

## Rekmetingen aan een CV-ketel

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

IJzermans, J. M. M., & Braak, L. H. (1987). *Rekmetingen aan een CV-ketel*. (DCT rapporten; Vol. 1987.046). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1987

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

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

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

[Link to publication](#)

**General rights**

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

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

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

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

**Take down policy**

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

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

providing details and we will investigate your claim.

Rekmetingen aan een  
CV-ketel

J.M.M. IJzermans  
Dr.ir. L.H. Braak

WFW 87.046

juli '87

In opdracht van:  
AWB te Beek en Donk

**Inhoudsopgave**

1. Inleiding	.	.	.	.	.	.	3
2. Voorbereiding	.	.	.	.	.	.	4
3. Het meetprotocol.	.	.	.	.	.	.	6
4. Uitvoering	.	.	.	.	.	.	8
5. Resultaten	.	.	.	.	.	.	9
6. Conclusies	.	.	.	.	.	.	11

## 1. Inleiding

Als vervolg op eerder uitgevoerde metingen voor AWB te Beek en Donk, zie rapport WE 83.03, is een serie metingen uitgevoerd aan een gasgestookte CV-ketel met een capaciteit van 17-21 kWatt.

De metingen werden verricht aan de hand van het meetprotocol dat tijdens eerdere beproevingen werd opgesteld. De plaatsing van de rekstrookjes werd niet gewijzigd, wel werd nieuwe meetapparatuur gebruikt. De resultaten worden in een hanteerbare vorm door een computer gepresenteerd.

De metingen werden uitgevoerd in het gebouw voor Warmte en Strooming van de faculteit Werktuigbouwkunde der TU Eindhoven. Ir. G. Janssen wordt hartelijk dank gezegd voor de steun die hij heeft geboden bij de warmte-technische uitvoering van de metingen.

## 2. Voorbereiding

In fig. 1. is aangegeven op welke plaatsen van het membraan de rosettestrookjes zijn aangebracht. Zowel bij de wateruitlaat als 90° verder is een dummy aangebracht om temperatureffecten in de brugschakelingen zoveel mogelijk te compenseren. De temperatuur wordt bepaald met behulp van een PT-100 element.

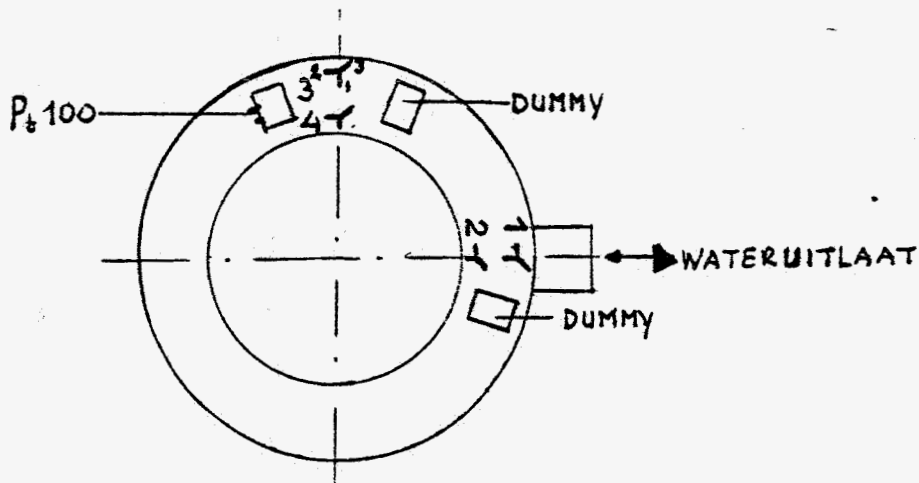


Fig. 1. Plaats van de meetelementen

In elk meetpunt wordt gebruik gemaakt van een rosettestrookje met drie filamenten. Het strookje is zo geplakt dat steeds één filamentrichting samenvalt met de radiale, resp. tangentiële richting. Het derde filament maakt een hoek van 45° met de radiale richting.

Type rosette: PR 5-11; K-factor 2.06 ; fabr. TOKIO SOKKI  
Type lijm : P-2 ; fabr. TOKIO SOKKI  
Type temperaturelement: PT-100 ; fabr. Thermo Electra BV

### Schakeling

Elk actief filament van een rosette vormt samen met een filament van de bijbehorende dummy een halve brug van Wheatstone. Met behulp van een meerkanaals meetinstallatie (Hottinger UPH 3200) worden de afzonderlijke

halve bruggen bemonsterd. Tijdens een meetcyclus van ongeveer 1.5 sec worden alle filamenten één keer gemeten; daarna is er een rustperiode van circa 5 sec voordat de volgende meetcyclus start. Alle gemeten rekwaarden worden in series weggeschreven naar de PR1ME 750, de rekenmachine van de faculteit Werktuigbouwkunde.

Na afloop van de metingen worden de meetwaarden door middel van een verwerkingsprogramma omgezet in relevante spanningsgrootheden per meetpunt, waaruit vervolgens de vergelijkspanning volgens Huber-Hencky wordt berekend.

### 3. Het meetprotocol

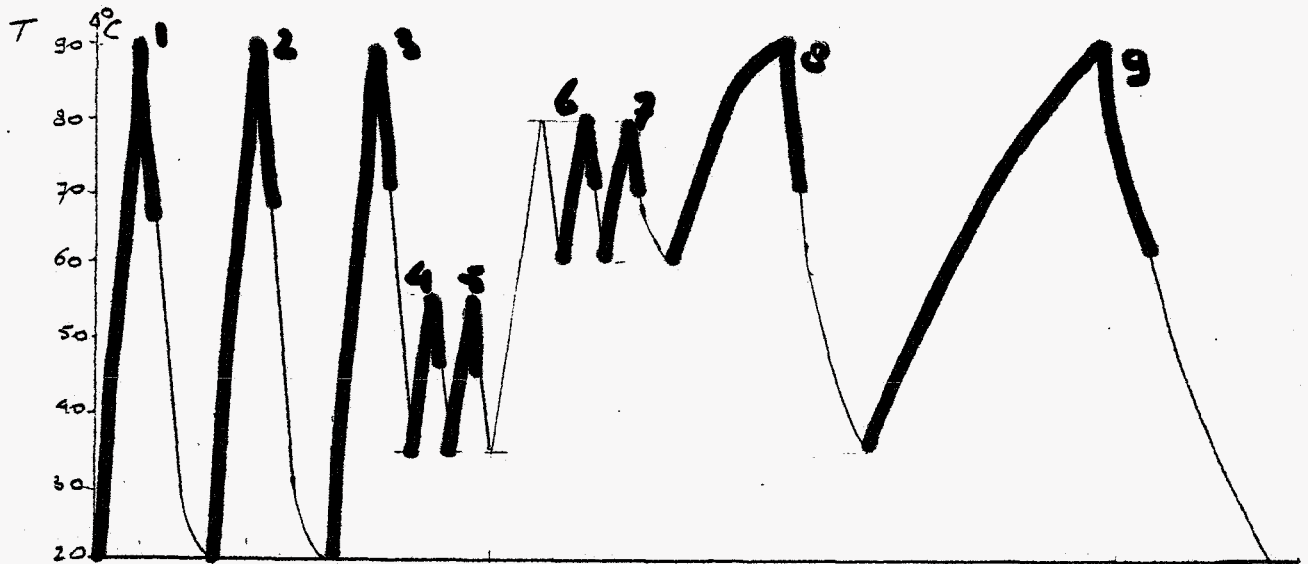


Fig. 2. Het meetprotocol

Het protocol omvat de volgende situaties:

#### 1. Uitgangssituatie

De watertemperatuur wordt geregeld naar  $T = 20^{\circ}\text{C}$ . De waakvlam is aan, de ketel is zo goed mogelijk ontluicht, de waterdruk ligt in de orde van 1.5 bar. In deze situatie worden alle halve brugschakelingen op automatisch nul afgeregeld.

#### 2. Proefstoken

Gezien het optreden van plastische vervorming in het membraan wordt het temperatuurinterval van  $20^{\circ}$ -  $90^{\circ}\text{C}$  een drietal keer zonder externe koeling zo snel mogelijk doorlopen.

De meetresultaten worden verzameld in de serie's 1, 2 en 3. Een meetserie wordt afgebroken enige tijd nadat de maximumtemperatuur bereikt is; het gehele afkoeltraject wordt dus niet steeds bemonsterd.

#### 3. Normale stookcyclus

Het stooktraject  $35^{\circ}$ -  $55^{\circ}\text{C}$  wordt tweemaal doorlopen. De minimum- en maximumtemperatuur wordt door middel van de ketelthermostaat ingesteld.

Zie de meetserie's 4 en 5.

**4. Vollastcyclus**

Bij vollast wordt het temperatuurinterval  $60^{\circ}\text{C}$ -  $80^{\circ}\text{C}$  doorlopen. Vanuit de vorige instelling wordt eerst het maximumpunt afgeregeld, vervolgens wordt de vollastcyclus tweemaal doorlopen.

Zie de meetserie's 6 en 7.

**5. Stoken met vergrote warmtecapaciteit**

Vanuit  $60^{\circ}\text{C}$  wordt opgewarmd tot circa  $90^{\circ}\text{C}$ , waarna de brander aan moet blijven. De warmtecapaciteit van het systeem wordt vergroot door tijdens het stoken de koeling van de warmtewisselaar aan te laten. Na het bereiken van de maximumtemperatuur wordt afgekoeld tot  $30^{\circ}\text{C}$ , waarna opnieuw langzaam wordt opgewarmd.

Zie meetserie 8 en 9.

**6. Afkoelen**

Als laatste stap wordt de ketel langzaam afgekoeld tot circa  $20^{\circ}\text{C}$ .



#### 4. Uitvoering

Bij de uitvoering van de metingen volgens het eerder genoemde meetprotocol bleek dat in de vierde meetserie het tangentieel gerichte filament van rekstrookje 4, aan de binnenzijde van het membraan, geen betrouwbare resultaten gaf.

Uit de eerste meetserie's blijkt echter een grote overeenkomst in het gedrag van de rekstrookjes aan de binnenzijde van het membraan. Bovendien geeft steeds het strookje bij de wateruitlaat de hoogste spanning.

Uit de vergelijking van de reknivo's van de rekstrookjes 2 en 4 bleek bij volgende meetserie's dat de gemeten rekken weer opnieuw betrouwbaar leken. Zodoende is alleen voor de meetserie's 4, 5 en 6 de presentatie van de resultaten beperkt tot slechts drie meetplaatsen.

In de grafieken staat langs de horizontale as steeds het cyclusnummer, dat evenredig is met de tijd. Het is niet mogelijk de spanningen direct te relateren aan de temperatuur, maar via de temperatuurgrafiek die ook tegen de meetcyclus is uitgezet, is het verband tussen spanning en temperatuur wel te leggen.

