

OPGAANDE TALUDES

De bepaling van acceptabele taludconfiguraties op basis van de uitvoering van mathematische simulaties

Consult in opdracht van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat

R-88-27

Ing. C.C. Schoon & ing. W.H.M. van de Pol

Leidschendam, 1988

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

In opdracht van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat is een consult uitgevoerd dat zich richtte op de bepaling van acceptabele dimensies van opgaande taluds (geluidswallen e.d.). Onderzocht is in hoeverre van de rijbaan afgeraakte personenauto's die met opgaande taluds in aanraking komen een te hoge fysische weerstand ondervinden en in hoeverre deze voertuigen op een ongecontroleerde manier weer op de rijbaan terugkeren. Van de acht wegtypen van de RONA-categorie-indeling voor wegen van buiten de bebouwde kom zijn de volgende drie à vier bij het onderzoek betrokken: auto-snelweg, combinatie van autoweg en weg met een gesloten verklaring en weg met gemengd verkeer.

Het onderzoek is verricht middels het simuleren van taludongevallen (-incidenten) waarbij gebruik is gemaakt van het computermodel VEDYAC. De mathematische simulaties zijn uitgevoerd met een middelzwaar type personenauto; bij een vorig onderzoek met aflopende taluds heeft een verificatie aan de hand van proeven op ware schaal aangetoond dat de grootte van de voertuigvertragingen en voertuigbewegingen van dit type personenauto een goed beeld van de werkelijkheid geven.

Vele kenmerken beïnvloeden het verloop van een incident met een opgaand talud zoals de weg-, talud- en voertuigkenmerken en inrijcondities. Gezien de vraagstelling zijn de volgende taludkenmerken bij het consult betrokken: afstand van het talud tot de rijbaan, hardheid van het taludoppervlak, hellingshoek, afrondingsstraal en hoogte. De wegkenmerken en inrijcondities zijn aan elkaar gekoppeld. Er is een vooronderzoek verricht naar de grootte van de inrijsnelheden en inrijhoeken van de drie geselecteerde wegcategorieën. Om de incidenten zo realistisch mogelijk na te bootsen zijn de simulaties met de voertuigmanoeuvres "remmen" en "sturen" uitgevoerd.

Vanwege de vele te onderzoeken variabelen is bij de uitvoering van de simulaties de volgende methodiek toegepast. Met de uitvoering van een eerste serie simulaties met de voertuigmanoeuvre "remmen" zijn taludconfiguraties geselecteerd die een geringe fysische weerstand hebben. Hiermee is vervolgens een tweede serie simulaties uitgevoerd met de voertuigmanoeuvres "sturen met en zonder remmen" voor het vaststellen van het ongecontroleerd terugkeren van het voertuig op de rijbaan. Verder zijn nog

taludconfiguraties uit de praktijk onderzocht op de grootte van de fysische weerstand.

Gebleken is dat de voertuigmanoeuvres met sturen moeilijk te interpreteren resultaten gaven. Enerzijds daar geen inzicht bestaat welke stuurmanoeuvres in een ongevalssituatie uitgevoerd (kunnen) worden, anderzijds vanwege modelbeperkingen waardoor arbitraire criteria gehanteerd moesten worden. Mede vanwege het feit dat de resultaten van de stuurmanoeuvres niet aan de hand van praktijkgegevens geverifieerd konden worden, is geconcludeerd dat aan de resultaten van de simulaties met stuurmanoeuvres slechts een relatieve waarde toegekend kan worden.

De volgende meer algemeen geldende conclusies zijn gebaseerd op de simulaties met remmanoeuvres ter vaststelling van de fysische weerstand van opgaande taluds:

- Taluds langs autosnelwegen dienen een afrondingsstraal van tenminste vier meter te hebben en taluds langs lagere-orde wegen een afrondingsstraal van tenminste twee meter.
- Bij toepassing van de aangegeven afrondingsstralen hebben de hellingshoeken en inrijcondities minder invloed op de grootte van de fysische weerstand.
- Steile hellingen (1:0,7 tot 1:1,5) en in mindere mate de helling van 1:2, veroorzaken dermate grote voertuigrotaties dat adequaat reageren van de bestuurder niet te verwachten is.
- Afhankelijk van het wegtype (en de inrijcondities) bedragen de geregistreerde maximale klimhoogtes van het voertuig 2,20 m tot 4,25 m.
- Greppels aan de voet van het talud kunnen leiden tot roll-overs met grote snelheid.

Bij het onderzoek is slechts één waarde van de hardheid van de berm, dan wel van het talud in beschouwing genomen. Aangezien geen praktijkgegevens bekend zijn, is het onzeker of deze waarde representatief is voor bestaande taluds. Aanbevolen wordt onderzoek te verrichten naar de invloed van de hardheid van de berm op het dynamisch gedrag van het voertuig.

INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding
2. Doel van het onderzoek en probleemanalyse
3. Opzet van het onderzoek en vaststelling van de kenmerken en condities
 - 3.1. Opzet
 - 3.2. Het computermodel VEDYAC
 - 3.3. Vaststelling van de wegtypen
 - 3.4. Vaststelling van de inrijcondities
 - 3.4.1. Inrijsnelheid en inrijhoek
 - 3.4.2. Voertuigmanoeuvres
 - 3.5. Vaststelling van kenmerken en variabelen van opgaande taluds
 - 3.6. Vaststelling van voertuigtypen en stuurwielbelasting
4. Criteria
 - 4.1. Fysische weerstand
 - 4.2. Ongecontroleerd terugkeren van voertuig op de rijbaan en potentiële manoeuvreerbaarheid
 - 4.3. Aanpassing criteria van de fysische weerstand
5. Uitvoering
 - 5.1. Eerste serie simulaties
 - 5.2. Tweede serie simulaties
 - 5.3. Derde serie simulaties
6. Resultaten
 - 6.1. Eerste serie simulaties (fysische weerstand van het talud)
 - 6.1.1. Invloed afrondingsstraal
 - 6.1.2. Invloed hellingshoek
 - 6.1.3. Invloed inrijcondities

- 6.2. Tweede serie simulaties (het ongecontroleerd terugkeren van het voertuig op de rijbaan en de potentiële manoeuvreerbaarheid)
 - 6.2.1. Uitvoering en beoordeling
 - 6.2.2. Resultaten
 - 6.2.3. Beoordeling van de taludfiguraties
- 6.3. Derde serie simulaties (op de praktijk geënte taludconfiguraties)

7. Resumé en discussie

8. Conclusies

Afbeeldingen 1 en 2

Plots 1 t/m 6

Tabellen 1 t/m 4

Bijlagen 1 t/m 4

VOORWOORD

Dit consult behandelt de veiligheidsaspecten van opgaande taluds als een voertuig van de rijbaan raakt en met het talud in aanraking komt. Opgaande taluds langs wegen zijn aarden wallen die zijn ingegraven of die zijn opgeworpen als geluidbeperkende voorziening.

Opgaande taluds kunnen in twee opzichten de verkeersveiligheid negatief beïnvloeden: het talud kan als een gevarenzone aangemerkt worden vanwege de obstakelwerking en/of het talud "keert" de van de rijbaan afgeraakte voertuigen zodanig dat ze op een ongecontroleerde manier weer op de rijbaan komen. Beide aspecten zullen worden behandeld.

De opdrachtgever van het consult is de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat. Het consult zou in eerste instantie beantwoord worden op basis van beschikbare kennis uit de literatuur en gegevens van ongevallen. Na oriëntatie bleek dat dergelijke gegevens nauwelijks voorhanden waren. In overleg met de opdrachtgever is besloten het consult te beantwoorden middels het uitvoeren van mathematische simulaties van ongevallen dan wel van incidenten met opgaande taluds. Om de kosten beperkt te houden, kon geen verificatie-onderzoek worden uitgevoerd.

In dit consult wordt de nodige kennis toegepast die is verkregen met de uitvoering van mathematische simulaties met aflopende taluds. Hierover heeft de SWOV reeds eerder aan de Dienst Verkeerskunde gerapporteerd. Het betreft de consulten:

Aflopende taluds; De invloed van diverse taludkenmerken op de afloop van een taludincident, bepaald met behulp van mathematische simulaties;

- Deel I: Gesimuleerde taludincidenten zonder voertuigmanoeuvres, (R-87-8);

- Deel II: Gesimuleerde taludincidenten met voertuigmanoeuvres (R-88-15).

Naar deze consulten zal hier herhaaldelijk worden verwezen.

Het consult is samengesteld door ing. C.C. Schoon. De mathematische simulaties zijn uitgevoerd door ing. W.H.M. van de Pol.

1. INLEIDING

Met het uitvoeren van simulaties van incidenten waarbij een voertuig in de berm is geraakt, is bij het onderzoek aflopende taluds veel kennis verkregen. Genoemd kan worden: de uitvoering van rem- en stuurmanoeuvres, de invloed van de hardheid van de berm op het voertuiggedrag, de invloed van afrondingsstralen en taludhellingen op het taludincident en een nieuwe benadering voor de vaststelling van de inrijcondities. Kennis die bij de opzet en uitvoering van simulaties met opgaande taluds benut zal worden.

In het rapport "Aflopende taluds II" is aangegeven dat de gehanteerde inrijcondities (inrijsnelheid en inrijhoek van het voertuig bij het verlaten van de rijbaan) aan een nader onderzoek onderworpen dienen te worden. In de eerste plaats lijken ze aan de extreme kant te zijn en in de tweede plaats zijn ze alleen voor de autosnelwegen bepaald. Voor wegtypen van lagere orde zijn de inrijcondities anders. Deze wegen hebben bijvoorbeeld lagere ontwerpsnelheden: de inrijcondities dienen hiermee in overeenstemming gebracht te worden. In dit consult zal hier aandacht aan worden besteed.

Voor het uitvoeren van de mathematische simulaties zal het computermodel VEDYAC worden gehanteerd. Hoewel tijdens het onderzoek aan aflopende taluds een uitgevoerde verificatie heeft aangetoond dat de voorspellende waarde van het model groot is, mag nooit een exacte representatie van de realiteit worden verwacht. Daarnaast zullen voor dit consult kenmerken worden betrokken die niet met een verificatie getoetst kunnen worden. In par. 3.2 zal hierop nader worden ingegaan.

2. DOEL VAN HET ONDERZOEK EN PROBLEEMANALYSE

In de consultaanvraag zijn de volgende vraagstellingen opgenomen:

1. Nagaan welke risico's optreden als een voertuig een opgaand talud inrijdt en hoe groot die risico's zijn bij verschillende taludhellingen.
2. Aangeven hoe groot de risico's zijn dat voertuigen onder een grote hoek op de rijbaan terugkomen.

In aanvulling op de opdracht heeft de DVK te kennen gegeven geïnteresseerd te zijn in een op verkeersrisico's gebaseerde afweging aangaande de plaatsing van geleiderail versus onafgeschermd opgaande taluds.

In overleg met de opdrachtgever is besloten diverse wegtypen bij het onderzoek te betrekken. Hierbij zal worden uitgegaan van de RONA-categorie-indeling. Verder zal het onderzoek alleen betrekking dienen te hebben op incidenten met personenauto's.

Als een voertuig van de rijbaan raakt, kan worden gesproken van een incident. Gaat het voertuig daarbij over de kop of botst het tegen een (star) object, dan is er sprake van een ongeval.

Bij een goede vormgeving van opgaande taluds hoeft het niet tot een ongeval te komen: het voertuig ondervindt geen grote krachtingwerking van het talud en de bestuurder zal in staat zijn het voertuig weer onder controle te krijgen. Voor de beoordeling of er sprake is van een goede vormgeving zullen criteria opgesteld dienen te worden.

Een goede afloop van een taludincident is afhankelijk van vele elkaar beïnvloedende kenmerken. Dit zijn in de eerste plaats de volgende taludkenmerken: afstand van het talud tot de rijbaan, hardheid van het taludoppervlak, hellingshoek, afrondingsstraal en hoogte, en in de tweede plaats de inrijcondities: snelheid, inrijhoek en stuur- en remmanoeuvres. Verder zijn onder andere de volgende voertuigkenmerken van belang: wielbasis en spoorbreedte (in verband met de voertuigstabiliteit), grootte van de overhang van carrosseriedelen vóór het voorwiel en de wieldiameter.

De inrijcondities, voertuigkenmerken en de hardheid van het talud, worden bij dit consult niet als beïnvloedbaar door de wegbeheerder beschouwd. Aangezien ze wel bij het verloop van taludincidenten een grote rol spelen, zullen bij het uitvoeren van de simulaties de bij deze kenmerken behorende waarden zo goed mogelijk op de praktijk gebaseerd moeten worden. De taludkenmerken: hellingshoek, hoogte, afrondingsstraal en afstand tot

de rijbaan, kunnen door de wegbeheerder worden aangepast. Het consult zal zich dan ook richten op het bepalen van de invloed van deze kenmerken op de afloop van een taludincident.

In civiel- en verkeerstechnische zin zijn er bepaalde relaties tussen genoemde taludkenmerken en wegtypen. Deze komen in paragraaf 3.4 aan de orde.

In de consultaanvraag wordt door de opdrachtgever een aantal suggesties voor te onderzoeken doorsneden van opgaande taluds gedaan. Daarnaast kan inzicht in de reeds in de praktijk toegepaste taludconfiguraties van belang zijn voor het bepalen van de keuze van de bij de simulaties toe te passen variabelen. Hiertoe zal een globale inventarisatie noodzakelijk zijn.

3. OPZET VAN HET ONDERZOEK EN VASTSTELLING VAN DE KENMERKEN EN CONDITIES

3.1. Opzet

Het vaststellen van de invloed van de diverse kenmerken op het voertuiggedrag, zal plaatsvinden aan de hand van het simuleren van taludincidenten. Hiertoe zal het computermodel VEDYAC worden gehanteerd (zie verder par. 3.2).

Bij het uitvoeren van de simulaties zijn in totaal tien kenmerken en condities betrokken. Als hierbij per kenmerk of conditie drie variabelen worden onderscheiden, zouden in totaal bijna 60.000 (3^{10}) simulaties moeten worden uitgevoerd om de invloed van elke variabele afzonderlijk te meten. Een niet te realiseren opgave.

De onderzoekopzet zal dan ook gericht moeten zijn op de selectie van het aantal variabelen. Dit zal in de eerste plaats plaatsvinden door het analyseren van de te onderzoeken kenmerken en condities om vervolgens tot een keuze van de variabelen te komen (zie par. 3.2 t/m 3.5). In de tweede plaats zal bij het uitvoeren van een beperkt aantal simulaties een zoekstrategie worden uitgevoerd om die variabelen te selecteren die voor de onderzoekresultaten van belang zijn. Hiertoe zal worden nagegaan welke kenmerken de obstakelwerking van een opgaand talud al-dan-niet beïnvloeden.

Een inventarisatie zal uitgevoerd worden om inzicht te krijgen in kenmerken van enkele reeds toegepaste taludconfiguraties. In eerste instantie zullen gemakkelijk beschikbare gegevens van wegbeheerders (rijk, provincie en gemeenten) worden gebruikt. Daarnaast zullen zonedig door een eigen meetploeg metingen in de praktijk worden verricht.

3.2. Het computermodel VEDYAC

Op Bijlage 1 is een beschrijving van het computermodel VEDYAC (VEHICLE DYNAMICS AND CRASH DYNAMICS) gegeven. Tevens zijn de conclusies opgenomen van een verificatie-onderzoek dat tijdens het onderzoek aflopende taluds heeft plaatsgevonden. Bij dit onderzoek zijn de meetgegevens van de proeven op ware schaal vergeleken met de gegevens van de mathematische simulaties. Zowel de proeven op ware schaal als de simulaties zijn uitgevoerd op een harde berm of talud.

In verband met de uit te voeren simulaties met opgaande taluds kan worden geconcludeerd dat het model goed in staat is de voertuigbewegingen (rol-

hoek, baan) en de grootte van de voertuigvertragingen te berekenen. Er heeft toentertijd echter geen verificatie van voertuigmanoeuvres (remmen en/of sturen) plaatsgevonden. Van de simulaties met alleen remmanoeuvres wordt op grond van expertise van het model aangenomen dat het model een redelijk betrouwbare weergave geeft. Aangaande de uitkomsten van simulaties met stuurmanoeuvres dient een voorbehoud gemaakt te worden. Vanwege het ontbreken van een verificatie zal geen parameterinstelling aan de hand van praktijkproeven kunnen plaatsvinden; de keuze van de hardheid van de berm is hierop mede van invloed (zie par. 3.5). Er zal worden uitgegaan van het zo goed mogelijk inschatten van "gemiddelde" waarden.

3.3. Vaststelling van de wegtypen

In de doelstelling is aangegeven dat het onderzoek betrekking heeft op opgaande taluds langs diverse wegtypen. Op Bijlage 2 zijn alle ROA/RONA wegcategorieën weergegeven met de hieraan gekoppelde ontwerpeisen en normaal dwarsprofielen. Gezien het grote aantal categorieën wegtypen (acht typen, variërend van autosnelweg tot weg met gemengd verkeer) en de relatief geringe verschillen tussen de opeenvolgende categorieën, is een keuze gemaakt om het aantal uit te voeren simulaties beperkt te houden. In de volgende tabel zijn de geselecteerde wegtypen aangegeven met de daarbij voor het onderzoek relevante kenmerken.

Categorie	Wegtype	Ontwerp- snelheid	Bergings- zone (m)	Obstakel- vrije zone (m)
I	Autosnelweg	120 km/u	2,60	10
III	Autoweg	100 km/u	2,60	6
V	Gesloten verklaring	80 km/u	2,60	4,50
VI	Gemengd verkeer	60 km/u	1,50	3

Op basis van ontwerpsnelheid en obstakelvrije zone kunnen de inrijcondities worden vastgesteld. De breedte van de bergingszone is opgenomen vanwege de overweging dat de teen van het opgaande talud zich buiten deze zone dient te bevinden.

