

OBSTAKELS IN WEGBERMEN

Een overzicht en beschrijving van in de literatuur beschreven onderzoek omtrent het gedrag bij botsingen van vaste voorwerpen die voorkomen in zones langs de rijbaan.

R-73-2A

Voorburg, 1973

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Inleiding

1. Testcriteria
 - 1.1. Algemeen
 - 1.1.1. De primaire botsing
 - 1.1.2. De secundaire botsing
 - 1.1.3. Letselpatronen - Incasseringsvermogen
 - 1.2. Vertraging
 - 1.2.1. Maximum vertraging (piekvertraging)
 - 1.2.2. Gemiddelde vertraging
 - 1.2.3. Richtsnoer
 - 1.3. Verandering van snelheid
 - 1.4. Impuls
 - 1.5. Samenvatting

2. Onderzoek aan lichtmasten
 - 2.1. Algemeen
 - 2.2. Botsproeven
 - 2.2.1. Masten op fundering
 - 2.2.2. Ingegraven masten
 - 2.2.3. Ligging masten na botsing
 - 2.2.4. Mast op het dak
 - 2.2.5. Zijdelingse botsing
 - 2.3. Laboratoriumproeven
 - 2.4. Mathematische modellen
 - 2.4.1. Starre en elastische modellen
 - 2.4.2. Analytische studie
 - 2.5. Samenvatting

3. Onderzoek aan bewegwijzeringsborden
 - 3.1. Portaalconstructies
 - 3.1.1. Botsproeven
 - 3.1.2. Mathematisch model
 - 3.2. Bermborden

- 3.2.1. Bermborden op meerdere palen
- 3.2.2. Borden op een enkele paal (Verkeersborden)
- 3.2.3. Mathematische studie
- 3.3. Samenvatting
 - 3.3.1. Portaalconstructies
 - 3.3.2. Bermborden

- 4. Onderzoek aan overige obstakels
 - 4.1. Praatpalen
 - 4.2. Bermbeveiligingsconstructies en obstakels

- 5. Onderzoek aan obstakelbeveiligers
 - 5.1. Algemeen
 - 5.2. Testcriteria
 - 5.3. Botsproeven
 - 5.3.1. Obstakelbeveiligers van metalen vaten
 - 5.3.2. Obstakelbeveiligers van met zand gevulde kunststofvaten
 - 5.3.3. Obstakelbeveiligers van blokken poreus beton
 - 5.3.4. Obstakelbeveiligers van watergevulde cilinders
 - 5.3.5. Obstakelbeveiligers met schokdempers
 - 5.3.6. Andere uitvoeringen
 - 5.4. Schaalmodellen en mathematische studie
 - 5.4.1. Schaalmodellen
 - 5.4.2. Mathematische studie
 - 5.4.3. Berekeningen
 - 5.5. Samenvatting
 - 5.5.1. Algemeen
 - 5.5.2. Resultaten botsproeven
 - 5.5.3. Mathematische studie

Literatuur

Aanvullende literatuur

INLEIDING

Indien het begrip obstakel ruim gehanteerd wordt, is elk object dat zich in de baan van een voertuig bevindt, een obstakel. Alle weggebruikers zijn dan volgens deze interpretatie ook obstakels. In deze literatuurstudie zullen echter onder obstakels uitsluitend worden verstaan de vaste voorwerpen, die in zones langs de rijbaan voorkomen. Tot deze groep kunnen gerekend worden o.a. lichtmasten, bewegwijzeringsborden, bomen, praatpalen, pijlers van viaducten. Deze hebben alle weliswaar een nuttige functie, maar kunnen door plaats- of vormgeving gevaar opleveren voor de weggebruikers.

Geconstateerd moet worden dat de aanwezigheid van obstakels in wegbermen de aantallen en de ernst van obstakelongevallen aanzienlijk doet toenemen. Juist bij obstakelongevallen zijn zowel aantallen als ernst ten opzichte van die van andere categorieën ongevallen in de laatste jaren relatief het sterkst gestegen.

Om aan te geven op welke wijze het gevaar verminderd kan worden, zijn die beschikbare rapporten omtrent onderzoek in binnen- en buitenland bestudeerd waarbij de onderzoekers zich tot taak gesteld hebben het obstakelongeval te voorkomen of zo gunstig mogelijk te doen verlopen.

In principe zijn onderzoeken aan obstakels in wegbermen gericht op het creëren van een veilige berm. Dit kan geschieden door:

1. de berm tot een "zekere" afstand obstakelvrij te houden; de gevaren bij taluds, duikers e.d. te minimaliseren door meer geleidelijk verlopende overgangen;
2. de noodzakelijke obstakels botsveilig te maken o.a. door middel van breek- en schuifconstructies;
3. de berm af te schermen met geleiderailconstructies;
4. overige obstakels te beveiligen met zgn. obstakelbeveiligers.

In het voorliggende rapport worden de mogelijkheden tot oplossingen besproken die betrekking hebben op de punten 2 en 4. De overige punten zullen elders worden behandeld.

Ter beoordeling van onderzoek, dat uitgevoerd is om bepaalde botsveiligheidsconstructies voor obstakels te testen, was het noodzakelijk na te gaan op grond waarvan geconcludeerd zou kunnen worden of de inzittenden van voertuigen bij een botsing met een dergelijk obstakel er goed van af gekomen zijn. In hoofdstuk 1 wordt aangegeven welke waarden met betrekking tot voertuigvertragingen voor de mens mogelijk nog acceptabel zijn.

Bij alle beschreven proeven die op ware schaal zijn uitgevoerd zijn personenauto's gebruikt. Het ligt dan ook voor de hand te concluderen dat de mogelijkheden voor oplossingen die in dit rapport besproken worden, op dit type voertuig zijn afgestemd.

De resultaten en bevindingen zoals die beschreven zijn in de betreffende buitenlandse en Nederlandse rapporten zijn zo objectief mogelijk samengevat. In enkele gevallen bleek het noodzakelijk een opmerking bij een onderzoek te plaatsen; deze is dan ook als zodanig aangegeven.

Deze literatuurstudie is samengesteld door C.C. Schoon, afdeling Crash- en Postcrash onderzoek SWOV.

1. TESTCRITERIA

1.1. Algemeen

Er dienen bij botsproeven testcriteria opgesteld te worden voor het vaststellen van de botscondities en ter beoordeling van de proefresultaten. Botsproeven worden uitgevoerd om een beter inzicht te verkrijgen in hetgeen bij een botsing plaatsvindt.

Hierbij kunnen drie fasen worden onderscheiden:

1. de primaire botsing: dit betreft de botsing van het voertuig met het obstakel;
2. de secundaire botsing: dit betreft de botsing van de voertuiginzittende met het interieur van het voertuig of, indien de betreffende inzittende uit het voertuig wordt geslingerd, met het obstakel en/of de grond;
3. de inwerking van het inwendige van het voertuig op het weefsel van de lichaamsdelen; hierbij speelt het incasseringsvermogen van de mens (human tolerance) een belangrijke rol.

1.1.1. De primaire botsing

Enkele facetten van de begincondities van de primaire botsing zijn bijvoorbeeld de voertuigsnellheid en de inrijhoek; ze worden verkregen uit de bestudering van de ongevalgegevens. Deze begincondities zijn echter in de literatuur nauwelijks aangetroffen.

Een volgens facet tijdens de primaire botsing is de vertraging van het voertuig. Tijdens botsproeven wordt deze op een of andere wijze bepaald; diverse methodes zullen in dit hoofdstuk besproken worden (vertraging, verandering van snelheid, impuls).

1.1.2. De secundaire botsing

De aard van de secundaire botsing wordt niet alleen door de voertuigvertraging bepaald, maar ook door de eigenschappen van het interieur (bijv. al dan niet gecapitonneerd) en vooral ook door de wijze van ondersteuning (bijv. autogordels). Juist deze twee

factoren zijn van zeer groot belang bij het vaststellen van de grenswaarde van de belastingen die door het menselijke organisme zonder schade verdragen kunnen worden.

1.1.3. Letselpatronen - Incasseringsvermogen

De secundaire botsing kan tot gevolg hebben dat bepaalde letselpatronen optreden. De ernst van de letsels is afhankelijk van de voertuigvertraging en de factoren genoemd in 1.1.2.

Een verband tussen letselpatronen en voertuigvertragingen zou eenvoudig in cijfers uit te drukken zijn, als de voertuigvertragingen bij ongevallen vastgesteld konden worden, of als bij botsproeven voor de mens representatieve dummies konden worden gebruikt. Aangezien beide mogelijkheden nog niet gerealiseerd zijn, is tot dusver niet meer dan een indicatie te geven aangaande grenswaarden van de voertuigvertraging in relatie tot het risico voor de inzittenden. Genoemde grenswaarden zullen in dit hoofdstuk aan de orde komen.

1.2. Vertraging

De voertuigvertraging kan op twee manieren bepaald worden, nl. door berekening van de gemiddelde vertraging uit de snelheid en de stopafstand of door het opnemen van een vertragingcurve tijdens de botsing.

Bij de eerste methode is zonder meer een getallenwaarde te noemen. Deze methode is echter alleen geschikt als het voertuig door het obstakel inderdaad tot stilstand wordt gebracht (bijv. door een obstakelbeveiliger).

Bij de tweede methode kan een maximum waarde uit de vertragingcurve genomen worden. Indien een vertragingssignaal geregistreerd wordt, ontstaat echter een opeenvolging van pieken en piekjes. Bij het bepalen van de maximum waarde komt dan de moeilijkheid naar voren dat de pieken voor het bepalen van het risico voor inzittenden niet relevant zijn. Immers, een voertuigvertraging die gedurende een bijzonder korte tijd werkt, zal geen uitwerking op de inzittenden hebben. Door het signaal te filteren worden de pieken wel

afgesneden, maar de vertraging daalt hierbij in absolute waarde. Doorgaans wordt zodanig gefilterd dat de curve een vloeiend verloop behoudt (filtering van ± 100 Hz). De hoogste waarde in een op deze wijze verkregen kromme wordt hierna maximum vertraging of piekvertraging genoemd.

Bij onderzoek zijn zowel voor de maximum vertragingen uit de curve als voor de gemiddelde vertraging waarden gevonden, waarvan voorlopig wordt aangenomen dat ze voor de mens acceptabel zijn.

1.2.1. Maximum vertraging (piekvertraging)

A. Enkelvoudige vertraging

De relatie tussen de voertuigvertraging en het risico voor de inzittenden is niet eenvoudig te bepalen, daar ze afhankelijk is van diverse al-dan-niet toevallige omstandigheden. De niet-toevallige omstandigheden betreffen bijvoorbeeld de inwendige constructie van het voertuig (stuurkolom, dashboard, voorruit), maar vooral ook het al-dan-niet dragen van autogordels. Een toevallige omstandigheid is bijvoorbeeld de richting van botsen.

Amerikaanse onderzoeken wezen uit dat de voor de mens acceptabele vertraging hoger kan zijn als de inzittenden autogordels dragen en ook hoger kan zijn als de vertraging in langsrichting in plaats van in dwarsrichting werkt. Volgens deze onderzoeken is het ook van wezenlijk belang hoe snel de vertraging opgebouwd wordt ("rate of onset").

Samenvattend heeft Cornell Aeronautical Laboratory (17) voorlopige maximale voertuigvertragingen gepubliceerd, die nog voor de mens acceptabel zouden zijn (tabel 1). De beperkingen, genoemd bij de vertragingen in deze tabel, zijn:

- a. de tijdsduur moet korter zijn dan 200 ms;
- b. de "rate of onset" mag niet meer dan 500 g per seconde (5 g per 10 ms) bedragen.

Een afwijkende waarde voor deze cijfers, maar wel van dezelfde orde van grootte, wordt genoemd door Stonex (58). Een piekwaarde die gemiddeld niet meer dan 12 g bedraagt en niet langer dan 40 ms werkt, zou nog voor inzittenden met autogordels acceptabel zijn; de toename van de vertraging mag echter ook nu niet

meer dan 500 g per seconde bedragen.

B. Samengestelde vertraging

Bij een aanrijding zal de vertraging nooit exact in één richting werken. Het is daarom gewenst een norm te hebben waaraan een samengestelde vertraging moet voldoen. In een publikatie van Texas Transportation Institute hebben Ross & Post (48) de "Acceleration Severity Index" (ASI) toegepast; in een eerder verschenen publikatie wordt de formule afgeleid (47).

De formule luidt:

$$ASI = \sqrt{\left(\frac{g_{long}}{g_{long_a}}\right)^2 + \left(\frac{g_{lat}}{g_{lat_a}}\right)^2 + \left(\frac{g_{vert}}{g_{vert_a}}\right)^2}$$

In de tellers van de in deze formule voorkomende termen worden de gemiddelde voertuigvertragingen ingevuld. Als waarde voor de geregistreeerde voertuigvertraging wordt uit de vertragingcurve de gemiddelde vertraging over een periode van 50 ms bepaald. Deze periode van 50 ms dient in de curve zó gekozen te worden, dat de waarde voor de gemiddelde vertraging daarbij zo groot mogelijk wordt. De waarden in de noemers zijn de voor de mens "acceptabele" voertuigvertragingen. Voor de langs- (long), dwars- (lat) en verticale (vert) richting zijn deze gesteld op resp. 7, 5 en 6 g (zonder gordelgebruik; met gordel 12, 9, 10 g). Als de waarde voor de ASI kleiner is dan één, duidt dit er op dat inzittenden niet ernstig gewond zullen raken.

1.2.2. Gemiddelde vertraging

Wat ten aanzien van de maximum voertuigvertraging gezegd is aangaande de niet eenvoudig te bepalen relatie tussen voertuigvertraging en risico voor voertuiginzittenden, geldt ook voor de gemiddelde vertraging. Ook hier zijn echter wel waarden bepaald die een zeker houvast geven.

Een interessant onderzoek is dat van Olson e.a. (43) en Michalski (36). De schade- en letselgegevens voor dit onderzoek zijn ontleend aan ongevallen. Van deze ongevallen waren uiteraard geen gemiddelde vertragingen bekend, vandaar dat vergeleken is met schadegegevens van voertuigen die bij botsproeven gebruikt zijn, en

waarvan wel de gemiddelde vertraging bekend was. De resultaten zijn in afbeelding 1 weergegeven. De punten geven aan wat bij een gemiddelde voertuigvertraging het percentage auto's met gewonde inzittenden is. Bij het onderzoek waren alleen die inzittenden betrokken, die geen gordel droegen. Gevonden werd dat een gemiddelde vertraging van 2 g al 20% van de auto's met gewonde inzittenden geeft.

1.2.3. Richtsnoer

Op grond van de meest recente onderzoeken blijkt dat een in één richting bepaalde voertuigvertraging geen volledige indruk geeft van de grootte van de vertraging. Een norm zoals de ASI, die de triaxiale vertraging aangeeft, werd echter alleen bij de meest recente onderzoeken gehanteerd. In de in dit rapport beschreven literatuur werd in enkele gevallen wel een enkelvoudige en/of gemiddelde vertraging bepaald. Bij de beoordeling van de grootte van deze waarden, wordt verwezen naar de in de betreffende paragrafen aangegeven criteria.

1.3. Verandering van snelheid

De bepaling van het snelheidsverlies van de auto tijdens de botsing is ook een maatstaf om de ernst van een botsing vast te stellen. Deze verandering van snelheid (Δv) wordt berekend uit het verschil van de snelheid direct voor en na de botsing en kan daarom alleen bij de botsproeven gehanteerd worden die gekenmerkt worden door een korte stoot (bijv. bij palen en masten).

Voor het vaststellen van de waarde voor Δv die nog acceptabel zou zijn voor de mens wordt het onderzoek van Patrick e.a. (45) van belang geacht. Deze studie wees uit dat inzittenden (zonder gordel) van personenauto's nog geen letsel opliepen als de auto waarin zij zich bevonden met een snelheid van 18 km/h of lager tegen een star voorwerp botste. Onderzoekers in Amerika gaan er vanuit dat, als een voertuig tijdens een botsing met bijvoorbeeld een lichtmast een bepaalde snelheid verliest, inzittenden met deze snelheid het interieur zullen raken. De waarde van Patrick

werd zodoende als acceptabele norm voor het maximaal toelaatbare snelheidsverlies. In dit rapport zal dan ook bij de betreffende paal- en mastproeven deze waarde worden gehanteerd.

1.4. Impuls

Nog een methode om de ernst van een botsing te bepalen is beschreven door Rowan & Edwards (49). Hierbij wordt de verandering van de hoeveelheid beweging (Δp) ten gevolge van de botsing berekend. Deze Δp is gelijk aan de impuls die het obstakel op het voertuig uitoefent en de impuls is weer de kracht gedurende een tijdsinterval ($\sum F \Delta t$).

Aangezien de tijdsduur van de botsing niet bekend is en afhankelijk van de voertuigsnelheid, heeft de impuls de neiging bij een gegeven constructie van obstakel en botsvoertuig betrekkelijk constant te blijven. Immers hoe groter de voertuigsnelheid voor de botsing is, des te groter zal bij botsingen tegen de meeste obstakels de gemiddelde kracht zijn die door het obstakel op het voertuig wordt uitgeoefend. Maar aangezien de duur van de botsing tijdens hoge snelheden korter zal zijn, zal het produkt van de gemiddelde kracht en de tijd betrekkelijk constant blijven. De verandering van de hoeveelheid beweging van een voertuig tijdens de botsing geeft zodoende een indicatie van de ernst van de botsing en de kracht die het obstakel daarbij op het voertuig uitoefent.

Edwards (7) geeft als acceptabele waarde $\Delta p < 4900 \text{ Ns}$ (1100 lb-sec). Bij het beoordelen van de botsveiligheid van palen en masten is deze norm ook hier gehanteerd.

1.5. Samenvatting en discussie

Zoals reeds in paragraaf 1.1. is gesuggereerd, kunnen door de verschillen in voertuigeigenschappen de voor de mens acceptabele voertuigvertragingen aanzienlijk variëren. Dit komt vooral tot uiting bij de constructieve verschillen van het voertuiginterieur van Amerikaanse auto's enerzijds en Europese anderzijds. Acceptabele waarden die in Amerika op grond van waarnemingen met Amerikaanse voertuigen bepaald zijn en daar met de nodige omzichtigheid gehanteerd worden, zullen in Nederland nog voorzichtiger gebruikt moeten worden.

In Amerika wordt de grootte van de maximaal acceptabele voertuigvertraging met insittenden zonder autogordel op 5 g gesteld en met autogordels op 10 à 12 g. Ten aanzien van de gemiddelde vertraging wordt gesteld bij 2 g al 20% van de inzittenden gewond zal raken. De ASI-norm heeft als limiet één; er wordt geconcludeerd dat beneden deze waarde de inzittende zonder autogordel niet ernstig gewond zullen raken.

Het snelheidsverlies tijdens de botsing (Δv) zou niet meer dan 18 km/h mogen bedragen.

De limiet die gesteld wordt bij de verandering van de hoeveelheid beweging ten gevolge van de botsing (Δp) is 4900 Ns.

Het cijfer dat als norm dient voor de maximum toename van de vertraging (500 g/s) is afkomstig van de ruimtevaart. Hiermee zal bedoeld worden dat de mens niet sneller vertraagd mag worden dan deze waarde. Aangezien dit cijfer bij de acceptabele waarden op het voertuig wordt overgebracht, kan niet zonder meer gezegd worden dat de inzittenden aan dezelfde vertragingstoename blootgesteld worden.

De interpretatie van de norm van Patrick door Amerikaanse onderzoekers is ook discutabel. Het uitgangspunt is het abrupt vertragen van het voertuig met een waarde van 18 km/h. Als het voertuig nu minder abrupt afgeremd wordt, is niet voor te stellen dat deze norm zal blijven gelden.

De Δp -norm zegt waarschijnlijk meer over het al dan niet star zijn van de beproefde constructie dan over het eventuele risico voor voertuiginzittenden.

Gebleken is dat nog geen enkele norm op een wetenschappelijk verantwoorde manier is vastgesteld. Maar zolang betere ontbreken, zullen deze moeten worden gehanteerd.

2. ONDERZOEK AAN LICHTMASTEN

2.1. Algemeen

Bij de studies die hierna zijn beschreven is de botsveiligheid van diverse typen lichtmasten nagegaan. Alle onderzoeken zijn beoordeeld volgens de in het voorgaande vermelde testcriteria: de grootte van de voertuigvertraging bij de botsing en/of het snelheidsverschil van het voertuig voor en na de botsing en/of de door de paal opgenomen botsenergie. Maar ook is zoveel mogelijk nagegaan of de mast na de botsing al dan niet op het voertuig is terecht gekomen en indien wel, wat dan de gevolgen waren, evenals de ligging van de mast na de botsing, waarbij van belang is of de mast al dan niet op de rijbaan zou terecht komen.

De studies betroffen zowel praktisch (botsbaan- en laboratoriumproeven) als theoretisch onderzoek (mathematische modellen).

Het is opvallend dat in Amerika, Engeland en in hoofdzaak ook in Canada lichtmasten op een betonnen fundering geplaatst worden, terwijl in Nederland in vrijwel alle gevallen de masten direct worden ingegraven. De Amerikaanse en Engelse studies zijn dan ook op een ontwerp gericht dat op een fundering bevestigd kan worden. In Canada zijn daarnaast ook diverse botsproeven uitgevoerd met masten die direct ingegraven waren. Alle proeven verricht door de SWOV, zijn met ingegraven lichtmasten geweest. Op grond van deze verschillen is de onderstaande beschrijving van de uitgevoerde botsproeven ingedeeld naar masten op betonnen fundering en direct ingegraven masten.

Opmerking: Bij de buitenlandse botsproeven zijn in hoofdzaak Amerikaanse auto's gebruikt die in het algemeen bijna tweemaal zo zwaar zijn als de Europese. Bij de beschouwing van de testresultaten dient men er dan ook op bedacht te zijn dat dit grotere gewicht een gunstige invloed heeft op de grootte van de botsweerstand van lichtmasten.

Hoewel de resultaten van botsproeven in dit hoofdstuk op een rij gezet worden, zullen de stijfheden van de masten niet in alle gevallen vergelijkbaar zijn. Aangezien in de beschouwde rapporten niets over dit aspect gezegd wordt, kunnen op grond hiervan ook geen conclusies worden getrokken.

2.2. Botsproeven

2.2.1. Masten op fundering

A. Mast met flens

Uitvoering: Het voetstuk bestaat uit een flens die aan een aluminium of stalen mast is gelast. Deze flens wordt dan met bouten op een betonnen fundering bevestigd (zie afbeelding 2).

Amerikaanse/Engelse benaming: flange base; (aluminium) shoe base; (aluminium) sleeve base.

Literatuur: (7), (9), (40), (49).

Beproefd door: (a) Texas Transportation Institute (TTI); (b) Department of Public Works, State of California.

Proeven (a) en (b): Er werd gebotst met snelheden rond de 65 km/h, met personenauto's met een massa van \pm 1500 kg. Beproefd werden een stalen en een fiberglas mast, en verder verscheidene aluminium masten. Het is niet bekend of de flenzen van de aluminium en fiberglas mast uit resp. aluminium of fiberglas vervaardigd waren.

Resultaten (a) en (b): De stalen mast en de aluminium masten van 11,40 m hoogte, gaven onacceptabele vertragingen. Bij de aluminium masten van 8,50 m was de afloop bevredigend ($\Delta v = 6,4$ km/h) evenals met de mast van fiberglas (lengte 12,20 m, $\Delta v = 4$ km/h). Stalen masten met een lichtpunthoogte van 8,50 m zijn niet beproefd.

B. Mast met breekbaar voetstuk

Uitvoering: Het breekbaar voetstuk met een hoogte van plm. 50 cm wordt vervaardigd van aluminium of staal en met bouten aan de fundering bevestigd. De paal is weer met bouten op het voetstuk

bevestigd (zie afbeelding 3.).

Amerikaanse/Engelse benaming: (steel/aluminium) transformer base, shoe base mounted on frangible base.

Literatuur: (7), (40), (49), (56).

Beproefd door: (a) Texas Transportation Institute (TTI); (b) Department of Public Works, State of California; (c) Department of Highways, Canada.

Proeven (a) en (b): Bij deze proeven werd getest met hogere snelheid (± 65 km/h) en bij lagere (± 30 km/h). De testauto's waren in acht gevallen Amerikaanse (massa ± 1500 kg) en één geval een Europese (massa 950 kg).

Resultaten (a) en (b): De enige paal met stalen breekbaar voetstuk die getest werd, gaf zo'n slecht resultaat dat verder alleen met het aluminium voetstuk werd geëxperimenteerd.

De hoge stalen masten (12,20 m), getest bij hoge en lage snelheid, gaven bij zwaardere voertuigen goede resultaten: $\Delta v = 6,4$ km/h; $\Delta p = 3000$ Ns. De proef met de Europese auto gaf wat Δp betreft geen afwijkend beeld te zien, maar Δv was bijna twee maal zo groot.

De kortere stalen masten gaven bij hoge snelheid een Δp te zien, hoger dan het maximum toelaatbare, maar de Δv (12 km/h) was daarbij nog binnen de limiet. Vooral het resultaat van de proef bij lage snelheid was zeer slecht. Ondanks dat de mast korter is, zodat er met een lichtere constructie kan worden volstaan, blijken de resultaten ten opzichte van hoge masten slechter te zijn. Een verklaring wordt hiervoor niet gegeven.

De resultaten met de aluminium palen waren wel weer gunstig:

Δv kleiner dan 8 km/h en een Δp kleiner dan 3500 Ns. Opvallend is dat hier slechts een gering verschil tussen de proef met hoge en die met lage snelheid kan worden geconstateerd.

Proeven (c): Getest zijn zeven stalen en aluminium palen op breekbare aluminium voetstukken.

Resultaten (c): Een stalen paal, lengte 15 m, gaf bij 80 km/h een zeer lage Δv en geringe schade; bij 50 km/h was de Δv wel klein, maar de zware stalen paal deukte het dak zeer diep in.

klein, maar de zware stalen paal deukte het dak zeer diep in (proef 68-12, 68-13).

Dezelfde proeven zijn ook uitgevoerd met een evenhoge aluminium mast. De resultaten waren ongeveer dezelfde, waarbij de mast ook weer bij de lagere botssnelheid op het dak viel; de indeuking was nu echter gering. (proef 68-16, 68-38).

C. Mast met breekbaar tussenstuk

Uitvoering: Op het aluminium tussenstuk, hoogte 15 cm, wordt een stalen paal bevestigd. Het tussenstuk wordt al of niet in combinatie gebruikt met het stalen breekbaar voetstuk van B, of met de flens van A. Het tussenstuk kan makkelijker breekbaar gemaakt worden door het aanbrengen van gaten of gleuven (zie afbeelding 4).

Engelse benaming: (aluminium) insert base, with or without (steel) transformer base.

Literatuur: (7), (40), (49).

Beproefd door: (a) Texas Transportation Institute (TTI); (b) Department of Public Works, State of California.

Proeven: Eerst zijn twee proeven gedaan met een tussenstuk in combinatie met het stalen breekbaar voetstuk met botssnelheden van 52 en 83 km/h. Verder is nog met tussenstukken met gaten of gleuven geëxperimenteerd. Alle gebruikte stalen palen hadden een lengte van 9 m.

Resultaten: Het bleek dat de uitvoering met het tussenstuk voorzien van gleuven de beste resultaten gaf: botssnelheid 76 km/h, $\Delta v = 2,5$ km/h, $\Delta p = 2350$ Ns.

D. Mast met afschuifconstructie

Uitvoering: Deze constructie bestaat uit een voetstuk dat door middel van puntlassen of klinknagels aan de voetplaat is bevestigd. Deze verbinding moet tijdens de botsing worden afgeschoven. De voetplaat is met bouten aan de fundering bevestigd en de paal zit weer met bouten aan het voetstuk vast (afbeelding 5).

Amerikaanse/Engelse benaming: progressive-shear base.

Literatuur: (7), (9), (49), (57).

Beproefd door: (a) Texas Transportation Institute (TTI); (b) Millerbernd Manufacturing Company (MMC)

Proeven (a): Er zijn drie proeven uitgevoerd, alle met een snelheid van ongeveer 70 km/h. De lengte van de stalen masten was 11 m.

Resultaten (a): Bij de proeven lagen de verkregen waarden voor Δv omtrent 13 km/h (dus beneden de limiet van 18 km/h). Maar de waarde van Δp bedroeg ongeveer 5400 Ns (dus boven de limiet van 4900 Ns).

Proeven (b): Bij deze proef tegen een 9 m hoge mast, waarbij de auto door een persoon achter het stuur werd bestuurd, bedroeg de snelheid 32 km/h.

Resultaten (b): Deze worden bij deze lage snelheid als zeer goed beschreven. De bumper was niet ingedeukt, alleen een klein deukje in het dak, veroorzaakt door de vallende paal. De bestuurder verklaarde dat de weerstand tijdens het botsen net zo groot was als het rijden door een plas. Er werden verder geen metingen verricht. Niet is vermeld of de constructie al dan niet bestand is tegen windbelasting.

E. Mast gemonteerd met gekerfde bout(en)

Uitvoering: Bij de Amerikaanse uitvoering is de voetplaat waarop de mast gelast is met vier bouten, waarvan de diameter plaatse-lijk verdund is, aan de fundering bevestigd (afbeelding 6), Hoewel de maximum hardheid en sterkte voor het materiaal van de bouten bereikt wordt bij een hardingstemperatuur van 850° F, is het materiaal bij deze temperatuur brosser, en zijn de vermoed-heidseigenschappen slechter. Bij hogere hardingstemperatuur zijn de vermoedheidseigenschappen gunstiger en neemt de weerstand tegen corrosie toe, maar de botsweerstand ook. Gekozen is voor bouten met de hardingstemperatuur van 950 en 1050° F.

Bij de Engelse uitvoering wordt de verbinding tussen paal en voetstuk tot stand gebracht door een enkele centraal geplaatste bout. De weerstand van de bout, met diameter 3/4", wordt ver-minderd door hem te kerven of hol te maken.

Amerikaanse/Engelse benaming: notched bolt insert; frangible joints based on single shear bolts.

Literatuur: (7), (9), (29), (49).

Beproefd door: (a) Department of Public Works, State of California; (b) Road Research Laboratory (RRL).

Proeven (a): De bout met hardingstemperatuur van 950^o F werd getest met een snelheid van 65 km/h en die van 1050^o F met snelheden van 65 en 25 km/h. De lengte van de stalen masten bedroeg 9 meter.

Resultaten (a): De eerste proef (harding 950^o F) had een zeer gunstig verloop, maar aangezien de vrees bestond dat ten gevolge van corrosie en optredende spanning op de bout haarscheurtjes zouden ontstaan, is men tot een hardingstemperatuur van 1050^o F overgegaan. De resultaten met de botssnelheid van 65 km/h waren zeer gunstig: $\Delta v = 3$ km/h en $\Delta p = 1800$ Ns. Bij de proef bij 25 km/h kreeg het voertuig een zeer grote vertraging, daar het tegen de paal tot stilstand kwam.

Proeven (b): In 1964 en in voorgaande jaren zijn vijf proeven uitgevoerd. Getest werd met snelheden omtrent 30 km/h.

Resultaten (b): De hoogst gemeten piekwaarde van de voertuigvertraging was 8,3 g en de laagst gemeten 4,3 g. Na 1964 zijn met dit type geen proeven meer gedaan.

F. Mast met schuifconstructie

Uitvoering: Onderaan de mast is een flens gelast, die met drie of vier bouten aan de onderste flens is bevestigd. De laatste flens zit of aan een betonnen fundering vast of aan een paal die in de grond is ingegraven. De bouten, gebruikt om de flenzen aan elkaar te bevestigen, zijn aangebracht in drie of vier V-vormige gleuven, zodat bij een aanrijding de beide flenzen ten opzichte van elkaar kunnen verschuiven.

Amerikaanse/Engelse benaming: Cambridge slip base; General Motors slip base; Triangular slip base, Texas slip base (afbeelding 7 toont de genoemde typen).

Literatuur: (7), (15), (40), (62), (71), (73).

Beproefd door: (a) Road Research Laboratory (RRL); (b) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV; (c) General Motors; (d) Texas Transportation Institute (TTI),

Proeven (a): De Cambridge uitvoering (vier gleuven, ingegraven paal) is in Engeland beproefd met een 12 m hoge stalen mast, bij botssnelheden van 30 en 100 km/h. Het aanhaalmoment van de bouten bedroeg 28 Nm.

Resultaten (a): De proef met 100 km/h gaf een voertuig-piekvertraging van 4,8 g, de gemiddelde voertuigvertraging was 2,2 g en de Δv bedroeg 3,2 km/h; de paal viel na de botsing niet op de auto. Bij de proef met 30 km/h viel de paal wel op het dak, waarbij de indeuking niet meer dan 5 cm bedroeg (massa paal 170 kg). Betreffende de vertraging werden bij deze proef geen cijfers gepubliceerd.

Proeven (b): Met een dergelijke ingegraven vier-gleuvsuitvoering is in Nederland een proef uitgevoerd met een stalen mast van 10 m lengte; botssnelheid 78 km/h. Het aanhaalmoment van de bouten bedroeg hier 250 Nm.

Resultaten (b): Deze proef gaf een piekvertraging van 5,5 g en een Δv van 10 km/h. De mast viel na de proef op het dak en deed de voor- en achterraut breken. De diepte van de indeuking van het dak was 5 cm.

Proeven (c): Met de General Motors slip base (vier gleuven, betonnen fundering) zijn enkele proeven gedaan met stalen en aluminium masten.

Resultaten (c): Slechts van een stalen mast met onbekende lengte zijn enkele gegevens bekend; de botssnelheid bedroeg 65 km/h en de auto heeft zeer geringe schade opgelopen.

Proeven (d): Met de Triangular slip base (drie gleuven, betonnen fundering) zijn in Amerika zes proeven gedaan, twee bij lagere snelheid (ca 30 km/h) en vier bij hogere snelheid (ca 60 km/h). De lengte van de stalen masten varieerde van 8,50 tot 12 m. Het aanhaalmoment bedroeg 70 of 115 Nm.

Resultaten (d): Bij deze proeven was de grootst gemeten $\Delta v = 6,5$ km/h en $\Delta p = 2900$ Ns. Bij geen van de proeven is een voertuigvertraging gemeten. Verder werd niet gevonden dat de twee proeven bij lagere snelheden aan afwijkende Δv of Δp opleverden. Wel viel bij één van deze twee proeven de mast op het dak, deukte deze in, brak de voorruit en even later ook de achterraut.

De lengte van de masten bleek niet direct van invloed te zijn op de grootte van Δv of Δp .

Aanhaalmoment

De grootte van het aanhaalmoment is van wezenlijk belang voor het mogelijke resultaat bij een botsing. Daar een aantal moeilijk te bepalen factoren de slipweerstand beïnvloeden, werd het aanhaalmoment aanvankelijk empirisch bepaald. Bij de diverse proeven zijn verschillende aanhaalmomenten toegepast: proeven (a) 28 Nm, proeven (b) 250 Nm, proeven (d) 70 en 115 Nm.

Bij het TTI (9) is een formule ontwikkeld waaruit, aan de hand van vele variabelen, de energie bepaald kan worden die een slipconstructie kan opnemen. Onderstaande formule geldt voor het type met drie bouten.

$$\text{BFE} \quad R_t \quad (\phi, \theta, \mu, T) \cdot \left(\frac{S - (d/2)}{12 \cos \phi} \right)$$

waarin: BFE = base fracture energy (ft.lb)

$R_t (\phi, \theta, \mu, T)$ = maximum slipweerstand

ϕ = halve gleufhoek

θ = hoek van inrijden

μ = wrijvingscoëfficiënt

T = nominale boutbelasting

S = diepte van de gleuf (in)

d = diameter van de bout (in)

Uit de boutbelasting kan het aanhaalmoment worden bepaald.

Conus voor vergroting verticale snelheid

Daar gebleken is dat bij lage snelheden de paal niet zo hoog opgeworpen wordt dat het voertuig er geheel onderdoor kan rijden, is bij het TTI (9) gezocht naar een constructie om de verticale component van de snelheid van de paal na de botsing te vergroten. De voorziening bestaat uit een conus aangebracht in de onderste flens (zie afbeelding 8). Bij de proef op ware schaal werkte de conus wel zoals was bedoeld, maar de deformatie van de auto beperkte de vergroting van de verticale beweging.

