

MATHEMATISCHE SIMULATIES MET DE GEMODIFICEERDE VECU-SEC TOEGEPAST  
OP DE N 44 TE WASSENAAR

R-91-9

Ing. W.H.M. van de Pol

Leidschendam, 1991

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



INHOUD

DEEL I. VERANKERDE CONSTRUCTIES (ALS STAR UITGEVOERD)

- I.1. Inleiding
- I.2. Opzet van het onderzoek
- I.3. Vooronderzoek
  - I.3.1. Bepaling inrijhoeken
  - I.3.2. Bepaling voertuigtypen en samenstelling datasets
  - I.3.3. Mathematische modules van de constructies
- I.4. Simulatie-onderzoek
  - I.4.1. Resultaten van simulaties met personenauto's
  - I.4.2. Resultaten van simulaties met vrachtauto's
  - I.4.3. Conclusies

Literatuur

Afbeeldingen I.1 t/m I.18

Tabel I.1 en I.2

DEEL II. NIET-VERANKERDE CONSTRUCTIES

- II.1. Inleiding
- II.2. Criteria
- II.3. Opzet van het onderzoek
- II.4. Resultaten van de proeven in Zwitserland
- II.5. Resultaten van de simulaties van de proeven in Zwitserland
  - II.5.1. Inleiding
  - II.5.2. Resultaten van de simulaties met een constructie zonder speling

II.5.3. Resultaten van de simulaties met een constructie met speling

II.5.4. Algemene opmerkingen

II.6. Resultaten van de simulatie met de Wassenaar-variant van de Vecu-Sec

II.6.1. Inleiding

II.6.2. Resultaten van de simulaties

II.6.3. Algemene opmerkingen

II.7. Vergelijking met andere constructies

II.8. Conclusies en aanbevelingen

II.8.1. Voorlopige conclusies

II.8.2. Aanbevelingen

Literatuur

Afbeeldingen II.1 t/m II.38

Tabellen II.1 t/m II.5

Bijlage: Het ASI-criterium

DEEL I. VERANKERDE CONSTRUCTIES (ALS STAR UITGEVOERD)

## I.1. INLEIDING

In dit verslag wordt gerapporteerd over de werkzaamheden die ten behoeve van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat door de SWOV zijn verricht in het kader van het uitvoeren van mathematische simulaties met de gemodificeerde Vecu-Sec, zoals die is toegepast op de N 44 te Wassenaar. Dit eerste deel was verkennend van aard en behelsde de werkzaamheden die zijn uitgevoerd met de volgende verankerde, niet flexibele constructies:

- standaard Vecu-Sec;
- gemodificeerde Vecu-Sec;
- New Jersey barrier met een lage wrijvingscoëfficiënt.

Met deze constructies zijn simulaties uitgevoerd voor het vaststellen van onderlinge verschillen. Daarnaast dienen de resultaten als referentie voor de uitkomsten van simulaties met flexibele constructies zoals die in het tweede deel van het onderzoek zullen worden uitgevoerd.

Bij de simulaties is uitgegaan van twee voertuigtypen: een personenauto en een vrachtauto. De massa van deze voertuigen is bepaald aan de hand van gegevens van proefvoertuigen die bij in Zwitserland uitgevoerde proeven op ware schaal met de standaard Vecu-Sec zijn gebruikt (IVT, 1987).

De beproevingssnelheid zal 70 km/uur bedragen, de inrijhoek zal worden gevarieerd. De grootte van de inrijhoeken zal worden vastgesteld op basis van de wegkenmerken van de N 44.

## I.2. OPZET VAN HET ONDERZOEK

Bij dit onderzoek zijn de volgende stappen te onderscheiden:

- het bepalen van de inrijhoeken op basis van de vastgestelde inrij-snelheid van 70 km/uur en de actuele wegkenmerken van de N 44;
- het bepalen van de bij de simulaties in te zetten voertuigtypen en massa's (één personenauto en één vrachtauto) aan de hand van de in 1987 op de standaard Vecu-Sec uitgevoerde Zwitserse proeven;
- het samenstellen van datasets van de geselecteerde voertuigtypen;
- het samenstellen van de datasets van de volgende drie mathematische modules van verankerde constructies: standaard Vecu-Sec, gemodificeerde Vecu-Sec en New Jersey barrier;
- het uitvoeren van mathematische simulaties met de genoemde constructies.

Voor de interpretatie van de simulatie-resultaten van de Vecu-Sec zullen deze vergeleken worden met reeds door de SWOV gepubliceerde gegevens van de New Jersey barrier. Bovendien zijn aanvullende simulaties met gewijzigde inrijcondities uitgevoerd. In verband met uniformiteit van inrijcondities is besloten aanvullende simulaties met de New Jersey barrier uit te voeren onder dezelfde inrijcondities als de beide Vecu-Sec constructies.

### I.3. VOORONDERZOEK

#### I.3.1. Bepaling inrijhoeken

Op basis van de rijbaanbreedte van de N 44 is de relatie bepaald tussen de kenmerken snelheid, inrijhoek en wrijvingscoëfficiënt (zie Afbeelding I.1). Deze relatie geeft de maximaal mogelijke inrijhoek aan onder de aanname dat het voertuig juist niet slipt. Hierbij ligt het startpunt van het voertuig op de rechter rijbaan; de maximaal te bereiken inrijhoek ter plaatse van de voorkant van de constructie is hierbij de hoek tussen de langsas van de constructie en de langsas van het voertuig.

Onder de aanname dat de wrijvingscoëfficiënt van een personenauto 0,8 is, blijkt uit Afbeelding I.1 dat de maximale inrijhoek bij een snelheid van 70 km/uur 24° bedraagt. Voor een vrachtauto bedraagt de inrijhoek bij deze snelheid 21° (aanname wrijvingscoëfficiënt: 0,4).

Op grond hiervan is gekozen voor de volgende inrijhoeken:

- personenauto: 24°, 20° en 15°;
- vrachtauto : 20° en 15°.

#### I.3.2. Bepaling voertuigtypen en samenstelling datasets

Bij de door het Zwitserse instituut IVT uitgevoerde proeven op ware schaal zijn de volgende voertuigen gebruikt:

- personenauto's: VW Golf en Opel Kadett Caravan (massa's proefvoertuigen resp. 990 en 975 kg);
- 2-assige vrachtauto's: Mercedes en Man (massa's proefvoertuigen resp. 10.200 en 10.100 kg)

Voor de simulaties is door ons gekozen voor de VW Golf en een vrachtauto met een massa van 10.150 kg. Met betrekking tot de personenauto diende een nieuwe dataset te worden samengesteld. Aangezien de massa van een leeg voertuig 750 kg bedraagt, is de massa gelijkmatig verdeeld opgehoogd tot 990 kg. Wat de vrachtauto betreft is gebruik gemaakt van een bestaande dataset van een 2-assige vrachtauto; hiervan is de massa zodanig aangepast dat een zwaartepunthoogte werd verkregen van 1,17 m en zijn de maten en de massagrootheden aangepast aan die van de Mercedes 1419. Uit Afbeelding II.2 blijkt dat deze hoogte aan de onderkant ligt van de verdeling van zwaartepunthoogten van beladen vrachtauto's (SWOV, 1977). Hoewel dit cijfermateriaal vrij oud is, wordt voorlopig aangenomen dat het hedendaagse vrachtautopark niet veel veranderd zal zijn.



### I.3.3. Mathematische modules van de constructies

Van de volgende constructies zijn mathematische modules ontworpen (zie Afbeelding II.3):

- standaard Vecu-Sec volgens fabrieksspecificaties;
- gemodificeerde Vecu-Sec volgens opgave DVK;
- New Jersey barrier (bestaande dataset, aangepaste wrijvingscoëfficiënt).

Voor alle drie constructies is een gelijke waarde voor de wrijvingscoëfficiënt aangenomen; in combinatie met de gekozen wrijvingscoëfficiënten van auto- en vrachtautobanden bedragen de resulterende wrijvingscoëfficiënten tussen band en Vecu-Sec voor de personenauto 0,43 en voor de vrachtauto 0,24.

#### I.4. SIMULATIE-ONDERZOEK

Met behulp van computersimulaties zijn aanrijdingen met de hierboven aangeduide constructies uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het VEDYAC-model. Elke constructie is met de personenauto beproefd onder drie inrijcondities en met de vrachtauto onder twee inrijcondities; de bots-snelheid bedroeg in alle gevallen 70 km/uur.

Het voertuiggedrag tijdens en na de aanrijding is met diverse grootheden vastgelegd; per simulatie is het verloop van de ASI-waarde tegen de tijd grafisch uitgezet. Tevens zijn van alle simulaties plots gemaakt.

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

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

Aangezien de constructies als onvervormbaar zijn gemodelleerd, zijn geen gegevens van de constructies opgenomen.

##### I.4.1. Resultaten van simulaties met personenauto's

In Tabel I.1 zijn voor de drie constructies de resultaten van de simulaties met de personenauto met een massa van 990 kg gegeven. Uit de kolom met gegevens van de voertuigdynamica ten gevolge van de aanrijding met de constructie blijkt dat de onderlinge verschillen gering zijn. Dit geldt sterker voor de verschillen tussen de constructies dan voor de toegepaste inrijhoeken, waarbij de hoogste waarden bij de grootste inrijhoeken worden gemeten.

##### I.4.2. Resultaten van simulaties met vrachtauto's

Uit de kolom voertuigdynamica ten gevolge van de aanrijding met de constructie in Tabel I.2 blijkt zeer duidelijk de invloed van de constructie-

hoogte op de rolbeweging van het voertuig. Bij de hoge standaard Vecu-Sec is een rolhoek van maximaal 16° geregistreerd en bij de gemodificeerde lage Vecu-Sec een rolhoek van maximaal 46°. Een dergelijk grote rolhoek heeft tot gevolg dat de vrachtauto op de constructie komt te rusten, maar er niet overheen rolt. Uit gegevens betreffende de ASI-waarden kan worden opgemaakt dat grotere voertuigbewegingen gepaard gaan met geringere waarden van de voertuigvertragingen.

#### I.4.3. Conclusies

Voor voertuigen met een laag zwaartepunt, zoals personenauto's, is er met betrekking tot de voertuigdynamica niet veel verschil te constateren tussen de drie geteste, verankerde constructies. Bij botssnelheden tot 70 km/uur lijkt de kans op een roll over gering. Ook het gevaar van terugkaatsing in termen van een grote uitrijhoek en voertuigdrift lijkt gering. Gebleken is dat de grootte van de inrijhoek van weinig invloed is op het gedrag van het voertuig.

De simulatie-uitkomsten van de vrachtauto tegen de gemodificeerde Vecu-Sec geven een ongunstig beeld te zien met betrekking tot de kans op een roll-over. De invloed van een vergroting van de inrijhoek met slechts 5° is groot. De gemodelleerde vrachtauto heeft een relatief laag zwaartepunt; een hogere ligging van het zwaartepunt heeft ontegenzeggelijk een negatieve invloed op het ontstaan van een roll-over.

5. LITERATUUR

IVT (1987). Anfahrversuche an die Stahlgleitschwelle Vecu-Sec. S 892 b. Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau. Eidg. Technische Hochschule Zürich, 1987.

Ryba, ir. D. (1987). Wegdek en voertuigkarakteristieken. Verkeerskunde 38 (1987) 2: 65 t/m 70.

SWOV (1977). Viaductbeveiligingsconstructie voor vrachtauto's. R-77-36. SWOV, 1977.

AFBEELDINGEN I.1 T/M I.18

Afbeelding I.1. Relatie tussen snelheid, inrijhoek en wrijvingscoëfficiënt voor de rijbaanbreedte van de N 44 te Wassenaar.

Afbeelding I.2. Ligging zwaartepunthoogten van personenauto's en vrachtauto's.

Afbeelding I.3. Dwarsprofielen van verankerde constructies die met simulaties zijn beproefd.

Afbeelding I.4. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen standaard Vecu-Sec (70 km/uur en 15 grd).

Afbeelding I.5. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen standaard Vecu-Sec (70 km/uur en 20 grd).

Afbeelding I.6. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen standaard Vecu-Sec (70 km/uur en 24 grd).

Afbeelding I.7. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen standaard Vecu-Sec (70 km/uur en 15 grd).

Afbeelding I.8. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen standaard Vecu-Sec (70 km/uur en 20 grd).

Afbeelding I.9. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen gemodificeerde Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 15 grd).

Afbeelding I.10. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen gemodificeerde Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 20 grd).

Afbeelding I.11. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen gemodificeerde Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 24 grd).

Afbeelding I.12. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen gemodificeerde Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 15 grd).

Afbeelding I.13. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen gemodificeerde Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 20 grd).

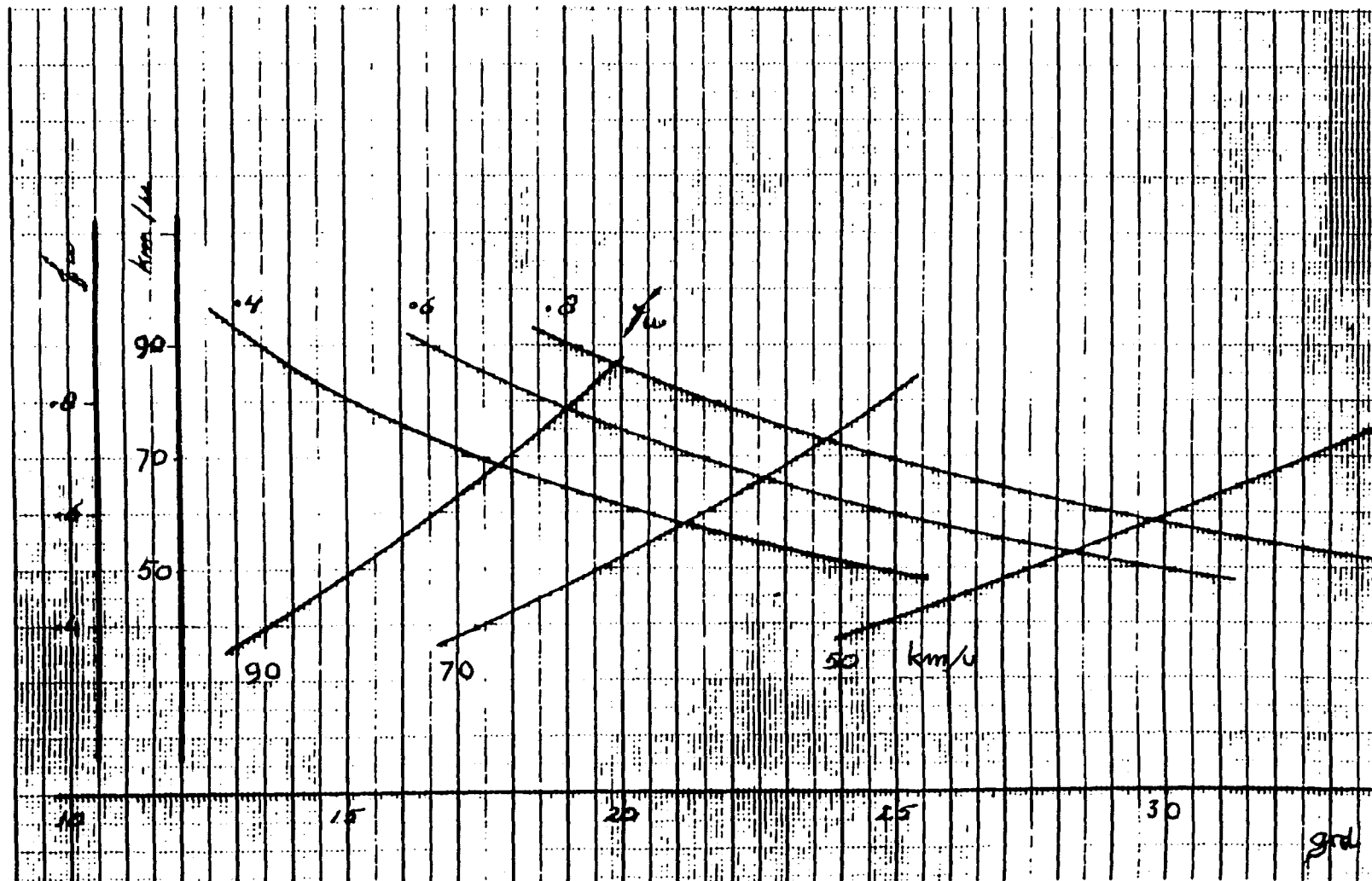
Afbeelding I.14. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen New Jersey barrier (70 km/uur en 15 grd).

Afbeelding I.15. Overzicht aanrijding personenauto tegen New Jersey barrier (70 km/uur en 20 grd); ASI-waarden niet beschikbaar.

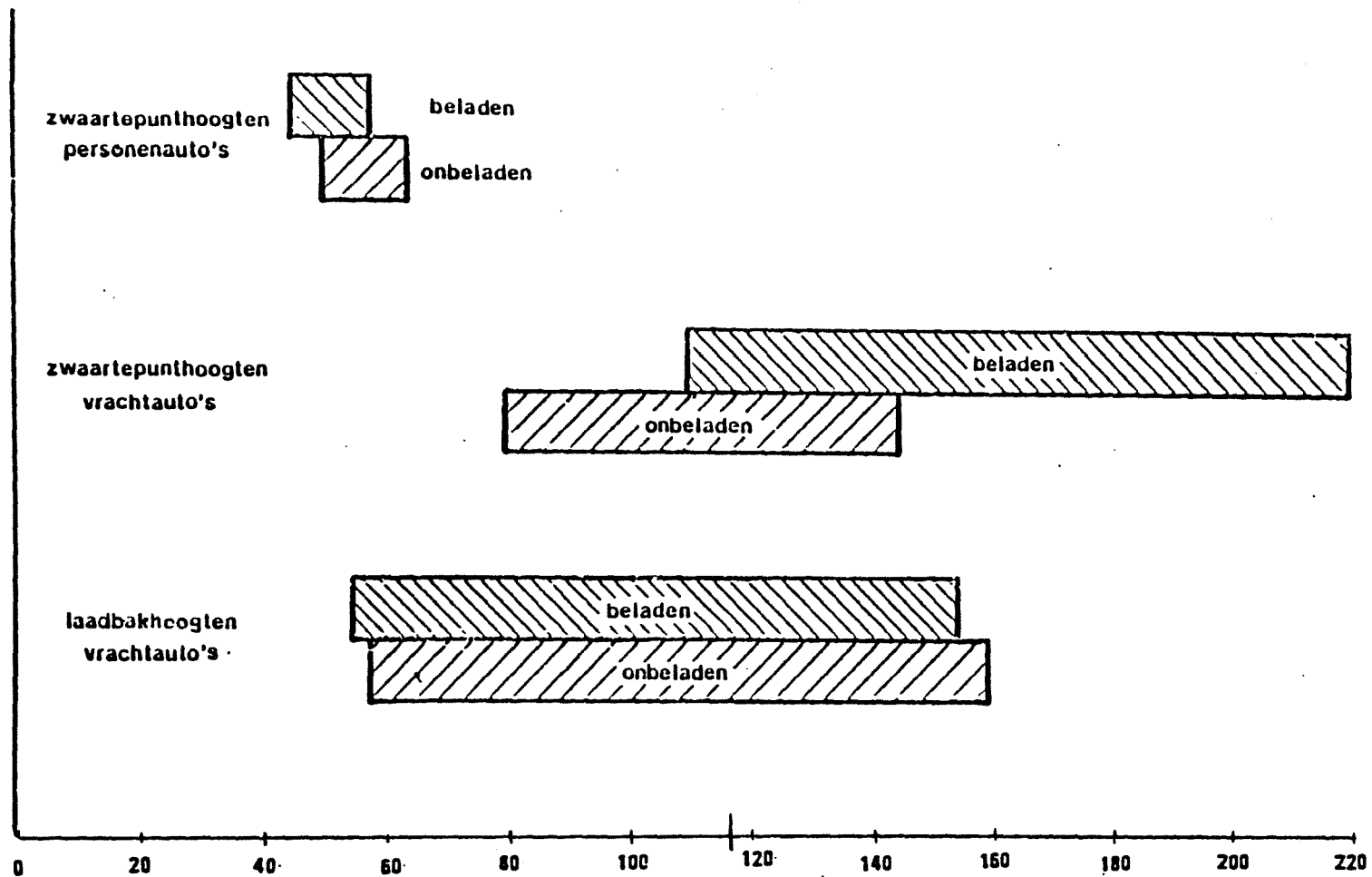
Afbeelding I.16. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen New Jersey barrier (70 km/uur en 24 grd).

Afbeelding I.17. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen New Jersey barrier (70 km/uur en 15 grd).

Afbeelding I.18. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen New Jersey barrier (70 km/uur en 20 grd).

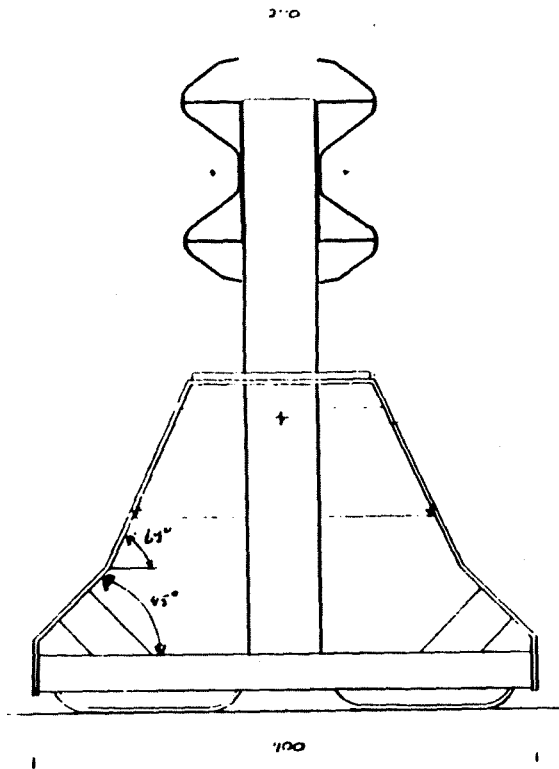


Afbeelding I.1. Relatie tussen snelheid, inrijhoek en wrijvingscoëfficiënt voor de rijbaanbreedte van de N 44 te Wassenaar.

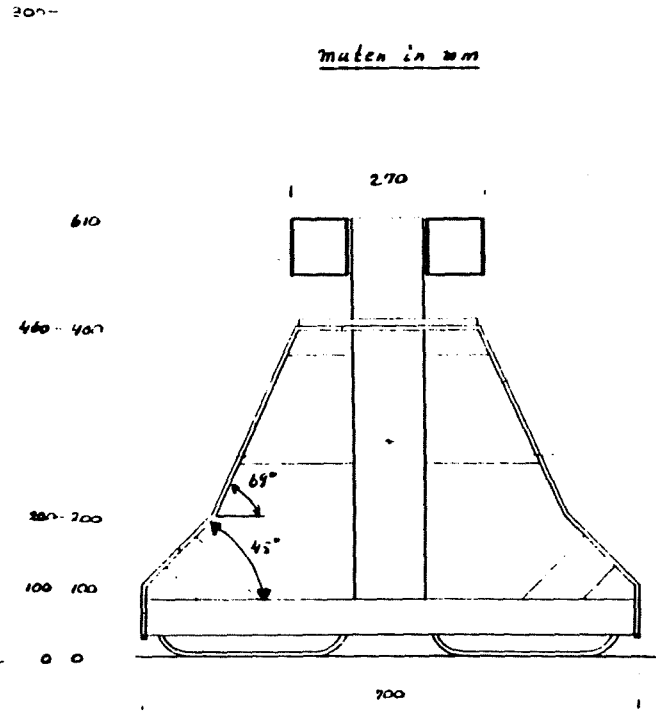


Afbeelding I.2. Ligging zwaartepunthoogten van personenauto's en vrachtauto's.

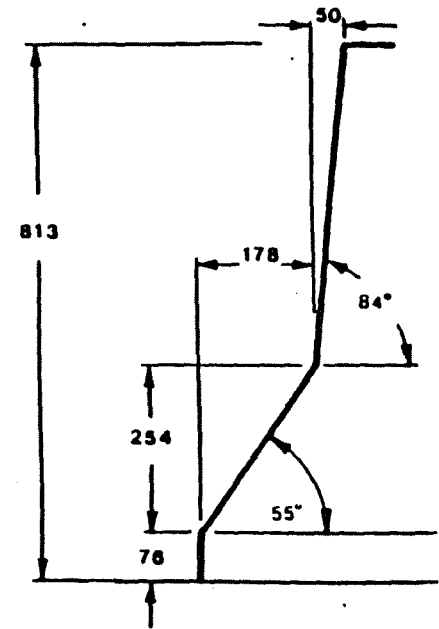




Standaard Vecu-Sec

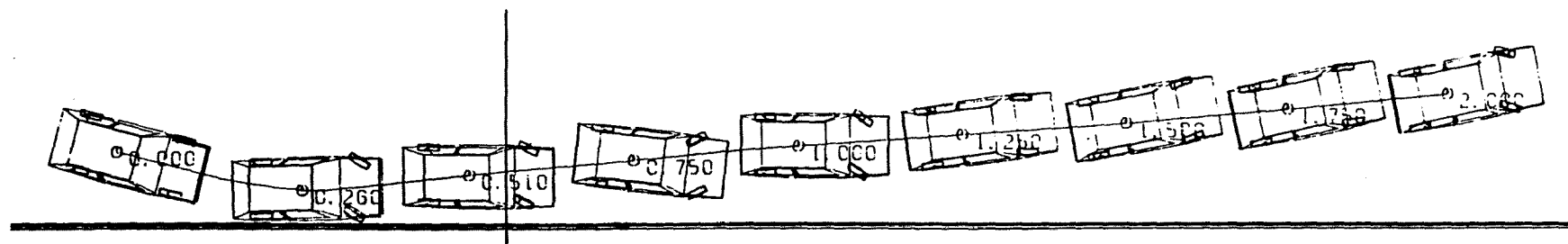
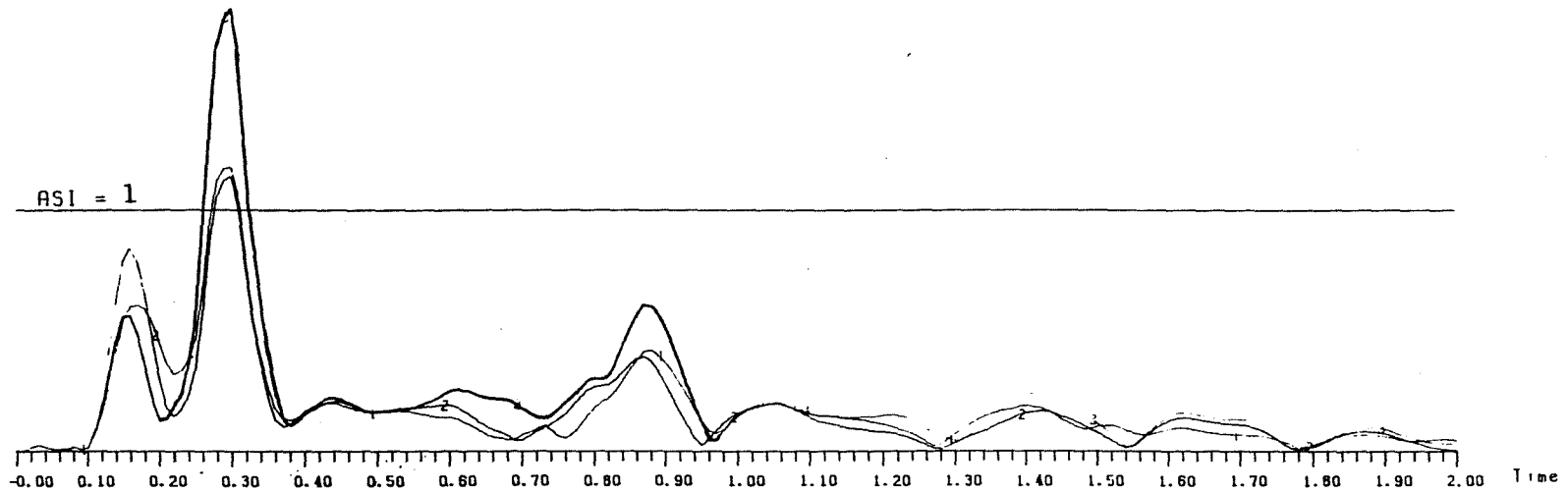