De rekstrookjes zijn zodanig georiënteerd dat een hoofdspanningsrichting van  $45^{\circ}$  aangeeft dat de hoofdspanningen zuiver radiaal en tangentiaal gericht zijn.

## 5. Resultaten

### Het proefstoken

Ten gevolge van de fabricage van de ketel zullen er in het membraan lasspanningen aanwezig zijn. Bij het proefstoken zullen deze spanningen gedeeltelijk gereduceerd worden; ten opzichte van de uitgangssituatie meten wij na het proefstoken dan ook schijnbare restspanningen. De exacte waarden van de restspanningen kunnen op deze manier niet worden bepaald, de invloed van deze spanningen is in elke meetserie merkbaar door het beginnivo van de spanning en door de verdraaiing van de hoofdspanningsrichting aan het begin en einde van een meetserie.

Alleen tijdens meetserie 1 is rekstrookje 1, aan de buitenzijde van het membraan het hoogst belast. Tijdens alle volgende meetserie's geeft steeds rekstrookje 2 de hoogste spanning, maar ten opzichte van de situatie na het proefstoken zijn rekstrookje 2 en 4 gelijkwaardig.

Uit de temperatuurgrafieken blijkt dat in meetserie 2 en 3 eenzelfde verloop gevolgd wordt; omdat deze metingen wat langer duren dan meetserie 1 is ook de eindtemperatuur wat hoger.

Aan het begin van de serie's 2 en 3 is duidelijk het effect van de restspanningen te zien. Verder valt op dat het maximum van de spanning optreedt lang voordat de gemeten temperatuur het maximum bereikt.

### Normale stookcyclus

In meetserie 4 en 5 wordt een nagenoeg gelijk temperatuurverloop gevolgd, de spanningen zijn daarom ook vrijwel identiek. Op het ogenblik dat de spanningen abrupt dalen omdat de brander uitvalt stijgt de temperatuur van het membraan nog licht. Het eindnivo van de spanningen en dus het beginnivo van een volgende meetserie is na het proefstoken steeds vrijwel gelijk; verdere plastische zetting treedt na het proefstoken niet meer op.

### Vollastcyclus

Ook in de meetseries 6 en 7 wordt een nagenoeg gelijk temperatuurverloop gevolgd. De maximale spanning is wat lager dan bij de vorige cyclus. Voor het overige is de overeenkomst tussen beide cycli erg groot.

### Vergrote warmtecapaciteit

Ten gevolge van de vergrote warmtecapaciteit van de installatie duurt het langer voordat de maximumtemperatuur bereikt is. Bij rekstrookje 2 en 4 wordt een nagenoeg constante waarde van de vergelijkspanning bereikt na de 30-ste meetcyclus.

In onderstaande tabel zijn de belangrijkste waarden van de spanning gegroepeerd. Onder de maximale spanning wordt verstaan de hoogste waarde van de spanning uitgaande van de ongestookte situatie. Onder de dynamische component van de spanning wordt dat gedeelte beschouwd dat alleen ten gevolge van de betreffende stookcyclus optreedt.

Tabel 1. Maximale spanningen in  $N/mm^2$ ;  
Binnenzijde membraan bij wateruitlaat.

Meetserie	Maximum spanning	Dynamische component
1	164	164
2	188	112
3	174	107
4	174	102
5	174	102
6	158	92
7	156	88
8	174	92
9	178	102

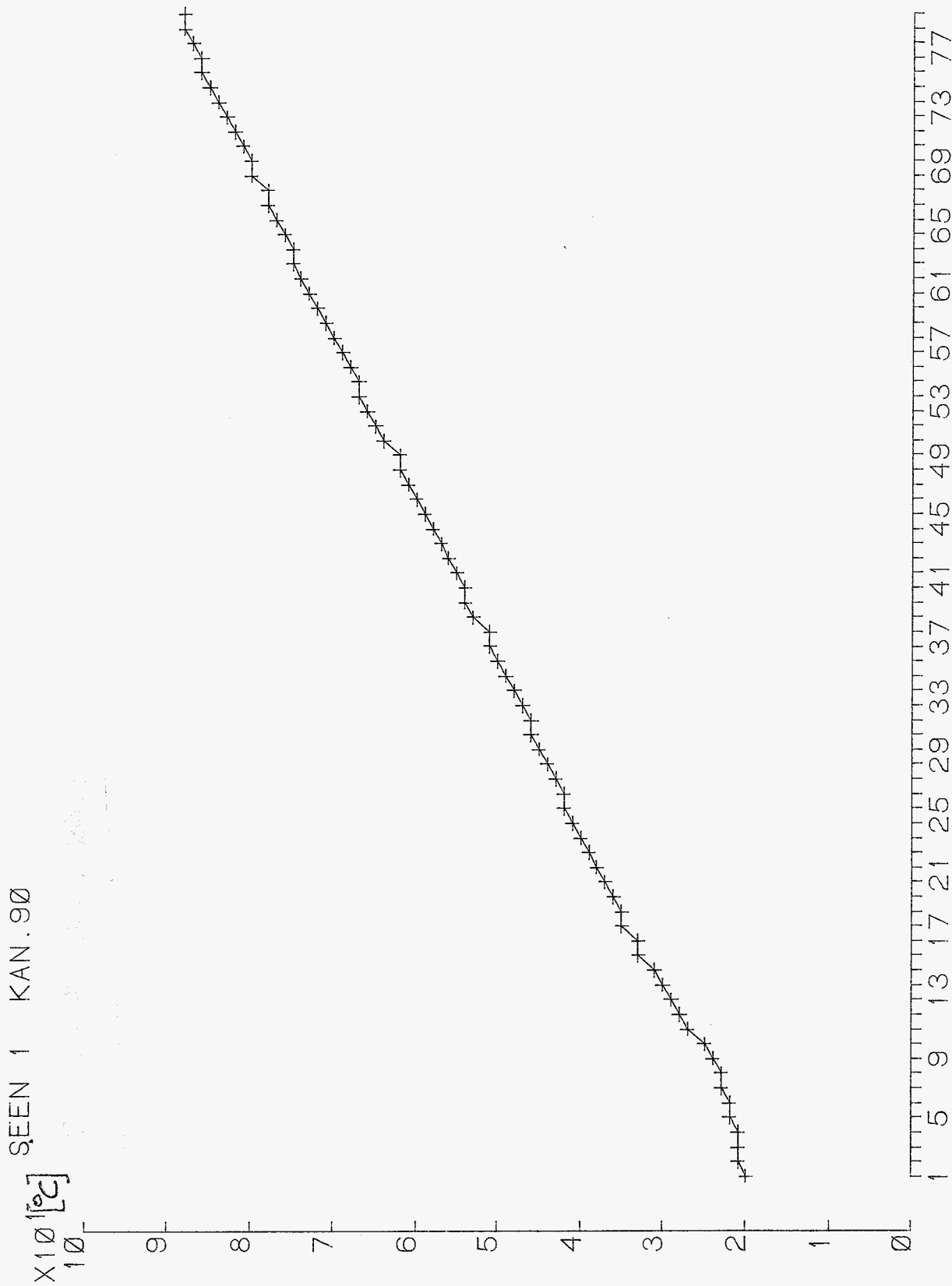
## 6. Conclusies

De ongestookte ketel bevat restspanningen als gevolg van de fabricage. Een zuiver beeld van het spanningsnivo bij de diverse stookcycli is daardoor moeilijk te verkrijgen. Na het proefstoken worden de restspanningen gedeeltelijk gereduceerd. In de rekstrookjes blijven daarna permanente rekken over, die echter geen aanleiding geven tot hoge spanningen.

De extra spanningen die het gevolg zijn van de diverse stookcycli leiden tot vergelijkspanningen in de orde van  $100 \text{ N/mm}^2$ .

Vergelijking met eerder uitgevoerde metingen (zie rapport WE 83-03) toont aan dat keteltype G1822 een nagenoeg gelijke waarde van deze dynamische spanningscomponent heeft en dat bij de G6/G12 spanningsnivo's optreden die circa 20% hoger zijn.

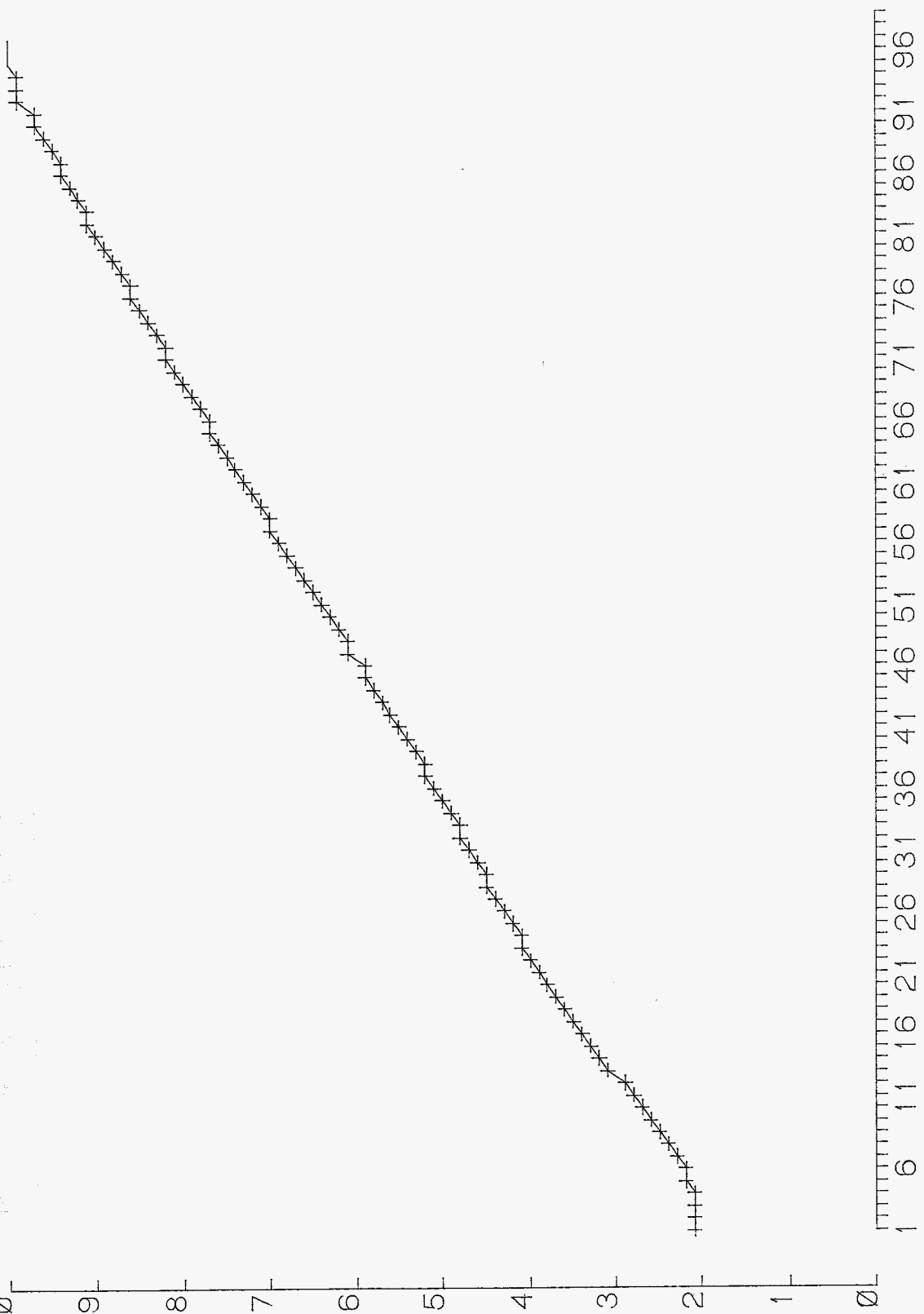
Het spanningsverloop in de onderzochte ketel is dus vergelijkbaar met dat van ketel G1822. Uitspraken die voor deze ketel gelden met betrekking tot toelaatbaarheid van de spanning of de levensduur zullen ook gelden voor de onderhavige ketel.



