

## Verslag reis V.S. van 29-10-'92 tot en met 6-11-'92

***Citation for published version (APA):***

Sauren, A. A. H. J. (1992). *Verslag reis V.S. van 29-10-'92 tot en met 6-11-'92*. (DCT rapporten; Vol. 1992.137). Technische Universiteit Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1992

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

***General rights***

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Verslag reis V.S. van 29-10-'92 tot en met 6-11-'92

A. Sauren

30-11-1992

## 1 Inleiding

Het doel van de reis was het verkrijgen van een overzicht over het onderzoeksgebied van hoofdletselmechanica om op termijn een zinnige bijdrage te kunnen leveren via de ontwikkeling van eindige-elementen modellen van het menselijk hoofd onder extreme belastingsituaties.

Bezocht zijn:

- 30 okt. '92:  
General Motors; Research Laboratories - Biomedical Science Department. Warren, MI.
- 1-4 nov. '92:  
36th Stapp Car Crash Conference. Seattle, WA.
- 5 nov. '92:  
University of Pennsylvania - Department of Bioengineering. Philadelphia, PA.
- 6 nov. '92:  
U.S. Department of Transportation - John A. Volpe National Transportation Systems Center. Cambridge, MA.

In de volgende paragrafen wordt op elk van deze bezoeken nader ingegaan.

## 2 General Motors

Ik heb hier gesproken met David Viano en John Melvin. Viano is hoofd van de groep die werkt aan experimenteel en theoretisch onderzoek rond botsveiligheid en letselpreventie. Zij beschikken over uitgebreide experimentele faciliteiten zoals een botsbaan met high-speed film- en video-apparatuur, geautomatiseerde data-acquisitie- en verwerkingsapparatuur, (oude) trekbanken (MTS), röntgenapparatuur en faciliteiten voor het uitvoeren van dierexperimenten. De activiteiten rond dierexperimenten liggen momenteel stil omdat ze in het recente verleden hiermee op negatieve wijze in de publiciteit zijn gekomen.

Viano is de laatste jaren niet meer actief op het gebied van de (modellering van) hoofdletsels. Hij is een sterk voorstander van de strategie die wij in principe ook willen volgen: begin met (zeer) eenvoudige modellen om greep te krijgen op de wezenlijke problemen.

Melvin streeft naar de ontwikkeling van zo realistisch mogelijke eindige-elementenmodellen waarin met alle mogelijke aspecten rekening wordt gehouden. Gevoeligheidsanalyses moeten daarbij gebruikt worden om na te gaan hoe belangrijk bepaalde parameters zijn. Hij legt grote nadruk op het belang van hun werkwijze waarbij elementenmodellen gevalideerd worden aan de hand van dierproeven. Na validatie worden deze modellen gebruikt voor de analyse van volgende dierexperimenten. Tenslotte worden op basis van deze modellen, die op dieren van toepassing zijn, modellen van het menselijk hoofd ontwikkeld. De vertaalslag die hier tussen zit is mij niet helemaal duidelijk geworden.

Volgens Melvin is de bestudering en modelvorming van hersenletsels zo moeilijk omdat de mechanismen, die zitten tussen een mechanische belasting en het uiteindelijk optredende letsel, zeer subtiel van aard zijn. Vandaar dat in hun aanpak veel aandacht wordt besteed aan het — in *in vivo* dierexperimenten — op gecontroleerde wijze aanbrengen van beschadigingen. In dit verband merkt Melvin op niet veel te zien in het werk met fysische modellen van Margulies (Philadelphia) omdat volgens hem gewerkt moet worden met 'harde' gegevens uit dierexperimenten en niet met resultaten verkregen via fysische modellen. Het in Philadelphia uitgevoerde werk rond 'isolated tissue research' (Thibault, Gennarelli) slaat hij daarentegen erg hoog aan.

Met betrekking tot elementenmodellen merkt Melvin het volgende op: Gezien de ontwikkelingen op het gebied van hard ware en soft ware enerzijds en de complexiteit van de hersenletselproblematiek anderzijds ligt het in de rede om van meet af aan te werken met driedimensionale modellen. Verder kan men er van uitgaan dat de constitutieve eigenschappen van dierlijk (apen) en menselijk hersenweefsel hetzelfde zijn. De beschikbare gegevens hierover zijn voorlopig goed genoeg.