Gemodificeerde Vecu-Sec

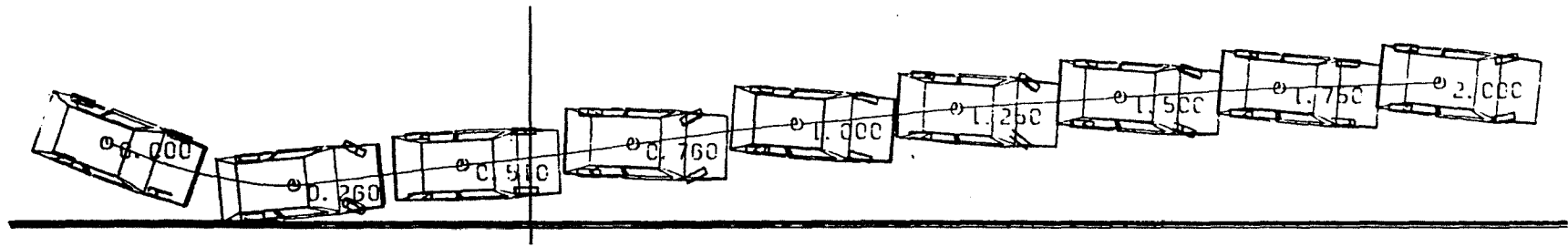
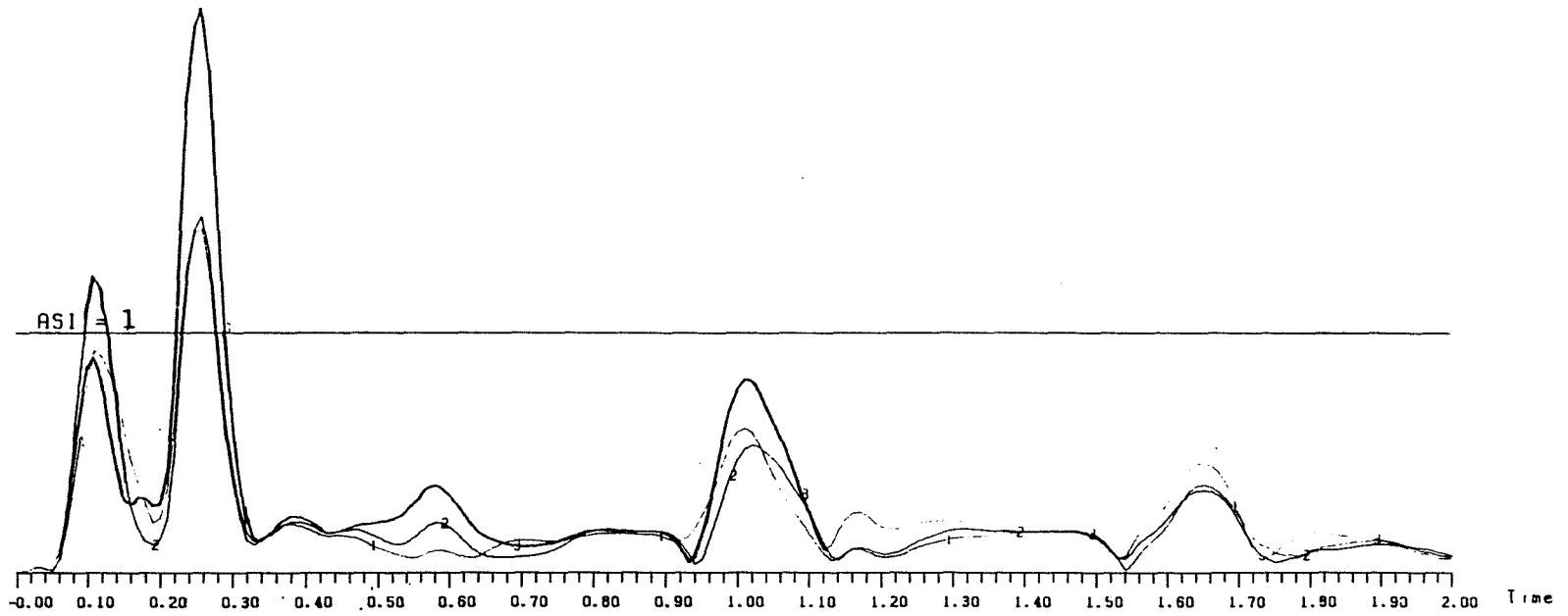


New Jersey barrier

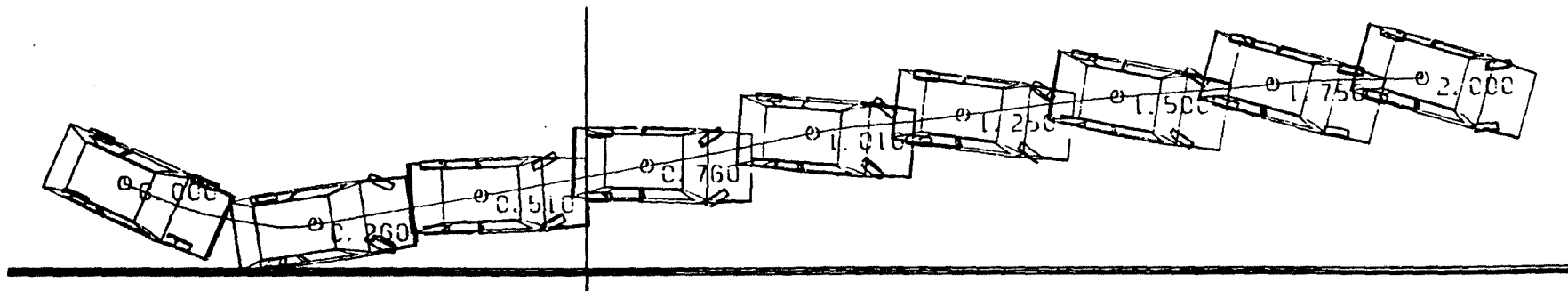
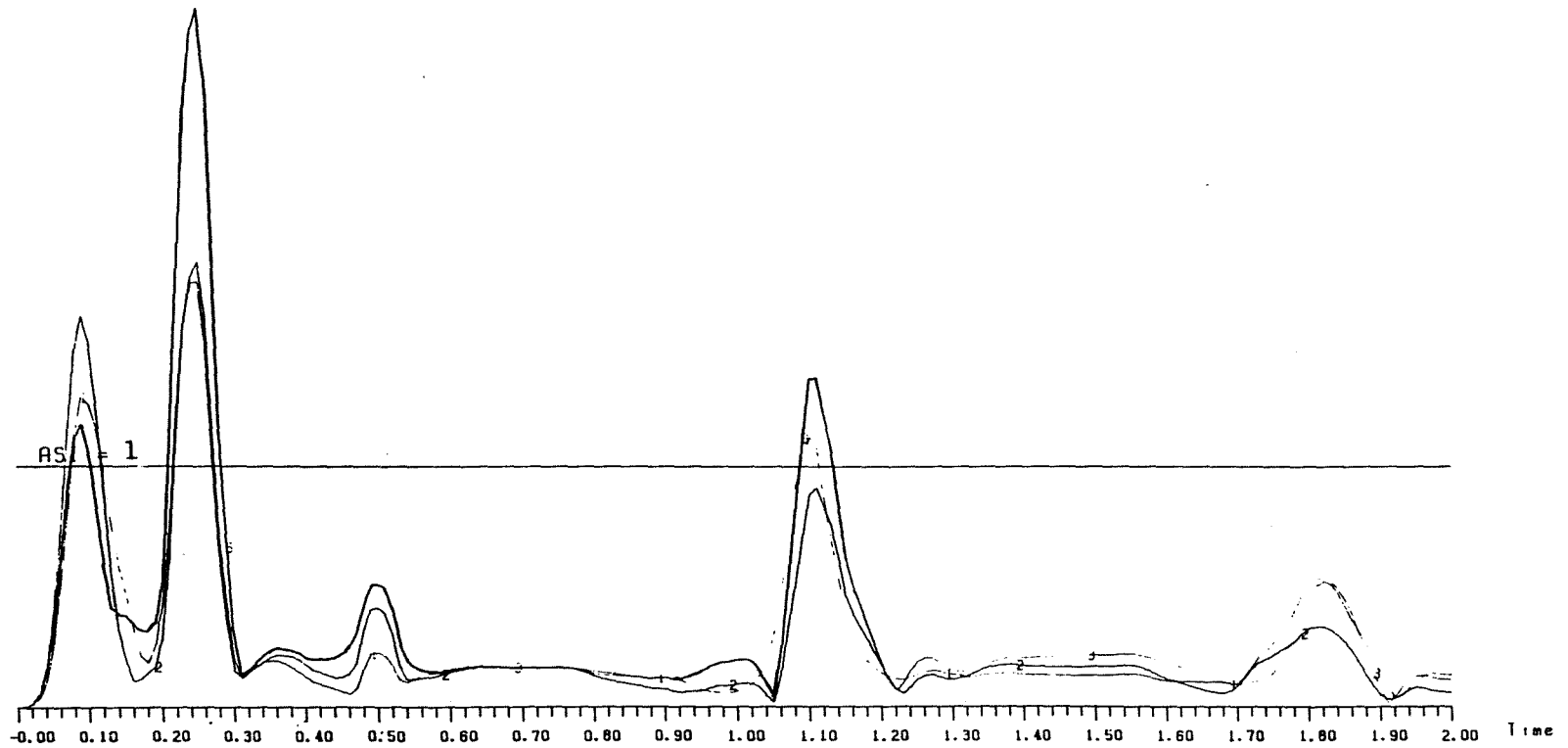
Afbeelding I.3. Dwarsprofielen van verankerde constructies die met simulaties zijn beproefd.



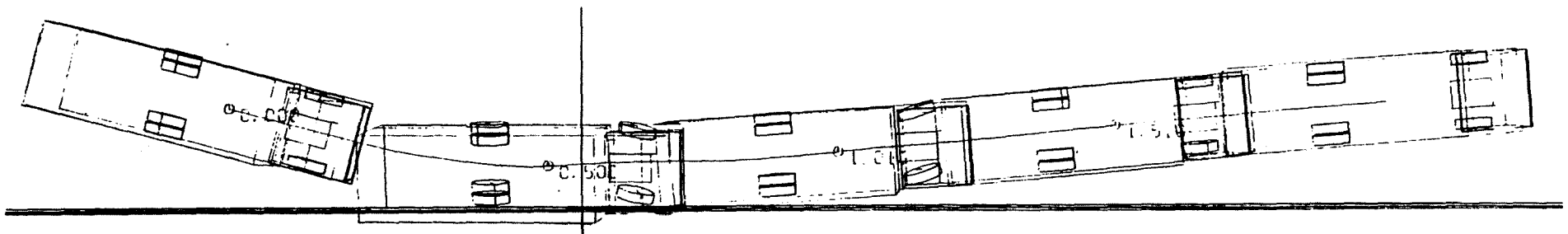
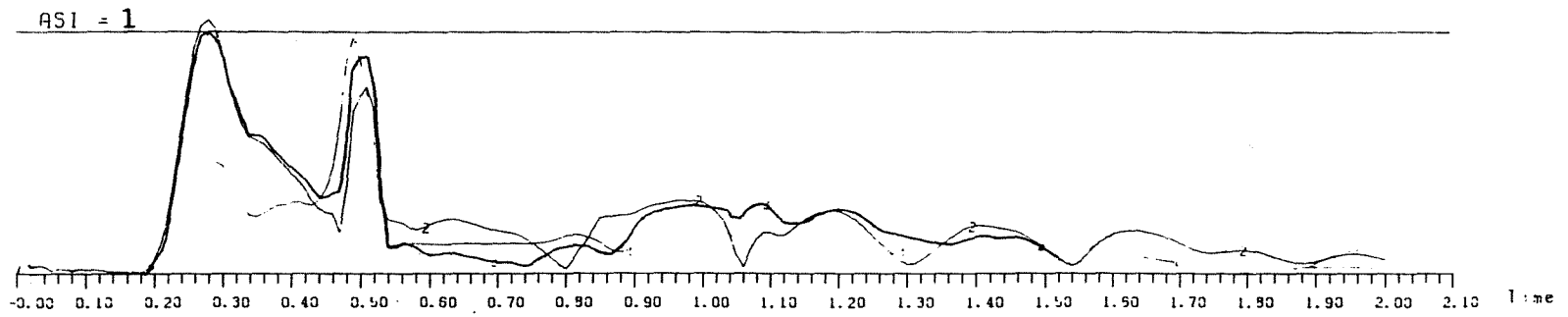
Afbeelding I.4. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen standaard Vecu-Sec (70 km/uur en 15 grad).



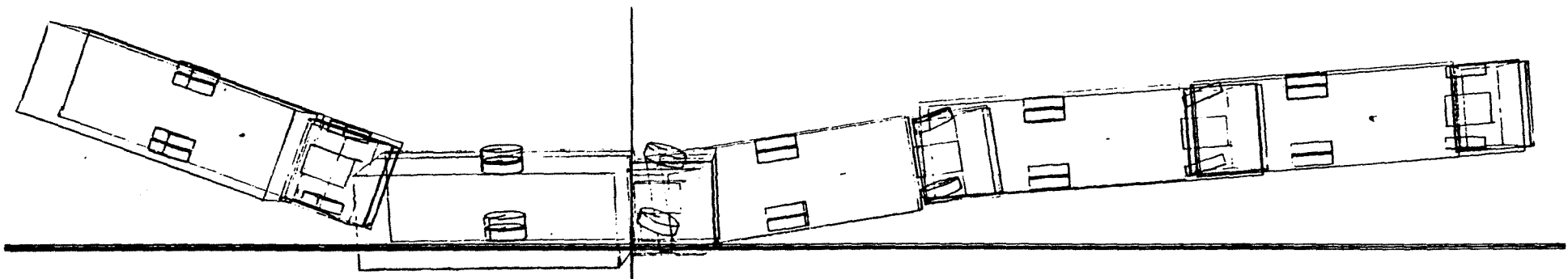
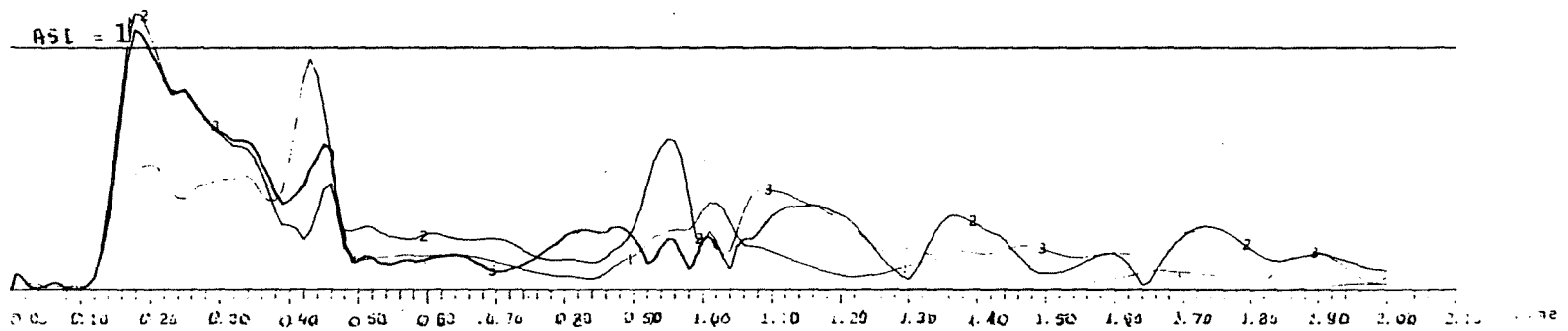
Afbeelding I.5. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen standaard Vecu-Sec (70 km/uur en 20 grad).



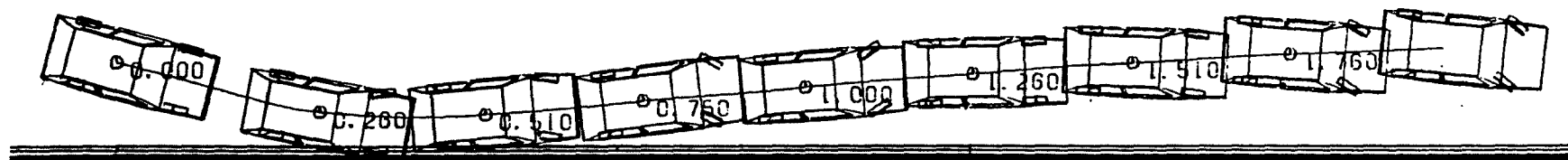
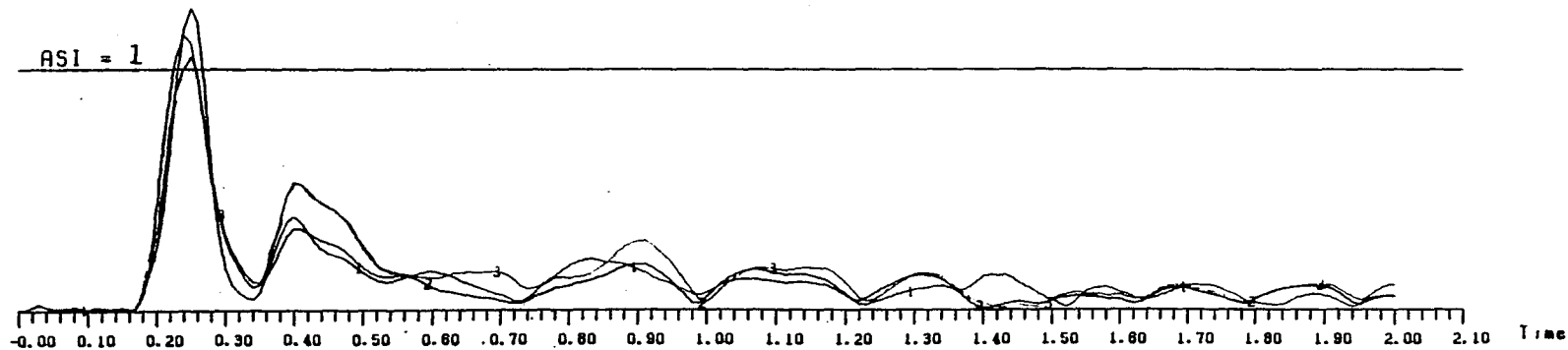
Afbeelding I.6. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen standaard Vecu-Sec (70 km/uur en 24 grd).



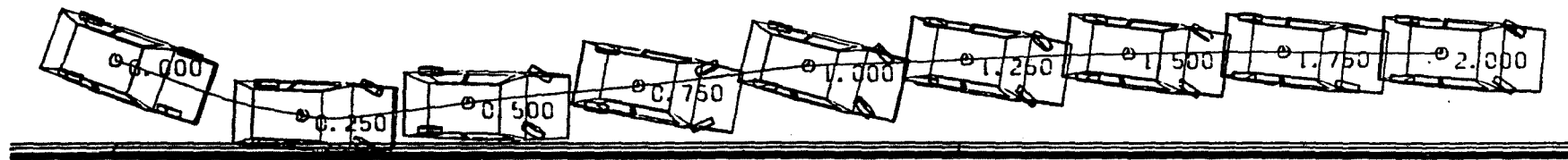
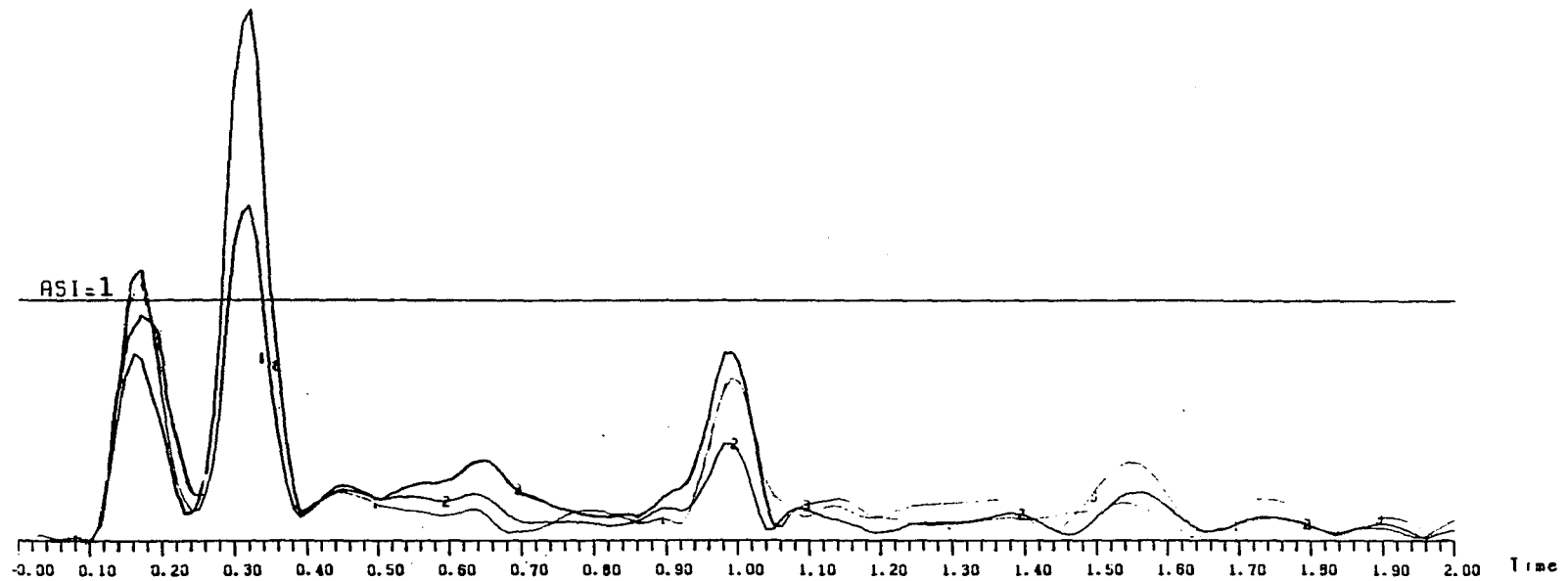
Afbeelding I.7. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en  
 rijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen standaard Vecu-Sec  
 (70 km/uur en 15 grad).



Afbeelding I.8. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en  
 bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen standaard Vecu-Sec  
 (70 km/uur en 20 grd).

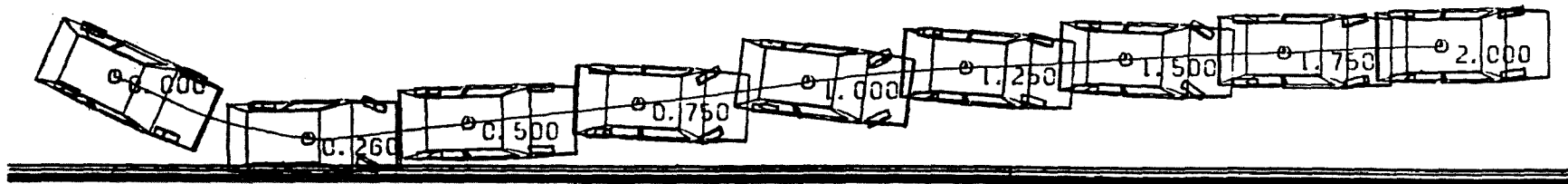
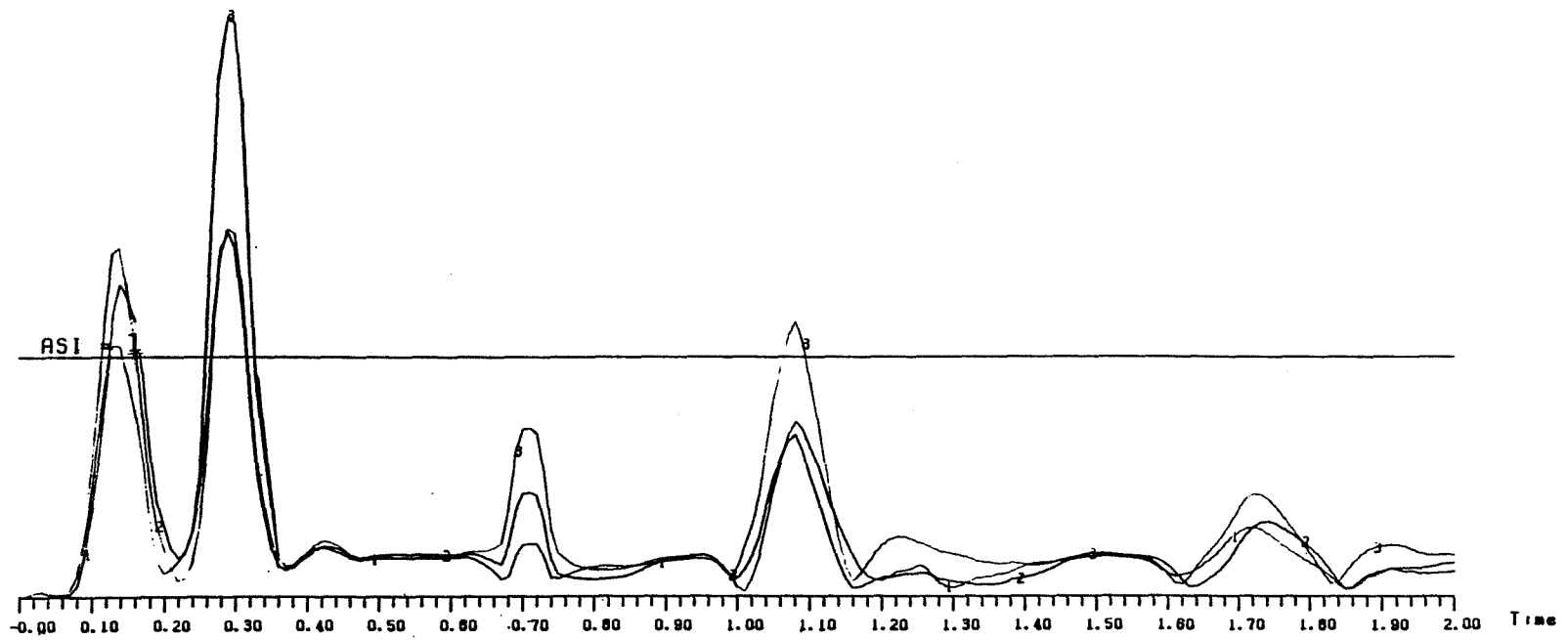


Afbeelding I.9. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen gemodificeerde Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 15 grad).



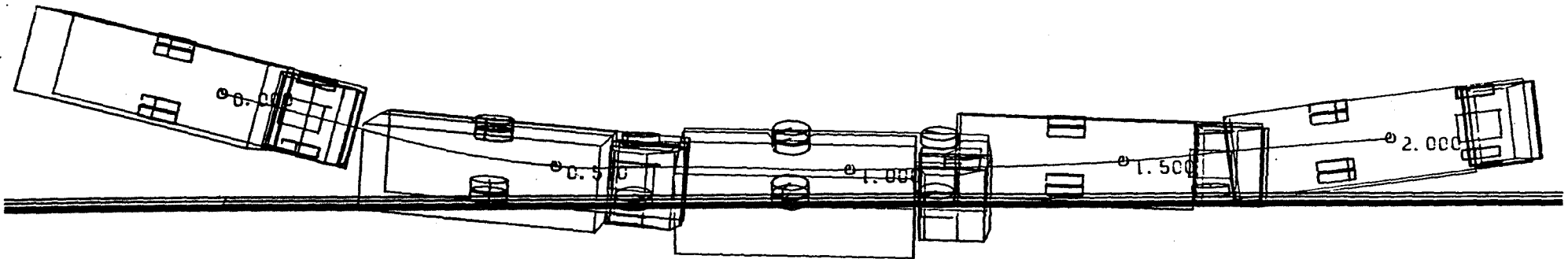
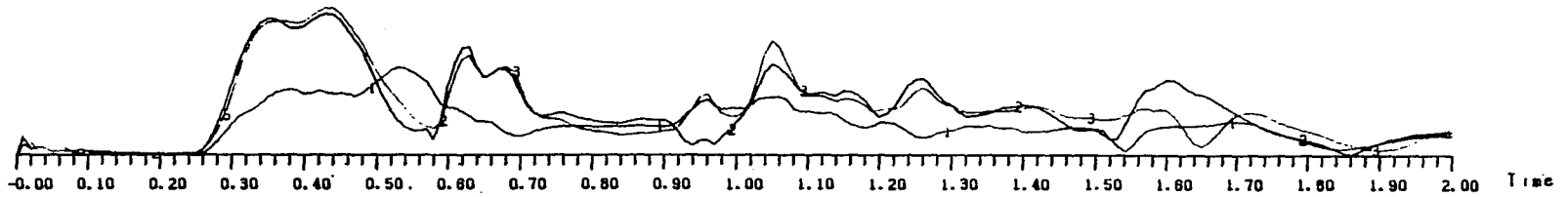
Afbeelding I.10. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen gemodificeerde Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 20 grd).