Borgplaatjes

Om te voorkomen dat de schuifconstructie ten gevolge van windstoten gaat verschuiven, zijn bij het Road Research Laboratory (15) twee voorzieningen ontworpen. De ene is een ring met afbreekbare pen waarbij de pen binnen de rand van de mast valt, de andere bestaat uit een dun metalen plaatje dat de bouten bij elkaar houdt (zie afbeelding 9). Het grote voordeel van deze borgplaatjes is dat de voorspanning van de bouten verminderd kan worden, doordat men geen extra aanhaalmoment hoeft te geven om te voorkomen dat de paal ten gevolge van windbelasting gaat schuiven.

Optimale hoeken

De hoek van de gleuf (hoek ϕ , zie afbeelding 10) en de inrijhoek (α) van het botsvoertuig, beïnvloeden de slipweerstand. In het laboratorium heeft men diverse hoeken ϕ getest: 20° , 25° en 30° , door botsproeven onder verschillende hoeken uit te voeren (49). Als optimale hoek voor ϕ - optimaal is met de minste weerstand - werd 30° gevonden. Voor de optimale inrijhoek werd bepaald dat deze ook 30° bedroeg.

Beveiliging tegen elektrocutie

Bij het Road Research Laboratory is een beveiliging ontwikkeld die voorkomen moet dat bij breek-of schuifconstructies ten gevolge van het blootraken van elektrische leidingen het voertuig onder spanning komt te staan. De beveiliging bestaat hieruit dat de kabel onderbroken wordt (zie afbeelding 7b). Deze beveiliging is reeds bij diverse proeven met gunstig resultaat getest (15, 71).

2.2.2. Ingegraven masten

De voordelen van het ingraven van masten zijn dat ten eerste de paal niet van een speciale bevestigingsflens voorzien behoeft

te worden en ten tweede dat er geen funderingskosten zijn. Als nadeel kan worden genoemd dat het gedeelte van de paal dat in de grond zit, extra aangetast kan worden. Volgens Rijkswaterstaat (73) is het mogelijk lichtmasten (met name aluminium) zo te behandelen dat zelfs in ondergrond met grote corrosiegevoeligheid een lange levensduur gewaarborgd is.

Voor zover bekend zijn ingegraven masten slechts beproefd in Canada (Department of Highways) en in Nederland (Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV).

A. Canadese proeven

Department of Highways heeft negen proeven uitgevoerd met lichtmasten die direct ingegraven waren (56).

Vier van deze proeven waren tegen betonnen lichtmasten. De eerste drie gaven zeer hoge vertraging. Bij de vierde was de ijzeren bewapening van de mast onderbroken op een hoogte van 30 cm boven het maaiveld. De lengte van de mast bedroeg 9 m. De botssnelheid was 77 km/h, met als resultaat een Δv van 11 km/h en een zeer matige indeuking van de auto. Er werd geen vertraging gemeten. In verband met de mogelijkheid dat de paal na de botsing op het dak van het voertuig valt was men wel de mening toegedaan dat deze palen met het oog op het gewicht niet hoger dan 9 m mogen worden. De overige vijf waren metalen lichtmasten alle met een lengte van 9 m. De eerste was een stalen, waarbij de auto zeer ernstig beschadigd werd. De aluminium mast zonder afbreekvoorziening gaf ook een ernstige schade. De beste resultaten gaven twee aluminium masten met een breekbaar tussenstuk. De botssnelheden waren 65 en 80 km/h.

B. Nederlandse proeven

De SWOV heeft in opdracht van de Rijkswaterstaats-werkgroep Lichtmasten een serie ad-hoc botsproeven uitgevoerd met tien ingegraven lichtmasten (62), (73). Beproefd zijn vier stalen en zes aluminium lichtmasten. Eén van de vier stalen palen was voorzien van een schuifconstructie: deze proef is reeds be-

schreven onder F: Mast met schuifconstructie. Van de overige negen lichtmasten was er geen voorzien van een speciale breekconstructie, het betrof masten die toen voor de Nederlandse markt bestemd waren. De aluminium masten en één stalen mast van lichte constructie hadden een topafwijking van 3% en de overige stalen masten een van 2%. In alle gevallen werd een Opel (massa 900 kg) als botsvoertuig gebruikt.

Alle vier aluminium masten van 10 m gaven, ongeacht de snelheid (resp. 93, 66, 60 en 35 km/h) een voertuigvertraging van beneden de 6,5 g. De Δv bedroeg bij deze snelheden resp. 4, 10, 22 en 19 km/h.

De twee aluminium masten van 12 m gaven bij de snelheden van resp. 100 en 70 km/h een voertuig-piekvertraging van 10,5 en 12 g en een Δv van resp. 21 en 24 km/h.

De drie ingegraven stalen masten, alle met een lengte van 10 m, werden beproefd met snelheden boven de 80 km/h. De voertuig-piekvertraging bij de mast van lichte constructie was 12 g, maar de Δv bedroeg 51 km/h. De twee andere stalen lichtmasten gaven een voertuig-piekvertraging van 14 en 15,5 g en een Δv van resp. 45 en 64 km/h.

Bij deze negen proeven is de paal twee maal op het dak van de auto terecht gekomen en wel bij de 10 m aluminium masten (massa 62 kg) beproefd bij 60 en 66 km/h; de indeuking bedroeg niet meer dan 6 cm.

Grond-vastheid

Met uitzondering van de eerste proef werd steeds, nadat de paal geplaatst was, de mulle grond met een trilplaat aangestampt. Het Laboratorium voor Grondmechanica, Delft bepaalde door middel van grondmetingen dat bij aangetrilde grond een vijf-maal zo grote verdichting verkregen werd dan bij aangestampte grond (in getalwaarde resp. 25 en 5 kgf/cm²). De grond kan daardoor bij botsingen het vijfvoudige aan botsenergie opnemen.

2.2.3. Ligging masten na botsing

Een lichtmast die tengevolge van een aanrijding op de rijbaan terecht komt, kan gevaar opleveren voor de overige weggebruikers. Het is dan ook van belang om de uiteindelijke ligging van de masten na te gaan om een eventueel verband te kunnen leggen tussen deze ligging enerzijds en de constructie, de lengte van de paal en de snelheid van het voertuig anderzijds.

Afbeelding 11a geeft de ligging aan van de masten die door het TTI zijn beproefd; ze waren voorzien van vijf verschillende breek- of schuifconstructies en werden beproefd met botssnelheden van omstreeks 65 en 25 km/h. Afbeelding 11b toont de ligging van de masten na de botsproeven die door de SWOV zijn uitgevoerd.

In beide afbeeldingen is een denkbeeldige kantstrook getrokken op een afstand van 1 m van de lichtmast.

Het blijkt dat van alle drie typen lichtmasten die TTI bij lage snelheid beproefd heeft, een deel van de mast op de rijbaan terecht zou zijn gekomen, evenals de armatuur van proef 182. Bij de SWOV-proeven zou geen van de masten over de kantstrook zijn gekomen.

Van proeven door het Road Research Laboratory is bekend dat van de proeven met schuifconstructies de mast niet of nauwelijks op de rijbaan terecht zou zijn gekomen. Van de Canadese proeven zijn geen gegevens bekend.

2.2.4. Mast op het dak

Uit de hieraan voorafgaande beschrijvingen is wel gebleken, dat bij aanrijding tegen lichtmasten bij lage snelheid de kans groot is dat een paal na de botsing op het dak van de auto terecht komt. Als de paal zwaar is kan hij ernstige indeukingen veroorzaken. Het Road Research Laboratory (16) wijst in verband hiermee op het gevaar voor inzittenden van cabriolets. Dit instituut verrichtte een telling onder personenauto's die aan het verkeer deelnamen: van 7000 auto's bleek het aandeel cabriolets 3% te zijn.

2.2.5. Zijdelingse botsing

Tot dusver waren alle beschreven proeven frontale botsingen van een voertuig tegen een lichtmast. Uit ongevallengegevens (Edwards, 7) is echter gebleken dat juist de zijdelingse aanrijdingen een slechtere afloop hebben. Dit geeft de indicatie dat masten die bij een frontale botsing bevredigend functioneren dit nog niet behoeven te doen bij een zijdelingse botsing.

Voor zover bekend heeft alleen het Road Research Laboratory (16) een proef uitgevoerd waarbij zijdelings gebotst werd. Hierbij botste een personenauto met een zijdelingse snelheid van 76 km/h tegen een lichtmast (hoogte 12,2 m) voorzien van een schuifconstructie met vier gleuven (Cambridge type). De auto had een snelheid van 110 km/h toen men hem liet slippen door het laten blokkeren van één voorwiel en twee achterwielen. De auto begon 32 m voor de botsing te draaien en stond dwars toen hij de paal raakte (zie afbeelding 12).

De piekvertraging in zijdelingse richting bedroeg 13 g en de Δv 16 km/h. De resultaten zijn samengevat in tabel 2. De genoemde vertragingen zijn de maximale voertuigvertragingen.

In afbeelding 13 komt duidelijk het verschil in piekvertraging tot uiting bij een zijdelingse en frontale botsing. Hierbij valt op dat de tijdsduur van de piek bij de zijdelingse botsing zeer kort is. Ter illustratie is ook de voertuigvertraging van een botsing tegen een lichtmast zonder breek- of schuifconstructie afgebeeld. Dat de vertraging van deze laatste proef relatief gezien laag is, komt door de lagere botssnelheid, nl. 37 km/h.

2.3. Laboratoriumproeven

Door Aluminium Co. of America (ALCOA) (52), Texas Transportation Institute (TTI) (32) en Southwest Research Institute (SRI) (37) zijn laboratoriumproeven uitgevoerd. De breekconstructie werd met een vallend gewicht gedeformeerd.

ALCOA voerde de proef uit door paal met voetstuk horizontaal neer

leggen en hierop een gewicht te laten vallen. Bij TTI liet men met een slingerbeweging een pendulum alleen maar tegen een breekconstructie botsen (er was dus geen mast op de breekconstructie gemonteerd). Het gewicht had een massa van 450 kg en de valhoogte bedroeg 4,5 m. Het botste tegen het voetstuk op een hoogte van 35 cm, d.i. de hoogte van een bumper van een Ford uit 1958, waarmee de botsproeven op ware schaal gedaan zijn. Bij de SRI-proeven werd een pendulum met een gewicht van 900 kg zover opgehesen dat, indien men hem met een slingerbeweging liet vallen, de botssnelheid 32 km/h zou bedragen. De raakhoogte was 50 cm boven het monteringsvlak. Gemeten (berekend) werd de snelheid voor en na botsen, de impuls, de tijdsduur van deze impuls en de energie en kracht benodigd om de paal te deformeren. Naast de mogelijkheid om met een pendulum palen te testen, geeft Southwest Research Institute ook andere toepassingen aan (zie afbeelding 14).

De U.S. Federal Highway Administration deelt in een Circular Memorandum (66) mee wat de testprocedure voor lichtmasten is en aan welke eisen ze moeten voldoen. De lichtmasten kunnen met een pendulum- of autoproof beproefd worden. Bij de pendulumtest moet een lichtmast een verandering van de hoeveelheid beweging (Δp) van 400 lb-sec (1800 Ns) kunnen doorstaan. Haalt hij dit niet, dan wordt hij aan een autobotsproef onderworpen, waarbij dan aan de reeds eerder in dit rapport genoemde eis van 1100 lb-sec (4900 Ns) moet worden voldaan. Indien de mast ook aan deze norm niet voldoet, wordt hij afgekeurd.

Ten tijde dat de 400 lb-sec pendulumnorm werd vastgesteld, heeft men erkend dat deze norm gebaseerd was op een zeer beperkt aantal proeven. Daarom zijn door Texas Transportation Institute meer botsproeven uitgevoerd, die beter met de pendulumproeven te vergelijken zouden zijn (3). De beproefde lichtmasten waren in alle gevallen van aluminium met als breekconstructie de flens, die reeds in paragraaf 2.2.1.A. besproken is. In afbeelding 15 waar deze proeven vergeleken worden met de pendulumproeven, worden

de TTI-resultaten aangegeven met twee rondjes, daar verschillende resultaten verkregen zijn door twee meetmethodes. De pendulumproeven die door Reynolds Metals Company (42) zijn uitgevoerd, worden in de figuur met een driehoekje aangegeven; de dikke lijnen stellen de vastgestelde limieten voor. Verder zijn nog andere pendulumproeven in de figuur opgenomen (die van Ohio, Illinois, Maryland), maar deze konden niet met proeven op ware schaal vergeleken worden.

Uit de figuur blijkt dat vier van de zes proeven (LS 1, 4, 2 en 7) vlak bij de "400 to 1100 ratio relationship" lijn liggen. De lichtmast van LS-3 zou bij beide proeven afgekeurd zijn; LS-5 zou afgekeurd zijn volgens de 400 lb-sec norm, maar goedgekeurd volgens de 1100 lb-sec norm (deze volgorde wordt ook aangegeven in de Circular Memorandum (66)).

Als conclusie vermeldt het rapport dat het niet waarschijnlijk lijkt dat, door het nogal uit elkaar liggen van de gegevens, een direct verband tussen de twee testmethodes gevonden zal worden. De waarschijnlijk meest van invloed zijnde factor is het verschil in "crushability" van de huidige auto's en de momenteel gebruikte pendulum.

Uit deze en andere pendulumproeven is wel gebleken dat deze proeven onderling zeer goed met elkaar te vergelijken zijn.

2.4. Mathematische modellen

2.4.1. Starre en elastische modellen

Met mathematische simulatie zijn door Martinez (32) twee modellen onderzocht, nl. het starre en het elastische.

A. Het starre model

Bij de studie ten aanzien van het starre model neemt men de structuur van de mast aan als zijnde star onder inwerking van constante en naar de tijd variërende krachten, en het voertuig als zijnde een massa-veersysteem met één vrijheidsgraad en in staat de paal in het vlak van de baan van het voertuig onder elke

hoek te raken.

De veer wordt massaloos verondersteld en niet in staat zijn oorspronkelijke vorm aan te nemen. De starre massa en de snelheid hiervan simuleren de impuls van het voertuig. De geabsorbeerde energie van het voertuig wordt door de vervorming van de veer verkregen. Hoewel de voertuigsimulatie een wezenlijk deel is van het gehele probleem, is de huidige research er meer opgericht een model te ontwikkelen dat het resultaat van de lichtmast simuleert.

B. Het elastische model

Het elastische model wordt verkregen door het gebruik van de "matrix displacement" methode en een "eindig elementen" methode. De paal wordt ideaal verondersteld door hem opgebouwd te denken uit staafdelen. Elk staafdeel wordt verondersteld 12 vrijheidsgraden te hebben, zodat een niet-vlakke beweging bestudeerd kan worden. De analyse is lineair en geldt voor kleine rotaties van de paal.

Aangenomen wordt dat lineaire vergelijkingen gebruikt kunnen worden zolang de paal in aanraking is met het botsend voertuig. De rotatie van de paal begint zodra hij van de auto is losgekomen, waarna een lineaire analyse niet meer is toegestaan.

De computercodering van dit model houdt rekening met de richting van de dynamische krachten en de eigen frequentie.

C. Resultaten

De resultaten van deze modelstudies zijn vergeleken met een proef waarbij men een voertuigsimulator (een rijdend star chassis van een personenauto) tegen een 6 m hoge mast met breekconstructie liet botsen. Het chassis was deformeerbaar gemaakt door als bumper een bladveer te nemen die voorop het chassis gemonteerd werd. De resultaten van deze vergelijking zijn vermeld in tabel 3. Zoals men reeds verwachtte gaf het elastische model betere representatieve resultaten van het beginverloop van de proef dan het starre.

2.4.2. Analytische studie

Verder is door Texas Transportation Institute (7) nog een analytische studie uitgevoerd, waarbij ook de lichtmast-voertuigbotsing werd geformuleerd. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in afbeelding 16.

Hierin is de relatie gegeven tussen de veranderde snelheid ten gevolge van het botsen en het type lichtmast, de energie nodig om de paal te deformereren of af te schuiven, het voertuiggewicht en de botssnelheid. Botsingen die in het gebied rechts van het gearceerde gedeelte vallen, geven aan dat de paal waarschijnlijk niet op het voertuig terecht zal komen en botsingen die in het linker gebied vallen, duiden erop dat de paal op het dak van de auto zal vallen. Deze grafieken bevestigen wat reeds tijdens proeven op ware schaal ook gevonden werd, nl. dat lichtmasten die veel van de botsenergie opnemen, het grootste verschil in snelheid geven, en dat de meest ernstige botsingen plaatsvinden bij lage snelheden.

2.5. Samenvatting

Uit de literatuur blijkt duidelijk dat de snelheid en massa van het botsvoertuig van grote invloed zijn op de botsweerstand van de mast. Naarmate deze twee factoren groter zijn, is de botsweerstand van de paal kleiner. De Amerikaanse resultaten van botsproeven zijn daarom voor de Europese (Nederlandse) situatie moeilijk te interpreteren aangezien in Amerika in bijna alle gevallen Amerikaanse auto's voor de botsproeven gebruikt zijn. Bij een vergelijkbare proef waarbij een Europese auto werd gebruikt bleek de waarde voor het snelheidsverlies tweemaal zo groot. In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de door middel van botsproeven geteste lichtmasten. Het blijkt dat betonnen en stalen masten zonder breekvoorzieningen bijzonder star zijn. Een proef met een ingegraven betonnen mast met veiligheidsconstructie geeft bij een vrij hoge snelheid met een zwaar botsvoertuig redelijke resultaten. De stalen mast met schuifconstructie bleek zowel bij hoge en lage snelheden als bij lichte en zware botsvoertuigen goede resultaten te geven. Hoewel er bij stalen masten met andere typen botsveiligheidsconstructies bij een bepaalde snelheid en met een zwaar botsvoertuig wel eens goede resultaten behaald zijn, kan toch niet algemeen gesteld worden dat zo'n constructie voldoet.

Of de mast ingegraven is of op een fundering bevestigd wordt, maakt wat de botseigenschappen betreft weinig uit. Wel zullen ingegraven masten die niet van een breek- of schuifconstructie voorzien zijn, bij een aanrijding enigszins door de grondvervorming meegeven, maar in feite zullen het starre masten blijven. Van de Canadese ingegraven aluminium masten hadden de negen meter lange masten zonder veiligheidsconstructie een grote botsweerstand, terwijl masten met veiligheidsconstructies een lage botsweerstand te zien gaven. Van de in Nederland beproefde aluminium masten zonder veiligheidsconstructie bleken de tien meter masten beproefd met Europese auto's een lage botsweerstand te veroorzaken, terwijl de twaalf meter masten onder dezelfde condities een

botsweerstand opleverden die op de grens van het toelaatbare was. Met betrekking tot de corrosiebestendigheid behoeven ingegraven masten geen probleem te geven, aangezien zij goed geprepareerd kunnen worden.

Uit laboratoriumproeven is gebleken dat de lichtmast met schuifconstructie een bepaalde botshoek heeft die de minste weerstand oplevert. Het opstellen van deze mast langs de rijbaan dient bij voorkeur zo te geschieden, dat deze hoek overeenkomt met de meest voorkomende hoek van aanrijden. Bij het toepassen van lichtmasten met schuingeplaatste schuifconstructie (ter verkrijging van een extra lift, om te voorkomen dat de mast niet op de auto valt) dient men te bedenken dat de constructie alleen goed werkt als de mast van één zijde aangereden wordt. Dat maakt de mast niet geschikt om in een brede middenberm of in een zijberm van een enkelbaansweg geplaatst te worden.

Resultaten van ongevalanalyses en van een zijdelingse botsproef hebben aangetoond dat de afloop van een flankbotsing ernstiger kan zijn dan van een frontale.

Om te voorkomen dat na een aanrijding met een mast voorzien van een breek- of schuifconstructie spanning op de blootgeraakte kabel blijft staan, kan een beveiliging in de kabel toegepast worden.

Bij de in Nederland beproefde masten bleek de ligging van de masten na de aanrijding gunstiger te zijn dan bij de Amerikaanse. Wel blijkt uit de Amerikaanse proeven dat alleen de masten die met lage snelheid beproefd zijn, het verst op de rijbaan terecht zouden zijn gekomen. Tevens is bij lage snelheden de kans groter dat de mast op het dak van de auto terecht komt. Proeven wezen uit dat de indeuking veroorzaakt door lichtere masten dan geringer was. Bij hogere snelheden zal de paal zich in dezelfde richting bewegen als de auto en zal de top van de mast ongeveer op de oorspronkelijke plaats van de mast terecht komen.

Verder bleek uit Amerikaanse proeven dat de resultaten van slingerproeven wel onderling goed te vergelijken zijn, maar slecht met die van botsproeven. Door gebruik te maken van mathematische modellen kan het aantal empirische proeven gereduceerd worden.

3. ONDERZOEK AAN BEWEGWIJZERINGSBORDEN

3.1. Portaalconstructies

3.1.1. Botsproeven

Voor zover bekend zijn tot nu toe in Amerika door de Federal Highway Administration (26) acht botsproeven uitgevoerd met portaalconstructies en in Canada door het Department of Highways één (56). De proeven bestonden uit het botsen met een personenauto tegen één van de kolommen van een portaalconstructie. Na de proef beoordeelde men of de constructie nog wel voldoende stabiel was. In Amerika gold de eis dat het portaal dan bij een windsnelheid van 80 km/h nog overeind bleef.

A. Amerikaanse proeven

Afbeelding 17 toont de in Amerika beproefde portaalconstructie met een totale overspanning van 42 m. De dichtst bij elkaar staande kolommen (A en B; C en D) stonden op een afstand van 6 m van elkaar. Afbeelding 18 geeft de schuifconstructie van één van de kolommen weer; de vier bouten worden door middel van een borgplaat bij elkaar gehouden, zodat het verschuiven tijdens windstoten niet mogelijk is. Het aanhaalmoment van de bouten bedroeg 280 Nm. De kolommen zijn draaibaar aan de portaaloverspanning bevestigd. De testauto's waren zes Amerikaanse (massa 1600 - 2250 kg) en twee Europese (massa \pm 1000 kg). In vijf gevallen was de hoek van inrijden 0° , bij de overige drie 15° . De snelheden varieerden van 34 - 87 km/h.

Resultaten: Aangezien bij de tweede proef bleek dat ondanks de geringe botssnelheid van 41 km/h, de aangereden kolom zeer hoog opgeworpen werd (83°), bestond de vrees dat bij hogere snelheden de portaaloverspanning beschadigd zou worden. Aan de portaaloverspanning zijn toen met tweeërlei doel vier energieabsorbeers gemonteerd (afbeelding 19): ze moeten zowel voor de verdeling van de botskracht zorgen als voor de energie-opname. Bij de volgende proeven deformeerden ze zoals gewenst was: de maximale

rotatiehoek van de kolom bedroeg niet meer dan 68° .

De vertragingsopnemers registreerden dat de Europese auto's de hoogste piekvertragingen gaven: 22,4 en 30,8 g bij een snelheid omtrent de 77 km/h. De voertuig-piekvertragingen bij de Amerikaanse auto's kwamen niet boven de 20 g. De laagst gemeten g-waarde was 5,0 g. Als verklaring wordt genoemd dat de massa van de Europese auto's in verhouding tot de kolommassa veel kleiner is dan van de Amerikaanse. Bij één van de Europese auto's deformeerde het front dermate dat de kolom in de auto bleef steken. De auto werd aan de voorzijde zover opgelicht dat hij verticaal bleef hangen.

Als conclusie vermeldt het rapport dat de veiligheidsconstructie van de kolom de botskracht reduceert tot een niveau dat voor inzittenden met gordels om in een Amerikaanse auto niet dodelijk is. Verder bleek de constructie bestand tegen een aanrijding met een snelheid van 100 km/h van een voertuig met een massa van 2250 kg.

B. Canadese proeven

Bij de in Canada uitgevoerde proef met een portaalconstructie stonden de middelste palen zo dicht bij elkaar dat de tegelijk door een auto aangereden konden worden. Bij de proef werd echter tegen één paal gebotst (afbeelding 20).

De veiligheidconstructie bestond aan de voet uit een schuifconstructie en boven uit een "scharnier". Van de grootte van de overspanning en de sterkte tegen windbelasting wordt niets beschreven.

Resultaten: Bij het inrijden met een snelheid van 84 km/h met een inrijhoek van 0° werd de aangereden ondersteuner meer dan 180° opgezweept. Het gevolg was dat het andere scharnier brak, zodat de hele constructie bezweek. De auto werd niet ernstig beschadigd; het snelheidsverlies ten gevolge van de botsing bedroeg 4,5 km/h.

3.1.2. Mathematisch model

De resultaten bij een botsing met een portaalconstructie is van zeer veel factoren afhankelijk, zoals voertuigsnelheid, hoek van inrijden, voertuiggewicht, wrijvingsweerstand van de veiligheidsconstructie. Wil men elk van de factoren laten variëren dan is dit niet meer doenlijk met proeven op ware grootte (34). Federal Highway Administration heeft een mathematisch model ontwikkeld waarmee met behulp van een computerprogramma de resultaten kunnen worden bepaald bij het variëren van alle factoren. Deze resultaten konden geverifiëerd worden door een vergelijking met de resultaten van de door deze instantie uitgevoerde botsproeven (tabel 5.) Het blijkt dat de waarden niet ver uiteen liggen.

3.2. Bermborden

Uit de literatuur blijkt dat betrekkelijk veel onderzoek is verricht omtrent de botsveiligheid van bermborden. In het onderstaande is een onderscheid gemaakt tussen bermborden geplaatst op één en op meerdere palen.

3.2.1. Bermborden op meerdere palen

Bij dit type bord is de afstand tussen de palen zeer belangrijk. Staan de palen nl. te dicht bij elkaar dan is het mogelijk dat een van de weg afgeraakte personenauto beide palen raakt. Bij het ontwerpen van veiligheidsconstructies voor deze palen moet hier dan ook rekening mee gehouden worden.

Ook is het mogelijk dat de palen zover uit elkaar staan dat een personenauto normaal gesproken beide palen niet tegelijk kan raken.

Dit wezenlijke verschil heeft ertoe geleid dat beide ontwerpen afzonderlijk besproken zullen worden.

3.2.1.1. Geringe afstand tussen de palen

A. I-profiel

Bij het Texas Transportation Institute (44), (50) is een constructie ontworpen met palen van I-profiel (afbeelding 21.). De beveiliging bestaat uit een vlakke of onder een hoek geplaatste schuifconstructie iets boven de fundering (afbeelding 22.) en uit een scharnier ruim twee meter boven de fundering (afbeelding 23.).

Bij de proeven waarbij op twee palen ingereden werd, bleek dat alleen bij lage snelheid (\pm 40 km) het bord het dak nog raakte. Besloten werd toen te proberen de constructie tijdens de botsing een extra lift te geven door de schuifconstructie onder een hoek van 10° te plaatsen (afbeelding 24.). De proeven wezen uit dat er inderdaad sprake was van een extra lift, die bij inrijden onder een hoek van 15° minder hoog, maar toch nog wel voldoende was. Uit de schade van de auto bleek dat het botsen onder een hoek geen vergroting van de ernst van de botsing met zich meebracht. Bij de proef tegen één paal werkten schuifconstructie en scharnier goed, zodat de auto onder het bord door kon rijden, waarna de gehele constructie roteerde en bezweek.

B. Houten palen

Voor bermborden worden in Amerika ook houten palen gebruikt. Ter reducering van de botsweerstand werden de palen aan de voet verzwakt door inzagingen of doorboringen. Beide ontwerpen werden door Texas Transportation Institute (44) beproefd met een botsnelheid omtrent 70 km/h, waarbij op twee palen tegelijk ingereden werd.

De primaire indeuking was bij beide proeven dezelfde: indeuking bumper 10 cm, maar het bermbord met ingezaagde palen zorgde nog voor een deformatie van het dak - indeuking 11 cm - terwijl de andere opstelling de auto niet meer raakte.

Het Pennsylvania Department of Highways (51) heeft tien proeven met borden op twee houten palen gedaan. Negen keer liet men de auto op een van de beide palen inrijden en een keer op beide. De botssnelheid bedroeg steeds \pm 65 km/h. De palen (10x10, 15x15 en 15x20 cm) waren evenals de hierboven beschreven ontwer-

pen aan de voet verzwakt door inzagingen of doorboringen. Tevens was in de paal onder het tekstpaneel een verzwakking aangebracht die als scharnier zou moeten fungeren.

Bij de beoordeling van deze proeven was men alleen weer aangewezen op visuele waarnemingen: slechts in twee van de negen gevallen was er geen secundaire schade aan de auto en bij de aanrijding tegen beide palen scheurde het bord het dak open.

C. A-frame

Texas Transportation Institute (50) startte het onderzoek met het testen van drie bermboarden met een A-frame (afbeelding 25.). Twee van de drie hadden een veiligheidsconstructie: een doorsnijding van de buis twee meter boven de fundering waarbij de delen weer aan elkaar verbonden waren door een aluminium kern. De palen waren aan een fundering bevestigd. Het bleek dat het botsvoertuig weinig weerstand van de constructie ondervond en ook weinig schade opliep. Van deze proeven zijn geen voertuigvertragingen bekend. In verband met ontwerp, constructie en onderhoud zag men verder van deze constructie af (een nadere motivering wordt niet gegeven).

Afbeelding 26. toont het bermboard met A-frame dat in Nederland wordt geplaatst. De bevestigingspunten zijn draaibaar uitgevoerd. Afbeelding 27. toont het resultaat na een aanrijding met deze constructie. Gegevens omtrent botssnelheid en afloop voor de inzittenden ontbreken (2).

3.2.1.2. Grotere afstand tussen de palen

Bij dit type bermboarden is het niet mogelijk dat beide palen tegelijk worden geraakt, behalve als een auto (bijv. door te slippen) er zijdelings tegenaan botst.

Ook deze bermboarden (afbeelding 28.) is de reeds hiervoor beschreven constructie toegepast: aan de onderzijde van de palen een schuifconstructie, boven een scharnier (afbeelding 29.). Texas Transportation Institute (44) (67) deed drie botsproeven met snelheden tussen de 40 en 80 km/h; de laatste proef was onder een botshoek van 15° . De schade van de botsvoertuigen was

was relatief gezien gering. Van deze proeven zijn geen vertragingsscijfers bekend.

Het Department of Highways in Canada (56) heeft twee proeven gedaan met een door twee palen ondersteund tekstpaneel, waarbij de palen met breekbouten aan de fundering bevestigd waren. De eerste proef mislukte ten gevolge van een slechte las; de tweede (botsnelheid \pm 80 km/h) gaf een goede werking van de breekbouten te zien, maar het bord raakte nog wel het dak, de schade aan het voertuig was echter gering.

3.2.2. Borden op een enkele paal (Verkeersborden)

In Amerika is de paal bij de kleinere berm-borden veelal een galvaniseerde stalen pijp met een diameter van 5 tot 13 cm.

Door het Texas Transportation Institute (44) zijn met een botsnelheid van ca. 70 km/h palen beproefd met een diameter van 7,5 en 10 cm, die waren voorzien van een schuifconstructie en van een scharnier (afbeelding 30.).

De vlakke schuifconstructie werkte goed, maar de paal werd niet voldoende hoog opgeworpen, zodat de paal of op het dak of op de motorkap terecht kwam. Bij proeven met een paal voorzien van een schuinstaande schuifconstructie (hoek 20°) bleek dat bij een botsnelheid van 55 km/h de paal wél zo hoog opgeworpen werd dat de personenauto's vrije onderdoorgang hadden. Bij geen van de proeven had het scharnier gewerkt.

Aan de University of Cincinnati (4) is een proevenprogramma bestaande uit 40 proeven uitgevoerd. Getest zijn palen met U-profiel en palen met twee van deze U's tegen elkaar bevestigd (afbeelding 31.). Het gewicht varieerde van 2 tot 6 lb/ft voor de enkele versies en 6 en 8 lb/ft voor de dubbel uitgevoerde.

Men onderwierp zoveel mogelijk elk van de hierboven genoemde uitvoeringen aan een botsproef met diverse snelheden (tussen de 15 en 70 km/h) en met twee verschillende inrijhoeken (0° en 45°). De hoogst gemeten voertuig-piekvertraging werd tijdens een proef met de 8 lb/ft versie zowel in enkele als in dubbele uitvoering gevonden nl. 9 g, met als testcondities een snelheid van 70 km/h

en een inrijhoek van 0° . De hoogste waarde bij de 6 lb/ft versie bedroeg onder dezelfde testcondities 7,2 g. Bij de lichtere uitvoeringen werd een hoogste waarde van 4,3 g gemeten.

In de meeste gevallen bogen de zwaardere palen op maaiveldhoogte om, ook de dubbel uitgevoerde nadat de bouten die beide delen aanelkaar verbond, afgeschoven waren. De 2 en 3 lb/ft uitvoeringen hadden eerst de neiging bij een aanrijding boven de 50 km/h op bumperhoogte in de richting van de auto om te buigen, maar bogen daarna toch geheel om op maaiveldhoogte.

Slechts in één geval heeft een bord de voorruit van een auto geraakt en doen breken. Men constateerde dat als paal en bord met stalen bouten verbonden waren, de borden verder weggeslingerd werden, dan wanneer aluminium bouten gebruikt waren. Bij deze laatste verbinding raakte het bord eerder los, zodat het slinger-effect niet zo groot was.

De meeste palen waren ingegraven. Er waren echter ook diverse palen die in een betonnen fundering waren gezet: het gedrag van de paal tijdens de botsing vertoonde geen duidelijke verschillen. Het Road Research Laboratory (70) heeft twee botsproeven gedaan met een verlicht tekstpaneel op een stalen paal met schuifconstructie (afbeelding 32.). De massa van de testauto's bedroeg in beide gevallen 1100 kg en de botssnelheden waren 79 en 95 km/h. Het bord had een afmeting van 1,25 bij 1,25 m en had een massa van 80 kg. De onderkant van het eerste bord bevond zich voor de proef twee meter boven het maaiveld en van de tweede drie meter. De voertuig-piekvertraging was bij de eerste proef 5,1 g, bij de tweede werkte de meetapparatuur niet. Bij de eerste proef raakte de constructie tijdens de secundaire botsing hoofdzakelijk het dak en bij de tweede proef hoofdzakelijk het kofferdeksel, waarbij in beide gevallen de schade niet ernstig was.

Het Department of Highways in Canada (56) heeft twee palen beproefd waaraan naar twee zijden uitgebouwde tekstpanelen waren bevestigd (afbeelding 33.).

De botssnelheid bedroeg in beide gevallen 95 km/h. De proef met een paal zonder breekconstructie gaf een voertuig-piekvertraging

van 25 g, die met een paal met een breekconstructie een vertraging van 7,5 g.

Op verzoek van Rijkswaterstaat en de ANWB zijn door de SWOV drie borden van het inwendig verlichte type beproefd (61). De paal was 8 cm boven het maaiveld voorzien van een schuifconstructie onder een hoek van 10° , en had 210 cm boven het maaiveld een scharnierpunt.

Deze veiligheidsconstructies van Amerikaans ontwerp - reeds hiervoor beschreven - waren constructief aangepast voor Europese voertuigen (afbeelding 34.). De bouten van de schuifconstructie werden bij alle proeven aangehaald met een moment van 140 Nm en die van het scharnier met 50 en 70 Nm. Na afloop van de proeven bleek dat geen van de scharnierpunten gewerkt had.

De eerste twee proeven met botssnelheden van 89 en 63 km/h hadden een identiek verloop. De schuifconstructie werkte goed, met dien verstande dat het bord zo hoog opgeworpen werd dat de auto's er in beide gevallen onderdoor konden rijden. De voertuigschade was aanzienlijk. De Δv bedroeg bij de tweede proef 13,8 km/h; van de eerste zijn geen gegevens bekend. Het bord werd in beide gevallen ruim 6,5 m vooruit geworpen.

