

CAE bij optimaliseren van een pacemaker

Citation for published version (APA):

Peerdeman, M. S., Bron, A. J., & Brorens, I. (1990). CAE bij optimaliseren van een pacemaker. *I-twee werktuigbouwkunde*, (4), 12-14.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1990

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Computerondersteuning in de werktuigbouwkunde

CAE bij optimaliseren van een pacemaker

Bij het ontwerpen van een pacemaker wordt tegenwoordig intensief gebruik gemaakt van de computer.

De auteurs beschrijven de werkwijze die gevolgd is bij het numeriek bepalen van de optimale plaats van een piëzo-elektrische sensor in de behuizing van een pacemaker.

Om de werking van een pacemaker af te kunnen stemmen op de activiteit van de patiënt is het nodig deze activiteit te registreren. Een goed bruikbare methode hiervoor is het door de pacemaker elektronica laten meten van de vervorming van de behuizing die ontstaat door de spierwerking tijdens een beweging.

Deze vervorming kan worden gemeten met behulp van een piëzo-elektrisch element dat op de binnenzijde van de metalen pacemakerbehuizing is gelijmd. Als de pacemaker vervormd wordt zal het element een spanning afgeven. Deze spanning wordt elektronisch verwerkt en levert uiteindelijk een maat voor de lichamelijke activiteit van de patiënt. De pacemaker zal dan reageren door het pulstempo aan te passen.

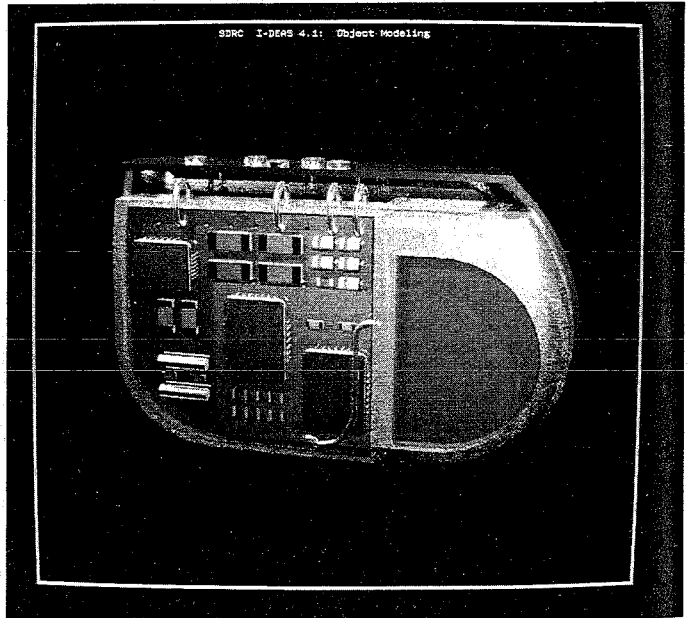
De door het piëzo-elektrisch element afgegeven spanning is sterk afhankelijk van de positie in de behuizing. Bij een ongunstige plaatsing zal de spanning te klein zijn om een goede meting te kunnen verrichten. De optimale plaats is die waar de door het piëzo-elektrisch element geleverde elektrische spanning maximaal is.

M.S. PEERDEMAN, A.J. BRON en I. BRORENS

M.S. Peerdeman, A.J. Bron en I. Brorens zijn werkzaam bij de stichting CAD/CAM/CAE Educatie aan de Technische Universiteit te Eindhoven

De mechanische opbouw van de pacemaker stelt echter randvoorwaarden aan deze plaats. De pacemaker is namelijk volgebouwd met elektronica en batterijen, (figuur

Fig. 1.
Solid model van een opengewerkte pacemaker (Prometheus, Medtronic), gemodelleerd met SDRC I-DEAS



1) zodat slechts een klein gedeelte van de behuizing in aanmerking komt voor plaatsing van het element. Binnen dit gebied moet de plaats gezocht worden waar het element de hoogste spanning levert.

Om deze spanning te kunnen bepalen moet een verband gezocht worden tussen de vervorming van de pacemakerbehuizing tijdens een lichaamsbeweging en de spanning die het piëzo-elektrisch element levert. Hiervoor moeten de volgende zaken bekend zijn:

- wat is het vervormingspatroon van de pacemakerbehuizing in het lichaam tijdens een beweging,
- wat is de relatie tussen de geleverde elek-

trische spanning en de vervorming van het element.

