

Het programmapakket MARC en geometrisch niet-lineaire berekeningen

Citation for published version (APA):

van Hoogstraten, P. A. A. (1986). *Het programmapakket MARC en geometrisch niet-lineaire berekeningen*. (DCT rapporten; Vol. 1986.030). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1986

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.

WFW 86.030

Het programmapakket MARC
en geometrisch niet-lineaire
berekeningen.

P.A.A. van Hoogstraten

Deel A van het verslag van stage 4k805
juli 1986

begeleiding: Ir. H. Rooyackers.

Inleiding

Het programmapakket MARC, dat bij de afdeling Werktuigbouwkunde aan de THE is geïmplementeerd op de Prime P750 computer, biedt uitgebreide mogelijkheden voor Eindige Elementen berekeningen. Zo is het mogelijk met MARC geometrisch niet-lineaire berekeningen uit te voeren.

Deze berekeningen zijn uitgevoerd op een eenvoudig voorbeeld: de trekstaaf, die wordt gemodelleerd door één element. Er is een methode opgezet om deze berekeningen grafisch te vergelijken met de analytische oplossing.

Bij dit werk heb ik dankbaar gebruik kunnen maken van de hulp van medewerkers van de vakgroep WFW. Ik ben vooral dank verschuldigd aan Harrie Rooyackers, voor de talloze malen dat hij mij met raad en daad heeft bijgestaan.

Inhoudsopgave

Inleiding	0.1
Inhoudsopgave	0.2
Symbolenlijst	0.3
Hoofdstuk 1 : Basisformules uit de niet-lineaire mechanica	1.1
Hoofdstuk 2 : De toepassing van niet-lineaire mechanica op een trekstaaf	2.1
§ 2.1 : De deformatietensor	2.1
§ 2.2 : De gegeneraliseerde wet van Hooke	2.5
Hoofdstuk 3 : MARC en geometrisch niet-lineaire berekeningen	3.1
§ 3.1 : Mogelijkheden in het programma-pakket MARC	3.1
§ 3.2 : De „total lagrangian” benaderingswijze, toegepast op de trekstaaf	3.2
§ 3.3 : De „updated lagrangian” benaderingswijze, toegepast op de trekstaaf	3.4
Hoofdstuk 4 : Het uitvoeren van berekeningen met MARC en het verwerken van de berekeningsresultaten	4.1
§ 4.1 : inleiding	4.1
§ 4.2 : de gebruikte elementen	4.1
§ 4.3 : Het verloop van de berekeningen	4.6
§ 4.4 : De verwerking van de berekeningsresultaten	4.7
Hoofdstuk 5 : De resultaten	5.1
§ 5.1 : inleiding	5.1
§ 5.2 : De resultaten voor een beperkt bereik van de verlengingsfactor	5.1
§ 5.3 : De resultaten voor een groot bereik van de verlengingsfactor	5.6
Hoofdstuk 6 : Discussie	6.1
§ 6.1 : Elementtype 9	6.1
§ 6.2 : Elementtype 21	6.3
§ 6.3 : Slotconclusies	6.4

Bijlagen

Symbolenlijst

\underline{x}		:	materiële coördinaten
\underline{x}		:	positie vector
\underline{e}		:	eenheids vector
\underline{n}		:	eenheids buitennormaal
\underline{p}		:	spanningsvector
A	$[L^2]$:	dwaarsdoorsnede
l	$[L]$:	lengte
b	$[L]$:	breedte
h	$[L]$:	hoogte
N	$[F]$:	normaalkracht
ε	$[-]$:	rek
$\bar{\nabla}$:	gradiënt operator m.b.t. de huidige toestand
$\bar{\nabla}_0$:	gradiënt operator m.b.t. de referentie toestand
t	$[s]$:	tijd
ν	$[-]$:	dwaars contractie coëfficiënt
E	$[-]$:	elasticiteitsmodulus
G	$[-]$:	glidingsmodulus
λ	$[-]$:	verlengingsfactor
IF		:	deformatie tensor
IR		:	rotatie tensor
U		:	verlengingstensor
e		:	lineaire rektensor
\mathcal{E}		:	logaritmische rektensor
\mathbb{E}		:	Green-Lagrange rektensor
σ		:	Cauchy-spanningstensor
k		:	Kirchoff spanningstensor
\mathbb{P}_2		:	2 ^{de} Piola-Kirchoff spanningstensor
${}^c C$:	Materiaal tensor
\mathbb{I}		:	eenheidstensor
A^c		:	geconjugeerde van tensor A
A^{-1}		:	inverse van tensor A
$\det(A)$:	determinant van tensor A

Hoofdstuk 1 : Basisformules uit de niet-lineaire mechanica.

Wanneer een lichaam deformeert, gaat dit lichaam vanuit een referentietoestand over in een nieuwe toestand, ook wel momentane of huidige toestand genoemd. Om gedurende deze overgang alle punten van het lichaam te kunnen identificeren, krijgt elk punt een label toegekend.

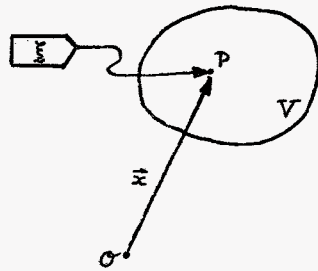


Fig 1.1 : positievector en materiële coördinaten van punt P

Het punt P, een materieel punt van het lichaam V, is in figuur 1.1. weergegeven met het label ξ . Dit label bevat de zogenaamde materiële coördinaten ξ_1, ξ_2 en ξ_3

$$\xi = [\xi_1, \xi_2, \xi_3]^T \quad (1.1.)$$

De positie van het punt P kan, gedurende de deformatie, ten opzichte van een vaste oorsprong O worden vastgelegd met een positievector \vec{x} , die afhankelijk zal zijn van de tijd en de materiële coördinaten.

$$\vec{x} = \vec{\chi}(\xi, t) \quad \text{keuze: } \vec{x}(0) = \vec{x}_0 = \vec{\chi}(\xi, t_0) = \xi \quad (1.2.)$$

Twee naburige punten P en Q van een lichaam kunnen in de referentietoestand worden aangegeven met de labels ξ en $\xi + d\xi$ of met de positievectoren \vec{x}_0 en $\vec{x}_0 + d\vec{x}_0$ waarbij de beneden index 0 duidt op het referentietijdstip t_0 .

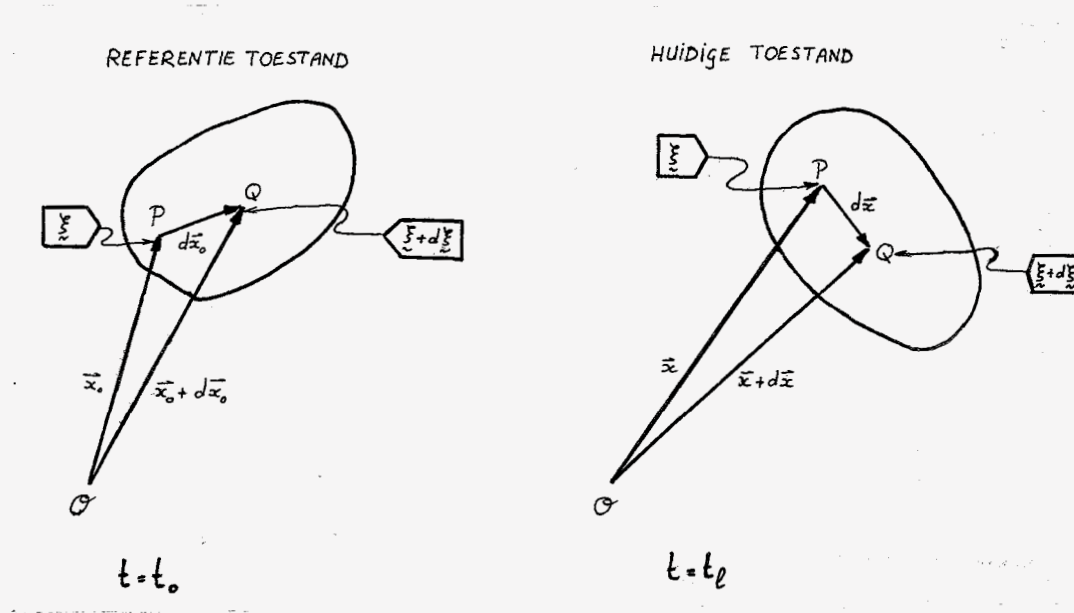


fig. 1.2 : definitie van de verschilvectoren $d\vec{x}_0$ en $d\vec{x}$

In de huidige toestand zijn de positievectoren \vec{x}_0 en $\vec{x}_0 + d\vec{x}_0$ overgegaan in de vectoren \vec{x} en $\vec{x} + d\vec{x}$. De verschilvector $d\vec{x}_0$ gaat dus over in de verschilvector $d\vec{x}$. Deze overgang kan worden beschreven met de deformatietensor \mathbb{F} , een lineaire afbeelding waarvoor geldt :

$$d\vec{x} = \mathbb{F} \cdot d\vec{x}_0 \quad (1.3)$$

Aangevoerd kan worden dat de deformatietensor als volgt kan worden weergegeven. (zie [1])

$$\mathbb{F} = (\vec{\nabla}_0 \cdot \vec{x})^c \quad (1.4)$$

met $\vec{\nabla}_0$ = gradiënt operator m.b.t. de referentietoestand
 \vec{x} = positievector t.o.v. oorsprong \mathcal{O}

De deformatietensor wordt gebruikt bij het definiëren van een maat voor de optredende rekken tijdens de deformatie. Op basis van de deformatie-tensor zijn talloze rektensoren te formuleren. Enkele veel toegepaste rektensoren zijn :

$$* \text{ de Green-Lagrange rektensor : } \mathbb{E} = \frac{1}{2} (\mathbb{F}^c \cdot \mathbb{F} - \mathbb{I}) \quad (1.5)$$

$$* \text{ de logaritmische rektensor : } \mathbb{E} = \frac{1}{2} \ln (\mathbb{F}^c \cdot \mathbb{F}) \quad (1.6)$$

$$* \text{ de lineaire rektensor : } \mathbb{E} = \sqrt{\mathbb{F}^c \cdot \mathbb{F}} - \mathbb{I} \quad (1.7)$$

Hierbij wordt opgemerkt dat \mathbb{I} de eenheidstensor voorstelt. Per definitie beeldt de eenheidstensor een vector op zichzelf af.

De logaritmische rektensor blijkt fysisch het meest zinvol* te zijn, maar alleen bij de Green-Lagrange rektensor is het verband tussen rek en verlenging in elke willekeurige richting hetzelfde. De lineaire rektensor wordt toegepast in de geometrisch lineaire theorie. Bij kleine deformaties is er nauwelijks verschil tussen de drie besproken rektensoren.

De rek ε in een willekeurige richting kan bepaald worden met behulp van de eenheidsvector \vec{e} in die richting :

$$\varepsilon(\vec{e}) = \vec{e} \cdot \mathbb{A} \cdot \vec{e} \quad (1.8)$$

Voor de tensor \mathbb{A} moet de gekozen rektensor worden genomen.

Wil men een verband tussen de belasting op het lichaam en de vervorming ervan kunnen beschrijven dan is naast een maat voor de rekken ook een maat voor de spanningen nodig. Ook daartoe zijn talloze tensoren voorgesteld.

* er is sprake van een monotoon stijgende spanning bij toenemende verlenging, dit is niet zo bij de Green-Lagrange rektensor. Een en ander zal in het vervolg worden toegelicht.

Een veel toegepaste spanningstensor is de Cauchy-spanningstensor σ . Deze tensor is als volgt gedefinieerd.

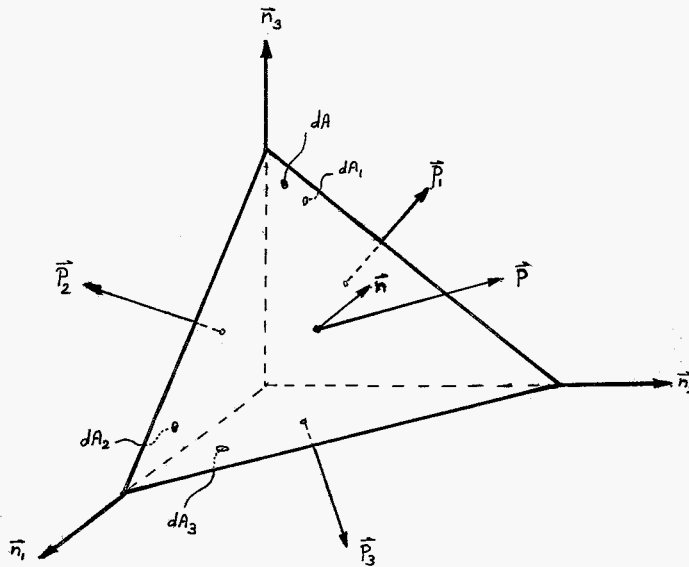


fig 1.3 : vierulak ter bepaling van σ .

Uitgangspunt is een infinitesimaal vierulakje, opgebouwd uit vlakjes met een oppervlak dA_1, dA_2, dA_3 en dA . De eenheidsbuitennormalen van deze vlakjes zijn respectievelijk $-\bar{n}_1, -\bar{n}_2, -\bar{n}_3$ en \bar{n} . De vectoren \bar{n}_1, \bar{n}_2 en \bar{n}_3 zijn onderling loodrecht. De spanningsvectoren op de vier vlakjes zijn $\bar{p}_1, \bar{p}_2, \bar{p}_3$ en \bar{p} .

Er geldt:

$$dA_i = (\bar{n}_i \cdot \bar{n}) dA \quad i=1,2,3 \quad (1.9.)$$

en:

$$\bar{p} = - \sum_{i=1}^3 (\bar{p}_i \bar{n}_i) \cdot \bar{n} \quad (1.10.)$$

De Cauchy-spanningstensor σ is een lineaire afbeelding, die voldoet aan:

$$\bar{p} = \sigma \cdot \bar{n} \quad (1.11.)$$

met:

$$\sigma = - \sum_{i=1}^3 (\bar{p}_i \bar{n}_i) \quad (1.12.)$$

De spanningsvector op een vlakje met buitennormaal \bar{n} door een punt P is dus te bepalen als de spanningsvectoren op drie onderling loodrechte vlakjes door P bekend zijn.

Op basis van de Cauchy-spanningstensor kunnen andere spanningstensors worden geformuleerd.

- * de Kirchoff-spanningstensor : $\mathbb{I}_k = \det(\mathbb{I}F) \cdot \mathbb{C}$ (1.13.)
- * de 2^{de} Piola-Kirchoff-spanningstensor : $\mathbb{I}_2 = \det(\mathbb{I}F) \cdot \mathbb{I}F^{-1} \cdot \mathbb{C} \cdot \mathbb{I}F$ (1.14)

$\det(\mathbb{I}F)$ is de determinant van de deformatie tensor, dit is een maat voor de volumeverandering van het lichaam; zie [1]

Om verbanden tussen rektensoren en spanningstensors te verkrijgen moet een materiaalgedrag worden verondersteld.
Voor elastisch materiaalgedrag kan worden aangenomen: *

$$\mathbb{I}_2(t=t_\ell) = \mathcal{G}(\mathbb{I}E(t=t_\ell)) \quad (1.15)$$

Wanneer wordt beperkt tot lineair elastisch materiaalgedrag kan gebruik worden gemaakt van een zogenaamde materiaaltensor ${}^4\mathbb{C}$. Dit is een vierde-orde tensor.

$$\mathbb{I}_2(t=t_\ell) = {}^4\mathbb{C} : \mathbb{I}E(t=t_\ell) \quad (1.16)$$

Onder voorwaarde dat het lineair elastische materiaal zich isotroop gedraagt, geldt voor de materiaaltensor:

$${}^4\mathbb{C} = 2\mathcal{G} \left(\frac{{}^4\mathbb{I} + {}^4\mathbb{I}^c}{2} + \frac{\nu}{1-2\nu} \mathbb{I}\mathbb{I} \right) \quad (1.17)$$

In deze formule stelt \mathcal{G} de zogenaamde glijdingsmodulus voor, terwijl ν de dwarscontractie-coëfficiënt is. Zij zijn onderling gerelateerd:

-
- * Het blijkt dat spannings- en rek-maten energetisch gekoppeld zijn. In het verband (1.15) geldt dat aan de Green-Lagrange rektensor de tweede Piola-Kirchoff-spanningstensor moet worden gekoppeld. Met dezelfde \mathcal{G} kunnen ook de logarithmische rektensor en de Cauchy-spanningstensor aan elkaar worden gekoppeld.

$$g = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1.18)$$

waarbij E de Elasticiteitsmodulus is.

Substitutie van (1.17) in (1.16) levert:

$$IP_2(t=t_\ell) = IP_{2\ell} = 2g \left(IE_\ell + \frac{\nu}{1-2\nu} \text{tr}(IE_\ell) \mathbb{I} \right) \quad (1.19)$$

De benedenindex ℓ duidt op het momentane tijdstip $t=t_\ell$.
Formule (1.19) wordt ook wel de gegeneraliseerde wet van Hooke genoemd.

Hoofdstuk 2 : De toepassing van niet-lineaire mechanica op een trekstaaf.

§2.1. De deformatietensor

In fig. 2.1 is de referentie configuratie weergegeven, aan de hand waarvan de volgende afleidingen en berekeningen zijn gemaakt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de basisformules die in hoofdstuk 1 zijn behandeld.

