

Handleiding van het eindige elementenpakket: Samcef

Citation for published version (APA):

van Asperdt, P. J. E. M. (1992). *Handleiding van het eindige elementenpakket: Samcef*. (DCT rapporten; Vol. 1992.077). 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

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.

**Handleiding van het eindige
elementenpakket:**

Samcef

stageverslag juli 1992 (92-077)

door: P.J.E.M. van Asperdt

Begeleider: A.J.G. Schoofs

Inhoud:

| | |
|--|----|
| 1. Inleiding. | 2 |
| 1.1, Samcef algemeen. | 2 |
| 1.2, Optimalisatie binnen Samcef. | 4 |
| 2. De pre-processor Bacon. | 6 |
| 2.1. De geometrie. | 6 |
| 2.1.1. Pool definitie. | 6 |
| 2.1.2. Node definitie | 8 |
| 2.2. De krachten. | 11 |
| 2.3. De fixatie's. | 11 |
| 2.4. De materiaal grootheden | 12 |
| 2.5. De hypothese. | 12 |
| 2.6. De specifieke optimaliseringsdata. | 12 |
| 3. De analyse module Asef. | 15 |
| 3.1. De input voor Asef. | 15 |
| 3.2. De output van Asef. | 15 |
| 3.3. De resultaten. | 16 |
| 4. De analyse module Dynam. | 17 |
| 4.1. De input voor Dynam. | 17 |
| 4.2. De output van Dynam. | 17 |
| 4.3. De resultaten. | 18 |
| 5. De post-processor Opti. | 19 |
| 5.1. De input voor Opti. | 19 |
| 5.2. De output van Opti. | 19 |
| 5.3. De resultaten | 20 |
| 6. De post-processoren Postfac en Bacon. | 22 |
| 6.1. De invoer voor Postfac. | 22 |
| 6.2. De invoer voor Bacon. | 22 |
| 7. Een vorm optimalisatie probleem. | 23 |
| 8. Een grootte optimalisatie probleem. | 26 |
| | |
| Bijlage 1: De initialisatie data | 28 |

1. Inleiding.

Samcef is een algemeen eindige elementenpakket voor het analyseren van constructies. De ontwikkeling van Samcef is begonnen in 1965 op de universiteit van Luik. Nu is de ontwikkeling en marketing in handen van Samtech s.a.

De toepassingsmogelijkheden van Samcef liggen op velerlei gebieden. Zowel mechanische als thermische berekeningen en ook sommige stromingsproblemen kunnen met behulp van dit pakket opgelost worden.

1.1 Samcef algemeen.

Met behulp van de verschillende modules kunnen dynamische, statische, lineaire en niet-lineaire problemen aangepakt worden. Door de gespecialiseerde modules kunnen ook de volgende soorten van problemen aangepakt worden: visco-plastisch gedrag, kinematische analyse en dynamica van flexible mechanisme, dynamica van roterende machines, elektrische spanning in elektrische systemen, grootte en vorm optimalisatie. Het één en ander wordt in het structuur schema van Samcef (zie Figuur 1) verduidelijkt.

De modules zijn op te splitsen naar de aard van toepassing die ze hebben.

Pre-processing:

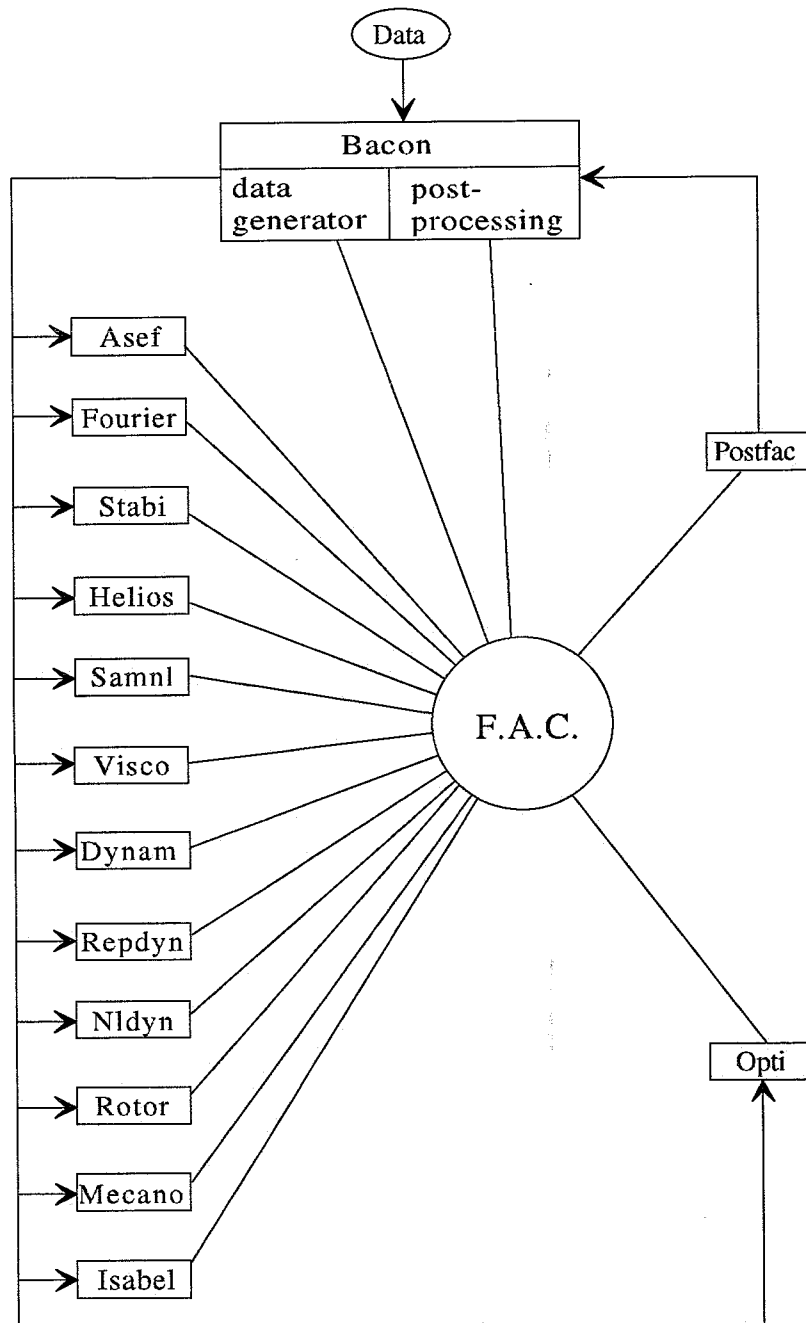
- Bacon: grafische interactive pre- en post-processor. Hierbinnen vindt modellering, meshing, materiaal definitie etcetra plaats.

