

De meetopstelling van de snelle torsieproef ten behoeve van het meten van thermische instabiliteit

Citation for published version (APA):

van Rijckevorsel, J. W. (1984). *De meetopstelling van de snelle torsieproef ten behoeve van het meten van thermische instabiliteit*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPB0107). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1984

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.

W. J. A. Stoutackers

De meetopstelling van de snelle
torsieproef ten behoeve van het
meten van thermische instabiliteit

J.W. van Rijckevorsel

Vf code: C2
WPB-rapport 0107

juni 1984

Verslag van een I-1 opdracht

Technische Hogeschool Eindhoven
Vakgroep Productietechnologie en
Bedrijfsmechanisatie
Afdeling Werktuigbouwkunde

Inhoud

Symbolenlijst	II
Literatuurlijst	III
1. Inleiding	1
1.1 De torsieproef	2
1.2 De meetopstelling	3
2. Het te beproeven materiaal	4
2.1 Eerste selectie	4
2.2 Tweede selectie	5
3. De verwerking van de meetwaarden	8
3.1 De Analog Digital converter	10
3.2 De multispaeler	12
3.3 De computer	12
3.4 Prijzen	16
3.5 Opmerkingen	17
4. De koppeling	18
5. De draaibank	22
6. Afsluiting	24

Symbolenlijst

α	= invloedsfactor warmtedissipatie	(-)
ϵ_{ij}	= logaritmische rek	(-)
$\bar{\epsilon}$	= effectieve rek	(-)
$\bar{\epsilon}_{br}$	= effectieve breukrek	(-)
$\dot{\epsilon}_{ij}$	= reksnelheid	(1/s)
$\bar{\dot{\epsilon}}$	= effectieve reksnelheid	(1/s)
φ	= hoekverdraaiing	(rad)
φ_ℓ	= hoekverdraaiing over de lengte ℓ van de torsiestaaft	(rad)
$\dot{\varphi}$	= hoekversnelling	(rad/s)
$\dot{\varphi}_\ell$	= hoekversnelling over de lengte ℓ van de torsiestaaft	(rad/s)
λ	= warmte-geleidingscoëfficiënt	(W/mK)
ρ	= dichtheid	(kg/m ³)
σ	= spanning	(N/mm ²)
E	= energie	(J)
ℓ	= werkzame lengte van de torsiestaaft	(m)
P	= vermogen	(W)
Q	= warmte ontwikkeld door bron	(J)
q	= warmte die wegstroomt	(J)
r	= straal van de torsiestaaft	(m)
sw	= soortelijke warmte	(J/kgK)
T	= temperatuur	(K)
t	= tijd	(s)

Literatuurlijst

- (1) Materiaalkeuze in de werktuigbouwkunde; Stiomak; THE
- (2) Metals Handbook; American society for metals
- (3) Aerospace Structural Metals Handbook
- (4) Thermische instabiliteit; collegestof tekst 13;
Dr.Ir.J.H.Dautzenberg; THE
- (5) WPB-rapport 0091 ; M.P.Snijder van Wissenkerke; THE
- (6) Het Eurobussysteem; VDF/CO 79-10; F.C. van Nijmweegen; THE
- (7) De 1 MHz transiëntrecorder; VDF/CO 84-08;
H.J.M. Verhoeven; THE

1. Inleiding

Dit verslag betreft een vooronderzoek ten behoeve van het meten van thermische instabiliteit met behulp van een torsieproef. Thermische instabiliteit treedt op wanneer (plaatselijk) de ontsteviging veroorzaakt door deformatiewarmte groter is dan de normale materiaalversteviging, zodat het materiaal bezwijkt. Om thermische instabiliteit d.m.v. een torsieproef te kunnen meten moet men ervoor zorgen dat ook snelle torsieproeven mogelijk zijn zodat de ontwikkelde warmte geen tijd krijgt weg te vloeien.

Deze overweging heeft er toe geleid dat de mogelijkheid van het nemen van een torsieproef op een draaibank hier onderzocht wordt.

1.1 De torsieproef

Voor een torsiestaaaf geldt: $\dot{\epsilon}_{ij} = 0$ behalve $\dot{\epsilon}_{\varphi z} = \frac{r}{2} \cdot \frac{\dot{\varphi}_\ell}{\ell}$

hieruit volgt $\dot{\bar{\epsilon}} = \frac{r}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\dot{\varphi}_\ell}{\ell}$ (r=straal; ℓ =lengte)

De meeste draaibanken hebben een maximaal toerental van 3000 omw/min.

hieruit volgt $\dot{\varphi}_{\ell_{max}} = 3000 \cdot \frac{2\pi}{60} = 314 \text{ rad/sec}$

Voor de torsiestaaaf afmetingen geldt:

ℓ/r mag niet te groot zijn omdat dan de maximale deformatie-snelheid beperkt wordt;

r mag niet te groot zijn omdat dan het gevraagde vermogen te groot wordt;

ℓ/r mag niet te klein zijn omdat dan de inklemmingsinvloeden niet verwaarloosd mogen worden.

Bovenstaande aspecten overwegende is in dit vooronderzoek steeds gekozen voor een proefstaafe met de volgende afmetingen:

straal: r=3mm

werkzame lengte $\ell=40\text{mm}$

Hiermee wordt: $\dot{\bar{\epsilon}} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\dot{\varphi}_\ell}{40 \cdot 10^{-3}} = 4,33 \cdot 10^{-2} \cdot \dot{\varphi}_\ell$; $\dot{\bar{\epsilon}}_{max} = 4,33 \cdot 10^{-2} \cdot 314 = 13,6$

ook geldt: $\bar{\epsilon} = 4,33 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi_\ell$ ($\bar{\epsilon}$ en $\dot{\bar{\epsilon}}$ voor de buitenomtrek)

Het benodigde moment voor de torsieproef is, als functie van de

hoekverdraaiing: $M = \left(2\pi \left(\frac{r}{\ell\sqrt{3}} \right)^n \cdot \frac{C}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r^3}{n+3} \right) \cdot \varphi^n$

En het benodigde vermogen: $P = M(\varphi) \cdot \dot{\varphi}_\ell$

De proeven worden genomen bij een konstant toerental, dus $\dot{\varphi}_\ell = \text{konstant}$
De benodigde energie is als functie van de hoekverdraaiing:

$$E = \int P dt = \left(2\pi \left(\frac{r}{\ell\sqrt{3}} \right)^n \cdot \frac{C}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r^3}{n+3} \cdot \frac{1}{n+1} \right) \varphi^{n+1}$$

1.2 De meetopstelling

Gemeten moet worden: - het moment
- de hoekverdraaiing
- de tijd.

