

MATHEMATISCHE SIMULATIES VAN FLANKBOTSINGEN VAN PERSONENAUTO'S MET FIETSERS

Ontwikkeling van een bij dergelijke botsingen 'ideaal' autofront

R-92-24

Ir. J. van der Sluis & ir. L.T.B. van Kampen

Leidschendam, 1992

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

In opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde zijn door de SWOV simulaties uitgevoerd van flankbotsingen van personenauto's met fietsers. Het doel van de simulaties is het vaststellen van de contouren (vorm en stijfheid) van een bij dergelijke botsingen 'ideaal' autofront. Zo'n autofront zou bij flankbotsingen met fietsers een zo gering mogelijke letselskans moeten bieden.

De simulaties zijn uitgevoerd met VEDYAC, het computerprogramma van de SWOV. Voor dit specifieke doel zijn drie modellen ontwikkeld: een fietsermodel, een fietsmodel en een autofrontmodel. Verificatie van de modellen heeft plaatsgevonden op basis van gegevens van experimentele fietsbotsingen, eerder uitgevoerd door het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO. Bij de feitelijke simulaties werd eerst een standaard botsing tegen een fiets bepaald waarmee de resultaten van de overige simulaties werden vergeleken.

De standaardsimulatie was een flankbotsing waarbij de fiets met 15 km/uur en de auto met 30 km/uur reed. Voor het bepalen van de contouren van een ideaal autofront werd vervolgens de motorkaphoek δ gevarieerd. Het resultaat van deze simulaties geeft aan dat een steil front voor wat betreft de hoofdvertraging gunstig is. Met toenemende motorkaphoek neemt echter de maximale borstvertraging toe.

Aanbevolen wordt bots-experimenten uit te voeren met een steil front en de resultaten daarvan te vergelijken met die van een 'normaal' front.

ABSTRACT

MATHEMATICAL SIMULATIONS OF SIDE COLLISIONS OF CARS AGAINST BICYCLISTS

The Dutch Ministry of Transport has commissioned the Institute for Road Safety Research SWOV to carry out a simulation study of side collisions of cars against bicyclists. Aim of the study is to establish a description of an ideal car front in terms of shape and stiffness. An ideal car front will cause minimal harm in case of side collisions with bicyclists.

SWOV used its computer programme VEDYAC for this purpose, after developing three specific models: a bicyclist model, a bicycle model and a car front model. These models were validated using data of experimental collisions from TNO Road Vehicles Research Institute.

To evaluate the results of the actual simulations, a standard simulation was carried out. This standard simulation was a bicycle side collision, in which the bicycle drove with 15 km/h and the car with 30 km/h. The car front was the standard developed and validated in the first part of the study. In the actual simulation the bonnet angle δ was varied from approx. 10° up to 90°. The last case represented a totally flat front end.

Results of the simulation study indicate that the ideal front end should be high (δ between 75° and 90°) if the reduction of head acceleration is concerned. Chest acceleration increases with increasing δ , but this is considered of less importance compared with the reduction of head acceleration. It is recommended to carry out collision tests with a simulated car front end that represents a high front end.

INHOUD

1. Inleiding
2. Achtergrond en probleemschets
3. Werkwijze
4. Modelbouw en verificatie
5. Parameterkeuze ten behoeve van de simulaties
6. Uitvoering en resultaten van de simulaties
7. Analyse
8. Discussie
9. Conclusies en aanbevelingen

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 21

1. INLEIDING

Het hier behandelde onderwerp maakt onderdeel uit van "Veilige fiets en letselpreventie", een serie onderzoeken die vallen onder het Masterplan Fiets. Het project is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde.

Doel van dit project is het door middel van mathematische simulaties van flankbotsingen van personenauto's tegen fietsen vaststellen van de eigenschappen van een ideaal autofront ter verbetering van de botsveiligheid van fietsers. Op de omschrijving van het begrip "ideaal" wordt in het volgende hoofdstuk nader ingegaan.

Eerst volgt een achtergrondschematische van het botsveiligheidsprobleem van fietsers en voetgangers en wordt het simulatieproject in zijn context geplaatst. Gezien het bijzondere verloop van het project is gekozen voor een beschrijving van de gang van zaken in het Hoofdstuk 3 "Werkwijze".

Vervolgens wordt de inhoud besproken in de volgende hoofdstukken:

- modelbouw en verificatie
- parameterkeuze ten behoeve van simulaties
- uitvoering en resultaten van de simulaties
- analyse
- discussie

Het rapport wordt afgesloten met conclusies betreffende het feitelijke beoogde ideale autofront.

De resultaten van de simulaties zijn opgenomen in de vorm van afbeeldingen.

In een afzonderlijk rapport: "Ontwikkeling en verificatie van het VEDYAC-model voor het simuleren van flankbotsingen van personenauto's met fietsers (Van der Sluis, 1992) wordt apart ingegaan op de voor dit simulatieonderzoek uitgevoerde voorbereidingsactiviteiten.

2. ACHTERGROND EN PROBLEEMSCHETS

De botsveiligheid van fietsers en voetgangers in relatie tot botsingen met personenauto's is het onderwerp geweest van diverse studies (o.a. Ashton & Mackay, 1983; Otte, 1989). Als gevolg van deze studies en de aandacht die het onderwerp ook bij beleid en industrie heeft gekregen, is thans sprake van klimaat waarin mogelijkheden voor maatregelen aanwezig zijn. Het hoofdprobleem van de betreffende groepen langzaam verkeer is hun kwetsbaarheid, hun gebrek aan mogelijkheden om zichzelf tegen letsel te beschermen. Dit staat in scherpe tegenstelling tot bijvoorbeeld auto-inzittenden die zowel door de structuur van hun voertuig als door direct op het lichaam gedragen beveiligingsmiddelen tegen de gevolgen van botsingen beveiligd zijn.

Uit analyses van dit probleem blijkt dat fietsers en voetgangers vooral letsel aan het hoofd en de benen oplopen (Van Kampen, 1991). Een voor de hand liggende beveiliging tegen hoofdletsel is het dragen van een helm. Door gebrek aan maatschappelijke acceptatie is algemene toepassing van helmen voor fietsers een onderwerp waaraan nog veel zorg zal moeten worden besteed. Voor voetgangers lijkt dit middel nog veel minder bespreekbaar. Voor de bescherming van benen is geen praktisch bruikbaar middel voorhanden. Er is daarom ook naar andere oplossingen gezocht. Gezien het feit dat personenauto's bij het merendeel van de ernstige botsingen met langzaam verkeer zijn betrokken, is één van de mogelijke oplossingen het botsveiliger maken van personenauto's (Huijbers, 1984). Het gaat hierbij in de eerste plaats om het autofront.

Uit onderzoek is gebleken dat het aanpassen van het front van auto's een gunstige invloed op de afloop van die botsingen heeft (Janssen et al, 1990). Deze kennis heeft er mede toe geleid dat de bestaande internationale voertuigreglementering op dit punt zal worden bijgesteld. Dat houdt in dat er een Europese richtlijn wordt ontwikkeld die eisen stelt aan de bots-eigenschappen van het autofront.

Daarnaast heeft het zin nader onderzoek te verrichten naar verdere verbetering van het autofront omdat:

- De EEG-ontwikkelingen primair op voetgangers zijn gericht, waardoor een deel van het probleem dat fietsers ondergaan vooralsnog onderbelicht blijft. Dat betreft met name het feit dat fietsers verder naar achteren gelegen delen van het autofront raken dan voetgangers.
- De EEG-richtlijn stelt minimum-eisen, waaraan alle nieuwe auto's moeten voldoen. Het zijn tevens compromissen tussen eisen die uit het oogpunt van

botsveiligheid van voetgangers en uit andere oogmerken gesteld worden. Voor de afloop van botsingen belangrijke elementen als vorm en stijfheid worden daarin nagenoeg niet geregeld.

Toen in 1990 de mogelijkheid ontstond binnen het Masterplan Fiets, een project van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ook botsveiligheids-onderzoek onder te brengen, heeft de SWOV een deel van haar voorgenomen activiteiten hiervoor geschikt gemaakt.

Zonder het belang te ontkennen van een EEG-richtlijn, als eerste gemeenschappelijke stap op weg naar internationale verbetering, werd het nuttig geacht de ontwikkeling van het voertuigfront ook langs andere weg te beïnvloeden, waarin het nationale belang van Nederland (fietsland) meer centraal stond.

Er werden daartoe twee series onderzoeken opgevoerd:

- Onderzoek naar de botsveiligheid van bestaande autofronten, vanuit de veronderstelling dat eventuele verschillen in botsveiligheid een aanwijzing zouden vormen voor mogelijke verbeteringen.
- Onderzoek naar de ideale vormgeving van autofronten, vanuit de veronderstelling dat de huidige vormgeving niet noodzakelijkerwijs de beste is uit het oogpunt van de veiligheid van fietser en voetgangers. Beoogd wordt bij dit onderzoek ook de industrie te betrekken.

Eerstgenoemde serie onderzoeken zijn inmiddels afgerond (Schoon, 1991 en 1992) en zullen in dit rapport betrokken worden bij de discussie van simulatieresultaten.

Van de tweede serie onderzoeken is het onderhavige het eerst uitgevoerde. Daarbij is aansluiting gezocht bij resultaten van reeds eerder door IW-TNO uitgevoerde experimentele en simulatie-activiteiten, teneinde mede de internationale ontwikkelingen te blijven volgen.

Het betreffende project wordt uitgevoerd met VEDYAC, een mathematisch model ontwikkeld is voor het simuleren van de meest uiteenlopende bewegingen en botsingen van lichamen. VEDYAC wordt bij uitstek geschikt geacht om de voor het doel noodzakelijke modeldelen (fiets, fietser en autofront) te ontwikkelen en in een flexibel simulatieschema toe te passen. De toepassing is primair gericht op vorm- en stijfheidsverandering van het autofront. Als tweede project in de serie staat een experimenteel onderzoek op stapel waarin de simulatie-uitkomsten dienen te worden omgezet in een vorm van praktijkbeproeving. Daarbij wordt ook de industrie betrokken teneinde

meer direct dan via richtlijnen invloed op de constructieve ontwikkeling van autofronten uit te oefenen. Het laatste deel uit deze serie onderzoeken beoogt een evaluatie te geven van wat uit ideaal oogpunt en praktische mogelijkheden een botsveilig autofront genoemd mag worden.

Bij genoemde drie onderzoeken staat de botsveiligheid van fietsers centraal, gezien het onderbrengen in het Masterplan Fiets; echter zal daarbij het belang van voetgangers niet uit het oog worden verloren.

In bovenstaande is aangegeven dat gezien de doelstelling van het project (het ontwikkelen van de contouren van een ideaal autofront) in eerste instantie is gekozen voor simulatie-onderzoek. Juist via dit medium zijn de contourwijzigingen eenvoudig aan te brengen als eenmaal de modelbouw van het autofront is gerealiseerd en geverifieerd.

De keuze van het woord 'ideaal' is op de volgende elementen gebaseerd: In de eerste plaats is het de bedoeling te zoeken naar vormgeving die beter voldoet dan de huidige; in de tweede plaats gaat het om vormgeving die geheel kan los staan van de gebruikelijke. Ideaal betekent daarom nog niet dat een gevonden resultaat praktisch toepasbaar is. De eventuele haalbaarheid van een ideaal autofront komt aan de orde in de twee beoogde vervolgonderzoeken.

Wat betreft de beoordeling van het resultaat van de simulaties, vooral de vraag of de gevonden modelcontouren daadwerkelijk beter zijn dan het bestaande, dient gaandeweg het project een oplossing te worden gevonden. Op voorhand is alleen duidelijk dat een absolute beoordeling van simulatieresultaten, hetzij in termen van krachten, hetzij in termen van vertragingen, een discutabele aangelegenheid is.

3. WERKWIJZE

Het onderhavige project betreft een meerjarenonderzoek dat gestart is in oktober 1990. De activiteiten zijn verdeeld over twee contractperioden: 1990-1991 en 1991-1992. Dit rapport omvat het inhoudelijke verslag over beide perioden.

De eerste activiteiten (in 1990) betroffen het ontwikkelen van modellen voor fiets, fietser en autofront.

Via interne besprekingen werd vastgesteld op welke wijze de modellen zouden worden ontwikkeld; welke detailleringen van fiets, fietser en autofront zouden dienen te worden nagestreefd, gegeven het doel van de uiteindelijke simulaties: het vaststellen van de eigenschappen (vorm en stijfheid) van een ideaal autofront.

Hierbij werd aansluiting gezocht bij reeds eerder (door IW-TNO met MADYMO) uitgevoerde simulaties van botsingen tussen fietsers en auto's. Er werd een zeer globaal simulatieschema opgesteld, in termen van botsrichtingen, botstypen en snelheden.

Begonnen werd met het model van een fiets, waarvoor afmetingen en massa van een normale gebruikfiets (een herenmodel sportfiets) 'model' stonden. Een realistische vormgeving (met buizen en derhalve met open delen die beweging van de fietser door die open delen toestond) werd nagestreefd en gerealiseerd.

Uitgangspunt van het VEDYAC-fietsermodel is het MADYMO-fietsermodel geweest (Van Oorschot & Janssen, 1987). Genoemd MADYMO-fietsermodel is gebaseerd op de Amerikaanse 50-percentiel Part 572 Dummy.

Voor het autofront werd het model gekozen uit de door het IW-TNO uitgevoerde experimentele simulaties; dit met het oog op verificatie van de mathematische simulaties. De keuze van het juiste autofront zou eerst bij de eigenlijke simulaties een belangrijke rol gaan spelen omdat immers het doel van het project is te experimenteren met autofronten tot het meest ideale is gevonden.

Er is veel tijd besteed aan de interacties tussen de drie afzonderlijke modellen (fiets, fietser, autofront) bij toepassing in het VEDYAC-model.

De voordelen van het gebruik van het nieuwe VEDYAC2 zijn bij dit project:
- VEDYAC2 biedt de mogelijkheid om speling te definiëren in de stijfheids-

karacteristiek van verbindingen. Hierdoor kon het model van het heupgewricht en het kniegewricht vereenvoudigd worden. Deze vereenvoudiging maakte het fietsermodel inzichtelijker en beter hanteerbaar.

- De mogelijke contacten kunnen in VEDYAC2 veel nauwkeuriger gedefinieerd worden (groepen contactlichamen \longleftrightarrow groepen contactlichamen tegenover contactlichaam \longleftrightarrow contactlichaam). Gevolg van de nauwkeuriger omschrijving van de mogelijke contacten is een aanzienlijk kortere rekentijd bij het simuleren met VEDYAC2.
- Met VEDYAC2 kunnen er meer parameters in tabellen en grafieken worden uitgevoerd (contactkrachten, krachten op massa's). Hierdoor zijn modellen beter te verifiëren en kan een beter inzicht verkregen worden in het verloop van een simulatie.
- VEDYAC2 beschikt over betere animatiemogelijkheden. Animatie is niet alleen een krachtig hulpmiddel bij het ontwikkelen van modellen, maar ook tijdens verificatiewerkzaamheden geeft een animatie van het gesimuleerde snel inzicht in het verloop van de simulatie.

Besloten is de geplande simulaties met VEDYAC2 uit te voeren. Dit vereiste de nodige aanpassingswerkzaamheden. Hierna konden de verificatie-activiteiten worden uitgevoerd.

Voor de technische aspecten van bovenbedoelde modelontwikkeling alsmede van de verificatie-activiteiten wordt verwezen naar een afzonderlijk SWOV-rapport (Van der Sluis, 1992).

Nadat de verificatie-activiteiten waren afgerond, werd in overleg met de opdrachtgever een serie nadere afspraken gemaakt over de fasering (in drie fasen) en verdere tijdsafwikkeling van het project.

Eerste fase

In de eerste fase werd een serie (0-serie) simulaties uitgevoerd om te komen tot een standaardsimulatie, waarmee alle volgende simulaties vergeleken zouden kunnen worden. Bij het bepalen van de hoofdkenmerken van deze standaardsimulatie werd uitgegaan van de wetenschap dat in de praktijk het type flankbotsing (voorkant auto versus flank fietser) het meest frequent voorkomt (Schoon et al., 1992). Tevens werd overwogen dat gezien het doel van het project alleen die simulaties zinvol zijn waarbij de fietser daadwerkelijk de motorkap raakt. Dat hield in dat botsconfiguraties of

rijksnelheden van de fiets waarbij dit niet het geval zou zijn, moesten worden uitgesloten.

De 0-serie kende als variabele kenmerken:

- de botssnelheid van de auto (30, resp. 40 km/uur)
- de remming van de auto (geremd, resp. ongeremd)

en als vaste kenmerken:

- de rijksnelheid van de fiets (15 km/uur)
- de vorm van de autoneus (standaard verificatievorm)
- botstype: front auto tegen flank fietser
- fietser rechtopzittend

(Zie voor nadere uitleg van deze simulatieronde Hoofdstuk 5: Parameterkeuze ten behoeve van de simulaties).

Op grond van de simulatie-uitkomsten is de volgende keuze gemaakt: auto 30 km/uur ongeremd, fietser 15 km/uur.

Als uitgangspunt voor de vorm de autoneus is gekozen voor het front dat gebruikt is bij de verificatie van het model.

Tweede fase

Nadat de standaardsimulatie was bepaald, is er een aantal simulaties bepaald, waarbij zowel de vorm als de stijfheid van het front zijn gevarieerd. Dit betrof de centrale tweede fase van het onderzoek. Bij de keuze van de vormvariatie is aansluiting gezocht bij een hypothetisch ideale vorm namelijk een min of meer continu vloeiend verloop van laagste deel (bumper) tot de dakrand. Verondersteld werd dat bij zo'n verloop de afwijking van het lichaam van de fietser tegen het autofront het minst tot vertragingsspieken zou leiden. In deze opzet zou de voorruit als het ware deel moeten zijn van de vloeiende vormgeving; vandaar ook dat de stijfheid op dat punt diende te worden gevarieerd. In de praktijk zijn dergelijke autofronten bij diverse merken al beschikbaar onder de naam "space wagon". De vertaling van deze gedachte naar de mogelijkheden van de ontwikkelde modellen staat nader beschreven in Hoofdstuk 6: Uitvoering en resultaten van de simulaties.

Tevens is een keuze gemaakt uit de veelheid van te presenteren soorten grafieken (o.a. vertragingen en krachten).

Deze tweede-fasesimulaties vormen de kern van het uitgevoerde onderzoek.

In Hoofdstuk 6: Uitvoering en resultaten van de simulaties wordt daarvan verslag gedaan.

Derde fase

In een vroeg stadium is ook gedacht aan simulaties in een derde fase, welke bij gebleken beschikbare tijd zouden kunnen worden uitgevoerd. Hiertoe behoren simulaties van andere typen botsingen dan in de tweede fase toegepaste flankbotsing. Voorbeelden hiervan zijn de achteraanrijding en de botsing waarbij de fietser in de flank van de auto rijdt.

Tevens is daarbij genoemd een andere zithouding van de fietser (racepositie in plaats van rechtop).

Aan het einde van de tweede fase bleek de tijdruimte voor uitvoering van nadere simulaties nagenoeg geheel verdwenen, zodat van nadere activiteiten in de derde fase moest worden afgezien. Op de consequenties hiervan wordt nader ingegaan in Hoofdstuk 8: Discussie.

4. MODELBOUW EN VERIFICATIE

4.1. Het VEDYAC2-model voor het simuleren van flankbotsingen van personen- auto's met fietsers

Voor een uitgebreide beschrijving van het VEDYAC-model voor het simuleren van botsingen van auto's met fietsers wordt verwezen naar Van der Sluis (1992). Het daarin beschreven model is gemaakt voor een oude versie van VEDYAC en verschilt enigszins van het VEDYAC2-model dat gebruikt is bij het onderzoek naar het ideale autofront. De belangrijkste veranderingen bestaan uit een versimpeling van de modellering van het heup- en kniegewricht.

Het VEDYAC2-model voor het simuleren van botsingen van auto's met fietsers is opgedeeld in drie deelmodellen, het autofrontmodel, het fietsmodel en het fietsermodel.

In Afbeelding 1 is het autofrontmodel geplot. Het autofront-model is opgebouwd uit één puntmassa, vier wielen en een aantal contactvlakken.

Het fietsmodel, zie Afbeelding 2, is ook opgebouwd uit één puntmassa. De voorvork met voorwiel en stuur is dus niet apart gemodelleerd, maar zijn één star geheel met het frame. Voor het definiëren van de contactgeometrie zijn zowel contactcilinders als contactvlakken gebruikt.

Het fietsermodel, zie Afbeelding 3, is opgebouwd uit acht puntmassa's. De puntmassa's zitten aan elkaar vast met verbindingselementen. Het model is geplot met daarbij aangegeven de namen van de verschillende massa's. De namen worden gebruikt in de grafieken waarin later de simulatieresultaten gepresenteerd worden. Voor de contactgeometrie worden zowel contactcilinders als contactvlakken gebruikt.

4.2. De verificatie van het VEDYAC2-model

Het VEDYAC2-model voor het simuleren van zijdelingse botsingen van auto's tegen fietsers is geverifieerd met een aantal experimentele simulaties uitgevoerd bij IW-TNO (Janssen, 1987). Deze verificatie wordt eveneens beschreven in Van der Sluis (1992).

Het model is geverifieerd voor twee botsingen zoals aangegeven in Tabel 1.

Simulatie	Fietser [km/u]	Auto [km/u]
T0	0	30
T1	15	30

Tabel 1. Randvoorwaarden van de geverifieerde simulaties.

5. PARAMETERKEUZE TEN BEHOEVE VAN DE SIMULATIES

Het verloop van een zijdelingse botsing van een auto tegen een fietser wordt niet alleen bepaald door de vorm- en stijfheidsparameters van het autofront. Andere factoren die een rol spelen zijn:

- de snelheid van de auto
- de remvertraging van de auto
- de snelheid van de fiets
- de plaats van het eerste contact tussen autofront en fietser
- de zithouding van de fietser.

Genoemde factoren waren in de tweede fase geen onderwerp van studie, maar om de botsing te kunnen simuleren moet aan de betreffende parameters wel een waarde toegekend worden. Bij de keuze van de parameters hebben twee overwegingen een rol gespeeld. Ten eerste, hoe ziet de meest voorkomende botsing eruit en ten tweede, van welke botsing zijn de meeste gegevens bekend.

Voor de snelheid van de fiets is 15 km/uur genomen overeenkomstig de eerder door IW-TNO uitgevoerde experimentele simulaties. De plaats van het eerste contact is zodanig genomen dat het hoofd op de motorkap terecht komt. De zithouding van de fietser is als in de experimentele simulaties, 'tourhouding'.

Bij het bepalen van de snelheid en de remvertraging van het voertuig speelden beide overwegingen een rol. De meest voorkomende botsing is bij hogere snelheid van het voertuig dan de 30 km/uur bij de experimentele simulaties. De remvertraging van het voertuig die in werkelijkheid optreedt is, net als bij de experimentele simulaties, onbekend. Dit was de reden om vier simulaties, de zogenaamde 0-serie, uit te voeren om de invloed van de snelheid en de remming van het voertuig te onderzoeken.

De 0-serie simulaties zijn uitgevoerd met de geverifieerde VEDYAC2 dataset (Van der Sluis, 1992).

Bij deze simulaties zijn de snelheid en de remvertraging van het voertuig gevarieerd. De posities van de verschillende onderdelen op het moment, $t = 0,1$ seconde, van het eerste contact tussen fietser en voertuig was voor de vier simulaties gelijk (zie Afbeelding 4). In Tabel 2 is aangegeven met welke waarden er is gesimuleerd en in welke figuur de resultaten zijn weergegeven.

Simulatie	Snelh. voert. [km/u]	Remvert. [m/s ²]	Afbeelding
T1	30	5,9	Afbeelding 5
T2	30	0	Afbeelding 6
T3	40	5,9	Afbeelding 7
T4	40	0	Afbeelding 8

Tabel 2. De simulaties in de 0-serie.

De in Tabel 2 aangegeven Afbeeldingen bestaan uit twee onderdelen. Op de linker bladzijde bovenaan wordt een indruk gegeven van het verloop van de botsing door in één figuur de fiets, de fietser en het autofront te plotten op vijf verschillende tijdstippen. Op de linker bladzijde onderaan en op de rechter bladzijde staan in totaal zes diagrammen waarin een aantal grootheden zijn uitgezet als functie van de tijd:

- linker blz. links : hoekversnellingen [rad/s] in het globale assenstelsel van het hoofd als functie van de tijd [s]
- linker blz. rechts : versnellingen [g] van het hoofd in het locale assenstelsel als functie van de tijd [s]
- rechter blz. linksboven: contactkrachten [N] van het contactlichaam, waarmee het linker schouder wordt gemodelleerd, in het globale assenstelsel als functie van de tijd [s]
- rechter blz. rechtsboven: versnelling [g] van de ribbenkast in het locale assenstelsel als functie van de tijd [s]
- rechter blz. linksonder: versnelling [g] van de heup in het locale assenstelsel als functie van de tijd [s]
- rechter blz. rechtsonder: versnelling [g] van het linker bovenbeen in het locale assenstelsel als functie van de tijd [s]

Een vergelijking van de simulaties T1 met T2 en T3 met T4 geeft te zien dat de remvertraging van het voertuig nauwelijks invloed heeft op het verloop in de tijd en de maximale waarden van de in de grafieken gepresenteerde grootheden. Hierbij dient echter wel te worden aangetekend dat wel het voertuigsnelheidsverloop, maar niet de voertuigbewegingen rond de y-as

(dompen) door het ontwikkelde autofrontmodel worden gesimuleerd. Door dompen ontstaat in werkelijkheid een lichte verandering in de hoogte van de motorkap, alsmede een lichte verandering van de motorkaphoek. Met het oog op de aard van de voorgenomen simulaties (waarbij aanzienlijke vormvariëaties worden beoogd) is het relatief geringe dompeffect bij dit onderzoek als ondergeschikt beschouwd.

Uit de resultaten blijkt dat de snelheid van het voertuig wel invloed heeft op de uitkomst van de simulaties. Uit vergelijking van de simulaties T1 met T3 en T2 met T4 blijkt dat de hoekversnellingen van het hoofd en de versnellingen van de ribbenkast en de heup groter zijn bij voertuigsnelheid van 40 km/uur ten opzichte van de waarden gevonden bij voertuigsnelheid van 30 km/uur.

Doordat het model bij 40 km/uur nog instabiliteiten vertoonde, is besloten de voertuigsnelheid bij de volgende simulaties 30 km/uur te nemen. Een andere reden om voor 30 km/uur te kiezen was dat de experimentele simulaties en dus ook de verificatie van de dataset bij deze voertuigsnelheid zijn uitgevoerd.

Omdat de invloed van geremd of ongeremd binnen het model te verwaarlozen was, is gekozen voor een ongeremd voertuig in de standaard simulatie.

6. UITVOERING EN RESULTATEN SIMULATIES

Het bepalen van het ideale autofront met betrekking tot botsingen tussen auto's en fietsers is een complexe aangelegenheid. Er zijn oneindig veel vormen denkbaar, echter alle vormen onderzoeken op botsveiligheid is onmogelijk.

Gegeven de beschikbare simulatietijd, het feit dat rechte vlakken veel eenvoudiger te simuleren zijn dan gekromde, het feit dat het simulatieresultaat primair in verband moest worden gebracht met dat van de standaard simulatie, zodat niet een radicaal afwijkende vorm kon worden genomen, is gekozen voor het handhaven van de basisvorm van het autofront. De te benaderen ideaal geachte rondlopende vorm werd hierbij vertaald in een in meerdere stappen te variëren motorkaphoek (δ), waarbij de hoek gebruikt in de standaard simulatie ($\delta = 9,5^\circ$) als ondergrens werd beschouwd en een verticaal vlak ($\delta = 90^\circ$) als bovengrens.

Onderzocht is derhalve de invloed van de variatie van de motorkaphoek δ , zoals aangegeven in Afbeelding 1. In Tabel 3 zijn de motorkaphoeken gegeven waarmee simulaties zijn uitgevoerd.

Simulatie	δ [°]
T2	9.5
E1, E11, E21	30
E2, E12	45
E3, E13, E23	60
E4, E14, E24	75
E5, E15	90

Tabel 3. Motorkaphoek δ per simulatie

Na de simulaties E1 t/m E5 is gekeken naar de invloed van het aanwezig zijn van een bumper met de simulaties E11 t/m E15. In de reeds genoemde simulaties was de stijfheid over de hele motorkap constant. Dit is niet realistisch, in het bijzonder bij grotere motorkaphoeken. In het frontmodel van de simulaties E21, E23 en E24 is een voorruit gemodelleerd. In simulatie E21 heeft niet alleen een deel van de motorkap een grotere

stijfheid (ongeveer met een factor 4) gekregen, maar is ook de geometrie iets aangepast ten opzichte van de simulatie E1. Deze aanpassing houdt in dat er een lichte knik is aangebracht op de plaats waar de motorkap overgaat in de voorruit. Strikt genomen is daarmee simulatie E21 niet meer rechtstreeks vergelijkbaar met simulatie E1 doch de geometrieverandering is gering.

