

Jouni Korpela

Laadunvalvonnan kehittäminen reometrin avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

15.12.2017

Tekijä Otsikko	Jouni Korpela Laadunvalvonnan kehittäminen reometrillä avulla
Sivumäärä Aika	55 sivua + 6 liitettä 15.12.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Ohjaajat	Tuotekehityskemisti Artem Vochev (Teknos Oy) Yliopettaja Kai Laitinen (Metropolia AMK)
<p>Teknos haluaa kehittää nestemaalien laadunvalvontaansa. Yksi tärkeimmistä nestemaalin mitattavista ominaisuuksista on sen viskositeetti. Maalin viskositeetti vaikuttaa maalin levittymiseen maalattavalla pinnalla ja siihen, valuuko maali pinnalla. Ruiskumaalauksessa viskositeetti vaikuttaa myös maalin virtaamiseen maaliruiskussa.</p> <p>Viskometreillä voidaan tehdä yksinkertaisia viskositeetin mittauksia. Niillä mitattavan viskositeetin leikkausnopeusalue on kuitenkin hyvin rajattu. Reometrillä taas voidaan mitata viskositeettiä erittäin laajalta leikkausnopeusalueelta. Yksi tärkeimmistä kysymyksistä oli tutkia, voidaanko viskometrimittauksia korvata reometrillä. Brookfield- ja Krebs-Stormer-viskometreillä mitattiin 17 eri vesiohenteisen maalaustuotteen viskositeettiä. Jokaisesta tuotteesta oli mitattavana keskimäärin 5 eri tuotantoerää. Samojen tuotteiden viskositeettiä mitattiin myös reometrillä. Reometrillä viskositeettiprofiilimittaus tehtiin 50 eri leikkausnopeuspisteessä. Lisäksi jokaiselle tuotteelle tehtiin valumiskoe.</p> <p>Reometrillä mitattavista piirrettiin tuotekohtaiset viskositeettiprofiilit leikkausnopeuden funktiona. Viskometrimittaukset yritettiin yhdistää viskositeettiprofiiliin etsimällä ne reometrillä mitattavat leikkausnopeuspisteet, joissa reometrillä mitattava viskositeetti oli mahdollisimman lähellä viskometrimittauksen viskositeettiarvoa. Koska viskometrit tuottavat suhteellisia viskositeettiarvoja ja reometri absoluuttisia viskositeettiarvoja, voidaan näiden yhdistämistä tutkia lähinnä tuotekohtaisesti tekemällä paljon mittauksia. Reometrillä mitattiin myös tuotteiden tiksotrooppisuutta, tuotteiden LVE-alueita sekä varasto- ja häviömoduulia.</p> <p>Työn tuloksena saatiin määritettyä joillekin tuotteille leikkausnopeusalue, jolla reometrillä mitattava viskositeetti voisi korvata tietyn viskometrimittauksen. Joidenkin tuotteiden osalta viskometrimittauksen korvaaminen reometrillä ei suoraan onnistu.</p>	
Avainsanat	laadunvalvonta, nestemaali, reologia, viskositeetti, reometri

Author Title	Jouni Korpela Improving Quality Control with a Rheometer
Number of Pages Date	55 pages + 6 appendices 15 December 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Professional Major	Materials and Surface Treatment Technology
Instructors	Artem Vochev, R & D Chemist (Teknos Oy) Kai Laitinen, Principal Lecturer (Metropolia UAS)
<p>Teknos wants to further improve the quality control of its paints. One of the most important measurable parameters of paint is its viscosity. The viscosity of paint affects how applied paint levels on the surface to be painted. It also affects whether paint flows or settles uniformly on the surface. When spray painting with a spray gun, the viscosity of paint also determines the flow behavior of the paint in the spray gun.</p> <p>Simple viscosity measurements can be carried out with viscometers, but the shear rate range of viscometers is quite limited. With a rheometer viscosity can be measured on a much wider range of shear rate than with viscometers. One of the most important fields of study was to examine the possibility to replace viscometer measurements with rheometer measurements. Brookfield and Krebs-Stormer viscometers were used to measure the viscosity of 17 different water-dilutable painting products. From every product an average of 5 different production batches were measured. The viscosity of these same painting products was also measured with a rheometer. The viscosity curve was plotted from 50 different rheometer's measuring points. Each of these points were measured with a different shear rate. In addition to viscometer and rheometer measurements, a sagging experiment was carried out for each 17 products.</p> <p>Product-specific viscosity curves were plotted; the curves for the different batches of a product were shown on the same graph. In addition, an attempt was made to combine the viscometer measurements on the same graph by finding those rheometer's shear rate points whose viscosity value was most close to the rheometer's viscosity value. Since viscometers measure relative viscosity values and rheometer measures absolute viscosity values, the combining of these values can only be tried with product-specific experiments. With a rheometer also the thixotropy of a product, LVE-region of the product, the storage modulus and the loss modulus of the product were measured.</p> <p>As a result, a product-specific rheometer shear rate range was defined for some products. At this range, a viscometer measurement could be replaced by a rheometer measurement. For some products replacing viscometer measurements with rheometer measurements is not a viable option.</p>	
Keywords	quality control, paint, rheology, viscosity, rheometer

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Maalien reologiaa	2
2.1	Reologia tieteenalana	2
2.2	Viskositeetin määritelmä	2
2.3	Muita reologian käsitteitä	4
2.4	Nesteiden reologinen jaottelu ja maalien viskositeetista	7
2.5	Maalien levitysmenetelmiä	8
2.6	Maalien leikkausnopeuksista	9
3	Maalien viskositeetin mittaamenetelmiä	9
3.1	Viskositeettikupit	10
3.2	Brookfield-viskometri ja Krebs-Stormer-viskometri	12
3.3	Cone & Plate -viskometri	13
3.4	Reometri	14
3.5	Valumiskokeet	16
4	Tutkittavat tuotteet ja mittausten suoritus	17
4.1	Brookfield-viskometri ja Krebs-Stormer-viskometri	17
4.2	Reometri	20
4.2.1	Viskositeettikuvaaja	23
4.2.2	3ITT	23
4.2.3	Amplitudipyyhkäisy ja 3ITT - OSC	23
4.3	Valumiskokeet	24
5	Tulosten esittäminen	26
5.1	Yleistä	26
5.2	Reometrin viskositeettikuvaajat ja viskometrimittaukset	27
5.3	3ITT	28
5.4	Amplitudipyyhkäisy ja 3ITT - OSC	29
5.5	Valumiskokeet	29
6	Tulokset ja tulosten analysointi	30
6.1	Reometrin viskositeettikuvaajien ja viskometrimittausten korrelaatiosta	30

6.2	3ITT	44
6.3	Amplitudipyyhkäisy ja 3ITT - OSC	48
6.4	Valumiskokeet	49
6.5	Virhelähteitä	51
7	Johtopäätökset	52
7.1	Reometrin viskositeettikuvaajien ja viskometrimittausten korrelaatiosta	52
7.2	3ITT	53
7.3	Amplitudipyyhkäisy ja 3ITT - OSC	53
7.4	Valumiskokeet	54
	Lähteet	55
	Liitteet	
	Liite 1. Muunnostaulukko KU-yksiköstä cP-yksikköön	
	Liite 2. Tuotteiden viskositeettikuvaajat (kaikki erät samassa)	
	Liite 3. Tuotteen 1 viskositeettikuvaaja (jokainen erä erikseen)	
	Liite 4. Tuotteiden 3ITT-yhteiskuvaajat	
	Liite 5. Tuotteen 1 amplitudipyyhkäisy-yhteiskuvaaja	
	Liite 6. Tuotteen 1 3ITT - OSC-yhteiskuvaaja	

Lyhenteet ja käsitteet

3ITT	reometrin tiksotrooppisuusmittaus
3ITT - OSC	reometrin varastomoduuli- ja häviömoduuli- sekä tiksotrooppisuusmittaus oskilloimalla
amplitude sweep	amplitudipyhäisy
B5/1	Brookfield-viskometrin mittauksen lyhenne (käytettiin karaa numero 5 kierrosnopeudella 1/min)
B5/10	Brookfield-viskometrin mittauksen lyhenne (käytettiin karaa numero 5 kierrosnopeudella 10/min)
KU	Krebs-Unit, Krebs-stormer-viskometrin mittayksikkö
LVE region	linear viscoelastic region, LVE-alue
reologia	tieteenala aineen muodonmuutoksesta ja virtauksesta
rheometer	reometri, viskositeetin ja muiden reologisten muuttujien mittaustilaite
shear rate	leikkausnopeus
viscosity	viskositeetti
viskometri	viskositeetin mittaustilaite (esimerkiksi Brookfield tai Krebs-Stormer)

1 Johdanto

Teknos perustettiin vuonna 1948. Teknos on edelleen perheyritys. Teknoksen visiona on olla johtava, paikallisesti toimiva ja teknisesti edistyksellisten pinnoiteratkaisujen tuottaja. Teknoksen strategiana on kasvaa nopeasti ja kannattavasti. Vuonna 2016 Teknoksen liikevaihto oli 307 milj. € ja liikevoitto oli 43 milj. €. Henkilöstöä Teknoksella oli 1 300. (2016 In Brief 2017: 1.)

Teknoksen nestemaalien laadunvalvonnassa on tärkeää saada luotettavia mittaustuloksia mahdollisimman nopeasti. Yksi laadunvalvonnassa tutkittavista maalin ominaisuuksista on maalin viskositeetti. Maalin viskositeetti kuvaa, miten maali levittyy, virtaa maaliruiskussa ja sitä, valuuko se maalattavalla pinnalla levittämisen jälkeen. Nestemaalin viskositeettia voidaan mitata monella eri tavalla.

Verrattuna muihin viskositeetin mittaamenetelmiin voidaan reometrilla mitata maalin viskositeettia yhdellä mittauksella koko leikkausnopeusalueelta. Siinä missä muilla menetelmillä saadaan mitattua yksittäisiä pisteitä viskositeettikäyrältä, voidaan reometrilla mitata viskositeettikäyrä kokonaisuudessaan.

Tässä insinööriyössä etsitään menetelmiä yhdistää vanhemmat viskositeetin mittaamenetelmät reometrimittauksiin. Insinööriyössä mitattiin viidentoista maalin, yhden lakan ja yhden kitin viskositeettia. Kaikki seitsemäntoista tuotetta olivat vesiohenteisia. Lisäksi tutkittiin näiden tuotteiden reologisia ominaisuuksia. Insinööriyön tarkoituksena oli yrittää löytää silta vanhempien viskositeetin mittaamenetelmien ja uusien reometrimittausten välille. Tarkoituksena oli myös tutkia millä muilla tavoin reometria voidaan hyödyntää nestemaalien laadunvalvonnassa.

Reometrimittaukset ovat toistettavuudeltaan luotettavampia kuin perinteiset viskometri-mittaukset. Lisäksi yhdellä reometrimittauksella voidaan saada enemmän tietoa maalin viskositeetista ja reologisista ominaisuuksista kuin usealla viskometri-mittauksella. Lisäksi reometrimittauksissa tarvitaan vain hyvin pieni määrä maalia verrattuna siihen, että perinteisissä viskometri-mittauksissa maalia tarvitaan suhteellisen paljon. Reometrilla voidaan myös tutkia tuotteen tiksotrooppisuutta paljon paremmin kuin viskometreillä.

2 Maalien reologiaa

2.1 Reologia tieteenalana

Reologialla tarkoitetaan tieteenalaa aineen muodonmuutoksesta ja virtauksesta. Reologia on osa fysiikkaa ja fysikaalista kemiaa, koska tärkeimmät suureet tulevat mekaniikan saralta: voimat, poikkeumat ja nopeudet. Reologiset kokeet tuovat tietoa nestemäisten aineiden virtauskäyttäymisen lisäksi myös kiinteiden aineiden muodonmuutuskäyttäytymisestä. Aineen viskoelastisuudella tarkoitetaan sitä, että kaikki reaali maailman aine käyttäytyy osittain viskoosin nesteen ja osittain elastisen kiinteän aineen tavoin. Esimerkki ideaalisesta viskoosista nesteestä voisi olla matalaviskoosinen mineraaliöljy. Toisaalta ideaalinen elastinen kiinteä aine voisi olla teräksestä valmistettu kiinteä pallo. Reometrialla puolestaan tarkoitetaan sitä mittausteknologiaa, jolla voidaan mitata reologian raakadataa. (Metzger 2014: 17–18.)

2.2 Viskositeetin määritelmä

Viskositeetilla tarkoitetaan nesteen sisäistä kitkaa (Giancoli 2000: 350). Yksinkertaistettuna viskositeetti tarkoittaa nestemäisen aineen ominaisuutta joko virrata tai vastustaa virtausta. Mitä isompi viskositeetti nestemäisellä aineella on, sitä enemmän se vastustaa virtausta.

Viskositeetin määrittelemiseksi täytyy määritellä ensin kaksi apukäsitettä. Leikkausjännitys τ määritellään seuraavasti:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

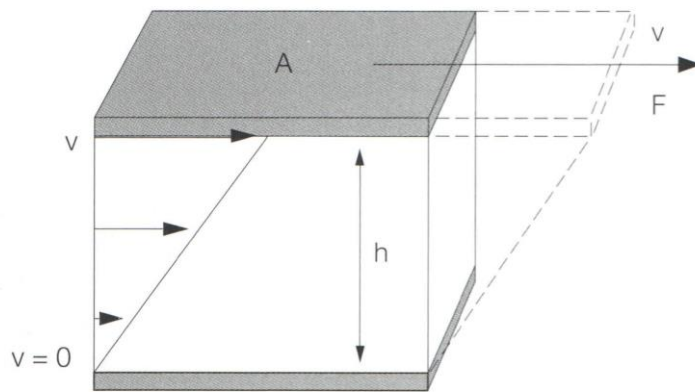
,jossa F on leikkausvoima yksikössä N (newton) ja A on leikkauspinta-ala yksikössä m² (Mezger 2015: 22). Leikkausjännitys τ määritellään siis leikkausvoimaksi pinta-alaa kohden. Leikkausjännityksen yksikkö on

$$1 \frac{N}{m^2} = 1 Pa \quad (2)$$

Leikkausnopeus γ (gamman päällä piste) puolestaan määritellään seuraavasti:

$$\gamma = \frac{v}{h} \quad (3)$$

,jossa v on virtausnopeus yksikössä m/s ja h on leikkausraon korkeus yksikössä m. (Mezger 2015: 22–23.) Kuvassa 1 käytetään kaksitasomallia leikkausjännityksen ja leikkausnopeuden laskemiseen. Kuvassa 1 A on leikkauspinta-ala, h on leikkausraon korkeus, F on leikkausvoima ja v on virtausnopeus. Alempi taso mallissa siis pysyy paikallaan ja ylempi taso pinta-alaltaan A liikkuu voiman F vaikutuksesta oikealle nopeudella v .



Kuva 1. Leikkausjännityksen τ ja leikkausnopeuden γ laskeminen (Mezger 2015: 22)

Leikkausnopeuden γ yksikkö on

$$\frac{1}{s} = 1 \text{ s}^{-1} \quad (4)$$

Näiden kahden apukäsitteen avulla voidaan nyt määritellä viskositeetiksi leikkausjännityksen suhde leikkausnopeuteen (Mezger 2015: 25):

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \quad (5)$$

Kaavaa (5) kutsutaan viskositeetilainiksi tai Newtonin lainiksi. Joskus η :ää voidaan kutsua myös dynaamiseksi viskositeetiksi. (Mezger 2015: 25.) Viskositeetilain käyttämiseksi täytyy mittaustilanteessa kahden fysikaalisen ehdon täyttyä. Ensiksi näytteen ja molempien tasojen välillä täytyy olla adheesiovoimia ilman seinäliukumisen tapahtumista (wall-slip effect). Toiseksi molempien tasojen välillä tapahtuvan virtauksen täytyy täyttää lami-

naarisen virtauksen ehdot. Tällöin virtaus voidaan mallintaa ohuina toistensa päällä olevina tasojen suuntaisina kerroksina. Mikäli virtaus mittaustilanteessa on turbulენტistä ja aiheuttaa pyörteitä, ei viskositeettilakia (5) voida käyttää. (Metzger 2014: 21.)

SI-järjestelmässä viskositeetin η yksikkö on $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = \text{Pa} \cdot \text{s}$ (pascal * sekunti) Vastaa vasti cgs-järjestelmässä viskositeetin yksikkö on $\text{dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^2 = \text{P}$ (poise). Cgs-järjestelmässä viskositeettia mitataan yleensä senttipoiseina cP ($1 \text{ cP} = 10^{-2} \text{ P}$). (Giancoli 2000: 350.) KU (Krebs-Unit) puolestaan on viskositeetin mittayksikkö, jota käytetään Krebs-Stormer-viskometreissä.

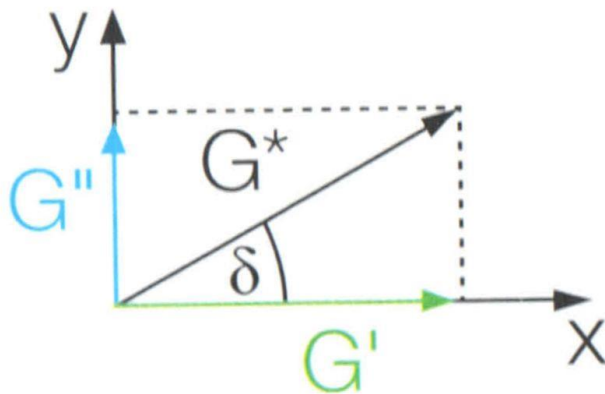
2.3 Muita reologian käsitteitä

Oskillointitesteille voidaan määrittää elastisuuslaki leikkausviskositeetin oskillointitesteille (Law of Elasticity for oscillatory shear tests) seuraavasti:

$$G^* = \frac{\tau_A}{\gamma_A} \quad (6)$$

,jossa G^* on kompleksinen leikkausmoduuli (complex shear modulus) yksikössä Pa ja τ_A on leikkausjännityksen amplitudi yksikössä Pa sekä γ_A on rasituksen amplitudi (yksikötön tai ilmaistu prosentteissa %). G^* kuvaa näytteen kokonaisvaltaista viskoelastista käyttäytymistä, ja sitä kutsutaan kompleksiseksi leikkausmoduuliksi. (Mezger 2015: 95.)

G^* voidaan esittää matemaattisesti vektorina normaalissa xy-koordinaatistossa kuvan 2 mukaisesti. Jos G^* -vektori sijoitetaan alkamaan origosta, voidaan se jakaa x- ja y-komponentteihin. G' on G^* -vektorin x-komponentti ja G'' on puolestaan y-komponentti kuvan 2 mukaisesti. G' :a kutsutaan varastomoduliiksi ja G'' :a kutsutaan häviömoduliiksi. Lisäksi vaihesiirtymäkulma δ on kulma, joka jää vektorien G' ja G^* väliin. Sekä varastomodulin että häviömodulin yksikkönä on Pa. Varastomoduli G' edustaa elastista osuutta näytteen viskoelastisesta käyttäytymisestä, ja häviömoduli G'' edustaa viskoosia osuutta näytteen viskoelastisesta käyttäytymisestä. (Mezger 2015: 96–97.)



Kuva 2. G^* -vektori jaettuna komponentteihin G' ja G'' (Mezger 2015: 97)

Viskoelastisilla kiinteillä aineilla $G' > G''$ eli varastomuuli on häviömoduulia suurempi. Puolestaan viskoelastisilla nestemäisillä aineilla $G'' > G'$ eli häviömoduuli on varastomuulia suurempi. (Mezger 2015: 97–98.)

Vaimennustekijä

Vaihesiirtymäkulman δ sekä varastomuulin G' ja häviömoduulin G'' avulla voidaan määrittellä vaimennustekijä (loss factor tai damping factor) seuraavasti:

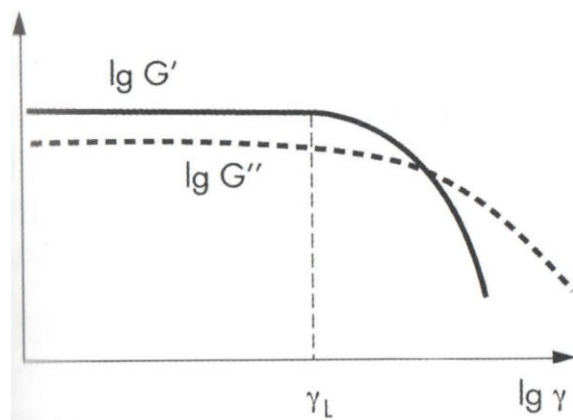
$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (7)$$

,joka siis on deltakulman tangenti ja on yksikötön luku. Tämä vaimennustekijä kuvaa kahden viskoelastisen osuuden suhdetta. Täysin ideaaliselle elastiselle käyttäytymiselle $\delta = 0^\circ$, jolloin viskoosia osuutta G'' ei ole. Puolestaan täysin ideaaliselle viskoosille käyttäytymiselle $\delta = 90^\circ$, jolloin elastista osuutta G' ei ole.

LVE-alue (LVE region)

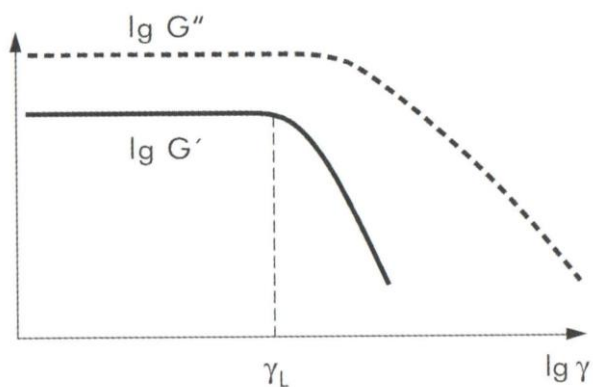
Kuvien 3 ja 4 mukaisesti voidaan amplitudipyyhkäisymittauksella (amplitude sweep) mitata näytteen LVE-alue. Kuvissa on x-akselilla rasitus-% sekä y-akselilla G' ja G'' . Ennen tuntemattoman näytteen tutkimista oskillointitesteillä täytyy sille tehdä amplitudipyyhkäisymittaus, jotta voidaan määrittää LVE-alue. LVE-alue kertoo alueen, jolla oskillointitesti voidaan suorittaa hajoittamatta näytteen rakennetta. (Mezger 2015: 102–103.) LVE-

alueella sekä G' - että G'' -funktioiden arvot ovat vakioita vaakasuoralla alueella (Metzger, 2014: 146).



Kuva 3. Amplitudipyyhkäisymittaus, jossa LVE-alueella funktioiden G' ja G'' arvot ovat vakioita vaakasuoralla alueella (Metzger 2014: 147)

Kuvassa 3 $G' > G''$, joten näyte käyttäytyy LVE-alueella viskoelastisen kiinteän aineen tavoin tai geelimäisesti.



Kuva 4. Amplitudipyyhkäisymittaus, LVE-alueella funktioiden G' ja G'' arvot ovat vakioita vaakasuoralla alueella (Metzger 2014: 147)

Kuvassa 4 $G'' > G'$, joten näyte käyttäytyy LVE-alueella viskoelastisen nesteen tavoin.

2.4 Nesteiden reologinen jaottelu ja maalien viskositeetista

Nesteet voidaan jaotella reologiamallien mukaan neljään eri kategoriaan. Newtonin nesteessä ”nesteeseen kohdistettu leikkausvoima ei vaikuta viskositeettiin vakiolämpötilassa” (Panka 2003a: 2). Esimerkiksi vesi ja pellavaöljy ovat Newtonin nesteitä, mutta maalit eivät. Dilatantit nesteet ovat leikkauspaksunevia nesteitä, joissa viskositeetti nousee leikkausvoiman kasvaessa. Esimerkiksi pigmenttipastat, joita maaleissa käytetään, ovat dilatantteja nesteitä, mutta valmiit maalit eivät ole. (Panka 2003a: 2.)

Pseudoplastisella nesteellä tarkoitetaan leikkausohenevaa nestettä, eli nesteen viskositeetti laskee, kun leikkausvoima kasvaa. Pseudoplastinen maali ohenee levitettäessä, eikä valuisi, koska se palautuisi eli paksunisi välittömästi. Pseudoplastisella maalilla maalin pinta jäisi pensselimaalauksessa raitaiseksi, koska maali ei ehtisi tasoittua. Tämän vuoksi puhtaasti pseudoplastinen maali on harvinainen. Tikstrooppisen nesteen viskositeetti laskee leikkausvoiman kasvaessa samalla tavalla kuin pseudoplastisissa nesteissä, mutta viskositeetti palautuu takaisin hitaammin kuin pseudoplastisissa nesteissä. Tikstrooppinen maali ohenee levitettäessä ja paksunee niin nopeasti, ettei valu. Toisaalta tikstrooppinen maali kuitenkin paksunee niin hitaasti, että ehtii tasoittua. (Panka 2003a: 2.)

Maalit koostuvat neljästä eri aineryhmästä: sideaineesta, pigmentistä ja täyteaineista, liuottimista ja apuaineista. Sideaine sitoo maalin ainesosat yhteen. Pigmentillä ja täyteaineilla säädetään maalin värisävyä, peittokykyä, korroosionestoa, reologiaa, kiiltoa yms. Liuotin liuottaa sideaineen, mikä alentaa maalin viskositeettia ja tekee maalista helposti levitettävää. Apuaineilla voidaan puolestaan hienosäätää maalin ominaisuuksia. (Panka 2003a: 1.) Apuaineista esimerkiksi paksuntimella voidaan kasvattaa maalin viskositeettia.

Maalin viskositeettiin vaikuttavat monet eri tekijät. Yksi tärkeimmistä viskositeettiin vaikuttava tekijä on maalin kuiva-ainepitoisuus (Ahonen 1986: 98). Maalin kuiva-ainepitoisuudella tarkoitetaan sen haihtumattomien ainesosien tilavuuden suhdetta sen kokonaistilavuuteen. Kuiva-ainepitoisuus ilmoitetaan tilavuusprosentteina. (Ahonen 1986: 12.) Ohentamalla maalia ohenteelle voidaan pienentää maalin kuiva-ainepitoisuutta ja siten pienentää maalin viskositeettia. Lämpötila vaikuttaa maalin viskositeettiin myös paljon. Teollisessa ruiskumaalauksessa käytetään maalinlämmittämiä alentamaan maalin

viskositeettia. Työmaalla kylmissä olosuhteissa täytyy myös huomioida, että maalin viskositeetti kylmänä on suurempi kuin lämpimänä. Myös maalin sideaine vaikuttaa maalin viskositeettiin. (Ahonen 1986: 98.) Maalin apuaineista esimerkiksi paksuntimella voidaan kasvattaa maalin viskositeettia. Tyypillisesti kaikilla paksuntimilla voidaan saada maalista reologialtaan tiksotrooppista. (Panka 2003a: 2.)

2.5 Maalien levitysmenetelmiä

Sivellin ja telalevitys

Sivellinlevityksessä maalin pitää tasoittua, mutta ei valua. Sivellin- ja telamaalauksessa maalin tarvitsee olla helposti siveltävissä ja telattavissa. Maalin viskositeetti ei kuitenkaan saa laskea levitysvaiheessa (leikkausvoiman kasvaessa) liikaa, jottei siveltävä maali valu tai telattava maali roisku. Telamaalauksessa maalin ei tarvitse tasoittua, koska telakuvio on usein haluttu ominaisuus maalille. (Panka 2003a: 3.)

Ruiskumaalaus

Ruiskumaalauksessa on tärkeää, että maali tulee ruiskusta hyvin ulos. Ruiskumaalien viskositeetti on usein korkeilla leikkausvoimilla pieni. Ruiskumaalien täytyy kuitenkin myös tasoittua nopeasti, jotta maali ei paksujakaan kalvoja maalattaessa valu. (Panka 2003a: 3.)

Verhovalulevitys ja coil coat -pinnoitus

Vain tasopintoja maalattaessa ei valumisriskiä paljonkaan ole, minkä vuoksi maalin ei tarvitse olla luonteeltaan pseudoplastista. Maalin tulee olla reologialtaan hieman newtonilainen. (Panka 2003a: 3.)

Kastomaalaus ja valelumaalaus

Maali on näissä maalausmenetelmissä tyypillisesti varsin ohutta. Maalien tulee olla olemukseltaan lähellä newtonilaista. Maalien täytyy olla kuitenkin myös riittävän pseudoplastisia tai tiksotrooppisia, koska maalattavissa kappaleissa on sekä pysty- että vaakapintoja. (Panka 2003a: 3.)

2.6 Maalien leikkausnopeuksista

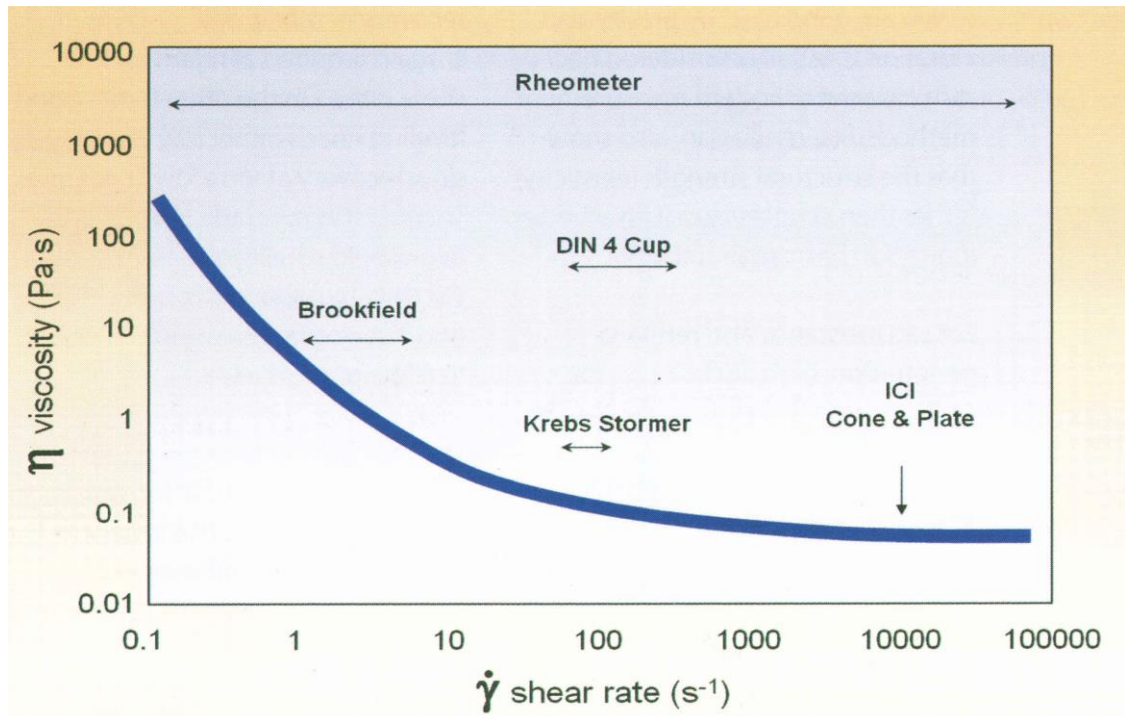
Leikkausnopeus maaleilla maalausprosessin eri vaiheissa vaihtelee todella paljon. Varastoinnissa maaleilla on hyvin alhainen leikkausnopeus, kun taas ruiskumaalauksessa tai sivelymaalauksessa leikkausnopeus on hyvin suuri. Kalevi Panka (Panka 2003b: 4) on luokitellut eri prosesseissa vallitsevat leikkausnopeudet seuraavan taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Leikkausnopeuksia maalausprosessin eri vaiheissa (Panka 2003b: 4)

Prosessi	Leikkausnopeus (1/s)
Varastointi	0,000001 - 0,0001
Tasoittuminen	0,01 - 0,1
Valuminen	0,1 – 10
Kastomaalaus	10 – 100
Sekoitus	10 – 1000
Ruiskutus/sively	1000 - 10 000
Pigmentin jauhaminen	1000 - 100 000

3 Maalien viskositeetin mittaamenetelmiä

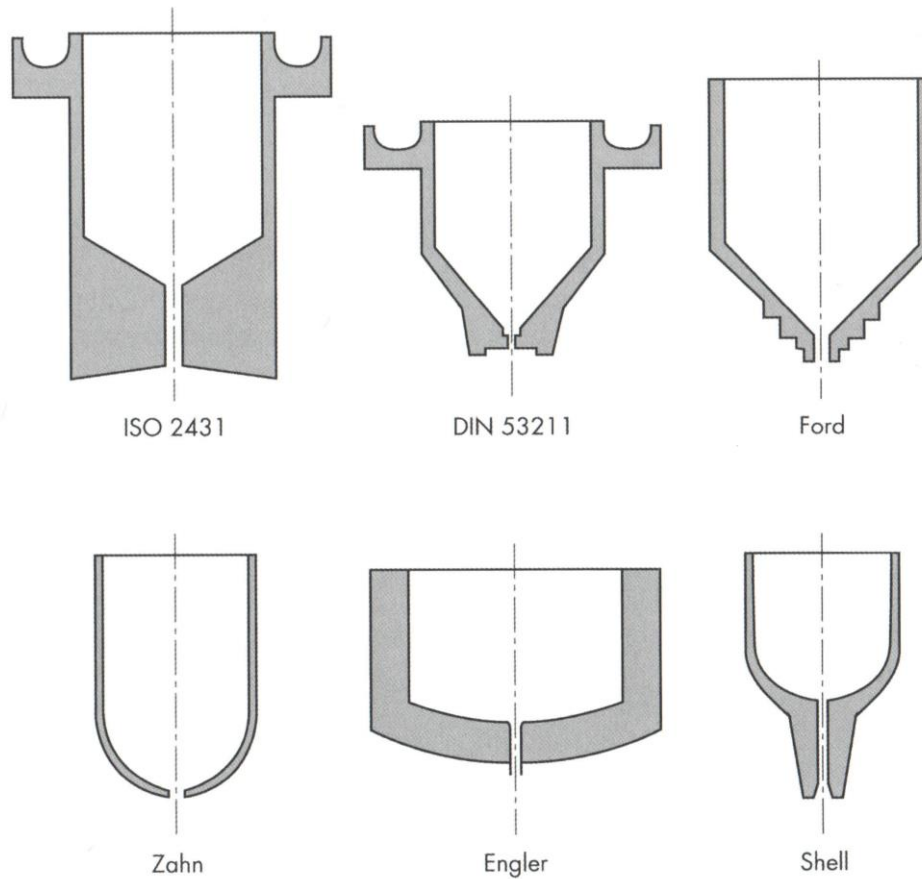
Maalin viskositeettia voidaan mitata muun muassa viskositeettikupilla (esim. DIN 4 tai ISO 2431), Brookfield-viskometrillä, Krebs-Stormer-viskometrillä, Cone & Plate -viskometrillä, valumiskokeilla ja reometrilla. Kuvassa 5 esitetään mille leikkausnopeuksien alueille eri viskositeetin mittaustavat sopivat.



