

# PUUKUITULUJITTEISET MUOVIT

Polypropeeni

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Materiaali- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Muovitekniikan suuntautumisvaihtoehto  
Opinnäytetyö  
Kevät 2007  
Ville Nurkkala

Lahden ammattikorkeakoulu  
Materiaali- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

NURKKALA, VILLE: Puukuitulujitteiset muovit  
Polypropeeni

Muovitekniikan opinnäytetyö, 37 sivua, 29 liitesivua

Kevät 2007

---

## TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli selvittää puukuitulujitetun polypropeenin (Kareline® PPMS5050) ominaisuuksia. Testimateriaali oli rakenteeltaan uutta materiaalia. Samassa pelletissä yhdistyi havusellu ja polypropeeni. Testisauvat ajettiin ruiskuvalukoneella eri lämpötiloissa, joten yhtenä tutkittavana aiheena oli selvittää, palaako havusellu korkeammissa lämpötiloissa ja heikentääkö se koesauvan ominaisuuksia. Ruiskuvalettujen testisauvojen mekaaniset testit testattiin iskulujuus- ja vetolujuuskoneilla. Loput testit suoritettiin DSC:llä, joka on terminen analyysimenetelmä, ja reometrilla, joka on reologisten ominaisuuksien testausmenetelmä.

Testitulokset osoittavat sen, että testattaessa lovettomilla sauvoilla iskulujuutta voitiin havaita se, että puukuitu ei kestä korkeita lämpötiloja ja näin ollen se menettää iskulujuuttaan. Lovelliset iskusauvat olivat iskulujuudeltaan samankaltaisia, eli eri prosessointilämpötilat eivät vaikuttaneet kuin lovettomiin sauvoihin.

Vetolujuuksissa ei ollut havaittavissa suuria eroja kappaleiden välillä. Prosessointilämpötilat eivät vaikuttaneet vetolujuuksiin.

DSC:llä tutkitut näytteet eivät eronneet sulamislämpötilaltaan tai kiteytymisasteeltaan toisistaan. Ainoa selkeä ero oli havaittavissa silloin kun testattavina näytteinä oli puhdas pelletti (Kareline® PPMS5050) ja testeissä tutkittiin hapetuskestävyyttä. 180 °C:ssa testatun näytteen hapetuskestävyys oli moninkertainen verrattuna 200 °C ja 220 °C:ssa testattuihin näytteisiin.

Asiasanat: differentiaalinen pyyhkäisykalorimetri, iskulujuus, polypropeeni, puukuitu, reometri, vetolujuus

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

NURKKALA VILLE: Wood Plastic Composites  
Polypropylene

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 37 pages, 29 appendices

Spring 2007

---

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine the properties of material which is a compound of wood-fiber and polypropylene (Kareline® PPMS5050). The structure of the test material was new. Wood-fiber and polypropylene were in the same pellet. Test pieces were made by an injection molding machine at three different temperatures. Usually wood-fiber cannot withstand high temperatures, so one of the main objectives was to examine how high temperatures affect its properties. The mechanical tests were made by using an izod impact strength machine and tensile strength machine. The other tests were made by using DSC (thermal analytical technique) and Rheometer (explores rheological properties).

Izod impact strength (non-notched) test results showed that wood-fiber could not withstand high temperatures but it lost its strength. There were no differences between notched test sticks.

In tensile strength tests there were no differences in the results at different process temperatures.

DSC- test results were also quite similar. Only clear differences were found when OIT (Oxidation Induction Time) was tested with pure wood-plastic material (Kareline® PPMS5050). Oxidation time was highest at 180 °C. At 200 °C and 220 °C oxidation time went down.

Keywords: differential scanning calorimetry, impact strength, polypropylene, rheometer, tensile strength, wood-fiber

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TYÖSSÄ KÄYTETYT LAITTEISTOT JA MENETELMÄT	2
2.1	Ruiskuvalu	2
2.2	Iskulujuus	3
2.3	Vetokoe	4
2.4	Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetri (DSC)	5
2.5	Reometri	5
3	PUUKUITULUJITTEISET MUOVIT	6
3.1	Historia	6
3.2	Valmistusmenetelmät	7
3.3	Lujuusominaisuudet	7
3.4	Kosteus	8
3.5	Markkinat	8
3.6	Kareline® PPMS5050	9
4	TESTITULOKSET	9
4.1	Ruiskuvalu	9
4.2	Iskulujuuden testaus	12
4.3	Vetokokeiden tulokset	18
4.4	DSC:n tulokset	21
4.5	Reometrin tulokset	29
4.6	Testit optimiarvoilla	30
5	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	38

