

Bepalen van de rekviscositeit van viscoelastische draden uit het opbrekgedrag

Citation for published version (APA):

Nijsters, P. M. H. C. (1993). *Bepalen van de rekviscositeit van viscoelastische draden uit het opbrekgedrag*. (DCT rapporten; Vol. 1993.055). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1993

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.

Bepalen van de rekviscositeit van visco- elastische draden uit het opbrekgedrag.

P.M.H.C. Nijsters

Stage periode : oktober 1992 - januari 1993
Stage begeleider : ir. J. Janssen
WFW-rapportnummer : 93.055

Inhoudsopgave.

	pagina
- Samenvatting	5
- Inleiding en theorie	6
- Opstelling en materialen	8
- Experimenten	10
- Conclusie	12
- Literatuur	13

Samenvatting.

Het blenden van polymeren in een extruder is onder andere vanwege het viscoelastisch gedrag van polymeersmelten een zeer complex proces. De eindmorfologie wordt bepaald door het dynamische samenspel van opbreken van grote druppels en het coalesceren van kleinere druppels in een complex niet-isotherm, tijdsafhankelijk stromingsveld. Problemen ontstaan bij het bepalen van materiaalparameters. Dit deel van de stage heeft zich dan ook toegespitst op het bepalen van de rekviscositeit van een viscoelastische vloeistof uit de geometrie van opbrekende viscoelastische draden in rust. Opgemerkt moet worden dat er in deze stage gewerkt werd met een sterk vereenvoudigd systeem: een bekend isotherm stromingsveld en constitutief eenvoudige materialen.

In een rekstromingsveld worden niet-mengbare druppels geïnjecteerd die indien aan de juiste randvoorwaarden worden voldaan, dit wil zeggen het bereiken van het kritische Capillair-getal, vervormen tot een lange draad die onder invloed van Rayleigh-verstorings opbreekt in kleinere druppels.

De resultaten van de experimenten voldoen voor een groot deel aan de verwachtingen, in de beschikbare experimentele range zijn Trouton-verhoudingen, dit is het quotiënt van de rek- en de afschuifviscositeit, tot orde grootte 10^3 .

De beperkende faktor bij het meten is het probleem dat men een extreem lang gerekt iets wil visualiseren met behulp van een vierkante monitor. Het gevolg is dat men de experimenten slechts kan volgen tot een bepaalde eindige rek die waarschijnlijk nog geen stationaire waarde heeft bereikt.

Inleiding en theorie.

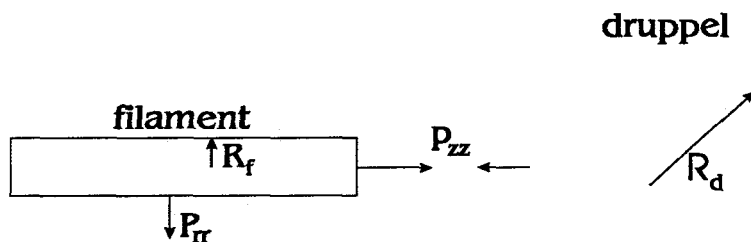
P. Schummer en K.H. Tebel (1982) beschrijven in een artikel een rheometer voor het bepalen van rekviscositeit van polymeeroplossingen. Het betreft een pulserende jet die in lucht een draad vormt en laat opbreken onder invloed van Rayleigh-verstoringen. Uit de geometrie van de opbrekende draad en de zich vormende druppels, wordt de rekviscositeit bepaald. In de opposed jets opstelling zoals die op de Technische Universiteit Eindhoven staat kan een soortgelijke draad worden gevormd, zoiet dat de draad niet door lucht maar door een andere vloeistof wordt omringd. Het basisprincipe van beide experimenten is gelijk.

De stroming in de opposed jets opstelling is een zuivere homogene rekstroming welke door de achterliggende theorie voor rekviscositeitsbepaling ook wordt geëist. Een geïnjecteerde druppel wordt onder invloed van de stroming opgerekt tot een lange draad welke opbreekt onder invloed van Rayleigh-verstoringen. Het opbreken van viscoelastische draden wordt gekenmerkt door het vormen van "halters" zie figuur 1. Dit in tegenstelling tot het opbreken van Newtonse draden welke gekarakteriseerd kunnen worden met sinusvormige profielen.