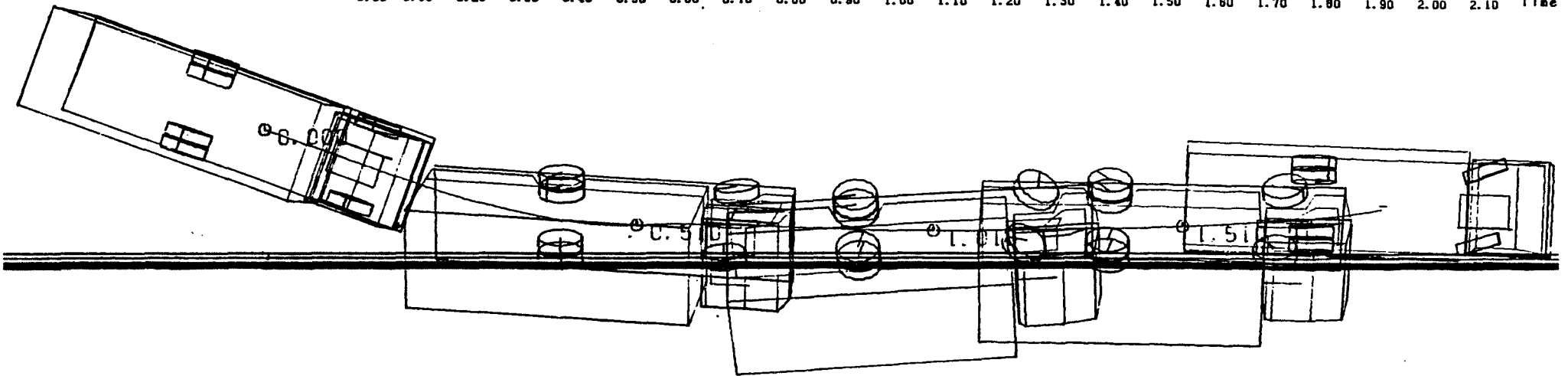
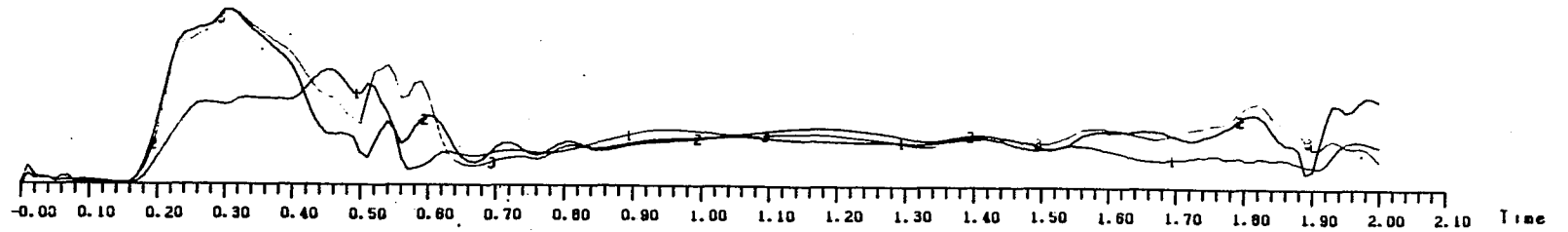
Afbeelding I.11. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen gemodificeerde Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 24 grad).

ASI = 1

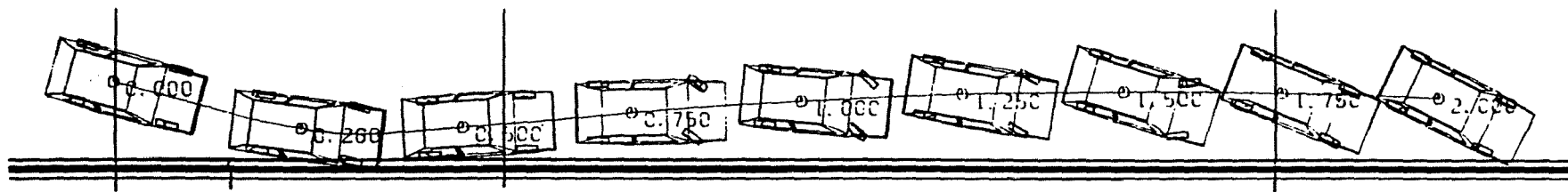
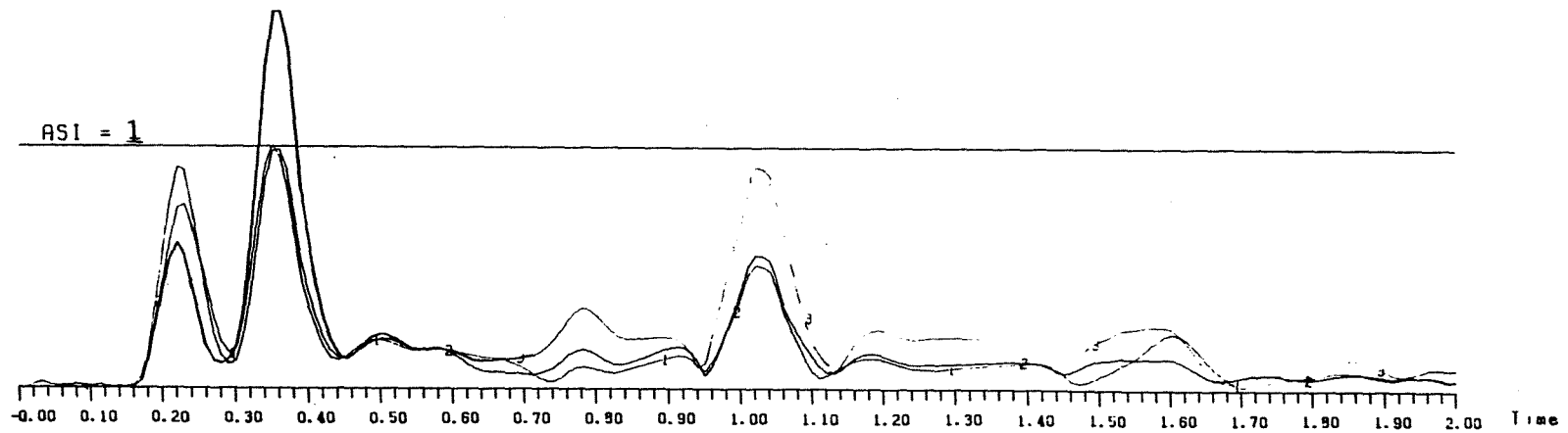


Afbeelding I.12. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en  
bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen gemodificeerde  
Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 15 grd).

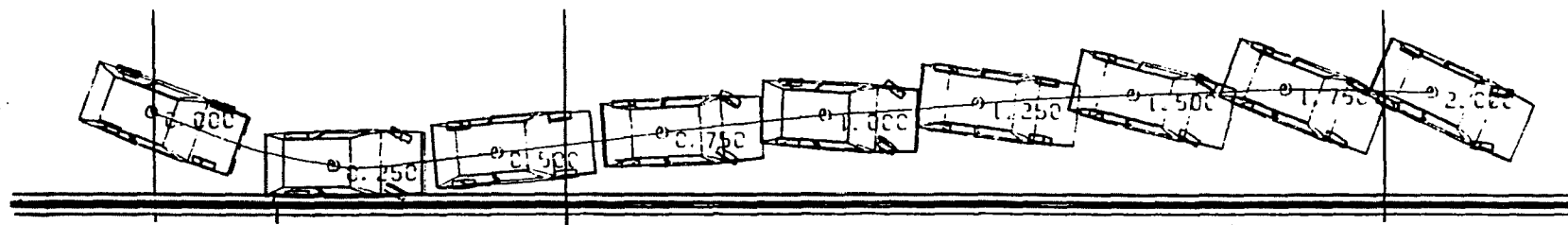
ASI = 1



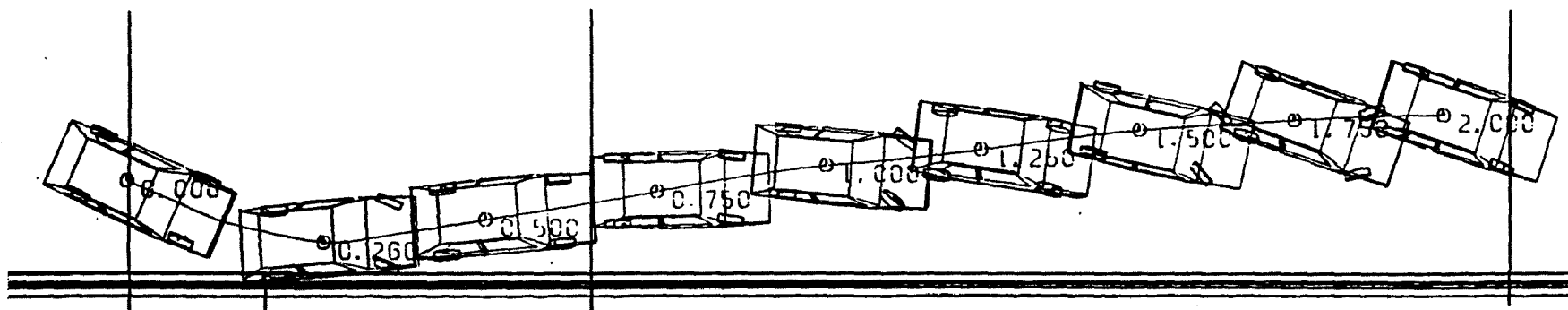
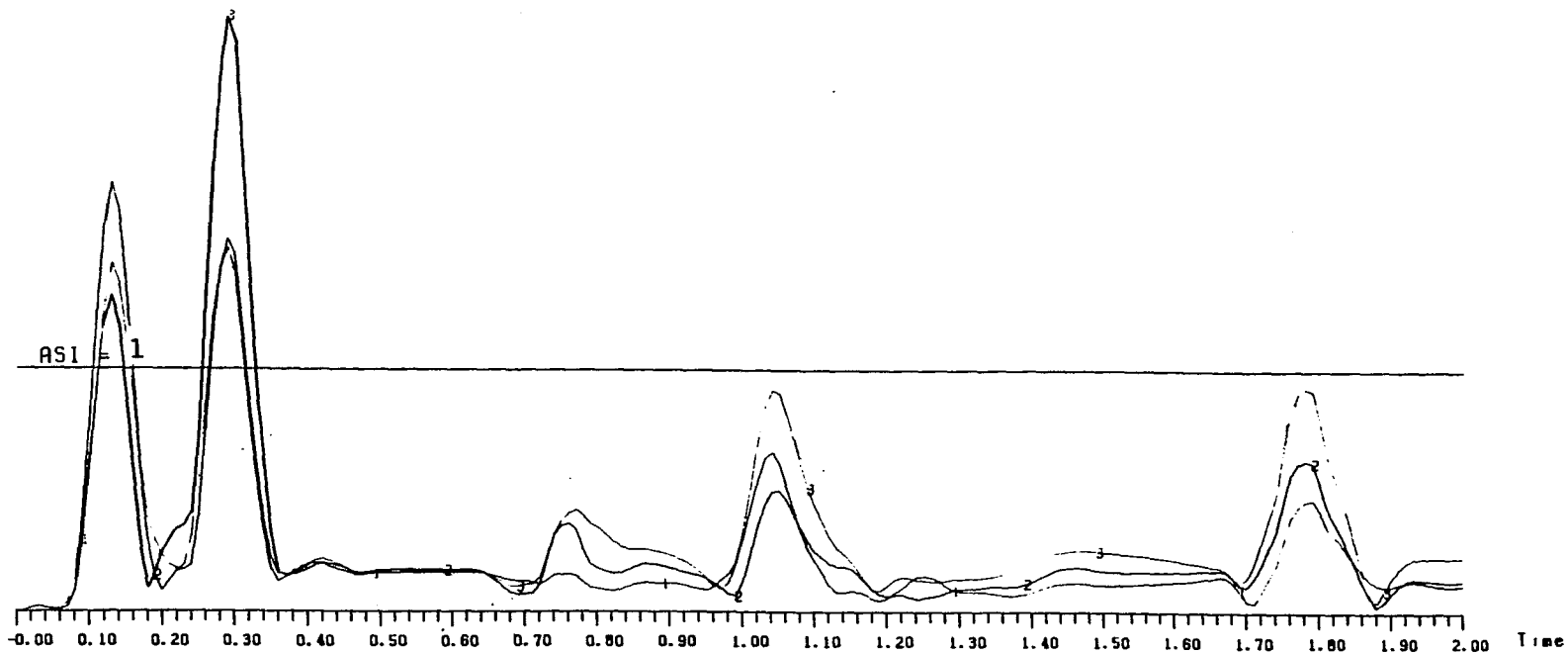
Afbeelding I.13. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en  
bijrijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen gemodificeerde  
Vecu-Sec, Wassenaar variant (70 km/uur en 20 grd).



Afbeelding I.14. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen New Jersey barrier (70 km/uur en 15 grd).

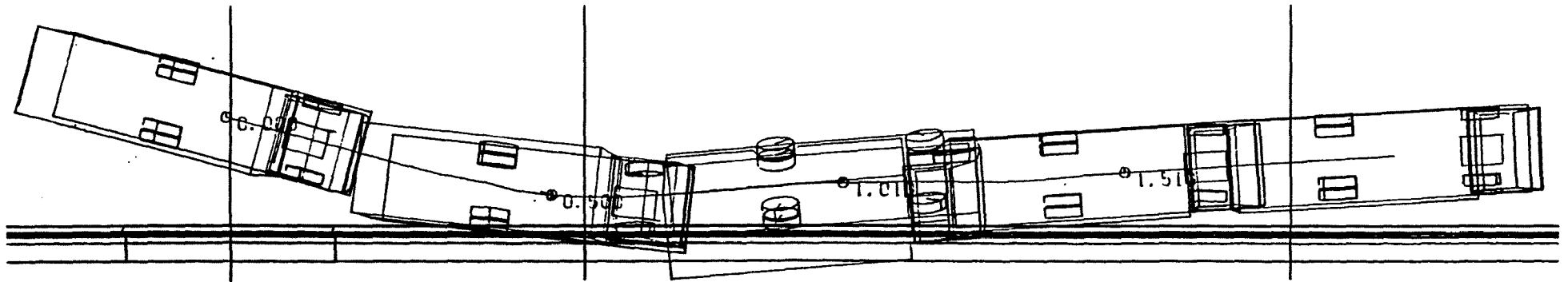
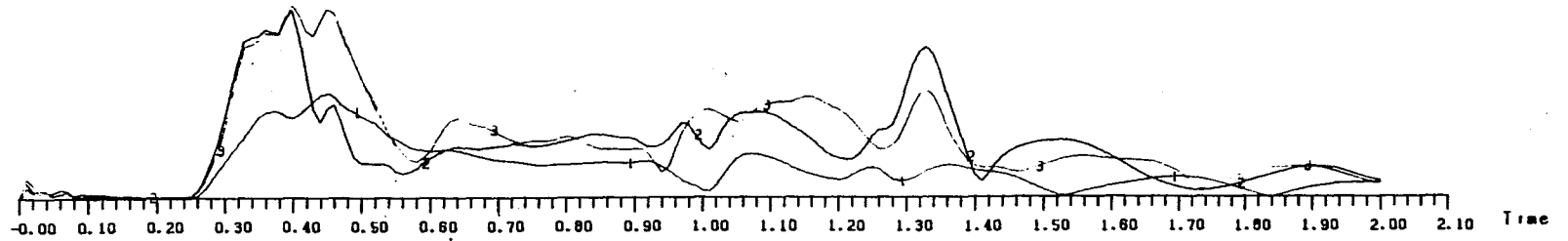


Afbeelding I.15. Overzicht aanrijding personenauto tegen New Jersey bar-  
rier (70 km/uur en 20 grad); ASI-waarden niet beschikbaar.

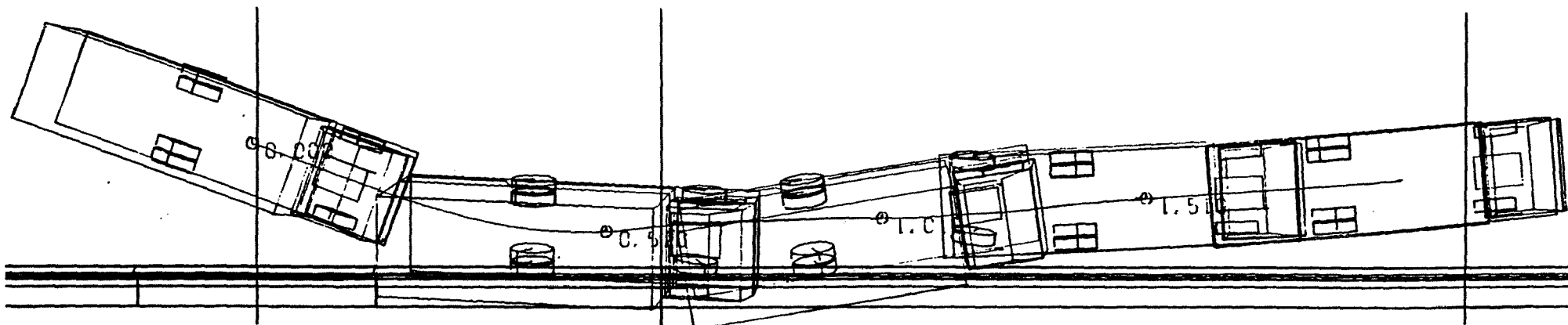
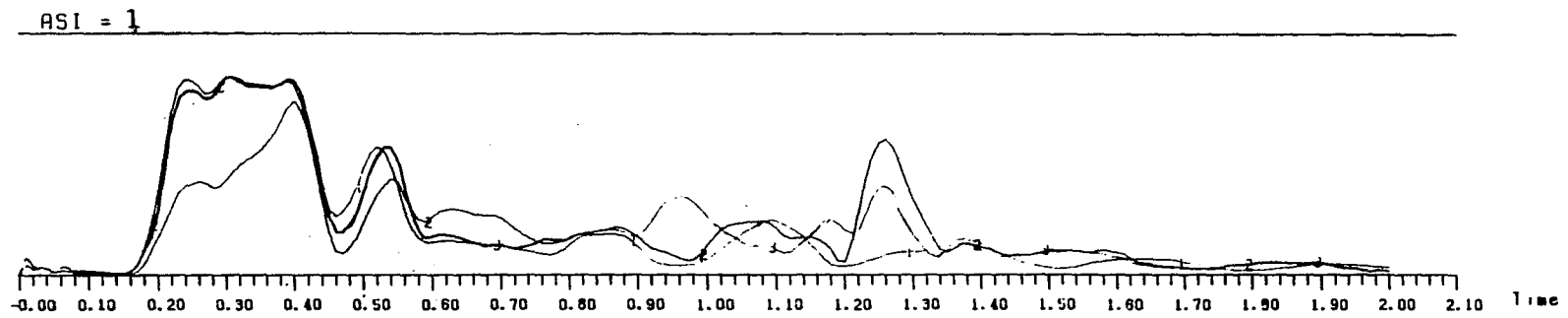


Afbeelding I.16. ASI-waarden zwaartepunt personenauto (1), bestuurder (2) en passagier achter (3) en overzicht aanrijding personenauto tegen New Jersey barrier (70 km/uur en 24 grad).

ASI = 1



Afbeelding I.17. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en  
rijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen New Jersey barrier  
(70 km/uur en 15 grad).



Afbeelding I.18. ASI-waarden zwaartepunt vrachtauto (1), bestuurder (2) en  
 rijder (3) en overzicht aanrijding vrachtauto tegen New Jersey barrier  
 (70 km/uur en 20 grad).



TABELLEN I.1 EN I.2

Tabel I.1. Resultaten van de simulaties met een personenauto met een massa van 990 kg.

Tabel I.2. Resultaten van de simulaties met een twee-assige vrachtauto met een massa van 10.150 kg.

INRIJCONDITIE VOERTUIGDYNAMICA T.G.V. CONSTRUCTIE					OP RIJBAAN				
snelheid (km/u)	inrijhoek (°)	rolhoek (°)	pitch* (°)	snelheidsreductie (km/u)	ASI-waarden zwpt.best.pass.vtg			uitrijhoek (°)	rolhoek (°)
<u>Standaard Vecu-Sec. verankerd</u>									
70	24	-3	5/-19	16	1,8	1,9	2,9	10	-5/ 4
70	20	-2	5/-16	12	1,4	1,5	2,3	9	-5/+ 3
70	15	-2	5/- 7	7	1,2	1,1	1,8	7	4/- 2
<u>Gemodificeerde Vecu-Sec. verankerd</u>									
70	24	3	5/-11	13	1,5	1,5	2,4	7	-6/+ 2
70	20	3	4/-12	10	1,4	1,4	2,2	7	8/- 8
70	15	1	4/- 1	6	1,3	1,2	1,1	5	-2/+ 2
<u>New Jersey barrier</u>									
70	24	-6	14/- 3	18	1,8	1,5	2,4	10	8/-10
70	20	-4	7/- 8	9	1,4	1,4	2,2	7	-6/+ 4
70	15	-1	4/- 5	6	1,0	1,0	1,6	5	-5/+ 2

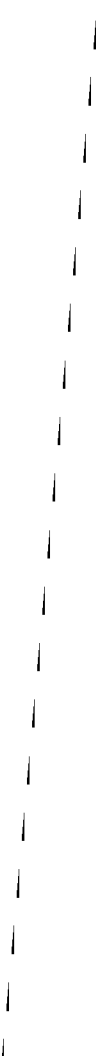
\* pitch: voertuigrotatie om de dwarsas

Tabel I.1. Resultaten van de simulaties met een personenauto met een massa van 990 kg.

INRIJCONDITIE		VOERTUIGDYNAMICA		T.G.V. CONSTRUCTIE				
snelheid (km/u)	inrijhoek (°)	rolhoek (°)	pitch* (°)	snelheidsreductie (km/u)	ASI-waarden zwpt. best. pass. vtg			
<u>Standaard Vecu-Sec, verankerd</u>								
70	20	16	3	18	1,0	1,1	1,9	
70	15	9	2	11	1,0	1,1	1,0	
<u>Gemodificeerd Vecu-Sec, verankerd</u>								
70	20	46	-4	op con/35	0,5	0,7	0,7	
70	15	26	-2	op con/15	0,4	0,6	0,6	
<u>New Jersey barrier</u>								
70	20	23	-5	22	0,7	0,8	0,8	
70	15	21	4	12	0,4	0,8	0,8	

\* pitch: voertuigrotatie om de dwarsas

Tabel I.2. Resultaten van simulaties met een twee-assige vrachtauto met een massa van 10.150 kg.



DEEL II. NIET-VERANKERDE CONSTRUCTIES

## II.1. INLEIDING

In dit verslag wordt gerapporteerd over de werkzaamheden die ten behoeve van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat door de SWOV zijn verricht in het kader van het uitvoeren van het tweede deel van de mathematische simulaties met de gemodificeerde Vecu-Sec, zoals die is toegepast op de N 44 te Wassenaar. De werkzaamheden bestaan uit:

- Het maken van datasets voor de voertuigen en de Vecu-Sec-constructie, gebaseerd op de in Zwitserland uitgevoerde proeven.
- Met simulaties nabootsen van deze Zwitserse proeven.
- Het maken van een dataset van de Wassenaar-variant van de Vecu-Sec-constructie.
- Het uitvoeren van simulaties met de inrijcondities van de N 44 op de Wassenaar-variant van de Vecu-Sec-constructie.
- Het uitbrengen van een interimverslag.

In het eerste deel van dit verslag is reeds aangegeven met welke voertuigen onder welke inrijcondities de simulaties moeten worden uitgevoerd. Voor de voertuigen zijn dit een VW Golf met een massa van 990 kg en een vrachtauto met een massa van 10.150 kg. Een bestaande dataset van een vrachtauto is aangepast aan de maten en gewichten van de Mercedes 1419. Voor de N 44 geldt een snelheidsbeperking van 70 km/uur. De wrijvingscoëfficiënt voor de personenauto is aangenomen op 0,8 en voor de vrachtauto op 0,4.

Afbeelding II.1 geeft de relatie weer tussen rij snelheden, wegkenmerken en wrijvingscoëfficiënt met de daarbij corresponderende inrijhoek van de N 44. Op grond hiervan is gekozen voor de volgende inrijcondities:

- personenauto: 70 km/uur bij 24, 20 en 15 graden.
- vrachtauto : 70 km/uur bij 20 en 15 graden.

Op de N 44, de uitvalsweg van Den Haag door Wassenaar, heeft in het (recente) verleden een aantal ernstige ongevallen plaatsgevonden. Als gevolg daarvan zijn verschillende maatregelen genomen. Zo is het toezicht door de politie op het snelheidsgedrag geïntensiveerd, is op bepaalde gedeelten de snelheidslimiet verlaagd van 70 km/uur tot 50 km/uur en is een inhaalverbod voor vrachtauto's ingesteld. De weg is verbreed om in de weg een geleideconstructie te kunnen plaatsen (Afbeelding II.2).

De geplaatste constructie op de N 44 is een gemodificeerde versie van de

zgn. Vecu-Sec-constructie (Afbeelding II.3). De constructie is zonder nadere bevestiging op het wegoppervlak geplaatst.

Aan de SWOV is gevraagd na te gaan hoe deze constructie zich bij een aanrijding gedraagt.

Aan de hand van computersimulaties met behulp van het VEDYAC-programma is dit nagegaan. Over deze simulaties wordt in dit verslag gerapporteerd.

De inhoud van dit rapport berust (uitsluitend dan wel voor een deel) op gegevens verkregen in het kader van een project dat is uitgevoerd in opdracht van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat.

## II.2. CRITERIA

De stalen Vecu-Sec-constructie is een vervormbare constructie. De eisen die in het algemeen aan de geleiderailconstructies worden gesteld zijn:

1. Het botsende voertuig mag niet door de constructie heen breken, er over heen rijden of kantelen, dan wel er onder door schieten.
2. Letsel van de inzittenden en schade aan de constructie en aan het voertuig moeten zo beperkt mogelijk blijven.
3. Het voertuig mag niet door de constructie in de eigen verkeersstroom worden teruggeworpen.
4. De constructie moet na een aanrijding zijn werking zo veel mogelijk blijven behouden.

In dit bijzondere geval zijn de eisen:

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

Afbeelding II.2 geeft een overzicht van de situatie ter plaatse van de middenberm. De beschikbare ruimte in de middenberm bedraagt aan beide zijden van de constructie 30 tot 40 cm tot aan de binnenkant van de kantstreep. Dit wordt als de maximaal aanvaardbare uitbuigruimte beschouwd. De linker rijstroken zijn maar 2,4 tot 2,5 meter breed.

De optredende vertragingen worden beoordeeld aan de hand van het ASI-criterium waarbij als bovengrens voor de veiligheid de waarde 1,6 wordt aangenomen. Deze criteriumwaarden zijn zowel voor het zwaartepunt (1) van het voertuig als op passagiers/bijrijdersplaatsen berekend. De waarden in het zwaartepunt dienen daarbij vooral ter onderlinge vergelijking van de voertuigversnellingen, terwijl de waarden voor de bestuurder en passagiers vooral dienen voor de beoordeling van de veiligheid van de inzittenden. Voor de personenauto zijn dus ook de ASI-waarden gegeven van de bestuurder



(2) en de passagier links achter (3): voor de vrachtauto van de bestuurder (2) en de bijrijder (3).

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

### 3. OPZET VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek is in stappen uitgevoerd. In eerste stap waarover reeds is gerapporteerd in Deel I, is nagegaan welke voertuigen onder welke inrijcondities in de computersimulaties zouden moeten worden meegenomen.

In deze tweede stap zijn de computersimulaties daadwerkelijk uitgevoerd. Daartoe heeft er allereerst een calibratie plaatsgevonden met praktijkproeven op de originele Vecu-Sec-constructie. Deze calibratie is nodig om vast te stellen of de resultaten van de computersimulaties voldoende overeenstemmen met de werkelijkheid.

Vervolgens zijn simulaties toegepast op de gemodificeerde constructie. Tijdens het uitvoeren van de calibratiesimulaties werd duidelijk dat de aanwezige speling in de verbindingen niet naar behoren kon worden gesimuleerd. Het begrip speling is niet expliciet in het VEDYAC-programma opgenomen. In de constructie moet in de verbindingen voldoende speling aanwezig zijn om bij het plaatsen van de constructie wegoneffenheden en bogen in de weg te kunnen volgen.

In overleg met de opdrachtgever is besloten de simulaties uit te voeren zonder invloed van de speling. Wel zal worden getracht enig inzicht te geven in de invloed van het weglaten van de speling. Hiertoe zijn twee maal drie simulaties uitgevoerd; één met een VW Golf (990 kg) bij 100 km/uur en 20 grd. en twee met een vrachtauto (10.150 kg) bij 70 km/uur en 15 en 20 grd.

#### 4. RESULTATEN VAN DE PROEVEN IN ZWITSERLAND

Het Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT) van de Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) te Zürich heeft vier proeven op ware schaal uitgevoerd op de originele Vecu-Sec-constructie; twee met een personenauto en twee met een vrachtauto. Het proefstuk was 56 m lang en aan weerszijde verankerd door een 20 m lange geheide constructie waarbij alleen de geleiderails waren doorverbonden. Tabel II.1 geeft een overzicht van de gehouden proeven.

De proefresultaten, die zijn samengevat in Tabel II.2, behoeven enige uitleg. Doordat het voertuig van Proef 1 uit de geleiding was geraakt, had het voertuig op moment van botsen een gierhoek van 12 graden ten opzichte van zijn bewegingsrichting. Proef 2 is een herhaling van Proef 1. De vrachtauto van Proef 3 is over de constructie heen gereden, waarbij dus niet alle botsenergie door de constructie is opgenomen. De uitbuiging van de constructie bij deze proef is, hoewel de botsenergie groter was dan bij Proef 4, daarom minder dan van Proef 4.

Bij aanrijdingen met de personenauto voldoet de constructie, ook bij deze zware inrijcondities, goed. De aanwezige speling in de verbindingen in de voet van de constructie wordt tijdens de aanrijdingen voor een groot deel gebruikt. Mede daardoor zijn de uitbuigingen aan de grote kant. De constructie buigt zich in een vloeiende horizontale lijn uit, waarbij de constructie iets achterover kantelt (tordeert). De uitrijhoeken zijn aan de grote kant, nl. 10 en 11 graden.

Bij de aanrijdingen met de vrachtauto's zijn twee inrijhoeken gebruikt. Bij de grootste inrijhoek, 20 graden, is de vrachtauto over de constructie heen gereden. Tijdens het er overheen rijden kantelde de constructie sterk achterover, ca. 90 graden, waardoor plaatselijk sterke vervorming in de constructie optrad. Een groot deel van de aanwezige speling in zowel voet als rail wordt gebruikt. Nadat de vrachtauto over de constructie is gereden, kantelde de constructie voor een groot deel in zijn horizontale stand terug met een blijvende uitbuiging van 111 cm.