Men moet het moment meten om de spanning te kunnen bepalen en de hoekverdraaiing om de rek te kunnen uitrekenen.

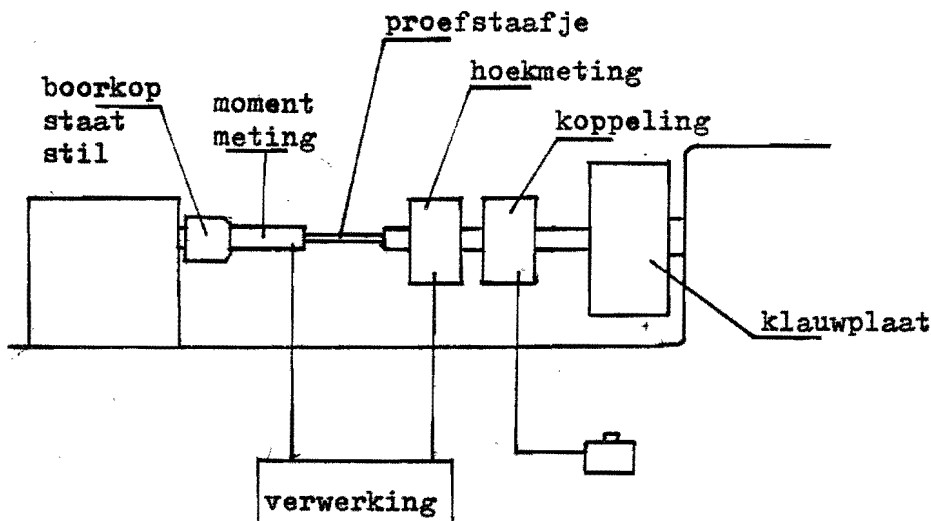
De tijd moet men meten om de reksnelheid te kunnen bepalen.

De signalen van de meetapparatuur moeten verwerkt worden door een of meer computers die de meetwaarden omrekenen en in grafieken uitzetten.

Omdat men de hoge toerentallen van de draaibank niet wil uitsluiten is een koppeling nodig om een zogoed als constante omwentelings-snelheid te kunnen garanderen, daar de draaibank enkele seconden nodig heeft om op toeren te komen.

Zonder koppeling zou het torsiestaaftje al gebroken zijn voordat de draaibank op toeren is.

De meetopstelling kan er bv. als volgt uitzien:



In de volgende hoofdstukken wordt achtereenvolgens besproken:

- het meest geschikte proefmateriaal
- de verwerking van de meetwaarden
- de koppeling
- de draaibank

2. Het te beproeven materiaal

Het materiaal waarmee men het liefst proeven doet om algemene materiaal eigenschappen te onderzoeken is koper.

Maar omdat de torsieproef geen proef is waarbij de thermische instabiliteit zich noodzakelijk overduidelijk zal uiten, is het verstandiger een materiaal te kiezen dat de meeste kans op dit verschijnsel biedt.

Men moet zich dus niet op voorhand tot koper beperken.

2.1 Eerste selectie

Men kan snel een eerste selectie maken door materialen te kiezen die een lage warmtegeleidingscoëfficiënt λ en een hoge breukrek ϵ_{br} hebben. Een lage warmtegeleidingscoëfficiënt zorgt dat de warmte niet te snel weg stroomt en een hoge breukrek houdt in dat het materiaal niet te snel bezwijkt door andere instabiliteiten zoals scheurvorming. Door een hoge breukrek krijgt het materiaal meer kans om op thermische instabiliteit te bezwijken.

Bekende materialen met de genoemde eigenschappen zijn:

Nikkellegering Inconel 625	$\lambda=9,8$	$\epsilon_{br}=58\%$ (trekpr.)
Titaan	$\lambda=15,6$	$\epsilon_{br}=30\%$ "
ferritisch roestvaststaal AISI 429	$\lambda=25$	$\epsilon_{br}=30\%$ "
martensitisch roestvaststaal AISI 410	$\lambda=25$	$\epsilon_{br}=30\%$ "
austenitisch roestvaststaal AISI 301	$\lambda=16$	$\epsilon_{br}=60\%$ "
vergelijk: koper	$\lambda=388$	$\epsilon_{br}=48\%$ "

Bron lit.(1)

De materialen Inconel 625, titaan en rvst. AISI 301 zijn verder onderzocht.

2.2 Tweede selectie

Uit grafieken uit de verschillende Metals Handbooks-series (Lit(2),(3)) zijn schattingen van de C, de n en de $\frac{\partial \sigma}{\partial T}$ af te leiden:

	AISI 301	Inc. 625	Ti(99%)	ter vgl: koper
λ [$\frac{W}{mK}$]	16	9,8	15,6	388
ϵ_{br} [%]	60	60	* 30(÷15)	48
ρ [$\frac{kg}{m^3}$]	8000	8450	4540	8900
sw [$\frac{J}{kgK}$]	500	410	530	385
C [$\frac{N}{mm^2}$]	998	909	1021	420
n [-]	0,26	0,15	0,17	0,25
$\frac{\partial \sigma}{\partial T}$ [$\frac{N}{mm^2K}$]**	-0,60	-0,28	-0,73	-0,50

* de zuiverheid van titanium heeft een erg grote invloed op grootheden als $\sigma_{0.2}$, σ_{br} en ϵ_{br}

** $\frac{\partial \sigma}{\partial T}$ is een beetje afhankelijk van $\bar{\epsilon}$, ter vereenvoudiging is dit verwaarloosd.