3.4. Vaststelling van de inrijcondities

3.4.1 Inrijsnelheid en inrijhoek

Uit de literatuur is slechts summier bekend met welke uitrijsnelheden en onder welke uitrijhoeken de personenauto's op de diverse wegtypen van de rijbaan raken. Deze uitrijcondities zijn de inrijcondities van de berm. Teneinde de inrijcondities voor alle geselecteerde wegtypen op een ondubbelzinnige wijze vast te stellen, is een vooronderzoek verricht. Hierbij is de volgende gedachtengang gehanteerd. De aan de categorieën gekoppelde obstakelvrije zones zijn (voorlopig) gebaseerd op de veronderstelling dat bestuurders van van de rijbaan afgeraakte voertuigen in staat zijn hun voertuig binnen deze zone te corrigeren. Deze veronderstelling is bruikbaar voor nadere exercities binnen het vooronderzoek. De noodzakelijk gemaakte uit te voeren correcties door de bestuurder laten zich vertalen in rem- en stuurmanoeuvres. Daar gegevens over deze manoeuvres (in de literatuur) geheel ontbreken, wordt van één uniforme (arbitraire) manoeuvre uitgegaan: de bestuurder remt bij een wegbermincident voluit en stuurt tot de wielen een uitslag van 15° hebben bereikt. Bij een dergelijke manoeuvre is in het vooronderzoek nagegaan met welke combinaties van inrijsnelheid en inrijhoek het mogelijk is dat van de rijbaan afgeraakte personenauto's nog juist binnen de obstakelvrije zone blijven.

Volgens bovenstaande opzet zijn met het computermodel VEDYAC simulaties van incidenten in de vlakke berm onderzocht. Voor het vinden van het verband tussen de inrijsnelheid en inrijhoek zijn bepaalde van de ontwerp-snelheden afgeleide snelheden gekozen, waarna vervolgens de bijbehorende inrijhoek is vastgesteld. De aldus verkregen combinaties van inrijsnelheid en inrijhoek zullen verder worden gehanteerd bij het uitvoeren van simulaties met opgaande taluds.

De in dit vooronderzoek uitgevoerde simulaties heeft voor de diverse wegtypen het resultaat opgeleverd als weergegeven in de volgende tabel.

Aangezien de combinaties van inrijsnelheid en inrijhoek van de wegcategorieën III en V in aanzienlijke mate met elkaar overeenkomen en het feit dat de bergingszone bij beide categorieën even breed is (zie Bijlage 2 en de volgende paragraaf), is besloten bij de simulaties met opgaande taluds beide categorieën samen te voegen (categorie III/V).

Wegcategorie	Ontwerpsnelheid	Inrijnsnelheid - Inrijhoek
I	120 km/uur	100 km/u - 17°
		80 km/u - 23°
		60 km/u - 34°
III	100 km/uur	80 km/u - 16°
		60 km/u - 23°
		40 km/u - 38°
V	80 km/uur	80 km/u - 15°
		60 km/u - 20°
		40 km/u - 33°
VI	60 km/uur	60 km/u - 17°
		40 km/u - 26°

3.4.2. Voertuigmanoeuvres

Bij dit onderzoek zullen twee voertuigmanoeuvres worden onderscheiden: sturen en remmen. Volgens de matrixgedachte zijn de volgende combinaties mogelijk:

1. stuurmanoeuvre + remmanoeuvre
2. stuurmanoeuvre zonder remmanoeuvre
3. geen stuurmanoeuvre, wel remmanoeuvre
4. geen stuurmanoeuvre, geen remmanoeuvre.

De eerste drie combinaties zullen bij de simulaties worden betrokken; de laatste manoeuvre niet, aangezien wordt aangenomen dat deze combinatie in de praktijk niet frequent zal voorkomen.

Conform aan de uitvoering van het vooronderzoek zal bij de stuurmanoeuvre een maximale wieluitslag van 15° worden aangehouden en bij de remmanoeuvre zal voluit worden geremd. De wrijvingscoëfficiënten zijn voor de verharding en berm of talud gesteld op resp. 0,6 en 0,37. Deze laatste waarde correspondeert met de keuze voor de middelzachte berm die in de volgende paragraaf zal worden beargumenteerd.

Hoewel de rem- en stuurmanoeuvres reeds op de verharding worden ingezet, zijn ze volledig effectief als het voertuig in de berm is.

3.5. Vaststelling van kenmerken en variabelen van opgaande taluds

In de probleemanalyse is gesteld dat variabelen van de volgende taludkenmerken zullen worden onderzocht: hellingshoek, hoogte, afrondingsstraal en afstand van talud tot de rijbaan. Ter toelichting op de keuze het volgende:

De hellingshoek zal worden gevarieerd in waarden van 1:1, 1:1,5 tot (in eerste instantie) 1:2. Mochten de resultaten daartoe aanleiding geven zullen hellingen van 1:3 en geringer worden onderzocht.

De taludhoogte zal niet op een bepaalde vaste waarde worden onderzocht. Bij de simulaties zal het talud namelijk als "oneindig" hoog worden gemodelleerd, zodat het mogelijk is de hoogste waarde te vinden die door het voertuig wordt bereikt. Deze waarde zal bij de uitkomsten worden vermeld. Met betrekking tot de afrondingsstraal zal een aantal waarden bij de simulaties worden betrokken variërend van geen afronding tot in eerste instantie 4 m.

Voor de afstand van het talud tot de rijbaan is vanaf de rijbaan gezien gekozen voor een afstand net buiten de bergingszone maar ruim binnen de obstakelvrije zone. Aangezien bij de wegcategorieën III/V en VI de berm-breedte waarbinnen nog is te variëren gering is, is voor één taludafstand gekozen. Gezien de grotere obstakelvrije zone bij wegcategorie I, is hier voor twee taludafstanden gekozen.

De vaststelling van de parameter voor de hardheid van het taludoppervlak is problematisch. In de eerste plaats vanwege het ontbreken van gegevens over de soorten hardheid die in de praktijk voorkomen en in welke frequentie. Verder kan in het kader van dit consult geen verificatie aan de hand van proeven op ware schaal worden uitgevoerd om de invloed van de gekozen spoordiepte-parameters op het dynamisch voertuiggedrag in de praktijk vast te stellen. Op basis van de resultaten van simulaties met de vlakke berm (zie het rapport "Aflopende taluds II") is gekozen voor één bermtypen en wel de middelzachte berm met een gesimuleerde insporing van 1 cm. Dit bermtypen scoorde als gemiddelde goed ten opzichte van de harde berm (geen insporing) en de zachte berm (gesimuleerde insporing van 2 cm).

In de volgende tabel is een overzicht van de diverse gekozen variabelen gegeven.

Wegtype	Taludkenmerk	Gekozen variabele
I, III/V, VI	Hellingshoek	1:1, 1:1,5, 1:2
I, III/V, VI	Hoogte	n.v.t. (de voertuigklimhoogte wordt als resultaat gegeven)
I, III/V, VI	Afrondingsstraal	0, 1, 2 en 4 m
I	Afstand tot verharding	1,50 en 4,50 m
III/V		2,15 ¹⁾
VI		1,30 ¹⁾
I, III/V, VI	Hardheid oppervlak	middelzachte berm (gesimuleerde insporing van 1 cm)

¹⁾ De bergingszone verminderd met de kantstrookbreedte

3.6. Vaststelling van voertuigtypen en stuurwielbelasting

Voor het uitvoeren van simulaties zijn datasets van drie typen personenauto's voorhanden: licht (massa 578 kg), middelzwaar (836 kg) en zwaar (1245 kg). Uit de simulaties met aflopende taluds is vastgesteld dat het middelzware type een ten opzichte van beide andere typen gemiddeld gedrag vertoonde. Om het aantal simulaties met opgaande taluds beperkt te houden, is besloten alleen het middelzware voertuigtype in te zetten. Voor de voertuigtechnische gegevens wordt verwezen naar Bijlage 3.

Bij het eerste contact van het voorwiel van het voertuig met het oplopende talud, wordt onder meer een zijdelingse kracht op het voorwiel uitgeoefend. Als gesimuleerd wordt dat het stuurwiel met grote kracht wordt vastgehouden, zal het voorwiel in de rechtuitstand blijven staan; een situatie die niet reëel is. Bij een te geringe stuurwielbelasting zijn de voorwielen evenwel instabiel, waardoor de voertuigbewegingen onvoorspelbaar worden.

Experimenteel onderzoek is eigenlijk noodzakelijk om een waarde of waarden vast te stellen die in de praktijk gebruikelijk is (zijn). Aangezien een dergelijk onderzoek niet in het kader van dit consult past, is geschat met welke kracht een bestuurder het stuurwiel redelijkerwijs kan vasthouden. Deze kracht is geschat op 50 N. Uit een uitgevoerde simulatie blijkt dat een zelfde kracht op het stuurwiel wordt uitgeoefend als een

personenauto tegen een trottoirband met een hoogte van 13 cm oprijdt (snelheid en inrijhoek resp. 40 km/u en 15°). Aangenomen wordt dat een bestuurder in een dergelijke situatie in staat is zijn stuurwiel vast te houden.

4. CRITERIA

De beoordeling van een taludincident richt zich op twee aspecten: de fysische weerstand van het oplopende talud en het ongecontroleerd terugkeren van het voertuig op de rijbaan.

4.1. Fysische weerstand

Op verschillende manieren kan de fysische weerstand van het talud te groot zijn.

In de eerste plaats kan de bumper van het voertuig zich in het talud graven en/of de (voor)wielen kunnen te veel weerstand ondervinden, waardoor de voertuigvertraging boven een acceptabel niveau komt. Als criterium wordt hierbij gesteld dat de samengestelde voertuigvertraging (langs-, dwars en verticale vertraging) een genormeerde waarde van 1 van het ASI-criterium niet mag overschrijden. Voor het ASI-criterium wordt verwezen naar Bijlage 4.

In de tweede plaats kunnen de op het voertuig uitgeoefende (dwars)krachten dermate hoog worden, dat het voertuig een roll-over ondergaat. Roll-overs zijn bijzonder gevaarlijk als de inzittenden uit het voertuig worden geslingerd. Dit kan gebeuren als geen autogordel wordt gedragen en het voertuig bij de aanrijding dermate vervormt dat portieren openslaan en/of ruiten stuk gaan of uit de sponningen springen. Als criterium wordt gesteld dat een roll-over in het algemeen onacceptabel is. Als de geweldinwerking op het voertuig gering is, en het voertuig gaat met een geringe snelheid over de kop (bijv. < 20 km/u), kan nog van een acceptabele situatie worden gesproken.

Obstakelwerking ontstaat ook als het voertuig te hoog tegen het talud oprijdt en daar tegen obstakels botst, dan wel over het talud heen duikt. Het talud dient voldoende hoog te zijn, of er zullen bepaalde maatregelen getroffen dienen te worden. Meetresultaten van taludincidenten zullen inzicht in de klimhoogte van een voertuig dienen te verschaffen.

4.2. Ongecontroleerd terugkeren van voertuig op rijbaan en potentiële manoeuvreerbaarheid

Als in de praktijksituatie het voertuig bij een taludincident in de berm blijft of op een gecontroleerde manier (kleine inrijhoek, geringe snelheid) weer op de rijbaan terugkeert, is sprake van een acceptabele situa-

tie. Onacceptabel is het als het voertuig op het talud niet onder controle is te krijgen, zodat het op een ongecontroleerde manier op de rijbaan kan terugkeren.

De beoordeling van de mathematisch uitgevoerde incidenten op het aspect of sprake is van een al-dan-niet gecontroleerde situatie is moeilijk. Kennis ontbreekt onder welke condities of omstandigheden bestuurders psychologisch en/of fysiek in staat zijn hun voertuig bij dergelijke incidenten onder controle te krijgen. Wel kan bij de incidenten worden vastgesteld wat het dynamische gedrag van het voertuig is. Dit zal met enkele grootheden vastgelegd moeten worden.

Voor de beoordeling van uitgevoerde simulaties met de aangegeven manoeuvres van par. 3.3.6 kunnen de simulaties in twee groepen worden onderscheiden:

1. Simulaties met alleen een remmanoeuvre waarbij geen rekening met een mogelijke stuurcorrectie van de bestuurder wordt gehouden.
2. Simulaties met een stuurmanoeuvre waarbij dit wel het geval is.

Voor de eerste groep kan eenvoudig op grond van het afgelegde traject worden vastgesteld of het voertuig in de berm blijft. Voor de tweede groep zal op basis van het voertuiggedrag worden nagegaan of het in de praktijk-situatie in principe mogelijk zou zijn geweest het voertuig onder controle te krijgen. Voor deze groep staan hieronder vier grootheden genoemd die als criteria gebruikt kunnen worden. Daarbij zijn grenswaarden aangegeven die richting kunnen geven aan de beoordeling van de resultaten van de simulaties.

- Het stuurwiel mag niet losslaan, dus de belasting op het stuurwiel dient geringer te zijn dan 50 N.
- De bestuurder mag niet gedesoriënteerd raken, dus de voertuigrotatie om de langas (de rolhoek) dient beperkt te blijven tot 25° (zie N.B. 1).
- De positie van de bestuurder ten opzichte van het stuurwiel mag niet onder invloed van met name zijdelingse krachten veranderen, dus de dwarsvertraging van het voertuig mag de waarde van 10 m/s^2 ($\approx 1 \text{ g}$) niet overschrijden (zie N.B. 2).
- De bestuurder dient als er slip optreedt, in staat te zijn zijn voertuig weer onder controle te krijgen, dus de sliphoek mag de waarde van 10° niet overschrijden (zie N.B. 3).

N.B. 1. Voor de hellingen 1:1, 1:1,5, 1:2, en 1:3 zijn de hellingshoeken resp. 45° , 34° , 27° en 18° . Als het voertuig voldoende ver het talud zal optijden en zich op een bepaald moment evenwijdig aan de rijbaan beweegt,

zal de rolhoek een waarde krijgen die ongeveer overeenkomt met de hellingshoek van het talud. Dit impliceert dat als de stuurmanoeuvre (al dan niet in combinatie met remmen) in relatie met de steilheid van het talud minder effectief is, alleen hellingen van ongeveer 1:2 en flauwer volgens het criterium van de rolhoek acceptabel zijn.

N.B. 2. De aangegeven grootte van de dwarsvertraging (10 m/s^2) is vergelijkbaar met de grootte van de voertuigvertraging die in langsricting optreedt bij blokkerend remmen op een droog stroef wegdek.

N.B. 3. De sliphoek (verder aangeduid met drifhoek) is de hoek tussen de bewegingsrichting van het zwaartepunt van het voertuig en de langsas van het voertuig. Een geofefende bestuurder is in staat een voertuig uit de slip te halen als de drifhoek van het voertuig de waarde van de maximale wieluitslag niet overschrijdt. Deze wieluitslag van het bij de simulaties gehanteerde voertuig bedraagt 33° .

Van deze vier criteria kunnen de grenswaarden van de rolhoek en drifhoek als meest discutabel worden aangemerkt. Het is daarom minder gewenst hierop de acceptabele taludconfiguraties vast te stellen. Wel kunnen ze worden gehanteerd bij de beoordeling van de simulaties, zodat inzicht ontstaat in de onderlinge verschillen tussen de taludconfiguraties.

4.3. Aanpassing criteria van de fysische weerstand

Bij de criteria van de vorige paragraaf valt op dat het criterium "de dwarsvertraging van het voertuig mag de waarde van 10 m/s^2 niet overschrijden" betrekking heeft op de fysische weerstand die het talud op het voertuig uitoefent. Dit criterium weegt zwaarder dan de beide in par. 4.1 aangegeven criteria met betrekking tot de fysische weerstand te weten:

- de samengestelde voertuigvertraging (ASI-criterium)
- optreden van roll overst en gevolge van te hoge dwarsvertraging.

Voor de beoordeling van de fysische weerstand van een taludconfiguratie ligt het voor de hand het zwaarder wegend dwarsvertragingscriterium van par. 4.2 te hanteren (verder aangeduid met a-dwars $\leq 1 \text{ g}$).

5. UITVOERING

De invloed van de diverse taludkenmerken op het dynamische voertuiggedrag is middels mathematische simulaties van taludincidenten onderzocht. Gekozen is voor een aanpak waarbij in eerste instantie op systematische wijze taludconfiguraties konden worden geselecteerd die voor nadere studies van belang waren.

Op basis van de criteria geformuleerd in Hoofdstuk 4 zijn methodologisch twee series simulaties onderscheiden: een eerste serie waarmee taludconfiguraties met een geringe fysische weerstand zijn geselecteerd en een tweede serie voor het vaststellen van het ongecontroleerd terugkeren van het voertuig op de rijbaan en voor het toetsen van de potentiële manoeuvreerbaarheid. Hieraan is toegevoegd een derde serie die onder meer betrekking heeft op taludconfiguraties uit de praktijk.

5.1. Eerste series simulaties

Voor de selectie van de taludconfiguraties met een geringe fysische weerstand is alleen het criterium van de dwarsvertraging (a-dwars ≤ 1 g) gehanteerd. Bij deze serie simulaties is voor wat betreft de voertuigmanoeuvre gekozen voor de remmanoeuvre zonder stuurmanoeuvre.

Alle drie vastgestelde wegcategorieën zijn bij de simulaties betrokken; per wegcategorie is de hoogste inrijnsnelheid met de corresponderende inrijhoek genomen.

De invloed van de te onderzoeken taludkenmerken op het verloop van het incident is successievelijk als volgt bepaald:

- (a) de grootte van de afrondingsstraal bij een bepaalde snelheid en inrijhoek;
- (b) de grootte van de hellingshoeken bij de onder (a) geselecteerde afrondingsstralen;
- (c) invloed van de overige inrijcondities bij de onder (a) en (b) geselecteerde combinatie van afrondingsstraal en hellingshoek.