Bij de aanrijding met de wat kleinere inrijhoek, 15 graden, overschreed de vrachtauto de constructie niet. Wel kwam de vrachtauto tijdens de aanrijding op de constructie te rusten, waarbij de constructie sterk achterover kantelde. Ook nu trad sterke plaatselijke vervorming op. Nadat de vrachtauto de constructie had verlaten, kantelde de constructie nagenoeg in zijn horizontale stand terug met een blijvende uitbuiging van 154 cm.

## II.5. RESULTATEN VAN DE SIMULATIES VAN DE PROEVEN IN ZWITSERLAND

### II.5.1. Inleiding

Bij het simuleren van de Zwitserse proeven doen zich twee problemen voor; het moduleren van de speling en de sterke plaatselijke vervorming van de constructie tijdens de aanrijding met de vrachtauto's. De werking van de speling is niet expliciet in het model opgenomen. Het moduleren van de sterke plaatselijke vervorming heeft een sterke toename van de simulatietijd tot gevolg en is daarom dan ook achterwege gebleven. In overleg met de opdrachtgever is de invloed van de speling weggelaten.

Het opvoeren van de simulaties met een benadering van speling is dan ook alleen bedoeld als illustratie dat speling in de verbindingen een (grote) invloed heeft op de grootte van de dynamische uitbuiging.

### II.5.2. Resultaten van de simulaties met een constructie zonder speling

De resultaten van de simulaties met de constructie zonder speling zijn weergegeven in Tabel II.3. De constructie heeft bij de aanrijding met de personenauto een dynamische uitbuiging van 60 cm. De bewegingen van het voertuig zijn nogal heftig; de rolhoekverdraaiing bedraagt 30 grd en de pitchhoekverdraaiing 24 grd. De uitrijhoek is klein (zie Afbeelding II.4). De constructie buigt door de aanrijdingen met de vrachtauto ver uit: 136 cm bij 15 grd. en 163 cm bij 20 grd. inrijhoek. De aanrijdingen hebben een rustig verloop en de vrachtauto wordt goed omgeleid.

### II.5.3. Resultaten van de simulaties met een constructie met speling

De resultaten van de simulaties met de constructie met speling zijn in Tabel II.4 weergegeven. De constructie heeft bij de aanrijding met de personenauto een dynamische uitbuiging van 90 cm. De voertuigbewegingen zijn nogal heftig. De grootte van de rolhoek bedraagt tijdens de aanrijding 24 grd. en voor de pitchhoek is dit 20 grd. De uitrijhoek is klein. De aanrijding met de vrachtauto veroorzaakt bij een inrijhoek van 15 grd. een dynamische uitbuiging van 171 cm en bij 20 grd. een dynamische uitbuiging van 194 cm.

#### 5.4. Algemene opmerkingen

Het voornaamste gevolg van de toevoeging van de speling blijkt dus de toename van de dynamische uitbuiging van de constructie te zijn. Het voertuiggedrag verschilt in deze simulaties niet sterk van dat met constructies zonder speling.

Uit de simulaties met de personenauto blijkt dat het aanbrengen van speling de dynamische uitbuiging met 50% vergroot. Bij de simulaties met de vrachtauto is dit 26% en 19%, resp. bij 15 grad. en 20 grad. inrijhoek.

Op de hoogte van de ASI-waarde heeft het aanwezig zijn van de speling een gunstig effect, er treedt een reductie van 12% op.

## II.6. RESULTATEN VAN DE SIMULATIES MET DE WASSENAAR-VARIANT VAN DE VECU-SEC

### II.6.1. Inleiding

De Wassenaar-variant van de Vecu-Sec-constructie is een 60 cm hoge constructie met twee kokerprofielen in plaats van de twee geleiderails bij de originele Vecu-Sec-constructie (zie Afbeelding II.3). De kokerprofielen zijn onderling niet doorverbonden, dit in tegenstelling tot de originele Vecu-Sec-constructie waarbij de geleiderails wel zijn doorverbonden. De kokerverbindingen kunnen dus geen langskrachten opnemen. Dwarskrachten en momenten kunnen wel worden overgebracht.

### II.6.2. Resultaten van de simulaties

De resultaten van de simulatie met de Wassenaar-variant zijn samengevat in Tabel II.5. De resultaten laten zien dat de aanrijdingen met de personenauto's redelijk verlopen. De grootste dynamische uitbuiging van de constructie is 50 cm. Vanuit het oogpunt van voertuigdynamica gezien blijkt dat bij grotere inrijhoeken, de voertuigbewegingen heftiger worden. De gegeven uitrijhoeken in Tabel II.5 zijn gemeten op het moment dat het voertuig de constructie verlaat.

Uit de Afbeeldingen II.22 t/m II.30 blijkt dat deze uitrijhoeken na het verlaten van de constructie groter worden. De ASI-waarden bereiken op geen enkele plaats in de voertuigen de waarde 1,6 en zijn daarmee acceptabel. De aanrijdingen met de vrachtauto's geven een minder gunstig beeld te zien. Bij de inrijhoek van 15 grd. is de dynamische uitbuiging reeds 141 cm; bij 20 grd. vindt "overturn" plaats. De dynamische uitbuiging is op dat moment 161 cm.

### II.6.3. Algemene opmerkingen

Wordt de invloed van de speling, zoals weergegeven in par. II.5.4, betrokken op de Wassenaar-variant, dan kan gesteld worden dat de Wassenaar-variant met speling de volgende dynamische uitbuigingen krijgt:

Voor de personenauto:

70 km/uur en 15 grd.  $1,5 * 26 = 39$  cm

70 km/uur en 20 grd.  $1,5 * 39 = 58$  cm

70 km/uur en 24 grd.  $1,5 * 50 = 75$  cm

Voor de vrachtauto:

70 km/uur en 15 grd.  $1,26 * 141 = 178$  cm

De beschikbare uitbuigingsruimte ter plaatse is slechts 40 cm.

Uit Afbeelding II.38 blijkt dat de hoogte van het zwaartepunt van de twee geteste vrachtauto's aan de lage kant is. Het gevaar van overturn van vrachtauto's met een veel hoger zwaartepunt lijkt dan ook reëel aanwezig bij kleinere inrijhoeken dan 20 grd.

## II.7. VERGELIJKING MET ANDERE CONSTRUCTIES

De werking van de Vecu-Sec-constructie is te vergelijken met die van de stalen geleidebarrier met een New Jersey-profiel. De buigstijfheid, de torsiestijfheid en de sterkte-eigenschappen zijn van gelijke grootte-orde. De Wassenaar-variant van de Vecu-Sec-constructie wijkt hier wat van af; de kokerprofielen zijn niet doorverbonden, zodat de maximale langskracht, die kan worden opgenomen, lager ligt. Het New Jersey-profiel is 80 cm hoog, het Vecu-Sec-profiel 91 cm. De Wassenaar-variant daarentegen is veel lager, maar 60 cm. Het gevaar van "overturn" van de Wassenaar-variant door de vrachtauto's (zeker met hogere zwaartepunten) is reëel aanwezig. Vergelijking van de dynamische uitbuigingen van de drie constructietypen leert dat de Wassenaar-variant (zonder eindverankeringen) een dynamische uitbuiging kan krijgen van meer dan 250 cm met de gekozen inrijcondities voor de vrachtauto. Het is aannemelijk dat deze uitbuiging door het aanbrengen van eindverankeringen beduidend kan afnemen; dit is bij het onderzoek naar de eigenschappen van het stalen New Jersey-profiel vastgesteld. Het verschil in uitbuiging tussen niet en wel verankerde constructies is bij dat profiel ca. 40%. Het geringere vermogen van de Wassenaar-variant om trekkrachten door te geven vermindert de effectiviteit van eindverankering overigens waarschijnlijk wel.

De full-scale test en de simulatie-resultaten van de aanrijdingen met de personenauto's op de drie typen constructies laten een gelijkmatig oplopend beeld zien in zwaarte van de aanrijding. De ASI-waarden zijn van gelijke grootte-orde (Afbeelding II.37) en alle in het bereik van 0,5 tot 1,5. Voor aanrijdingen met personenauto's verschillen de constructies weinig, zeker in het gebied van de lichtere aanrijdingen. Vergelijking van de dynamische uitbuigingen van de drie typen constructies leert, dat de Wassenaar-variant (zonder eindverankeringen) een dynamische uitbuiging van ca. 60 cm kan krijgen met de gekozen inrijcondities voor de personenauto. Ook hier kunnen eindverankeringen het gedrag enigszins verbeteren.



## II.8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### II.8.1. Voorlopige conclusies

De Vecu-Sec-constructie is bij voldoende uitbuigingsruimte een goed alternatief voor een geleiderailconstructie wat betreft aanrijdingen met personenauto's. Full-scale tests van aanrijdingen met vrachtauto's laten zien dat de kans van overschrijden van de constructie reëel aanwezig is. De oorzaak van het overschrijden van de constructie door vrachtauto's is de lage torsiestijfheid en de grote plaatselijke vervorming van de constructie.

De Wassenaar-variant van de Vecu-Sec-constructie geeft, zowel in termen van voertuigbewegingen als ASI-waarden (alle beneden de 1,6-grens), redelijke resultaten te zien bij aanrijdingen met personenauto's onder de gesimuleerde lichte tot matig-zware inrijcondities. Voor aanrijdingen met vrachtauto's is de constructie te laag; bij lichte tot matig-zware inrijcondities rolt het voertuig reeds over de constructie.

Uit de simulaties blijkt dat reeds bij een aanrijding met een personenauto bij 15 grad. inrijhoek en een snelheid van 70 km/uur de beschikbare uitbuigruimte wordt overschreden. Bij een aanrijding met een vrachtauto is de uitbuiging van de Wassenaar-variant bij deze condities veel te groot.

Wanneer de aanwezige speling in de verbindingen er wordt uitgehaald, kan dit een reductie in dynamische uitbuiging van ca. 50% voor personenauto's en ca. 20% voor vrachtauto's tot gevolg hebben.

Bij aanrijdingen nabij de einden van de onverankerde constructie is het, op grond van deze resultaten, zeer aannemelijk dat zowel personenauto's als vrachtwagens de constructie onaanvaardbaar ver zullen verplaatsen zo niet zullen doorbreken.

### II.8.2 Aanbevelingen

De eenvoudigste verbetering die aan de Wassenaarse constructie kan worden toegepast is het aanbrengen van eindverankeringen.

Gezien de grote lengte van de constructie tussen de verankeringen kan een

volgende, nog weinig ingrijpende, stap het aanbrengen van meerdere verankeringen (met een tussenruimte van bijvoorbeeld 50 m) zijn.

Het gedrag van de constructie bij aanrijding door vrachtwagens met een hoog zwaartepunt wordt hierdoor echter nog niet voldoende verbeterd.

Als alternatief voor de Wassenaar-variant dan kan een vaste New Jersey barrier in aanmerking komen. Gezien de lichte tot matig-zware inrijcondities kan ook aan een muur worden gedacht.

LITERATUUR

Köster, H. & Dietrich, K. (1987). Anfahrversuche an die Stahlgleit-  
schwelle Vecu-Sec. S 892b. Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik,  
Strassen- und Eisenbahnbau, Eidg. Technische Hochschule, Zürich, 1987.

Pol, W.H.M. van de (1990). Stalen geleidebarrier met een New Jersey-  
profiel; Simulatie-onderzoek naar de veiligheid van de stalen New Jersey-  
barriers. R-90-7. SWOV, Leidschendam, 1990.



## AFBEELDINGEN II.1 T/M II.38

Afbeelding II.1. Dwarsprofiel N 44 Wassenaar.

Afbeelding II.2. Relatie tussen rij snelheden, wrijvingscoëfficiënt en inrijhoek voor de rijbaanbreedte van de N 44 te Wassenaar.

Afbeelding II.3. Dwarsprofiel Vecu-Sec-constructie en van de Wassenaar-variant.

Afbeelding II.4. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.5. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.6. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.7. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.8. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.9. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.10. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.11. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.12. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.13. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec met speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.14. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec met speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.15. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec met speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.16. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.17. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.18. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.19. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.20. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.21. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.22. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.23. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.24. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.25. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.26. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.27. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.28. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 24 grd.).

Afbeelding II.29. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 24 grd.).

Afbeelding II.30. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 24 grd.).

Afbeelding II.31. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.32. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.33. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

Afbeelding II.34. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

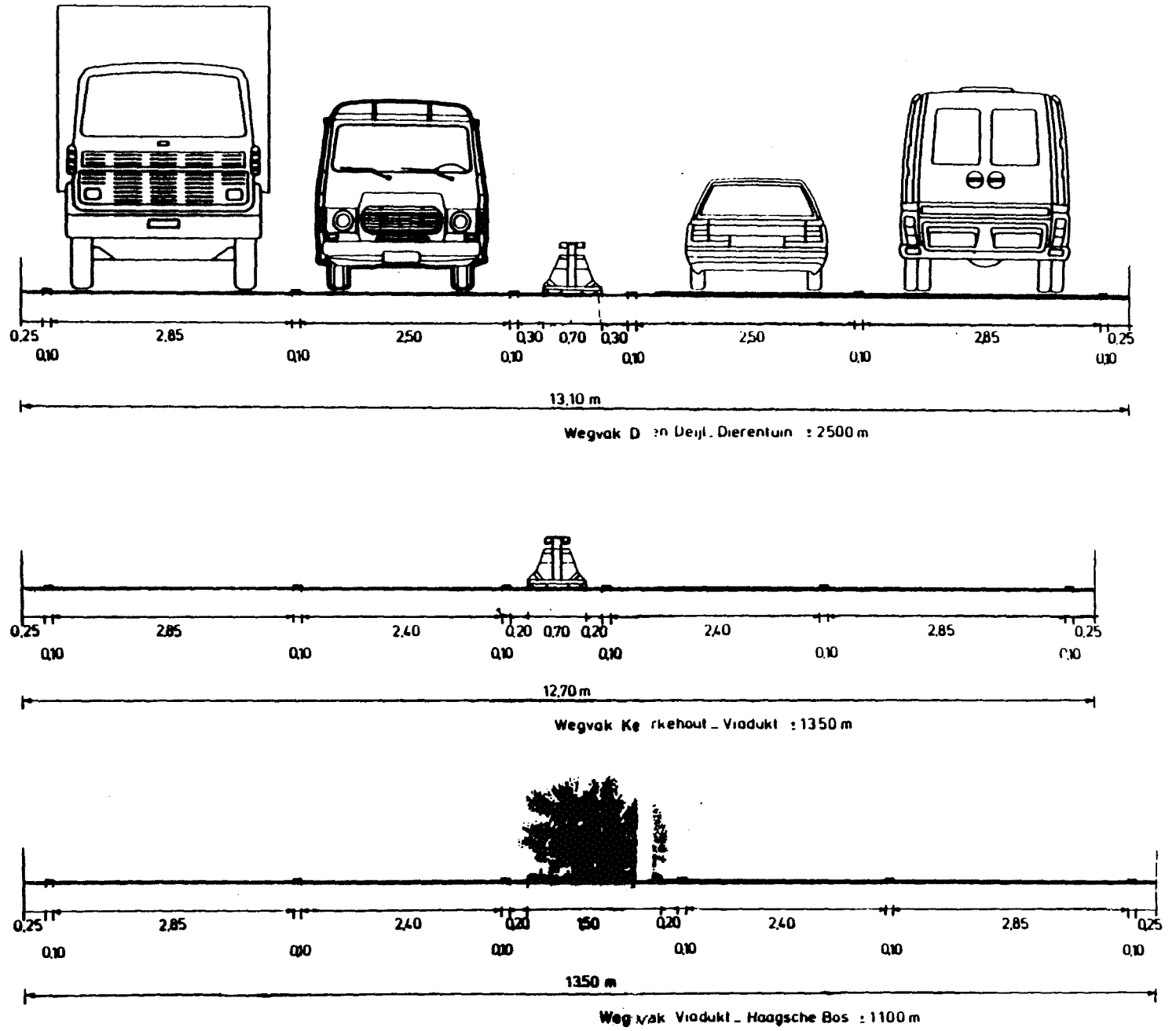
Afbeelding II.35. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

Afbeelding II.36. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

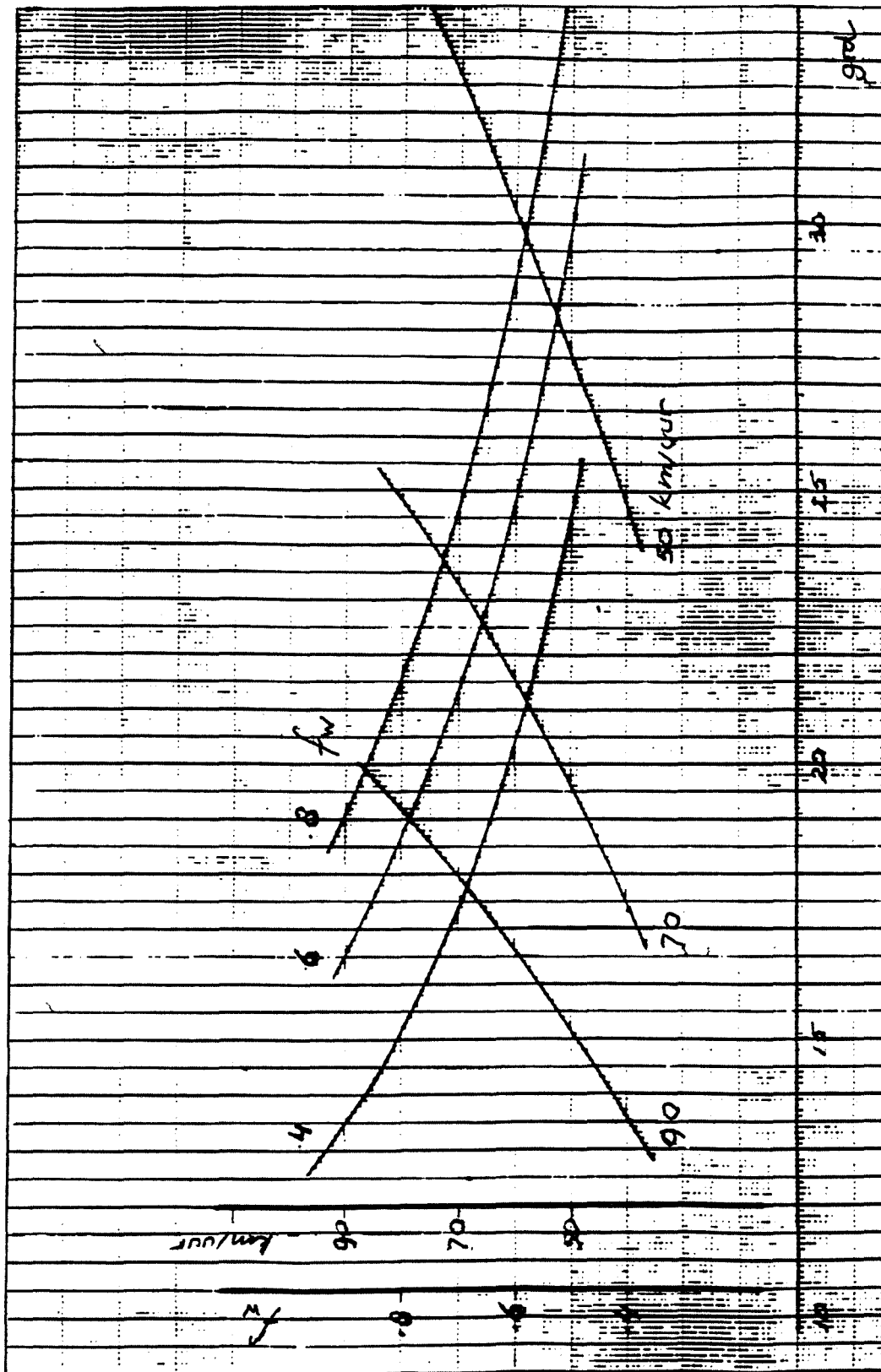
Afbeelding II.37. Vergelijking met gelijksoortige geleidesystemen.

Afbeelding II.38. Ligging zwaartepunthoogten van personenauto's en vrachtauto's.

Afbeelding II.1. Dwarsprofiel N 44 Wassenaar.

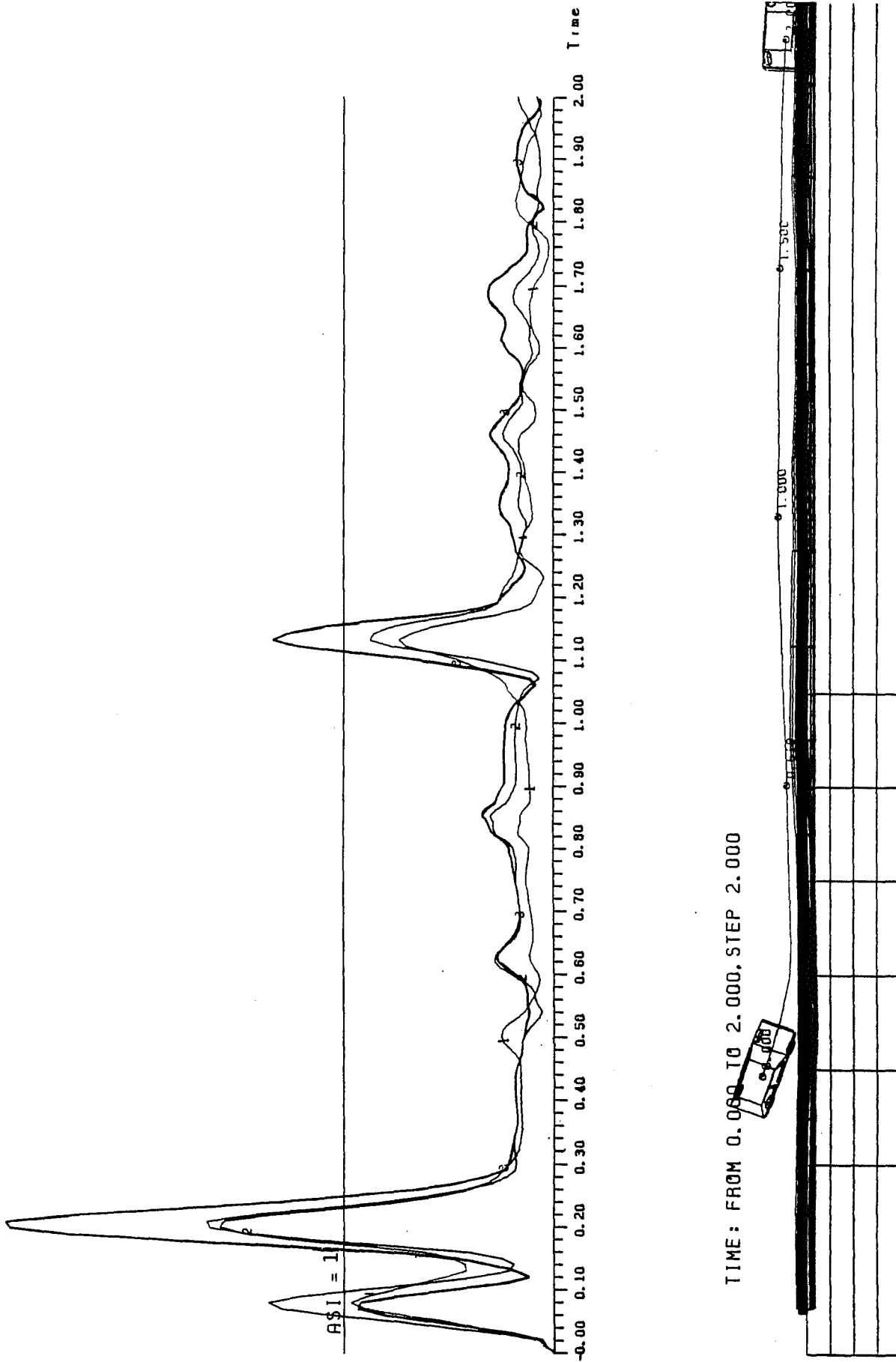




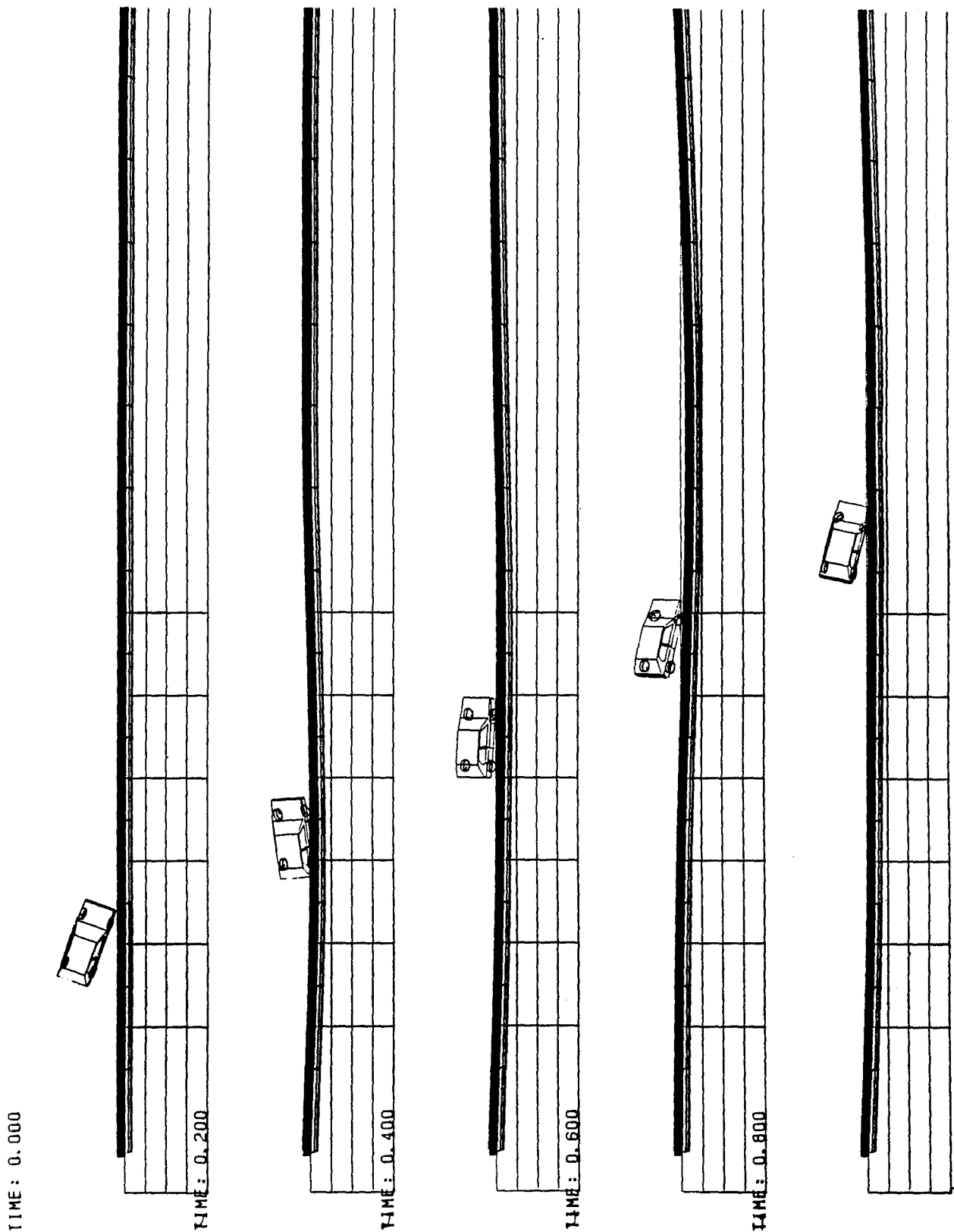


Afbeelding II.2. Relatie tussen rij snelheden, wrijvingscoëfficiënt en inrijhoek voor de rijbaanbreedte van de N 44 te Wassenaar.





Afbeelding II.4. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).