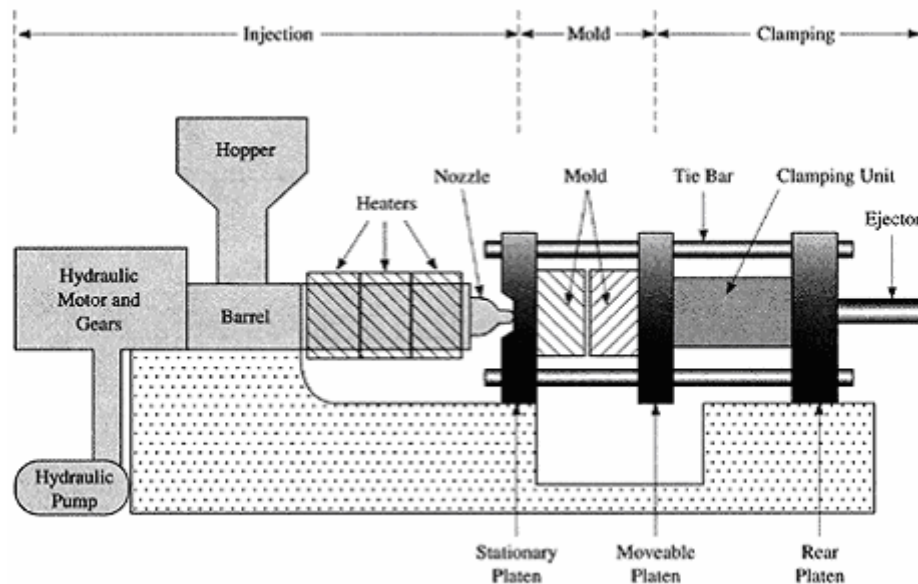
## 1 JOHDANTO

Tulevaisuudessa luonnonkuitujen käyttö muovituotteissa tulee lisääntymään rajallisten öljy- ja energiavarojen takia. Tämän takia on syytä tutkia näitä materiaaleja enemmän. Lahden ammattikorkeakoulu halusi tutkittavaksi puukuitulujitettua polypropeenaa. Työn mielenkiintoisuutta lisäsi se, että materiaali ei ollut entuudestaan tuttu, joten sen käyttäytymisestä ei ollut tietoa. Tämä tutkimus keskittyi pelkästään yhteen materiaaliin, ja sitä testattiin eri menetelmillä. Odotukset olivat testitulosten kannalta korkealla ja mielenkiinnolla odotettiin, minkälaisia johtopäätöksiä niistä voi tehdä. Tämä tutkimus soveltuu mahdollisia jatkotutkimuksia ajatellen hyväksi suuntaa antavaksi pohjaksi. Toivon, että tästä tutkimuksesta on apua sekä Lahden ammattikorkeakoululle että kaikille, jotka haluavat tietää enemmän puukuitulujitteisen polypropeenin käyttäytymisestä eri prosessointilämpötiloissa.

## 2 TYÖSSÄ KÄYTETYT LAITTEISTOT JA MENETELMÄT

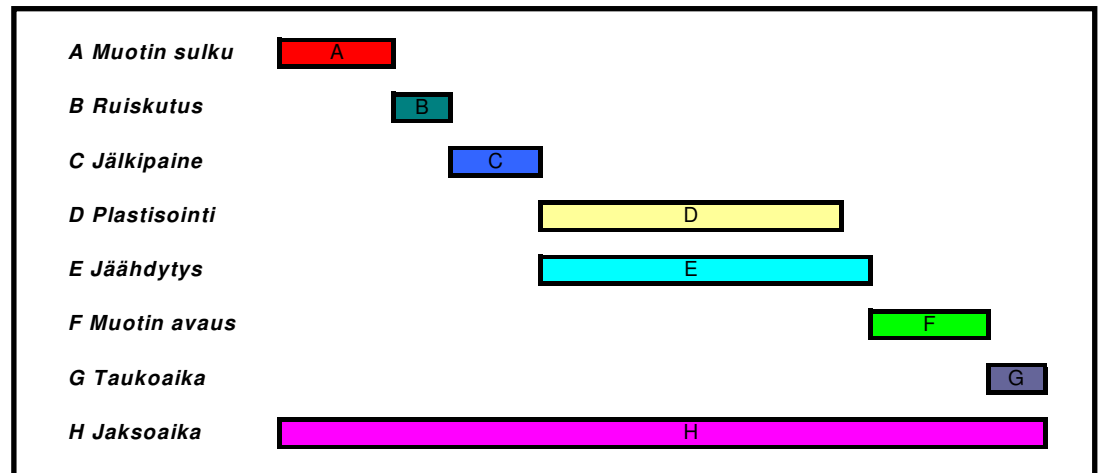
### 2.1 Ruiskuvalu

Ruiskuvalu on yksi merkittävimmistä muovien valmistusmenetelmistä. Ruiskuvalulla on omat selkeät etunsa valmistettaessa suuria määriä monimutkaisia muovikappaleita. Ruiskuvalulla saadaan valmis tuote suoraan prosessin jälkeen, ja tuotteesta riippuen jälkikäsittely on vähäistä tai sitä ei ole ollenkaan. Ruiskuvalujakso jaetaan useaan eri vaiheeseen. Kuviossa 1 näkyy ruiskuvalukone ja sen tärkeimmät osat. (Rosato 1995.)



KUVIO 1. Ruiskuvalukoneen kaaviokuva (päälaitteet: injection = ruiskutusyksikkö, mold = valuyksikkö, clamping unit = sulkuyksikkö; osat: hydraulic pump = hydraulinen pumppu, hydraulic motor and gears = hydraulinen moottori ja vaihteisto, hopper = syöttösuppilo, barrel = sylinteri, heaters = lämpövastukset, nozzle = suutin, mold = muotti, tie bar = ohjauskisko, ejector = ulostyöntö) (Penn Plastics INC 1999.)

Ruiskuvaluprosessi voidaan erotella karkeasti kolmeen vaiheeseen: muotin sulkemiseen, ruiskutukseen ja muotin avaamiseen sekä kappaleen ulostyöntämiseen. Kuviossa 2 näkyvät tarkemmat ruiskuvalujakson vaiheet. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999.)

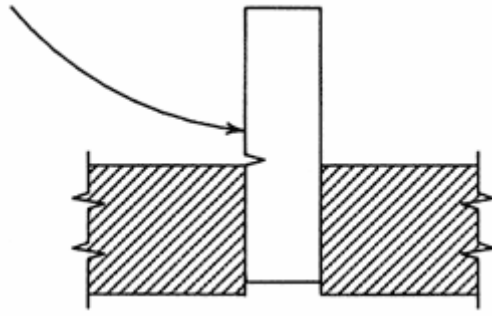


KUVIO 2. Ruiskuvalujakson vaiheet

## 2.2 Iskulujuus

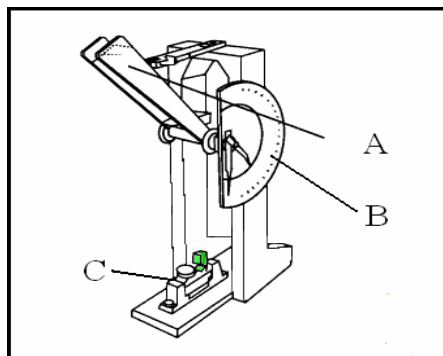
Muovien iskukokeet ovat murtumiskokeita, jotka suoritetaan suurella nopeudella. Tällä mitataan kappaleen murtumiseen tarvittava energia. Mitä enemmän materiaali pystyy absorboimaan nopeasti energiaa, sitä parempi on sen iskunkestävyys. (Peltonen 2007.)