Grafiek 1. Temperatuurverloop serie 1

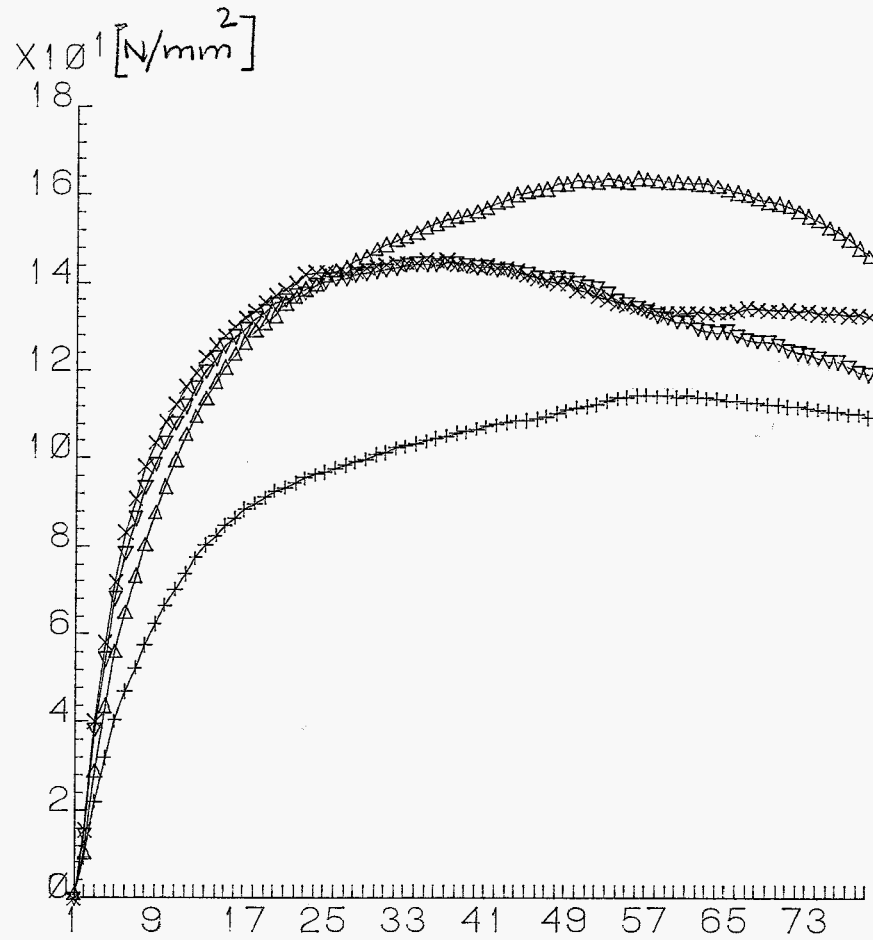
STWEE 1 KAN. 90

X10 [°C]



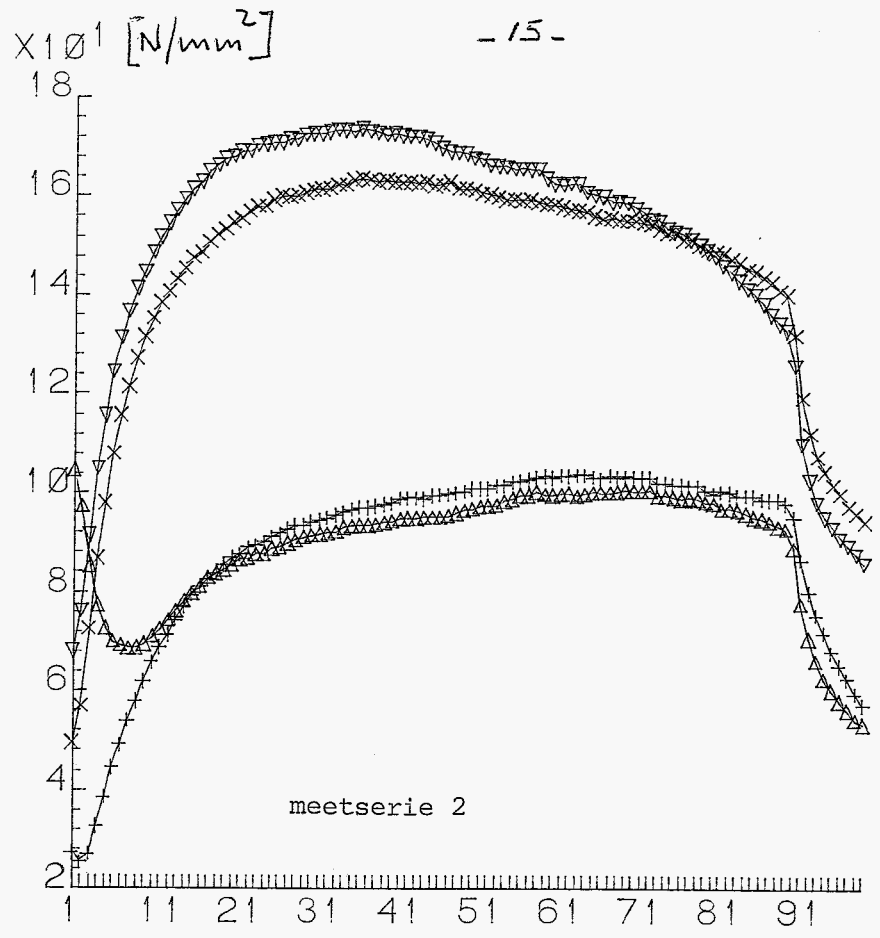
CYCLUS

Grafiek 2. Temperatuurverloop serie 2 en 3

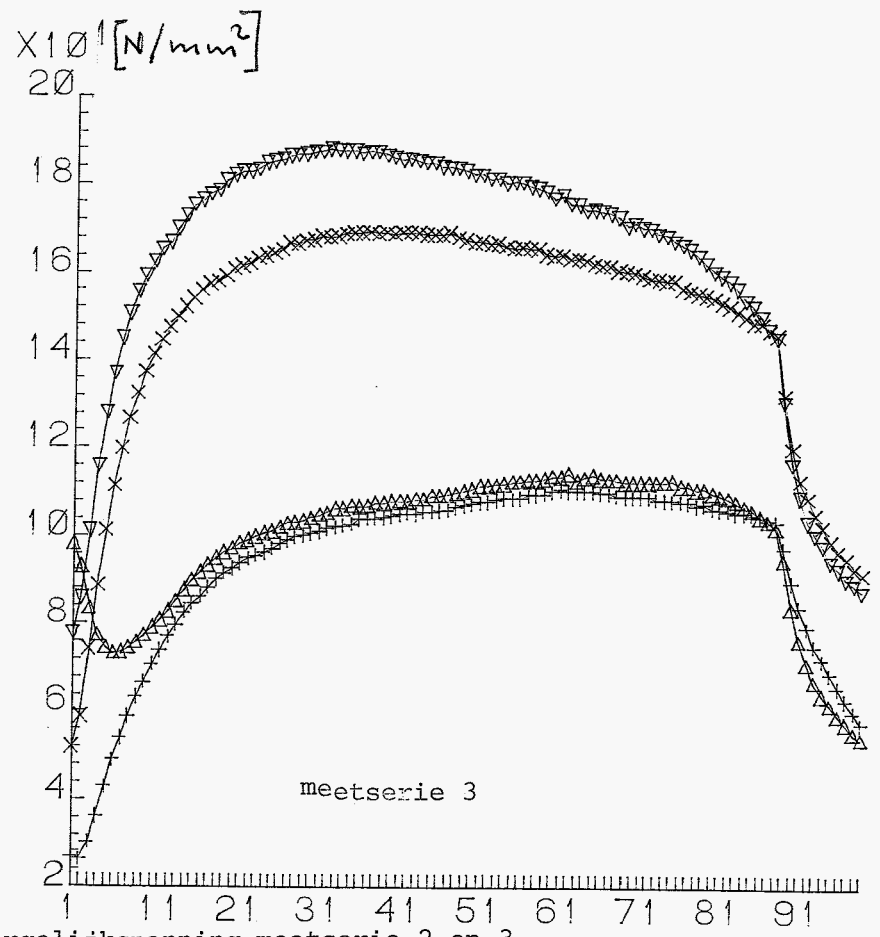


- △ REKSTROOK1  
HUBER\_EN\_HENCKY\_SPANNING
- ▽ REKSTROOK2  
HUBER\_EN\_HENCKY\_SPANNING
- + REKSTROOK3  
HUBER\_EN\_HENCKY\_SPANNING
- × REKSTROOK4  
HUBER\_EN\_HENCKY\_SPANNING