De vraag is nu welke van deze materialen het meest geschikt is.

Om een keuze te kunnen maken is hier het volgende criterium gehanteerd:

$$\frac{\bar{\epsilon}_{\text{breuk}} \text{ (zonder thermische instabiliteit)}}{\bar{\epsilon}_{\text{breuk}} \text{ (afgeleid uit de thermische instabiliteitstheorie)}}$$

Indien deze term groot is, dan is de thermische instabiliteit duidelijk waarneembaar door het eerder bezwijken door deze invloed van het materiaal. Voor de breukrek (zonder thermische instabiliteit) is voor de verschillende materialen zoveel mogelijk ^{diegene} die onder dezelfde condities bepaald zijn genomen.

Alleen van trekproeven was er voldoende documentatie te vinden (zie tabel). Dit is belangrijk omdat de breukrek afhankelijk is van de isostatische spanningscomponent en is dus voor de verschillende proeven anders. De breukrek (afgeleid van de thermische instabiliteitstheorie) kan men globaal berekenen uit de eerder gevonden materiaalgegevens m.b.v. de collegestof betreffende deze materie (Lit(4)).

$$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial T}\right)_{\bar{\epsilon}, \bar{\epsilon}} = \frac{-\rho \times s.w.}{\alpha} \cdot \frac{n}{\bar{\epsilon}} \quad \text{Lit.(4) formule (9)}$$

Wanneer aan deze formule voldaan is dan treedt er materiaalontsteviging op, welke kan resulteren in insnoering en breuk.

Aangenomen wordt dat indien aan deze formule voldaan is het materiaal meteen bezwijkt, dus de in de formule voorkomende $\bar{\epsilon}$ is gelijk aan

$\bar{\epsilon}_{br.th.in.}$ (= breukrek thermische instabiliteit)

$$\bar{\epsilon}_{br.th.in.} = \frac{-\rho \times s.w.}{\alpha} \cdot \frac{n}{\partial \sigma / \partial T} = \frac{\rho \times s.w.}{\alpha} \cdot \frac{n}{|\partial \sigma / \partial T|}$$

$$\frac{\bar{\epsilon}_{br}}{\bar{\epsilon}_{br.th.in.}} = \frac{\alpha}{\rho \times s.w.} \cdot \frac{|\partial \sigma / \partial T|}{n} \cdot \bar{\epsilon}_{br}$$

α is echter niet bekend. α is afhankelijk van de warmtegeleidingscoëfficiënt volgens:

$$\frac{Q - q}{Q} = \frac{Q - c \cdot \lambda}{Q}$$

Q = warmte door warmtebron

q = warmte die weglekt

Om de invloed van op een eenvoudige manier in de materiaalkeuze op te nemen is deze op de volgende (niet geheel juiste) manier in de formule opgenomen:

$$\frac{\bar{E}_{br}}{\bar{E}_{br.th.in}} \propto \frac{\bar{E}_{br} \cdot \left| \frac{\partial \sigma}{\partial T} \right|}{\rho \cdot s.w. \cdot \lambda \cdot n}$$

	AISI 301	Inc.625	Titanium	koper
$\frac{\bar{E}_{br} \cdot \left \frac{\partial \sigma}{\partial T} \right }{\rho \cdot s.w. \cdot \lambda \cdot n}$	$2,16 \times 10^{-2}$	$3,30 \times 10^{-2}$	$3,53 \times 10^{-2}$	$7,22 \times 10^{-4}$
$\bar{E}_{br.th.in} (\alpha=0,9)$	1,73	1,86	1,83	1,71

$\alpha = 0,9$ is globaal geschat uit de grafiek 4.4 blz. 26 Lit (5)
voor $\dot{\bar{E}} = 13,6$.

De drie materialen die in de eerste selectie het best leken liggen hier in de tweede selectie ook niet ver uit elkaar.

Titanium en Inc.625 komen iets beter uit de bus dan het roestvrij staal.

De waarde van titanium is de meest gunstige. Met een half procent meer verontreiniging is deze waarde echter tot de helft gedaald.

Omdat titanium zo gevoelig is voor verontreiniging lijkt Inc.625 het meest gunstige materiaal voor de voorgenomen proeven.

3. De verwerking van de meetwaarden

Het meten van het moment geeft een analogoog signaal. Het meten van de hoek(verdraaiing) kan analogoog of digitaal.

Een voorbeeld van een analogoog signaal van de hoekmeting is een soort potentiometer en een voorbeeld van een digitaal signaal is een schijf met gaatjes waar doorheen lazerstraaltjes kunnen vallen.

Als men voor het uitrekenen van de frequentie, waarmee gemeten moet worden, uitgaat van:

- een toerental van de draaibank van 3000 omw/min (maximaal)
- een breukrek van $\bar{\epsilon}_{br} = 0,5$ (minimaal)
- het aantal meetpunten is gelijk aan 100 (ruim genomen)



Digitale hoekmeting

dan heeft men ongeveer wel de grootste frequentie die mogelijk is.

Deze is:

$$\left. \begin{array}{l} 3000 \text{ omw/min} \rightarrow \dot{\varphi} = 314 \text{ rad/sec} \\ \bar{\epsilon}_{br} = 0,5 \rightarrow \varphi_{br} = \frac{0,5}{4,73 \times 10^{-2}} = 10,6 \end{array} \right\} \text{ meettijd} = \frac{\varphi_{br}}{\dot{\varphi}} = \frac{10,6}{314} = 3,4 \times 10^{-2} \text{ sec.}$$

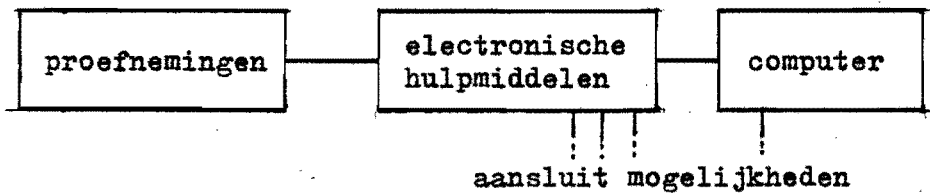
100 metingen in $3,4 \times 10^{-2} \text{ sec.}$ geeft

een frequentie van $\frac{100}{3,4 \times 10^{-2}} = 2,9 \times 10^3 \text{ Hz} = 2,9 \text{ kHz}$

Het vastleggen van de analoge meetwaarden gaat als volgt.