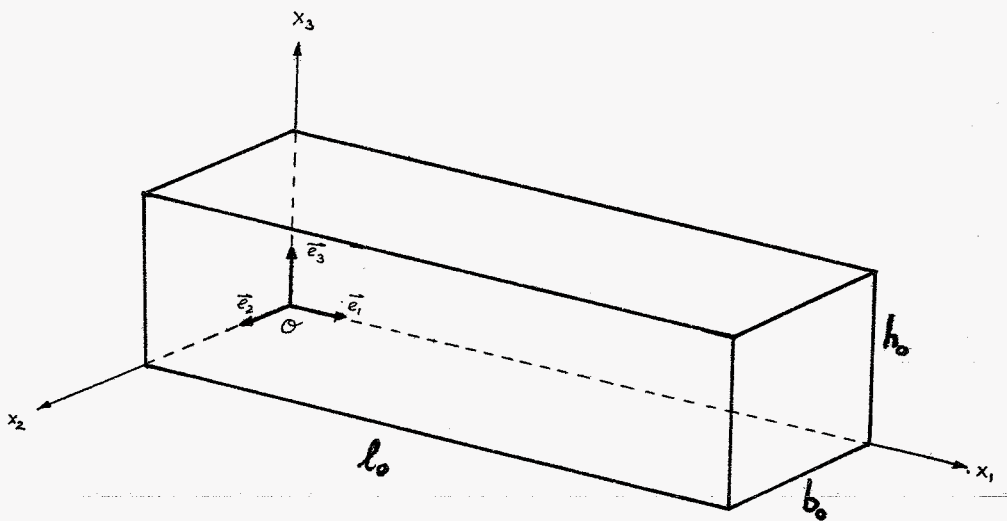


fig. 2.1. de referentie configuratie.

De referentie trekstaaf is recht, spanningsloos en van isotroop materiaal gemaakt. Als gevolg van een uniforme belasting in x_1 -richting zal de staaf homogeen gaan deformeren. De staaf blijft dus recht.

De x_1 -, x_2 - en x_3 -as worden vast in de ruimte gekozen. Na de deformatie zullen de drie ribben van de staaf die oorspronkelijk samenvielen met de x_1 -as, x_2 -as en x_3 -as dit nog steeds doen. Het vlak van de staaf dat in de referentie toestand samenvalt met het ruimtelijke vlak, opgespannen door \vec{e}_2 en \vec{e}_3 , blijft in dit vlak liggen.

Er kan nu worden gesteld :

$$\begin{aligned} l &= l_0 \cdot \lambda_1 \\ b &= b_0 \cdot \lambda_2 \\ h &= h_0 \cdot \lambda_3 \end{aligned} \quad (2.1.1.)$$

In deze notatie stellen l, b en h de lengte, breedte en hoogte van de staaf in de vervormde toestand voor, terwijl λ_i ($i=1,2,3$) de verlengingsfactor in de richting van de x_i -as is.

In de referentie configuratie kunnen we de materiële coördinaten ξ als volgt weergeven :

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \frac{x_{10}}{l_0} & ; & \quad 0 \leq x_{10} \leq l_0 \quad \text{en} \quad 0 \leq \xi_1 \leq 1 \\ \xi_2 &= \frac{x_{20}}{b_0} & ; & \quad 0 \leq x_{20} \leq b_0 \quad \text{en} \quad 0 \leq \xi_2 \leq 1 \\ \xi_3 &= \frac{x_{30}}{h_0} & ; & \quad 0 \leq x_{30} \leq h_0 \quad \text{en} \quad 0 \leq \xi_3 \leq 1 \end{aligned} \quad (2.1.2.)$$

x_{10}, x_{20} en x_{30} zijn de ruimtelijke coördinaten op het tijdstip $t=0$.
Na de deformatie geldt volgens (2.1.1.):

$$\begin{aligned} x_{1l} &= \lambda_1 x_{10} \\ x_{2l} &= \lambda_2 x_{20} \\ x_{3l} &= \lambda_3 x_{30} \end{aligned} \quad \text{benedenindex } l \text{ duidt op het tijdstip } t=t_l \quad (2.1.3.)$$

In de referentie configuratie geldt:

$$\vec{x}_0 = x_{10} \vec{e}_1 + x_{20} \vec{e}_2 + x_{30} \vec{e}_3 \quad \text{met} \quad x_{i0} = (\vec{x}_0 \cdot \vec{e}_i) \quad (2.1.4.)$$

en in de momentane configuratie:

$$\begin{aligned} \vec{x}_l &= x_{1l} \vec{e}_1 + x_{2l} \vec{e}_2 + x_{3l} \vec{e}_3 \\ &= \lambda_1 x_{10} \vec{e}_1 + \lambda_2 x_{20} \vec{e}_2 + \lambda_3 x_{30} \vec{e}_3 \\ &= \lambda_1 (\vec{x}_0 \cdot \vec{e}_1) \vec{e}_1 + \lambda_2 (\vec{x}_0 \cdot \vec{e}_2) \vec{e}_2 + \lambda_3 (\vec{x}_0 \cdot \vec{e}_3) \vec{e}_3 \\ &= (\lambda_1 \vec{e}_1 \vec{e}_1 + \lambda_2 \vec{e}_2 \vec{e}_2 + \lambda_3 \vec{e}_3 \vec{e}_3) \cdot \vec{x}_0 \end{aligned} \quad (2.1.5.)$$

Zo kan ook worden afgeleid:

$$(\vec{x} + d\vec{x})_l = (\lambda_1 \vec{e}_1 \vec{e}_1 + \lambda_2 \vec{e}_2 \vec{e}_2 + \lambda_3 \vec{e}_3 \vec{e}_3) (\vec{x} + d\vec{x})_o \quad (2.1.6.)$$

dus:
$$d\vec{x}_l = (\lambda_1 \vec{e}_1 \vec{e}_1 + \lambda_2 \vec{e}_2 \vec{e}_2 + \lambda_3 \vec{e}_3 \vec{e}_3) \cdot d\vec{x}_o \quad (2.1.7.)$$

Volgens (1.3.) geldt: $d\vec{x}_l = IF \cdot d\vec{x}_o$
Daarmee is de deformatietensor IF bekend.

$$IF = \lambda_1 \vec{e}_1 \vec{e}_1 + \lambda_2 \vec{e}_2 \vec{e}_2 + \lambda_3 \vec{e}_3 \vec{e}_3 \quad (2.1.8.)$$

opmerking:

De deformatietensor IF is ook te berekenen door gebruik te maken van $IF = (\nabla_o \vec{x})^c$. In dit geval is dat omslachtig. (2.1.9.)

Wanneer een willekeurig blokje materiaal deformeert (deformatietensor IF), zullen er in dit blokje materiële lijnstukjes zijn, die zowel voor als na de deformatie loodrecht op elkaar staan. De richtingen waarin deze lijnstukjes lopen worden hoofdrekrichtingen genoemd.

Als nu een rechthoekig blokje materiaal wordt genomen, waarvan drie ribben in de referentie configuratie samen vallen met de hoofdrekrichtingen \vec{n}_{o_i} ($i=1,2,3$), zal de deformatie van dit zg. hoofdrek blokje uit twee delen kunnen worden samengesteld.

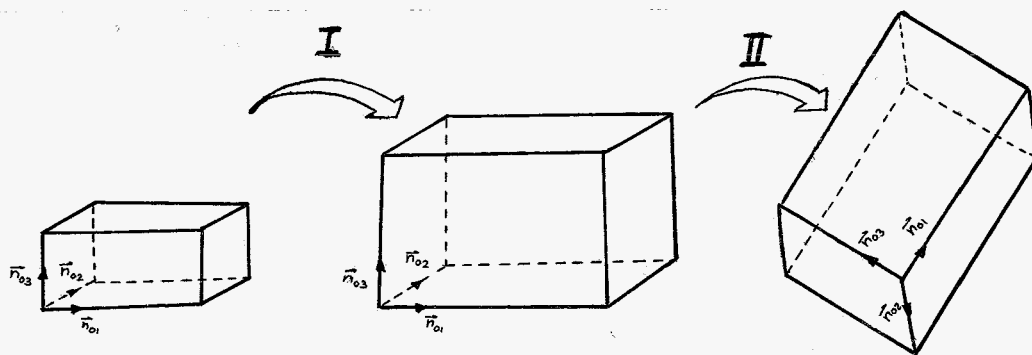


fig. 2.2. : de deformatie van een hoofdrek blokje.

Het blokje wordt in stap I langs zijn hoofdrekrichtingen opgerekt en zal dan in stap II een rotatie als star lichaam kunnen uitvoeren.

In formulevorm kan dit als volgt worden weergegeven:

$$IF = IR \cdot U \quad (2.1.10)$$

U is de zogenaamde verlengingstensor. U is positief definit dus:
 $\vec{a} \cdot U \cdot \vec{a} > 0$ voor alle $\vec{a} \neq \vec{0}$

IR is de rotatietensor. IR is orthogonaal dus: $IR^c \cdot IR = I$ en
 $IR^c = IR^{-1}$

Met opdelen van IF in IR en U wordt de rechter polaire decompositie genoemd.

Voor de te beschouwen trekstaaf is de rotatietensor gelijk aan de eenheidstensor. De hoofdrekrichtingen lopen dus evenwijdig aan de x_1 , x_2 , en x_3 -as.

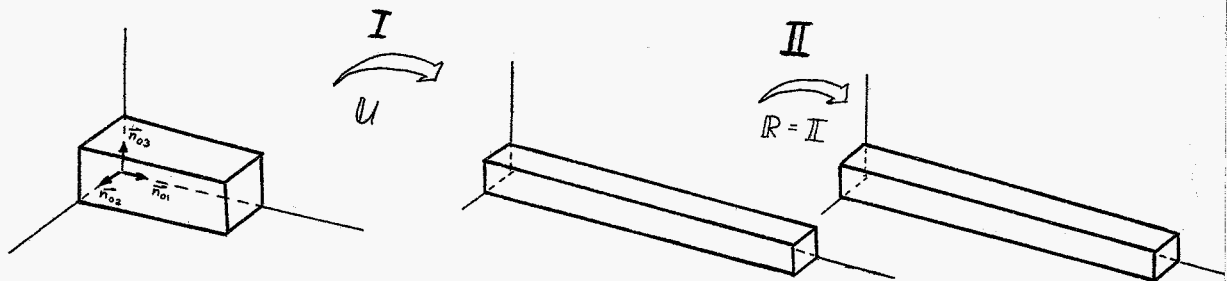


Fig. 2.3. Polaire decompositie bij de trekstaaf.

$$\text{immers: } \left. \begin{aligned} IR \cdot \vec{n}_{01} &= \vec{n}_{01} \\ IR \cdot \vec{n}_{02} &= \vec{n}_{02} \\ IR \cdot \vec{n}_{03} &= \vec{n}_{03} \end{aligned} \right\} IR = I$$

De verlengingstensor U is dus gelijk aan de deformatietensor IF .

$$U = \lambda_1 \vec{e}_1 \vec{e}_1 + \lambda_2 \vec{e}_2 \vec{e}_2 + \lambda_3 \vec{e}_3 \vec{e}_3 \quad (2.1.11)$$

Formeel kan U worden bepaald uit: (zie [1])

$$U \cdot U = IF^c \cdot IF \quad (2.1.12)$$

§2.2. De gegeneraliseerde wet van Hooke.

In het voorgaande hoofdstuk werd in de gegeneraliseerde wet van Hooke gebruik gemaakt van de Green-Lagrange rektensor. Nu de deformatietensor IF bekend is, is het bepalen van deze rektensor erg eenvoudig.

$$\begin{aligned} IE &= \frac{1}{2} (IF^c \cdot IF - II) = \frac{1}{2} (U^2 - II) \\ &= \frac{1}{2} ((\lambda_1^2 \bar{e}_1 \bar{e}_1 + \lambda_2^2 \bar{e}_2 \bar{e}_2 + \lambda_3^2 \bar{e}_3 \bar{e}_3) - II) \\ &= \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} (\lambda_i^2 - 1) \bar{e}_i \bar{e}_i \end{aligned} \quad (2.2.1)$$

Dit resultaat kan worden gesubstitueerd in (1.19).

$$\begin{aligned} IP_{2\ell} &= 2G (IE_\ell + \frac{\nu}{1-\nu} \text{tr}(IE_\ell) II) \\ &= 2G \left(\sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} (\lambda_{i\ell}^2 - 1) \bar{e}_i \bar{e}_i + \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} (\lambda_{i\ell}^2 - 1) \cdot (\bar{e}_1 \bar{e}_1 + \bar{e}_2 \bar{e}_2 + \bar{e}_3 \bar{e}_3) \right) \\ &= 2G \left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{1}{2} (\lambda_{1\ell}^2 - 1) + \frac{\nu}{1-\nu} \left(\frac{1}{2} (\lambda_{1\ell}^2 - 1) + \frac{1}{2} (\lambda_{2\ell}^2 - 1) + \frac{1}{2} (\lambda_{3\ell}^2 - 1) \right) \right] \bar{e}_1 \bar{e}_1 + \\ & \left[\frac{1}{2} (\lambda_{2\ell}^2 - 1) + \frac{\nu}{1-\nu} \left(\frac{1}{2} (\lambda_{1\ell}^2 - 1) + \frac{1}{2} (\lambda_{2\ell}^2 - 1) + \frac{1}{2} (\lambda_{3\ell}^2 - 1) \right) \right] \bar{e}_2 \bar{e}_2 + \\ & \left[\frac{1}{2} (\lambda_{3\ell}^2 - 1) + \frac{\nu}{1-\nu} \left(\frac{1}{2} (\lambda_{1\ell}^2 - 1) + \frac{1}{2} (\lambda_{2\ell}^2 - 1) + \frac{1}{2} (\lambda_{3\ell}^2 - 1) \right) \right] \bar{e}_3 \bar{e}_3 \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

De tweede Piola-Kirchoff spanningstensor zal bij een homogene belasting in x_i -richting alleen een term $\sigma_{ii} \bar{e}_i \bar{e}_i$ bevatten. Door de gekozen belasting zal de Cauchy-Spanningstensor namelijk alleen een term met het dyadische product $\bar{e}_i \bar{e}_i$ bevatten. Omdat de deformatietensor IF , evenals IF^c , IF^{-1} en IF^{-c} alleen termen met dyadische producten $\bar{e}_i \bar{e}_i$ ($i=1,2,3$) bevat en de 2^{de} Piola-Kirchoff spanningstensor met de Cauchy spanningstensor samenhangt volgens $IP_2 = \det(IF) \cdot IF^{-1} \cdot \sigma \cdot IF^{-c}$ zal ook IP_2 alleen een term met het dyadische product $\bar{e}_i \bar{e}_i$ bevatten.

Uit (2.2.2) volgt daarom :

$$\begin{aligned} (1) \quad & \frac{1}{2} (\lambda_{2\ell}^2 - 1) + \frac{\nu}{1-\nu} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} (\lambda_{i\ell}^2 - 1) = 0 \\ (2) \quad & \frac{1}{2} (\lambda_{3\ell}^2 - 1) + \frac{\nu}{1-\nu} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} (\lambda_{i\ell}^2 - 1) = 0 \end{aligned}$$

Er moet dan gelden $(\lambda_{2\ell}^2 - 1) = (\lambda_{3\ell}^2 - 1)$ dus: $\lambda_2 = \pm \lambda_3$
Omdat verlengingsfactoren altijd groter dan nul zijn geldt:

$$\lambda_2 = \lambda_3 \quad (2.2.3)$$

Dit resultaat is natuurlijk te verwachten bij isotroop materiaal.
Verder volgt uit (1) en (2) :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (\lambda_{2\ell}^2 - 1) = \frac{1}{2} (\lambda_{3\ell}^2 - 1) &= -\frac{\nu}{1-\nu} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} (\lambda_{i\ell}^2 - 1) \quad (2.2.4) \\ \text{of: } (\lambda_{2\ell}^2 - 1) = (\lambda_{3\ell}^2 - 1) &= -\nu (\lambda_{1\ell}^2 - 1) \end{aligned}$$

Omdat $\lambda_{2\ell}^2 > 0$ en $\lambda_{3\ell}^2 > 0$ moet gelden:

$$\begin{aligned} 1 - \nu (\lambda_{1\ell}^2 - 1) &> 0 \\ \lambda_{1\ell}^2 - 1 &< \frac{1}{\nu} \Rightarrow \lambda_{1\ell}^2 < \frac{1+\nu}{\nu} \\ \text{dus: } 0 &< \lambda_{1\ell} < \sqrt{\frac{1+\nu}{\nu}} \quad (2.2.5) \end{aligned}$$

Gebruik makend van $2\zeta = \frac{E}{1+\nu}$ volgt uit (2.2.2) :

$$\begin{aligned} P_{2\ell} &= \frac{E}{1+\nu} \left[\frac{1}{2} (\lambda_{1\ell}^2 - 1) + \frac{\nu}{1-2\nu} \left(\frac{1}{2} (\lambda_{1\ell}^2 - 1) + \frac{1}{2} (\lambda_{2\ell}^2 - 1) + \frac{1}{2} (\lambda_{3\ell}^2 - 1) \right) \right] \vec{e}_1 \vec{e}_1 \\ &= \frac{E}{1+\nu} \left[\frac{1}{2} (\lambda_{1\ell}^2 - 1) + \frac{\nu}{1-2\nu} \left(\left(\frac{1}{2} - \nu \right) (\lambda_{1\ell}^2 - 1) \right) \right] \vec{e}_1 \vec{e}_1 \\ &= \frac{1}{2} E \left(\frac{1-2\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} + \frac{2\nu \left(\frac{1}{2} - \nu \right)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right) (\lambda_{1\ell}^2 - 1) \vec{e}_1 \vec{e}_1 \\ &= \frac{1}{2} E \left(\frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right) (\lambda_{1\ell}^2 - 1) \vec{e}_1 \vec{e}_1 \\ &= \frac{1}{2} E (\lambda_{1\ell}^2 - 1) \vec{e}_1 \vec{e}_1 \quad (2.2.6) \end{aligned}$$

Voor de trekstaaf uit fig. 2.1. geldt concluderend:

$$P_{2l} = \frac{1}{2} E (\lambda_{1l}^2 - 1) \bar{e}_1 \bar{e}_1$$

$$\text{en } \lambda_{2l}^2 = \lambda_{3l}^2 = 1 - \nu (\lambda_{1l}^2 - 1)$$

(2.2.7)

onder voorwaarde dat:

$$\lambda_{1l} < \sqrt{\frac{1+\nu}{\nu}}$$

Hoofdstuk 3 : MARC en geometrisch niet-lineaire berekeningen.