In E23 en E24 is alleen de stijfheid van een deel van de motorkap vier maal zo groot genomen en is de geometrie overeenkomstig de simulaties E3, resp. E4.

Voor alle simulaties gelden de volgende randvoorwaarden.

- snelheid autofront : 30 km/uur
- remvertraging autofront : 0 m/s²
- snelheid fietser : 15 km/uur

De resultaten van de simulaties E1 t/m E5 zijn opgenomen als Afbeeldingen 9 t/m 13, de resultaten van E11 t/m E15 als Afbeeldingen 14 t/m 18 en de resultaten van de simulaties E21, E23 en E24 staan respectievelijk in de Afbeeldingen 19 t/m 21. De opbouw van de figuren is overeenkomstig aan die behorende bij de simulaties uit de 0-serie.

7. ANALYSE

7.1. Invloed bumper

Tussen de resultaten van de simulaties E1 t/m E5 (Afbeeldingen 9 t/m 13) en de resultaten van de simulaties E11 t/m E15 (Afbeeldingen 14 t/m 18) treden geen grote verschillen op. Wanneer er geen bumper aanwezig is (E11 t/m E15), zijn de versnellingen van het bovenbeen iets lager.

7.2. Invloed motorkaphoek

Een onderlinge vergelijking van de simulaties E1 t/m E5 (Afbeeldingen 9 t/m 13) geeft duidelijk te zien dat de motorkaphoek invloed heeft op de resultaten. Naarmate de motorkaphoek toeneemt tot en met 75° , is er sprake van een afname van de maximale hoofdversnellingen (zowel de rotatieversnelling als de lineaire versnelling) terwijl die van de ribbenkast toemen. Het niveau van deze (stijgende) borstkasversnellingen blijft onder dat van de (dalende) hoofdversnellingen. Bij een motorkaphoek van 90° is de hoofdversnelling groter dan bij $\delta = 75^\circ$ en weer van dezelfde orde als bij $\delta = 60^\circ$.

Uit de Afbeeldingen 9 t/m 13 volgt dat het mechanisme van de botsing verandert naarmate de motorkaphoek toeneemt. De fietser draait sneller om de z-as. Blijkbaar geeft een snellere draaiing van de fietser lagere hoofdversnellingen en wordt een groter deel van de klap door het bovenlijf opgenomen. De resultante van de kracht die daarbij op het schouderdeel worden uitgeoefend, neemt overigens niet toe met toenemende motorkaphoek: terwijl de kracht in x-as richting (globale assenstelsel) duidelijk stijgt, neemt die in z-as richting even duidelijk af.

De maximale versnelling van het bovenbeen ondervindt weinig invloed van de toenemende motorkaphoek δ , terwijl de maximale heupversnelling duidelijk toeneemt met toenemende δ .

7.3. Invloed voorruit

De resultaten van de simulaties E21, E23 en E24 (Afbeeldingen 19 t/m 21) geven duidelijk een toename te zien van de waarden van de hoofdversnellingen, ribbenkastversnellingen, schouderkrachten, heupversnellingen. Het mechanisme van de botsingen in de simulaties E21, E23 en E24 is gelijk aan

de mechanismen gevonden met de simulaties E1, E3 en E4. Uit onderlinge vergelijking van de simulaties met voorruit blijkt ook hier dat een grotere motorkaphoek een gunstige invloed heeft op de waarde van de hoofdversnellingen.

8. DISCUSSIE

De kans dat het gesimuleerde overeenkomt met de werkelijkheid wordt bepaald door de mate waarin de modellen geverifieerd zijn. Ook de afwijking van de parameters ten opzichte van het geverifieerde model speelt hierbij een rol.

Dat de absolute waarden en het verloop in de tijd van de uitvoerparameters niet gelijk zijn aan de waarden in de werkelijke wereld is voor het simulatie-onderzoek naar het ideale autofront van minder belang. Door de opeenvolgende simulaties te vergelijken met een standaardsimulatie kan een uitspraak gedaan worden of een wijziging aan het autofront meer of minder letsel van de fietser oplevert.

Een probleem hierbij is dat VEDYAC2 niet het letsel van de fietser geeft maar slechts fysische grootheden, zoals versnellingen en krachten, genereert. Aan de onderzoeker wordt overgelaten de fysische grootheden te koppelen aan de letselernst. Genoemde koppeling is reeds jaren onderwerp van onderzoek en blijkt zeer moeilijk te zijn.

Bij de interpretatie van de simulatieresultaten in onderhavige studie is ervan uitgegaan dat de maximale waarden van versnellingen en krachten een maat zijn voor de ernst van het letsel. Met andere woorden, wanneer de maximaal optredende versnellingen of krachten lager uitvallen dan in de standaardsimulatie het geval is, dan is er sprake van een verbetering. Van hoofdletsel is bekend dat het in belangrijke mate veroorzaakt wordt door de hoekversnellingen. Vandaar dat de hoekversnellingen van het hoofd steeds in de grafieken van de simulatieresultaten zijn opgenomen.

Afgezien van de problemen die er zijn om letsel vast te stellen op grond van fysische grootheden speelt natuurlijk ook een rol welk letsel als maatgevend beschouwd moet worden.

Bij deze studie is het vertragingsverloop van het hoofd als maatgevend beschouwd, vanuit de praktijkwetenschap dat de kans op fatale of zeer ernstige afloop eerder met de aanwezigheid van hoofdletsel is geassocieerd dan met die van schouder/borst- of beenletsel.

Gezien echter het feit dat de maximale borstversnelling bij grotere motor-kaphoeken δ toeneemt is specifiek naar dit aspect gekeken. Daar aan de waarden van de versnellingen geen absolute betekenis kan worden gegeven is naar het niveauverschil tussen beide soorten versnellingen gekeken. Hierbij is de veronderstelling gehanteerd dat borstkasversnellingen in dezelfde

de orde-grootte als hoofdversnellingen ook tot even ernstig letsel kunnen leiden. Omdat de borstkasversnellingen consequent onder het niveau van de hoofdversnellingen blijven, wordt het probleem van de toenemende borstversnelling als ondergeschikt beschouwd aan de winst bereikt door de afnemen-de hoofdversnelling.

De aanwezigheid van een bumper

Het model laat erg weinig verschil zien op het primaire aandachtsgebied (hoofdversnellingen) wanneer met of zonder bumper wordt gesimuleerd.

Zonder bumper liggen de (boven)beenversnellingen duidelijk een niveau lager dan met bumper. Vanuit dat gezichtspunt gezien zou een auto zonder bumper dus gunstiger zijn dan met.

Bij vertaling hiervan naar de praktijk kan niet aan andere aspecten worden voorbijgegaan die de aanwezigheid van een bumper nuttig of noodzakelijk maken.

De voorruit

Conform de aanbevelingen in het eerder gepubliceerde SWOV-rapport betreffende nadere analyses van MADYMO-simulaties (Schoon, 1991) is in deze studie het effect van de aanwezigheid van een voorruit meegenomen en beoordeeld. Inderdaad blijkt de aanwezigheid van een relatief stijf element aanzienlijke (negatieve) invloed op het simulatieresultaat te hebben, doch tegelijk blijkt het positieve effect van een toenemende motorkaphoek te blijven bestaan. Strikt genomen is bij de drie uitgevoerde simulaties met voorruit in één geval (E21) sprake van een licht afwijkende geometrie ten opzichte van de basissimulatie (E1) zonder voorruit. Aangenomen wordt dat dit geometrieververschil het simulatieresultaat niet merkbaar heeft beïnvloed.

Relatie met resultaten van het ongevallenonderzoek

In het eerder genoemde ongevallenonderzoek (Schoon et al., 1992) is gezocht naar eigenschappen van het autofront die de afloop van botsingen met fietsers beïnvloeden. Daarbij is vooral gekeken naar de variabelen fronthoek en motorkaphoogte. De motorkaphoek δ werd in dit onderzoek niet meegenomen als variabele.

In de onderhavige simulaties is juist van een vaste fronthoek (68°) en motorkaphoogte (0,80 m) uitgegaan terwijl de motorkaphoek (δ) werd gevarieerd (zie Afbeelding 1).

De aansluiting tussen beide studies is dat de frontgeometrie waarvan bij

de simulaties is uitgegaan in ieder geval past in het gebied dat bij het ongevalsonderzoek als normaal werd vastgesteld.

Wel valt op te merken dat bij steile autofronten (die als positief uit deze simulatiestudie te voorschijn komen) bij motorkaphoeken groter dan 68° (dus bij de simulaties E4, E5, E14, E15, E24) de fronthoek eveneens groter wordt dan 68°.

Wat dat betreft spoort het resultaat van het simulatie-onderzoek niet met één der bevindingen van het ongevalsonderzoek, namelijk dat bij grote fronthoeken ($\geq 70^\circ$) een relatief groot aandeel slachtoffers werd gevonden. Hierbij moet echter worden aangetekend dat bij het ongevalsonderzoek geen fronttypen met een steil front als in het simulatie-onderzoek werden aangetroffen. Voor dergelijke steile fronten is de fronthoek zoals die in het ongevalsonderzoek werd gebruikt geen geschikte parameter te noemen omdat er geen sprake meer is van een 'leading edge'.

De conclusie uit deze vergelijking is dan ook dat in beide onderzoeken verschillende aspecten van autofronten zijn beoordeeld, waarvan de resultaten niet in tegenspraak met elkaar hoeven te zijn.

Andere typen botsingen

Om verschillende redenen werd beoogd in de (om tijdsredenen niet uitgevoerde) derde-fasesimulaties met betrekking tot andere botstypen uit te voeren. Hierbij is vooral gedacht aan achteraanrijdingen.

Bij nader inzien valt hiervan te zeggen dat de frequentie waarmee dit type botsingen met fietsers in de praktijk voorkomt speciale aandacht op dit punt niet rechtvaardigt. Dit aandeel bedraagt iets minder dan 5% (Schoon et al., 1992), terwijl het primaire type (flankbotsing) bijna 48% bedraagt. In dit licht bezien zou het botstype: front fiets tegen front auto (ca. 21%) na de gesimuleerde flankbotsing nog het meest in aanmerking komen. Voorts geldt dat in een eerdere rapportage (Schoon, 1991) op basis van simulaties met MADYMO is vastgesteld dat er weinig verschil vastgesteld kan worden tussen de resultaten van flankbotsingen en achteraanrijdingen. Voor eventuele simulatie van bovengenoemde frontale botsingen tussen fietsers en auto's zal het afwezig zijn van verificatiemateriaal wel eens een belemmering kunnen vormen.

Andere zithouding

Hoewel van een andere zithouding dan de gesimuleerde 'rechttop'-houding ook andere absolute simulatieresultaten zijn te verwachten, ligt het voor de

hand te veronderstellen dat het thans vastgestelde positieve effect van toenemende motorkaphoek op de grootte van de maximale hoofdversnellingen blijft bestaan.

Dit alles afwegende lijkt er op basis van de uitgevoerde simulaties op dit moment eerder een voorkeur uit te gaan naar voortzetting van het werk in meer experimentele richting dan naar nadere uitvoering van simulaties. Een beperkte serie experimenten waarbij de primair gevonden resultaten van deze simulatiestudie in de praktijk worden getoetst zou aan het licht kunnen brengen of een autofront met een relatief steil front (δ in de buurt van 75°) daadwerkelijk beter scoort dan een conventionele configuratie.

9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Door de SWOV zijn op basis van VEDYAC modellen ontwikkeld en geverifieerd ter simulatie van een flankbotsing tussen autofront en fietser.

Omdat naar het oordeel van de SWOV aan dergelijke simulaties geen absolute betekenis kan worden gehecht, heeft de beoordeling van het resultaat van vorm- en stijfheidsveranderingen van het autofront plaats gehad door te vergelijken met de uitkomsten van een standaardsimulatie. Hierbij wordt het zwaartepunt van de beoordeling gebaseerd op het niveauverloop van de maximale hoofdversnellingen.

Conclusies

De simulatieresultaten geven aan dat de maximale hoofdversnelling van de fietser niet gevoelig is voor aan- of afwezigheid van een bumper.

Wel heeft aanwezigheid van een bumper hogere beenversnellingen tot gevolg. Gezien vanuit de doelstelling van dit onderzoek (het minimaliseren van de letselskansen van een fietser) zou een autofront beter zonder bumper kunnen zijn uitgevoerd. In werkelijkheid zijn er echter andere redenen die de aanwezigheid van een bumper nuttig of noodzakelijk maken.

Een grotere motorkaphoek geeft lagere hoofdversnellingen, de ideale waarde daarvan ligt volgens het simulatieresultaat tussen $\delta = 70^\circ$ en $\delta = 90^\circ$.

Als bijkomend nadelig effect wordt geconstateerd dat de maximale borstversnellingen toenemen, overigens zonder dat de resulterende schouderkracht toeneemt. Het negatieve effect van de toenemende borstversnelling op de letselskansen wordt ondergeschikt gezien aan het positieve effect van de afnemende hoofdvertraging.

De aanwezigheid van een (relatief stijve) voorruit blijkt naar verwachting tot aanzienlijke hogere versnellingswaarden te leiden. Het effect van afnemende hoofdversnellingen bij toenemende motorkaphoek blijft echter gehandhaafd.

Aanbevelingen

Op grond van de duidelijke conclusie dat een autofront met een relatief steile motorkap tot lagere hoofdletselskansen leidt dan een conventionele motorkapconfiguratie, wordt aanbevolen dit verschijnsel via experimenteel onderzoek nader in de praktijk te toetsen.

In tweede instantie zou, mede afhankelijk van het resultaat van de experimenten, nader simulatie-onderzoek kunnen worden verricht, hetzij op relevant te achten andere botstypen, hetzij op nadere vormaanpassingen die op basis van de experimenten worden gegenereerd.

LITERATUUR

Ashton, S.J. & Mackay, G.M. (1983). Benefits from changes in vehicle exterior design; Field accident and experimental work in Europe. In: Pedestrian Impact Injury & Assessment P-121. SAE, Warrendale.

Oorschot, E. van & Janssen, E.G. (1987). Mathematical and experimental simulations of vehicle-cyclist impacts. TNO-report 7000531175. IW-TNO, Delft.

Huijbers, J.J.W. (1984). Een beschrijving van fietser- en bromfietser-ongevallen ten behoeve van prioriteitsindelingen bij het letselpreventie-onderzoek. R-84-38. SWOV, Leidschendam.

Janssen, E.G. (1987). Experimental simulations of the impact between a vehicle and a cyclist or a pedestrian. TNO-report 7000531163. IW-TNO, Delft.

Janssen, E.G. et al. (1990). Protection of vulnerable road users in the event of a collision with a passenger car, Part II: Sub systems test method evaluation and compatibility study. TNO-report 754050002/II. IW-TNO, Delft.

Kampen, L.T.B. van (1991). Analyse van letselgegevens van fietsers en voetgangers. R-91-56. SWOV, Leidschendam.

Otte, D. (1989). Injury mechanism and crash kinematic of cyclists in accidents; An analysis of real accidents. In: Proceedings of 33th STAPP Car Crash Conference. SAE, Warrendale.

Schoon, C.C. (1991). Nadere analyses van mathematische simulaties van botsingen tussen auto's en fietsen. R-91-55. SWOV, Leidschendam.

Schoon, C.C. et al. (1992). Ongevalleonderzoek naar de invloed van het front van de personenauto op de letselernst van de fietser bij aanrijdingen. R-92-15. SWOV, Leidschendam.

Sluis, J. van der (1992). Ontwikkeling en verificatie van het VEDYAC-model voor het simuleren van flankbotsingen van personenauto's met fietsers. SWOV, Leidschendam.

AFBEELDINGEN 1 T/M 21

Afbeelding 1. Het autofrontmodel.

Afbeelding 2. Het fietsmodel.

Afbeelding 3. Het fietsermodel.

Afbeelding 4. Plot op het moment van het eerste contact $t = 0.1$ s.

Afbeelding 5. Plot en resultaten van simulatie T1.

Afbeelding 6. Plot en resultaten van simulatie T2.

Afbeelding 7. Plot en resultaten van simulatie T3.

Afbeelding 8. Plot en resultaten van simulatie T4.

Afbeelding 9. Plot en resultaten van simulatie E1.

Afbeelding 10. Plot en resultaten van simulatie E2.

Afbeelding 11. Plot en resultaten van simulatie E3.

Afbeelding 12. Plot en resultaten van simulatie E4.

Afbeelding 13. Plot en resultaten van simulatie E5.

Afbeelding 14. Plot en resultaten van simulatie E11.

Afbeelding 15. Plot en resultaten van simulatie E12.

Afbeelding 16. Plot en resultaten van simulatie E13.

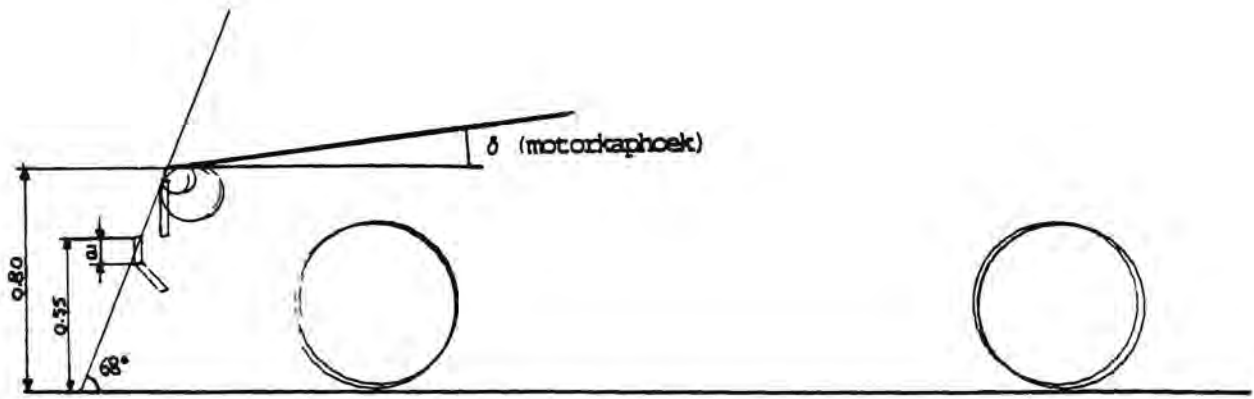
Afbeelding 17. Plot en resultaten van simulatie E14.

Afbeelding 18. Plot en resultaten van simulatie E15.

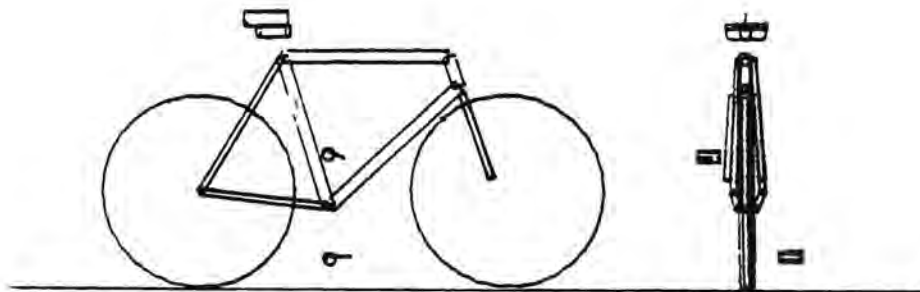
Afbeelding 19. Plot en resultaten van simulatie E21.

Afbeelding 20. Plot en resultaten van simulatie E23.

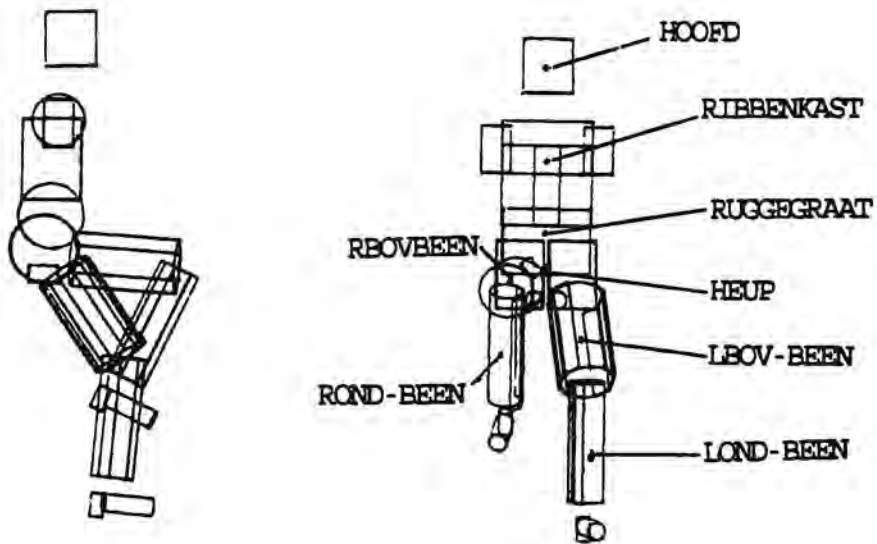
Afbeelding 21. Plot en resultaten van simulatie E24.



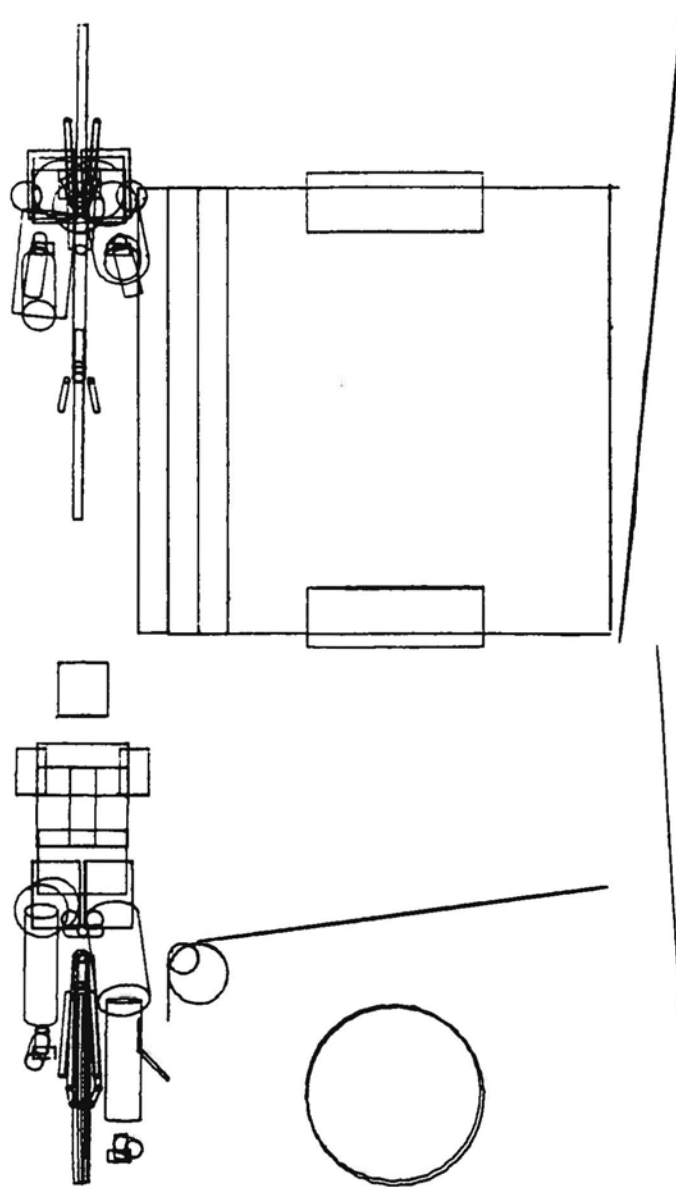
Afbeelding 1. Het autofrontmodel.



Afbeelding 2. Het fietsmodel.

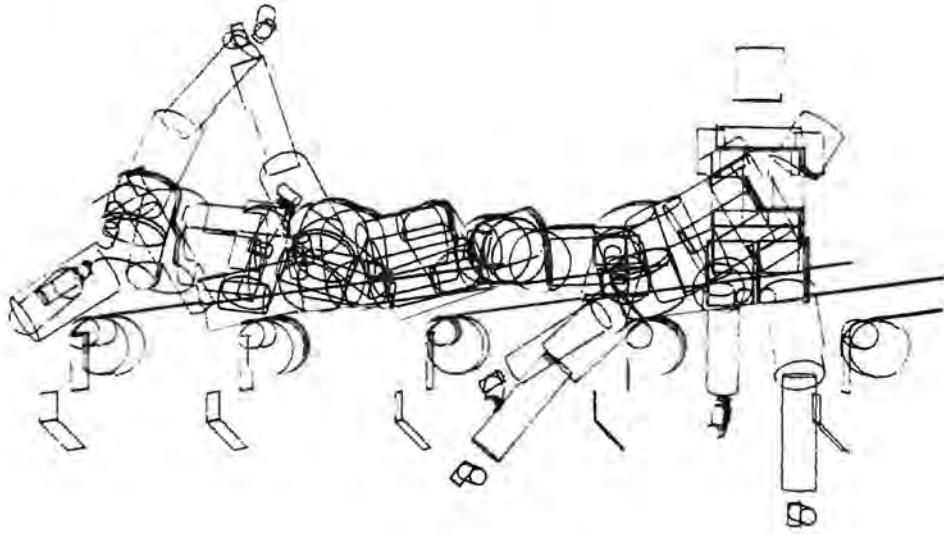


Afbeelding 3. Het fietsermodel.



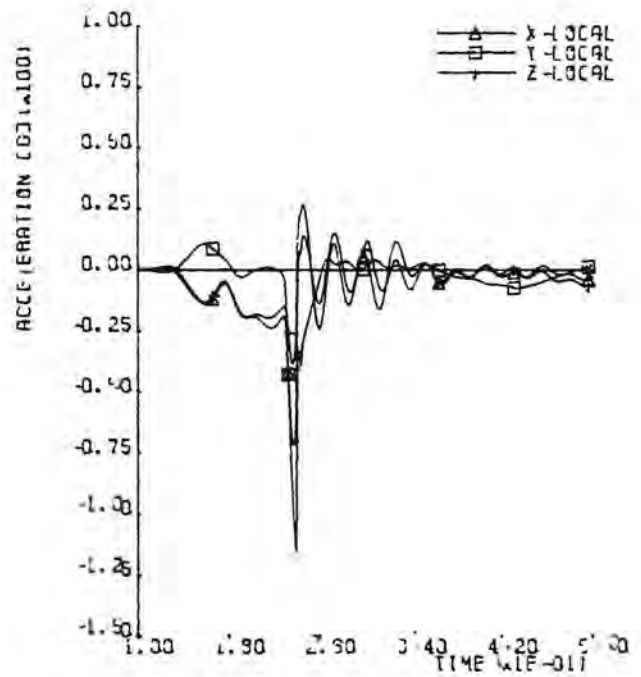
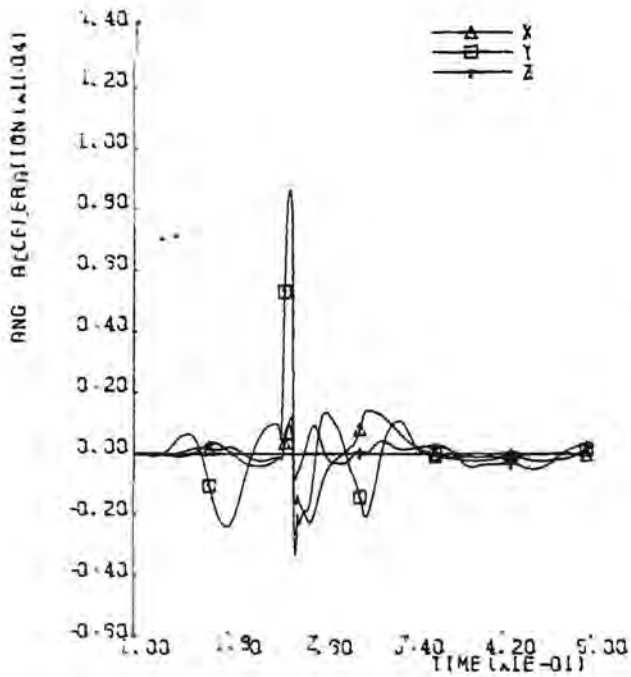
Afbeelding 4. Plot op het moment van het eerste contact $t = 0.1$ s.

Afbeelding 5. Plot en resultaten van simulatie T1.