Grafiek 3. Vergelijkspanning serie 1

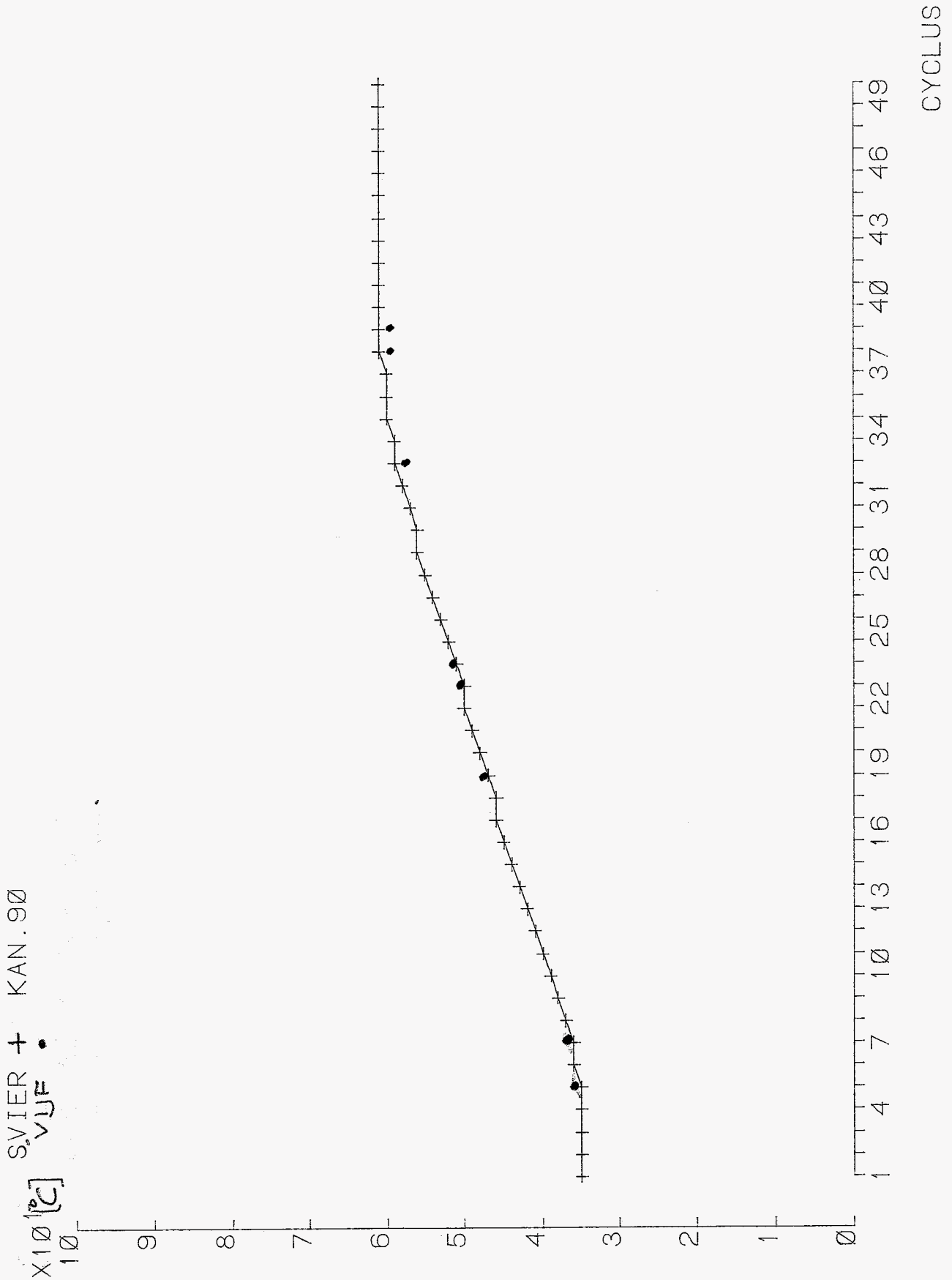


- △ REKSTROOK1  
HUBER\_EN\_HENCKY
- ▽ REKSTROOK2  
HUBER\_EN\_HENCKY
- + REKSTROOK3  
HUBER\_EN\_HENCKY
- × REKSTROOK4  
HUBER\_EN\_HENCKY

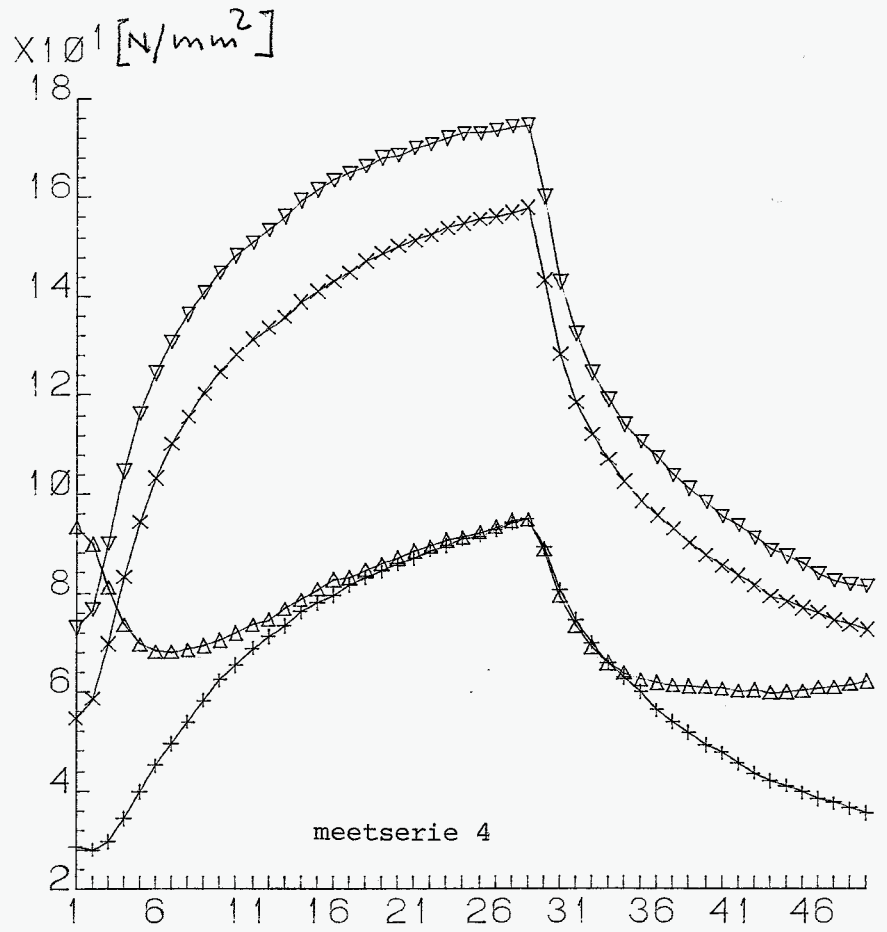


Grafiek 4. Vergelijkspanning meetserie 2 en 3

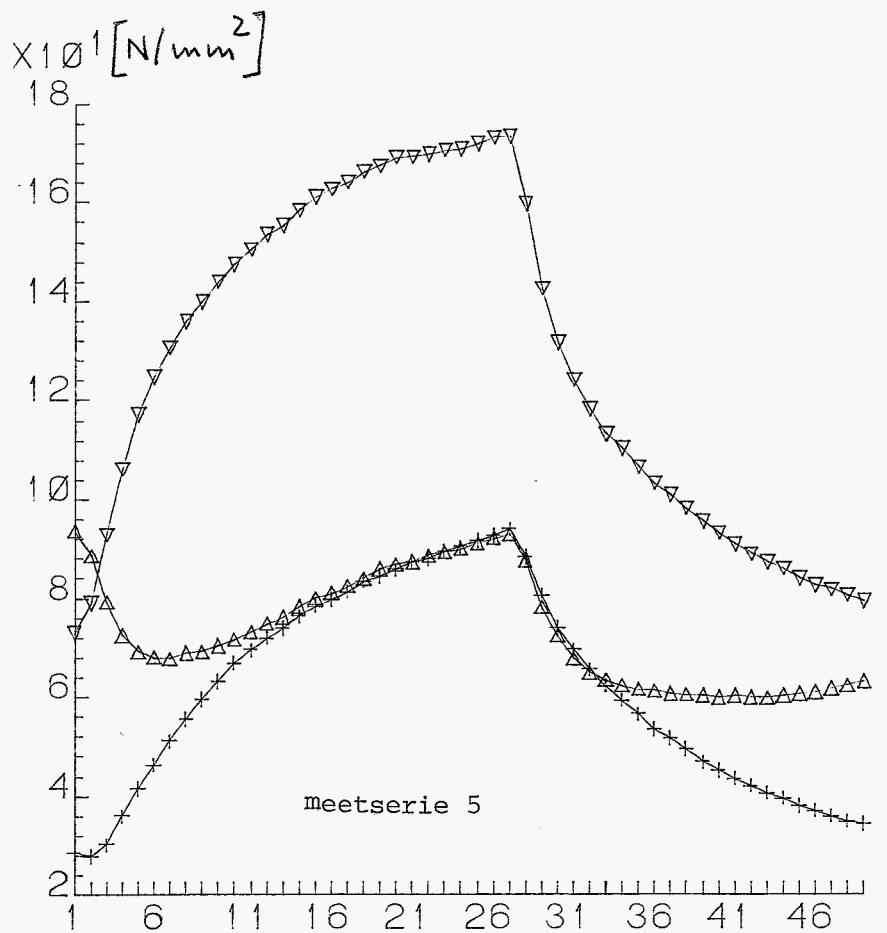




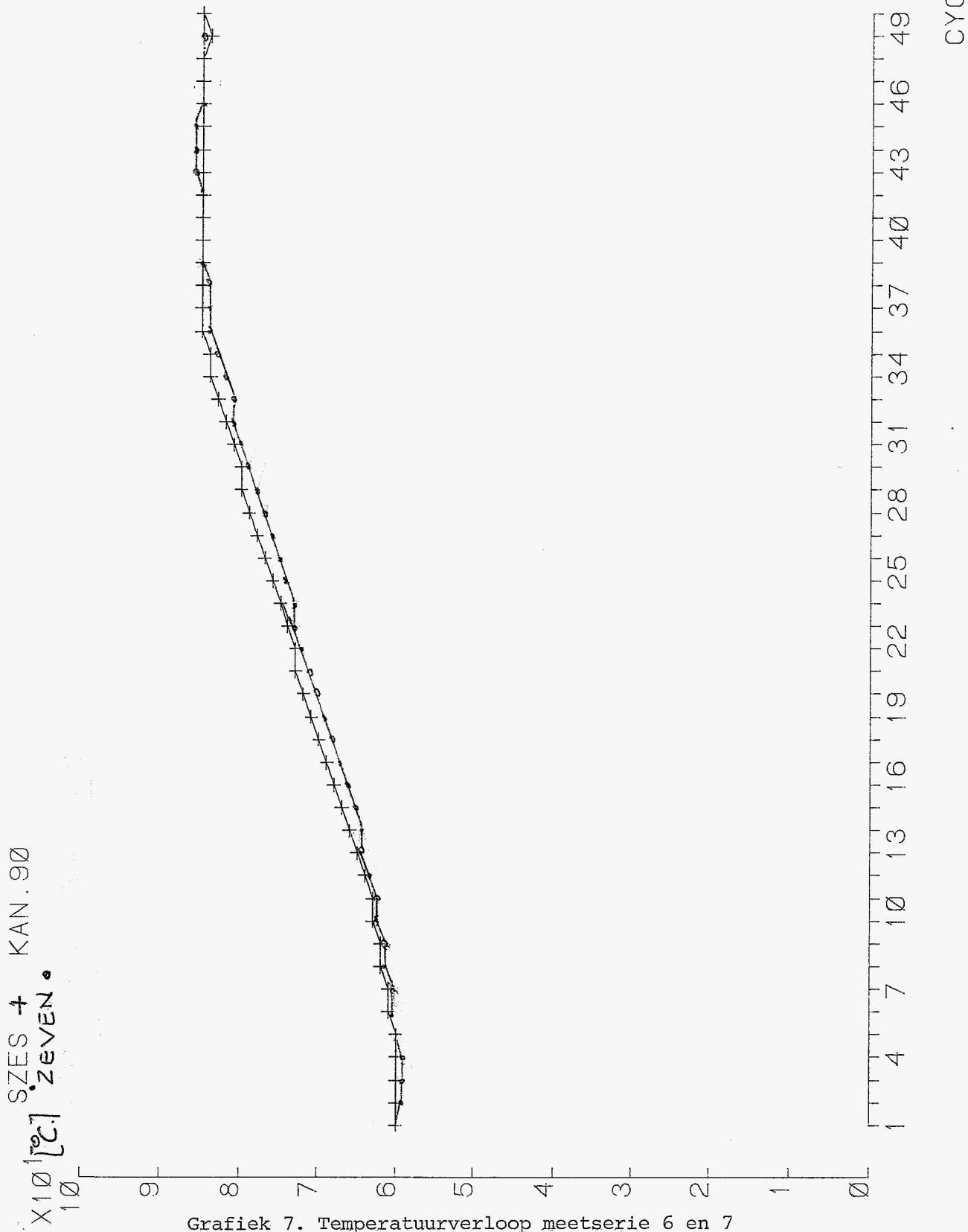
Grafiek 5. Temperatuurverloop meetserie 4 en 5