§ 3.1. Mogelijkheden in het programma pakket MARC

Voor het uitvoeren van analyses waarin grote rekken optreden, beschikt MARC over een drietal benaderingswijzen.

- 1) De „iterative Eulerian“ benaderingswijze : Aangezien deze benadering bij plastisch materiaalgedrag wordt toegepast en in dit deelverslag alleen elastisch materiaalgedrag wordt onderzocht, zal hier niet nader op worden ingegaan

- 2) De „total Lagrangian“ benaderingswijze : In de onvervormde configuratie wordt aan het lichaam een referentie-assenstelsel toegekend. Berekeningen aan het lichaam vinden plaats in incrementen. In elk increment wordt het referentie-assenstelsel gebruikt.
Gebruikte rekken : Green-Lagrange-rekken
Gebruikte spanningen : 2^{de}-Piola-Kirchoff-spanningen.

- 3) De „updated Lagrangian“ benaderingswijze : In tegenstelling tot de total Lagrangian benaderingswijze wordt bij deze benadering per increment niet gekeken naar een referentie-assenstelsel, maar wordt gebruik gemaakt van het resultaat na het vorige increment.
Gebruikte rekken : Logarithmische rekken
Gebruikte spanningen : Cauchy-spanningen.

§ 3.2. De „total Lagrangian“ benaderingswijze, toegepast op de trekstaaf.

In § 2.2. is afgeleid dat voor de gebruikte trekstaaf geldt:

$$\begin{aligned} P_{2l} = P_l \bar{e}_1 \bar{e}_1 &= \frac{1}{2} E (\lambda_{1l}^2 - 1) \bar{e}_1 \bar{e}_1 \\ \lambda_{2l}^2 = \lambda_{3l}^2 &= 1 - \nu (\lambda_{1l}^2 - 1) \quad ; \quad \lambda_{1l} < \sqrt{\frac{1+\nu}{\nu}} \end{aligned} \quad (3.2.1)$$

Wanneer de total lagrangian benadering wordt gebruikt, is deze formule direct toepasbaar. Bij het opstellen van (3.2.1) is immers een referentieassenstelsel gekozen, dat wordt gebruikt zoals in § 3.1. 2) is omschreven.

Met het verband (3.2.1) is het mogelijk om een belasting-verlenging curve te tekenen. De belasting op de trekstaaf is de uniaxiale kracht N_l . Deze kracht voldoet aan:

$$N_l = \sigma_l A_l \quad (3.2.2)$$

A_l is de momentane dwarsdoorsnede

$$\sigma_l \text{ volgt uit: } \sigma_l = \sigma_l \bar{e}_1 \bar{e}_1$$

Voor de 2^{de} Piola - kirchoff spanningstensor geldt

$$P_{2l} = \det(F_l) \cdot F_l^{-1} \cdot \sigma_l \cdot F_l^{-c} \quad (3.2.3)$$

De Cauchy-spanningstensor is bekend evenals de deformatietensor

$$\begin{aligned} \sigma_l &= \sigma_l \bar{e}_1 \bar{e}_1 = \frac{N_l}{A_l} \bar{e}_1 \bar{e}_1 \\ F_l &= \lambda_{1l} \bar{e}_1 \bar{e}_1 + \lambda_{2l} \bar{e}_2 \bar{e}_2 + \lambda_{3l} \bar{e}_3 \bar{e}_3 \\ F_l^{-1} = F_l^{-c} &= \frac{1}{\lambda_{1l}} \bar{e}_1 \bar{e}_1 + \frac{1}{\lambda_{2l}} \bar{e}_2 \bar{e}_2 + \frac{1}{\lambda_{3l}} \bar{e}_3 \bar{e}_3 \\ \det(F_l) &= \lambda_{1l} \lambda_{2l} \lambda_{3l} \end{aligned}$$

Substitutie van deze gelijkheden levert :

$$P_{2l} = \frac{\lambda_{1l} \lambda_{2l} \lambda_{3l}}{\lambda_{1l}^2} \cdot \sigma_l \cdot \bar{e}_1 \bar{e}_1 = \frac{\lambda_{2l} \lambda_{3l}}{\lambda_{1l}} \cdot \frac{N_l}{A_l} \cdot \bar{e}_1 \bar{e}_1 \quad (3.2.4)$$

De momentane dwarsdoorsnede is uit te drukken in de begin dwars doorsnede en de verlengingsfactoren.

$$A_{\ell} = A_0 \cdot \lambda_{2\ell} \cdot \lambda_{3\ell}$$

$$\text{Dus: } P_{2\ell} = \frac{\lambda_{2\ell} \cdot \lambda_{3\ell}}{\lambda_{1\ell}} \frac{N_{\ell}}{A_0 \cdot \lambda_{1\ell} \cdot \lambda_{2\ell}} \cdot \bar{e}_1 \bar{e}_1 = \frac{N_{\ell}}{A_0 \cdot \lambda_{1\ell}} \bar{e}_1 \bar{e}_1 \quad (3.2.5)$$

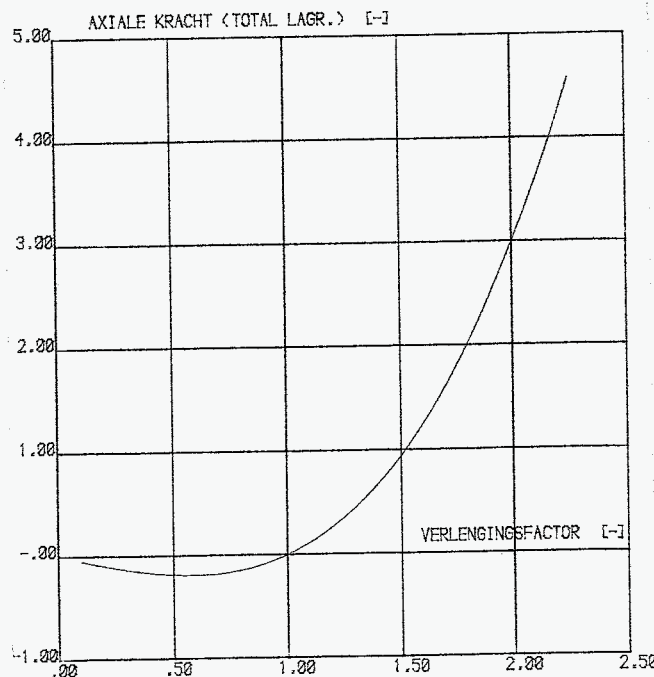
Formule (3.2.5) kan worden gelijkgesteld aan (3.2.1)

$$\frac{N_{\ell}}{A_0 \lambda_{1\ell}} \bar{e}_1 \bar{e}_1 = \frac{1}{2} E (\lambda_{1\ell}^2 - 1) \bar{e}_1 \bar{e}_1 \quad (3.2.6)$$

Deze vergelijking kan worden omgeschreven in een vorm waarin zowel het linker- als het rechterlid dimensieloos is.

$$\frac{N_{\ell}}{A_0 \cdot E} = \frac{1}{2} \lambda_{1\ell} (\lambda_{1\ell}^2 - 1) \quad (3.2.7)$$

Het linkerlid is op te vatten als de dimensieloze belasting op de trekstaaf. Het verband tussen deze belasting en de (ook dimensieloze!) verlengingsfactor $\lambda_{1\ell}$ is grafisch weergegeven in figuur 3.1.



opmerking:
 $0 < \lambda_{1\ell} < \sqrt{\frac{1+\nu}{\nu}}$

fig 3.1. Resultaat van de total lagrangian benaderingswijze

§3.3. De „updated Lagrangian” beschrijvingswijze, toegepast op de trekstaaf.

In de updated Lagrangian formulering wordt volgens de MARC-manuals gerekend met de Cauchy-spanningstensor σ en de logarithmische rektensor \mathbb{E} . Deze twee tensoren zijn, evenals de 2^{de} Piola-Kirchhoff-spanningstensor \mathbb{P}_2 en de Green-Lagrange rektensor \mathbb{E} , energetisch gekoppeld en wel op de volgende manier:

$$\sigma(t=t_\ell) = {}^4\mathbb{C} : \mathbb{E}(t=t_\ell) \quad (3.3.1)$$

of: (zie hoofdstuk 1)

$$\sigma = 2\mathcal{G} \left(\mathbb{E} + \frac{\nu}{1-2\nu} \text{tr}(\mathbb{E}) \mathbb{I} \right) \quad (3.3.2)$$

$$\text{met } \sigma = \sigma(t=t_\ell) \text{ en } \mathbb{E} = \mathbb{E}(t=t_\ell) \quad (3.3.3)$$

Formule (3.3.2.) is weer een versie van de gegeneraliseerde wet van Hooke. De logarithmische rektensor wordt bepaald door de deformatietensor \mathbb{F} :

$$\begin{aligned} \mathbb{E} &= \frac{1}{2} \ln(\mathbb{F}^c : \mathbb{F}) = \frac{1}{2} \left\{ (\ln \lambda_1^2) \bar{e}_1 \bar{e}_1 + (\ln \lambda_2^2) \bar{e}_2 \bar{e}_2 + (\ln \lambda_3^2) \bar{e}_3 \bar{e}_3 \right\} \\ &= (\ln \lambda_1) \bar{e}_1 \bar{e}_1 + (\ln \lambda_2) \bar{e}_2 \bar{e}_2 + (\ln \lambda_3) \bar{e}_3 \bar{e}_3 \quad (3.3.4) \end{aligned}$$

Substitutie hiervan in (3.3.2.) levert:

$$\sigma = 2\mathcal{G} \left\{ \begin{aligned} & \left[\ln \lambda_1 + \frac{\nu}{1-2\nu} \cdot \ln(\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3) \right] \bar{e}_1 \bar{e}_1 + \\ & \left[\ln \lambda_2 + \frac{\nu}{1-2\nu} \cdot \ln(\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3) \right] \bar{e}_2 \bar{e}_2 + \\ & \left[\ln \lambda_3 + \frac{\nu}{1-2\nu} \cdot \ln(\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3) \right] \bar{e}_3 \bar{e}_3 \end{aligned} \right\} \quad (3.3.5)$$

In §2.2. is opgemerkt dat geldt:

- $\lambda_2 = \lambda_3$ (isotroop materiaal)
- $2\mathcal{G} = \frac{E}{1+\nu}$
- $\sigma = \sigma_i \bar{e}_i \bar{e}_i$

Samen met (3.3.5.) volgt dat moet gelden:

$$(1) \quad \ln \lambda_2 + \frac{\nu}{1-2\nu} \ln (\lambda_1 \cdot \lambda_2^2) = 0 \quad (3.3.6.)$$

$$(2) \quad \ln \lambda_1 + \frac{\nu}{1-2\nu} \ln (\lambda_1 \cdot \lambda_2^2) = \frac{\sigma_1}{2G} \quad (3.3.7.)$$

uit (3.3.6.) volgt:

$$\begin{aligned} \ln (\lambda_2 \cdot \lambda_1^{\frac{\nu}{1-2\nu}} \cdot \lambda_2^{\frac{2\nu}{1-2\nu}}) &= 0 \Leftrightarrow \\ \lambda_2^{\frac{1}{1-2\nu}} \cdot \lambda_1^{\frac{\nu}{1-2\nu}} &= 1 \Leftrightarrow \\ \underline{\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_1^{-\nu}} & \quad (3.3.8.) \end{aligned}$$

dus:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 2G \left(\ln \lambda_1 + \frac{\nu}{1-2\nu} \ln \lambda_1 \cdot \lambda_1^{-2\nu} \right) \Leftrightarrow \\ &2G \left(\ln \lambda_1 \frac{(1-2\nu) + \nu - 2\nu^2}{(1-2\nu)} \right) \Leftrightarrow \\ &2G (1+\nu) \ln \lambda_1 \end{aligned}$$

$$\underline{\sigma_1 = E \ln \lambda_1} \quad (3.3.9.)$$

Met $\sigma_1 = \frac{N}{A}$ en $A = \lambda_2 \lambda_3 A_0$ kan dit resultaat worden omgewerkt tot:

$$\frac{N}{EA_0} = \lambda_1^{-2\nu} \ln \lambda_1 \quad (3.3.10.)$$

Wanneer de „updated lagrangian“ beschrijvingswijze in MARC wordt toegepast, wordt de totale deformatie opgedeeld in een aantal incrementen. Per increment worden de veranderingen van de spanning en de verlenging van de trekstaaf bepaald t.o.v. het vorige increment. Deze veranderingen worden gesommeerd zodat de totale spanning en verlenging wordt verkregen. Voor de veranderingen in increment j geldt:

increment j : $(\sigma_1)_j = E \cdot \ln (\lambda_1)_j \quad (3.3.11.)$

terwijl voor de dwarsdoorsnede na increment j geldt:

$$\begin{aligned} A_j &= (\lambda_2)_j \cdot (\lambda_3)_j \cdot A_{j-1} \quad (3.3.12.) \\ (\lambda_2)_j &= (\lambda_3)_j = (\lambda_1)_j^{-\nu} \end{aligned}$$

De totale spanning na increment n wordt gevonden door sommatie van de veranderingen in de spanning van alle voorgaande incrementen:

$$(\sigma_1)_{tot} = \sum_{j=1}^n (\sigma_1)_j = \sum_{j=1}^n E \cdot \ln((\lambda_1)_j) = E \cdot \ln \left(\prod_{j=1}^n (\lambda_1)_j \right) \quad (3.3.13)$$

Voor de dwarsdoorsnede na increment n kan worden afgeleid:

$$\begin{aligned} A_n &= (\lambda_2)_n \cdot (\lambda_3)_n \cdot A_{n-1} = (\lambda_1)_n^{-2\nu} \cdot A_{n-1} = \\ &= (\lambda_1)_n^{-2\nu} \cdot (\lambda_1)_{n-1}^{-2\nu} \cdot A_{n-2} \\ &= \dots \cdot (\lambda_1)_n^{-2\nu} \cdot (\lambda_1)_{n-1}^{-2\nu} \cdot (\lambda_1)_{n-2}^{-2\nu} \cdot \dots \cdot (\lambda_1)_2^{-2\nu} \cdot (\lambda_1)_1^{-2\nu} \cdot A_0 \\ A_n &= A_0 \cdot \left(\prod_{j=1}^n (\lambda_1)_j \right) \end{aligned} \quad (3.3.14)$$

Met de relatie $(\sigma_1)_{tot} = \frac{N_{tot}}{A_n}$ wordt gevonden:

$$\frac{N_{tot}}{E A_0} = \left[\prod_{j=1}^n (\lambda_1)_j \right]^{-2\nu} \cdot \ln \left[\prod_{j=1}^n (\lambda_1)_j \right] \quad (3.3.15)$$

Het produkt $\prod_{j=1}^n (\lambda_1)_j$ is gelijk aan de totale verlengingsfactor λ_{tot} dus:

$$\frac{N_{tot}}{A_0 \cdot E} = \lambda_{tot}^{-2\nu} \ln \lambda_{tot} \quad (3.3.16)$$

In deze formule stelt het linkertlid de dimensieloze belasting op de trekstaaf voor. Formule (3.3.16) komt volledig overeen met het theoretische verband (3.3.10.) dat gevonden is zonder de verdeling in incrementen.

In figuur 3.2. is formule (3.3.16) (of (3.3.10)) weergegeven voor $\nu = 0,3$ [-]

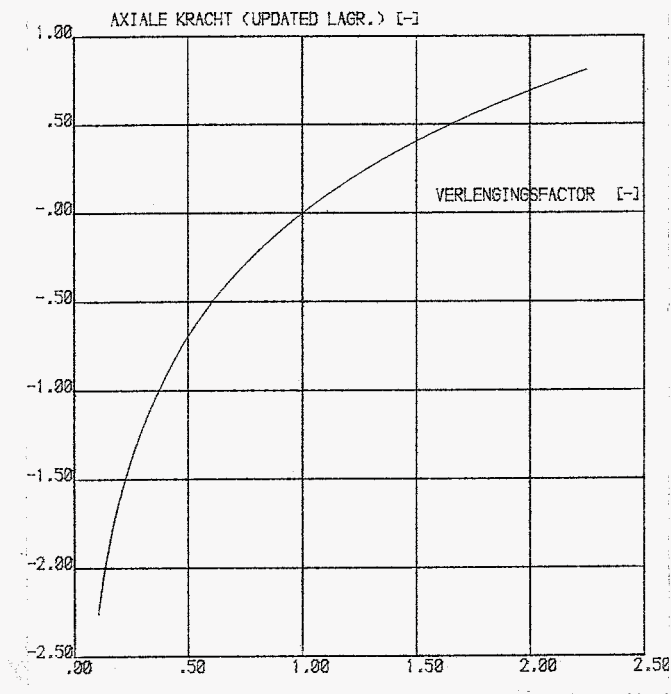


fig.3.2. : Resultaat van de updated lagrangian benaderingswijze

De curve, verkregen bij de updated lagrangian benadering, is fysisch gezien veel zinvoller dan de curve bij de total lagrangian benadering. Deze laatste is namelijk niet monotoon stijgend terwijl in het algemeen voor elastisch materiaalgedrag geldt dat de curve dimensieloze kracht - verlengingsfactor wél monotoon stijgend is.