Bij de derde proef (botssnelheid 43 km/h) werkte de schuifconstructie wel goed, maar de paal kwam toch op het dak terecht; de oorzaak hiervan was niet met zekerheid vast te stellen. De berekende Δv tijdens deze botsing was 8,3 km/h.

3.2.3. Mathematische studie

In een mathematische studie van Texas Transportation Institute (42) werden de resultaten van proeven op ware grootte vergeleken met die van modellen. Grafieken tonen dit verschil en ook het verschil dat ontstaat door aanname van diverse parameters (afbeelding 35a en 35b). Bovenstaande studie en een vervolg hierop (8) resulteerde in aanbevelingen voor een ontwerp aangaande beveiligde bewegwijzeringsborden. Het ontwerp bepaalde zich tot

de maten en gewichten van te verwachten krachten in de volgende delen: bord, palen, bevestiging paal aan voet, verbindingsplaat bij "scharnier" en bevestiging van bord aan de palen.

Aan de University of Cincinnati (4) is ook een model ontwikkeld waarbij men volstond het gehele bewegingspatroon twee-dimensionaal te beschouwen. Hoewel men beseftte dat deze aanname bij inrijding onder een hoek discutabel was, kwam men aan de hand van de analyses van de aanrijding toch tot de conclusie dat de borden zich reeds direct na de botsing bewogen in de baan van het botsvoertuig. De twee-dimensionale aanname was dus gerechtvaardigd.

Een meer recente modelstudie van Texas Transportation Institute (33), herleid uit een modelstudie die bij lichtmasten ontwikkeld was, werd gebruikt om het gedrag tijdens botsen van borden op één en op twee palen te bepalen. De studie werd geverifieerd door het te vergelijken met een botsproef op ware schaal. De resultaten kwamen zeer goed overeen.

3.3. Samenvatting Bewegwijzeringsborden

3.3.1. Portaalconstructies

Uit Amerikaanse proeven is gebleken dat Europese auto's bij aanrijding tegen pijlers van portalen die van veiligheidsconstructies voorzien waren, een te grote vertraging opliepen. De botsing met Amerikaanse auto's was nog wel van dien aard dat inzittenden met autogordels de vertraging goed doorstaan zouden hebben.

De Canadese constructie bleek nog niet te voldoen, mede door het feit dat de middelste palen zo dicht bij elkaar staan dat ze tegelijk geraakt kunnen worden.

Het mathematisch model dat in Amerika is ontwikkeld lijkt bevredigende resultaten op te leveren.

3.3.2. Bermborden

A. Algemeen

Bij de proeven bleek dat paal en bord bij lage snelheden vaker voor de tweede keer in aanraking met de auto kwamen dan bij hoge snelheid. Ook bleek dat de kans kleiner werd dat het bord of de paal de auto raakte naarmate het bord hoger geplaatst was.

Bij een flexibele verbinding tussen paal en bord zal de botsweerstand kleiner zijn dan bij een starre. Ook werd geconstateerd dat de botsweerstand zal afnemen als het tekstpaneel in het midden zou kunnen scharnieren.

B. Bermborden op meerdere palen

De opstelling met I-profiel palen op geringe onderlinge afstand, en voorzien van een schuingeplaatste schuifconstructie en een scharnier, voldeed goed bij aanrijdingen (goede lift). Indien men met 15° afweek van de optimale inrijhoek kwamen bord en paal wel minder hoog de lucht in, maar toch voldoende hoog voor een

personenauto om er geheel onderdoor te kunnen rijden. Als één paal aangereken werd, werkte het scharnier wel; bij aanrijding van beide palen niet. Bij proeven met lage snelheid werd het dak door het bord geraakt. Bermborden met houten palen die plaatselijk verzwakt waren, voldeden goed t.a.v. de crash-aspecten. Met een A-frame behoeft de constructie minder star te zijn. Ondanks gunstige botsresultaten zag men in Amerika in verband met ontwerp, constructie en onderhoud van verdere proefnemingen af; deze drie motieven verschaffen echter niet veel duidelijkheid.

Met bermborden met een grote afstand tussen de palen, en uitgevoerd met schuifconstructie en scharnier, is niet veel geëxperimenteerd. De schade die Amerikaanse auto's tijdens de proef opliepen, was gering.

C. Bermborden op enkele paal (Verkeersborden)

Gegalvaniseerde stalen palen (\varnothing 7,5 en 10 cm) voorzien van een vlakke schuifconstructie werden minder hoog opgeworpen dan de palen met een schuingeplaatste schuifconstructie (hoek 20°). Bij geen van de proeven heeft het scharnier in de bovenzijde van de paal gewerkt.

Bij de zwaardere uitgevoerde palen van U-profiel zonder verdere veiligheidsconstructies, werd een tamelijk hoge vertraging gemeten; bij de lichtere versie een acceptabele vertraging.

De paal die een inwendig verlicht tekstpaneel ondersteunde en voorzien was van een schuingeplaatste schuifconstructie, werkte bij hogere snelheid goed, bij lagere snelheid werd het dak van de auto nog door de vallende paal met bord geraakt. Eenzelfde bermbord, maar voorzien van een vlakke schuifconstructie, raakte bij proeven in Engeland ondanks de een iets hogere voertuigsnelheid in beide gevallen nog de auto. De vertraging die bij één van deze proeven is gemeten was niet hoog (5,1 g).

Wat reeds bij de lichtmasten aan de orde gesteld is, geldt ook hier nl. dat schuingeplaatste schuifconstructies goed werken.

indien ze van één zijde aangereden worden. Dit maakt de toepassing voor in de niet-afgescherpte en de middelenberm van de zijberm van een enkelbaansweg niet geschikt.

D. Mathematische studie

Een recente modelstudie van Texas Transportation Institute wees uit dat het mogelijk was het model, dat ontwikkeld was voor de lichtmast, voor de bermorden geschikt te maken.

4. ONDERZOEK AAN OVERIGE OBSTAKELS

Over botsproeven met diverse andere vaste voorwerpen die langs de rijbaan voorkomen, zoals bomen, pijlers van viaducten, brugleuningen, huizen, trottoirbanden, verkeerszuilen, verkeersborden (al dan niet verlicht) of palen met verkeerslichten is in de literatuur verder niets te vinden.

In het hierna volgende zullen nog enkele botsproeven worden besproken die de SWOV heeft uitgevoerd met praatpalen, terwijl ook de interactie obstakel - geleiderailconstructie aan de orde komt.

4.1. Praatpalen

De SWOV (63) heeft in 1972 in opdracht van Rijkswaterstaat een aantal uitvoeringen van praatpalen beproefd. Afbeelding 36 toont het voor- en zijaanzicht. Zo'n paal bestaat uit een relatief zware kop met daaraan een mantel dat de binnenbuis geheel omhult. Kop met mantel worden op deze binnenbuis gemonteerd.

Bij twee proeven is een binnenbuis met een diameter van ruim 15 cm gebruikt. Daar verwacht werd dat een buis met kleinere diameter gemakkelijker door de grond zou snijden, werd bij een derde proef een doorsnede van de binnenbuis van 7,5 cm genomen. Nadat de palen geplaatst waren, werd de grond om de palen aangetrild. De botsvoertuigen waren in alle gevallen personenauto's uit de middenklasse en de botssnelheid bedroeg ruim 80 km/h.

Resultaten: Bij de proeven met de zwaardere binnenbuizen knikten beide buizen op maaiveldniveau iets om. Bij de eerste proef brak de kop af en werd het omhulsel door de auto van de binnenbuis afgetrokken. Het bovineind van dit omhulsel hapte in de grond waarna het als hefboom werkte, zodat de auto aan de voorzijde werd opgelicht.

Bij de tweede proef brak de kop niet af en schoof het omhulsel niet van de binnenbuis, daar een verbeterde bevestiging toegepast werd. Wel werd bij deze proef geconstateerd dat de gehele paal uit de grond getrokken werd. De maximum voertuigvertraging

was in beide gevallen omstreeks 10 g, de Δv in beide gevallen 20 km/h.

De lichte binnenbuis bij de derde proef knikte onder de grond ter hoogte van de kabelomvoer geheel om, en werd daarna geheel uit de grond getrokken. De maximum voertuigvertraging was in dit geval wel lager (5,7 g), maar de zware kop brak af, hetgeen evenwel in dit geval geen gevaar voor de inzittenden opgeleverd zou hebben. De Δv bedroeg 13 km/h.

4.2. Bermbeveiligingsconstructies en obstakels

Voor de botsveiligheid van in Nederland te gebruiken geleiderailconstructies wordt verwezen naar het SWOV-rapport *Bermbeveiliging*. Over de interactie tussen beveiligingsconstructie en obstakels kan nog het volgende worden opgemerkt:

Indien beveiligingsconstructies en al-dan-niet beveiligde palen en borden in de berm worden geplaatst, dient men wel te bedenken dat elk van deze constructies een specifieke werking hebben. Ze dienen zo opgesteld te worden dat bij een aanrijding de ene constructie niet in z'n werking belemmerd wordt door de andere. Hoe de werking van een flexibele geleiderailconstructie nadelig wordt beïnvloed door een in, of vlak achter de constructie geplaatste lichtmast, heeft de SWOV door middel van proeven met een demonstratief karakter aangetoond (60).

Een VW-bestel werd met diverse snelheden onder een inrijhoek van 20° tegen de bermbeveiligingsconstructie gereden op een punt ± 4 m voor de lichtmast (in rijrichting gezien). De botsing met de hoogste snelheid (90 km/h) toonde het duidelijkst aan dat de rail eerst vloeiend doorboog, maar ter hoogte van de lichtmast ging knikken. Dit had tot gevolg dat de auto eerst tegen de lichtmast botste en daarna, ten gevolge van de grote uitrijhoek (45°) over de kop sloeg.

5. ONDERZOEK AAN OBSTAKELBEVEILIGERS

5.1. Algemeen

De obstakelbeveiliger is een voorziening die ontworpen is om alleenstaande starre obstakels langs autowegen af te schermen. Deze obstakels kunnen constructies zijn die niet verplaatst of niet van een botsveilige constructie voorzien kunnen worden, zoals portalen, pijlers van viaducten of puntstukken. (Een puntstuk wordt gevormd door het begin van twee bermbeveiligingsconstructies, die op splitsingen en samenvoegingen van wegen bij elkaar komen). Juist dit puntstuk kan een zeer gevaarlijk obstakel zijn, daar bij afsplitsing van wegen veel (late) manoeuvres worden uitgevoerd. Het onderzoek naar obstakelbeveiligers heeft zich in hoofdzaak toegespitst op de beveiliging van dergelijke puntstukken.

5.2. Testcriteria

De obstakelbeveiliger kan op twee manieren werken. Ten eerste: bij aanrijding op de punt ervan wordt de auto tot stilstand vertraagd doordat de beveiliger energie kan opnemen. Ten tweede: bij aanrijding tegen de zijkant kan de obstakelbeveiliger het voertuig van richting doen veranderen, zodat het langs de beveiliger en het obstakel geleid wordt. De werking wordt bevredigend geacht, als het vertragen dan wel geleiden met een vertraging plaatsvindt die niet boven de waarde komt zoals genoemd in hoofdstuk 1. Vermeld dient te worden dat deze criteria (zie De testcriteria) die in Amerika worden aangehouden voor botsproeven met obstakelbeveiligers zijn opgesteld door de Federal Highway Administration (69). Vermeld dient te worden dat deze criteria (zie tabel 6) uitsluitend op Amerikaanse onderzoeken gebaseerd zijn.

5.3. Botsproeven

In de literatuur worden een aantal verschillende soorten obstakelbeveiligers beschreven. Hieronder volgt een beschrijving van de diverse voorzieningen en de resultaten van de proeven.

5.3.1. Obstakelbeveiligers van metalen vaten

Uitvoering: Obstakelbeveiligers van metalen vaten bestaan uit diverse rangschikkingen van \pm 40 (lege) 200-liter drums. De totale lengte bedraagt ca. 7 meter. De beveiliging neemt bij aanrijdingen energie op doordat de vaten in elkaar gedrukt worden. Om de zijdelingse stabiliteit te verhogen zijn in de lengterichting kabels aangebracht.

Ontwikkeling: De eerste proeven (20, 21) werden uitgevoerd zonder dat aan de zijkant geleidingsplaten waren aangebracht. Het gevolg was dat de voertuigen bij inrijden onder een hoek in de zijkant haptten, hetgeen resulteerde in een hoge, niet acceptabele vertraging. Daarna is geëxperimenteerd met geleidingsplaten, maar deze waren in eerste instantie te hoog en te breed; bij botsingen op de neus van de obstakelbeveiligers haptten deze platen in de grond, zodat dan een te grote weerstand en dus een te grote vertraging van het voertuig werd verkregen (19). De opstelling van de vaten was eerst zo gekozen dat de beveiliging aan de voet breder was. De zijkant van de constructie maakte een hoek van 8° met de lengteas. Dit betekent onder andere dat deze constructie minder geschikt is voor smalle punten en dat de inrijhoek van de zijkant van de constructie groter is dan het geval is als de opstelling overal even breed is.

Proeven: In een later stadium zijn proeven uitgevoerd met een constructie als in afbeelding 37 (14). Deze opstelling heeft ten aanzien van de eerder genoemde de volgende wijzigingen ondergaan:

1. kleinere geleidingsplaten;
2. opstelling overal dezelfde breedte;
3. voorste vaten verder uit elkaar: zodoende wordt een "zachte" neus verkregen;

4. drie typen vaten, nl. gemakkelijk vervormbare, minder gemakkelijk en moeilijk vervormbare vaten.

Deze constructie is driemaal beproefd: tweemaal onder een hoek en éénmaal evenwijdig aan de lengteas. In tabel 7 zijn de resultaten te vinden.

Bij de beide botsingen onder een hoek was de auto na de proef nog stuurbaar. Wel was de voertuigvertraging bij de 20^o-proef aan de hoge kant, maar de tijdsduur van deze piek was kort.

De derde proef zonder inrijhoek werd met een Europese auto uitgevoerd (ca. 1000 kg lichter). Uit de waarde van de longitudinale vertraging is op te maken dat deze aan de hoge kant is. Uit andere botsproeven zonder inrijhoek bleek, dat de voertuigpiekvertraging bij de Amerikaanse auto aanzienlijk lager lag dan bij de Europese (21).

Een zelfde opstelling als hiervoor beschreven is, maar dan met drums zonder top- en bodemplaat, wees uit wat de gevolgen zijn als de drums niet goed verankerd zijn. Bij de botsproef op de neus van de obstakelbeveiliger, deformeerden de voorste vaten (tot en met de zesde rij) aanvankelijk goed. Daarna zetten deze vaten zich af tegen de volgende, waardoor het gedeformeerde pakket naar boven omklapte met het gevolg dat ook de auto omhoog kwam en over de rest van de vaten en het obstakel vloog.

5.3.2. Obstakelbeveiligers van met zand gevulde kunststofvaten

In 1967 zijn door Fitch meer dan 30 proeven uitgevoerd om een obstakelbeveiliger te testen bestaande uit zakken gevuld met zand die door middel van afstandhouders op zwaartepuntshoogte werden gehouden (28). Bij sommige proeven met chauffeur was de snelheid boven de 95 km/h.

Daarna is, in hoofdzaak door Fitch, de obstakelbeveiliger ontwikkeld die bestaat uit een rangschikking van aantallen kunststofvaten geheel of gedeeltelijk gevuld met zand.

De vernietiging van de kinetische energie van het botsvoertuig vindt plaats doordat de vaten successievelijk stukspringen, zo dat steeds weer een bepaalde hoeveelheid "zwevend" zand de energie opneemt. Door de hoeveelheid zand in de vaten te variëren, is het mogelijk een vat meer of minder energie te laten opnemen. De vaten kunnen dan ook zodanig worden gevuld dat een gelijkmatige voertuigvertraging verkregen wordt. Het zwaartepunt van de zandmassa dient zich ongeveer ter hoogte van het zwaartepunt van een personenauto te bevinden. In de vaten met weinig zand wordt dit gerealiseerd door het zand op hoogte te houden door vrijwel massaloze afstandhouders. Door hun specifieke werking kunnen de vaten vrij geplaatst worden (dus zonder verankering e.d.), waardoor het mogelijk is door een juiste rangschikking ze voor diverse typen obstakels geschikt te maken (afbeelding 38).

De Fitch obstakelbeveiliger

Uitvoering: Afbeelding 39 toont de afzonderlijke delen van een vat zoals dat door Fibco Inc. gefabriceerd wordt. Het waterbestendige vat is gemaakt van polytheen dat door een spuitproces poreus gemaakt is. De vaten worden met de volgende zandmassa's gevuld: 200, 400, 700, 1400 en 2100 lb. Dit zand wordt met uitzondering van de 2100 lb versie op hoogte gehouden door polystyreen afstandhouders; de zandmassa bij het 2100 lb vat ligt direct op de bodem. De diameter van alle vaten is 90 cm, de hoogte is echter bij de 200 tot 700 lb versies 75 cm en bij de 1400 en 2100 lb versies 90 cm (10).

Proeven: Met deze vaten heeft Fibco Inc. diverse proeven genomen (zie proevenserie 1). Aangezien deze proevenserie niet wetenschappelijk verantwoord opgezet was, heeft het Department of Public Works van de staat California drie proeven uitgevoerd (zie proevenserie 2).

Verder heeft de SWOV in opdracht van de Werkgroep Obstakels, drie botsproeven gedaan met obstakelbeveiligers van vaten uit diverse kunststoffen, en een proef met de originele Fitch obstakelbeveiliger (zie proevenserie 3).

Proevenserie 1

Van de acht proeven die door Fibco Inc. (10) zijn uitgevoerd waren er drie waarbij een chauffeur - met driepuntsgordel om - de auto bestuurde. In zeven gevallen was de snelheid 80 km/h en in één geval 65 km/h. Er waren twee botsingen waarbij Europese auto's met een massa van 760 kg gebruikt zijn. Men heeft één auto onder een hoek van 25° laten botsen. Achter de beveiliging was geen obstakel geplaatst.

Van alle proeven zijn de gemiddelde vertragingen bekend, afgeleid uit botssnelheid en afgelegde weg, en van vijf de grafisch geregistreerde vertragingen, waarbij de vertraging tegen de afgelegde weg zijn uitgezet (zie afbeelding 40). Als de gemiddelde vertragingen onderling vergeleken worden, blijkt dat een Europese auto een hogere vertraging heeft bij dezelfde botssnelheid dan een Amerikaanse (allebei meer dan 5 g).

In de gevallen waarbij een chauffeur de testauto - geen Europese - bestuurde, liep hij geen letsel op. Verder wordt nog vermeldt dat na alle acht proeven de auto nog op eigen kracht weggereden kon worden.

De auto die onder een hoek van 25° botste, onderging geen richtingsverandering en slipte niet.

Bij de meeste proeven werd de auto niet binnen de lengte van de beveiliging tot stilstand gebracht. Als de beveiliging vlak voor een obstakel geplaatst zou zijn, zou de auto hiermee in aanraking gekomen zijn, maar dan wel met geringe snelheid.

Opmerking: Er van uitgaande dat de gemiddelde vertraging een reële waarde geeft, moeten de waarden van de grafisch geregistreerde vertragingen in twijfel getrokken worden, daar de maximum waarden wel erg laag liggen. Dat ze inderdaad te laag liggen is ten eerste zeer eenvoudig te controleren door de gemiddelde waarden van de vertraging te vergelijken met de piekwaarden (zie afbeelding 40): bijv. een gemiddelde vertraging van 5,2 g en een piekvertraging van 6,1 g.

Ten tweede kan de controle uitgevoerd worden door te stellen dat er geen energie verloren mag gaan of wel: energie voor de botsing is gelijk aan de opgenomen energie door de beveiliging.

In formule:
$$\int \Delta E_{\text{kin}} = \int F \cdot ds$$
$$\frac{1}{2}m (v_o - v_e)^2 = m \int a \cdot ds \quad \left(\begin{array}{l} v_o = \text{beginsnelheid;} \\ v_e = \text{eindsnelheid (0 m/s)} \end{array} \right)$$
$$\frac{1}{2}v_o^2 = \int a \cdot ds$$

De halve botssnelheid in het kwadraat moet dus gelijk zijn aan het oppervlak onder de kromme. Als dat niet blijkt te kloppen, is energie zoekgeraakt, hetgeen niet strookt met de beginselen der mechanica.

Voorbeeld; curve 4 (links onder):

$$v_o = 80 \text{ km/h} = 22,2 \text{ m/s} \quad \frac{1}{2} v_o^2 = 247 \text{ m}^2/\text{s}^2$$
$$\text{Oppervlak} = 187 \text{ m}^2/\text{s}^2, \text{ dat is } 24\% \text{ te weinig.}$$

Bij de andere krommes zijn overeenkomstige afwijkingen te constateren.

Proevenserie 2

Het Department of Public Works, California (41) heeft in het kader van een evaluatie van deze obstakelbeveiliger drie proeven met de Fitch-barrier en wijzigingen hieraan gedaan (afbeelding 41). Om de realiteit beter te benaderen werd achter de beveiliging een star obstakel geplaatst.

Als botsvoertuigen zijn in twee gevallen Amerikaanse auto's gebruikt en in één geval een in verhouding veel lichtere Europese; de botssnelheden bedroegen ca. 95 km/h. Alle proeven waren op de punt en inrijhoeken 0° of 15° . Zie voor een overzicht van de gegevens tabel 8.

Aan de beveiliging zijn bij proef 242 en 243 enkele wijzigingen aangebracht ten opzichte van proef 241 (zie ook afbeelding 41). De voorste vaten werden lichter gemaakt om een "zachtere" neus te krijgen en in het midden zijn twee extra vaten toegevoegd. Aangezien bij de eerste proef bleek dat brokstukken en zand voor het puntstuk een verhoging vormden, zodat het botsvoertuig gedeeltelijk over de rail schoot, werd tevens besloten de achterste vaten niet geheel met zand te vullen en de afstand van deze vaten tot het puntstuk iets te vergroten.

Bij de eerste proef werden de deksels van de vaten een aanzien-

lijk eind weggeworpen. Bij de volgende proef werd daarom besloten alle deksels door middel van een katoenen koord met elkaar te verbinden.

Uit tabel 8 blijkt dat de voertuigvertraging van de drie proefauto's elkaar niet veel ontlopen (van 7,9 to 10,7 g).

De vertraging gemeten in de kop van de dummy bedroeg bij proef 242 echter resp. 20 en 10 g meer dan bij de proeven 241 en 243.

De verklaring die hiervoor wordt gegeven is dat de voertuigvertraging bij de VW in het begin een stijler verloop had dat het interieur van de VW minder schokabsorberend was door een afwijkende besturingstechniek.

De beschreven verandering aan de obstakelbeveiliger bij de laatste proeven ten opzichte van de eerste hebben gunstige resultaten opgeleverd.

Proevenserie 3

Om voor Nederland een identieke, maar goedkopere versie van de Fitch obstakelbeveiliger te vinden, heeft het Kunststoffen en Rubber Instituut TNO (27) enkele proefseries vervaardigd, die door de SWOV (64) beproefd zijn. Deze botsproeven op ware schaal waren noodzakelijk, daar het gedrag van het voor de vaten gebruikte materiaal niet zonder meer uit de bekende slagvastheidseigenschappen voorspeld kon worden.

De volgende materialen werden voor de proefseries gebruikt:

PK 1: polyetheen, hoge dichtheid dikte 5 mm

PK 2: hardpapier (pentinax) dikte 1,5 mm

PK 3: PVC (week polyvinylchloride) dikte 3 mm

Om de botsresultaten van deze nieuwe series te kunnen verifiëren, werd als laatste een botsproef gedaan met de originele Fitch obstakelbeveiliger (PK 4).

Om een vergelijking tussen de proeven mogelijk te maken, is steeds dezelfde opstelling beproefd (afbeelding 42), waarbij in alle gevallen een Opel Rekord als botsvoertuig werd gebruikt. De botssnelheden van de vier proeven lagen tussen de 78 en 90 km/h. In de afbeelding is tevens botsrichting en botspunt aangegeven.

Uit afbeelding 43, waarin de vertragingsskrommes van alle vier proeven staan afgebeeld, blijkt dat alleen PK 1 er het meest uitspringt. Dit is het gevolg van het feit dat de vaten niet stuksprongen, maar platgedrukt werden. Verder kan opgemerkt worden dat de eerste piek van de PK 3-curve lager ligt dan de overige en dat de grootte van de toename van de vertragingen van PK 3 en PK 4 relatief het minst zijn. Het voertuig dat bij proef PK 4 is gebruikt, kwam na ongeveer 290 ms omhoog: uit de vertragingsskromme blijkt dat dit voertuig toen zijn grootste vertraging reeds had gehad.

Bij het beoordelen van de gemiddelde vertragingen uit tabel 9 blijkt dat de waarde van de PK 4-proef het kleinst is. De totale afgelegde weg van dit voertuig (618 cm) wijst uit dat door een ongunstig afwijkend gedrag, het omhoog komen, dit botsvoertuig de grootste weg heeft afgelegd, waardoor de gemiddelde vertraging een optimistischer beeld vertoont.

5.3.3. Obstakelbeveiligers van blokken poreus beton

Uitvoering: Deze obstakelbeveiliging bestaat uit de opstelling van een serie open blokken poreus beton, die door middel van kabels en verbindingen bij elkaar worden gehouden (afbeelding 44). Bij het rijden tegen de beveiliging heeft dit beton de eigenschap dat het gemakkelijk verpulvert.

Ontwikkeling: De constructie heeft de volgende ontwikkeling ondergaan (afbeelding 45 toont deze ontwikkeling):

1. De lengte was eerst 3,70 m; dit gaf een te hoge max. vertraging, nl. 10,5 g met een botsnelheid van 66 km/h (23).
2. De lengte werd 7,00 m; dit gaf ook een te hoge max. vertraging nl. 20,5 g met een botsnelheid van 95 km/h (23, 24).
3. Daarna werd de neus "zachter" gemaakt; de lengte werd 7,20 m; de proefresultaten van deze constructie zijn vermeld in tabel 10; (23, 24).
4. Daarna zijn zijplaten aangebracht om te voorkomen dat de auto bij botsingen in de flank een te hoge vertraging zou krijgen ten gevolge van de discontinuïteit aan de zijkant (25). Afbeelding 44

toont een gedetailleerde tekening met afmetingen.

Proeven: Met deze opstelling werden drie proeven uitgevoerd, waarvan twee onder een hoek. De botsproef onder een hoek van 0° werd met een Europese auto (Volvo) gedaan. De proefresultaten zijn vermeld in tabel 11.

Bij de eerste proef (inrijhoek 10°) werd de auto langs de constructie geleid, bij de tweede proef (inrijhoek 20°) sloeg de auto over de kop. De derde proef (Europese auto, inrijhoek 0°) gaf een bijzonder hoge vertraging te zien.

5.3.4. Obstakelbeveiligers van watergevulde cilinders

Uitvoering: Deze obstakelbeveiliging bestaat uit een rangschikking van dunne, hoge, met water gevulde cilinders, diameter 15 cm, hoogte 90 cm (afbeelding 46). Boven in de cilinders zijn gaten aangebracht, zodat het water bij een aanrijding via deze gaten eruit geperst kan worden. Door de grootte van de gaten te variëren kan men de cilinder "harder" of "zachter" maken (11, 72).

Met diverse opstellingen is geëxperimenteerd, nl. met rechthoekige en conische opstellingen, maar ook met "stapeling" van verschillende rechthoeken. Het aantal cilinders kan daarbij variëren van 72 tot 126 stuks. Aangebrachte kabels in de lengterichting van de obstakels zorgen voor zijdelingse steun.

Proeven: Ondanks de diverse opstellingen, bleek dat de maximum vertraging in hoofdzaak afhankelijk was van de botssnelheid (zie tabel 12). Als nare bijkomstigheid werd tijdens de proeven gevonden dat de auto's na de botsing vele meters teruggeworpen werden. Als voordeel wordt genoemd dat de cilinders (mits niet gescheurd) na de botsing weer te gebruiken zijn door ze met water bij te vullen.

Er zijn ook proeven gedaan met inrijden onder een hoek van 20° (5). De piekvertraging in de langsrichting was in het eerste geval 14,6 g en in het tweede 8,9 g. In dwarsrichting was deze vertraging resp. 5,7 en 9 g. Doordat bij de eerste proef de verankeringkabels losschoten, sloeg de auto over de kop. Bij de tweede

proef kreeg de auto door de constructie een lift, waarbij ook hier de auto over de kop ging.

5.3.5. Obstakelbeveiligers met schokdempers

Uitvoering: Van de obstakelbeveiligers met schokdempers zijn er twee uitvoeringen, waarbij een schokdemper gebruikt wordt als absorbeerder van de botsenergie.

Het eerste type, bestaand uit een van buizen vervaardigd puntstuk dat bewegingsvrijheid heeft door het indrukken of uittrekken van de schokdempers, is ontworpen door Aerospace Research Associates. De Amerikaanse benaming is TOR-SHOK-barrier (afbeelding 47). Het tweede type (afbeelding 48) is een soort geleiderail, die bij aanrijding om een spil naar buiten kan draaien, waarbij een wrijvingsdemper dan voor de energie-absorptie zorgt. Dit type wordt ROTO-SHOK-barrier genoemd.

Proeven: Van de TOR-SHOK-barrier zijn aanvankelijk eerst drie schaalmodellen gemaakt, waarbij men variatie aanbracht in de hoek van de neus: 15, 60 en 90° (35). Met de uitvoering met een neushoek van 15° heeft men diverse proeven uitgevoerd. De laagste vertraging (piekwaarde 13 g) werd gemeten tijdens een botsing op de punt met een botssnelheid van 55 km/h. De andere frontale botsingen met hogere snelheden gaven een piekvertraging boven de 20 g (1), (18), (22). Bij aanrijdingen onder een hoek was de piekvertraging ± 28 g, waarbij zelfs in één geval de auto niet geleid werd, maar in de constructie hapte. In alle gevallen was bij een vertraging van meer dan 20 g de schade aan het voertuig zeer ernstig.

De enige ons bekende proef met de ROTO-SHOK-barrier was er een tegen de zijkant van deze opstelling (22). De proefgegevens en resultaten zijn vermeld in tabel 13.

Opmerking: Als zeer nadelig punt van deze obstakelbeveiligers moet genoemd worden, dat weer een nieuw obstakel gecreëerd wordt, nl. de voorkant van deze beveiliging. Een ander nadeel is dat de rail draaibaar moet zijn: hij moet dan ook op een afstand van ± 1,50 m voor het obstakel geplaatst worden.

5.3.6. Andere uitvoeringen

A. Gebruikte autobanden

Goodyear Tire & Rubber Company (12) heeft een botsproef uitgevoerd tegen een obstakelbeveiliger die uit een lange rij gebruikte autobanden bestond. De botssnelheid bedroeg 67 km/h en de auto werd binnen 3,60 m gestopt. Voor zover bekend zijn er geen proeven uitgevoerd met inrijden onder een hoek.

B. Houten palen en buizen van gewapend beton

Texas Transportation Institute en FHWA hebben een beveiliging ontworpen en getest bestaande uit een serie houten palen, verticaal in de grond staand, vier naast elkaar en veertien in de lengterichting (38). Het voertuig werd na aanraking met de voorste palen opgelicht en kwam op de palen tot rust, (afbeelding 49). Ook maakte men een soortgelijke opstelling van vijf rijen gewapend betonnen rioleerbuizen met een diameter van 75 cm en een hoogte van 185 cm; de lengte boven de grond bedroeg 60 cm. Ook bij deze proef kwam de auto omhoog, nadat hij twee rijen kapot gereden had en kwam op de buizen tot stilstand. De maximum voertuigvertraging was 20 g en de gemiddelde 9 g (54).

C. Blokken schuim

Southwest Research Institute (38) heeft een obstakelbeveiliger ontwikkeld opgebouwd uit blokken schuim (natriumsilicaat). Er zijn reeds proeven met deze opstelling uitgevoerd, waarvan tot dusver geen resultaten bekend zijn.

Ook Texas Transportation Institute heeft een obstakelbeveiliger samengesteld uit blokken "polyurethane foam" met een hoogte van 90 cm.

De voorste blokken hadden een soortelijke massa van ongeveer 30 kg/m³ en de achterste een s.m. van ongeveer 80 kg/m³ (ter vergelijking: een hard polyether matras heeft een s.m. van 30 kg/m³). De obstakelbeveiliger was omgeven door metalen platen en werd door houten palen op zijn plaats gehouden.

Tijdens de botsproef kwam de auto iets omhoog en vlogen er diverse blokken schuim uit de obstakelbeveiliger; het voertuig werd gestopt met een gemiddelde voertuigvertraging van 19.9 g.

D. Buigzame buizen

Cornell Aeronautical Laboratory (65) heeft speciaal ter beveiliging van pijlers van viaducten diverse constructies ontworpen. De opstelling bestaat uit een aantal achter elkaar liggende buigzame buizen die op afstand van elkaar gehouden worden door kabels, harmonica-vormige buizen en honingraat-vormige betonblokken die bij aanrijding kunnen verkrumelen.

De buizen die als afstandhouders fungeren tussen obstakel en beveiligiger zijn in het laboratorium beproefd (53). Daarna heeft Cornell Aeronautical Laboratory (55) twee proeven met de constructie met kabels gedaan (afbeelding 50). De eerste proef werd niet geslaagd genoemd, daar de auto onder de voorste buizen doorreed, waardoor het passagierscompartiment ernstig werd beschadigd. Voor de tweede proef handhaafde men het principe, maar verbeterde deze op diverse punten en verbeterde ook de kabelconfiguratie. Bij deze tweede proef werd een 1750 kg zwaar wegende Ford personenauto gebruikt die men met een snelheid van 110 km/h onder een hoek van 10° op de neus van de obstakelbeveiliger liet inrijden.

De obstakelbeveiliger drong boven het chassis naar binnen en veroorzaakte zodoende veel schade. De gemiddelde voertuigvertraging bedroeg 8 g, terwijl diverse piekwaarden boven de 40 g uitkwamen. Opmerking: Ondanks dat C.A.L. vermeldt dat deze waarden nog acceptabel zijn, blijken de vertragingcurves, als ze met de curves van andere instituten vergeleken worden, zeer hoog uit te vallen.

E. Beveiligingscilinder

Traffic Safety and Highway Improvement Department of the Ford Motor Company heeft een beveiligingscilinder ontworpen die apart gefundeerd moet worden (afbeelding 51). Het apparaat (diameter 30 cm, hoogte 75 cm) is diverse keren door Traffic Engineering Department of Ann Arbor, Michigan beproefd; de resultaten worden echter niet beschreven (68).

De energie wordt geabsorbeerd door het samendrukken van het opvulmateriaal en het deformereren van de binnen- en buitenwand en door de deformatie van de topplaat, die door stang 1 naar beneden getrokken wordt.

F. Beveiligingsnet

Van Zelm Associates Inc. (13) heeft bij het ontwerpen van een beveiligingsconstructie een tennisnet voor ogen gehad. De beveiligingsconstructie (afbeelding 52a) wordt tussen twee betonnen palen gespannen en door middel van metalen strips aan deze palen bevestigd. Het net kan gedurende de botsing meer of minder meegeven, daar deze strips over een zekere afstand via een geleider kunnen afrollen (zie afbeelding 52b).

Texas Transportation Institute heeft dit systeem zes maal beproefd, waarvan vier proeven een gunstig resultaat opleverden.

Als toepassingsmogelijkheden voor dit systeem worden genoemd:

- a. aan het eind van doodlopende wegen;
- b. bij op- en afritten van ponten of bij in- en uitrijstroken van autowegen, daar waar inrijden verboden is;
- c. voor bepaalde obstakels in de zijbermen;
- d. als afschijding van pijlers van viaducten in de middenberm; deze laatste toepassing is als aanvulling op het afschermen van deze pijlers door middel van geleiderail-constructies.

5.4. Schaalmodellen en mathematische studie

5.4.1. Schaalmodellen

Er is een proef op schaal (1:25) uitgevoerd door Denver Research Institute met een obstakelbeveiliging van metalen vaten (5). De lege vaten, in werkelijkheid met een inhoud van 209 liter, waren aan elkaar en ter plaatse vastgemaakt, zodat de botsenergie door de plastische deformatie van de drums opgenomen werd. De auto was star, niet deformeerbaar. De resultaten van deze proef kwamen, vergeleken met die van vergelijkbare proeven op ware grootte, bijzonder goed overeen (afbeelding 53).