5.2. Tweede serie simulaties

De met de eerste serie simulaties geselecteerde taludconfiguraties zijn vervolgens op twee manieren getoetst.

In de eerste plaats door het uitvoeren van simulaties met alleen remmanoeuvres. Bij deze manoeuvres wordt aangenomen dat in de praktijksituatie

een bestuurder alleen zal remmen en verder geen pogingen zal ondernemen met stuurcorrecties het incident te beïnvloeden. Beoordeeld is of het voertuig al-dan-niet op de rijbaan is gekomen. Als dit het geval is, is aangegeven onder welke omstandigheden dit plaatsvindt, bijvoorbeeld door de grootte van de inrijhoek en de inrijsnelheid.

In de tweede plaats zijn simulaties met stuurmanoeuvres uitgevoerd. Deze zijn onderscheiden in stuurmanoeuvres met en zonder remmanoeuvres. Het probleem bij deze simulaties is dat een eenmaal opgegeven sturbeweging (en ook remmanoeuvre) tijdens het verloop van het gehele incident gehandhaafd blijft; het mathematische model is (nog) niet in staat op automatische wijze een situatie-afhankelijke stuurcorrectie uit te voeren. Het gevolg is dat ook bij "rustig" verlopende incidenten het voertuig weer terugkomt op de rijbaan; de inrijhoek en -snelheid kunnen hierbij groot zijn. Een beoordeling van de simulaties op het feit of het voertuig al-dan-niet op de rijbaan terugkomt, is hier dan ook niet toe te passen. Wel kan op basis van het voertuiggedrag nagegaan worden of het incident een "rustig" verloop had. Als dit het geval is, kan worden geredeneerd dat een bestuurder in de praktijksituatie in staat zou zijn te corrigeren om daarmee te voorkomen dat zijn voertuig ongecontroleerd op de rijbaan terugkeert.

Voor de vaststelling van het feit of op het talud is te manoeuvreren, zijn de volgende aan het voertuig gerelateerde criteria gehanteerd:

- het stuurwiel mag niet losslaan
- rolhoek $\leq 25^\circ$
- drifthoek $\leq 10^\circ$

Voor de kanttekeningen bij (de toepassing van) deze criteria wordt verwezen naar het vorige hoofdstuk.

Alle simulaties in deze tweede serie zijn voor de drie wegcategorieën met alle desbetreffende inrijcondities uitgevoerd.

5.3. Derde serie simulaties

Op grond van de resultaten van de eerste twee series simulaties, wordt gezien met welke andere taludconfiguraties nog aanvullende simulaties verricht dienen te worden. Een leidraad hierbij zal zijn de taludkenmerken van heden ten dage toegepaste opgaande taluds.

6. RESULTATEN

De resultaten zullen worden beschreven in termen van de fysische weerstand van een talud en de potentiële manoeuvreerbaarheid.

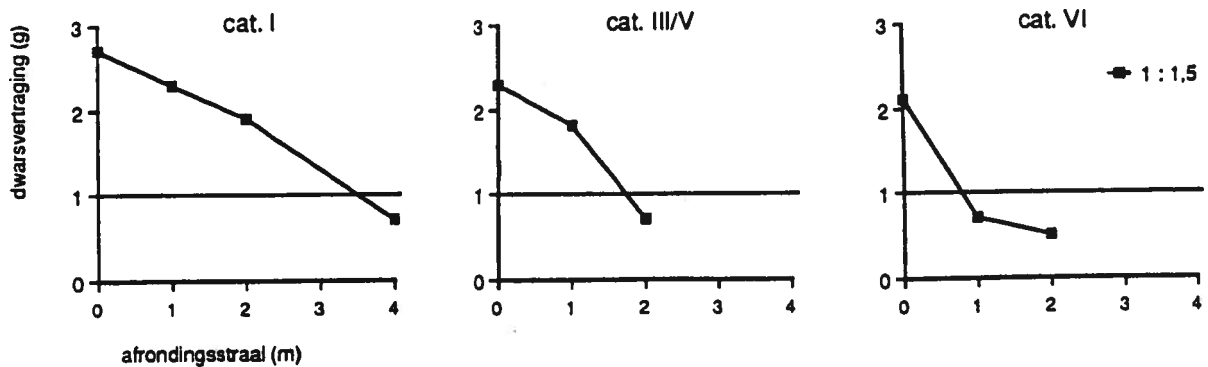
6.1. Eerste serie simulaties (fysische weerstand van het talud)

Door middel van selectie zijn de volgende resultaten te geven van de invloeden van de diverse kenmerken op de weerstand die het voertuig bij een incident van de helling ondervindt.

6.1.1. Invloed afrondingsstraal

De volgende afrondingsstralen zijn voor de taludhelling van 1:1,5 onderzocht: geen afronding ($R=0$), $R = 1$ m en $R = 2$ m. Voor de wegcategorie I (autosnelweg) is hieraan $R = 4$ m toegevoegd.

In grafiekvorm kan het onderstaande resultaat worden gegeven.

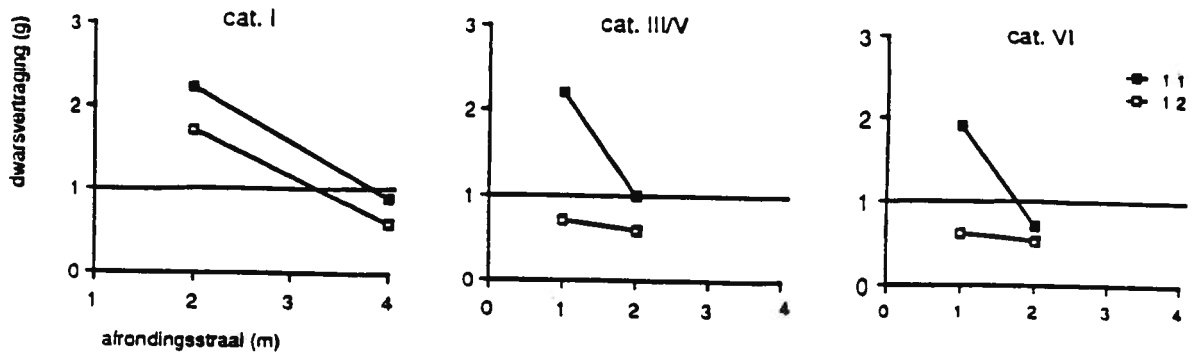


Gelet op het criterium van a-dwars ≤ 1 g kan als voorlopige conclusie worden gegeven dat de volgende afrondingsstralen voldoen: voor wegcategorie I: $R \geq 4$ m; voor wegcategorie III/V: $R \geq 2$ m en voor wegcategorie VI: $R \geq 1$ m.

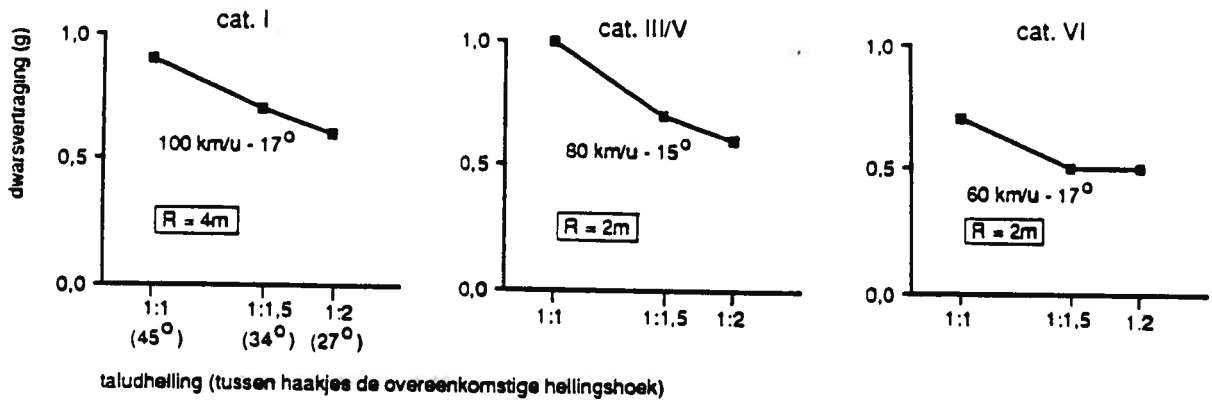
Voor de andere twee taludhellingen (1:1 en 1:2) dient getoetst te worden of deze afrondingsstralen eveneens voldoen.

6.1.2. Invloed hellingshoek

De simulaties van de incidenten met taludhellingen van 1:1 en 1:2 geven het volgende resultaat:

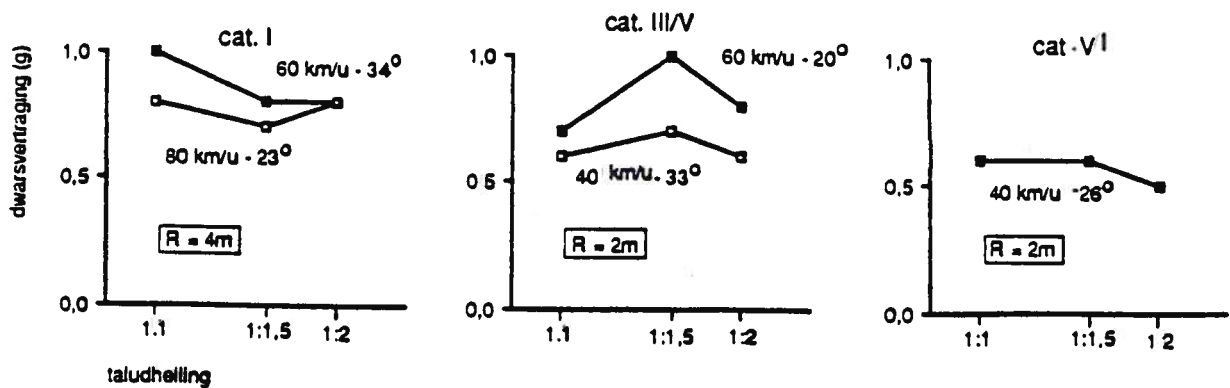


Uit de afbeeldingen blijkt dat de voorlopige conclusie met betrekking tot de wegcategorieën I en III/V bevestigd wordt. Voor categorie VI is de waarde van a-dwars bij de helling van 1:1 te hoog. Dit betekent dat een afrondingsstraal van $R = 2$ m noodzakelijk is. Als de resultaten van de simulaties met de geselecteerde afrondingsstralen tegen de taludhellingen (1:1, 1:1,5 en 1:2) worden uitgezet, ontstaat het volgende beeld:



6.1.3. Invloed inrijcondities

De voorgaande beschreven simulaties zijn uitgevoerd bij de hoogste inrij-snelheid en bij de daaraan gekoppelde inrijhoek. Nagegaan is wat de invloed op de grootte van de a-dwars is van de andere voor de wegcatégorieën geselecteerde combinaties van inrij-snelheid en inrijhoek.



Als conclusie kan worden getrokken dat ook bij andere inrijcondities de hiervoor vastgestelde afrondingsstralen voldoen.

Met de hiervoor beschreven simulaties zijn taludconfiguraties geselecteerd en getoetst die bij een taludincident geen te grote fysische weerstand opleveren.

6.2. Tweede serie simulaties (het ongecontroleerd terugkeren van het voertuig op de rijbaan en de potentiële manoeuvreerbaarheid)

6.2.1. Uitvoering en beoordeling

Het vaststellen van het dynamisch voertuiggedrag op de geselecteerde taludconfiguraties, is met de volgende voertuigmanoeuvres onderzocht:

1. geen stuurmanoeuvre, wel remmen
2. stuurmanoeuvre en remmen
3. stuurmanoeuvre zonder remmen.

Voor een doorsnede van de onderzochte taludconfiguraties wordt verwezen naar de Afbeeldingen 1A t/m 1C.

Om een indruk te geven van het verschil in voertuiggedrag tussen de drie voertuigmanoeuvres, zijn voorbeelden van computerplots gegeven; van elke bij het onderzoek betrokken wegcategorie is een voorbeeld opgenomen (zie Plot 1.1 t/m 1.3). Per wegcategorie hebben de plots betrekking op dezelfde taludconfiguratie en dezelfde inrijcondities. Getoond wordt een bovenaanzicht; de doorsnede van het talud is boven plot c aangegeven.

Als aan de hand van bijvoorbeeld Plot 1.1 (wegcategorie I) een beschrijving van het verloop van het taludincident wordt gegeven, zien we dat bij plot a (geen stuurmanoeuvre, wel remmen) het voertuig vrij hoog het talud oprijdt. Door de invloed van het remmen draait de achterzijde van het voertuig naar beneden, waarna het voertuig in de afronding tot stilstand komt. Plot b en c (beide met een stuurmanoeuvre) tonen een geheel ander beeld. Door de stuurmanoeuvre rijdt het voertuig niet het talud op, maar wordt door de afronding geforceerd gekeerd. Hierbij neemt het voertuig een stand aan die evenwijdig is aan de rijbaan. Aangezien het stuurwiel bij deze afrondingsstraal niet losslaat, beschrijft het voertuig verder een boog in de richting van de rijbaan. Bij plot b (stuurmanoeuvre + remmen) komt het voertuig op de linker rijstrook tot stilstand. Bij plot c (stuurmanoeuvre zonder remmen) is de simulatie afgebroken op het moment dat het voertuig op de rechter rijstrook rijdt met een resterende snelheid van 60 km/u (aanvangssnelheid bedroeg 80 km/u).

Zoals reeds is aangegeven is het evident dat bij de uitvoering van simulaties met stuurmanoeuvres het voertuig weer op de rijbaan terecht komt als tijdens het incident niet wordt bijgestuurd. Hoewel het mathematisch model niet in staat is op automatische wijze een situatie-afhankelijke stuurcorrectie uit te voeren, kan een simulatie wel opnieuw worden gestart en kan op het gewenste tijdstip of locatie een tweede commando worden meegegeven. Voor Plot 1.1.c is dit geïllustreerd (zie Plot 2): op het moment dat het voertuig aan de teen van het talud een stand heeft aangenomen die evenwijdig is aan de rijbaan, worden de wielen teruggedraaid tot de rechtuitstand. Uit het resultaat blijkt dat het voertuig vervolgens in de berm blijft.

Voor de beoordeling of een bestuurder in de praktijksituatie in staat is zijn voertuig bij dergelijke stuurmanoeuvres in de berm te houden (of onder een geringe hoek met een geringe snelheid terug te sturen op de rijbaan), zijn de volgende op de criteria afgestemde meetresultaten van het dynamisch voertuiggedrag vastgesteld:

- losslaan van het stuurwiel
- rolhoek
- drifthoek.

Deze meetresultaten (zie Tabellen 1B en 1C voor de incidenten met stuurmanoeuvre) zijn bepaald op het moment dat het voertuig een stand heeft aangenomen die evenwijdig is aan de rijbaan. Aan de hand van de criteria is beoordeeld of het incident al-dan-niet acceptabel is (zie de laatste kolommen in de tabellen). Indien een simulatie als onacceptabel is beoordeeld, is bij dit onderzoek aangenomen dat de bestuurder niet in staat is te corrigeren. In dit geval is in de laatste kolommen aangegeven met welke snelheid en onder welke hoek het voertuig op de verharding terecht komt.

Bij de beoordeling van de simulaties zonder stuurmanoeuvres is aangenomen dat ook in de praktijksituatie tijdens het hele verloop van het incident door de bestuurder geen stuurcorrecties zullen worden uitgevoerd. Daarom is bij de simulaties alleen vastgesteld of het voertuig al-dan-niet op de rijbaan terecht komt; hiertoe zijn de gegevens geregistreerd en in Tabel 1A opgenomen. In overeenstemming met Tabel 1B en 1C zijn tevens meetresultaten betreffende het stuurwiel en de rolhoek vermeld. Voor de vergelijking met de resultaten van de derde serie simulaties is eveneens de grootte van de dwarsvertraging aangegeven. In de laatste kolom is verder beoordeeld of de simulatie al-dan-niet acceptabel was.

6.2.2. Resultaten

Uit Tabel 1A (geen stuurmanoeuvre, wel remmanoeuvre) blijkt dat het voertuig in geen van de gevallen op de rijbaan terecht komt. Wel zijn de rolhoeken groot, vooral bij de steilere taluds van 1:1 en 1:1,5. Dit leidt in vijf gevallen tot een roll-over; in één geval ook bij de helling van 1:2. Als we de rotatiesnelheden bij deze roll-overs in ogenschouw nemen, blijkt dat deze niet boven de 20 km/u van het - arbitraire - criterium uitkomen. Aangezien tijdens het gehele verloop van het taludincident geen grote krachten op het voertuig zijn uitgeoefend, mag worden aangenomen dat in de praktijksituatie de portieren gesloten en de ruiten heel zullen blijven. Uitslingergevaar voor de inzittenden bij deze roll-overs lijkt dan ook gering. Op grond hiervan zijn ook de simulaties met een roll-over als acceptabel beoordeeld.

Bij deze simulaties zonder stuurmanoeuvres klimt het voertuig beduidend hoger tegen het talud op dan bij de simulaties met stuurmanoeuvres.

Uit Tabel 1B (stuurmanoeuvre en remmanoeuvre) blijkt dat zowel bij weg-categorie I als III/V twee van de negen simulaties als niet-acceptabel zijn beschouwd. In twee gevallen betreft dit de grootte van de rolhoek ($> 25^\circ$) en in twee gevallen is het stuurwiel losgeslagen. Het is opvallend dat alle vier niet-acceptabele simulaties betrekking hebben op de laagste inrijnsnelheid van de betreffende weg-categorie: bij categorie I en III/V resp. 60 en 40 km/u. Uit de data is op te maken dat de grote inrijhoek (ca. 33°) bij deze lage inrijnsnelheden een rol speelt.