Hoofdstuk 4 : Het uitvoeren van berekeningen met MARC en het verwerken van de berekeningsresultaten.

§4.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe de theoretische resultaten uit het vorige hoofdstuk met behulp van MARC worden nagekeken. De trekstaaf, zoals in figuur 2.1. weergegeven, wordt voor deze berekeningen gemodelleerd tot één correct ingeleemd element. Dat element wordt gekozen uit de MARC - elementen bibliotheek (Deel B van de Marc - manuals [2]) In paragraaf 4.2. worden twee geschikte elementen besproken. Tevens wordt in deze paragraaf besproken hoe deze elementen worden toegepast. Vervolgens wordt in paragraaf 4.3. ingegaan op de uitgevoerde berekeningen met het eindige-elementen-pakket MARC. Tenslotte wordt in §4.4. aangegeven hoe de berekeningsresultaten worden verwerkt.

§4.2. De gebruikte elementen.

Uit de MARC-manuals zijn twee elementen gekozen, die volgens de manuals geschikt zijn voor het uitvoeren van geometrisch niet-lineaire berekeningen, zowel in de total als de updated Lagrangian beschrijvingswijze. Om vergelijking van de berekeningsresultaten eenvoudig te maken, krijgen beide elementen dezelfde geometrie, eigenschappen en belasting toegewezen.

Elementtype g

Element g is een driedimensionale rechte staaf met een constante dwarsdoorsnede over de staaflengte. Het element heeft twee knooppunten (① en ②) en één integratiepunt (x). Bij dit element moet de dwarsdoorsnede apart worden opgegeven, aangezien deze niet wordt bepaald door de coördinaten van de knooppunten. Langs de staafas vindt lineaire interpolatie plaats. In de uitvoer van berekeningen met dit element worden alleen spanningen en rekken in de richting van de staafas gegeven.

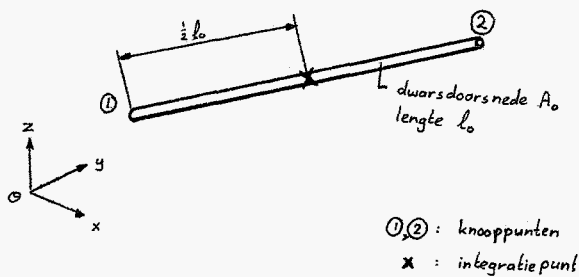


Fig 4.1. elementtype g

Het element wordt als volgt toegepast :



Fig 4.2. toepassing van element g

- * de staafas wordt evenwijdig aan de x-as gekozen
- * de coördinaten van knooppunt ① zijn: $(x_1, y_1, z_1) = (0, 0, 0)$
- de coördinaten van knooppunt ② zijn: $(x_2, y_2, z_2) = (1, 0, 0)$
- * de staaflengte is dus 1,0 [L]. De dwarsdoorsnede in de referentieconfiguratie wordt gelijk aan 1,0 [L²] gekozen.
- * de elasticiteitsmodulus wordt op 200.000 [F/L²] gesteld.
- * de dwars contractie coëfficiënt is 0,3 [-]

- * In de referentie configuratie is het element spanningsloos. In het element kunnen spanningen optreden als gevolg van:
 - een voorgeschreven verplaatsing van knooppunt ② in de x-richting.
 - een voorgeschreven belasting op knooppunt ② in de x-richting.
- * De volgende verplaatsingen worden onderdrukt:
 - de verplaatsing van knooppunt ① in x-, y-, en z-richting.
 - de verplaatsing van knooppunt ② in y-, en z-richting.

opmerking: In dit deelverslag worden geen eenheden gebruikt. Wel wordt aangegeven welke grootheden worden bedoeld:

$[L]$ = lengte

$[L^2]$ = oppervlakte

$[\frac{F}{L^2}]$ = $\frac{\text{kracht}}{\text{oppervlakte}}$ = spanning.

Bij de interpretatie van resultaten moet (eventueel) hiermee rekening worden gehouden

Elementtype 21

Element 21 is een isoparametrisch, driedimensionaal, 20-knoops blok element. (Ook wel „brick“-element genoemd). Elke ribbe van het blokelement mag parabolisch van vorm zijn. De twintig knooppunten worden volgens een vast patroon genummerd.

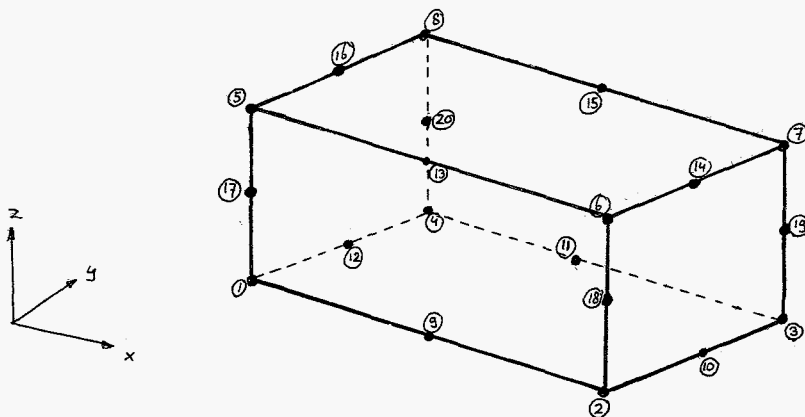


Fig 4.3. Knooppuntsnummering van element 21.

Het element bezit 27 integratiepunten. De ligging van deze punten is weer-gegeven in figuur 4.4.

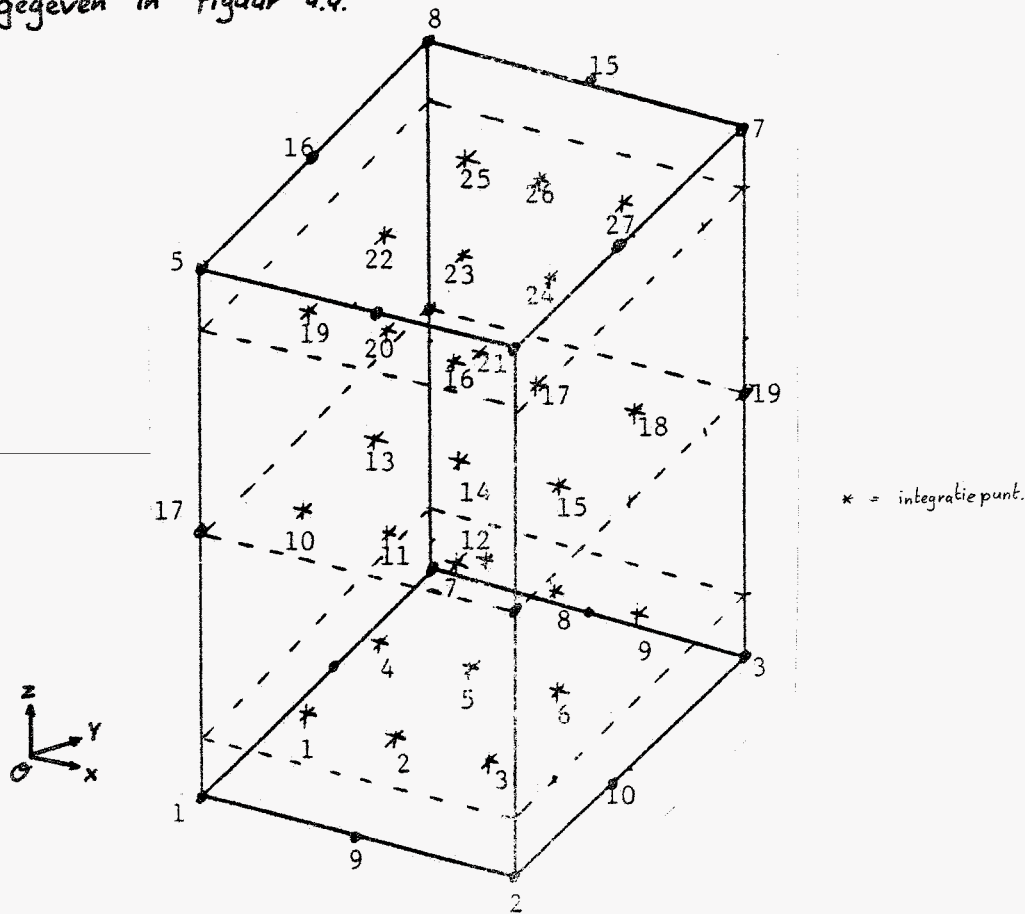


fig. 4.4. integratiepunten van element 21

Het element wordt belast door al dan niet uniforme drukken (positief of negatief), uitgeoefend op een of meer elementvlakken.

Het element wordt als volgt toegepast :

- * Het element wordt ingeklemd aan het 1-4-8-5 vlak. Dit vlak wordt in het y-z-vlak gelegd. Knooppunt ① komt overeen met de oorsprong O . De verplaatsingen van de knooppunten in het 1-4-8-5 vlak moeten zodanig worden onderdrukt dat dwarscontractie van het element mogelijk blijft.

Dat kan als volgt gebeuren :

knooppunt	richtingen waarin verplaatsing wordt onderdrukt
①	x , y , z
④ ⑫	x , z
⑤ ⑰	x , y
⑧ ⑱ ⑳	x

Dit leidt tot de onderstaande figuur

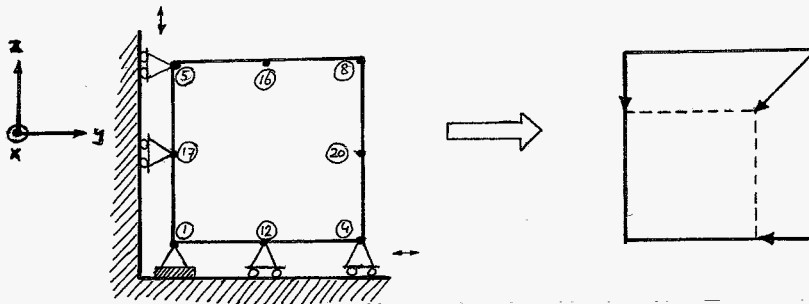


Fig 4.4.a dwarscontractie in y- en z-richting.

* de ribben van het blok zijn recht en hebben de lengte 1,0 [L].

Coördinaten van het 1-4-8-5 vlak:

$$\textcircled{1} : (0, 0, 0)$$

$$\textcircled{4} : (0, 1, 0)$$

$$\textcircled{5} : (0, 0, 1)$$

$$\textcircled{8} : (0, 1, 1)$$

* het element is rechthoekig

* de elasticiteitsmodulus $E = 200.000 \text{ [F/L}^2\text{]}$

* de dwarscontractiecoëfficiënt $\nu = 0,3 \text{ [-]}$

* In de referentieconfiguratie is het element spanningsloos.

In het element kunnen spanningen optreden als gevolg van:

- een voorgeschreven belasting (pos. of neg. druk) op het 2-3-7-6 vlak
- een voorgeschreven verplaatsing van dit 2-3-7-6 vlak in x-richting.

§4.3. Het verloop van de berekeningen.

Aan de hand van de gegevens uit §4.2 is een invoerfile voor het programma pakket MARC geschreven. In deze invoerfile worden de volgende punten besproken:

- * elementtype (type 9 of 21)
- * elementeigenschappen (E-modulus, dwarscontractie coëfficiënt)
- * element geometrie (knooppuntscoördinaten, dwarsdoorsnede)
- * randvoorwaarden (kinematische en dynamische)
- * berekeningswijze (total of updated lagrangian)
- * gegevens over het rekenproces (controle, increment verdeling)

In bijlage A wordt hier nader op ingegaan.

Vervolgens kan het programma pakket* worden aangeroepen. (zie bijlage B). MARC voert de berekeningen uit en geeft de volgende uitvoer:

- 1) job.report : een leesbare file met gegevens over het begin en eindtijdstip v.d. berekening en de rekestijd.
- 2) <invoerfilenaam>.mrcout : een leesbare file met uitgebreide informatie over het rekenproces, de resultaten en eventuele fouten in de invoerfile.
- 3) post16 : een binaire file met berekeningsresultaten, geschikt voor nabewerking van deze resultaten.

Er zijn berekeningen uitgevoerd in zowel de updated als de total lagrangian formulering op de beide gekozen elementen. De elementen zijn achtereenvolgend belast op trek en druk. Tijdens de berekeningen, die in incrementen plaatsvinden, wordt per increment de voorgeschreven verplaatsing van het niet-ingeklemde uiteinde of de belasting op dit

* zowel MARC als alle hulpprogramma's werken op de Prime P750 afdelingscomputer

uiteinde opgehoogd.

Wanneer met voorgeschreven verplaatsingen wordt gerekend, neemt per increment de verplaatsing van het uiteinde toe met $0,005 [L]$, dus met $0,5\%$ van de beginlengte van de staaf. Bij voorgeschreven belastingen is de toename van de belasting aan het uiteinde per increment gelijk aan $1000 [F/L^2]$. Ook deze gegevens zijn terug te vinden in bijlage A.

§ 4.4. De verwerking van de berekeningsresultaten.

De leesbare uitvoer (`_.mrcout`) is bij de uitgevoerde berekeningen dermate kolossaal, dat gekozen is voor het werken met post16-files. Met behulp van het programma FT (file translator, zie bijlage C) worden de post16-files vertaald in leesbare files, met alleen de berekeningsresultaten waarin de gebruiker geïnteresseerd is.

Bij element 9 zijn de reactiekracht in x-richting bij de inklemming en de verplaatsing in x-richting van het vrije uiteinde per increment van belang. Bij element 21 zijn per increment de reactiekrachten in x-richting van de acht knooppunten in het 1-4-8-5 ulak en de verplaatsingen in x-richting van de acht knooppunten in het 2-3-7-6 ulak interessant.

Om het tekenen van een belasting-verlenging grafiek mogelijk te maken is het gewenst om een file te creëren met de volgende opbouw:

increment	1	reactiekracht	knoopp. verpl.
	2		
	3		
	4		
	...		
	n		

fig 4.5. gewenste file opbouw

Na het doorlopen van het FT-programma is de file, verkregen bij elementtype 9 al van de gewenste vorm. Bij berekeningen waarbij elementtype 21 wordt toegepast, moeten de files nog een bewerking ondergaan alvorens de vorm uit figuur 4.5. wordt verkregen: De acht reactiekrachten moeten worden gesommeerd en in de linker kolom worden geplaatst.

De acht knooppuntsverplaatsingen moeten worden gemiddeld en in de rechter kolom worden geplaatst. Het programma MIDDEL (Bijlage D) verricht deze bewerkingen.

Het plotten van de files uit figuur 4.5. wordt gerealiseerd met behulp van het programma GRAF, dat aanwezig is op de afdelingscomputer (prime p750). Dit programma vereist een subroutine (TEKEN, bijlage E) met een bijbehorende gegevensfile (GRFILE, bijlage E). De subroutine leest de te plotten file en bewerkt deze (Reactiekracht wordt dimensieloze belasting, verplaatsing wordt verlengingsfactor). De subroutine genereert ook de x-y coördinaten van de grafiekpunten. Vervolgens tekent GRAF de grafiek met toegevoegde gegevens uit de gegevensfile. Het theoretisch resultaat kan eventueel ook worden getekend.

Om het aantal plots beperkt te houden, wordt in één plot de trekstaaf onder zowel trek- als druk-belasting weergegeven. Hierbij treedt een complicatie op: Graf verwacht een "continu" toenemende verlengingsfactor. Wordt nu de file behorend bij de drukberekening eenvoudigweg aan de file behorend bij de trekberekening verbonden (of in omgekeerde volgorde) dan ontstaat een plaatje zoals in figuur 4.6.a of 4.6.b. Het programma OMKEER (bijlage F) draait de volgorde v.d. incrementen in een file om. Door nu één file (trek of druk) om te keren en de andere daaraan te koppelen, ontstaat een correcte grafiek zoals in figuur 4.6.c of 4.6.d.