Kuva 5. Erilaisille viskositeetin mittaussmenetelmille soveltuvat leikkausnopeudet (Rheology Handbook - A Practical Guide to Rheological Additives 2008: 6)

3.1 Viskositeetikupit

Viskositeetikupit ovat yksi helpoimmista tavoista mitata maalin viskositeettia. Tähän mittaukseen tarvitaan myös lämpömittaria, jotta voidaan mitata maalin lämpötila. Viskositeetikuppeja on nykyisen yleisemmin käytetyn ISO-kupin lisäksi myös monia muita: DIN-kuppi, Engler-kuppi, Ford-kuppi, Lehmann-kuppi, Shell-kuppi ja Zahn-kuppi. (Metzger 2014: 315) Kuvassa 6 on erilaisten viskositeetikuppien poikkileikkauksia konepiirustuskuvina.



Kuva 6. Erilaisia viskositeetikuppeja (Metzger 2014: 310)

Viskositeetikuppimittauksessa maalia kaadetaan kuppi täyteen ja ylimääräinen maali tasataan esimerkiksi vetämällä lasipuikolla kupin reunoja pitkin. Tämän jälkeen kupin pohjassa oleva reikä avataan ja annetaan maalin valua ulos kupista painovoiman vaikutuksesta. Valumisaika (kun maali valuu yhtenäisenä juovana valumisaukosta) mitataan sekuntikellolla. Viskositeettia ilmoitettaessa täytyy ilmoittaa mittausväline, valuma-aika ja mittauslämpötila: esim. Ford-4/ 22s/ 20 °C. (Ahonen 1986: 99.) Ford-4/ 22s/ 20 °C -merkintä tarkoittaa, että mittauksessa on käytetty Ford-kuppia. Lisäksi maalin lämpötila on ollut +20 °C ja maalin on kestänyt valua pohjareiästä 22 sekuntia.

Nykyään yleisemmin käytetyn standardin SFS-EN ISO 2431 mukaisia viskositeetikuppeja on pohjareiän halkaisijaltaan neljää eri kokoa: 3 mm, 4 mm, 5 mm ja 6 mm. Standardin mukaan näillä kaikilla voidaan mitata kinemaattista viskositeettia niin, että mittausaika on kolmenkymmenen ja sadan sekunnin välillä.

Viskositeetikuppi ei kuitenkaan sovi tiksotrooppisten maalien viskositeetin mittaamiseen. Viskositeetikupin mittaustulos on myös riippuvainen maalin tiheydestä, koska maali valuu painovoiman vaikutuksesta ulos viskositeetikupista. Tämän vuoksi tiheämpi (eli massaltaan suurempi) maali valuu nopeammin ulos kuin vähemmän tiheä (eli massaltaan pienempi) maali. Toisin sanoen kahdella eri tiheyksisellä maalilla voi olla sama viskositeetti, mutta tiheämpi niistä valuu nopeammin viskositeetikupista ulos.

3.2 Brookfield-viskometri ja Krebs-Stormer-viskometri

Brookfield-viskometriä käytettäessä sen kara upotetaan maalia sisältävään astiaan ja annetaan karan pyöriä maalissa. Brookfield-viskometrin kierrosnopeus voi olla esimerkiksi yksi kierros tai kymmenen kierrosta minuutissa. Viskometriin voidaan asettaa erilaisia karoja. Viskositeetilain (5) mukaan ei kuitenkaan ole mahdollista laskea viskositeettiarvoja ilman määriteltyjä leikkausnopeusarvoja. Leikkausnopeusarvojen puuttumisen vuoksi Brookfield-viskometrillä mitattavat viskositeettiarvot ovat suhteellisia viskositeettiarvoja toisin kuin esimerkiksi reometrillä mitattavat absoluuttiset viskositeettiarvot. (Metzger 2014: 258.)

Brookfield-viskometriä (DV-II+) käytettäessä valitaan sopiva mittauskara ja kierrosnopeus, jolla karaa pyöritetään mitattavassa nestemäisessä näytteessä. Viskometrissä on kalibroitu jousi, joka on yhteydessä mittauskaraan. Toimintaperiaatteena on, että pyörimisessä syntynyt liike aiheuttaa viskositeettivastuksen, joka on sitä suurempi, mitä suurempi viskositeetti nestemäisellä näytteellä on. Tarvitaan suurempaa vääntömomenttia vastuksen voittamiseksi, jotta pyörittäminen tietyllä nopeudella olisi mahdollista. Vääntömomenttia mitataan ja sen avulla lasketaan viskositeettiarvo. Mitattu viskositeettilukema ilmoitetaan yleensä senttipoiseina (cP). (Brookfield DV-II+ Programmable Viscometer Operating Instructions Manual No. M/97-164-F1102: 3.)

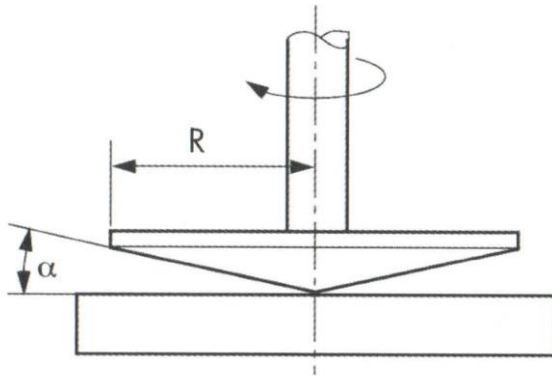
Krebs-Stormer-viskometriä käytetään maalliteollisuudessa yksinkertaisiin laadunvalvontatesteihin. Viskometrissä käytetyssä sekoituskarassa on kaksi sekoitusterää, joiden molempien koko on n. 24 mm x 8 mm kuvan 11 mukaisesti. Krebs-Stormer-viskometrin sekoituskara upotetaan astiaan, jossa on mitattava näyte. Tyypillisiä maalliteollisuudessa käytettäviä astioita ovat kooltaan ¼ litran, ½ litran ja 1 litran purkit. (Metzger 2014: 259–260.)

Aikaisemmat viskometrit ovat olleet hieman yksinkertaisempia, mutta nykyaikaisessa Krebs-Stormer-viskometrissä on sähkömoottori, joka pyörittää sekoituskaraa. Sähkömoottori pyörittää sekoituskaraa säännöllisellä kahden sadan kierroksen minuuttinopeudella. Viskometri voi mitata sekoituskaran vääntömomentin epäsuorasti mittaamalla sähkömoottorin tarvitsemaa sähkövirran määrää. Vääntömomentti voidaan vaihtoehtoisesti myös mitata viskometrissä olevan jousen avulla. Toisin sanoen viskometrillä saadaan mitattua sekoituskaran vääntömomentti, joka ilmaistaan Krebs-yksiköissä lyhennykseltään KU. (Metzger 2014: 259–260.)

Krebs-Stormer-viskometriä käytettäessä täytyy muistaa, että viskometrissä käytetty sekoituskara aiheuttaa pyöriessään turbulenttia virtausta. Koska virtaus on turbulenttinen, eikä laminaarinen, niin viskositeetilakia ei voida käyttää. Tämän vuoksi viskometrin ilmoittamia suhteellisia viskositeettiarvoja ei voida suoraan verrata absoluuttisiin viskositeettiarvoihin, joita esimerkiksi reometrillä saadaan. Muunnostaulukot KU-yksiköstä esimerkiksi yksikköön Pa*s perustuvat yleensä valmistajien tekemiin empiirisiin kokeisiin. (Metzger 2014: 260.)

3.3 Cone & Plate -viskometri

Cone & Plate -viskometrillä voidaan mitata viskositeettia hyvin suurilla leikkausnopeuksilla. Viskometri on suunniteltu mittaamaan viskositeettia leikkausnopeudella noin 10 000 1/s. (Metzger 2014: 247.) Cone & Plate -viskometrissä maalia levitetään vaakatasossa olevalle alustalle, jonka päällä pyörii kara. Tavallisesta kahden samansuuntaisen tason välisestä viskositeettimittauksesta kyseinen viskometri eroaa siinä, että yleensä karan alapinta ei olekaan geometrisesti vaakasuora suhteessa paikallaan olevan alustaan nähden. Kyseisessä karassa voi olla hyvin pieni kulma α kuvan 7 mukaisesti niin, että karan pohjapinnan keskiosa on hieman lähempänä mittausalustaa kuin karan pohjapinnan reunaosa. Tyypillisesti ICI Cone & Plate -viskometrissä karan kulma $\alpha = 0,45^\circ / 1,8^\circ / 3,0^\circ$. (Metzger 2014: 247.)



Kuva 7. Cone & Plate -mittausasetelman mallikuva (Metzger 2014: 242)



Kuva 8. Cone & Plate -viskometrin (Cap 2000) mittapää (kara pyörii paikallaan olevan alustan päällä)

3.4 Reometri

Uusin mittalaite maalin viskositeetin mittaukseen on reometri, jolla voidaan yhdellä mittauksella saada mitattua useita kymmeniä viskositeettiarvoja eri leikkausnopeuksilla.

Reometrilla voidaan tarkasti säätää useita eri mittausparametrejä. Säädettäviä parametrejä ovat lämpötila, leikkausraon korkeus, leikkausnopeus, leikkausjännitys ja leikkausvoima. Reometriin voi myös asentaa halkaisijaltaan erikokoisia karoja. Reometrilla voidaan mitata maalin viskositeettia porrastetusti alkaen hyvin pienistä leikkausnopeusarvoista kasvattaen leikkausnopeusarvoa suuremmaksi. Näin voidaan yhdellä mittauksella käydä läpi kymmeniä eri leikkausnopeusarvoja ja saada mitattua maalin viskositeetti jokaisella näistä leikkausnopeuksista. Lisäksi reometrilla voidaan tehdä useita muita mittauksia, joilla saadaan tutkittua esimerkiksi maalin tiksotrooppisuutta.

Reometrimittauksissa tarvitaan vain hyvin pieni määrä maalia verrattuna siihen, että perinteisissä viskometrimittauksissa maalia tarvitaan suhteellisen paljon. Siinä missä viskometrimittauksiin tarvitaan maalia useampi desilitra, tarvitaan reometrimittauksiin vain muutama millilitra maalia yhtä mittausta kohden. Myös reometrin mittaustilaa säätäminen on huomattavan paljon helpompaa ja nopeampaa kuin viskometriä mittaustilaa säätäminen. Reometrissa voi olla lämmönsäätely-yksikkö, jolla mitattavan maalin lämpötila saadaan tarkasti säädettyä haluttuun arvoon. Reometrilla voidaan myös tarvittaessa nostaa mitattavan maalin lämpötilaa mittauksen aikana porrastetusti ja tutkia lämpötilan vaikutusta maalin viskositeettiin.

Reometrilla tehtävillä mittauksilla saadaan absoluuttisia viskositeettiarvoja. Tämä johtuu siitä, että mittauksessa täyttyvät laminaarisen virtauksen ehto ja näytteen seinäliukuman puuttumisen ehto (wall-slip effect). Lisäksi reometrimittauksissa leikkauspinta-ala on tunnettu, leikkausrako pysyy mittauksen aikana vakiona, leikkausnopeusarvo on tunnettu ja leikkausvoiman arvo on tunnettu. Brookfield- ja Krebs-Stormer-viskometreillä tehtävillä mittauksilla saadaan vain suhteellisia viskositeettiarvoja.

Viskositeettikuvaaja

Tärkein mittaus reometrilla on yhdellä mittauksella tuotteelle saatava viskositeettikuvaaja. Reometrilla voidaan mitata maalin koko viskositeettiprofiili sen sijaan, että mitattaisiin yksittäisiä viskositeettiarvoja. Mittaus aloitetaan pienistä leikkausnopeusarvoista ja leikkausnopeutta kasvatetaan mittauksen aikana. Kuvaajan x-akselilla on leikkausnopeus ja y-akselilla on viskositeetti.

3ITT

Reometrin 3ITT-mittauksella voidaan tutkia tuotteen voimakkaan sekoittamisen jälkeistä viskositeetin palautumista lähelle ennen sekoittamista mitattua alkuviskositeettia eli tiksotrooppisuutta. Mittauksessa maalin viskositeettiarvo mitataan ensin, minkä jälkeen maalia sekoitetaan voimakkaasti lyhyen ajan. Tämän jälkeen mitataan maalin viskositeettia ja seurataan kuinka kauan ajallisesti viskositeetin palautuminen kestää lähtöarvoon tai esimerkiksi 50 % ja 75 % -arvoihin lähtöarvosta. Mitä nopeammin viskositeettiarvo palautuu, sitä vähemmän tiksotrooppista tuote on. Toisaalta mitä hitaammin viskositeettiarvo palautuu, sitä tiksotrooppisempaa tuote on.

Amplitudipyyhkäisy (Amplitude Sweep)

Reometrin amplitudipyyhkäisymittauksella voidaan määrittää tuotteen LVE-alue.

3ITT - OSC

Reometrin 3ITT - OSC -mittauksella voidaan tutkia tuotteen varastomoduulin ja häviömoduulin suuruuksia sekä niiden suhdetta. Sillä voidaan tutkia myös tuotteen tiksotrooppisuutta.

3.5 Valumiskokeet

Valumiskokeilla voidaan suhteellisen nopeasti määrittää, kuinka paksulla märkäkalvonpaksuudella maali alkaa pystysuoralla tasolla valua. Lisäksi sillä voidaan määrittää märkäkalvonpaksuus, jolla maali pystysuoralla tasolla ei vielä valu. Maalia voidaan levittää vaakatasossa eri kalvonpaksuuksilla erilliselle valkomustalle peitepaperille, joka sitten kiinnitetään pystysuoralle seinälle kuivumaan. Valkomustaa peitepaperia käytetään sen vuoksi, että valkoinen maali näkyy parhaiten mustalla paperin osalla ja tumma maali puolestaan valkoisella paperin osalla. Maalin kuivuttua arvioidaan maalin valuminen.

4 Tutkittavat tuotteet ja mittausten suoritus

Tutkittavia tuotteita oli yhteensä 17. Tuotteista 15 oli laadultaan maaleja: osa pohjamaaleja ja osa pintamaaleja. Lisäksi tutkittavana olivat myös yksi lakka ja yksi kitti. Kaikki tuotteet olivat vesiohenteisia. Jokaisesta tuotteesta tutkittiin keskimäärin 5:en uusimman tuotantoerän näyte. Poikkeuksena tästä yhdestä tuotteesta oli mitattavana 6 eri tuotantoerää ja yhdestä 4 eri tuotantoerää. Tuotteet numeroitiin 1–17 ja tuotteen tuotantoerälle annettiin kirjaintunnus numeron perään. Esimerkiksi tuotteen 1 tuotekoodit olivat: 1A, 1B, 1C, 1D ja 1E.

Lyhenteellä B5/1 tarkoitetaan Brookfield-viskometrin mittausta karalla numero viisi kierrosnopeudella yksi kierros minuutissa. Lyhenteellä B5/10 puolestaan tarkoitetaan vastaavaa mittausta kierrosnopeudella kymmenen kierrosta minuutissa. Näiden mittausten arvot on muutettu yksiköstä cP yksikköön Pa*s. Vastaavia lyhenteitä B5/1 ja B5/10 käytetään myös seuraavissa luvuissa.

Vaikka reometrin mittaamat absoluuttiset viskositeettiarvot ja viskometrien mittaamat suhteelliset viskositeettiarvot eivät tarkan tieteellisessä mielessä ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, voidaan empiirisillä kokeilla etsiä tuotekohtaisesti vastaavuuksia.

4.1 Brookfield-viskometri ja Krebs-Stormer-viskometri

Viskometreillä mitatuissa tuotteissa tuotteen lämpötila oli sama kuin mittaushuoneen lämpötila. Viskometreillä mitattaessa tuotteen lämpötila vaihteli mittaushuoneen lämpötilan mukaan. Huoneen lämpötila vaihteli likimain välillä 23–26 °C. Perinteisillä viskometreillä jokainen mittaus suoritettiin vähintään kahdesti niin, että mittausten välillä pidettiin pieni tauko. Joidenkin näytteiden osalta tehtiin jopa seitsemän mittausta. Mittausaika otettiin sekuntikellolla. Mittauksissa käytettiin Brookfieldin valmistamaa malliltaan DV-II + -viskometriä. Mittauksissa käytettiin karaa numero 5 (kuva 10) kierrosnopeuksilla yksi kierros minuutissa ja kymmenen kierrosta minuutissa.

Brookfield-viskometrin mittauksissa kara upotettiin mitattavaan tuotteeseen suurin piirtein karan varressa olevan ohennuksen syvyydelle. Mittausaika Brookfield-viskometrillä oli 45 sekuntia, joka mitattiin sekuntikellolla. Mittaus suoritettiin vähintään kahdesti. Mittausten välillä pidettiin pieni tauko, jolloin mitattava näyte sai hetken olla sekoittamatta.

Tarvittaessa tehtiin lisämittauksia niin, että perättäisten mittausten prosentuaalinen ero saatiin enimmillään viiteen prosenttiin. Prosentuaalinen ero laskettiin vertaamalla isompaa arvoa pienempään arvoon. Viskometrien tulokset kirjattiin mittauspöytäkirjoihin. Jokaiselle tuotteelle tehtiin oma mittauspöytäkirja. Mittauspöytäkirjoihin kirjattiin myös mitaushuoneen lämpötila mitaushetkellä. Mittausten suorituksen jälkeen tulokset siirrettiin Exceliin.



Kuva 9. Vasemmalla on mittauksissa käytetty Brookfield DV-II + -viskometri ja oikealla on Krebs-Stormer-viskometri



Kuva 10. Brookfield-viskometrin kara nro 5

Mittauksissa käytetty Krebs-Stormer-viskometri oli Braive Instrumentsin valmistama malliltaan KU-1P. Tässä viskometrissä on kuvan 11 mukainen kara, joka pyörii 200 kierrosta/min. Kara upotettiin mitattavaan tuotteeseen suurin piirtein karan varressa olevan ohennuksen syvyydelle. Krebs-Stormer-viskometrillä mittausaika oli 10 sekuntia, joka mitattiin sekuntikellolla. Mittaus suoritettiin vähintään kahdesti. Mittausten välillä pidettiin pieni tauko, jolloin mitattava näyte sai hetken olla sekoittamatta. Mittauksia tehtiin niin monta, että saatiin kahden peräkkäisen mittauksen eroksi maksimissaan kaksi KU-yksikköä.



Kuva 11. Krebs-Stormer-viskometrin kara

Kuvassa 12 nähdään erilaisten viskositeetin mittauslaitteiden geometrialtaan hyvin erilaiset karat.



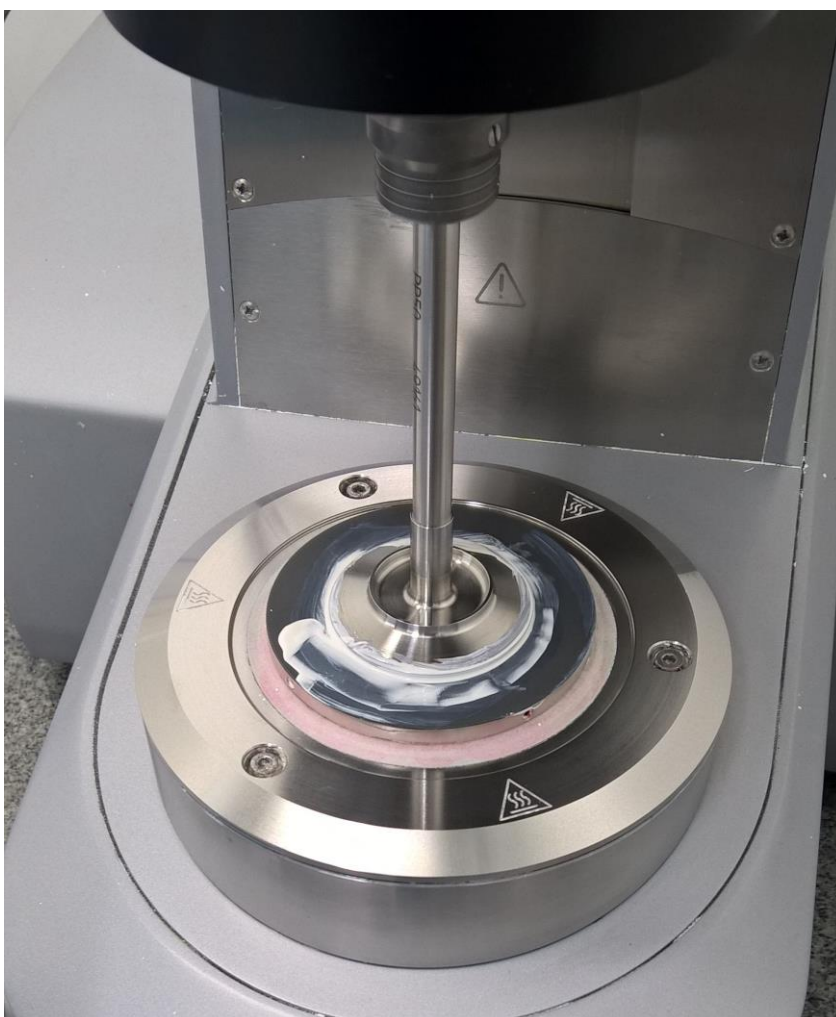
Kuva 12. Kuvassa vasemmalta päin on Brookfield-viskometrin kara nro 5, Krebs-Stormer-viskometrin kara ja reometrinen kara (alapinnan halkaisija on 50 mm)

4.2 Reometri

Käytetty reometri oli Anton Paarin valmistama Physica MCR 301, jonka mittausalusta ja kara näkyvät kuvassa 13. Käytetyssä reometrissa oli automaattinen mitattavan tuotteen lämpötilan säätö halutulle tasolle. Reometrilla tehtiin jokaisesta tuotenäytteestä neljä eri ajoa, joilla mitattiin eri asioita. Reometrilla tehtiin yhteensä siis noin 340 erillistä mittausta. Reometrinen mittauslämpötila oli säädetty tarkasti arvoon + 23,0 °C. Reometrissa käytetty kara oli "PP50 SN49161" eli karan mittauspinnan halkaisija oli 50 mm. Mittausohjelmisto oli Anton Paarin Rheoplus/32 versionumeroltaan 3.31.

Mitattava tuote otettiin näytepurkista kertakäyttöisellä muovisella pipetillä ja pursotettiin reometrinen mittausalustalle. Tuotetta otettiin muutama millilitra. Pääsääntöisesti tuotetta ei sekoitettu ennen reometrimittauksia. Poikkeuksena tästä näytettä kuitenkin sekoitettiin, jos sen koostumus näytti hyvin epähomogeeniselta. Poikkeavia mittauksia oli hyvin

vähän. Reometrin kara laskettiin alas, jolloin karan ja reometrin mittausalustan väliin jäi tasainen kerros tuotetta. Reometrin karan ja mittausalustan väli oli 1,00 mm. Toisin sanoen tuotetta oli mittausalustalla 1,00 mm:n paksuinen kerros. Karan alas laskemisen jälkeen näyte vielä trimmattiin. Pienellä puisella trimmaustikulla poistettiin ylimääräinen tuote mittausalustalta niin, että vain karan ja mittausalustan väliin jäi mitattavaa tuotetta. Tämän jälkeen mittaus aloitettiin. Mittauslämpötila oli +23,0 °C. Jokaisen mittauksen jälkeen sekä mittausalusta että kara puhdistettiin huolellisesti liuotinpohjaisella puhdistusaineella. Tällä varmistettiin, ettei reometriin jäänyt edellisestä näytteestä epäpuhtauksia.



Kuva 13. Reometri toiminnassa, valkoista maalia on karan ja mittausalustan välissä



Kuva 14. Reometrin kara, jonka alapinnan halkaisija on 50 mm

Kuvassa 14 on reometrimittauksissa käytetty kara.

Mittausajat olivat seuraavan taulukon mukaiset:

Taulukko 2. Reometrimittausten kestot

Reometrin mittaus	Mittausaika
Viskositeettikuvaaja	5 min 19 s
3ITT	3 min 58 s
3ITT - OSC	2 min 46 s
Amplitudipyyhkäisy (Amplitude Sweep)	noin 2 - 3 min

4.2.1 Viskositeettikuvaaja

Jokaisen tuotteen jokaisen tuotantoerän viskositeettikuvaaja mitattiin yhden kerran. Jokaisista kuvaajaa varten mitattiin viisikymmentä viskositeettiarvoa eri leikkausnopeudella. Mittaukset aloitettiin leikkausnopeudesta 0,01 1/s, ja viimeinen mittauspiste oli leikkausnopeudeltaan 1000 1/s. Toisin sanoen reometrinen karan pyöritysnopeus oli alussa hyvin hidas ja reometrinen karan pyörimisnopeutta kasvatettiin jokaisen mittauspisteen jälkeen. Ensimmäisen pyöritysnopeuden arvo oli noin 0,0382 kierrosta/min, ja viimeisen pyöritysnopeuden arvo oli noin 382 kierrosta/min.

Mittauspisteet eivät olleet tasavälein vaan mittauksen leikkausnopeusvälit olivat logaritmisia. Mittauksissa leikkausnopeuden muutokset oli vakioitu sillä tavalla, että jokaisen näytteen viskositeetit mitattiin aina samoilla leikkausnopeuksilla. Tästä poikettiin vain tuotteen numero 10 kohdalla, koska se oli ensimmäinen reometrillä tutkittava tuote. Tuotteen numero 10 mittauksissa reometriä vielä säädettiin niin, että leikkausnopeusvälit saatiin tutkimuksen kannalta optimaalisiksi.

4.2.2 3ITT

Reometrimittauksessa näytteen annettiin olla ensin levossa n. 25 sekuntia. Tämän jälkeen reometri mittasi sekoittamattoman näytteen viskositeettiarvon viisi kertaa. Viskositeettiarvot mitattiin viiden sekunnin välein päättyen aikamerkkiin $t = 45$ s. Tämän jälkeen reometri sekoitti näytettä voimakkaasti kymmenen sekunnin ajan. Myös sekoittamisen aikana mitattiin näytteen viskositeettia. Sitten aloitettiin viskositeetin mittaus aikamerkistä $t = 55,5$ s. Näytteen viskositeettia mitattiin tästä aikamerkistä alkaen 360 kertaa niin, että mittaukset tehtiin noin puolen sekunnin välein päättyen aikamerkkiin $t = 235$ s.

4.2.3 Amplitudipyyhkäisy ja 3ITT - OSC

Amplitudipyyhkäisy

Reometrillä mitattiin tässä mittauksessa 19 kpl mittapisteitä. Ensimmäisen mittapisteen rasitus-% oli 0,01 ja viimeisen mittapisteen rasitus-% oli 10. Rasitus-% ilmoitettiin x-akselilla ja y-akselilla puolestaan oli kaksi ero arvoa: tuotteen varastomoduli ja häviömoduli. Y-akselin yksikkö oli Pa. Rasituksen alkupiste oli 0,004 mrad (milliradiaania) ja

lopetus 4 mrad. 10% -rasituksella poikkeaman (deflection) arvo oli siis 4 mrad. Kulmataajuus (angular frequency) oli 10 1/s.

3ITT - OSC

Reometrilla aloitettiin mittaus 5 sekunnin välein tapahtuvalla mittauksella, joissa mitattiin tuotteen varastomoduuli (Storage Modulus) ja häviömoduuli (Loss Modulus). Ensimmäinen mittapiste oli siis 5 sekunnin jälkeen mittauksen aloittamisesta. Näitä mittauksia tehtiin kaksitoista. Sen jälkeen reometri sekoitti näytettä voimakkaasti oskilloimalla viiden sekunnin ajan alkaen aikamerkistä $t = 60,5$ s. Sitten jatkettiin varastomoduulin ja häviömoduulin mittauksia aikamerkin $t = 66,5$ s kohdalla. Näitä sekoittamisen jälkeisiä mittauksia tehtiin sata kappaletta niin, että jokaisen mittauksen aikaero oli yksi sekunti. Viimeinen mittapiste oli siis $t = 166$ s kohdalla. Nämä arvot sijoitettiin kuvaajaan y-akselille yksikössä Pa. Kuvaajan x-akselille sijoitettiin aika yksikössä sekunti.

4.3 Valumiskokeet

Valumiskoe tehtiin jokaisen tuotteen jokaiselle tuotantoerälle yhden kerran. Valumiskokeet suoritettiin olosuhdehuoneessa, jossa koehuoneen lämpötila oli vakioitu arvoon $n. + 23,0$ °C ja suhteellinen kosteus oli vakioitu arvoon $n. 50$ %. Tuote levitettiin kooltaan $n. 253 \times 139$ mm valkomustalle peitepaperille (valmistaja: Leneta) erillisellä moottorisoidulla applikaattorilla (kuva 15), joka oli asetettu pöydälle vaakatasoon. Applikaattorissa käytettiin kahta kuvien 16 ja 17 mukaista erikokoista maalinlevitysrautaa, joilla saatiin eri tuotteen kerrospaksuudet. Applikaattori siirsi maalinlevitysrautaa automaattisesti vakiovauhtia ($n. 25$ mm/s) moottorilla peitepaperin puolelta toiselle.

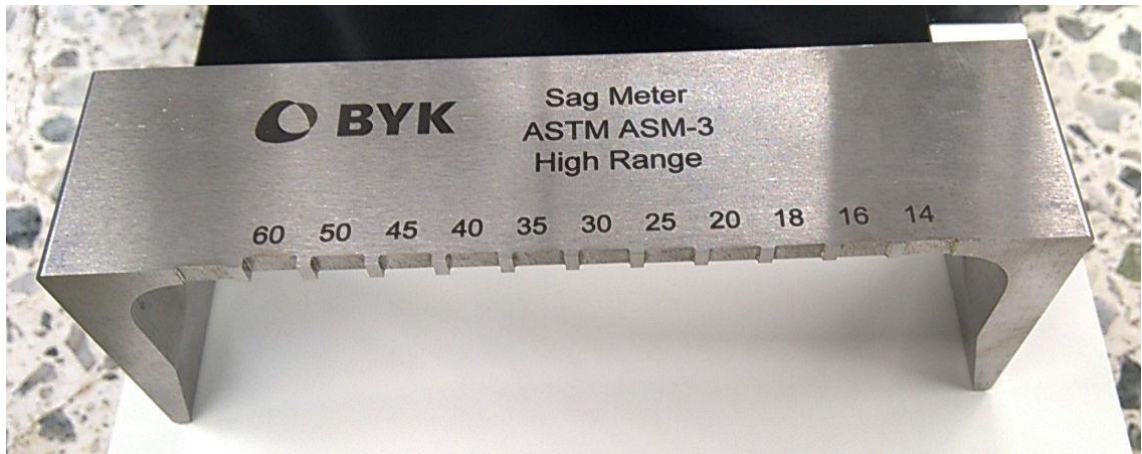


Kuva 15. BYKin valmistama applikaattori ja peitepaperi (kuvassa applikaattoriin on asennettu pieni maalinlevitysrauta)

Levittämisen jälkeen peitepaperit laitettiin välittömästi pystysuoralle seinälle teipillä kiinni kuivumaan. Peitepapereiden annettiin kuivua, minkä jälkeen ne otettiin pois seinältä ja analysoitiin. Peitepapereista tutkittiin, millä märkäkalvonpaksuudella tuote ei vielä alkanut valua ja millä märkäkalvonpaksuudella se alkoi valua. Tärkein kriteeri valumiselle oli katsoa visuaalisesti raitojen välistä aluetta. Isolla maalinlevitysraudalla raitojen välinen alue oli noin yksi millimetri. Pienellä maalinlevitysraudalla raitojen välinen alue oli myös noin yksi millimetri. Mikäli raita ei ollut valunut seuraavan raidan alkukohtaan, tulkittiin, että raita ei ollut valunut. Mikäli raidan maali oli valunut niin, että se kosketti seuraavaa raitaa, tulkittiin, että raita oli valunut.



Kuva 16. Valumiskokeissa käytetty ohuille maalikalvoille tarkoitettu pieni maalinlevitysrauta (asteikko µm-yksikössä)



Kuva 17. Valumiskokeissa käytetty paksuille maalikalvoille tarkoitettu iso maalinlevitysrauta (asteikko mils-yksikössä)

5 Tulosten esittäminen

5.1 Yleistä

Viskometrien tuloksille suoritettiin tarvittavat yksikkömuunnokset, jotta tulokset saatiin samaan yksikköön (Pa*s) kuin reometrin viskositeettikuvajan mittaustulokset. Brookfield-viskometrin tuloksille käytettiin kaavaa (Giancoli 2000: 350)

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P} = 1000 \text{ cP} \quad (8)$$

Toisin sanoen Brookfield-viskometrin mittaustulokset jaettiin kaavan 8 mukaisesti tuhannella, jotta ne saatiin Pa*s yksikköön. Krebs-Stormer-viskometri puolestaan ilmoittaa tulokset KU-yksikössä. KU-yksiköt muutettiin ensin senttipoiseiksi cP liitteen 1 taulukon

(Brookfield KU-2 Viscometer Operating Instructions Manual No. M04-242-D0612: 14-15) mukaan. Tämän jälkeen senttipoiset vielä muutettiin yksikköön Pa*s kaavan 8 mukaan. Viskometrimittauksissa mittaustuloksena pidettiin molemmilla viskometreillä kahden viimeisimmän mittaustuloksen keskiarvoa. Näitä yksikkömuunnoksia ei voida tehdä tarkan tieteellisessä mielessä, koska käytettyjen viskometrien tulokset ovat suhteellisia mittauservoja. Tämä johtuu siitä, että Brookfield-viskometrillä ei tunneta leikkausnopeuservoja ja Krebs-Stormer-viskometrillä virtaus on laminaarisen sijaan turbulentiä.