Lineaire analyse:

- Asef: lineaire statische analyse van elastische of thermische problemen.
- Fourier: lineair statische analyse van problemen opgebouwd door Fourier series.
- Stabi: analyse van de stabiliteit rond een bifurcatie punt.
- Helios: lineaire statische analyse van cyclische periodieke structuren.

Niet-lineaire analyse:

- Samnl: niet-lineaire statische analyse.
- Stabi: incrementele stabiliteit.
- Visco: visco-plasticiteit.



Figuur 1.

Lineair dynamische analyse:

- Dynam: dynamische analyse van elastische problemen.
- Repdyn: - dynamische respons van een lineair elastisch probleem met demping berekend met superpositie dan wel directe integratie
- spectrale respons.

Niet-lineaire dynamische analyse:

- Nldyn: niet lineaire dynamische analyse.

Specifieke dynamische analyse:

- Rotor: stabiliteitsanalyse, berekening van kritieke snelheden en stationaire of transient respons van mechanismen die roterende onderdelen bevat.
- Mecano: voor analyse van kinematische en dynamische flexibele 3-dimensionaal mechanisme.
- Cable: analyse van niet-lineair gedrag van kabel en balk netwerken in statische of dynamische modes. Toepassing in kortsluiting, elektro-magnetische effecten etcetra.

Lineaire en niet-lineaire thermische analyse:

- Thernl: stationaire en transient analyse van (niet-)lineaire thermische problemen.
- Amayllis: analyse van thermische respons van 2-dimensionale en axiaal symmetrische media met fysische karakteristieken die variëren door faseverandering of chemische reactie's.

Elektrische analyse:

- Isabel: berekening van elektrische velden en incompressibele vloeistofstroming.

Ontwerpgereedschap:

- Opti: grootte en vorm optimalisatie.

Post-processing:

- Bacon: zie pre-processing.
- Postfac: post-processor die output data van opslag files gebruikt.

Dit verslag zal zich verder beperken tot de vraag: Hoe kun je een optimaliseringsprobleem nu invoeren in Samcef?

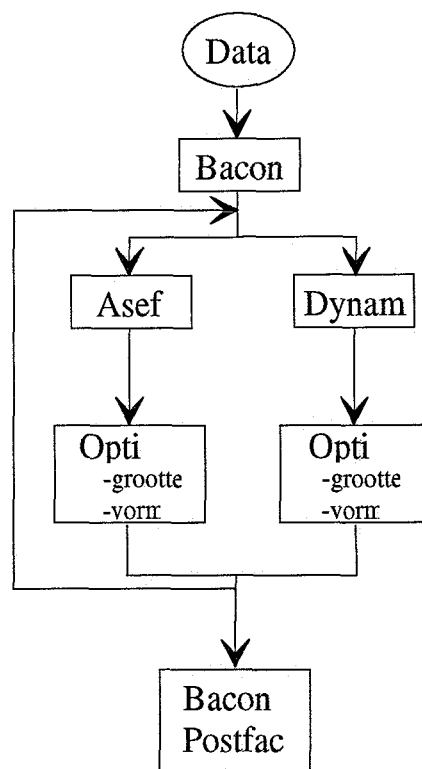
1.2 Optimalisatie binnen Samcef.

De post-processor Opti kan alleen in samenhang met de modules Asef en Dynam gebruikt worden. Op de invoerdata zoals die zijn verkregen met de pre-processor Bacon moet eerst een statische of dynamische analyse uitgevoerd worden alvorens Opti kan

herdimensioneren en wijzigen. Na één iteratieslag van Opti moet er een nieuwe statische of dynamische analyse uitgevoerd worden (zie Figuur 2). Voor de herdimensionering gebruikt Opti de respons van de constructie en een numeriek integratie algoritme, dat gebruik maakt van deze respons.

De twee toepassingsgebieden van Opti zijn :

1. Dimensionering van dunwandige structuren, grootte optimalisatie bv. keuze van profielen en diktes.
2. Bepalen van de optimale vorm van 2-dimensionale of axisymmetrische onderdelen, vorm optimalisatie bv. flenzen en schijven.



Figuur 2.

De optimalisering vindt plaats op basis van de minimalisatie van de doelfunctie. Deze doelfunctie kan bijvoorbeeld zijn: het gewicht, de spanning of lineaire combinaties van ontwerpvariabelen. De randvoorwaarden bij deze doelfuncties kunnen spanningen, verplaatsingen, frequentie's etcetera zijn.

2. De pre-processor Bacon.

De Bacon module is een data generator voor de Samcef analyse modules. Alle Bacon sessies beginnen met het inlezen van de initialisatie data, die wordt aangeboden in een bankfile (*.dat). Wanneer reeds bestaande data gebruikt gaan worden, moeten deze toegevoegd worden aan de bankfile. (Een voorbeeld van de initialisatie data zie Bijlage 1).

In de Bacon module is een aantal commando's aanwezig voor het definiëren van de nodige gegevens. De volgende gegevens moeten worden ingevoerd:

1. Geometrie
2. Krachten.
3. Fixatie's.
4. Materiaal grootheden.
5. Hypothese.
6. Specifieke optimaliseringsdata.

2.1. De geometrie.

Algemene parameters die bij meerdere commando's gebruikt kunnen worden zijn de parameters Q, R en K. Q is een herhalingsparameter, die er voor zorgt, dat de groep reeds genoemde objecten in een commando, allemaal een x aantal maal worden herhaald. R is ook een herhalingsparameter, deze wordt echter gebruikt voor het herhalen van één object. De parameter K is een interpolatie parameter, die in combinatie van twee nummers parameters (I en J) gebruikt wordt. Met K wordt geïnterpoleerd op een rechte lijn volgens: $I+K$, $I+2K$ etc. tot $I+nK=J$

De geometrie kan op 2 manieren gedefinieerd worden, namelijk door middel van pool definitie en door node definitie.