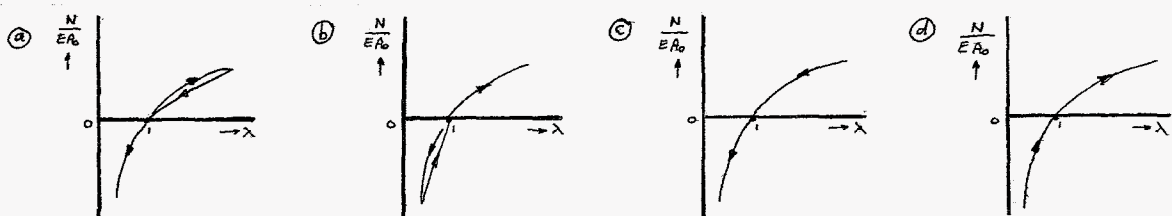
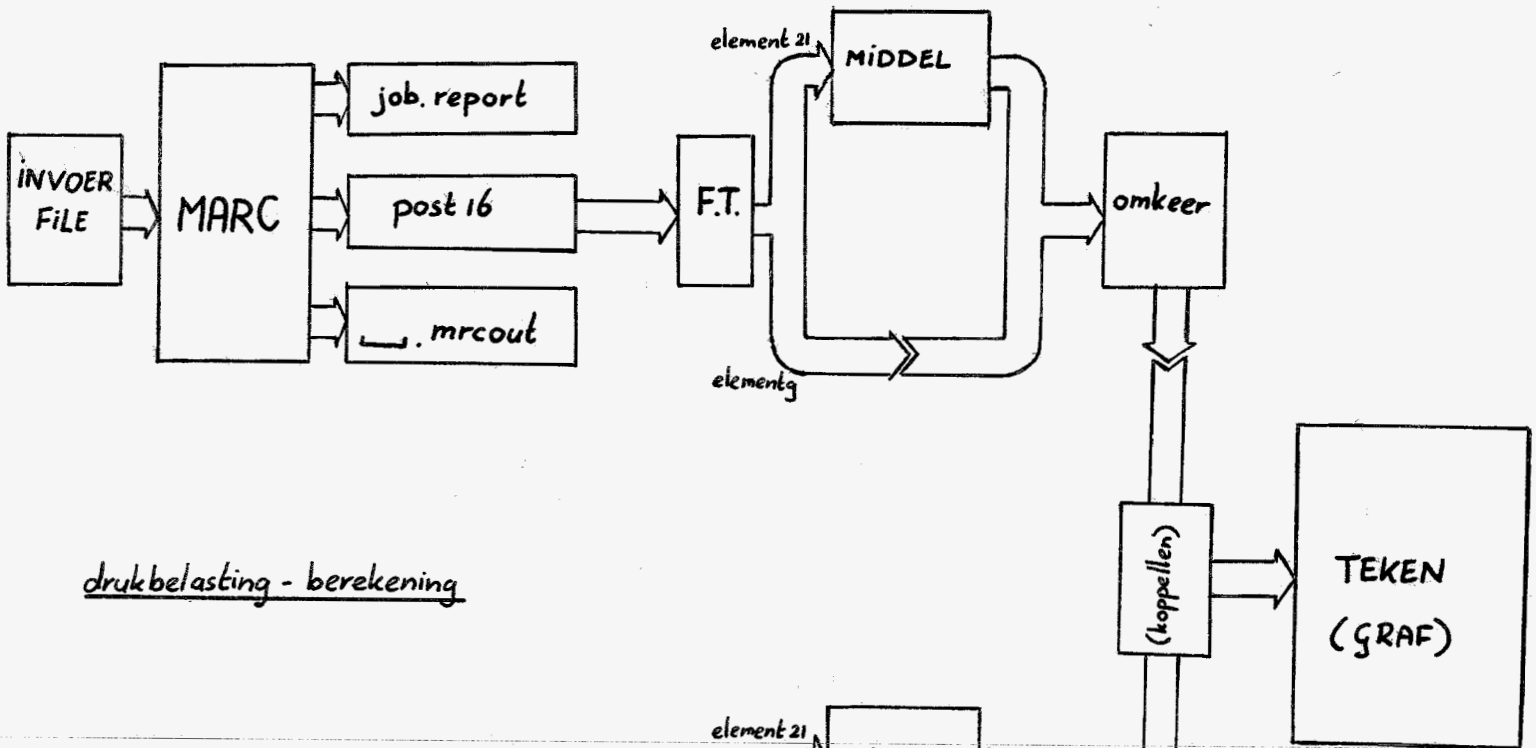


fig 4.6. toepassing van het programma „omkeer”

In figuur 4.7 is het totale proces schematisch weergegeven.

trekbelasting - berekening



drukbelasting - berekening

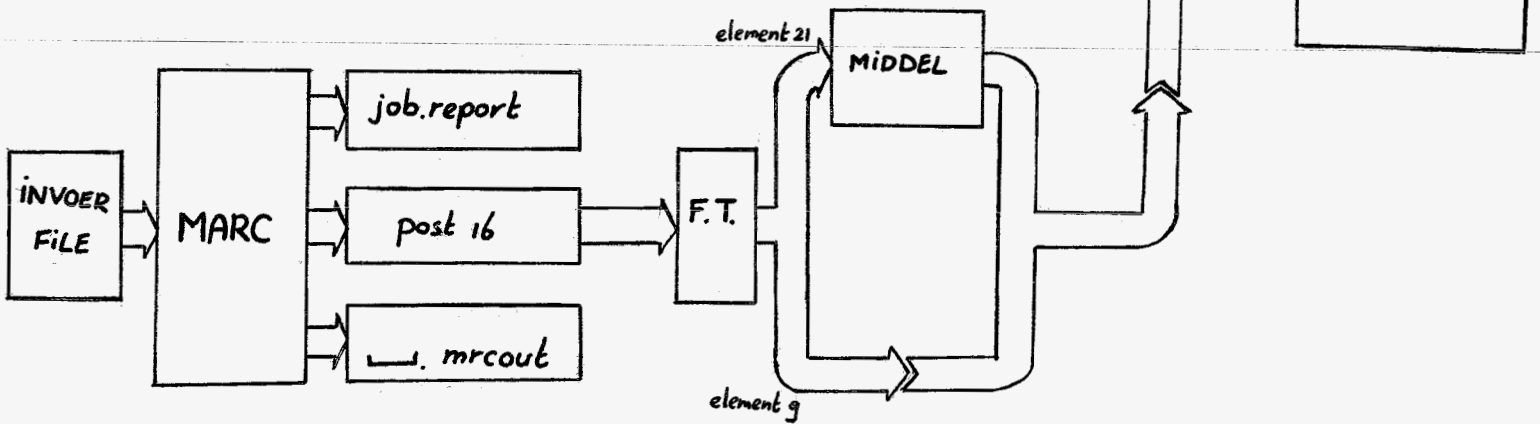


fig. 4.7. berekening en verwerking

Hoofdstuk 5 : De resultaten

§5.1. Inleiding

In paragraaf 5.2 van dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven van berekeningen waarin de verlengingsfactor over een klein bereik varieert. De trekstaaf wordt maximaal 30% opgerekt of ingedrukt. Vervolgens is het bereik van λ vergroot. In principe heeft dit weinig zin: De aanname van lineair elastisch materiaalgedrag is vanaf een bepaalde waarde van de verlengingsfactor i.h.a. ongeoorloofd. Toch zijn in §5.3. de resultaten weergegeven. Hieruit kan namelijk worden opgemaakt in hoeverre de theorie op juiste wijze in het programma-pakket is geïmplementeerd. Omdat uit §5.2. blijkt dat het niet of nauwelijks uitmaakt of de verplaatsing of de belasting wordt voorgeschreven, wordt in §5.3. alleen de verplaatsing voorgeschreven. In beide paragrafen wordt zowel de updated als de total lagrangian benadering toegepast.

§5.2. De resultaten voor een beperkt bereik van de verlengingsfactor.

In de volgende grafieken is langs de x-as de dimensieloze verlengingsfactor λ , uitgezet. Langs de y-as staat de dimensieloze axiale belasting (of kracht) $\frac{N}{A_0 E}$ uit.