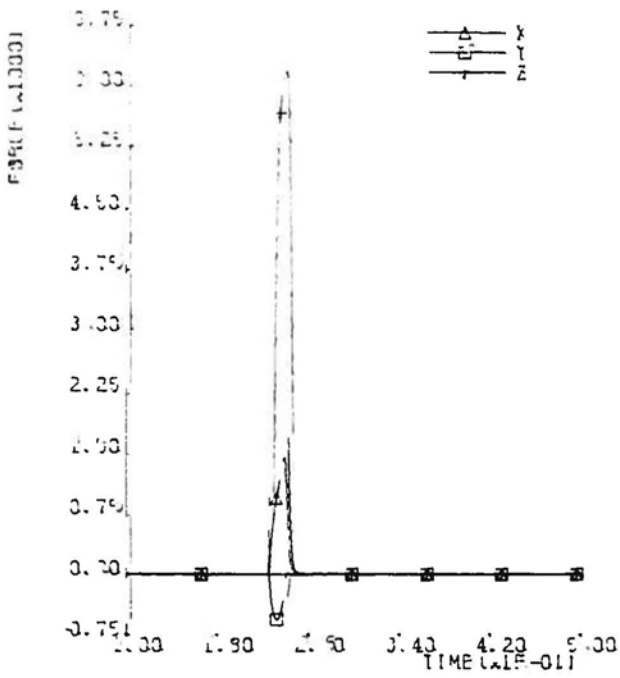


MASTERPLAN FIG 15 1.
 STRUCTURE H00FD
 MASS H00FD
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

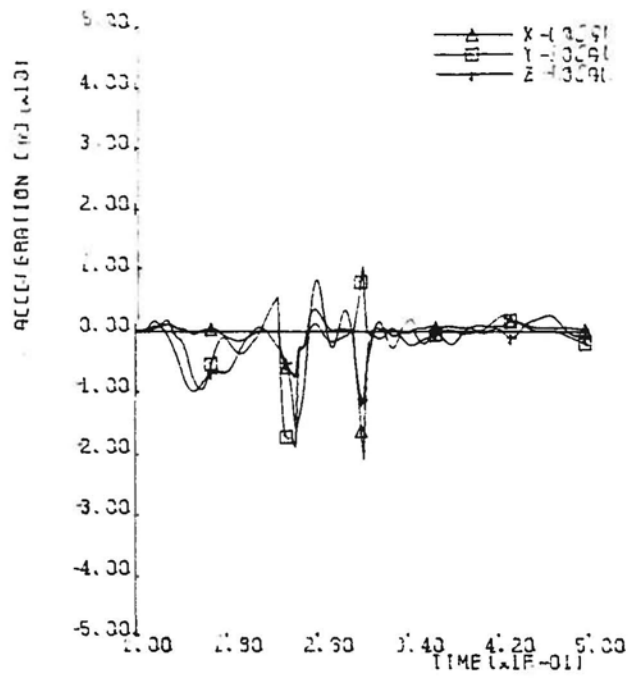
MASTERPLAN FIG 15 1.
 STRUCTURE H00FD
 MASS H00FD
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



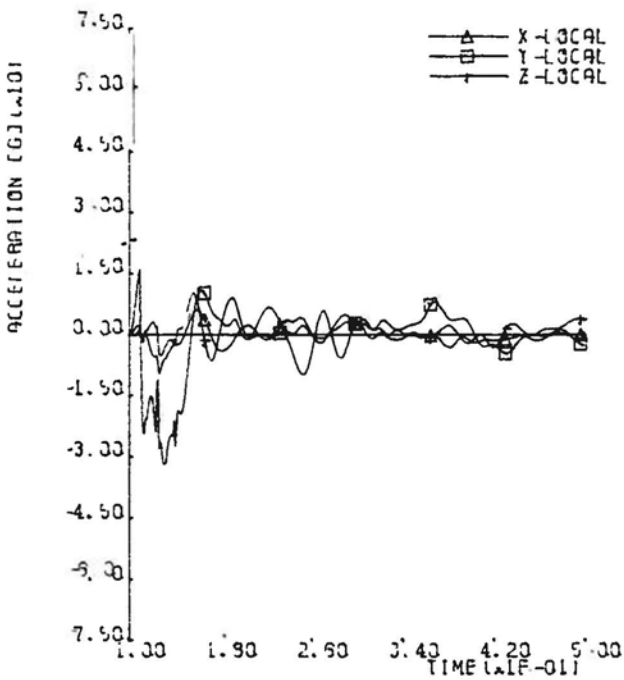
MASTERPLAN FIELD 11
 CONTACT ELEMENT 1 CONLINER
 INVOLVED MASS 27 1-11 27 1
 FORCE IN CONTACT ELEMENT REFERENCE FRAME



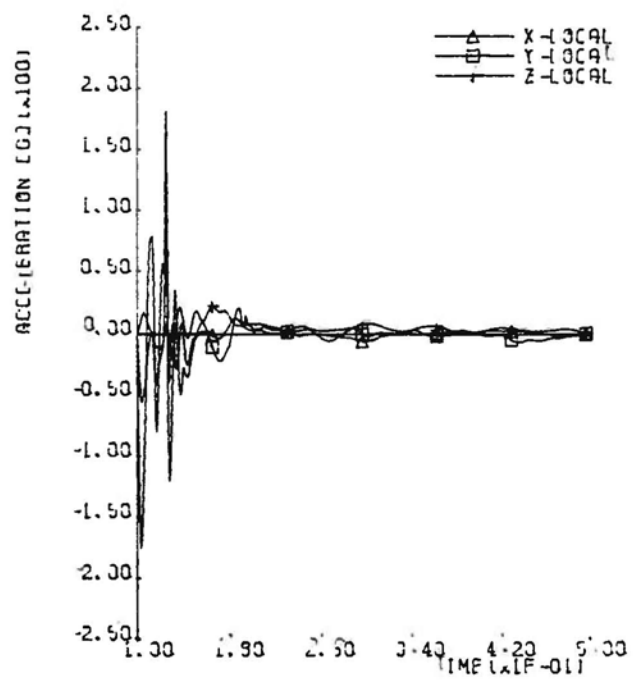
MASTERPLAN FIELD 11
 STRUCTURE A1302KAS1
 MASS 31300YKAS1
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



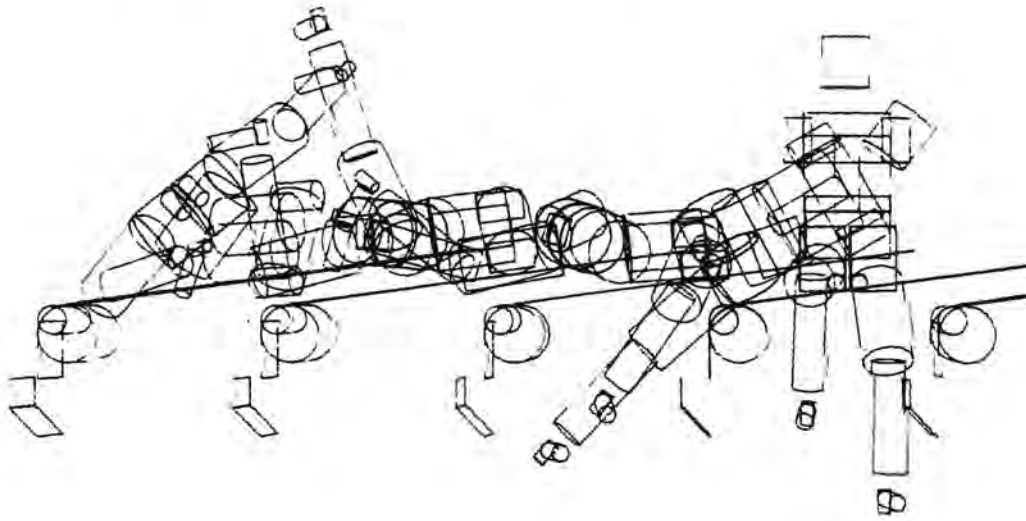
MASTERPLAN FIELD 11
 STRUCTURE HELP
 MASS HELP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FIELD 11
 STRUCTURE 190V-BEFN
 MASS 150V-BEFN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.002, -0.139)

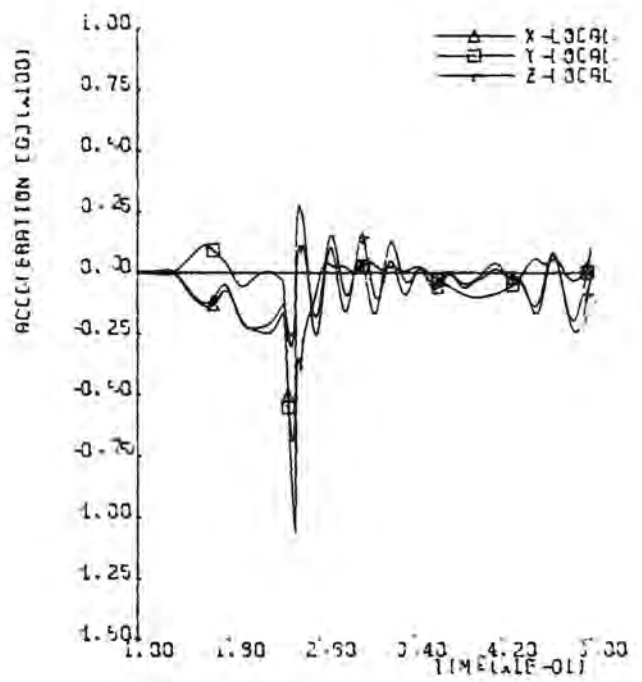
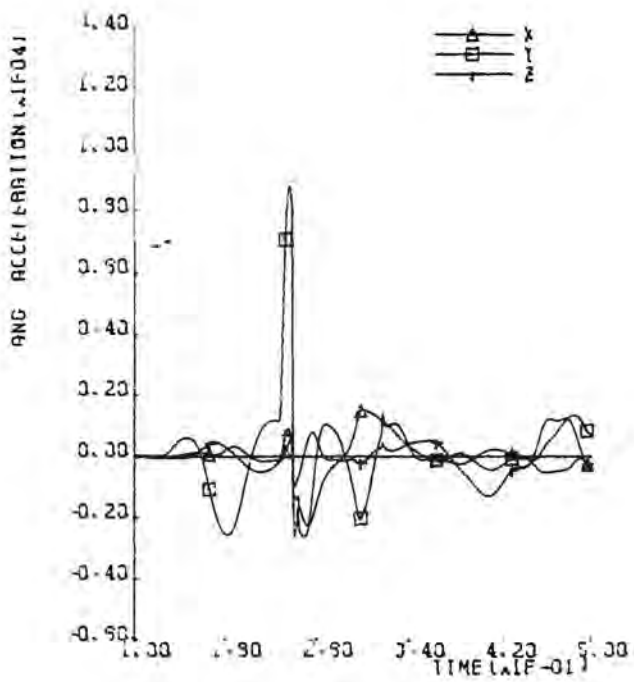


Afbeelding 6. Plot en resultaten van simulatie T2.

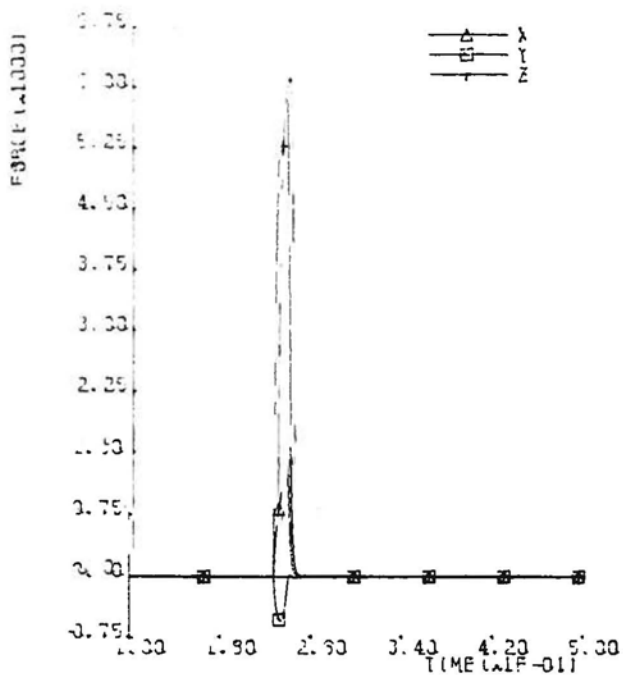


MASTERPLAN FIELD 12
 STRUCTURE H03FD
 MASS H03FD
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

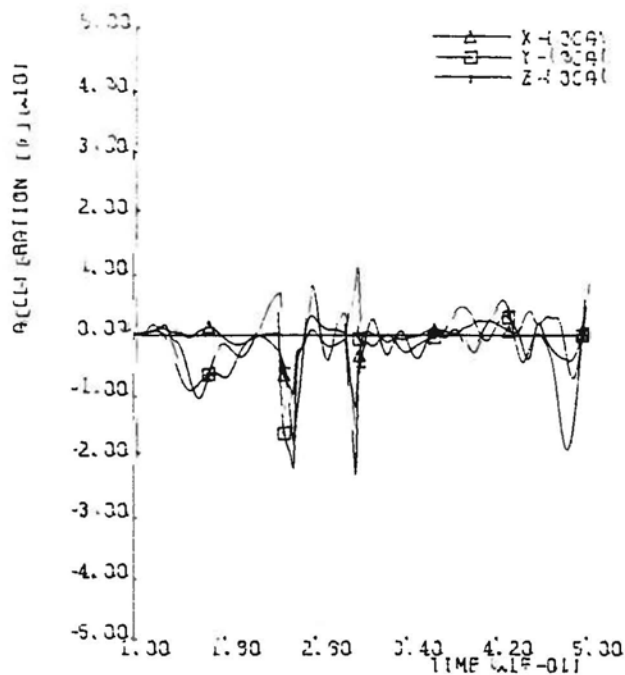
MASTERPLAN FIELD 12
 STRUCTURE H03FD
 MASS H03FD
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



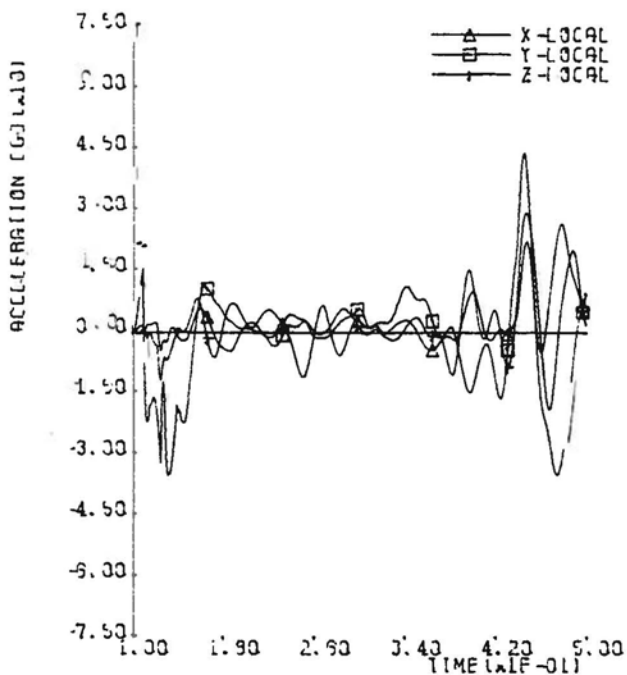
MASTERPLAN FILE IS 12
 CONTACT ELEMENT 17 CYLINDER
 VIBRATED SUPPORT MASS 2/ 1 --- 2/ 1
 FORCE IN CONT. ELEMENT REFERENCE FRAME



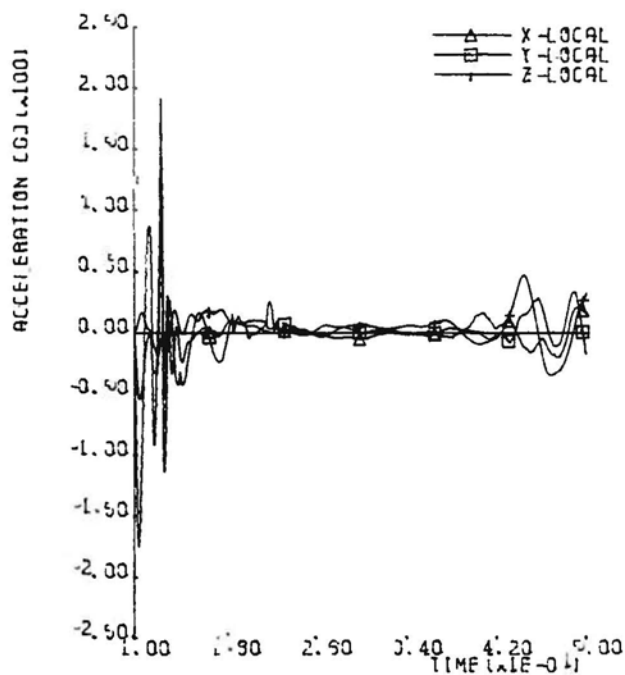
MASTERPLAN FILE IS 12
 STRUCTURE RIGID BODY
 MASS RIGID MASS
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



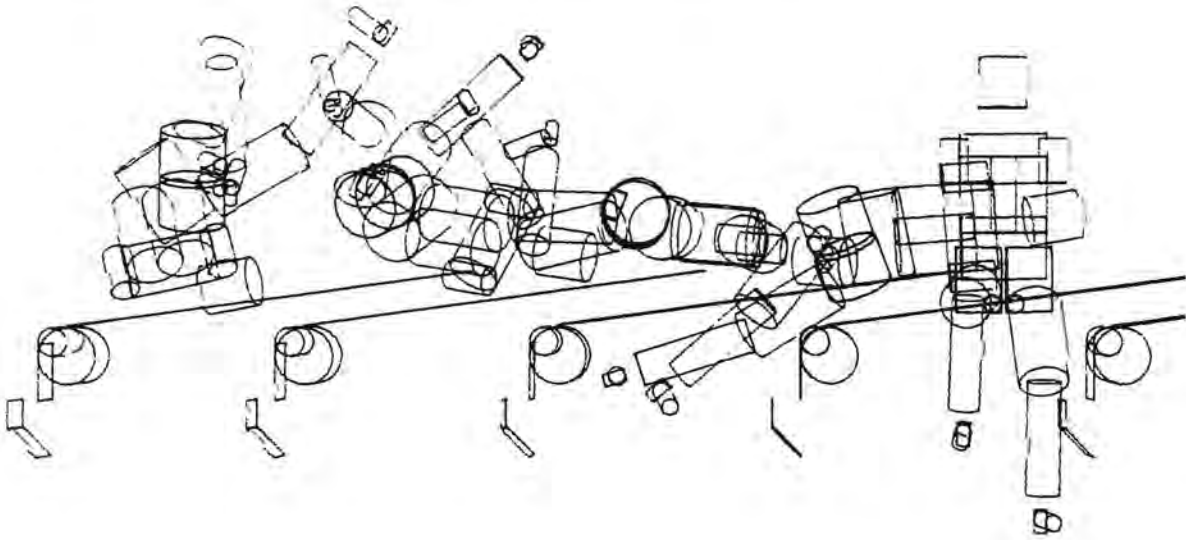
MASTERPLAN FILE IS 12
 STRUCTURE HEUP
 MASS HEUP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FILE IS 12
 STRUCTURE LBBV-BEHN
 MASS LBBV-BEHN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, -0.139)

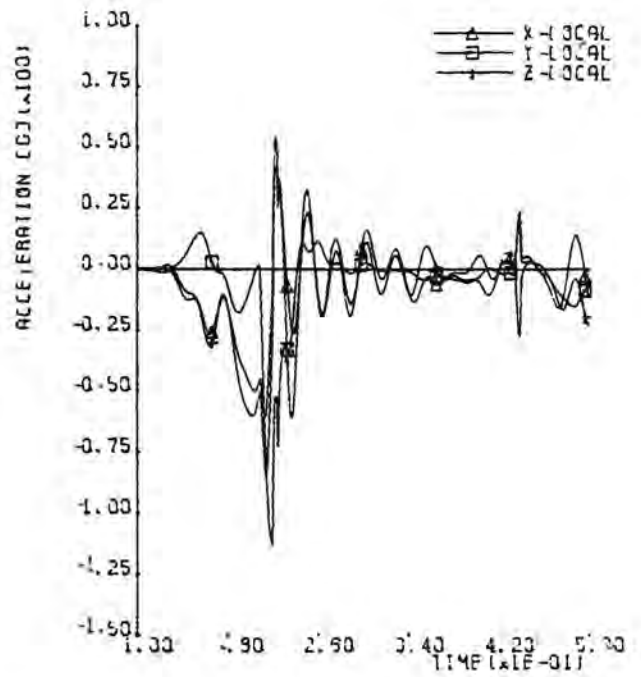
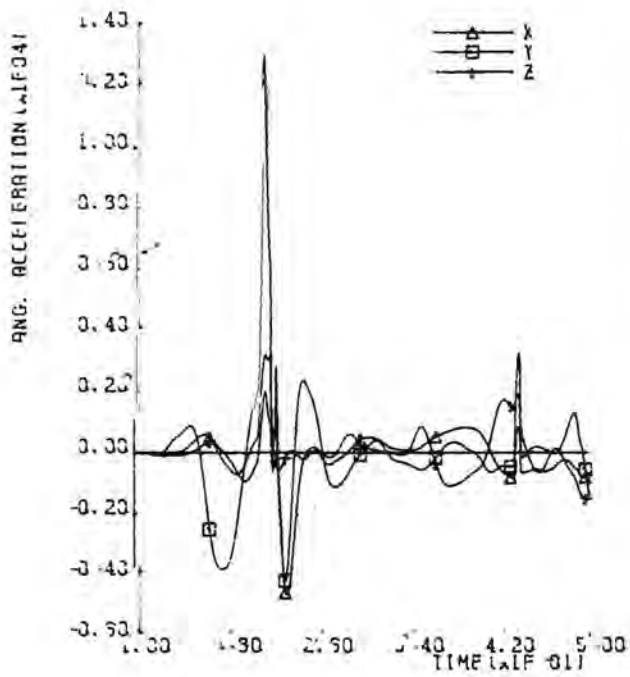


Afbeelding 7. Plot en resultaten van simulatie T3.

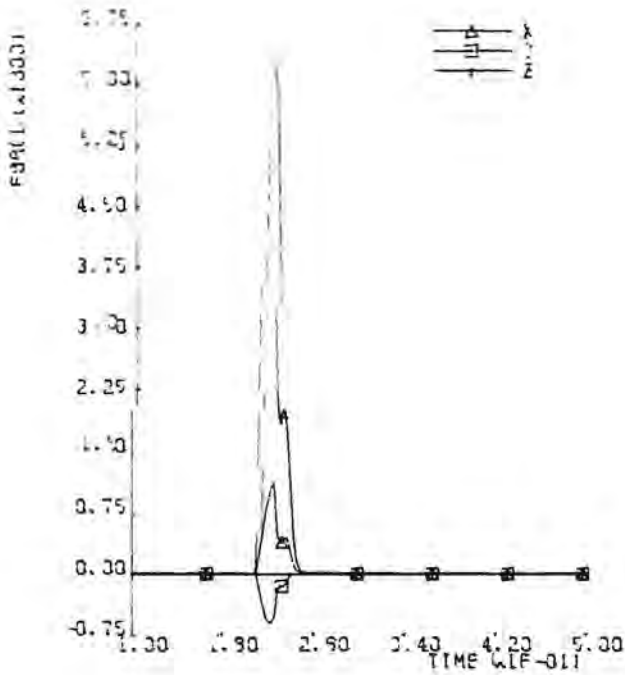


MASTERPLAN FIETS 13
 STRUCTURE 400°
 MASS 400°
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

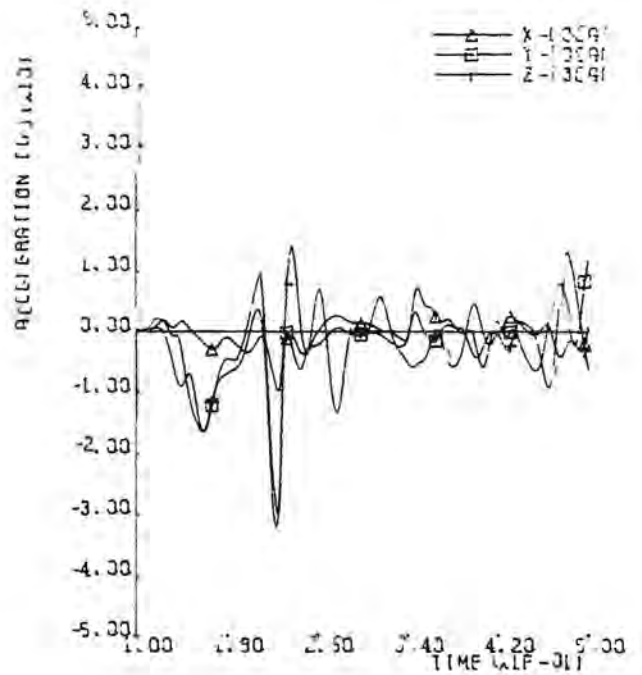
MASTERPLAN FIETS 13
 STRUCTURE 400°
 MASS 400°
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



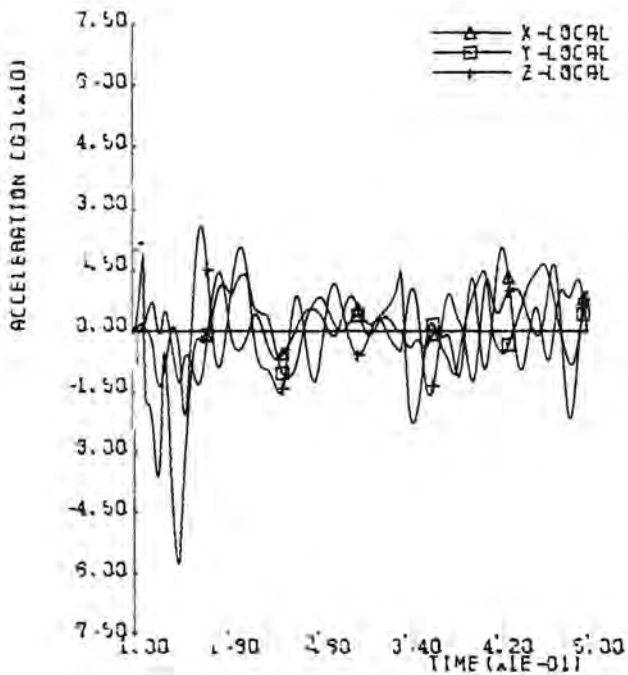
MASTERPLAN FIG 13
 CONTACT ELEMENT 7 CILINDER
 INVOLVED MIP MASS 27 1.000 27 1
 FORCE IN CON. ELEMENT REFERENCE FRAME



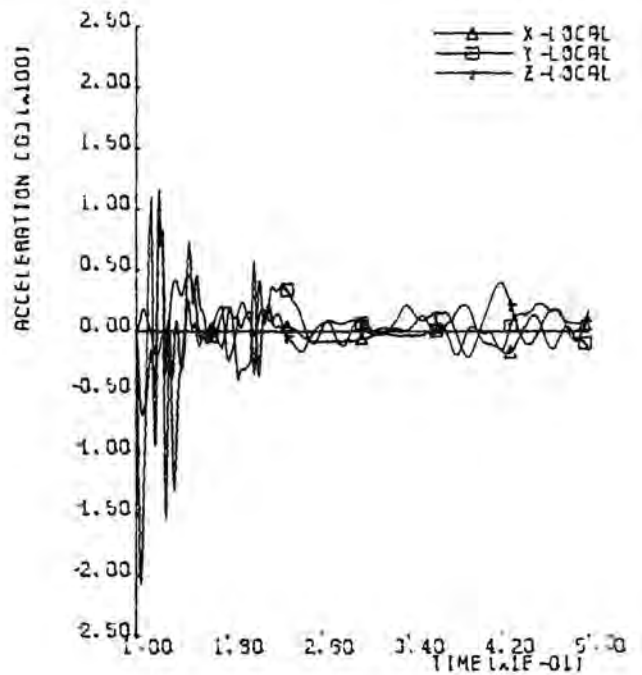
MASTERPLAN FIG 13
 STRUCTURE RIDGEWAY
 MASS RIDGEWAY
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



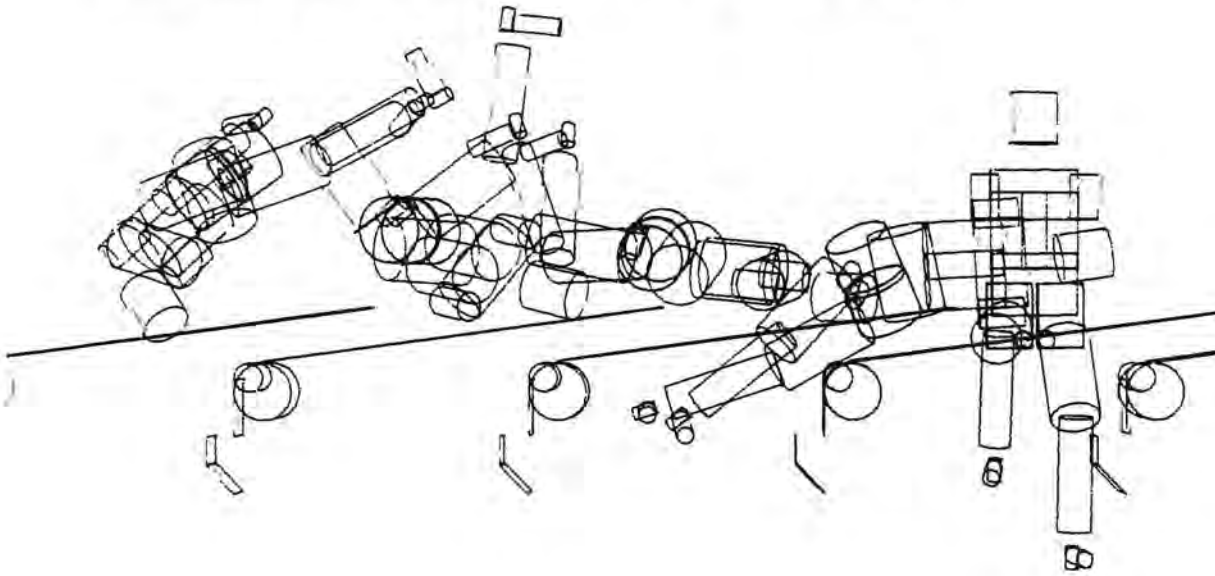
MASTERPLAN FIG 13
 STRUCTURE HEUP
 MASS HEUP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



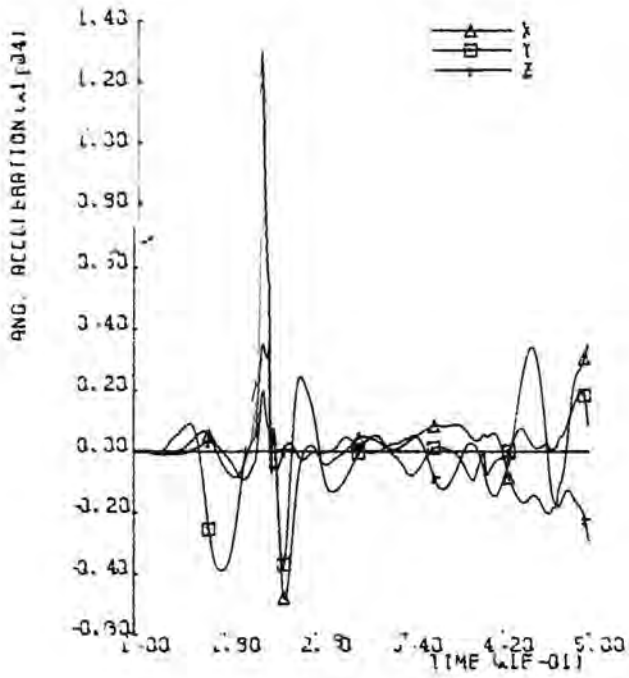
MASTERPLAN FIG 13
 STRUCTURE L90V-BEEN
 MASS L90V-BEEN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, -0.199)



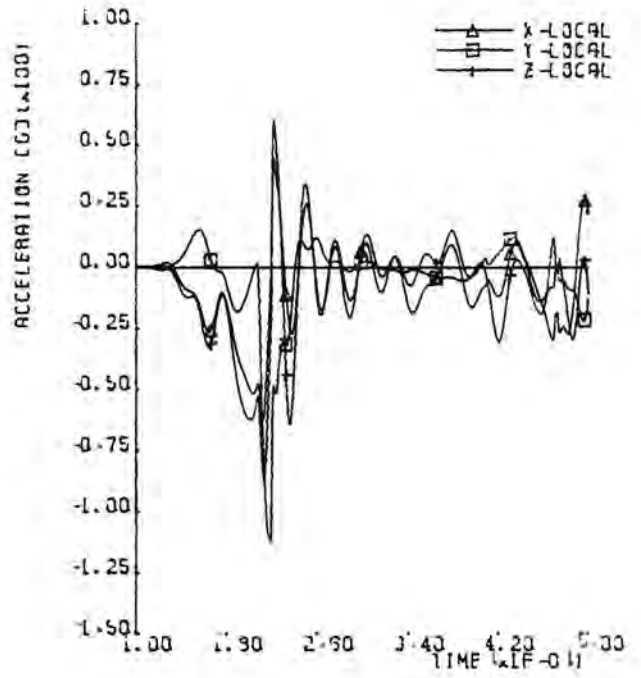
Afbeelding 8. Plot en resultaten van simulatie T4.