De modellering van de interface-condities tussen schedel en hersenen en tussen hersenen en falx/tentorium in de EEM-modellen moet verbeterd worden. De interface-elementen van ABAQUS werken niet correct bij grote rotaties. DYNA3D schijnt op dat punt beter toegerust te zijn. Met dit laatste programma hebben zij geen ervaring. Bij het werken met ABAQUS hebben zij goede ervaringen met betrekking tot de ondersteuning.

Een aspect waaraan tot nu toe in het geheel geen aandacht is besteed bij de modelvorming van de hersenen is het belang van het vasculaire systeem in de hersenen voor hun constitutieve eigenschappen. Hierbij moet dan met name gedacht worden aan het effect van de bloeddruk van het vasculaire systeem ('brain pressurization') op de stijfheidseigenschappen van het hersenweefsel.

Een — voor mij achteraf bezien — ietwat cryptische opmerking van Melvin had betrekking op het belang van translatie- en hoekversnellingen van het hoofd voor het ontstaan van letsels. Door veel (niet alle) onderzoekers wordt aangenomen dat situaties waarin sprake is van hoekversnellingen van het hoofd en daarmee gepaard gaande rotaties van de hersenen ten opzichte van de schedel, tot ernstigere letsels leiden dan situaties waarin alleen translatieversnellingen optreden. Melvin zei dat zij in niet gepubliceerde simulaties zien

dat bij een combinatie van translatie- en hoekversnellingen "de translatieversnellingen een stabiliserend effect hebben op de rotatiebewegingen van de hersenen doordat er in deze situaties normaalkrachten op de hersenen werken".

Een andere opmerking betreft het toenemend gebruik van airbags. Dit leidt aan de ene kant tot een daling van het aantal ongevallen met dodelijke afloop, maar aan de andere kant zal het een toename van nieuwe typen letsels en letselmechanismen met zich meebrengen. Dit heeft te maken met het feit dat de door de airbag op het hoofd uitgeoefende belasting leidt tot rotaties om de 'z-as' ('verticale as') en minder —zoals in situaties zonder airbag— om een as loodrecht op het sagittale vlak (dwarsas).

### 3 Stapp Car Crash Conference

Aan het bijwonen van deze jaarlijkse conferentie rond letsels als gevolg van auto-ongevallen en de preventie daarvan heb ik het volgende beeld overgehouden:

- het wereldje waarin dit onderzoek zich afspeelt is klein;
- de Amerikanen voeren de boventoon;
- het onderzoek heeft een overwegend experimenteel/empirisch karakter. Een benadering waarbij via een doordachte combinatie van experiment en theoretische modelvorming getracht wordt om inzicht in fundamentele problemen te verkrijgen is eerder uitzondering dan regel.

De op het congres gepresenteerde papers hebben mij geen nieuwe aanknopingspunten geleverd voor ons werk. Wel heb ik op dit congres de gelegenheid gehad om van gedachten te wisselen met een aantal mensen die zich bezighouden met de modelvorming van hoofdletsels.

#### 3.1 Stalnaker

Stalnaker<sup>1</sup> vindt dat het met geavanceerde methoden (opnieuw) bepalen van de constitutieve eigenschappen van de structuren in het hoofd hard nodig is. 'Geavanceerd' heeft dan betrekking op zowel de experimentele technieken als de constitutieve modellen. Zelf is hij overigens niet werkzaam op dat gebied. Wel heeft K. Mendis onder zijn supervisie onlangs een promotie-onderzoek afgerond waarin hij elementenmodellen gemaakt heeft van onder andere de door Margulies ontwikkelde fysische modellen. Het bijzondere van deze modellen is dat zij grote vervormingen aankunnen. Daartoe werd een visco-elastisch model ontwikkeld op basis van Mooney-Rivlin. Stalnaker heeft beloofd me een exemplaar van het proefschrift te sturen. Mendis werkt inmiddels bij het ingenieursbureau EASi Engineering in Michigan.

---

<sup>1</sup>Ohio State University, Department of Mechanical Engineering, 206 West 18th Avenue, Columbus, Ohio 43210

### 3.2 Eppinger

Eppinger<sup>2</sup> is in de V.S. een belangrijk figuur op het gebied van de letselbiomechanica omdat hij gaat over de verdeling van overheidssubsidies. Daarnaast doet hij ook inhoudelijk mee aan sommige projecten rond de modelvorming van het hoofd. De inventarisatie van de problematiek rond de modelvorming van het hoofd, zoals ik die ook in de projectomschrijving heb opgenomen, is volgens hem correct en compleet.