Men wil verder nog zijdelingse botsingen uitvoeren en nieuwe constructies beproeven.

5.4.2. Mathematische studie

Dr. Graham Powell (11) van de University of California, Berkeley, heeft een computerprogramma ontwikkeld om de botsing te kunnen beschrijven van een auto tegen een obstakelbeveiliger. De input van het programma bestaat uit een geïdealiseerde, willekeurig gekozen constructie van een obstakelbeveiliger, uit een auto, die door middel van veren rondom deformeerbaar is en uit de weg die de auto beschrijft voor de botsing. De output bestaat uit de na de botsing afgelegde weg tegen de tijd, uit snelheden, vertragingen, doorbuiging van de obstakelbeveiliger en krachten die de obstakelbeveiliger opneemt.

De studies die reeds met dit programma uitgevoerd zijn, zijn zeer bemoedigend. Verder onderzoek is nog nodig om de nauwkeurigheid te kunnen aangeven.

5.4.3. Berekeningen

Texas Transportation Institute (21) heeft berekeningen uitgevoerd ter bepaling van de energie-absorbatie van een obstakelbeveiliger. Aan de hand van deze berekeningen bepaalde men het aantal rijen en het aantal vaten in zo'n rij, die nodig zijn om de botsenergie te kunnen opnemen van een 1800 kg zwaar voertuig, dat met een snelheid van 100 km/h tegen de punt van de opstelling botst. Men geeft toe dat diverse factoren de juistheid van deze berekening beïnvloeden.

5.5. Samenvatting

5.5.1. Algemeen

Het zwaartepunt van de obstakelbeveiliger moet ongeveer op de hoogte liggen van het zwaartepunt van een personenauto. Ligt het zwaartepunt lager dan bestaat de kans dat het voertuig over de constructie heen schiet; ligt het hoger dan kan de auto onder de obstakelbeveiliger schieten en wordt mogelijk het passagierskompartment geraakt.

De obstakelbeveiliger dient te worden geïntegreerd in de gehele puntstukconstructie, om te voorkomen dat een nieuw obstakel gecreëerd wordt.

5.5.2. Resultaten botsproeven

Uit het overzicht van de botsproeven met obstakelbeveiligers (tabel 14) blijkt dat bij frontale proeven de obstakelbeveiliger van zandgevulde vaten de beste resultaten heeft opgeleverd. Bij de aanrijdingen in de flank van de opstelling blijken ook de obstakelbeveiligers van metalen vaten en van blokken poreus beton goede eigenschappen te bezitten, mits de inrijhoek onder de 20° blijft. Bij een proef met een inrijhoek van 15° tegen de flank van de obstakelbeveiliger van vaten gevuld met zand, is geconstateerd dat de auto door de gehele opstelling heen reed (botssnelheid 95 km/h).

Verder bleek deze constructie het nadeel te hebben dat de brokstukken ten gevolge van een aanrijding ver weggeslingerd werden. Gunstige resultaten werden bereikt met het aan elkaar binden van de deksels zodat kan worden voorkomen dat deze bij een aanrijding op de rijbaan terecht zouden komen. Bij de SWOV-proeven werd geconstateerd dat zelfs bij hoge snelheden (ca 80 km/h) na de aanrijding nog diverse zandvaten achter in de opstelling waren blijven staan: de opstelling had nog een bepaalde overcapaciteit. De resultaten van de botsproeven van de overige obstakelbeveiligers in de tabel tonen aan dat de werking niet bevredigend is.

Hoewel bij een opstelling van bijvoorbeeld een lange rij autobanden of blokken schuim bij een frontale botsing de voertuigvertraging wel een gunstig beeld te zien zal geven, zal de zijdelingse stabiliteit een moeilijk punt zijn.

Het beveiligingsnet heeft enkele interessante toepassingsmogelijkheden. Botsproeven hebben uitgewezen dat het niet in staat is voertuigen met een acceptabele vertraging tot stilstand te brengen.

5.5.3. Mathematische studie

De proeven met schaalmodellen hebben reeds goede resultaten opgeleverd. De resultaten van mathematische studie waren bevredigend. Verder is het mogelijk de energie-absorbatie van een obstakelbeveiliger te berekenen indien de inrijhoek 0° bedraagt.

LITERATUUR

1. Aerospace Research Associate. The Tor-shok reusable energy absorbing highway protective system, Mark II. Aerospace Research Associates, 1968.
2. A.N.W.B. Signalisation (Bewegwijzering). Koninklijke Nederlandsche Toeristenbond ANWB, 1970.
3. Buth, E. & Ivey, D.L. Full-scale vehicle crash tests of luminaire supports. Technical Memorandum 654-4. Texas Transportation Institute, 1971.
4. Cook, J.P. & Bodosci, A. Impact yielding sign support. In: Highway Research Record Number 346. Highway Research Board, 1971.
5. "Design of traffic safety barriers". In: Highway Research Record Number 343. Highway Research Board, 1971.
6. Dunlap, D.F. & Grote, P. Median dike impact evaluation: Sensitivity analysis. University of Michigan, 1972.
7. Edwards, T.C. The design and performance of safer luminaire supports. HRB Special Report 107 (pp. 149-157). Highway Research Board, 1970.
8. Edwards, T.C., Hirsch, T.J. & Olsen, R.M. Design criteria for break-away sign supports. In: Highway Research Record Number 222. Highway Research Board, 1968.
9. Edwards, T.C., Martinez, J.E., McFarland, W.F. & Ross, H.F. Development of design criteria for safer luminaire supports. NCHRP Report 77. Highway Research Board, 1969.
10. Forch inertial barrier system; Save lives/Minimize damage. Bulletin JF 10. Fibco Inc., 1969.

11. Galler, S. Gore cushions protect motorists. Public Works (1970)(May).
12. Goodyear. Persinformatie G.N.P. /179/71, 1971.
13. Hayes, G.G., Hirsch, T.J. & Ivey, D.L. Dragnet vehicle arresting system. In: Highway Research Record Number 306. Highway Research Board, 1970.
14. Hayes, G.G., Ivey, D.L., Hirsch, T.J. & Viner, J.G. A hybrid barrier for use at bridge piers in medians. (Modular crash cushion plus concrete median barrier). Technical Memorandum 505-15. Texas Transportation Institute, 1971.
15. Hignet, H.J. High speed impact test on a 40ft lighting column fitted with a break-away joint. RRL Report LR 67. Road Research Laboratory, 1967.
16. Hignet, H.J. A sideway impact test into a 12,2 m (40ft) lighting column fitted with a break-away joint. RRL Report LR 241. Road Research Laboratory, 1969.
17. "Highway barrier analysis and test program." Report No. VJ-1472-V-3. Cornell Aeronautical Laboratory, 1969.
18. Hirsch, T.J. Tor-shok energy absorbing protective barrier. Technical Memorandum 505-2. Texas Transportation Institute, 1968.
19. Hirsch, T.J., Hayes, G. & Ives, D.L. The modular crash cushion. Technical Memorandum 505-1S. Texas Transportation Institute, 1970.
20. Hirsch, T.J. & Ivey, D.L. Vehicle impact attenuation by modular crash cushion. Research Report 146-1. Texas Transportation Institute, 1969.
21. Hirsch, T.J., Ivey, D.L. & White, M.C. The modular crash cushion: Research findings and field-experience. H.R.B. Special Report 107. Highway Research Board, 1970.

22. Hirsch, T.J., Smith, H.L. & Ivey, D.L. Tor-shok and Roto-shok energy absorbing protective barrier. Technical Memorandum 505-25. Texas Transportation Institute, 1969.
23. Ivey, D.L., Buth, E. & Hirsch, T.J. Feasibility of lightweight cellular concrete vehicle crash cushions. In: Highway Research Record Number 306. Highway Research Board, 1970.
24. Ivey, D.L. Cellular cushions of lightweight concrete attenuates impact in fixed-object collisions. Texas Transportation Research, Vol. 6, nr. 1.
25. Ivey, D.L. Buth, E. Hirsch, T.J. & Viner, J.G. Evaluation of crash cushions construction of lightweight cellular concrete. Technical Memorandum 505-9S. Texas Transportation Institute, 1971.
26. Ivey, D.L. Olson, R.M. Buth, C.E. Hirsch, T.J. & Hawkins, D.L. Break-away overhead sign bridges, preliminary crash testing. In: Highway Research Record Number 346. Highway Research Board, 1971.
27. KRI-TNO. Beschrijving proefseries beveiligingstonnen. Rapport nr. KRI 19/'72. Kunststoffen en Rubber Instituut TNO, 1972.
28. Kudzia, W.J. & Jain, R. The Fitch inertial barrier and its performance in Connecticut. Traffic Engineering & Control 13 (1971) 2 (June): 64/65.
29. Laker, I.B. & Walker, A.E. Tests on 25ft mounting height group A street lighting columns with frangible joints based on single shear bolts. Laboratory Note No. LN/628/IBL.AEW. Road Research Laboratory, 1964.
30. McHenry, R.R. & Deleys, N.J. Vehicle dynamics in single vehicle accidents: Validation and extensions of a computer simulation. Report No. VJ-2251-V-3. Cornell Aeronautical Laboratory, 1968.

31. McHenry, R.R. & Segal, D.J. Determination of physical criteria for roadside energy conversion systems. Report No. VJ-2251-V-1. Cornell Aeronautical Laboratory, 1967.
32. Martinez, J.E. An analytical solution of the impact behaviour of luminaire support assemblies. Research Report Number 75-9. Texas Transportation Institute, 1967.
33. Martinez, J.E., Hirsch, T.J., Baskurt, Y. & Jumper, J.J. Effect of vehicle collision with aluminium roadside sign structures mounted on frangible bases. In: Highway Research Record Number 306. Highway Research Board, 1970.
34. Martinez, J.E., Olson, R.M. & Post, E.R. Impact response of overhead sign bridges mounted on breakaway supports. In: Highway Research Record Number 346. Highway Research Board, 1971.
35. Mazelsky, B., Chao, C.C. & Lin, S.R. An application of the Tor-shok principle to highway barrier design. Proceedings Program Review Meeting Research and Development of Traffic Systems. U.S. Department of Transportation, 1966.
36. Michalski, C.S. Model vehicle damage scale: A performance test. Traffic Safety Research Review 12 (1968) 12 (June): 34-39.
37. Michie, J.D. & Bronstad, M.E. Impact tests of luminaire supports. Southwest Research Institute, 1971.
38. Michie, J.D. & Bronstad, M.E. Location, selection and maintenance of highway traffic barriers. NCHRP Report 118 (pp. 89). Highway Research Board, 1971.
39. Michie, J.D. & Calcote, L.R. Location, selection, and maintenance of highway guardrails and median barriers. NCHRP Report 54. Highway Research Board, 1968.

40. Nordlin, E.F., Ames, W.H. & Field, R.N. Dynamic tests of five break-away lighting standard base designs. In: Highway Research Record Number 259 (pp. 6-23). Highway Research Board, 1969.
41. Nordlin, E.F., Stoker, T.R. & Doty, R.N. Dynamic tests of an energy absorbing barrier employing sandfilled frangible plastic barrels. Materials and Research Department Report 636405-4. California Division of Highway, 1971.
42. Olson, R.M. Development of break-away sign support structures. Proceedings Program Review Meeting Research and Development of Traffic Systems. U.S. Department of Transportation, 1966.
43. Olson, R.M., Post, E.R. & McFarland, W.E. Tentative service requirements for bridge rail systems. NCHRP Report 86. Highway Research Board, 1970.
44. Olson, R.M., Rowan, N.J. & Edwards, T.C. Break-away components produce safer roadside signs. In: Highway Research Record Number 174 (pp. 1-21). Highway Research Board, 1967.
45. Patrick, L.M., Mertz, H.J. & Kroell, C.K. Cadaver knee, chest and head impact loads. Proc. 11th Stapp Car Crash Conference. Society of Automotive Engineers, 1967.
46. Pelkey, R.E. Long span overhead sign structures. Survey for presentation at the 50th annual meeting of the Highway Research Board, 1971.
47. Ross, H.E. & Post, E.R. Criteria for guardrail need and location on embankments. Research Report Number 140-4. Texas Transportation Institute, 1971.
48. Ross, H.E. & Post, E.R. Tentative criteria for the design of safe sloping culvert grates. Texas Transportation Institute, 1972.

49. Rowan, N.J. & Edwards, T.C. Impact behaviour of luminaire supports.
In: Highway Research Record Number 222. Highway Research Board, 1969.
50. Rowan, N.J. & Olson, R.M. The development of safer highway sign support. *Traffic Engineering* 38 (1967) 2 (November): 46-50.
51. Sankey, F.C. Dynamic field test of wooden signposts. HRB Special Report 107 (pp. 158). Highway Research Board, 1970.
52. Sharp, M.L. & Young, R.F. Falling weight impact tests of lighting standards. Report No. 12-68-8. Aluminium Co. of America, 1968.
53. Shoemaker, N.E. Research and design on an impact absorbing barrier for fixed highway objects. Report No. VJ-2501-V-1. Cornell Aeronautical Laboratory, 1968.
54. Shoemaker, N.E. Research and design of an impact absorbing barrier for fixed highway objects. P.B. 188 543. Cornell Aeronautical Laboratory, 1969.
55. Shoemaker, N.E. Full-scale dynamic testing of the ductile beam barrier concept. Report No. VJ-2937-V-1. Cornell Aeronautical Laboratory, 1971.
56. Smith, P. Impact testing of lighting poles and sign supports 1967-68. Report No. RR 158. Department of Highways, Ontario, 1970.
57. Spicola, J.A. Break-away light poles help motorists avoid this, *Traffic Digest and Review*, 15 (1967) 9 (September): 3-8.
58. Stonex, K.A. Roadside conditions and traffic operations as factors in fatal accidents. Governor Reagan's Traffic Safety Conference, Los Angeles, December 1967.

59. Stonex, K.A. & Skeels, P.C. Development of crash research techniques at the General Motors Proving Ground. In: Highway Research Record Number 4. Highway Research Board, 1963.
60. SWOV. (W.H.M. van de Pol & ir. M. Slop). Flexibele geleiderailconstructies en lichtmasten in middenbermen. Wegen 43 (1969) 649 (dec) 358 t/m 361.
61. SWOV. Proeven "Uit"-borden. Intern memorandum. SWOV, 1968.
62. SWOV. Stalen en aluminium lichtmasten; Een beschrijving van een aantal ad-hoc proeven in opdracht van de Rijkswaterstaatswerkgroep Lichtmasten. SWOV, 1973.
63. SWOV. Praatpalen. Een beschrijving van een aantal ad-hoc proeven in opdracht van Rijkswaterstaat. SWOV, 1973.
64. SWOV. Obstakelbeveiligers. Een beschrijving van een aantal ad-hoc proeven in opdracht van Rijkswaterstaat. Intern memorandum. SWOV, 1972.
65. "Test and evaluation of vehicle arresting, energy absorbing, and impact attenuation systems". Final Report on Contract No. CPR-11-5851. Texas Transportation Institute, 1971.
66. U.S. Department of Transportation (Federal Highway Administration). Circular Memorandum, November 16, 1970.
67. United States Steel. The break-away sign post can help you save lives. United States Steel.
68. Vanderstempel, T.M. A device to lessen injuries in fixed object collisions. Traffic Engineering (1966) (November): 32.
69. Viner, J.G. Recent developments in roadside crash cushions. Office of Research, Federal Highway Administration, 1971.

70. Walker, A.E. Collision tests on motorway hazard signal posts fitted with break-away joints. RRL Report LR 312. Road Research Laboratory, 1970.
71. Walker, A.E. & Hignet, H.J. Break-away lighting columns. Highway & Public Works (1967) (May).
72. Warner, C.Y. Hydraulic-plastic cushions for attenuations of roadside barrier impacts. In: Highway Research Record Number 259 (pp. 24-34). Highway Research Board, 1969.
73. Werkgroep Lichtmasten. Obstakelwerking Lichtmasten. Nota nr. 72-09. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1972.

AANVULLENDE LITERATUUR

Onderwerpen die buiten het bestek van het onderzoek vielen, maar wel met daarin genoemde obstakels te maken hebben, staan hieronder genoemd met vermelding van de literatuur.

I. LICHTMASTEN

A. Lichttechnische aspecten

Mc Farland, W.F. & Walton, N.E. Economic and accident potential analysis of roadway lighting alternatives. Texas Transportation Institute, 1970.

Rowan, N.J. & Walton, N.J. Optimization of roadway lighting systems. Highway Research Record 216. Highway Research Board, 1968.

Schreuder, D.A. Lighting of discontinuities in the course of roads. Electrotechniek 44 (1966) 22 : 520 - 525.

Moore, R.L. & Christie, A.W. Research on traffic signs. Engineering for traffic conference, 1963. pp 113 - 122.

Christie, A.W. Some investigations concerning the lighting of traffic routes. Public Lighting 27 (1962) 119 : 189 - 199.

Harris, A.J. & Christie, A.W. Research on two aspects of street lighting: Accident statistics and road surface characteristics. Public Lighting 19 (1954) 83 : 553 - 563.

Tanner, J.C. & Harris A.J. Street lighting and accidents: Some British investigations. Road Research Laboratory, 1955.

U.S. Department of Transportation. A comparison of conventional overhead and low mounted (bridge rail-type) roadway lighting systems. Circulair Memorandum. U.S. Department of Transportation, 1968.

B. Technische gegevens lichtmasten

Crowther, R. Jordan, E.M. & Cox, P. The design and specification of high mast lighting. Public Lighting. (1967) 32 : 249 - 271.

Überg, D. Road lighting installations; Columns and span-wires. Svenska vägföreningens tidskrift (1967) 9 (transl.)

C. Kosten-aspecten

Witthof, D.K. The economic analysis of freeway lighting. Traffic Quarterly 21 (1967) 2 : 289 - 303.

D. Windbelasting

Door analyse van de windsnelheid is een vervangingsbelasting voor slanke constructies aan te geven, waarbij het dynamische gedrag in rekening wordt gebracht.

Koten, H. van. Een lichtmast als voorbeeld voor het berekenen van een eenvoudige door wind belaste constructie. De Ingenieur (1972) 28/29.

II. PORTAALCONSTRUCTIES

A. Trillingsdemper

Laboratoriumproeven hebben aangetoond, dat een trillingsdemper, midden onder de portaaloverspanning bevestigd, effectief werkt, teneinde het heen en weer schommelen van de portaal ten gevolge van windbelasting te reduceren.

Lengel, J.S. & Sharp, M.L. Vibration and damping of aluminium overhead sign structures. Highway Research Record. 259, Highway Research Board, 1969.

B. Buigingsformule

Om de kritische buigspanning van een ontwerp van een portaal te berekenen, stelde Texas Transportation Institute een geheel gewijzigde formule op.

Gunderson, R.H., Cetiner, A. & Olson, R.M. Buckling stress formulas for overhead sign bridge supports. Highway Research Record 346. Highway Research Board, 1971. pp. 11 - 23.

C. Meting verzakking

Gedurende acht jaar zijn metingen verricht betreffende de verzakking van portalen. Onderstaand rapport vermeldt de resultaten.

Behn, F.E. Final report on long-term load tests on cylindrical concrete foundations for overhead sign supports. Highway Research Record 152. Highway Research Board, 1967. pp. 120 - 124.

D. Jaloezie-vormige tekstpanelen,

Windtunnelproeven hebben aangetoond, dat jaloezie-vormige tekstpanelen ten aanzien van conventionele panelen de windbelasting reduceren met wel 50%.

Ross, H.E. Wind loads on louvered signs. Highway Research Record 346. Highway Research Board, 1971. pp. 47 - 57.

III. BEWEGWIJZERINGSBORDEN

A. Waarneembaarheid tekst(panelen)

Desrosiers, R.D. Highway signing research; A library survey of research pertaining to highway destination signs.

(met uitgebreide literatuurlijst)

Gerlough, D.L. & Wagner, F.A. Improved criteria for traffic signals at individual intersections. National Cooperative Highway Research Program Report 32. Highway Research Board, 1967.

2. Constructieve normen

Specifications for the design and construction of structural supports for highway signs. America Association of State Highway Officials, 1968.

3. Windtunnelproeven

Ross, H.E., Olsen, R.M. & Gaddis, A.M. An investigation of wind loads on roadside signs. Highway Research Record, 222. Highway Research Board 1968.

Wilson, F.M. & Maddox, B.W. Some recent innovations in wind tunnel testing techniques. National Aeronautic and Space Engineering and Manufacturing Meeting, 1969

Wind loads on roadside signs, Final Report of Project HPR-2(104), Highway Signs Support Research, Highway sign support structures, Volume 2. Texas Transportation Institute, July 1967.

TABELLEN EN AFBEELDINGEN BEHORENDE BIJ

OBSTAKELS IN WEGBERMEN

Een overzicht en beschrijving van in de literatuur beschreven onderzoek omtrent het gedrag bij botsingen van vaste voorwerpen die voorkomen in zones langs de rijbaan

R-73-2B

Voorburg, 1973

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

TABELLEN

Tabel 1. Maximum acceptabele voertuigvertragingen (g), onder voorwaarde dat de tijdsduur < 200 ms, en de toename van de vertraging < 500 g/s.

Tabel 2. Proefresultaten van een zijdelingse botsing met een lichtmast.

Tabel 3. Mathematische studie vergeleken met een werkelijke botsproef.

Tabel 4. Overzicht resultaten botsproeven.

Tabel 5. Vergelijking van de resultaten van werkelijke botsproeven en mathematisch model.

Tabel 6. Testcriteria in de U.S.A. voor proeven met obstakelbeveiligers.

Tabel 7. Resultaten van botsproeven met de obstakelbeveiligers van metalen vaten.

Tabel 8. Overzicht proeven met de Fitch-barrier (Dept. of Public Works).

Tabel 9. Resultaten proeven met zand gevulde vaten in Nederland.

Tabel 10. Overzicht resultaten proef met obstakelbeveiligers van blokken poreus beton zonder zijplaten.

Tabel 11. Overzicht resultaten proeven met obstakelbeveiligers van blokken poreus beton met zijplaten.

Tabel 12. Overzicht resultaten van proeven met diverse opstellingen van obstakelbeveiligers met watergevulde vaten.

Tabel 13. Resultaten van de proef met de Roto-Shok.

Tabel 14. Overzicht obstakelbeveiligers.

AFBEELDINGEN

Afbeelding 1. Percentages voertuigen met gewonde inzittenden die geen gordel gebruikten per gemiddelde voertuigvertraging bij frontale aanrijdingen.

Afbeelding 2. Mast met flens. A. Flange mounted steel pole; B. Flange mounted aluminium pole; C 1-2. Cast aluminium sleeve base.

Afbeelding 3. Mast met breekbaar voetstuk. A. Steel pole, steel transformer base; B. Steel pole, aluminium transformer base; C 1-2. Cast aluminium transformer base.

Afbeelding 4. Mast met breekbaar tussenstuk. A 1-2. Insert with drilled holes; B 1-2. Insert with milled holes; C 1-2. Insert with steel transformer base.

Afbeelding 5. Mast met afschuifconstructie.

Afbeelding 6. Mast gemonteerd met gekerfde bout(en).

Afbeelding 7. Mast met schuifconstructie. A. Door SWOV beproefd; B. Cambridge slip base; C. General Motors slip base; D 1-4. Triangular slip base.

Afbeelding 8. Conus.

Afbeelding 9. Borgplaatjes voor schuifconstructie.

Afbeelding 10. Voetplaat bij schuifconstructie.

Afbeelding 11. Ligging van de masten na aanrijding (TTI en SWOV).

Afbeelding 12. Zijdelingse botsing met mast met breekconstructie.

Afbeelding 13. Voertuigvertraging bij frontale en zijdelingse botsingen met lichtmasten met slipconstructie vergeleken met een frontale botsing met een lichtmast zonder voorzieningen.

Afbeelding 14. Mogelijke toepassingen van de pendulum.

Afbeelding 15. Vergelijking van de veranderingen van impuls tussen pendulum-proeven en autobotsproeven.

Afbeelding 16. Resultaten van een analytische studie.

Afbeelding 17. Portaalconstructie met vier kolommen met schuifconstructie.

Afbeelding 18. Schuifconstructie van één der vier kolommen.

Afbeelding 19. De vier gemonteerde schokabsorbeerders.

- Afbeelding 20. Canadese proef met kolom met schuifconstructie en scharnier.
- Afbeelding 21. Bermbord met schuifconstructie en scharnier.
- Afbeelding 22. Schuifconstructie.
- Afbeelding 23. "Scharnier" onder tekstpaneel.
- Afbeelding 24. Een vlakke en schuin geplaatste schuifconstructie.
- Afbeelding 25. Bermbord met A-frame (TTI).
- Afbeelding 26. Bermbord met A-frame (ANWB).
- Afbeelding 27. Gevolg van een aanrijding met bermbord ANWB.
- Afbeelding 28. Breed bermbord met grote paalafstand (TTI).
- Afbeelding 29. Schuifconstructie en "scharnier".
- Afbeelding 30. Details van schuifconstructie en scharnier van borden met enkele paal.
- Afbeelding 31. Enkel en dubbel U-profiel voor borden op een enkele paal.
- Afbeelding 32. Bermbord met schuifconstructie (RRL).
- Afbeelding 33. Tweezijdig uitgebouwd bermbord (Canada).
- Afbeelding 34.
A. Inwendig verlicht bewegwijzeringsbord door de SWOV beproefd.
B. Onder- en bovenflens van de schuifconstructie. C. Schuifconstructie onder hoek van 10° .
- Afbeelding 35a. Snelheidspatroon van model en botsvoertuig (simulatie en test).
- Afbeelding 35b. Vertragingverloop van model en botsvoertuig (simulatie en test).
- Afbeelding 36. Praatpaal met een dikke binnenbuis (door SWOV beproefd).
- Afbeelding 37. Obstakelbeveiliger van metalen vaten.
- Afbeelding 38. Mogelijke opstellingen van de Fitch-obstakelbeveiliger.
- Afbeelding 39. Het kunststofvat voor de Fitch-obstakelbeveiliger.
- Afbeelding 40. Vertragingen gemeten tijdens de Fibco Inc. proeven.
- Afbeelding 41. Opstellingen van de Fitch barrier tijdens de proeven van Department of Public Works, California.
- Afbeelding 42. Opstelling van de obstakelbeveiliger die door de SWOV beproefd is.

Afbeelding 43. Verdragingskrommen van de vier obstakelbeveiligerproeven (SWOV).

Afbeelding 44. Constructie obstakelbeveiliger van blokken poreus beton, zoals het laatst beproefd.

Afbeelding 45. Ontwikkeling van de obstakelbeveiliger van blokken poreus beton.

Afbeelding 46. Obstakelbeveiliger van met water gevulde cilinders.

Afbeelding 47. Obstakelbeveiliger met schokdempers (TOR-SHOK).

Afbeelding 48. Werking van de ROTO-SHOK.

Afbeelding 49. Afloop van een botsproef tegen de obstakelbeveiliger van houten palen.

Afbeelding 50. Obstakelbeveiliger van buigzame buizen, zoals die door Cornell Aeronautical Laboratory beproefd is.

Afbeelding 51. Beveiligingscilinder.

Afbeelding 52a. Beveiligingsnet.

Afbeelding 52b. Schematische voorstelling beveiligingsnet en strip met geleider.

Inzittenden dragen:	Max. acceptabele voertuigvertragingen (g)	
	in langsrichting	in dwarsrichting
Geen gordel	5	3
Heupgordel	10	5
Driepuntsgordel	25	15

Tabel 1. Maximum acceptabele voertuigvertragingen (g), onder voorwaarde dat de tijdsduur < 200 ms, en de toename van de vertraging < 500 g/s.

Piekvertraging transv.	13 g, tijdsduur 45 ms
Piekvertraging long.	3,8 g
Gemiddelde samengestelde vertraging	4,7 g, richting 80° voorwaarts in de langsrichting van de auto
Indeuking zijkant	23 cm
Δv	16 km/h

Tabel 2. Proefresultaten van een zijdelingse botsing met een lichtmast.

V_0 (km/h)	Voertuigsnelh.		Translatie	Paalrotatie	Tijdsduur
	Δv (km/h)	voertuig (m)	voertuig (m)	hoek t.a.v. zwaartepunt	contact paal-voertuig (ms)
Voertuig- simulator	59,0	1,65	1,18	15,5°	61
Elastisch model	59,0	1,55	0,96	14,6°	59,1
Star model	59,0	1,43	0,89	13,0°	54,6

Tabel 3. Mathematische studie vergeleken met een werkelijke botsproef.

Type veiligheids- constructie	Land	Materiaal masten	Hoogte	Botssnelh.	Max. voert. vertr. (g)	Δv (km/h)	ΔP (Ns)	Opmerk. ^{*)}
			(m)	(km/h)				
			Limiet		10 à 12	18	4900	
Flens-type	Am.	st/al	11,40		bijzonder grote vertraging			1
"	Am.	al	8,50	65		6,4		1
"	Am.	fibergl.	12,20	65		4,0		1
Breekb. voetstuk (st)	Am.	staal			bijzonder grote vertraging			
" " (al)	Am.	staal	12,20	hoog/laag		ca. 6,4	ca. 3000	2
" " (al)	Am.	al.	12	34/69		<8	<3500	1
" " (al)	Can.	al.	15	74/62		<8,5		
Breekb. tussenstuk (al)	Am.	staal	9	76		2,5	2350	1;3
" " (al)	Am.	staal	9	85		10	4580	1;4
Afschuifconstructie	Am.	staal	11	70		13	5400	1
"	Am.	staal	9	32	volgens fabrikant goede resultaten			1
Gekerfde bouten	Am.	staal	8,5	65 (meerdere proeven)		3	1800	1
" "	Am.	staal	8,5	25		zeer grote vertraging		1
" "	Eng.	staal	7,5	30		4,3-8,3		5
Schuifconstructie	Am./Eng.							
	Ned.	staal	9-12	hoog/laag	ca. 5	3-6	ca. 2900	6
Ingegraven (geen voorz.)	Can.	beton	9	80 (meerdere proeven)		bijzonder grote vertraging		} 1;7
" (met ")	Can.	beton	9	77		11		
" (geen ")	Can.	staal	9	86		11		} 1;8
" (geen ")	Can.	al.	9	ca. 80 (meerdere proeven)		ca. 18		
" (met ")	Can.	al.	9	65		8		1
" (geen ")	Ned.	al.	10	35/60		19/22		} 9
" (geen ")	Ned.	al.	10	66/93		10/4		
" (geen ")	Ned.	al.	12	100/70		21/24		
" (geen ")	Ned.	staal	10	105/93		64/45		
" (geen ")	Ned.	st.dunw.	10	82		51		
				5,5/6,5		4750/5500		
				5,5/4		2500/1000		
				10/12		5300/6000		
				15/14		11000		
				12,5		12800		

*) Voor de opmerkingen zie volgende bladzijde.

Tabel 4. Overzicht resultaten botsproeven.

Opmerkingen bij tabel 4 (vorige bladzijde)

1. Alleen met Amerikaanse auto('s) beproefd.
2. Resultaten goed bij Amerikaanse auto's, maar slecht bij Europese.
3. Tussenstuk verzwakt met gleuven.
4. Tussenstuk verzwakt met gaten.
5. Na 1964 geen proeven meer.
6. Resultaten ook goed met Europese auto's.
7. Dep. of Highways (Canada) merkt op dat masten niet hoger dan 9 m mogen worden in verband met gewicht.
8. Zeer ernstige schade aan het botsvoertuig.
9. Alleen met Europese auto's beproefd.

TEST CONDITIONS						COMPARISON OF RESULTS					
Test Number	Date of Test	Year, Make and Type of Vehicle	Vehicle Weight (lbs)	Vehicle Approach Angle (deg)	Impact Velocity (mph)	Change in Vehicle Velocity (mph)		Time Post and Vehicle Were in Contact (sec)		Average Deceleration (g's)	
						Test	Model	Test	Model	Test	Model
605-A	09-23-69	1963 Ford 2-door sedan	3960	0	25.7	5.4	5.9	0.091	0.082	2.9	2.9
605-B	12-11-69	1959 Simca 4-door sedan	2100	0	44.0	14.8	16.2	0.080*	0.139	8.7	5.3
605-C	12-18-69	1963 Ford 4-door sedan	4090	0	46.5	9.1	9.3	0.080	0.099	5.7	4.3
605-D	02-03-70	1962 Cadillac 4-door sedan	4880	0	54.0	9.0	9.1	0.080	0.087	4.2	4.7
605-E	02-09-70	1963 Ford 4-door sedan	3920	15	28.6	7.2	7.0	0.085	0.095	4.1	3.4
605-F	02-17-70	1959 Borgward 2-door sedan	2350	15	52.0	13.6	16.7	0.119	0.130	5.8	5.8
605-G	04-07-70	1962 Ford 2-door sedan	3950	15	50.1	10.2	10.4	0.059	0.093	7.9	5.1

*Time during which break-away components were activated. Vehicle snagged lower end of support post, was lifted and pulled to a stop, wedged between support post and the ground.

Tabel 5. Vergelijking van de resultaten van werkelijke botsproeven en mathematisch model.

Voertuigmassa	800 - 1800 kg
Snelheid	tot 96 km/h
Inrijhoek	tot 25° (ten opzichte van lengteas van de obstakelbeveiliger)
Toegestane piekvoertuigvertraging	max. 12 g (wordt geen tijd genoemd)
Stijging der vertraging	max. 500 g/s

Tabel 6. Testcriteria in de U.S.A. voor proeven met obstakelbeveiligers.

	1e proef	2e proef	3e proef
Hoek van inrijden *)	20°	10°	0°
Voertuigmassa	1880 kg	1810 kg	850 kg
Voertuigsnelheid	92 km/h	100 km/h	90 km/h
Max. <u>long.</u> vertraging	14,4 g	3,4 g	13,8 g
Tijdsduur vertraging	10 ms	onbekend	15 ms
Max. <u>trans.</u> vertraging	10,4 g	15 g	-
Gem. long. vertraging	4 g	2,5 g	9,5 g

Tabel 7. Resultaten van botsproeven met de obstakelbeveiliger van metalen vaten.

*) Bij de proeven waarbij men de auto onder een bepaalde hoek liet inrijden, was de neus van de auto gericht op het obstakel: het botspunt was dus bij de staart van de obstakelbeveiliger.

Proefnummer (zie ook afb. 41)	241	242	243
<u>a. Botsvoertuig</u>			
Merk	Dodge	VW 1200	Dodge
Bouwjaar	1968	1957	1968
Massa (incl. dummy)	2080 kg	880 kg	2160 kg
Botssnelheid	93 km/h	95 km/h	92 km/h
Raakpunt en raakhoek	neus, 0°	neus, 0°	neus, 15°
<u>b. Obstakelbeveiliger</u>			
Lengte	6,30 m	7,50 m	7,50 m
Afstand tot obstakel	0,30 m	0,60 m	0,60 m
Aantal vaten	15	17	17
Zandmassa, variërend van	400-2100 lbs	200-1400 lbs	200-1400 lbs
<u>c. Resultaten</u>			
Grootste <u>voertuig</u> vertr. gedurende 50 ms	10,7 g	8,7 g	7,9 g
Grootste vertr. <u>kop-</u> <u>dummy</u> ged. 50 ms	25,2 g	44,0 g	34,0 g

Tabel 8. Overzicht proeven met de Fitch-barrier (Dept. of Public Works).