Er zijn elektronische hulpmiddelen die met een bepaalde frequentie het analoge signaal aftasten. Dit signaal houden ze even op gelijke sterkte (dit doet de track+holdversterker).

Een analogoog - digitaalconverter (ADC) vertaalt dit analoge signaal in een digitaal. Dit digitale signaal wordt zolang in een geheugen opgeslagen. Wanneer de meting uitgevoerd is kan men met behulp van een computer het geheugen lezen en de gegevens verder verwerken.



De computer kan weer aangesloten zijn op een achtergrondgeheugen (bv. floppydiscapparatuur), een X-Y-schrijver en/of een terminal. Men kan hoogstwaarschijnlijk wel ergens een computer kopen die met de juiste electronische hulpmiddelen uitgerust is. Het heeft echter voordelen deze electronica uit losse elementen op te bouwen.

Dit systeem met losse elementen is nl. veel flexibeler.

Men kan het namelijk ongelimiteerd uitbouwen en veranderen zodat ieder gewenst meetsysteem tot stand kan komen.

Bovendien is dit systeem binnen de THE verkrijgbaar en al redelijk veel toegepast waardoor men makkelijk aan de nodige software en eventuele hulp kan komen.

Overigens is het systeem ook goed gedocumenteerd.

Dit systeem van losse elementen (modules) is ontwikkeld binnen de afdeling technische natuurkunde (vakgroep deeltjesfysica) en noemt men het Eurobussysteem. De Eurobus zelf bestaat uit een aantal informatie-(bv. adres, data, controle) en voedingslijnen.

De basiseenheid van het Eurobussysteem is de Eurocrate, waarin de Eurobus gemonteerd is. In de Eurocrate kan men naar believe (tot 18) modules (interfaces) plaatsen, die dan met elkaar verbonden zijn d.m.v. de Eurobus.

Alhoewel sommige interfaces enigszins zelfstandig kunnen werken heeft men altijd een computer nodig om de interfaces te besturen of om de verzamelde meetwaarden uit de (eventueel verschillende) geheugens te lezen en te verwerken.

Er is een computer ontwikkeld in de modulevorm zodat men hem rechtstreeks in de Eurocrate kan monteren. Men kan echter ook andere computers aansluiten indien men over de juiste koppelingsinterface (tussen computer en Eurocrate) beschikt.

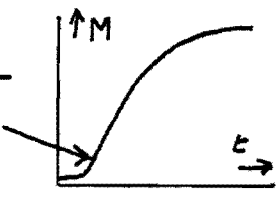
3.1 Analooq-digitaalconverter

Er wordt voorlopig van uitgegaan dat beide ingangssignalen analooq zijn. Om de meetwaarden in het geheugen te plaatsen staan twee principieel verschillende modules ter beschikking:

- a. data-aquisitionsysteem (DAS)
- b. transiëntrecorder (3 verschillende uitvoeringen)

Beide systemen zijn uitgevoerd met een analooq-digitaalconverter (ADC) zodat het analoge ingangssignaal meteen vertaald wordt in een digitaal. Beide systemen zijn ruimschoots snel genoeg voor de voorgenomen proefnemingen.

De keuze tussen de verschillende systemen wordt dus door andere factoren bepaald (bv. kosten, een eventueel volgend gebruik)

	DAS	Transiëntrecorder		
		uitvoering I	uitvoering II	uitvoering III
maximale nauwkeurigheid	12 bits	12 bits	10 bits	8 bits
aantal ingangskanalen in de standaarduitvoering	8 kan.	1 eventueel te vergroten door de ontwikkeling v.e.eenvoudige multiplexer		
max. frequentie waarmee gemeten				
1 kanaal	± 20 kHz	400 kHz	\div	1000 kHz
2 kanalen	± 10 kHz	200 kHz	\div	500 kHz
meetfrequentie regelbaar	beperkt	uitgebreid;bv. tijdens de meting veranderbaar (instellen)		
start	start na extern signaal	kan ook starten nadat bv. het moment een bepaalde waarde overschrijdt.		

vervolg tabel

	DAS	transiëntrecorder		
		I	II	III
Andere toepassingen	geschikter voor metingen aan meer continue processen. Vanwege de 8-kanaalsingang geschikt voor meerdere proefopstellingen tegelijk.	alleen voor snelle eenmalige proeven. (bv. ponsen, stuiken, trekken enz.)		
kostprijs ±; p.s.	f 2500	f 3000	÷	f 2500
geheugen	- eigen geheugeninterf. - evt. comp. geh. gebruiken	eigen geheugeninterf.		

Het DAS-systeem is eigenlijk ontworpen voor meer continue processen. Dit systeem is daarom niet uitgevoerd met een mogelijkheid zichzelf in te schakelen wanneer dat het gunstigste is (bv. wanneer het moment gaat toenemen).

Dit geeft synchronisatiemoeilijkheden bij de hier voorgenomen proefnemingen. Wanneer van het DAS-systeem meerdere ingangskanalen gebruikt worden kunnen deze kanalen nooit precies gelijktijdig afgetast worden.

Voor het DAS-systeem is de minimale tijd tussen de aftasting van twee verschillende kanalen ongeveer 50 μ sec.

Voor de hier vooropstaande proefnemingen is dit een verwaarloosbaar kleine onnauwkeurigheid.