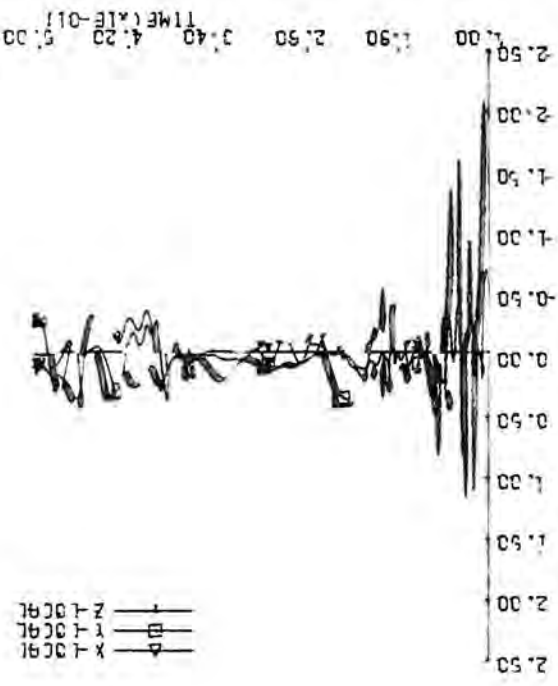


MASTERPLAN FILE IS T4
 STRUCTURE 400°D
 MASS 400°D
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

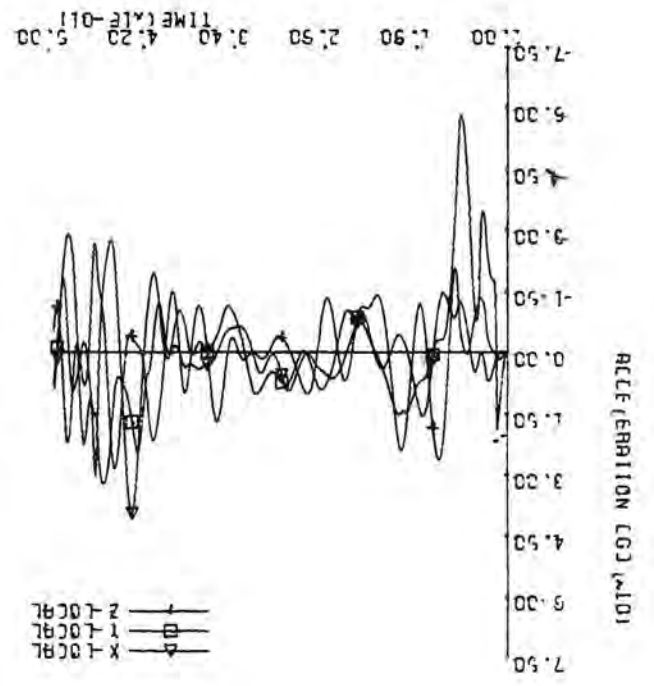


MASTERPLAN FILE IS T4
 STRUCTURE 400°D
 MASS 400°D
 ACCELERATION IN POINT (0.300, 3.300, 3.300)

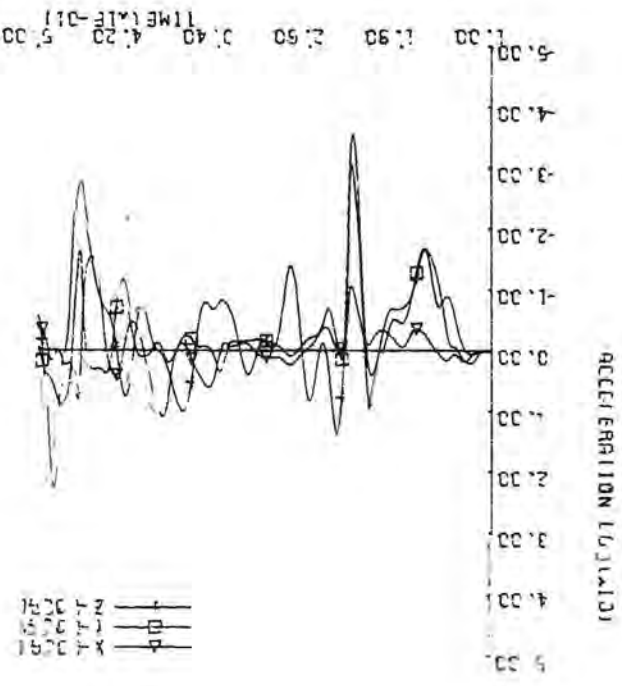




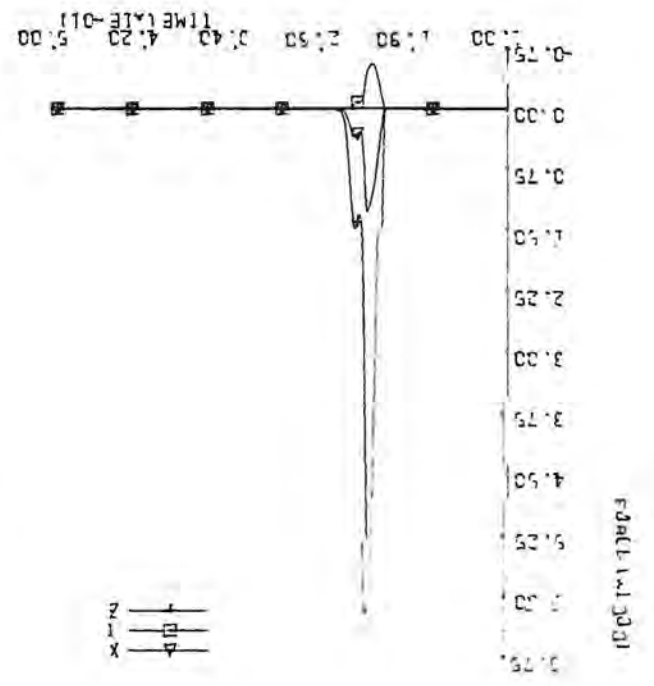
MASTERPLAN FILE 14
 STRUCTURE
 MASS
 L9CV-BEEN
 ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.002, -0.1091



MASTERPLAN FILE 14
 STRUCTURE
 MASS
 HEUP
 ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.0001

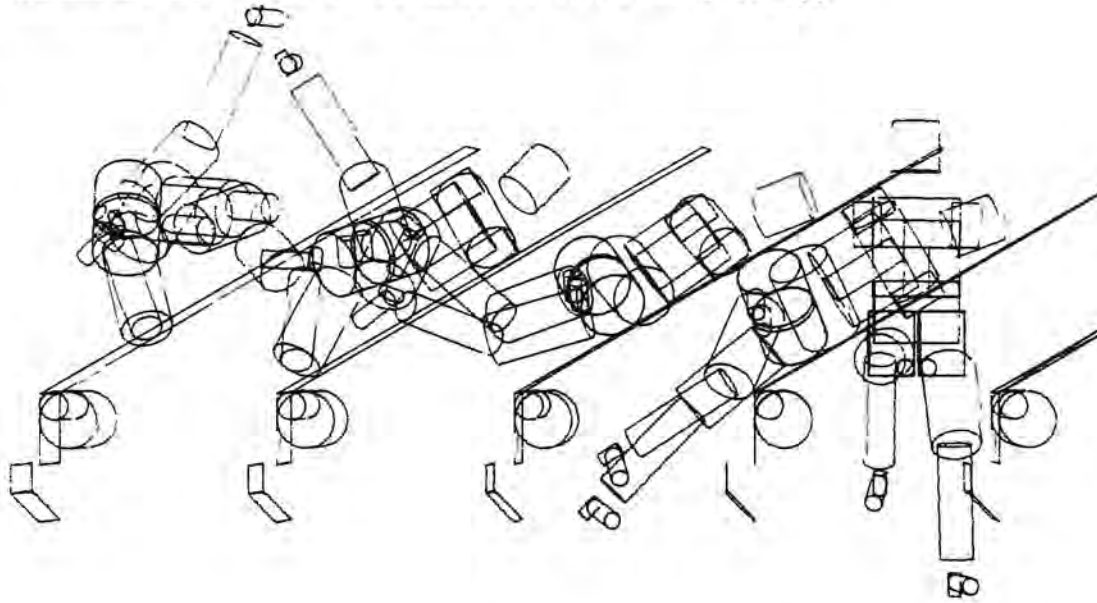


MASTERPLAN FILE 14
 STRUCTURE
 MASS
 ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.0001



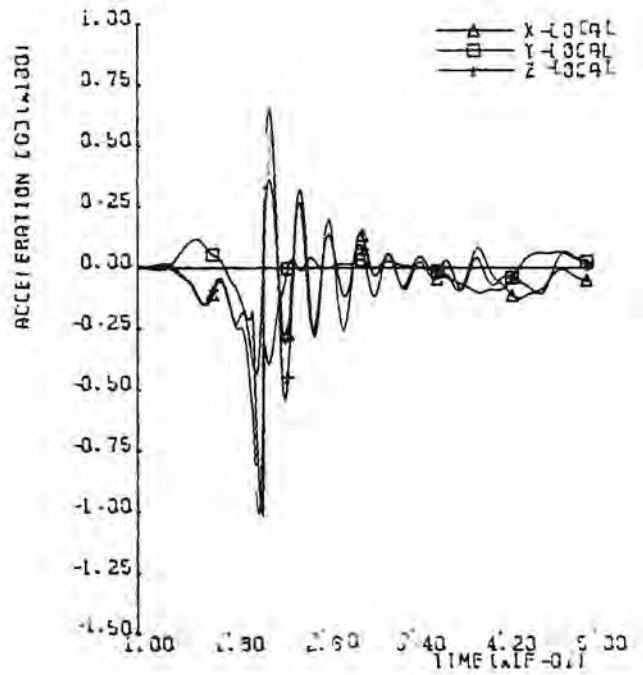
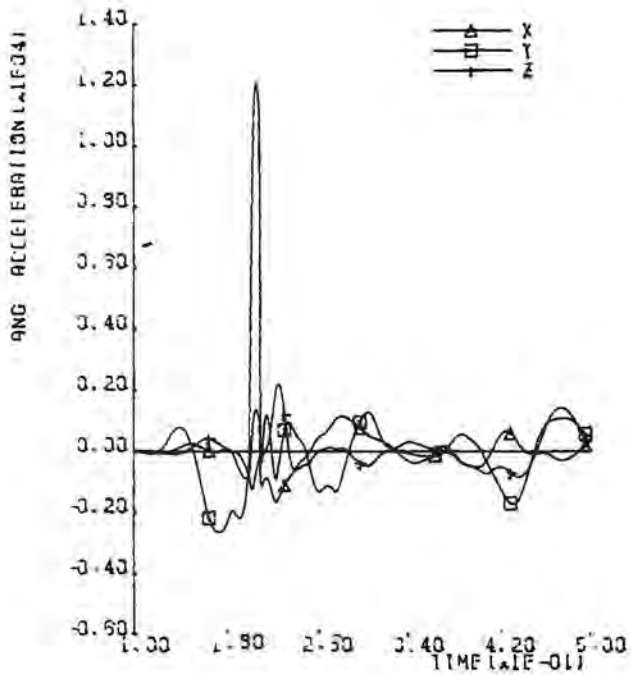
MASTERPLAN FILE 14
 CONTACT ELEMENT 7 CILINDER
 LYNDED 27
 FORCE IN CONTACT ELEMENT AVERAGE FRAME 27

Afbeelding 9. Plot en resultaten van simulatie E1.

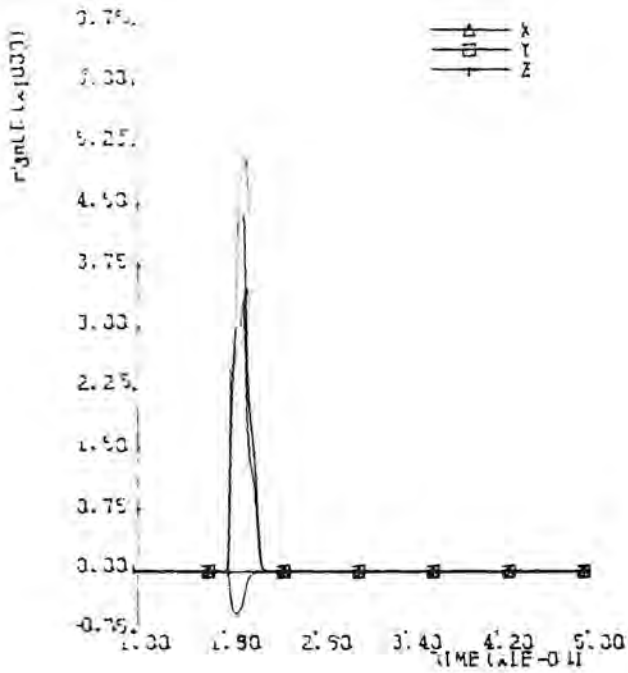


MASTERPLAN FIELDS E1
 STRUCTURE 400°D
 MASS 400°D
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

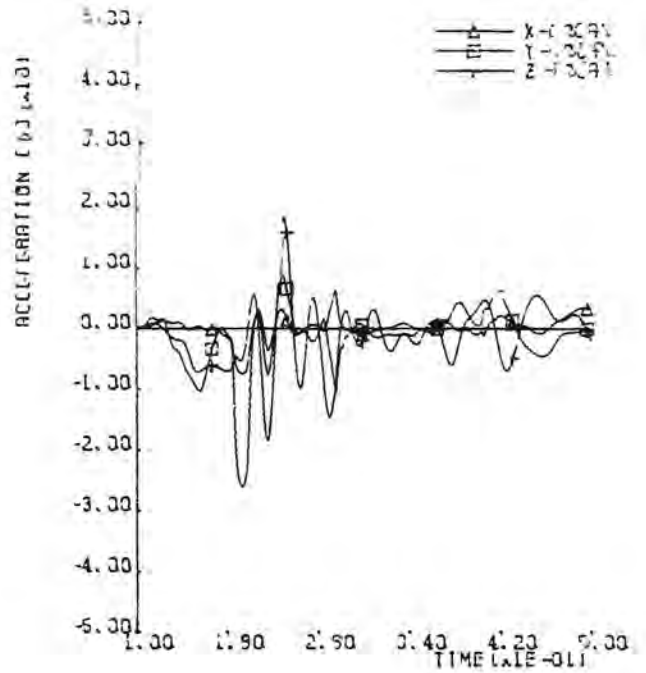
MASTERPLAN FIELDS E1
 STRUCTURE 400°D
 MASS 400°D
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



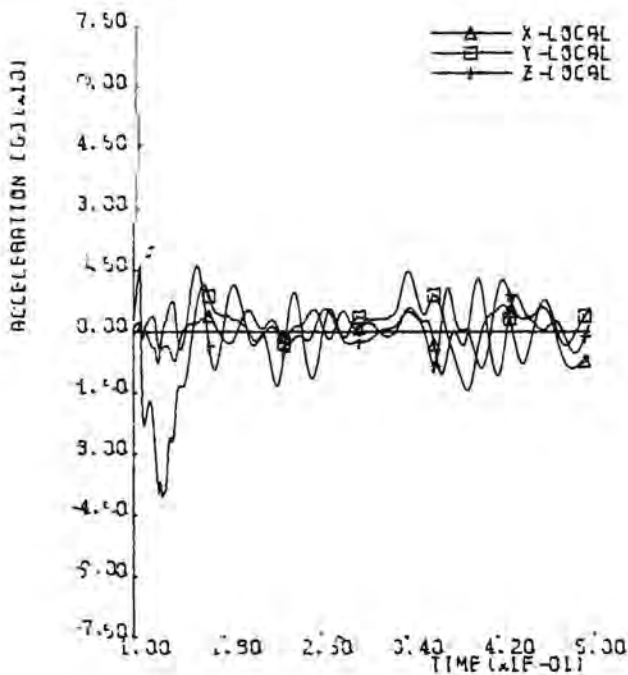
MASTERPLAN FIELDS E1
 CONTACT ELEMENT 7 CYLINDER
 INVOLVED STRUCT/MASS 2/ 1 --- 2/ 1
 FORCE IN CONT. ELEMENT REFERENCE FRAME



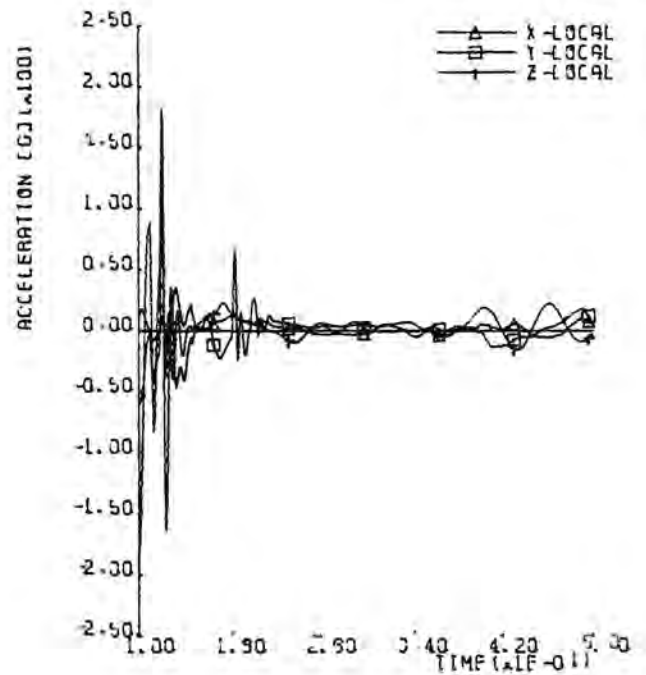
MASTERPLAN FIELDS E1
 STRUCTURE RIJENKAS1
 MASS RIJENKAS1
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



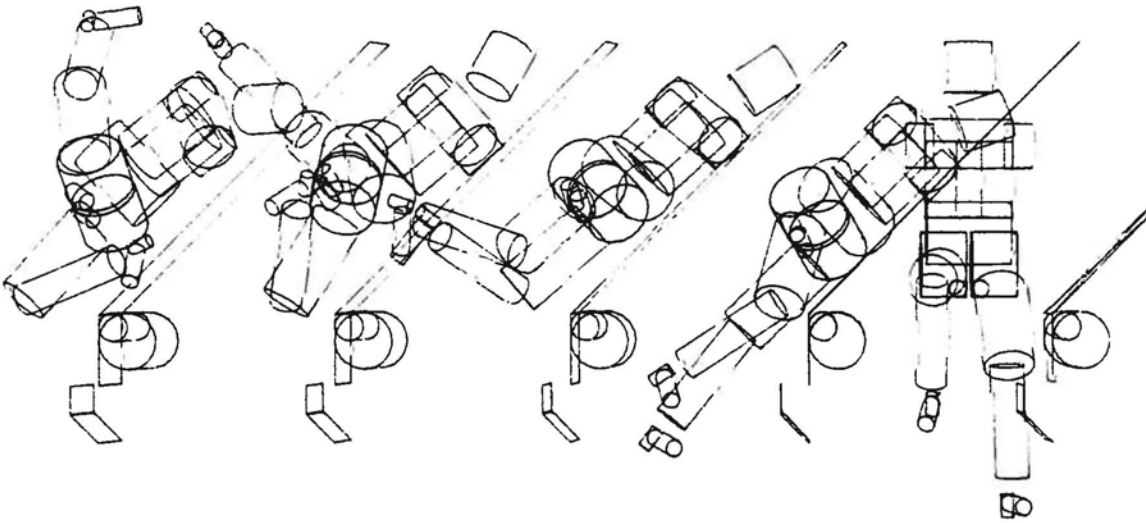
MASTERPLAN FIELDS E1
 STRUCTURE HELP
 MASS HELP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FIELDS E1
 STRUCTURE L93V-BEEN
 MASS L93V-BEEN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, -0.099)

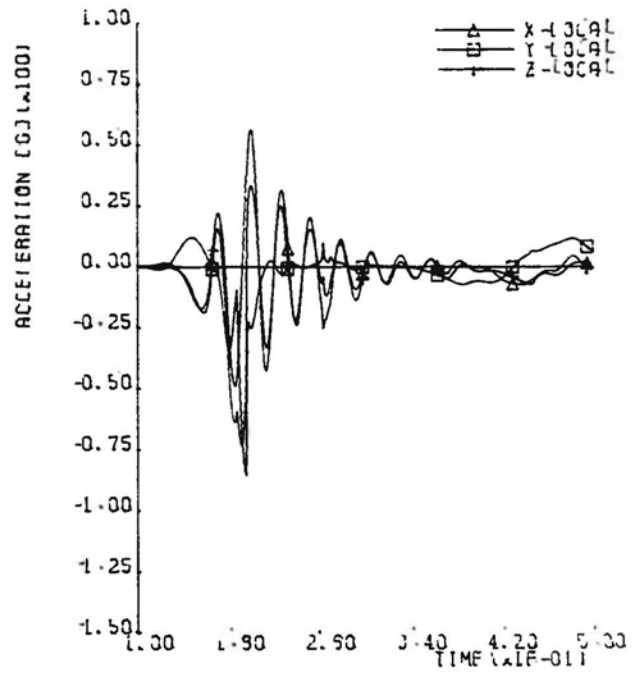
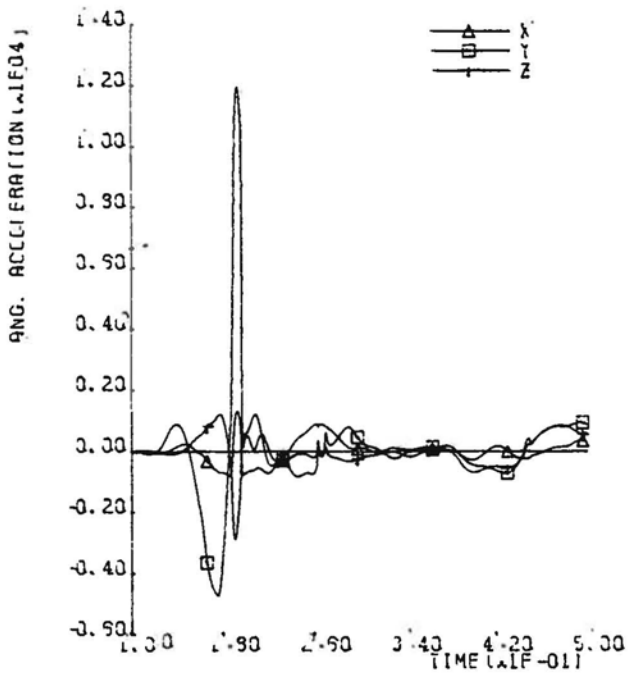


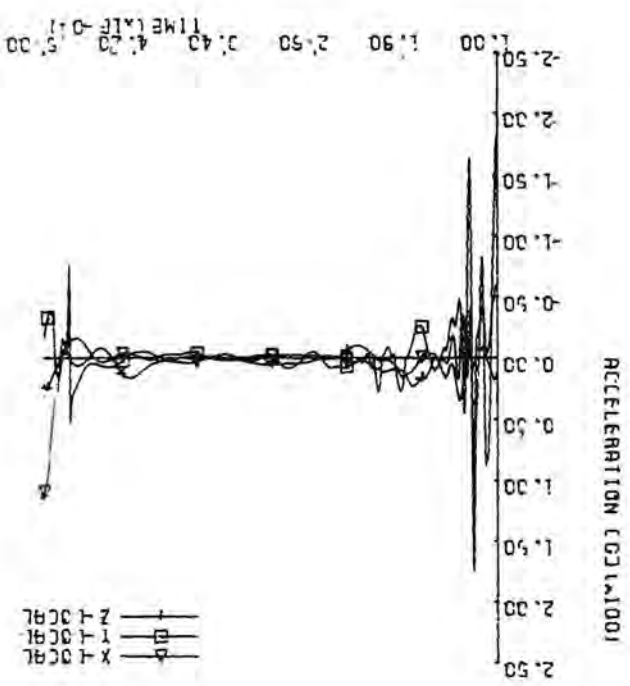
Afbeelding 10. Plot en resultaten van simulatie E2.