Proefnummer	PK1	PK2	PK3	PK4
Botssnelheid	89 km/h	86 km/h	79 km/h	77 km/h
1ste piekvertraging				
tijd	35 ms	35 ms	50 ms	65 ms
grootte	9,5 g	9,4 g	7,3 g	9,2 g
afgel. weg	210 cm	275 cm	285 cm	240 cm
2de piekvertraging				
tijd	104 ms	135 ms	150 ms	135 ms
grootte	12,2 g	9,1 g	9,2 g	9,0 g
afgel. weg	310 cm	275 cm	285 cm	240 cm
Gemiddelde vertraging	5,8 g	5,0 g	4,3 g	3,8 g
Voertuig tot stilstand				
tijd	440 ms	785 ms	788 ms	1262 ms
afgel. weg	470 cm	575 cm	560 cm	618 cm

Tabel 9. Resultaten proeven met zand gevulde vaten in Nederland.

snelheid (km/h)	opstelling (breedte x diepte)	vertraging (g) piekwaarde
23,2	6 x 6, 7 x 6, 8 x 6	5
33,7	6 x 6, 6 x 7, 6 x 8	7,5
33,8	6 x 6, 7 x 6, 8 x 6	7
34,2	6 x12	7,5
40,2	6 x 6, 7 x 6, 8 x 6	8
44,2	6 x 6, 7 x 6, 8 x 6	8
47,6	6 x12, 8 x 4	8
50,7	6 x12	12
56,5	6 x 6, 7 x 6, 8 x 6	14
72,5	6 x 6, 7 x 6, 8 x 6	19,5

Tabel 12. Overzicht resultaten van proeven met diverse opstellingen van obstakelbeveiliger met watergevulde vaten.

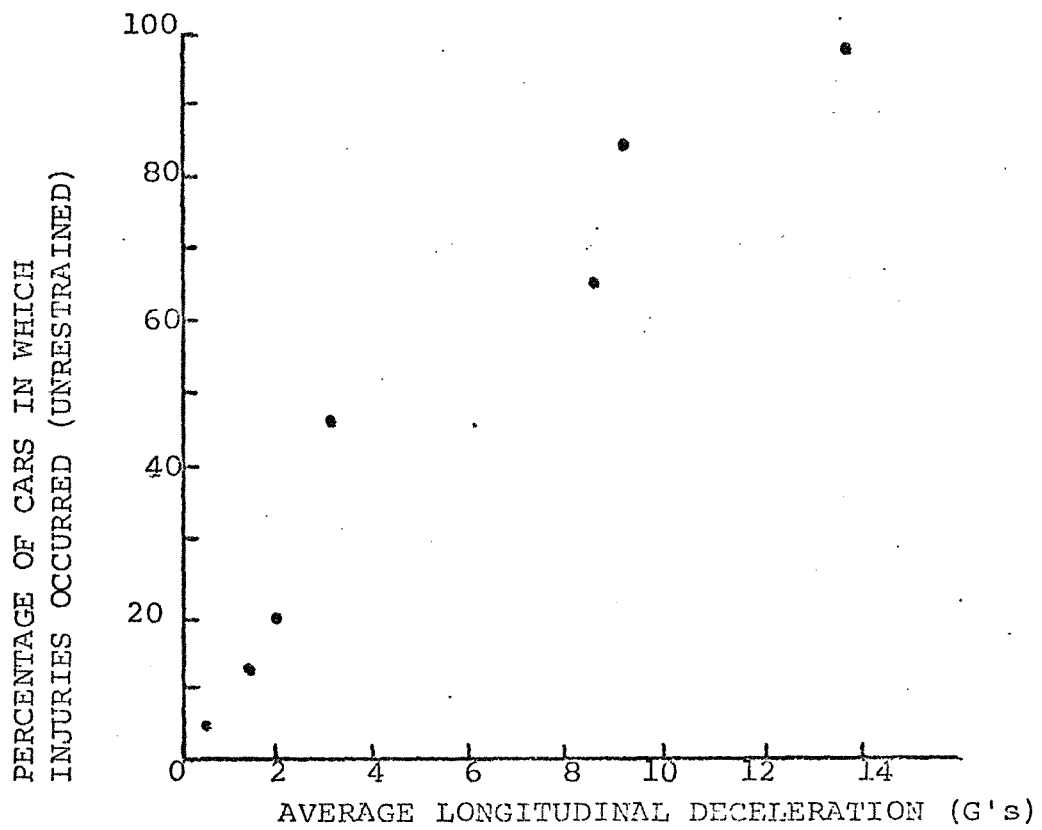
Hoek van inrijden	25°
Voertuigmassa	1720 kg
Botssnelheid	74 km/h
Piekvertraging	5 g
Schade voertuig	gering

Tabel 13. Resultaten van de proef met de Roto-Shok.

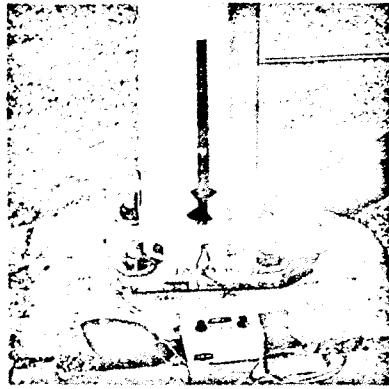
Type	botssnelheid (km/h)	voertuig massa (kg)	hoek van inrijden (°) *	lengte o-b (m)	piekver- traging (g)	duur der vertr. (ms)	gem. ver- traging (g)	prijs \$
Metalen vaten	90	850	0	7,60	13,8	15	9,5	4200
	100	1810	10	7,60	3,4	onb.	2,5	
	92	1880	20	7,60	14,4	10	4	
Vaten gevuld met zand	Fitch: Am.	2080	0	6,30	10,7	<10	onb.	4000 (los vat \$ 130)
	Am.	880	0	7,50	8,7	<10	"	
	Am.	2160	15	7,50	7,9	<10	"	
	SWOV	800	0	6,40	9,2	<10	3,8	
	Proefseries SWOV	800	0	6,40	12,9	<10	5,8	
" "	800	0	6,40	9,4	<10	5,0	(los vat + f 150)	
" "	800	0	6,40	9,2	<10	4,3		
Blokken poreus beton	99	1050	0	7,20	19,0	<10	10,2	onb.
	92	1800	10	7,20	6,2	<10	1,3	
	96	1800	20	7,20	14,7	<10	5,6	
Watergepulde cilinders	72,5	onb.	0	onb.	19,5	onb.	onb.	6000
Schokdempers TORSHOK	55	onb.	0	onb.	13,0	onb.	onb.	{ 6000
	>55	onb.	0	onb.	>20	onb.	onb.	
	ROTO SHOK	74	onb.	25	onb.	5	onb.	
Gebruikte autobanden	67	onb.	0	onb.	onb.	onb.	4,8	onb.
Vertikaal staande palen	Voertuig kwam op de palen tot rust							2400
Blokken schuim	Bijzonder grote vertraging							onb.
Buigzame buizen	110	1800	10	onb.	>40	<10	8	onb.
Beveiligingsnet	Vier van de zes proeven leverden gunstige resultaten op							onb.

* hoek t.o.v. de hartlijn van de o-b.

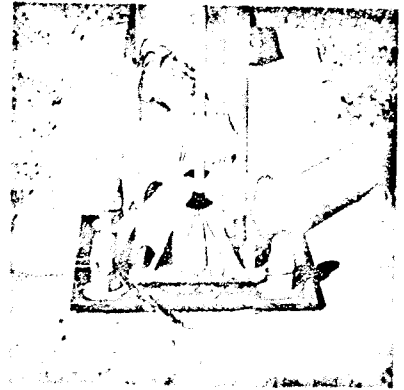
Tabel 14. Overzicht obstakelbeveiligers.



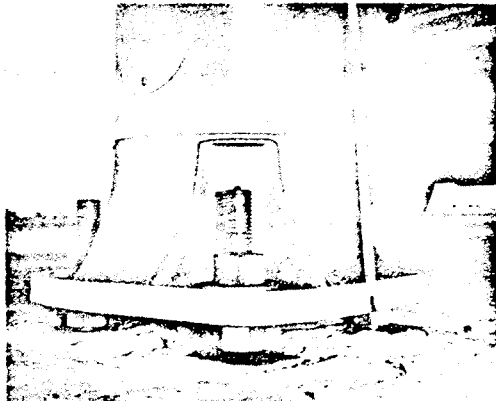
Afbeelding 1. Percentages voertuigen met gewonde inzittenden die geen gordel gebruikten per gemiddelde voertuigvertraging bij frontale aanrijdingen.



A



B



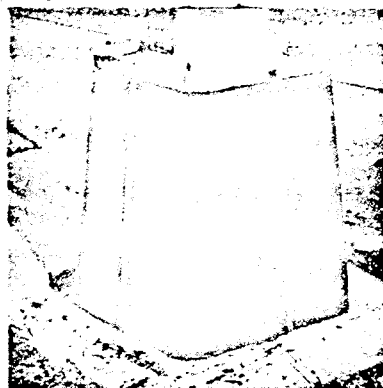
C1



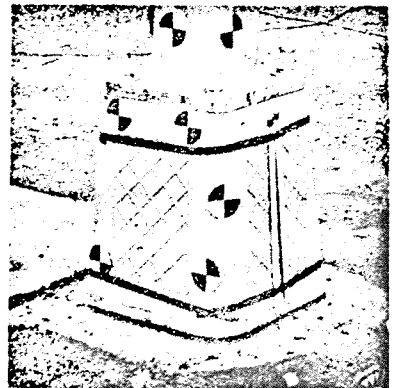
C2

Afbeelding 2. Mast met flens.

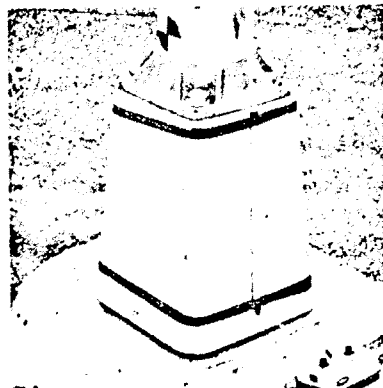
A. Flange mounted steel pole; B. Flange mounted aluminium pole;
C 1-2. Cast aluminium sleeve base.



A



B



C1



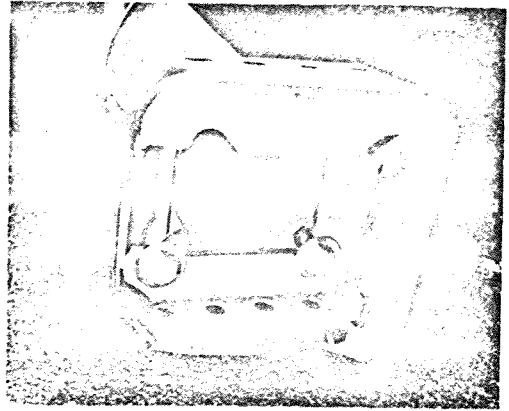
C2

Afbeelding 3. Mast met breekbaar voetstuk.

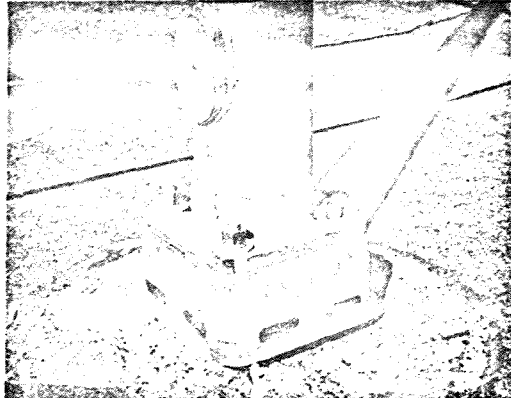
A. Steel pole, steel transformer base; B. Steel pole, aluminium
transformer base; C 1-2. Cast aluminium transformer base.



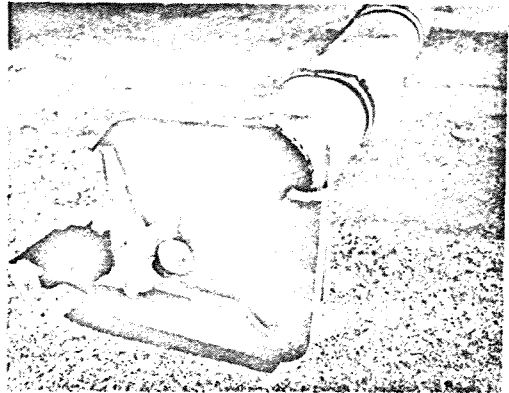
A1



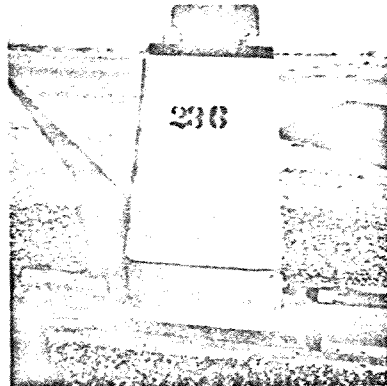
A2



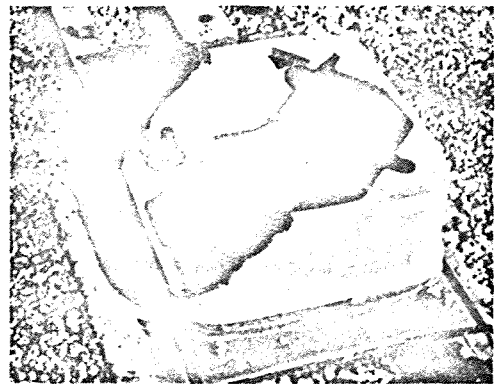
B1



B2



C1

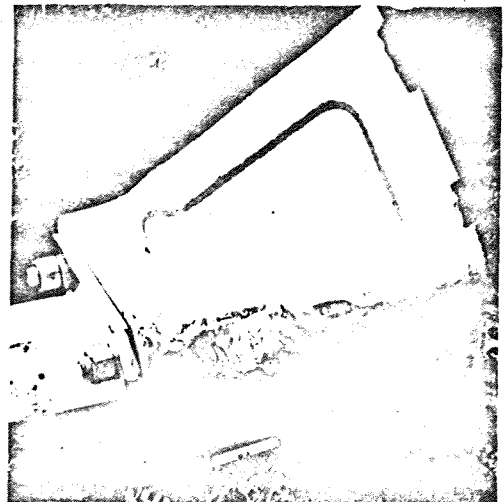
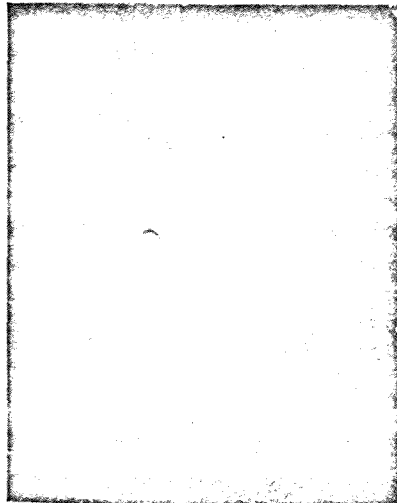


C2

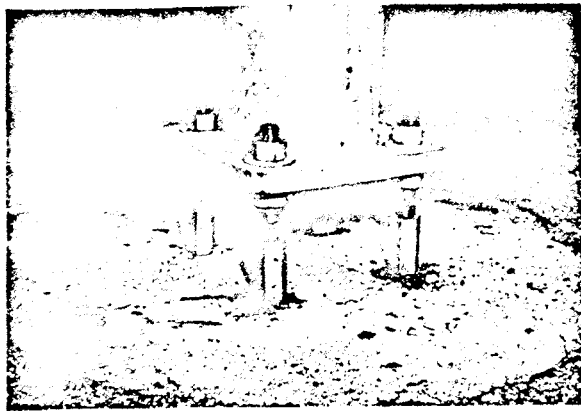
Afbeelding 4. Mast met breekbaar tussenstuk.

A 1-2. Insert with drilled holes; B 1-2. Insert with milled holes;

C 1-2. Insert with steel transformer base.



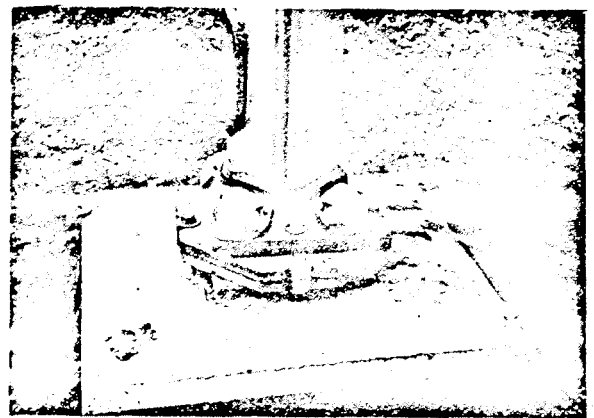
Afbeelding 5. Mast met afschuifconstructie.



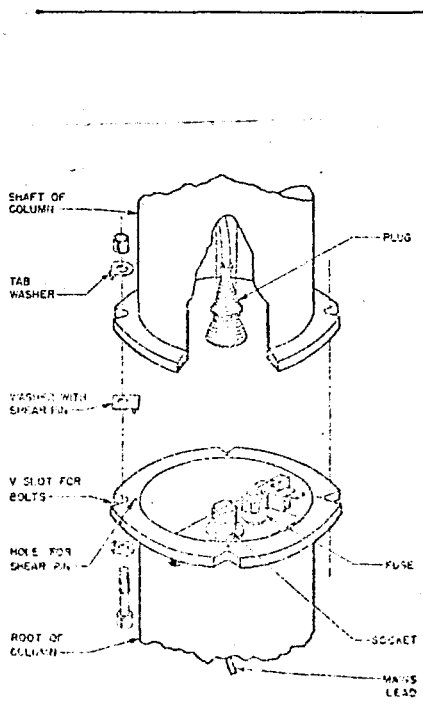
Afbeelding 6. Mast gemonteerd met gekerfde bout(en).



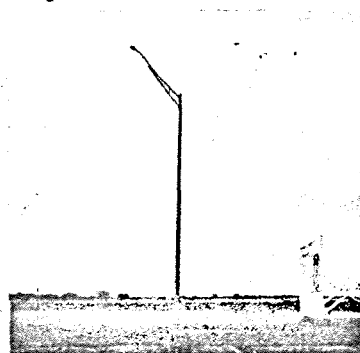
A.



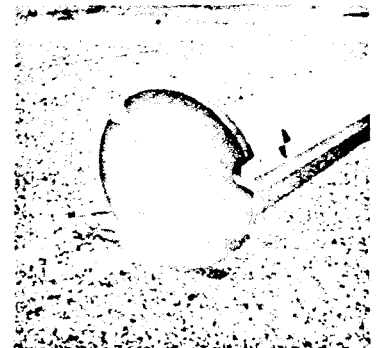
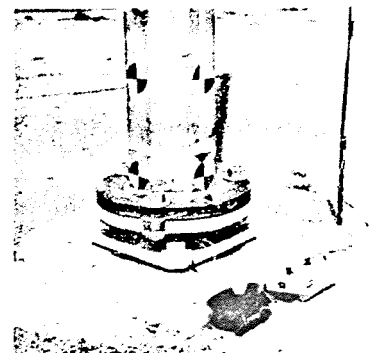
C



B

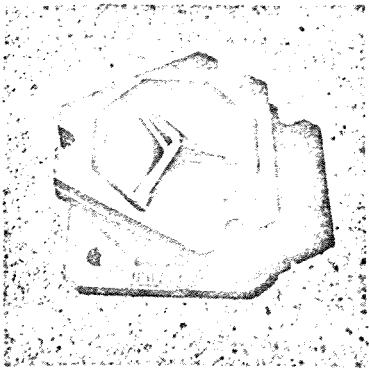


D1-4

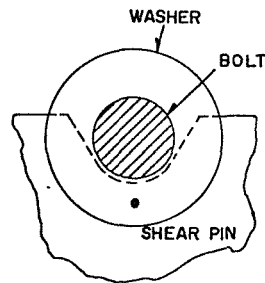


Afbeelding 7. Mast met schuifconstructie.

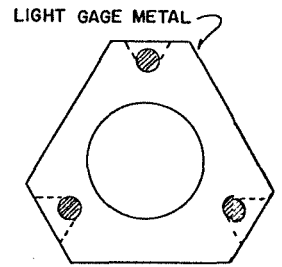
A. Door SWOV beproefd; B. Cambridge slip base; C. General Motors slip base; D 1-4. Triangular slip base.



Afbeelding 8. Conus

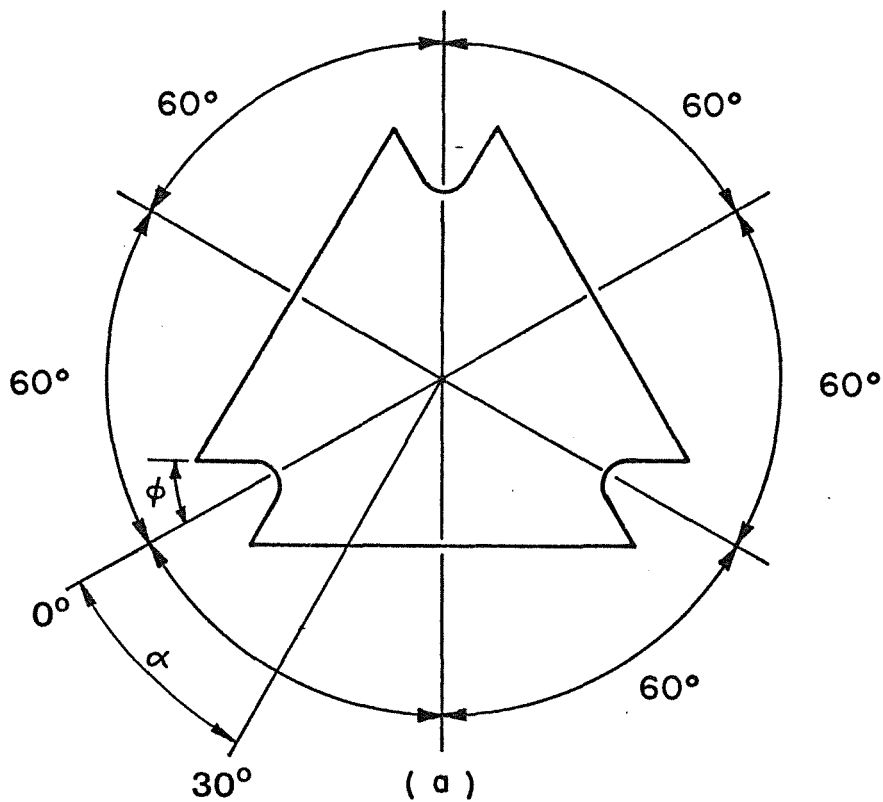


SHEAR PIN
(c)

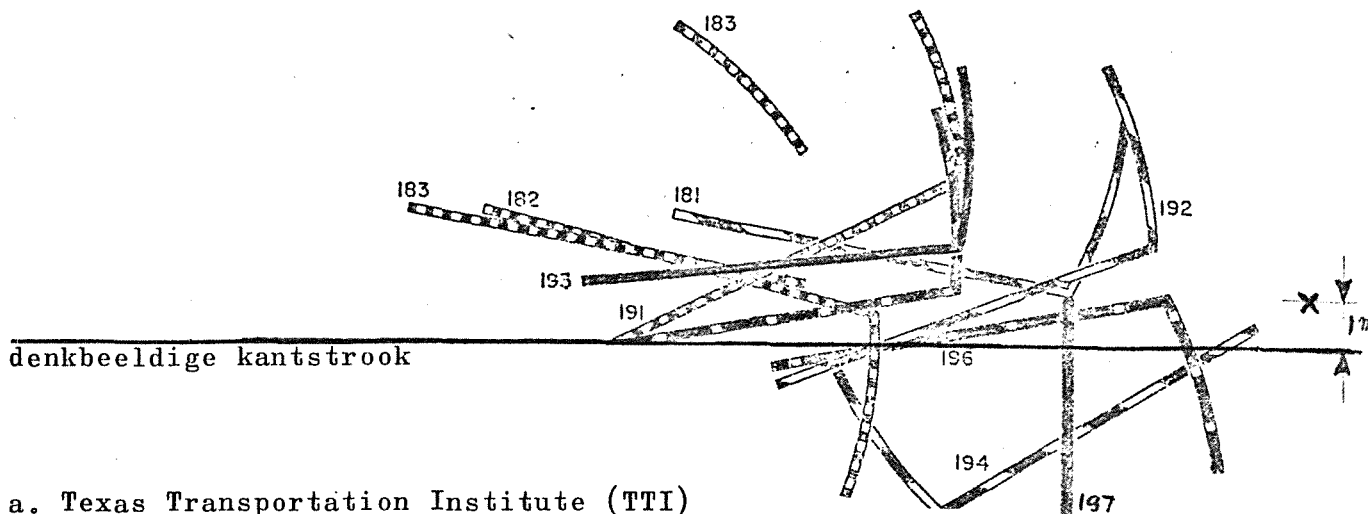


SHEET METAL RETAINER
(d)

Afbeelding 9. Borgplaatjes voor
schuifconstructie.

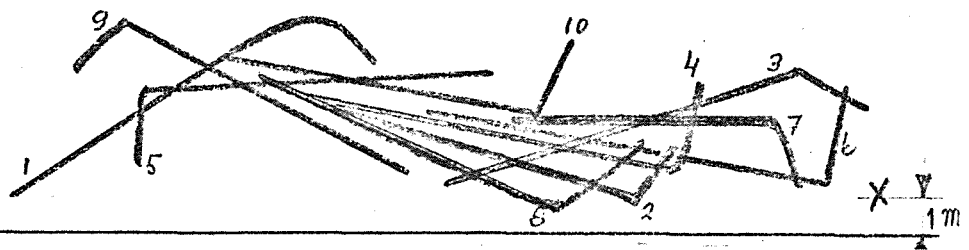


Afbeelding 10. Voetplaat bij schuifconstructie (α = inrijhoek,
 ϕ = gleufhoek).



a. Texas Transportation Institute (TTI)

Proeven bij 65 km/h		Proeven bij 25 km/h	
Paal nr.	Breek-schuifconstr.	Paal nr.	Breek-schuifconstr.
181	gekerfde bouten	194	gekerfde bouten
182	breekb. tussenstuk	196	schuifconstructie
183	breekb. tussenstuk	197	breekb. voetstuk
191	breekb. tussenstuk		
192	gekerfde bouten		
193	flens type		
195	schuifconstructie		

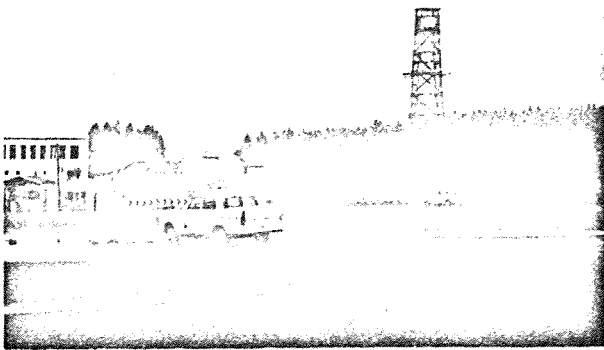


denkbeeldige kantstrook

b. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

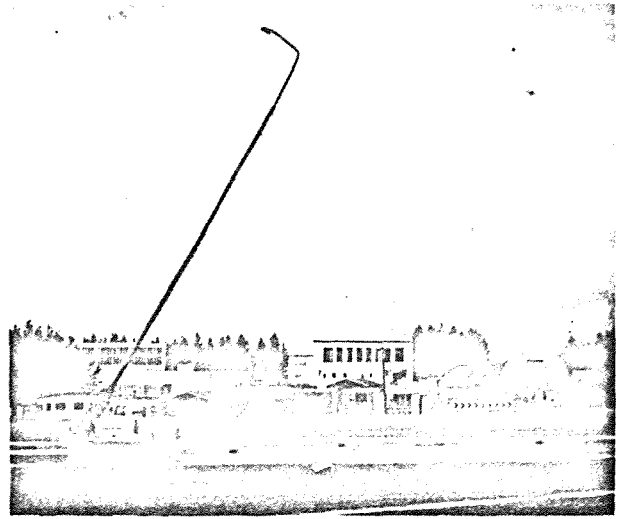
Paal nr.	Type paal	Lengte paal	Botssnelheid	Bijzonderh.
1	ijzer	10 m	93 km/h	alle pallen
2	aluminium	10 m	66 km/h	ingegraven
3	aluminium	12 m	100 km/h	zonder
4	ijzer	10 m	78 km/h	schuifcon-
5	ijzer	10 m	105 km/h	structie
6	aluminium	12 m	70 km/h	(behalve 4)
7	aluminium	10 m	93 km/h	
8	ijzer (dunw)	10 m	82 km/h	
9	aluminium	10 m	35 km/h	
10	aluminium	10 m	60 km/h	

Afbeelding 11. Ligging van de masten na aanrijding (TTI en SWOV).
(Xoorspronkelijke plaats lichtmast)



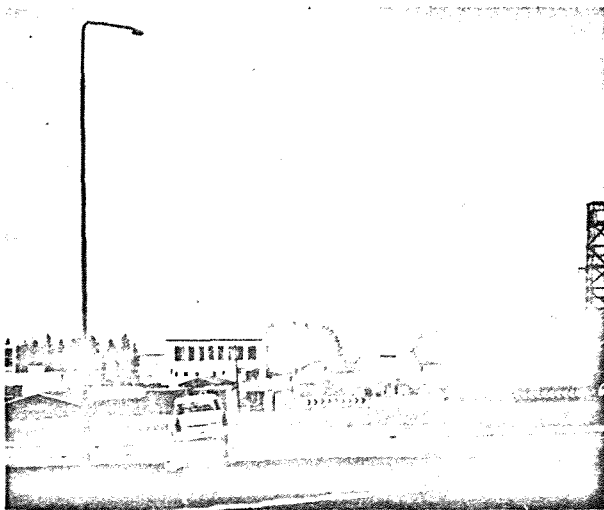
J2/67/2

0.5 Seconds before impact



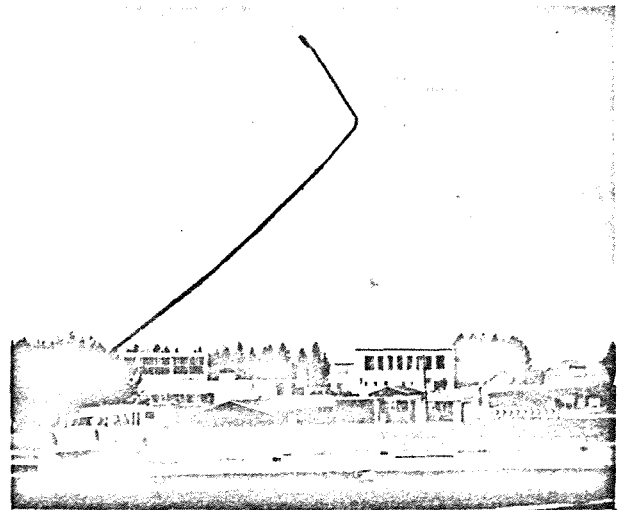
J2/67/8

0.2 Seconds after impact



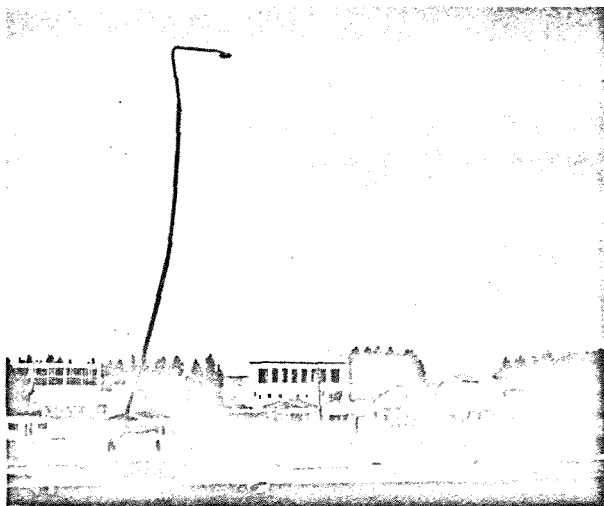
J2/67/4

0.15 Seconds before impact



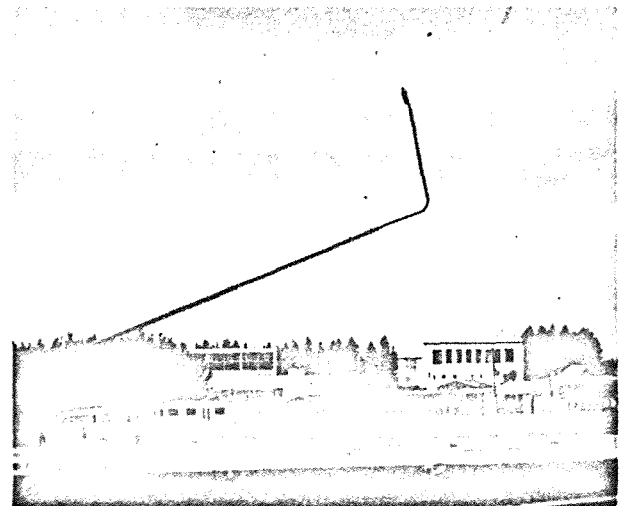
J2/67/10

0.28 Seconds after impact



J2/67/6

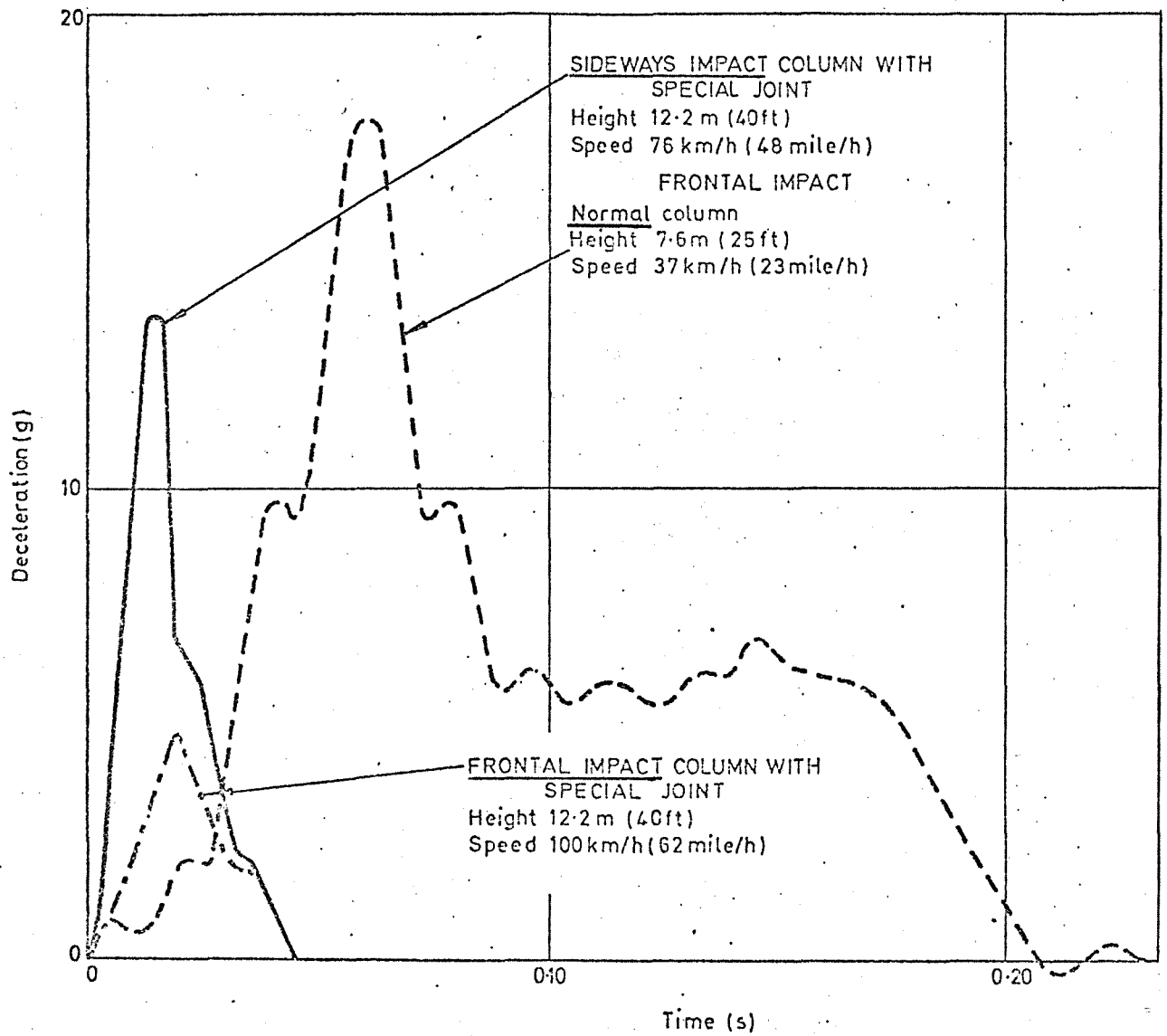
0.12 Seconds after impact



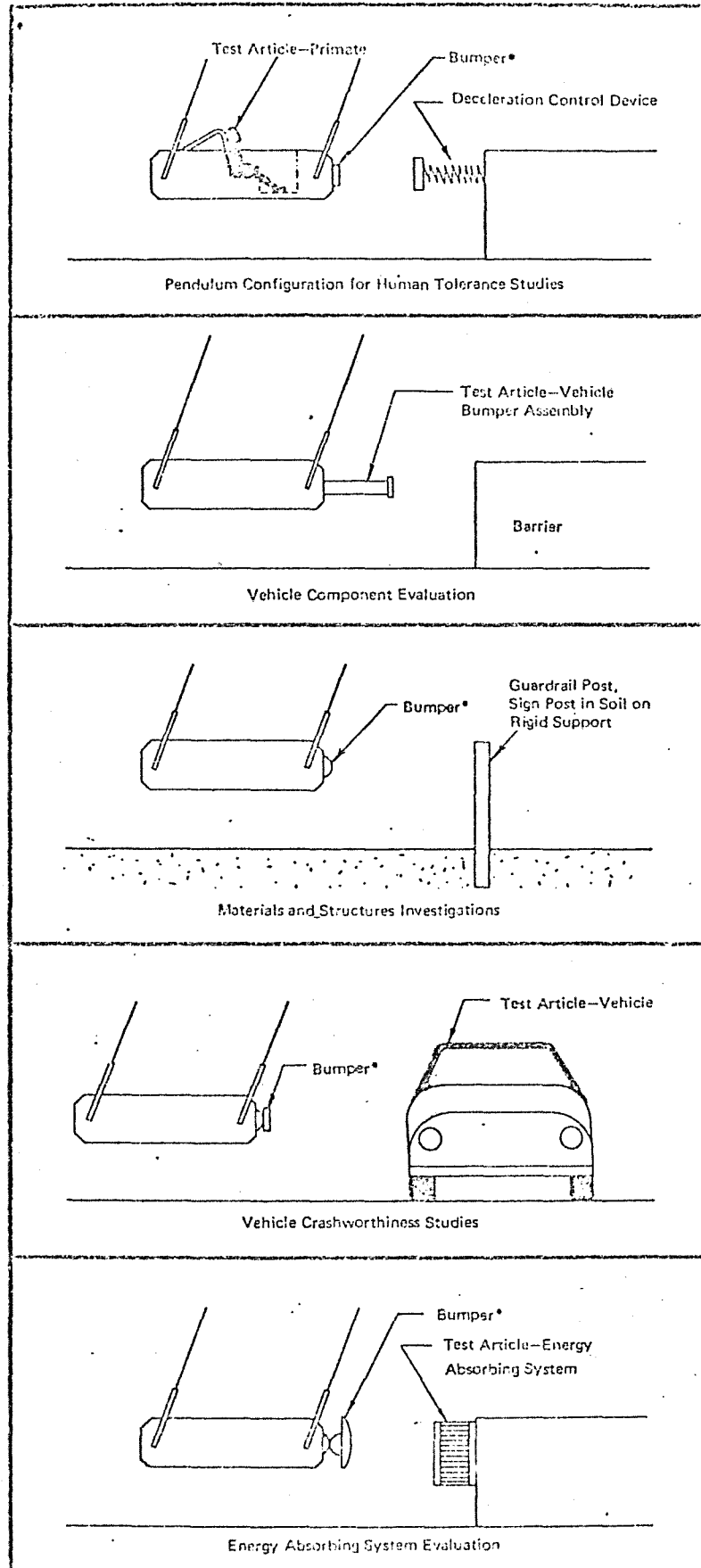
J2/67/12

0.36 Seconds after impact

Afbeelding 12. Zijdelingse botsing met mast met breekconstructie.