Eindige elementenmethode

Voor de bepaling van het vervormingspatroon van de pacemakerbehuizing is gebruik gemaakt van de eindige elementenmethode (Finite Element Method; FEM). De eindige elementenmethode is een numerieke analysemethode waarbij gebruik wordt gemaakt van een computermodel van het te onderzoeken product. Met de eindige elementenmethode is het mogelijk onder andere de spanningen in en vervormingen van het product te bepalen onder invloed van diverse

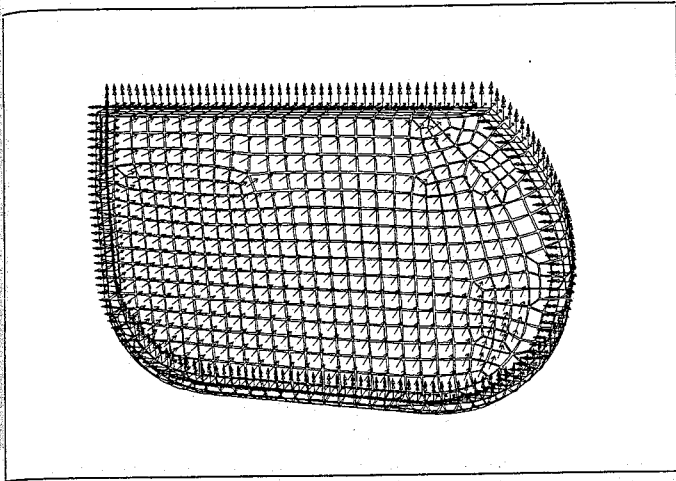


Fig. 2.
De mesh met belastingen en randvoorwaarden

belastingssituaties.

Het produkt wordt daartoe in een eindig aantal deelgebieden (elementen) opgedeeld. De elementen zijn met behulp van knooppunten met elkaar verbonden. Voor elk element worden eenvoudige aannamen gedaan betreffende het gedrag (bijvoorbeeld de verplaatsing van de knooppunten als functie van de belasting hierop). Het geheel van knooppunten en elementen, het computermodel van het produkt dus, wordt de mesh genoemd.

Aan deze mesh moeten randvoorwaarden gekoppeld worden. Zo kunnen bepaalde delen van de mesh worden ingeklemd, terwijl op andere delen belastingen worden aangebracht. Het geheel kan daarna worden doorerekend, waarna bijvoorbeeld de mechanische spanningen in, en de vervormingen van het model bekend zijn.

In de praktijk zal het toepassen van de eindige elementenmethode in een aantal stappen geschieden:

- Eerst zal de geometrische informatie van het produkt in de computer moeten worden ingevoerd. Dit kan met een 2D of 3D CAD pakket. Het is ook mogelijk de geometrie in een tekstbestand te beschrijven waarin zich dan coördinaten en andere geometrische gegevens bevinden. Deze methode is echter onpraktisch en werkt onnodige fouten in de hand.
- Vervolgens zal van dit geometrische model een mesh gemaakt moeten worden. Bij het genereren van een mesh zal de gebruiker moeten bedenken welk type element het meest geschikt is voor de berekening. Deze keuze is van groot belang voor de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de oplossing.
- Op de mesh moeten randvoorwaarden worden aangebracht, zoals belastingen en inklemmingen.
- Ten slotte kan met een FEM pakket het probleem worden doorerekend. De resultaten zijn dan beschikbaar in de vorm van tabellen. Er is speciale software om

deze resultaten op het scherm in de vorm van duidelijke plaatjes of grafieken zichtbaar te maken.

Gebruikte software

Voor het doorrekenen van de pacemaker is gekozen voor het pakket I-DEAS van SDRC. Deze software bestaat uit een aantal modules voor onder andere het modelleren, analyseren en optimaliseren van systemen en het numeriek besturen van bewerkingsmachines. Er is gebruik gemaakt van de modules Solid Modeling, Pre- & Postprocessing en Model Solution.

- het maken van een solid model van de pacemakerbehuizing,
- het genereren van een mesh over dit solid model,
- het aanbrengen van randvoorwaarden (inklemmingen en belastingen), (figuur 2)
- het doorrekenen van het probleem,
- het interpreteren van de resultaten. (figuur 3)

Uitwerking

Met behulp van een solid modeler is een helft van de pacemakerbehuizing gemodelleerd. Deze helft kan als basis dienen voor het eindige elementenmodel.