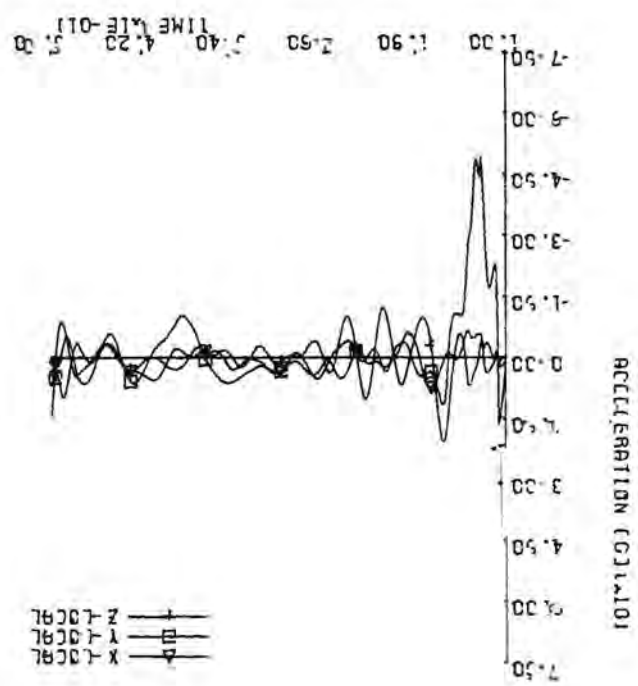
MASTERPLAN FILE IS E2
 STRUCTURE 400#D
 MASS 400#D
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

MASTERPLAN FILE IS E2
 STRUCTURE 400#D
 MASS 400#D
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)

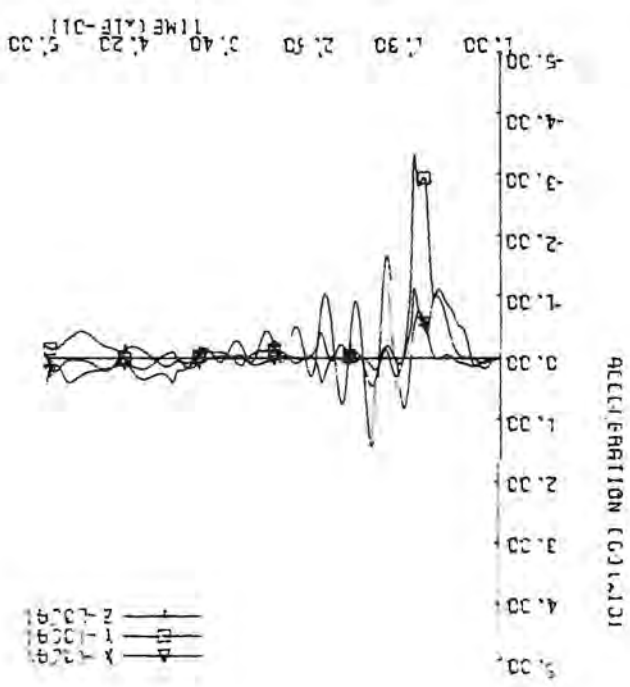




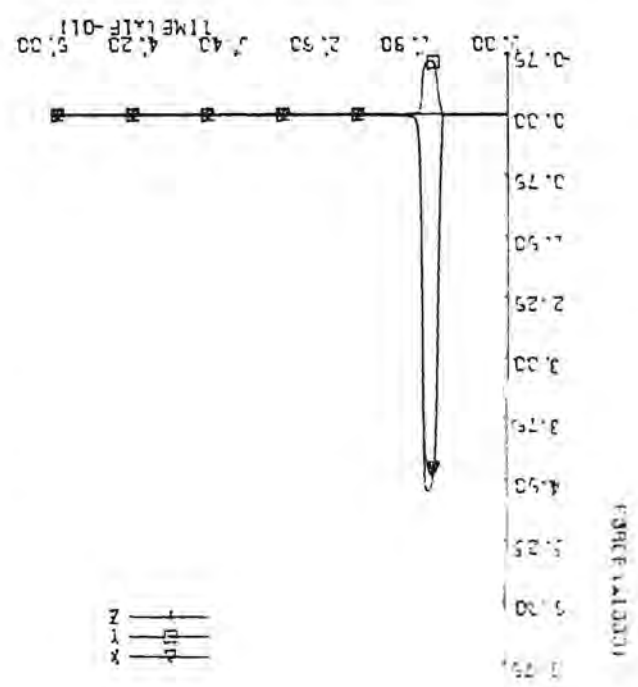
MASTERPLAN FIELDS E2
STRUCTURE
MASS
1.93V-9EFN
ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.002, -0.1391



MASTERPLAN FIELDS E2
STRUCTURE
MASS
HEUP
ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.0001

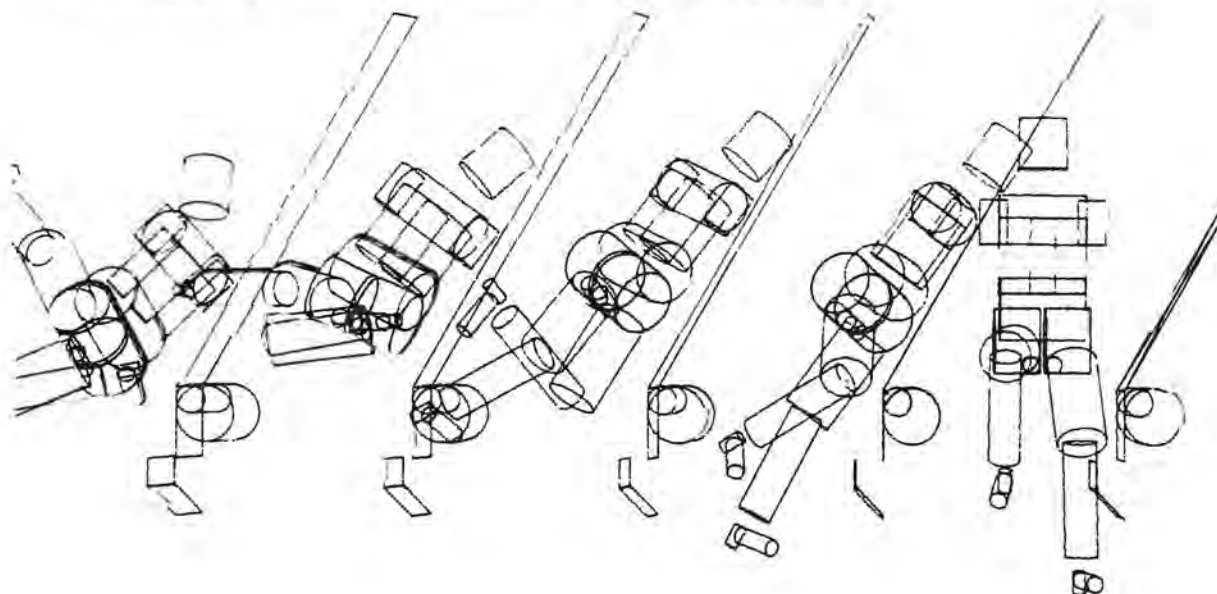


MASTERPLAN FIELDS E2
STRUCTURE
MASS
1.93V-9EFN
ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.0001

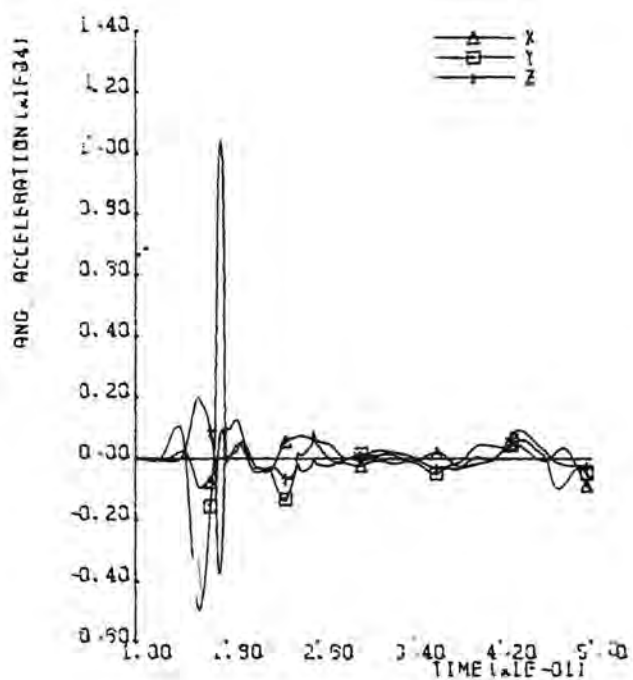


MASTERPLAN FIELDS E2
CONTROL ELEMENT 2 COL INDR
INVERTED 2ND MASS
INVERTED 2ND MASS
PAGE IN CONT. ELEMENT REFERENCE PROGRAM

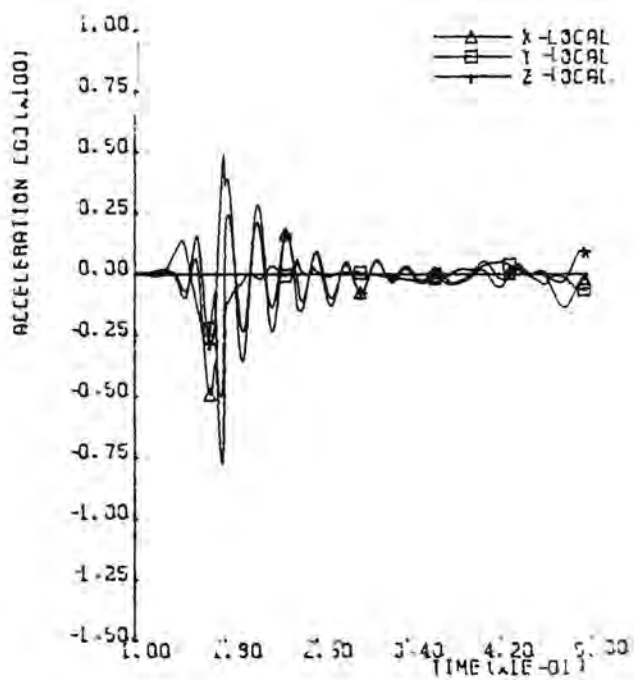
Afbeelding 11. Plot en resultaten van simulatie E3.



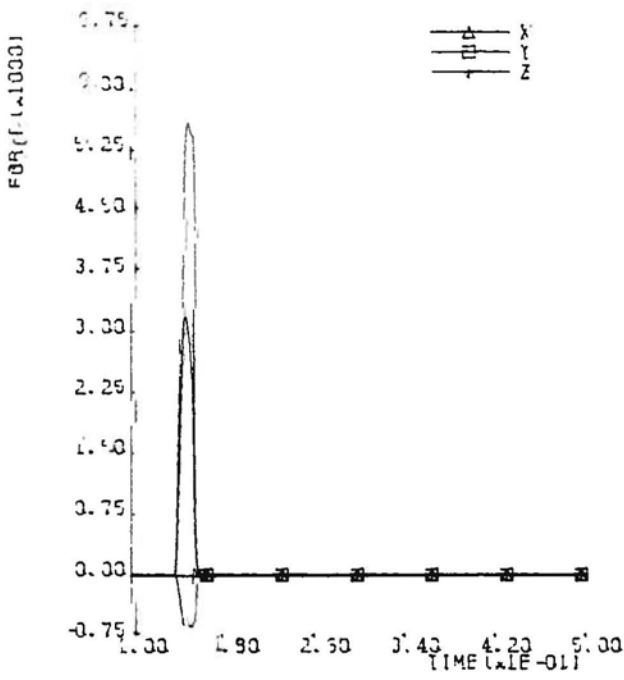
MASTERPLAN FIELDS E3
 STRUCTURE H00FD
 MASS H00FD
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY



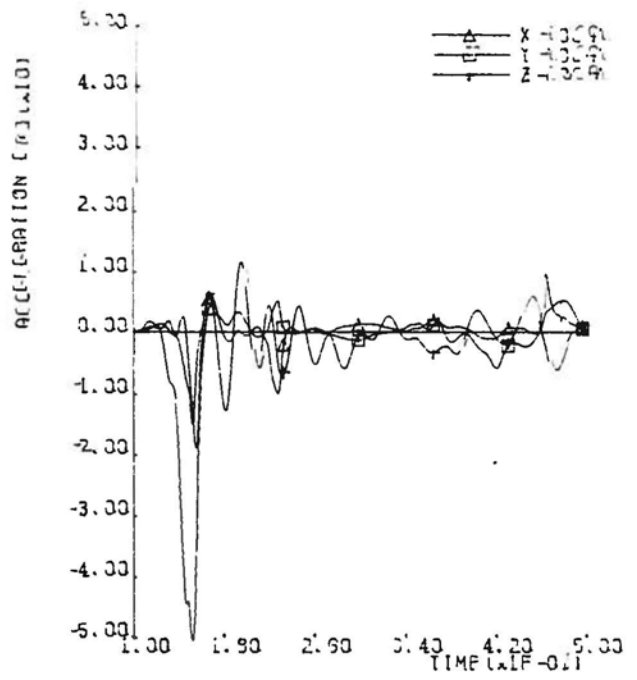
MASTERPLAN FIELDS E3
 STRUCTURE H00FD
 MASS H00FD
 ACCELERATION IN POINT (3.300, 3.300, 3.300)



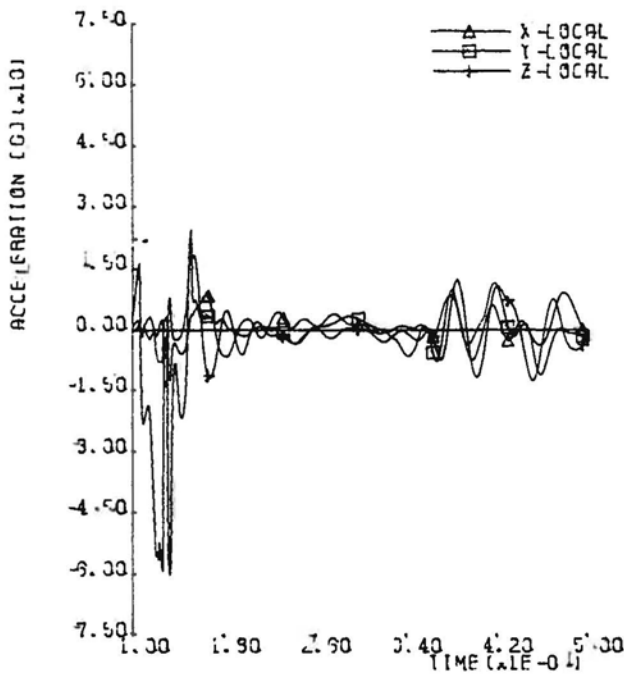
MASTERPLAN FIELDS P3
 CONTACT ELEMENT 7 CYLINDER
 INVOLVED STRUCTURE MASS 2/ 1--- 2/ 1
 FORCE IN CON. ELEMENT REFERENCE FRAME



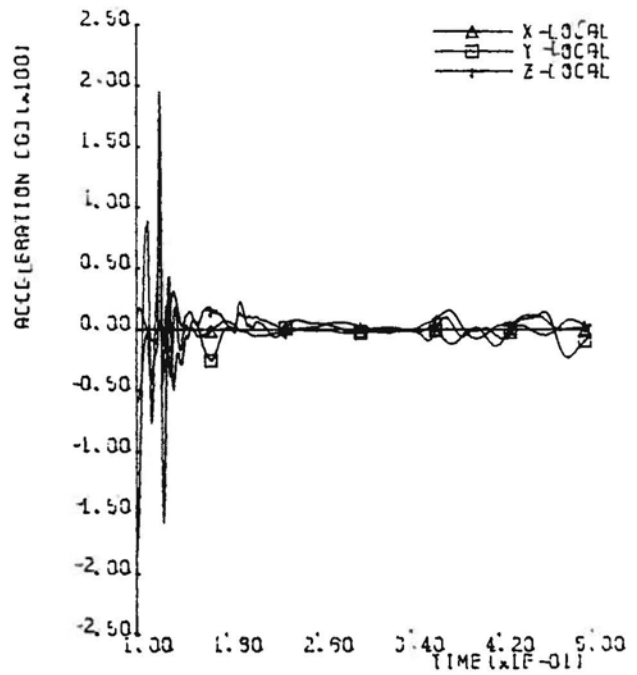
MASTERPLAN FIELDS P3
 STRUCTURE RIGIDKAST
 MASS RIGIDKAST
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



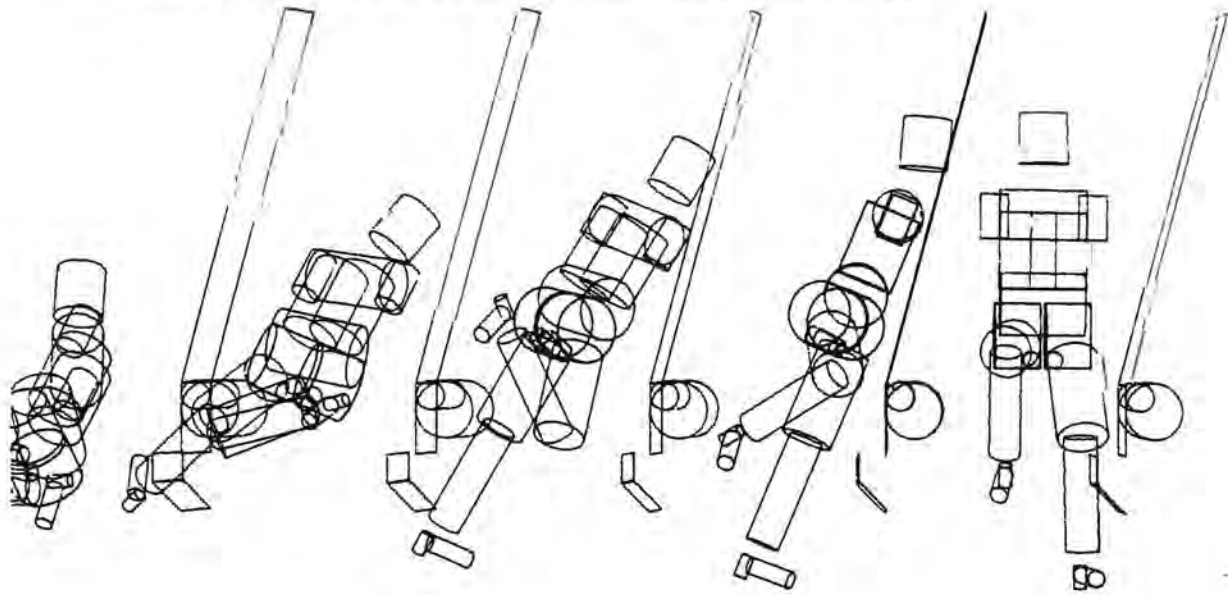
MASTERPLAN FIELDS P3
 STRUCTURE HEUP
 MASS HEUP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FIELDS P3
 STRUCTURE 150V-BEHN
 MASS 150V-BEHN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, -0.139)

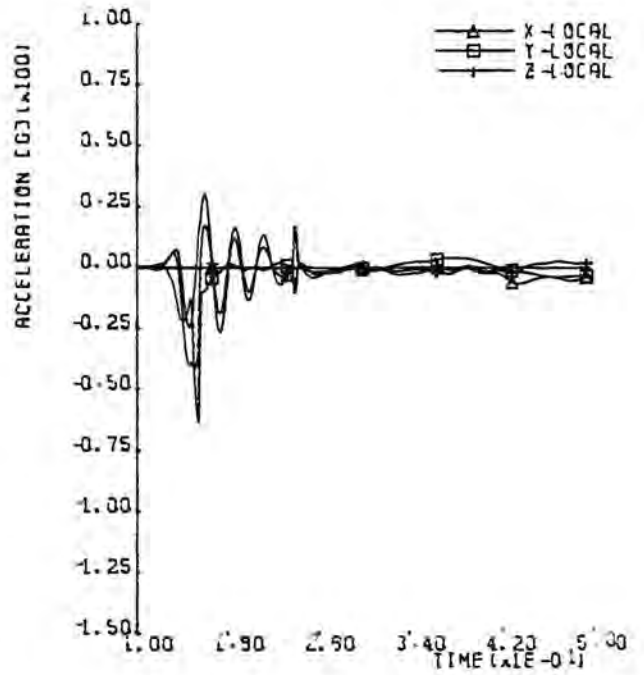
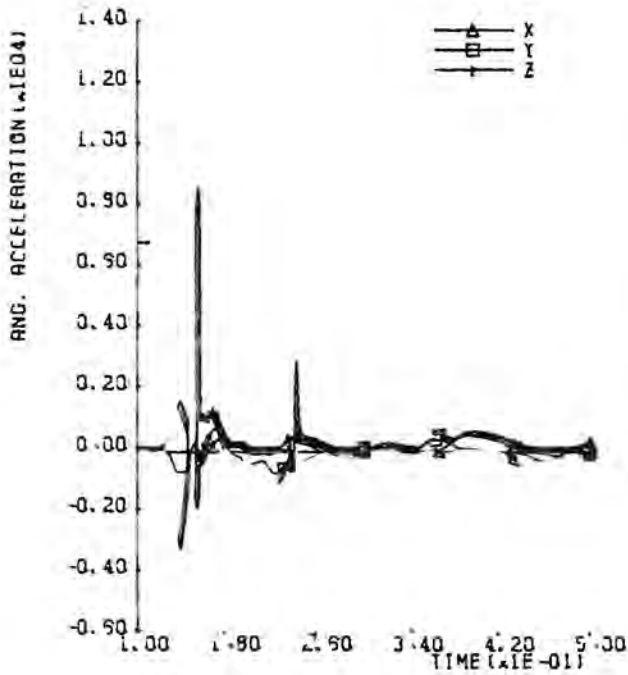


Afbeelding 12. Plot en resultaten van simulatie E4.

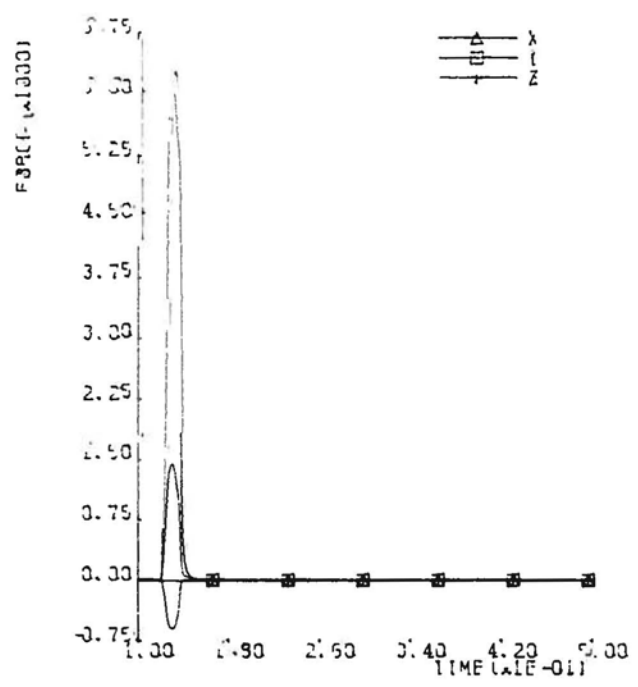


MASTERPLAN FIETS E4
 STRUCTURE H00FD
 MASS H00FD
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

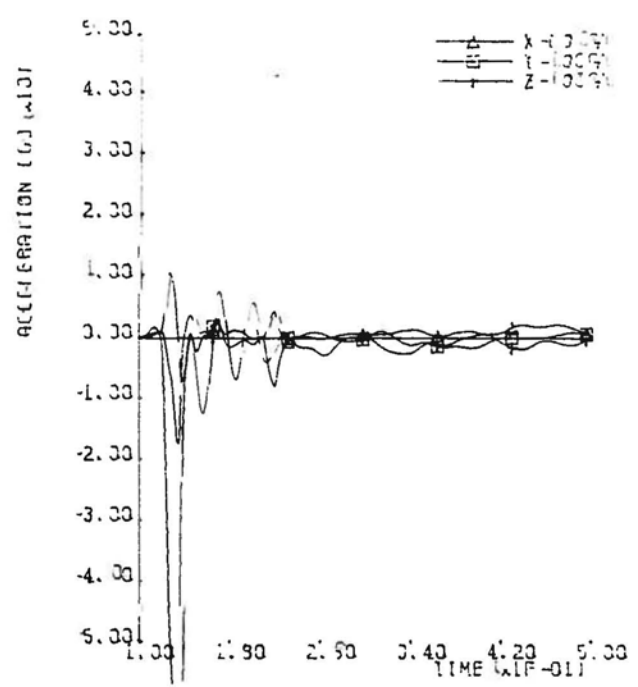
MASTERPLAN FIETS E4
 STRUCTURE H00FD
 MASS H00FD
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



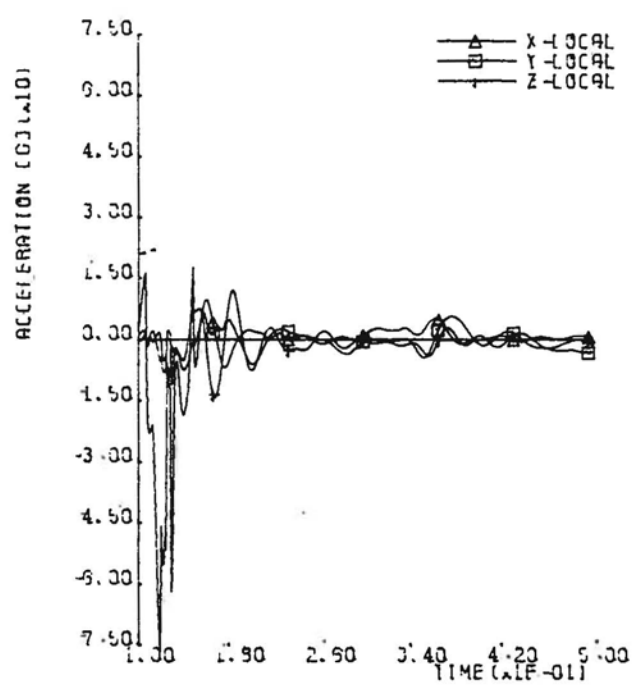
MASTERPLAN FIELDS 04
 CONTACT ELEMENT 7 CYLINDER
 INVOLVED IMPACT MASS 2/ 1--- 2/ 1
 FORCE IN CON. ELEMENT REFERENCE FRAME



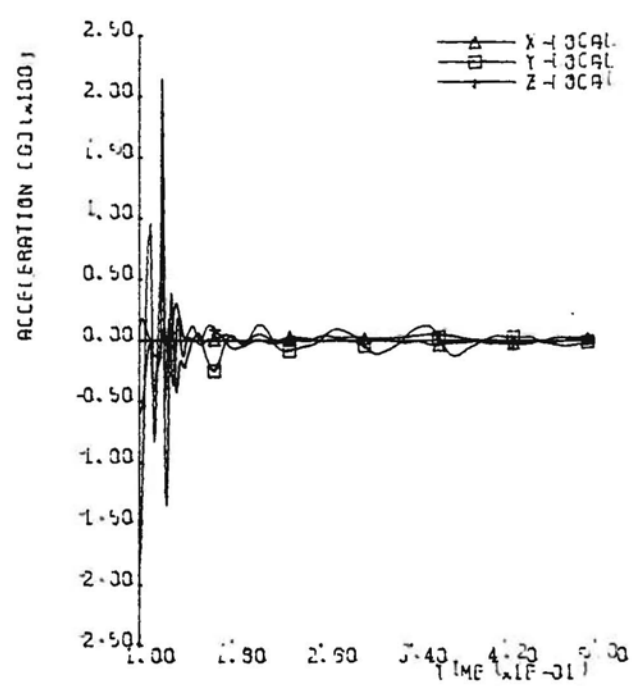
MASTERPLAN FIELDS 04
 STRUCTURE RIDGEK401
 MASS 715.00K401
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



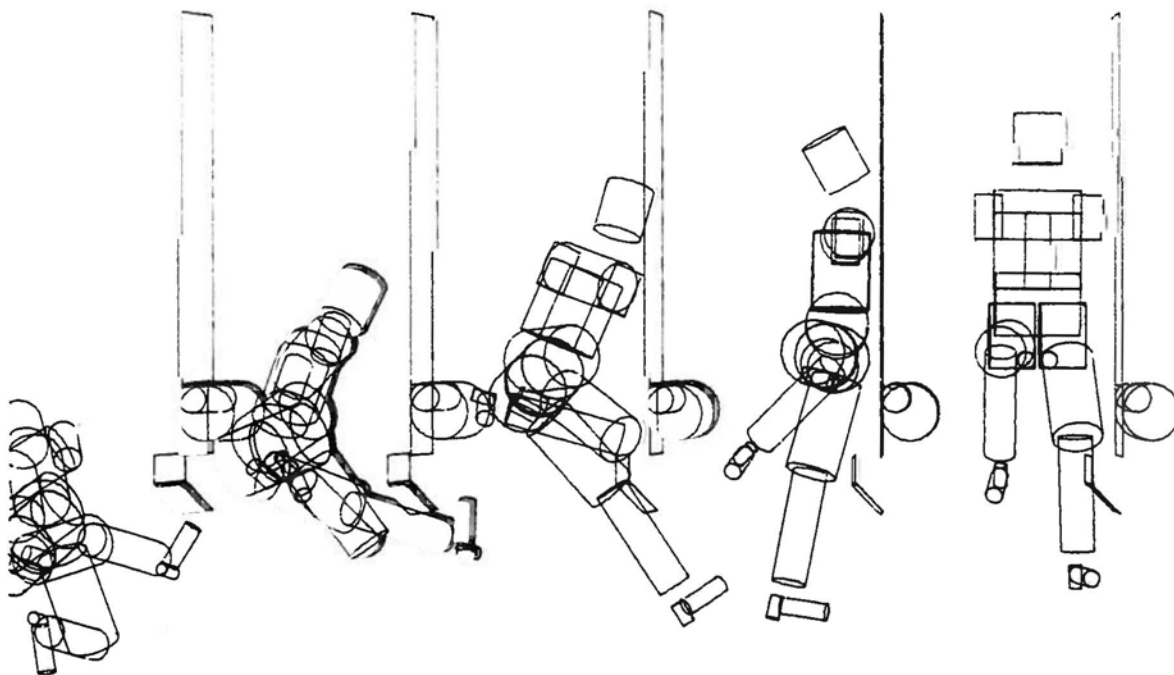
MASTERPLAN FIELDS 04
 STRUCTURE HEUP
 MASS HEUP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FIELDS 04
 STRUCTURE 150V-3EFN
 MASS 150V-3EFN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, -0.000)

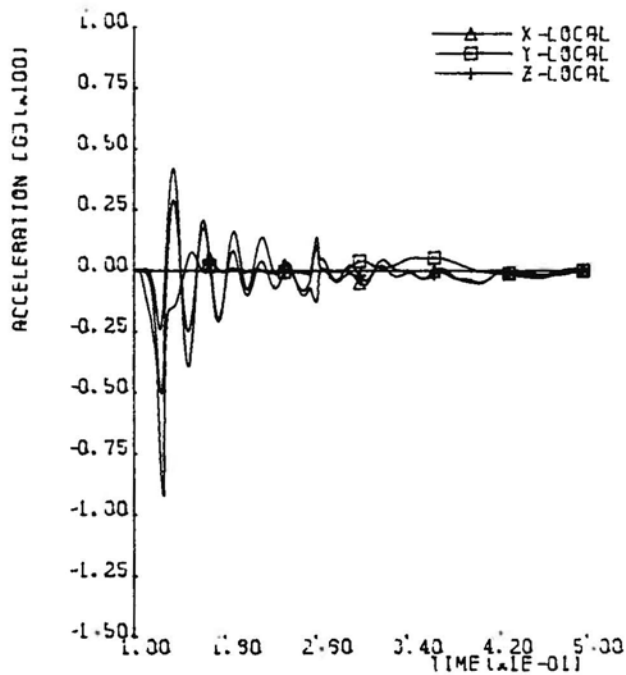
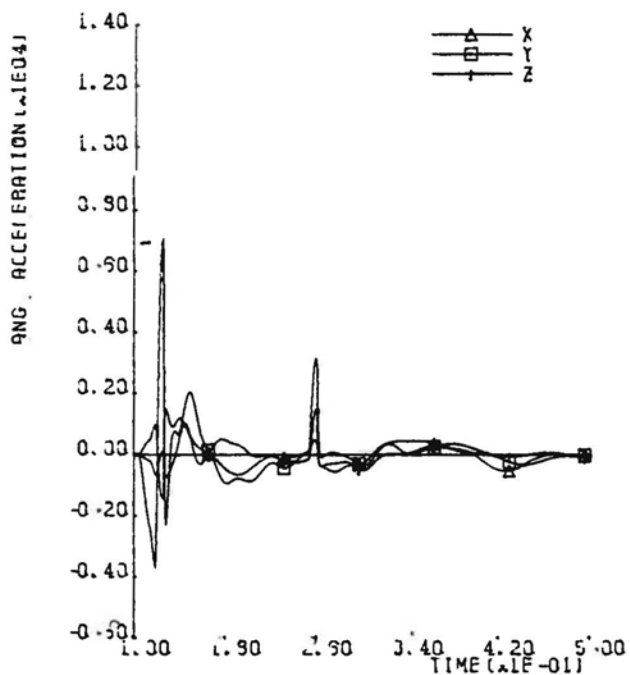


Afbeelding 13. Plot en resultaten van simulatie E5.