De transiëntrecorder heeft als nadeel dat het maar één ingangskanaal heeft in de standaarduitvoering.

Een 2-kanaals multiplexer is waarschijnlijk niet zo moeilijk te ontwikkelen. Overigens is zonder problemen mogelijk de twee transiëntrecorders te koppelen zodat de twee analoge kanalen op precies hetzelfde tijdstip afgetast worden.

De transiëntrecorder kent verschillende uitvoeringen. Deze verschillen in snelheid en nauwkeurigheid. Hoe sneller hoe onnauwkeuriger en andersom.

Om kleine bobbeltjes in de grafiek (bv. overgang van elastisch naar plastisch deformerend) nauwkeurig te kunnen meten heeft men de nauwkeurige 12 bits transiëntrecorder nodig (deze is net zo nauwkeurig als de DAS).

De keuze tussen de aanschaf van een DAS of transiëntrecorder wordt behalve door beleidsvisies ook bepaald door het gegeven of beide te meten signalen analoog zijn of dat de hoekmeting digitaal is.

Wanneer dit laatste het geval is moet gekozen worden tussen een DAS of één transiëntrecorder (zonder aanpassingen).

3.2 De Multiscaler

Het digitale signaal kan afgetast worden door een multiscaler. Deze multiscaler telt (tot zeer hoge frequenties toe) het aantal pulsjes en stopt, telkens wanneer dat gevraagd wordt, het pulsenaantal in het geheugen.

Deze multiscaler kan rechtstreeks gekoppeld worden met het analoge signaalopnamesysteem (DAS/transiëntrecorder) zodat beide signalen precies op hetzelfde moment in een geheugen gestopt worden.

De multiscaler heeft een eigen geheugen.

3.3 De computer

De computer komt in actie wanneer de proef genomen is. Zij leest de nodige geheugens en verwerkt de meetgegevens. De meetfrequentie is bekend en daaruit is ook de tijd bekend waarbij de metingen verricht zijn.

Dus behalve de $\bar{\sigma}$ en $\bar{\epsilon}$ kan ook $\dot{\bar{\epsilon}}$ (deze is afhankelijk van de straal en het toerental van de draaibank) berekend worden.

Voor deze computer heeft men verschillende mogelijkheden:

- a. M68000
- b. LSI 11
- c. andere computer

De M68000 is apart voor het Eurobussysteem ontworpen. Deze computer past zoals de andere modules in de Eurocrate en wordt net als de rest van het Eurobussysteem binnen de THE geproduceerd.

De LSI 11 is een computer geleverd van buiten de THE.

D.m.v. een (reeds ontwikkelde) koppelinterface kan zij rechtstreeks gekoppeld worden aan het Eurobussysteem.

Ditzelfde zou men ook voor andere computers kunnen doen, echter dan moet die koppelinterface apart ontwikkeld worden hetgeen het nodige geld en de nodige tijd kost.

Overeenkomsten en verschillen tussen de M68000 en de LSI 11

Overeenkomsten:

- Beide systemen beschikken over zeer veel rekenmogelijkheden
- Beide systemen dienen aangesloten te worden op een achtergrondgeheugen:
 - + Beide systemen kunnen aangesloten worden op de "Host". Dit is een computer van de afdeling natuurkunde met zeer veel achtergrondgeheugen (een groot formaat floppy's). Via deze Host heeft men een verbinding met de Burroughs.
 - + De LSI 11 kan aangesloten worden op aparte floppy-discapparatuur. De floppy's behorende bij dit systeem hebben een beperkte geheugencapaciteit.
 - + De M68000 kan (onder voorbehoud) binnenkort op Manchester-schijf-apparatuur aangesloten worden. Dit zijn floppy's met 10M-byte geheugencapaciteit. Deze floppy's kunnen dan gelezen worden door de Burroughs (back-up).
- Beide systemen programmeert men doorgaans via een terminal.
- Het aansluiten van een X-Y-schrijver gebeurt voor beide systemen d.m.v. een aparte interface die digitale signalen vertaalt in analoge (Digital-Analoog converter DAC).
Via deze interface kan een X-Y-schrijver rechtstreeks gekoppeld worden aan de Eurocrate.
- Men werkt in het algemeen in een apart ontwikkelde taal namelijk de Program Editor and Processor (PEP) taal, welke is afgeleid van Algol en Pascal.
Het is echter mogelijk/wordt binnenkort mogelijk met andere talen te werken indien men dat zou wensen:
 - + Voor de M68000 is het UNIX-operating system in ontwikkeling
 - + De LSI 11 heeft een RT 11-operating system.

Verschillen:

	M68000	LSI 11
productie	binnen de THE	buiten de THE
koppeling Eurocrate	past in Eurocrate	met koppelinterface
indien gekozen wordt voor een eigen floppy-systeem	(onder voorbehoud) flinke geheugen-capaciteit per floppy back-up	beperkte geheugen-capaciteit per floppy geen back-up
kostprijs computer (excl. terminal)	f 5800	f 18000
kostprijs terminal	f 2200	f 2200
kosten eigen floppy-systeem	f 6000 - 7000	f 5000
kostprijs totaal ongeveer	f 14000 - 15000	f 25000

Aansluiting op de Host.

Zoals eerder vermeld fungeert de Host voornamelijk als achtergrond-geheugen voor vele meetopstellingen.

De Host is verbonden met de Burroughs zodat deze de geheugens van de Host kan lezen.

Deze Host-computer staat op de afdeling natuurkunde. Het is technisch gezien geen probleem een verbinding te leggen van bv. de W-hal naar deze computer.

Normaal gezien zou men deze verbinding na enig overleg over oa. financiële aspecten snel kunnen krijgen.

De Host is zo goed als geheel bezet door reeds aangesloten proefopstellingen.

Het is daarom waarschijnlijk dat er een uitbreiding zal plaatsvinden. Het is echter nog niet bekend wanneer.