Elementtype 9

Total Lagrangian Formulering

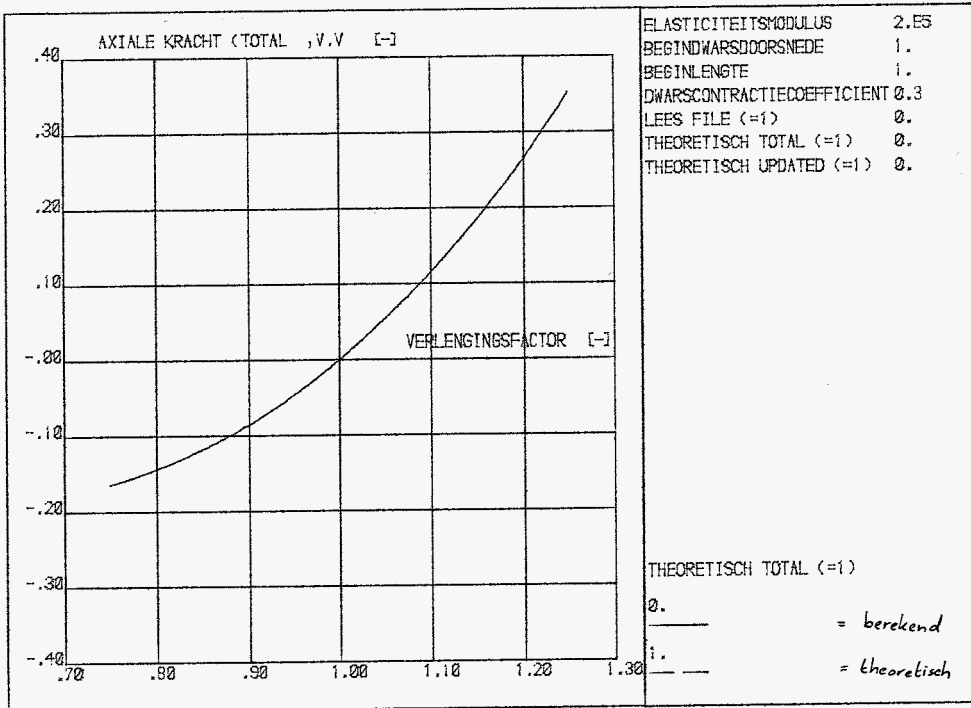


fig. 5.1 : voorgeschreven verplaatsing

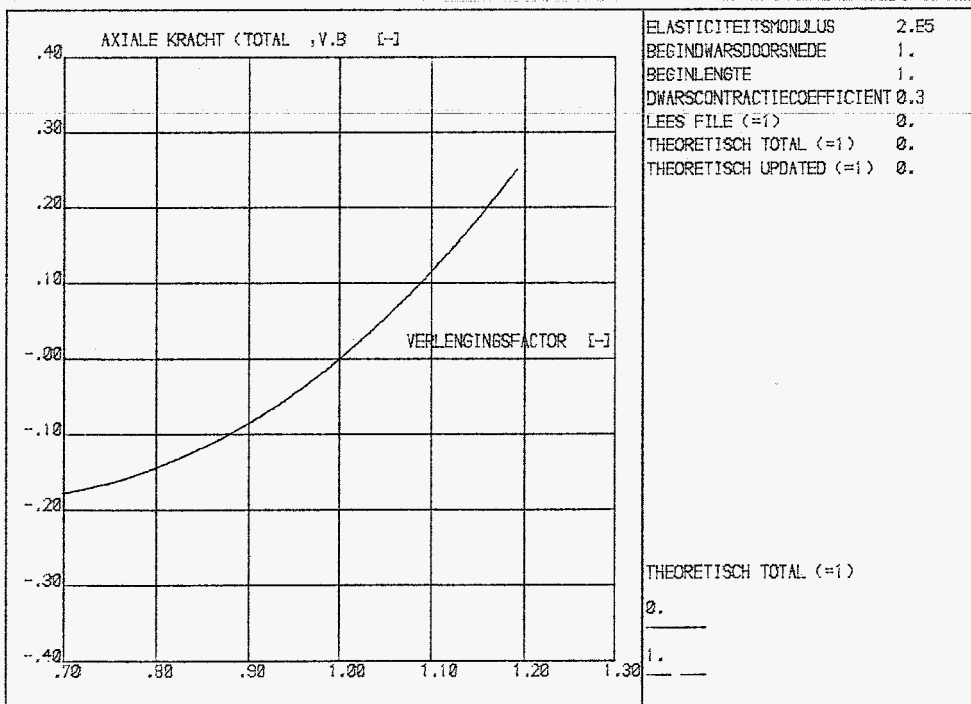


fig. 5.2 : voorgeschreven belasting

Updated Lagrangian formulering

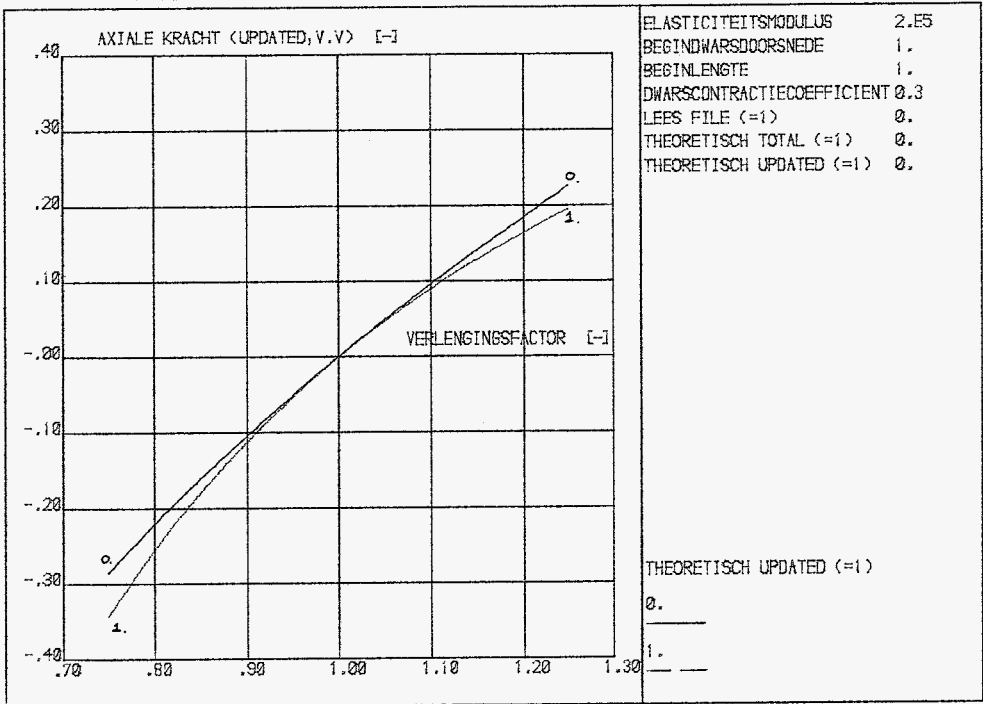


Fig.5.3 : voorgeschreven verplaatsing

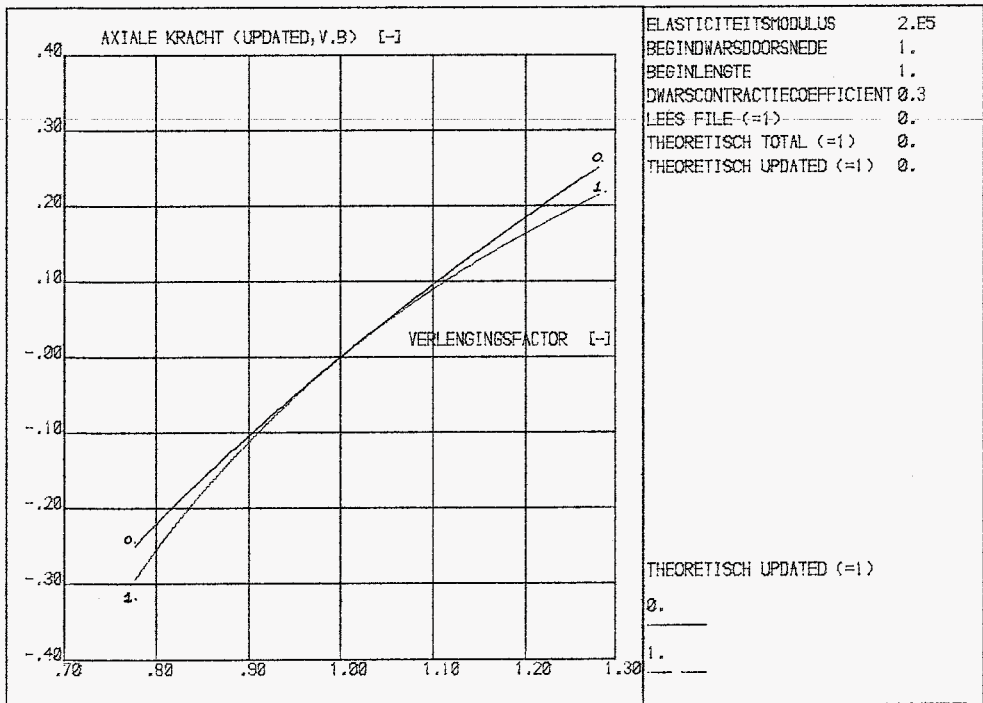


Fig.5.4 : voorgeschreven belasting

Elementtype 21

Total Lagrangian formulering

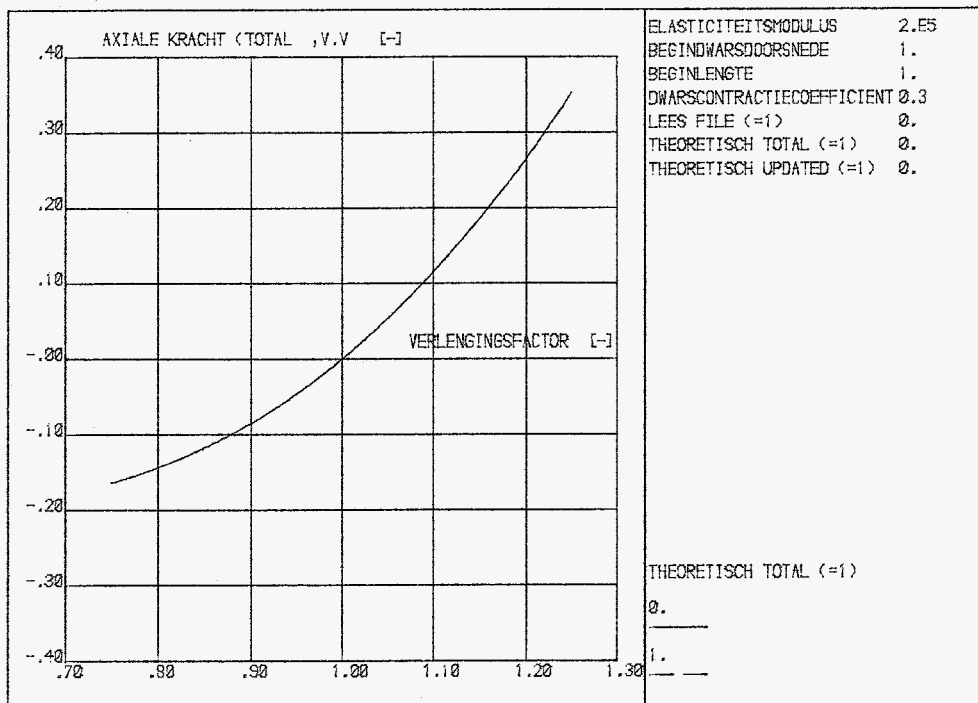


fig 5.5 : voorgeschreven verplaatsing

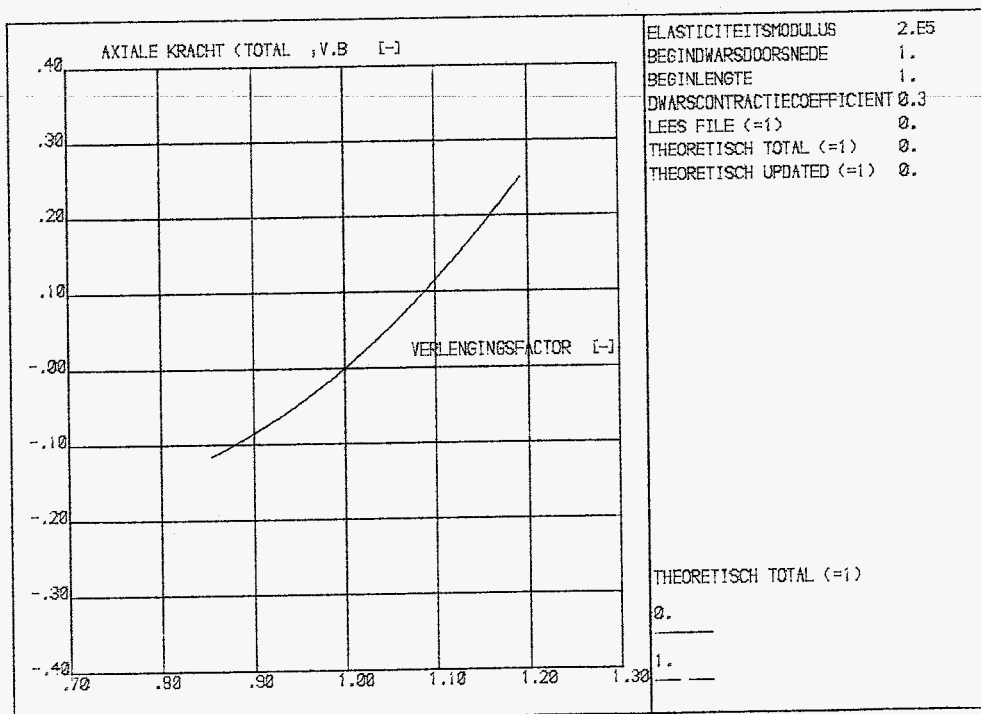


fig 5.6 : voorgeschreven belasting

Updated Lagrangian formulering

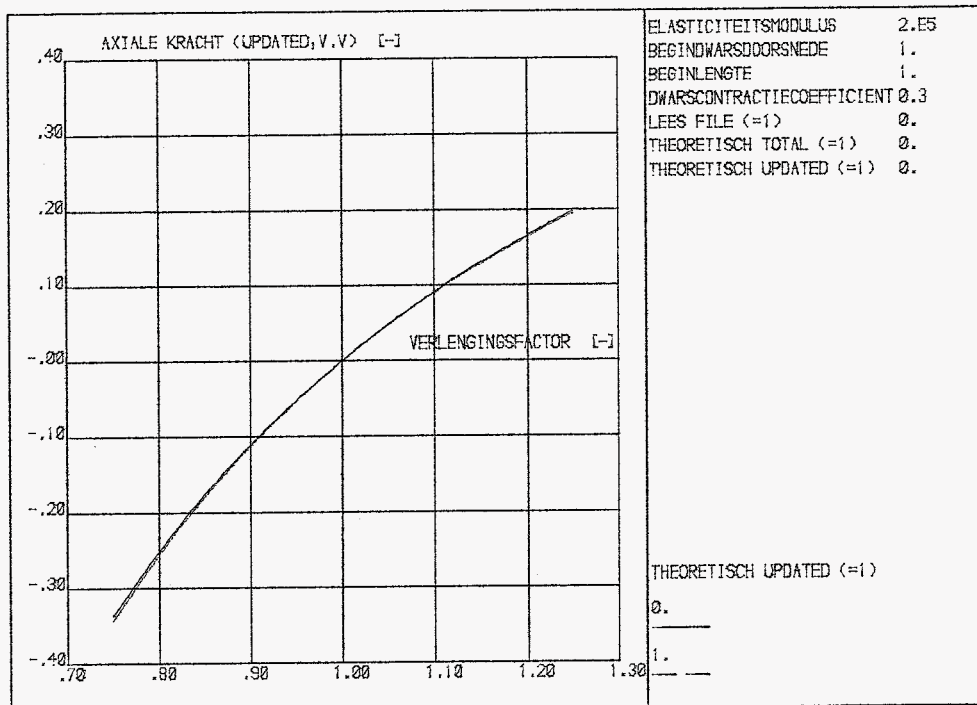


fig.5.7. : voorgeschreven verplaatsing

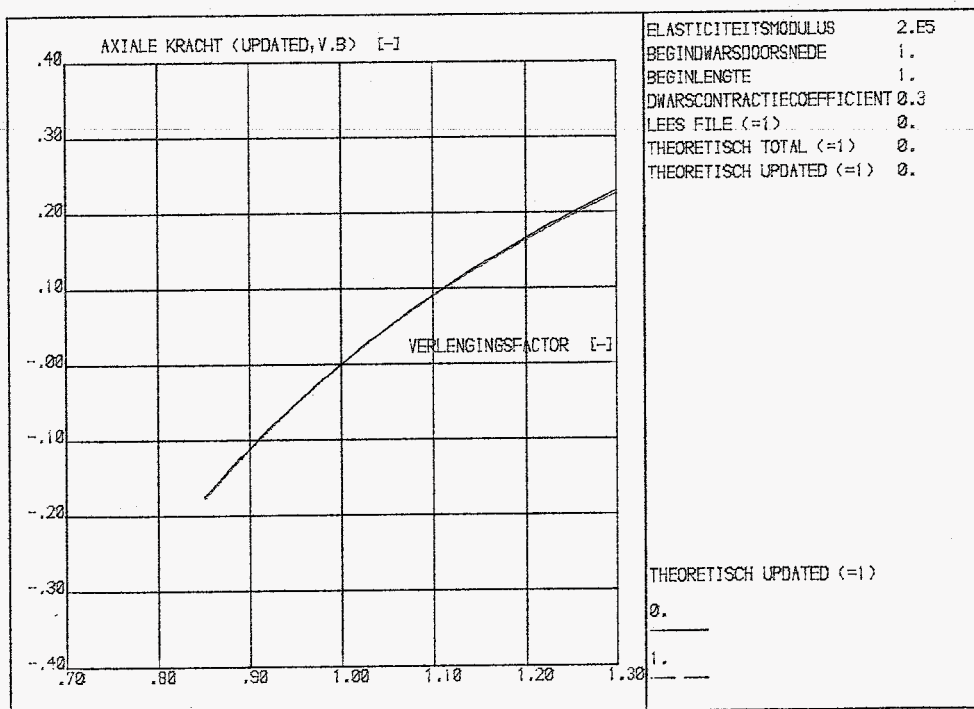


fig.5.8. : voorgeschreven belasting

§ 5.3. De resultaten voor een groot bereik van de verlengings factor.*

Element type q

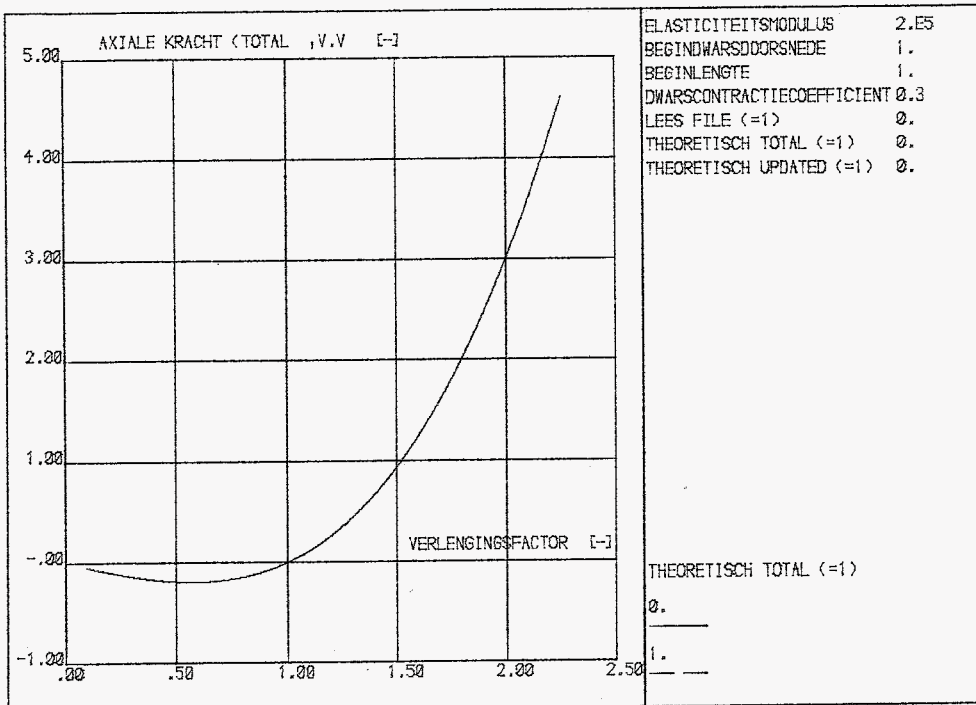


Fig 5.9 : total lagrangian formulering

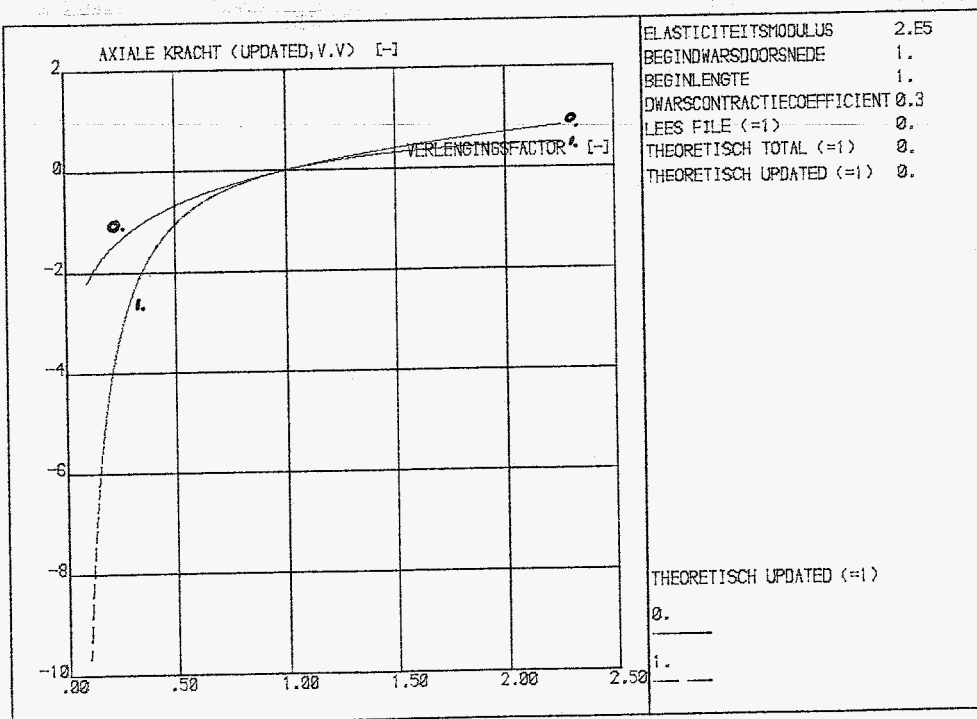


Fig. 5.10 : updated lagrangian formulering

* : bij fig 5.9 t/m 5.12 is de verplaatsing voorgeschreven (zie § 5.1.)

Element type 21

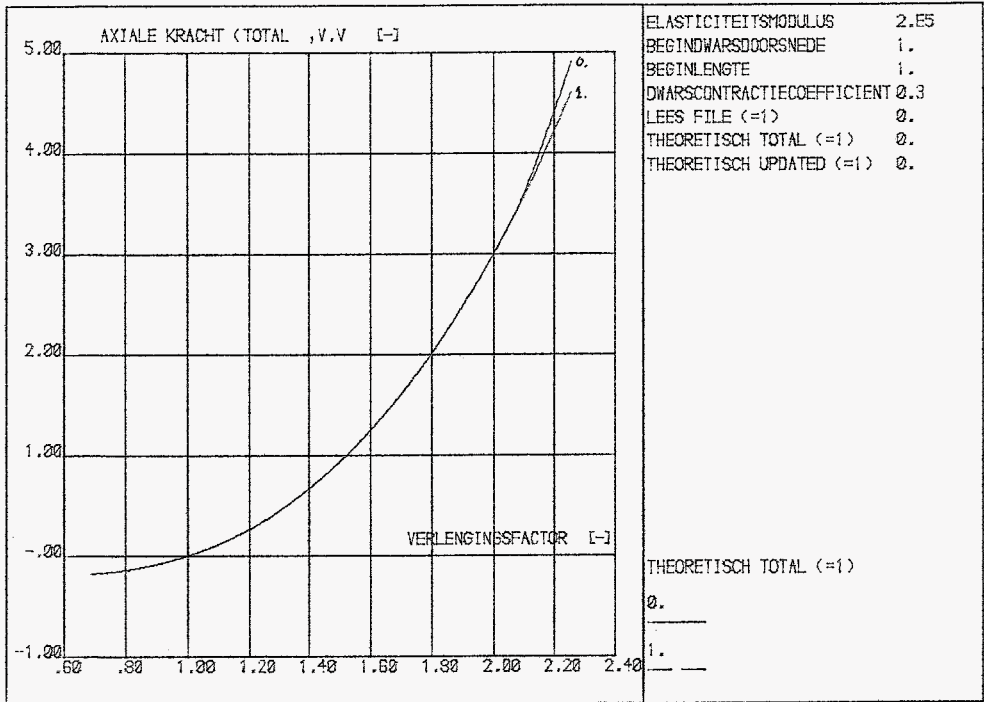


fig. 5.11 : total lagrangian formulering

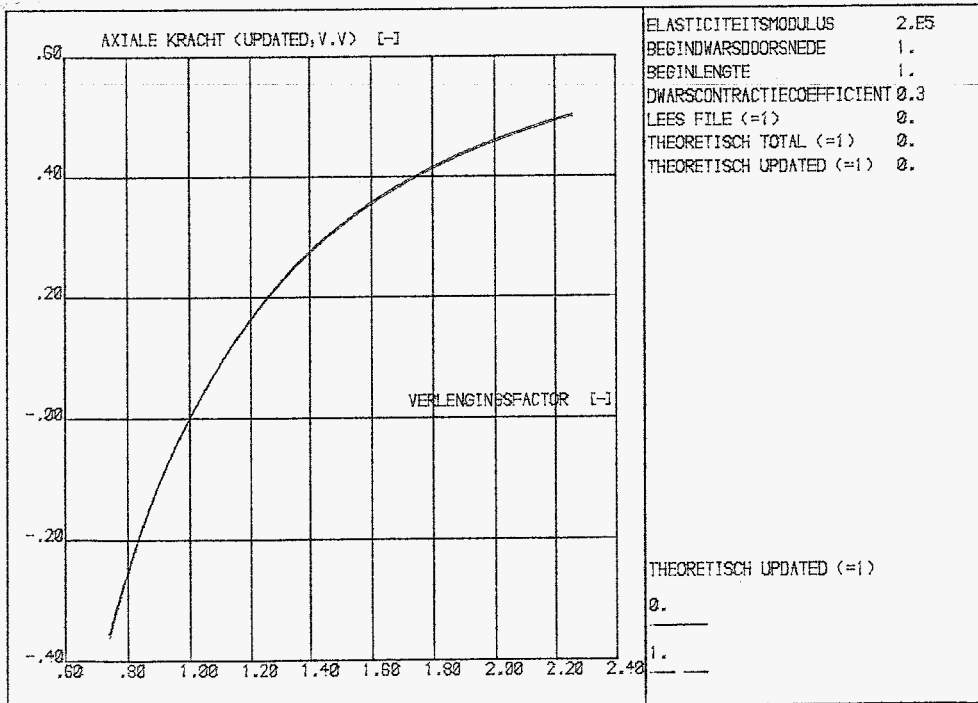


fig. 5.12 : updated lagrangian formulering

Hoofdstuk 6 : Discussie

§6.1. elementtype g

Bij de berekeningen aan element g is opvallend dat dit element zeer goed voldoet in de total lagrangian formulering, maar forse afwijkingen vertoont in de updated lagrangian formulering. Er is gepoogd om voor deze afwijkingen een verklaring te vinden.

Het is gebleken dat de marc-uitvoer (L.mrcout) per increment steeds dezelfde (begin) dwarsdoorsnede weergeeft. In §3.3 is aangetoond dat voor de updated lagrangian beschrijvingswijze geldt:

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= E \ln \lambda_1 \\ A &= A_0 \lambda_1^{-2\nu} \end{aligned} \right\} \frac{N}{EA_0} = \lambda_1^{-2\nu} \ln \lambda_1 \quad (6.1.1)$$

Wordt de doorsnede tijdens de incrementen niet aangepast, dan gaat deze formule over in:

$$\frac{N}{EA_0} = \ln \lambda_1 \quad (6.1.2)$$

De theoretische curve in bijvoorbeeld figuur 5.10. geeft het verband (6.1.1) weer. Wanneer dit verband wordt vervangen door (6.1.2), dan verandert fig 5.10 in fig 6.1 (of met een andere y-as verdeling: fig 6.2).