De opbrekende viscoelastische draad wordt gemodelleerd door zuiver cilindrische elementen tussen bollen. De stromingssituatie in de draad die dan ontstaat lijkt op een zuivere rekstroming. De grensvlakspanning σ veroorzaakt een radiale druk die hoger is in de filamenten dan de druk p_t in de druppels. Het gevolg is een symmetrische massastroom van de filamenten naar de druppels. Door het stellen van evenwicht wat betreft de druk in de draad wordt onderstaande relatie voor de rekviscositeit verkregen, zie figuur 1.

$$\eta_{\text{elongation}} = \frac{\sigma/R_f(t) - 2\sigma/R_d(t)}{-2 \frac{dR_d}{dt}(t)/R_f(t)}$$

(Schummer en Tebel, 1982)



Figuur 1: modellering opbrekende draad

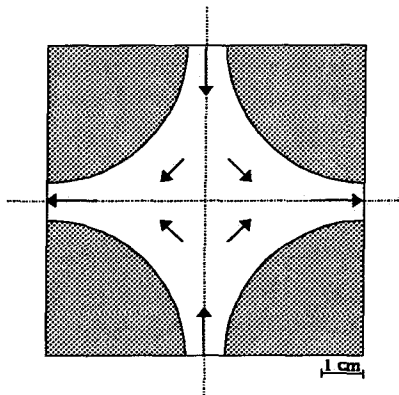
De aannames die gemaakt zijn bij het verkrijgen van bovenstaande relatie:

- * konstante druk aan beide uiteinden van het filament
- * konstante grensvlakspanning
- * symmetrische filamenten en evengrote druppels aan de beide uiteinden
- * verwaarlozing van de zwaartekracht

De controle van de eerste aanname is zeer moeilijk daar men vanwege praktische problemen geen druk kan meten in de draad. Aan de tweede aanname wordt voldaan omdat alle experimenten in een tijdsbestek van minder dan een uur zijn uitgevoerd. In deze tijdspanne kan men aannemen dat de grensvlakspanning konstant is. Aan de symmetrie-eis kan men voldoen door de juiste experimenten te kiezen om te verwerken tot meetdata.

Opstelling

De experimenten zijn uitgevoerd in het zogenaamde opposed jets apparaat (zie figuur 2 en 3). Het apparaat bestaat uit een plexiglas cel van enkele centimeters groot welke uit vier vaste blokken bestaat tussen twee parallelle wanden. Vanuit twee tegenovergestelde zijden wordt de continue fase naar binnen gepompt door een tandradpomp die door een elektromotor met fasevariabele aansturing wordt aangedreven. De continue fase komt in het centrum van de cel in botsing en er ontstaat daar een stagnatiepunt. In het stagnatiepunt is sprake van een twee dimensionale hyperbolische rekstroming waarvan het snelheidsveld wordt gegeven door $u = Gx$, $v = -Gy$, $w = 0$, waarin G [s^{-1}] de snelheidsgradient is. De snelheidsgradient is evenredig met het debiet en dus de ingestelde pompstand PS [-]: $G = 0.0254 \cdot PS$. Met behulp van een injectienaald kan een druppel met een afmetingen in de orde grootte van één millimeter van de disperse fase worden geïnjecteerd in het middenvlak tussen de parallelle voor- en achterwand. Na de injectie van de druppel wordt de injectienaald verwijderd om het stromingsveld in de cel niet te verstoren.