Om tot een keuze te komen van het eindige elementtype zijn de volgende aannamen gedaan:

- de dikte van de pacemakerbehuizing is klein ten opzichte van de andere afmetingen (een verhouding van ongeveer 1:20),
- de verwachte vervormingen zijn erg klein (ordegrootte van enkele micrometers) ten opzichte van de afmetingen van

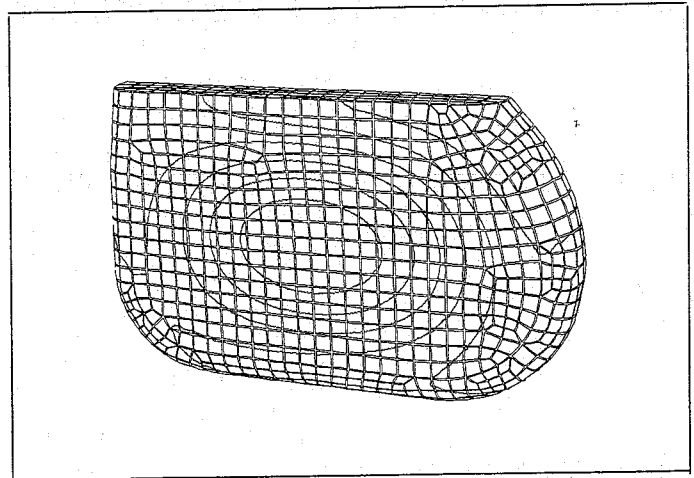


Fig. 3.
Het berekende vervormingspatroon van de pacemakerbehuizing

Werkwijze

De pacemakerbehuizing zal vervormen ten gevolge van een drukbelasting van de omsluitende spieren. Deze drukbelasting is een pulserende druk. Hoe actiever de drager is, des te groter zal die pulserende druk worden. Uit voorgaand onderzoek is gebleken dat deze belasting mag worden benaderd met een gelijkmatig verdeelde, constante druk. Om de vervormingen van de pacemaker als gevolg van een gelijkmatige druk te berekenen is de volgende werkwijze gevolgd:

het model, er is dus sprake van een bij benadering geometrisch lineaire situatie,

- er is sprake van lineair elastisch materiaalgedrag (de behuizing is van een titaniumlegering met een hoge elasticiteitsmodulus, de belastingen zijn laag),
- de spanningsvariaties in de dikterichting worden klein verondersteld ten opzichte van de variaties in lengte- en breedterichting van de behuizing.

Een voor deze analyse zeer geschikt elementtype is het vierzijdig thin shell element, dat problemen die voldoen aan bovenstaande eisen voldoende nauwkeurig kan beschrijven. Er is gekozen voor een variant met isoparametrische eigenschappen en acht knooppunten (één op elke ribbe en één op elke hoek van het element). Er wordt op deze manier een twee orde benadering gemaakt van het vervormingspatroon van de behuizing. Met de module TRIQUAMESH van I-DEAS is verder automatisch een mesh gegenereerd. Deze bevatte ongeveer 250 elementen.

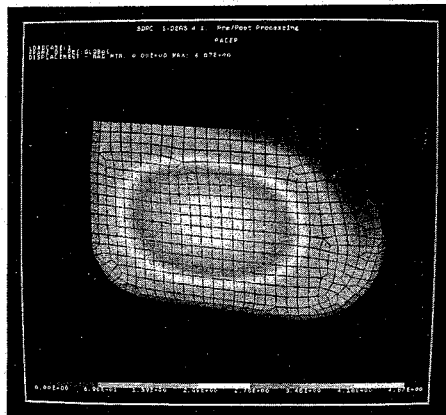


Fig. 2. De mesh met belastingen en randvoorwaarden

Randvoorwaarden

De pacemaker is symmetrisch van vorm. Er is aangenomen dat de druk gelijkmatig over het oppervlak verdeeld is en dat de belastingssituatie eveneens symmetrisch is. Daarom mag, ter vereenvoudiging van het rekenprobleem, ook de halve behuizing doorgerekend worden, mits de randvoorwaarden in het vlak van symmetrie goed zijn gedefinieerd.

Bij deze randvoorwaarden moeten de verplaatsingen loodrecht op het symmetrievlak en de hoekverdraaiingen in het symmetrievlak onderdrukt worden. Als belasting is gekozen voor een constante druk op alle elementen. Deze staat loodrecht op de elementen. Hij is zo gedefinieerd, dat hij naar de binnenkant van de behuizing is gericht.