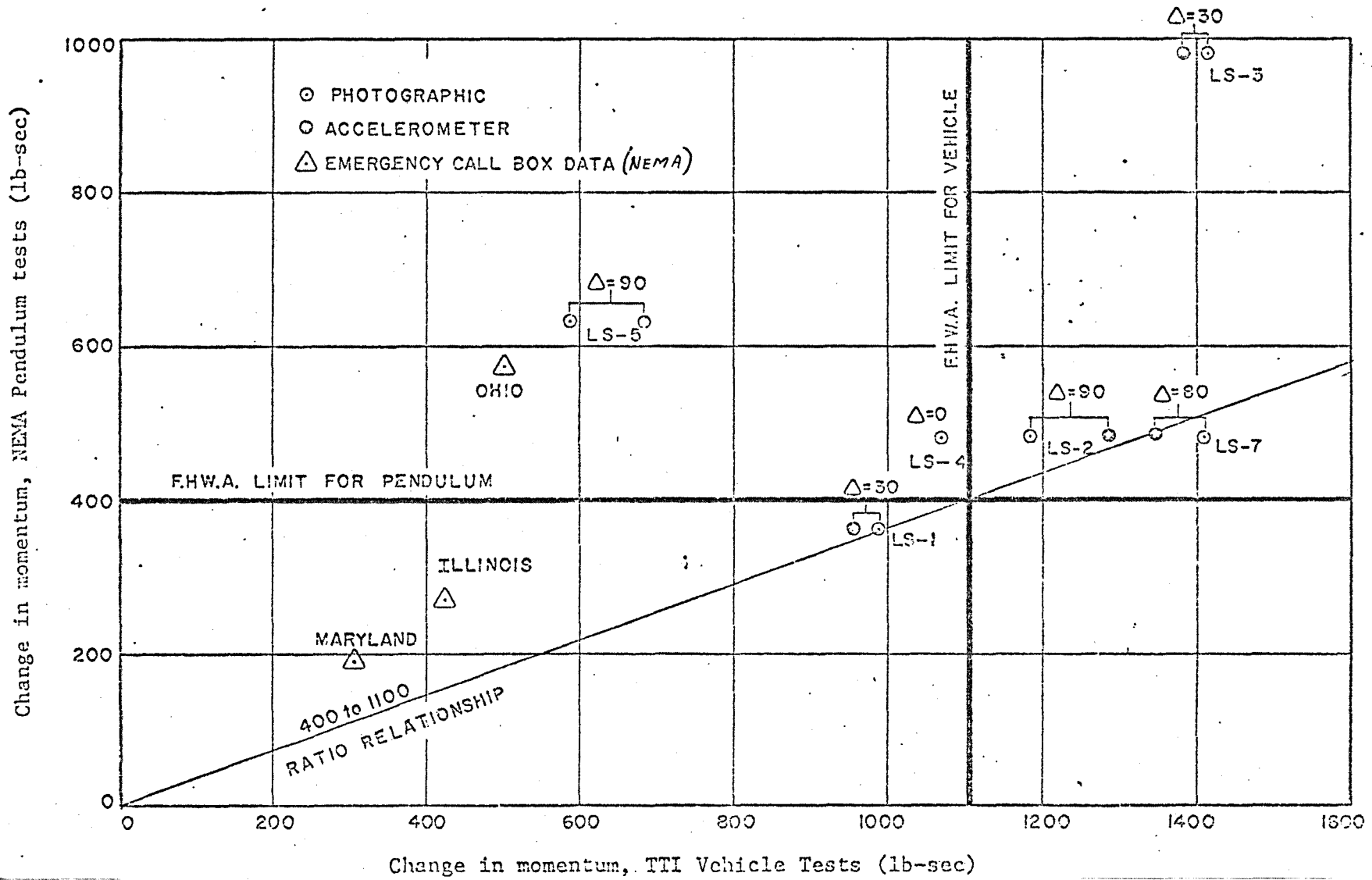


Afbeelding 13. Voertuigvertraging bij frontale en zijdelingse botsingen met lichtmasten met slijpconstructie vergeleken met een frontale botsing met een lichtmast zonder voorzieningen.

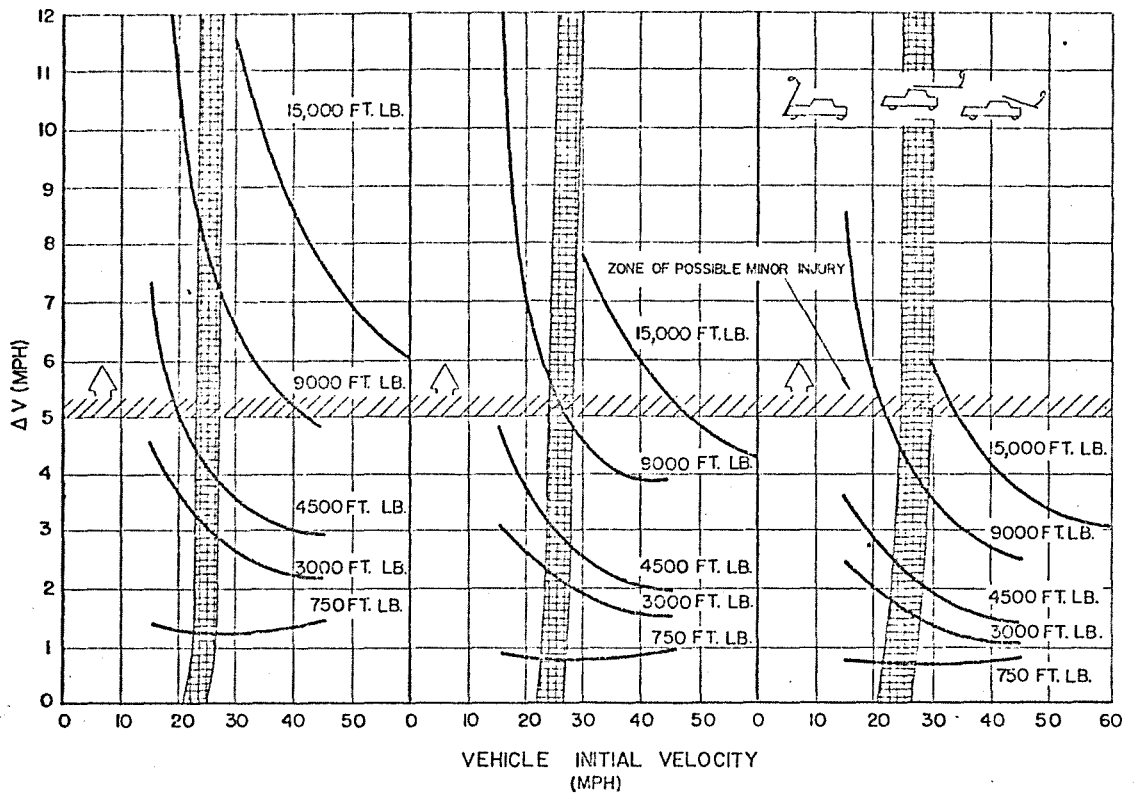


*Bumper configuration determined by application.

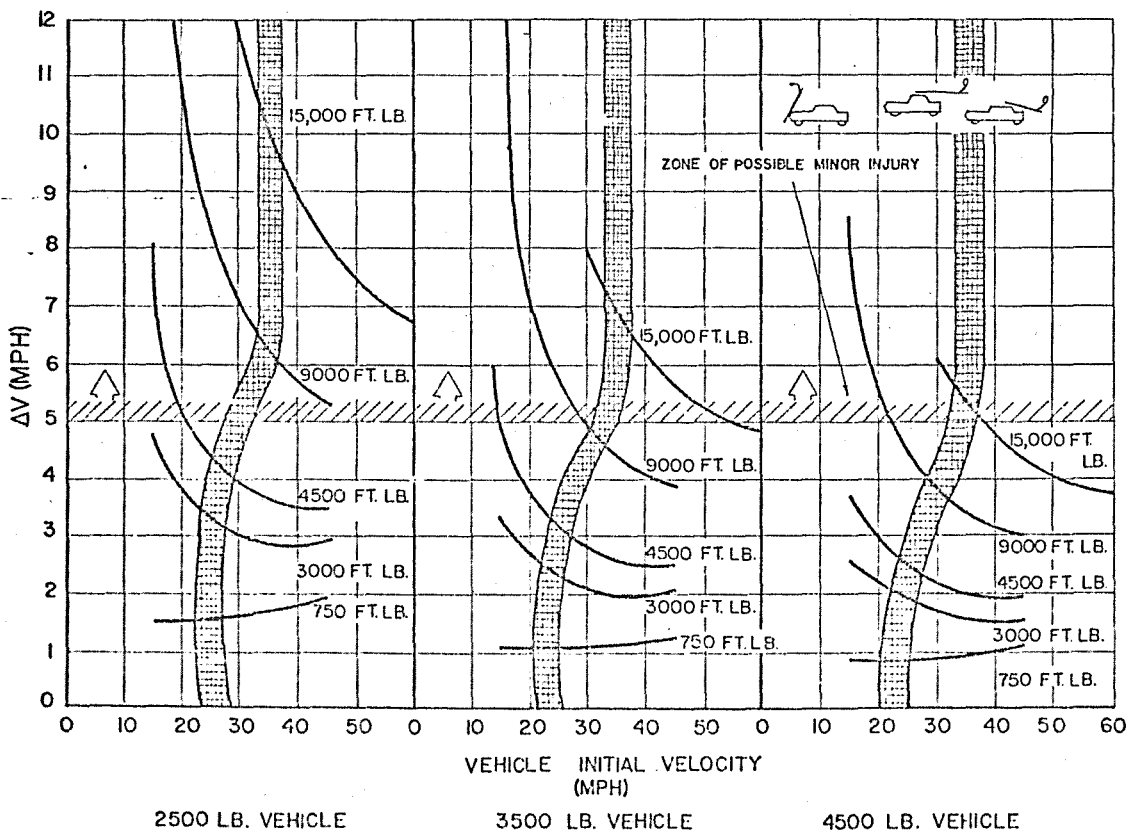
Afbeelding 14. Mogelijke toepassingen van de pendulum.



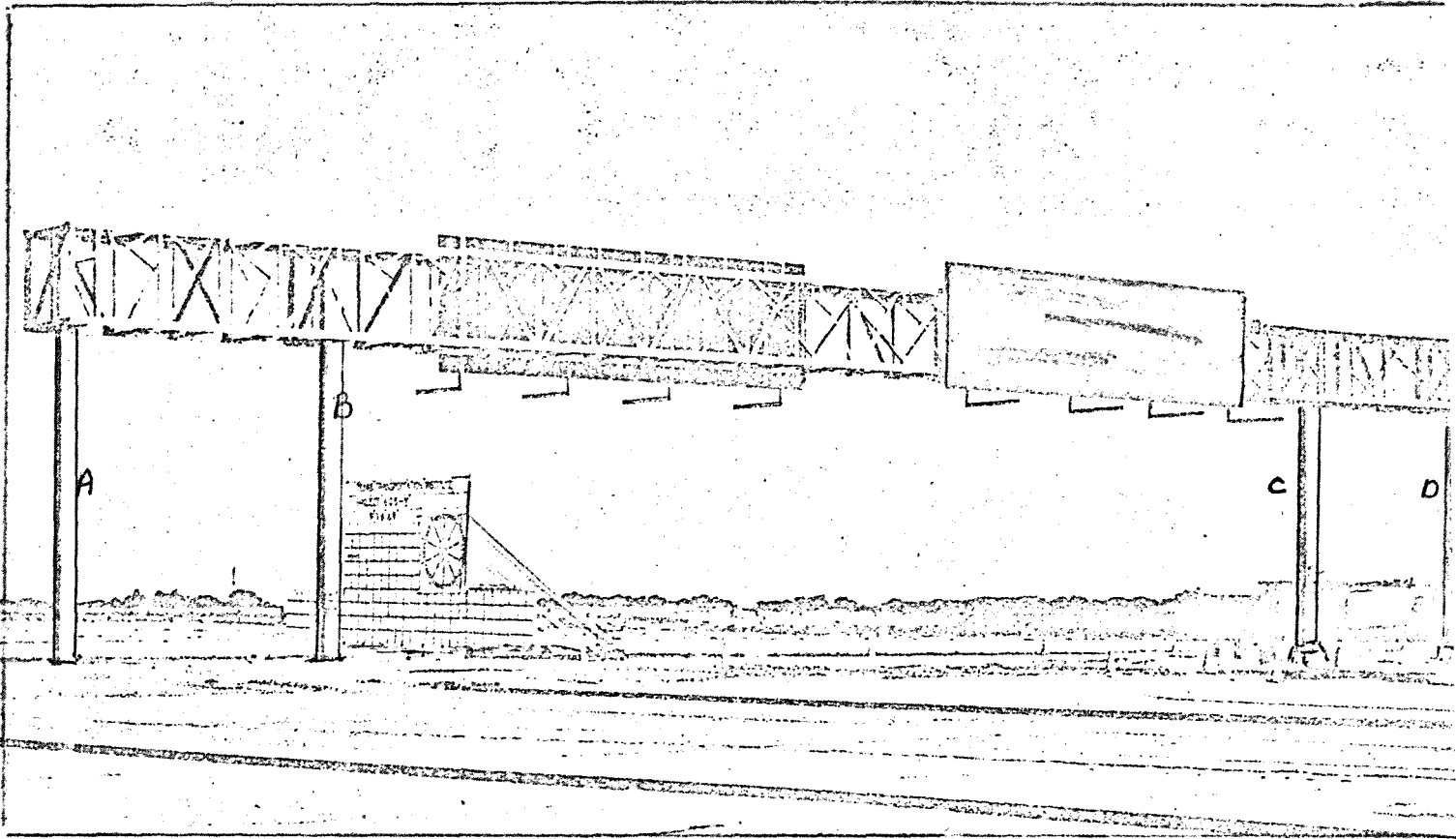
Afbeelding 15. Vergelijking van de veranderingen van impuls (Δp) tussen pendulum-proeven en autobotsproeven.



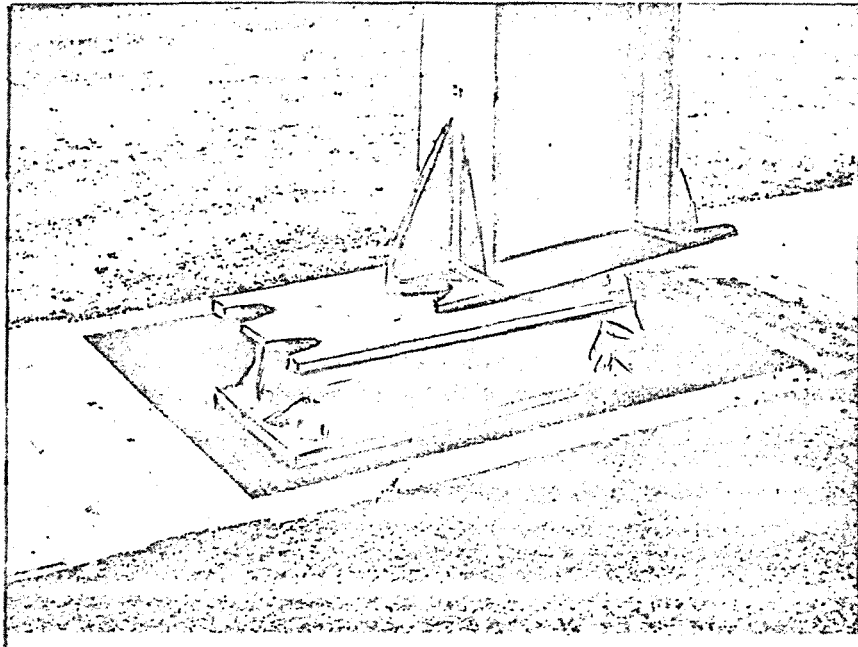
2500 LB. VEHICLE 3500 LB. VEHICLE 4500 LB. VEHICLE
Predicted response: vehicles vs 40-ft aluminum support.



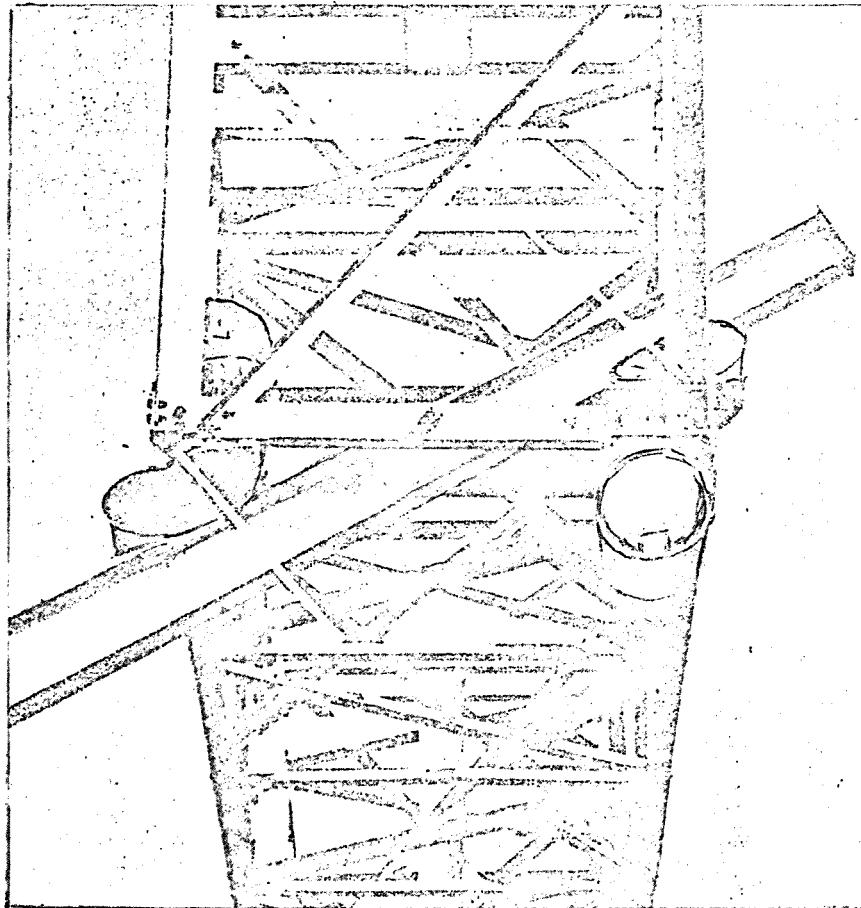
2500 LB. VEHICLE 3500 LB. VEHICLE 4500 LB. VEHICLE
Predicted response: vehicles vs 30-ft aluminum support.



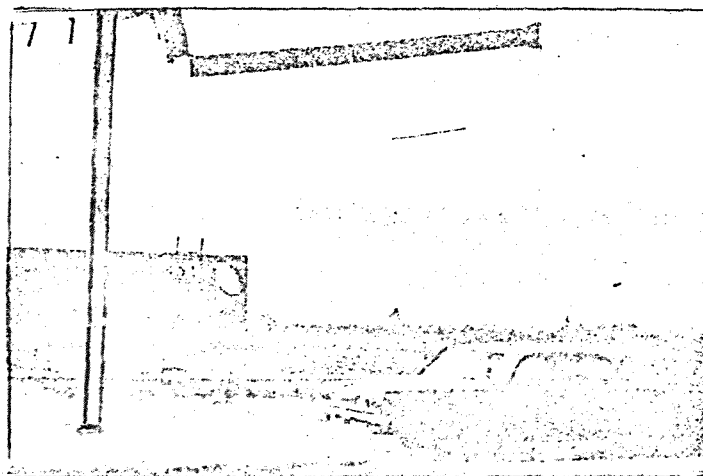
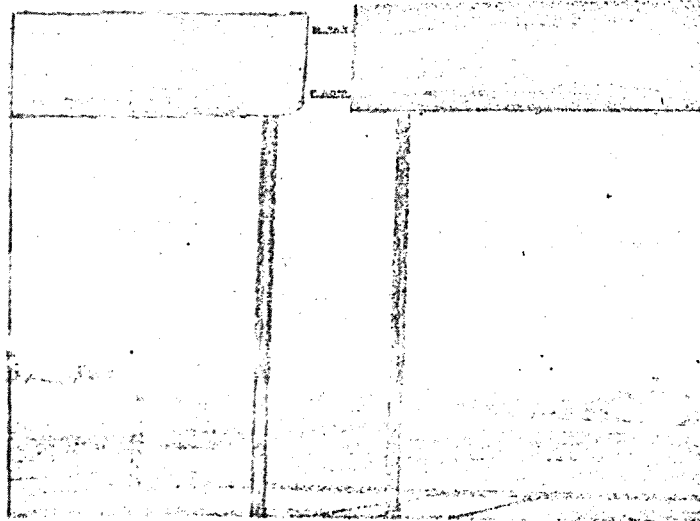
Afbeelding 17. Portaalconstructie met vier kolommen met schuifconstructie.



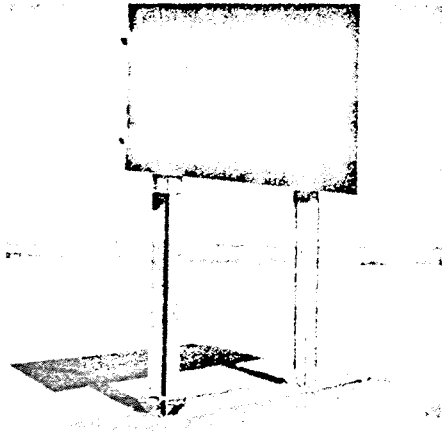
Afbeelding 18. Schuifconstructie van één der vier kolommen.



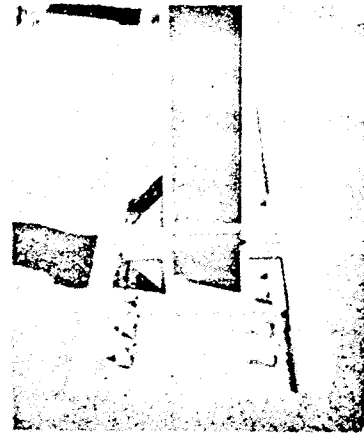
Afbeelding 19. De vier gemonteerde schokabsorbeers.



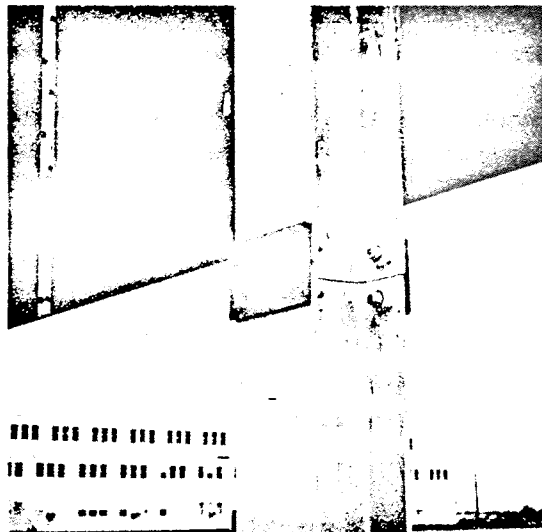
Afbeelding 20. Canadese proef met kolom met schuifconstructie en scharnier.



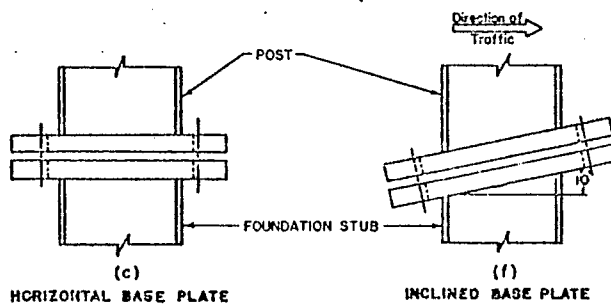
Afbeelding 21. Bermbord met
schuifconstructie en scharnier.



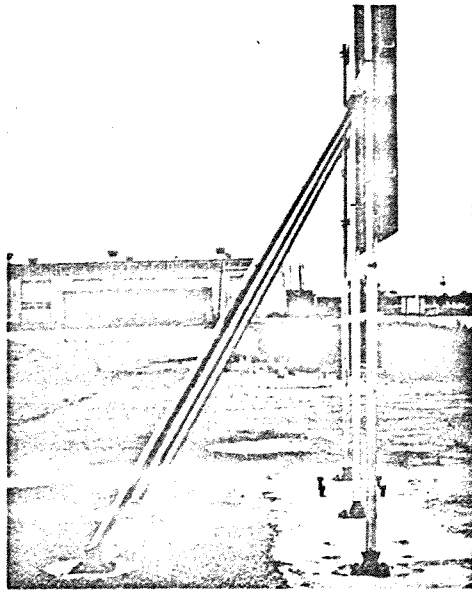
Afbeelding 22. Schuif-
constructie.



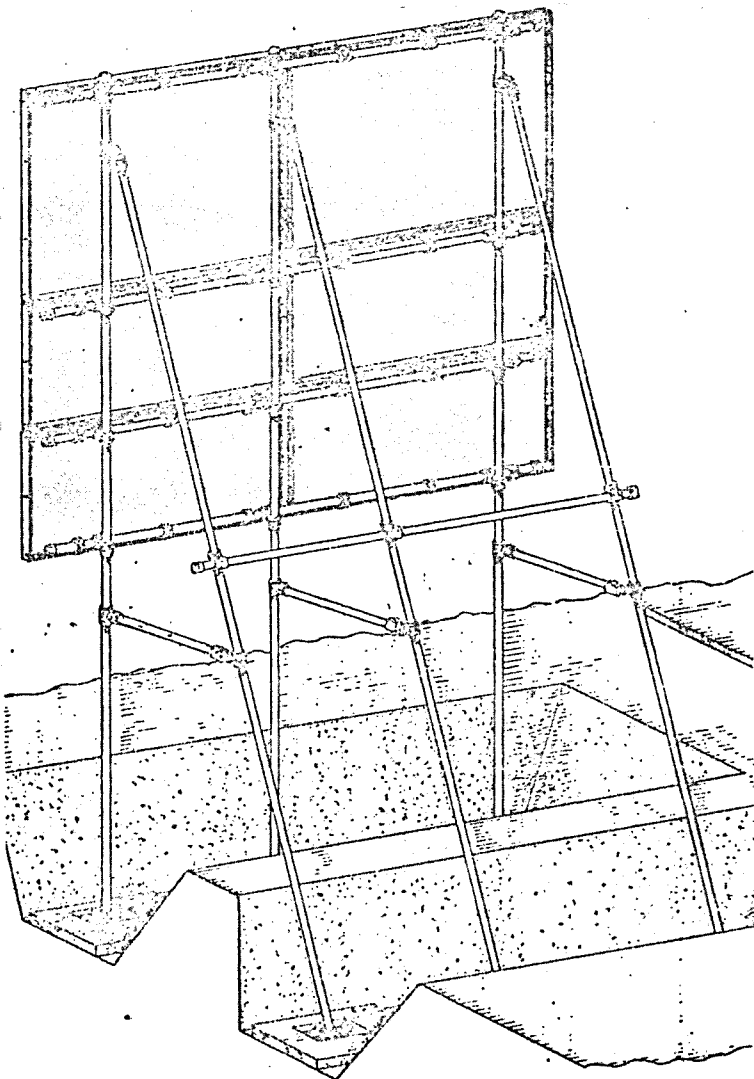
Afbeelding 23. "Scharnier"
onder tekstpaneel.



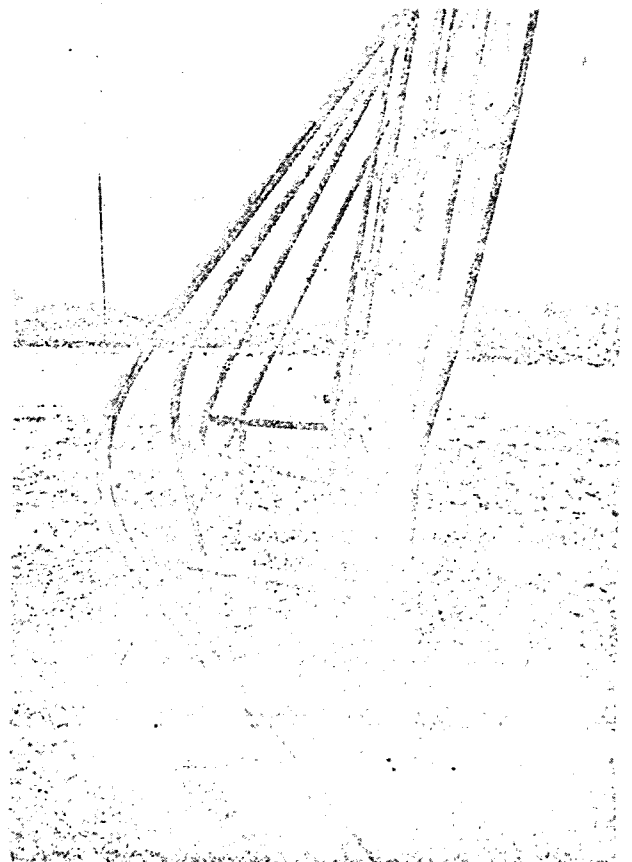
Afbeelding 24. Een vlakke en
schuin geplaatste schuif-
constructie.



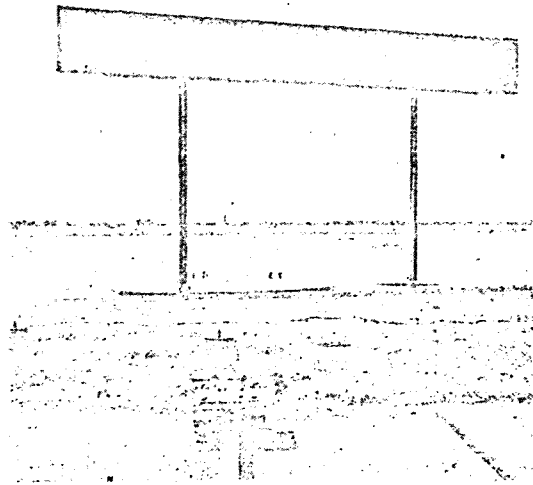
Afbeelding 25. Bermbord met A-frame (TTI).



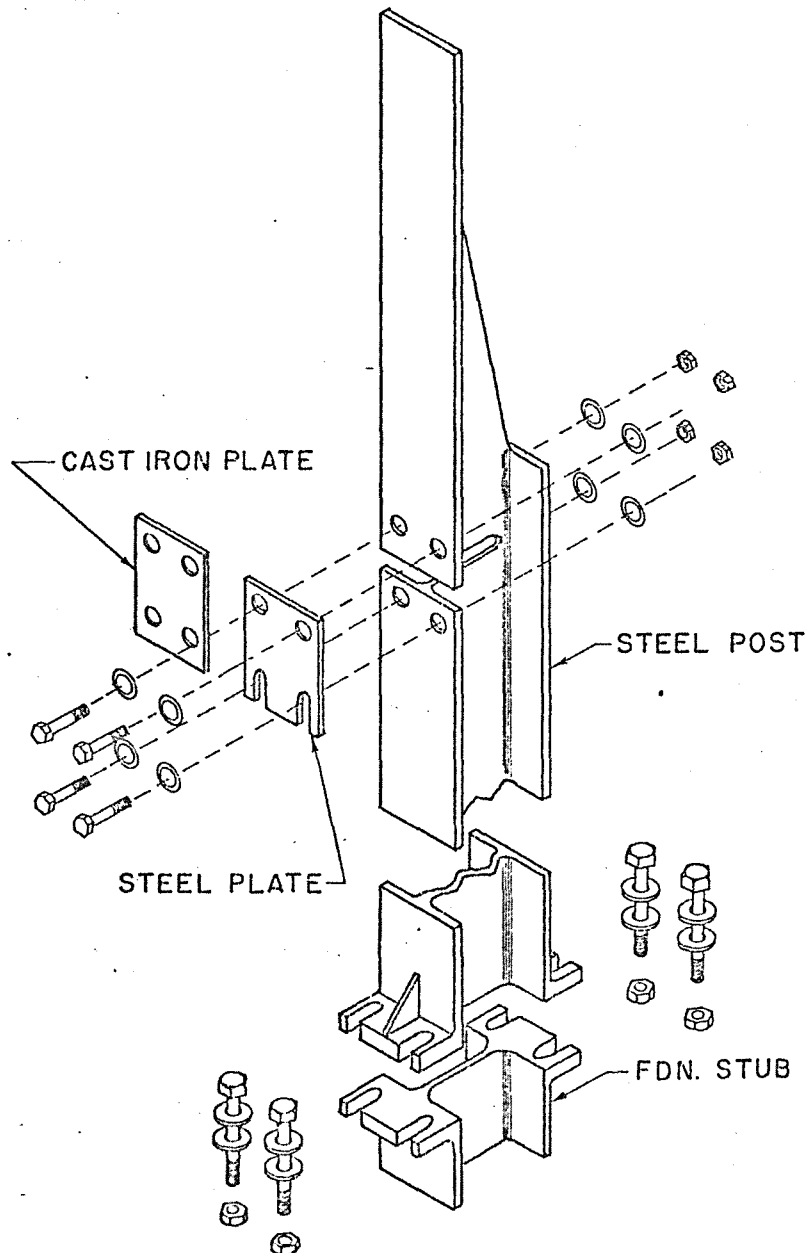
Afbeelding 26. Bermbord met A-frame (ANWB).