5.2 Reometrin viskositeettikuvaajat ja viskometrimittaukset

Viskositeettikuvaajan ja leikkausnopeus-leikkausjännitys-mittausten arvot siirrettiin reometriohjelmasta Exceliin leikkaa ja liimaa -tekniikalla. Viskositeettikuvaajien viskositeettiarvot yhdistettiin perinteisten viskometri mittaustuloksiin. Mittaustulosten yhdistämisessä käytettiin menetelmää, jossa reometrimittauksen antama viskositeettiarvo yksikössä Pa*s verrattiin viskometrin antamaan viskositeettiarvoon. Perinteisten viskometri mittaustulokset sijoitettiin leikkausnopeuksille, joilla ne olivat mahdollisimman lähellä reometrin viskositeettiarvoja.

Mittaustulosten yhdistäminen tehtiin niin, että etsittiin ensin viskometrin mittaustulosta lähimpänä olevat kaksi reometrin viskositeettiarvoa. Sen jälkeen laskettiin, kumpi reometrin viskositeettiarvoista on lähempänä viskometrin mittaustulosta. Jotta kuvaajan x-akselilla saatiin säilymään aina samat leikkausnopeuservat, niin päätettiin yhdistää viskometrin mittaustulos aina johonkin tiettyyn reometrin leikkausnopeuservoon. Perinteisen viskometrin arvo siis kirjattiin Exceliin reometrin mittauservon viereen. Näistä piirrettiin Excelillä sekä yhteiskuvaajat (Liite 2) että yksittäiskuvaajat. Yksittäiskuvaajat ovat tuotteen 1 osalta liitteenä 3.

Viskositeettikuvaajissa on x-akselilla leikkausnopeus yksikössä 1/s ja y-akselilla on viskositeetti yksikössä Pa*s. Yhteiskuvaajassa on esitetty yhden tuotteen kaikkien tuotantolaitosten viskositeetti samassa kuvaajassa. Toisin sanoen yhteiskuvaajassa on keskimäärin viisi saman tuotteen viskositeettikuvaajaa. Yhteiskuvaajiin on yhdistetty myös Brookfield- ja Krebs-Stormer-viskometri mittauservat ja ne on nimetty kuvaajissa esimerkiksi tuotteen 1A osalta "1A muut". Yhteiskuvaajissa viskometri mittaustulokset ovat järjestyksessä vasemmalta oikealle: B5/1, B5/10 ja Krebs-Stormer. Lisäksi yhteiskuvaajiin on lisätty valumiskokeiden tulokset (eli tuote-erän märkäkalvonpaksaus, jolla tuote ei vielä

valunut). Näille valumiskokeiden tuloksille ei ole olemassa tiettyä leikkausnopeutta, joihin ne voitaisiin sijoittaa.

Yksittäiskuvaajissa on esitetty yhden tuotteen yhden tuotantoerän reometrilla mitattu viskositeettikuvaaja. Yksittäiskuvaajaan on yhdistetty myös saman tuotantoerän viskometrimittaukset.

5.3 3ITT

Alkuviskositeettiarvoksi valittiin viimeinen mittaustulos ennen sekoittamista eli viides mittaustulos 45 sekunnin kohdalla. Seuraavaksi verrattiin jokaista sekoituksen jälkeistä viskositeettiarvoa η_{uusi} tähän alkuviskositeettiarvoon η_{alku} . Sen jälkeen laskettiin, kuinka monta prosenttia η_{uusi} on alkuviskositeettiarvosta käyttäen kaavaa:

$$(\eta_{uusi}/\eta_{alku}) * 100 \% \quad (9)$$

Tämän jälkeen etsittiin mittauspisteet, joissa viskositeetti oli palannut arvoihin 50 % ja 75 % alkuviskositeettiarvosta. Näiden mittauspisteiden mittausaika taulukoitiin. Mittausajoista tehtiin vielä 55,0 sekunnin vähennys, koska alkuviskositeettimittaus oli kestänyt 45,0 sekuntia ja sekoitus 10,0 sekuntia. Ajan laskemisessa käytettiin kaavaa:

$$t_{palautumisaika} = t_{mittausaika} - 55,0 \text{ s} \quad (10)$$

Mikäli viskositeetti palautui mittauksen aikana arvoihin 50 % ja 75 % alkuviskositeettiarvosta η_{alku} , niin palautumisaika $t_{palautumisaika}$ kirjattiin taulukkoon. Mikäli viskositeetti ei ehtinyt mittauksen aikana palautua ko. arvoihin, niin taulukkoon kirjattiin "ei" tuloksen kohdalle. Tämä käsittely tehtiin jokaisen tuotteen kohdalla erikseen ja tulokset taulukoitiin. Lisäksi laskettiin tuotekohtaisesti keskihajonnat alkuviskositeettiarvoille sekä 50 % ja 75 % -palautumisajoille. Lisäksi jokaisen tuotteen viskositeettimuutoksesta piirrettiin yhteiskuvaaja, jossa on kyseisen tuotteen kaikki tutkitut erät samassa kuvaajassa. Kuvaajien x-akselilla on aika yksikössä sekunti ja y-akselilla on viskositeetti yksikössä Pa*s.

5.4 Amplitudipyyhkäisy ja 3ITT - OSC

Amplitudipyyhkäisy

Reometriohjelmasta vietiin yksi tuote kerrallaan mittaustiedot Exceliin. Lisäksi jokaisesta tuotteesta piirrettiin yhteiskuvaaja, jossa on kyseisen tuotteen kaikki tutkitut erät samassa kuvaajassa. Kuvaajien x-akselilla on rasitus yksikössä prosentti ja y-akselilla ovat tuotteen varastomoduuli ja häviömoduuli yksikössä Pa.

3ITT - OSC

Reometriohjelmasta vietiin yksi tuote kerrallaan mittaustiedot Exceliin. Lisäksi jokaisesta tuotteesta piirrettiin yhteiskuvaaja, jossa on kyseisen tuotteen kaikki tutkitut erät samassa kuvaajassa. Kuvaajien x-akselilla on aika yksikössä sekunti ja y-akselilla ovat tuotteen varastomoduuli ja häviömoduuli yksikössä Pa.

5.5 Valumiskokeet

Pienen maalinlevitysväran asteikko oli yksikössä μm . Koska ison maalinlevitysväran asteikko oli milsi-yksikössä, käytettiin sen asteikon muuntamiseksi yksikköön μm kaavaa:

$$1 \text{ mils} = 25,4 \mu\text{m} \quad (11)$$

Taulukkoon kirjattiin se märkäkalvonpaksuus, jolla tuote ei vielä valunut. Lisäksi valumiskokeiden märkäkalvonpaksuus, jolla tuote ei vielä valunut, yhdistettiin jokaisen tuotteen yhteisviskositeettikuvaajaan. Tämä yhdistäminen tehtiin lisäämällä valumattoman märkäkalvonpaksuuden arvo jokaisen tuote-erän viskositeettikuvaajan käyrän kohdalle suurin piirtein samaan kohtaan. Valumiskokeet yhdistettiin viskositeettikuvaajiin vain ilmoittamalla jokaisen tuote-erän valumisarvo yhteiskuvaajassa lisätietona.

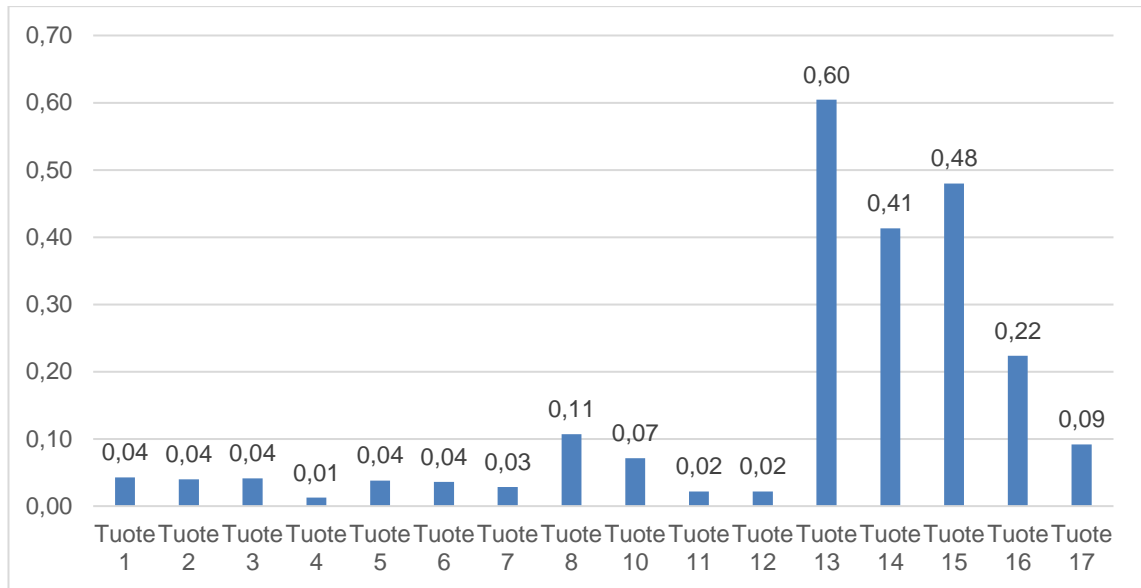
6 Tulokset ja tulosten analysointi

6.1 Reometrin viskositeettikuvaajien ja viskometrimittausten korrelaatiosta

Tulosten analysointi suoritettiin tuotekohtaisesti. Tuotekohtaisissa taulukoissa punainen sarake tarkoittaa sitä, että tuote-erän mittaukset ovat tavalla tai toisella poikenneet muista tuote-erien mittaustuloksista niin paljon, että punaisella merkityn tuote-erän mittaustulokset on jätetty huomioimatta.

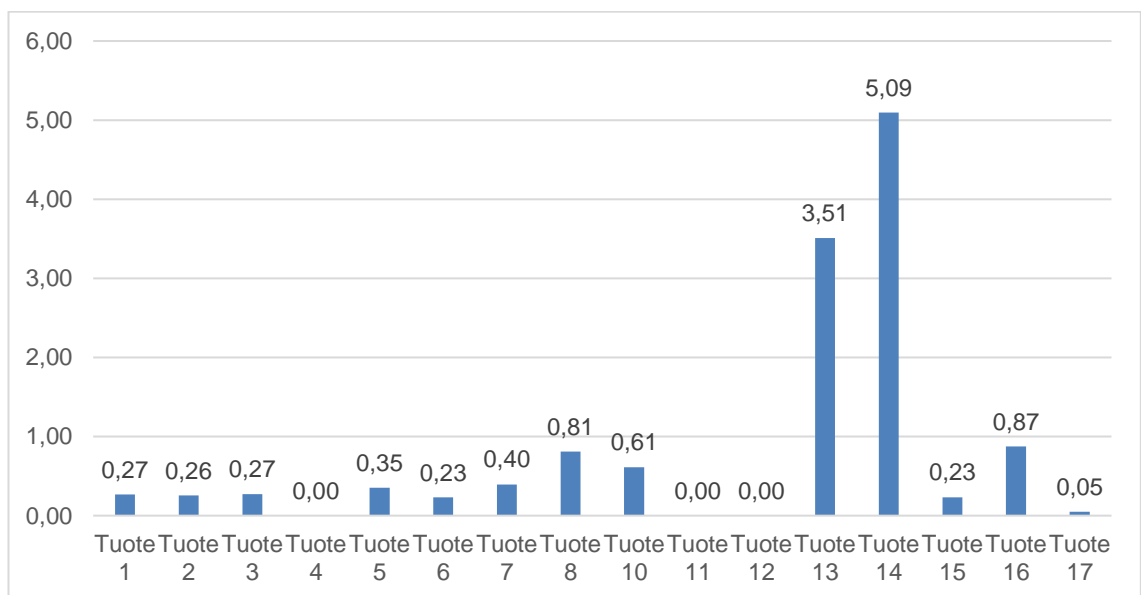
Viskometrimittausta vastaavan reometrimittauksen leikkausnopeuden keskihajonnan avulla arvioitiin, kuinka lähellä toisiaan olivat jokaisen mitattavan tuotteen tuote-erien reometrimittauksien leikkausnopeudet keskenään. Esimerkiksi tuotteen neljä kohdalla Brookfield-viskometrin karan 5 pyörimisnopeudella 1/min saatiin erien 4A, 4B ja 4C mitatut viskositeettiarvot osumaan reometrillä mitattuihin viskositeettiarvoihin niin, että kaikkien näiden kolmen reometrin mittapisteen leikkausnopeus oli sama 0,121 1/s. Erän 4D kohdalla puolestaan reometrin mittapisteen leikkausnopeus erosi arvolla 0,146 1/s toisista eristä, mikä huononsi keskihajonnan arvoa. Erän 4E punaisella merkittyjä arvoja taas ei laskettu mukaan, koska erä erosi liikaa muista mitatuista eristä.

Pieni keskihajonta tarkoittaa sitä, että perinteisen viskometrin ja reometrin mittaustulos olivat tuotteen eri erien välillä lähellä toisiaan nimenomaan reometrin mittapisteen leikkausnopeuden suhteen. Se myös tarkoittaa sitä, että viskometrien mittaustulokset vastasivat samaa leikkausnopeutta. Suuri keskihajonta puolestaan tarkoittaa sitä, että kyseisen viskometrin ja reometrin mittaustuloksia ei ole saatu yhdistettyä. Keskihajonnoissa on jätetty huomioimatta tuotteen tuote-erien mittaustulokset, jotka eroavat liikaa muista saman tuotteen mittaustuloksista. Kuvasta 18 nähdään, että erityisesti tuotteiden 4,7,11 ja 12 kohdalla B5/1-mittauksessa keskihajonta on pieni. Puolestaan tuotteiden 13,14,15 ja 16 kohdalla keskihajonta on suuri.



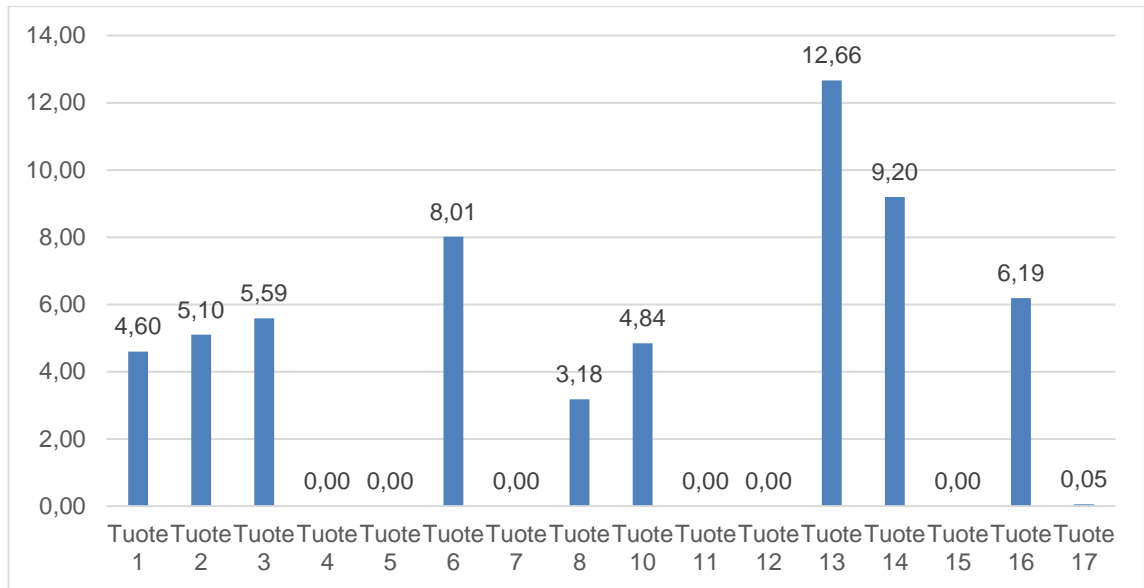
Kuva 18. Reometrin leikkausnopeusarvon keskihajonta (B5/1)

Kuvasta 19 nähdään, että erityisesti tuotteiden 4, 11, 12 ja 17 kohdalla B5/10-mittauksessa keskihajonta on pieni. Puolestaan tuotteiden 13 ja 14 kohdalla keskihajonta on suuri.



Kuva 19. Reometrin leikkausnopeusarvon keskihajonta (B5/10)

Kuvasta 20 nähdään, että erityisesti tuotteiden 4, 5, 7, 11, 12, 15 ja 17 kohdalla Krebs-Stormer -mittauksessa keskihajonta on pieni. Puolestaan tuotteiden 6, 13 ja 14 kohdalla keskihajonta on suuri.



Kuva 20. Reometrin leikkausnopeusarvon keskihajonta (Krebs-Stormer)

Tuotekohtaisissa viskositeettitaulukoissa on ensimmäisellä rivillä tuotekoodi. Toisella rivillä on mittauslämpötila, jossa viskometrien (B5/1, B5/10 ja Krebs-Stormer) mittaukset on tehty. Kolmannella rivillä on reometrin mittauspisteen leikkausnopeus. Neljännellä rivillä on reometrin mittaama viskositeetti arvo kyseisellä leikkausnopeudella. Viidennellä rivillä on B5/1-mittaustulos. Kuudennella rivillä on reometrin mittaustuloksen ja B5/1-mittaustuloksen erotus. Samalla tavalla taulukoissa käydään läpi muut reometri- ja viskometri-mittaukset.

Tuote 1

Taulukosta 3 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksissa. B5/1-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 0,212–0,256 1/s. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 1,68–2,02 1/s. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 41–49,4.

Taulukko 3. Tuotteen 1 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	1A	1B	1C	1D	1E	Keskihajonta
T (°C)	25,6	25,9	26,0	25,5	25,8	
Leikkausnopeus (1/s)	0,309	0,212	0,256	0,212	0,212	0,04
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	18,7	32	22,3	22,2	30	
B5/1 (Pa*s)	18,6	30,8	21,8	21,6	30,8	
Erotus (Pa*s)	-0,1	-1,2	-0,5	-0,6	0,8	0,74
Leikkausnopeus (1/s)	2,02	2,02	1,68	1,39	1,68	0,27
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	5,18	6,58	6,15	6,18	7,2	
B5/10 (Pa*s)	5,48	7,00	5,90	5,94	7,32	
Erotus (Pa*s)	0,3	0,42	-0,25	-0,24	0,12	0,31
Leikkausnopeus (1/s)	41	49,4	49,4	49,4	41	4,60
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	0,863	0,926	0,833	0,762	0,991	
Krebs-Stormer (Pa*s)	0,82	0,94	0,86	0,8	0,94	
Erotus (Pa*s)	-0,043	0,014	0,027	0,038	-0,051	0,04

Tuote 2

Tuotetta 2A ei huomioitu, koska sen mitatut viskositeettiarvot eroavat liikaa muista tuotteristä B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittausten osalta. Taulukosta 4 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksissa. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 2,44–2,95 1/s. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 49,4–59,6 1/s.

Taulukko 4. Tuotteen 2 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	2A	2B	2C	2D	2E	Keskihajonta
T (°C)	25,8	25,1	25,3	25,2	25,3	
Leikkausnopeus (1/s)	0,256	0,212	0,256	0,309	0,256	0,04
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	77	92,5	93,3	93,7	90,7	
B5/1 (Pa*s)	74,2	88,8	94,8	100,4	96,2	
Erotus (Pa*s)	-2,8	-3,7	1,5	6,7	5,5	4,69
Leikkausnopeus (1/s)	2,44	2,44	2,44	2,95	2,44	0,26
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	11,8	14,5	14,7	14,7	14,8	
B5/10 (Pa*s)	11,98	14,68	14,68	15,78	13,78	
Erotus (Pa*s)	0,18	0,18	0,18	1,08	-1,02	0,86
Leikkausnopeus (1/s)	59,6	49,4	49,4	59,6	49,4	5,10
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,2	1,57	1,5	1,44	1,43	
Krebs-Stormer (Pa*s)	1,27	1,512	1,455	1,51	1,357	
Erotus (Pa*s)	0,071	-0,058	-0,045	0,072	-0,073	0,07

Tuote 3

Taulukosta 5 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksissa. B5/1-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 0,309 1/s. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 2,95 1/s. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 49,4–59,6 1/s.

Taulukko 5. Tuotteen 3 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	3A	3B	3C	3D	3E	Keskihajonta
T (°C)	24,8	24,9	25,0	24,9	25,1	
Leikkausnopeus (1/s)	0,309	0,373	0,309	0,256	0,309	0,04
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	192	152	167	238	224	
B5/1 (Pa*s)	191,5	157,5	168,5	227,5	237,5	
Erotus (Pa*s)	-0,5	5,5	1,5	-10,5	13,5	8,76
Leikkausnopeus (1/s)	2,95	2,95	2,95	3,56	2,95	0,27
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	22	18,7	18,9	22,3	28,3	
B5/10 (Pa*s)	22,26	19,6	20,16	23,72	26,24	
Erotus (Pa*s)	0,26	0,9	1,26	1,42	-2,06	1,42
Leikkausnopeus (1/s)	49,4	49,4	59,6	59,6	59,6	5,59
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,87	1,82	1,6	1,92	1,91	
Krebs-Stormer (Pa*s)	1,75	1,73	1,72	2,00	2,06	
Erotus (Pa*s)	-0,12	-0,09	0,12	0,08	0,15	0,12

Tuote 4

Tuotetta 4E ei huomioitu, koska sen mitattu viskositeettiarvo eroaa liikaa muista B5/1-mittauksen osalta. Taulukosta 6 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on erinomainen B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksissa. B5/1-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 0,121–0,146 1/s. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 2,02 1/s. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 59,6 1/s.

Taulukko 6. Tuotteen 4 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	4A	4B	4C	4D	4E	Keskihajonta
T (°C)	25,0	25,7	25,8	25,8	25,6	
Leikkausnopeus (1/s)	0,121	0,121	0,121	0,146	0,373	0,01
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	66,2	37,2	47,7	55	82,2	
B5/1 (Pa*s)	66,6	39,6	48,2	55,6	87,6	
Erotus (Pa*s)	0,4	2,4	0,5	0,6	5,4	0,95
Leikkausnopeus (1/s)	2,02	2,02	2,02	2,02	2,44	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	13,7	9,68	11,6	13	14,2	
B5/10 (Pa*s)	13,52	9,46	11,3	12,3	13,98	
Erotus (Pa*s)	-0,18	-0,22	-0,3	-0,7	-0,22	0,24
Leikkausnopeus (1/s)	59,6	59,6	59,6	59,6	72	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,3	1,11	1,21	1,28	1,28	
Krebs-Stormer (Pa*s)	1,374	1,1455	1,251	1,33	1,36	
Erotus (Pa*s)	0,074	0,0355	0,041	0,05	0,0795	0,02

Tuote 5

Tuotteita 5A ja 5E ei huomioitu, koska niiden mitatut viskositeettiarvot eroavat liikaa muista B5/1-mittauksen osalta. Taulukosta 7 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1- ja B5/10-mittauksilla. Krebs-Stormer-mittauksilla keskihajonta on erinomainen. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 59,6 1/s.

Taulukko 7. Tuotteen 5 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	5A	5B	5C	5D	5E	Keskihajonta
T (°C)	25,7	25,7	25,7	25,8	25,8	
Leikkausnopeus (1/s)	0,1	0,146	0,146	0,212	0,373	0,04
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	199	104	114	97,2	59,5	
B5/1 (Pa*s)	168,5	101,5	115	92	61,8	
Erotus (Pa*s)	-30,5	-2,5	1	-5,2	2,3	3,11
Leikkausnopeus (1/s)	2,95	2,95	3,56	3,56	2,95	0,35
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	18,2	18,2	15,9	15,6	14,6	
B5/10 (Pa*s)	19,24	17,68	16,82	14,66	14,1	
Erotus (Pa*s)	1,04	-0,52	0,92	-0,94	-0,5	0,98
Leikkausnopeus (1/s)	49,4	59,6	59,6	59,6	49,4	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,58	1,49	1,38	1,41	1,56	
Krebs-Stormer (Pa*s)	1,60	1,51	1,44	1,44	1,51	
Erotus (Pa*s)	0,018	0,024	0,0605	0,0305	-0,0505	0,02

Tuote 6

Taulukosta 8 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1-, B5/10-mittauksissa. Krebs-Stormer-mittauksilla keskihajonta on välttävä. B5/1-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 0,146–0,212 1/s. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 2,02–2,44 1/s.

Taulukko 8. Tuotteen 6 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	6A	6B	6C	6D	6E	Keskihajonta
T (°C)	25,7	25,8	25,4	25,3	25,3	
Leikkausnopeus (1/s)	0,146	0,146	0,212	0,146	0,212	0,04
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	43,7	40,6	37,3	36	41,8	
B5/1 (Pa*s)	52,2	52	37,2	38,8	41,6	
Erotus (Pa*s)	8,5	11,4	-0,1	2,8	-0,2	5,24
Leikkausnopeus (1/s)	2,44	2,02	2,44	2,02	2,44	0,23
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	12,2	12,3	10,2	10,6	11,7	
B5/10 (Pa*s)	12,62	12,04	10,72	10,42	12,22	
Erotus (Pa*s)	0,42	-0,26	0,52	-0,18	0,52	0,39
Leikkausnopeus (1/s)	72	59,6	59,6	49,4	59,6	8,01
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,78	1,79	1,57	1,76	1,89	
Krebs-Stormer (Pa*s)	1,80	1,77	1,64	1,69	1,82	
Erotus (Pa*s)	0,02	-0,02	0,07	-0,07	-0,07	0,06

Tuote 7

Taulukosta 9 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1-, B5/10-mittauksissa. Krebs-Stormer-mittauksilla keskihajonta on erinomainen. B5/1-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 0,309–0,373 1/s. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 2,44–2,95 1/s. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 59,6 1/s.

Taulukko 9. Tuotteen 7 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	7A	7B	7C	7D	7E	Keskihajonta
T (°C)	24,2	24,3	24,3	24,3	24,2	
Leikkausnopeus (1/s)	0,309	0,309	0,373	0,309	0,309	0,03
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	64	68,4	74,7	95,9	90,8	
B5/1 (Pa*s)	70	70	80,4	90,2	86,4	
Erotus (Pa*s)	6	1,6	5,7	-5,7	-4,4	5,50
Leikkausnopeus (1/s)	2,02	2,44	2,95	2,95	2,44	0,40
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	11,2	10,2	10,8	11,1	11,8	
B5/10 (Pa*s)	10,44	10,14	11,68	11,92	11,7	
Erotus (Pa*s)	-0,76	-0,06	0,88	0,82	-0,1	0,69
Leikkausnopeus (1/s)	59,6	59,6	59,6	59,6	59,6	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	0,96	0,991	1,09	1,08	0,983	
Krebs-Stormer (Pa*s)	0,9785	1,0175	1,1185	1,096	0,9805	
Erotus (Pa*s)	0,02	0,03	0,03	0,02	-0,002	0,01

Tuote 8

Tuotteesta 8 oli viiden näytteen sijasta kuusi näytettä mitattavana. Tuotetta 8A ei huomioidu, koska sen mitattu viskositeettiarvo eroaa liikaa muista B5/1-mittauksen osalta. Taulukosta 10 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on kohtuullinen B5/1- ja B5/10-mittauksissa. Krebs-Stormer-mittauksilla keskihajonta on hyvä. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 33,9–41 1/s.

Taulukko 10. Tuotteen 8 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	8A	8B	8C	8D	8E	8F	Keskih.
T (°C)	24,3	24,7	24,7	24,8	24,9	24,8	
Leikkausnopeus (1/s)	0,121	0,121	0,121	0,256	0,176	0,373	0,11
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	23,5	23,6	20,8	20,9	20,5	20,6	
B5/1 (Pa*s)	37,2	27,2	24,8	20,95	20	20,8	
Erotus (Pa*s)	13,7	3,6	4	0,05	-0,5	0,2	2,15
Leikkausnopeus (1/s)	1,68	2,44	3,56	4,29	4,29	4,29	0,81
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	5,95	4,89	3,53	4,3	3,8	4,79	
B5/10 (Pa*s)	5,84	4,74	3,72	4,54	3,72	4,58	
Erotus (Pa*s)	-0,11	-0,15	0,19	0,24	-0,08	-0,21	0,20
Leikkausnopeus (1/s)	41	41	41	41	33,9	41	3,18
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	0,714	0,743	0,662	0,919	0,952	1,05	
Krebs-Stormer (Pa*s)	0,71	0,78	0,67	0,95	0,98	0,99	
Erotus (Pa*s)	-0,001	0,039	0,009	0,035	0,026	-0,057	0,04

Tuote 9

Tuotteelle 9 ei tehty viskometrimittauksia. Tuotteesta oli viiden näytteen sijasta neljä näytettä tutkittavana. Tuotteen reometrimittausten avulla piirretyt viskositeettiprofiilit löytyvät kuitenkin liitteestä kaksi.

Tuote 10

Tuote 10 oli ensimmäinen mitattu tuote. Koska reometrin asetuksia vielä säädettiin, niin tuotteelle ei saatu piirrettyä yhteisviskositeettikuvaajaa. Tuotetta 10D ei huomioitu, koska sen mitattu viskositeettiarvo eroaa liikaa muista B5/1-mittauksen osalta. Kyseessä lienee jonkinlainen mittavirhe, koska ero on niin suuri muihin B5/1-mittauksiin verrattuna. Taulukosta 11 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on kohtuullinen B5/1- ja B5/10-mittauksilla. Krebs-Stormer-mittauksilla keskihajonta on kohtuullinen. Tuotteen 10 viskometrimittausten korvattavuudesta reometrimittauksilla ei voida olla varmoja johtuen siitä, että tuotteen reometrimittauksen asetukset leikkausnopeuden suhteen erosivat liikaa tuotteen eri tuotantoerien välillä.

Taulukko 11. Tuotteen 10 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	10A	10B	10C	10D	10E	Keskihajonta
T (°C)	24,4	24,8	25,6	25,5	25,6	
Leikkausnopeus (1/s)	0,105	0,132	0,268	0,954	0,176	0,07
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	28,5	23,2	28,4	5,91	22,7	
B5/1 (Pa*s)	29,2	28	27,8	6	22,6	
Erotus (Pa*s)	0,7	4,8	-0,6	0,09	-0,1	2,46
Leikkausnopeus (1/s)	1,76	1,76	2,81	1,68	1,39	0,61
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	5,59	5,15	4,56	3,89	5,43	
B5/10 (Pa*s)	5,747	5,3	4,74	4,12	5,14	
Erotus (Pa*s)	0,157	0,15	0,18	0,23	-0,29	0,23
Leikkausnopeus (1/s)	29,5	37,3	37,3	33,9	41	4,84
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	0,675	0,541	0,51	0,506	0,552	
Krebs-Stormer (Pa*s)	0,64	0,57	0,49	0,49	0,56	
Erotus (Pa*s)	-0,037	0,029	-0,024	-0,015	0,004	0,03

Tuote 11

Tuotetta 11A ei huomioitu, koska sen mitatut viskositeettiarvot eroavat liikaa muista B5/1- ja Krebs-Stormer-mittausten osalta. Taulukosta 12 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1-mittauksilla. B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksilla keskihajonta on erinomainen. B5/1-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 0,212–0,256 1/s. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 2,02 1/s. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 40,9 1/s.

Taulukko 12. Tuotteen 11 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	11A	11B	11C	11D	11E	Keskihajonta
T (°C)	24,2	24,3	24,3	24,2	24,3	
Leikkausnopeus (1/s)	0,212	0,212	0,212	0,212	0,256	0,02
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	46,3	66,7	64,6	59,2	50,8	
B5/1 (Pa*s)	45,6	69,4	66	63,2	52,2	
Erotus (Pa*s)	-0,7	2,7	1,4	4	1,4	1,24
Leikkausnopeus (1/s)	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	7,68	10,8	10,6	9,75	8,85	
B5/10 (Pa*s)	7,32	10,52	10,04	9,3	8,46	
Erotus (Pa*s)	-0,36	-0,28	-0,56	-0,45	-0,39	0,12
Leikkausnopeus (1/s)	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	0,897	1,19	1,18	1,1	0,991	
Krebs-Stormer (Pa*s)	0,86	1,1355	1,1675	1,0915	1	
Erotus (Pa*s)	-0,039	-0,055	-0,013	-0,009	0,009	0,03

Tuote 12

Tuotetta 12E ei huomioitu, koska sen mitattu viskositeettiarvo eroaa liikaa muista B5/1-mittauksen osalta. Taulukosta 13 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1-mittauksissa. B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksissa keskihajonta on erinomainen. B5/1-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 0,212–0,256 1/s. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 2,95 1/s. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 49,4 1/s.

Taulukko 13. Tuotteen 12 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	12A	12B	12C	12D	12E	Keskihajonta
T (°C)	24,3	24,2	24,2	24,2	24,3	
Leikkausnopeus (1/s)	0,212	0,256	0,256	0,256	0,256	0,02
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	192	184	182	189	205	
B5/1 (Pa*s)	185	189,5	192	189,5	209	
Erotus (Pa*s)	-7	5,5	10	0,5	4	7,29
Leikkausnopeus (1/s)	2,95	2,95	2,95	2,95	3,56	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	21,5	22,6	22,8	23,2	20,7	
B5/10 (Pa*s)	21,78	22,86	23,14	23,62	22,58	
Erotus (Pa*s)	0,28	0,26	0,34	0,42	1,88	0,07
Leikkausnopeus (1/s)	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,88	2,05	2,08	2,14	2,31	
Krebs-Stormer (Pa*s)	1,8515	2,013	2,00425	2,07	2,19	
Erotus (Pa*s)	-0,029	-0,037	-0,076	-0,070	-0,122	0,02

Tuote 13

Tuotetta 13D ei huomioitu, koska sen mitattu viskositeettiarvo eroaa liikaa muista B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksen osalta. Taulukosta 14 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on huono B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksissa. Tuotteen 13 viskometri mittauksia ei voida korvata reometrimittauksilla.