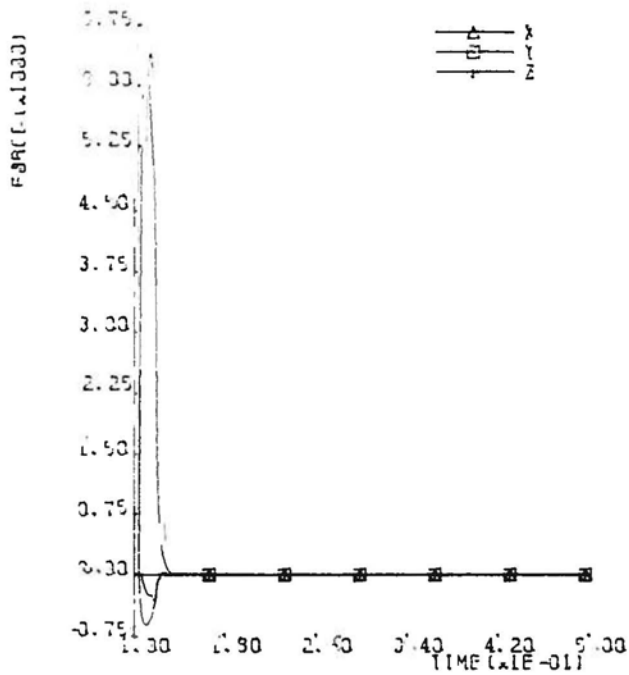


MASTERPLAN FIETS E5
 STRUCTURE H00F0
 MASS H00F0
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

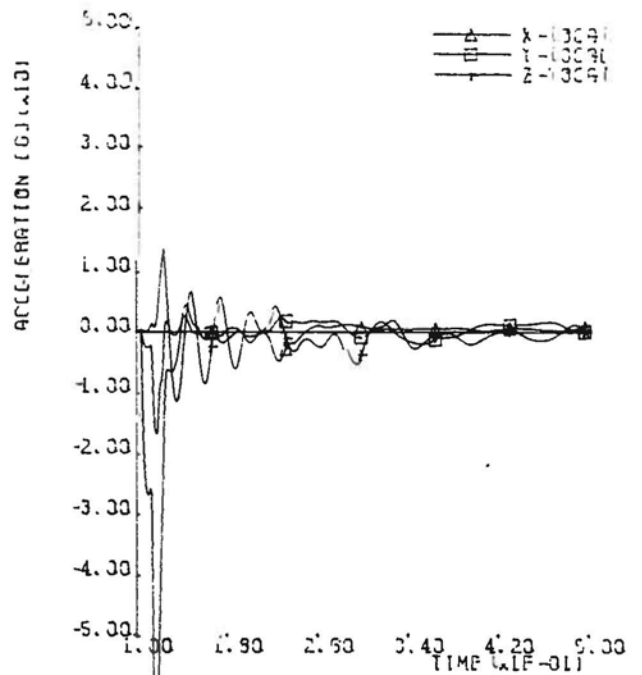
MASTERPLAN FIETS E5
 STRUCTURE H00F0
 MASS H00F0
 ACCELERATION IN POINT (0.300, 0.300, 0.300)



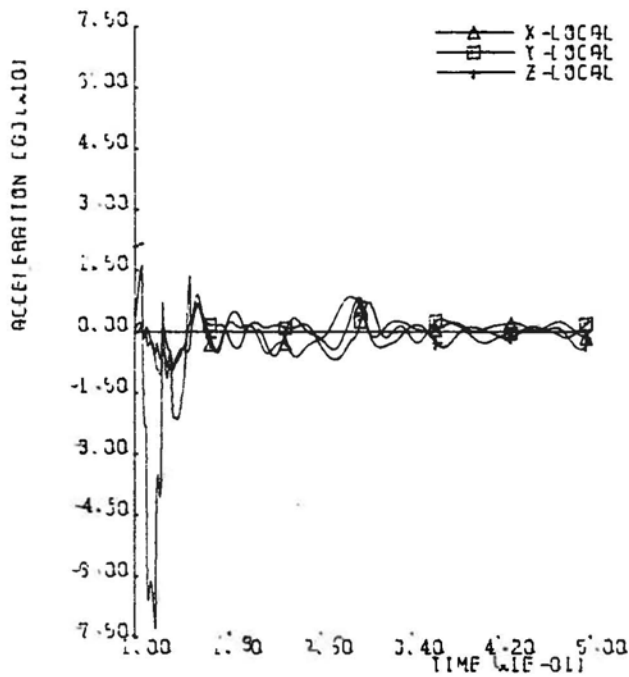
MASTERPLAN FIELDS BY
 CONTACT ELEMENT 1 CYLINDER
 INVOLVED STRUCTURE MASS BY 1--- 2/ 1
 FORCE IN CONTACT ELEMENT REFERENCE FRAME



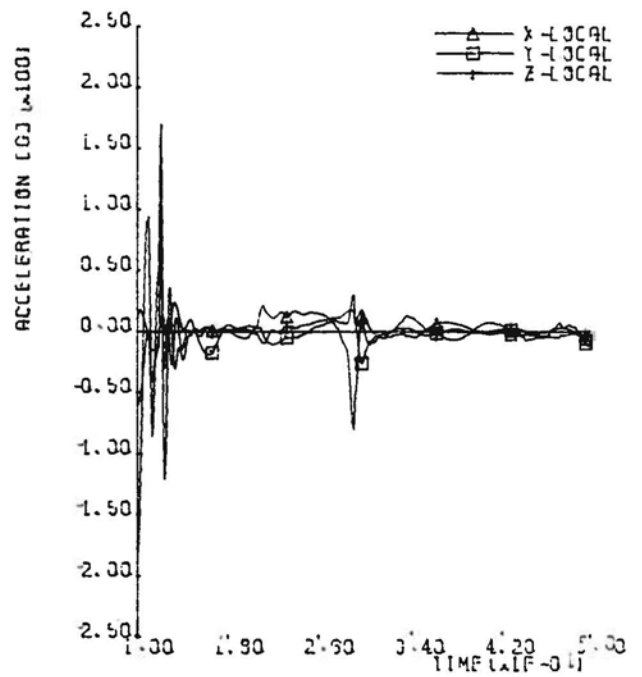
MASTERPLAN FIELDS BY
 STRUCTURE RIGIDENK931
 MASS RIGIDENK931
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



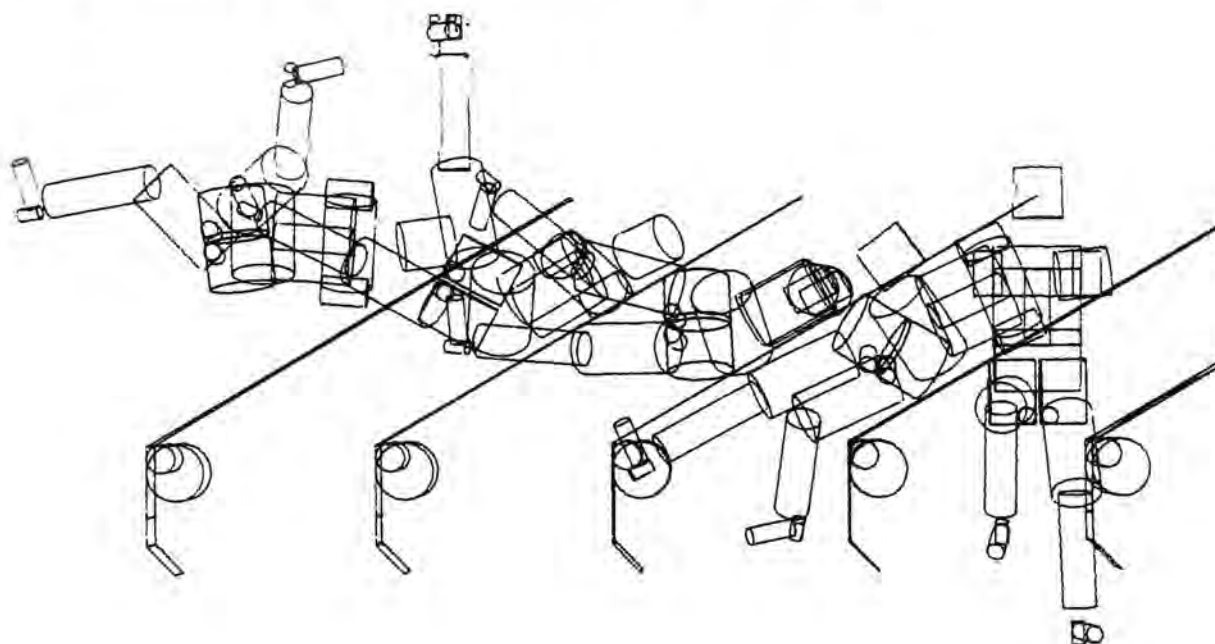
MASTERPLAN FIELDS BY
 STRUCTURE HELP
 MASS HELP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FIELDS BY
 STRUCTURE LJOV-BEEN
 MASS LJOV-BEEN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.002, -0.199)

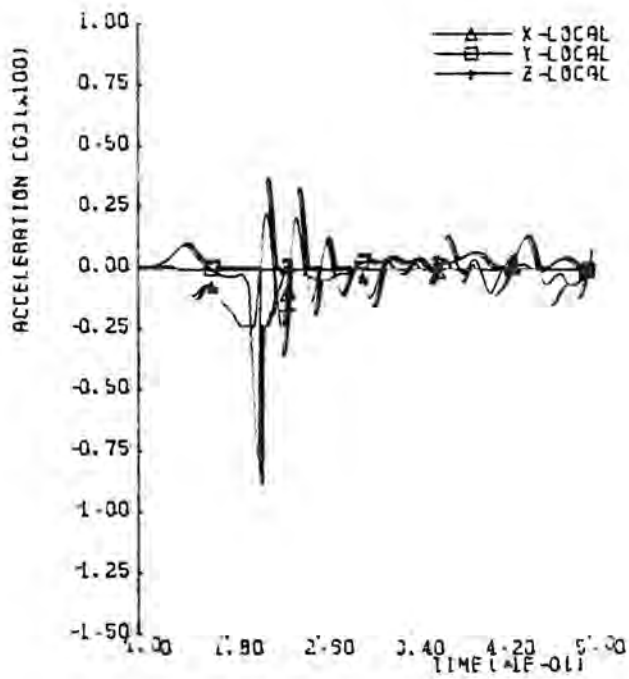
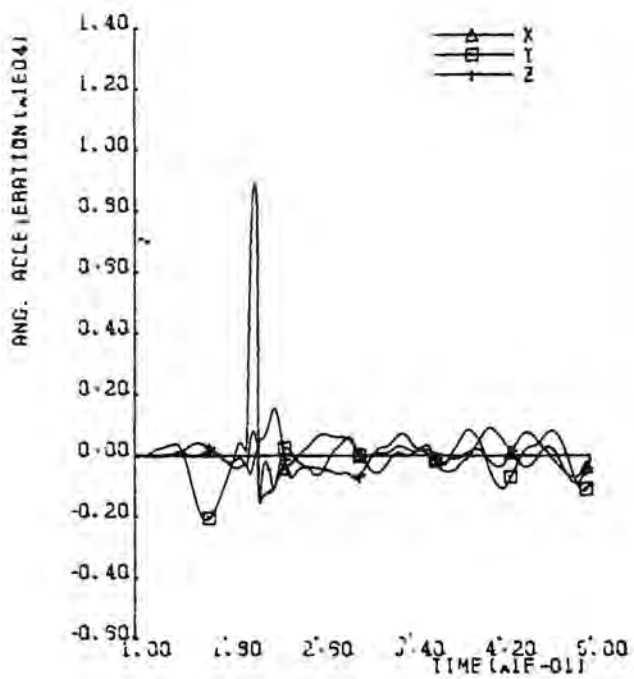


Afbeelding 14. Plot en resultaten van simulatie E11.

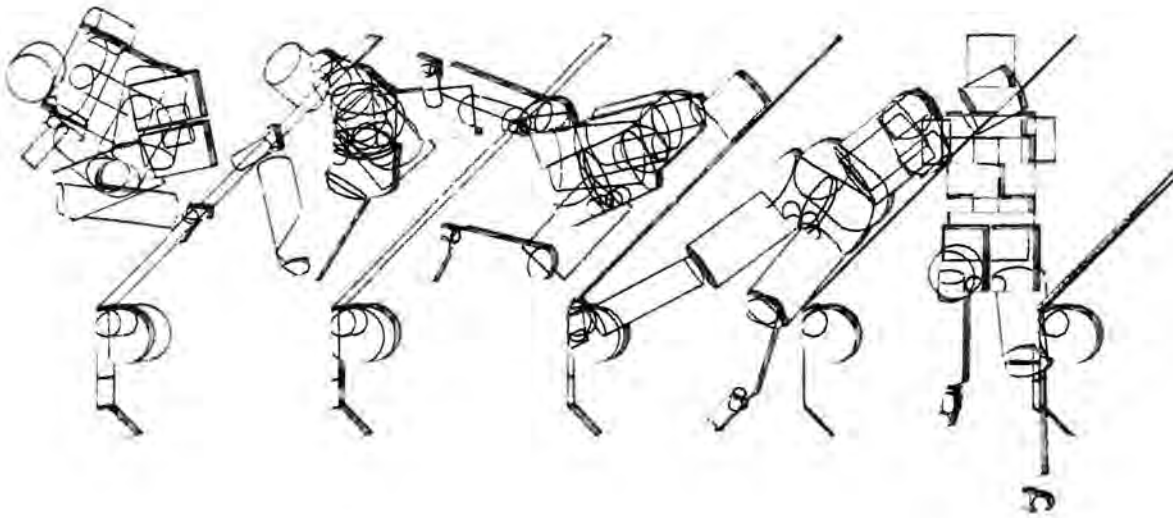


MASTERPLAN FIETS E11
 STRUCTURE H00=D
 MASS H00=D
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

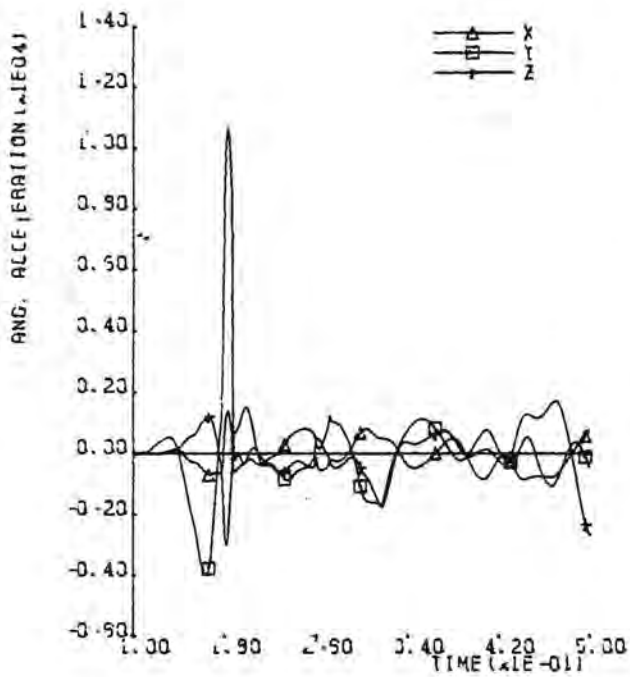
MASTERPLAN FIETS E11
 STRUCTURE H00=D
 MASS H00=D
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



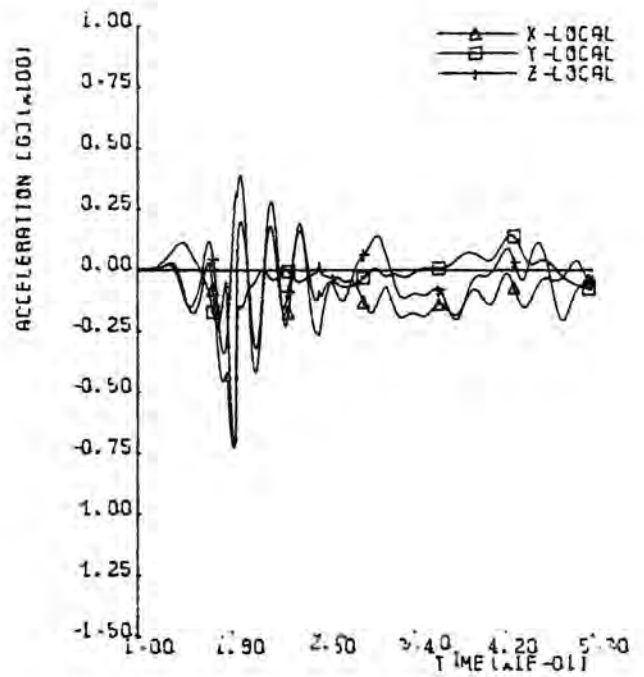
Afbeelding 15. Plot en resultaten van simulatie E12.

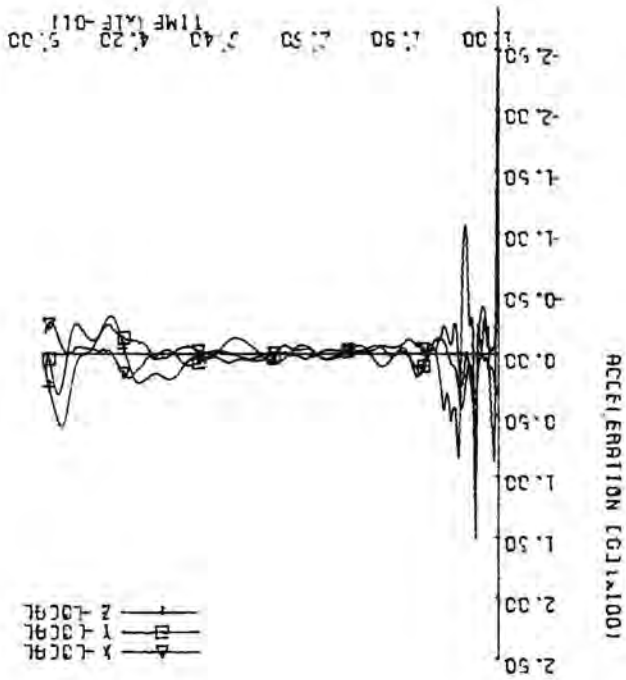


MASTERPLAN FIETS E12
 STRUCTURE H00F0
 MASS 400F0
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

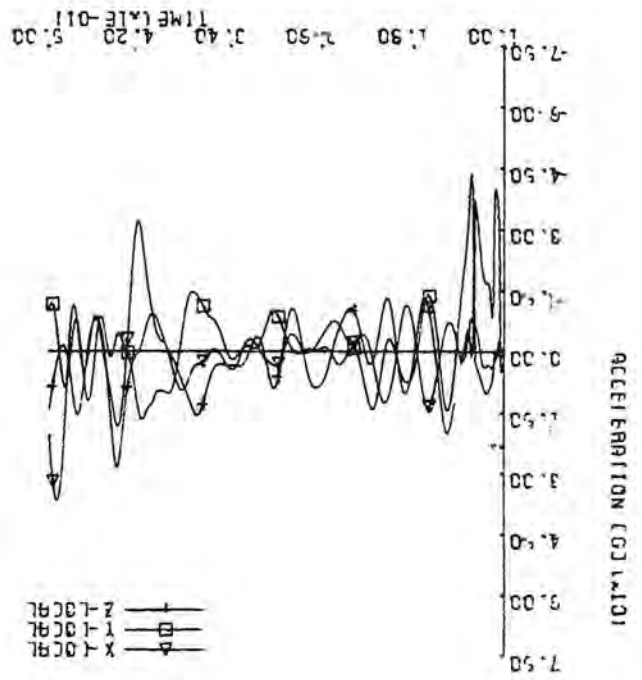


MASTERPLAN FIETS E12
 STRUCTURE H00F0
 MASS H00F0
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)

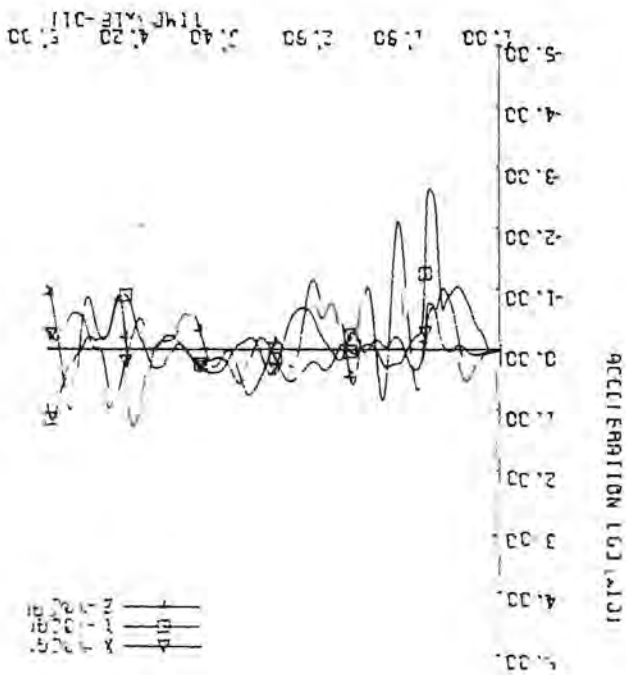




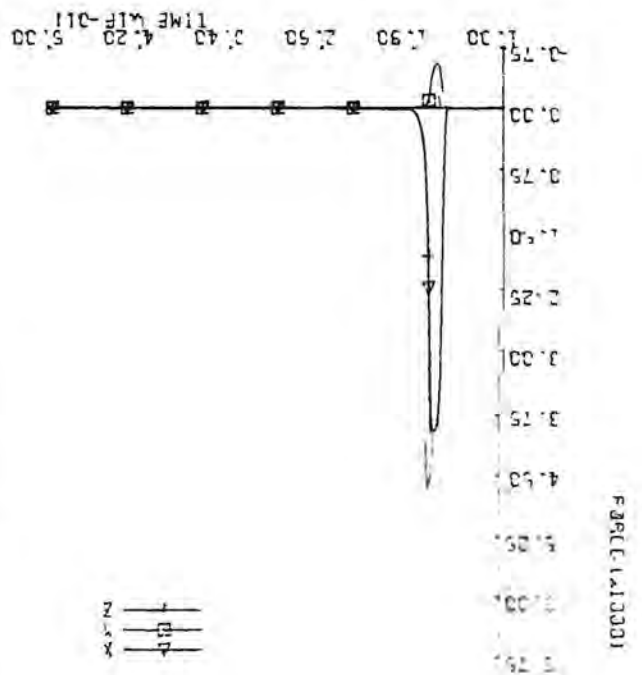
MASTERPLAN FILE: E12
 STRUCTURE
 MASS
 1.50V-BEEN
 ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000



MASTERPLAN FILE: E12
 STRUCTURE
 MASS
 1.50V-BEEN
 ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000

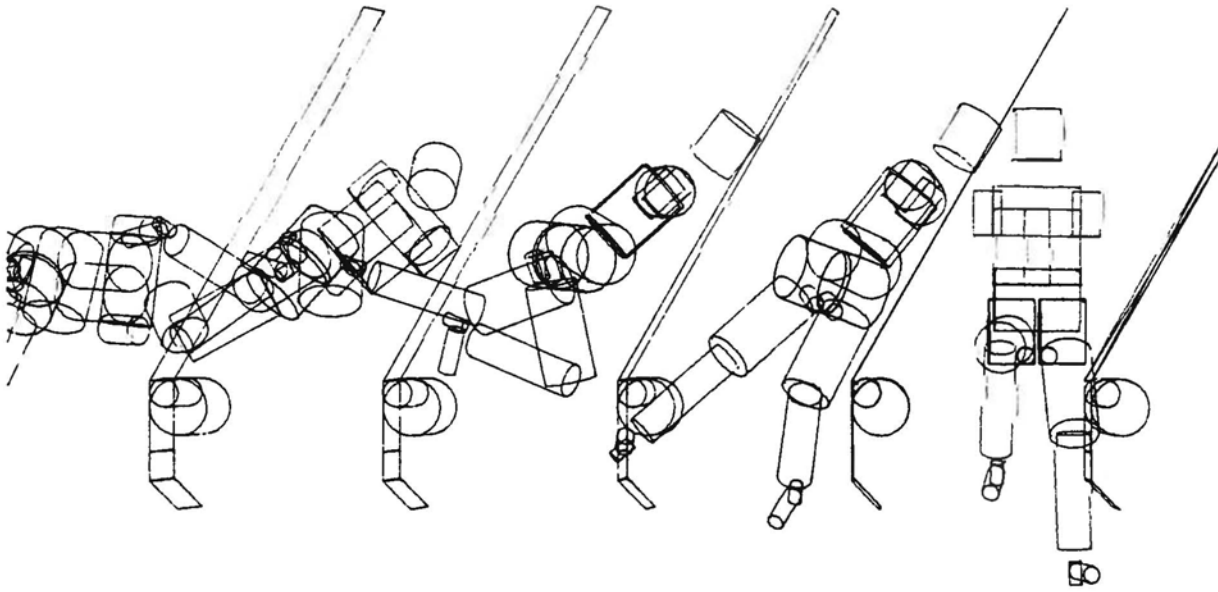


MASTERPLAN FILE: E12
 STRUCTURE
 MASS
 1.50V-BEEN
 ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000

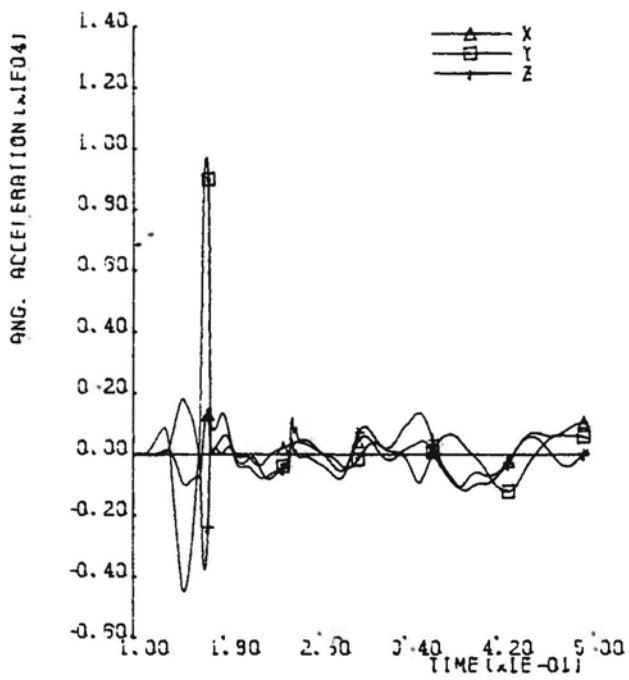


MASTERPLAN FILE: E12
 CONTACT ELEMENT
 CONTACTED ELEMENT
 FORCE IN POINT 1
 1.50V-BEEN
 FORCE IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000

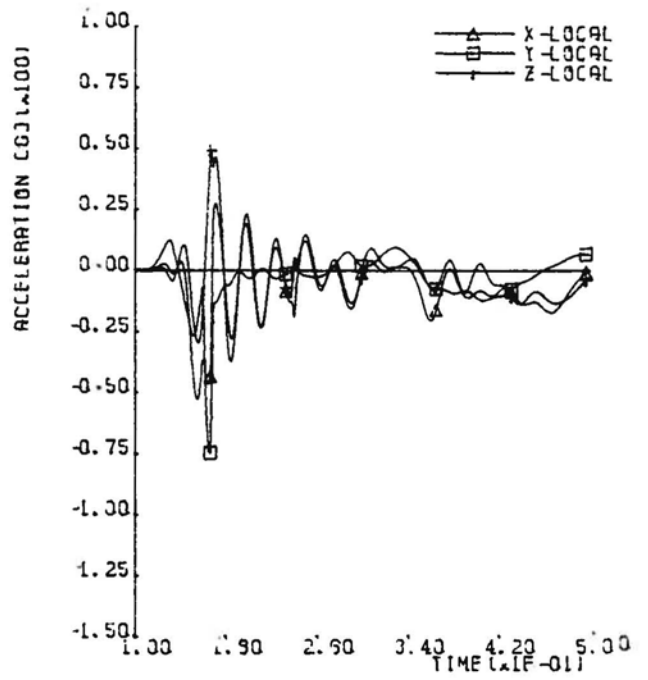
Afbeelding 16. Plot en resultaten van simulatie E13.