2.1.1. Pool definitie:

- Polen definiëren met het commando: .EOD I X Y.

I is het pool nummer en X en Y zijn de coördinaten.


```
.E0D  1  225  30
      2  197  30
      3  168.75  30
      4  140.5  30
      5  112.5  30
      6  84.5  30
      7  56.25  30
      8  28  30
      9  0  30
      9  Y -30  Q  1
```

hier worden nog 9 polen gedefinieerd, die verschoven zijn over een afstand van -30 langs de y-as. Q wil zeggen dat de groep éénmaal herhaald wordt.

- Ontwerpvariabelen definiëren met het commando: `.VCG PM _ PR _ BL _ BU _`.

Hiermee wordt een "bewegende" pool (PM) gekoppeld aan een "referentie" pool (PR). De bewegende pool mag maximaal BL verplaatsen in de richting van PR en maximaal BU van PR af.

```
.VCG PM 1 PR 10 BL -25 BU 800
```

bewegende pool 1 met referentie pool 10, minimale dikte 5, maximale dikte doet er niet toe.

```
PM 1 PR 1 R 8
```

herhaal dit 8 keer met PM en PR steeds 1 nummer hoger.

- Definitie van de curves met het commando: `.E1D NO _ TYP _ ND _ I _ J _`.

NO is het nummer van de curve, TYP is het type curve (voor type definitie zie Opti handleiding blz. 2.27), ND is de graad van de curve (alleen voor type 1 en 2), I en J definiëren welke polen op de curve liggen.

```
.E1D  NO 1 TYP 1 ND 5 I 1 J 9  curve 1 typ 1 (B-spline) graad 5, 9 polen (1t/m 9).
      NO 2 TYP 4 I 9 J 18      curve 2 typ 4 (rechte lijn) gedefinieerd met 2 polen.
      NO 3 TYP 1 ND 5 I 10 J 18
      NO 4 TYP 4 I 1 J 10
```

- Definitie van het oppervlak met het commando: `.E2D I _ TS _ NA _ CA _ NI _ TE _`.
I is het nummer van het oppervlak, TS is het type oppervlak (voor type definitie zie Opti handleiding blz. 2.32), NA de nummers van de hoekpolen, CA nummers van de curve die het oppervlak omsluiten, NI het nummer waarmee moet worden begonnen met de nummering van berekende node punten bij automatisch meshen. (Polen en nodes mogen niet hetzelfde nummer hebben). Tot slot is TE het type element.

`.E2D I 1 TS 1 NA 1 9 18 10 CA 1 2 3 4 NI 40 TE 15` Polen 1,9,18,10 zijn de hoekpolen (in goede volgorde), curve 1,2,3,4 omsluiten het oppervlak element type 15.

- Definitie van het aantal elementen met het commando: `.DIS I J`
Hiermee wordt het aantal elementen langs een curve vastgelegd. I is het curve nummer, J is het aantal elementen.

`.DIS 1 20` langs curve 1 liggen 20 elementen.
2 3
3 20
4 3

- Genereren van elementen met het commando: `GEN`
Met dit commando wordt de mesh automatisch gemaakt volgens de gedefinieerde geometrie.

Na deze stap is de geometrie volledig gedefinieerd door middel van pooldefinitie.

2.1.2. Node definitie:

- Definitie van de nodes met het commando: `.NOE I _ X _ Y _`.
I is het node nummer, X en Y zijn de coördinaten.

```
.NOE  I 40 X 225 Y 30
      I 80 X 0   Y 30
      I 40 J 80 K 1   interpoleert nodes tussen nodes 40 en 80 op een rechte lijn.
      I 41 Y -5 Q 6   herhaald de rij nodes 6 maal, steeds -5 verschoven over de
                      y-as met het nummer verhoogd met 41.
```

- Definitie van elementen met het commando: `.MAI I _ N_`.

Met I het elementen nummer, N geeft de nodes die op het element liggen, in de juiste volgorde. (Positieve nummers voor de hoeknodes, negatieve nummers voor de niet hoeknodes). Parameter M is voor het verhogen van het element nummer.

```
.MAI  I 1 N 122 -81 40 -41 42 -83 124 -123
      I 1 M 2 R 19   maakt nog 19 elementen aan met de
                      node nummers die steeds met 2
                      verhoogd zijn.
      I 20 M 82 Q 2  herhaald de rij elementen 2 maal met
                      node nummers verhoogd met 82.
```

- Definitie van nodes langs een zijde: `ENSE GR _ TYPE _ I _ J _ K _`.

GR is het zijde nummer, TYPE 1 of 2. 1 verwijst naar het commando `.E2D`, 2 verwijst naar het commando `.E1D`. Parameters I, J en K definiëren de node nummers die op een zijde liggen.

```
ENSE  GR 1 TYPE 2 I 40 J 80 K 1
ENSE  GR 2 TYPE 2 I 80 J 326 K 41
ENSE  GR 3 TYPE 2 I 286 J 326 K 1
ENSE  GR 4 TYPE 2 I 40 J 286 K 41
ENSE  GR 5 TYPE 1 I 1 J 60 K 1   ontwerp element bestaat uit de elementen 1
                                t/m 60.
```

- Definitie van de curves met het commando: `.E1D NO _ TYP _ ND _ GR _ I _`.

Het commando werkt hier hetzelfde als bij de pool definitie methode. Alleen moet nu bij I de nummers van de polen expliciet opgegeven worden en bij GR moet het nummer opgegeven worden dat correspondeert met het nummer bij het ENSE commando. De nummers van deze polen worden automatisch berekend door lineaire interpolatie.

```
.E1D NO 1 TYP 1 ND 5 GR 1 I 40 2 3 4 5 6 7 8 80
      NO 2 TYP 4 GR 2 I 80 326
      NO 3 TYP 1 ND 5 GR 3 I 286 11 12 13 14 15 16 17 326
      NO 4 TYP 4 GR 4 I 40 286
```

- Definitie van het oppervlak met het commando: `.E2D I _ TS _ NA _`.