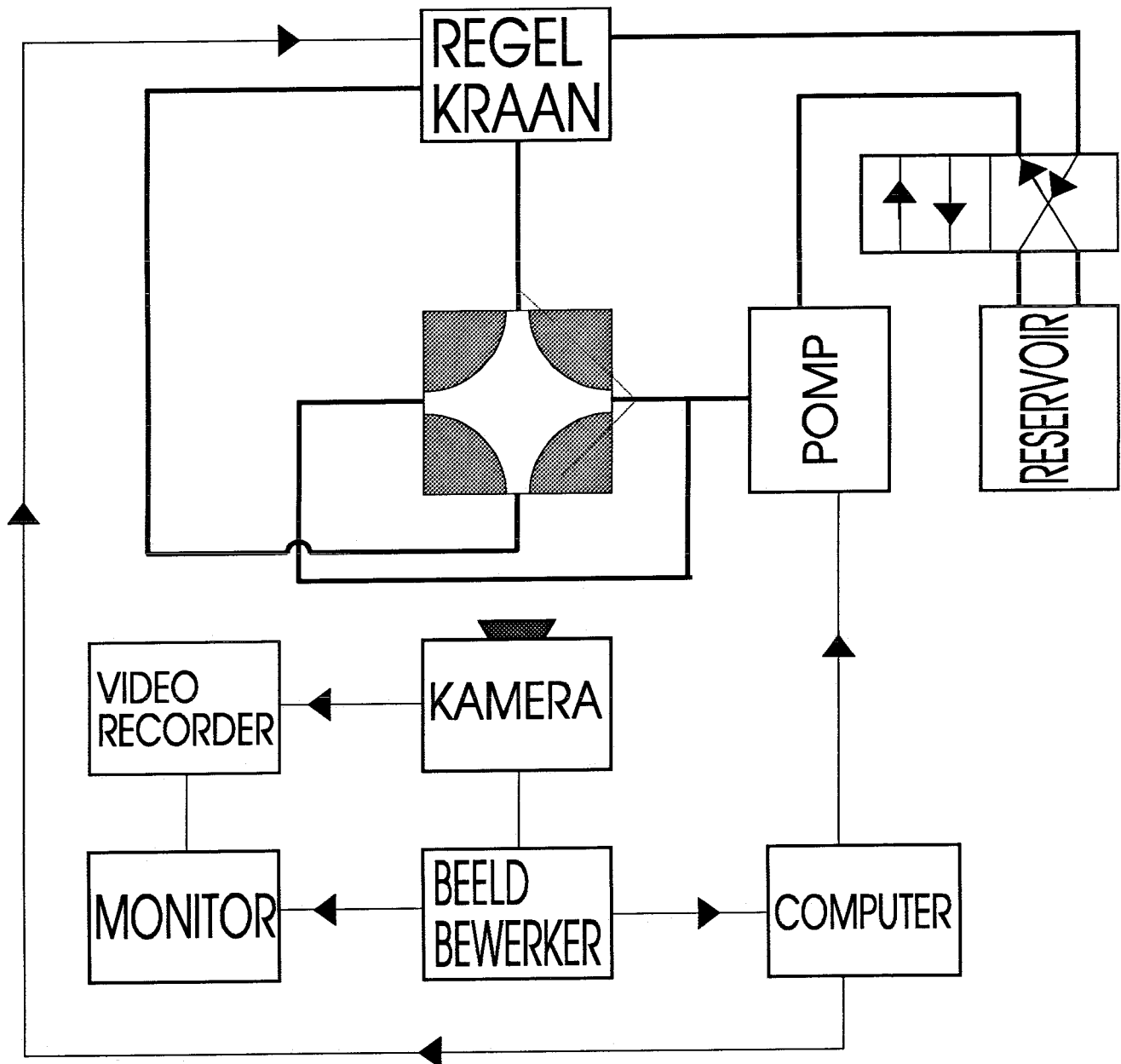


Figuur 2: cel opposed jets opstelling

De positie van de druppel in het stagnatiepunt is instabiel met betrekking tot zeer kleine verstoringen. Als gevolg van een kleine verstoring zal de druppel exponentieel naar een van de uitgangen gaan en uit beeld verdwijnen. Om de druppel in het stagnatiepunt te houden, is er een regelsysteem aangebracht dat de positie van de druppel via een videokamera terugkoppelt. De videokamera stuurt haar signaal naar een beeldbewerker die het middelpunt van de druppel berekent. De beeldbewerker stuurt de coördinaten van het middelpunt naar de aangesloten computer die op zijn beurt de gewenste

regelactie berekend. Het uiteindelijke regelen geschiedt door het aanbrengen van debietverschillen tussen de twee uitgangen van de cel waarbij het totale debiet konstant wordt gehouden. Het stagnatiepunt verschuift dan over de x-as. De regeling werkt op een beeldpixel nauwkeurig en gebeurt alleen langs de x-as.

Aan de videokamera is een videorecorder gekoppeld zodat men de experimenten op videocassette kan zetten en op een later tijdstip kan verwerken. De vergroting naar de monitor kan worden ingesteld tussen 17 en 100 maal zodat details tot 10 micrometer zichtbaar worden.