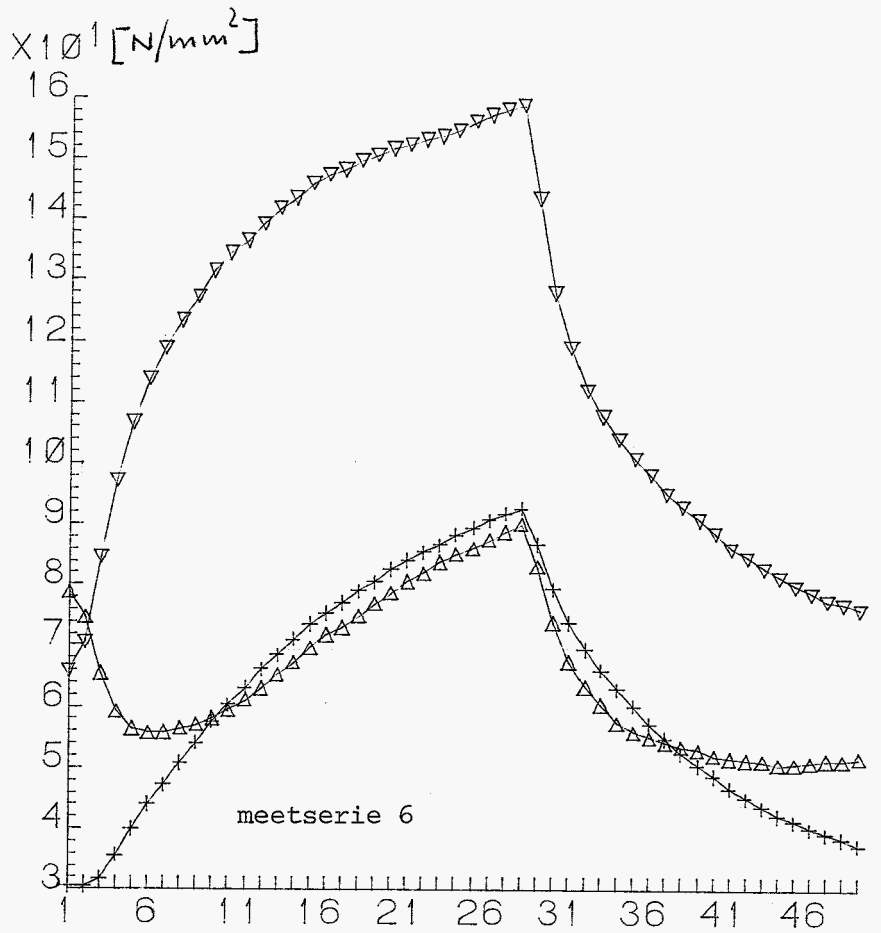
- $\Delta$  REKSTROOK1  
HUBER\_EN\_HENCKY
- $\nabla$  REKSTROOK2  
HUBER\_EN\_HENCKY
- $+$  REKSTROOK3  
HUBER\_EN\_HENCKY
- $\times$  REKSTROOK4  
HUBER\_EN\_HENCKY



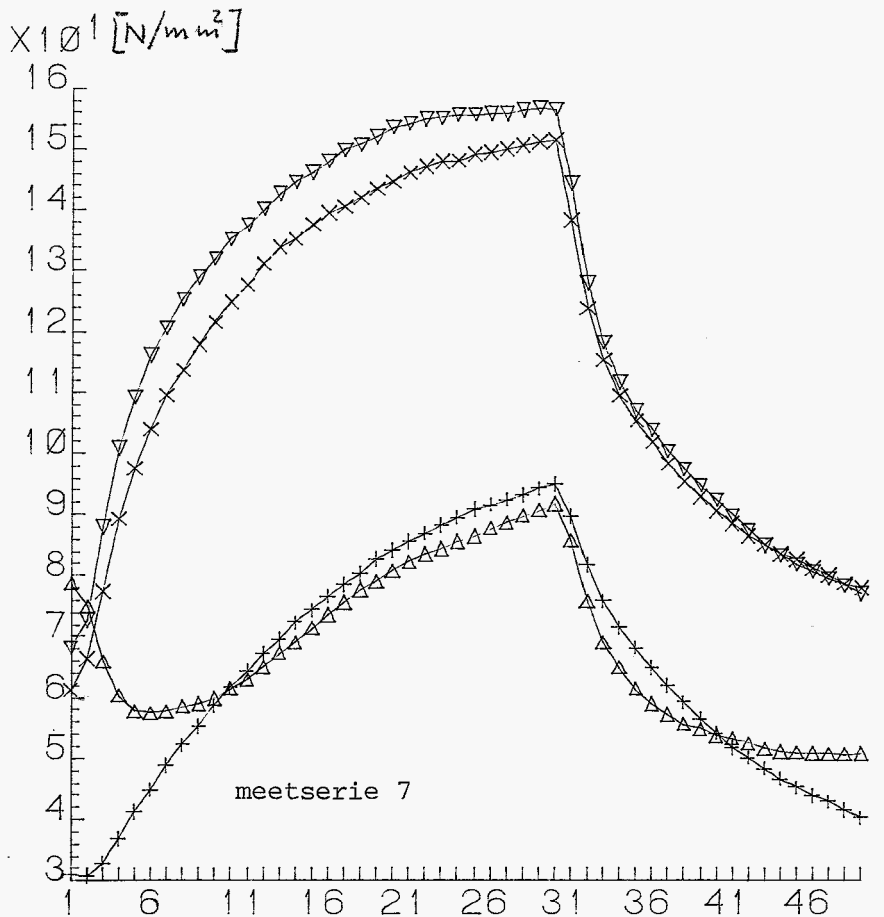
Grafiek 5. Vergelijkspanning meetserie 4 en 5



Grafiek 7. Temperatuurverloop meetserie 6 en 7

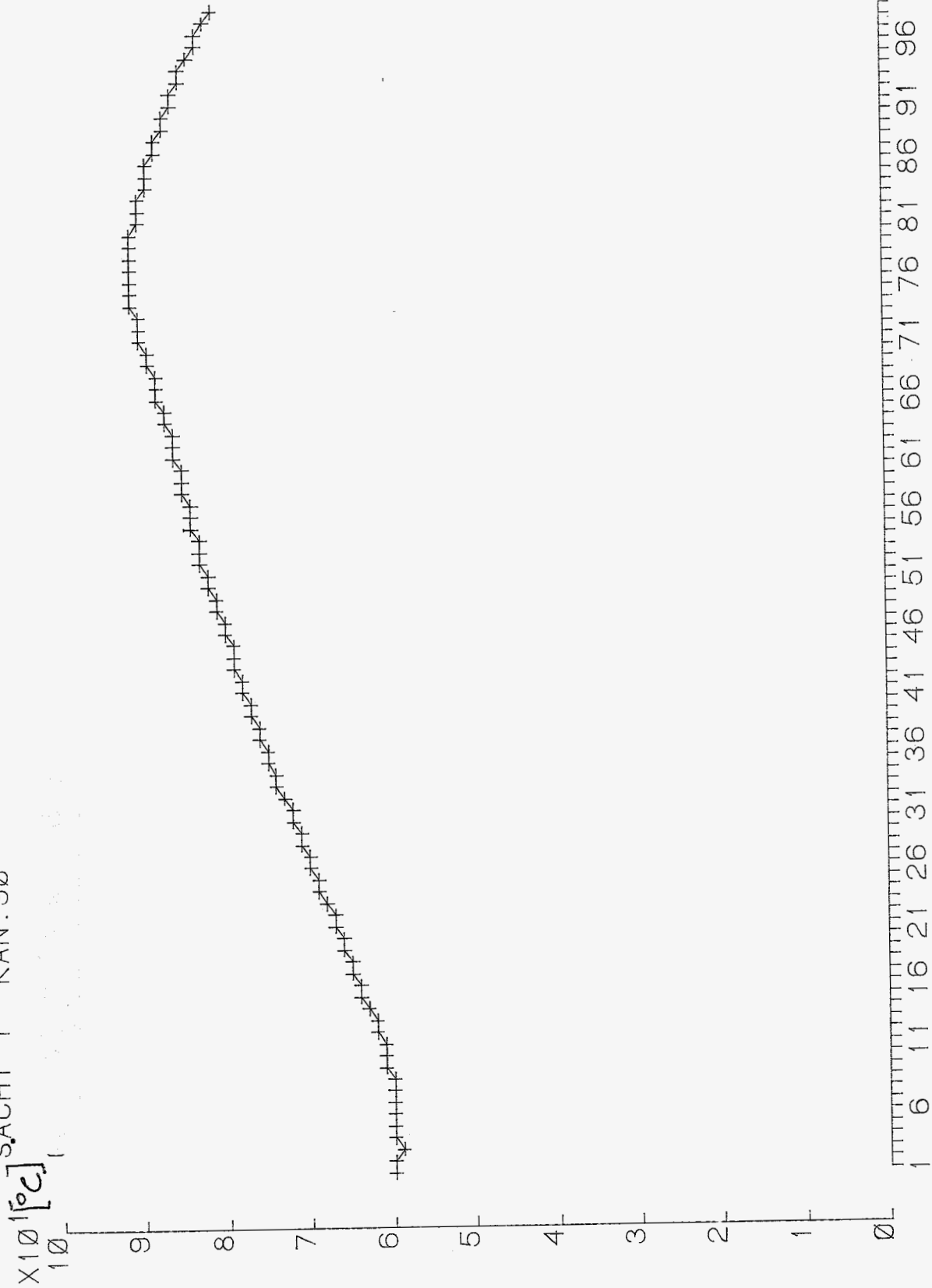


- △ REKSTROOK1  
HUBER\_EN\_HENCKY
- ▽ REKSTROOK2  
HUBER\_EN\_HENCKY
- + REKSTROOK3  
HUBER\_EN\_HENCKY
- × REKSTROOK4  
HUBER\_EN\_HENCKY