Hij is van mening dat de modellering driedimensionaal moet zijn en dat *in vivo* (dier)experimenten absoluut noodzakelijk zijn voor de bepaling van constitutieve eigenschappen. De 'isolated tissue research' van Thibault c.s. in Philadelphia acht hij van groot belang omdat hiermee een belangrijke stap gezet wordt naar het begrijpen van verbanden tussen mechanische belastingen en —voor bepaalde letsels karakteristieke— functionele stoornissen die niet gepaard gaan met (door de microscoop) zichtbare structurele beschadigingen. In zijn visie zullen de huidige letselcriteria, zoals HIC, in een hopelijk niet al te verre toekomst verdwijnen. In de plaats daarvan zullen uiteindelijk elementenmodellen in combinatie met inzichten uit 'isolated tissue research' gebruikt worden om de kans op een bepaald letsel in uiteenlopende situaties te voorspellen.

### 3.3 Prasad (Ford)

Prasad denkt dat de expliciete modellering van het hersenvocht heel belangrijk is, omdat daarmee de interface-condities tussen de hersenen en de schedel beter kunnen worden aangepakt. Bovendien zouden dan tevens de hersenlobben en hun interactie met het hersenvocht kunnen worden meegenomen. Verder wijst hij op de noodzaak van nadere studie van de randvoorwaarden ter plaatse van de overgang hoofd/nek en hun effect op de belasting van de hersenstam.

Tweedimensionale modellen leveren volgens hem hooguit trends op. Gegevens die bruikbaar zijn voor de formulering van letselcriteria kunnen uiteindelijk alleen van driedimensionale modellen verwacht worden. Bij de ontwikkeling van deze modellen voorziet hij grote mogelijkheden van het gebruik van MRI-data.

Bij Ford wordt momenteel niet gewerkt aan de modelvorming van het hoofd.

### 3.4 Ridella (EASi)

Ridella werkt momenteel bij het ingenieursbureau EASi Engineering in Michigan en heeft daarvoor gewerkt aan elementenmodellen van het hoofd in de groep van Melvin (GM). Hij bevestigt mijn indruk dat de activiteiten bij GM op dit gebied op een laag pitje staan.

Naar zijn mening moet veel meer aandacht dan tot nu toe besteed worden aan het modelleren van fysische en geometrische niet-lineariteiten en aan het op geavanceerde wijze kwantificeren van constitutieve eigenschappen. Hij wijst erop dat EASi meer projecten op biomechanicegebied wil doen. Hij noemt de mogelijkheid om samen iets te doen in het

---

<sup>2</sup>U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 400 7th St., SW, Washington, DC 20590

kader van een over langere tijd lopende overeenkomst met NHTSA, waardoor zij projecten kunnen opzetten zonder daarvoor eerst uitgebreide projectvoorstellen te schrijven.

### **3.5 Samenwerking onderzoekers**

Tijdens de Stapp Conference werd ik uitgenodigd om een door Melvin belegde informele bijeenkomst bij te wonen waaraan werd deelgenomen door Eppinger, A.I. King, McElhaney, Meaney, Melvin, Prasad, Stalnaker en Viano. Doel van de bijeenkomst was om een actie in gang te zetten die moet leiden tot standaardisering van gegevens die toegankelijk zijn voor elke onderzoeker (in de universitaire wereld, de overheid en het bedrijfsleven), werkzaam op het gebied van de mechanica van het hoofd. Het kan daarbij gaan om gegevens over zowel rekenmodellen als experimenten. Het uiteindelijke doel is het bevorderen van onderlinge uitwisseling van gegevens waardoor het vergelijken van onderzoeksresultaten vergemakkelijkt wordt en duplicering van onderzoek zo veel mogelijk wordt vermeden.

Als eerste stap zal geprobeerd worden om een inventarisatie van bestaande modellen te maken. Op basis hiervan zullen afspraken gemaakt moeten worden over 'nominale' geometrieën, afmetingen en materiaaleigenschappen, die gebruikt worden in elementenmodellen van het menselijk hoofd, en over de wijze van opslag van deze gegevens in een voor iedereen toegankelijke data-base. Tevens zal een overzicht gemaakt moeten worden van de diverse gebruikte elementenpakketten met hun voor- en nadelen. Hierbij zal aandacht besteed worden aan de mogelijkheid om modellen van het ene naar het andere pakket over te hevelen. Afsproken is dat Prasad (Ford) het voortouw zal nemen door een format te maken volgens hetwelk de gegevens geïnventariseerd en gerubriceerd worden. Het is de bedoeling om een en ander op termijn via de SAE te coördineren.