Figuur 3: opstelling opposed jets

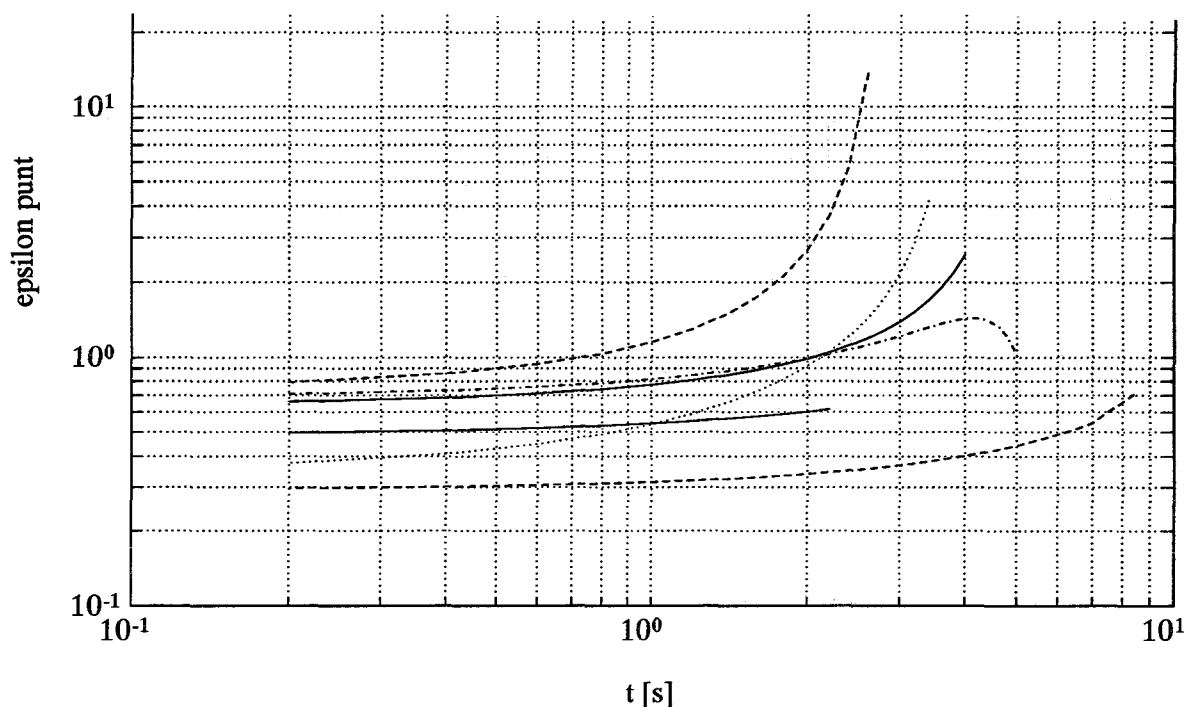
Gebruikte materialen

Voor het uitvoeren van de experimenten is de viscoelastische vloeistof CS 80/20/.01s gebruikt. De (afschuif)-viscositeit van deze vloeistof bedraagt 4.0 Pa.s, de grensvlakspanning bedraagt $28 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$ en de vloeistof heeft een dichtheid van 1322.4 kgm^{-3} (D.J. Harbrecht, 1992).