Als in deze gevallen met een te grote rolhoek er vanuit gegaan wordt dat de bestuurder zodanig gedesoriënteerd raakt dat hij niet tot corrigeren in staat is, blijkt dat het voertuig onder een grote inrijhoek (ca. 30°) en een redelijk hoge snelheid (ca. 27 km/u) op de rijbaan terecht komt. Hierbij dient bedacht te worden dat de wieluitslag gedurende het gehele incident op 15° is blijven staan.

Uit Tabel 1C (stuurmanoeuvre zonder remmanoeuvre) blijkt dat alleen weg-categorie I onacceptabele simulaties te zien geeft op basis van de grootte van de rolhoek. In alle drie gevallen betreft dit weer de laagste inrijnsnelheid van 60 km/u. Zoals eveneens bij Tabel 1B is gesteld, zal het voertuig in deze gevallen met een grote inrijhoek (ca. 35°) en grote snelheid (ca. 50 km/u) op de rijbaan terecht komen als geheel niet ingegrepen kan worden. Aangezien het hier simulaties zonder remmanoeuvres betreffen, zijn de uitrijnsnelheden hoger dan bij de simulaties van de vorige tabel.

In alle drie tabellen is de maximale klimhoogte van het zwaartepunt van het voertuig opgenomen. Deze waarde kan worden gehanteerd voor de bepaling van de acceptabele taludhoogte.

6.2.3. Beoordeling van de taludconfiguraties

In Tabel 2 is in getotaliseerde vorm de beoordeling van de simulaties met voertuigmanoeuvres van de Tabellen 1A t/m 1C opgenomen.

Van de wegcategorieën I en III/V zijn per helling in totaliteit negen simulaties met voertuigmanoeuvres uitgevoerd. Van categorie VI bedraagt dit aantal zes vanwege het geringere aantal inrijcondities.

Bij wegcategorie I zijn bij de hellingen 1:1 en 1:1,5 twee van de negen simulaties als niet-acceptabel beoordeeld en bij de helling van 1:2 één van de negen. Bij de wegcategorie III/V treffen we bij de hellingen van 1:1 en 1:1,5 één niet-acceptabele simulatie aan; bij de helling van 1:2 zijn alle simulaties acceptabel. Bij wegcategorie VI zijn de simulaties van alle hellingen als acceptabel beoordeeld.

De maximale geregistreeerde klimhoogte is voor wegcategorie I het hoogst: deze varieert van 2,75 m voor de taludhelling van 1:2 tot 3,25 m voor de helling van 1:1. Bij de categorieën III/V en VI is de variatie geringer: de klimhoogten zijn voor deze categorieën resp. maximaal 1,50 m en 1,20 m. Aangezien deze hoogten van het zwaartepunt van het voertuig zijn bepaald, dient voor de klimhoogte van de wielen de vermelde waarde met ongeveer één meter verhoogd te worden.

6.3. Derde serie simulaties (op de praktijk geënte taludconfiguraties)

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de diverse kenmerken van enkele bestaande taludconfiguraties. Ze zijn willekeurig verzameld en geven zeker geen representatief beeld.

Uit deze tabel zijn een paar karakteristieken interessant: een geknikt talud, de diversiteit in afstanden van de taluds tot aan de wegrand, de aanwezigheid van greppels en een steile helling van 1:0,7. Op grond hiervan is besloten enkele simulaties met de volgende taludconfiguraties uit te voeren:

- A. Taluds van autosnelweg op een afstand van 4,5 m i.p.v. 1,5 m zoals bij de eerste twee serie simulaties (doorsnede talud: zie Afbeelding 2A)
- B. Taluds van autosnelweg met een helling van 1:3 zonder afrondingsstraal (zie Afbeelding 2B)

- C. Geknikt talud van autosnelweg met hellingen van 1:3 en 1:1 (zie Afbeelding 2C)
- D. Talud van autosnelweg met een greppel (zie Afbeelding 2D)
- E. Talud van niet-autosnelweg met een steile helling van 1:0,7 (zie Afbeelding 2E).

Alle simulaties zijn uitgevoerd met de eerste voertuigmanoeuvre (niet sturen, wel remmen); hierbij is de hoogste inrijnsnelheid van de desbetreffende wegcategorie gehanteerd. Zoals we zagen wordt bij dit type manoeuvre de nadruk gelegd op de vaststelling van de fysische weerstand van het talud en de vaststelling of het voertuig al-dan-niet op de rijbaan terecht komt.

De resultaten van de hierboven aangegeven simulaties zijn vermeld in Tabel 4. Hierin is een verwijzing opgenomen naar afbeeldingen met de doorsnedes van de taluds en naar de plots van de simulaties.

Simulaties A

Deze simulatie met het talud op een afstand van 4,5 m tot de verharding, kunnen we vergelijken met de simulaties van de tweede serie met het talud op een afstand van 1,5 m (zie Tabel 1A). Het blijkt dat de verschillen gering zijn: de roll-over die bij het talud van 1:2 optrad, treedt nu ook op. De rotatiesnelheid bij deze roll-over is ook nu gering (11 km/u), zodat van een acceptabele simulatie kan worden gesproken.

De klimhoogten zijn bij de taluds op een afstand van 4,5 m geringer dan bij de taluds op 1,5 m afstand; het verschil bedraagt - afhankelijk van de helling - 30 tot 70 cm.

Simulatie B

De simulatie van het talud met een helling van 1:3 zonder afrondingsstraal, heeft als grootte van de dwarsversnelling dezelfde waarde als de helling van 1:1 à 1:1,5 met een afrondingsstraal van 4 m. De rolhoek en de klimhoogte zijn bij de helling van 1:3 evenwel gunstiger.

Wel komt het voertuig bij deze simulatie op de rijbaan terecht; de beoordeling zou dan ook negatief uit dienen te vallen. Uit Plot 4a blijkt echter dat een bestuurder in de praktijksituatie op de brede helling ruimschoots in staat zou zijn geweest zijn voertuig onder controle te krijgen; dit zou pleiten voor een positieve beoordeling. Voor een nadere discussie wordt verwezen naar Hoofdstuk 7.

Simulaties C

Met twee geknikte taludconfiguraties (1:3/1:1) zijn simulaties uitgevoerd: talud zonder afrondingsstralen en met afrondingsstralen van 4 m. Het blijkt dat bij het talud zonder afrondingsstralen de dwarsvertraging te groot wordt (1,4 g); dit wordt veroorzaakt door de tweede helling van 1:1. Bij toepassing van afrondingsstralen wordt dit talud in termen van fysische weerstand acceptabel.

Simulaties D

Met simulaties zijn twee greppelvormen getest: één met opstaande kanten van 1:1 en één met kanten van 1:2. De greppels die beide een diepte van 30 cm hebben, zijn gesitueerd direct aan de voet van een talud met een helling van 1:2.

Uit de simulaties blijkt dat bij beide greppels het voertuig een roll-over bij hoge snelheid ondervindt. In tegenstelling tot de verwachtingen geeft de greppel met kanten van 1:1 een lagere waarde van de dwarsvertraging te zien dan de greppel met de flauwer verlopende kanten van 1:2 (1,4 g versus 2,0 g). Uit de meetresultaten blijkt dat het voertuig in het tweede geval een grotere rotatie ondergaat waardoor het dieper in de greppel terecht komt.

Simulaties E

De steile hellingen van 1:0,7 zijn met simulaties beproefd onder de condities van weg met gemengd verkeer (inrijsnelheid 60 km/u). Het talud met een afrondingsstraal van 2 m geeft een acceptabele grootte van de dwarsvertraging (0,8 g); de grootte van de rolhoek is evenwel bijzonder hoog (59°). Bij het talud met de afrondingsstraal van 1 m is de dwarsvertraging drie maal zo hoog als bij het talud met een afrondingsstraal van 2 m.

7. RESUME EN DISCUSSIE

Met de eerste serie simulaties zijn taludconfiguraties geselecteerd op grond van de fysische weerstand (criterium: dwarsvertraging van het voertuig ≤ 1 g). Deze waarde komt overeen met de vertraging die het voertuig in langsricting krijgt bij fors remmen op een zeer stroef wegdek. In dit consult is gesteld dat als deze waarde niet overschreden wordt, de obstakelwerking van het talud gering zal zijn, maar ook dat bestuurders niet van hun plaats geslingerd zullen worden. Zou dit laatste het geval zijn, is de bestuurder niet in staat zijn voertuig onder controle te krijgen. Hoewel praktijkgegevens ontbreken, lijkt ons de vastgestelde grenswaarde verdedigbaar.

De conclusie van deze eerste serie simulaties is dat als de afrondingsstralen van de taluds behorend bij de diverse wegcategorieën een bepaalde grootte hebben (R=2; R=4), de hellingshoek nauwelijks meer invloed heeft op de grootte van de dwarsvertraging. Voor de diverse inrijcondities is dit resultaat getoetst.

Met de tweede serie uitgevoerde simulaties zijn twee aspecten beschouwd:

1. Met het uitvoeren van remmanoeuvres is vastgesteld of het voertuig al-dan-niet op een gecontroleerde wijze op de rijbaan komt (serie 2a);
2. Met de uitvoering van stuurmanoeuvres is nagegaan in hoeverre de taluds manoeuvreerbaar zijn (serie 2b).

Het resultaat van serie 2a is dat geen van de voertuigen op de rijbaan terugkeerde; op grond hiervan kunnen deze simulaties als acceptabel worden beoordeeld. Wel zijn bij vijf simulaties roll-overs opgetreden. Aangezien dit plaats vond bij snelheden beneden de 20 km/u (zie par. 4.1 voor de uiteenzetting), zijn ook deze simulaties als acceptabel beschouwd. Hoewel het criterium van 20 km/u als discutabel kan worden aangemerkt, diende vanwege het ontbreken van kennis op dit gebied op grond van expertise een zo goed mogelijke keuze gedaan te worden.

Bij de acceptabele simulaties traden - afgezien van de roll-overs - in veel gevallen grote rolhoeken op die begrijpelijkerwijs groter waren naar mate het talud steiler was (helling 1:2 \rightarrow rolhoek ca. 28° ; 1:1,5 \rightarrow ca. 34° ; 1:2 \rightarrow ca. 48°). De laatste rolhoeken zijn dermate groot dat van de bestuurder geen adequate reactie verwacht mag worden. Hoewel bij de beoordeling van deze simulaties ervan is uitgegaan dat de bestuurder niet zal corrigeren, dienen toch wel kanttekeningen bij deze grote rolhoeken geplaatst te worden.

Dat we ook bij deze serie 2a niet ontkomen aan interpretaties met betrekking tot het eventuele gedrag van de bestuurder, blijkt wel uit de derde serie simulaties: bij een helling van 1:3 rijdt het voertuig met remmanoeuvre (zonder stuurmanoeuvre) "rustig" vrij ver het talud op, maar komt toch op de rijbaan tot stilstand. Volgens het criterium moet dit als niet-acceptabel worden beschouwd. Bij beoordeling van de plot (zie Plot 4a) lijkt het toch zeer waarschijnlijk dat een bestuurder in staat zou zijn geweest het voertuig op het talud onder controle te krijgen.

De beoordeling van de serie 2b-simulaties met stuurmanoeuvres wordt bemoeilijkt door het feit dat niet puur op de uitkomsten van de simulaties kan worden afgegaan. Door de gestarte en niet meer te beïnvloeden stuurmanoeuvres, komt het voertuig in alle gevallen op de rijbaan terecht. Daar belang werd gehecht aan de resultaten van dit type manoeuvre, is op basis van het dynamische voertuiggedrag bekeken of in de praktijksituatie een bestuurder in staat zou zijn geweest zijn voertuig in de berm onder controle te krijgen. Als criteria zijn hiervoor gehanteerd: het losslaan van het stuurwiel (gebaseerd op een bepaalde kracht die door de bestuurder op het stuurwiel kan worden uitgeoefend); de voertuigrotatie om de langsas in verband met het gedesoriënteerd raken van de bestuurder; de drifthoek (sliphoek) van het voertuig. Voor de beoordeling van de manoeuvreerbaarheid van taluds zijn dit stuk voor stuk relevante criteria; het probleem schuilt in de vaststelling van de grenswaarden.

Bij deze stuurmanoeuvres zijn een aantal arbitraire waarden gehanteerd; niet om in absolute zin de acceptabele taludconfiguraties vast te stellen, maar om te beschikken over referentiewaarden om de verschillen ten aanzien van de manoeuvreerbaarheid van de taluds onderling te kunnen vergelijken.

Over de gekozen voertuigmanoeuvres (combinatie van al-dan-niet remmen en sturen) nog het volgende. Bij incidenten in de praktijk vinden alle mogelijke (en onmogelijke) manoeuvres plaats. Het is ondoenlijk te trachten op een representatieve wijze deze incidenten te simuleren. Met de uitvoering van drie typen voertuigmanoeuvres per wegcategorie en twee à drie verschillende inrijcondities, is een zeer willekeurige greep gedaan. Een geringe wijziging van de inrijhoek en wieluitslag in combinatie met een variatie in snelheid en al-dan-niet remmen, kan leiden tot een geheel ander resultaat. Dit geldt met name voor simulaties met stuurmanoeuvres.

Simulaties met alleen een remmanoeuvre zijn ongevoeliger voor variatie in inrijcondities. Bij het beoordelen van de resultaten zal hier rekening mee gehouden worden.

Ten besluit

In het licht van het bovenstaande zullen voor de beoordeling van de simulaties en de conclusie met betrekking tot de acceptabele taludconfiguraties de resultaten met betrekking tot de vaststelling van de fysische weerstand als maatgevend worden gehanteerd. De resultaten van de simulaties met stuurmanoeuvres zullen worden gebruikt voor de vaststelling van de onderlinge verschillen tussen de diverse onderzochte taludconfiguraties.

Geleiderail versus opgaand talud

Aangaande de vaststelling van het "verkeersrisico" bij aanrijdingen met opgaande taluds en tegen geleiderailconstructies (zie Hoofdstuk 2) kan worden aangegeven dat hiernaar geen apart onderzoek is verricht.

Op grond van de in dit consult beschreven resultaten kan worden aangegeven dat de fysische weerstand van het opgaande talud - mits een voldoende grote afrondingsstraal is toegepast - beduidend lager is dan die van de geleiderailconstructie. Het risico van het op een ongecontroleerde manier weer terugkeren van het voertuig op de rijbaan, is zowel voor het opgaande talud als de geleiderailconstructie een onzekere factor vanwege het ongewisse van het bestuurdersgedrag.

Op grond van het bovenstaande kan de voorkeur worden uitgesproken voor een opgaand talud met een juiste afrondingsstraal boven het afschermen van een talud met een geleiderailconstructie.

8. CONCLUSIES

Voor de volgende drie wegcategorieën is de invloed van kenmerken van opgaande taluds op het dynamisch voertuiggedrag met een simulatietechniek onderzocht: autosnelweg, autoweg, weg met een gesloten verklaring en weg met gemengd verkeer. Vorig onderzoek heeft aangetoond dat het toegepaste computermodel het dynamische voertuiggedrag goed voorspelt in termen van grootte van de vertragingen en voertuigbewegingen.

De simulaties van taludincidenten zijn uitgevoerd met rem- en/of stuurmanoeuvres. Vastgesteld is dat de remmanoeuvres - zonder stuurmanoeuvres - goed interpreteerbare resultaten hebben opgeleverd. Ze geven vooral inzicht in de fysische weerstand van het talud. De conclusies kunnen dan ook voor een belangrijk deel op deze resultaten worden gebaseerd.

De uitgevoerde simulaties met stuurmanoeuvres - met en zonder remmanoeuvres - konden niet aan de hand van proeven op ware schaal worden geverifieerd. Vooral de ongewisheid omtrent de hardheid van het taludoppervlak draagt er toe bij dat de resultaten met stuurmanoeuvres geen absolute geldigheid hebben. Verder waren diverse aannames noodzakelijk waardoor de resultaten moeilijk zijn te interpreteren. Op grond hiervan is besloten deze resultaten te gebruiken voor de vaststelling van de verschillen tussen taludconfiguraties onderling.

Op basis van de uitgevoerde simulaties voor de vaststelling van de fysische weerstand van het afgaande talud kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De invloed van de afrondingsstraal op de fysische weerstand van het talud is groot; voor het bereiken van een lage fysische weerstand dienen de taluds van autosnelwegen een afrondingsstraal van tenminste 4 m te hebben en die van de wegtypen autoweg, weg met gesloten verklaring of weg met gemengd verkeer een straal van tenminste 2 m.
- Bij toepassing van de bovengenoemde afrondingsstralen is de hellingshoek met betrekking tot de grootte van de fysische weerstand van ondergeschikt belang; dit heeft betrekking op de onderzochte taludhellingen van 1:0,7 tot 1:3.
- De toegepaste inrijcondities (inrijsnelheid en inrijhoek) hebben bij toepassing van genoemde afrondingsstralen eveneens niet veel invloed op de grootte van de fysische weerstand.
- De steilere onderzochte hellingshoeken van 1:0,7, 1:1,1:1,5 en in mindere mate 1:2 veroorzaken dermate grote voertuigrotaties om de langsas, dat adequaat reageren van de bestuurder tijdens het taludincident niet te verwachten is.

- De geregistreeerde maximale klimhoogten van het voertuig bedragen voor de wegcategorieën autosnelweg, autoweg dan wel weg met gesloten verklaring of weg met gemengd verkeer resp. 4,25 m, 2,50 m en 2,20 m;
- Het vergroten van de afstand van het talud tot de wegrand heeft waarschijnlijk weinig invloed op de grootte van de fysische weerstand.
- Het aanbrengen van een greppel aan de voet van het talud kan leiden tot een roll-over met hoge snelheid.

Op grond van de uitgevoerde simulaties met stuurmanoeuvres met taluds die een geringe fysische weerstand hebben, kan worden geconcludeerd dat de onderlinge verschillen tussen de taludhellingen gering zijn. De flauwer verlopende hellingen geven evenwel geringere voertuigrotaties dan de steilere hellingen.