Grafiek 8. Vergelijkspanning meetserie 6 en 7

SACHT 1 KAN. 90

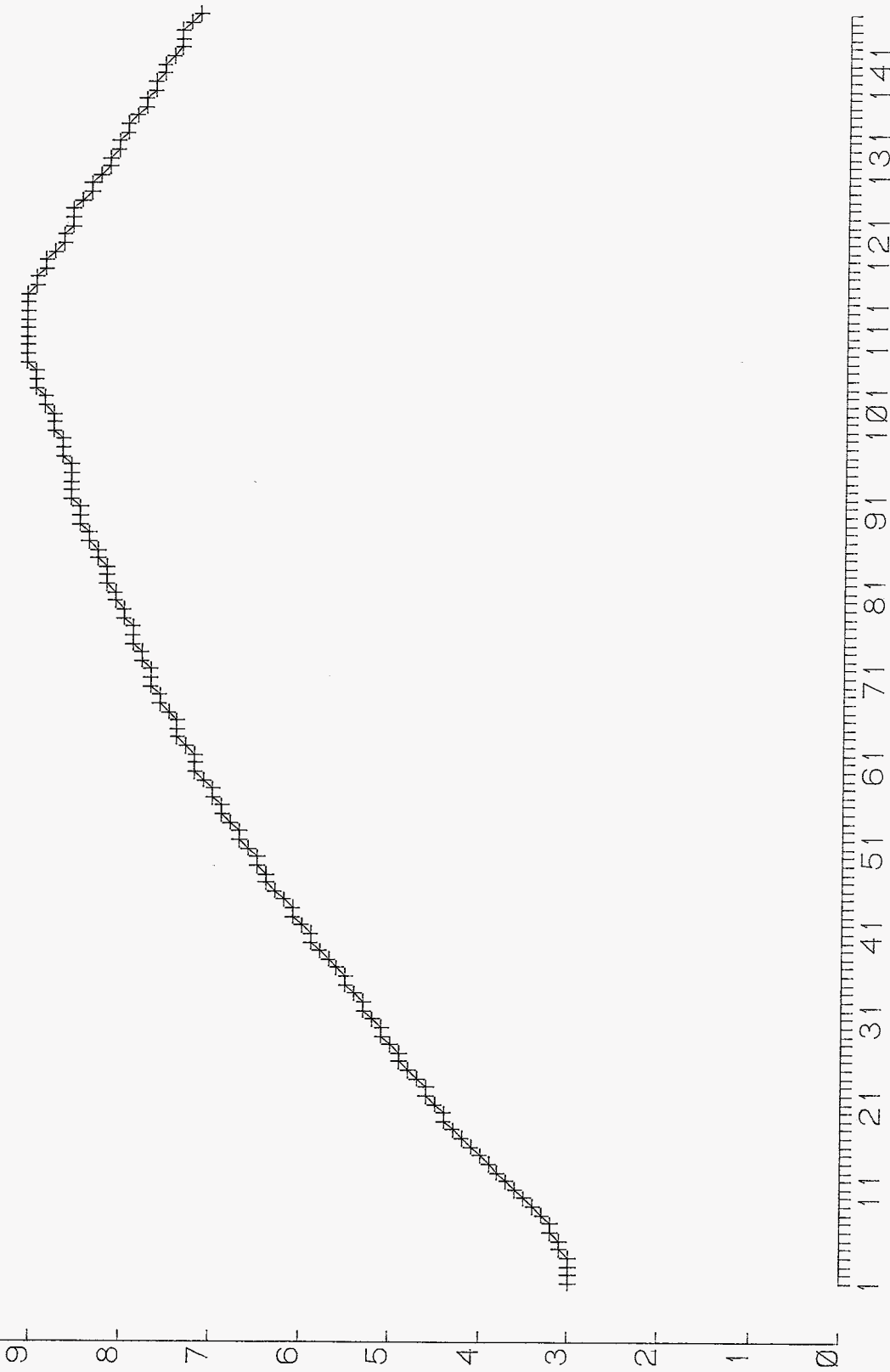


Grafiek 9. Temperatuurverloop meetserie 8

CYCLUS

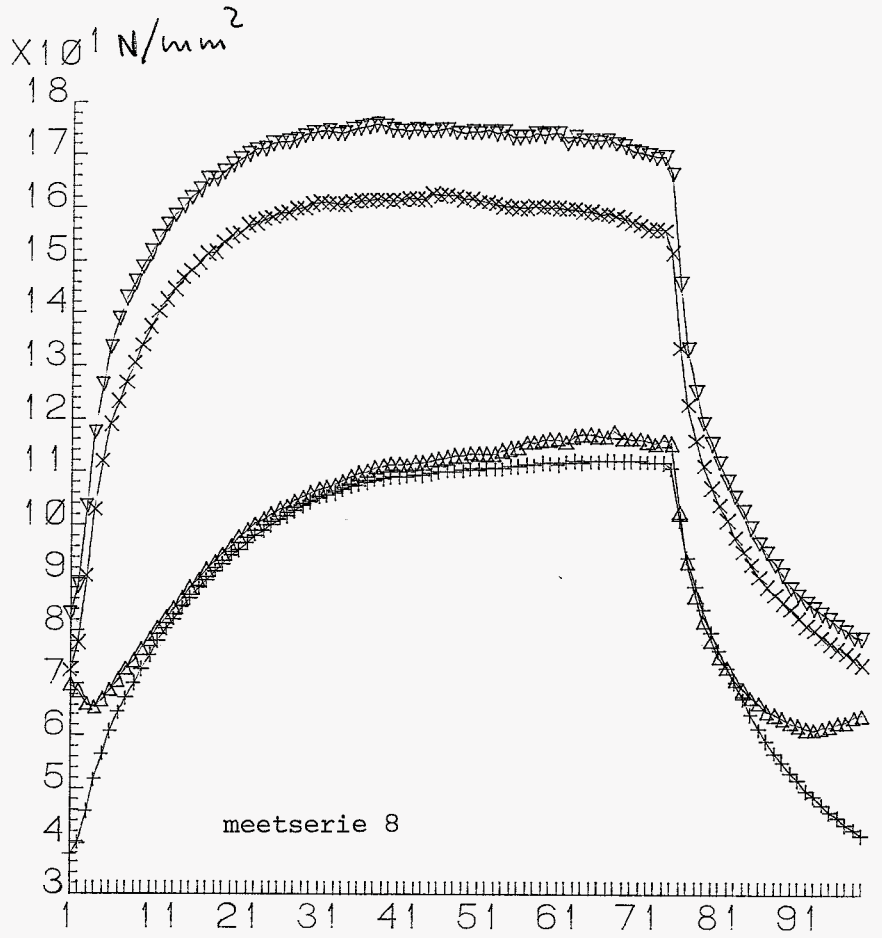
SNEGEN 1 KAN. 90

$\times 10^1 [^{\circ}C]$

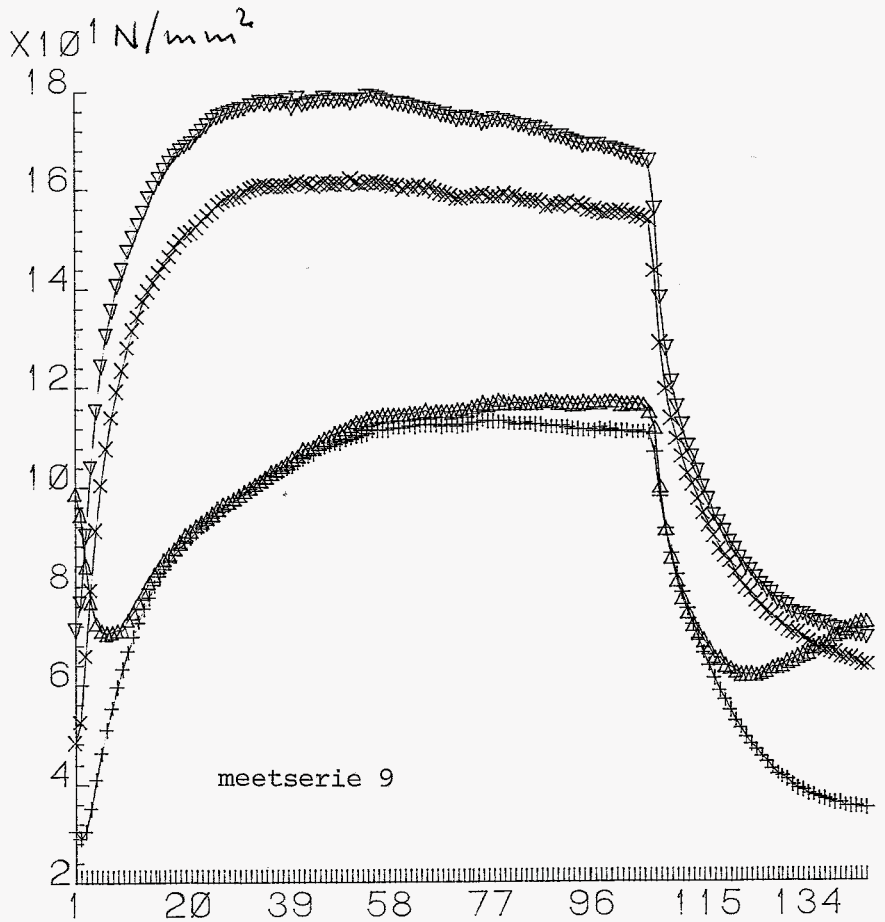


CYCLUS

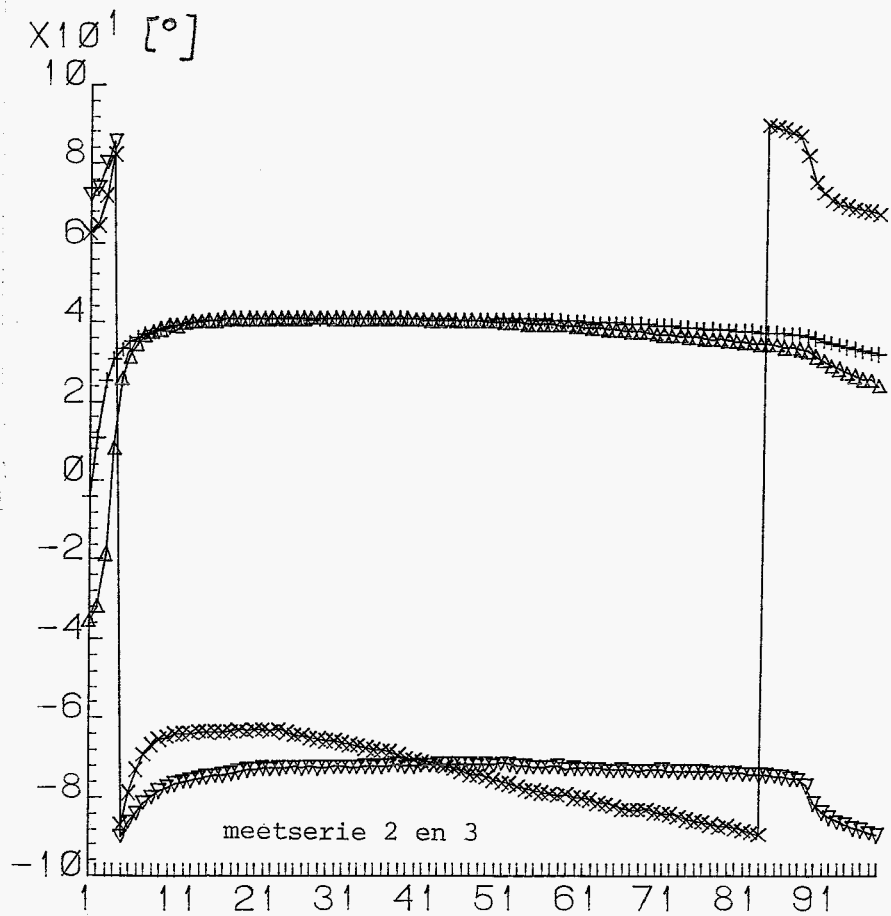
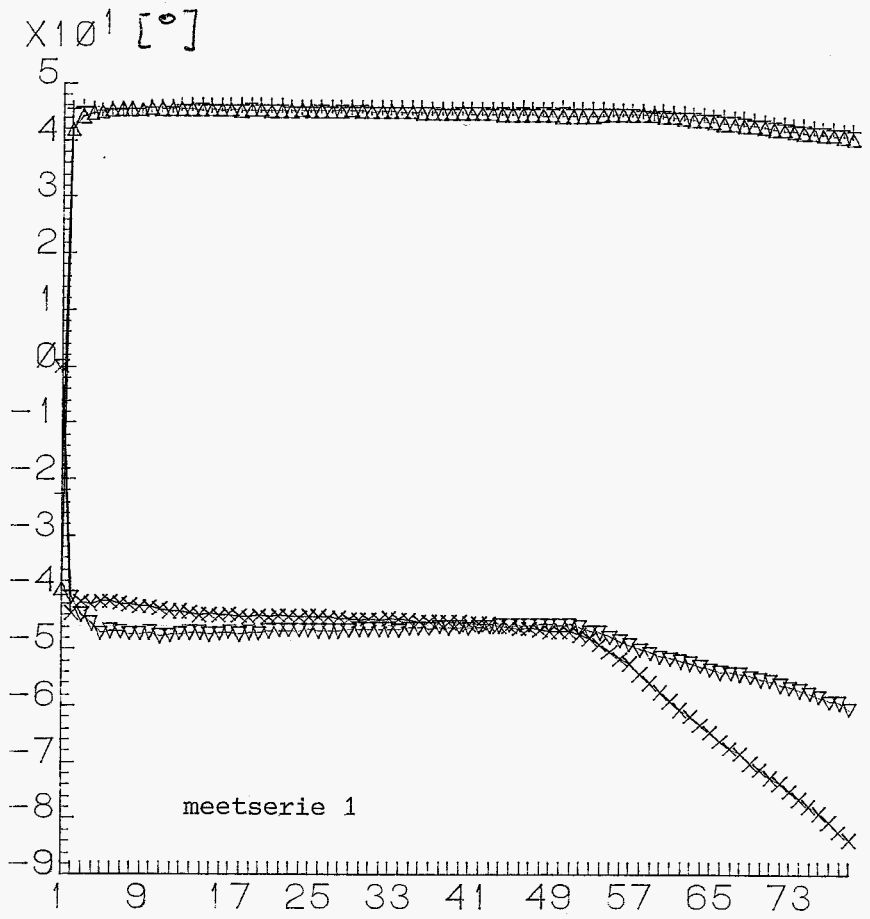
Grafiek 10. Temperatuurverloop meetserie 9



- △ REKSTROOK1  
HUBER\_EN\_HENCKY
- ▽ REKSTROOK2  
HUBER\_EN\_HENCKY
- + REKSTROOK3  
HUBER\_EN\_HENCKY
- × REKSTROOK4  
HUBER\_EN\_HENCKY