Dit commando werkt hetzelfde als bij de polen methode. De parameter GR verwijst naar de bestaande groep elementen gedefinieerd in het ENSE commando.

```
.E2D I 1 TS 3 NA 40 80 326 286 ca 1 2 3 4 GR 5 TS 3
```

verwijst naar een bestaande mesh.

- Definitie van de ontwerpvariabelencommando: `.VCG PM _ PR _ BL _ BU _`.

Dit commando werkt hetzelfde als bij de polen methode.

| | |
|--|-----------------------------------|
| <code>.VCG PM 40 PR 286 BL -25 BU 800</code> | pool 40 wordt aan 286 gekoppeld. |
| <code>.VCG PM 80 PR 326 BL -25 BU 800</code> | pool 80 wordt aan 326 gekoppeld. |
| <code>.VCG PM 2 PR 11 BL -25 BU 800</code> | polen 2 tot en met 11 worden aan |
| <code>PM 1 PR 1 R 6</code> | polen 11 tot en met 17 gekoppeld. |

Nu is de geometrie ook gedefinieerd met behulp van nodes. Het voordeel van deze methode is dat er in Bacon de mogelijkheid zit om een menu aan te zetten (commando `.MENU ON`). Hierin kan men onder meer nodes en elementen creëren, die dan ook meteen in een grafisch scherm verschijnen. Bij ingewikkelde structuren kan dit een voordeel opleveren. Nadat dit gebeurd is kan het menu weer af en kan de hier beschreven werkwijze voortgezet worden.

In het menu kunnen de nodes en elementen gecreërd worden in het venster geometrie. Met de opties create, interpolate en extrusion kan snel een geometrie gedefinieerd worden door interpolatie en kopiëren (met bepaalde hoekverdraaiingen en translaties).

De hier beschreven invoer van de geometrie data is gebaseerd op de invoer voor een vorm optimalisatie probleem. Voor een grootte optimalisatie probleem is de geometrie invoer bijna hetzelfde als de invoer bij de node methode, zoals hier boven beschreven.

- Definitie van nodes met het commando `.NOE`

- Definitie van elementen met het commando `.MAI`

- Samenvoegen van elementen in een groep met commando: `-ENSE GR _ ' ' I _`
`-ENSE GR _ ' ' ENTITE _`

Hiermee wordt een nieuwe lijst met elementen gegenereerd. De elementen die gezien de belastingsituatie hetzelfde ondergaan worden samengevoegd in een groep door de optie ENTITE. De waarde tussen aanhalingstekens verwijst naar het referentie element.

- Definitie van ontwerpvariabelen met het commando: `.VCD GR _ AMI _ AMA _`.
 Per element zoals gecreëerd met het ENSE commando wordt een ontwerpvariabelen gedefinieerd. GR correspondeert met GR uit het ENSE commando. AMI en AMA zijn respectievelijk de minimum en maximum waarde van de ontwerpvariabelen.

2.2. De krachten.

Wanneer men een statische analyse wil uitvoeren, dan zullen er krachten moeten worden geïntroduceerd. Wil men dynamisch of statisch gaan analyseren dan is er misschien behoefte aan het invoeren van traagheidsmomenten. Voor dit soort zaken heeft men binnen Bacon een aantal commando's ter beschikking. De krachten moeten toegekend worden aan nodes. Deze nodes zijn gedefinieerd of zijn automatisch gegenereerd door het automatisch laten meshen van een oppervlak.

Commando: `.CHA I FX _ FY _ FZ _`.

I is het nummer van de node, de waarde van FX, FY en FZ zijn logischerwijs de grootte van de krachten in x, y of z richting.

Met het commando `.CAP` kunnen ook krachten, diktes, traagheidsmomenten etc. ingevoerd worden. Voor een beschrijving van dit commando wordt verwezen naar de Bacon handleiding.

2.3. De fixatie's.

Voor het onderdrukken van vrijheidsgraden is in Bacon ook een commando ingebouwd. Hierbij moet men denken aan de nodes die zijn gegenereerd met het commando GEN. Het onderdrukken van vrijheidsgraden kan met het commando: `.FIX I _ J _ K _ C _`

Met de parameters I, J en K kunnen nodes gedefinieerd worden. Met de parameter C kan een component onderdrukt worden (waarde 1, 2 of 3). Met het weglaten van parameter C worden alle vrijheidsgraden onderdrukt.

Met het commando .FNN kunnen vrijheidsgraden op een andere waarde dan nul worden gefixeerd. Voor een beschrijving van dit commando wordt verwezen naar de Bacon handleiding.

2.4. De materiaal grootheden.

Wanneer men dynamische of statische analyses wil uitvoeren, dan zal er ook een aantal materiaalgegevens beschikbaar moeten zijn. Gegevens zoals dichtheid, elasticiteitsmodulus etc. moeten worden ingevoerd. Het invoeren van dit soort gegevens kan met het commando:

`.GEL Y_N_T_M_O_G_.`

Y is de Young modulus (elasticiteits modulus), N is de Poisson ratio, T is de dikte, M is de specifieke massa, O is de rotatie snelheid om de z-as en G is de gravitatieversnelling. Nog enkele andere gegevens omtrent temperaturen kunnen met dit commando ingevoerd worden.

2.5. De hypothese.

Het commando .HYP staat de invoer van een modelleringshypothese toe. Dit kan gebeuren voor de hele constructie of voor een gedeelte daarvan. Er kan gebruik gemaakt worden van vóórgedefinieerde hypothesen of van eigen hypothesen. Door het kiezen van een hypothese legt men tevens vast het type element dat gebruikt kan worden. Voor een lijst van hypothesen met bijbehorende elementen zie Bacon handleiding.