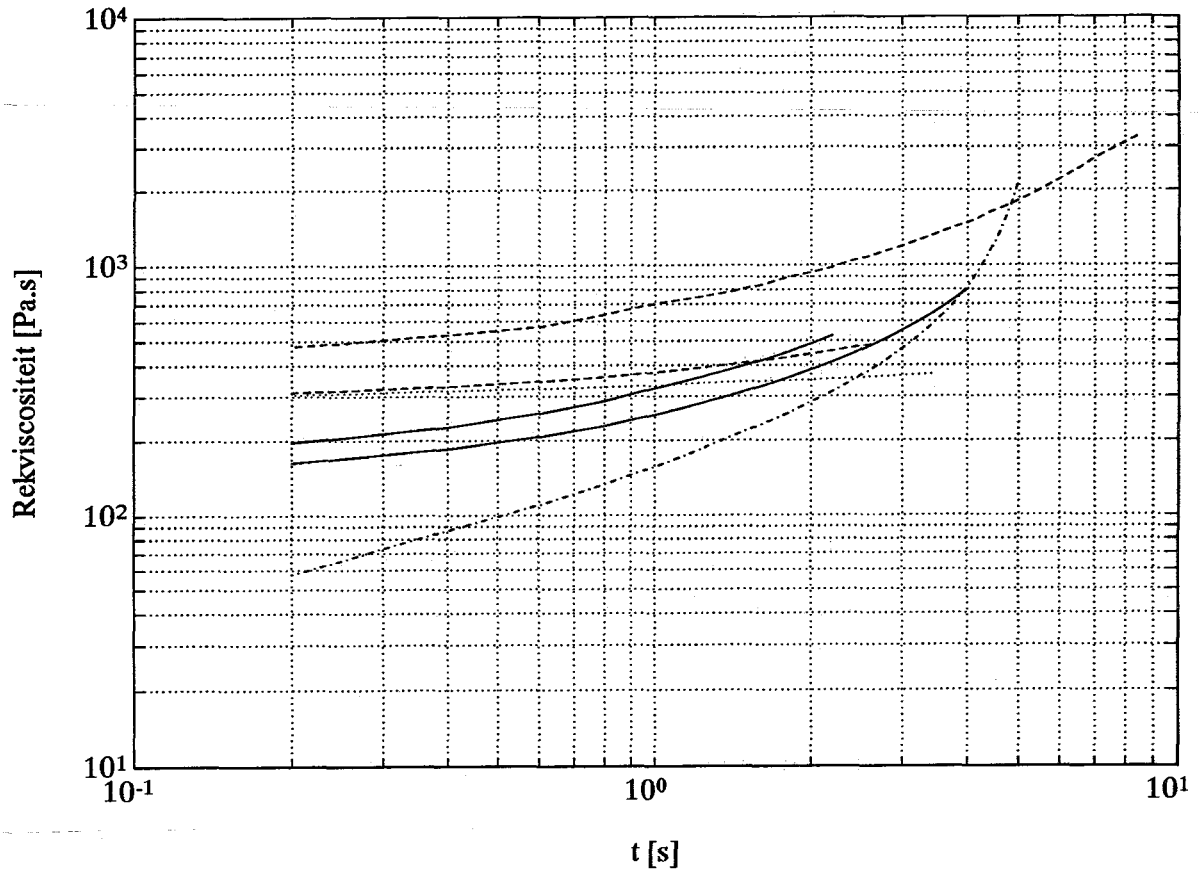
Resultaten

In onderstaande figuren staan de resultaten van de uitgevoerde experimenten. De gebruikte viscoelastische vloeistof is CS 80/20/0.1s in een continue fase van siliconenolie. In de figuren staan de resultaten van zes verschillende experimenten. Uit figuur 4 blijkt dat er niet kan worden gesproken over een konstante reksnelheid. Dit verklaart het merkwaardige verloop voor relatief hoge waarden van de tijd van enkele grafieken uit figuur 5. Dat figuur 5 niet uit een lijn bestaat kan worden verklaart uit het feit dat bij viscoelastische vloeistoffen de voorgeschiedenis een belangrijke faktor is in het gedrag van het materiaal. Omdat de rekgeschiedenis van de diverse experimenten niet bekend is als gevolg van een arbitrair gekozen " $t=0$ ", kan men de gevonden meetwaarden dus niet converteren tot een mastercurve. De orde van grootte van de diverse curves welke de diverse experimenten representeren, komen redelijk goed overeen met elkaar.