Andere Computers

Zoals gezegd heeft het gebruik van andere computers in combinatie met het Eurobussysteem het nadeel dat er nog een koppelinterface ontwikkeld moet worden.

Voorbeelden van andere geschikte computers zijn de LAM die aangesloten kan worden op de Prime (?) en de Apple.

Het Eurocrate systeem met de M68000 en de LSI 11 wordt binnen de THE steeds meer gebruikt. Beide systemen worden vrijwel alleen bestuurd door de PEP-taal. Indien men door het gebruik van een andere computer genoodzaakt is een andere taal te gebruiken dan kan dat als nadeel hebben dat men geen gebruik kan maken van de tot nu toe binnen de THE ontwikkelde (dus gratis) software.

De instantie binnen de natuurkundeafdeling die de eerder beschreven apparatuur levert staat zogoed mogelijk bij eventuele problemen met raad en daad ter zijde.

Wanneer men gedeeltelijk met andere apparatuur werkt is het niet alleen veel moeilijker maar kan men wegens de drukke werkzaamheden van deze instantie niet verwachten dat men altijd dezelfde hulp krijgt.

3.4 Prijzen

In het voorgaande zijn reeds enkele prijzen genoemd.

De prijzen van de meest essentiële onderdelen van het Eurobussysteem zijn als volgt:

Eurocrate	f 1750
voeding	f 2200
multicontroller	f 400
test+termination	<u>f 400</u>
totaal ongeveer	f 5000

De interface nodig voor het aansluiten van een X-Y-schrijver kost ongeveer f 1000.

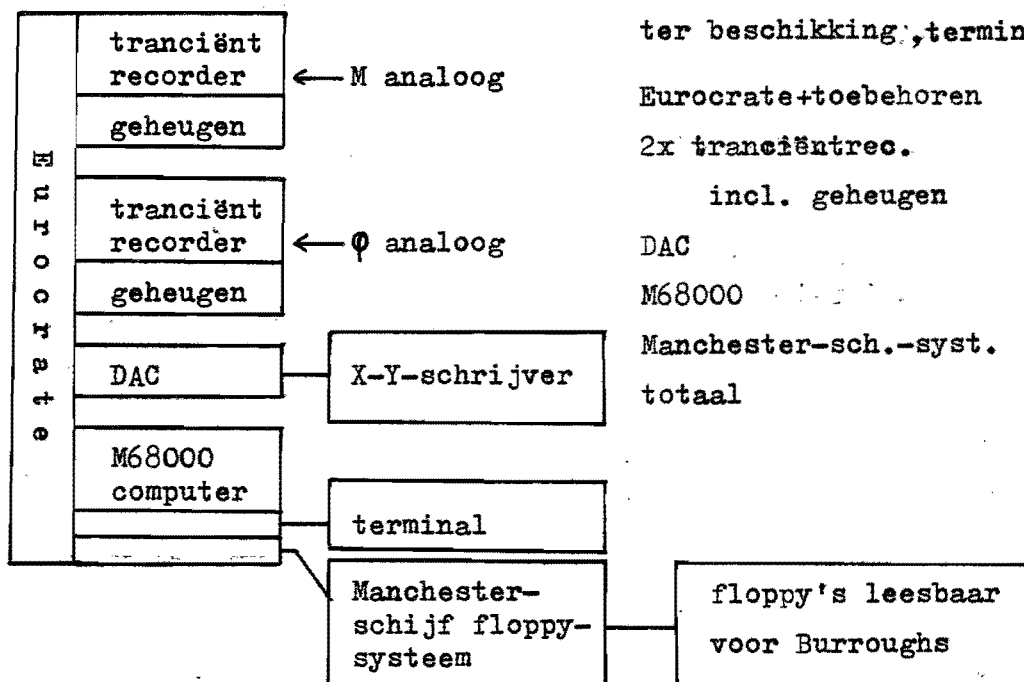
Indien men aangesloten is op de Host kan men de plaatjes ook elders binnen de THE laten maken.

Voorbeeld

Zowel de hoekmeting als de momentmeting is hier analoog.

Men kiest voor het Eurobussysteem met twee 12-bits transiëntrecorders met een M68000 computer.

Men kiest verder voor een Manchester-schijf achtergrondgeheugen en een rechtstreekse aansluiting van een X-Y-schrijver.



Kosten (indien X-Y-schrijver reeds ter beschikking, terminal ook):

Eurocrate+toebehoren	f 5000
2x transiëntrec. incl. geheugen	f 6000
DAC	f 1000
M68000	f 5800
Manchester-sch.-syst.	<u>f 7000</u>
totaal	f 25000

3.5 Opmerkingen

De uiteindelijke keuze van het systeem kan het beste in overleg met de gebruiker.

Het is verstandig zich op tijd over de elektronische aspecten van de meetopstelling te bezinnen omdat op alles een levertijd van enkele maanden zit.

De mensen die het Eurobussysteem ontwikkelen en leveren worden vaak geconfronteerd met reeds opgebouwde proefopstellingen waarvoor alleen nog even de nodige elektronische apparatuur geregeld moet worden. Vanwege de levertijd lopen de hiermee in verband staande onderzoeken onnodige vertraging op.

De geheugens, waarmee de verschillende interfaces (transiëntrecorder, DAS, multiscaler) uitgevoerd zijn, hebben tot op heden een geheugencapaciteit van 4K 16-bits (dus 4096 metingen).

Grotere geheugens zijn echter in ontwikkeling: 64K 8-bits; 32K 16-bits of 16K 32-bits.

Het is ongetwijfeld reeds duidelijk geworden dat de mogelijkheden van het Eurobussysteem nog steeds uitgebreid worden.

Niet alleen het systeem wordt uitgebreid maar ook de instantie die het ontwikkelt en produceert wordt uitgebreid.

Omdat tot op heden de zaken door één man gerund werden was de toelevering van kennis en hardware nogal kwetsbaar (bv. wegens ziekte).

Binnenkort staan er twee man voor.