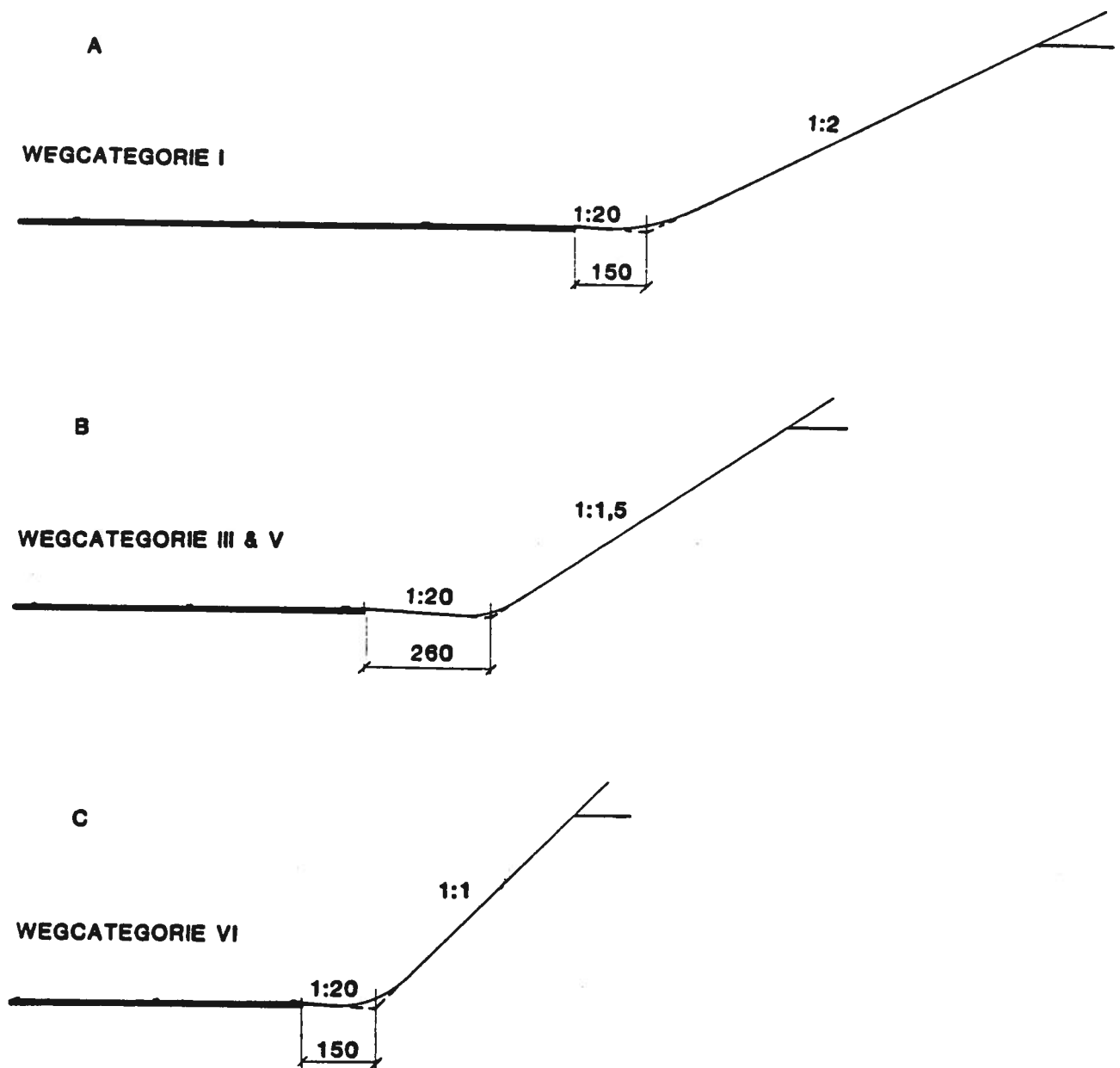
Met betrekking tot de eventuele plaatsing van een geleiderailconstructie ter afscherming van een opgaand talud, kan worden geconcludeerd dat een talud met een acceptabele afrondingsstraal de voorkeur verdient boven een afgeschermd talud.

Aanbevolen wordt nader onderzoek te verrichten naar de invloed van de hardheid van de berm (of het talud) op het dynamisch gedrag van het voertuig. Ook zal meer inzicht moeten worden verkregen in praktijkgegevens, zowel wat betreft de mechanische waarden van de diverse bermtypen als de frequentie van voorkomen.

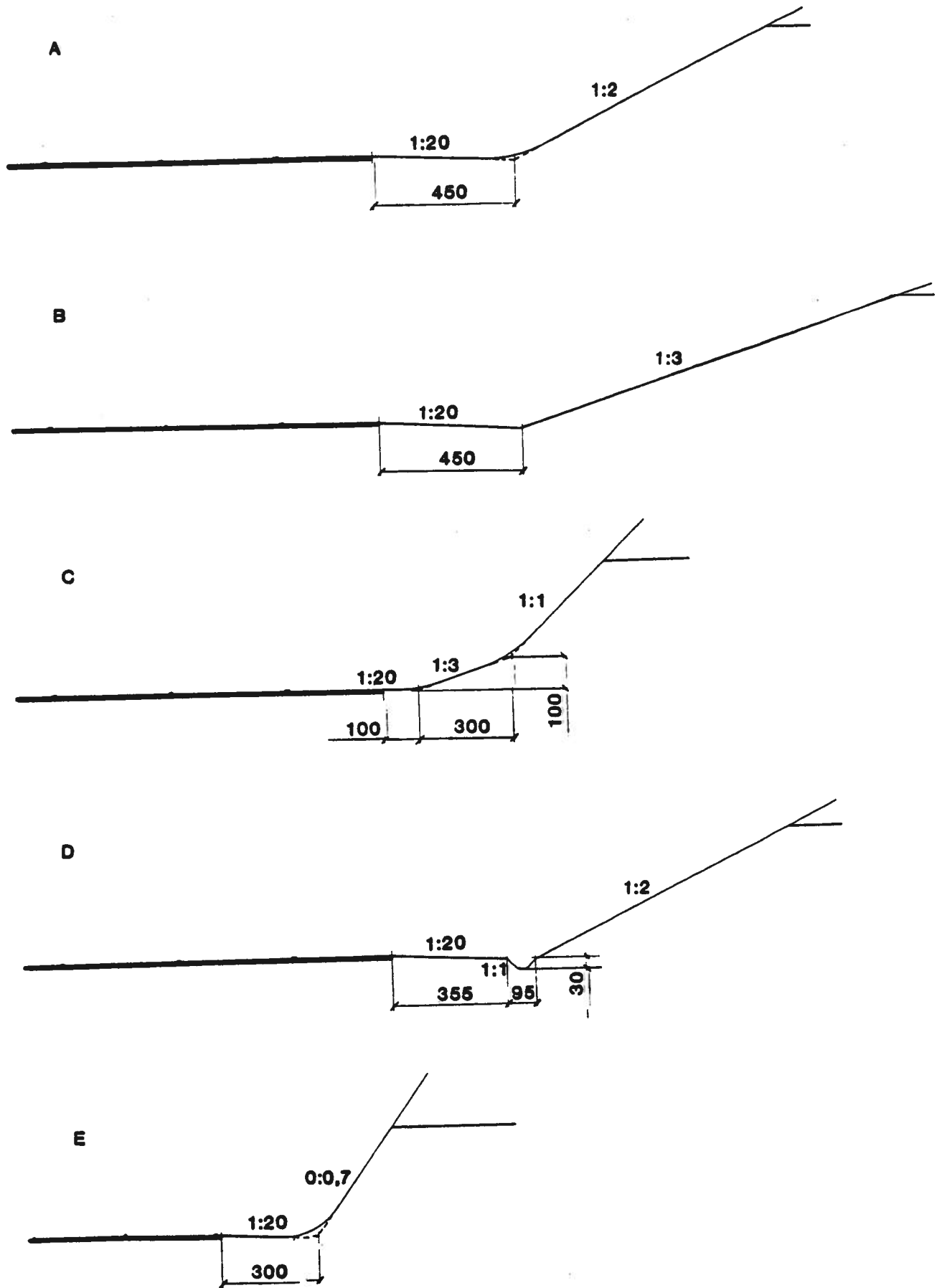
AFBEELDINGEN 1 EN 2

Afbeelding 1. De doorsnede van enkele taluds van de eerste en tweede serie gesimuleerde incidenten (per wegcategorie is één van de gemodelleerde hellingshoeken afgebeeld).

Afbeelding 2. De doorsnede van enkele taluds van de derde serie gesimuleerde incidenten.



Afbeelding 1. De doorsnede van enkele taluds van de eerste en tweede serie gesimuleerde incidenten (per wegcategorie is één van de gemodelleerde hellingshoeken afgebeeld).



Afbeelding 2. De doorsnede van enkele taluds van de derde serie gesimuleerde incidenten.

PLOTS 1 T/M 6

Plot 1.1. Voorbeeld van een simulatie uit de tweede serie.

Plot 1.2. Voorbeeld van een simulatie uit de tweede serie.

Plot 1.3. Voorbeeld van een simulatie uit de tweede serie.

Plot 2. Voorbeeld van een simulatie met stuurcorrectie.

Plot 3. Simulatie met een talud op 4,5 m afstand.

Plot 4. Simulaties met helling van 1:3 en geknikt talud.

Plot 5. Simulaties met een talud met greppel.

Plot 6. Simulaties met een steil talud van 1:0,7.

PLOT 1.1. VOORBEELD VAN EEN SIMULATIE UIT DE TWEDE SERIE

WEGCATEGORIE I: AUTOSNELWEG

TALUDKENMERKEN

helling 1:2
afr. straal 4 m
afst. talud tot
verharding 1,5 m
berm 1:20

INRIJCONDITIES

snelheid 80 km/u
inrijhoek 23°
geen stuurmanoeuvre
remmanoeuvre

stuurmanoeuvre
remmanoeuvre

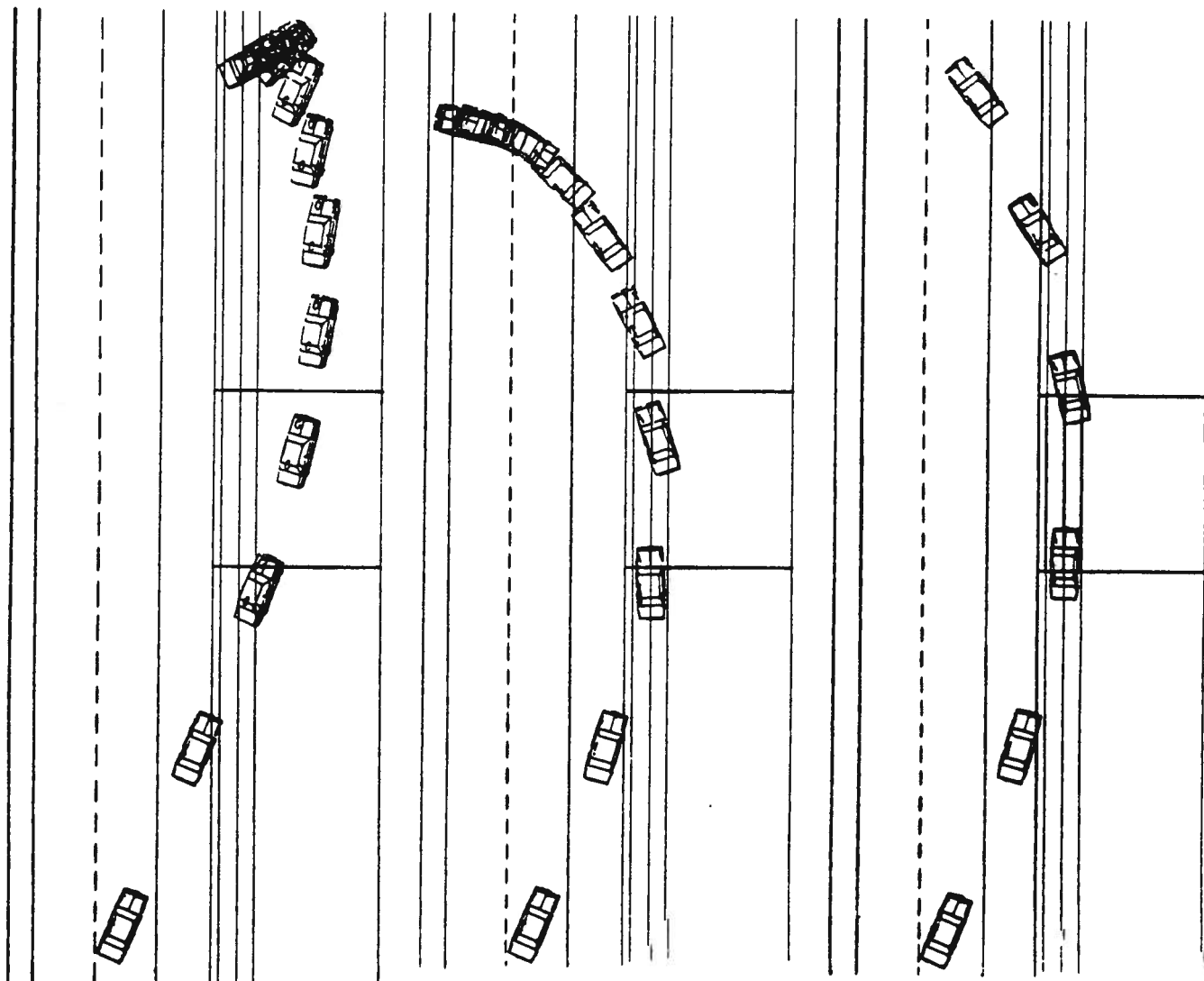
stuurmanoeuvre
geen remmanoeuvre



a

b

c



PLOT 1.2. VOORBEELD VAN EEN SIMULATIE UIT DE TWEEDE SERIE

WEGCATEGORIE III/V: AUTOWEG/WEG MET GESLOTEN VERKLARING

TALUDKENMERKEN

helling 1:1,5
afr. straal 2 m
afst. talud tot verharding 2,6 m
berm 1:2

INRIJCONDITIES

snelheid 80 km/u
inrijshoek 15°
geen stuurmanoeuvre
remmanoeuvre

stuurmanoeuvre
remmanoeuvre

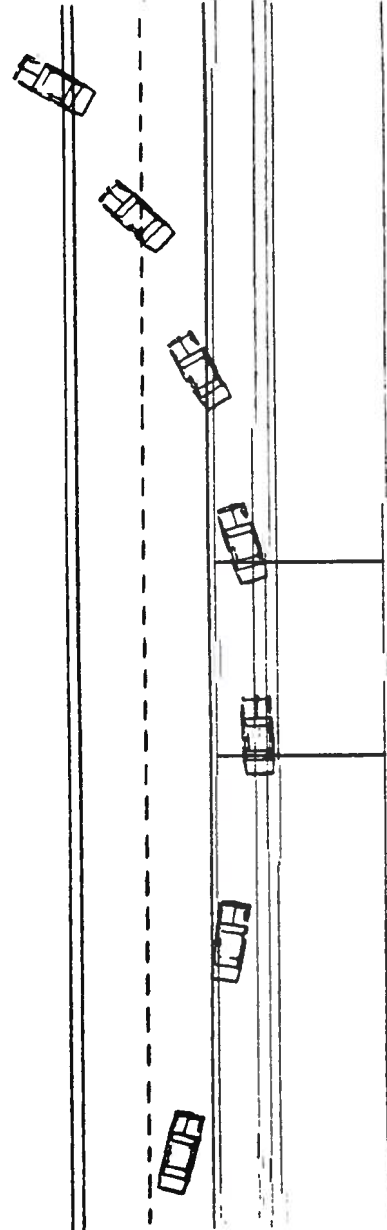
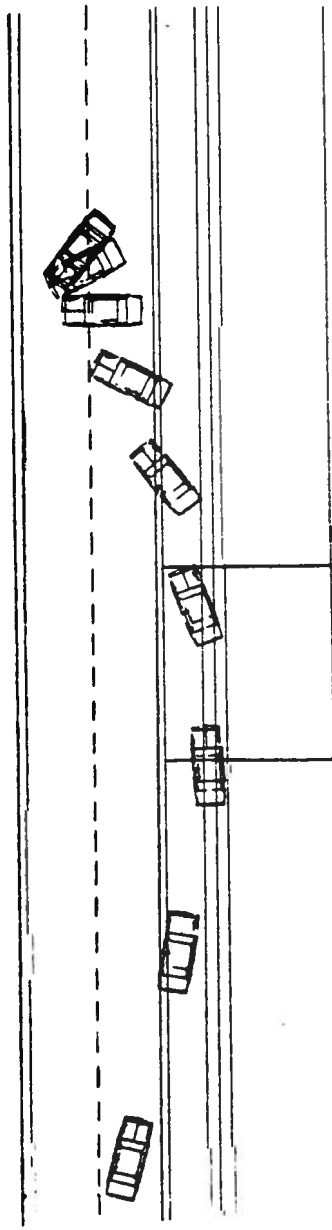
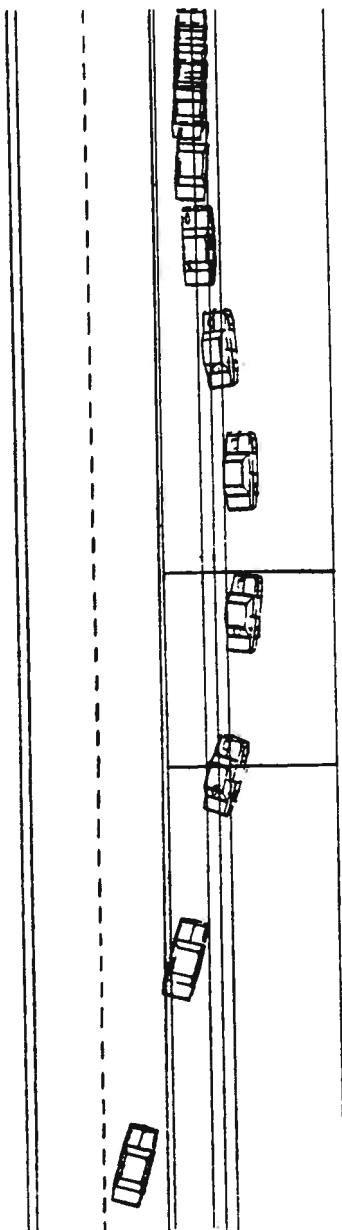
stuurmanoeuvre
geen remmanoeuvre