Iskulujuuden määrittämiseen käytetään yleisimmin heilahdusvasara-iskukoetta. Tätä menetelmää käytettiin myös näissä testeissä. Heilurivasaran toiminta perustuu siihen että, törmätessään kappaleeseen vasara menettää osan energiastaan ja vasara heilahtaa vastakkaiselle puolelle ja mittaristo jää siihen kohtaan, johon vasara korkeimmillaan heilahtaa. Osoitin näyttää suoraan absorboituneen energian. Kuviossa 3 on havainnollistettu testikappaleen oikeaoppinen asennus koneen leukojen väliin. (Peltonen 2007.)



KUVIO 3. Lovellisen testisauvan oikeaoppinen kiinnitys leukoihin. (Empire West INC 2004.)

Iskukokeita on kahta eri tyyppiä: Izod tai Charpy-menetelmä. Näissä testeissä käytettiin Izod-menetelmää. Eroa näillä kahdella menetelmällä ei oikeastaan muuta ole kuin, että Izod-menetelmässä testikappale on pystysuorassa ja Charpy-menetelmässä se on vaakasuorassa. Kuviossa 4 on Izod iskuvasaran pääosat. (Peltonen 2007.)



KUVIO 4. Izod-iskuvasaran pääosat: A = vasara, B = asteikko, C = leuat (joihin kappale kiinnitetään). (MatWeb material property data 1996-2007.)

### 2.3 Vetokoe

Vetokoe on ehkä yleisin muovien testausmenetelmä. Tällä menetelmällä testataan kappaleen lujuutta, sitkeyttä ja jäykkyyttä. Vetokokeesta saadaan selville vetokimmomoduuli, vetolujuus ja -venymä, myötölujuus ja -venymä sekä murtolujuus ja -venymä. (Peltonen 2007.)



## 2.4 Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetri (DSC)

DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) kuuluu termoaanalyttisiin tutkimusmenetelmiin. DSC:llä voidaan selvittää sulamispiste ja sulamisentalpia, kiteytymiskäyttäytyminen, faasimuutokset, koostumuksen määrittäminen, puhtausmäärittäminen, ominaislämpökapasiteetin määrittäminen, hapettumiskestävyys, tuntemattoman näytteen tunnistus. DSC:llä tarkoitetaan tekniikkaa, jossa näytteeseen ja referenssinäytteeseen kohdistuva lämmön virtausnopeuksien ero monitoroidaan ajan funktiona. (Alava.)

Testattava kappale täytyy olla aina samanlainen geometrialtaan ja massaltaan, jotta saataisiin mahdollisimman tarkat tulokset. Hyvän lämmönsiirron aikaansaamiseksi näytteen tulisi omata hyvä kosketuspinta näytekupin kanssa. (Heikkinen 2006-2007.)

## 2.5 Reometri

Reometrillä tutkitaan aineen muodonmuutosta ja virtausta sulassa tilassa. Reometrillä saatuja tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi ruiskuvaluprosessissa. Reometrissä sulatettu, tietyssä lämpötilassa oleva muovimassa puristetaan sylinteristä männän avulla tietyn kokoisen kapillaarisuuttimen läpi. Mitattavia suureita ovat kapillaarin reiän halkaisija ja pituus. Niiden avulla voidaan laskea sekä leikkausjännitys että leikkausnopeus suorakaiteisella ja pyöreällä suuttimella. Reometrillä voidaan laskea myös viskositeetti, sulan painerelaksaatio, leikkausohheneminen ja PVT-käyrästä. (Heikkinen 2006-2007.)

### 3 PUUKUITULUJITTEISET MUOVIT

#### 3.1 Historia

Vuonna 1909 belgialainen Leo H. Baekeland onnistui kehittämään ensimmäisen täysin synteettisen hartsin. Hän huomasi, että lisäämällä puujauhoa muuten melko hauraaseen hartsiin, parannettiin huomattavasti sen teknisiä ominaisuuksia. Bakeliitti nimi syntyi kehittäjän mukaan. (Kulju 1965.)

Materiaali pääsi teollisuuteen vasta 1920-luvulla, vaikkakin ensimmäisen tuotteistajan sanotaan olleen Rolls Royce. He tekivät tästä vaihdekepin nuppeja. Vaikkakin nykyään bakeliitin käyttö on vähäistä uusien, kehittyneiden muovimateriaalien ja täyteaineiden takia, ei sitä ole kokonaan unohdettu. (Kulju 1965.)

Kiinnostus kestopuovien ja luonnonkuitujen yhdistämiseksi syntyi 1990-luvulla, kun huomioitiin kustannusseikat ja ympäristöystävällisyys. Tänä päivänä 75 % kaikesta maailmalla tuotetuista puukuitulujitteisesta muovikomposiitista menee rakennusteollisuuden käyttöön. Rakennusteollisuuden luonnonkuitukomposiiteista valmistetaan pääosin lankkumaisia osia, joista saadaan valmistettua vaikka laitureita, kävelysiltoja, pöytiä ja lattioita. Autoteollisuus on myös toinen suuri teollisuuden ala, joka käyttää luonnonkuitulujitteisia muoviosia. Syy tähän löytyy lain asettamista vaatimuksista kierrätyksen suhteen. Myös edullisempi hinta verrattuna lasikuituun vaikuttaa käyttöön. Huonon lämmönkeston ja iskulujuuden takia tätä materiaalia ei käytetä kuin auton sisäosissa. Eroavaisuudet Yhdysvaltojen ja Euroopan/Aasian tapaan valmistaa puukuitulujitteisiä muoveja on yksinkertainen. Yhdysvalloissa panostetaan volyyymiin, siellä tehdään kaikenlaisesta sekajätteestä ja puun jätöksistä materiaalia, jolloin tekninen laatu ei välttämättä ole kovin hyvää. Euroopassa ja Aasiassa panostetaan teknisiin ominaisuuksiin, jolloin vaatimuksina on käyttää neitseellistä muovia ja kierrättämätöntä puuta. Tulevaisuudessa puukuitulujitteisten muovien käyttö tulee varmasti kasvamaan kovalla vauhdilla. (Clemons 2000.)