Afbeelding II.5. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

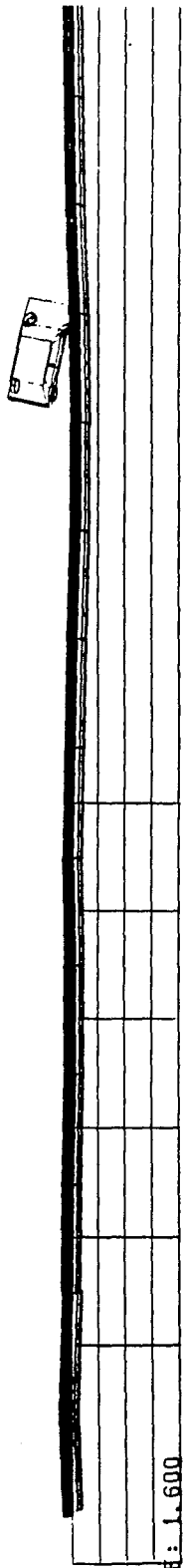
TIME: 1.000



TIME: 1.200



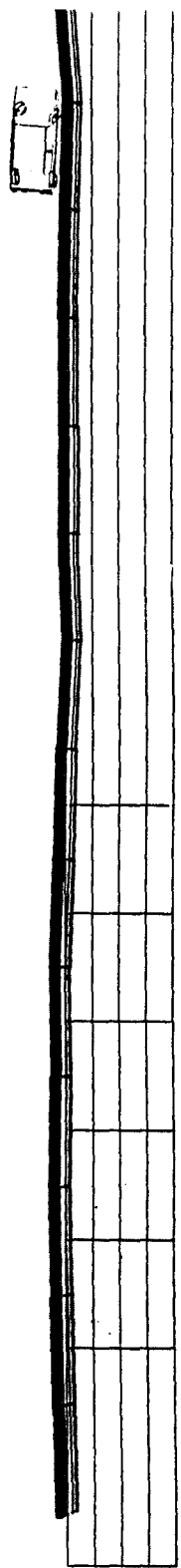
TIME: 1.400



TIME: 1.600

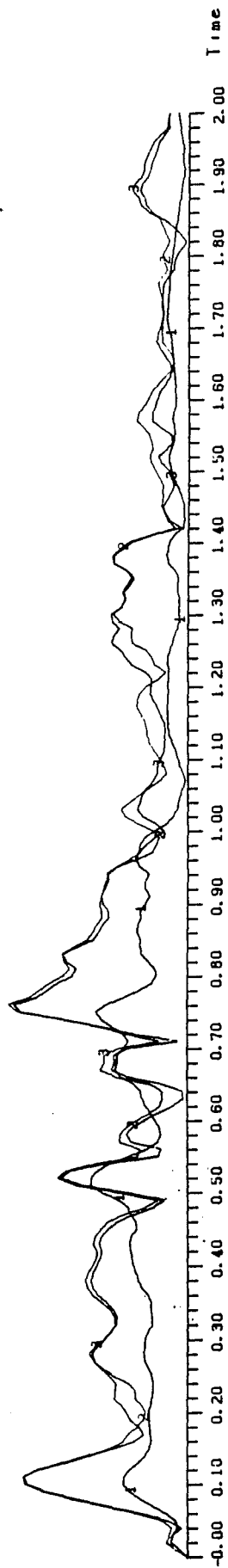


TIME: 1.800

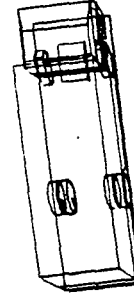


Afbeelding II.6. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

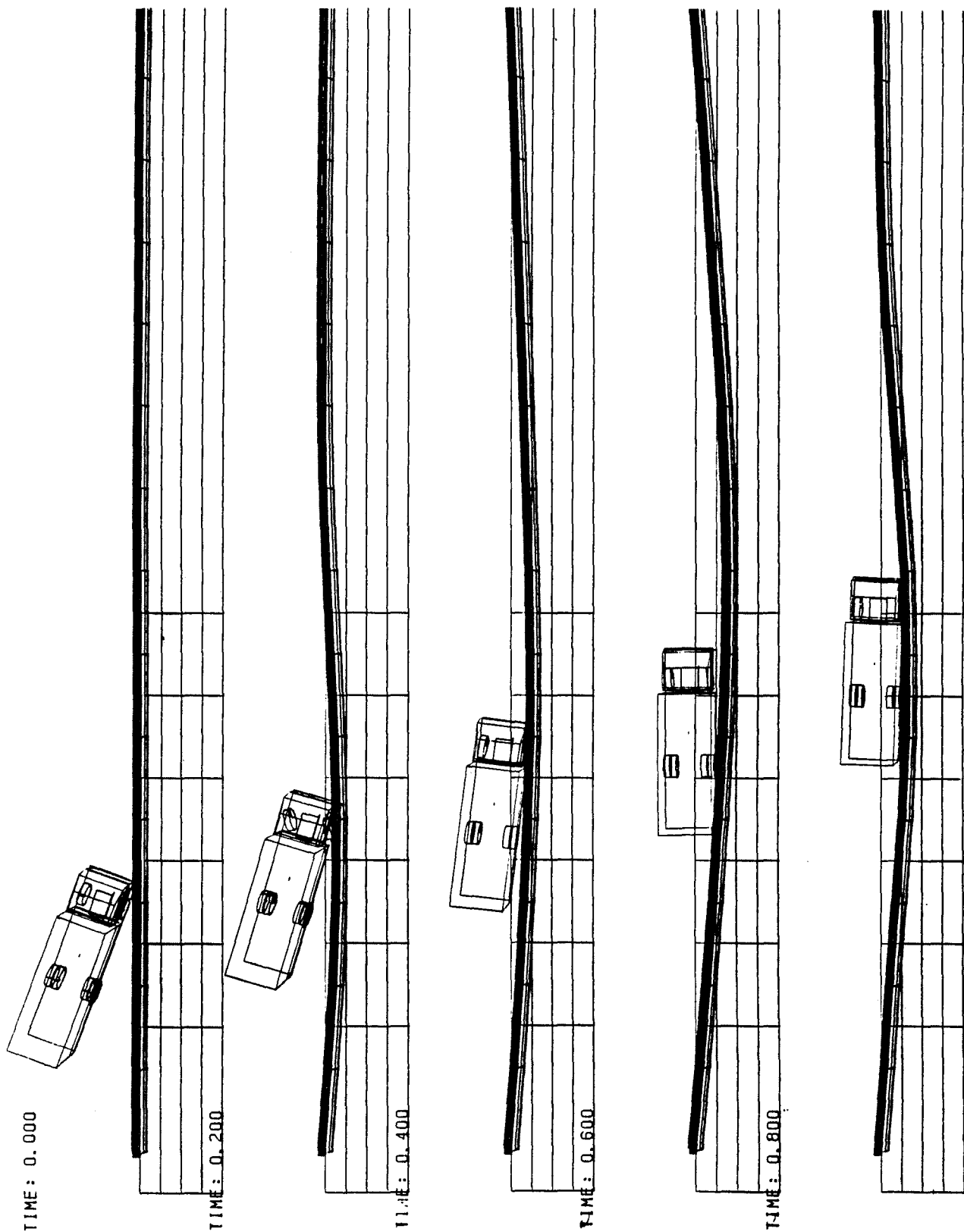
ASI = 1



TIME: FROM 0.000 TO 2.000. STEP 2.000

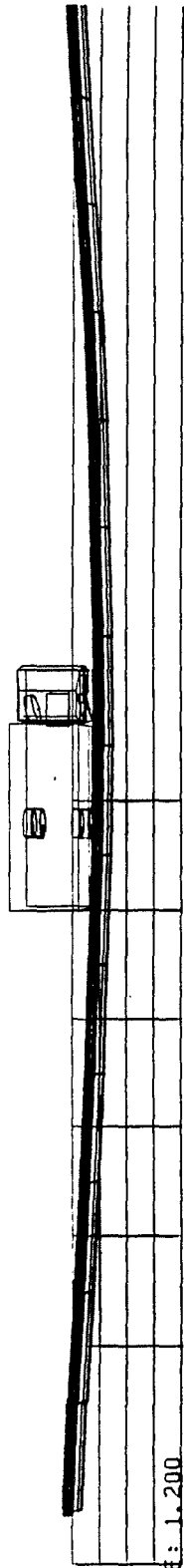


Afbeelding II.7. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

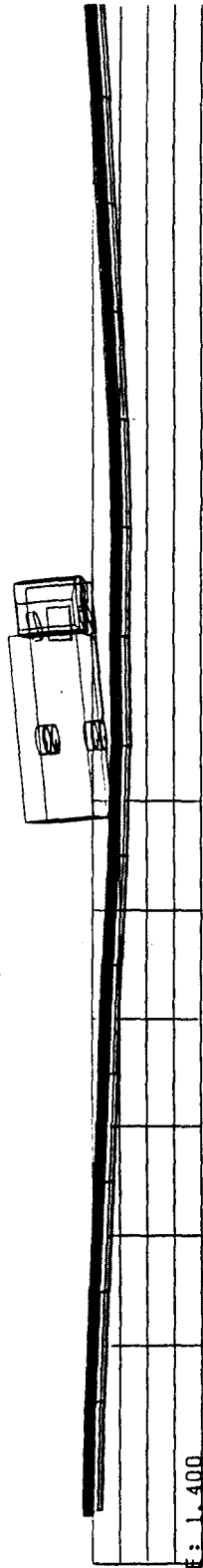


Afbeelding II.8. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

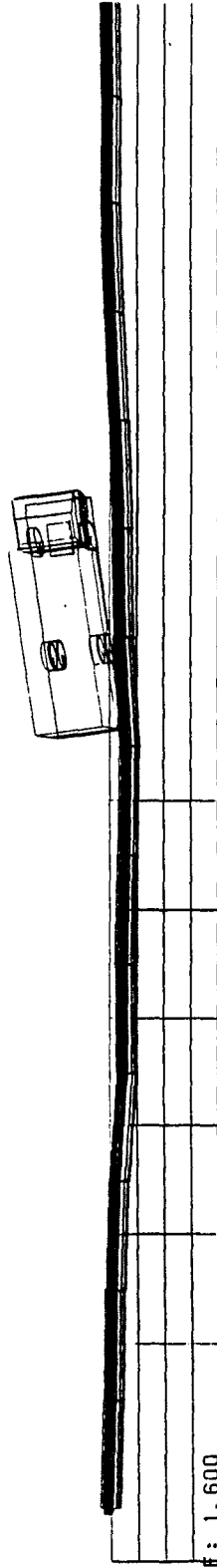
TIME: 1.000



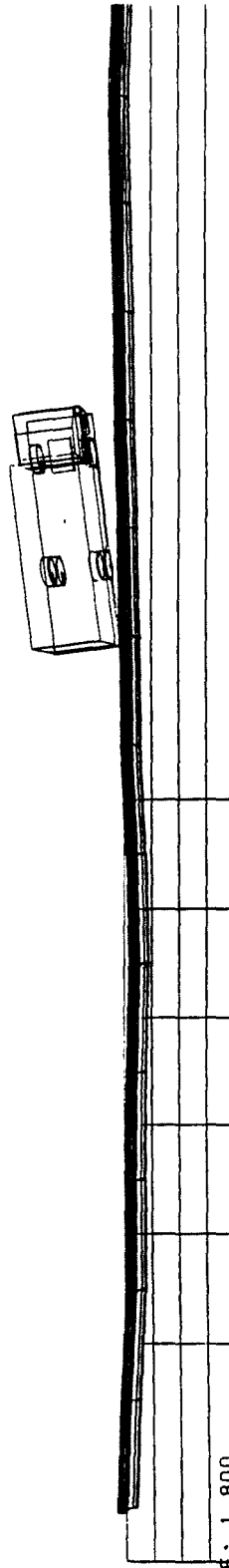
TIME: 1.200



TIME: 1.400



TIME: 1.600



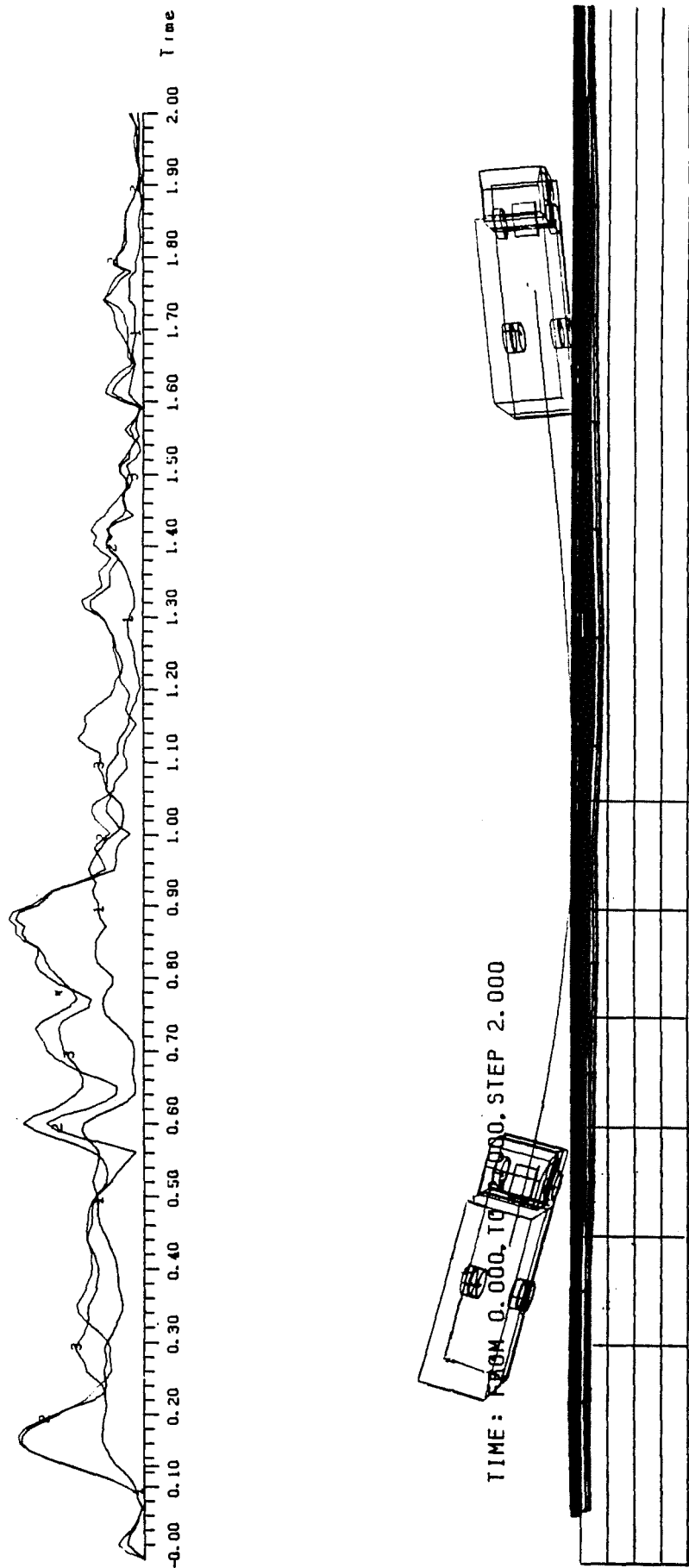
TIME: 1.800



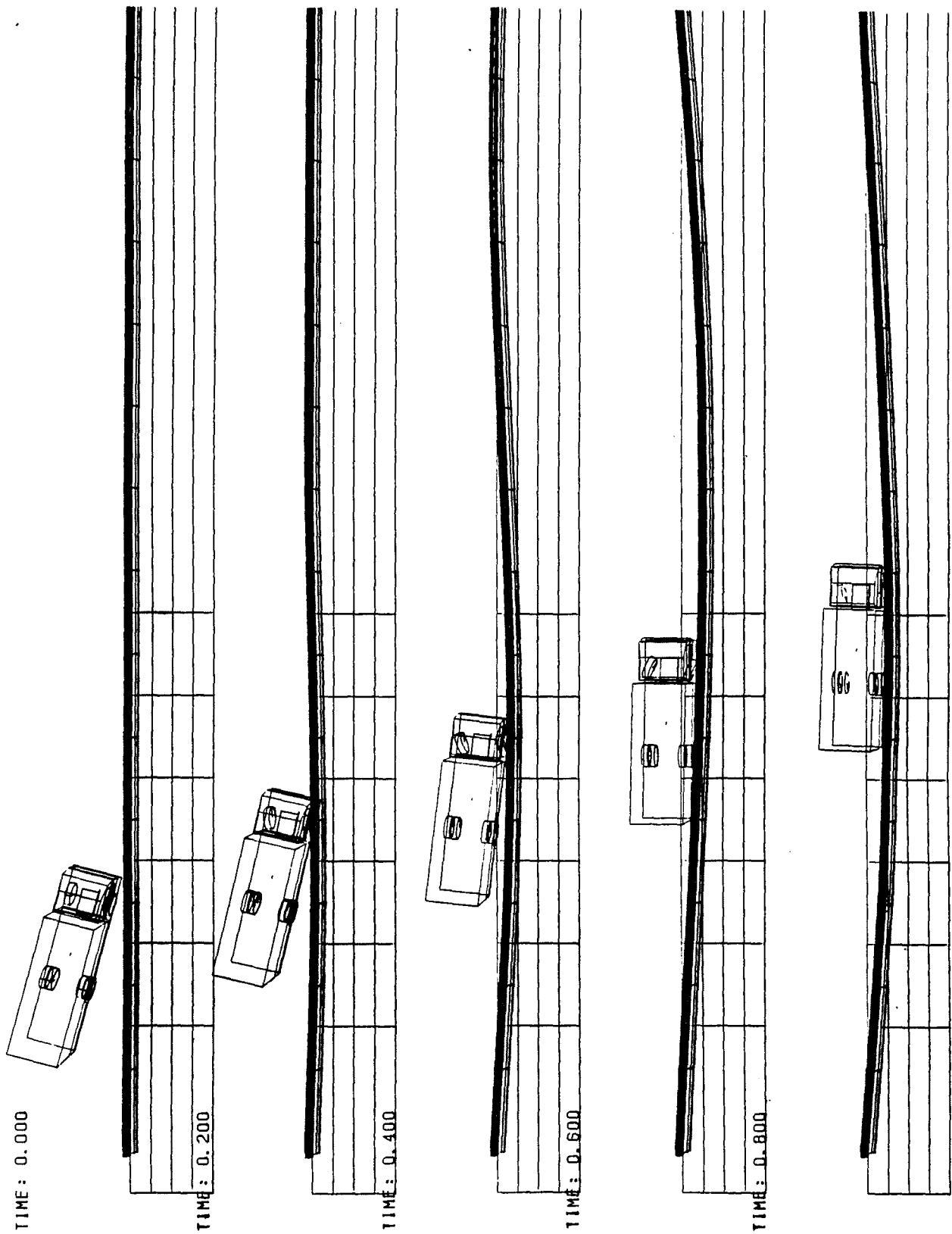
Afbeelding II.9. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).



ASI = 1

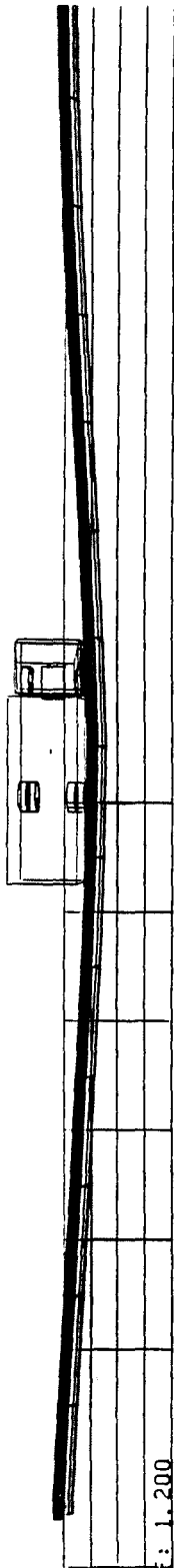


Afbeelding II.10. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grad.).

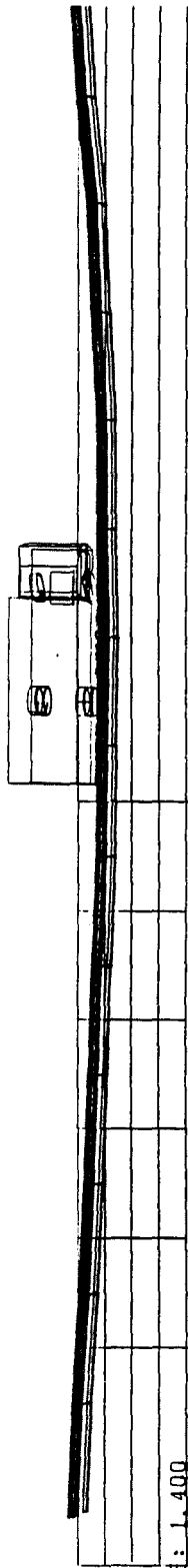


Afbeelding II.11. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

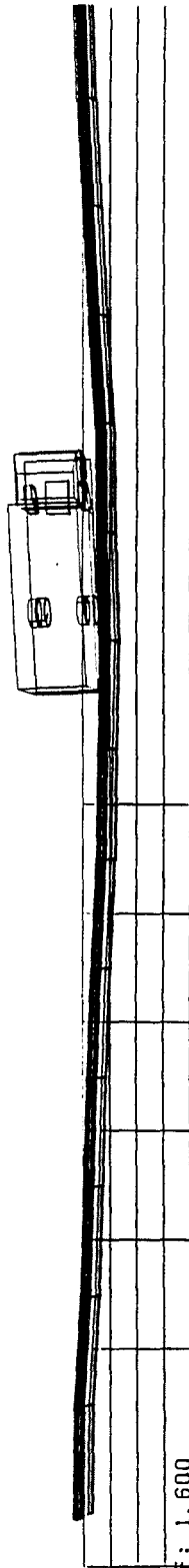
TIME: 1.000



TIME: 1.200



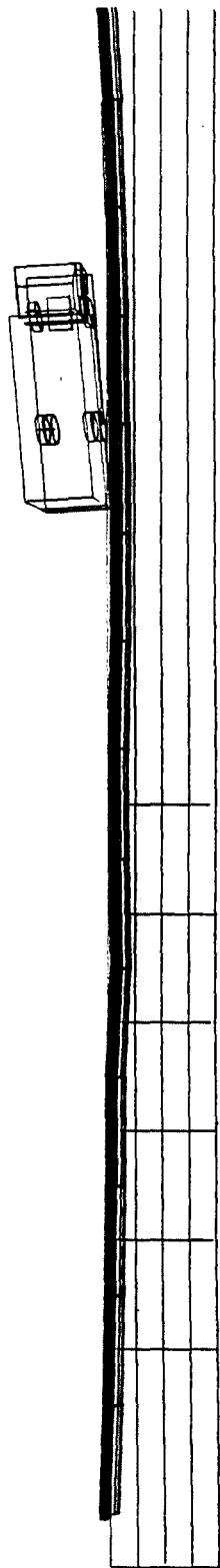
TIME: 1.400



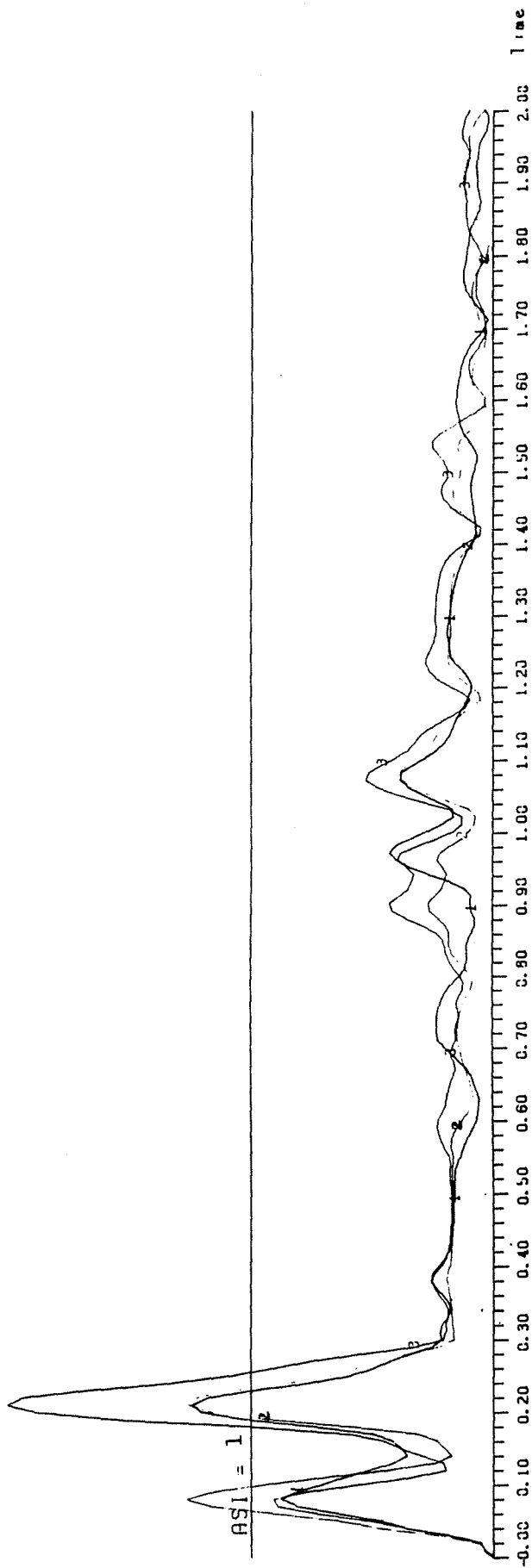
TIME: 1.600



TIME: 1.800

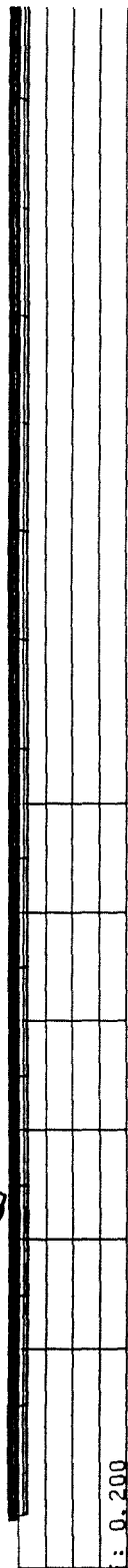


Afbeelding II.12. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-  
Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).



Afbeelding II.13. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec met speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grad.).

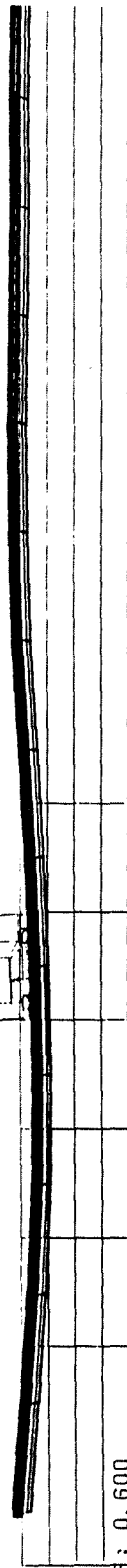
TIME: 0.000



TIME: 0.200



TIME: 0.400



TIME: 0.600

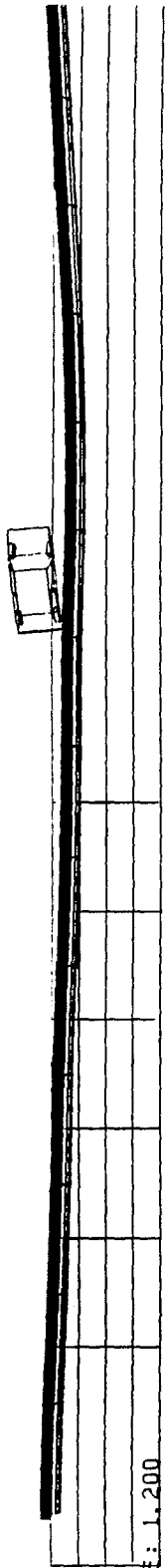


TIME: 0.800

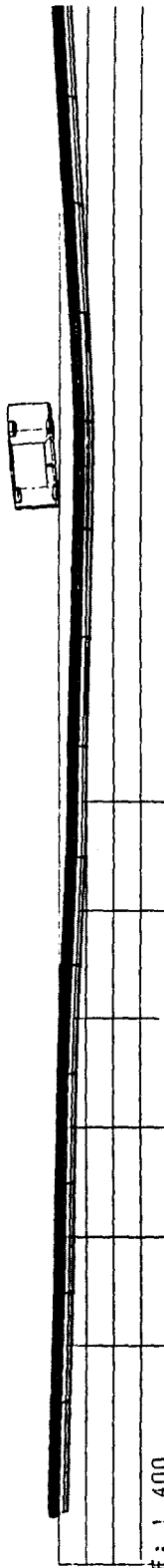


Afbeelding II.14. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec met speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

TIME: 1.000



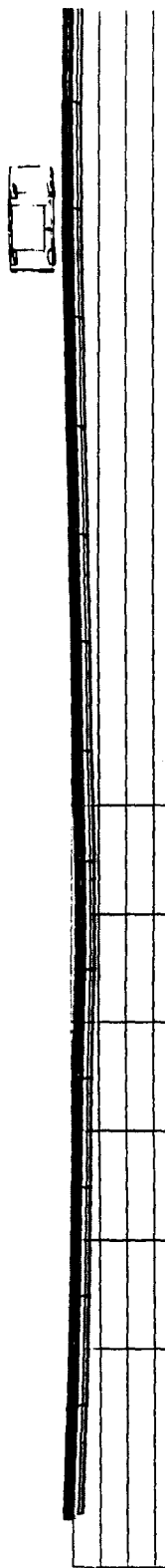
TIME: 1.200



TIME: 1.400



TIME: 1.600

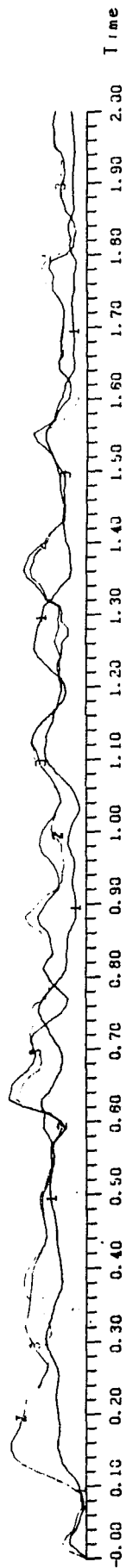


TIME: 1.800

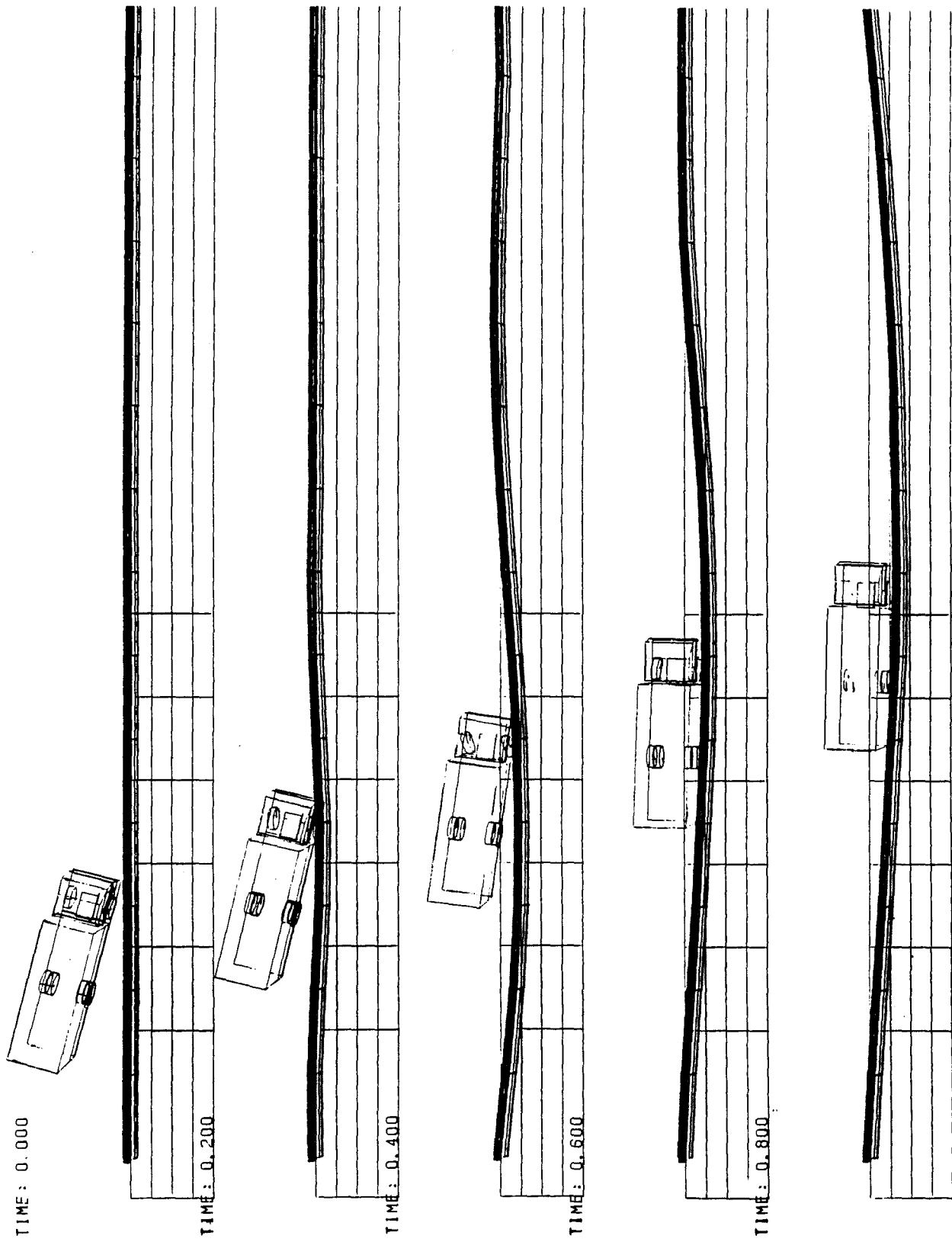


Afbeelding II.15. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-  
Sec met speling (VW Golf; 100 km/uur; 20 grd.).