Taulukko 14. Tuotteen 13 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	13A	13B	13C	13D	13E	Keskihajonta
T (°C)	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	
Leikkausnopeus (1/s)	0,15	0,121	0,791	0,791	1,39	0,60
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	7,60	5,12	8,27	23,2	10	
B5/1 (Pa*s)	8,60	7,2	8	23,2	9,4	
Erotus (Pa*s)	1,00	2,08	-0,27	0	-0,6	1,23
Leikkausnopeus (1/s)	1,68	1,68	3,56	4,29	9,1	3,51
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	2,82	2,12	3,04	6,29	2,32	
B5/10 (Pa*s)	2,9	2,08	3,08	5,88	2,32	
Erotus (Pa*s)	0,08	-0,04	0,04	-0,41	0	0,05
Leikkausnopeus (1/s)	28,1	19,3	33,9	41	49,4	12,66
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	0,532	0,588	0,632	0,966	0,66	
Krebs-Stormer (Pa*s)	0,50	0,57	0,66	1,04	0,63	
Erotus (Pa*s)	-0,028	-0,016	0,027	0,071	-0,026	0,03

Tuote 14

Tuotetta 14A ei huomioitu, koska sen mitattu viskositeettiarvo eroaa liikaa muista mittauksen B5/1 osalta. Kyseessä lienee jonkinlainen mittavirhe, koska ero on niin suuri muihin B5/1-mittauksiin verrattuna. Taulukosta 15 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on huono B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksissa. Tuotteen 14 viskositeettimittauksia ei voida korvata reometrimittauksilla.

Taulukko 15. Tuotteen 14 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	14A	14B	14C	14D	14E	Keskihajonta
T (°C)	23,0	23,0	23,0	23,3	23,2	
Leikkausnopeus (1/s)	9,1	0,121	0,121	0,954	0,655	0,41
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,6	24,9	12,2	7,47	23,8	
B5/1 (Pa*s)	1,6	27,4	13,8	7,4	23,6	
Erotus (Pa*s)	0	2,5	1,6	-0,07	-0,2	1,32
Leikkausnopeus (1/s)	7,54	2,02	4,29	13,3	3,56	5,09
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,77	5,36	2,94	1,55	7,83	
B5/10 (Pa*s)	1,84	5,62	2,84	1,52	8,3	
Erotus (Pa*s)	0,07	0,26	-0,1	-0,03	0,47	0,26
Leikkausnopeus (1/s)	41	33,9	41	28,1	49,4	9,20
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	0,678	0,866	0,763	0,99	1,13	
Krebs-Stormer (Pa*s)	0,71	0,89	0,78	0,98	1,07	
Erotus (Pa*s)	0,030	0,024	0,016	-0,012	-0,061	0,04

Tuote 15

Taulukosta 16 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on huono B5/1-mittauksilla. B5/10-mittauksilla keskihajonta on hyvä. Krebs-Stormer-mittauksilla keskihajonta on erinomainen. B5/10-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeuden vaihteluväli on 2,44–3,56 1/s. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 40,9 1/s.

Taulukko 16. Tuotteen 15 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	15A	15B	15C	15D	15E	Keskihajonta
T (°C)	23,3	23,4	23,3	23,4	23,5	
Leikkausnopeus (1/s)	0,212	0,309	0,309	1,15	1,15	0,48
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	40,9	30,4	32,5	11,6	10,7	
B5/1 (Pa*s)	40	31,6	32,8	11,8	10,4	
Erotus (Pa*s)	-0,9	1,2	0,3	0,2	-0,3	0,78
Leikkausnopeus (1/s)	2,44	2,44	2,44	3,56	3,56	0,61
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	6,94	6,54	6,99	4,82	4,69	
B5/10 (Pa*s)	7,16	6,32	6,88	5,04	4,44	
Erotus (Pa*s)	0,22	-0,22	-0,11	0,22	-0,25	0,23
Leikkausnopeus (1/s)	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	0,00
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,01	0,976	1,04	0,937	0,921	
Krebs-Stormer (Pa*s)	0,976	0,9635	1	0,917	0,9485	
Erotus (Pa*s)	-0,034	-0,0125	-0,04	-0,020	0,028	0,03

Tuote 16

Tuotetta 16E ei huomioitu, koska sen mitatut viskositeettiarvot eroavat liikaa muista B5/1- ja B5/10-mittausten osalta. Tuote-erä 16E vaati sekoittamista ennen mittauksia, joten erot johtunevat tästä. Taulukosta 17 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on huono B5/1-mittauksilla. B5/10-mittauksilla keskihajonta on kohtuullinen. Krebs-Stormer-mittauksilla keskihajonta on huono. Tuotteen 16 viskometrimittauksia ei voida korvata reometrimitauksilla.

Taulukko 17. Tuotteen 16 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	16A	16B	16C	16D	16E	Keskihajonta
T (°C)	23,5	23,1	23,3	23,5	23,4	
Leikkausnopeus (1/s)	0,176	0,212	0,45	0,655	1,68	0,22
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	34,3	32,2	19,4	15,2	7,48	
B5/1 (Pa*s)	33,6	33,6	19,2	14,4	7,2	
Erotus (Pa*s)	-0,7	1,4	-0,2	-0,8	-0,28	1,02
Leikkausnopeus (1/s)	2,44	2,44	2,95	4,29	7,54	0,87
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	6,61	6,52	5,53	4,3	2,65	
B5/10 (Pa*s)	6,74	6,94	5,48	4,4	2,8	
Erotus (Pa*s)	0,13	0,42	-0,05	0,1	0,15	0,20
Leikkausnopeus (1/s)	40,9	40,9	33,9	28,1	33,9	6,19
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	1,26	1,22	1,31	1,32	1,14	
Krebs-Stormer (Pa*s)	1,29	1,22	1,26	1,39	1,10	
Erotus (Pa*s)	0,033	-0,003	-0,052	0,071	-0,041	0,05

Tuote 17

Tuotetta 17E ei huomioitu, koska sen mitatut viskositeettiarvot eroavat liikaa muista B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittausten osalta. Taulukosta 18 nähdään, että leikkausnopeuksien keskihajonta on hyvä B5/1-, B5/10- ja Krebs-Stormer-mittauksissa. Krebs-Stormer-mittaus voitaisiin korvata reometrin mittauksella, jonka leikkausnopeus on 40,9 1/s.

Taulukko 18. Tuotteen 17 viskositeettiarvot

Tuotekoodi	17A	17B	17C	17D	17E	Keskihajonta
T (°C)	23,4	23,5	23,2	23,4	23,4	
Leikkausnopeus (1/s)	0,256	0,309	0,256	0,45	0,45	0,09
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	95,1	107	102	82,4	33,4	
B5/1 (Pa*s)	96	107	97,6	89	32,4	
Erotus (Pa*s)	0,9	0	-4,4	6,6	-1	4,52
Leikkausnopeus (1/s)	2,44	2,95	2,44	3,56	6,25	0,53
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	16,6	17,8	17	15,5	4,94	
B5/10 (Pa*s)	17,14	17,62	16,98	15,46	5,00	
Erotus (Pa*s)	0,54	-0,18	-0,02	-0,04	0,06	0,32
Leikkausnopeus (1/s)	40,9	40,9	41	40,9	23,3	0,05
Reometri (23,0 °C, Pa*s)	2,35	2,68	2,25	2,63	2,01	
Krebs-Stormer (Pa*s)	2,279	2,62325	2,22625	2,525	1,91	
Erotus (Pa*s)	-0,071	-0,057	-0,024	-0,105	-0,103	0,03

Toisilla tuotteilla on helpompi löytää reometrimittausten avulla piirretyltä viskositeettikuvaajalta viskometrimittauksia vastaavia pisteitä kuin toisilla tuotteilla. Tässä insinööri-työssä tutkituilla tuotteilla korrelaatio on tuotekohtaista. Jotkut tuotteet erottuvat hyvän korrelaation osalta ja toiset huonon korrelaation osalta. Erityisesti tuotteen 4 kohdalla, joka oli ainoa testattu lakka, havaittiin, että reometrin leikkausnopeusarvojen keskihajonta oli kaikkien viskometrimittausten osalta hyvin alhainen: 0,01 (B5/1) ja 0,00 (B5/10) ja 0,00 (Krebs-Stormer).

Selvästi huonoimpina erottuivat tuotteet 13 ja 14. Tuotteen 13 reometrin leikkausnopeusarvojen keskihajonta oli kaikkien viskometrimittausten osalta korkea: 0,60 (B5/1) ja 3,51 (B5/10) ja 12,66 (Krebs-Stormer). Vastaavat luvut olivat tuotteella 14: 0,41 (B5/1) ja 5,09 (B5/10) ja 9,20 (Krebs-Stormer). Näiden tuotteiden sideaineena oli alkydi-akryyli-yhdistelmä.

6.2 3ITT

3ITT-tulokset on jaettu neljään eri taulukkoon. Alkuviskositeetilla tarkoitetaan reometrin mittaamaa viskositeettiarvoa ennen sekoittamista. 50 % -viskositeettiarvolla puolestaan tarkoitetaan aikaa sekunneissa, mikä kestää tuotteen viskositeetin palaamisessa sekoittamisen jälkeen 50 % -arvoon verrattuna alkuviskositeettiin. 75 % -viskositeettiarvo vastaavasti ilmaisee kuinka monta sekuntia kestää tuotteen sekoittamisen jälkeen tuotteen viskositeetin palaamisessa 75 % -arvoon verrattuna alkuviskositeettiin. Mikäli solussa lukee ei, tarkoittaa se, että viskositeetti ei ehtinyt testin aikana palata kyseiseen 50 % tai 75 % -viskositeettiarvoon.

Taulukoissa on myös laskettu keskiarvoja ja keskihajontoja. Alkuviskositeetin keskiarvo ilmaisee mikä on ollut eri tuotantoerien keskiarvo ennen tuotteen sekoittamista. Alkuviskositeetin keskihajonta ilmaisee tuote-erien välistä alkuviskositeetin vaihtelua. 50 % ja 75 % -viskositeettien keskiarvot ilmaisevat tuotteen eri tuotantoerien keskimääräistä paluuaikaa kyseenomaiseen prosentuaaliseen viskositeetin määrään. 50 % -viskositeetin keskihajonta ilmaisee vaihtelua mitatussa ajassa, jossa viskositeetti palaa 50 % arvoon. 75 % -viskositeetin keskihajonta vastaavasti ilmaisee samaa 75 % -arvon osalta. Mikäli 50 % -viskositeetin ja 75 % -viskositeetin saavutusajat ovat molemmat hyvin pieniä, voidaan todeta, että tuote ei juurikaan ole tiksotrooppinen. Toisaalta mikäli tuote ei saavuta testiajassa ollenkaan 75 % -viskositeetin arvoa niin kuin taulukossa 20 tuotteen 8 osalta havaitaan, niin voidaan todeta, että tuote on voimakkaasti tiksotrooppinen.

Taulukossa 19 on esitetty 3ITT-tulokset tuotteiden 1–5 osalta.

Taulukko 19. 3ITT-tulokset, tuotteet 1–5

Tuotekoodi	1A	1B	1C	1D	1E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	8,38	10,6	8,97	7,87	10,2		9,2	1,17
50 % -viskositeetti, t (s)	9,5	11,0	13,0	13,5	10,5		11,5	1,70
75 % -viskositeetti, t (s)	26,0	38,0	48,0	43,0	29,5		36,9	9,15
Tuotekoodi	2A	2B	2C	2D	2E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	24,4	30,3	31,5	36,3	31,5		30,8	4,26
50 % -viskositeetti, t (s)	5,5	5,5	7,0	8,0	8,0		6,8	1,25
75 % -viskositeetti, t (s)	15,0	15,5	24,0	36,5	36,0		25,4	10,53
Tuotekoodi	3A	3B	3C	3D	3E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	64	52,7	53,5	73,3	82,6		65,2	12,87
50 % -viskositeetti, t (s)	7,0	9,5	8,5	10,0	9,5		8,9	1,19
75 % -viskositeetti, t (s)	67,0	ei	ei	ei	ei		ei	ei
Tuotekoodi	4A	4B	4C	4D	4E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	21,7	14,5	17,4	20,5	30,9		21,0	6,20
50 % -viskositeetti, t (s)	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0		1,6	1,34
75 % -viskositeetti, t (s)	10,0	9,0	5,5	6,0	6,5		7,4	1,98
Tuotekoodi	5A	5B	5C	5D	5E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	38,3	38,2	34,9	45,3	29,9		37,3	5,62
50 % -viskositeetti, t (s)	31,0	27,5	23,0	15,5	29,5		25,3	6,25
75 % -viskositeetti, t (s)	ei	166	150	129	126		142,8	18,82

Taulukossa 20 on esitetty 3ITT-tulokset tuotteiden 6–9 osalta

Taulukko 20. 3ITT-tulokset, tuotteet 6–9

Tuotekoodi	6A	6B	6C	6D	6E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	19	17,3	16,6	15,2	18		17,2	1,44
50 % -viskositeetti, t (s)	7,5	8,0	8,5	8,5	8,5		8,2	0,45
75 % -viskositeetti, t (s)	52	56	45	56	50		51,8	4,60
Tuotekoodi	7A	7B	7C	7D	7E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	20,3	21,7	28,2	29,8	27,6		25,5	4,23
50 % -viskositeetti, t (s)	7,0	6,0	6,0	6,0	7,0		6,4	0,55
75 % -viskositeetti, t (s)	14,5	12,0	13,0	13,5	17,0		14,0	1,90
Tuotekoodi	8A	8B	8C	8D	8E	8F	Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	9,27	9,3	7,96	6,06	10,1	11,4	9,0	1,84
50 % -viskositeetti, t (s)	36,5	58,0	5,5	2,5	6,0	10,5	19,8	22,44
75 % -viskositeetti, t (s)	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Tuotekoodi	9A	9B	9C	9D			Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	193	174	86,7	145			149,7	46,39
50 % -viskositeetti, t (s)	51,0	77,0	25,5	75,0			57,1	24,17
75 % -viskositeetti, t (s)	131,0	ei	51,0	ei			ei	ei

Taulukossa 21 on esitetty 3ITT-tulokset tuotteiden 10–13 osalta

Taulukko 21. 3ITT-tulokset, tuotteet 10–13

Tuotekoodi	10A	10B	10C	10D	10E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	10,2	8,15	9,91	6,16	7,14		8,3	1,74
50 % -viskositeetti, t (s)	5,0	5,0	9,0	6,0	4,5		5,9	1,82
75 % -viskositeetti, t (s)	8,5	10,0	ei	12,5	7,5		9,6	2,17
Tuotekoodi	11A	11B	11C	11D	11E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	13,3	18,9	18,7	16,6	15,8		16,7	2,30
50 % -viskositeetti, t (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5	0,00
75 % -viskositeetti, t (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5	0,00
Tuotekoodi	12A	12B	12C	12D	12E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	61,7	64,5	66,4	66,9	67,6		65,4	2,38
50 % -viskositeetti, t (s)	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0		3,1	0,22
75 % -viskositeetti, t (s)	5,0	4,5	5,0	5,5	5,0		5,0	0,35
Tuotekoodi	13A	13B	13C	13D	13E		Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	3,62	4,78	6,63	15,8	8,9		7,9	4,82
50 % -viskositeetti, t (s)	5,5	8,5	5,0	3,0	4,0		5,2	2,08
75 % -viskositeetti, t (s)	27,5	35,0	12,0	5,0	7,5		17,4	13,16

Taulukossa 22 on esitetty 3ITT-tulokset tuotteiden 14–17 osalta.

Taulukko 22. 3ITT-tulokset, tuotteet 14–17

Tuotekoodi	14A	14B	14C	14D	14E	Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	4,03	6,82	7,12	3,23	15,4	7,3	4,83
50 % -viskositeetti, t (s)	4,5	19,5	3,0	1,5	3,0	6,3	7,45
75 % -viskositeetti, t (s)	21,5	ei	7,5	3,0	12,0	11,0	7,91
Tuotekoodi	15A	15B	15C	15D	15E	Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	14,5	13,8	14,3	13,1	13,7	13,9	0,55
50 % -viskositeetti, t (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,00
75 % -viskositeetti, t (s)	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,6	0,22
Tuotekoodi	16A	16B	16C	16D	16E	Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	12,6	12,2	12,6	14,2	9,92	12,3	1,54
50 % -viskositeetti, t (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,6	0,22
75 % -viskositeetti, t (s)	1,0	0,5	1,0	2,0	3,0	1,5	1,00
Tuotekoodi	17A	17B	17C	17D	17E	Keskiarvo	Keskihajonta
Alkuviskositeetti (Pa*s)	32,8	41,1	34,5	41,3	19,1	33,8	9,04
50 % -viskositeetti, t (s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,00
75 % -viskositeetti, t (s)	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,9	0,22

Taulukossa 23 on luokiteltu tuotteiden tiksotrooppisuus viisiportaisella asteikolla. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on arvioitu tuotteen tiksotrooppisuus seuraavalla asteikolla: ei, hyvin pieni, pieni, keskinkertainen ja suuri. Asteikon alkupään ei tarkoittaa, että tuote ei ole tiksotrooppinen ja asteikon loppupään suuri tarkoittaa tuotteen olevan voimakkaasti tiksotrooppinen. Taulukon ensimmäisessä sarakkeessa on tuotteen numero. Toisessa sarakkeessa on tuotteen alkuviskositeetti laskettuna kaikkien erien keskiarvona. Kolmannessa sarakkeessa on alkuviskositeetin keskihajonta. Neljännessä sarakkeessa on 50 % -viskositeetin saavutusaika kaikkien erien keskiarvona ja viidennessä sen keskihajonta. Kuudennessa sarakkeessa on 75 % -viskositeetin saavutusaika kaikkien erien keskiarvona. Seitsemännessä sarakkeessa on 75 % -saavutusajan keskihajonta.

Taulukko 23. Tutkittujen tuotteiden tiksotrooppisuus

Tuote	η (Pa*s)	Kh. (Pa*s)	50 % t (s)	Kh.2 (s)	75 % t (s)	Kh.3 (s)	Tiksotrooppisuus
1	9,2	1,2	11,5	1,7	36,9	9,2	Suuri
2	30,8	4,3	6,8	1,3	25,4	10,5	Keskinkertainen
3	65,2	12,9	8,9	1,2	ei	ei	Suuri
4	21,0	6,2	1,6	1,3	7,4	2,0	Pieni
5	37,3	5,6	25,3	6,3	142,8	18,8	Suuri
6	17,2	1,4	8,2	0,4	51,8	4,6	Suuri
7	25,5	4,2	6,4	0,5	14,0	1,9	Keskinkertainen
8	9,0	1,8	19,8	22,4	ei	ei	Suuri
9	149,7	46,4	57,1	24,2	ei	ei	Suuri
10	8,3	1,7	5,9	1,8	9,6	2,2	Pieni
11	16,7	2,3	0,5	0,0	0,5	0,0	Ei
12	65,4	2,4	3,1	0,2	5,0	0,4	Pieni
13	7,9	4,8	5,2	2,1	17,4	13,2	Keskinkertainen
14	7,3	4,8	6,3	7,5	11,0	7,9	Keskinkertainen
15	13,9	0,5	0,5	0,0	0,6	0,2	Ei
16	12,3	1,5	0,6	0,2	1,5	1,0	Hyvin pieni
17	33,8	9,0	0,5	0,0	0,9	0,2	Hyvin pieni

Tuotteiden 3ITT-yhteiskuvaajat ovat liitteenä neljä.

6.3 Amplitudipyyhkäisy ja 3ITT - OSC

Amplitudipyyhkäisyn kuvaaja tuotteelle 1 on liitteenä viisi ja 3ITT - OSC-kuvaaja liitteenä kuusi. Taulukossa 24 on määritetty tuotteen 1 amplitudipyyhkäisykuvaajasta tuotteen LVE-alue rasitusprosentteissa. Rasitusprosentti ilmaisee reometriin ennalta asetetun rasitusarvon minimin ja maksimin välistä kasvua prosentuaalisesti. Taulukossa on lisäksi 3ITT - OSC-tulokset rasitusprosentilla yksi. Muuttujat a, b ja c ilmaisevat häviömoduulin G'' ja varastomoduulin G' välistä erotusta. Muuttuja a on yhdeksäs 3ITT - OSC-mittauksen mittausarvo ja mitattu ennen sekoitusta. Muuttuja b on ensimmäinen mittausarvo sekoittamisen jälkeen. Muuttuja c on mittauksen viimeinen arvo. Taulukkoon on myös lisätty 3ITT-tiksotrooppisuusmittauksen tulokset.

Taulukosta 24 nähdään, että mittauspisteessä a, häviömoduuli G'' on suurempi kuin varastomoduuli G' tuote-erien 1A, 1C ja 1D kohdalla. Tuote-erien 1B ja 1E kohdalla mittauspisteessä a varastomoduuli G' puolestaan on suurempi kuin häviömoduuli G'' . Sekoituksen jälkeen mittauspisteessä b havaitaan, että tuotteen yksi kaikkien tuote-erien

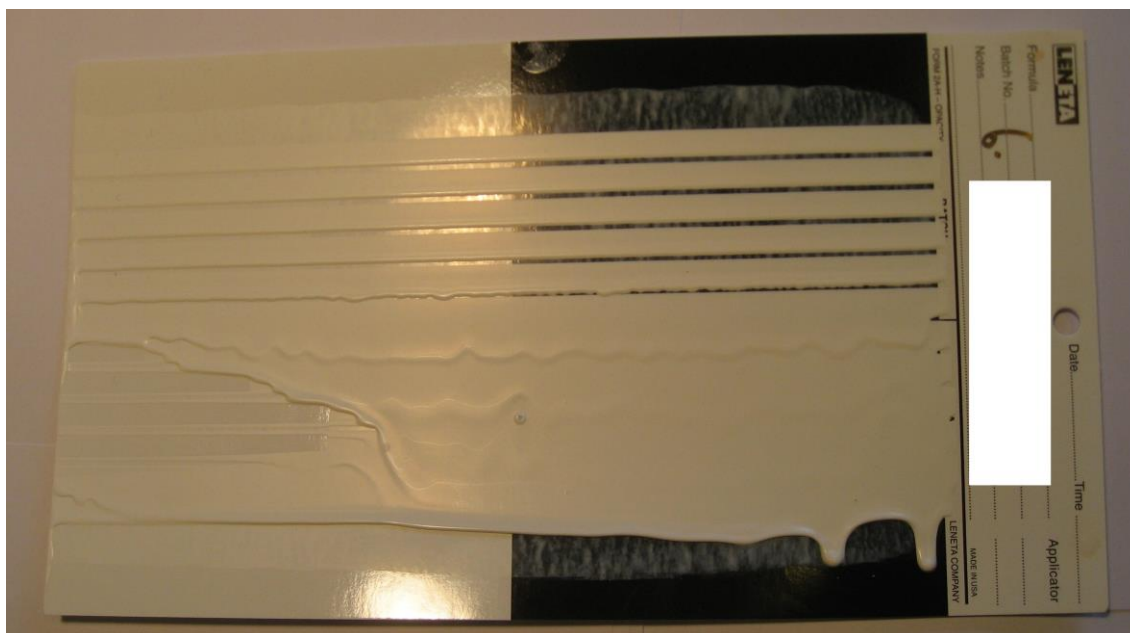
kohdalla häviömoduuli G'' on varastomoduuria G' suurempi. Mittauspisteessä c häviömoduulin G'' ja varastomoduurin G' erotus on pienentynyt verrattuna mittauspisteeseen b muiden paitsi tuote-erän 1B kohdalla. Mittauspisteessä c häviömoduuli G'' on kaikilla tuote-erillä suurempi kuin varastomoduuli G' .

Taulukko 24. Tuotteen 1 amplitudipyyhkäisy, 3ITT - OSC ja 3ITT-tulokset

Tuote/muuttuja	1A	1B	1C	1D	1E
LVE-alue (%)	2,15	2,15	1,47	2,15	3,16
a (Pa)	0,20	-0,50	0,40	1,08	-0,20
b (Pa)	12,70	1,21	6,86	8,77	4,50
c (Pa)	1,12	1,40	2,18	1,94	0,90
Alkuviskositeetti (Pa*s)	8,38	10,6	8,97	7,87	10,2
50 % -viskositeetti, t (s)	9,5	11,0	13,0	13,5	10,5
75 % -viskositeetti, t (s)	26,0	38,0	48,0	43,0	29,5

6.4 Valumiskokeet

Kuvassa 21 on esitetty valumiskoe tuotteelle 6C. Ylhäältä laskien neljäs raita (märkäkalvon paksuus 508 μm) ei vielä valu, mutta viides raita (märkäkalvon paksuus 635 μm) valui.



Kuva 21. Valumiskoe tehtynä peitepaperille isolla maalinlevitysräudalla

Taulukoissa 25 ja 26 on esitetty valumiskokeiden tulokset. Tuotekoodi-rivillä on tuotekoodi, joka ilmaisee tuotteen numeron ja valmistuserän. ”Ei valunut (μm)”-rivillä on mikrometreissä (μm) tuotteen märkäkalvon paksuus, jolla tuote ei ole vielä valunut. Kaikista näytteistä ei saatu kalvonpaksuutta, jolla maali valui, koska joillain peitepapereilla maalia ei saatu millään kalvonpaksuudella valumaan. Lisäksi tuotteista on laskettu tuotekohtainen keskiarvo valumattoman märkäkalvon paksuudelle sarakkeessa ”Ka.” Sarakkeessa ”Kh.” puolestaan on laskettu keskihajonta tuloksille. Taulukossa 25 on valumiskokeiden tulokset tuotteille 1–8. Tuotteelle 9 ei tehty valumiskokeita.

Taulukko 25. Valumiskokeiden tulokset, tuotteet 1–8

Tuotekoodi	1A	1B	1C	1D	1E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	406	457	406	406	457		426	27,9
Tuotekoodi	2A	2B	2C	2D	2E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	1016	1016	1016	1143	1143		1067	69,6
Tuotekoodi	3A	3B	3C	3D	3E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	1270	1524	1270	1524	1524		1422	139,1
Tuotekoodi	4A	4B	4C	4D	4E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	762	635	635	ei mitattu	1143		794	240,4
Tuotekoodi	5A	5B	5C	5D	5E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	1524	1524	1270	1270	1143		1346	170,4
Tuotekoodi	6A	6B	6C	6D	6E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	635	635	508	508	508		559	69,6
Tuotekoodi	7A	7B	7C	7D	7E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	762	762	762	889	889		813	69,6
Tuotekoodi	8A	8B	8C	8D	8E	8F	Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	250	250	275	300	250	300	271	24,6

Taulukossa 26 on valumiskokeiden tulokset tuotteille 10–17

Taulukko 26. Valumiskokeiden tulokset, tuotteet 10–17

Tuotekoodi	10A	10B	10C	10D	10E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	508	356	508	356	356		417	83,3
Tuotekoodi	11A	11B	11C	11D	11E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	508	635	635	635	635		610	56,8
Tuotekoodi	12A	12B	12C	12D	12E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	1524	1524	1524	1270	1524		1473	113,6
Tuotekoodi	13A	13B	13C	13D	13E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	175	100	225	250	200		190	57,6
Tuotekoodi	14A	14B	14C	14D	14E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	125	175	125	125	300		170	75,8
Tuotekoodi	15A	15B	15C	15D	15E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	762	889	889	889	889		864	56,8
Tuotekoodi	16A	16B	16C	16E	16D		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	762	762	762	889	762		787	56,8
Tuotekoodi	17A	17B	17C	17D	17E		Ka.	Kh.
Ei valunut (μm)	1143	1524	1270	1524	1143		1321	192,6

6.5 Virhelähteitä

Maalin viskositeetti riippuu myös lämpötilasta. Koska osa viskositeetin mittauksista viskometreillä tehtiin hieman korkeammassa lämpötilassa kuin reometrimittaukset, niin tästä aiheutuu pientä eroa mittaustuloksiin. Toisin sanoen korkeammassa lämpötilassa mitattavan tuotteen viskositeettiarvo jää yleensä pienemmäksi kuin saman tuotteen viskositeettiarvo matalammassa lämpötilassa. Reometrimittauksissa pientä eroa mittaustuloksiin on voinut aiheutua siitä, että maalinäytettä ei ollut riittävän hyvin trimmattu ennen mittauksen aloitusta. Reometrin karan etuosa näkyy hyvin, mutta takaosa ei näy niin hyvin, joten takaosan trimmaus ei välttämättä onnistu aina täydellisesti. Valumiskokeissa puolestaan tuotteen sekoitus tehtiin suhteellisen nopeasti spaatelilla ennen kuin maalia alettiin laittaa levitysrautaan. Mikäli maalia olisi sekoitettu pidempään, voisi valumiskokeiden tulokset olla hieman erilaisia.

Krebs-Stormer-viskometrin mittaustulosten muuttamisessa $\text{Pa}\cdot\text{s}$ -yksikköön voi myös olla virhettä. Tämä johtuu siitä, että Krebs-Stormer-viskometrillä saadaan mitattua suhteellisia viskositeettiarvoja, mutta ne eivät ole suoraan verrannollisia muihin viskositeetin mittausten menetelmiin.

7 Johtopäätökset

7.1 Reometrin viskositeettikuvaajien ja viskometrimittausten korrelaatiosta

Taulukossa 27 on esitetty millä reometrin viskositeettimittauksen leikkausnopeusarvolla voitaisiin korvata eri viskometrimittaukset. Solussa voi olla leikkausnopeuden vaihteluväli tai yksittäinen leikkausnopeuden arvo. Mikäli solussa lukee ”ei” tarkoittaa se, että kyseisellä tuotteella ei voitaisi korvata kyseistä viskometrimittausta reometrimittauksella. Tyhjä solu tarkoittaa, että suoraa korrelaatiota ei löydetty, mutta lisämittauksilla korrelaation löytäminen voisi olla mahdollista. Tuote 9 puuttuu taulukosta, koska sille ei tehty viskometrimittauksia. Tuote 10 puuttuu myös taulukosta, koska se oli ensimmäinen mittaettava tuote, ja reometrin asetuksia vielä säädettiin. Tämän vuoksi eri tuotantoerien väliset mittaukset eivät olleet vertailukelpoisia keskenään.

Taulukko 27. Reometrin viskositeettikuvaajamittauksen leikkausnopeusarvot, joilla tehdyt mittaukset voisivat korvata viskometrimittaukset

Tuote/reometrin leikkausnopeus (1/s)	B5/1	B5/10	Krebs-Stormer
1	0,212–0,256	1,68–2,02	41–49,4
2		2,44–2,95	49,4–59,6
3	0,309	2,95	49,4–59,6
4	0,121–0,146	2,02	59,6
5			59,6
6	0,146–0,212	2,02–2,44	
7	0,309–0,373	2,44–2,95	59,6
8			33,9–41
11	0,212–0,256	2,02	40,9
12	0,212–0,256	2,95	49,4
13	ei	ei	ei
14	ei	ei	ei
15		2,44–3,56	40,9
16	ei	ei	ei
17			40,9

Koska viskometrimittausten ja reometrimittausten korrelaatio on tuotekohtaista, täytyy nestemaalien viskositeetin laadunvalvonnassa tarkastella siirtymistä reometrin käyttöön yksi tuote kerrallaan. Joillain tuotteilla voitaisiin korvata tiettyjä viskometrimittauksia reometrimittauksilla tehtyjen empiiristen kokeiden pohjalta. Joillain tuotteilla puolestaan

täytyisi miettiä laadunvalvonnan tekemistä reometrilla niin, että käytettäisiin viskometri-mittauksia rinnan reometrimittausten kanssa.

7.2 3ITT

Taulukon 28 mukaisesti tuotteet 11 ja 15 eivät olleet tiksotrooppisia. Tuotteet 16 ja 17 olivat hyvin vähän tiksotrooppisia. Tuotteet 4, 10 ja 12 olivat vähän tiksotrooppisia. Tuotteet 2, 7, 13 ja 14 olivat keskinkertaisen tiksotrooppisia. Tuotteet 1, 3, 5, 6, 8 ja 9 olivat hyvin tiksotrooppisia.

Taulukko 28. Tuotteiden tiksotrooppisuus

Tuote	Tiksotrooppisuus
1	Suuri
2	Keskinkertainen
3	Suuri
4	Pieni
5	Suuri
6	Suuri
7	Keskinkertainen
8	Suuri
9	Suuri
10	Pieni
11	Ei
12	Pieni
13	Keskinkertainen
14	Keskinkertainen
15	Ei
16	Hyvin pieni
17	Hyvin pieni

7.3 Amplitudipyyhkäisy ja 3ITT - OSC

Koska tuotteen 1 amplitudipyyhkäisykuvaajasta määritetyn LVE-alue yläraja vaihteli eri tuotantoerillä 1,47 - 3,16 rasitusprosentin välillä ja 3ITT - OSC-mittaukset tehtiin rasitusprosentilla yksi, niin 3ITT - OSC-mittaukset tuotteelle yksi olivat kaikki LVE-alueen sisällä. Koska tuote-erien 1A, 1C ja 1D häviömoduuli G'' on 3ITT - OSC-mittauksen mitta-pisteissä a, b ja c suurempi kuin tuotteiden varastomoduli G' , niin tuote-erät käyttäytyvät

viskoelastisen nesteen tavoin kaikissa mittapisteissä. Koska tuote-erien 1B ja 1E varastomoduli G' on mittapisteessä a häviömoduulia G'' suurempi, käyttäytyvät tuotteet mittapisteessä a viskoelastisen kiinteän aineen tavoin tai geelimäisesti. Koska tuote-erien 1B ja 1E häviömoduuli G'' on mittapisteissä b ja c suurempi kuin varastomoduli G' käyttäytyvät myös ne viskoelastisen nesteen tavoin mittapisteissä b ja c. Sekoittamisen jälkeen tuotteen yksi kaikki tuotantoerät käyttäytyvät viskoelastisen nesteen tavoin.

7.4 Valumiskokeet

Taulukossa 29 on esitetty tuotteiden keskimääräiset märkäkalvonpaksuudet, joilla ne eivät vielä alkaneet valua.

Taulukko 29. Valumiskokeiden tulosten kooste

Tuote	Ei valunut (μm)	Keskihajonta (μm)
1	426	28
2	1067	70
3	1422	139
4	794	240
5	1346	170
6	559	70
7	813	70
8	271	25
10	417	83
11	610	57
12	1473	114
13	190	58
14	170	76
15	864	57
16	787	57
17	1321	193

Lähteet

Ahonen, Taisto. 1986. Maalaustyöt I, Pintakäsittelytekniikan perusteet. 2. painos. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy.

Brookfield. Brookfield DV-II+ Programmable Viscometer Operating Instructions Manual No. M/97-164-F1102. Verkkoaineisto. Middleboro, MA 02346-1031 USA: Brookfield Engineering Laboratories INC. Luettu 20.4.2017.

Brookfield. Brookfield KU-2 Viscometer Operating Instructions Manual No. M04-242-D0612. Verkkoaineisto. Middleboro MA 02346 USA: Brookfield Engineering Laboratories Inc. Luettu 20.4.2017.

Elementis Specialties, Inc.. 2008. Rheology Handbook - A Practical Guide to Rheological Additives. 30th Anniversary Edition. Elementis Specialties, Inc.

Giancoli, Douglas C.. 2000. Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics. Third Edition toim. Upper Saddle River, NJ, 07458 USA: Prentice Hall.

Metzger, Thomas G.. 2014. The Rheology Handbook. 4th Edition. Hanover, Germany: Vincentz Network GmbH.

Mezger, Thomas G.. 2015. Applied Rheology With Joe Flow on Rheology Road. 2nd Edition. Graz, Austria: Anton Paar GmbH.

Panka, Kalevi. 2003a. Maalien Reologia, Reologiaseminaari 25.2.2003. Helsinki: Teknos Oy.

Panka, Kalevi. 2003b. Maalien Reologia, Reologiaseminaari 12.3.2003. Helsinki: Teknos Oy.

Teknos, 2017. 2016 in Brief. Verkkoaineisto.

<http://www.teknos.com/globalassets/teknos.com/about-us/teknos_inbrief_2016.pdf>.

Luettu 30.11.2017.

Muunnostaulukko KU-yksiköstä cP-yksikköön

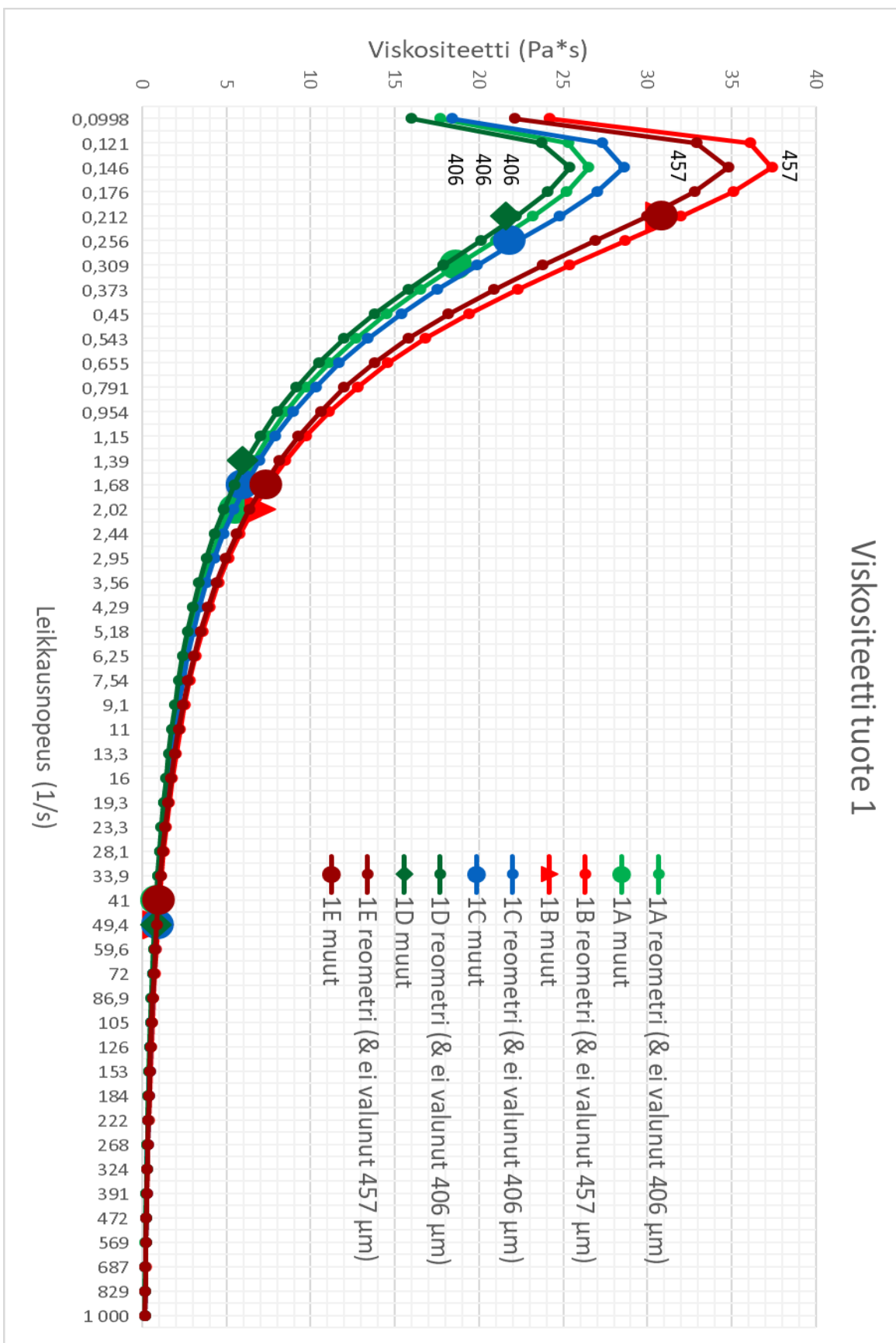
Table A-2

g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP
101	60.9	366	176	77.2	735	251	89.1	1104	326	97.6	1472	401	104.1	1841	478	110.1	2210	551	116.1	2579
102	61.1	371	177	77.4	740	252	89.2	1109	327	97.7	1477	402	104.2	1846	477	110.2	2215	552	116.2	2584
103	61.4	376	178	77.6	745	253	89.3	1113	328	97.8	1482	403	104.2	1851	478	110.2	2220	553	116.2	2589
104	61.6	381	179	77.8	750	254	89.4	1118	329	97.9	1487	404	104.3	1856	479	110.3	2225	554	116.3	2594
105	61.9	386	180	78.0	754	255	89.6	1123	330	98.0	1492	405	104.4	1861	480	110.4	2230	555	116.4	2599
106	62.1	391	181	78.2	759	256	89.7	1128	331	98.1	1497	406	104.5	1866	481	110.5	2235	556	116.5	2604
32	40.2	27	107	62.4	395	182	78.4	764	257	89.8	1133	332	98.2	1502	407	104.6	1871	482	110.6	2240
33	40.6	32	108	62.6	400	183	78.6	769	258	89.9	1138	333	98.3	1507	408	104.6	1876	483	110.6	2245
34	40.9	36	109	62.8	405	184	78.8	774	259	90.1	1143	334	98.4	1512	409	104.7	1881	484	110.7	2250
35	41.3	41	110	63.1	410	185	79.0	779	260	90.2	1148	335	98.5	1517	410	104.8	1886	485	110.8	2254
36	41.6	46	111	63.3	415	186	79.1	784	261	90.3	1153	336	98.6	1522	411	104.9	1891	486	110.9	2259
37	42.0	51	112	63.6	420	187	79.3	789	262	90.4	1158	337	98.7	1527	412	105.0	1896	487	111.0	2264
38	42.3	56	113	63.8	425	188	79.5	794	263	90.6	1163	338	98.8	1532	413	105.0	1900	488	111.0	2269
39	42.6	61	114	64.0	430	189	79.7	799	264	90.7	1168	339	98.9	1536	414	105.1	1905	489	111.1	2274
40	43.0	66	115	64.3	435	190	79.9	804	265	90.8	1172	340	99.0	1541	415	105.2	1910	490	111.2	2279
41	43.3	71	116	64.5	440	191	80.1	809	266	90.9	1177	341	99.1	1546	416	105.3	1915	491	111.3	2284
42	43.6	76	117	64.7	445	192	80.3	813	267	91.0	1182	342	99.2	1551	417	105.4	1920	492	111.4	2289
43	44.0	81	118	65.0	450	193	80.4	818	268	91.2	1187	343	99.3	1556	418	105.4	1925	493	111.4	2294
44	44.3	86	119	65.2	454	194	80.6	823	269	91.3	1192	344	99.4	1561	419	105.5	1930	494	111.5	2299
45	44.6	91	120	65.4	459	195	80.8	828	270	91.4	1197	345	99.4	1566	420	105.6	1935	495	111.6	2304
46	45.0	95	121	65.7	464	196	81.0	833	271	91.5	1202	346	99.5	1571	421	105.7	1940	496	111.7	2309
47	45.3	100	122	65.9	469	197	81.2	838	272	91.6	1207	347	99.6	1576	422	105.8	1945	497	111.8	2313
48	45.6	105	123	66.1	474	198	81.3	843	273	91.8	1212	348	99.7	1581	423	105.8	1950	498	111.8	2318
49	45.9	110	124	66.3	479	199	81.5	848	274	91.9	1217	349	99.8	1586	424	105.9	1954	499	111.9	2323
50	46.3	115	125	66.6	484	200	81.7	853	275	92.0	1222	350	99.9	1591	425	106.0	1959	500	112.0	2328
51	46.6	120	126	66.8	489	201	81.8	858	276	92.1	1227	351	100.0	1595	426	106.1	1964	501	112.1	2333
52	46.9	125	127	67.0	494	202	82.0	863	277	92.2	1232	352	100.1	1600	427	106.2	1969	502	112.2	2338
53	47.2	130	128	67.2	499	203	82.2	868	278	92.3	1236	353	100.2	1605	428	106.2	1974	503	112.2	2343
54	47.5	135	129	67.5	504	204	82.3	872	279	92.5	1241	354	100.3	1610	429	106.3	1979	504	112.3	2348
55	47.9	140	130	67.7	509	205	82.5	877	280	92.6	1246	355	100.3	1615	430	106.4	1984	505	112.4	2353
56	48.2	145	131	67.9	513	206	82.7	882	281	92.7	1251	356	100.4	1620	431	106.5	1989	506	112.5	2358
57	48.5	150	132	68.1	518	207	82.8	887	282	92.8	1256	357	100.5	1625	432	106.6	1994	507	112.6	2363
58	48.8	154	133	68.4	523	208	83.0	892	283	92.9	1261	358	100.6	1630	433	106.6	1999	508	112.6	2368
59	49.1	159	134	68.6	528	209	83.2	897	284	93.0	1266	359	100.7	1635	434	106.7	2004	509	112.7	2372
60	49.4	164	135	68.8	533	210	83.3	902	285	93.2	1271	360	100.8	1640	435	106.8	2009	510	112.8	2377
61	49.7	169	136	69.0	538	211	83.5	907	286	93.3	1276	361	100.9	1645	436	106.9	2013	511	112.9	2382
62	50.0	174	137	69.2	543	212	83.6	912	287	93.4	1281	362	101.0	1650	437	107.0	2018	512	113.0	2387
63	50.3	179	138	69.5	548	213	83.8	917	288	93.5	1286	363	101.0	1654	438	107.0	2023	513	113.0	2392
64	50.6	184	139	69.7	553	214	84.0	922	289	93.6	1291	364	101.1	1659	439	107.1	2028	514	113.1	2397
65	50.9	189	140	69.9	558	215	84.1	927	290	93.7	1295	365	101.2	1664	440	107.2	2033	515	113.2	2402
66	51.2	194	141	70.1	563	216	84.3	932	291	93.8	1300	366	101.3	1669	441	107.3	2038	516	113.3	2407
67	51.5	199	142	70.3	568	217	84.4	936	292	94.0	1305	367	101.4	1674	442	107.4	2043	517	113.4	2412
68	51.8	204	143	70.5	572	218	84.5	941	293	94.1	1310	368	101.4	1679	443	107.4	2048	518	113.4	2417
69	52.1	209	144	70.7	577	219	84.7	946	294	94.2	1315	369	101.5	1684	444	107.5	2053	519	113.5	2422
70	52.4	213	145	71.0	582	220	84.8	951	295	94.3	1320	370	101.6	1689	445	107.6	2058	520	113.6	2427
71	52.7	218	146	71.2	587	221	85.0	956	296	94.4	1325	371	101.7	1694	446	107.7	2063	521	113.7	2432
72	53.0	223	147	71.4	592	222	85.1	961	297	94.5	1330	372	101.8	1699	447	107.8	2068	522	113.8	2437
73	53.3	228	148	71.6	597	223	85.3	966	298	94.6	1335	373	101.8	1704	448	107.8	2072	523	113.8	2441
74	53.6	233	149	71.8	602	224	85.4	971	299	94.7	1340	374	101.9	1709	449	107.9	2077	524	113.9	2446
75	53.9	238	150	72.0	607	225	85.6	976	300	94.8	1345	375	102.0	1713	450	108.0	2082	525	114.0	2451
76	54.2	243	151	72.2	612	226	85.7	981	301	95.0	1350	376	102.1	1718	451	108.1	2087	526	114.1	2456
77	54.5	248	152	72.4	617	227	85.9	986	302	95.1	1354	377	102.2	1723	452	108.2	2092	527	114.2	2461
78	54.8	253	153	72.6	622	228	86.0	991	303	95.2	1359	378	102.2	1728	453	108.2	2097	528	114.2	2466
79	55.0	258	154	72.8	627	229	86.1	995	304	95.3	1364	379	102.3	1733	454	108.3	2102	529	114.3	2471
80	55.3	263	155	73.0	632	230	86.3	1000	305	95.4	1369	380	102.4	1738	455	108.4	2107	530	114.4	2476
81	55.6	268	156	73.2	636	231	86.4	1005	306	95.5	1374	381	102.5	1743	456	108.5	2112	531	114.5	2481
82	55.9	272	157	73.4	641	232	86.6	1010	307	95.6	1379	382	102.6	1748	457	108.6	2117	532	114.6	2486
83	56.2	277	158	73.6	646	233	86.7	1015	308	95.7	1384	383	102.6	1753	458	108.6	2122	533	114.6	2491
84	56.5	282	159	73.8	651	234	86.8	1020	309	95.8	1389	384	102.7	1758	459	108.7	2127	534	114.7	2495
85	56.7	287	160	74.0	656	235	87.0	1025	310	95.9	1394	385	102.8	1763	460	108.8	2132	535	114.8	2500
86	57.0	292	161	74.2	661	236	87.1	1030	311	96.0	1399	386	102.9	1768	461	108.9	2136	536	114.9	2505
87	57.3	297	162	74.4	666	237	87.2	1035	312	96.1	1404	387	103.0	1772	462	109.0	2141	537	115.0	2510
88	57.6	302	163	74.6	671	238	87.4	1040	313	96.2	1409	388	103.0	1777	463	109.0	2146	538	115.0	2515
89	57.8	307	164	74.8	676	239	87.5	1045	314	96.3	1413	389	103.1	1782	464	109.1	2151	539	115.1	2520
90	58.1	312	165	75.0	681	240	87.6	1050	315	96.4	1418	390	103.2	1787						

Table A-2 (continued)

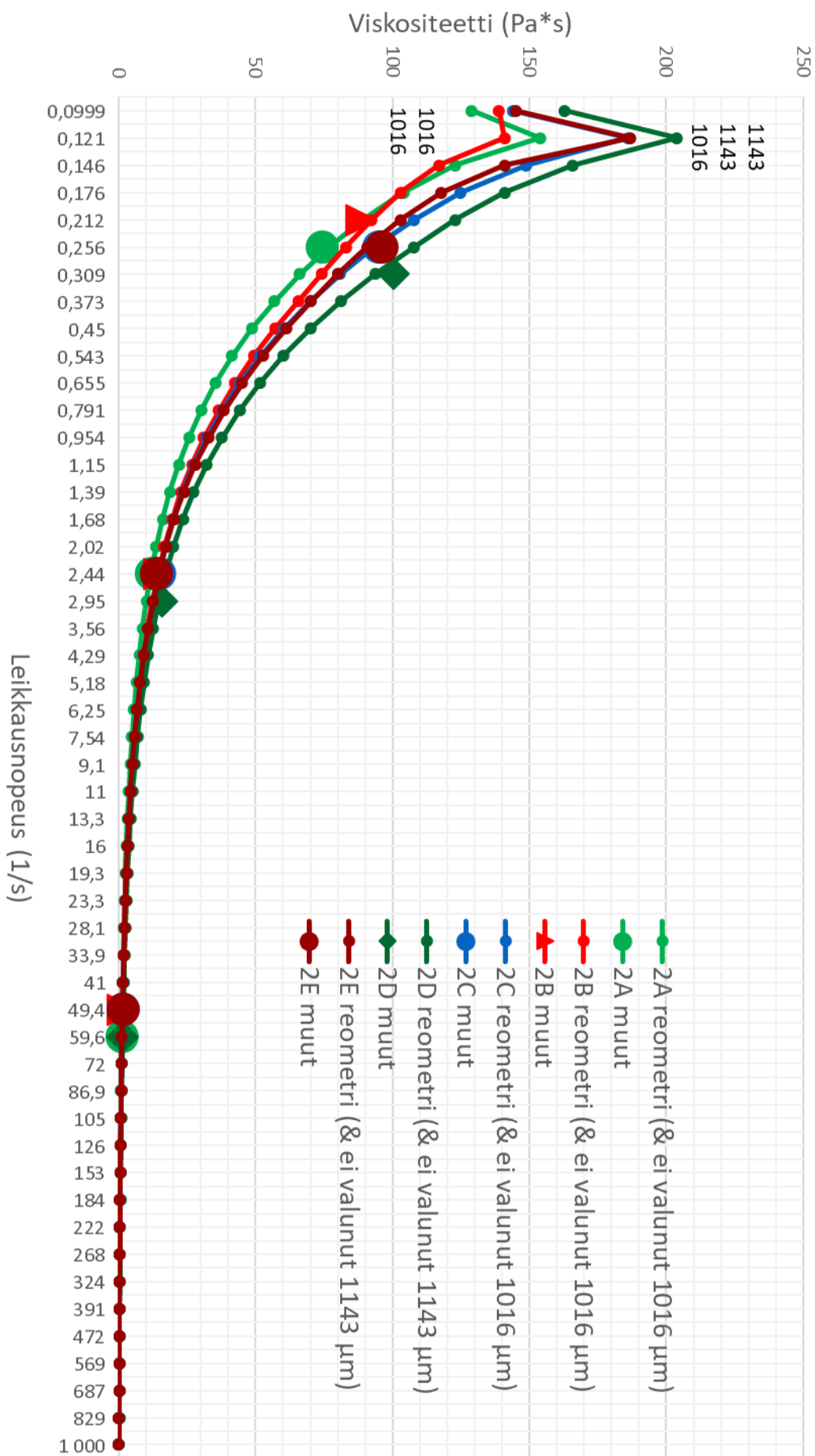
g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP	g	KU	cP
626	121.0	2948	701	125.1	3317	776	129.7	3686	851	133.8	4054	926	137.0	4423	1001	139.8	4792
627	121.1	2953	702	125.1	3322	777	129.8	3691	852	133.9	4059	927	137.1	4428	1002	139.8	4797
628	121.1	2958	703	125.2	3327	778	129.8	3695	853	133.9	4064	928	137.1	4433	1003	139.8	4802
629	121.2	2963	704	125.2	3332	779	129.9	3700	854	134.0	4069	929	137.2	4438	1004	139.8	4807
630	121.2	2968	705	125.3	3336	780	130.0	3705	855	134.0	4074	930	137.2	4443	1005	139.9	4812
631	121.3	2972	706	125.4	3341	781	130.0	3710	856	134.0	4079	931	137.2	4448	1006	139.9	4817
632	121.3	2977	707	125.4	3346	782	130.1	3715	857	134.1	4084	932	137.3	4453	1007	139.9	4822
633	121.4	2982	708	125.5	3351	783	130.2	3720	858	134.1	4089	933	137.3	4458	1008	139.9	4827
634	121.4	2987	709	125.5	3356	784	130.2	3725	859	134.2	4094	934	137.4	4463	1009	139.9	4832
635	121.5	2992	710	125.6	3361	785	130.3	3730	860	134.2	4099	935	137.4	4468	1010	139.9	4836
636	121.6	2997	711	125.7	3366	786	130.4	3735	861	134.3	4104	936	137.4	4472	1011	139.9	4841
637	121.6	3002	712	125.7	3371	787	130.4	3740	862	134.3	4109	937	137.5	4477	1012	140.0	4846
638	121.7	3007	713	125.8	3376	788	130.5	3745	863	134.4	4113	938	137.5	4482	1013	140.0	4851
639	121.7	3012	714	125.8	3381	789	130.5	3750	864	134.4	4118	939	137.6	4487	1014	140.0	4856
640	121.8	3017	715	125.9	3386	790	130.6	3754	865	134.5	4123	940	137.6	4492	1015	140.0	4861
641	121.8	3022	716	126.0	3391	791	130.7	3759	866	134.5	4128	941	137.6	4497	1016	140.0	4866
642	121.9	3027	717	126.0	3395	792	130.7	3764	867	134.6	4133	942	137.7	4502	1017	140.0	4871
643	121.9	3032	718	126.1	3400	793	130.8	3769	868	134.6	4138	943	137.7	4507	1018	140.0	4876
644	122.0	3036	719	126.1	3405	794	130.8	3774	869	134.7	4143	944	137.8	4512	1019	140.1	4881
645	122.0	3041	720	126.2	3410	795	130.9	3779	870	134.7	4148	945	137.8	4517	1020	140.1	4886
646	122.0	3046	721	126.3	3415	796	131.0	3784	871	134.8	4153	946	137.8	4522	1021	140.1	4891
647	122.1	3051	722	126.3	3420	797	131.0	3789	872	134.8	4158	947	137.9	4527	1022	140.1	4895
648	122.1	3056	723	126.4	3425	798	131.1	3794	873	134.9	4163	948	137.9	4532	1023	140.1	4900
649	122.2	3061	724	126.4	3430	799	131.1	3799	874	134.9	4168	949	138.0	4536	1024	140.1	4905
650	122.2	3066	725	126.5	3435	800	131.2	3804	875	134.9	4172	950	138.0	4541	1025	140.1	4910
651	122.3	3071	726	126.6	3440	801	131.2	3809	876	135.0	4177	951	138.0	4546	1026	140.2	4915
652	122.3	3076	727	126.6	3445	802	131.3	3813	877	135.0	4182	952	138.1	4551	1027	140.2	4920
653	122.4	3081	728	126.7	3450	803	131.3	3818	878	135.1	4187	953	138.1	4556	1028	140.2	4925
654	122.4	3086	729	126.7	3454	804	131.4	3823	879	135.1	4192	954	138.2	4561	1029	140.2	4930
655	122.5	3091	730	126.8	3459	805	131.4	3828	880	135.2	4197	955	138.2	4566	1030	140.2	4935
656	122.6	3095	731	126.9	3464	806	131.5	3833	881	135.2	4202	956	138.2	4571	1031	140.2	4940
657	122.6	3100	732	126.9	3469	807	131.6	3838	882	135.3	4207	957	138.3	4576	1032	140.2	4945
658	122.7	3105	733	127.0	3474	808	131.6	3843	883	135.3	4212	958	138.3	4581	1033	140.3	4950
659	122.7	3110	734	127.0	3479	809	131.7	3848	884	135.4	4217	959	138.4	4586	1034	140.3	4954
660	122.8	3115	735	127.1	3484	810	131.7	3853	885	135.4	4222	960	138.4	4591	1035	140.3	4959
661	122.8	3120	736	127.2	3489	811	131.8	3858	886	135.4	4227	961	138.4	4596	1036	140.3	4964
662	122.9	3125	737	127.2	3494	812	131.8	3863	887	135.5	4232	962	138.5	4600	1037	140.3	4969
663	122.9	3130	738	127.3	3499	813	131.9	3868	888	135.5	4236	963	138.5	4605	1038	140.4	4974
664	123.0	3135	739	127.3	3504	814	131.9	3872	889	135.6	4241	964	138.6	4610	1039	140.4	4979
665	123.0	3140	740	127.4	3509	815	132.0	3877	890	135.6	4246	965	138.6	4615	1040	140.4	4984
666	123.1	3145	741	127.5	3513	816	132.0	3882	891	135.6	4251	966	138.6	4620	1041	140.4	4989
667	123.1	3150	742	127.5	3518	817	132.1	3887	892	135.7	4256	967	138.7	4625	1042	140.4	4994
668	123.2	3154	743	127.6	3523	818	132.1	3892	893	135.7	4261	968	138.7	4630	1043	140.5	4999
669	123.2	3159	744	127.6	3528	819	132.2	3897	894	135.8	4266	969	138.8	4635	1044	140.5	5004
670	123.3	3164	745	127.7	3533	820	132.2	3902	895	135.8	4271	970	138.8	4640	1045	140.5	5009
671	123.3	3169	746	127.8	3538	821	132.3	3907	896	135.8	4276	971	138.8	4645	1046	140.5	5013
672	123.4	3174	747	127.8	3543	822	132.3	3912	897	135.9	4281	972	138.9	4650	1047	140.5	5018
673	123.4	3179	748	127.9	3548	823	132.4	3917	898	135.9	4286	973	138.9	4654	1048	140.6	5023
674	123.5	3184	749	128.0	3553	824	132.4	3922	899	136.0	4291	974	139.0	4659	1049	140.6	5028
675	123.6	3189	750	128.0	3558	825	132.5	3927	900	136.0	4295	975	139.0	4664	1050	140.6	5033
676	123.6	3194	751	128.1	3563	826	132.6	3932	901	136.0	4300	976	139.0	4669	1051	140.6	5038
677	123.7	3199	752	128.2	3568	827	132.6	3936	902	136.1	4305	977	139.1	4674	1052	140.6	5043
678	123.7	3204	753	128.2	3572	828	132.7	3941	903	136.1	4310	978	139.1	4679	1053	140.7	5048
679	123.8	3209	754	128.3	3577	829	132.7	3946	904	136.2	4315	979	139.1	4684	1054	140.7	5053
680	123.8	3213	755	128.4	3582	830	132.8	3951	905	136.2	4320	980	139.2	4689	1055	140.7	5058
681	123.9	3218	756	128.4	3587	831	132.8	3956	906	136.2	4325	981	139.2	4694	1056	140.7	5063
682	123.9	3223	757	128.5	3592	832	132.9	3961	907	136.3	4330	982	139.2	4699	1057	140.7	5068
683	124.0	3228	758	128.6	3597	833	132.9	3966	908	136.3	4335	983	139.3	4704	1058	140.7	5072
684	124.0	3233	759	128.6	3602	834	133.0	3971	909	136.4	4340	984	139.3	4709	1059	140.8	5077
685	124.1	3238	760	128.7	3607	835	133.0	3976	910	136.4	4345	985	139.3	4713	1060	140.8	5082
686	124.2	3243	761	128.7	3612	836	133.0	3981	911	136.4	4350	986	139.4	4718	1061	140.8	5087
687	124.2	3248	762	128.8	3617	837	133.1	3986	912	136.5	4354	987	139.4	4723	1062	140.8	5092
688	124.3	3253	763	128.9	3622	838	133.1	3991	913	136.5	4359	988	139.4	4728	1063	140.8	5097
689	124.3	3258	764	128.9	3627	839	133.2	3995	914	136.6	4364	989	139.5	4733	1064	140.8	5102
690	124.4	3263	765	129.0	3632	840	133.2	4000	915	136.6	4369	990	139.5	4738	1065	140.8	5107
691	124.5	3268	766	129.1	3636	841	133.3	4005	916	136.6	4374	991	139.5	4743	1066	140.9	5112
692	124.5	3272	767	129.1	3641	842	133.3	4010	917	136.7	4379	992	139.6	4748	1067	140.9	5117
693	124.6	3277	768	129.2	3646	843	133.4	4015	918	136.7	4384	993	139.6	4753	1068	140.9	5122
694	124.6	3282	769	129.3	3651	844	133.4	4020	919	136.8	4389	994	139.6	4758	1069	140.9	5127
695	124.7	3287	770	129.3	3656	845	133.5	4025	920	136.8	4394	995	139.6	4763	1070	140.9	5132
696	124.8	3292	771	129.4	3661	846	133.6	4030	921	136.8	4399	996	139.7	4768	1071	140.9	5136
697	124.8	3297	772	129.5	3666	847	133.6	4035	922	136.9	4404	997	139.7	4772	1072	140.9	

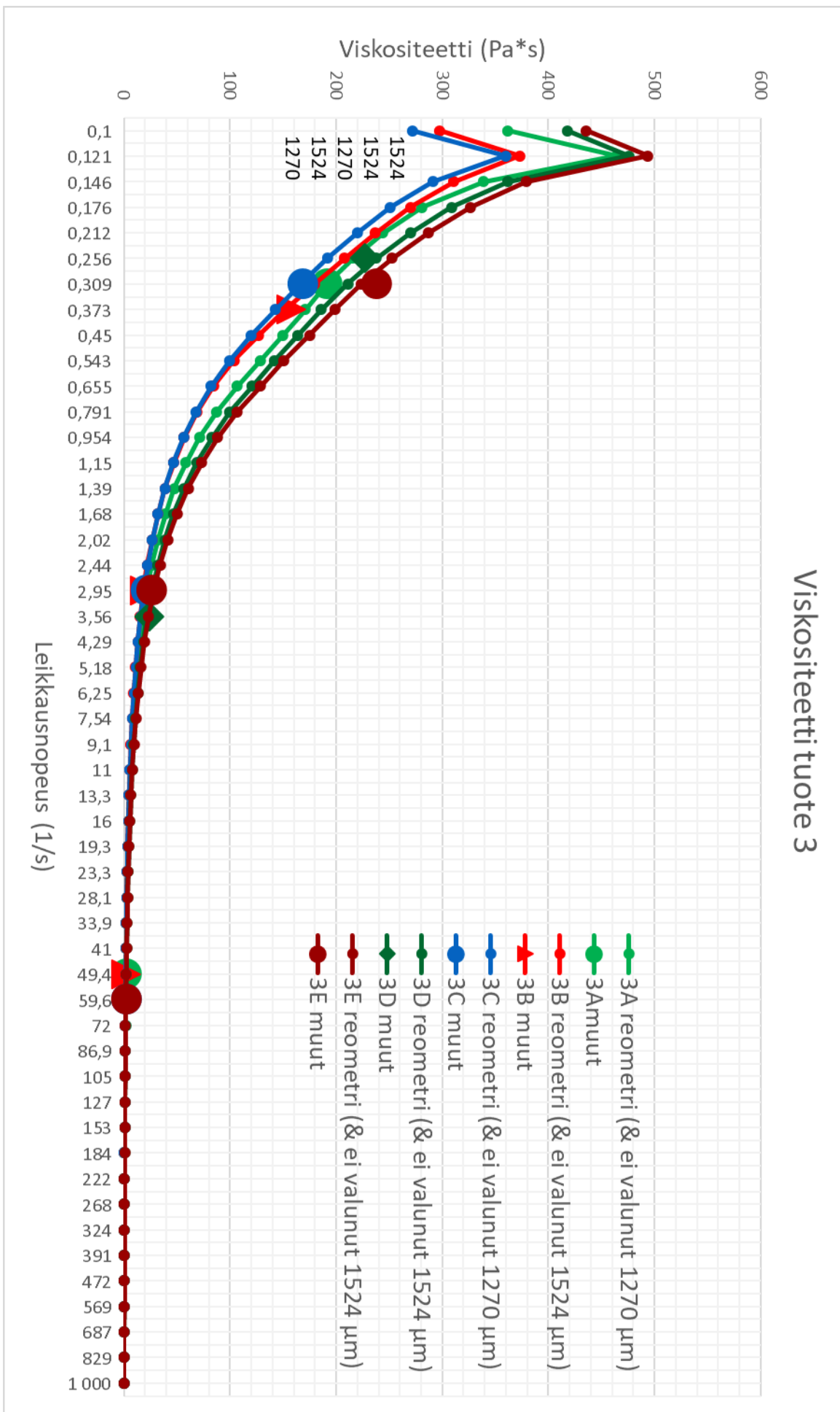
Tuotteiden viskositeettikuvaajat (kaikki erät samassa)



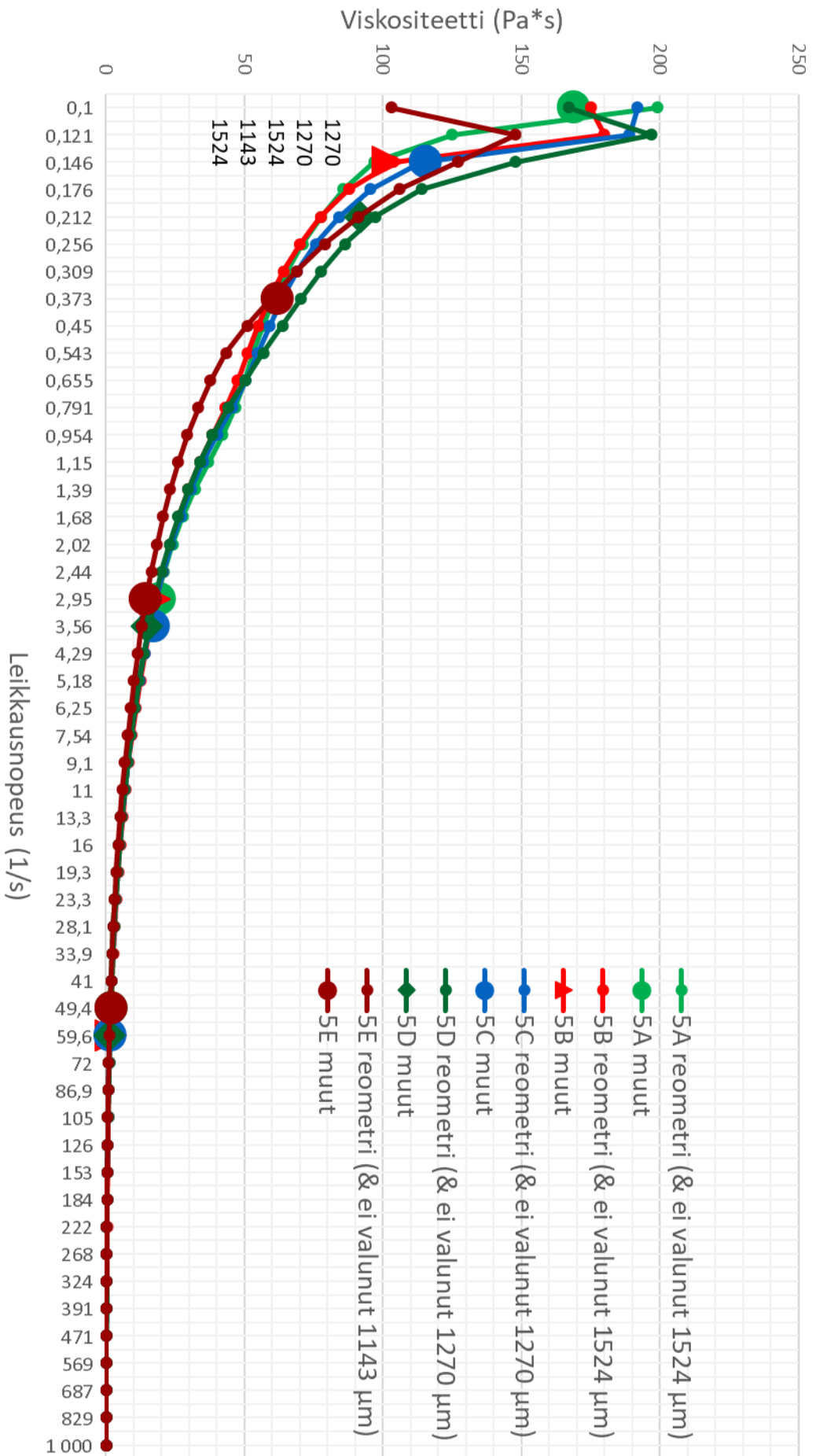
Viskositeetti tuote 1

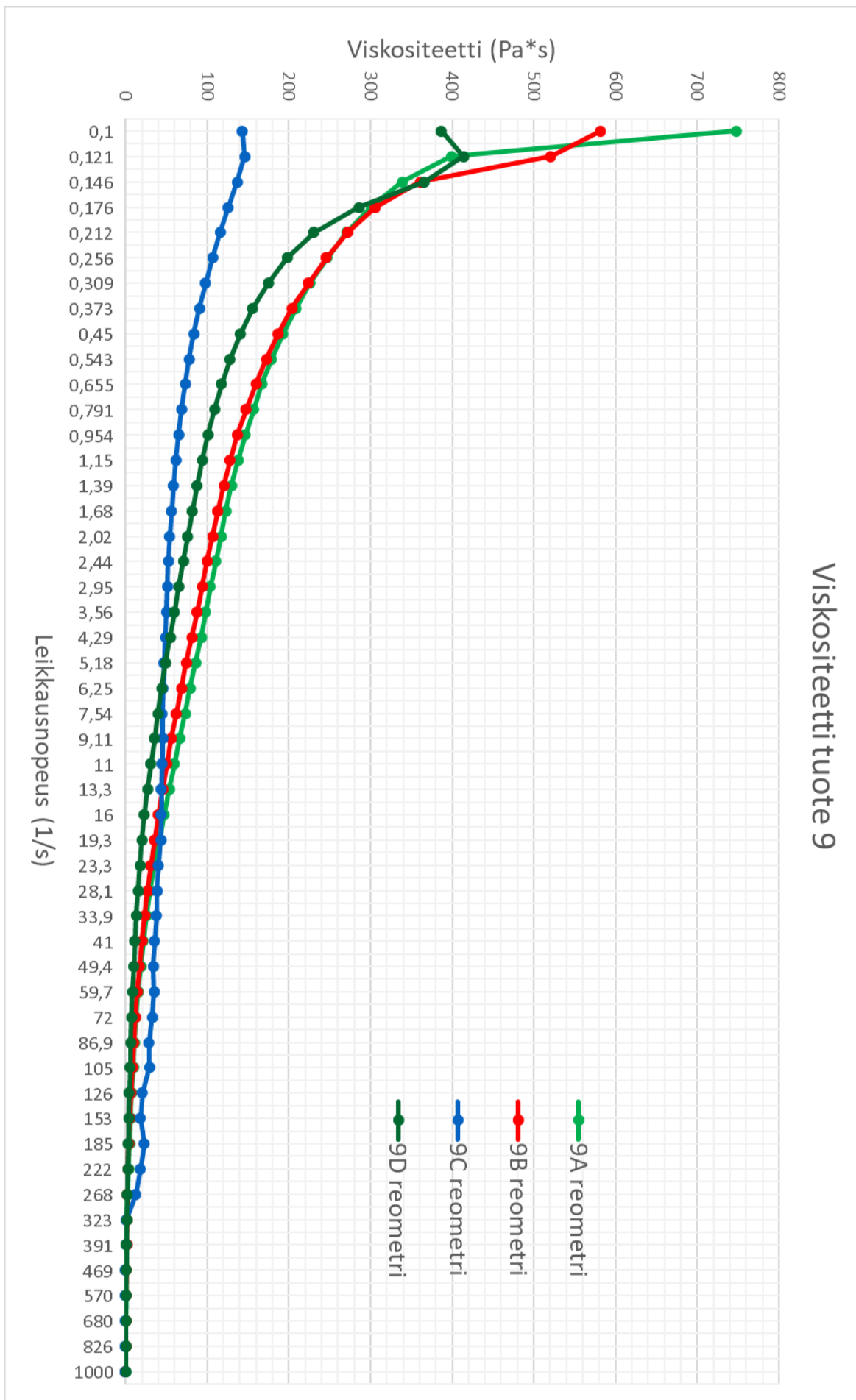
Viskositeetti tuote 2

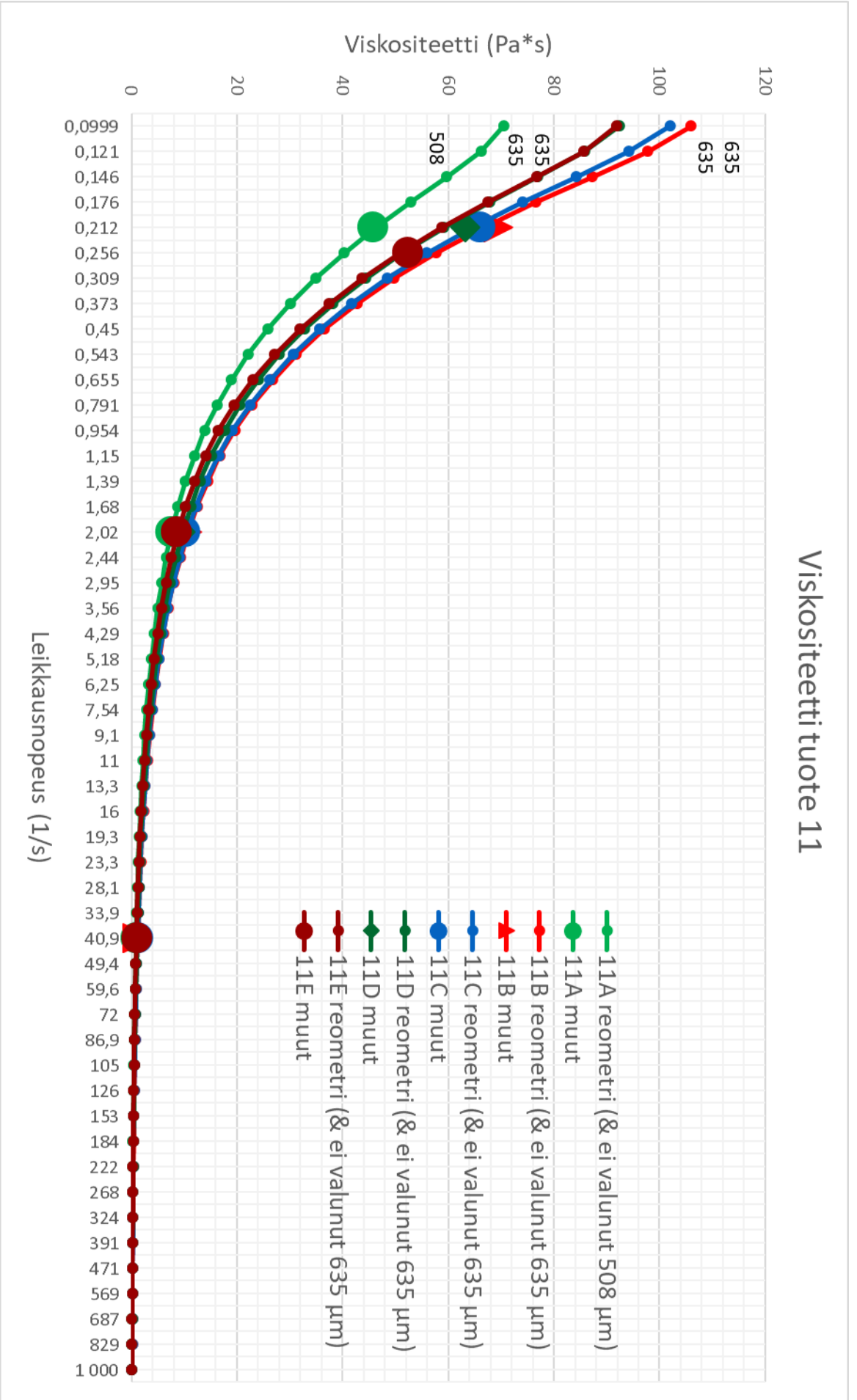




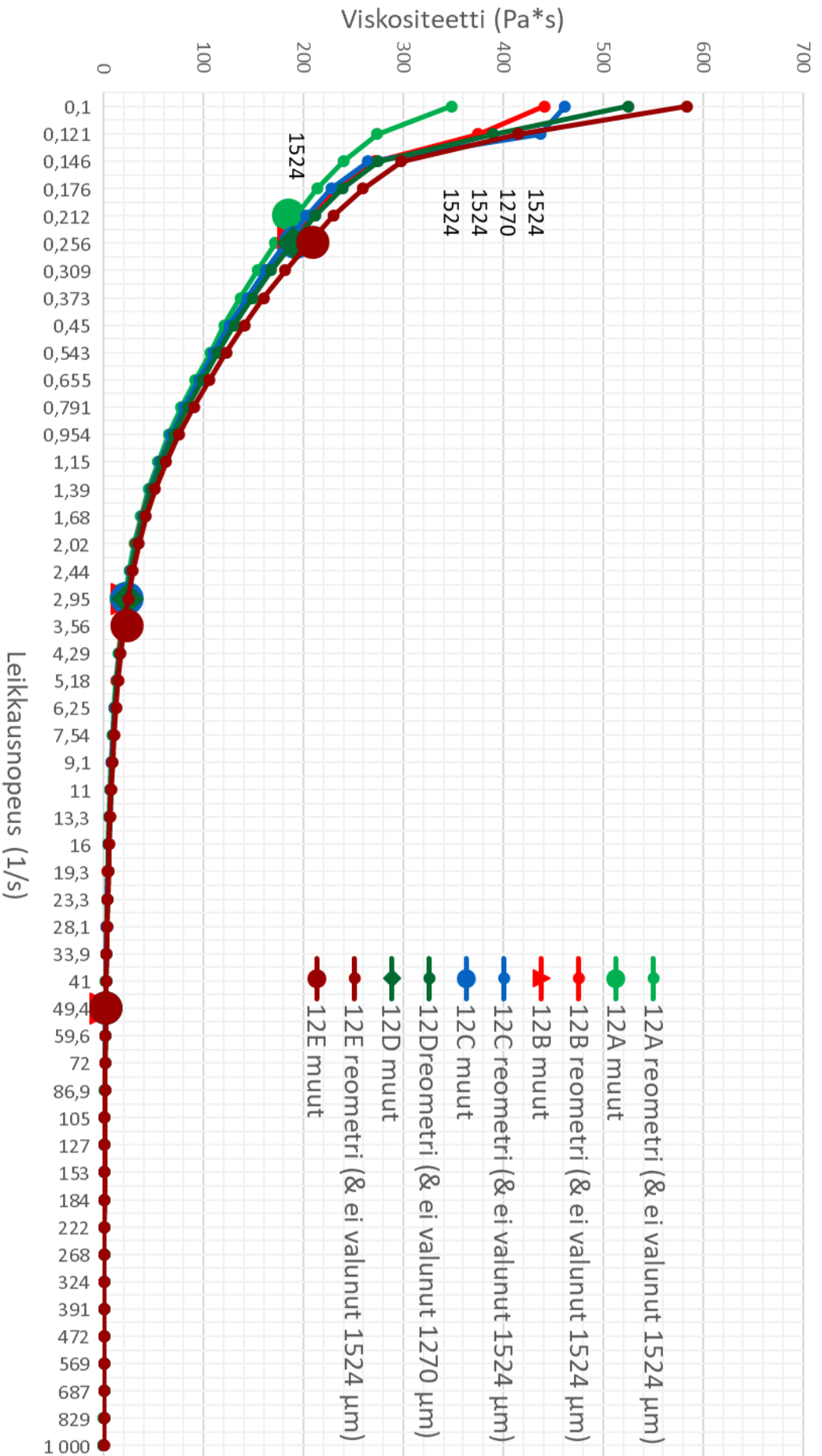
Viskositeetti tuote 5



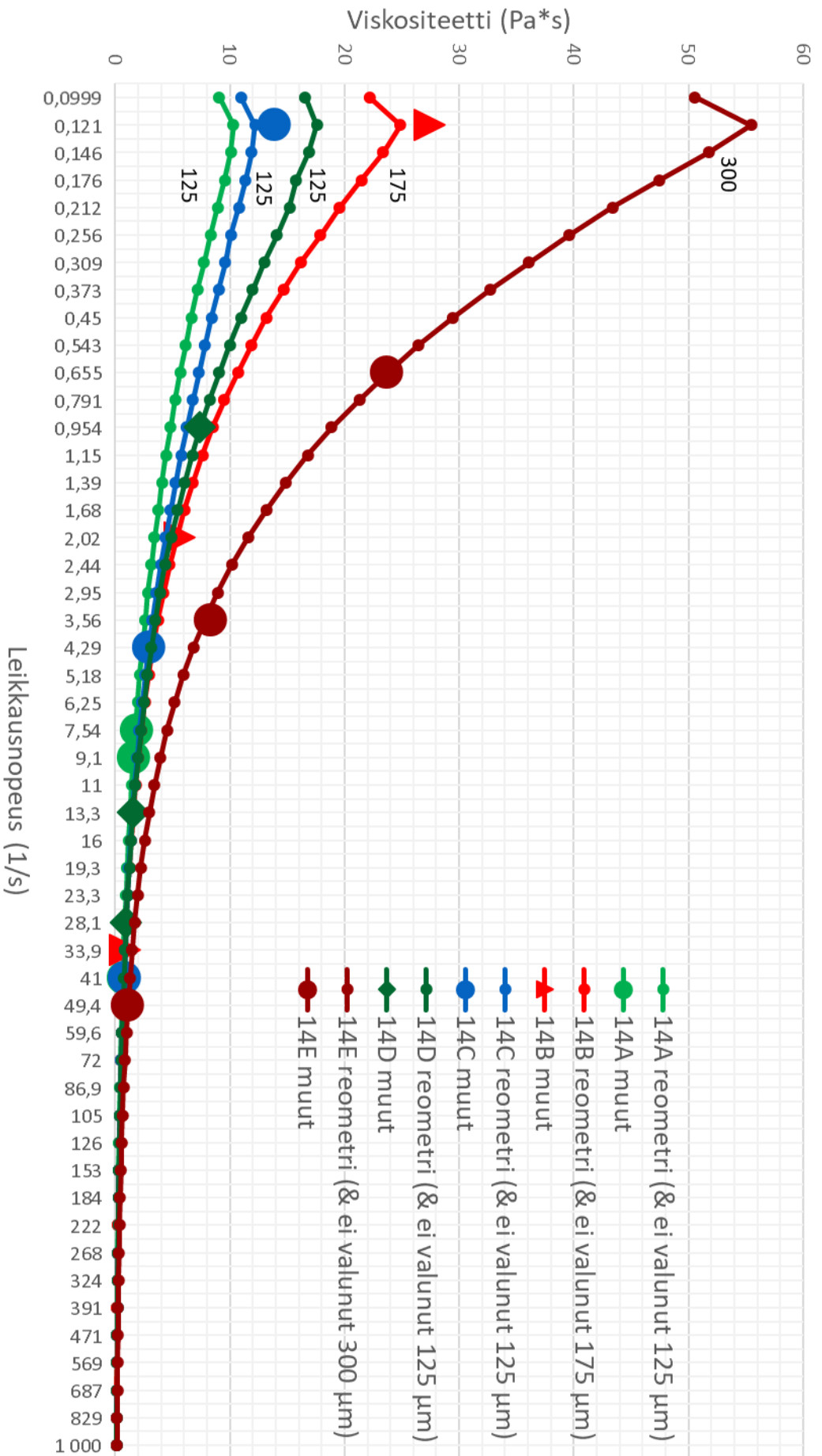


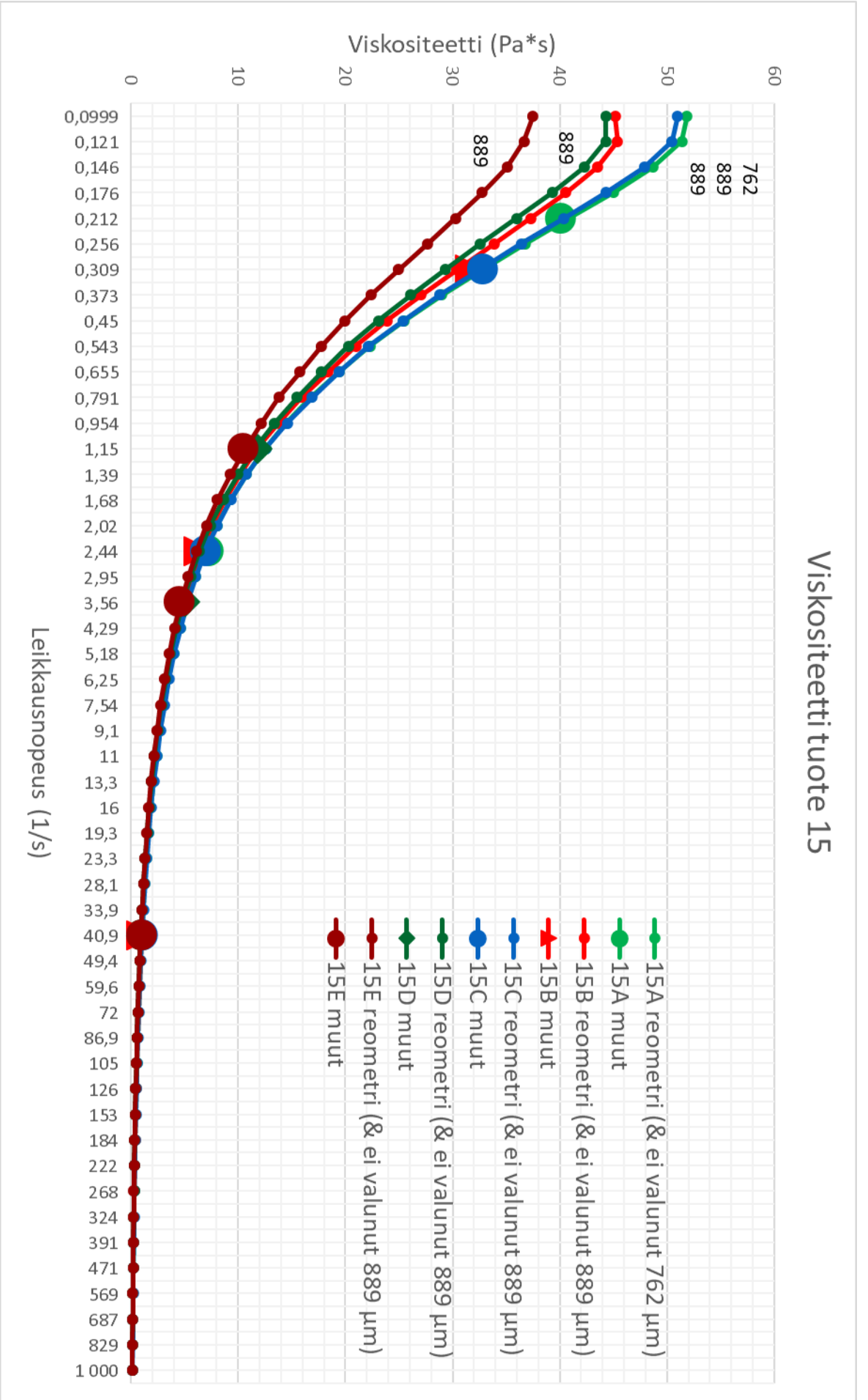


Viskositeetti tuote 12

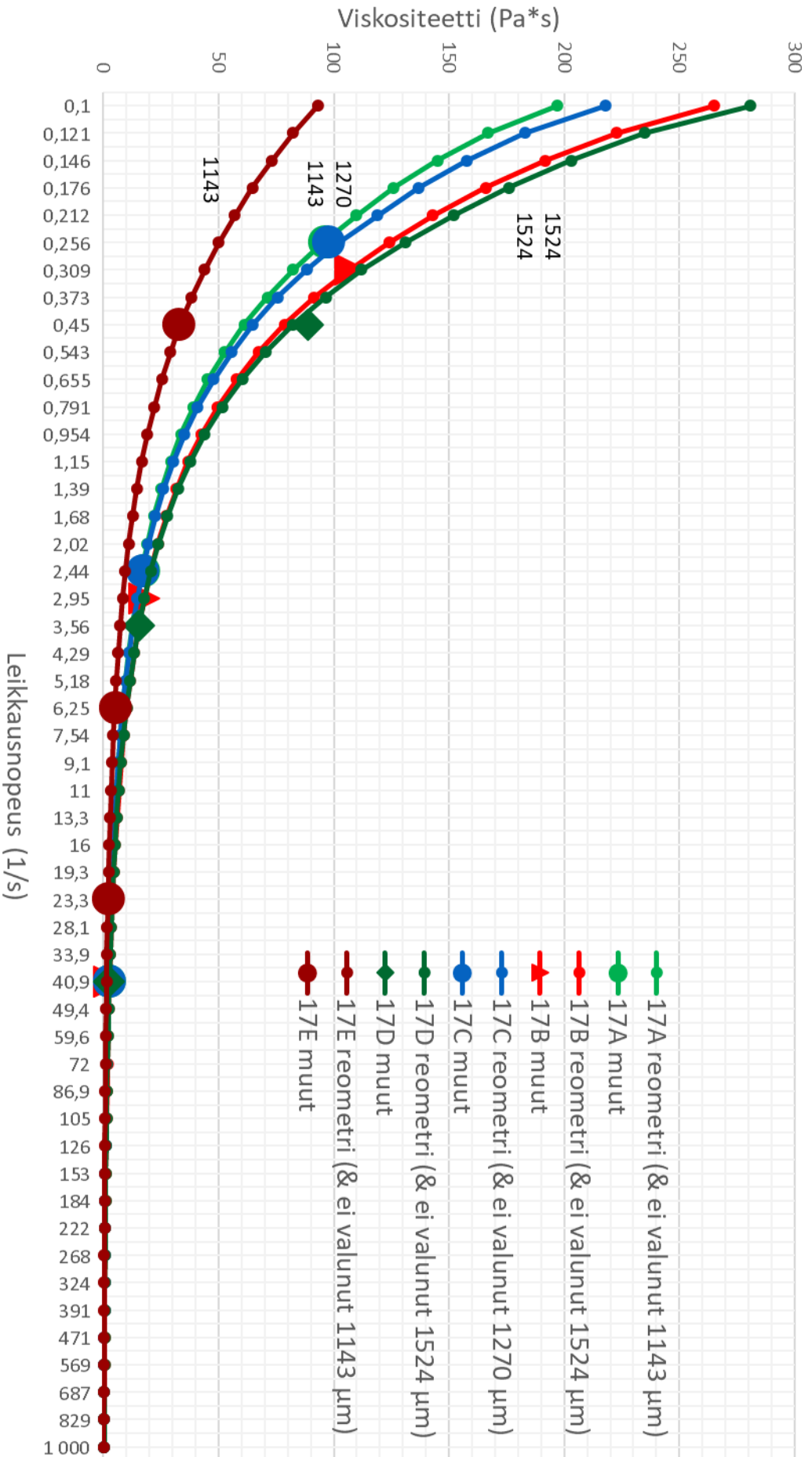


Viskositeetti tuote 14

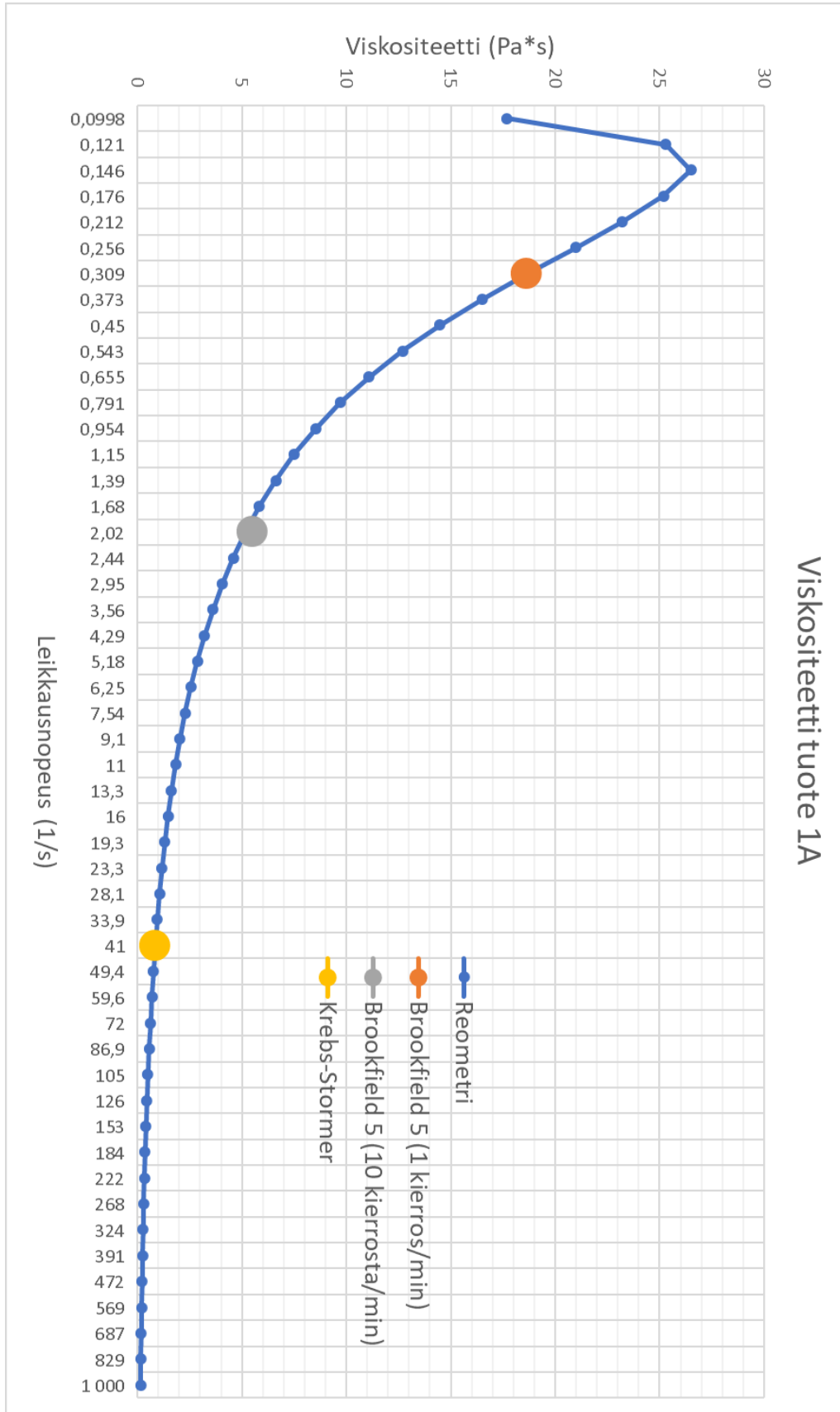


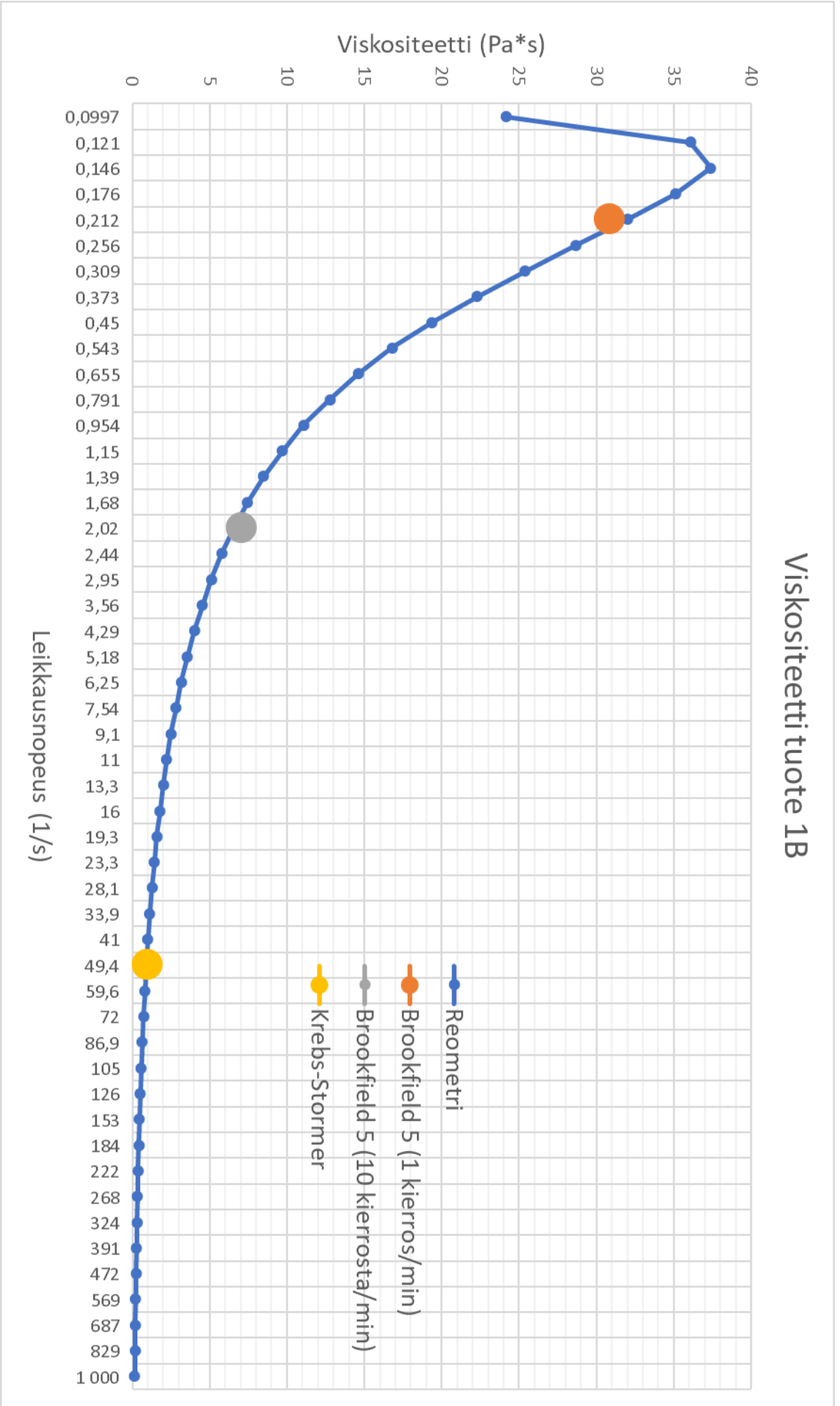


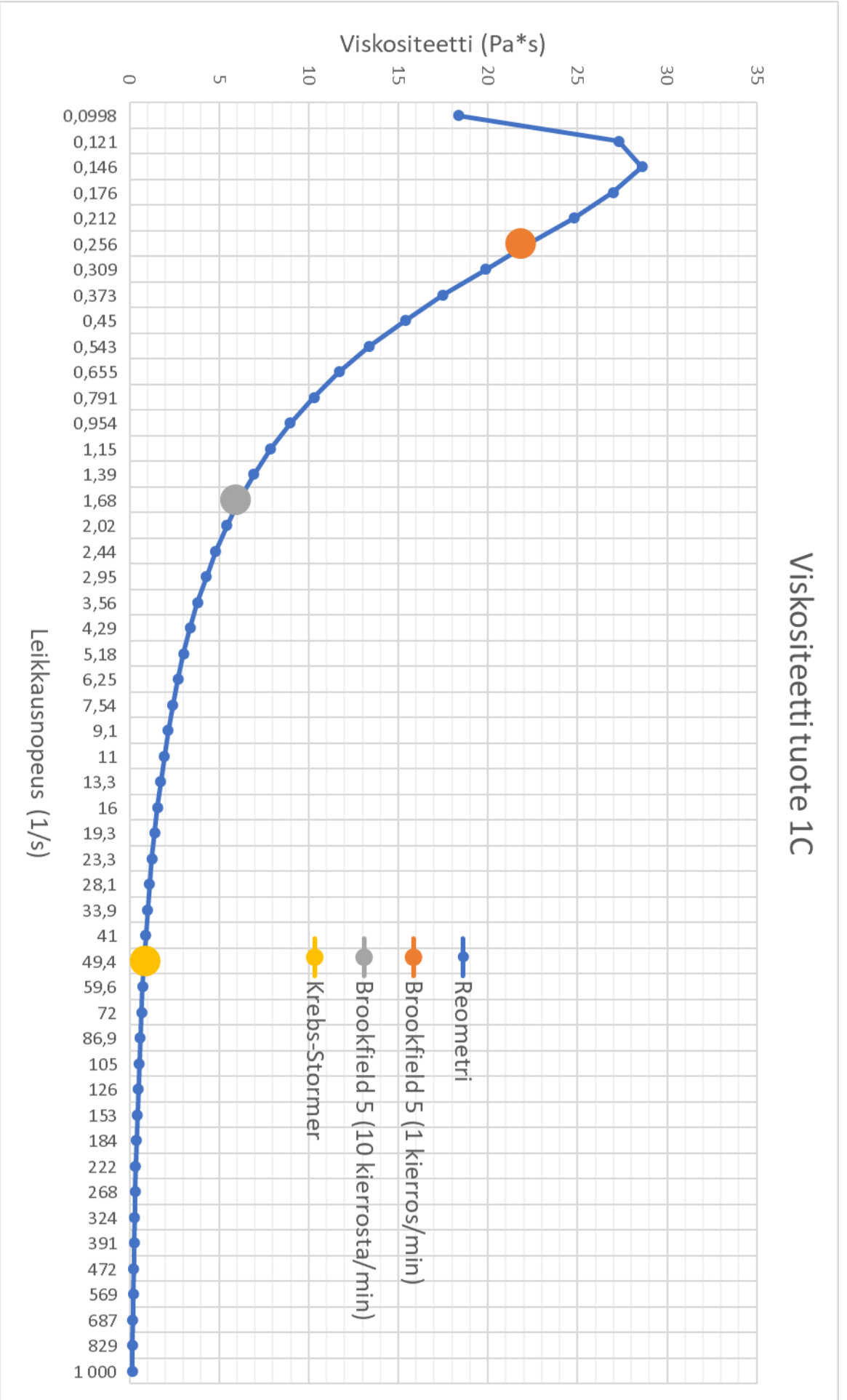
Viskositeetti tuote 17

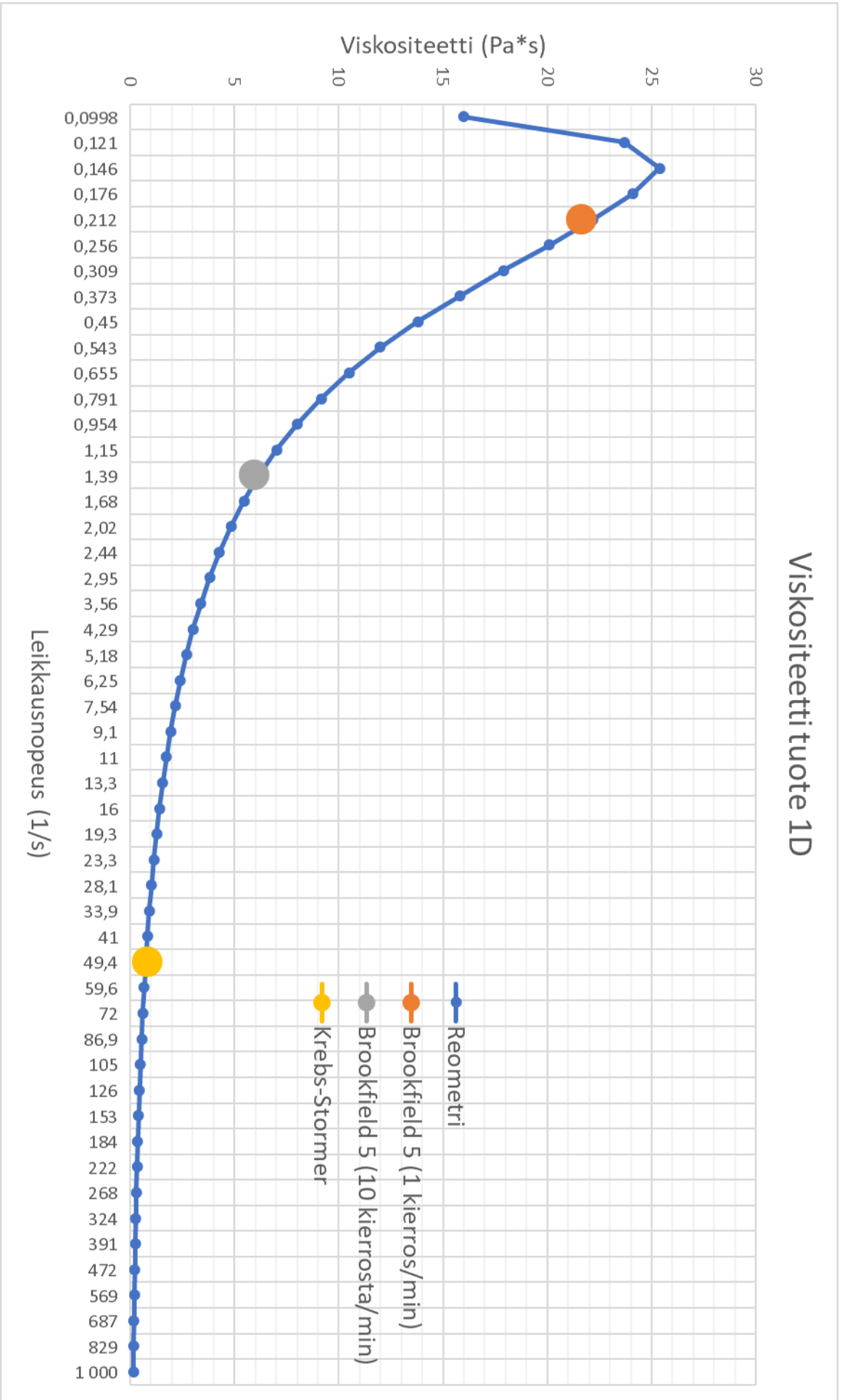


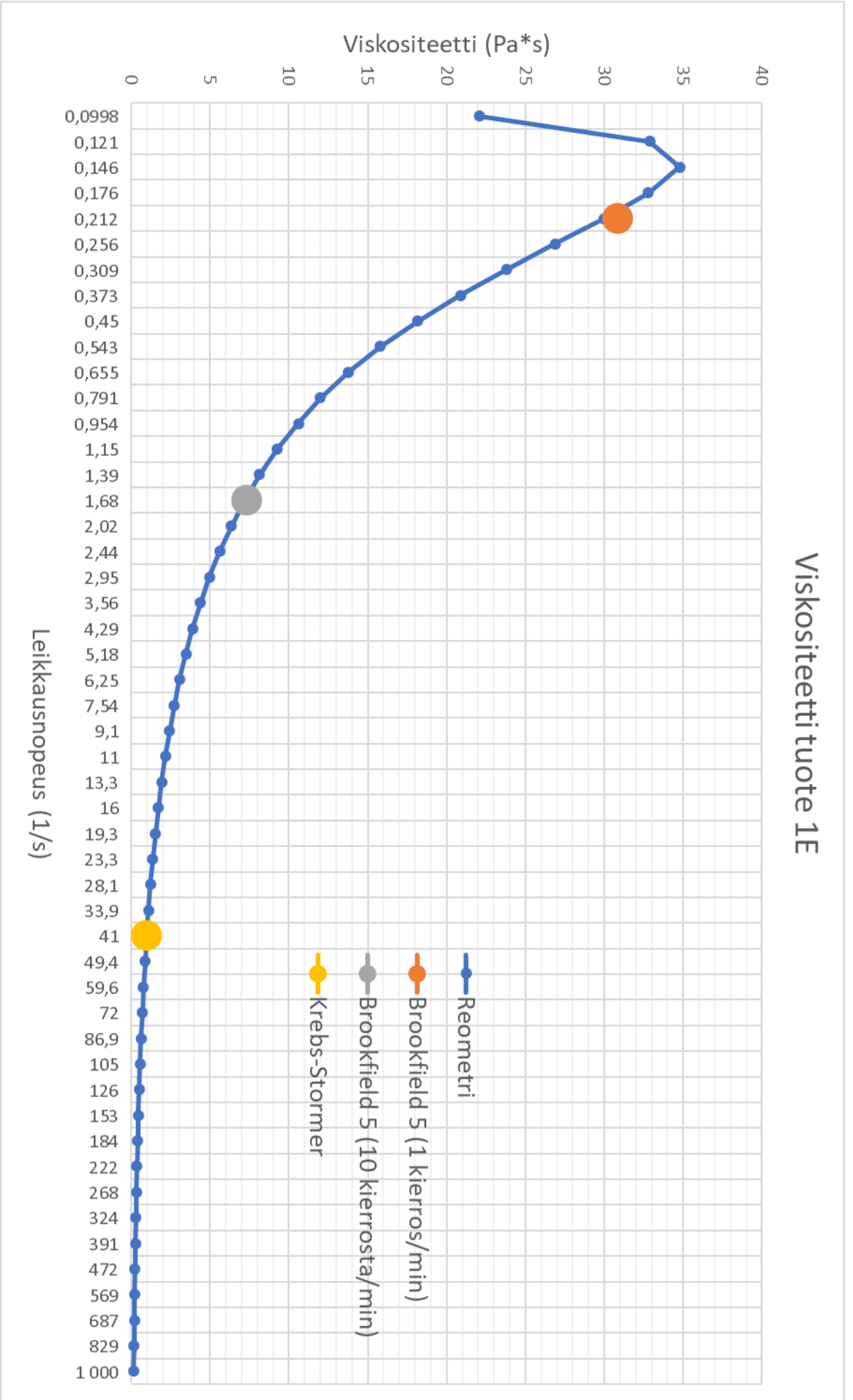
Tuotteen 1 viskositeettikuvaaja (jokainen erä erikseen)



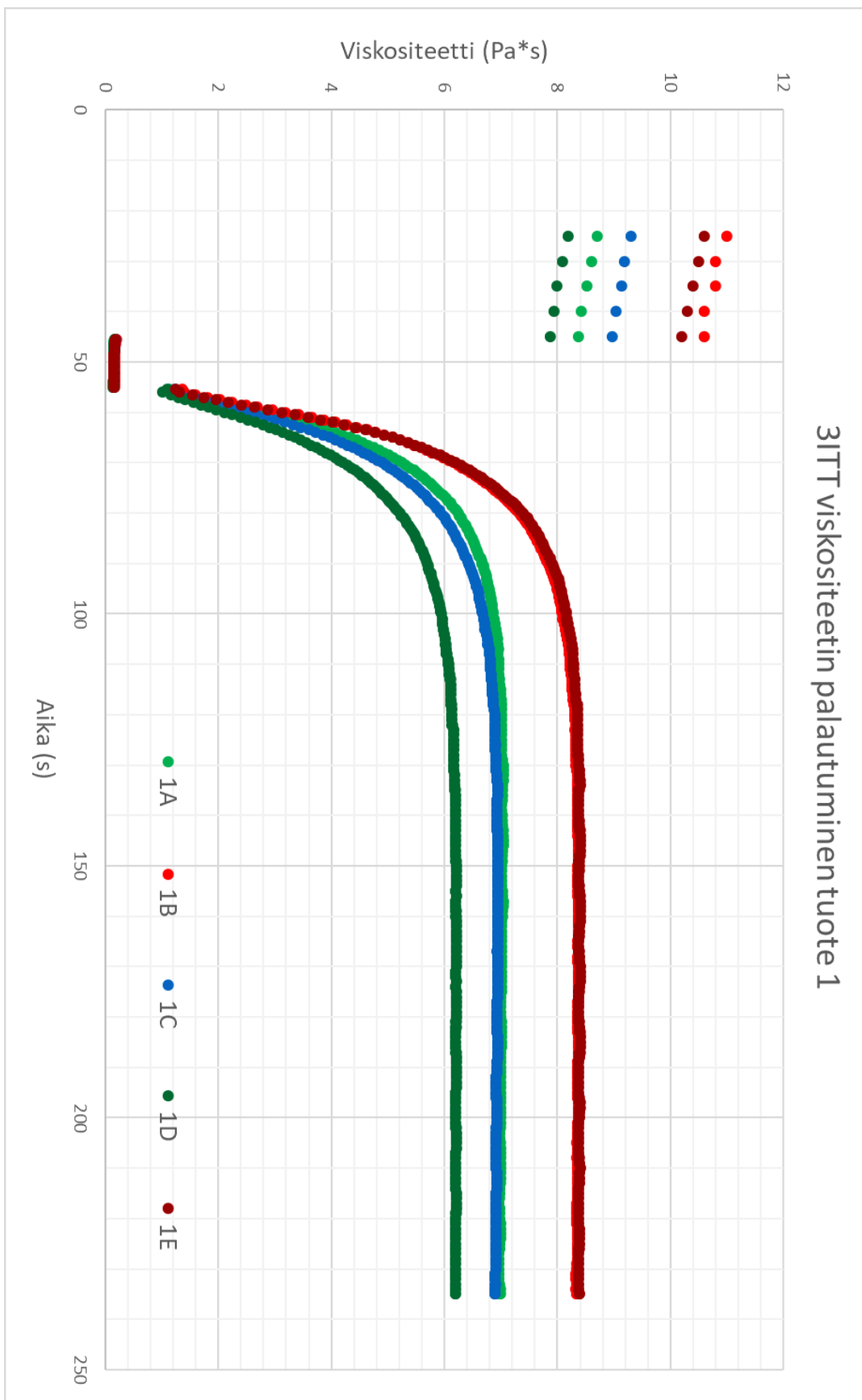




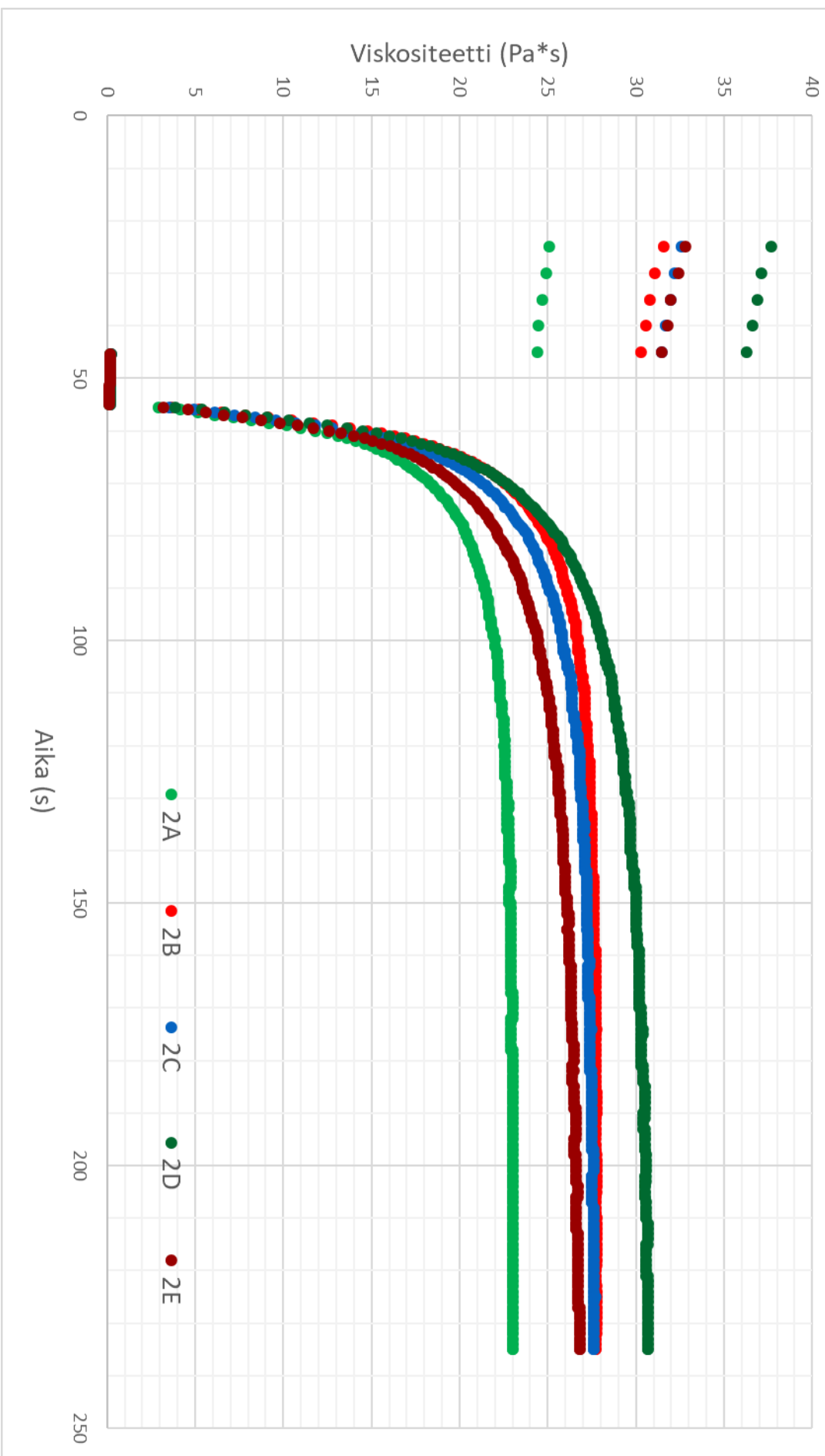




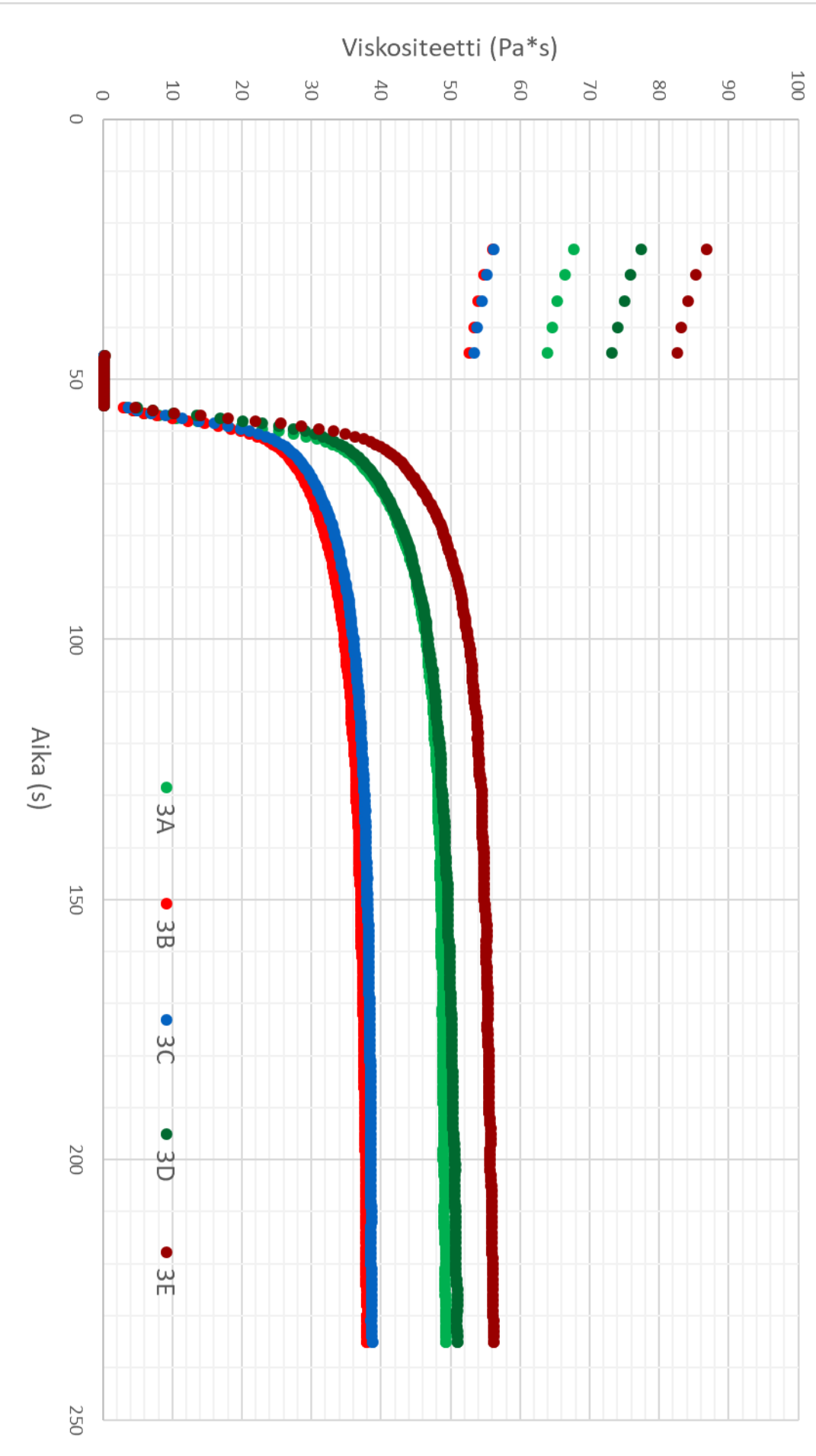
Tuotteiden 3ITT-yhteiskuvaajat



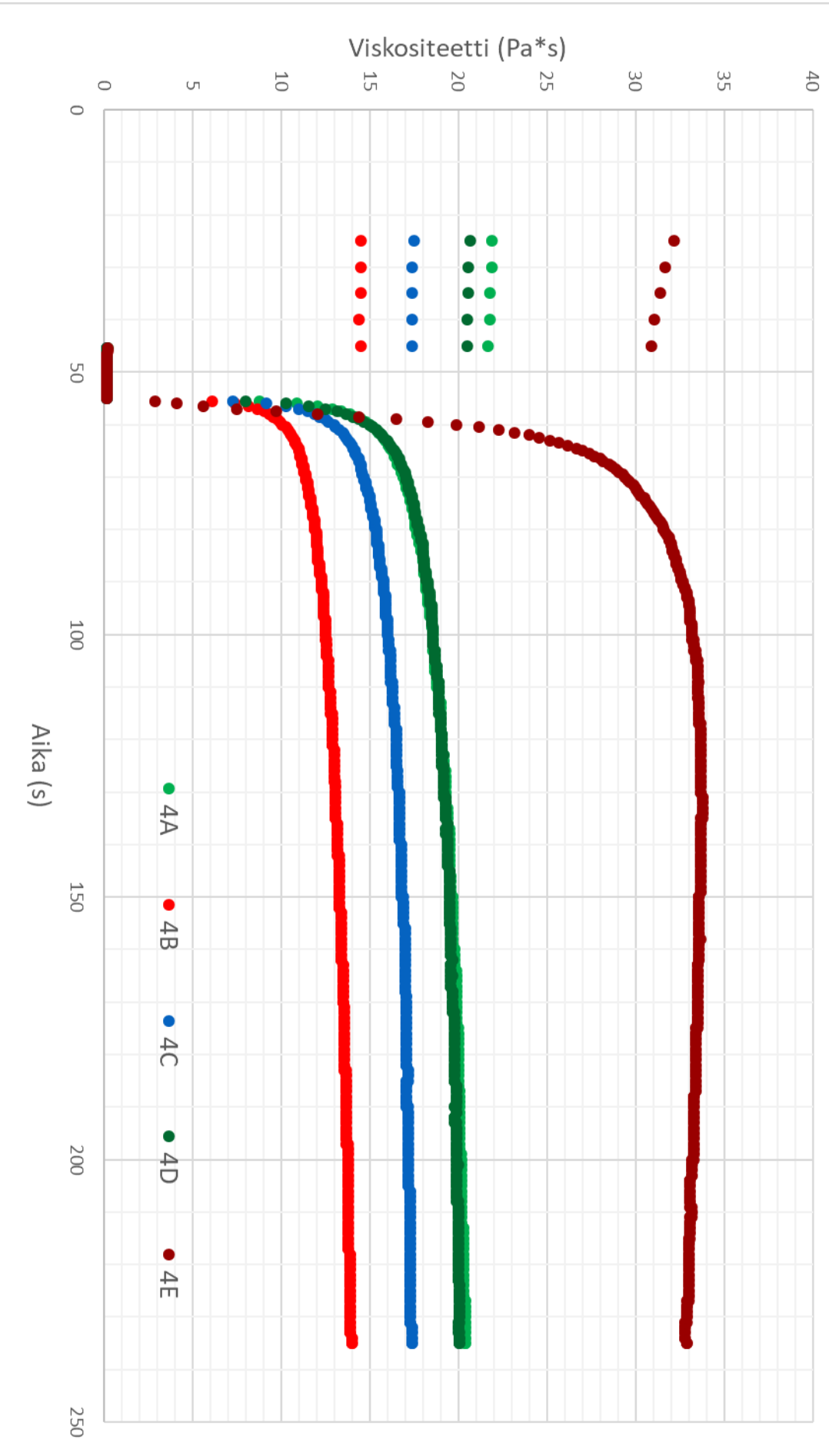
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 2



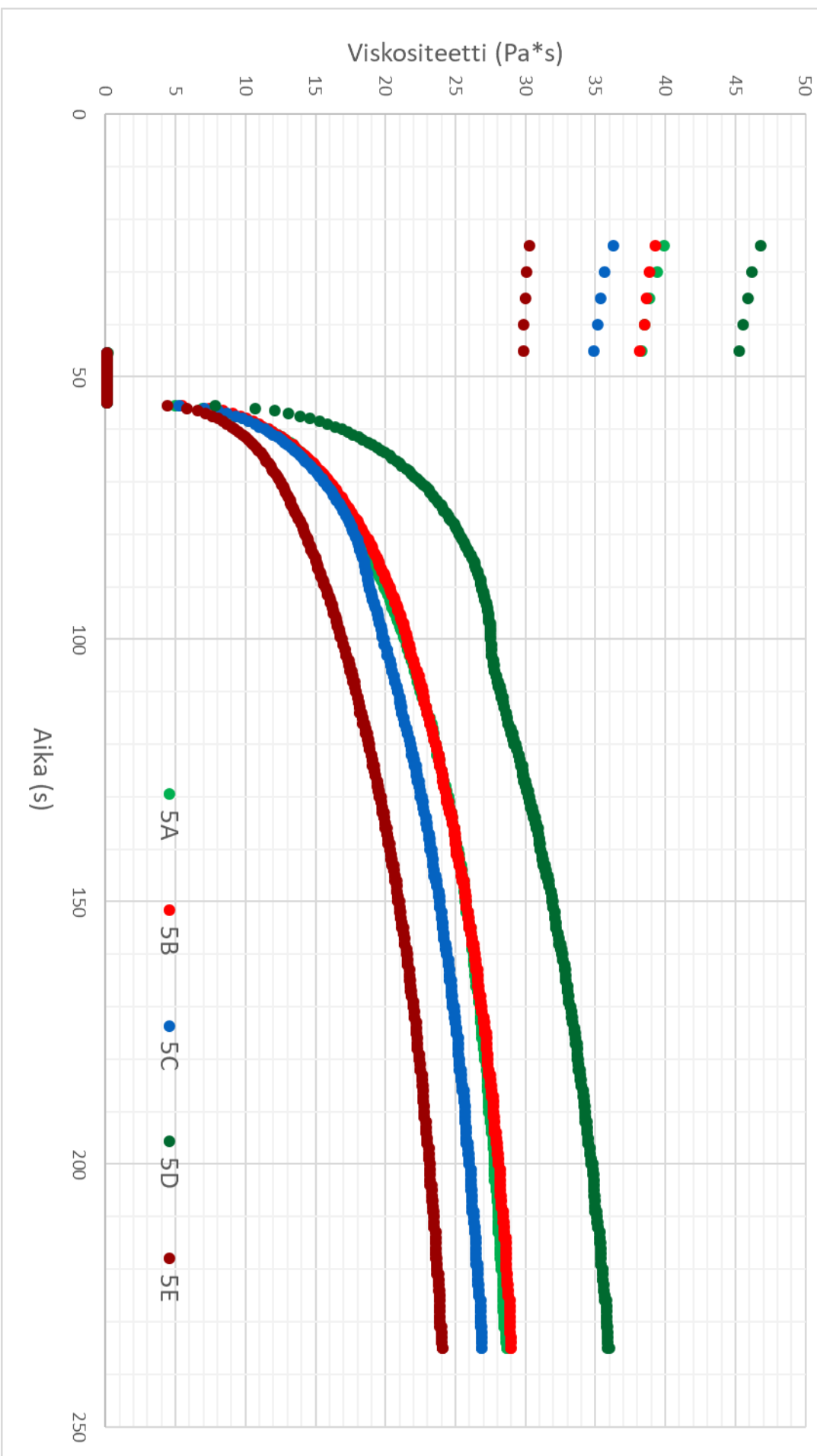
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 3



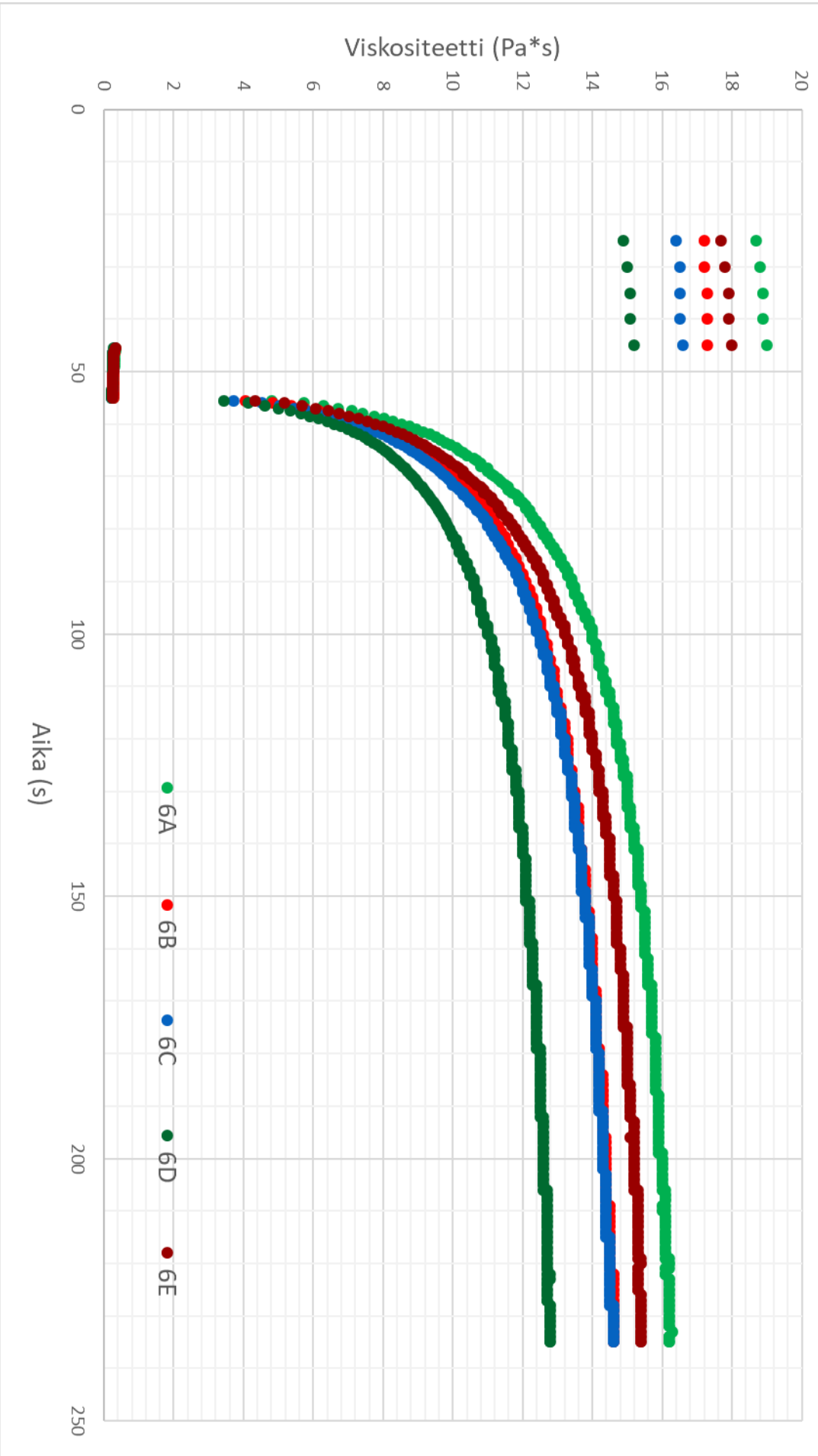
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 4



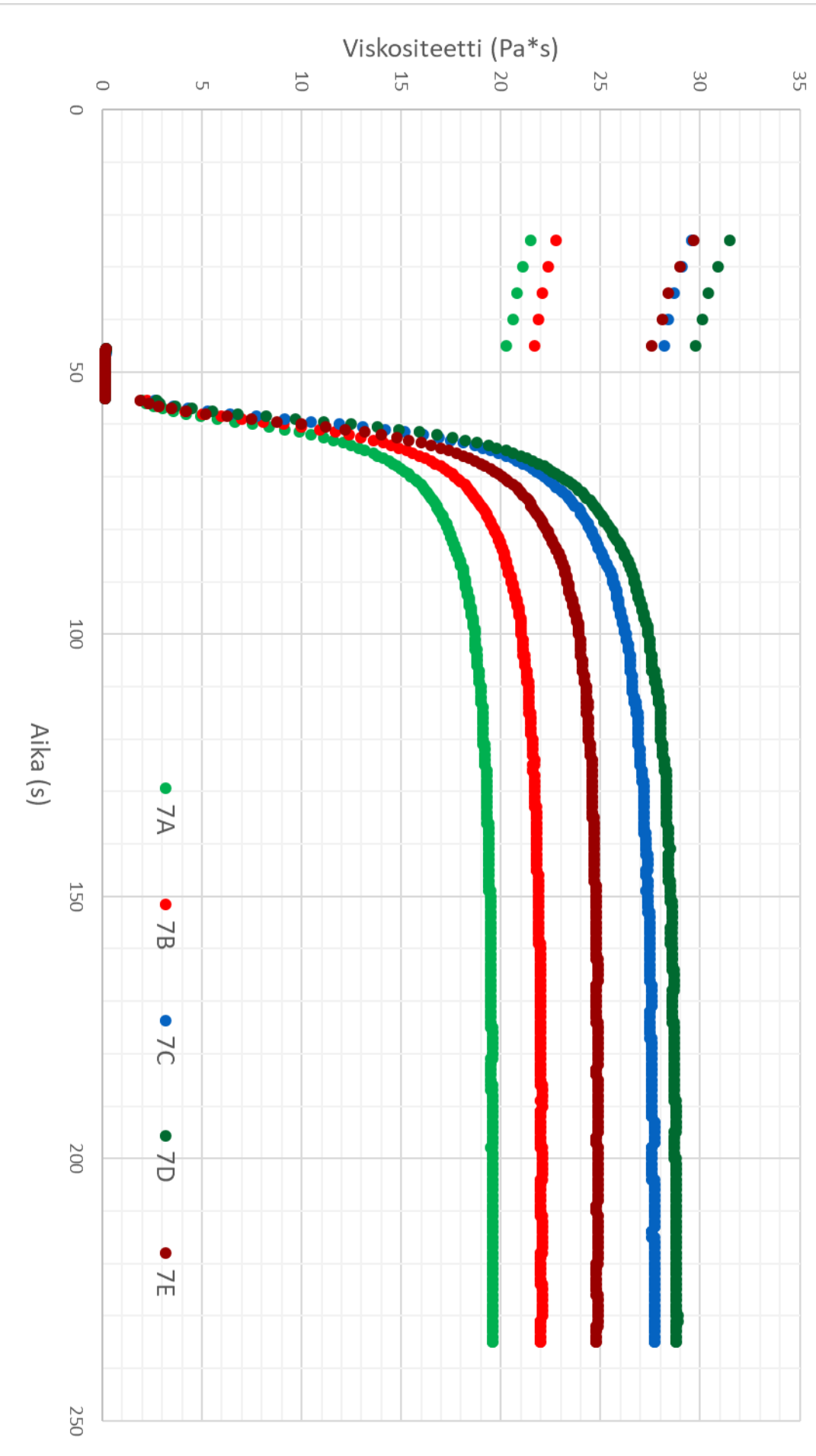
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 5



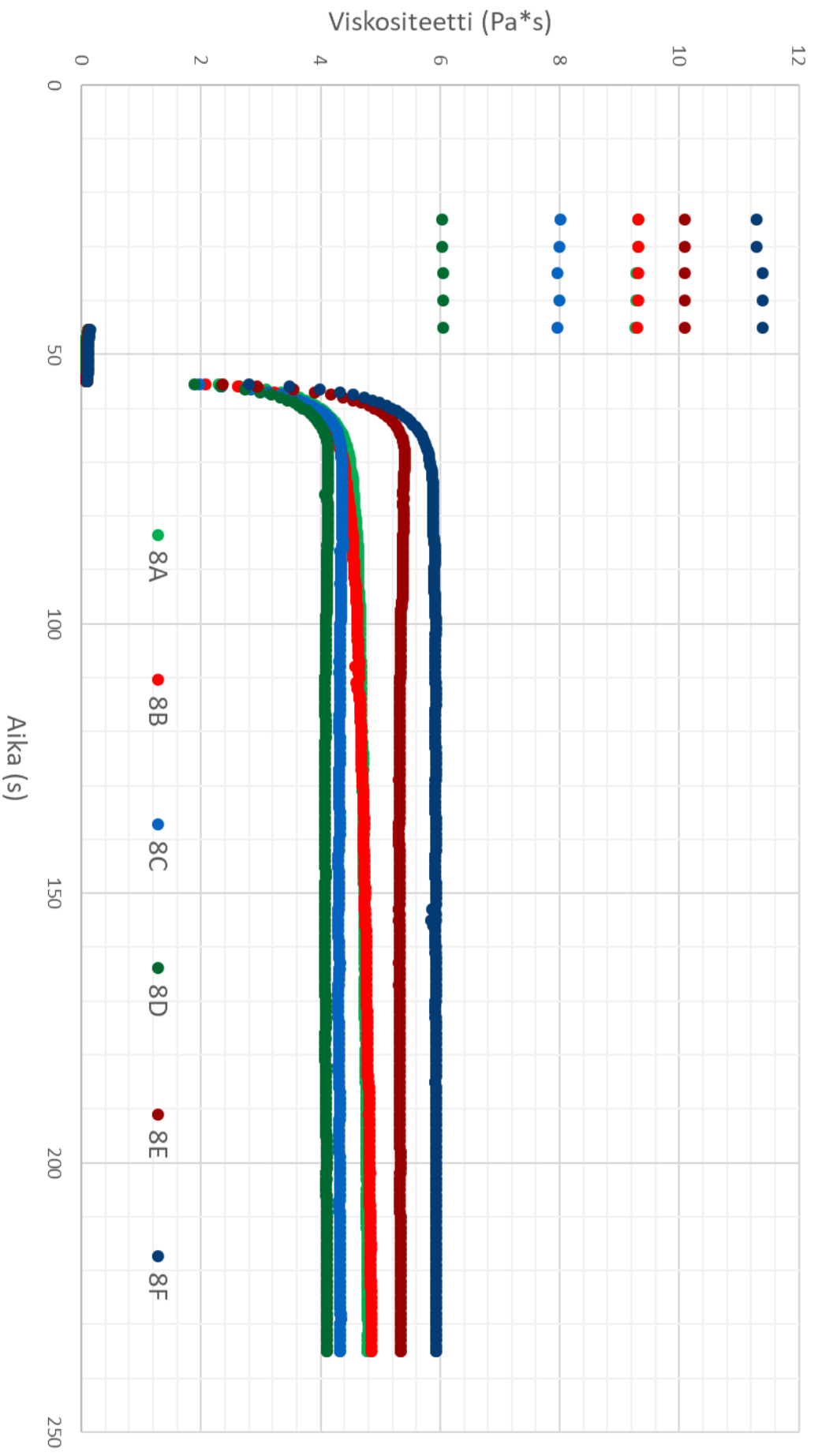
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 6



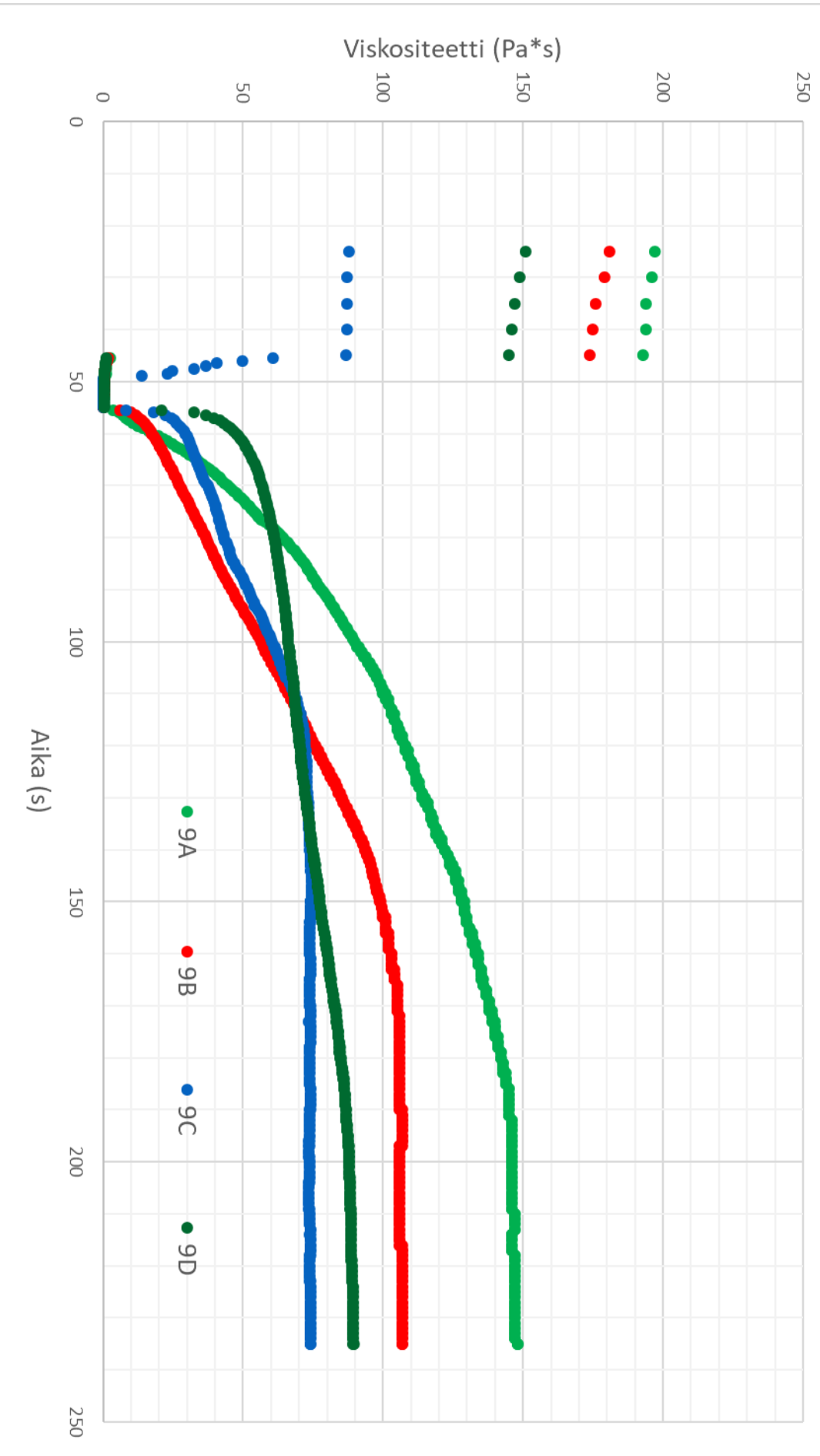
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 7



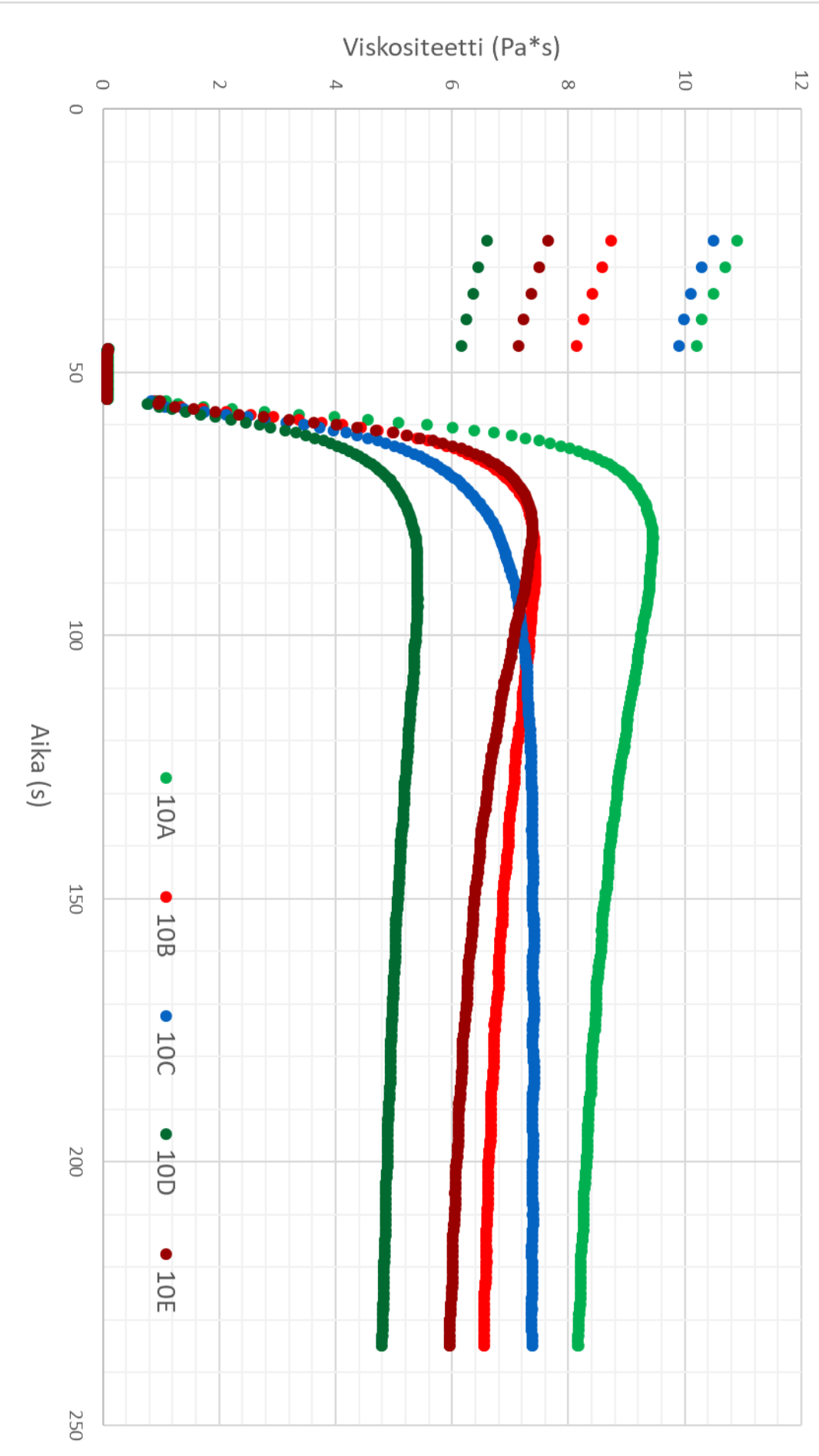
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 8



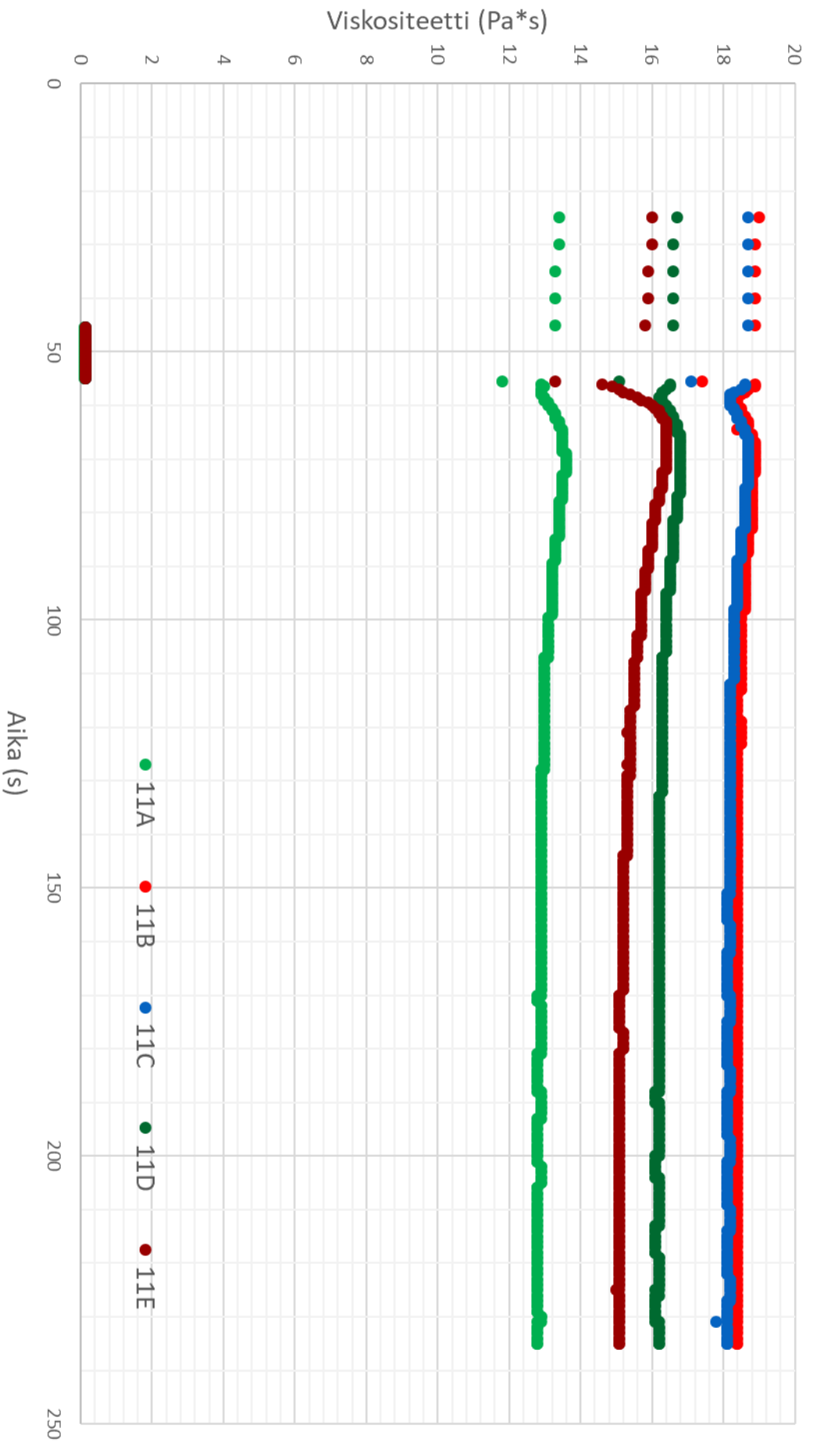
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 9



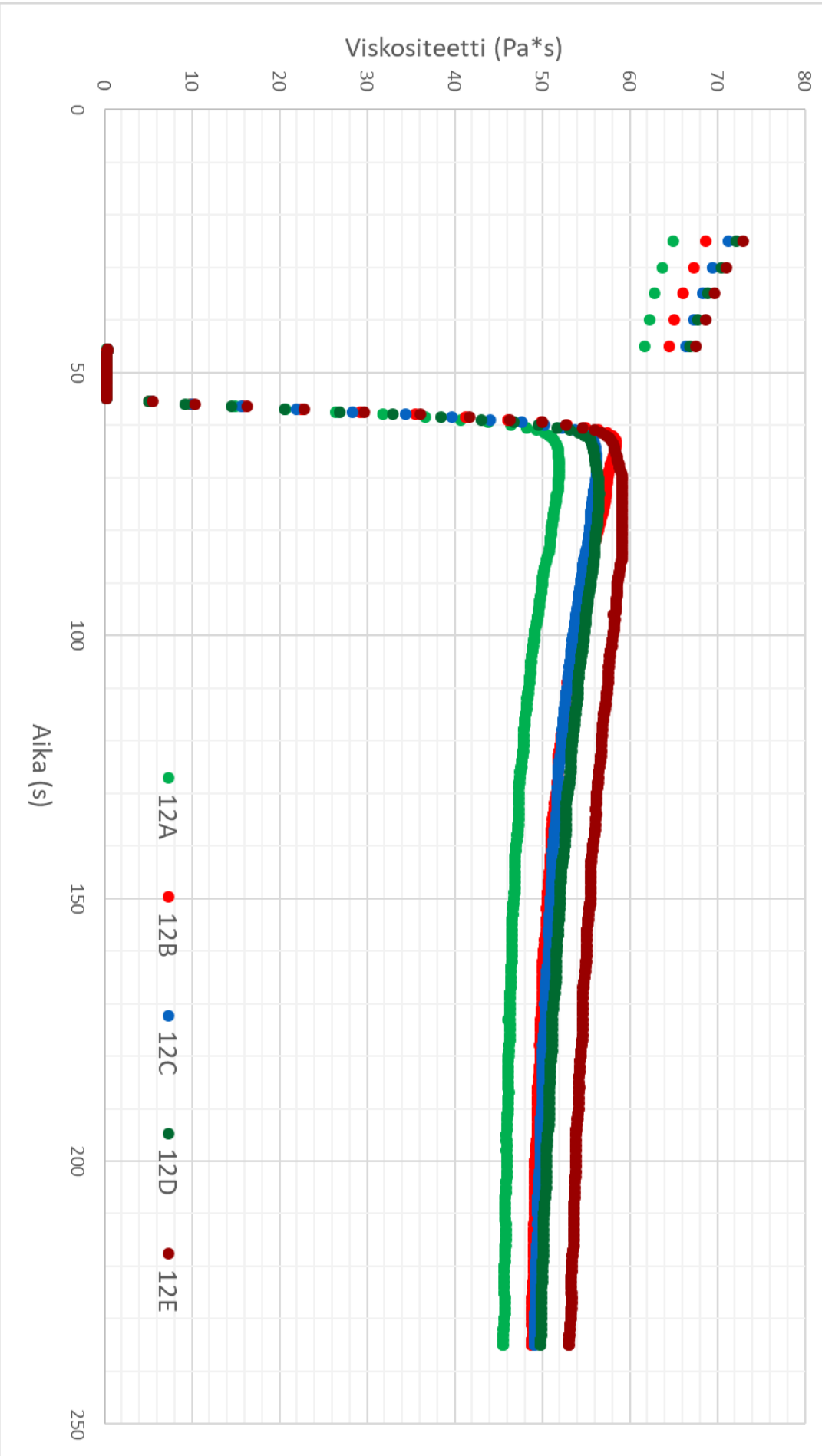
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 10



3ITT viskositeetin palautuminen tuote 11



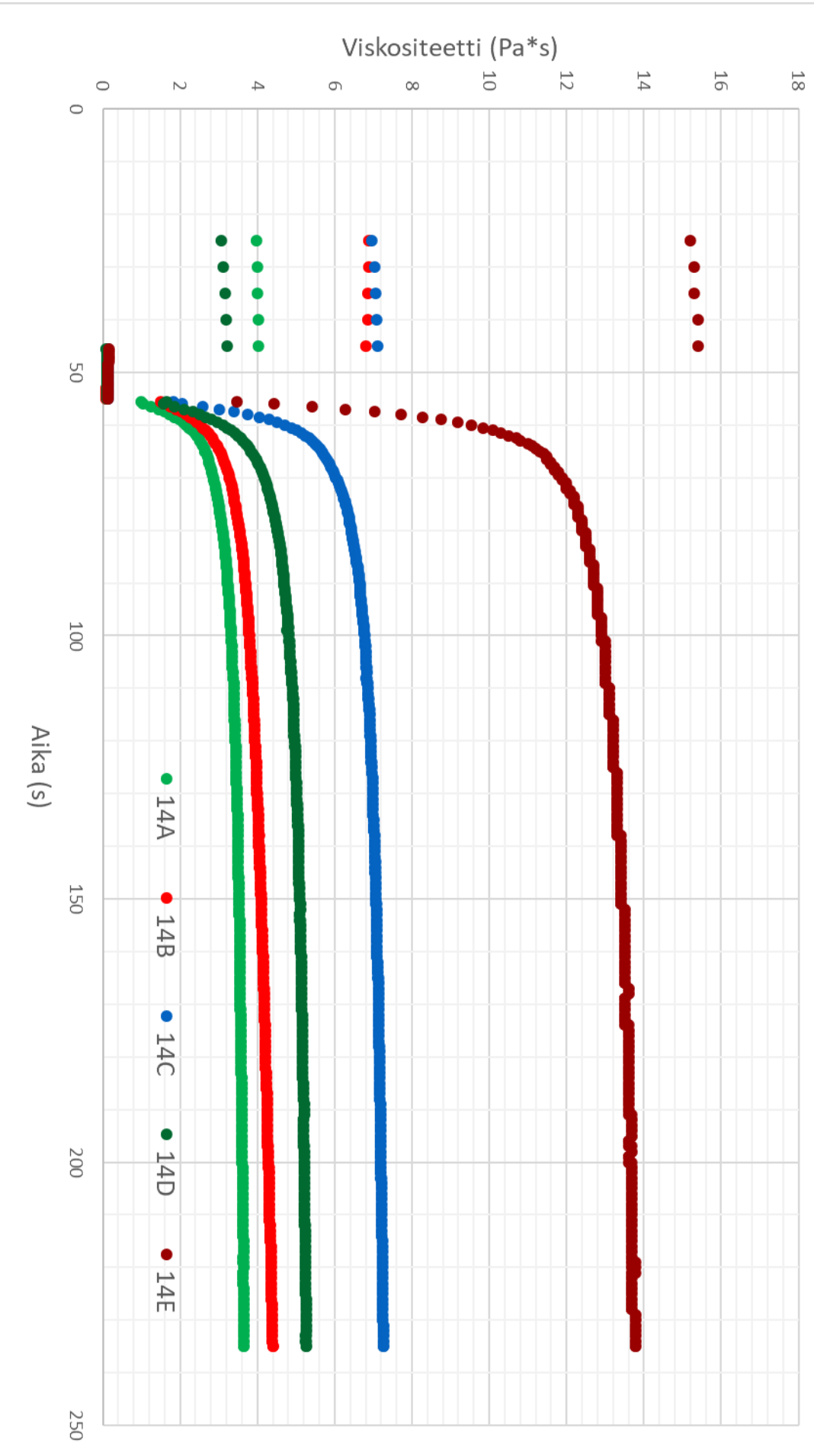
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 12



3ITT viskositeetin palautuminen tuote 13



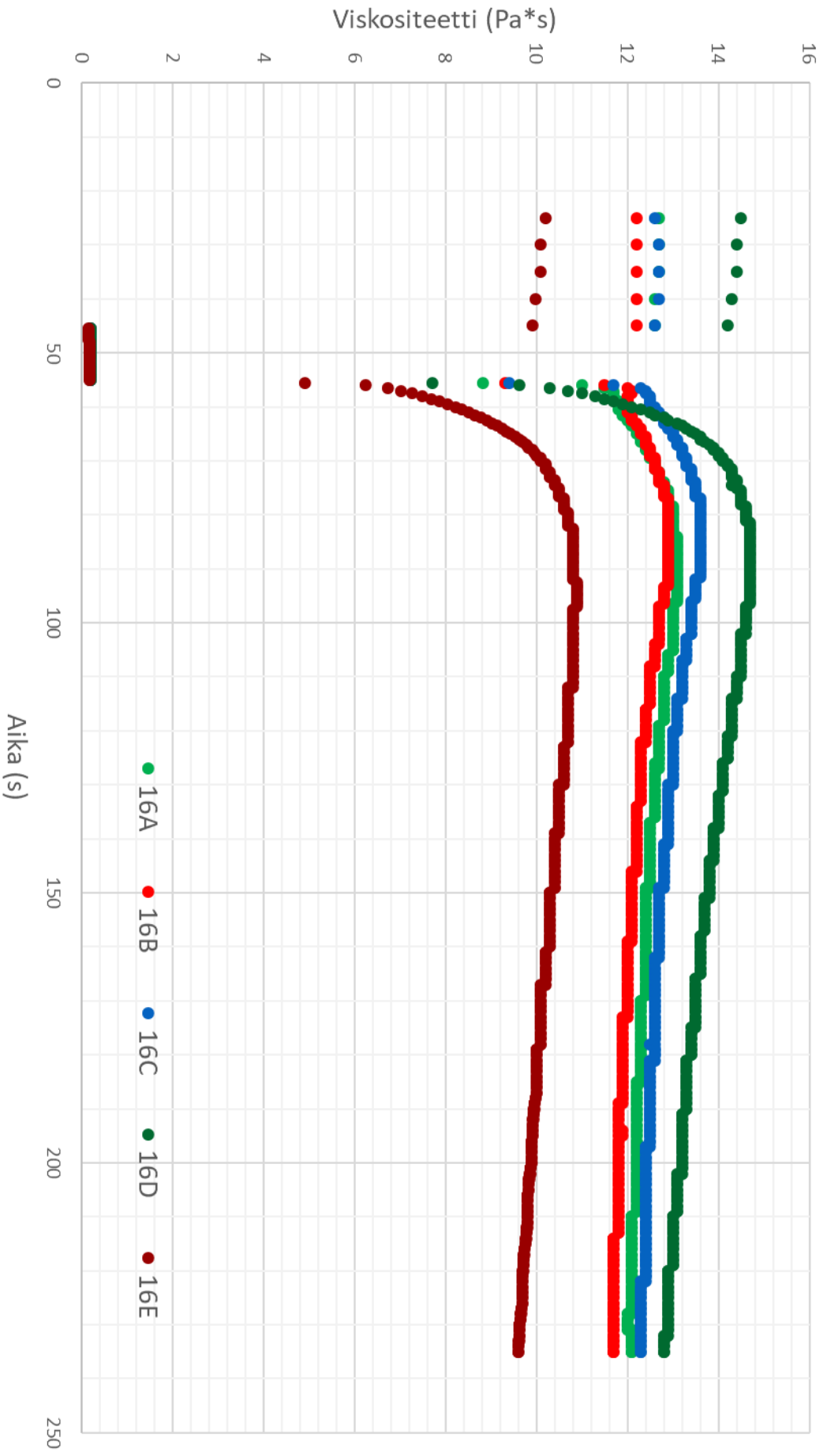
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 14



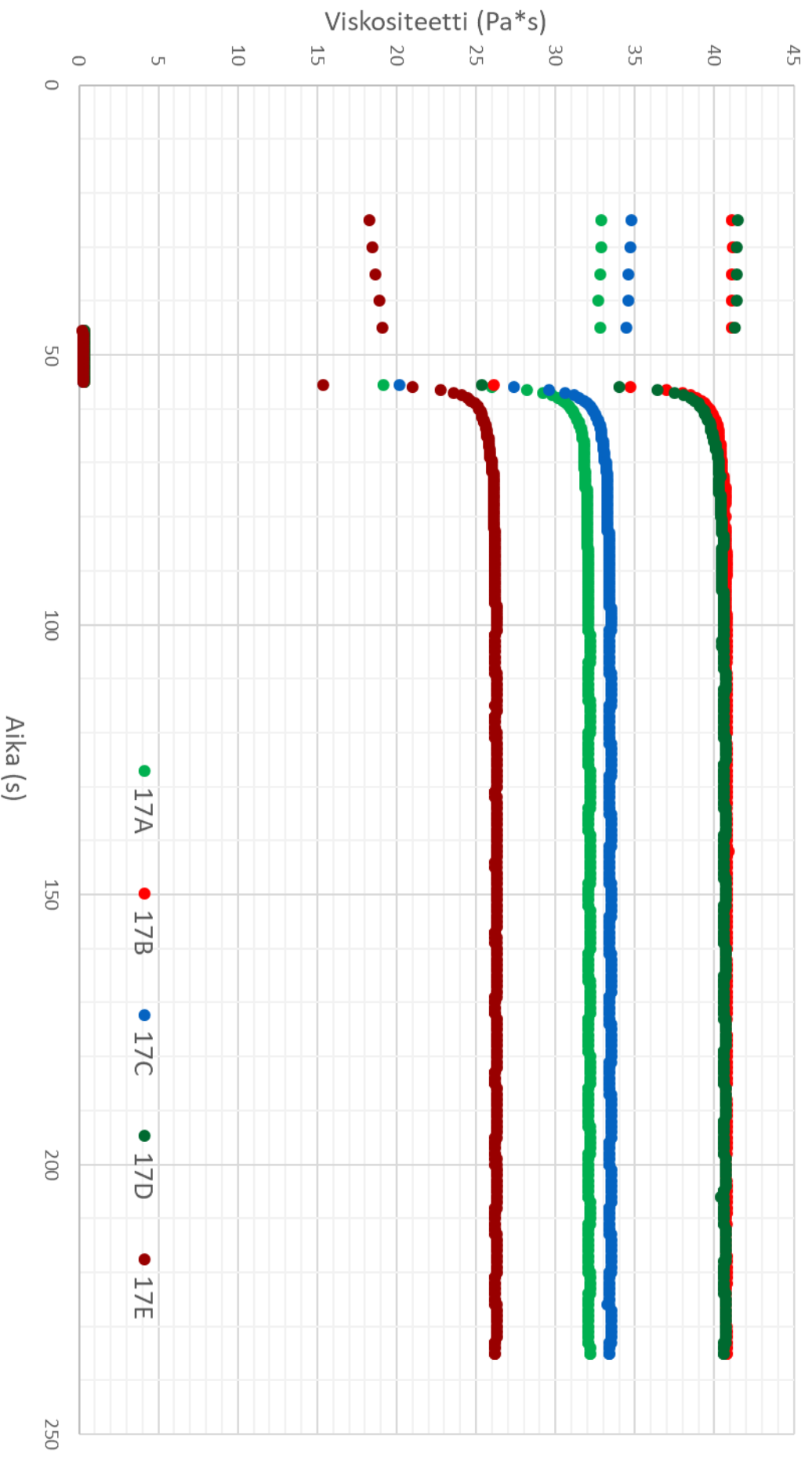
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 15



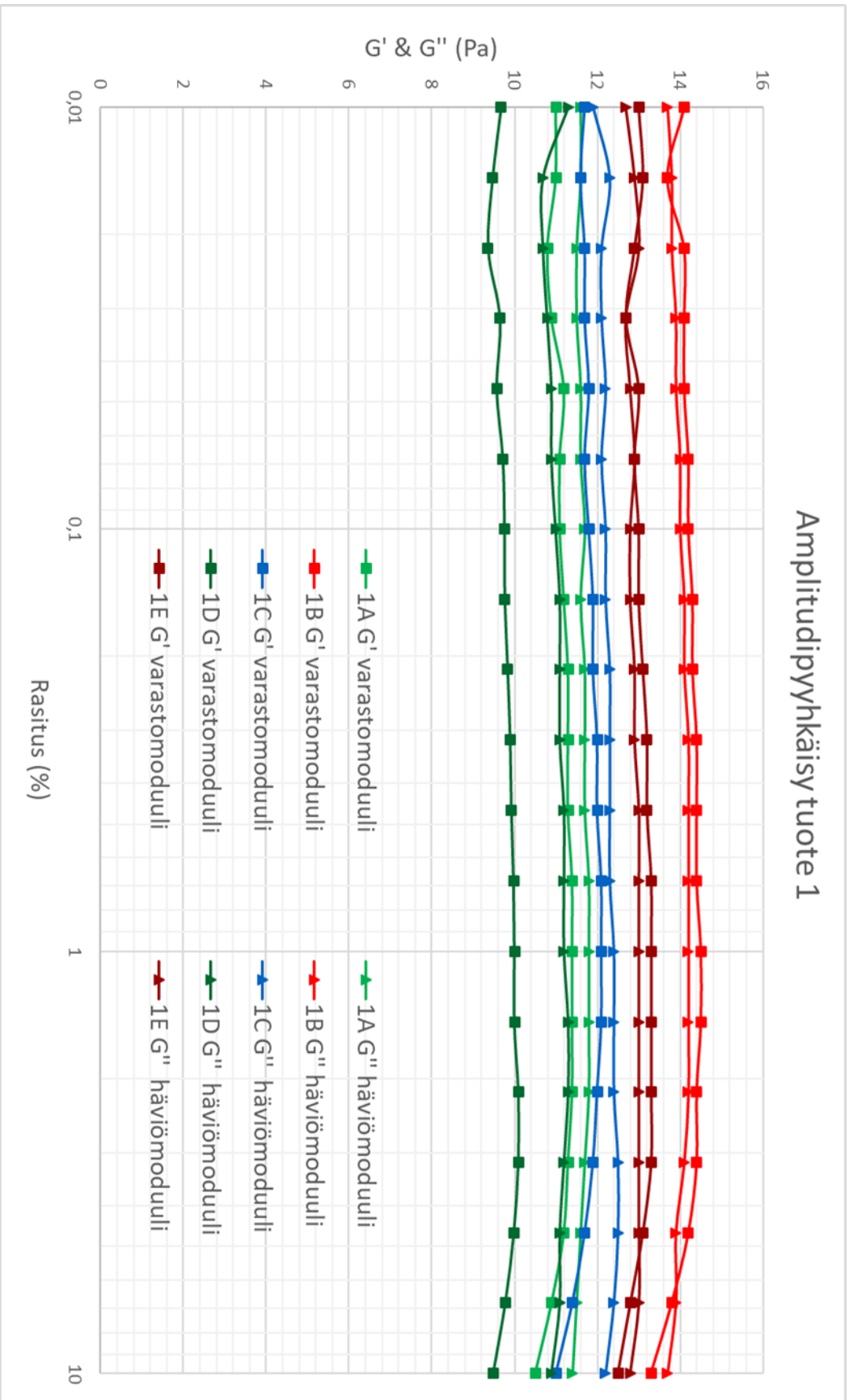
3ITT viskositeetin palautuminen tuote 16



3ITT viskositeetin palautuminen tuote 17



Tuotteen 1 amplitudipyyhkäisy-yhteiskuvaja



Tuotteen 1 3ITT - OSC-yhteiskuvaaja