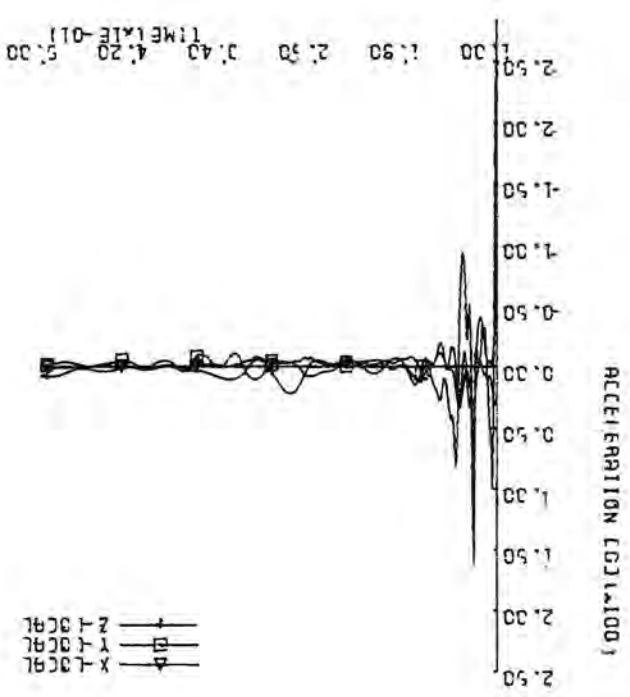


MASTERPLAN FIELDS E13
 STRUCTURE H00°D
 MASS 400°D
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

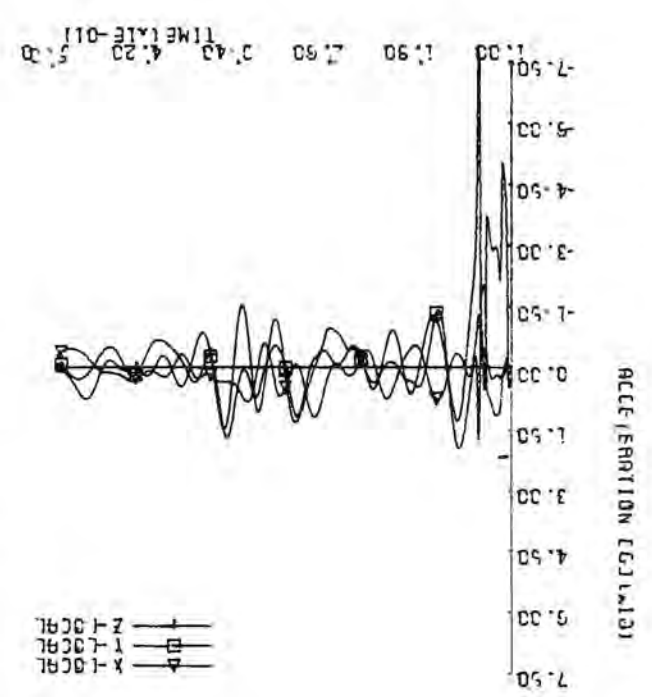


MASTERPLAN FIELDS E13
 STRUCTURE H00°D
 MASS 400°D
 ACCELERATION IN POINT (0.300, 0.300, 0.300)

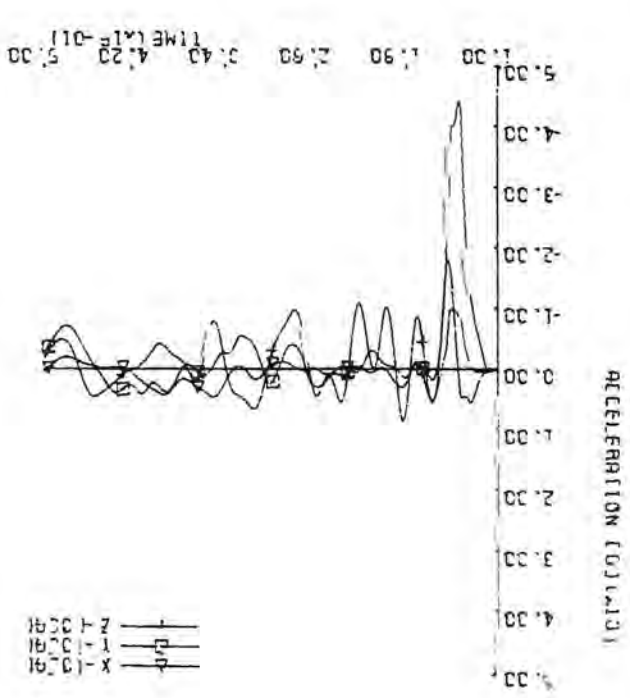




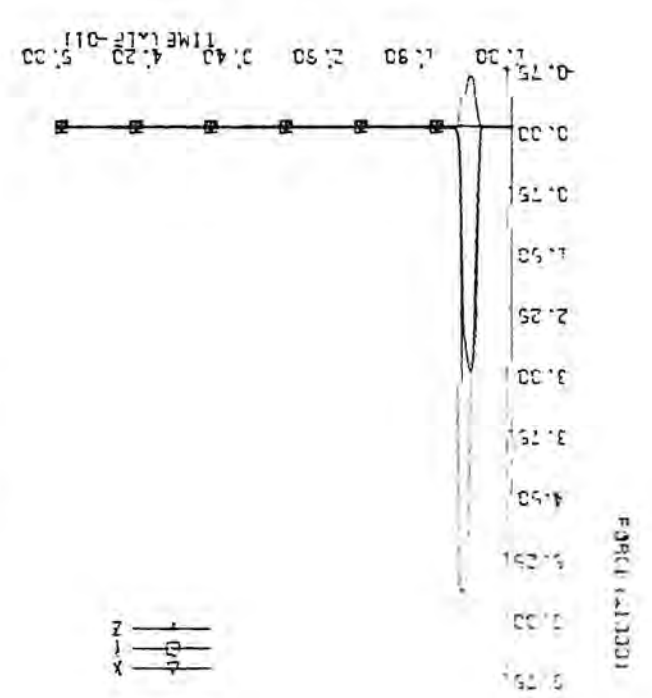
Mastiplan fields E13
STRUCTURE
BODY-BE RN
L30V-BE FN
MASS
ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000



Mastiplan fields E13
STRUCTURE
HELP
MASS
ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000

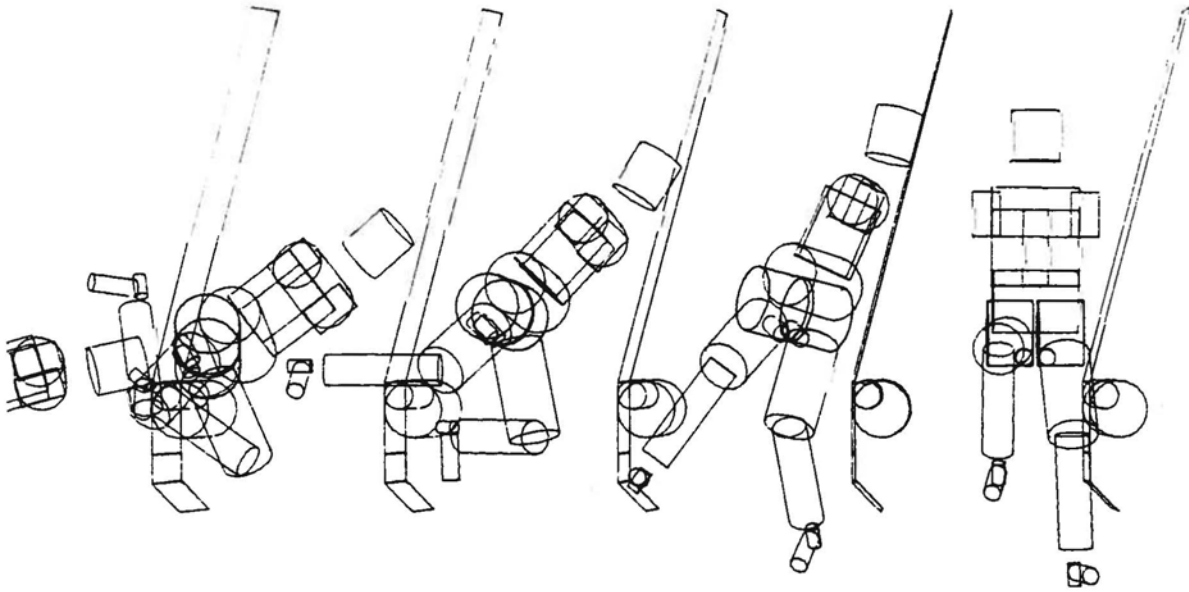


Mastiplan fields E13
STRUCTURE
PODDONKWA
STRUCTURE
MASS
ACCELERATION IN POINT 1 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000



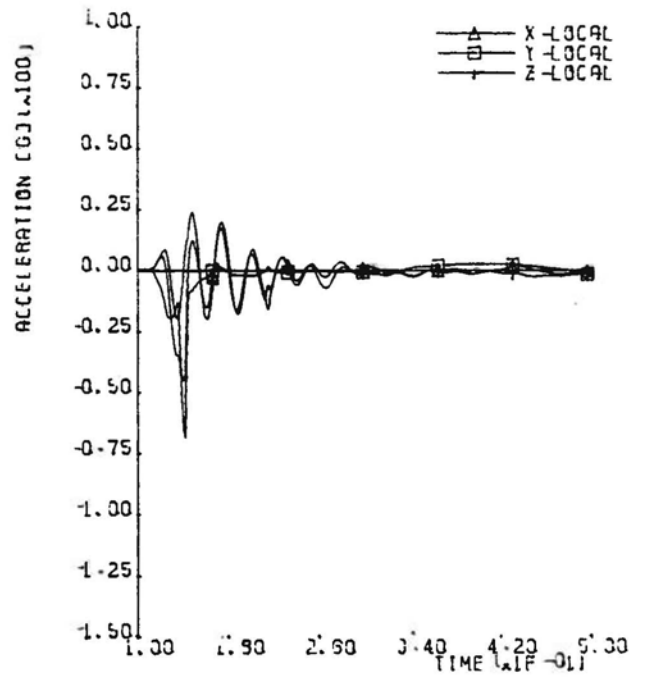
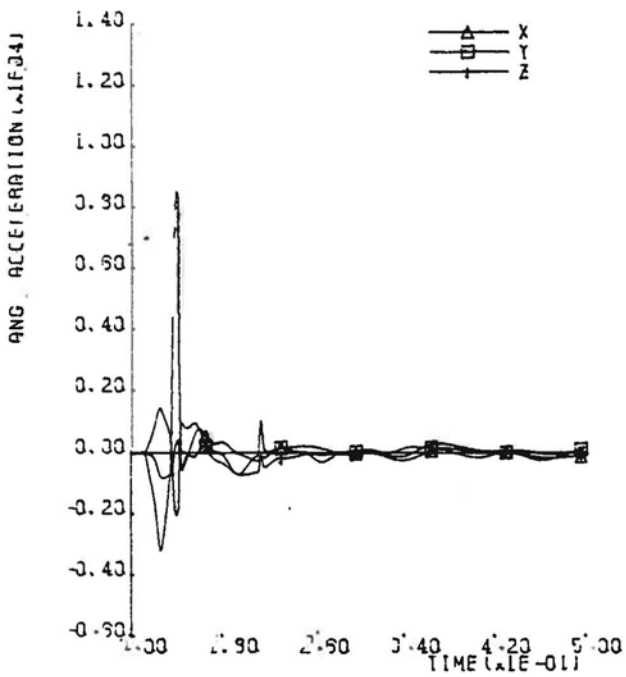
Mastiplan fields E13
CONTROL ELEMENT 1 CILINDR
INVERTED - INVERTED
PAGE IN CONTROL POINT REFERENCE FRAME
27 1 --- 27 1

Afbeelding 17. Plot en resultaten van simulatie E14.

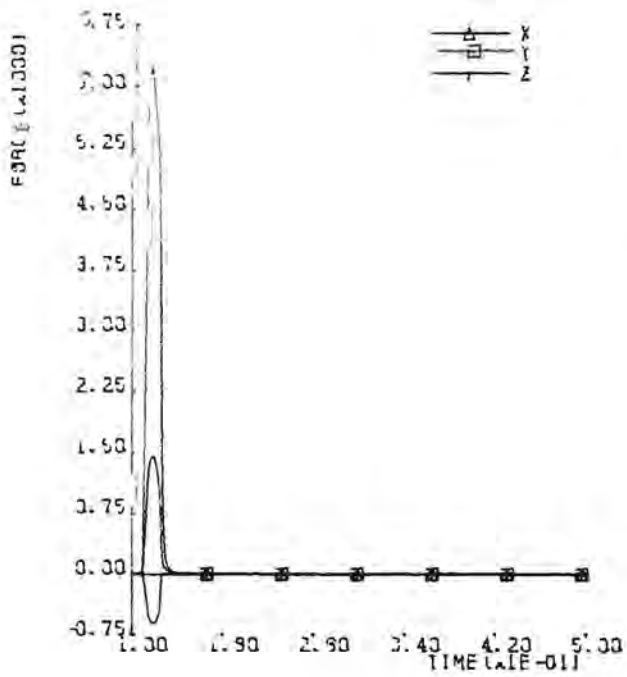


MASTERPLAN FIETS E14
 STRUCTURE 400FD
 MASS 400FD
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

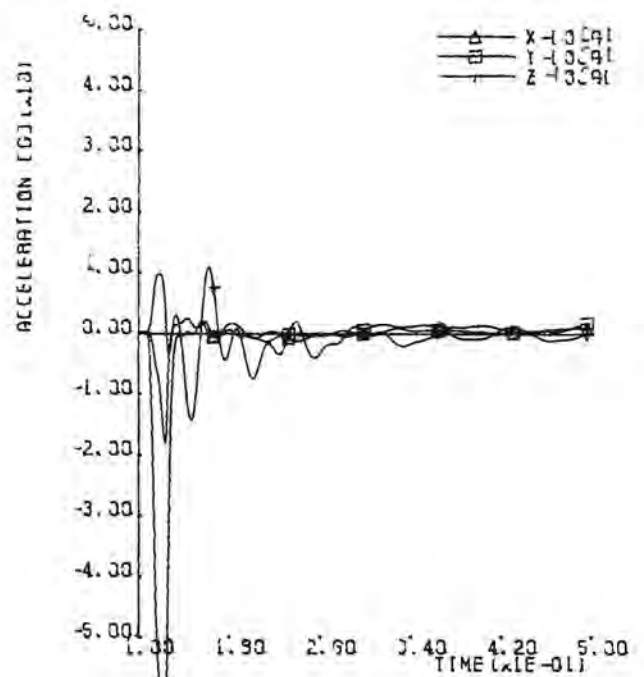
MASTERPLAN FIETS E14
 STRUCTURE 400FD
 MASS 400FD
 ACCELERATION IN POINT (0.300, 0.300, 0.000)



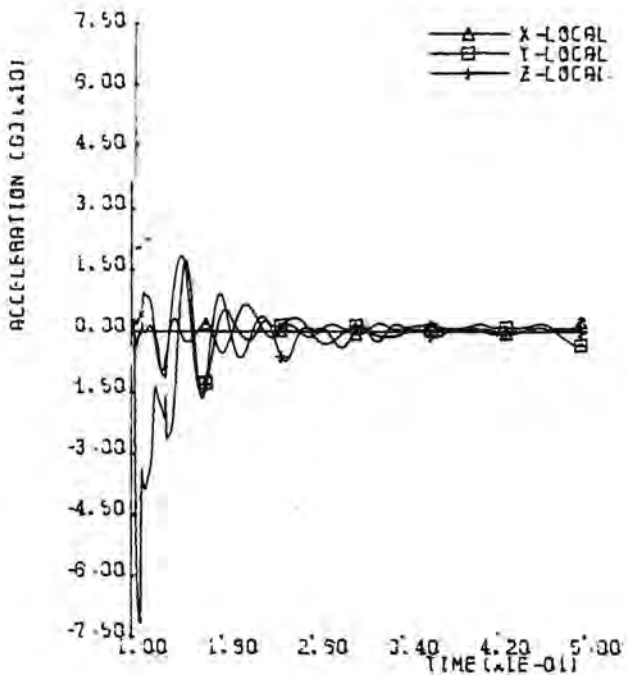
MASTERPLAN FILE: P14
 CONTACT ELEMENT: 7 CYLINDER
 INVOLVED STRUCT. MASS: 2/ 1--- 2/ 1
 FORCE IN CONT. ELEMENT REFERENCE FRAME



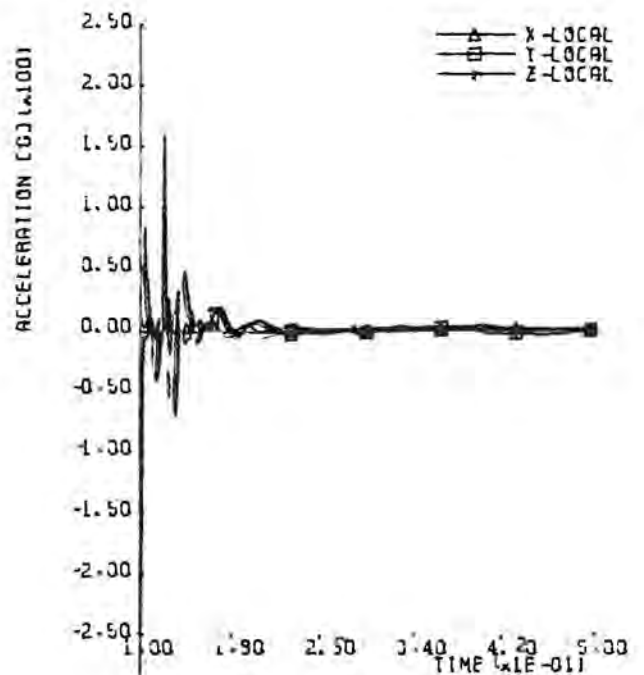
MASTERPLAN FILE: P14
 STRUCTURE: RIDSENKAST
 MASS: RIDSENKAST
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



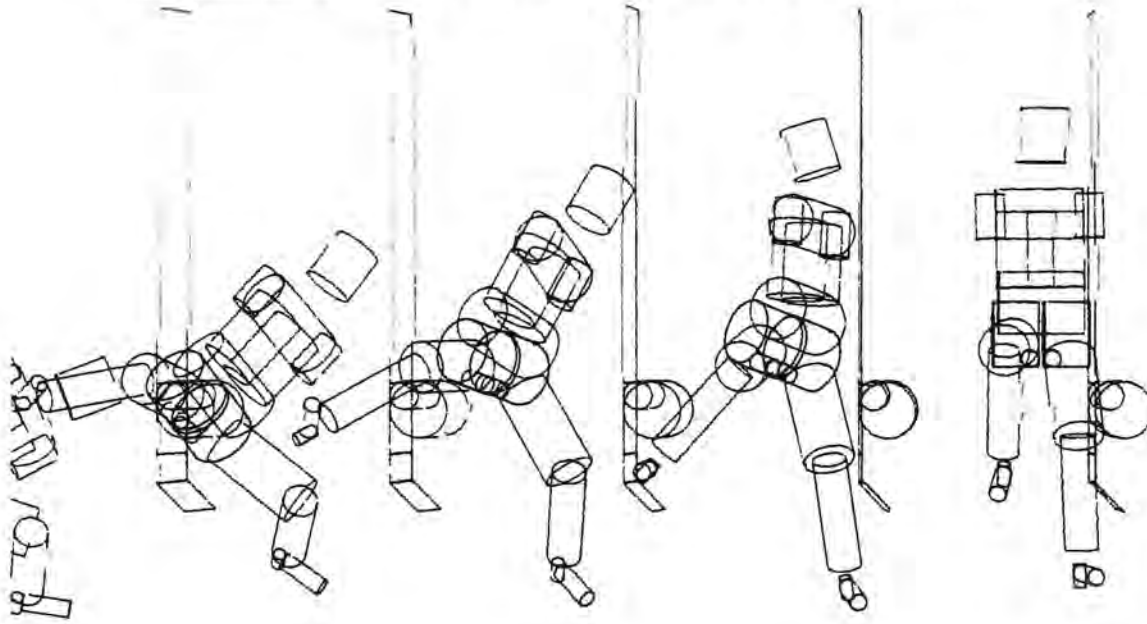
MASTERPLAN FILE: P14
 STRUCTURE: HELP
 MASS: HEUP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FILE: P14
 STRUCTURE: L90V-BEEN
 MASS: L90V-BEEN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.002, -0.199)

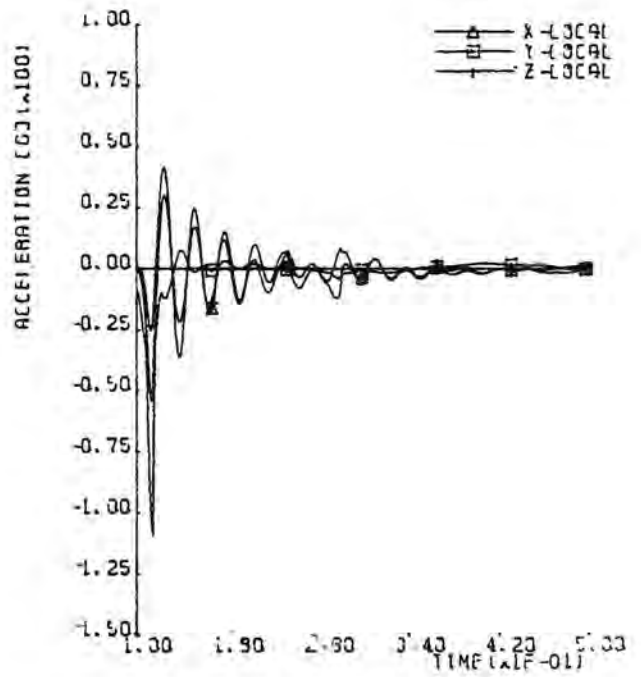
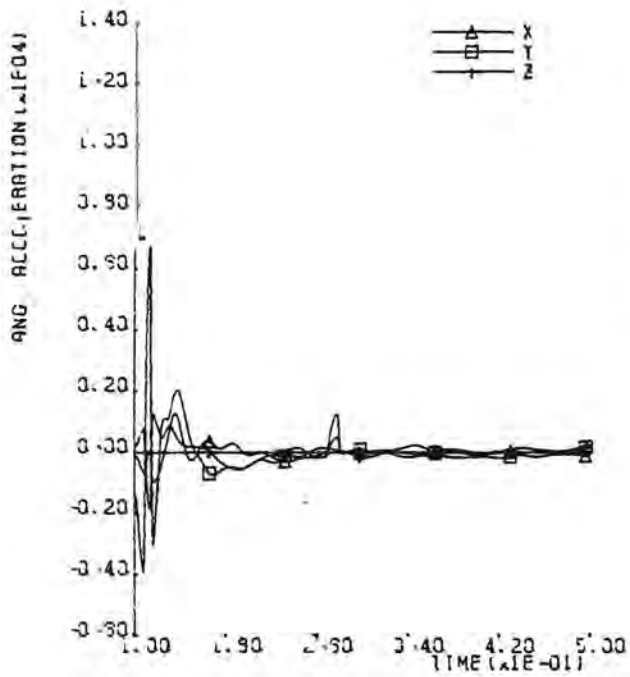


Afbeelding 18. Plot en resultaten van simulatie E15.