ASI = 1



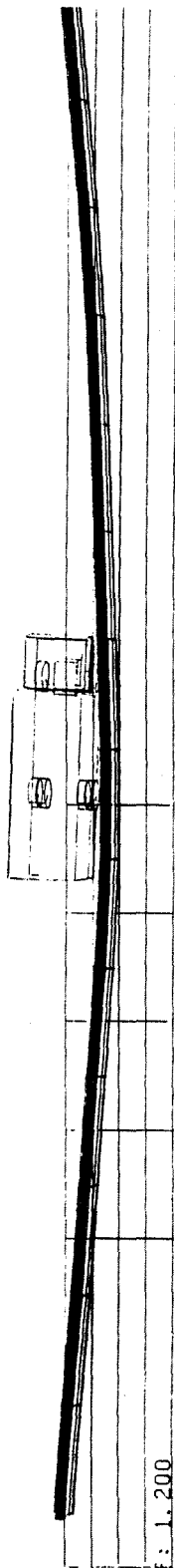
Afbeelding II.16. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).



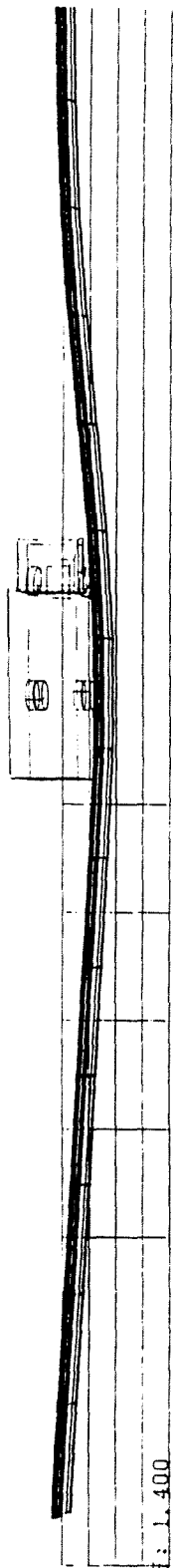
Afbeelding II.17. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).



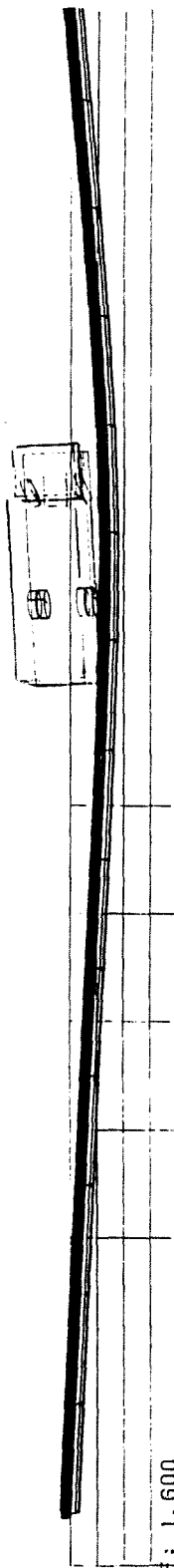
TIME: 1.000



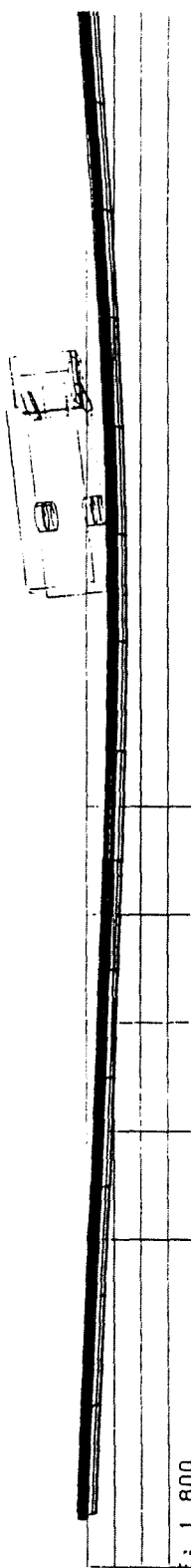
TIME: 1.200



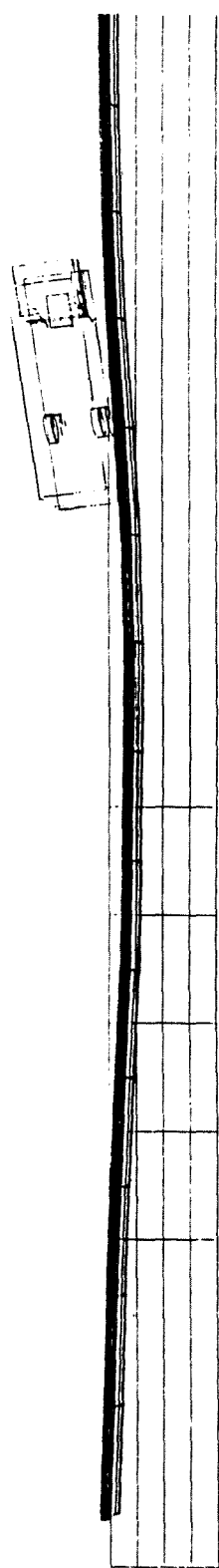
TIME: 1.400



TIME: 1.600

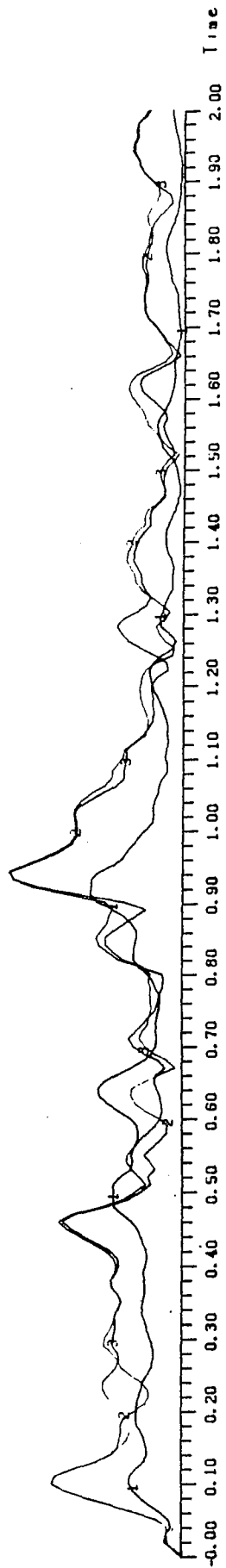


TIME: 1.800

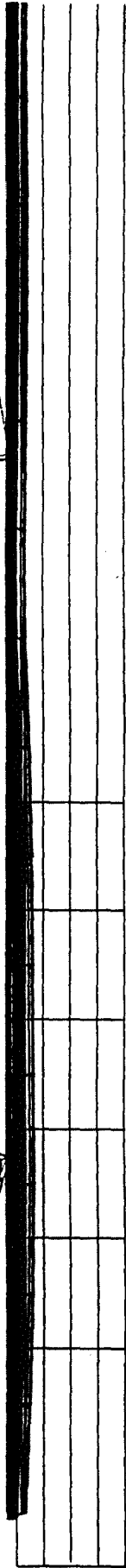
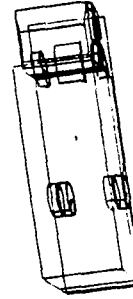


Afbeelding II.18. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-  
Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

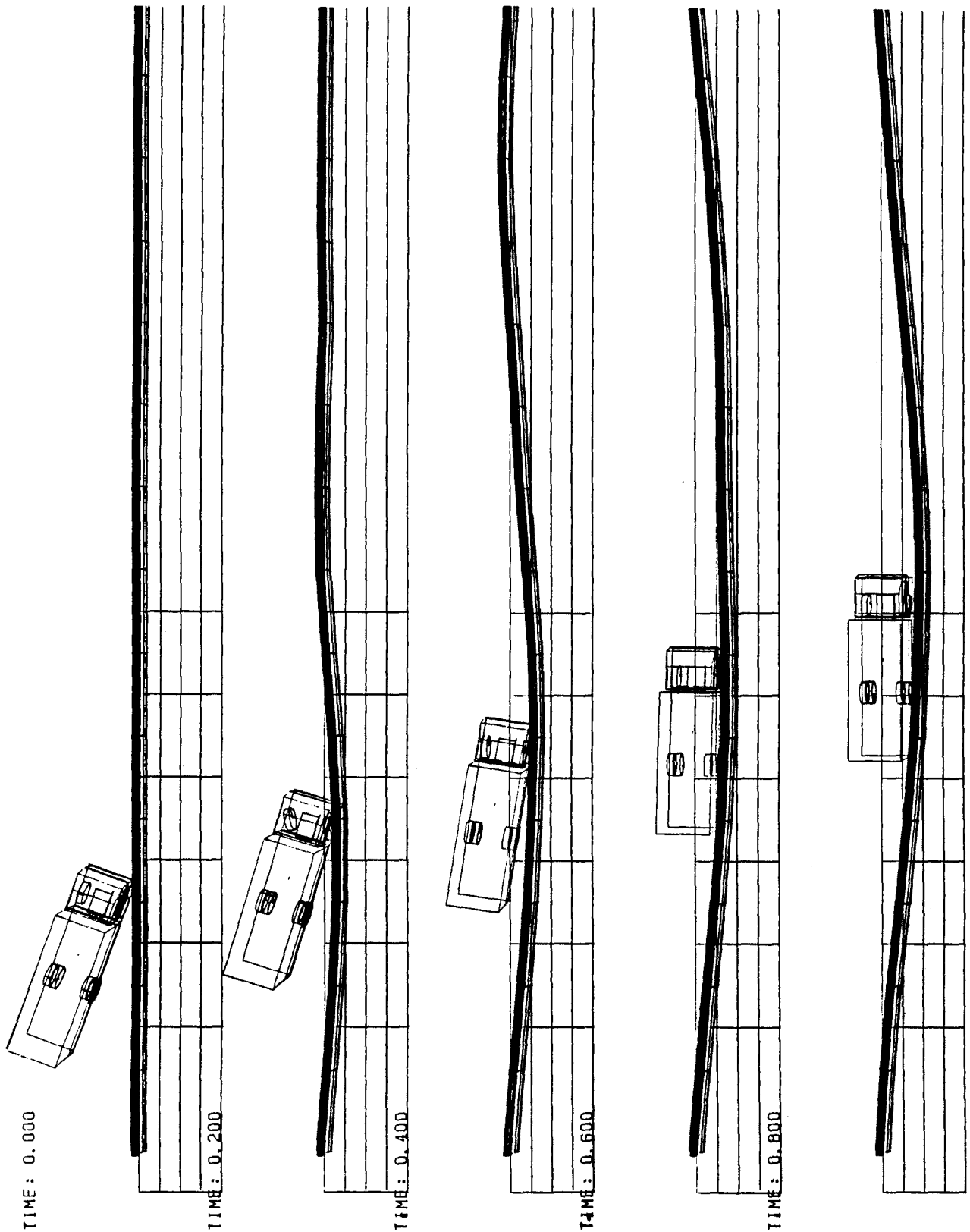
ASI = 1



TIME: FROM 0.000 TO 2.000. STEP 2.000

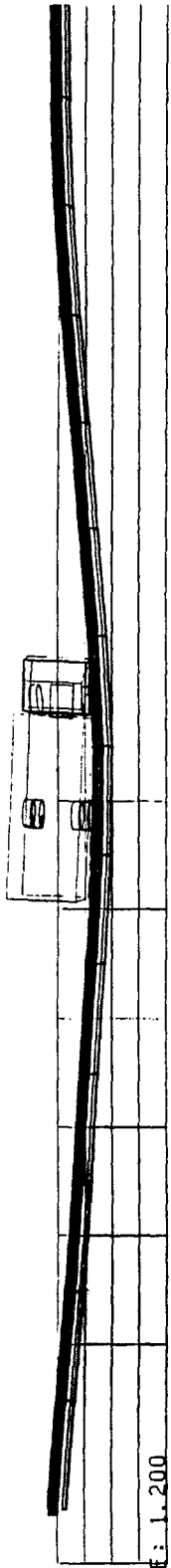


Afbeelding II.19. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

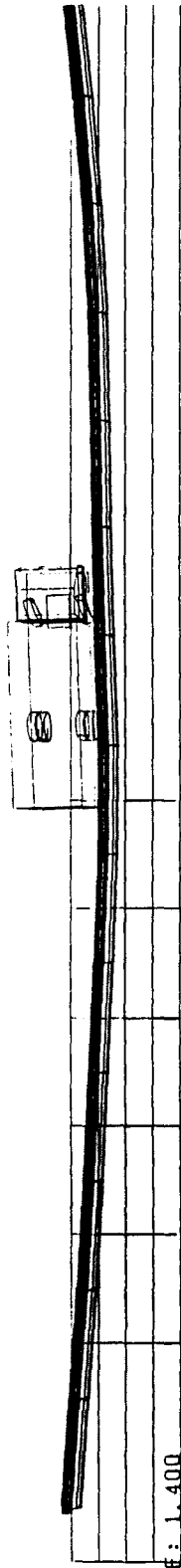


Afbeelding II.20. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).

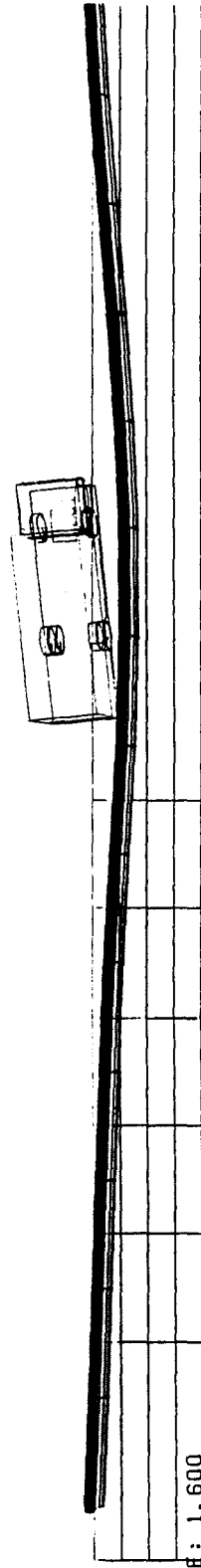
TIME: 1.000



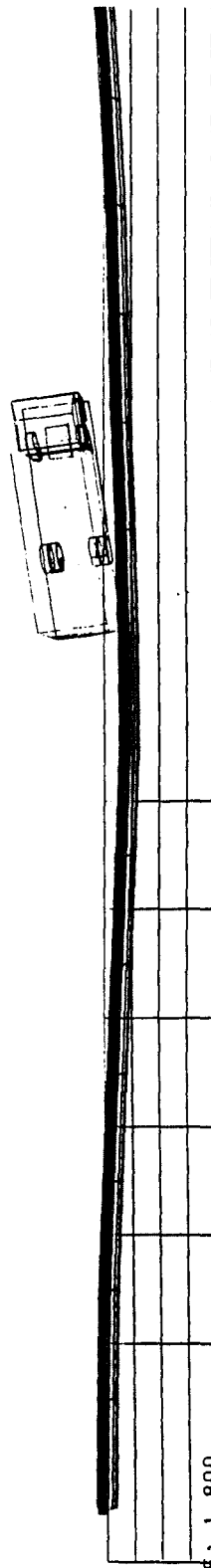
TIME: 1.200



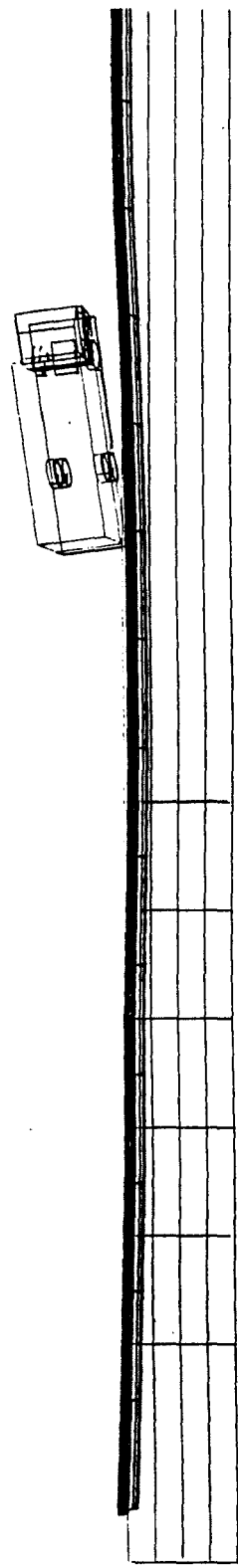
TIME: 1.400



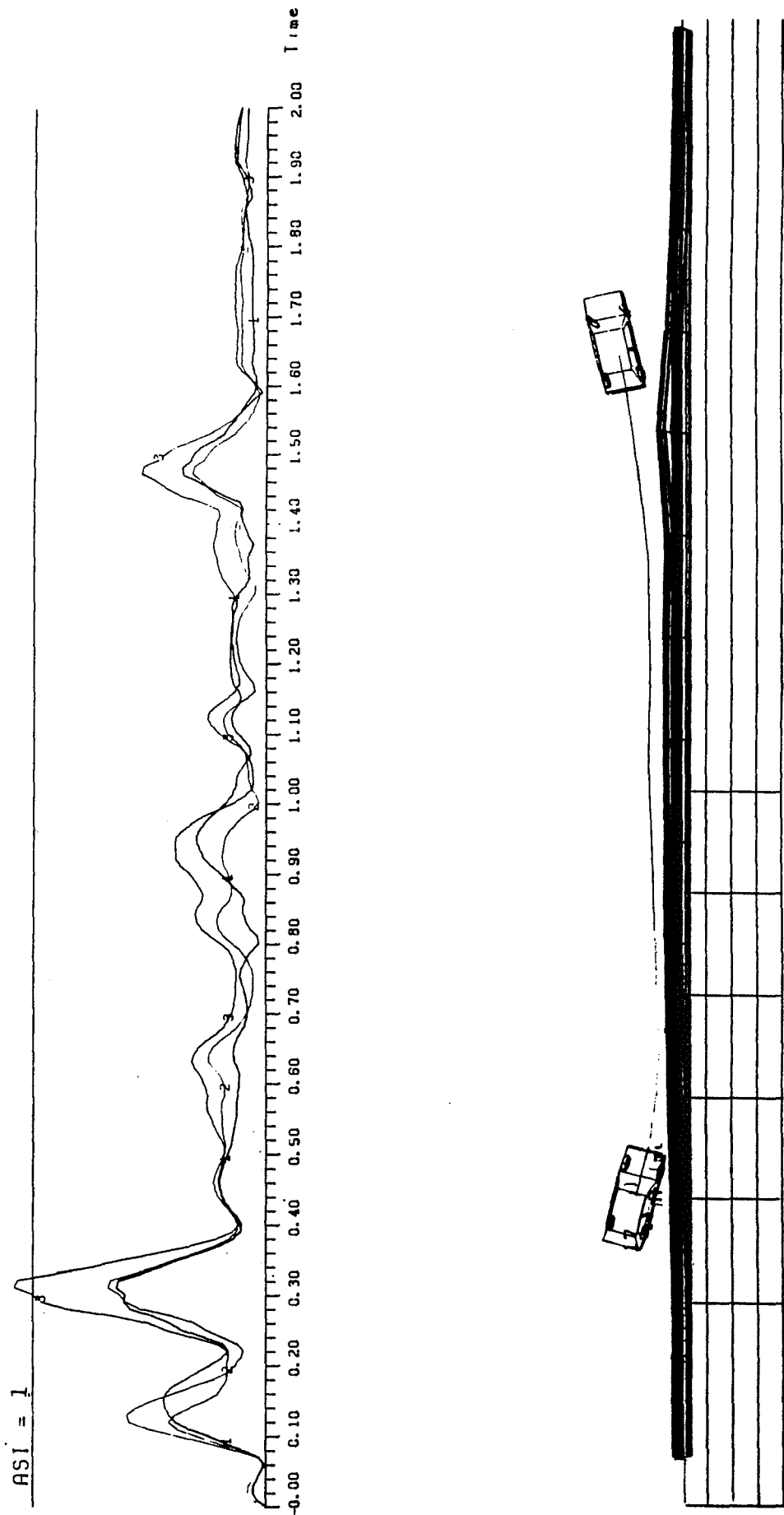
TIME: 1.600



TIME: 1.800

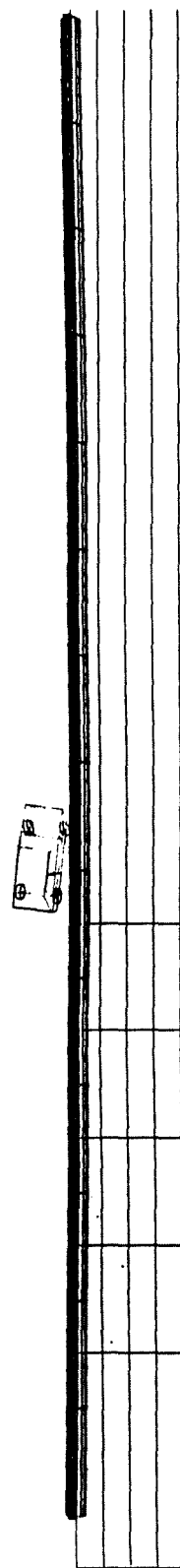
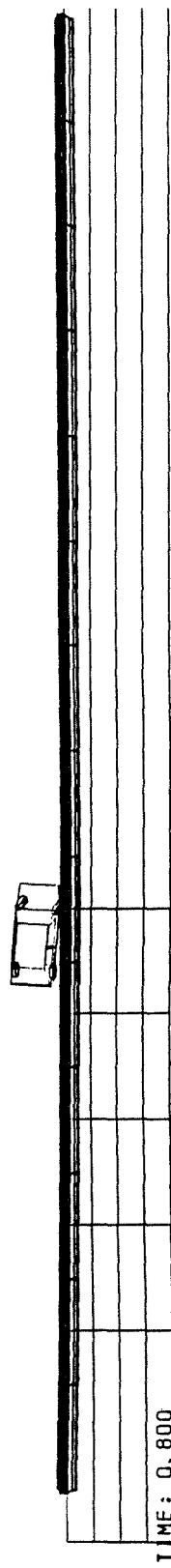
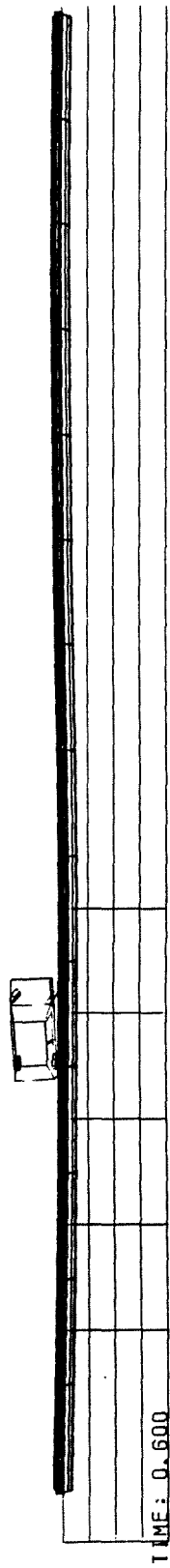
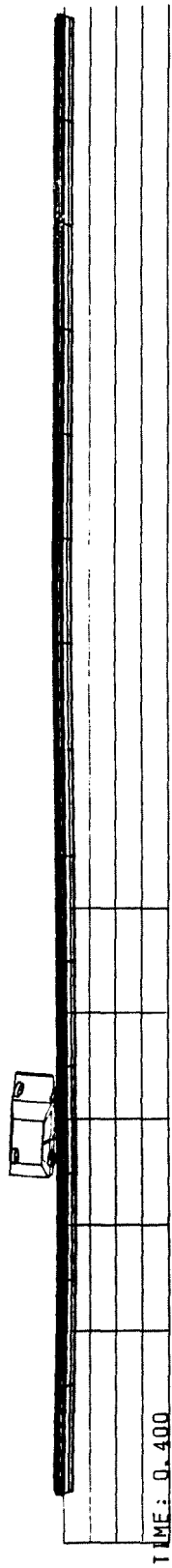
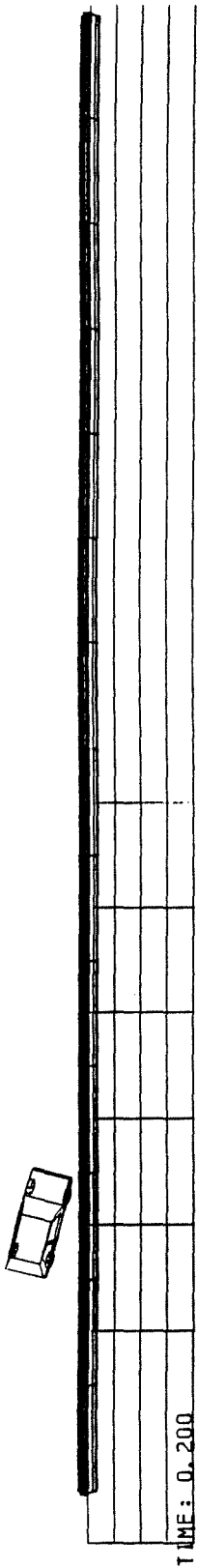


Afbeelding II.21. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Vecu-Sec met speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).