a

b

c



PLOT 1-3. VOORBEELD VAN EEN SIMULATIE UIT DE TWEDE SERIE

WEGCATEGORIE VI: WEG MET GEMENGD VERKEER

TALUDKENMERKEN

helling 1:1
afr. straal 2 m
afst. talud tot
verharding 1,5 m
berm 1:20

INRIJCONDITIES

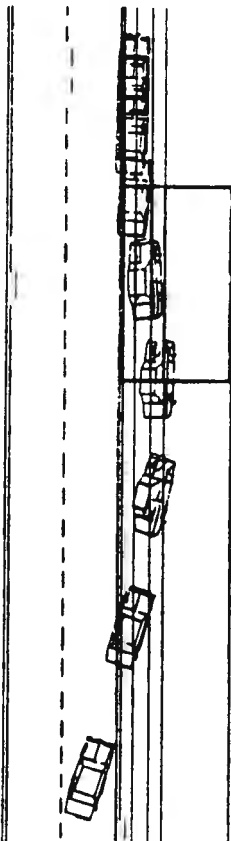
snelheid 60 km/u
inrijhoek 17°
geen stuurmanoeuvre
remmanoeuvre

stuurmanoeuvre
remmanoeuvre

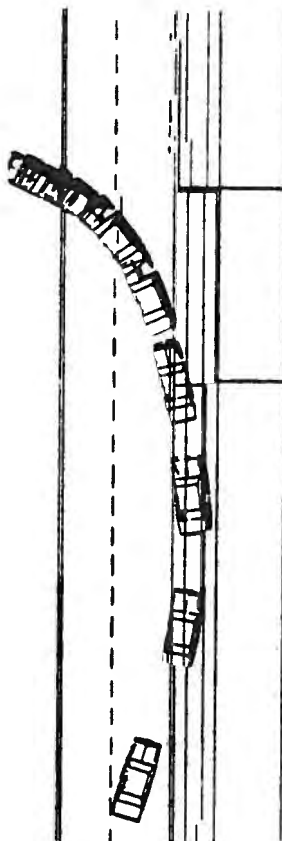
stuurmanoeuvre
geen remmanoeuvre



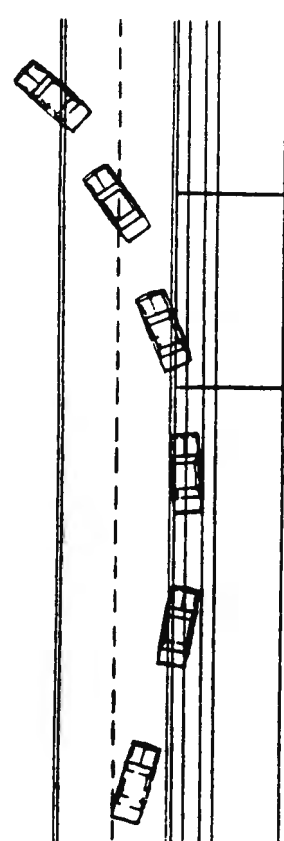
a



b



c



PLOT 2. VOORBEELD VAN EEN SIMULATIE MET STUURCORRECTIE

WEGCATEGORIE I: AUTOSNELWEG

TALUDKENMERKEN

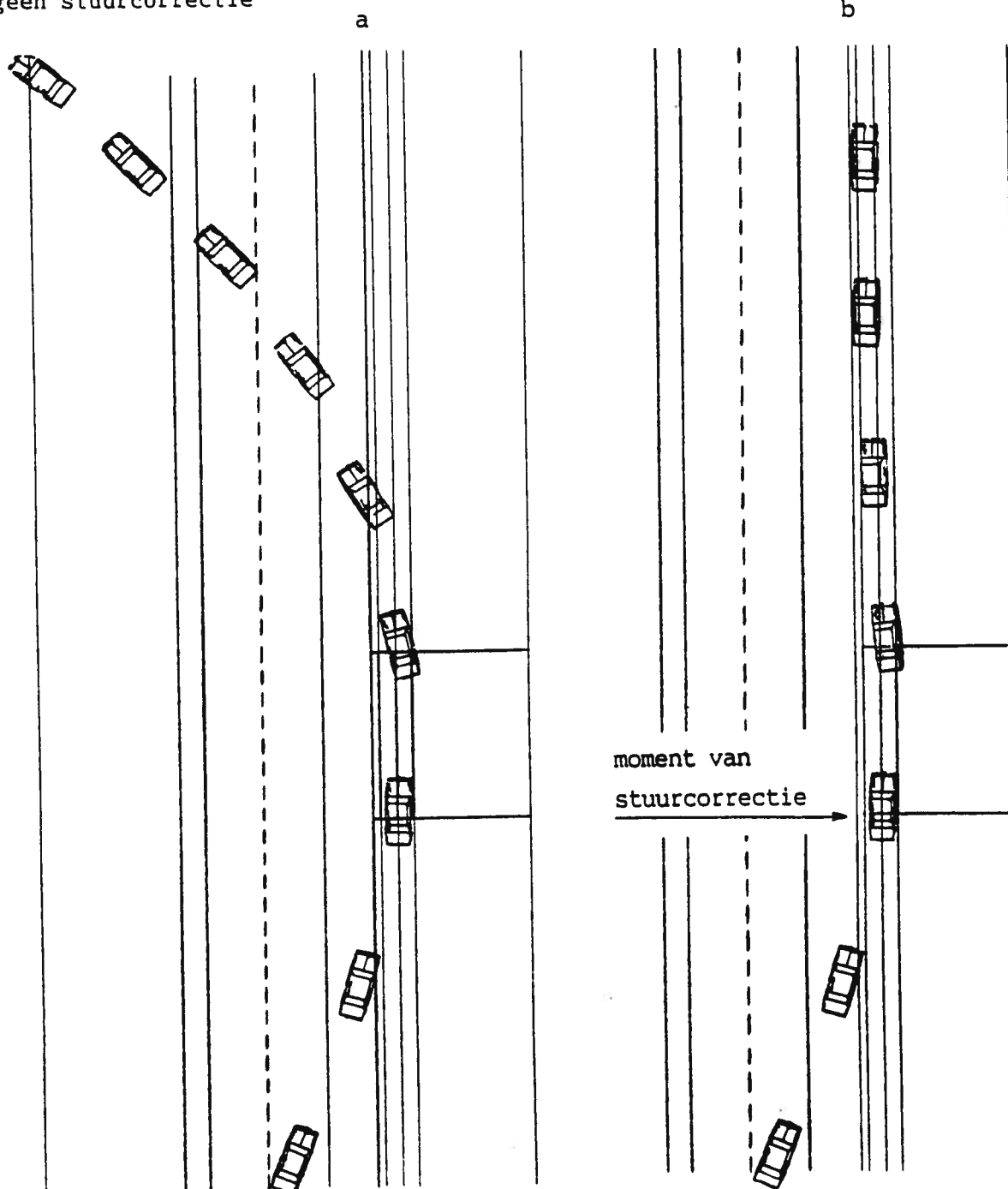
helling 1:2
afr. straal 4 m
afst. talud tot verharding 1,5 m
berm 1:20

INRIJCONDITIES

snelheid 80 km/u
inrijhoek 23°
stuurmanoeuvre
geen remmanoeuvre
geen stuurcorrectie



idem, met stuurcorrectie



PLOT 3. SIMULATIE MET EEN TALUD OP 4,5 M AFSTAND

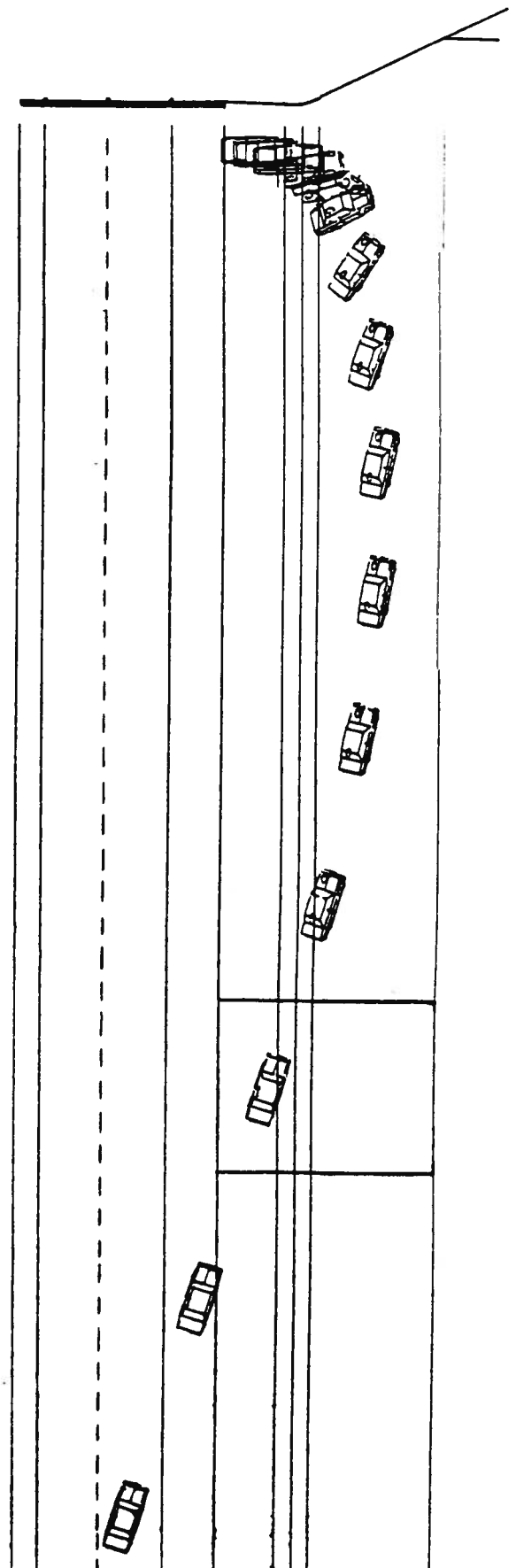
WEGCATEGORIE I: AUTOSNELWEG

TALUDKENMERKEN

helling 1:2
afr. straal 4 m
afst. talud tot
verharding 4,5 m
berm 1:20

INRIJCONDITIES

snelheid 100 km/u
inrijhoek 17°
geen stuurmanoeuvre
remmanoeuvre



PLOT 4. SIMULATIES MET HELLING VAN 1:3 EN GEKNIKT TALUD

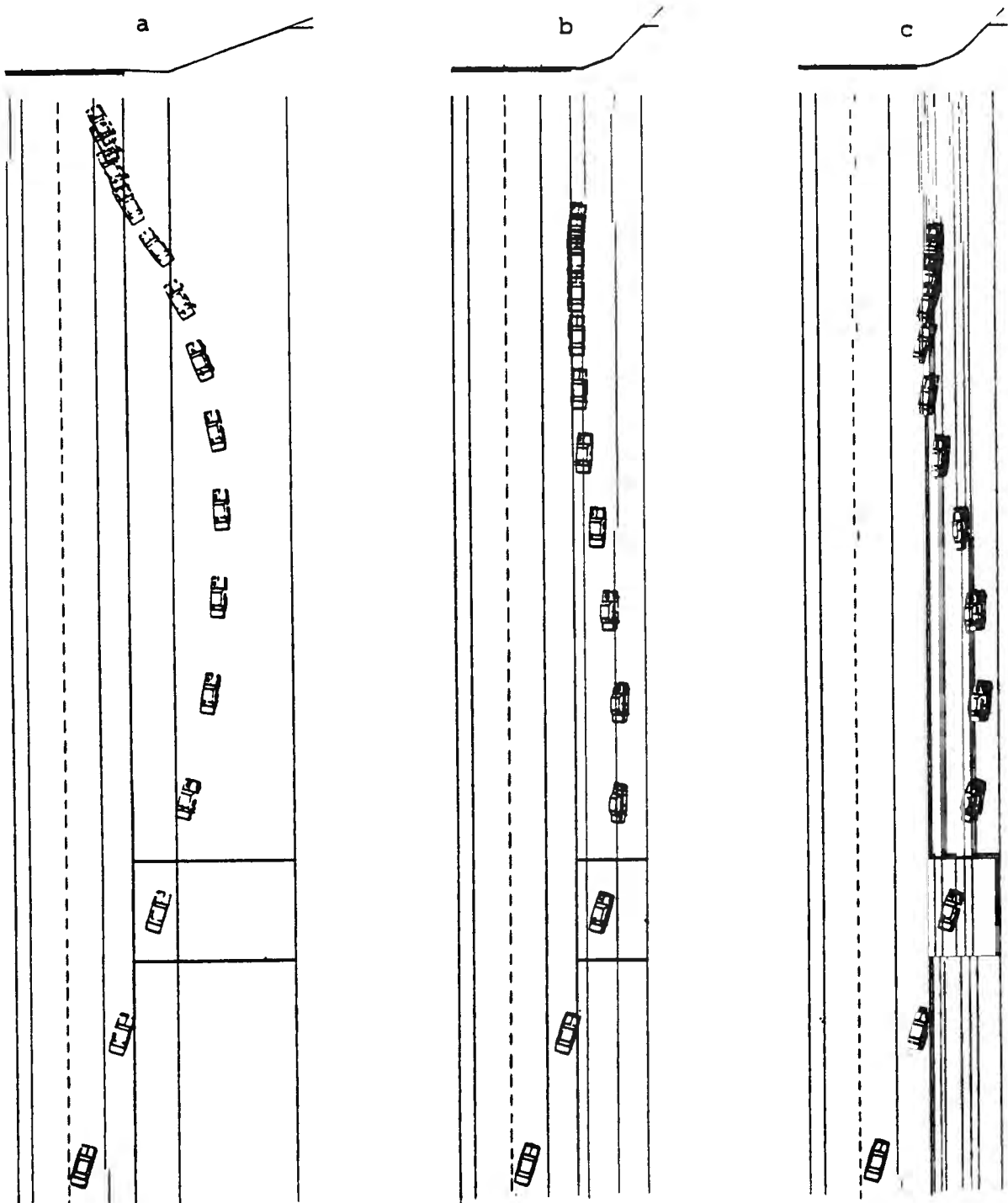
WEGCATEGORIE I: AUTOSNELWEG

TALUDKENMERKEN

helling	1:3	1:3 / 1:1	1:3 / 1:1
afr. straal	0 m	0 m	4 m (2x)
afst. talud tot verharding	4,5 m	1 m	1 m
berm	1:20	1:20	1:20

INRIJCONDITIES

snelheid 80 km/u
inrijhoek 23°
geen stuurmanoeuvre
remmanoeuvre



PLOT 5. SIMULATIES MET EEN TALUD MET GREPPEL

WEGCATEGORIE I: AUTOSNELWEG

TALUDKENMERKEN

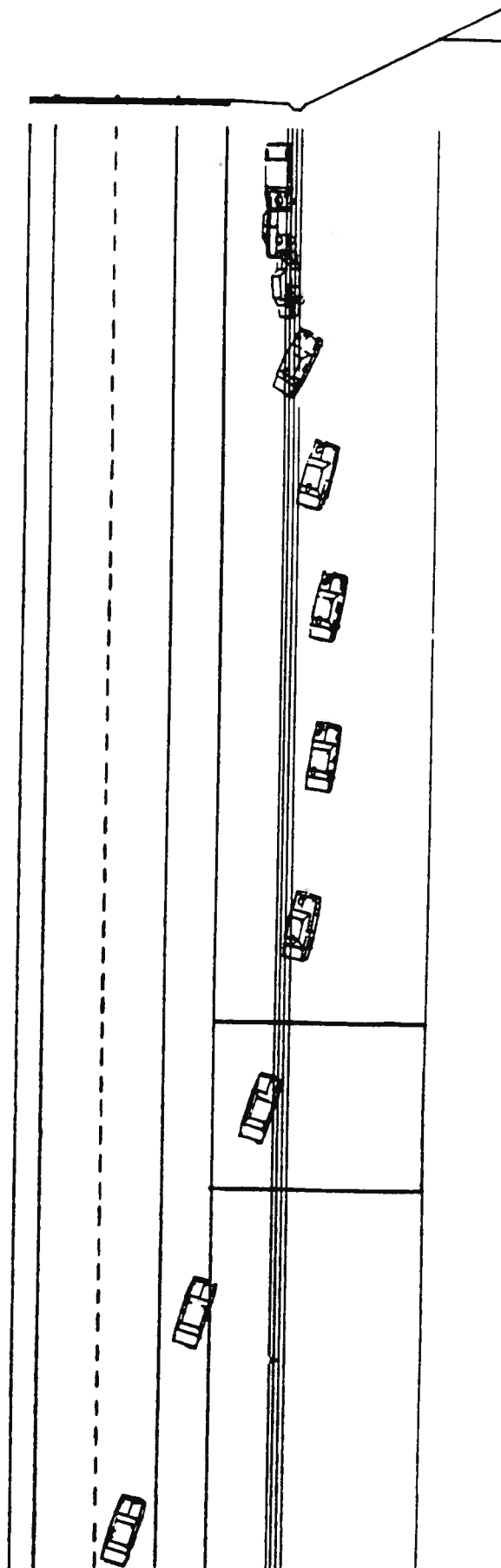
helling 1:2
afr. straal n.v.t.
afst. talud tot
verharding 4,5 m
berm 1:2