4. De koppeling

In de meetopstelling is de koppeling nodig omdat de draaibank te langzaam aanloopt. Dit duurt namelijk enkele seconden terwijl de proef bij 3000 omw/min slechts 0,15 seconde (voor $n = 2$) duurt.

De koppeling moet het volgende moment overdragen:

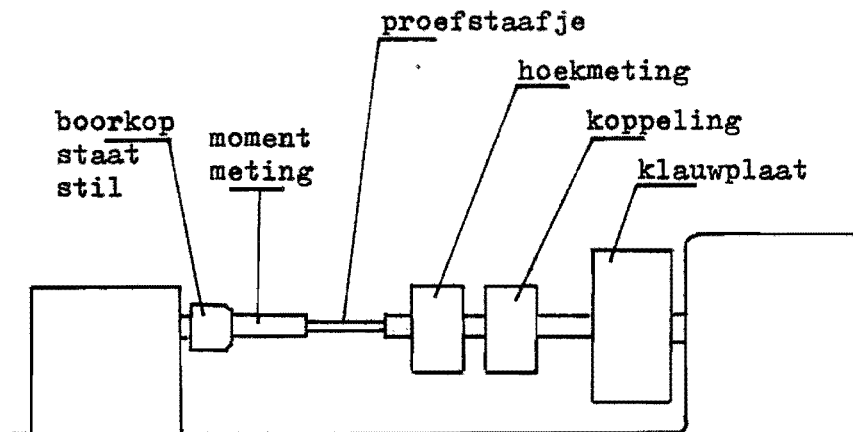
$$M = \left(2\pi \left(\frac{r}{2\sqrt{3}} \right)^n \cdot \frac{C}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r^3}{n+3} \right) \cdot \varphi^n$$

Vereenvoudiging: het staafje bezwijkt indien in het buitenoppervl. therm. inst. optreedt.

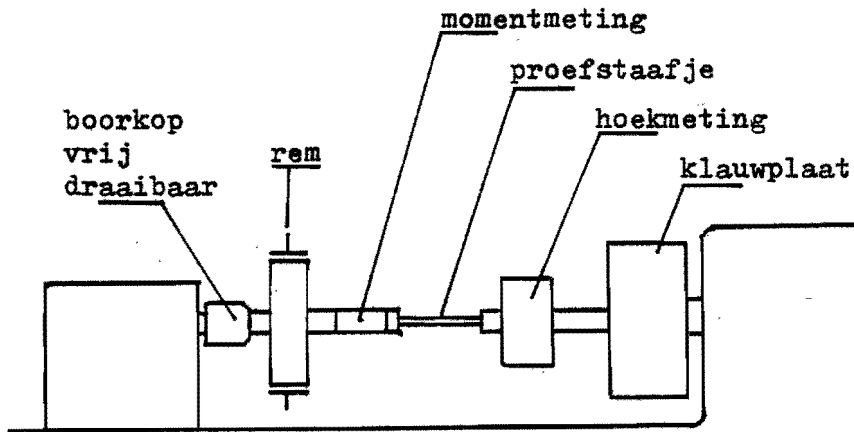
	AISI 301	Inc.625	Ti	koper
$\bar{E}_{br.th.in}$	1,73	1,86	1,83	1,71
$\varphi_{br.th.in}$	40,0	43,0	42,2	39,5
$M_{max} = M_{br.th.in}$	27,5	27,0	29,8	11,6

(φ in rad.; M in Nm)

Men kan de opstelling uitvoeren met een koppeling of met een rem:



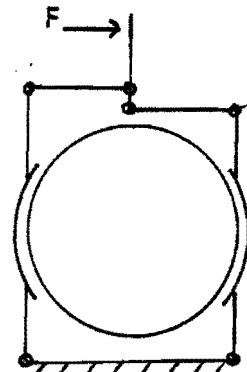
Opstelling met koppeling



Opstelling met rem

Men dient er zorg voor te dragen dat zowel de koppeling (eventuele slip verhoogt het moment) als de hoekmeting de momentmeting niet kunnen beïnvloeden, zie de figuurtjes.

De werking van de rem is gebaseerd op wrijving en ziet er bv. als volgt uit:



Er bestaan de volgende koppelingen:

		geschikt voor de snelle torsieproef
<u>A vormgesloten:</u>		
a. mechanisch (bv. klauwk.) b. electromagn. (bv. tandk.)		kunnen slechts bij een laag toerentalverschil koppelen.
<u>B krachtgesloten (wrijvingsk.)</u>		
a. mechanisch - met 2 wrijvingsplaten - lamellen		eventueel geschikt
b. electromagnetisch - met 2 wrijvingsplaten - lamellen		te langzaam (schakeltijd 0,2 sec)

Van alle mogelijkheden houdt men dus over: - mechanische wrijvingskoppeling
- rem (ook op wrijving gebaseerd)

Er zijn verschillende wrijvingskoppelingen verkrijgbaar die bij een toerental van 3000 omw/min een schakelmoment van ongeveer 200 Nm hebben hetgeen ruim voldoende is.

Bij de torsieproef is het schakelmoment bij oneindig snel schakelen zelfs gelijk aan nul.

Pas na enige draaiing van het proefstaafje is een moment opgebouwd.

Men kan twee tijdsfactoren onderscheiden bij koppelingen en remmen:

1. schakeltijd = tijd totdat de volledige aandrukkracht gerealiseerd is.

2. sliptijd (afhankelijk van de belasting)

Wanneer men de koppeling/rem overdimensioneert kan het volledige koppel al binnen de schakeltijd gerealiseerd zijn omdat bv. de helft van de aandrukkracht, die de koppelplaten op elkaar drukt, al voldoende is om het volledige moment over te dragen.

De sliptijd is dan korter dan de schakeltijd.

Bij de opgaven van koppelingen en remmen ontbreekt een schakeltijd.

De schakeltijden van de grote koppelingen en remmen hoeft niet groter te zijn dan van de kleine indien de bekrachtiging met gelijke grootte toeneemt als de massatraagheid van de bewegende onderdelen.