### 3.2 Valmistusmenetelmät

Luonnonkuitukomposiiteille käyvät samat valmistusmenetelmät kuin kestopuuvuotteille. Materiaalin työstössä voi syntyä enemmän ongelmia puukuidun ja muovin erilaisuuden takia. Bulkkitiheys, kosteus ja viskositeetti aiheuttavat suurimmat ongelmat. Yleisesti ottaen puukuitulujitteisten muovituotteiden valmistusprosessi on kolmivaiheinen. (Koto&Tiisala 2004.)

- Puuaines kuivataan täydellisesti, minkä jälkeen se kuidutetaan ja lajitellaan haluttuun partikkelikokoon.
- Puukuitu-, muovi- ja apuaineet sekoitetaan keskenään eli kompaundoidaan pelletiksi.
- Pelleteistä valmistetaan valmis tuote suulake- tai ruiskuvalamalla. (Koto&Tiisala 2004.)

### 3.3 Lujuusominaisuudet

Yksi tärkeä syy muovin ja puun yhdistämiseksi ovat lujuusominaisuudet. Lujuuteen vaikuttavat sekä puukuitujen määrä/laatu että muoviraaka-aineen oma lujuus. Toki valmistusmetelmällä saadaan myös kasvatettua tai heikennettyä lujuusominaisuuksia. Jos lujitemateriaali on pitkää ja kapeakuituista, niin komposiitin lujuus kasvaa. Lyhytkuituiset tai purumaiset aineet toimivat samalla tavalla kuin täyteaineet, eli ne tekevät komposiitista jäykempää, mutta eivät kovinkaan sitkeää. Eri-laisilla kytkentä- ja dispergointiaineiden avulla saadaan kuitujen ja matriisin välis-tä tartuntaa parannettua ja näin ollen komposiitin iskulujuus (sitkeys) kasvaa. (Ko-to&Tiisala 2004.)

### 3.4 Kosteus

Melkein joka materiaalilla pahana vihollisena on kosteus. Siitä joutuu kärsimään myös luonnonkuitulujitteiset muovikomposiitit. Kosteus vaikuttaa näihin vähän samalla tavalla kuin puuhunkin, mutta pienemmässä mittakaavassa. Ne turpoavat, lahoavat, ja täten kosteus heikentää niiden mekaanisia ominaisuuksia. Kosteuskäyttäytymiseen vaikuttavat käytetyt kuidut ja niiden määrä sekä matriisina käytetty muovi. Kosteustuhoihin voidaan vaikuttaa modifiointikäsittelyillä ja sidosaineilla, jotka yhdistävät puukuidut ja matriisimuovin. Tärkeää on muistaa myös lämpökäsittelä kuidut ennen kun niistä valmistetaan puu-muovi pellettejä, sillä lämpökäsitelty puukuitu imee kosteutta vähemmän kuin käsittelemätön. Elinikä vaikuttaa omalta osaltaan myös kosteustuhoihin, joten on syytä suunnitella huolellisesti käyttökohteeseen sopiva raaka-aine. (Koto&Tiisala 2004.)

### 3.5 Markkinat

Luonnonkuidut ovat tällä hetkellä yksi markkinoiden nopeimmin kasvava polymeerien täyteaineryhmä. Asenteet ovat vuosien varrella muuttuneet puuta ja muita luonnonkuituja kohtaan. Ennen niitä pidettiin halpoina täyteaineina, mutta nykyään tekniikan ja materiaalin kehityksen seurauksena ne ovat muuttuneet arvokkaaksi lujitemateriaaliksi. (Koto&Tiisala 2004.)

WPC-lyhenne tulee sanoista wood (thermo-) plastic composite ja se tarkoittaa puukuitulujitteisia muoveja. Tämä lyhenne kattaa kaikki puukuitulujitteiset muovit. Väärinkäsitysten välttämiseksi mainittakoon myös se, että WPC ei ole sama asia kuin plastic lumber, josta valmistetaan myös terassituotteita. Plastic lumber on yleensä valmistettu kokonaan kierrätysmuovista ja ne eivät sisällä puukuituja. Aluksi puukuitulujitteiset muovituotteet eivät olleet hienon näköisiä ulkoisesti ja niitä ei sen takia arvostettu kovinkaan paljoa. Nykyään pystytään jo tekemään arvokkaamman näköisiä tuotteita ja täten ne kilpailevat muiden arvokkaan näköisten tuotteiden kanssa. (Koto&Tiisala 2004.)

### 3.6 Kareline® PPMS5050

Testattavana materiaalina oli Kareline® PPMS5050, joka koostuu ECF-valkaistusta havusellusta (50 p-%) ja matriisina toimivasta homopolypropeenista (50 p-%). Kareline® PPMS -komposiittien hyviin ominaisuuksiin kuuluvat

- mekaaniset ominaisuudet
- kemialliset ominaisuudet
- lämmönkestävyys
- pienet kutistumat ruiskuvalussa (0,5 %)
- mittatarkkuus
- pieni lämpölaajeneminen

(Kareline Oy Ltd 2007).

## 4 TESTITULOKSET

### 4.1 Ruiskuvalu

Tutkimusten tavoitteena oli selvittää, onko eri lämpötiloissa ajettujen kappaleiden ominaisuuksissa eroja, ja jos on, niin kuinka paljon. Testit lähtivät luonnollisesti liikkeelle siitä, että testisauvoja ajettiin eri lämpötiloissa. Valittiin kolme lämpötilaa 20 asteen välein. Lämpötilat olivat 180, 200 ja 220 °C. Ajettiin jokaisesta lämpötilasta 30 testisauvaa, jonka lisäksi ajettiin 10 sauvaa valmistajan suosittelemilla arvoilla, joista käytetään tästä eteenpäin sanaa optimiarvot. Yhteensä testattavia sauvoja oli 100 kpl. Ruiskuvalukoneen muita ajoparametreja ei muutettu lämpöti-

lojen välillä lainkaan, vaan ne pysyivät vakiona, eli pelkästään ruuvien lämpötilaa muutettiin. Ruiskuvalukappaleet ajettiin automaattijolla laatikoihin.