Het aanpassen van (6.1.1) levert dermate goede resultaten dat met vrij grote zekerheid mag worden geconcludeerd dat elementtype g in de updated lagrangian formulering geen correcte aanpassing van de dwarsdoorsnede heeft, en dat dit de bron van de afwijkingen is. In de MARC-elementen bibliotheek (deel B van de MARC-handboeken) wordt letterlijk beweerd dat de dwarsdoorsnede van element g wél wordt aangepast. Hierbij moeten dus de nodige vraagtekens worden gezet.

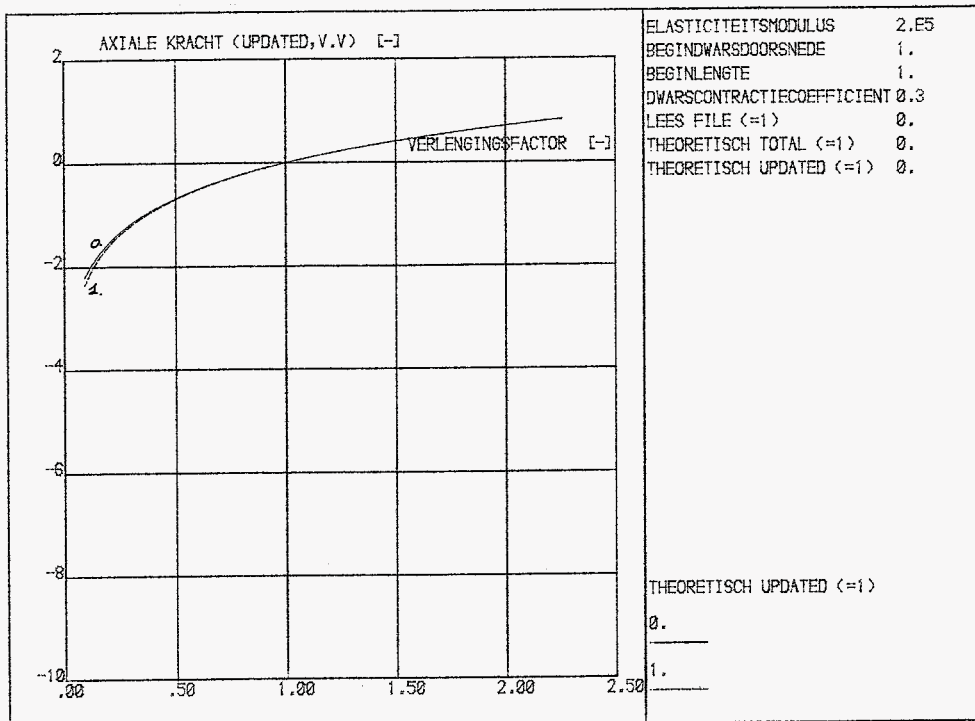


fig 6.1. : als fig 5.10 , echter met aangepast theoretisch verband.

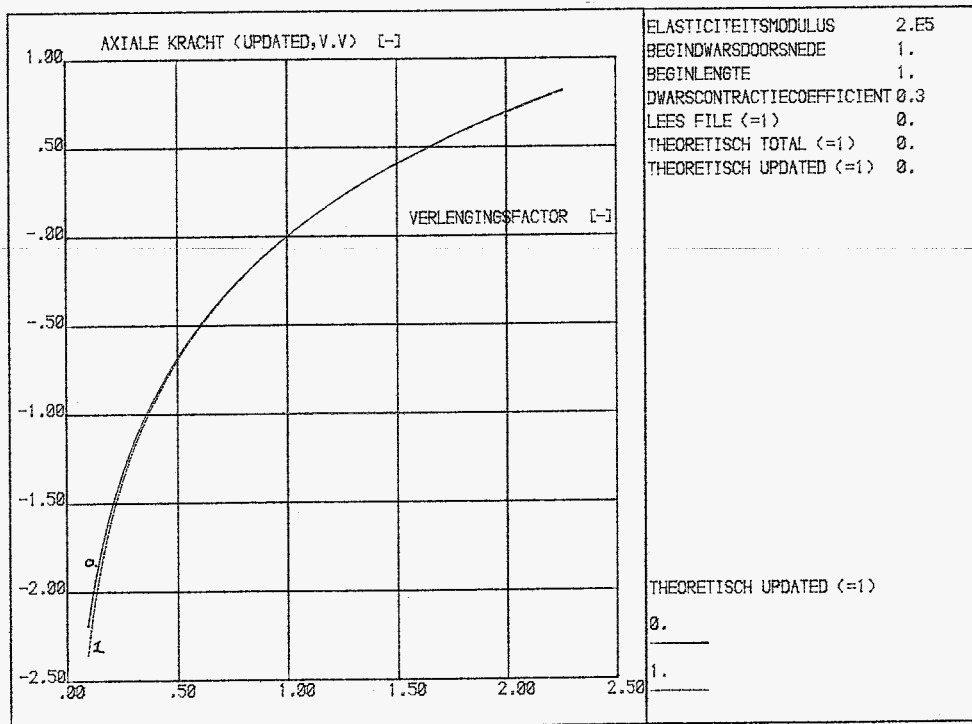


fig 6.2. : als fig 6.1. , echter met andere y-as verdeling

§6.2. Elementtype 21

Aan de hand van de plots uit §5.2. en §5.3. mag geconcludeerd worden dat element 21 zeer nauwkeurig de theorie volgt. Zelfs op plots van het formaat A4 is nauwelijks verschil tussen de theoretische en de berekende kromme.

Er is slechts één afwijking te bespeuren, maar het (eventueel) optreden van deze afwijking is vooraf al genoemd: In figuur 5.11. (total lagrangian) stemmen de curven vanaf een verlengingsfactor van ongeveer 2,1 niet meer overeen.

Theoretisch mag de verlengingsfactor de waarde 2,1 echter niet bereiken; Dit is aangetoond in §3.2. . Uit deze paragraaf volgt dat de verlengingsfactor moet voldoen aan:

$$0 < \lambda_1 < \sqrt{\frac{1+\nu}{\nu}} \quad (6.2.1.)$$

Voor de uitgevoerde berekeningen geldt dat de dwarscontractiecoëfficiënt gelijk is aan 0,3 dus:

$$0 < \lambda_1 < 2,08$$

Dat vanaf $\lambda_1 = 2,08$ „merkwaaardige“ verschijnselen gaan optreden is dus niet verwonderlijk.

Uit de berekeningen is gebleken dat voor element 21 de drukbelasting (of de negatieve verplaatsing) beperkt is, zowel voor de updated als de total lagrangian benaderingswijze. De MARC-uitvoer geeft te kennen dat, wanneer de grens bereikt wordt, het systeem niet meer positief definit is. Een en ander wordt toegelicht in [3].

De verkregen resultaten zijn zo nauwkeurig dat het aantal incrementen, waarin de maximale belasting wordt bereikt, waarschijnlijk flink mag worden vermindert terwijl de resultaten aanvaardbaar blijven. In het kader van deze stage is hier niet nader op ingegaan.

§ 6.3. slotconclusies

- * Element q is in de total lagrangian formulering betrouwbaar. In de updated lagrangian formulering levert dit element foutieve resultaten. Dit komt omdat de dwarsdoorsnede per increment niet wordt aangepast, i.t.t. wat de MARC-manuals vermelden.
 - * Elementtype 21 blijkt, als trekstaaf, zowel in de updated als in de total lagrangian formulering, voorzover het de gemaakte berekeningen betreft, correcte resultaten op te leveren. Bij dit elementtype zijn enkele kanttekeningen te maken:
 - Het element is duur in rekentijd.
 - Er wordt gerekend met 2^{de} Piola-Kirchoff-spanningen.
 - De belasting op het element kan worden opgegeven m.b.v. de TRACTIONS-card. (zie bijlage A, voorbeeld 3). Met deze card wordt de beginbelasting opgegeven als trek/druk-belasting op het vrije uiteinde van de trekstaaf. Samen met de begin dwarsdoorsnede levert dit de beginkracht op de trekstaaf. Bij de volgende incrementen is het gewenst dat de totale kracht op het element per increment toeneemt met de beginkracht. Uit de MARC-uitvoer blijkt dat dit inderdaad gebeurt. Omdat bij de geometrisch niet-lineaire berekeningen de dwarsdoorsnede fors verandert, en de belasting als verdeelde belasting wordt opgegeven zou dit niet direct verwacht mogen worden. Maar waarschijnlijk rekent MARC de opgegeven belasting om in begin knooppuntskrachten en worden de knooppuntskrachten per increment met de begin knooppuntskrachten opgehoogd.
 - Het element is in de gemaakte berekeningen als kubus gedimensioneerd. Aanvankelijk was de lengte 10x zo groot als de breedte of hoogte gekozen, maar deze geometrie leverde problemen op. Het element bleek n.l. krom te trekken in de loop v.d. gemaakte berekeningen. Waarschijnlijk wordt hierop teruggekomen in het kader van het keuzevak „Bijzondere aspecten van de elementenmethode.“
 - De vraag blijft hoe het element zich in twee of driedimensionale problemen zal gedragen.
-

Literatuur

- [1] = dictaat behorend bij de cursus 4k020 „ Niet-lineaire mechanica A: Basis “
(afd. W THE) cursusjaar '84-'85.
- [2] = Marc - manuals 1 en 2 versie J1
- [3] = dictaat behorend bij de cursus 4k040 „ Niet-lineaire mechanica B :
Numerieke aspecten “ (afd. W THE) cursusjaar '84-'85.
- [4] = Ogden, R.W. : Non-linear elastic deformations / Ellis Horwood 1984
(532 p.) ISBN 0-85312-273-3
- [5] = Rooyackers, H.F.L (1984) : De ontwikkeling van een werkwijze,
gebaseerd op de eindige-elementen methode, voor de modellering
van vezel versterkte materialen. Afstudeerverslag T.H.E afd. W

BIJLAGEN

- Bijlage A : Invoerfiles
- Bijlage B : Het aanroepen van MARC
- Bijlage C : De FileTranslator
- Bijlage D : programma :MIDDEL
- Bijlage E : subroutine :TEKEN, file GRFILE
- Bijlage F : programma :OMKEER

Invoerfiles : voorbeeld 1

```

TITLE      MARC.TREKSTAAF.VBU
TITLE      voorgeschreven belasting
TITLE      updated lagrangian formulering
TITLE      elementtype 9
TITLE      *****
COMMENT    parameter cards
SIZING, 10000,           : werkruimte
ELEMENTS, 9,            : elementkeuze
ALL POINTS              : n.v.t ; zie voorbeeld 3
LARGE DISP              : berekening met grote verplaatsingen
UPDATE                  : met deze card: updated lagrangian formulering
END                      : zonder " " :total      "      "
COMMENT    model definition cards
CONNECTIVITY

1, 9, 1, 2,             : één element, type 9, knooppunten 1 en 2
COORDINATES             : knooppuntscoördinaten

1, 0.0, 0.0, 0.0,
2, 1.0, 0.0, 0.0,
GEOMETRY                : elementgeometrie
1,
1.0,                    → dwarsdoorsnede
1
CONTROL                 : controle op verloop v. berekening
50, 3,                  → maximaal 50 incrementen en 3 recycles/increment
0.01, 0.50, 0.10, 0.05, 0, 0.2
                        → (defaults)
POST                    : verzorging POST16-file
0, , , 0, 1,
POINT LOAD              : belasting
1,                      één belasting,
1000,                  ter grootte 1000 (≙ trekbelasting)
2,                      werkend op knooppunt 2
PROPERTY                : element eigenschappen
1,
2E5, 0.3,               E = 200.000      ν = 0,3
1,
BOUNDARY CONDITIONS     : kinematische randvoorwaarden ;
2,                      2 sets :
0.0, 0.0, 0.0,        * knooppunt 1 : verpl. in x,y,z-richting onderdrukt
1 TO 3
1,
0.0, 0.0,              * knooppunt 2 : verpl. in y,z-richting onderdrukt
2, 3,
2,
END OPTION
COMMENT    history definition cards
AUTO LOAD               : belastingscyclus :
50,                    50 incrementen,
PROPORTIONAL INCREMENT : per increment komt de volledige
1, 1.0,                opgegeven belasting (POINTLOAD)
CONTINUE                erbij.

```


voorbeeld 2

```
TITLE      MARC.TREKSTAAF.VVU
TITLE      voorgeschreven verplaatsing
TITLE      updated lagrangian formulering
TITLE      elementtype 9
TITLE      *****
COMMENT    parameter cards
SIZING, 10000,
ELEMENTS, 9,
ALL POINTS
LARGE DISP
UPDATE
END
COMMENT    model definition cards
CONNECTIVITY

1, 9, 1, 2,
COORDINATES

1, 0.0, 0.0, 0.0,
2, 1.0, 0.0, 0.0,
GEOMETRY
1,
1.0,
1
CONTROL
50, 3,
0.01, 0.50, 0.10, 0.05, 0, 0.2
POST
0, , , 0, 1,
PROPERTY
1,
2E5, 0.3,
1,
BOUNDARY CONDITIONS
2,
0.0, 0.0, 0.0,
1 TO 3
1,
0.005, 0.0, 0.0,
1 to 3
2,
END OPTION
COMMENT    history definition cards
AUTO LOAD
50,
PROPORTIONAL INCREMENT
1, 1.0,
CONTINUE
```

: als voorbeeld 1 echter:

- * er wordt géén belasting voorgeschreven, dus géén POINT LOAD-card.
- * er wordt wél een verplaatsing voorgeschreven, dus een extra kinematische randvoorwaarde

: extra : voorgeschreven verplaatsing in x-richting van knooppunt 2

Voorbeeld 3

```
TITLE      MARC.TREKSTAAF.VBU
TITLE      voorgeschreven belasting
TITLE      updated lagrangian formulering
TITLE      elementtype 21
TITLE      *****
COMMENT    parameter cards
SIZING,30000,           :   werkruimte
ELEMENTS,21,           :   element keuze
ALL POINTS            :   uitvoer bevat alle integratie punten
LARGE DISP           :   grote verplaatsingen
UPDATE               :   met deze card : updated lagrangian formulering
END                 :   zonder " "      total      " "
COMMENT    model definition cards
CONNECTIVITY

1,21,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14, :   één element, type 21, knooppnt. nz 1 t/m 20
15,16,17,18,19,20,
COORDINATES           :   knooppunts coördinaten

1,0.0,0.0,0.0,
2,1.0,0.0,0.0,
3,1.0,1.0,0.0,
4,0.0,1.0,0.0,
5,0.0,0.0,1.0,
6,1.0,0.0,1.0,
7,1.0,1.0,1.0,
8,0.0,1.0,1.0,
9,0.5,0.0,0.0,
10,1.0,0.5,0.0,
11,0.5,1.0,0.0,
12,0.0,0.5,0.0,
13,0.5,0.0,1.0,
14,1.0,0.5,1.0,
15,0.5,1.0,1.0,
16,0.0,0.5,1.0,
17,0.0,0.0,0.5,
18,1.0,0.0,0.5,
19,1.0,1.0,0.5,
20,0.0,1.0,0.5,
CONTROL              :   controle op verloop v. berekening
50,3,                → max. 50 incrementen en 3 recycles/incr.
0.01,0.50,0.10,0.05,0,0.2 → (defaults)
POST                 :   verzorging post16-files
0,,,0,1,
```

TRACTIONS

0,1,
1,8,
1,
-1.0E3

: belasting :
druk op 2367-ulak van het element
grootte: $-1000 \hat{=} 1000 [F/L^2]$ trekebelasting

ondanks het feit dat de belasting op de staaf nu (op het eerste gezicht) afh. v.d. momentane dwarsdoorsnede is, worden toch de verwachte resultaten verkregen; zie Hfdst. 6

PROPERTY

1,
2E5,0.3,
1,

: eigenschappen:
 $E = 200.000$
 $\nu = 0,3$

BOUNDARY CONDITIONS

4,
0.0,0.0,0.0,
1 TO 3
1,
0.0,0.0,
1,3,
12,4,
0.0,0.0,
1,2,
5,17,
0.0,
1,
8,16,20,

: kinematische randvoorwaarden
4 sets onderdrukte verplaatsingen :

knooppunt 1 verplaatsing in x,y,z-richting onderdrukt.
knooppunt 12,4 " " x,z - " "
knooppunt 5,17 " " x,y - " "
knooppunt 8,16,20 " " x - " "

END OPTION

COMMENT

history definition cards

AUTO LOAD

50,

PROPORTIONAL INCREMENT

1,1.0,

CONTINUE

: belastingscyclus :
50 incrementen,
per increment komt de volledige opgegeven belasting (TRACTIONS) erbij.

voorbeeld 4

```
TITLE      MARC.TREKSTAAF.VVU
TITLE      voorgeschreven verplaatsing
TITLE      updated lagrangian formulering
TITLE      elementtype 21
TITLE      *****
COMMENT    parameter cards
SIZING,30000,
ELEMENTS,21,
ALL POINTS
LARGE DISP
UPDATE
END
COMMENT    model definition cards
CONNECTIVITY

1,21,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,
15,16,17,18,19,20,
COORDINATES

1,0.0,0.0,0.0,
2,1.0,0.0,0.0,
3,1.0,1.0,0.0,
4,0.0,1.0,0.0,
5,0.0,0.0,1.0,
6,1.0,0.0,1.0,
7,1.0,1.0,1.0,
8,0.0,1.0,1.0,
9,0.5,0.0,0.0,
10,1.0,0.5,0.0,
11,0.5,1.0,0.0,
12,0.0,0.5,0.0,
13,0.5,0.0,1.0,
14,1.0,0.5,1.0,
15,0.5,1.0,1.0,
16,0.0,0.5,1.0,
17,0.0,0.0,0.5,
18,1.0,0.0,0.5,
19,1.0,1.0,0.5,
20,0.0,1.0,0.5,
CONTROL
50,3,
0.01,0.50,0.10,0.05,0,0.2
POST
0,,,0,1,
```

: als voorbeeld 3 echter:

- * geen voorgeschreven belasting
dus ook geen tractions - card
- * wel extra voorgeschreven
verplaatsingen voor knooppunten
van het 2367 - elementvlak

PROPERTY

1,

2E5,0.3,

1,

BOUNDARY CONDITIONS

5,

0.0,0.0,0.0,

1 TO 3

1,

0.0,0.0,

1,3,

12,4,

0.0,0.0,

1,2,

5,17,

0.0,

1,

8,16,20,

0.005,

1,

2,3,6,7,10,14,18,19,

END OPTION

COMMENT history definition cards

AUTO LOAD

50,

PROPORTIONAL INCREMENT

1,1.0,

CONTINUE

: extra set kinematische randvoorwaarden

Het aanroepen van het programmapakket Marc

Bij het gebruik van het programmapakket Marc op de Prime P750 afdelings-computer, moet de invoerfile op 'POOL' staan. Door het intoetsen van 'MARC' kan de rekenrun worden gestart. Na dit commando gebeurt het volgende:

MARC

Info about MARC can be found in MARC>DOC.