2.6. De specifieke optimaliseringsdata.

Een aantal zaken moet nog gedefinieerd worden om de Opti module goed te laten werken. Zo moet de doelfunctie met randvoorwaarde nog gedefinieerd worden. Bepaalde control data voor de Opti module, optimaliseringsmethode etc. moeten nog ingevoerd worden.

- Definitie van de doelfunctie met het commando: `.RCS TYP_FOB_.`
TYP geeft aan wat er geoptimaliseerd moet worden.

| <u>TYP</u> | <u>optimaliserings grootheid</u> |
|------------|----------------------------------|
| 1 | spanning |
| 2 | node verplaatsing |
| 3 | gewicht |
| 5 | spannings vloeï |
| 7 | reactie's |
| 10 | deformatie energie per element |

FOB definieert de doelfunctie (waarde 0, 1 en -1) .

- Definitie van de randvoorwaarden met het commando:

```
.RCS TYP _ PA _ PB _ PC _ BL _ BU _ DBL _ DBU _ .
```

TYP geeft weer wat de randvoorwaarden voor een grootheid is. PA, PB en PC zijn afhankelijk van het type (zie Opti handleiding blz. 2.50). BL en BU geven respectievelijk de minimale en maximale waarden. DBL en DBU geven de maximale waarde verandering van BL en BU.

- De optimalisatiemodule bestaat uit een aantal (3) stappen . Na iedere stap kan desgewenst de module gestopt worden, hiervoor moet dan in het commando .CGO gedefinieerd worden waar gestopt moet worden en welke files bewaard moeten blijven. Wil men de Opti module gewoon in een keer laten runnen dan voldoet het commando .CGO zonder verdere toevoeging reeds. Wil men step by step runnen dan wordt er verwezen naar de Opti handleiding (blz. 2.5).

- Omdat het optimaliseren een langdurig proces is, dat langer duurt naar mate er meer componenten een rol spelen, worden de niet relatieve componenten buiten beschouwing gelaten. Daarom moet bij de eerste iteratie de kritieke respons factor gedefinieerd worden, die bepaalt welke componenten wel en niet meedoen. Deze factor moet niet te klein gekozen worden omdat anders misschien relatieve componenten weg vallen. Na de eerste iteratiestap wordt deze kritieke respons factor automatisch berekend. Voor het definiëren van deze factor is er het commando: .SRA CA _ . CA is de kritieke respons, factor CA 1 is vaak een goede keuze.

- Een aantal control parameters, dat betrekking heeft op de berekeningen kan met het commando .SAM gedefinieerd worden. Voor een overzicht van mogelijke parameters, die gedefinieerd kunnen worden, wordt verwezen naar de Bacon handleiding.

- Definitie van speciale karakteristieken voor elementen, zoals het aantal integratie punten per element. Dit soort gegevens kan ingevoerd worden met het commando:

```
.AEL I _ J _ K _ .....(optie's).
```

I, J en K definiëren welke elementen de speciale karakteristiek toegekend krijgen. Het overzicht van mogelijke optie's staat eveneens in de Bacon handleiding.

- Bij vorm optimalisatie kan de methode van optimaliseren van het frontoppervlak gedefinieerd worden met het commando: .OPT. Ook dit commando wordt uitvoerig besproken in de Bacon handleiding.

- Bij het gebruik van de dynamische module Dynam kan met het commando: .INE massa traagheden worden gedefinieerd.

```
.INE I _ _ C _ V _ .
```

I geeft het node nummer, het tweede nummer wordt gebruikt om een interface te definiëren. C bepaalt het nummer van de component of interface waarop de massa traagheid van toepassing is. V is de waarde van de traagheid.

Om de ingevoerde gegevens op te slaan in een file die geschikt is voor verdere bewerkingen, is het commando .FIN aanwezig in de Bacon module. De Bacon sessie sluit men af en wordt verlaten met het commando : .FIN 1.

In dit hoofdstuk is getracht om in het kort een (redelijk) overzicht weer te geven van wat er ingegeven moet worden in de Bacon pre-processor. Samen met de voorbeelden (hoofdstukken 7 en 8) en de andere hoofdstukken moet de werkbaarheid van Samcef enigszins toenemen. Uiteraard staan in dit hoofdstuk niet alle commando's beschreven, daarom blijft het noodzakelijk om de handleidingen er bij te houden.

3. De analyse module Asef.

Met de module Asef kunnen lineaire statische analyses uitgevoerd worden. Het is mogelijk om verplaatsingen, spanningen en dergelijke te berekenen in een grote klasse van belastingsgevallen. De spanningen die berekend kunnen worden zijn: gemiddelde spanning over een element, hoofdspanningen, von Mises spanningen en locale spanningen. De randvoorwaarden voor dit soort problemen kunnen gefixeerde verplaatsingen, lineaire combinatie's van vrijheidsgraden en contact tussen onderdelen zijn. In principe moet de vergelijking: $Ax=y$ (met A is de stijfheidsmatrix) opgelost worden. De oplossingsmethode is gebaseerd op het opsplitsen van de stijfheidsmatrix in subsystemen.

3.1. De input voor Asef.

De input data voor Asef wordt met de module Bacon, die in het vorige hoofdstuk is beschreven, aangemaakt. De input file voor de module Asef is *_ba.dat.

3.2. De output van Asef.

Tijdens het runnen van Asef wordt er een aantal files aangemaakt. Een aantal van deze files zijn werkfiles en een aantal zijn output files. De werkfiles worden aan het eind van de module weer automatisch gedeleted.

| <u>filenaam</u> | <u>soort file</u> |
|-----------------|---|
| fort_*.01 | werkfile |
| *_as.u02 | opslag van geïnverteerde stijfheidsmatrix |
| fort_*.03 | werkfile |
| *_as.u04 | opslag van spanningsmatrix |
| *_as.u06 | print |
| fort_*.08 | werkfile |
| fort_*.09 | werkfile |
| fort_*.10 | werkfile |
| *_as.u11 | opslag element stijfheidsmatrix |
| *_as.u13 | opslag element belasting |
| fort_*.14 | werkfile |
| *_as.u18 | opslag file |

| | |
|-----------|--------------------------|
| fort_*.20 | werkfile |
| fort_*.41 | werkfile |
| fort_*.42 | werkfile |
| fort_*.43 | werkfile |
| fort_*.44 | werkfile |
| *_as.res | opslag resultaten |
| *.fac | voor F.A.C. communicatie |
| *.des | |

Om de output files ook werkelijk op te slaan, moet er bij het opstarten van de module bij de vraag: "Use or keep intermediate file(s)" geantwoord worden met: "Yes".