Materiaali laitettiin kuivuriin kuivumaan 100 °C:seen ja sen annettiin olla siellä 4 tuntia. Tällä välin oli hyvää aikaa tutustua koulun Battenfeld-merkkiseen ruiskuvalukoneeseen, jonka käyttö ei ollut kovin tuttua. Opetteluun ei mennyt kovinkaan kauaa aikaa, sillä ruiskuvalukoneiden yleisperiaate on sama. Sen jälkeen ruiskuvalukone laitettiin ajokuntoon eli toisin sanoen koneen lämmöt asetettiin päälle. Tämän jälkeen koneeseen nostettiin muotti ja se laitettiin lämpenemään. Temperointilaitteeseen asetettiin lämpötila 40 °C, sekä etu- että takamuotille. Kun massa oli kuivaa, niin alettiin varovasti ruiskuttaa sitä suuttimen läpi. Mielenkiintoista oli huomata se, kuinka erilaista materiaalia se oli verrattuna puhtaaseen muoviin. Tämän jälkeen tarkoituksena oli ajaa materiaalia suoraan muottiin ja se onnistui yllättävän helposti ilman mitään suurempia ongelmia. Kappaleita ajettiin noin 10 minuuttia ja valettuja kappaleita tutkimalla muutettiin ajoarvoja kohdilleen. Sitten kun ruiskuvalu alkoi sujua kunnolla, aloitettiin vasta varsinaisten testikappaleiden ajot. Ongelmia alkoi tulla välittömästi, suurin niistä oli se, että materiaali oli ilmeisesti niin karkeaa, että se holvaantui syöttösuppilon suuaukkoon kiinni, joka taas aiheutti sen, että ruuvi ei saanut annosta ja tuli vajaita kappaleita. Tämän takia ajot jouduttiin keskeyttämään ja ongelmaa oli syytä alkaa tutkia syvemmin. Mitään tämän ongelman poistumiseksi ei ollut tehtävissä, joten testiajot jouduttiin aloittamaan uudelleen. Vaikeinta tässä ruiskuvaluvaiheessa oli juuri tuo holvaantuminen, ja syöttösuppilon suuaukkoa jouduttiin jatkuvasti tökkimään kepillä. Tämäkään ei aina riittänyt, ja kone pysähtyi välillä siitä syystä, ettei ruuvi saanut annosta. Tämän vian takia testiajot kestivät kohtuuttoman kauan. Minun mielestäni tämä materiaali ei sovi pienillä ruiskuvalukoneilla ajettavaksi.

Ajoparametrit ovat tärkein osa ruiskuvaluprosessia, sillä niillä voidaan saada muuttettua kappaleen ominaisuuksia. Taulukossa 1 on esitetty ruiskuvalun ajoparametrit. Ruuvien lämpötilat näkyvät puolestaan taulukossa 2.

TAULUKKO 1. Ruiskuvalukoneen ajoarvot

Ruuvien halkaisija		22 mm
Sulkuvoima		140 tonnia
Annostelumatka	0,1	80 mm
Niistomatka	0,1	85 mm
Ruiskutusnopeus1		150 mm/s
matka 1	0,1	20 mm
2		1 mm
Suutin eteen paine		80 bar
Suutin eteen matka	149,6	50 mm
Jälkipaine		700 bar
Jälkipaine aloitusmatka	0,1	15 mm
Jälkipaine aloitusaika	0	5 sek.
Paineaika		10 sek.
Jäähdytysaika		15 sek.
Muotin lämpötila		40 °C

TAULUKKO 2. Ruuvien lämpövyöhykkeet

Lämpötila 180 °C			
Suutin	Vyöhyke 1	Vyöhyke 2	Vyöhyke 3
180	180	180	170
Lämpötila 200 °C			
200	200	200	190
Lämpötila 220 °C			
220	220	220	200

#### 4.2 Iskulujuuden testaus

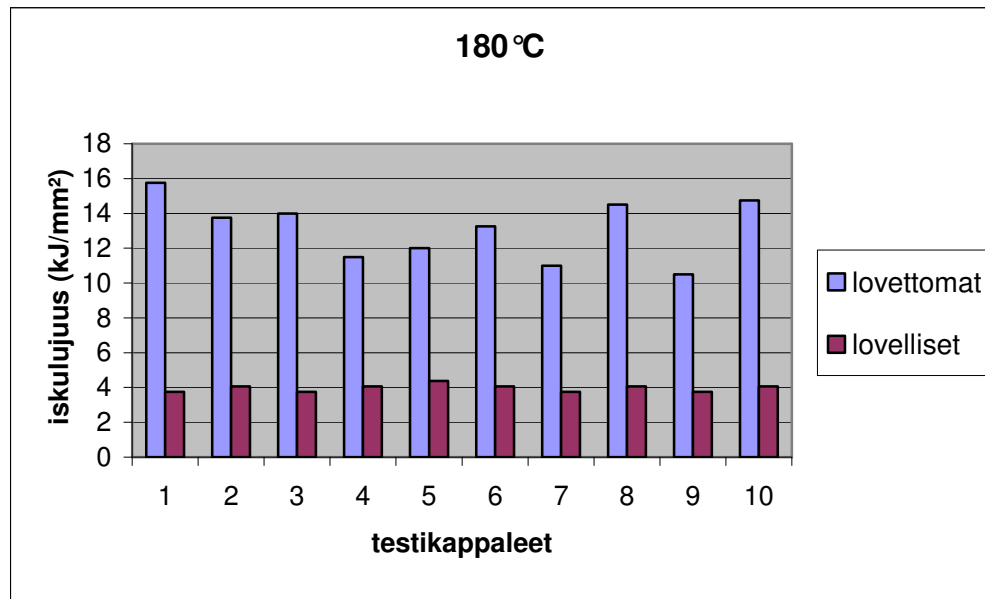
Iskulujuuksia testattiin sekä lovettamattomille että lovetetuille sauvoille. Lovetettuihin sauvoihin jyrrettiin 2 mm syvä V-rako. Tässä osiossa ei käsitellä vielä optimisauvojen tuloksia vaan niihin palataan myöhemmin. Taulukossa 3 näkyy kokonaisuudessaan molemmat testit kaikissa lämpötiloissa.

TAULUKKO 3. Testitulokset (180 °C)

	kpl	J		kJ		J/m <sup>2</sup>		kJ/mm <sup>2</sup>	
		lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset
180°	1	0,63	0,12	630,00	120,00	15750,00	3750,00	15,75	3,75
	2	0,55	0,13	550,00	130,00	13750,00	4062,50	13,75	4,06
	3	0,56	0,12	560,00	120,00	14000,00	3750,00	14,00	3,75
	4	0,46	0,13	460,00	130,00	11500,00	4062,50	11,50	4,06
	5	0,48	0,14	480,00	140,00	12000,00	4375,00	12,00	4,38
	6	0,53	0,13	530,00	130,00	13250,00	4062,50	13,25	4,06
	7	0,44	0,12	440,00	120,00	11000,00	3750,00	11,00	3,75
	8	0,58	0,13	580,00	130,00	14500,00	4062,50	14,50	4,06
	9	0,42	0,12	420,00	120,00	10500,00	3750,00	10,50	3,75
	10	0,59	0,13	590,00	130,00	14750,00	4062,50	14,75	4,06
	<b>ka</b>	<b>0,52</b>	<b>0,13</b>	<b>524,00</b>	<b>127,00</b>	<b>13100,00</b>	<b>3968,75</b>	<b>13,10</b>	<b>3,97</b>

Kuviossa 5 on graafinen esitys 180 °C:ssa ajetuista sauvoista. Kuviosta voidaan havaita se, että lovellisten sauvojen erot eivät ole kovinkaan suuria keskenään, kun taas lovettomien sauvojen erot heittelevät melko suuresti.





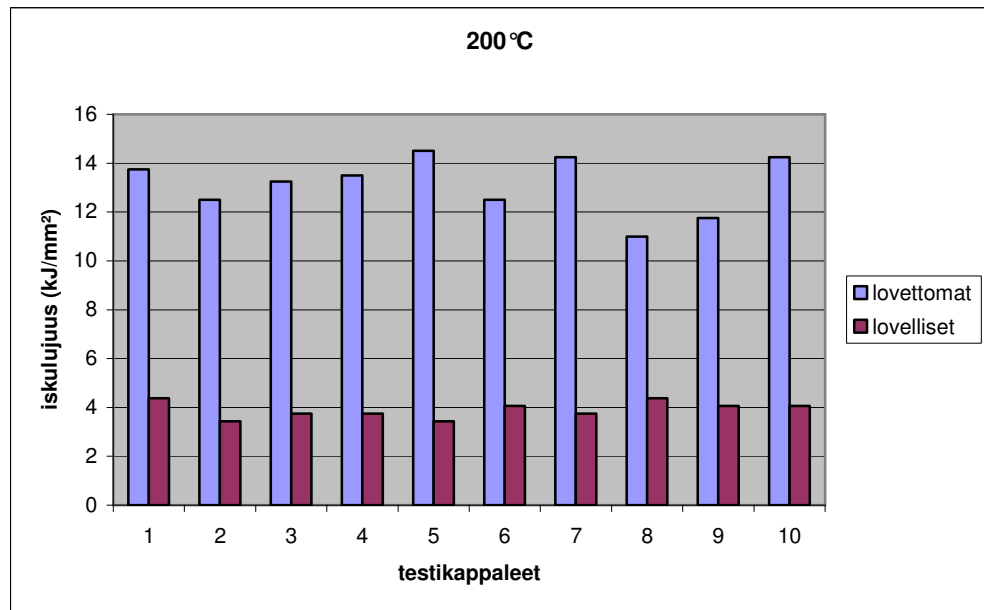
KUVIO 5. Kaikkien 180 °C:ssa ruiskuvalettujen testisauvojen iskulujuudet

Taulukossa 4 on 200 °C:ssa ajettujen sauvojen testitulokset.

TAULUKKO 4. Testitulokset (200 °C)

		J		kJ		J/m²		kJ/mm²	
	kpl	lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset
200°	1,00	0,55	0,14	550,00	140,00	13750,00	4375,00	13,75	4,38
	2,00	0,50	0,11	500,00	110,00	12500,00	3437,50	12,50	3,44
	3,00	0,53	0,12	530,00	120,00	13250,00	3750,00	13,25	3,75
	4,00	0,54	0,12	540,00	120,00	13500,00	3750,00	13,50	3,75
	5,00	0,58	0,11	580,00	110,00	14500,00	3437,50	14,50	3,44
	6,00	0,50	0,13	500,00	130,00	12500,00	4062,50	12,50	4,06
	7,00	0,57	0,12	570,00	120,00	14250,00	3750,00	14,25	3,75
	8,00	0,44	0,14	440,00	140,00	11000,00	4375,00	11,00	4,38
	9,00	0,47	0,13	470,00	130,00	11750,00	4062,50	11,75	4,06
	10,00	0,57	0,13	570,00	130,00	14250,00	4062,50	14,25	4,06
	ka	0,53	0,13	525,00	125,00	13125,00	3906,25	13,13	3,91

Kuviossa 6 on havaittavissa samanlaisia tuloksia kuin kuviossa 5.