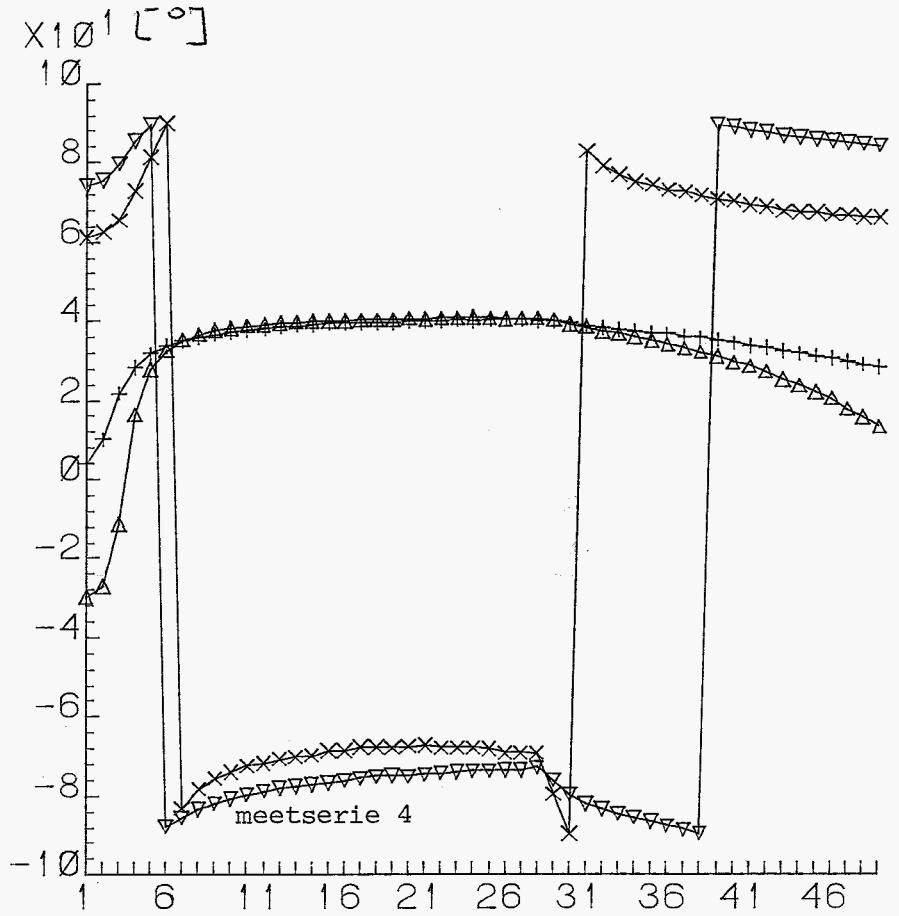


Grafiek 11. vergelijkspanning meetserie 8 en 9

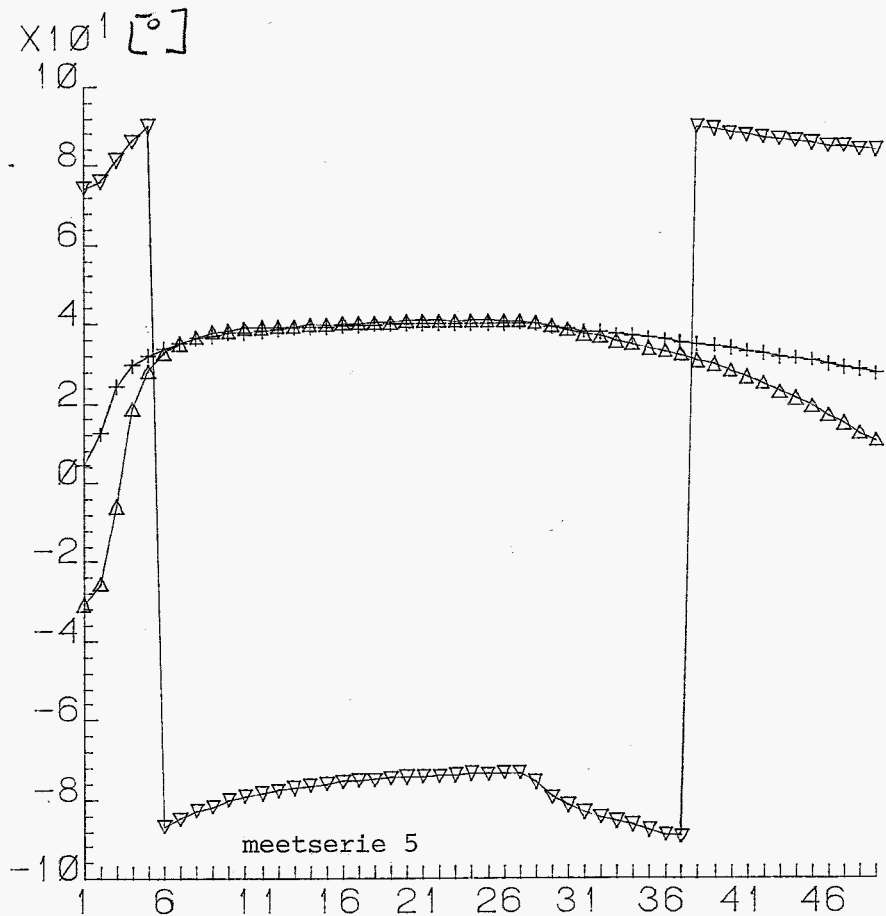


Grafiek 12. Hoofdspanningsrichting meetserie 1, 2 en 3

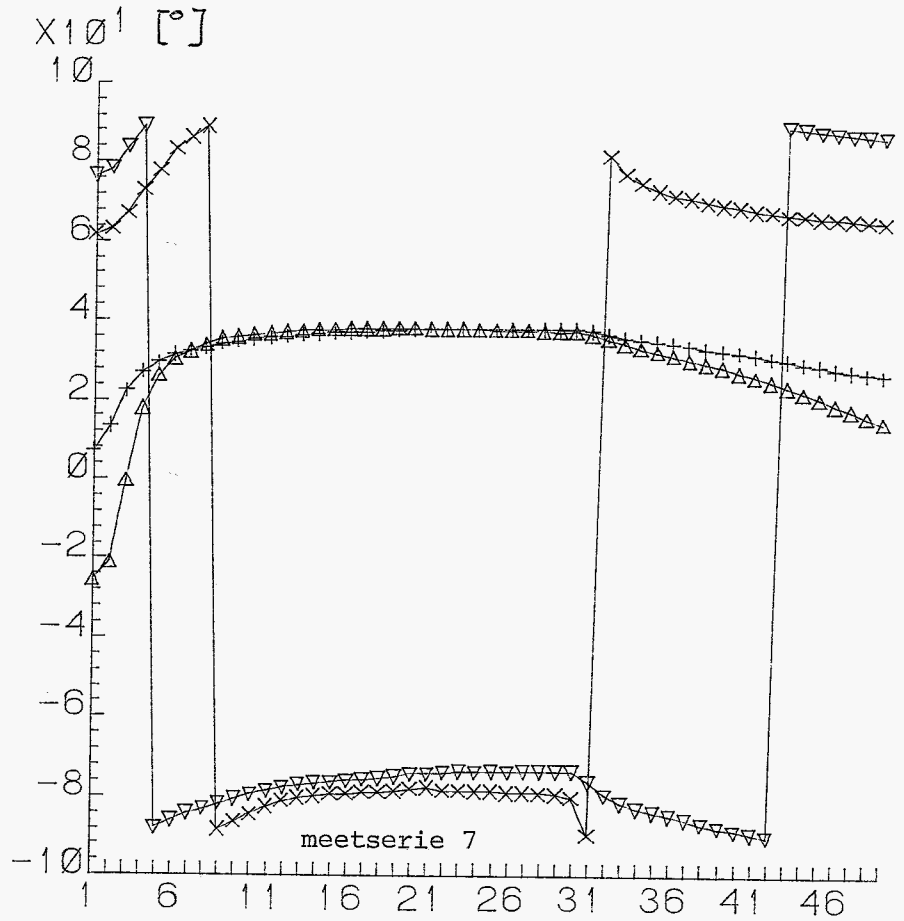




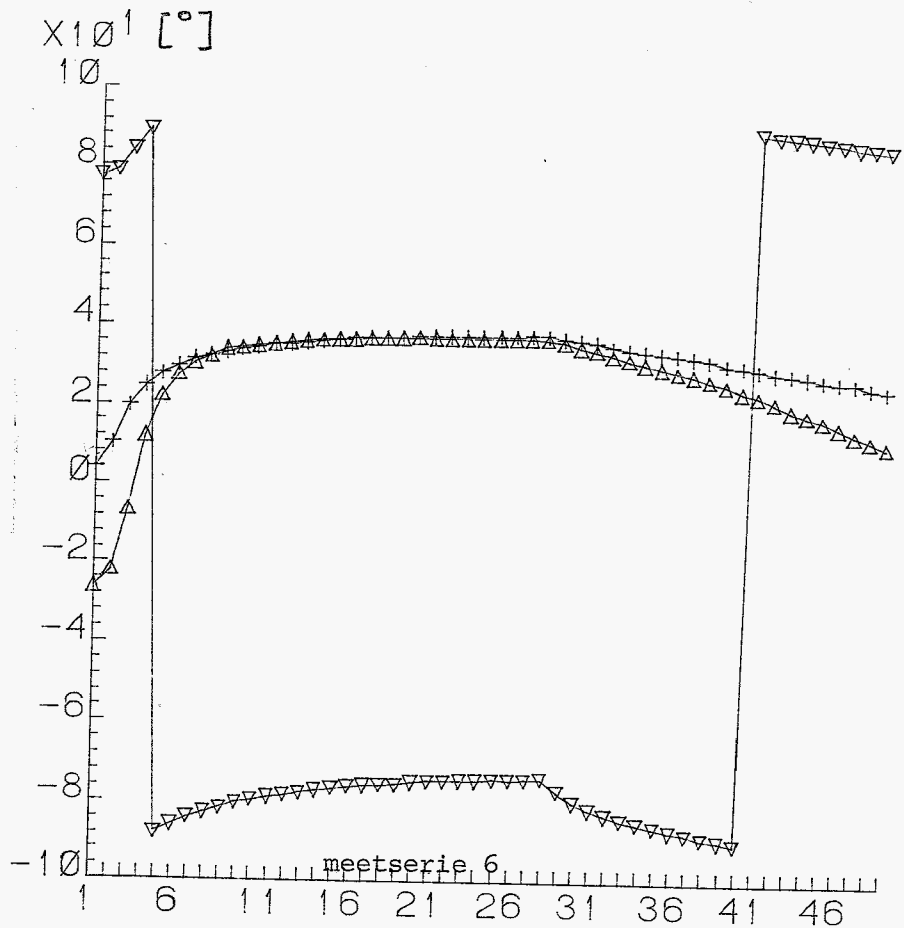
- △ REKSTROOK1  
HOOFDRICHTING
- ▽ REKSTROOK2  
HOOFDRICHTING
- + REKSTROOK3  
HOOFDRICHTING
- × REKSTROOK4  
HOOFDRICHTING



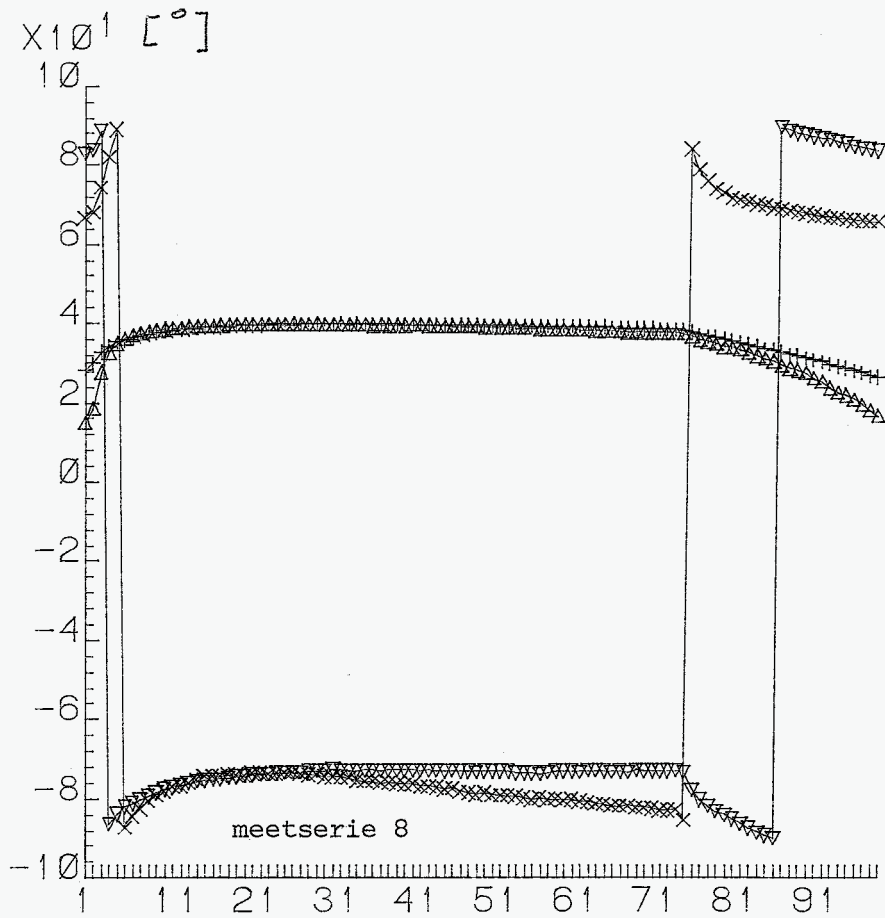