3.3. De resultaten.

Wanneer een Asef run goed is verlopen dan staan na afloop alleen de output files in de directory. In de file *_as.res staan de resultaten van de Asef module vermeld. De volgende gegevens staan onder meer vermeld in deze file:

- Maximum en minimum waarde van de diagonaal termen.
- Het gemiddelde van de diagonaal termen.
- Lijst van gefixeerde vrijheidsgraden.
- De diagonaal termen, die een factor 10^{-4} kleiner zijn dan de gemiddelde diagonaal termen.
- Aantal substructuren.
- Aantal elementen.
- Aantal nodes.
- Totale potentiële energie.
- De verplaatsingen.
- De reactie krachten.
- Een schatting van de grote van de benodigde files.
- Uiteindelijke grote van de benodigde files.
- Aantal Warnings en Errors

4. De analyse module Dynam.

De functie van de module Dynam is het berekenen van de karakteristieke trillings vormen van een constructie. In Samcef gebeurt dit door het oplossen van het eigenwaarde probleem. Dit kan gedaan worden voor de hele constructie of voor de vrijheidsgraden, die de kinetische energie bepalen voor de laagste eigen frequentie. Het eigenwaarde probleem wordt opgelost met multi iteratie methode, Jacobi methode of met het Lanczos algoritme.

4.1. De input voor Dynam.

De input voor Dynam wordt verzorgd door de pre-processor Bacon, die in het tweede hoofdstuk reeds beschreven is. De input file voor Dynam is *_ba.dat.

4.2. De output van Dynam.

Tijdens het runnen van Dynam wordt er een aantal files aangemaakt. Een aantal van deze files zijn werkfiles en een aantal zijn output files. De werkfiles worden aan het eind van de module weer automatisch gedeleted.

| <u>filenaam</u> | <u>soort file</u> |
|-----------------|---------------------------------|
| fort_*.01 | werkfile |
| fort_*.02 | werkfile |
| fort_*.03 | werkfile |
| fort_*.04 | werkfile |
| *_dy.u06 | print |
| fort_*.08 | werkfile |
| fort_*.09 | werkfile |
| fort_*.10 | werkfile |
| *_dy.u11 | opslag element stijfheidsmatrix |
| *_dy.u12 | opslag elementen massamatrix |
| fort_*.13 | werkfile |
| fort_*.14 | werkfile |
| *_dy.u15 | opslag gecondenseerde matrix |
| *_dy.u16 | opslag gecondenseerde matrix |
| *_dy.u17 | opslag element dempingsmatrix |

| | |
|-----------|--------------------------|
| *_dy.u18 | opslag file |
| fort_*.20 | werkfile |
| fort_*.41 | werkfile |
| fort_*.42 | werkfile |
| fort_*.43 | werkfile |
| fort_*.44 | werkfile |
| *_dy.res | opslag resultaten |
| *.fac | voor F.A.C. communicatie |
| *.des | |

Om de output files ook werkelijk op te slaan, moet er bij het opstarten van de module bij de vraag: "Use or keep intermediate file(s)" geantwoord worden met: "Yes".

4.3. De resultaten.

Wanneer een Dynam run goed is verlopen dan staan na afloop alleen de output files in de directory. In de file *_as.res staan de resultaten van de Dynam module vermeld. De volgende gegevens staan onder meer vermeld in deze file:

- De massa matrix.
- Energie percentage per node en per element.
- Zwaartepunten en traagheden.
- Aantal elementen.
- Aantal nodes.
- Eigenfrequentie's met de bijbehorende trillingsvormen (node verplaatsingen).
- Een schatting van de grote van de benodigde files.
- Uiteindelijke grootte van de benodigde files.
- Aantal Warnings en Errors

5. De post-processor Opti.

In de praktijk dient Opti als een post-processor bij de lineaire analyse modulus Asef, Dynam en Stabi. Met Opti worden de gevoeligheden van de karakteristieke grootheden bepaald, deze gevoeligheden worden gekoppeld aan de ontwerpvariabelen. De aangepaste ontwerpvariabelen bepalen de nieuwe constructie, waarna het hele proces zich herhaalt totdat de meest optimale constructie is ontstaan. De optimalisatie technieken kunnen op twee soorten van problemen worden toegepast namelijk:

- Grootte bepaling van dunwandige constructie's (keuze van profielen en diktes).
- Bepalen van de optimale vorm van 2-dimensionale onderdelen (platvlak of axisymetrisch) zoals schijven en flenzen.

De functie van Opti is het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse, het omzetten van een ontwerp probleem in een optimalisatie probleem, het oplossen van de (sub-) optimalisatie problemen en het aanpassen van de modelleringsdata. Met deze aangepaste data kan teruggegaan worden naar de lineaire analyse modulus en het hele proces kan zich herhalen.

5.1. De input voor Opti.

De input data van de module Opti bestaat uit de output data van de module Asef of Dynam. Tijdens de Opti run wordt er gecontroleerd of deze data inderdaad aanwezig zijn. Omdat de output van Asef en Dynam niet uit dezelfde files bestaat, moet er gespecificeerd worden wat de voorafgaande module was. Dit gebeurt door na het opstarten van Samcef, bij de eerste vraag tussen haakjes aan te geven welke module eerder is gebruikt, gevolgd door een komma en "op". Om duidelijk te maken dat er gebruik gemaakt moet worden van reeds aanwezige files, moet er bij de vraag : 'Use or keep intermediate file(s)', geantwoord worden met "Yes".