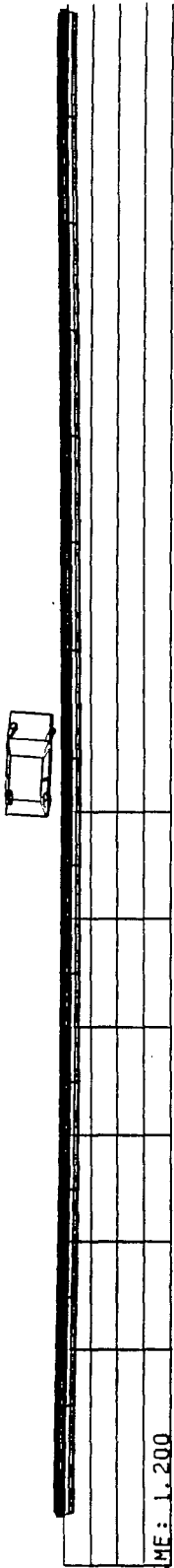
Afbeelding II.22. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 15 grd.).

TIME: 0.000

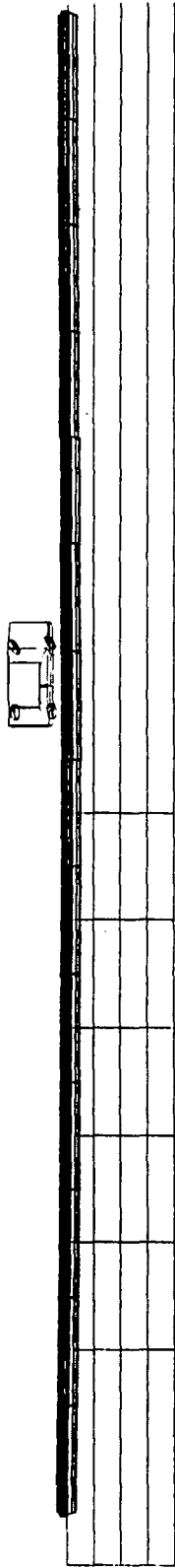


Afbeelding II.23. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 15 grd.).

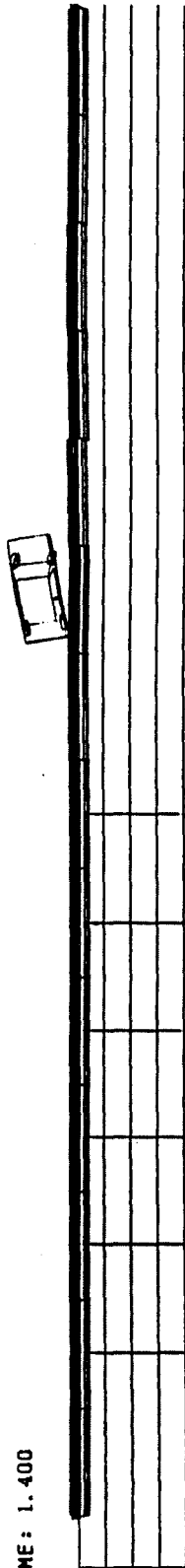
TIME: 1.000



TIME: 1.200



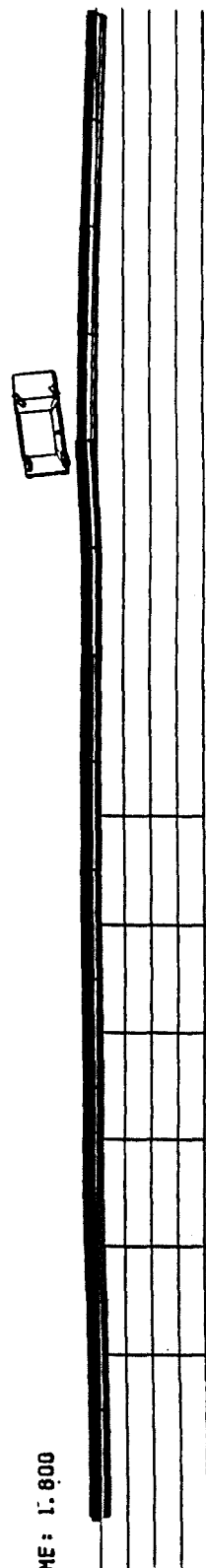
TIME: 1.400



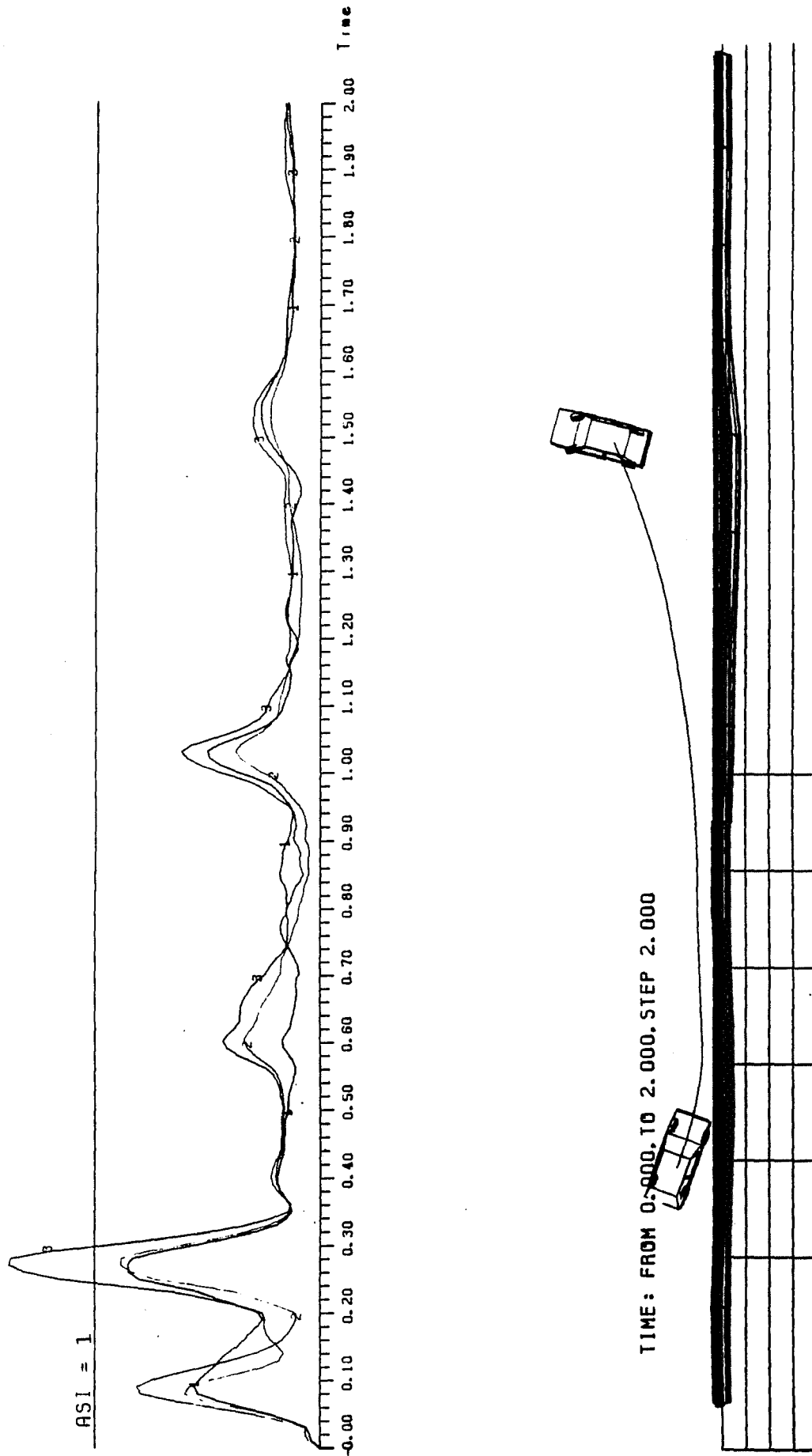
TIME: 1.600



TIME: 1.800



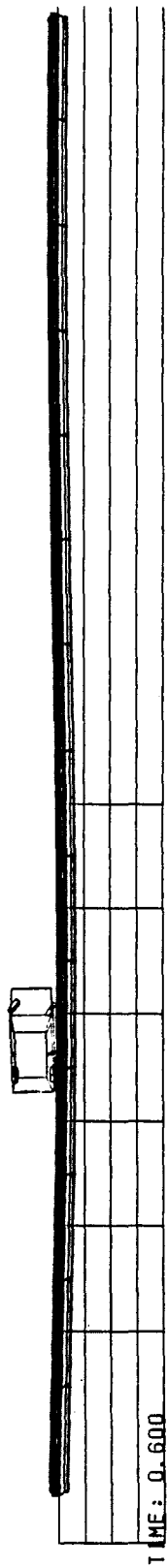
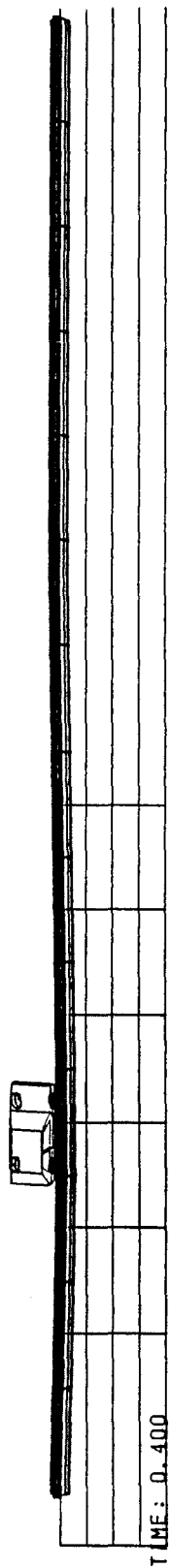
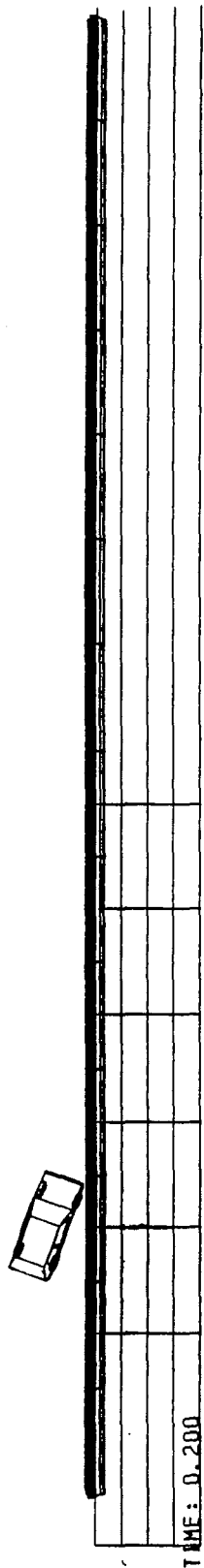
Afbeelding II.24. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 15 grd.).



Afbeelding II.25. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 20 grd.).

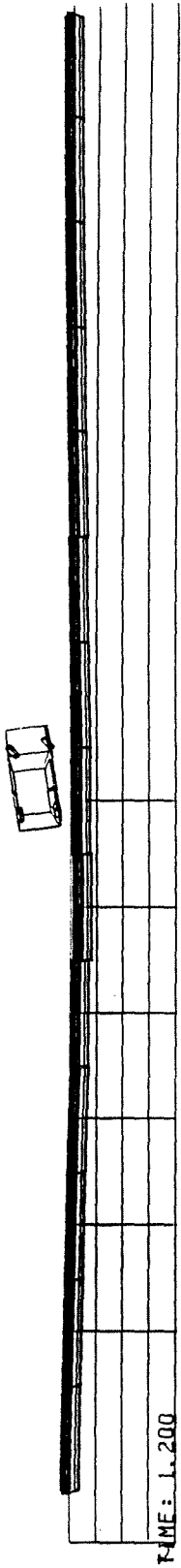


TIME: 0.000

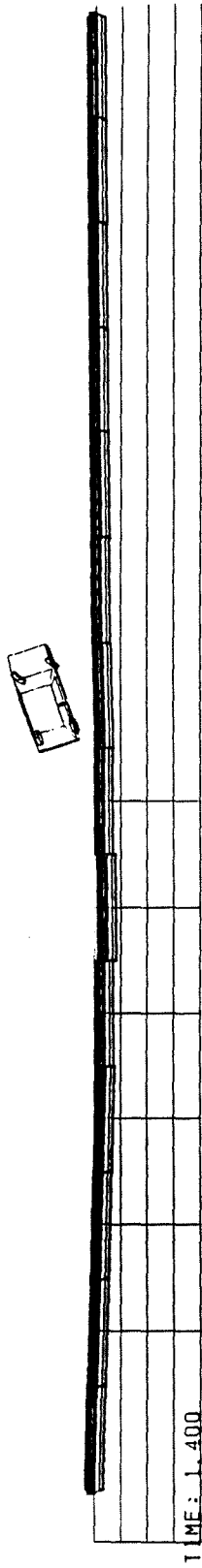


Afbeelding II.26. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 20 grd.).

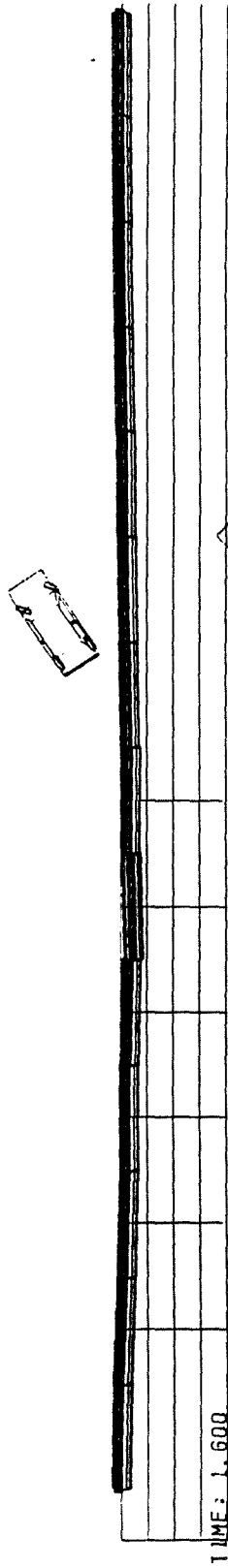
TIME: 1.000



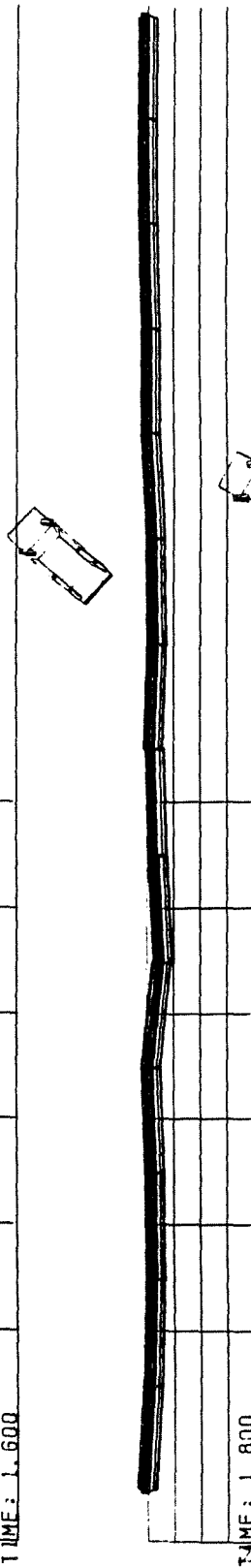
TIME: 1.200



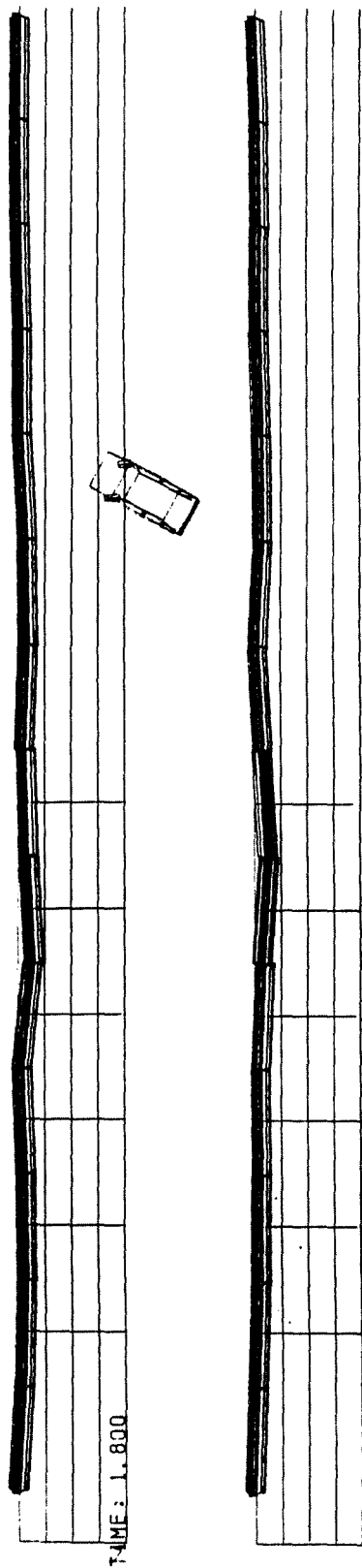
TIME: 1.400



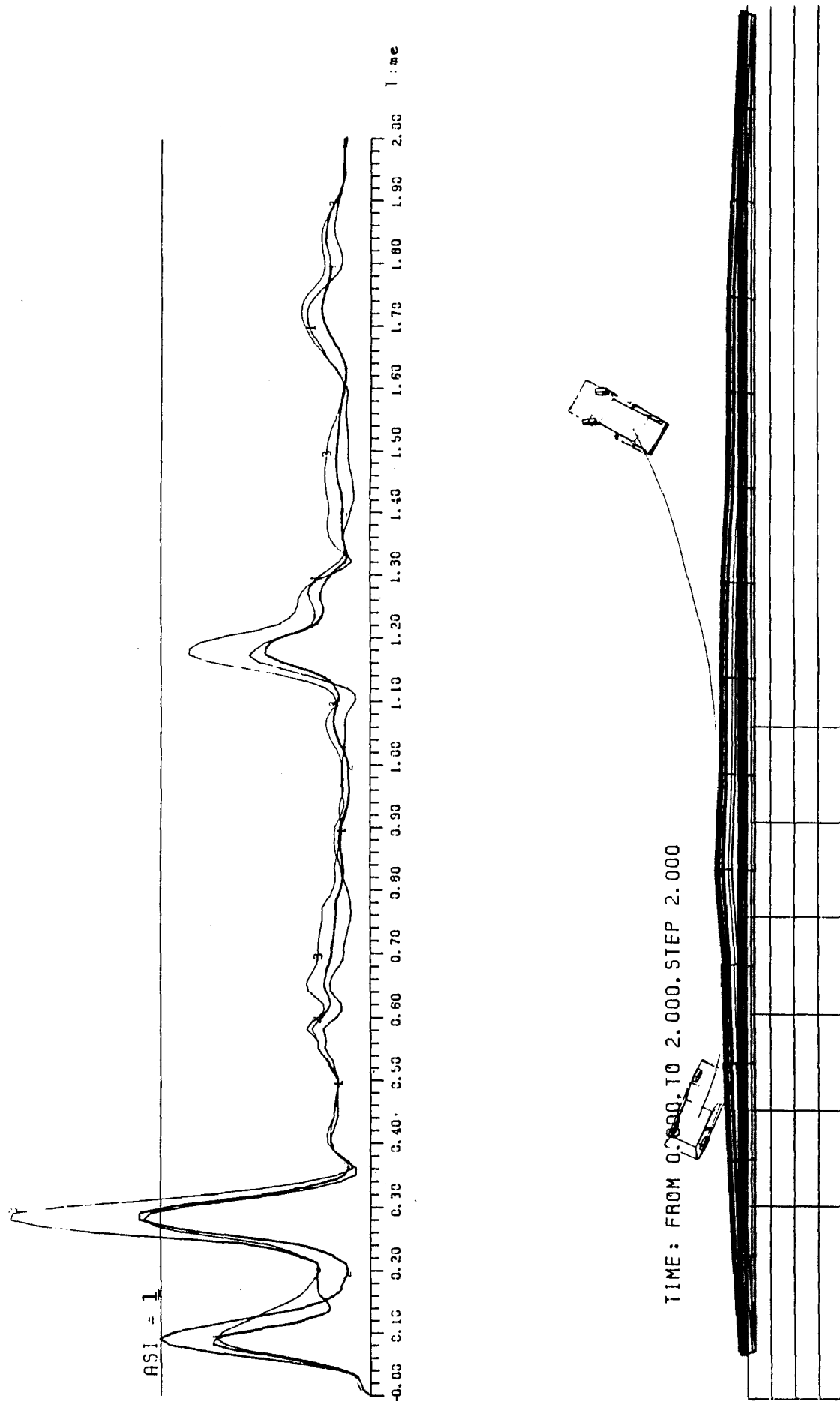
TIME: 1.600



TIME: 1.800

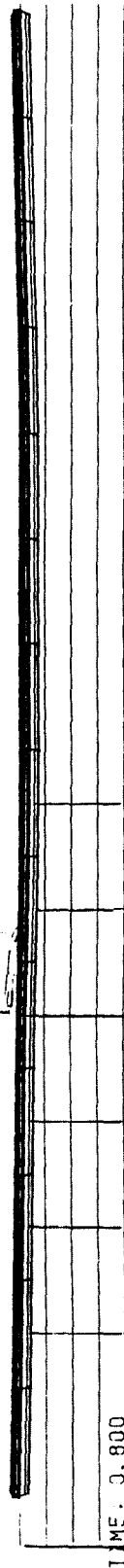
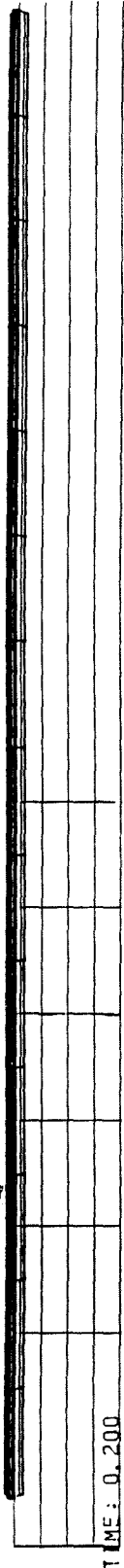


Afbeelding II.27. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 20 grd.).



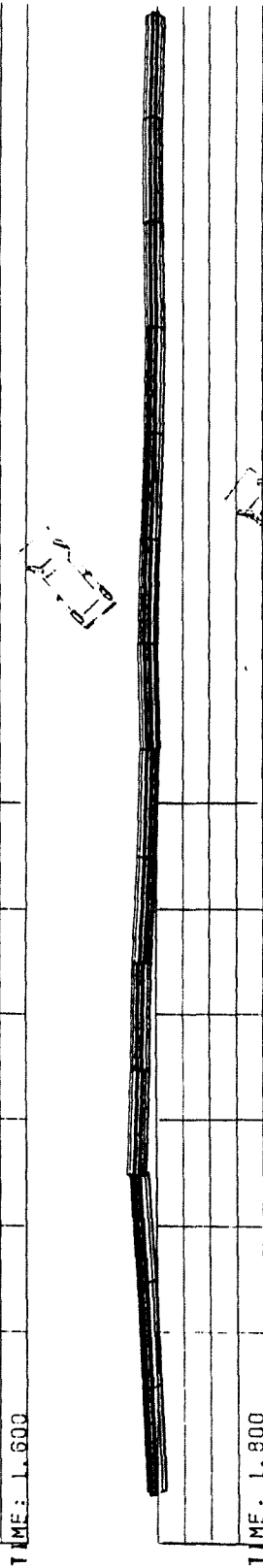
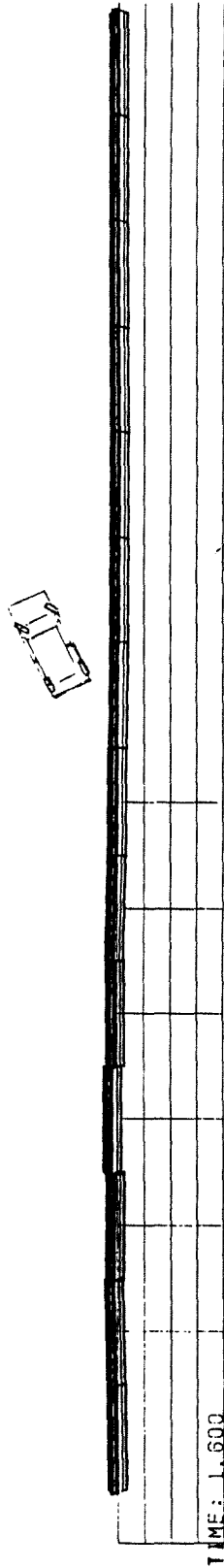
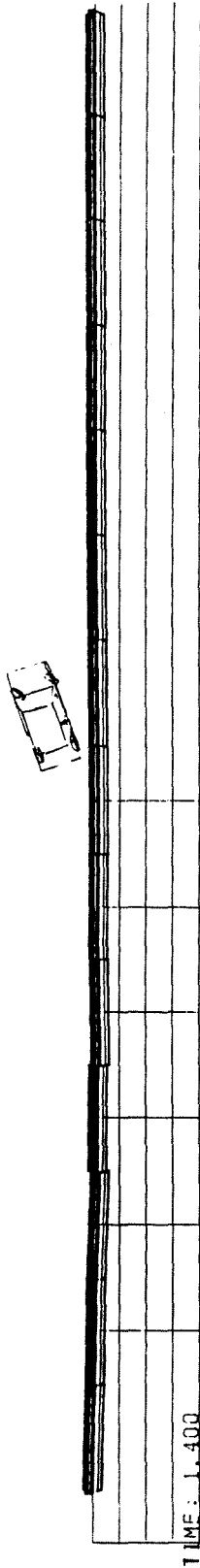
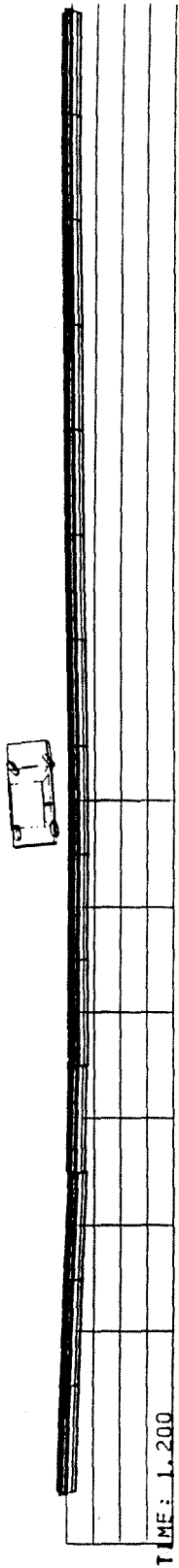
Afbeelding II.28. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), passagier links achter (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 24 grd.).

TIME: 0.000



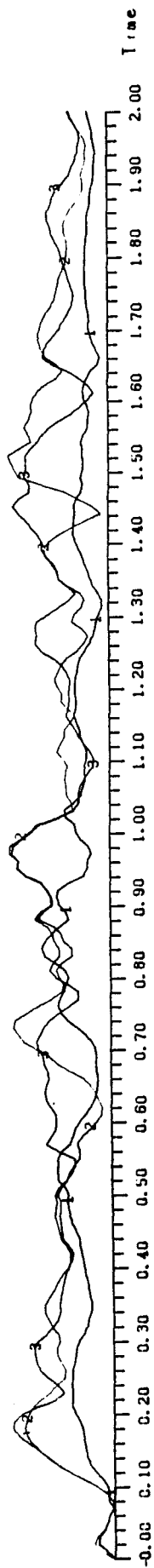
Afbeelding II.29. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 24 grd.).