Deze overwegingen leiden tot de conclusie dat een grote koppeling of rem sneller het benodigde moment kan overdragen.

De rem kan men meer overdimensioneren dan de koppeling omdat deze niet met het hoge toerental hoeft mee te draaien zodat deze een zeer korte sliptijd kan hebben. (Hoe groter de koppeling hoe lager het toelb.toer. Voor een grote rem is echter een groot remwiel nodig waarvan de massatraagheid het noodzakelijk maakt dat de draaibank niet te snel aanloopt.

Als hij dat wel zou doen zou het proefstaafje bij het aanlopen al plastisch gedeformeerd kunnen worden.

Opm. Het langzaam aan laten lopen van de draaibank is bij het gebruik van een grote klauwplaat (gewenste massatraagheid; zie hoofdstuk draaibank) meestal toch al noodzakelijk ter bescherming van de aandrijving van de draaibank.

Voor en nadelen van de koppeling en de rem:

	mechanische wrijvingskoppeling	rem
sliptijd	moeilijk te schatten	door overdimensioneren van de rem kort te maken
aanloop draaibank	niet gelimiteerd	langzaam aanlopen
consequenties voor de rest van de opstelling	vast opgestelde momentopnemer mogelijk	momentopnemer moet meedraaien (sleepringen nodig)
warmteontwikkeling	door het lage over te brengen koppel door een overgedimensioneerde koppeling/rem en de korte sliptijd is de warmteontwikkeling laag	

5. De draaibank

Het torderen van het proefstaafje vraagt een vermogen en energie van:

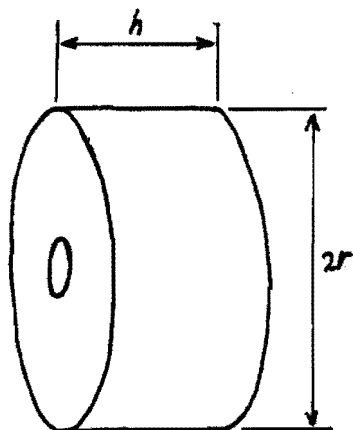
$$P = \left(2\pi \left(\frac{r}{lV^3} \right)^n \cdot \frac{C}{V^3} \cdot \frac{r^3}{n+3} \right) \varphi^n \cdot \dot{\varphi} = M(\varphi) \cdot \dot{\varphi}$$

$$E = \left(2\pi \left(\frac{r}{lV^3} \right)^n \cdot \frac{C}{V^3} \cdot \frac{r^3}{n+3} \cdot \frac{1}{n+1} \right) \varphi^{(n+1)}$$

Het hoogste vermogen wordt gevraagd in het hoogste toerental (3000 omw/min) en bij $\bar{E} = \bar{E}_{br.th.in.}$. Dit laatste geldt ook voor hoogst benodigde energie:

	AISI 301	Inc.625	Titanium	koper
P_{max} (kW)	8,62	8,47	9,38	3,60
E_{max} (kJ)	1,10	1,16	1,26	0,46

De kinetische energie opgeslagen in een grote klauwplaat door de vliegwielwerking:



$$r = 0,1 \text{ m}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$$

$$3000 \text{ omw/min} \rightarrow \dot{\varphi} = 314 \text{ rad/sec}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \rho h \pi r^4$$

$$= 1,26 \times 10^{-1} \text{ kgm}^2$$

$$E_{kin} = \theta \cdot \dot{\varphi}^2 / 2$$

$$= 6,21 \text{ kJ}$$

Zou men een normale draaibank van ongeveer 10 PK nemen, d.w.z. ongeveer 7 kW met een rendement van 75 % dan is het afgegeven vermogen ongeveer 5 kW.

Voor materiaal AISI 301 geldt bv. : $8,62 - 5 \text{ kW} = 3,62 \text{ kW}$ moet door de vliegwielwerking van de klauwplaat geleverd worden.

Dit komt overeen met een energiehoeveelheid van 0,46 kJ.

Door deze afname van de kinetische energie van de klauwplaat gaat deze gedurende de proef langzamer draaien $\dot{\phi}_{\text{eind van de proef}} = 302 \text{ rad/sec}$ i.p.v. 314 rad/sec (afwijking 4 %).

Opm. Uiteraard heeft de aandrijving van de draaibank ook een massatraagheid zodat de hoeksnelheid minder afneemt.

Het is mogelijk dat de moter van de draaibank niet snel genoeg reageert op de torsieproef d.w.z. dat de moter niet het volle vermogen tijdens de proef afgeeft.

Stel dat men alleen de vliegwielenergie van de klauwplaat ter beschikking heeft:

voor bv. AISI 301 geldt: benodigde energie 1,10 kJ

dan neemt de hoeksnelheid gedurende de torsieproef af tot:
= 285 rad/sec i.p.v. 314 rad/sec (afwijking 9,3 %).

Zoals eerder genoemd mogen niet alle draaibanken met de zwaarste klauwplaat in het hoogste toerental aanlopen.

Indien men een draaibank heeft waarbij men langzamer kan aanlopen kan dit weer wel.

6. Afsluiting

In dit vooronderzoek is gepoogd alle aspecten die bij de snelle torsieproef op de draaibank naar voren komen te bekijken en in te schatten.

Soms zijn er verschillende mogelijkheden en soms is het niet honderd procent zeker vast te stellen of de meest eenvoudige oplossing voldoet.

Zo zal men bv. bij het proefdraaien van de opstelling na moeten gaan of de klauwplaat alleen genoeg vliegwielenergie heeft of dat er een extra vliegwiel bijgezet moet worden (dit is afhankelijk van de eisen aan de constantheid van het toerental).

Een ander voorbeeld is: Men moet zijn best doen de schakeltijd van de koppeling/rem zo kort mogelijk te laten zijn.

Pas bij de proefnemingen kan men bepalen of hierdoor eventueel het maximale toerental beperkt is.