## **4 University of Pennsylvania, Department of Bioengineering, Philadelphia**

De onderzoekers van UPenn met wie ik uitvoerig gesproken heb zijn Larry Thibault, Susan Margulies en Dave Meaney. De laatste heb ik ontmoet op de Stapp Conference in Seattle. De neerslag van de gedachtenwisselingen met hem heb ik in deze paragraaf verwerkt. Susan Margulies werkt momenteel aan de Mayo Clinic in Rochester, MI. Voor deze gelegenheid was zij overgekomen naar Philadelphia. Het is de bedoeling dat zij medio 1993 een vaste aanstelling in Philadelphia krijgt. Larry Thibault is de onderzoeksleider en tevens decaan van de faculteit. Hun werk, dat voornamelijk experimenteel van aard is, heeft vooral betrekking op hoofdletsels, en dan met name op DAI, en in mindere mate op atherosclerose. Op dit laatste gebied doen zij *in vitro* onderzoek naar de respons van endotheelcellen op door vloeistofstroming veroorzaakte schuifspanningen.

Het onderzoek rond hersenletsels strekt zich uit van dierexperimenten (botsproeven met apen) via fysische modellen tot studies op vezel- en celniveau ("isolated tissue research" op dierlijk materiaal). Zij hebben veel ervaring en know how op het gebied van biochemie,

fysiologie, pathologie en histologie. De theoretische modelvorming is beperkt tot, in geometrisch en constitutief opzicht, eenvoudige analytische, lineaire modellen. Op het gebied van de eindige elementenmethode hebben zij nagenoeg geen ervaring. Meaney maakt in dit verband melding van enkele door hen uitgevoerde vingeroefeningen met DYNA3D waarbij ze gemerkt hebben dat de manuals en de ondersteuning niet geweldig zijn. Zij benadrukken overtuigd te zijn van het belang van EEM-modellen: doordat deze modellen de mogelijkheid bieden om complexe geometrieën en niet-lineariteiten in de beschouwingen te betrekken, zijn zij onmisbaar bij de evaluatie van experimenten. Zij leveren het gereedschap om de experimentele resultaten te analyseren en verschaffen tevens aanknopingspunten bij het ontwerpen van nieuwe experimenten. Met EEM-modellen kunnen relaties bestudeerd en gekwantificeerd worden tussen mechanische grootheden en fysiologische/biochemische processen op vezel- en celniveau. Het gaat daarbij vooral om functionele beschadiging en in mindere mate om structurele beschadiging. Functionele beschadiging (en dus letsel) treedt vaak al op voordat er sprake is van —op microscopisch niveau zichtbare— structurele beschadiging.

Met betrekking tot het gebruik van fysische modellen is hun filosofie gelijk aan de onze.

Thibault benadrukt dat het —om zinvol bezig te zijn met theoretische modelvorming— van groot belang is om goed op de hoogte te zijn van de anatomie en de pathologie van de hersenen en om enig inzicht te hebben in fysiologische en biochemische processen en verstoring daarvan als gevolg van letsels. Volgens hem moet er nog veel gedaan worden aan de kwantificering van de constitutieve eigenschappen van schedel en schedelinhoud. Op mijn vraag of en in hoeverre er sprake is van interactie tussen hersenweefsel en hersenvocht antwoordt hij dat hersenvocht wordt rondgepompt door een gedeelte van het hersenweefsel via kanalen die concentrisch zijn met bloedvaten. Het is duidelijk niet zo dat hersenvocht rechtstreeks in en uit het hersenweefsel stroomt.

Nadat ik een schets heb gegeven van het werk dat Maurice Claessens zou moeten gaan doen, reageert Thibault —uiteraard— met de opmerking dat dit wel erg ambitieus is. Bovendien lijkt het hem verstandig om in een niet te laat stadium te kiezen voor het bestuderen van een bepaald letseltype. Volgens Margulies zouden we, als we kiezen voor EEM-modellering van contusies (kneuzingen), geen enkele concurrentie hebben. Hoewel kneuzingen zelden de dood tot gevolg hebben, komen zij wel het meest voor.

Belangrijk om te vermelden is het werk dat Margulies momenteel doet in Rochester rond de toepassing van MRI-technieken bij het zichtbaar maken van verplaatsingen en vervormingen van structuren in de nek. Nu is een en ander nog beperkt tot statische situaties maar in de tweede helft van 1993 hoopt ze deze techniek ook operationeel te hebben voor toepassing in dynamische situaties. Bestudering van structuren in het hoofd hiermee ligt dan voor de hand.