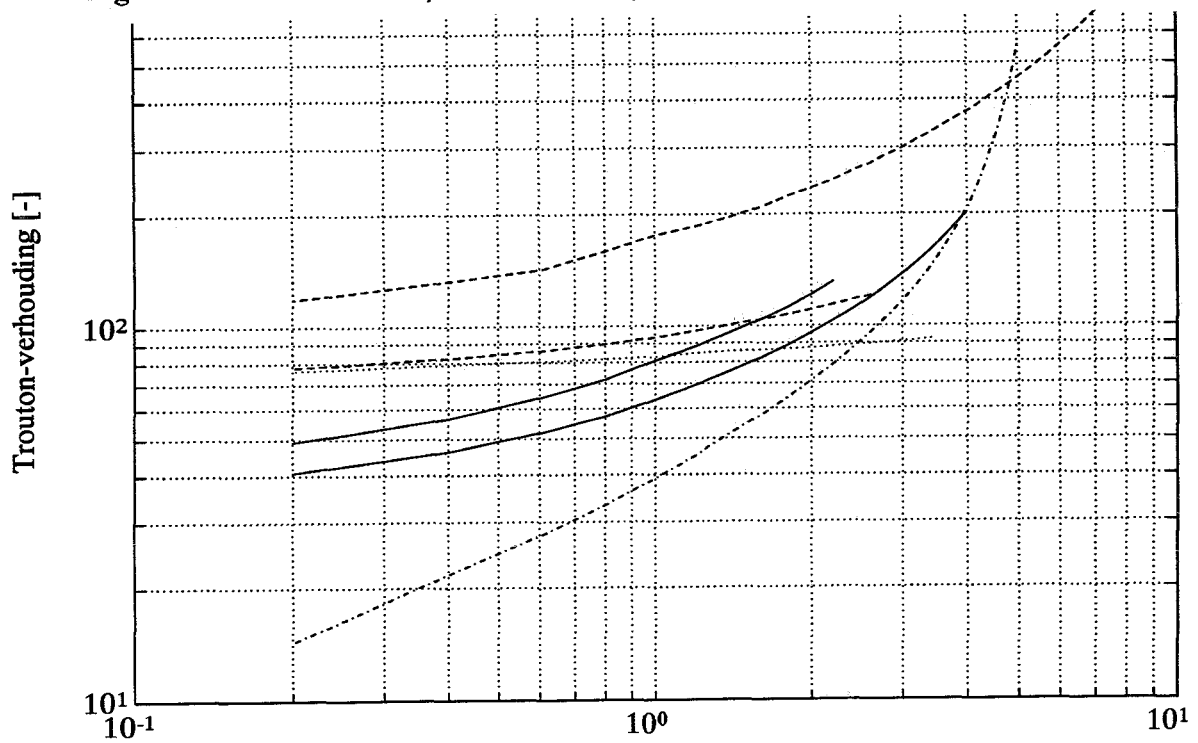
Indien men andere materialen aan deze experimenten onderwerpt, vindt men een soortgelijk verband voor de reksnelheid tegen de tijd. De klassieke bepaling van de viscositeit gaat uit van een konstante reksnelheid, vaak afschuifsnelheid. Bij deze experimenten is de reksnelheid helaas niet konstant zodat de resultaten moeilijker interpreteerbaar zijn omdat men met een momentane rekviscositeit van doen heeft. Vergelijken met de resultaten van de klassieke meetmethode is niet gelukt omdat men slechts over een beperkt tijdsinterval kan meten, maximale tijdsduur experiment ligt in de orde grootte van tien seconden. Doordat men slechts over een beperkt tijdsinterval kan meten, wordt er geen stationaire waarde van de reksnelheid bereikt.



Figuur 4: reksnelheid als functie van de tijd



Figuur 5: rekviscositeit als functie van de tijd



Figuur 6: Troutonverhouding als functie van de tijd ($Trouton = \eta_{rek} / \eta_{afschuif}$)

t [s]

Conclusie

De uitkomsten van dit onderzoek voldoen aan de verwachtingen, de door Schummer en Tebel ontwikkelde experimenten voor het bepalen van rekviscositeit kunnen ook in de opposed jets-opstelling worden uitgevoerd. Bepalen van de grootte orde van de rekviscositeit met behulp van de opposed jets-opstelling is mogelijk.

Om tot een nauwkeurige bepaling van de grote van de rekviscositeit als functie van de tijd te komen moeten er nog wat praktische problemen worden opgelost.

- * Wanneer men de rekviscositeit over een langer tijdsbestek wil kunnen beschrijven zal men voor een ander kamera-systeem moeten kiezen zodat er verder kan worden uitvergroot dan op het moment het geval is.
- * Een equivalente diametervergelijking opstellen voor de beginfase van het experiment. Op dit tijdstip zijn de druppels sterk ellipsvormig en gedurende het experiment vervormen ze tot bolvormige elementen tussen de filamenten.
- * Optimaal zou zijn indien de voorgeschiedenis van de in de experimenten gevormde draad identiek aan elkaar zouden zijn of op zijn minst redelijk goed bekend.

Literatuur

A.K. Chesters; College dictaat, Introduction to multiphase flow, TU Eindhoven.

D.J. Harbrecht; Opbreekgedrag van druppels in rekstroming, WFW rapport 92060, TU Eindhoven (1992)

P. Schummer and K.H. Tebel, A new elongational rheometer for polymer solutions, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 12 (1983) pag. 331-347, Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam