

Mustalipeän ei-Newtonilaisuus

Ari Kankkunen, Jorma Torniainen, Mika Järvinen

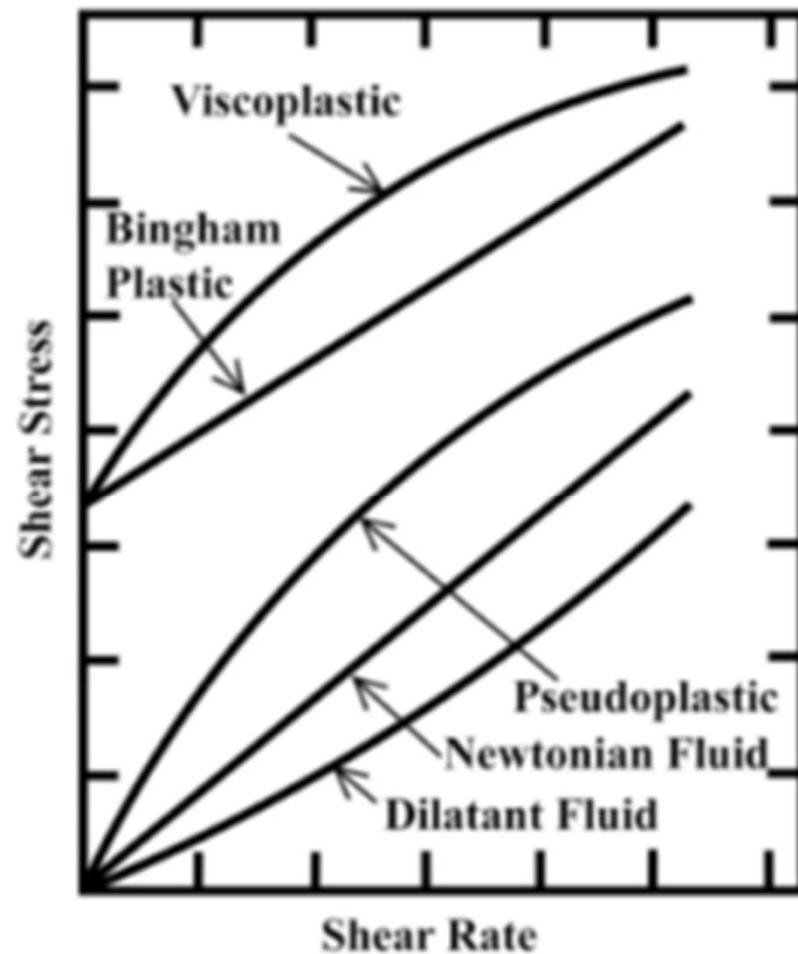
Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu,
Energiatekniikan laitos
Labtium Oy

- 1 Johdanto
 - 1.1 Tausta
 - 1.2 Viskositeetti
 - 1.3 Mustalipeän viskositeettiin vaikuttavat tekijät
 - 1.4 Mustalipeän ei-Newtonilaisuutta kuvaavat yhtälöt
- 2 Kokeet
 - 2.1 Näytteenotto
 - 2.2 Viskositeettimittausmenetelmä
 - 2.3 Koelipeät
 - 2.4 Viskositeetit leikkausnopeuden muuttuessa
 - 2.5 Viskositeettimittauksen kalibrointi
 - 2.6 Kapillaariviskometri
 - 2.7 Kapillaariviskometrin kalibrointi
- 3 Mustalipeän käsittelyn vaiheet
 - 3.1 Haihdutin
 - 3.2 Pumput
 - 3.3 Putkistot
 - 3.4 Suutinputki
 - 3.5 Lusikka
 - 3.6 Kalvo, rihmat ja pisarat
- 4 Pisan muodonmuutos
 - 4.1 Simulointi OpenFoam-ohjelmalla
- 5 Johtopäätökset
 - 5.1 Ei-Newtonilainen viskositeetti
 - 5.2 Tulosten merkitys
 - 5.3 Jatkotutkimustarpeita

Lähdeluettelo

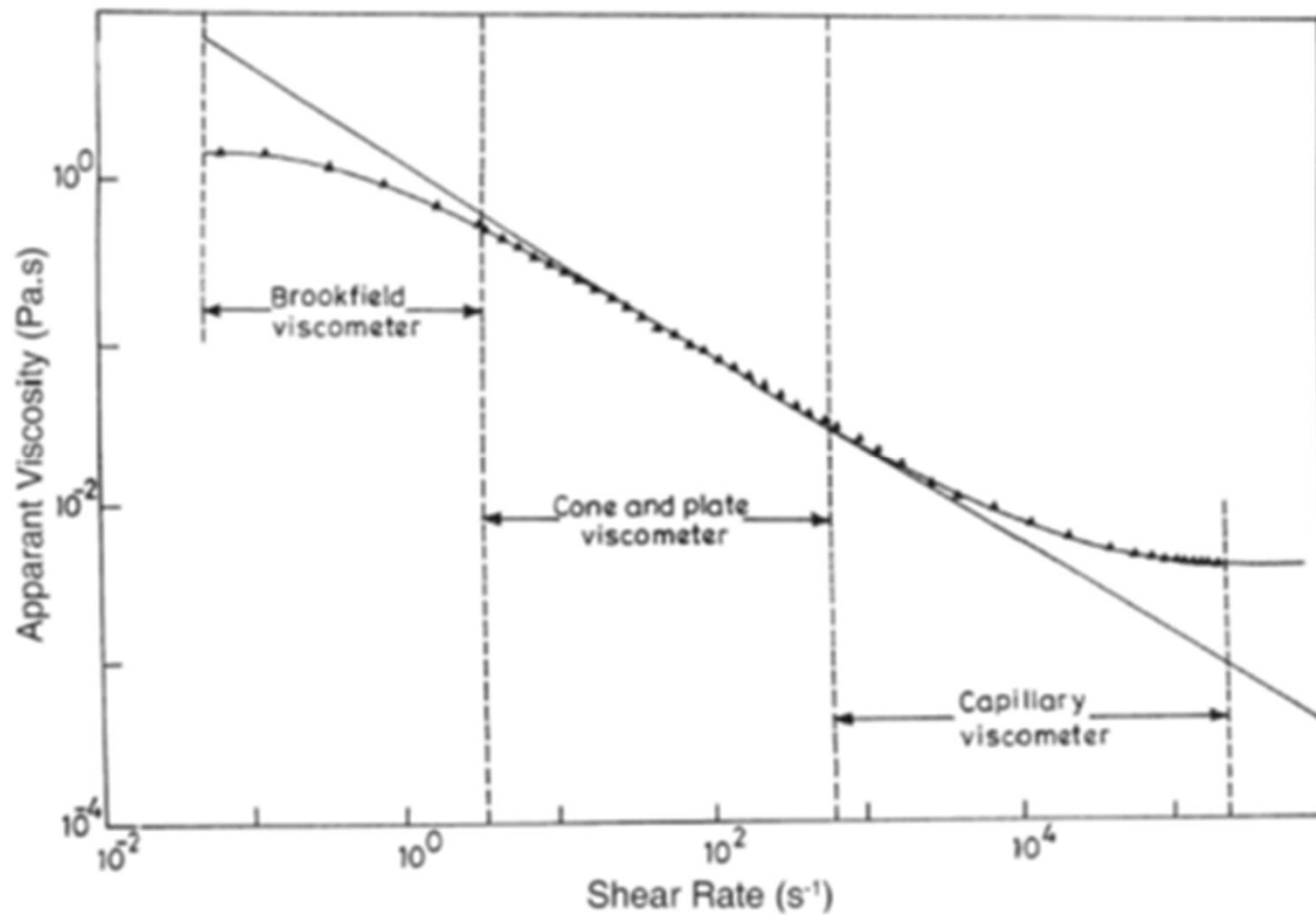
- Liite 1 Havulipeän viskositeettikäyrät
- Liite 2 Lehtipuulipeän viskositeettikäyrät
- Liite 3 Sekalipeän viskositeettikäyrät
- Liite 4 Eukalyptuslipeslipoen viskositeettikäyrät
- Liite 5 Kemialliset analyysit
- Liite 6 Kalibrointiöljyn N4000 ominaisuudet
- Liite 7 Kalibrointiöljyn N75 ominaisuudet

Mustalipeä on yleensä Newtonilainen neste, joskus leikkausoheneva

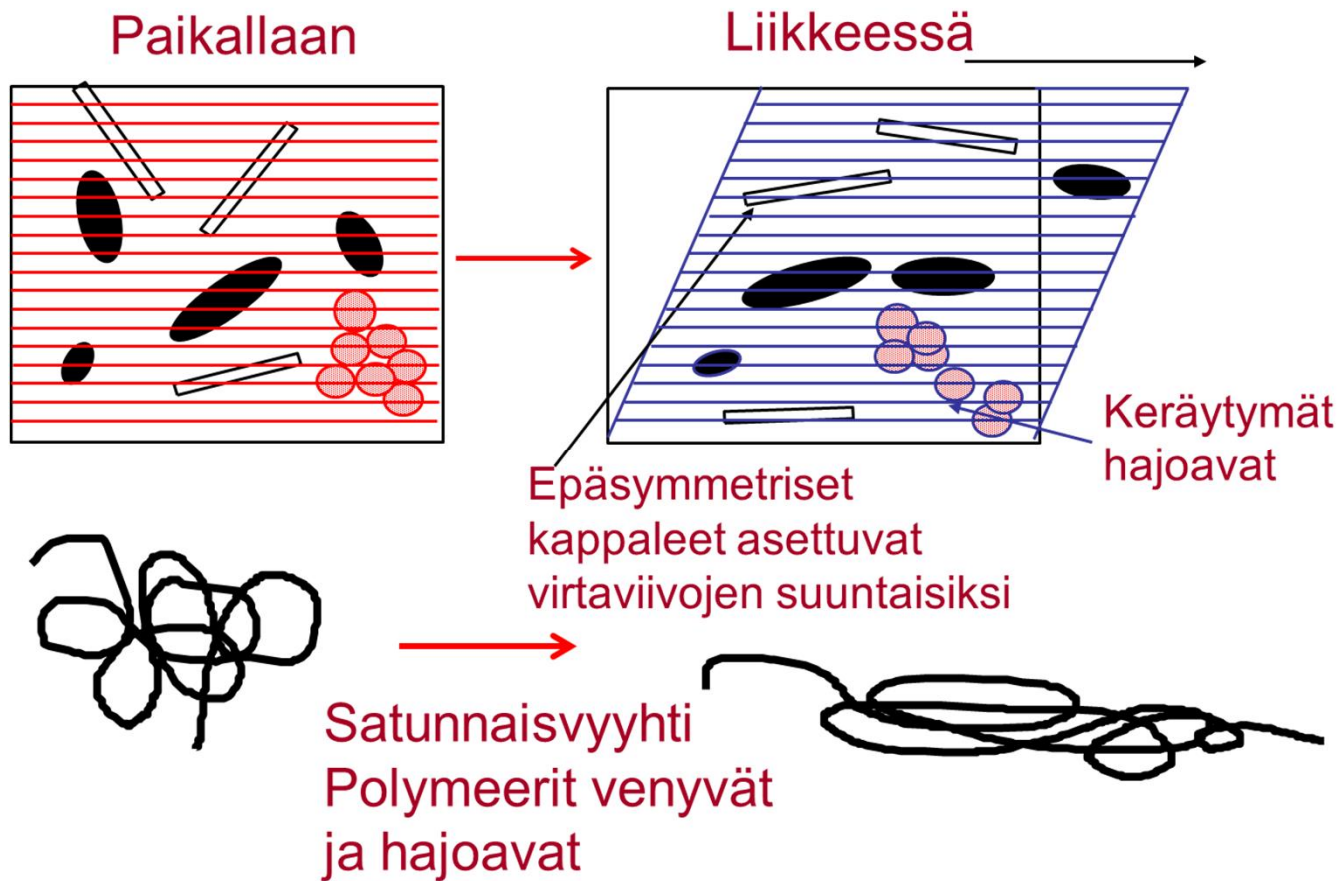


$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

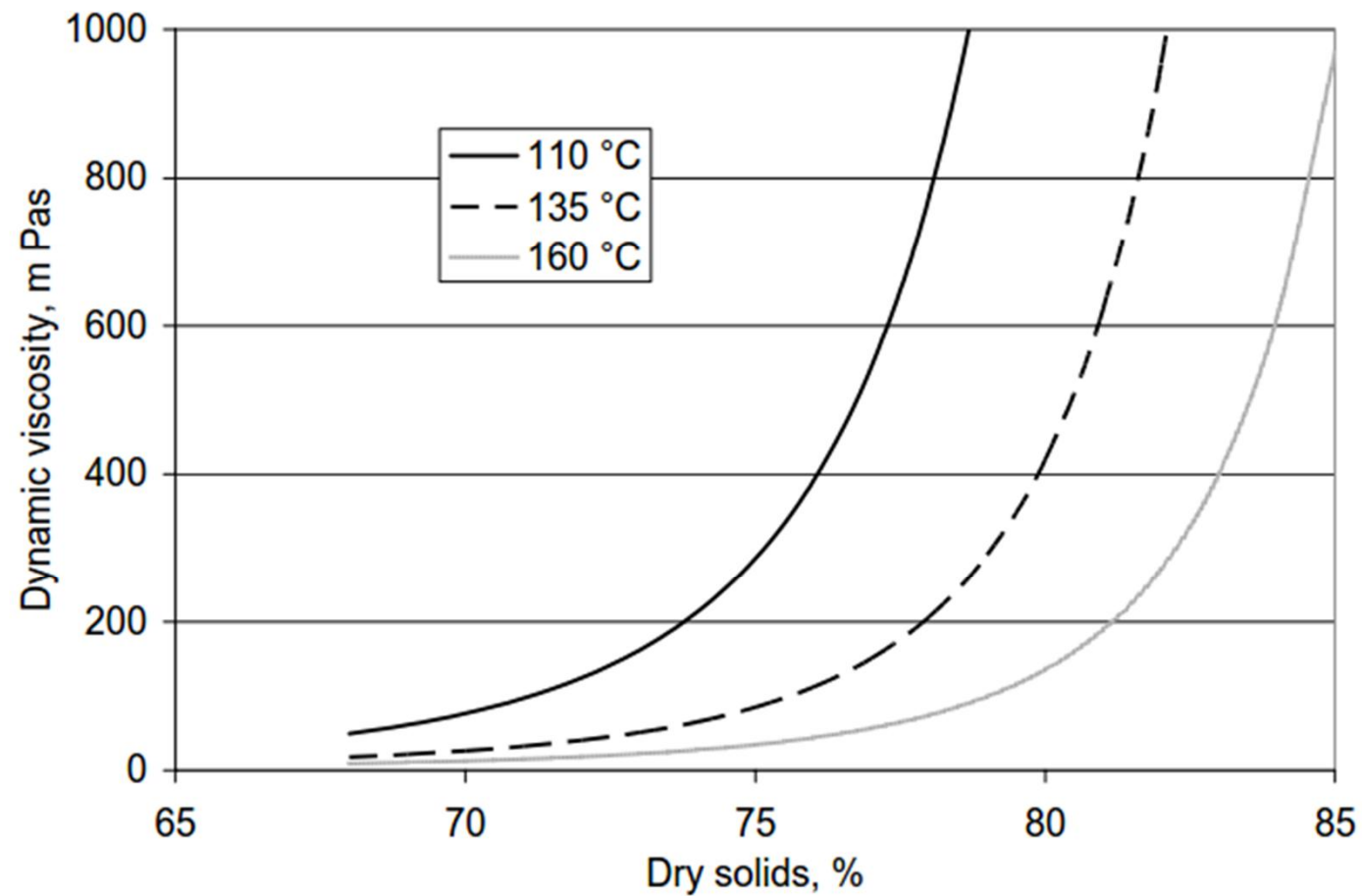
Ei-Newtonilaisen polymeerin viskositeetti



Leikkausohenenemisen syyt

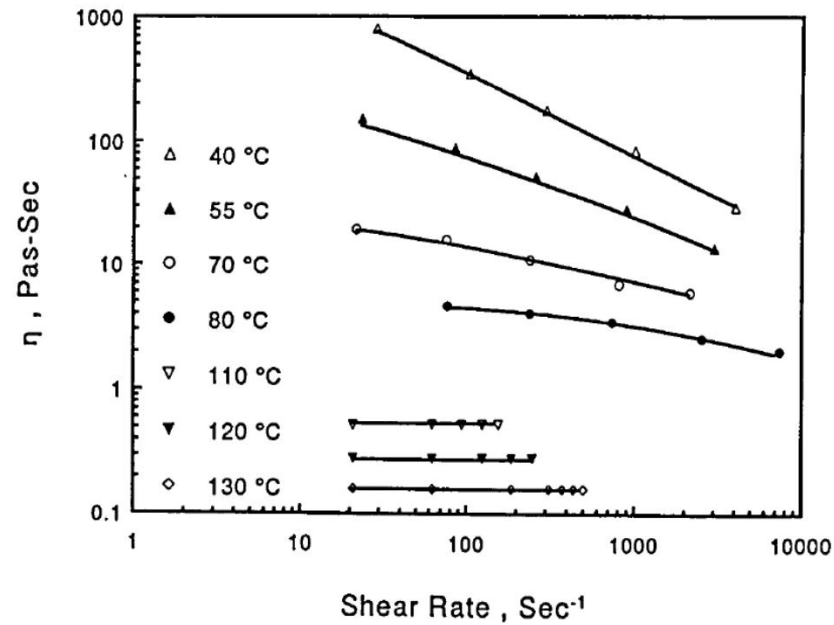


Mustalipeän viskositeetti Newtonilainen

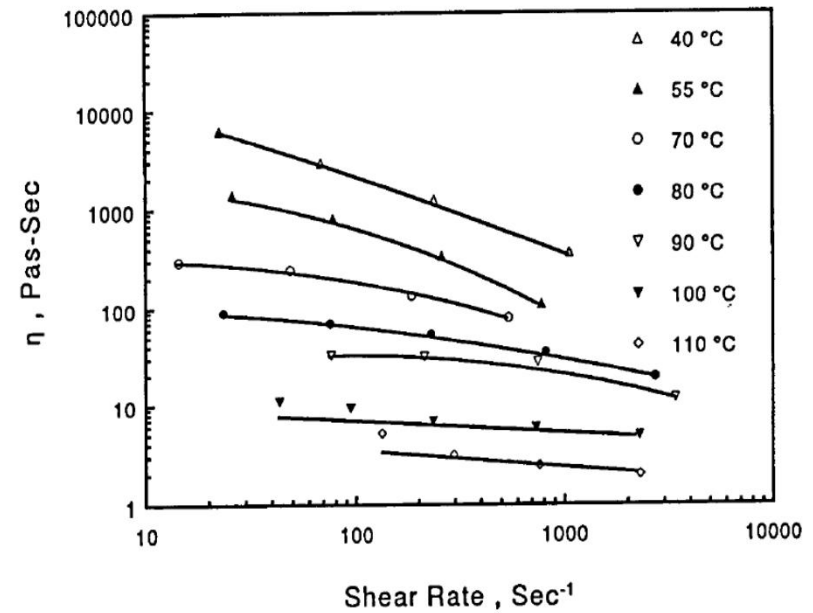


Mustalipeän viskositeetti

Zaman&Fricke 1991

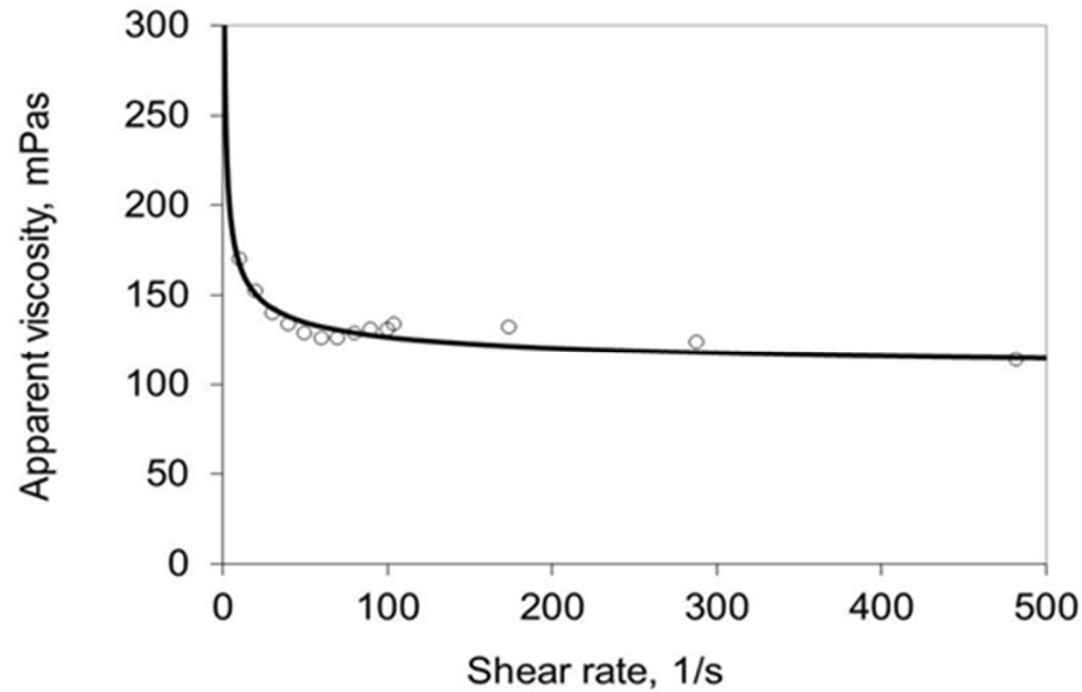


Kuiva-ainepitoisuudella 75.4 %



Kuiva-ainepitoisuudella 84.1 %

Mustalipeän viskositeetti



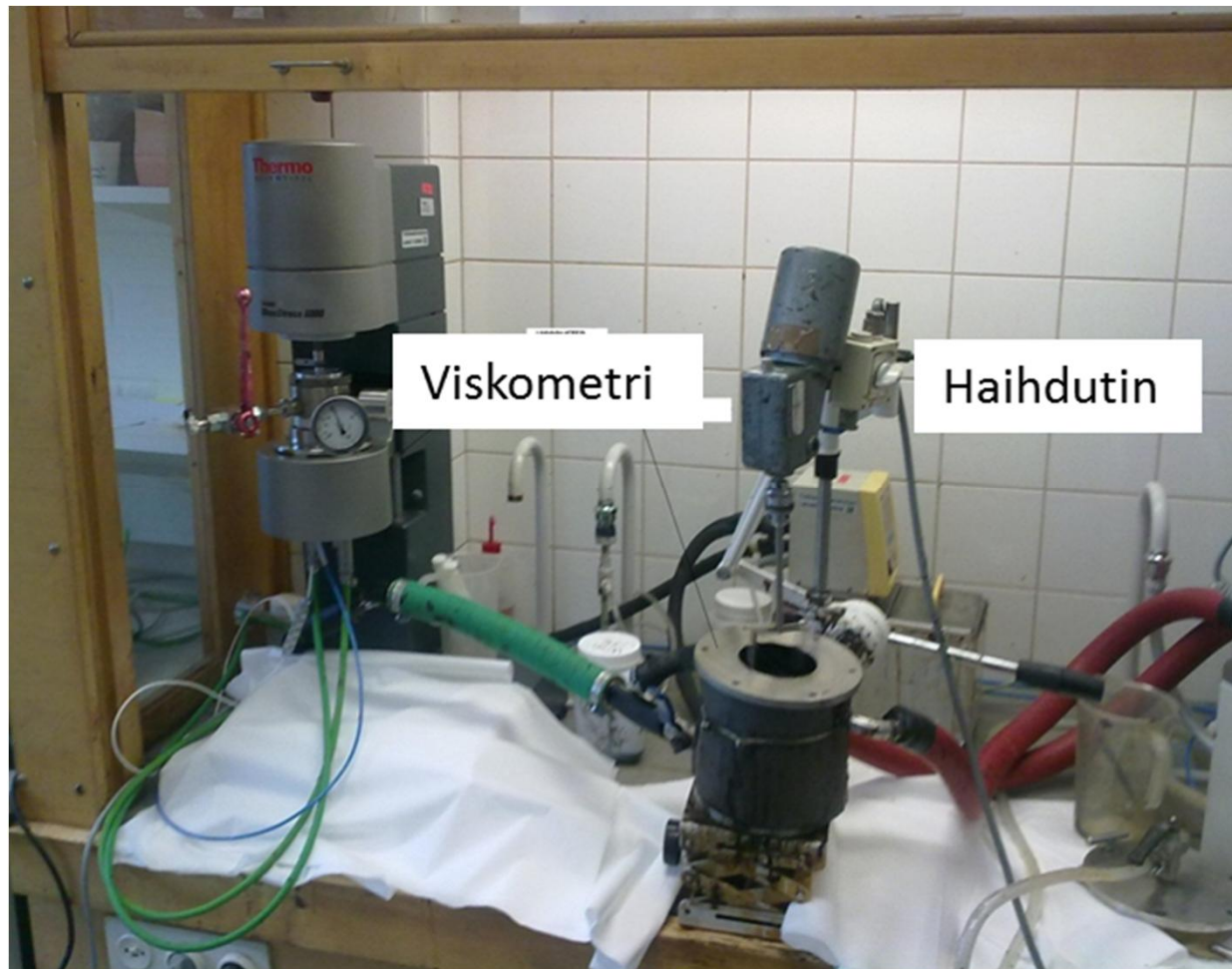
$$\mu = \mu_{\infty} \left(1 + a \dot{\gamma}^{-0.5} \right)^2$$

Koelipeät

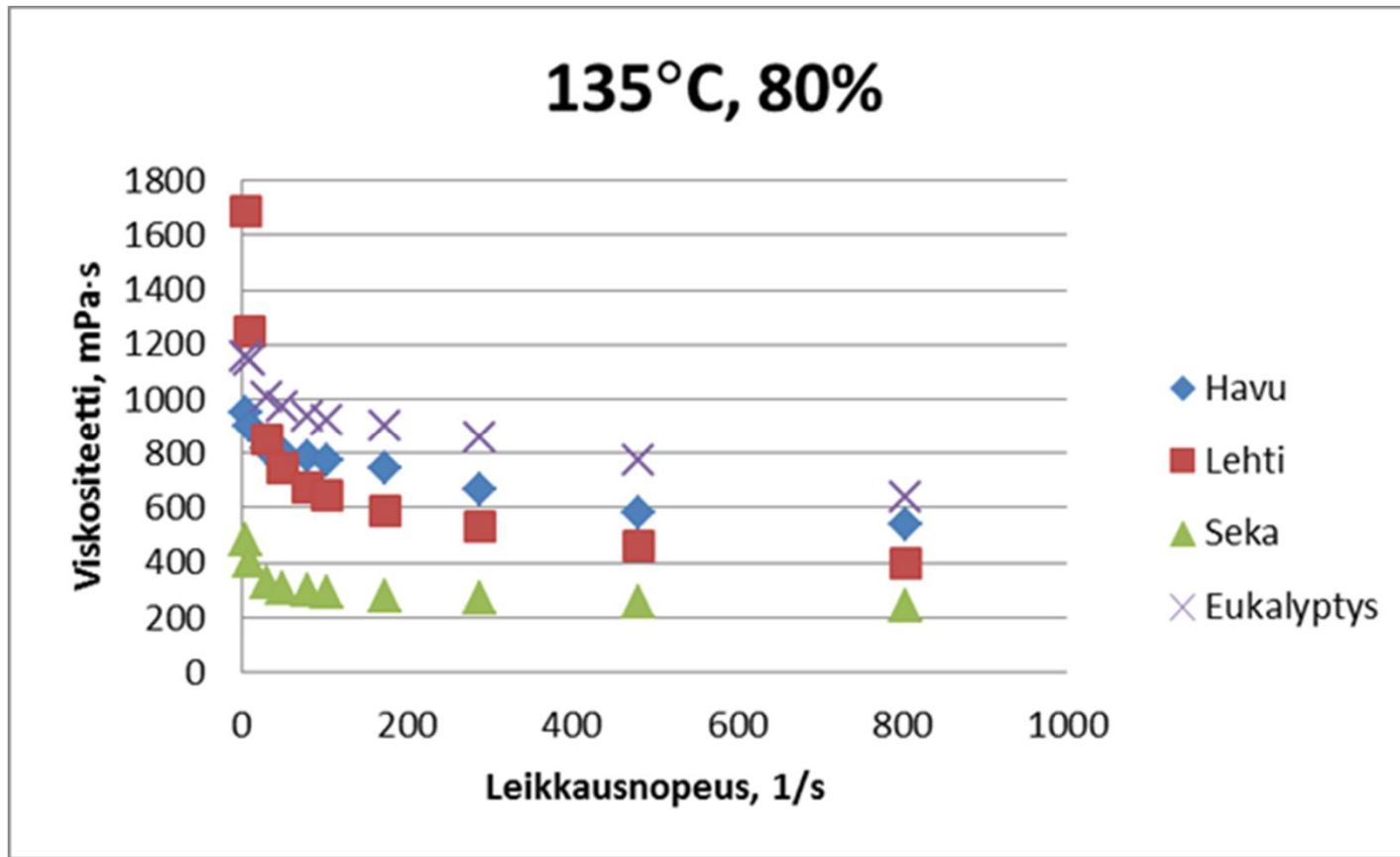
Lipeälaatu	Ruiskutus lämpötila	Kuiva-ainepitoisuus			Kiehumis pisteen
		Tehdas	Lab. Normaali	Lab. Paineistettu	nousu
	°C	%	%	%	°C
Havu	134.6	75.7	73.7	73.1	18.3
Lehtipuu	126	70	73.1	71.2	15
Seka	144	81.8	81.8	82.7	28
Eukalyptus	-	-	77.8	-	-

				Rauma 20.2.2014	Kymi 26.3.2014	Äänekoski 25.4
Kuiva-aine		%	SCAN-N 22:77	73.1	82.7	71.2
Kuiva-aineen						
tuhka		%	KCL 59:83	56.3	58.2	56.3
hiili	C	%	ASTM D 5373	31.1	28.9	30.5
vety	H	%	ASTM D 5373	4.4	3.4	3.7
typpi (Kjeldahl)	N	%	SFS 5505 modif.	0.062	0.073	0.116
natrium	Na	%	SCAN-N 37:98	21.7	22.1	21.6
kalium	K	%	SCAN-N 37:98	2.7	3.4	2.8
alumiini	Al	mg/kg	SCAN-N 38:10	32	23	22
barium	Ba	mg/kg	SCAN-N 38:10	4.4	8.0	5.6
kalsium	Ca	mg/kg	SCAN-N 38:10	360	230	120
kupari	Cu	mg/kg	SCAN-N 38:10	2.5	< 1	< 1
rauta	Fe	mg/kg	SCAN-N 38:10	17	12	8.7
magnesium	Mg	mg/kg	SCAN-N 38:10	390	160	190
mangaani	Mn	mg/kg	SCAN-N 38:10	63	60	66
fosfori	P	mg/kg	SCAN-N 38:10	89	120	130
pii	Si	mg/kg	SCAN-N 38:10	290	260	180
vanadiini	V	mg/kg	SCAN-N 38:10	15	< 5	15
sinkki	Zn	mg/kg	SCAN-N 38:10	15	29	24
rikki	S	%	SCAN-N 38:10			
kloori	Cl	%	AOX-laitte	0.2	0.2	0.2
karbonaatti	CO ₃ ⁼	%	SCAN-N 32:98	5.2	6.2	6.1
sulfaatti	SO ₄ ⁼	%	KCL 71:81	7.2	7.0	6.3
sulfidi	S ⁼	%	SCAN-N 31:94	3.6	2.7	2.3
jäännösalkali	NaOH	%	SCAN-N 33:94	4.6	4.3	3.2
polysakkaridit		%	HPAEC-PAD	1.2	1.6	4.0
epäorg./org.-suhde			KCL 61:83	0.67	0.71	0.64
kalorimetrinen lämpöarvo		MJ/kg	Autom. kalorimetri	13.18	12.20	12.73
tehollinen lämpöarvo		MJ/kg				
Näytteen tehollinen lämpöarvo		MJ/kg				
Dynaaminen viskositeetti		mPa*s				