In een apart onderhoud met Thibault zegt deze serieus geïnteresseerd te zijn in samenwerking met ons. Daarbij zou logischerwijs bij ons het accent op EEM-modellering en bij hun op het experimentele werk moeten liggen. Hun experimentele gegevens zouden ons daarbij volledig ter beschikking staan. Ik heb gesteld dat zeker in de komende twee jaar in ons werk de nadruk zal liggen op (door)ontwikkeling van betrouwbaar en efficiënt numeriek gereedschap. Deze periode zou gebruikt kunnen worden om elkaar beter te leren kennen

via uitwisseling van studenten en promovendi in stage-achtige constructies. Thibault zal in Philadelphia de mogelijkheden onderzoeken om dit te financieren en ik zal dat in Eindhoven doen. Bovendien zal hij een pakketje met informatie over hun curriculum opsturen.

## **5 National Transportation Systems Center (NTSC), Cambridge**

Het NTSC is een aan het Amerikaanse "Ministerie van Verkeer" gelieerd instituut waar voornamelijk onderzoek wordt gedaan ten behoeve van overheidsregelgeving. Ik heb hier Frank DiMasi bezocht. Hij is daar als enige bezig met de modelvorming van het menselijk hoofd en gebruikt daarbij het pakket ABAQUS. Hij werkt binnen de mogelijkheden en beperkingen van dit pakket en ontwikkelt geen nieuwe elementen of ander numeriek gereedschap. Momenteel werkt hij aan een driedimensionaal model van het hoofd waarbij botsing met de omgeving expliciet gemodelleerd wordt. Een tweetal publicaties hierover zijn inmiddels verschenen.

De problemen waar hij op dit moment mee worstelt liggen in het vlak van het modelleren van interacties tussen deelstructuren in het hoofd: CSF/hersenen, schedel/hersenen, falx/hersenen, arachnoidea/hersenen. De schedel laat hij voorlopig star en hij concentreert zich op schokgolfvoortplanting, cavitatieverschijnselen (hij heeft nog geen idee hoe dit gemodelleerd zou moeten worden) en de effecten van de membraanstructuren op het gedrag van het geheel. Hij heeft contact met mensen van MIT die bezig zijn met MRI. In de nabije toekomst denkt hij mogelijkheden te hebben om de MRI-techniek te gebruiken bij de modellering van de geometrie. Hij is erg gebrand op het onderhouden van contacten met ons. Ik denk dat dat zinnig kan zijn gezien zijn grote ervaring met EEM-modellering van het hoofd.



**JOHN W. MELVIN, Ph.D.**

Senior Staff Research Engineer  
Biomedical Science Department



General Motors Research Laboratories  
Warren, Michigan 48090-9055

(313) 986-1698 TELEX GM COMM DET 425543



General Motors  
Research and Environmental Staff  
30500 Mound Road, Box 9055 Warren, MI 48090-9055

**DAVID C. VIANO, Ph.D.**

Principal Research Scientist  
Biomedical Science Department

(313) 986-1740



FAX: (313) 986-0294  
GM NET: 8-226-1740



David F. Meaney, Ph.D.  
University of Pennsylvania  
Department of Bioengineering

120 Hayden Hall  
240 S. 33rd St.  
Philadelphia, PA 19104-6392  
Telephone: (215) 573-3155  
Facsimile: (215) 573-2071

**SUSAN SHEPS MARGULIES, Ph.D.**

Associate Consultant, Thoracic Diseases Division  
Assistant Professor, Physiology & Biophysics Department

**MAYO CLINIC**

ROCHESTER, MINNESOTA 55905

PHONE (507) 255-5432  
FAX (507) 255-7300



JOHN A. VOLPE  
NATIONAL TRANSPORTATION SYSTEMS CENTER

U.S. Department  
of Transportation

Research and Special  
Programs Administration

FRANK P. DI MASI  
Mechanical Engineer

Kendall Square  
Cambridge, MA 02142  
(617) 494-2277, (617) 494-2000  
FTS 8-837-2277  
FAX (617) 494-2497

STEPHEN A. RIDELLA  
SENIOR PROJECT ENGINEER

**EASI**  
ENGINEERING

CONCORDE CENTRE, 691 N. SQUIRREL RD.  
AUBURN HILLS, MICHIGAN 48326

Tel: (313) 377-4200  
Fax: (313) 377-2342