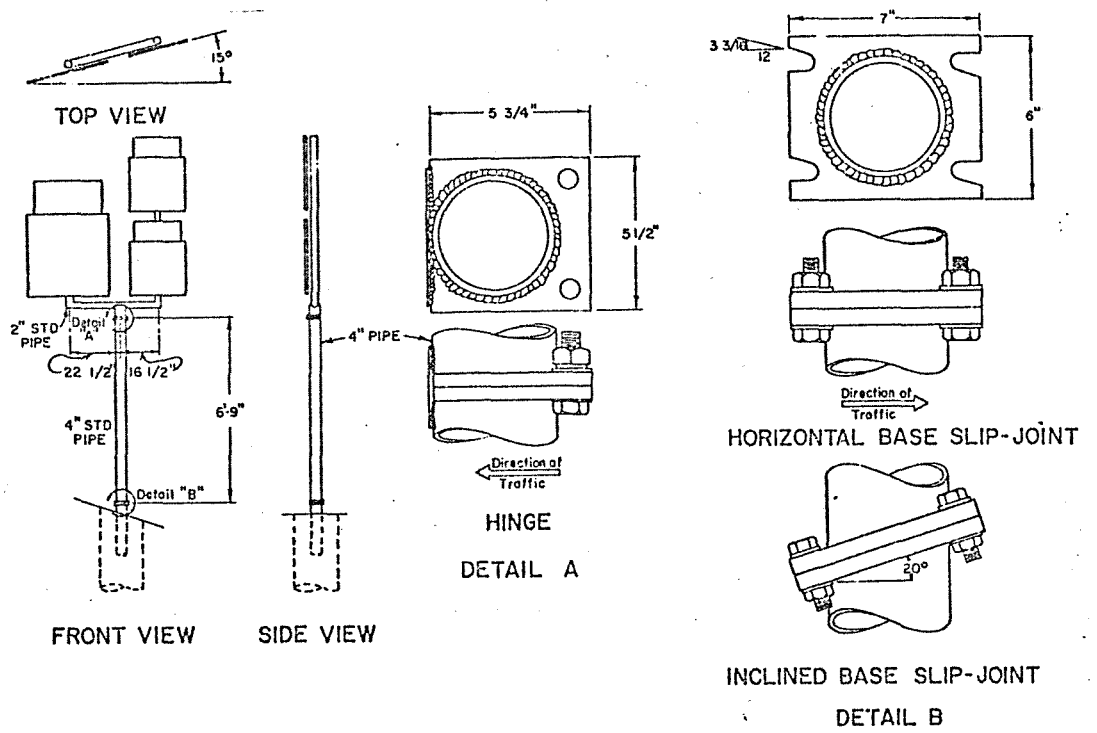
Afbeelding 27. Gevolg van een aanrijding met bermbord ANWB.



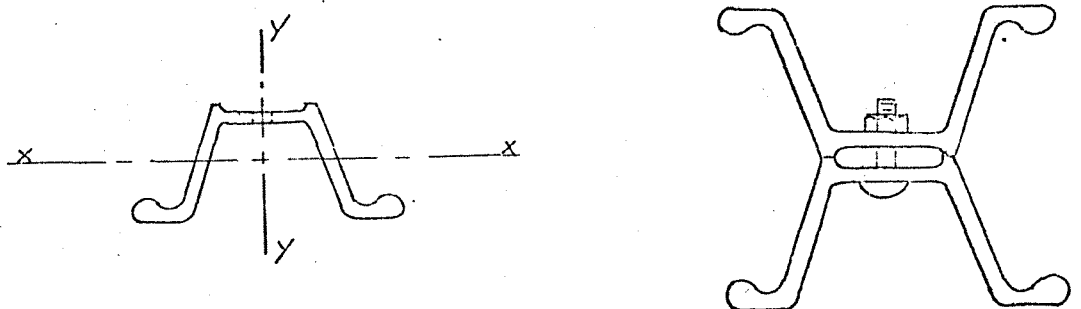
Afbeelding 28. Breed bermbord met grote paalafstand (TTI).



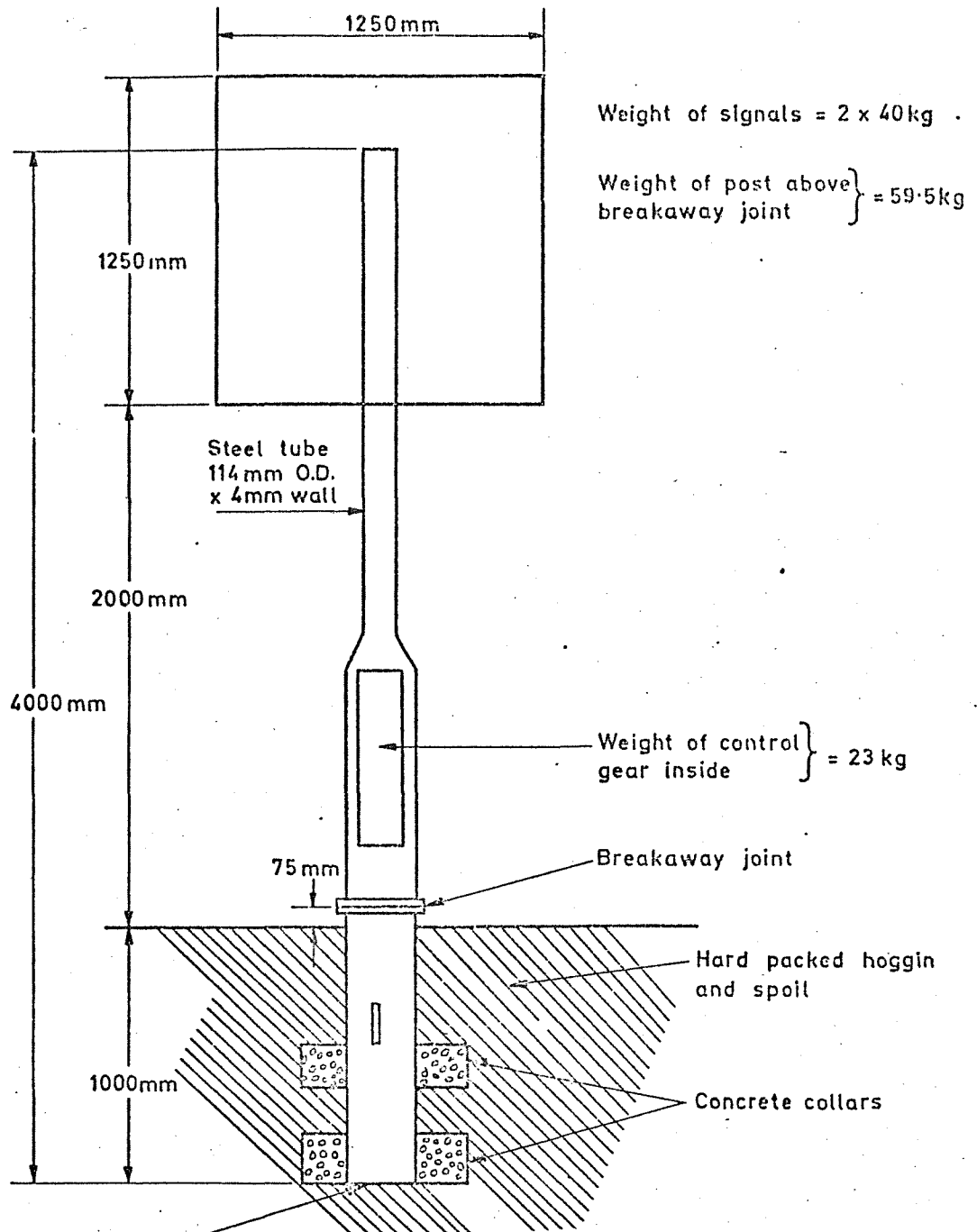
Afbeelding 29. Schuifconstructie en "scharnier"



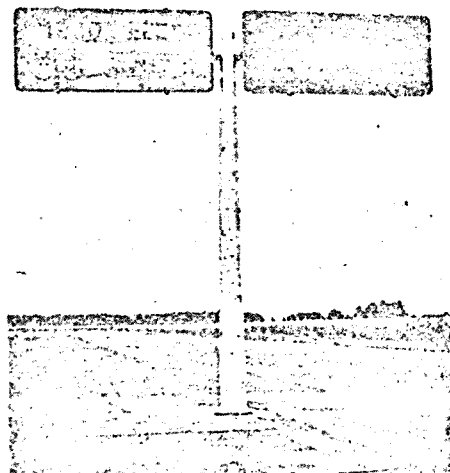
Afbeelding 30. Details van schuifconstructie en scharnier van borden met enkele paal.



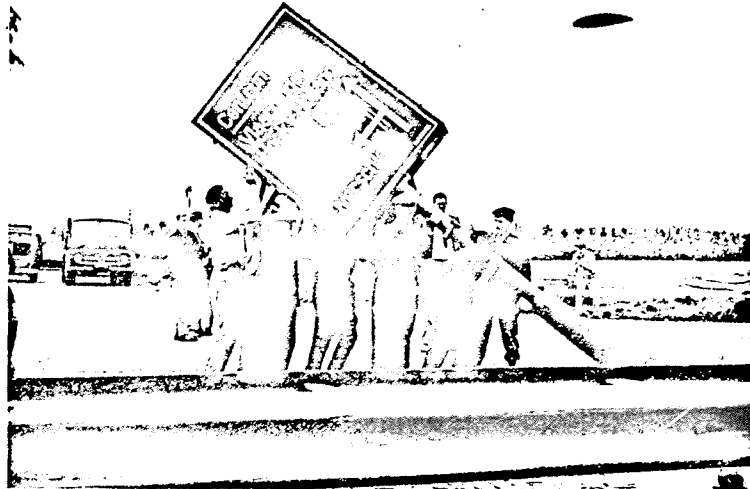
Afbeelding 31. Enkel en dubbel U-profiel voor borden op een enkele paal.



Afbeelding 32. Bermbord met schuifconstructie (RRL).



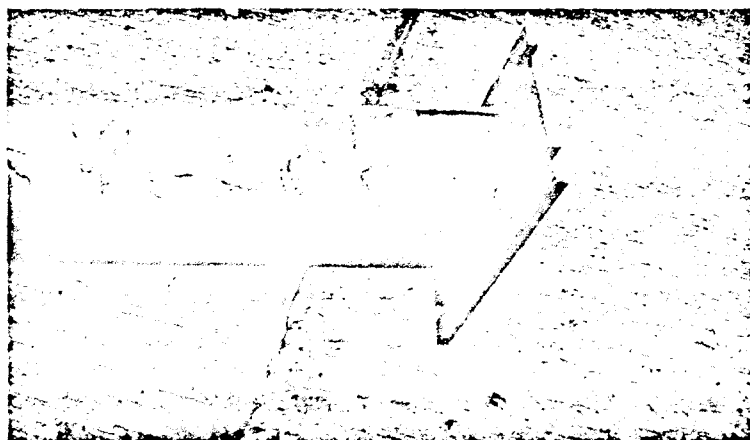
Afbeelding 33. Tweezijdig uitgebouwd bermbord (Canada).



A.



B.



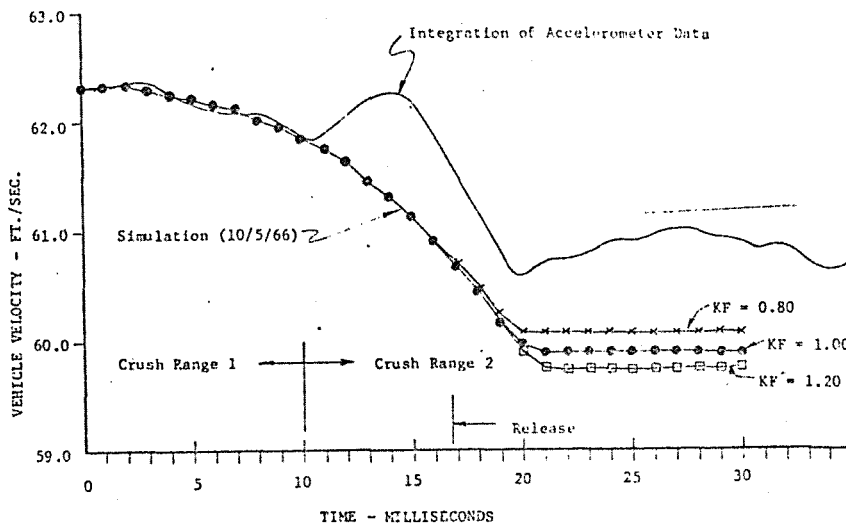
C.

Afbeelding 34.

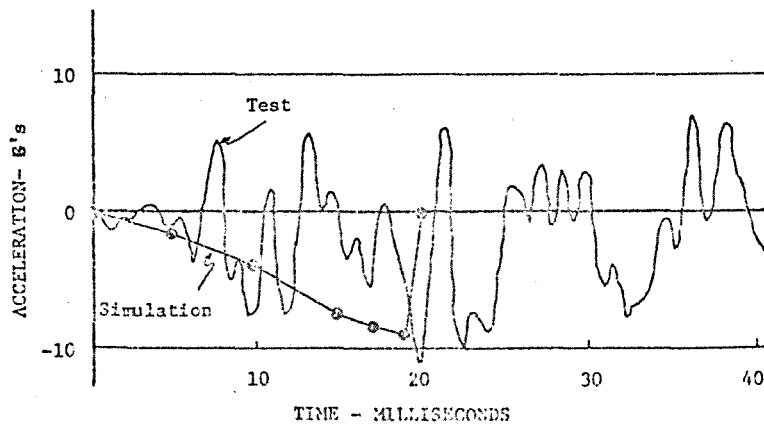
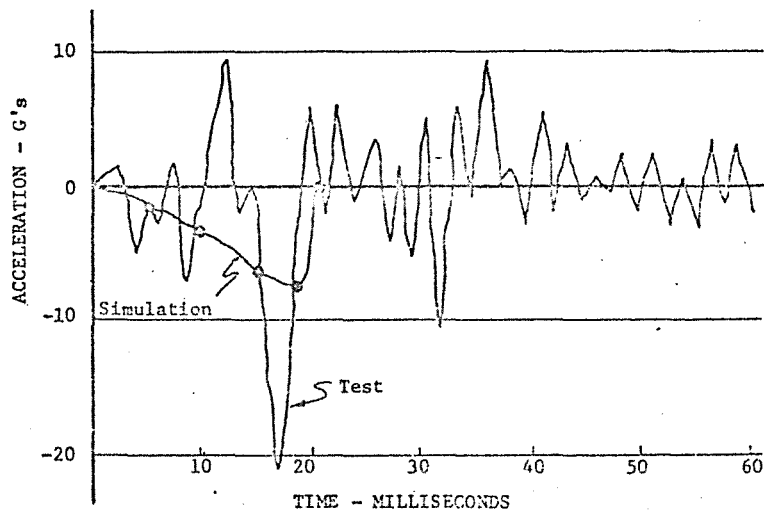
A. Inwendig verlicht bewegwijzeringsbord door de SWOV beproefd.

B. Onder- en bovenflens van de schuifconstructie.

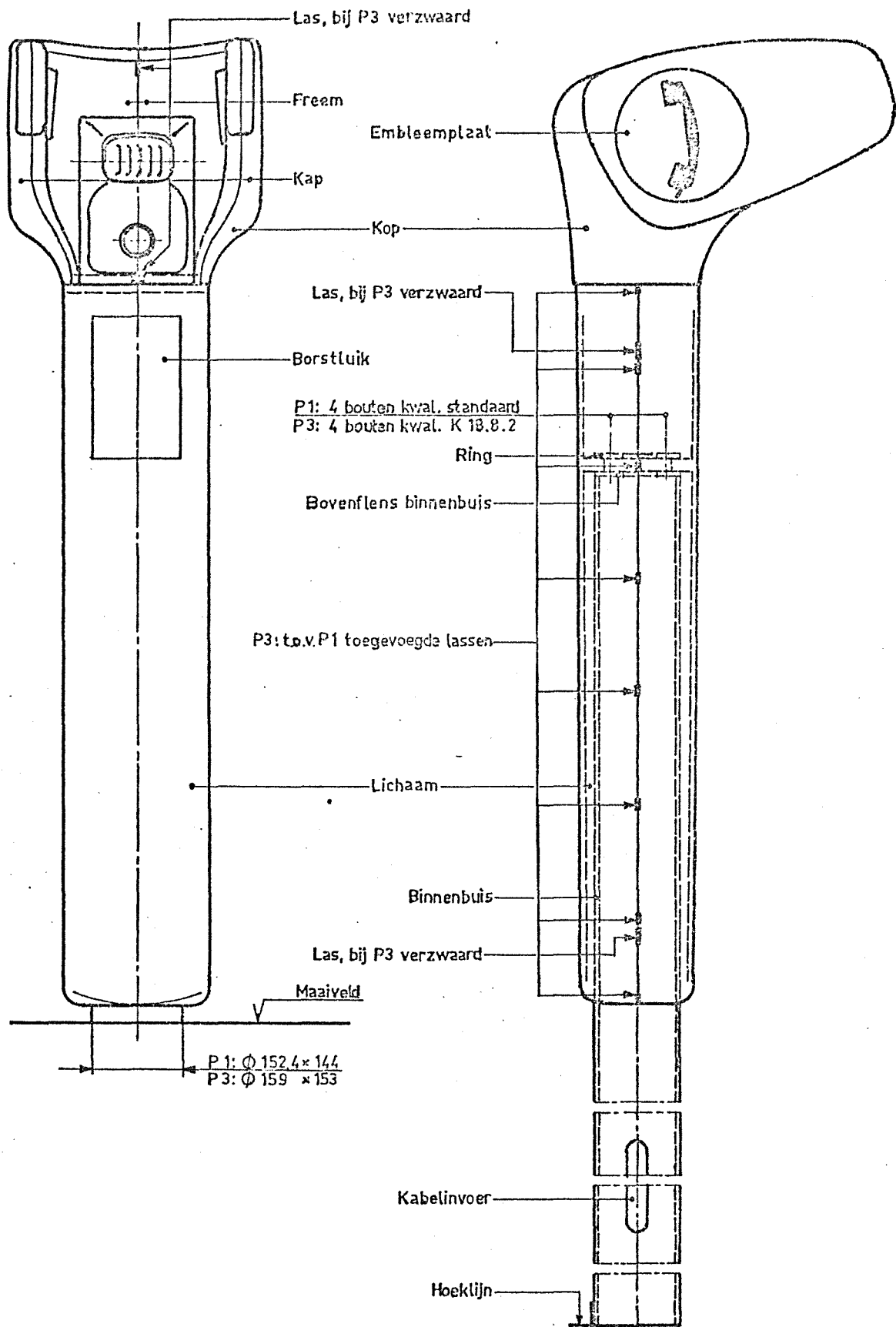
C. Schuifconstructie onder hoek van 10° .



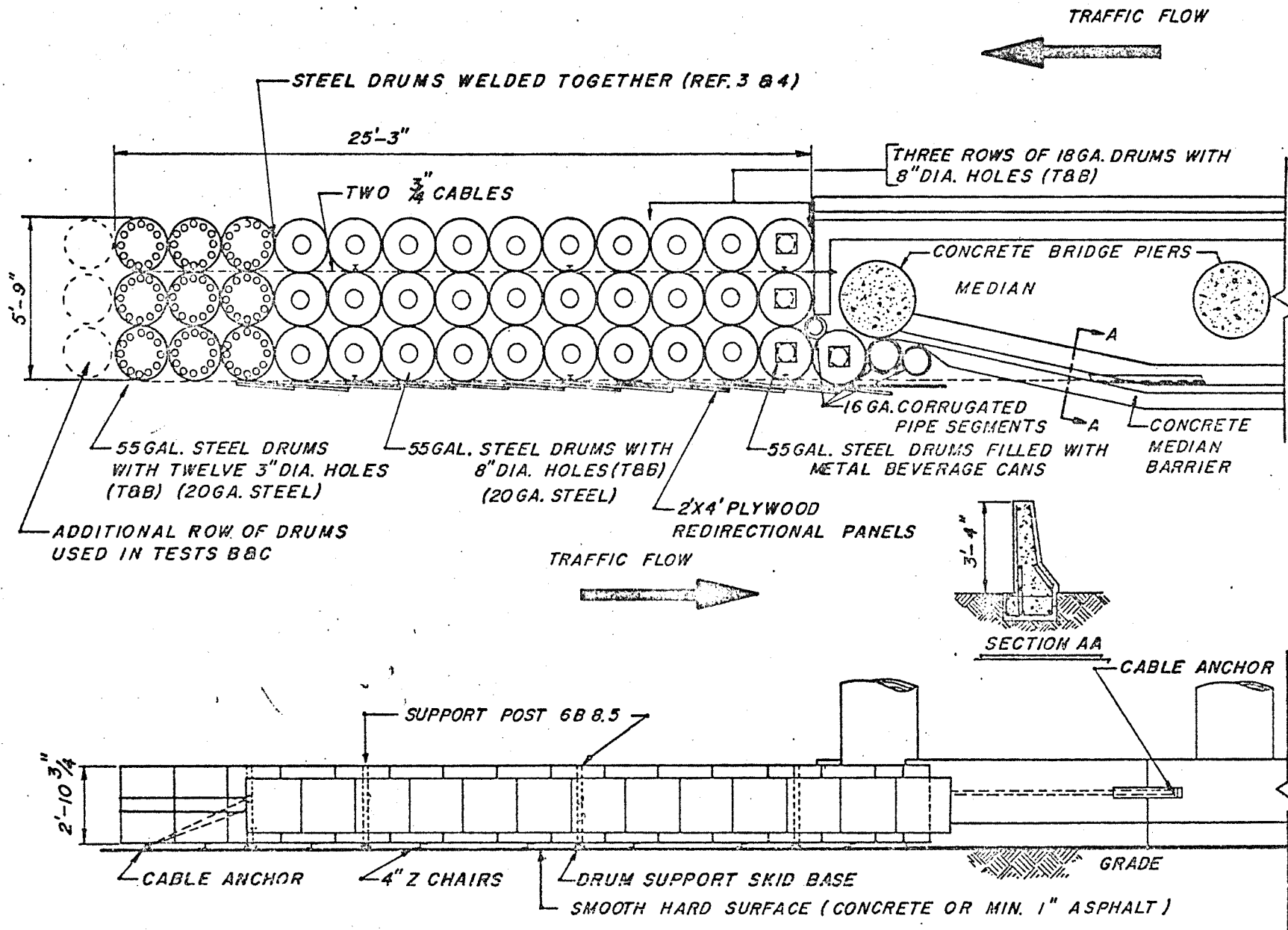
Afbeelding 35a. Snelheidspatroon van model en botsvoertuig (simulatie en test).



Afbeelding 35b. Vertragingsverloop van model en botsvoertuig (simulatie en test).



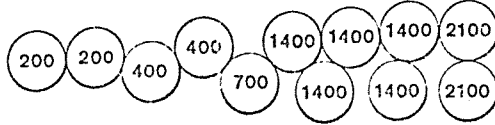
Afbeelding 36. Praatpaal met een dikke binnenbuis (door SWOV beproefd).



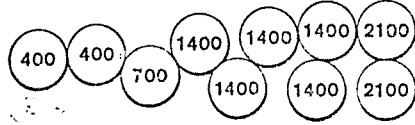
Afbeelding 37. Obstakelbeveiliger van metalen vaten.

Barrier Designation

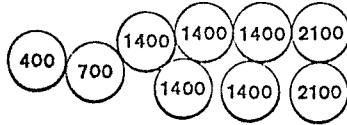
25' x 6'
wt. 13,100 lbs.
12 Modules.



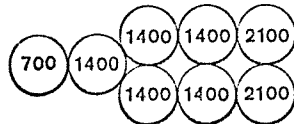
21' x 6'
wt. 12,700 lbs.
10 Modules.



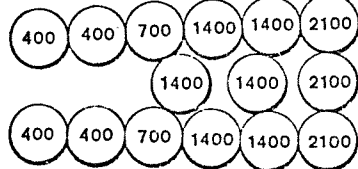
18' x 6'
wt. 12,300 lbs.
9 Modules.



14' 6" x 6'
wt. 11,900 lbs.
8 Modules.

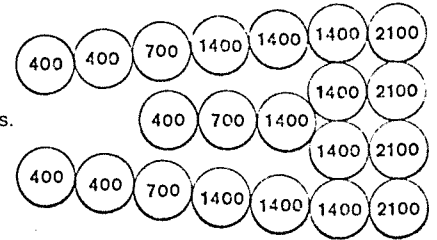


18' x 9'
wt. 17,700 lbs.
15 Modules.

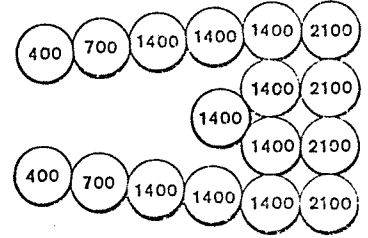


Barrier Designation

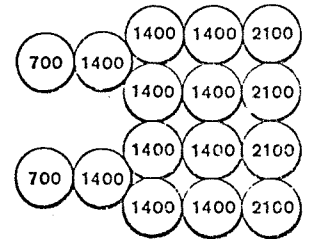
21' x 12'
wt. 25,100 lbs.
21 Modules.



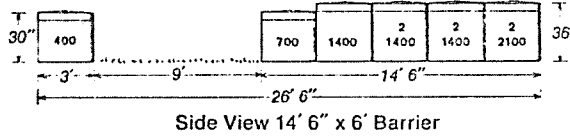
18' x 12'
wt. 23,200 lbs.
17 Modules.



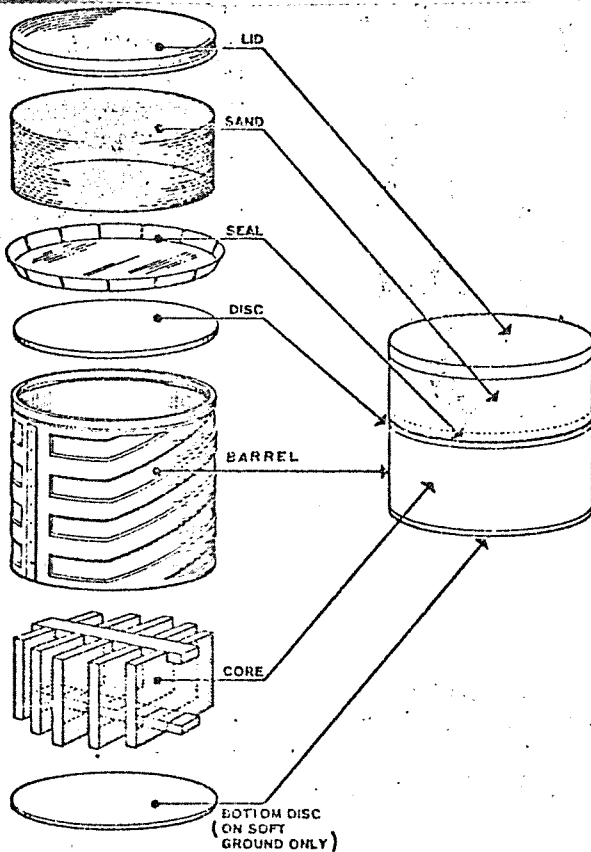
14' 6" x 12'
wt. 23,800 lbs.
16 Modules.



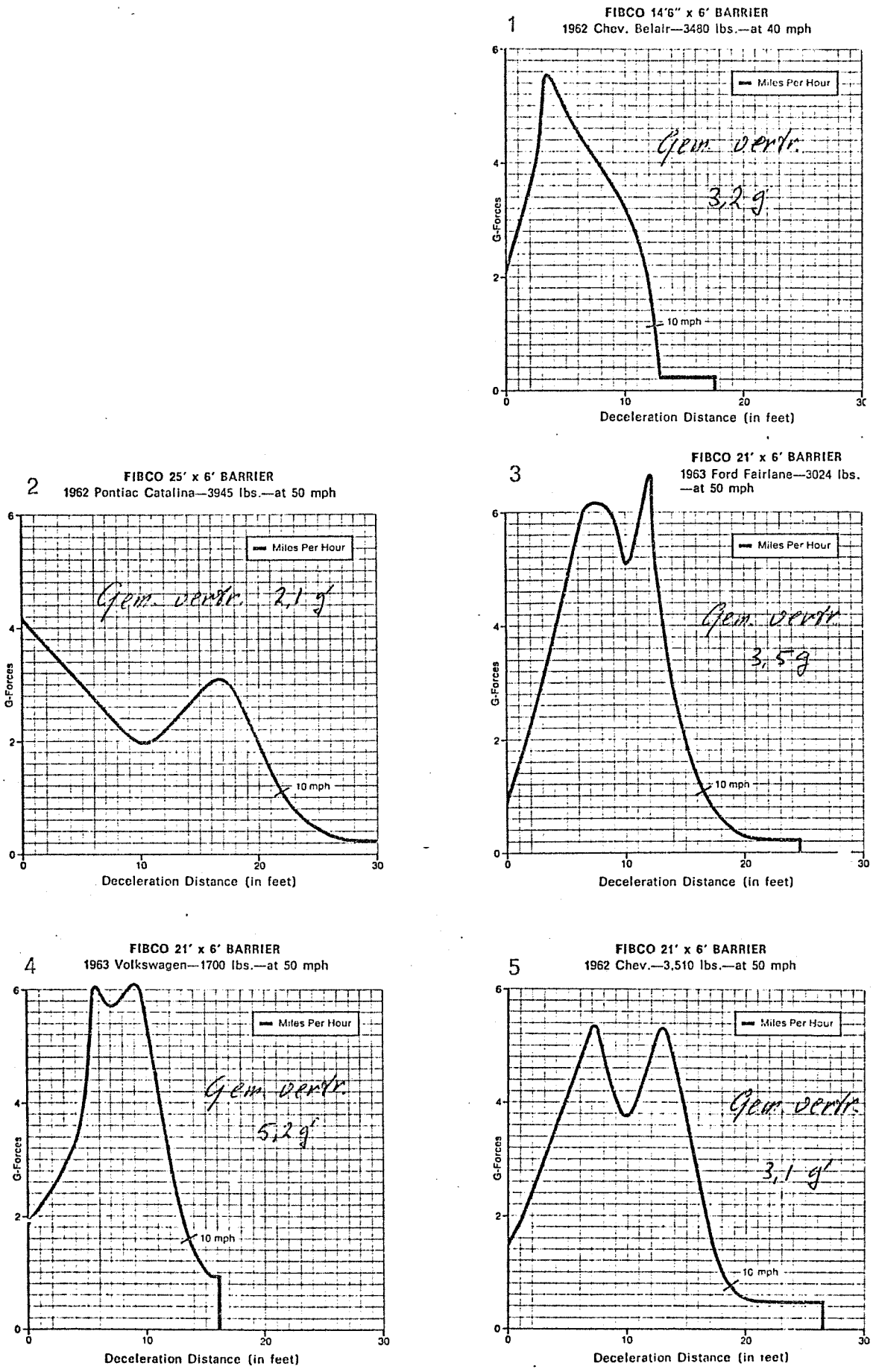
Optional
Second Collision Provision
Applicable to All Barriers.



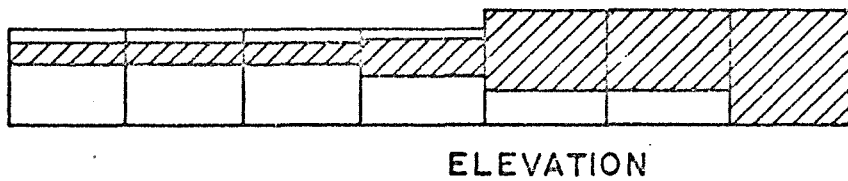
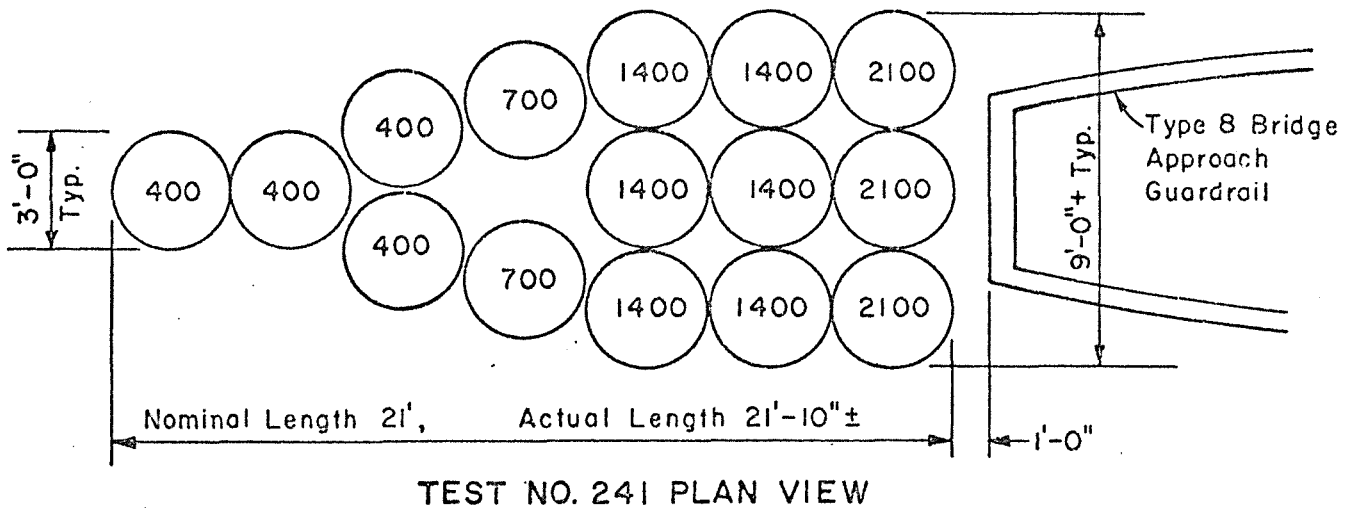
Afbeelding 38. Mogelijke opstellingen van de Fitch-obstakelbeveiliger.