5.2. De output van Opti.

Tijdens het runnen van Opti wordt er een aantal files aangemaakt. Een aantal van deze files zijn werkfiles en een aantal zijn output files. De werkfiles worden aan het eind van de module weer automatisch gedeleted.

| <u>filenaam</u> | <u>soort file</u> |
|-----------------|-------------------|
| fort_*.01 | werkfile |
| fort_*.03 | werkfile |
| fort_*.08 | werkfile |
| fort_*.10 | werkfile |
| fort_*.14 | werkfile |
| fort_*.15 | werkfile |
| fort_*.17 | werkfile |
| fort_*.25 | werkfile |
| fort_*.26 | werkfile |
| fort_*.27 | werkfile |
| fort_*.28 | werkfile |
| fort_*.29 | werkfile |
| fort_*.39 | werkfile |
| fort_*.41 | werkfile |
| fort_*.42 | werkfile |
| *_op.spy | error file |
| *_??_op.res | opslag resultaten |
| *_ba.dat:? | oude data file |
| *_ba.dat | nieuwe data file |

(?? identificatie van de vorige module)

(? afhankelijk van het nummer van de iteratie stap)

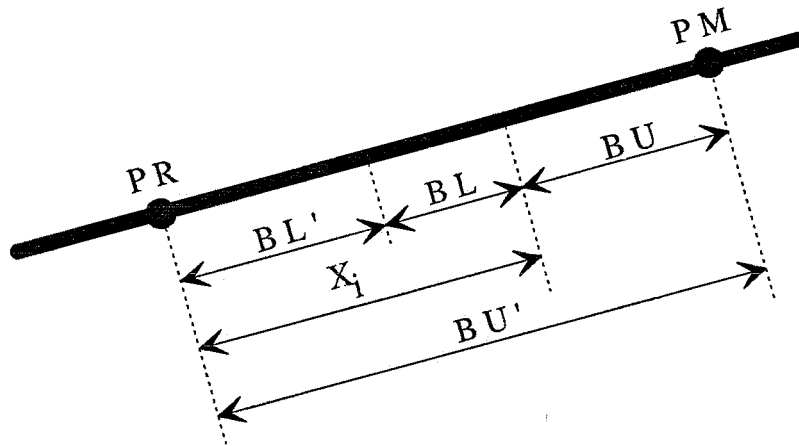
5.3. De resultaten.

De resultaten die verkregen zijn na iedere iteratie stap staan vermeld in de file *_??_op.res. De gegevens die in deze file staan, zijn onder meer:

(Deze gegevens zijn gebaseerd op een vorm optimalisatie probleem, bij grootte optimalisatie staan ook andere gegevens).

- Bacon invoer data.
- Control parameters voor module.
- Onderdrukte vrijheidsgraden.
- Initiele pool coördinaten.

- Karakteristieken van de ontwerpvariabelen.
 - Nummer van de bewegende pool.
 - De verplaatsingscomponent.
 - Nummer van de bijbehorende ontwerpvariabele.
 - Coördinaten van de referentie pool.
 - De richtingsvector van de beweging.
 - De drie waarden BL' , X_i en BU' (zie figuur 3).



figuur 3.

- Karakteristieken van de curves.
 - Nummer van de curve, type, aantal polen, graad, aantal elementen, aantal segmenten.
 - Lijst van polen.
- Karakteristiek van de elementen.
 - Nummer en type van de mesh.
 - Lijst van hoekpolen.
 - Lijst van omsluitende curves (negatief nummer wil zeggen dat ze genomen worden in tegengestelde richting dan dat ze gedefinieerd zijn).
- Randvoorwaarden.
- Schatting van de grootte van de benodigde files.
- Waarden van de ontwerpvariabelen.
- Verandering van de waarde van de doelfunctie.
- Spanningen in het ontwerp.

6. De post-processoren Postfac en Bacon.

Met de modules Postfac en Bacon kunnen de resultaten, die berekend zijn met de Samcef analyse modulus, zichtbaar gemaakt worden. Bacon geeft een aantal grafische mogelijkheden zoals het zichtbaar maken van verplaatsingen en spanningsvectoren. Ook het maken van animaties behoort tot de mogelijkheden van de post-processor Bacon. De rol van Postfac is drievoudig:

- Het creëren, modificeren of kopiëren van opslag files en het printen van resultaten in een meer gebruikelijke vorm.
- Het tekenen van grafieken.
- Het uitvoeren van extra berekeningen, die niet uitgevoerd worden door de analyse modules.

6.1. De invoer voor Postfac.

De structuur van de invoer data voor de Postfac module bestaat uit een aantal commando's. Het eerste commando specificeert onder welke unit de post-processing file *.fac zich bevindt. Dan komen er commando's, eventueel gevolgd door data, die zorgen voor een bewerking van de resultaten. (De commando's die op dit niveau ingegeven kunnen worden, worden beschreven in de Postfac handleiding). Het commando .FIN zorgt voor de opslag van de bewerkte resultaten en met het commando .STOP komt er een einde aan de Postfac run.

6.2. De invoer voor Bacon.

De input voor de post-processing met Bacon bestaat uit de *.fac file. Deze file kan zonder tussenkomst van de module Postfac ingelezen worden. De *.fac file kan in Bacon ingelezen worden door bij het opstarten als bank file op te geven de file *.dat. De *.fac file wordt dan toegekend aan een unit, die daarna ingeladen kan worden.

7. Een vorm optimalisatie probleem.

Voor de vorm optimalisatie van een roterde disk, waarvan het gewicht geminimaliseerd moet worden, staat hieronder de invoer file, zoals die in Bacon gecreëerd zou moeten worden. Maakt men de file aan met een teksteditor dan kan deze ingeladen worden in Bacon door het commando: INPUT.EX1

```
.INIT
MODE T1 I 0 G 4125 ECHO'
ABRE '/G'      ';GRAP'
ABRE '/ISO'    ';GRAP INI RY 45 RX 35.26 ;'
ABRE '/TRI'    ';GRAP INI RY 55.73 RX 23.16 ;'
ABRE '/FS'     ';GRAP CXI CYI CYS ;'
ABRE '/TLS'   ';GRAP CXI - 32 50 34 100 ;'
ABRE '/TRS'   ';GRAP CXI 34 50 100 100 ;'
ABRE '/BLS'   ';GRAP CXI -32 0 34 50 ;'
ABRE '/BRS'   ';GRAP CXI 34 0 100 50 ;'
/FS /G CM 2 CN 5 CL 3 CP 7 AXE
/G EFFACER ECLATE
EXIT (geeft control terug aan de gebruiker)
.EX1 (naam van het probleem)
.HYP AXISYM
.CGO
.SRA CA 1
.E0D 1 225 30
      2 197 30
      3 168.75 30
      4 140.5 30
      5 112.5 30
      6 84.5 30
      7 56.25 30
      8 28 30
      9 0 30
      9 Y - 30 Q 1
.VCG PM 1 PR 10 BL -25 BU 800
```