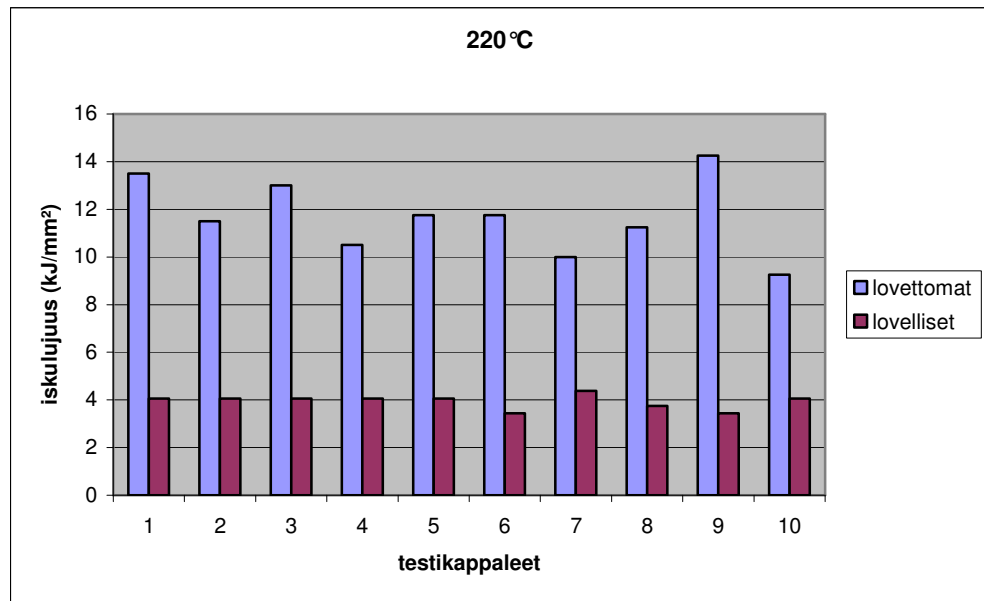
KUVIO 6. Kaikkien 200 °C:ssa ruiskuvalettujen testisauvojen iskulujuudet

Taulukossa 5 on nähtävissä 220 °C:ssa ajettujen sauvojen tulokset.

TAULUKKO 5. Testitulokset (220 °C)

		J		kJ		J/m²		kJ/mm²	
	kpl	lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset	lovettomat	lovelliset
220 °	1,00	0,54	0,13	540,00	130,00	13500,00	4062,50	13,50	4,06
	2,00	0,46	0,13	460,00	130,00	11500,00	4062,50	11,50	4,06
	3,00	0,52	0,13	520,00	130,00	13000,00	4062,50	13,00	4,06
	4,00	0,42	0,13	420,00	130,00	10500,00	4062,50	10,50	4,06
	5,00	0,47	0,13	470,00	130,00	11750,00	4062,50	11,75	4,06
	6,00	0,47	0,11	470,00	110,00	11750,00	3437,50	11,75	3,44
	7,00	0,40	0,14	400,00	140,00	10000,00	4375,00	10,00	4,38
	8,00	0,45	0,12	450,00	120,00	11250,00	3750,00	11,25	3,75
	9,00	0,57	0,11	570,00	110,00	14250,00	3437,50	14,25	3,44
	10,00	0,37	0,13	370,00	130,00	9250,00	4062,50	9,25	4,06
	ka	0,47	0,13	467,00	126,00	11675,00	3937,50	11,68	3,94

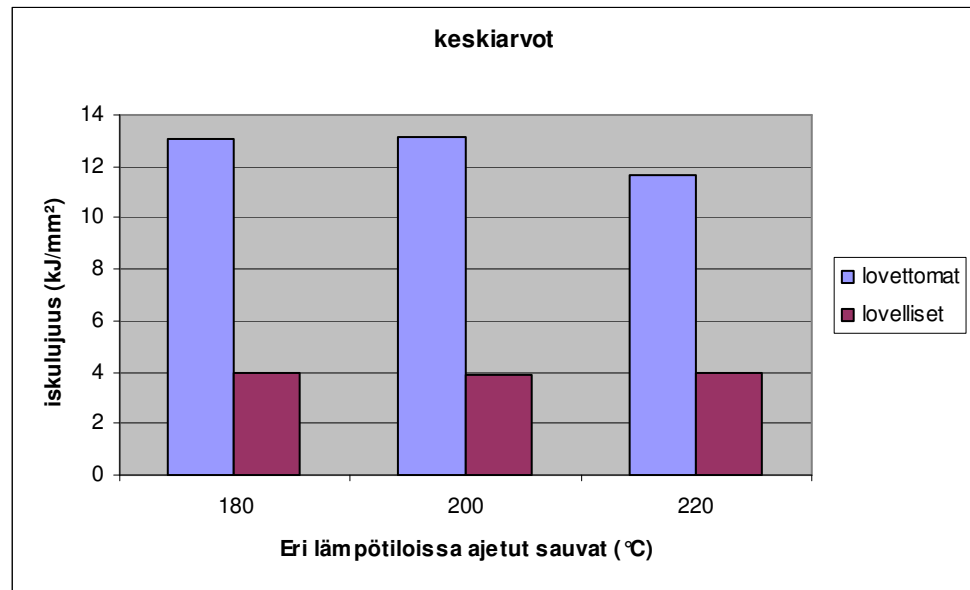
Kuviossa 7 on nähtävissä selkeä ero edellisiin tuloksiin. Lovettomien sauvojen lujuudet eivät ole lähelläkään edellisissä lämpötiloissa ajettujen sauvojen tuloksia.