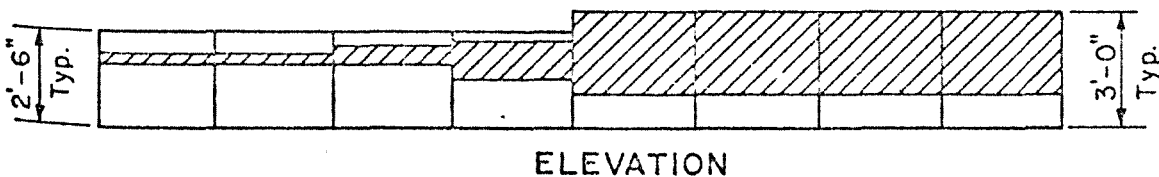
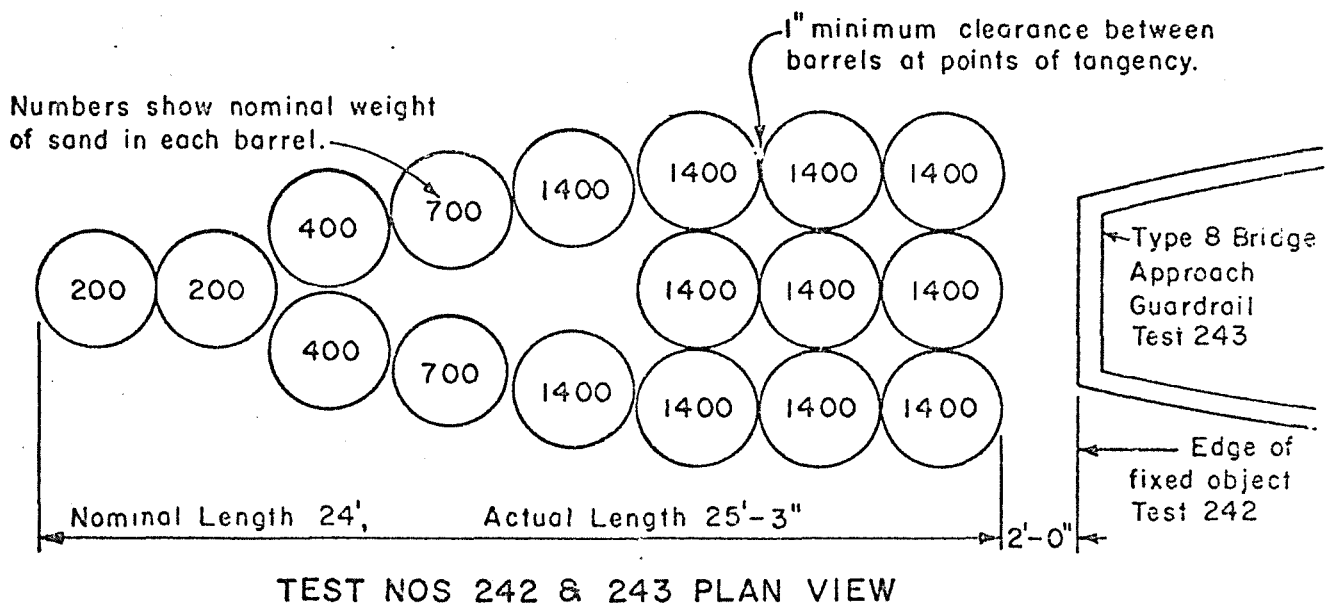
Afbeelding 39. Het kunststofvat voor de Fitch-obstakelbeveiliger.



Afbeelding 40. Vertragingen gemeten tijdens de Fibco Inc. proeven.

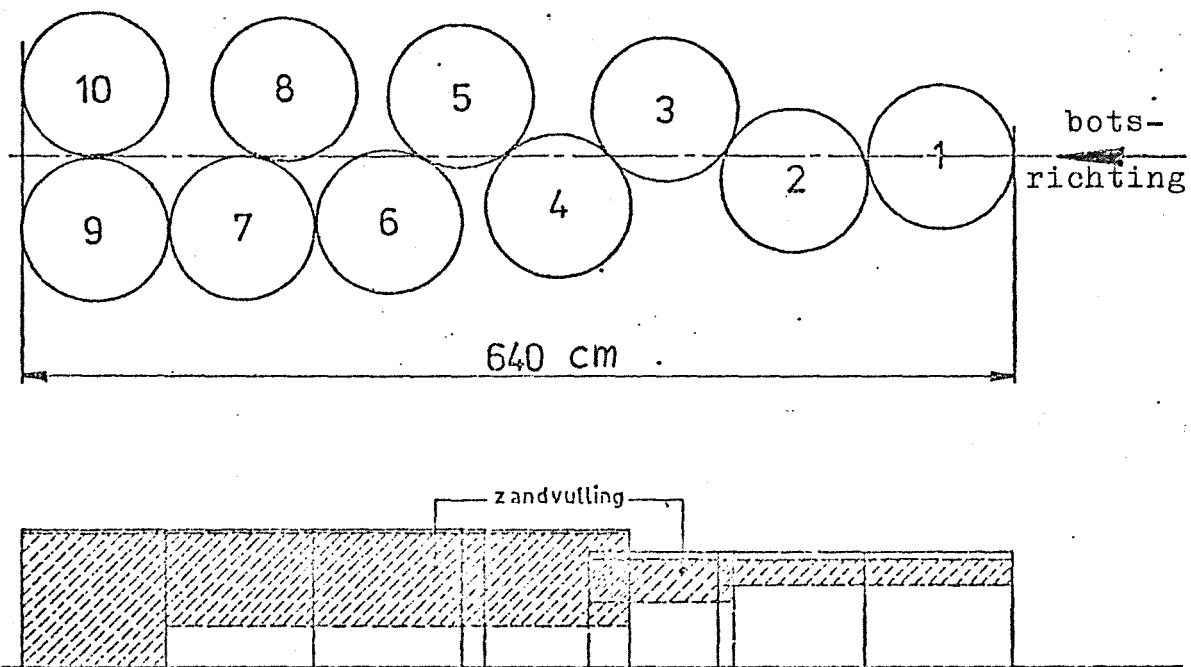


Shaded area shows location of sand inside barrels.

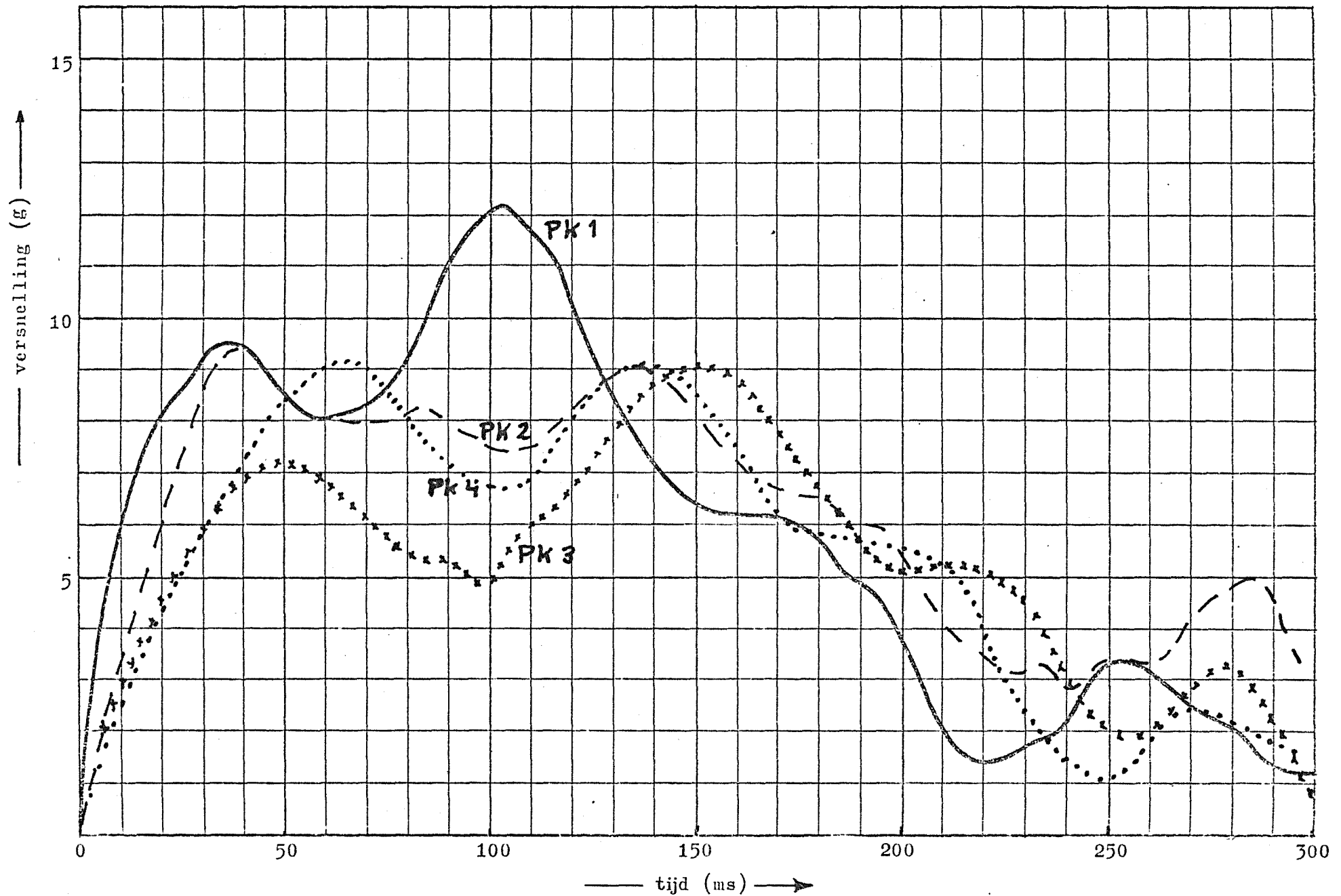


SCALE: 1" = 5'-0"

Afbeelding 41. Opstellingen van de Fitch barrier tijdens de proeven van Department of Public Works, California.

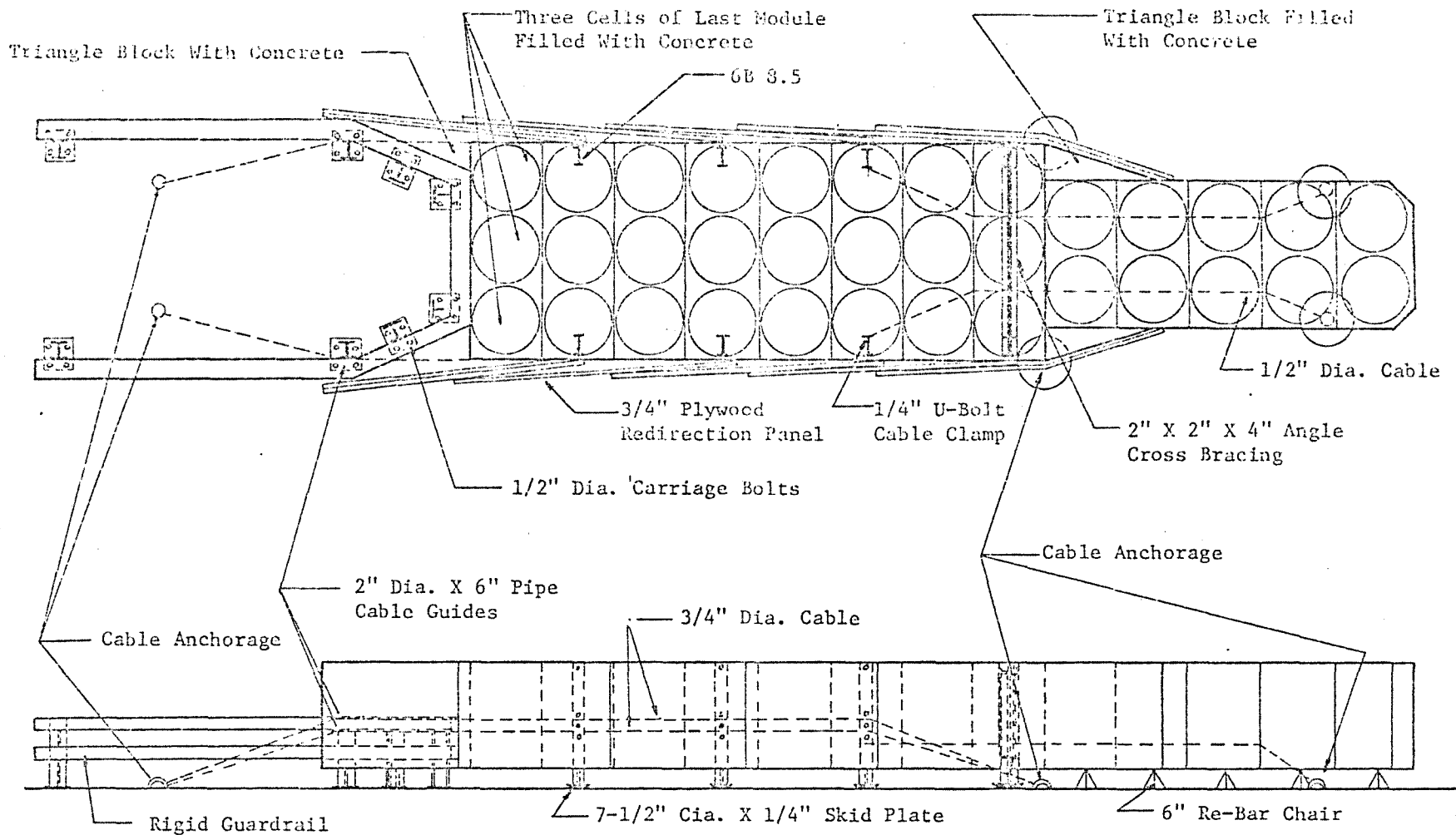


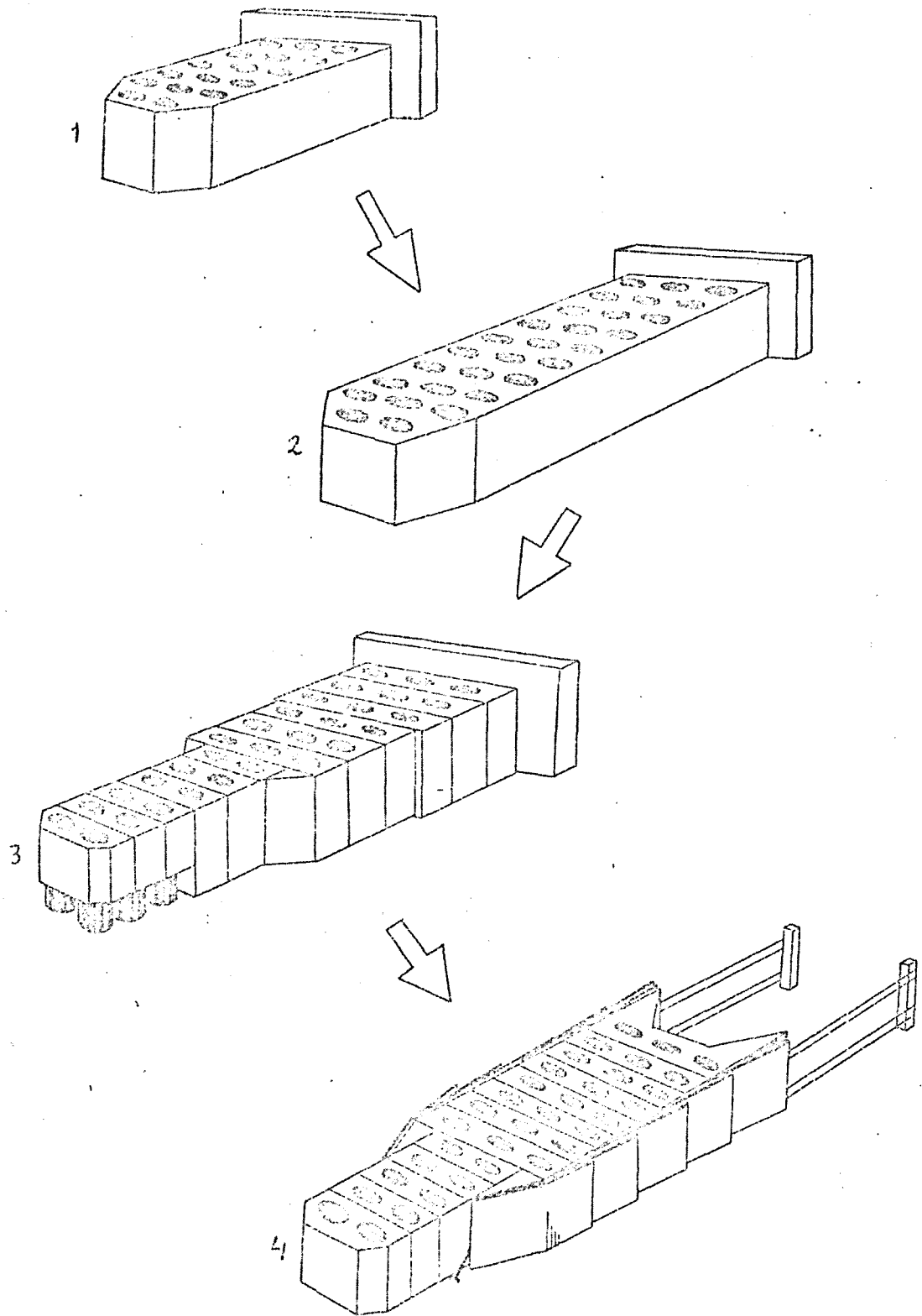
Afbeelding 42. Opstelling van de obstakelbeveiliger die door de SWOV beproefd is.



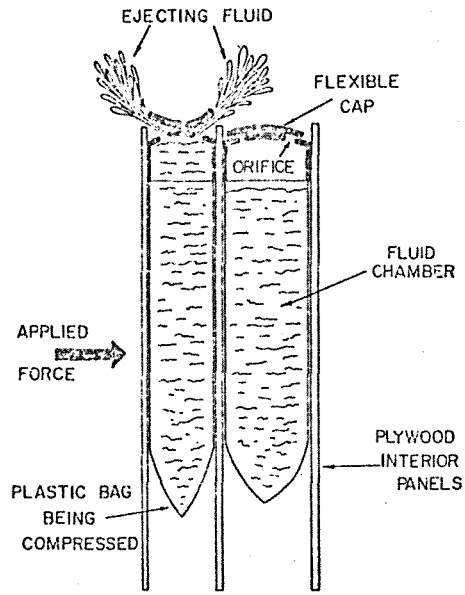
Afbeelding 43. Vertragingsskrommen van de vier obstakelbeveiligingsproeven (SWOV).

Afbeelding 44. Constructie obstakelbeveiligiger van blokken poreus beton, zoals het laatst beproefd.

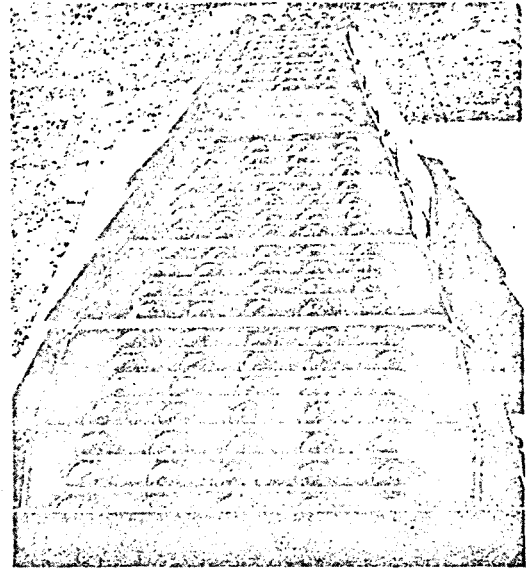




Afbeelding 45. Ontwikkeling van de obstakelbeveiliger van blökken poreus beton.

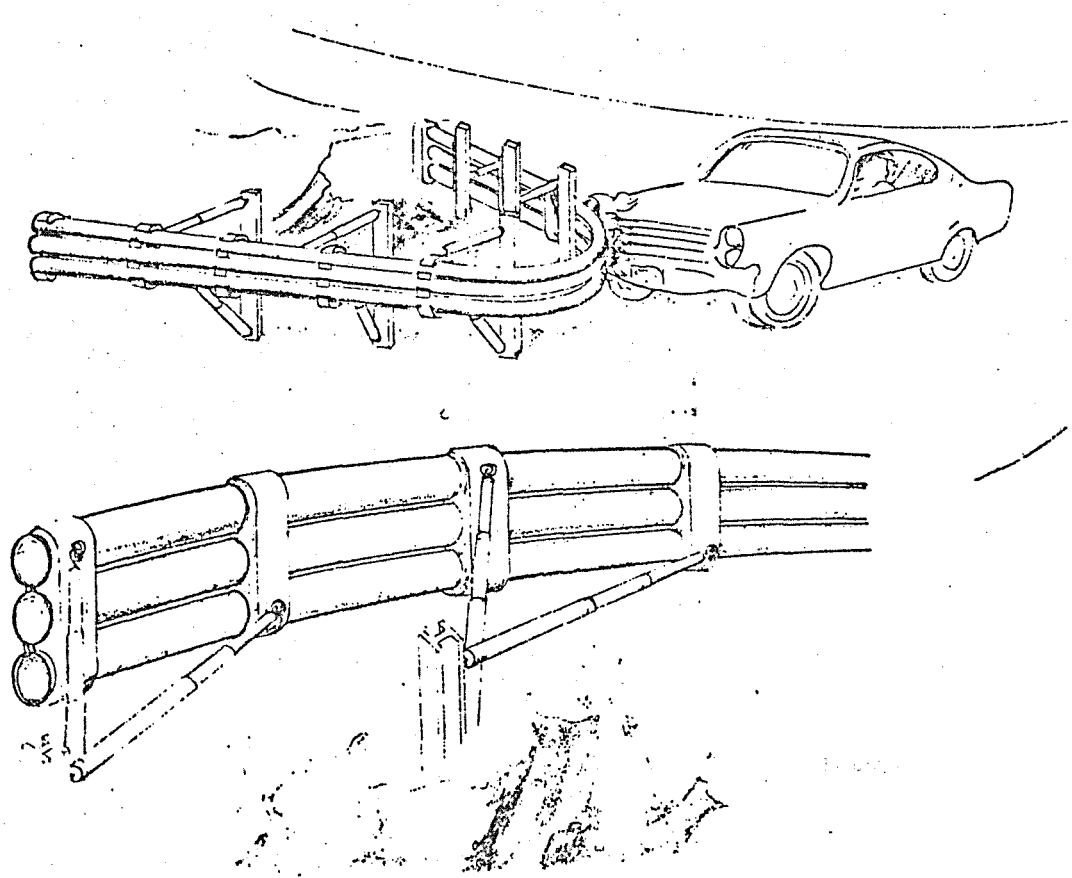


A.

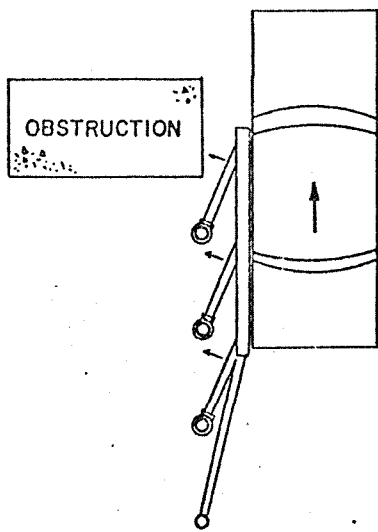


B.

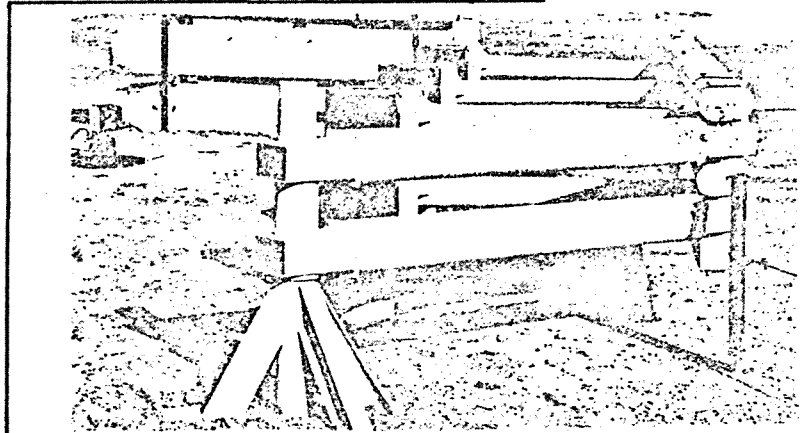
Afbeelding 46. Obstakelbeveiliger van met water gevulde cilinders.



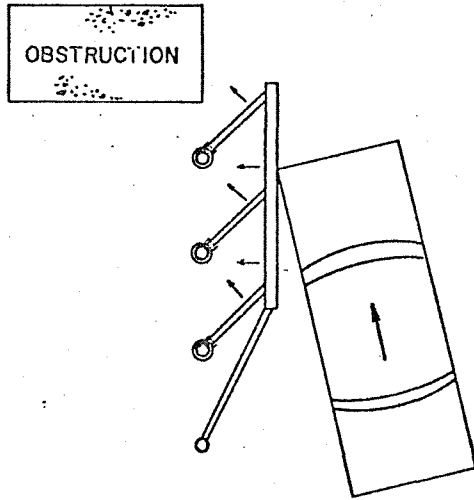
Afbeelding 47. Obstakelbeveiliger met schokdempers (TOR-SHOK).



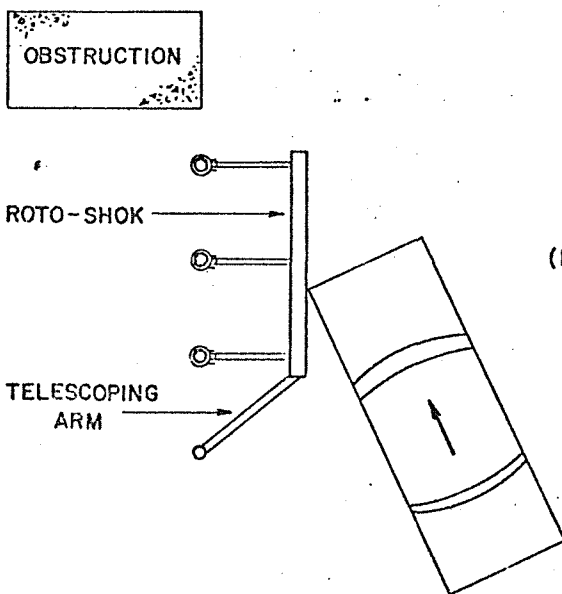
(3) VEHICLE IS REDIRECTED TO MISS OBSTRUCTION



ROTO-SHOK

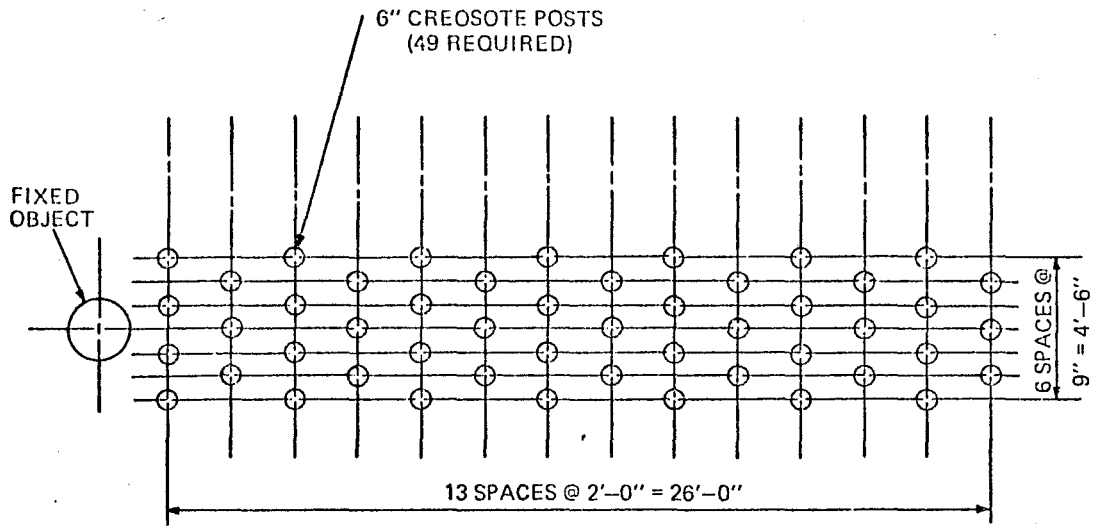


(2) ROTO-SHOK ROTATES AND BEGINS REDIRECTING VEHICLE

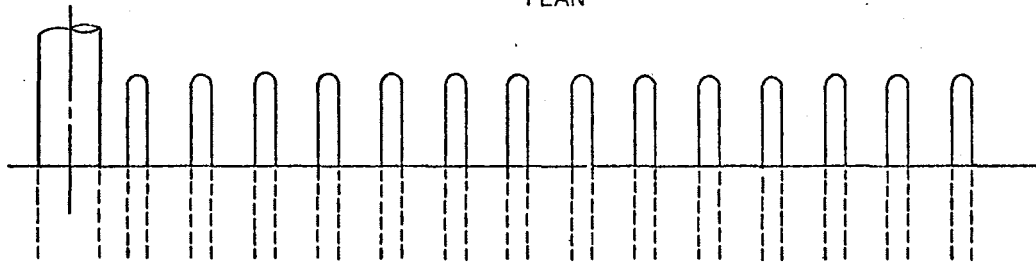


(1) VEHICLE CONTACTS ROTO-SHOK

Afbeelding 48. Werking van de ROTO-SHOK.

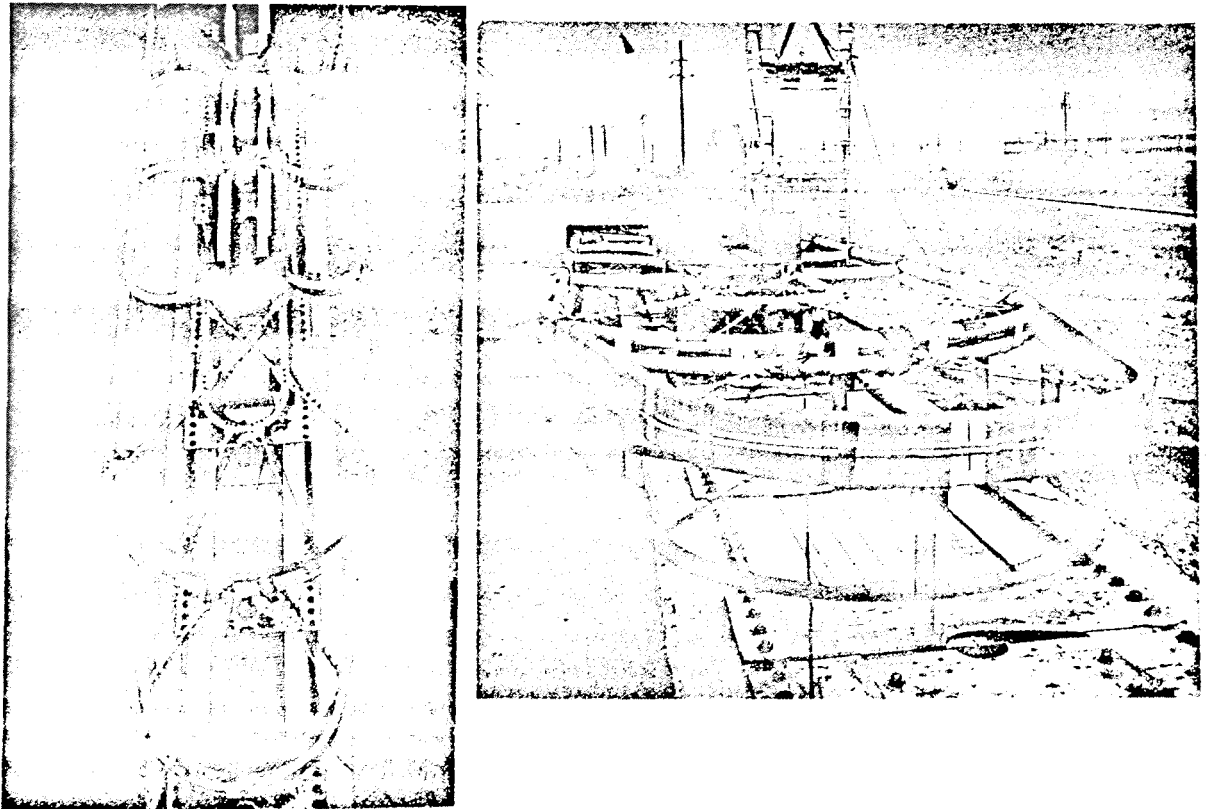


PLAN

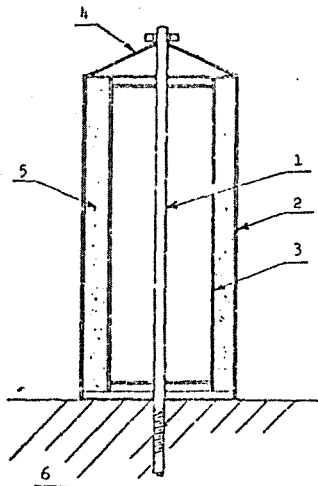


ELEVATION

Afb. 49



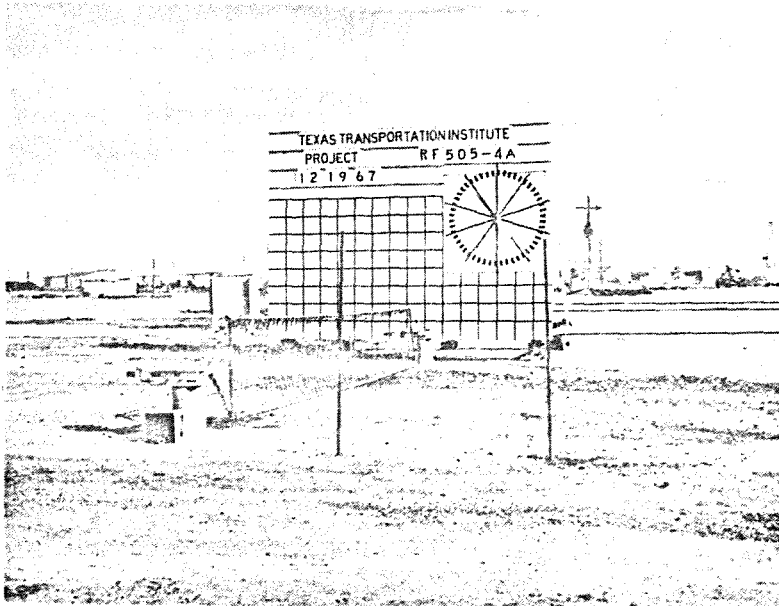
Afbeelding 50. Obstakelbeveiliger van buigzame buizen, zoals die door Cornell Aeronautical Laboratory beproefd is.



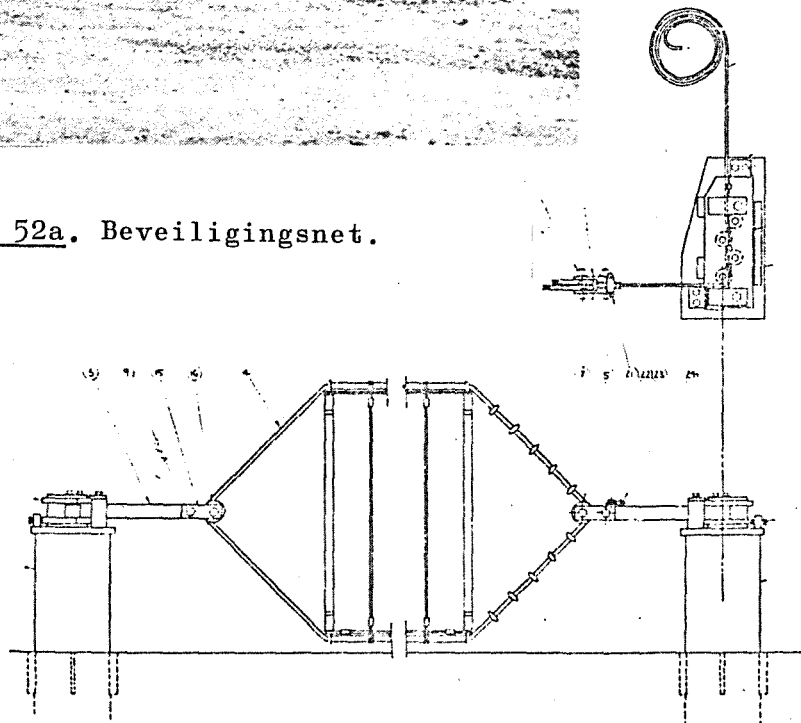
Basic Parts

- 1. Central Rod
- 2. Outer Cylinder
- 3. Inner Cylinder
- 4. Cap
- 5. Filler Material
- 6. Permanent Foundation

Afbeelding 51. Beveiligingscilinder.



Afbeelding 52a. Beveiligingsnet.



Afbeelding 52b. Schematische voorstelling beveiligingsnet en strip met geleider.