PM 1 PR 1 R 8
.E1D NO 1 TYP 1 ND 5 I 1 J 9
NO 2 TYP 4 I 9 18
NO 3 TYP 1 ND 5 I 10 J 18
NO 4 TYP 4 I 1 10
.E2D I 1 TS 1 NA 1 9 18 10 CA 1 2 3 4 NI 40 TE 15
.DIS 1 20
2 3
3 20
4 3

GEN

VISUALISE

(geeft een weergave van de gemaakte structuur)

.RCS 3 FOB 1
.RCS TYP 1 PA 1 PB 1 BL -60 BU 60 DBL -60 DBU 60
PB 3 R 1
PA 1 Q 59
.AEL I 1 J 60 NG 3 3 0
.OPT METH 1
.SAM DEG 2 IFO 1 MF 3
.GEL Y 1.94E4 N .3 M 8E-6 O 20
.FIX 9 C 1
I 121 J 285 K 41 C 1
10 C 2
I 287 J 325 C 2
18
.CHA 1 FX 2.3561944E4
81 FX 9.4247779E4
122 FX 4.7123889E4
163 FX 9.4247779E4
204 FX 4.7123889E4
245 FX 9.4247779E4
10 FX 2.3561944E4

EXIT

Na 5 iteratie stappen zou het gewicht nog 13.63 kg moeten bedragen, terwijl deze bij aanvang nog 38.17 kg was. Alle spanningen liggen tussen 59 en 60 N/mm². De variatie van de doelfunctie is -0.012% en de waarden voor de ontwerpvariabelen zijn:

| | |
|---|-------|
| 1 | 5.052 |
| 2 | 6.743 |
| 3 | 9.092 |
| 4 | 11.44 |
| 5 | 14.12 |
| 6 | 16.06 |
| 7 | 18.48 |
| 8 | 19.52 |
| 9 | 20.18 |

8. Een grootte optimalisatie probleem.

We beschouwen van een staaf, die aan een zijde is ingeklemd, de axiale trillingen. Het gewicht moet geminimaliseerd worden, onder voorwaarde dat de eigen frequentie van de staaf in een lager gebied moet komen te liggen. Voor dit grootte optimalisatie probleem staat hieronder de invoer file, zoals die in Bacon gecreerd zou moeten worden. Maakt men de file aan met een teksteditor dan kan deze in geladen worden in Bacon door het commando: INPUT.EX2

```
.INIT
MODE T1 I 0 G 4125 ECHO'
ABRE '/G'      ';GRAP'
ABRE '/ISO'    ';GRAP INI RY 45 RX 35.26 ;'
ABRE '/TRI'    ';GRAP INI RY 55.73 RX 23.16 ;'
ABRE '/FS'     ';GRAP CXI CYI CYS ;'
ABRE '/TLS'    ';GRAP CXI - 32 50 34 100 ;'
ABRE '/TRS'    ';GRAP CXI 34 50 100 100 ;'
ABRE '/BLS'    ';GRAP CXI -32 0 34 50 ;'
ABRE '/BRS'    ';GRAP CXI 34 0 100 50 ;'
/FS /G CM 2 CN 5 CL 3 CP 7 AXE
/G EFFACER ECLATE
EXIT (geeft control terug aan de gebruiker)
.EX2 (naam van het probleem)
.NOE I 1
      I 1 X .25 R 4
.MAI I 1 N 1 2
      I 1 M 1 R 3
.HYP MEMBRANE TRIDIM
.FIX I 1
.INE I 5 C 1 L 1
.GEL Y 2.0E+11 M 7800
.CGO ISTA 1 ISTO 3 NIT 5000
.SRA PGR 1
.ENSE GR 1 '1' I 1
.ENSE GR 2 '2' I 2
```

```
ENSE GR 3 '3' I 3
ENSE GR 4 '4' I 4
.VCD GR 1 AMI 1.E-06 AMA 1 NVA 1
      GR 1 R 3
.RCS TYP 11 PA 1 BL 600 BU 10000
      PA 1 R 3
.RCS TYP 3 FOB 1
.CAP I 1 C 3 V 1.E-04
      I 1 R 3
EXIT
```

Na 9 iteratie stappen zou het gewicht nog .6656 kg moeten bedragen, terwijl deze bij aanvang nog 0.78 kg was. De eigen frequentie bedraagt 600 Hz, in aanvang was deze 631.5 Hz. De waarden voor de ontwerpvariabelen zijn:

| | |
|----|--------|
| a1 | 0.9952 |
| a2 | 0.9295 |
| a3 | 0.8144 |
| a4 | 0.6747 |

Bijlage 1.

De initialisatie data.

De initialisatie data zoals die bij iedere Bacon sesie moet in worden gelezen, kan er als volgt uitzien:

```
.INIT
MODE T1 I 0 G 4125 ECHO'
ABRE '/G'      ';GRAP'
ABRE '/ISO'    ';GRAP INI RY 45 RX 35.26 ;'
ABRE '/TRI'    ';GRAP INI RY 55.73 RX 23.16 ;'
ABRE '/FS'     ';GRAP CXI CYI CYS ;'
ABRE '/TLS'    ';GRAP CXI - 32 50 34 100 ;'
ABRE '/TRS'    ';GRAP CXI 34 50 100 100 ;'
ABRE '/BLS'    ';GRAP CXI -32 0 34 50 ;'
ABRE '/BRS'    ';GRAP CXI 34 0 100 50 ;'
/FS /G CM 2 CN 5 CL 3 CP 7 AXE
/G EFFACER ECLATE
EXIT
```