TIME: 1.000

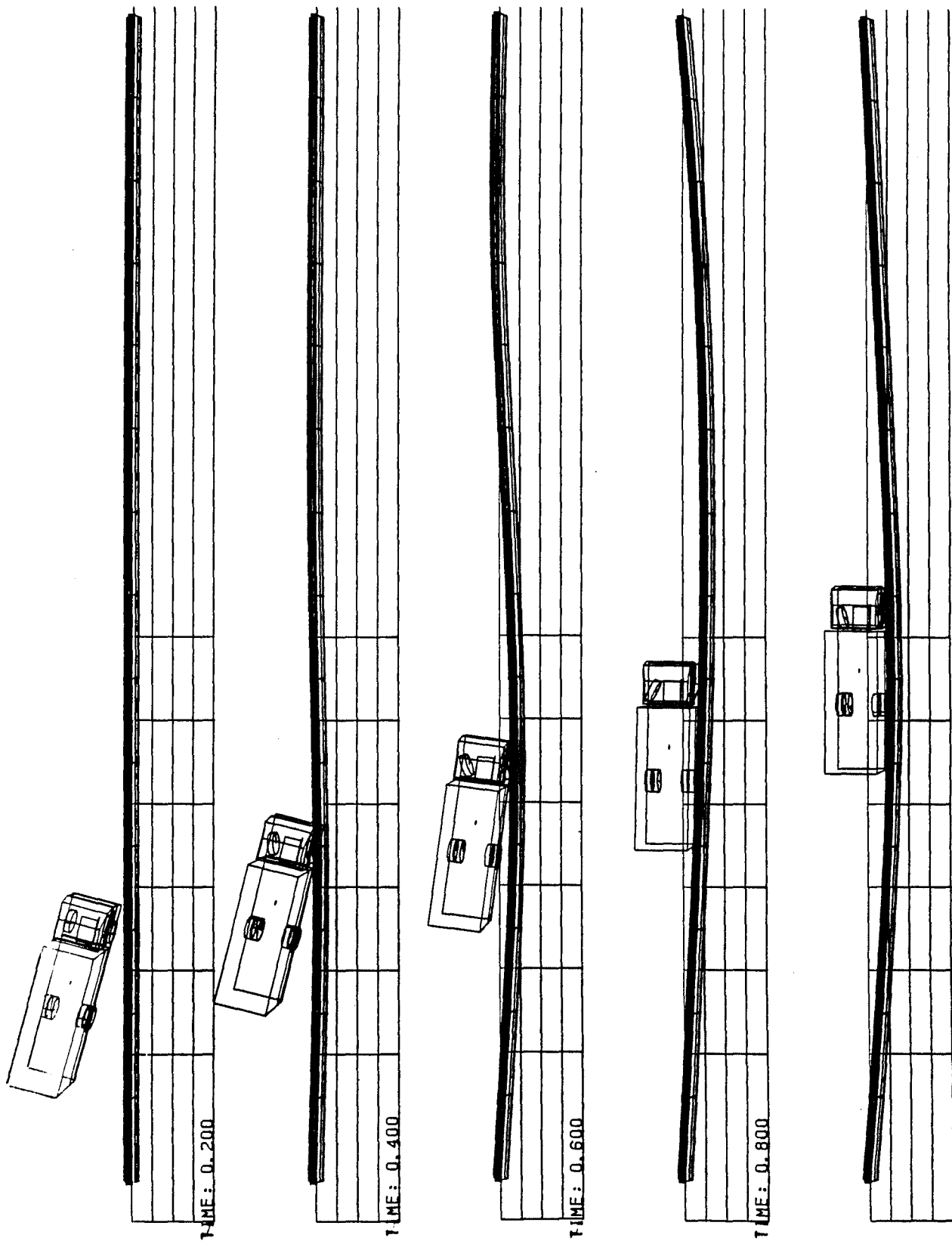


Afbeelding II.30. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (VW Golf; 70 km/uur; 24 grd.).

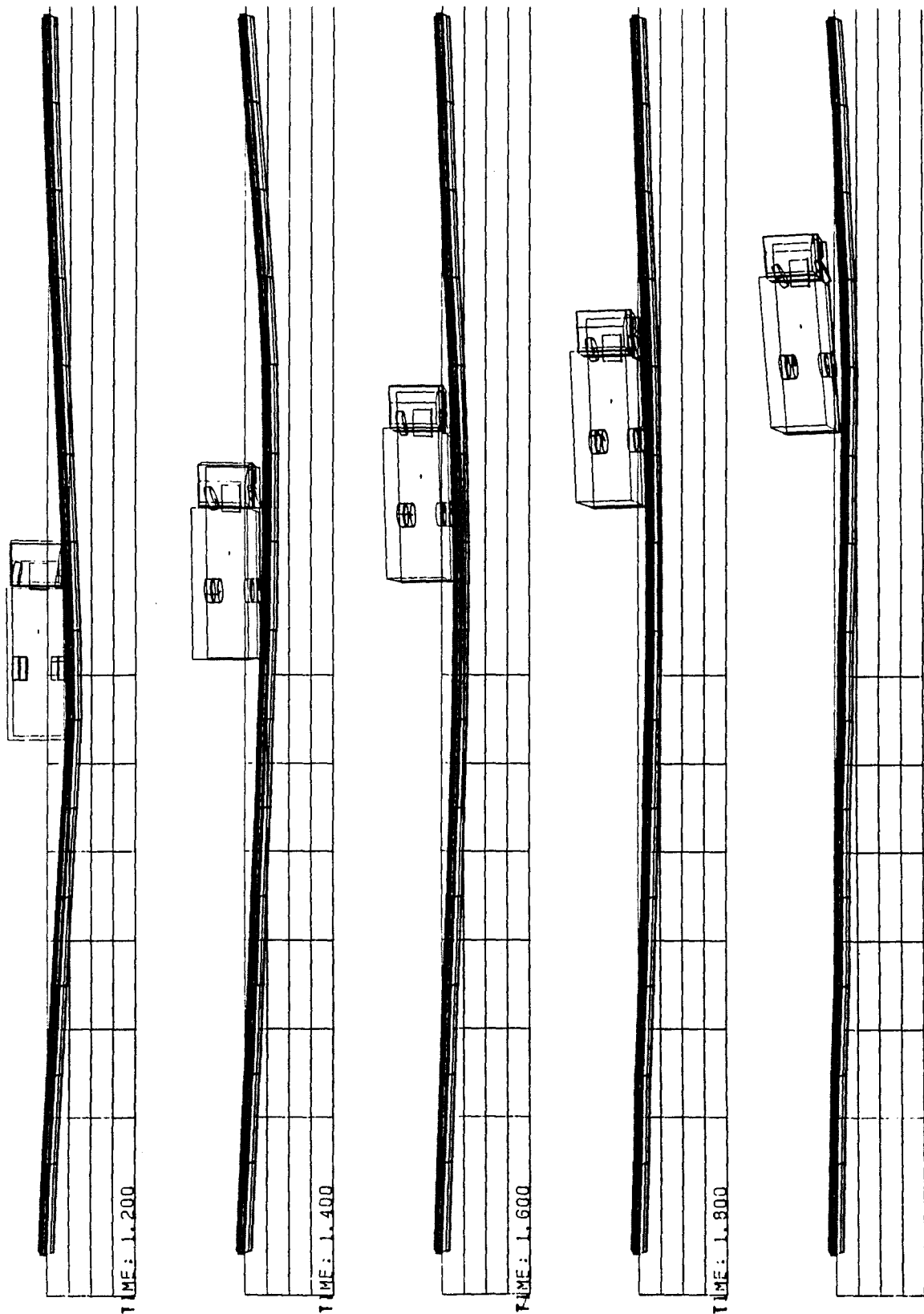
ASI = 1



Afbeelding II.31. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grad.).

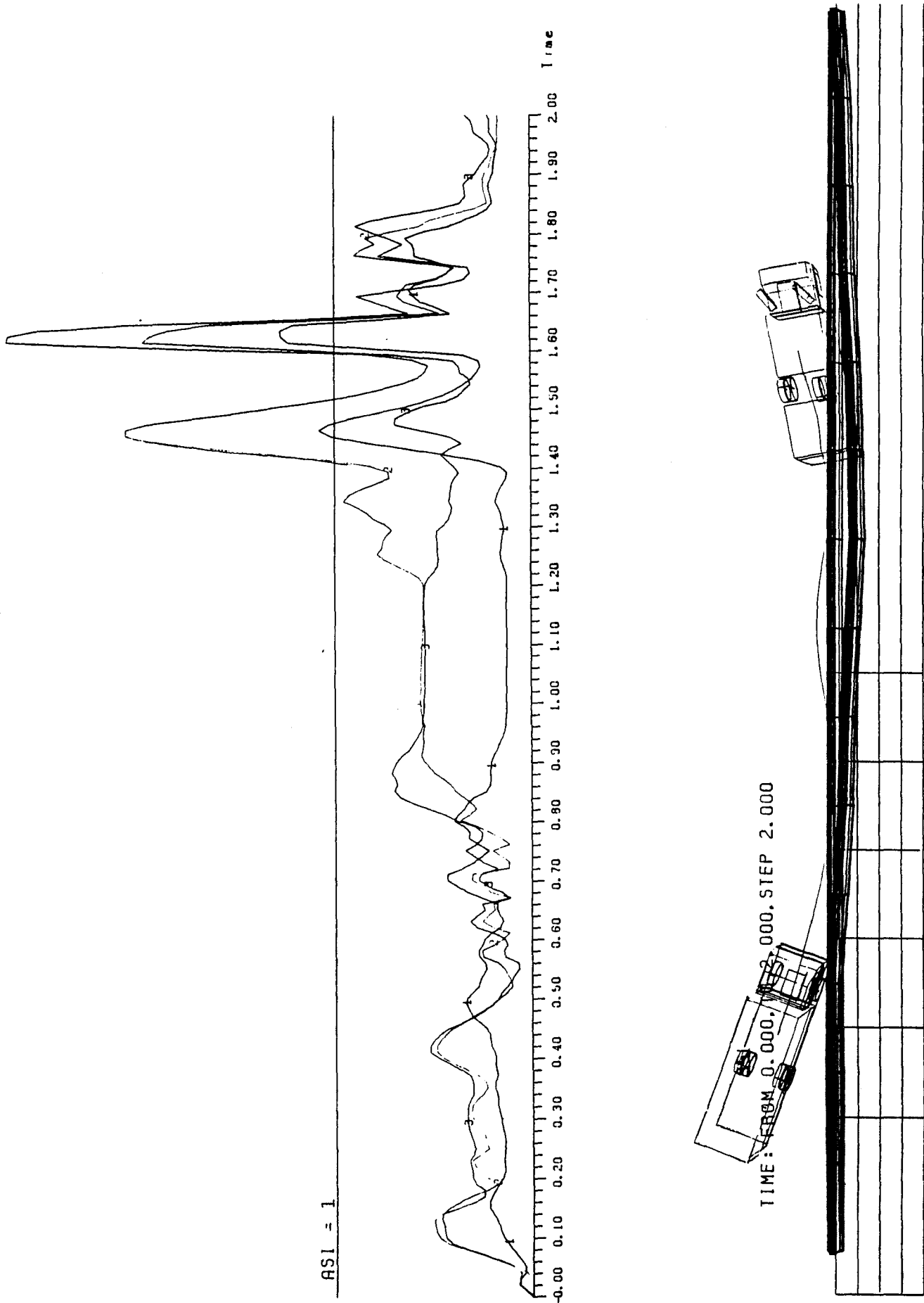


Afbeelding II.32. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grad.).

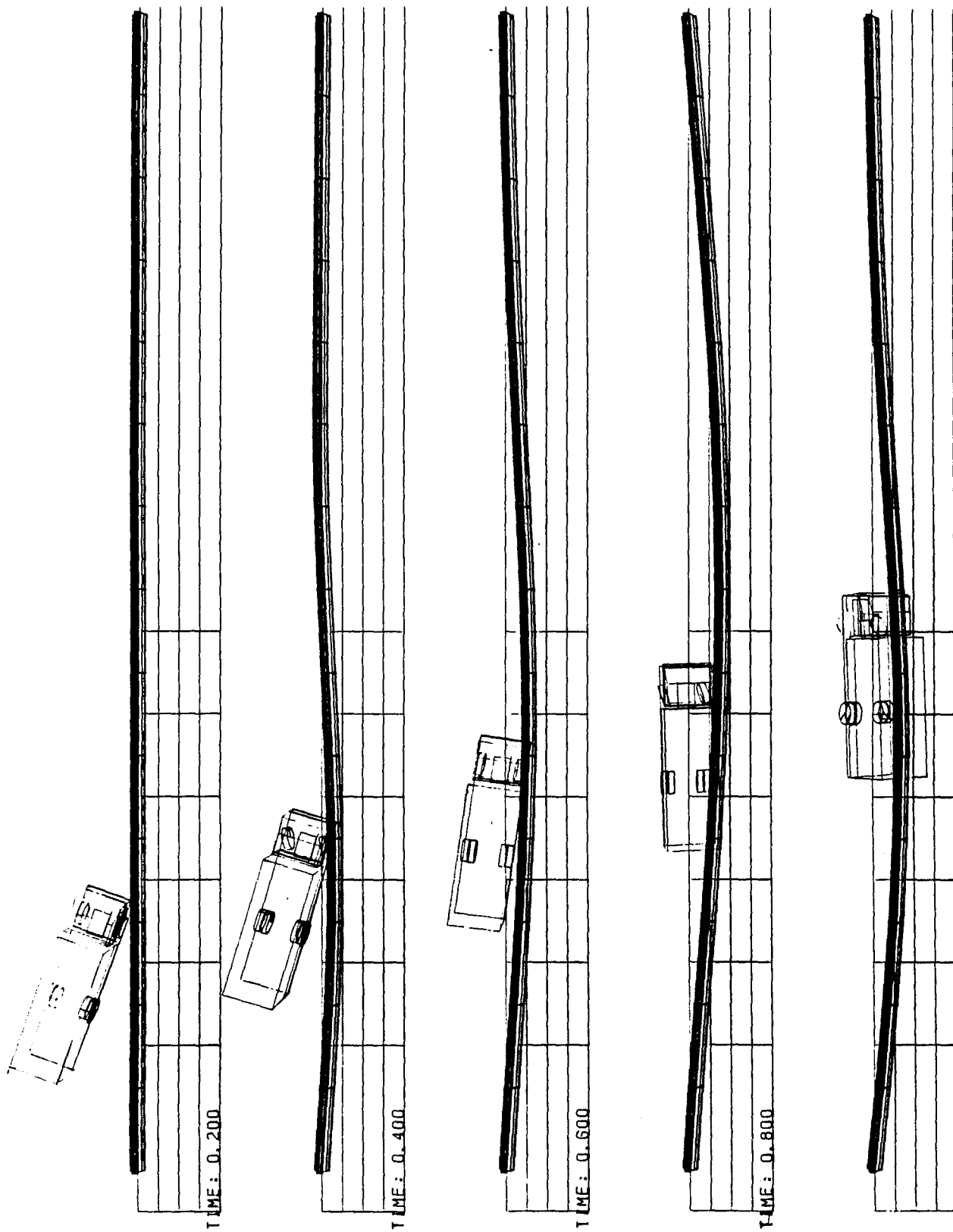


Afbeelding II.33. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 15 grd.).

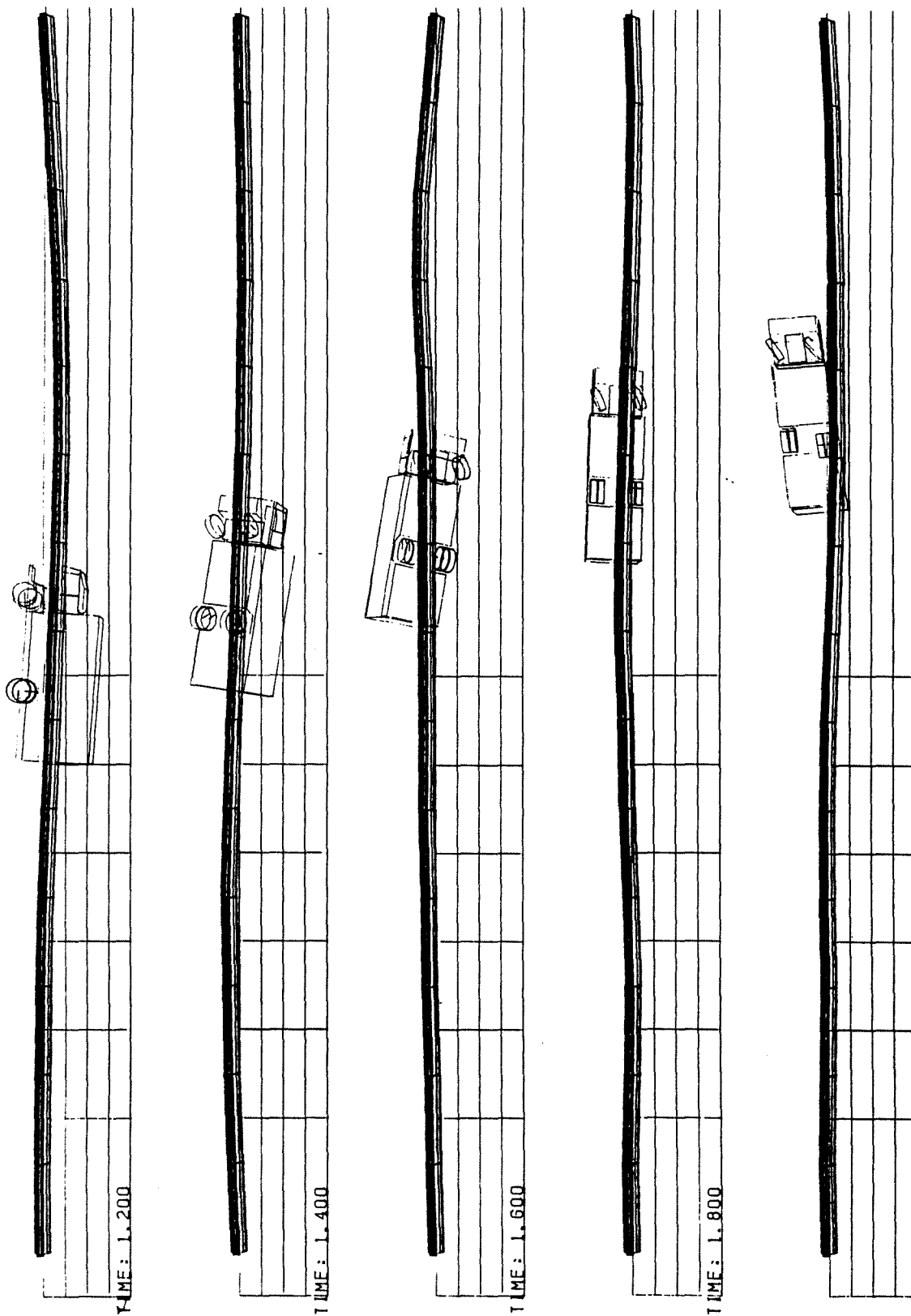




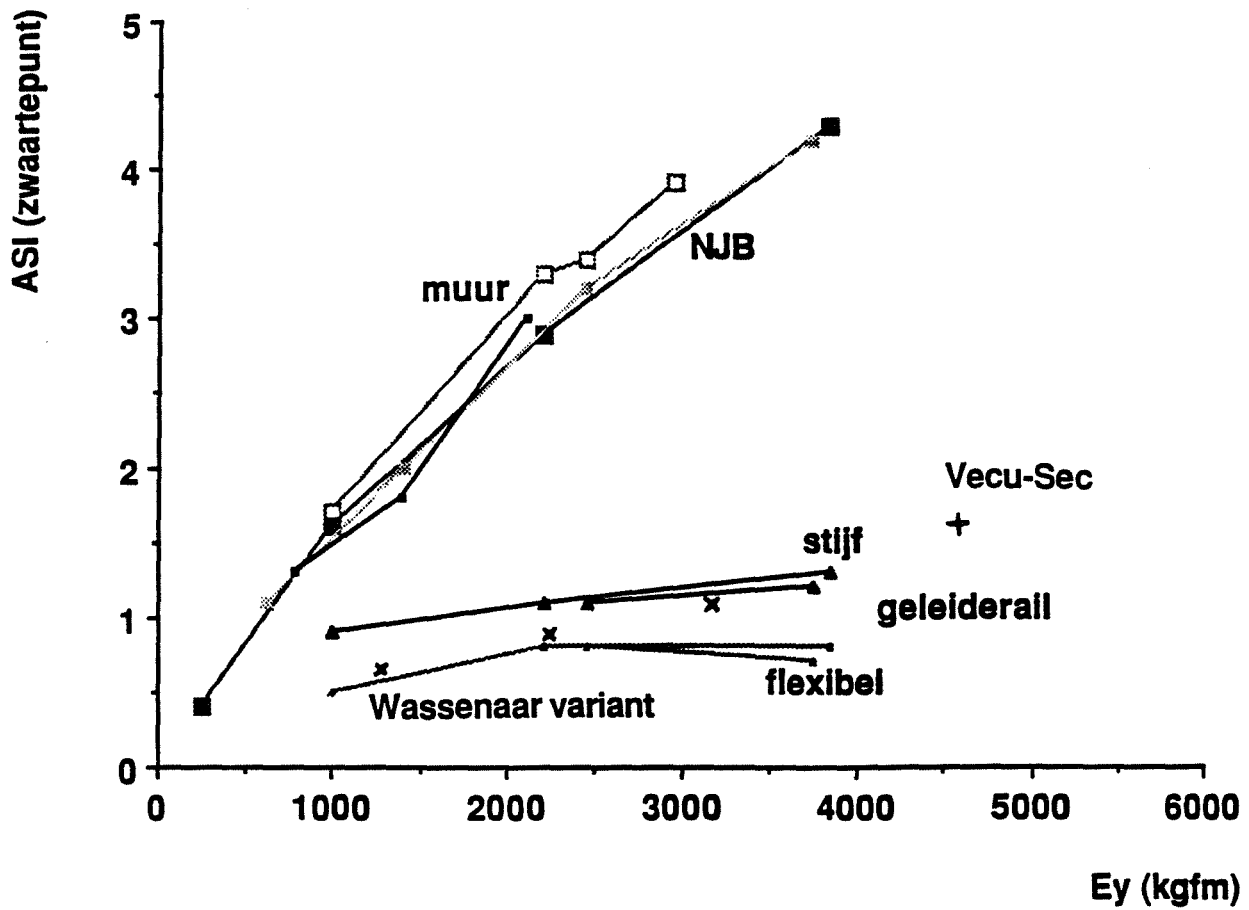
Afbeelding II.34. ASI-waarden van zwaartepunt voertuig (1), bestuurder (2), bijrijder (3) en baan zwaartepunt voertuig bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).



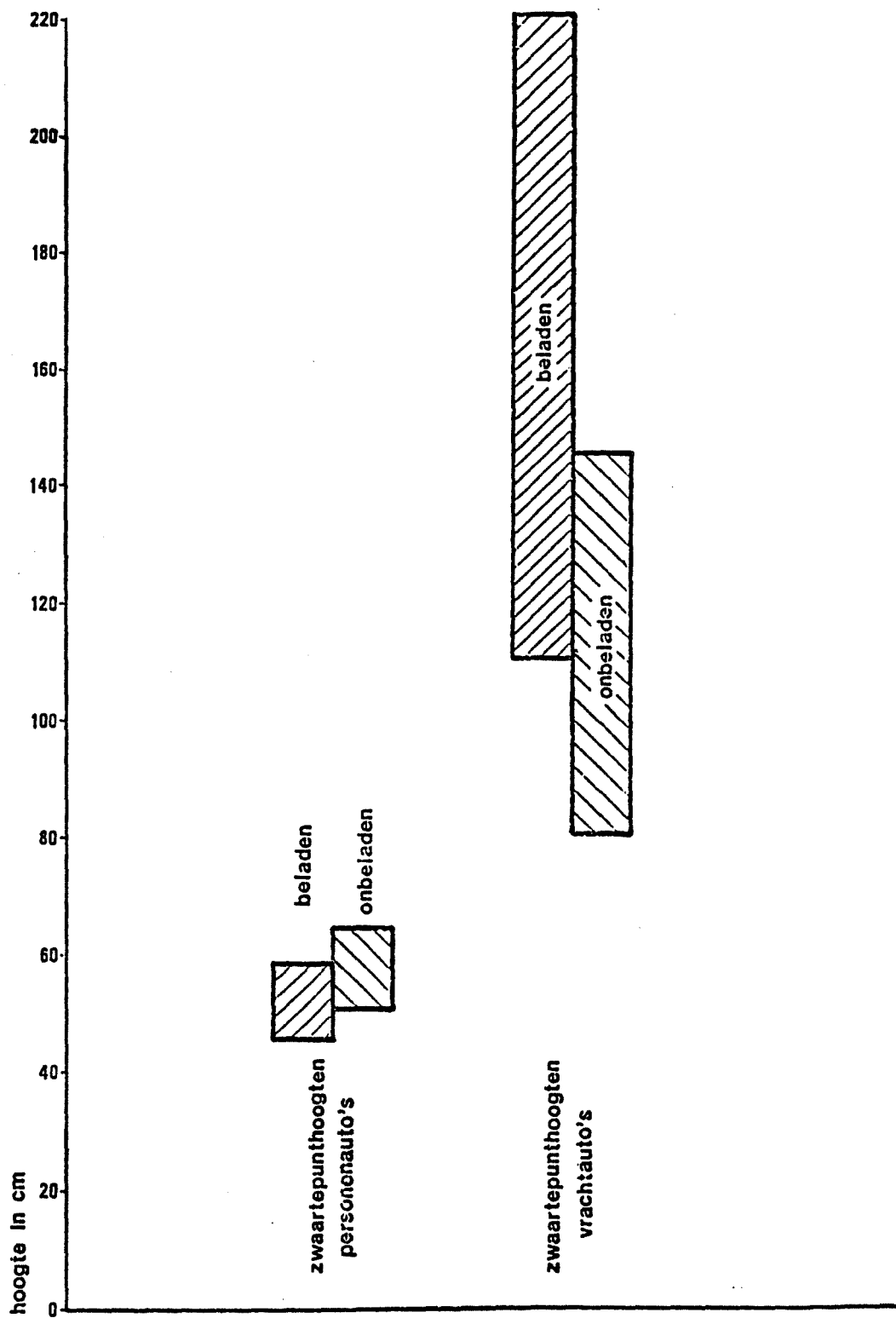
Afbeelding II.35. Verloop aanrijding per 0,2 seconde bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).



Afbeelding II.36. Verloop aanrijding per 0,2 seconde, vervolg, bij Wassenaar-variant Vecu-Sec zonder speling (vrachtauto; 70 km/uur; 20 grd.).



Afbeelding II.37. Vergelijking met gelijksoortige geleidesystemen.



Afbeelding II.38. Ligging zwaartepunthoogten van personenauto's en vrachtauto's.



TABELLEN II.1 T/M II.5

Tabel II.1. Uitgevoerde proeven.

Tabel II.2. Proefresultaten.

Tabel II.3. Simulatieresultaten Vecu-Sec-constructie zonder speling.

Tabel II.4. Simulatieresultaten Vecu-Sec-constructie met speling.

Tabel II.5. Simulatieresultaten Wassenaar variant Vecu-Sec-constructie zonder speling.

Testvoertuig	Massa kg	Inrijcondities		Ey kgfm	Constructie	
		km/uur	grd		lengte m	verankerd begin/einde
VW Golf	990	103	25	7400	56	ja
Opel Kadett	975	105	20	4950	56	ja
Mercedes 1419	10200	69	20	22300	56	ja
MAN	10100	72	15	13794	56	ja

Tabel II.1. Uitgevoerde proeven.

Testvoertuig	Uitrij- hoek grd	ASI zwpt	Constructie		Opmerking		
			uitbuiging dyn	stat cm	speling verbruikt voet/rail mm	mm	
VW Golf	11	1,67	132	125	34	0	1
Opel Kadett	10	1,69	116*	110	22	0	2
Mercedes 1419	--	0,58	167	111	18	9	3
MAN	--	0,37	195	154	31	40	4

1. Het voertuig heeft op het moment van botsen een gierhoek van 12 graden naar de constructie toe.
2. Geen.
3. Het voertuig rijdt over de constructie heen.
4. Het voertuig komt op de constructie maar overschrijdt de constructie niet.

Tabel II.2. Proefresultaten.



Test-voertuig type km/u/grd	Voertuig							Constructie		
	uitrij- snelh. km/uur	snelh. versch km/uur	roll- hoek grd	pitch- hoek grd	uitrijhoek vrtg grd	snelh grd	ASI-waarden zw.pt best	pas	dynamische uitbuiging cm	
VW Golf 100/20	85	15	-21/+9	+6/-18	-8	+2	1,59	1,65	2,61	60
Merc 1419 70/15	61	9	+7/-1	+1/-1	+4	+6	0,16	0,56	0,54	136
Merc 1419 70/20	56	14	+8/-1	+1/-1	+7	+9	0,40	0,68	0,68	163

Tabel II.3. Simulatieresultaten Vecu-Sec-constructie zonder speling.

Test-voertuig type km/u/grd	Voertuig							Constructie		
	uitrij- snelh. km/uur	snelh. versch km/uur	roll- hoek grd	pitch- hoek grd	uitrijhoek vrtg grd	snelh grd	ASI-waarden zw.pt best	pas	dynamische uitbuiging cm	
VW Golf 100/20	84	16	-15/+9	+7/-13	+7	+2	1,24	1,26	2,00	90
Merc 1419 70/15	60	10	+3/0	+1/-1	+9	+6	0,20	0,31	0,31	171
Merc 1419 70/20	57	13	+6/0	+1/-1	+8	+8	0,38	0,72	0,72	194

Tabel II.4. Simulatieresultaten Vecu-Sec-constructie met speling.

Test-voertuig type km/u/grd	Voertuig						ASI-waarden			Constructie dynamische uitbuiging cm
	uitrij- snelh km/uur	snelh. versch km/uur	roll- hoek grd	pitch- hoek grd	uitrijhoek vrtg grd	snelh grd	zw.pt	best	pas	
VW Golf 70/15	56	14	+5/-7	+5/-9	+8 / +8		0,64	0,68	1,08	26
VW Golf 70/20	58	12	-3/+13	+7/-11	+2 / +5		0,86	0,88	1,38	39
VW Golf 70/24	55	15	-4/+8	+8/-16	+1 / +5		1,08	1,10	1,72	50
Merc 1419 70/15	62	8	+10/ 0	+1/-1	+3 / +6		0,28	0,41	0,42	141
Merc 1419 70/20	----- voertuig rolt over de constructie -----									

Tabel II.5. Simulatieresultaten Wassenaar-variant Vecu-Sec-constructie zonder speling.

## BIJLAGE

### HET ASI-CRITERIUM

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

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

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

De formule voor de ASI luidt:

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

long = longitudinaal

lat = lateraal

vert = verticaal

index a= acceptabel

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

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

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

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

#### LITERATUUR

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