- (1) Inputfile: xxxxx
- (2) Outputfile (xxxxx.MRCOUT): xxxxx.MRCOUT
- (3) Queue (NIGHT): yyyyy
- (4) Marc version (K1): <cr>
[JOB rev 19.4]
- (5) Your job, #jobnr, was submitted to queue yyyyy.
Home=<KLAD>POOL>.....

(Het onderstreepte moet door de gebruiker worden ingetoetst)

- (1) Er wordt een invoerfile gevraagd.
- (2) Er wordt een naam voor de uitvoerfile (xxxxx.mrcout) voorgesteld. Deze kan worden geaccepteerd d.m.v. een return of er kan een andere naam worden ingevoerd.
- (3) Er wordt gevraagd in welke queue de berekening moet worden geplaatst. De mogelijkheden zijn :
 - FAST : Wanneer niet te veel andere rekenjobs draaien, voert Marc kleine berekeningen direct uit.
 - MARC : Idem voor middellange berekeningen
 - NIGHT: Voor grote rekenpartijen. Deze worden 's nachts uitgevoerd.
- (4) Er wordt gevraagd met welke versie van MARC moet worden gerekend. D.m.v. een <cr> wordt de voorgestelde versie (K1) geaccepteerd. Momenteel is dit de enig beschikbare versie.
- (5) Als alle voorgaande vragen correct zijn beantwoord volgt tenslotte de melding (5). De berekening wordt als job opgestart.

Bijlage C

De filetranslator

In deze bijlage wordt aangegeven hoe de filetranslator gebruikt kan worden bij het verwerken van de zg. POST16-files tot files van een bruikbaar formaat. Het starten van de filetranslator gebeurt d.m.v. het intoetsen van het commando 'FT':

(Het onderstreepte moet door de gebruiker worden ingetoetst.)

FT : start van de filetranslator

ENTER TRANSLATOR#

- M - MARC-POST TO SDRC-UNIVERSAL
- F - FAST, SIMPLE STRIPPED VERSION OF M
- S - SDRC-UNIVERSAL TO MARC-INPUT
- P - MARC-POST TO MARC-POST
(BINARY TO FORMATTED AND V.V.)
- I - IDEAS-UNIVERSAL TO MARC-INPUT
- Q - QUIT

ENTER TRANSLATOR# M : kies voor filetranslator M

MARC-POST to UNIVERSAL translator, version 2.2 feb. '84

if you don't know what to do, type M (for menu)
or : for help (if there is any)

INPUTFILE (POST16) : <cr> : POST16 is de invoerfile ,
BINARY FILE (Y/N) (Y) : <cr> : dit is een binaire file
HEADER
CONNECTIVITY
COORDINATES
LOADSTEP (1) : <cr> : begin bij belastingsincrement 1
LOADSTEP = 1 TIME = 0.000 INC = 0 SUBINC = 0 FREQUENCY = 0.000
NODAL DATA

CREATED SET 1
CREATED SET 2

ENTER COMMAND: M : nu wordt het menu getoond

- RM - READ_MARC
- DS - DATA_SELECTION
- WU - WRITE_UNIVERSAL
- Q - QUIT

ENTER COMMAND: RM : kies de optie READ_MARC

READ_MARC

ENTER COMMAND: M

- NF - NEW_FILE
- US _ USE_LOADSTEP
- W _ WATCH
- ST _ STATUS

READ_MARC
ENTER COMMAND: W : kies hieruit WATCH
READ_MARC, WATCH
ENTER COMMAND: M

:
CR - CREATE
GE - GENERATE
SP - SPECIAL
LI - LIST
WR - WRITE
ST - STATUS

READ_MARC, WATCH
ENTER COMMAND: CR : nu wordt eerst de gewenste data
VARIABLE TYPE (END_OF_LIST):M : geselecteerd; in dit geval
: knooppuntsverplaatsingen en
: knooppuntskrachten

:
E - END_OF_LIST
T - TIME
I - INCREMENT
S - SUBINC
F - FREQUENCY
EN - ELEMENTAL DATA AT NODE
EI - DATA AT INT-POINT
N - NODAL DATA
SP - SPARE

VARIABLE TYPE (END_OF_LIST):N : alleen knooppuntsdata nodig!
NODELABEL (1): 1
NODAL DATA-ITEM : <cr>

0 : NONE
1 : FIRST DISPLACEMENT COMPONENT
2 : SECOND DISPLACEMENT COMPONENT
3 : THIRD DISPLACEMENT COMPONENT
4 : FIRST REACTION COMPONENT
5 : SECOND REACTION COMPONENT
6 : THIRD REACTION COMPONENT
enter a number (1) : 1

. (op deze wijze wordt alle gewenste data achtereenvolgens geselecteerd)
.

READ_MARC, WATCH : met ST wordt gecontroleerd of
: de juiste gegevens gekozen zijn

ENTER COMMAND: ST

-NODAL DATA, NODE 1 FIRST REACTION COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 2 FIRST DISPLACEMENT COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 3 FIRST DISPLACEMENT COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 4 FIRST REACTION COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 5 FIRST REACTION COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 6 FIRST DISPLACEMENT COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 7 FIRST DISPLACEMENT COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 8 FIRST REACTION COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 10 FIRST DISPLACEMENT COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 12 FIRST REACTION COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 14 FIRST DISPLACEMENT COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 16 FIRST REACTION COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 17 FIRST REACTION COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 18 FIRST DISPLACEMENT COMPONENT
-NODAL DATA, NODE 19 FIRST DISPLACEMENT COMPONENT : deze serie is gebruikt
-NODAL DATA, NODE 20 FIRST REACTION COMPONENT : voor elementtype 21

READ_MARC, WATCH

ENTER COMMAND: GE : tenslotte wordt de file met
: de gekozen data gegenereerd,

LOADSTEP (1) : ;

.

.

.

ENTER COMMAND: WR : en weggeschreven.

OUTPUTFILE (HISTORY) : (gewenste naam)

NEW FILE OK (Y/N) (Y) : <cr>

READ_MARC, WATCH

ENTER COMMAND: /Q : de filetranslator wordt nu
: verlaten.

```
C PROGRAMMA MIDDEL: STAGE1
C -----
C MIDDELEN VAN ACHT KNOOPPUNTSVERPLAATSINGEN VAN UITEINDE ELEMENT-
C TREKSTAAF 21 EN OPTELLEN VAN ACHT REACTIEKRACHTEN AAN INKLEMMING
C VAN DIT ELEMENT.
C
C INVOER : FORMAAT MAX. 16*500 (POST16-FILE VAN MARCUIVVOER M.B.V.
C FILETRANSLATOR M TOT DIT FORMAAT BEWERKEN).
C UITVOER : FILE MMM , FORMAAT MAX. 2*500
C EERSTE KOLOM BEVAT SOM VAN DE REACTIEKRACHTEN (INKLEMMING)
C TWEEDE KOLOM BEVAT GEMIDDELDE KNOOPPUNTSVERPLAATSINGEN
C IN X1-RI VAN HET VRIJE UITEINDE.
C
C
C REAL*4 H(16,500)
C REAL*4 F(2,500)
C INTEGER*4 FNAME(20) ,NH, I
C SAVE H,NH
C
C
C $INSERT SYSCOM>A$KEYS
C 10 CALL TNOUA ('GEEF FILENAAM :',INTS(16))
C READ (1,20) FNAME
C 20 FORMAT (20A4)
C IF ( .NOT. OPEN$(A$READ,FNAME,INTS(80),INTS(9))) GOTO 10
C NH=1
C 30 READ (13,40,END=50,ERR=50) (H(I,NH),I=1,16)
C F(1,NH) = H(1,NH)+H(4,NH)+H(5,NH)+H(8,NH)+H(10,NH)+H(12,NH)+
C &H(13,NH)+H(16,NH)
C F(2,NH) = (H(2,NH)+H(3,NH)+H(6,NH)+H(7,NH)+H(9,NH)+H(11,NH)+
C &H(14,NH)+H(15,NH))/8.0
C NH=NH+1
C GOTO 30
C 40 FORMAT (6E13.5)
C 50 CALL OPEN$(A$WRIT, 'MMM',INTS(3),INTS(10))
C NH =NH-1
C DO 100 I = 1,NH
C WRITE (14,40) F(1,I),F(2,I)
C 100 CONTINUE
C CALL CLOS$(INTS(10))
C CALL CLOS$(INTS(9))
C CALL EXIT
C END
```

```
C SUBROUTINE TEKEN: STAGE1
C -----
C PLOT BEREKENINGSRESULTATEN EN EXACTE OPLOSSING
C MET BEHULP VAN GRAF VOOR EEN TREKSTAAF IN UPDATED OF
C TOTAL LAGRANGIAN FORMULERING.
C BIJ DIT PROGRAMMA HOORT DE FILE GRFILE.
C
C BLOCK DATA: BEVAT DE PLAATS VAN DE FILE GRFILE (INVOER
C ----- VAN GEGEVENS ETC. )
C
C     BLOCK DATA
C     COMMON/ FNames/ IN(20), IHELP(20)
C     DATA IN / 'WFW>', 'HOOG', 'ST>S', 'TAGE', '1>BE', 'WERK',
C     & 'ING>', 'GRFI', 'LE ', '11*'      '/, IHELP / 20*'      '/
C     END
C
C
C SUBROUTINE FUNCT : BEWERKT EEN FILE MET BEREKENDE WAARDEN
C ----- EN PLOT DEZE , AL DAN NIET MET HET
C     THEORETISCHE RESULTAAT
C     DE NAAM FUNCT IS VERPLICHT !.
C
C
C SUBROUTINE FUNCT (X, Y, N, OK, GEG, IY)
C
C     LOGICAL OK
C     INTEGER*4 N, IY
C     REAL*4 X(1), Y(1), GEG(1)
C
C     BETEKENIS VAN DE LOKALE VARIABELEN:
C
C GEG  -IN- BEVAT GEGEVENS VOOR BEREKENING VAN DE KROMME
C     GEG(1) = DE ELASTICITEITSMODULUS
C     GEG(2) = DE BEGINDWARSDOORSNEDE
C     GEG(3) = DE BEGINLENGTE
C     GEG(4) = DE DWARSCONTRACTIEMODULUS
C     GEG(5) = LEES FILE, VRAAG NAAM
C     GEG(6) = TOTAL LAGR.
C     GEG(7) = UPDATED LAGR.
C IY   -IN- KEUZEPARAMETER OM AAN TE GEVEN WELKE GRAFIEK
C     GETEKEND MOET WORDEN.
C     IY=1: VERLENGINGSFACTOR -
C           AXIALE KRACHT BIJ UPDATED BESCHRIJVING
C           EN VOORGESCHREVEN BELASTING
C     IY=2: VERLENGINGSFACTOR -
C           AXIALE KRACHT BIJ UPDATED BESCHRIJVING
C           EN VOORGESCHREVEN VERPLAATSING
C     IY=3: VERLENGINGSFACTOR -
C           AXIALE KRACHT BIJ TOTAL  BESCHRIJVING
C           EN VOORGESCHREVEN BELASTING
C     IY=4: VERLENGINGSFACTOR -
C           AXIALE KRACHT BIJ TOTAL  BESCHRIJVING
C           EN VOORGESCHREVEN VERPLAATSING
```

C N -OUT- AANTAL PUNTEN IN GRAFIEK
C OK -OUT- .TRUE. OM PLAATJE TE TEKENEN
C X -OUT- BEVAT X-COORDINATEN
C Y -OUT- BEVAT Y-COORDINATEN

C

C

C DE FILE MET DE BEREKENINGSRESULTATEN MAG MAXIMAAL HET FORMAAT
C 2 * 500 HEBBEN.
C DE EERSTE KOLOM MOET DE RESULTERENDE REACTIEKRACHT AAN DE
C INKLEMMING VAN DE TREKSTAAF BEVATTEN. (= -1* BELASTING)
C DE TWEDE KOLOM MOET DE GEMIDDELDE KNOOPPUNTSVERPLAATSING IN X1-RI
C VAN HET VRIJE UITEINDE BEVATTEN.

C

C

C

LOGICAL LEES, TOTAL, UPDATE
REAL*4 E, NU, A, LO, H(2,500)
INTEGER*4 FNAME (20), NH, I
SAVE H, NH

C

\$INSERT SYSCOM>A\$KEYS

E = GEG(1)
A = GEG(2)
LO = GEG(3)
NU = GEG(4)
LEES = (GEG(5) .EQ. 1.0)
GEG(5) = 0.0
TOTAL = (GEG(6) .EQ. 1.0)
UPDATE = (GEG(7) .EQ. 1.0)
IF (.NOT. LEES) GOTO 60
10 CALL TNOUA ('GEEF FILENAAM :', INTS(16))
READ (1,20) FNAME
20 FORMAT (20A4)
IF (.NOT. OPEN\$A (A\$READ, FNAME, INTS(80), INTS(9))) GOTO 10
NH=1
30 READ (13,40,END=50,ERR=50) H(1,NH), H(2,NH)
NH = NH + 1
GOTO 30
40 FORMAT (2E13.5)
50 CALL CLOS\$A (INTS(9))
NH = NH - 1
60 DO 70 I = 1, NH
X(I) = H(2,I) / LO + 1.0
Y(I) = H(1,I) / (-1.0*E) / A
IF (TOTAL) Y(I)=0.5*X(I)*((X(I)**2)-1)
IF (UPDATE) Y(I)=ALOG(X(I))*(X(I)**(-2*NU))
70 CONTINUE
N=NH
OK = .TRUE.
RETURN
END

Bijbehorende file:GRFILE

GEGEVENS

ELASTICITEITSMODULUS

BEGINDWARSDOORSNEDE

BEGINLENGTE

DWARSCONTRACTIECOEFFICIENT

LEES FILE (=1)

THEORETISCH TOTAL (=1)

THEORETISCH UPDATED (=1)

2E5 1.0 1.0 0.3 1 0 0

AXIALE KRACHT (UPDATED,V.B) [-]

VERLENGINGSFACTOR [-]

AXIALE KRACHT (UPDATED,V.V) [-]

VERLENGINGSFACTOR [-]

AXIALE KRACHT (TOTAL ,V.B) [-]

VERLENGINGSFACTOR [-]

AXIALE KRACHT (TOTAL ,V.V) [-]

VERLENGINGSFACTOR [-]

0 0 0 0 0 0

1 0 0 0 0 0

```
C  PROGRAMMA OMKEER: STAGE1
C  -----
C  OMKEREN VAN INVOERFILES VOOR HET PROGRAMMA TEKEN
C  INVOER VOOR OMKEER: MAX 2 * 500
C          EERSTE KOLOM: RESULTERENDE REACTIEKRACHT INKLEMMING
C          TWEEDE KOLOM: GEMIDDELDE KNOOPPUNTSVERPLAATSINGEN
C          IN X1-RI VAN VRIJE UITEINDE.
C  UITVOER          : VOLGORDE (VAN INCREMENTEN) OMGEDRAAID, NAAM: "TTT"
C
C
C
C
C          REAL*4 H(2,500)
C          INTEGER*4 FNAME(20) ,NH, I, J
C          SAVE H,NH
C
C  $INSERT SYSCOM>A$KEYS
C  10 CALL TNOUA ('GEEF FILENAAM  :',INTS(16))
C     READ (1,20) FNAME
C  20 FORMAT (20A4)
C     IF ( .NOT. OPEN$A (A$READ,FNAME,INTS(80),INTS(9))) GOTO 10
C     NH=1
C  30 READ (13,40,END=50,ERR=50) H(1,NH), H(2,NH)
C     NH=NH+1
C     GOTO 30
C  40 FORMAT (2E13.5)
C  50 CALL OPEN$A (A$WRIT, 'TTT',INTS(3),INTS(10))
C     NH = NH-1
C     DO 100 I = 1,NH
C       J=NH+1-I
C       WRITE (14,40) H(1,J),H(2,J)
C 100 CONTINUE
C     CALL CLOS$A (INTS(10))
C     CALL CLOS$A (INTS(9))
C     CALL EXIT
C     END
```