GREPPELKENMERKEN

helling kanten: 1:1
diepte : 30 cm
breedte : 95 cm

INRIJCONDITIES

snelheid 100 km/u
inrijhoek 17°
geen stuurmanoeuvre
remmanoeuvre



PLOT 6. SIMULATIES MET EEN STEIL TALUD VAN 1:0,7

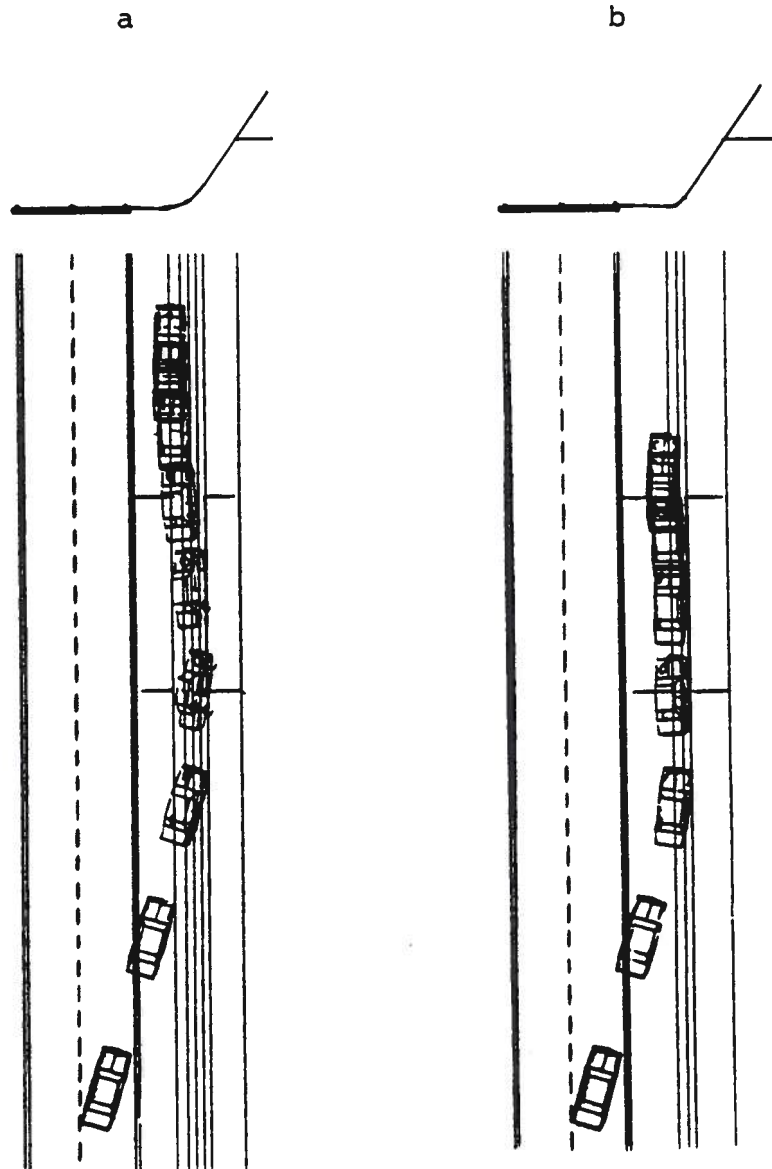
WEGCATEGORIE VI: WEG MET GEMENGD VERKEER

TALUDKENMERKEN

helling	1:0,7	1:0,7
afr. straal	2 m	1 m
afst. talud tot verharding	3 m	3 m
berm	1:20	1:20

INRIJCONDITIES

snelheid 60 km/u
inrijhoek 17°
geen stuurmanoeuvre
remmanoeuvre



TABELLEN 1 t/m 3

Tabel 1A. Resultaten van gesimuleerde incidenten zonder stuurmanoeuvres maar met remmanoeuvres voor de drie wegcategorieën.

Tabel 1B. Resultaten van gesimuleerde incidenten met stuurmanoeuvres en remmanoeuvres voor de drie wegcategorieën.

Tabel 1C. Resultaten van gesimuleerde incidenten met stuurmanoeuvres zonder remmanoeuvres voor de drie wegcategorieën.

Tabel 2. Overzicht van diverse kenmerken van bestaande opgaande taluds.

Tabel 3. Resultaten van de derde serie gesimuleerde incidenten met taluds met verschillende karakteristieken; voertuigmanoeuvre: geen stuurmanoeuvre maar met remmanoeuvre.

TALUD	CONDITIE	RESULTATEN							BEORDELING
Helling	Inrij-snelheid- inrijhoek (km/u - o)	Dwars- vertraging (g)	Stuurwiel los ja/nee	Max. rolhoek (o)	Klim- hoogte (m)	Voertuig op rijbaan			Simulatie acceptabel ja/nee
			1)	2)	3)	ja/nee	inrij- hoek (o)	inrij- snelheid (km/u)	

WEGCATEGORIE I: AUTOSNELWEG

Afrondingsstraal: 4 m

1 : 1	100 - 17	0,9	nee	45	3,25	nee	-	-	ja
	80 - 23	0,8	nee	46	3,15	nee	-	-	ja
	60 - 34	1,0	nee	ROb	3,00	nee	-	-	ja
1 : 1,5	100 - 17	0,7	nee	34	3,00	nee	-	-	ja
	80 - 23	0,7	nee	34	2,80	nee	-	-	ja
	60 - 34	0,8	nee	ROa	2,75	nee	-	-	ja
1 : 2	100 - 17	0,6	nee	ROb	2,75	nee	-	-	ja
	80 - 23	0,8	nee	28	2,60	nee	-	-	ja
	60 - 34	0,8	nee	24	2,45	nee	-	-	ja

WEGCATEGORIE III/V: AUTOWEG / WEG MET GESLOTEN VERKLARING

Afrondingsstraal: 2 m

1 : 1	80 - 15	1,0	nee	46	1,50	nee	-	-	ja
	60 - 20	0,7	nee	49	1,40	nee	-	-	ja
	40 - 33	0,6	nee	ROa	1,20	nee	-	-	ja
1 : 1,5	80 - 15	0,7	nee	37	1,40	nee	-	-	ja
	60 - 20	1,0	nee	ROa	1,30	nee	-	-	ja
	40 - 33	0,7	nee	34	1,05	nee	-	-	ja
1 : 2	80 - 15	0,6	nee	29	1,40	nee	-	-	ja
	60 - 20	0,8	nee	30	1,25	nee	-	-	ja
	40 - 33	0,6	nee	26	1,00	nee	-	-	ja

WEGCATEGORIE VI: WEG MET GEMENGD VERKEER

Afrondingsstraal: 2 m

1 : 1	60 - 17	0,7	nee	49	1,20	nee	-	-	ja
	40 - 26	0,6	nee	50	1,15	nee	-	-	ja
1 : 1,5	60 - 17	0,5	nee	37	1,10	nee	-	-	ja
	40 - 26	0,6	nee	36	1,05	nee	-	-	ja
1 : 2	60 - 17	0,5	nee	30	1,10	nee	-	-	ja
	40 - 26	0,5	nee	27	0,95	nee	-	-	ja

RO = roll-over; snelheid bij rotatie: a < 10 km/u; b < 20 km/u

1) Grenswaarde : uitgeoefende kracht van 50 N op het stuurwiel

2) De maximale voertuigratactie om de lantaas

3) Geregistreerd van het zwaartepunt

Tabel 1a Resultaten van gestimuleerde incidenten zonder stuurmanoeuvres maar met remmanoeuvres voor de drie weg-
categorieën

TALUD	CONDITIE	RESULTATEN ¹⁾				BEOORDELING ²⁾		
		Stuurwiel los ja/nee 3)	Rolhoek (°) 4)	Drifthoek (°) 5)	Klimhoogte (m) 6)	Sim. acc. ja/nee	Op grond van:	Voertuig op verharding snelh.-hoek

WEGCATEGORIE I: AUTOSNELWEG

Afrondingsstraal: 4 m

1 : 1	100 - 17	nee	21	8	0,70	ja		
	80 - 23	nee	22	5	0,80	ja		
	60 - 34	nee	29	1	0,95	nee	rolhoek	29 km/u-30°
1 : 1,5	100 - 17	nee	19	9	0,65	ja		
	80 - 23	nee	20	5	0,70	ja		
	60 - 34	nee	28	3	0,80	nee	rolhoek	24 km/u-32°
1 : 2	100 - 17	nee	6	10	0,50	ja		
	80 - 23	nee	17	5	0,55	ja		
	60 - 34	nee	23	4	0,75	ja		

WEGCATEGORIE: III/V: AUTOWEG / WEG MET GESLOTEN VERKLARING

Afrondingsstraal: 2 m

1 : 1	80 - 15	nee	6	7	0,35	ja		
	60 - 20	nee	8	4	0,35	ja		
	40 - 33	ja	18	4	0,40	nee	stuurwiel	vrt. in berm
1 : 1,5	80 - 15	nee	6	5	0,35	ja		
	60 - 20	nee	8	3	0,30	ja		
	40 - 33	ja	8	1	0,30	nee	stuurwiel	vrt. in berm
1 : 2	80 - 15	nee	14	6	0,35	ja		
	60 - 20	nee	4	3	0,30	ja		
	40 - 33	nee	10	1	0,30	ja		

WEGCATEGORIE VI: WEG MET GEMENGD VERKEER

Afrondingsstraal: 2 m

1 : 1	60 - 17	nee	10	2	0,40	ja		
	40 - 26	nee	19	3	0,45	ja		
1 : 1,5	60 - 17	nee	7	3	0,35	ja		
	40 - 26	nee	12	3	0,40	ja		
1 : 2	60 - 17	nee	7	3	0,35	ja		
	40 - 26	nee	9	2	0,35	ja		

- 1) De geregistreerde meetgegevens hebben betrekking op het tijdstip dat het voertuig een stand heeft ingenomen evenwijdig aan de rijbaan.
- 2) Indien een simulatie op grond van de criteria van hoofdstuk 4 niet als acceptabel is bevonden, wordt aangenomen dat de bestuurder niet in staat is zijn voertuig onder controle te krijgen. In dit geval is aangegeven met welke snelheid en onder welke hoek het voertuig op de rijbaan terecht komt.
- 3) Grenswaarde: uitgeoefende kracht van 50 N op het stuurwiel.
- 4) De voertuigrotatie om de langsas.
- 5) De hoek tussen de bewegingsrichting van het voertuigzwaartepunt en de langsas van het voertuig.
- 6) Geregistreerd van het zwaartepunt.

Tabel 1b. Resultaten van gesimuleerde incidenten met stuurmanoeuvres en remmanoeuvres voor de drie wegcategorieën.

TALUD	CONDITIE	RESULTATEN ¹⁾				BEOORDELING ²⁾		
		Stuurwiel los ja/nee 3)	Rol-hoek (°) 4)	Drift-hoek (°) 5)	Klim-hoogte (m) 6)	Sim. acc. ja/nee	Op grond van:	Voertuig op verharding snelh.-hoek

WEGCATEGORIE I: AUTOSNELWEG

Afrondingsstraal: 4 m

1 : 1	100 - 17	nee	21	5	0,65	ja	rolhoek	50 km/u-33°
	80 - 23	nee	24	1	0,75	ja		
	60 - 34	nee	39	2	1,20	nee		
1 : 1,5	100 - 17	nee	19	5	0,55	ja	rolhoek	49 km/u-35°
	80 - 23	nee	23	1	0,70	ja		
	60 - 34	nee	34	2	1,00	nee		
1 : 2	100 - 17	nee	13	6	0,50	ja	rolhoek	45 km/u-37°
	80 - 23	nee	19	6	0,60	ja		
	60 - 34	nee	26	2	0,90	nee		

WEGCATEGORIE: III/V: AUTOWEG / WEG MET GESLOTEN VERKLARING

Afrondingsstraal: 2 m

1 : 1	80 - 15	nee	6	4	0,30	ja
	60 - 20	nee	6	1	0,35	ja
	40 - 33	nee	18	3	0,50	ja
1 : 1,5	80 - 15	nee	9	3	0,30	ja
	60 - 20	nee	6	2	0,30	ja
	40 - 33	nee	9	3	0,40	ja
1 : 2	80 - 15	nee	6	4	0,70	ja
	60 - 20	nee	6	2	0,35	ja
	40 - 33	nee	10	2	0,40	ja

WEGCATEGORIE VI: WEG MET GEMENGD VERKEER

Afrondingsstraal: 2 m

1 : 1	60 - 17	nee	8	1	0,45	ja
	40 - 26	nee	19	4	0,55	ja
1 : 1,5	60 - 17	nee	9	2	0,40	ja
	40 - 26	nee	15	3	0,45	ja
1 : 2	60 - 17	nee	5	2	0,35	ja
	40 - 26	nee	14	4	0,45	ja

- 1) De geregistreeerde meetgegevens hebben betrekking op het tijdstip dat het voertuig een stand heeft ingenomen evenwijdig aan de rijbaan.
- 2) Indien een simulatie op grond van de criteria van hoofdstuk 4 niet als acceptabel is bevonden, wordt aangenomen dat de bestuurder niet in staat is zijn voertuig onder controle te krijgen. In dit geval is aangegeven met welke snelheid en onder welke hoek het voertuig op de rijbaan terecht komt.
- 3) Grenswaarde: uitgeoefende kracht van 50 N op het stuurwiel.
- 4) De voertuigrotatie om de langsas.
- 5) De hoek tussen de bewegingsrichting van het voertuigzwaartepunt en de langsas van het voertuig.
- 6) Geregistreerd van het zwaartepunt.

Tabel 1c. Resultaten van gesimuleerde incidenten met stuurmanoeuvres zonder remmanoeuvres voor de drie wegcategorieën.

WEGTYPE / AFR. STRAAL	HELLING	UITGEV. SIMULATIES	ACCEPTABEL		MAX. GEREESTREERDE KLIMHOOGTE 1)
			wel	niet	
Categorie I R = 4	1:1	9	7	2	3,25 m
	1:1,5	9	7	2	3,00 m
	1:2	9	8	1	2,75 m
Categorie III/V R = 2	1:1	9	8	1	1,50 m
	1:1,5	9	8	1	1,40 m
	1:2	9	9	0	1,40 m
Categorie VI R = 2	1:1	6	6	0	1,20 m
	1:1,5	6	6	0	1,10 m
	1:2	6	6	0	1,10 m

1) Geregistreerd van het zwaartepunt; voor de bepaling van de acceptabele taludhoogte dient de aangegeven waarde met ca. 1 m verhoogd te worden.

Tabel 2. Getotaliseerde beoordeling van het aantal acceptabele taludsimulaties op basis van de resultaten van Tabel 1a t/m 1c.

WEGNUMMER	HM-PAAL	HELLING	TALUD- HOOGTE (m)	AFSTAND TOT VERHARDING (m)	GREPPEL
ASW 1)	-	1:1,5	3,9	3,0	nee
A 1	77,2	1:3,4	5,4	9,3	nee
A 28	7,8	1:0,7	10,8	10,2	nee
A 28	15,3	1:2,7	3,9	10,5	nee
A 28	95,1	1:5 / 1:1,5	3,3	4,2	nee 3)
A 73 2)	86,8	1:1	5,0	2,0	ja
N 270	12,1	1:1,9	5,7	14,4	ja
RW 34	-	1:1,5	3,0	?	ja
A a/d Rijn	-	1:0,7	3,9	4,7	nee
Zoeterwoude	-	1:0,7	3,3	3,0	nee
Zoetermeer	-	1:0,7	4,9	0,9	nee

1) voorbeeldschets in opdrachtbrief DVK

2) talud achter geleiderail

3) "grindkoffer" in berm voor drainage doeleinden

Opmerking: alle taluds hebben "natuurlijke afrondingen".

Tabel 3. Overzicht van diverse kenmerken van bestaande opgaande taluds.

TALUD		RESULTATEN								BEOORDELING
Helling	Afstand tot verharding (m)	Afrondingsstraal (m)	Dwarsvertra- ging (g)	Stuurwiel los ja/nee 1)	Max. rolhoek (o) 2)	Klim- hoogte (m) 3)	Voertuig op rijbaan			Simulatie acceptabel ja/nee 4)
							ja/nee	inrij- hoek (o)	inrij- snelheid (km/u)	
<u>SIMULATIES A: Afstand talud vergroot tot 4,5 m (fig. 2A; plot 3)</u>										
Inrijconditie: 100 km/u - 17°										
1:1	4,5	4	0,9	nee	49	2,55	nee	-	-	ja
1:1,5	4,5	4	0,6	nee	35	2,60	nee	-	-	ja
1:2	4,5	4	0,5	nee	RO ^a	2,45	nee	-	-	ja
<u>SIMULATIE B: Helling van 1:3, afrondingsstraal 0 m (fig. 2B; plot 4a)</u>										
Inrijconditie: 100 km/u - 17°										
1:3	4,5	0	0,8	nee	26	2,00	ja	25	25	nee/ja
<u>SIMULATIES C: Geknikt talud ((fig. 2C; plot 4b en 4c)</u>										
Inrijconditie: 100 km/u - 17°										
1:3 / 1:1	1	0	1,4	nee	55	2,20	nee	-	-	nee
1:3 / 1:1	1	4	1,0	nee	49	3,15	nee	-	-	ja
<u>SIMULATIES D: Talud met greppel (fig. 2D; plot 5)</u>										
Inrijconditie: 100 km/u - 17°										
1:2	4,5	G 1:1 [*]	1,4	ja	RO ^b	1,25	nee	-	-	nee
1:2	4,5	G 1:2 [*]	2,0	ja	RO ^c	1,70	nee	-	-	nee
<u>SIMULATIES E: Steil talud van 1:0,7 (fig. 2E; plot 6a en 6b)</u>										
Inrijconditie: 60 km/u - 17°										
1:0,7	1,5	1	2,4	ja	28	0,50	nee	-	-	nee
1:0,7	1,5	2	0,8	nee	59	1,15	nee	-	-	ja

* Greppeldimensies: hellingshoek van de kanten x breedte (cm) x diepte (cm); G 1:1 x 95 x 30; G 1:2 x 140 x 30.
RO = roll-over; voertuig blijft in berm; snelheid bij rotatie: a: 11 km/u; b: 26 km/u; c: 66 km/u

- 1) Grenswaarde : uitgeoefende kracht van 50 N op het stuurwiel
- 2) De maximale voertuigrotatie om de langsas
- 3) Geregistreerd van het zwaartepunt
- 4) Voor de motivering wordt verwezen naar paragraaf 6.3.