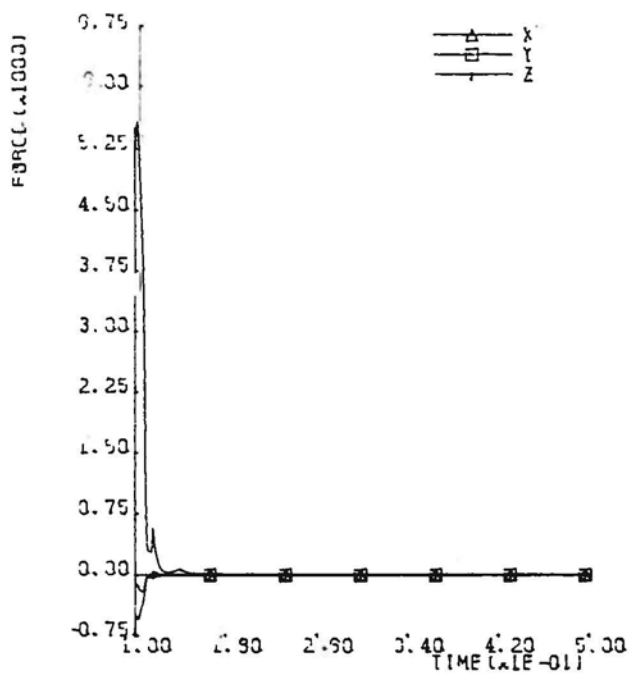


MASTERPLAN FIETS E15
 STRUCTURE H00P0
 MASS H00P0
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

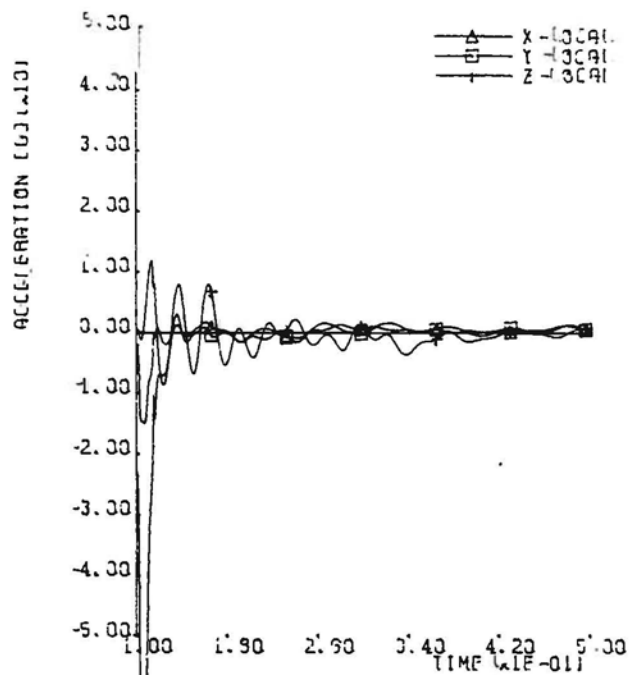
MASTERPLAN FIETS E15.
 STRUCTURE H00P0
 MASS H00P0
 ACCELERATION IN POINT (0.300, 0.300, 0.300)



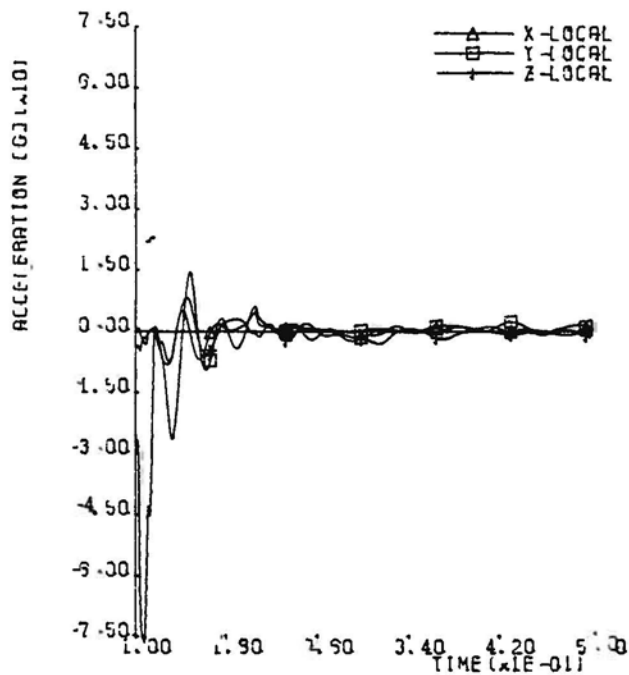
MASTERPLAN FIETS 815
 CONTACT ELEMENT 7 CYLINDER
 INVOLVED STPLC, MASS 2/ 1--- 2/ 1
 FORCE IN CONT. ELEMENT REFERENCE FRAME



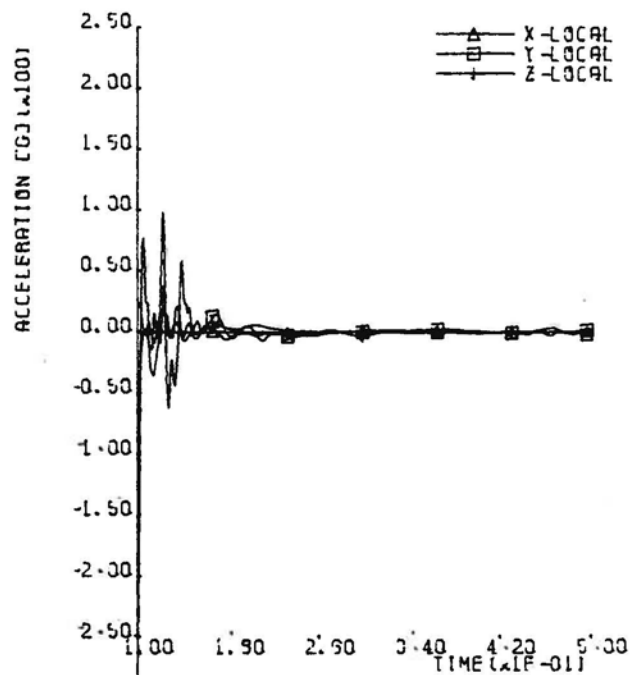
MASTERPLAN FIETS 815
 STRUCTURE RIDDENKAST
 MASS RIDDENKAST
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



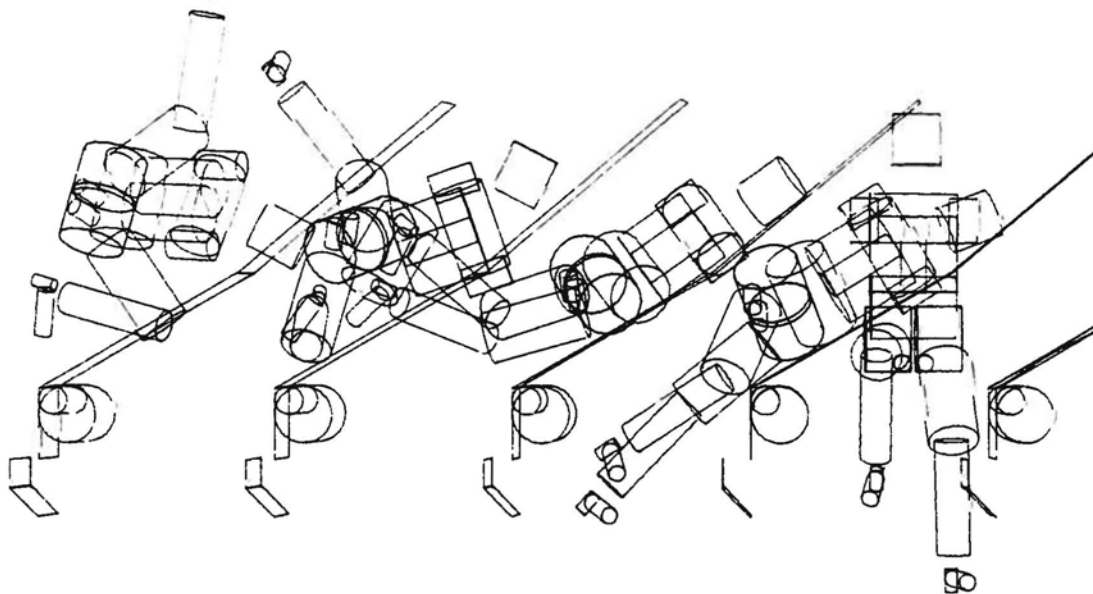
MASTERPLAN FIETS 815
 STRUCTURE HEUP
 MASS HEUP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



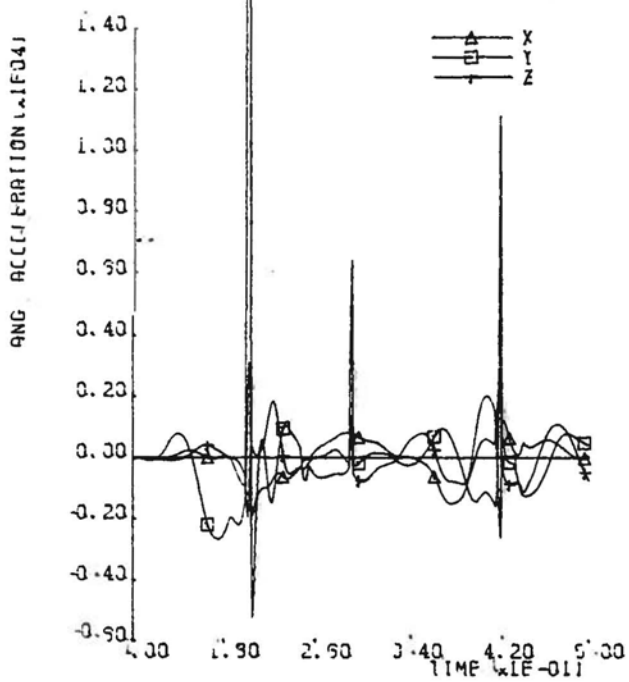
MASTERPLAN FIETS 815
 STRUCTURE L30V-BEEN
 MASS L30V-BEEN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.002, -0.199)



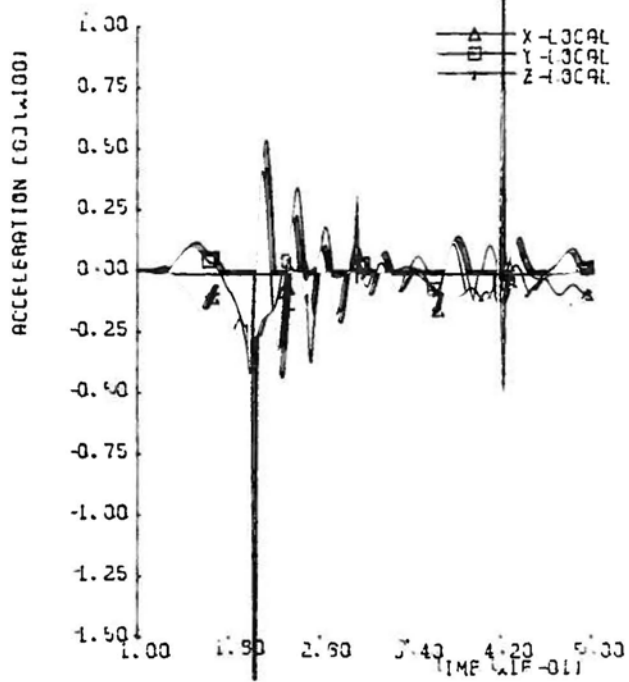
Afbeelding 19. Plot en resultaten van simulatie E21.



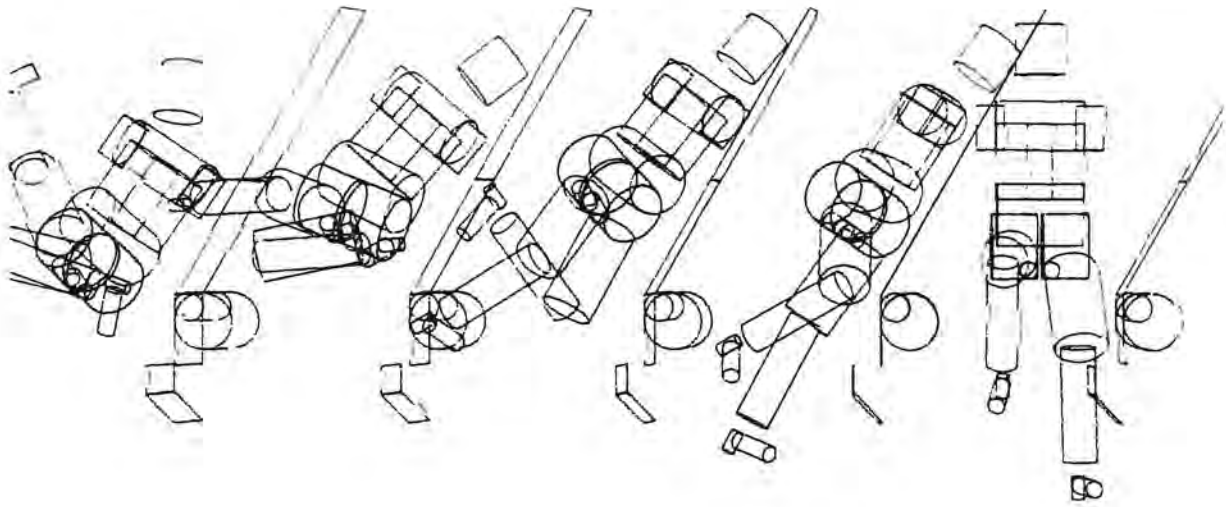
MASTERPLAN FIELDS E21
 STRUCTURE H00FD
 MASS 400FD
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY



MASTERPLAN FIELDS E21
 STRUCTURE H00FD
 MASS 400FD
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)

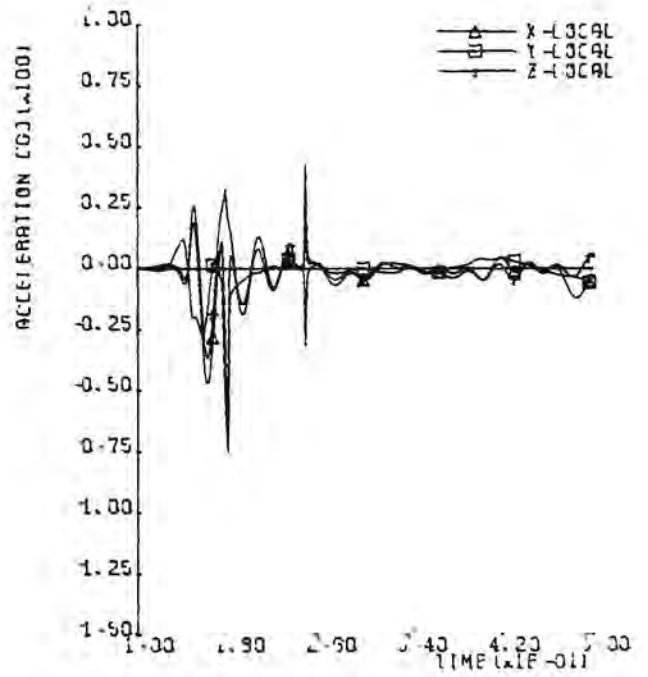
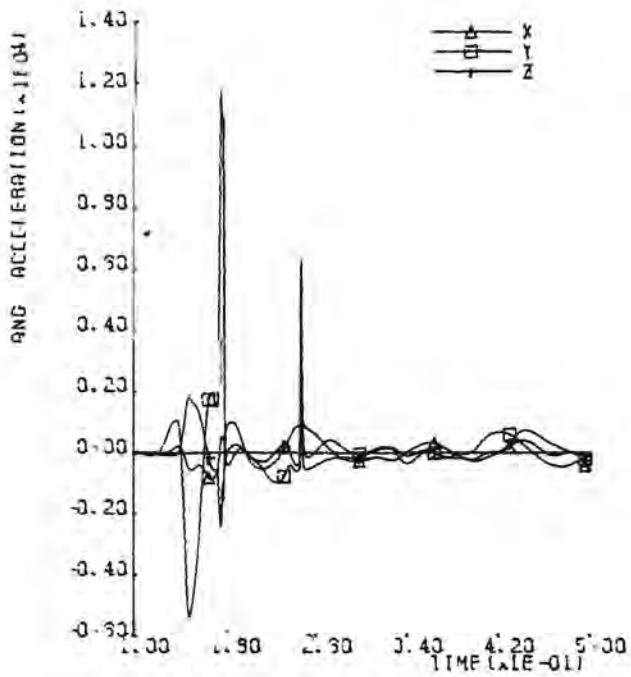


Afbeelding 20. Plot en resultaten van simulatie E23.

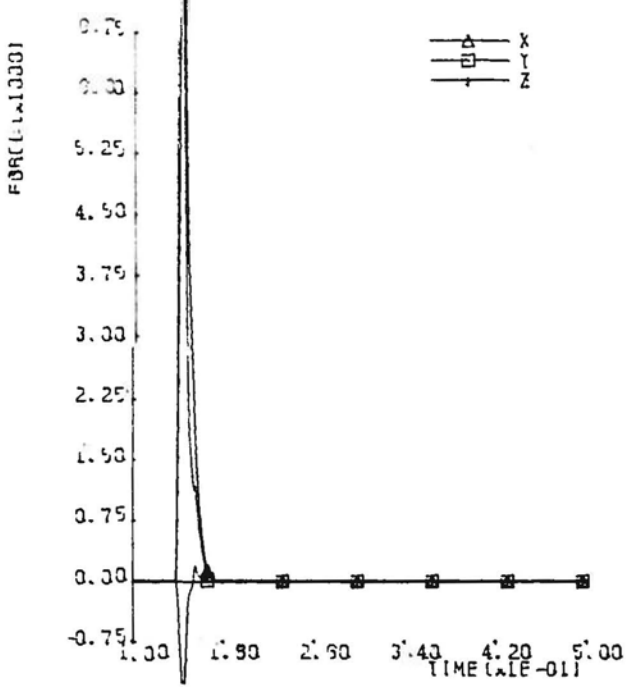


MASTERPLAN FILE IS E23
 STRUCTURE H00P0
 MASS H00P0
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

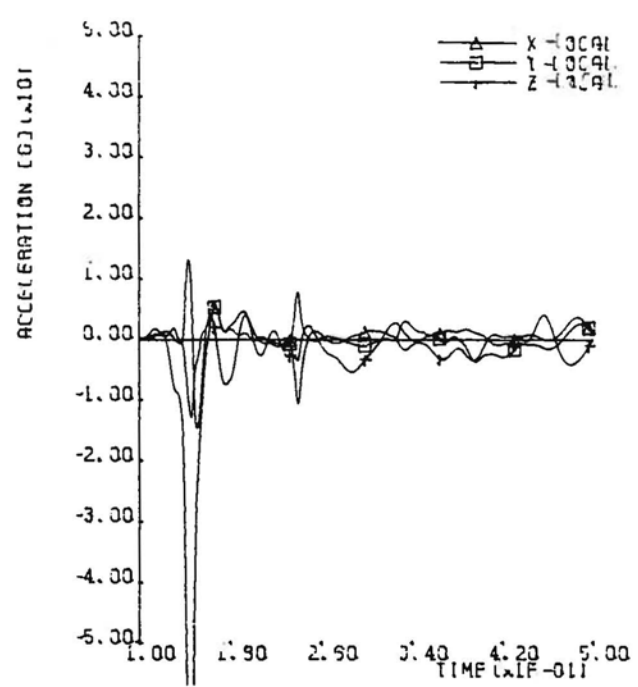
MASTERPLAN FILE IS E23
 STRUCTURE H00P0
 MASS H00P0
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



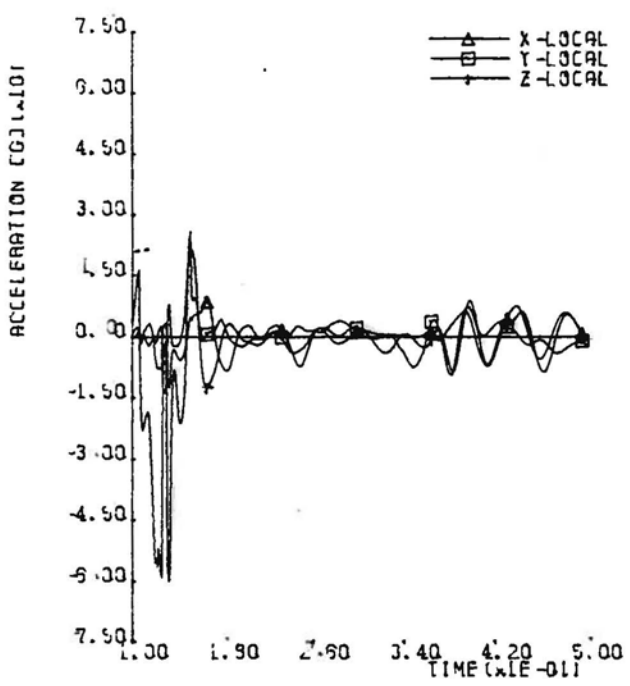
MASTERPLAN FIETS E23.
 CONTACT ELEMENT 7 CYLINDER
 INVOLVED STRUCT/MASS 2/ 1--- 2/ 1
 FORCE IN CONT. ELEMENT REFERENCE FRAME



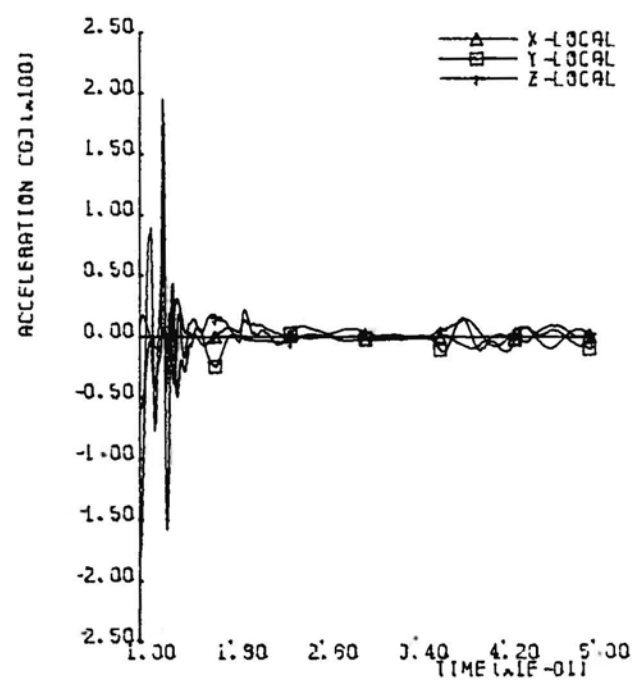
MASTERPLAN FIETS E23.
 STRUCTURE RIGIDENKAST
 MASS RIGIDENKAST
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



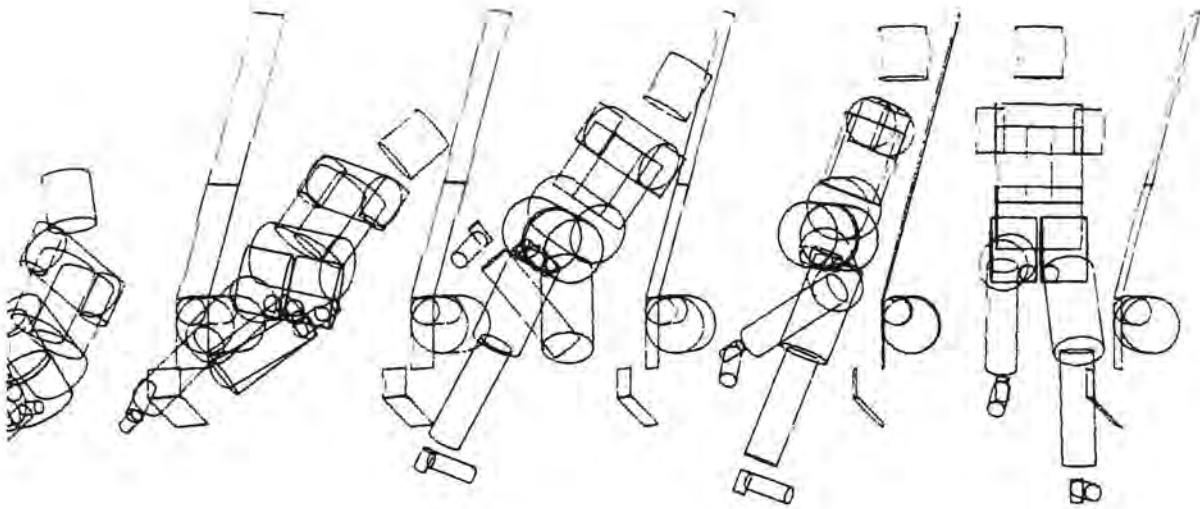
MASTERPLAN FIETS E23
 STRUCTURE HEUP
 MASS HEUP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FIETS E23
 STRUCTURE LSOV-BEEN
 MASS LSOV-BEEN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.002, -0.139)

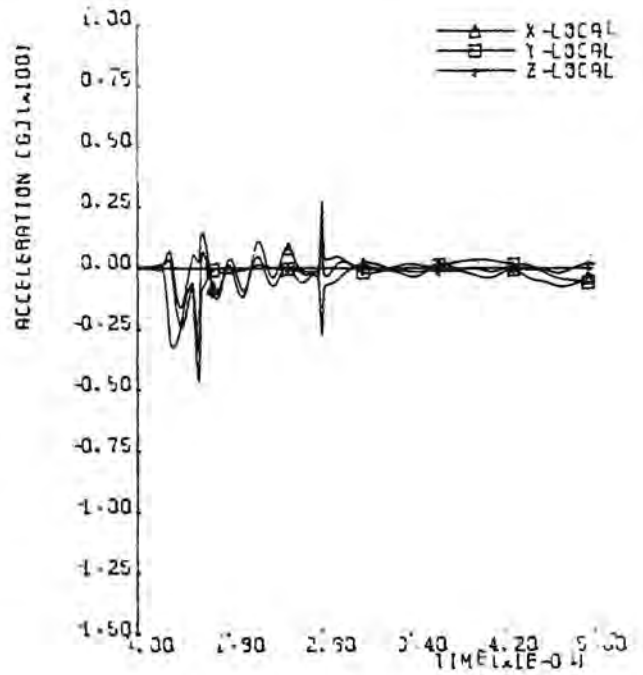
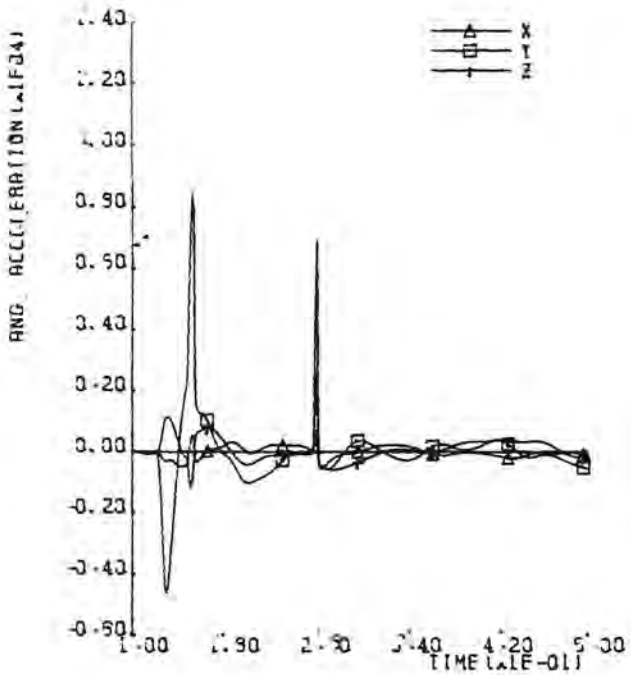


Afbeelding 21. Plot en resultaten van simulatie E24.

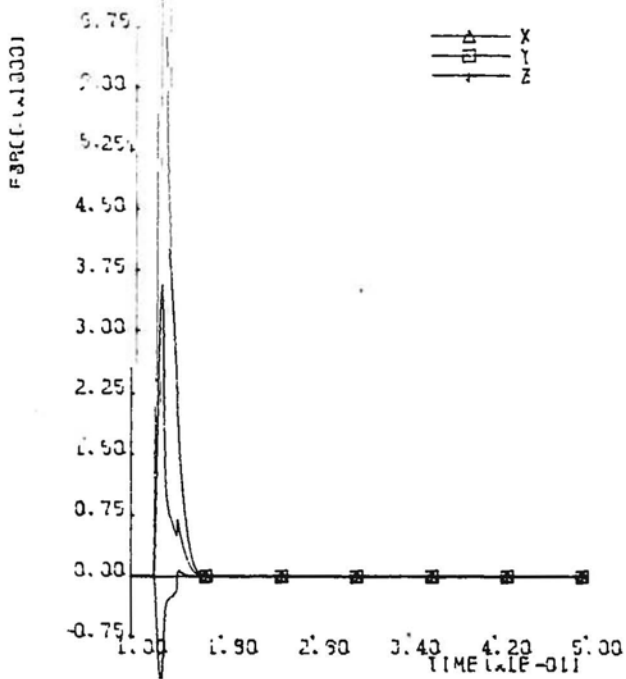


MASTERPLAN FIELDS E24
 STRUCTURE H00F0
 MASS H00F0
 ANGULAR ACCELERATION IN CENTER OF GRAVITY

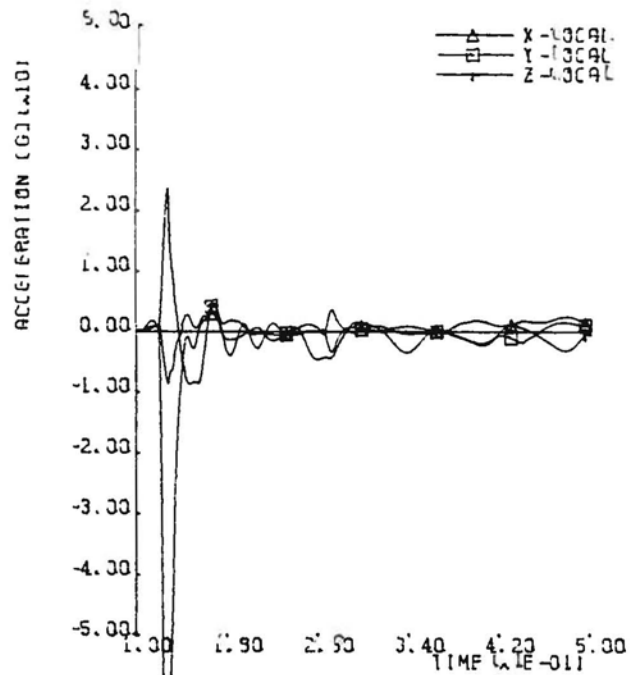
MASTERPLAN FIELDS E24
 STRUCTURE H00F0
 MASS H00F0
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



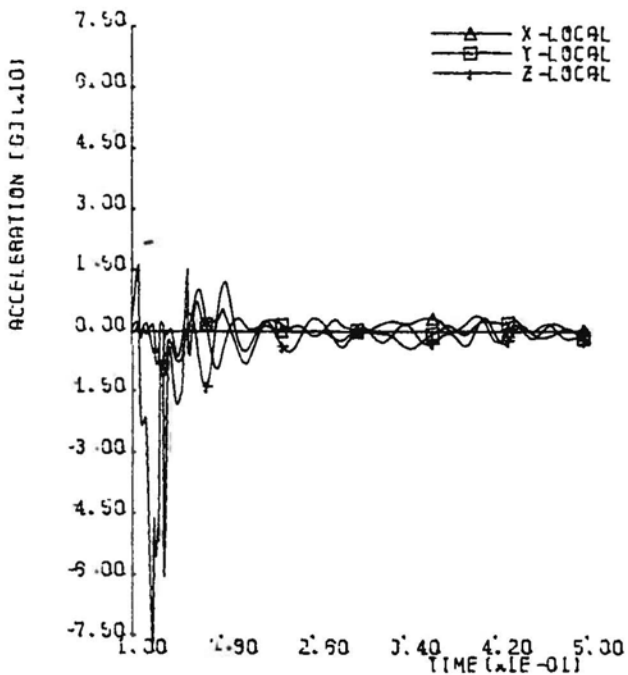
MASTERPLAN FIELDS E24.
 CONTACT ELEMENT 7 CYLINDER
 INVOLVED STRUCTURE MASS 2/ 1--- 2/ 1
 FORCE IN CONT. ELEMENT REFERENCE FRAME



MASTERPLAN FIELDS E24.
 STRUCTURE RIGIDENKAST
 MASS RIGIDENKAST
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FIELDS E24.
 STRUCTURE HEUP
 MASS HEUP
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, 0.000)



MASTERPLAN FIELDS E24.
 STRUCTURE ISOV-BEEN
 MASS ISOV-BEEN
 ACCELERATION IN POINT (0.000, 0.000, -0.139)