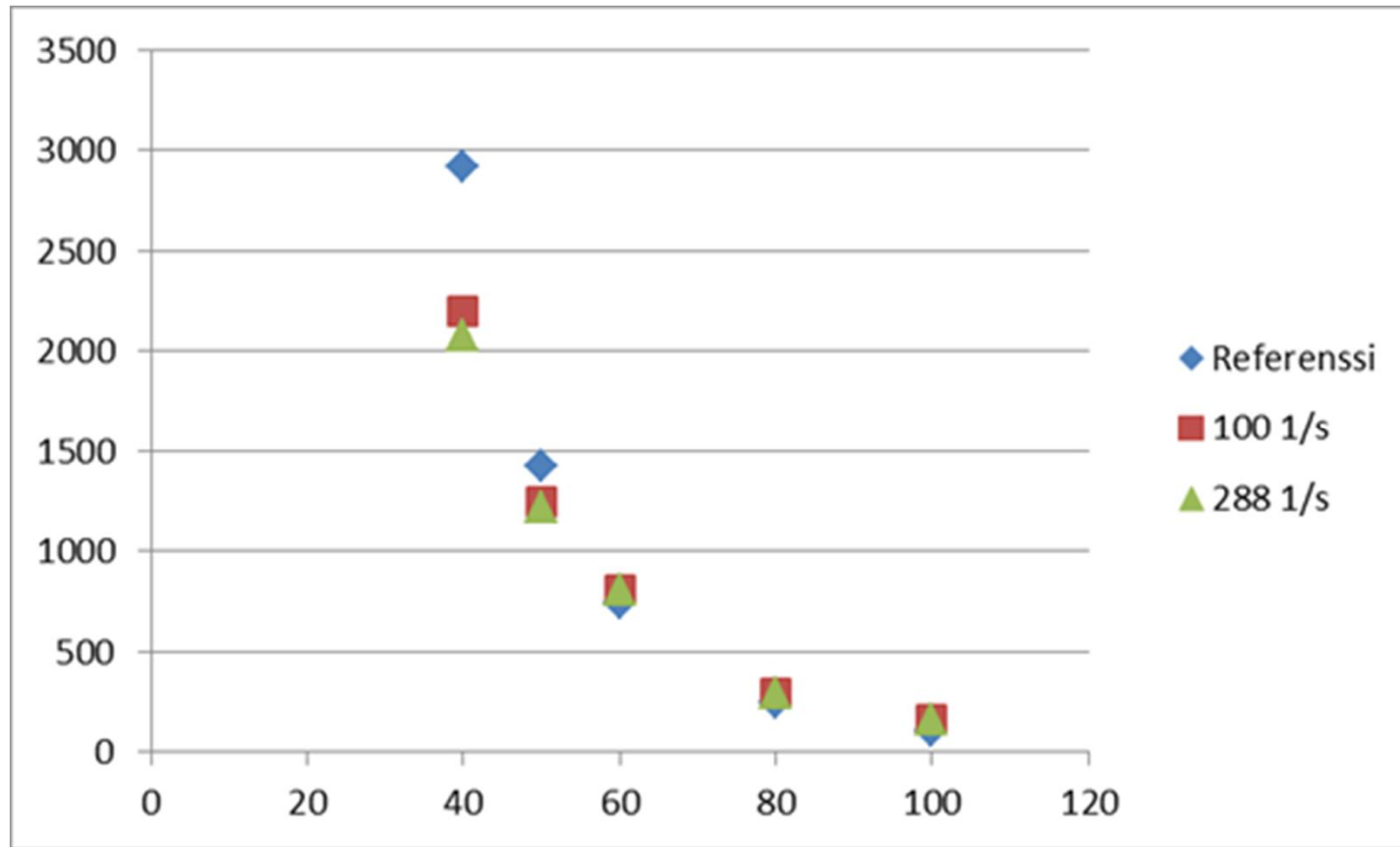
Viskometri



Mustalipeän viskositeetti leikkausnopeuden muuttuessa



Kalibrointi



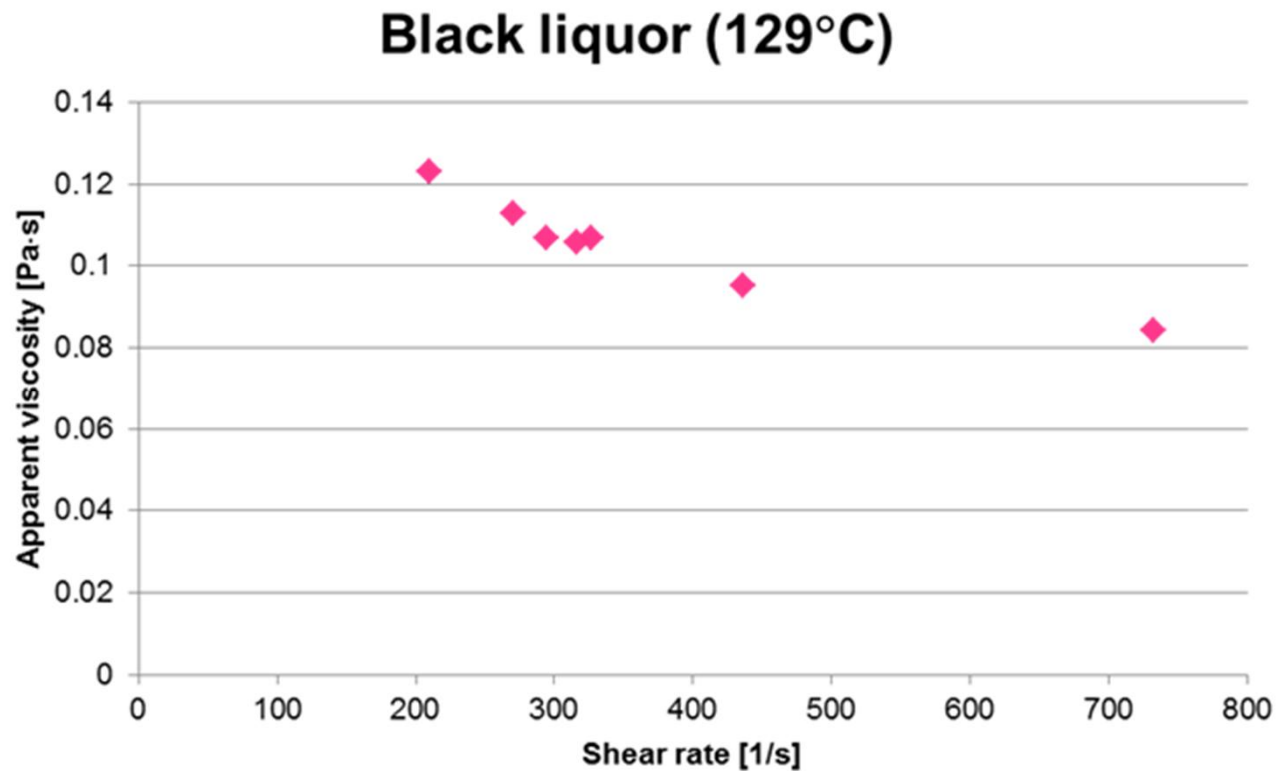
Viskositeetti lämpötilan muuttuessa

Lämpötila, °C	Sertifioitu arvo mPas	Mitattu arvo, 100 1/s mPas	Mitattu arvo, 288 1/s mPas	Ero 100 1/s mPas	Ero 288 1/s mPas	Ero 100 1/s %	Ero 288 1/s %
40	2921	2195	2080	-726	-841	-24.9	-28.8
50	1423	1245	1218	-178	-205	-12.5	-14.4
60	744.7	810	802	65.3	57.3	8.8	7.7
80	247.6	290	288	42.4	40.4	17.1	16.3
100	102.1	165	158	62.9	55.9	61.6	54.8

Kapillaariviskometri



Mustalipeän viskositeetti



Havulipeä, kuiva-ainepitoisuus 73.1 %

8 mm pisarat 300 mPas 0-0.6 s

- 8 mm ei suurta eroa