Tabel 4. Resultaten van de derde serie gesimuleerde incidenten met taluds met verschillende karakteristieken; voertuigmanoeuvre: geen stuurmanoeuvre maar met remmanoeuvre.

BIJLAGEN 1 T/M 4

Bijlage 1. Het mathematische model VEDYAC.

Bijlage 2. Ontwerpeisen en normaal dwarsprofielen van de verschillende wegtypen.

Bijlage 3. Voertuigtechnische gegevens van het gemodelleerde voertuigtype.

Bijlage 4. Het ASI-criterium.

BIJLAGE 1

HET MATHEMATISCHE MODEL VEDYAC

1. Beschrijving van het model

De naam van het VEDYAC-model is afgeleid van VEHICLE DYNAMICS AND CRASH DYNAMICS.

VEDYAC is in principe een voertuigmodel, waarbij de mogelijkheden om het voertuig te definiëren zo ruim zijn dat het geschikt is voor de simulatie van een veelheid van bewegende (en interagerende) lichamen. Binnen een simulatie kunnen twee of meer zogenaamde systemen worden gedefinieerd, die kunnen bewegen zoals een voertuig, of "vast" kunnen zijn, zoals een weggoppervlak of een obstakel. Die systemen bestaan uit onvervormbare lichamen waaraan, willekeurig, subsystemen van de volgende aard kunnen worden bevestigd:

- Vlakstructuren, die ofwel een onbegrensd vlak beschrijven, dan wel door een aantal rechte lijnen is begrensd. Elk vlak kent een afzonderlijke hardheid en wrijving. De vlakken worden gebruikt voor de beschrijving van weinig of niet vervormbare delen van een systeem.

- Cylinders, die, in interactie met vlakken, kunnen vervormen en op een "pneumatische" manier, via druk- en oppervlakteverandering, tot interactiekrachten leiden. De cylinders zijn eenvoudig en goed toepasbaar in gevallen waarin krachten en vervormingen geen al te grote waarden zullen krijgen.

- Vervormbare, op eindige elementen gebaseerde structuren, die voor grotere vervormingen gebruikt kunnen worden. De elementen zijn vrij eenvoudige vierhoekige elementen die bestaan uit:

- a. staven die uitsluitend op trek en druk worden belast en elastisch en plastisch vervormen;
- b. liggers die daarnaast ook elastische en plastische buiging kunnen ondergaan (alleen in de scharnieren aan de uiteinden);
- c. "afschuifpanelen", die, omdat de elementen altijd vierhoekig zijn, steeds als twee diagonale staven worden gemodelleerd.

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

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

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

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

Het is mogelijk een aantal systemen te organiseren in een zogenaamd supersysteem, waarin hun onderlinge posities, verbindingpunten en verbindingseigenschappen in een beginpositie eenmalig zijn vastgelegd.

Vervolgens kan het supersysteem worden behandeld als een enkel systeem waarbij alleen de begincondities van het eerste systeem binnen het supersysteem worden gegeven.

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

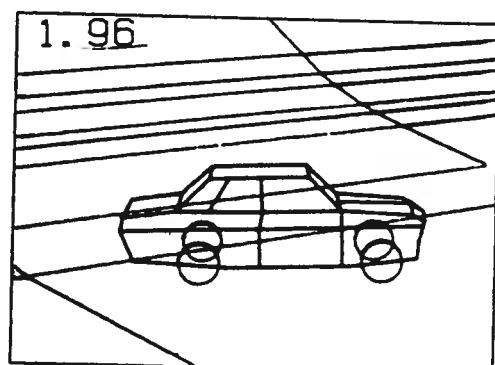
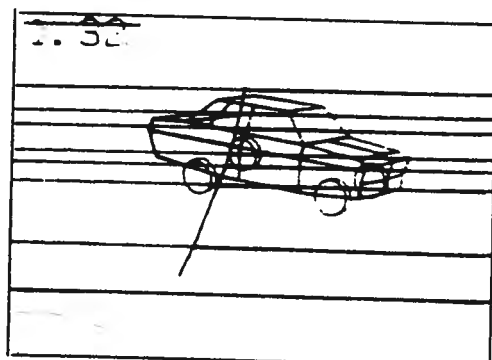
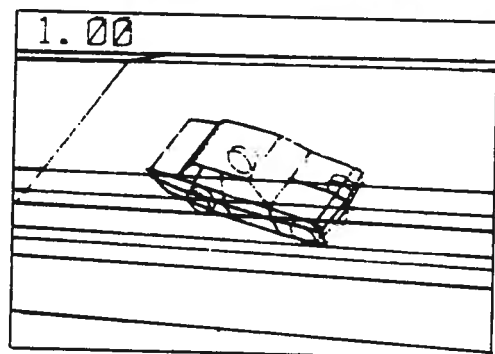
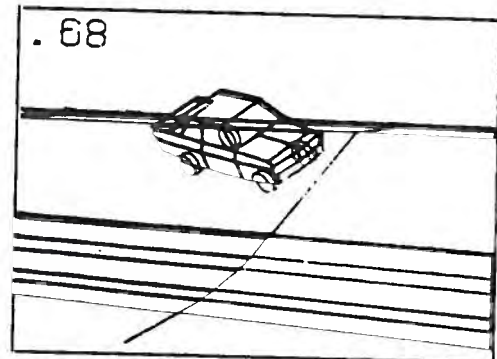
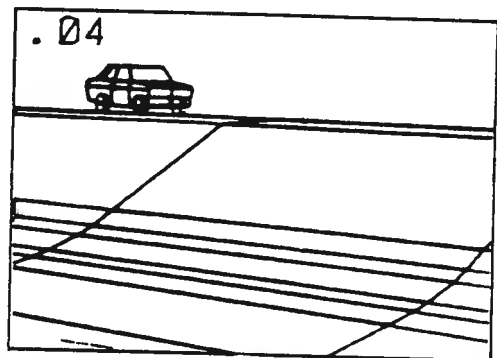
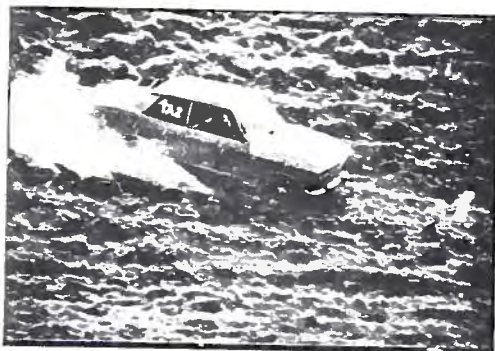
- bewegingen binnen een systeem, inclusief de beweging van de wielophangingen, worden geïntegreerd met een impliciete methode;
- interacties tussen systemen wordt expliciet geïntegreerd. Het gaat hier om een Newmark-methode met variabele tijdstap; de tijdstap wordt afhankelijk van maximale versnellingsverschillen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

2. Verificatie van het VEDYAC-model

Tijdens het onderzoek "Aflopende taluds" is het VEDYAC-model geverifieerd aan de hand van resultaten van proeven op ware schaal. Getoetst is aan de volgende grootheden: baan van het voertuig, rolhoek, verdragigings- en ASI-waarden.

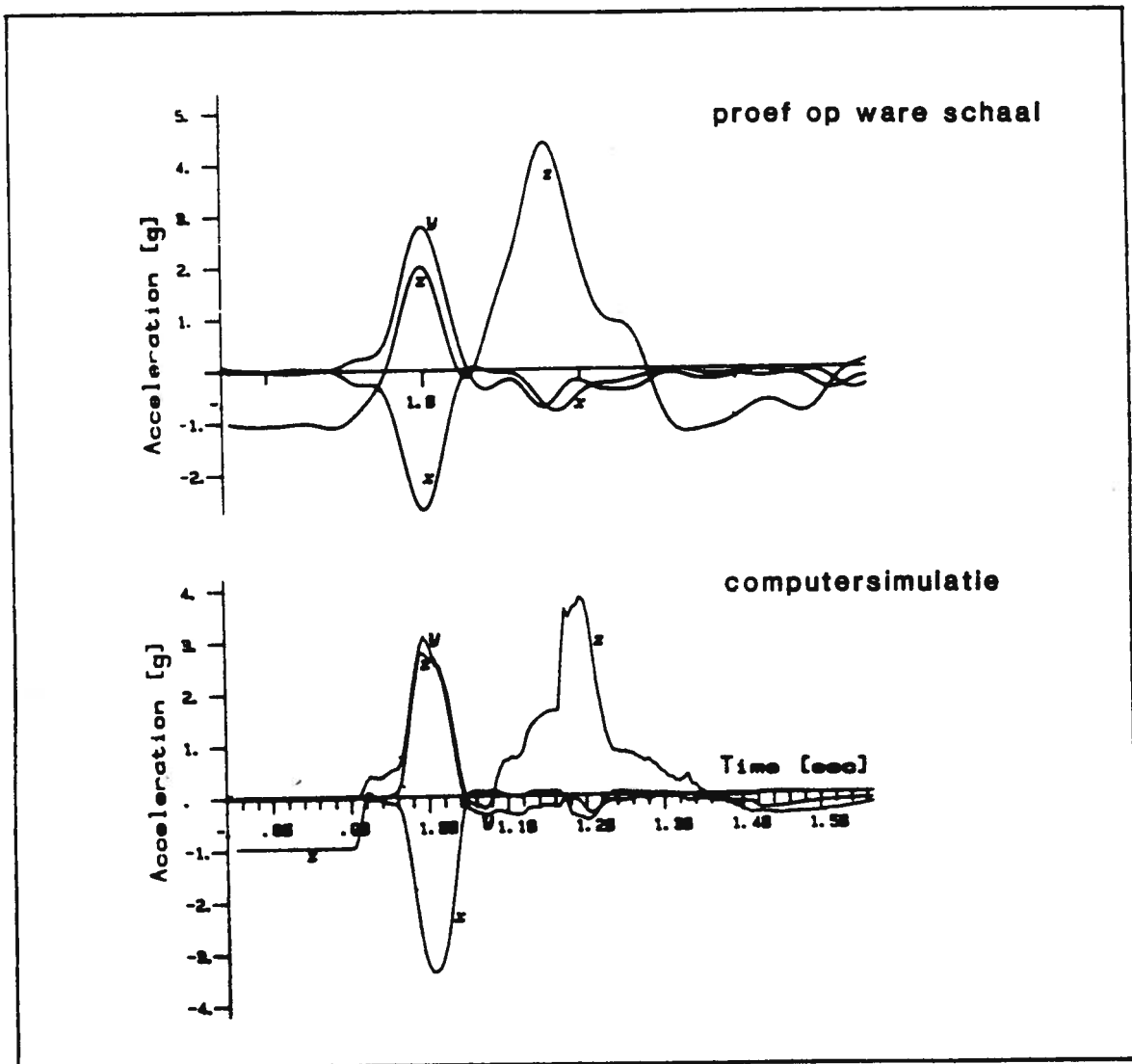
Op Afbeelding 1 van deze Bijlage is ter vergelijking de door het voertuig

Afbeelding 1. Vergelijking tussen een mathematische simulatie en een proef op ware schaal.



Afbeelding 2. Vergelijking tussen een mathematische simulatie en een proef op ware schaal.

Afgebeeld zijn de grafieken van de voertuigvertraging in drie richtingen - geregistreerd in het zwaartepunt - van de op Afbeelding 1 afgebeelde proef.



Gegevens van de proef van Afbeelding 1 en 2

Proefnummer : TA 2
Taludhelling : 1:0.2
Inrijnsnelheid : 75 km/u
Inrijhoek : 20°

beschreven baan bij een proef op ware schaal en bij een mathematische simulatie weergegeven. De proef is uitgevoerd met een middelzware personenauto bij een snelheid van 75 km/u; de hellingshoek van het talud was 25° (1:2,2). Op Afbeelding 2 is de overeenkomst tussen de grootte van de voertuigvertragingen getoond.

In het rapport "Aflopende taluds I" is het volgende over de resultaten van het verificatie-onderzoek geconcludeerd.

"Met betrekking tot de uitgevoerde verificatie kan worden geconcludeerd dat het model de voertuigbewegingen, uitgedrukt in rolhoek en baan van het voertuig, en de grootte van de voertuigvertragingen, uitgedrukt in de ASI, op redelijk nauwkeurige wijze berekend. Zeker indien in acht wordt genomen dat in de gesimuleerde praktijksituatie zich tal van variaties voordoen die niet of niet eenvoudig zijn te simuleren.

Op grond hiervan kan worden gesteld dat het met het mathematische model mogelijk is voorspellingen over het voertuiggedrag te doen die voor ten hoogste ca. 20% zullen afwijken van de praktijksituatie.

Hoewel bij verificatie is gebleken dat het gebruikte model bevredigend werkt, kan in het algemeen worden gesteld dat met modelexercities geen exacte representatie van de realiteit mag worden verwacht. Een aantal redenen ligt hieraan ten grondslag.

In de eerste plaats kunnen de natuurlijke oneffenheden van het talud worden genoemd. In de praktijksituatie kunnen afhankelijk van de beschreven voertuigbaan dergelijke oneffenheden in het ene geval een versterkend en in het andere geval een dempend effect op het dynamisch voertuiggedrag hebben. Hoewel met het model oneffenheden kunnen worden gesimuleerd, kan nauwelijks een zodanige dimensionering en situering worden nagebootst dat deze exact bij de werkelijkheid aansluiten.

In de tweede plaats komen in de praktijksituatie talloze combinaties van hardheid en wrijvingscoëfficiënt van het taludoppervlak voor; met name kunnen de weersomstandigheden hierop van grote invloed zijn. Bij de simulaties dienen bepaalde keuzen met betrekking tot deze grootheden gemaakt worden.

Ook dient met betrekking tot een aantal voertuigparameters een keuze gemaakt te worden. Genoemd kan worden de werking van de schokdempers. Uit een aantal simulaties met het oude model MAMIAC is af te leiden dat slechte schokdempers de afloop van een taludincident nadelig kunnen beïnvloeden. Vooral de combinatie van grote oneffenheden en slechte schokdempers kan verschillen met de simulatieresultaten opleveren. Het is echter niet

goed te voorspellen wat hiervan de invloed is op bijvoorbeeld de grootte van de rolhoek, het vertragingniveau en de baan van het voertuig. Voorts laat het model het doorbuigen van de gehele carrosserie niet toe zoals dat bij een aantal praktijkproeven is geconstateerd. Het effect van die doorbuiging op versnellingsniveaus en ASI-waarden kan echter worden verwaarloosd ten opzichte van de totale nauwkeurigheid van de simulaties. Tenslotte moet erop worden gewezen dat het aantal passagiers in het "bot-sende" voertuig de massa en massatraagheid beïnvloedt. Op grond van de simulaties kan verwacht worden dat door toename van de massa de ASI-waarden enigszins hoger uitvallen; door toename van de massatraagheid zullen de hoekversnellingen geringer in waarde zijn".

BIJLAGE 3

VOERTUIGTECHNISCHE GEGEVENS VAN HET GEMODELLEERDE VOERTUIGTYPE

Personenauto type : Opel Kadett, type B
Massa : 836 kg
Wielbasis : 242 cm
Spoorbreedte voor : 125 cm
 achter: 128 cm

Massatraagheid om

de: X - as : 2800 kgcm.s
 Y - as : 10.000 kgcm.s
 Z - as : 12.000 kgcm.s
Bandenmaat : 155-13

BIJLAGE 4

HET ASI-CRITERIUM

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

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

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

De formule voor de ASI luidt (Ross & Post, 1972):

$$ASI = \left(\frac{g_{\text{long}}}{g_{\text{long}_a}} \right)^2 + \left(\frac{g_{\text{lat}}}{g_{\text{lat}_a}} \right)^2 + \left(\frac{g_{\text{vert}}}{g_{\text{vert}_a}} \right)^2$$

long = longitudinaal

lat = lateraal

vert = verticaal

index a = acceptabel

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

Als criterium voor de ASI wordt een dimensieloze waarde voor de ASI van 1,0 gehanteerd. Als de waarde voor de ASI onder de 1,0 blijft is de kans groot dat inzittenden die geen autogordel dragen geen ernstig letsel oplopen.

Wordt door de inzittenden wel de autogordel gedragen, dan worden de te verdragen vertragingen groter. Arbitrair worden voor de longitudinale, laterale en verticale richting resp. de volgende waarden gehanteerd: 12, 9 en 10 g. Ingevuld in de formule komt dit per vertragingrichting overeen met een waarde voor de ASI minimaal gelijk aan ca. 1,6 (de referentiewaarden blijven dus 7, 5 en 6 g).

Analoog aan de bepaling van de acceptabele ASI-waarde van 1,0 voor inzittenden zonder autogordel, wordt de acceptabele waarde van de ASI voor inzittenden met autogordel 1,6. Wordt bij het invullen van de geregistreeerde voertuigvertragingen in de formule een waarde beneden de 1,6 gevonden, duidt dit erop dat inzittenden die de autogordel dragen geen ernstig letsel oplopen.

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

LITERATUUR

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