Berekening en interpretatie resultaten

Om de optimale plaats voor het piëzo-elektrisch element te bepalen is behalve het vervormingspatroon van de pacemakerbehuizing ook informatie nodig over het "vervormings-elektrische spanningsgedrag" van het element. (figuur 4) Uit metingen is gebleken dat de door het element geleverde elektrische spanning bij voldoende nauwkeurige benadering recht evenredig is met de doorbuiging hiervan. Voor dit gedrag is een constitutieve relatie op te stellen die de lokale vervorming van de pacemakerbehuizing koppelt aan de elektrische spanning. Hiermee is het dus mogelijk om op elk punt van de behuizing te voorspellen wat de geleverde elektrische spanning zou zijn als daar een element geplaatst zou worden.

Binnen het toegestane gebied is door een optimalisatieprogramma gezocht naar de coördinaten en de hoek waar de afgegeven spanning het hoogste is. Dit is gedaan door het stapsgewijs doorlopen van de FEM berekeningsresultaten (het vervormingspatroon). (figuur 5) Het blijkt dat er sprake is van slechts één optimum (conjunct ontwerpgebied). Bovendien blijkt dit een randoptimum te zijn, zodat verandering van de ontwerpgrenzen, dus een andere indeling van de pacemaker, een nog betere plaatsing zou kunnen opleveren. Het optimum verloopt vrij vlak, zodat een positioneringsfout of plaatsingstolerantie bij de fabricage niet zal leiden tot een grote variatie in de door het ele-

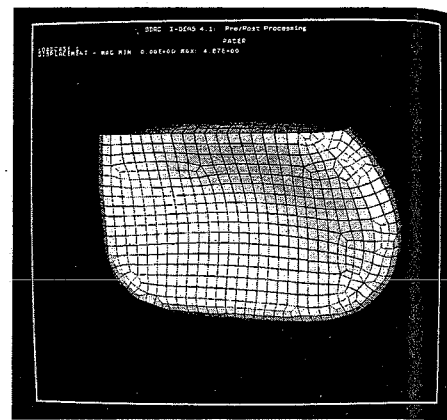


Fig. 5. Vervormde toestand van de mesh met sterk geschaalde vervormingen

ment geleverde elektrische spanning. (figuur 6).

Door metingen aan een echte pacemakerbehuizing is gebleken dat het berekende vervormingspatroon zeer goed overeenkomt met de werkelijkheid. Bovendien is de door het element geleverde spanning op de optimale plaats voldoende voor de besturings-elektronica van de pacemaker.

Het is dus mogelijk gebleken om met behulp van een numerieke analysemethode op een gefundeerde wijze een keuze te maken voor de lokatie van een piëzo-elektrisch element in een pacemakerbehuizing. De gevonden oplossing zal daarom in de toekomst worden gebruikt in een implanteerbare pacemaker voor onderzoeksdoeleinden.

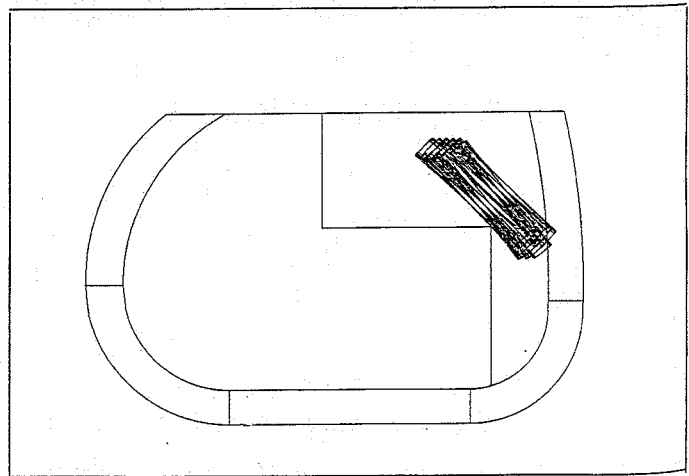


Fig. 6. De 50 beste locaties van het piëzo-elektrische element op de pacemakerbehuizing

Begin mei start de Stichting CAD/CAM/CAE Educatie met een reeks cursussen en workshops. Dé cursus is gebaseerd op het boek "CAD/CAM/CAE in de Werktuigbouw". Bij de workshops werkt

de cursist zelf met geavanceerde software (SDRC I-DEAS) op high-end grafische werkstations (Apollo, Digital, Silicon Graphics, Tektronix). Inlichtingen: tel. 040- 472774.