- 15 m/s nopeudella pisarat valmiit 9 m päässä

Newtonian



time: 0.12000



time: 0.24000



time: 0.36000



time: 0.48000



time: 0.60000

Non-Newtonian



time: 0.120000



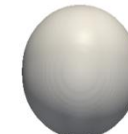
time: 0.240000



time: 0.360000



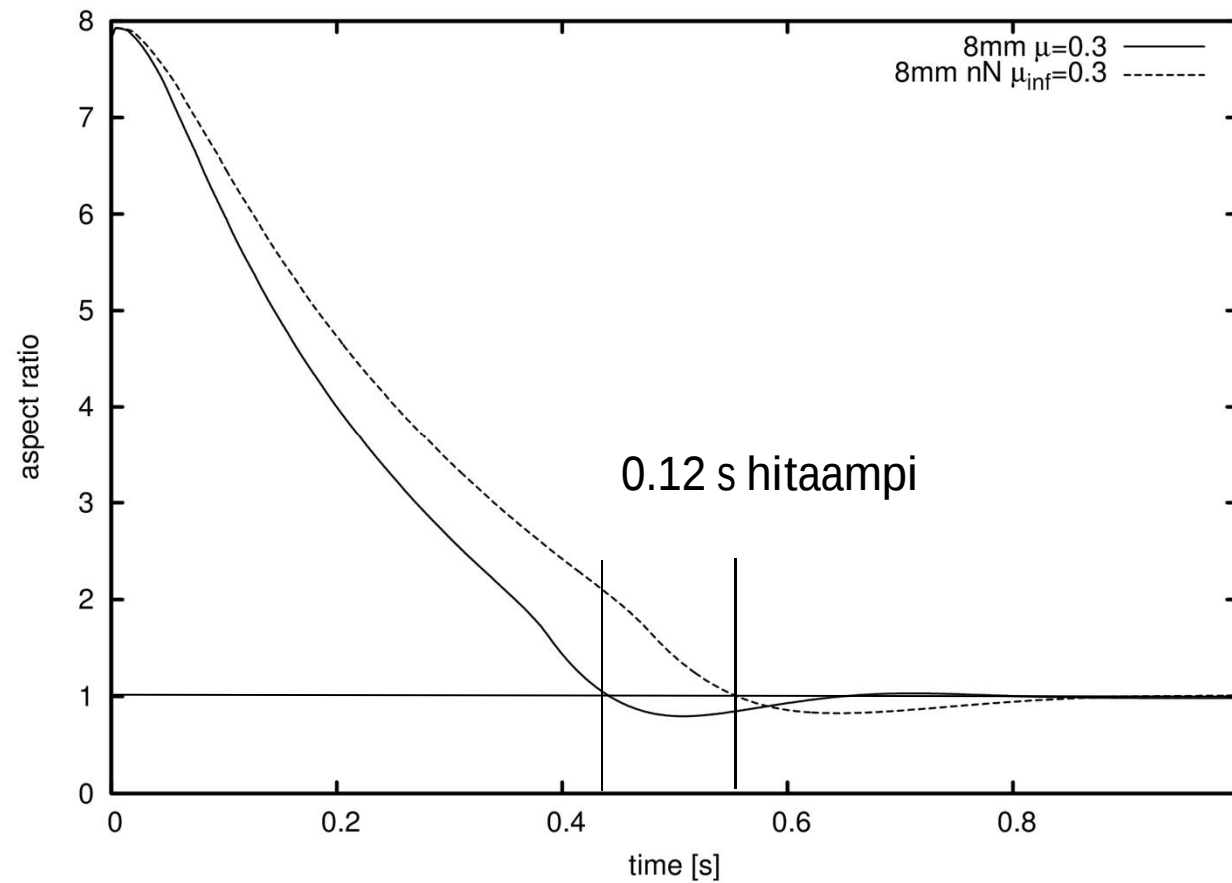
time: 0.480000



time: 0.600000

9 m

8 mm pisaran muodostuminen, vertailu numeroina



Johtopäätökset

- Kaikki lipeät ei-Newtonilaisia pienillä leikkausnopeuksilla
- Ei merkitystä pumpuissa tai putkistoissa
- Haihduttimen loppuosissa ja etenkin pisaroitumiselle tulipesässä ei-Newtonilaisuus tärkeää

Jatkotutkimus

- Viskometrin toiminta varmistettava
- Pisaran muodonmuutoksen mallinnusta jatkettava
- Malli validoitava