Grafiek 13. Hoofdspanningsrichting meetserie 4 en 5



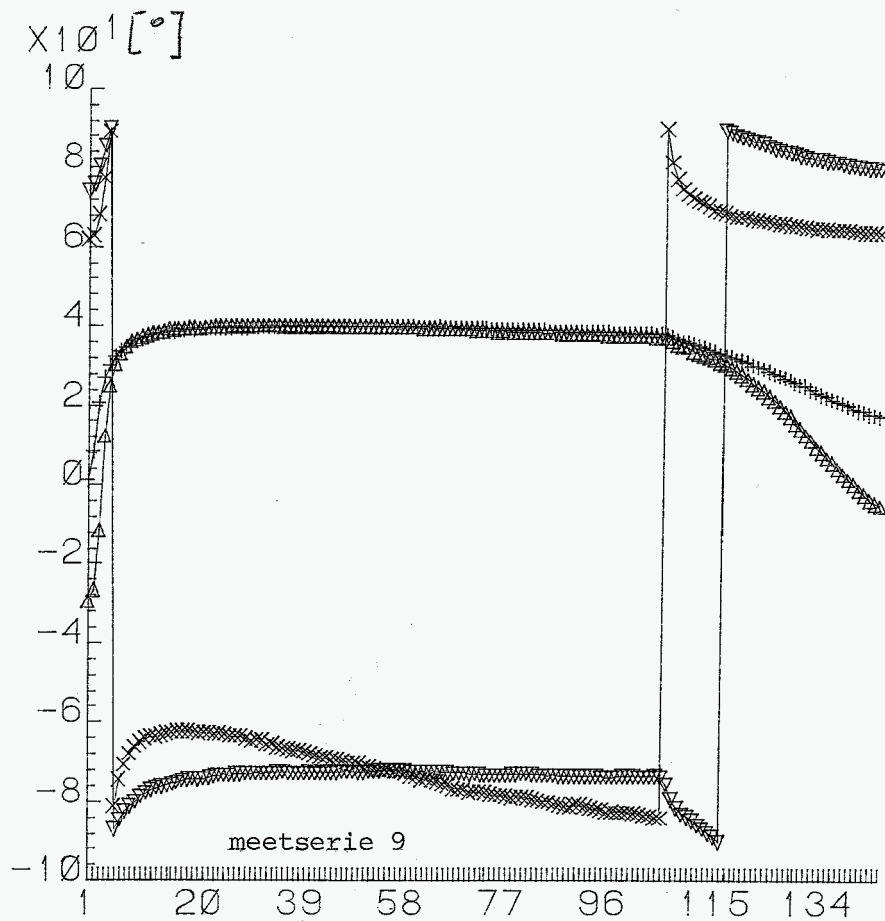
- $\Delta$  REKSTROOK1  
HOOFDRICHTING
- $\nabla$  REKSTROOK2  
HOOFDRICHTING
- $+$  REKSTROOK3  
HOOFDRICHTING
- $\times$  REKSTROOK4  
HOOFDRICHTING



Grafiek 14. Hoofdspanningsrichting meetserie 6 en 7



- △ REKSTROOK1  
HOOFDRICHTING
- ▽ REKSTROOK2  
HOOFDRICHTING
- + REKSTROOK3  
HOOFDRICHTING
- x REKSTROOK4  
HOOFDRICHTING



Grafiek 15. Hoofdspanningsrichting meetserie 8 en 9