KUVIO 7. Kaikkien 180 °C:ssa ruiskuvaluttujen testisauvojen iskulujuudet

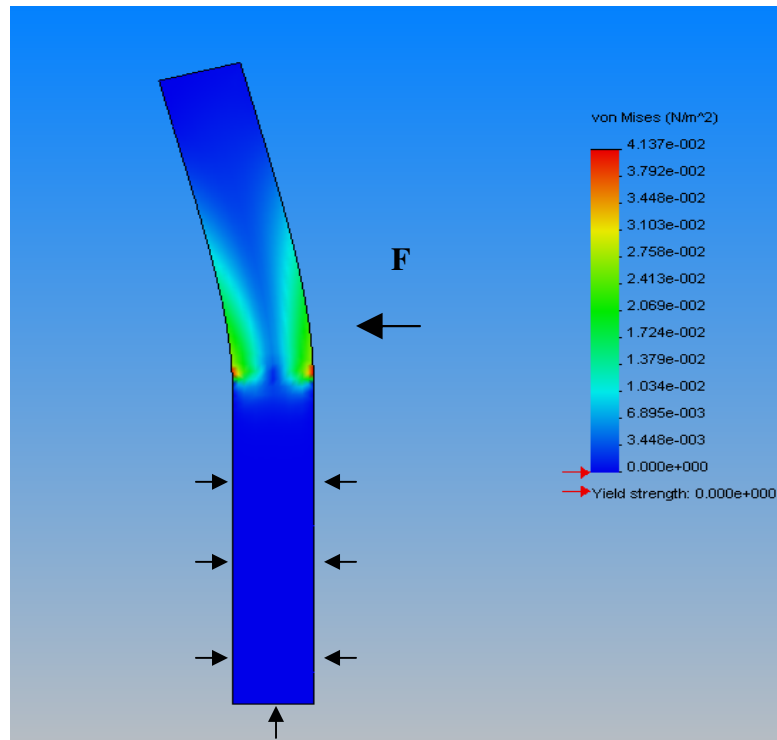
Selkeämmän yleiskuvan saamiseksi kuvioon 8 on laitettu kaikkien lämpötilojen ja sauvojen keskiarvot. Tästä saa paremman kokonaisvaltaisen kuvan sauvojen iskunkestävyydestä. Tarkastellaan ensiksi normaaleja sauvoja. Kuten kuviosta 8 näkyy, niin keskiarvojen mukaan sitkeimmät sauvat saadaan 200 °C:ssa. Lähes yhtä paljon iskulujuutta kestävät 180 °C:ssa ajetut sauvat. Selkeästi heikoimmin kestävät 220 °C:ssa ruiskuvalutut sauvat. Tästä voidaan päätellä, että 180 °C:ssa sauvat eivät ole kiteytyneet vielä tarpeeksi ja näin ollen iskulujuusominaisuudet eivät saavuta parasta mahdollista tasoa. 200 °C:ssa ajetut sauvat ovat tämän perusteella kiteytyneet kokonaan, jonka seurauksena iskulujuus paranee. Viimeisestä lämpötilasta eli 220 °C:sta voidaan tehdä sellainen johtopäätös, että puulujitteena käytetty havusellu kohtaisi liian suuren lämpötilan, minkä seurauksena tämä alkaa jo lievästi palaa, joten näin ollen myös sauvan iskulujuus heikkenee huomattavasti.

Lovettujen sauvojen erot ovat todella pienet, ja jos tarkasti tutkii kuviota 8, voidaan päätellä, että keskimmäisen lämpötilan eli 200 °C:n sauvat kestäisivät vähiten iskuja. Täytyy kuitenkin muistaa, että erot ovat todella pieniä ja yksittäiset kappaleet voivat erota toisistaan todella paljon, joten sen takia näiden lovettujen sauvojen tulokset eivät anna välttämättä aina sitä oikeaa kuvaa.

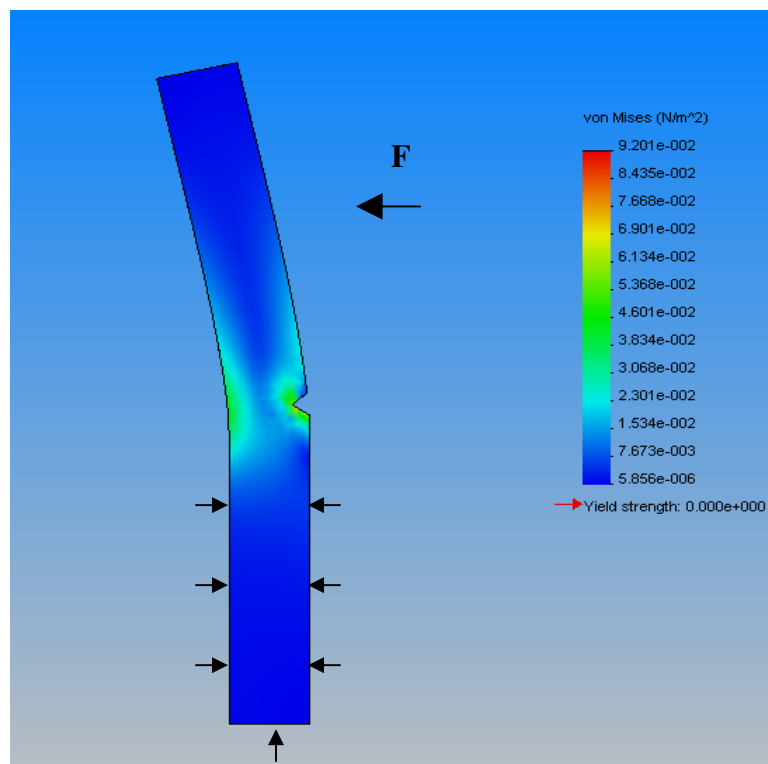


KUVIO 8. Iskulujuuksien keskiarvot

Vertailun vuoksi tarkastellaan rasitusanalyysieja. Molemmista sauvoista (lovettomista ja lovellisista) on tehty analyysi, jotta nähtäisiin miten niihin vaikuttaa voima juuri iskun hetkellä. Kappaleita on tarkoituksella taivutettu, jotta ero näkyisi selkeämmin. Kuviossa 9 on loveton sauva ja kuviossa 10 on lovellinen sauva. Jos tarkastelee kuvioita tarkkaan niin voi huomata, että lovellisessa sauvassa rasitus keskittyy enemmän loven suuntaisesti kun taas lovettomassa sauvassa voima enemmänkin jakaantuu tasaisesti. Tässä voi olla myös syy siihen, miksi lovellisissa sauvoissa ei ollut keskenään kovin suuria eroja. Kuvioihin on merkitty kiinnitystapa ja voiman (F) suunta.



KUVIO 9. Kuviossa on nähtävissä lovettoman sauvan rasitusanalyysi



KUVIO 10. Kuviossa on nähtävissä lovellisen sauvan rasitusanalyysi

### 4.3 Vetokokeiden tulokset

Vetokokeiden suorittamisessa ei ilmennyt mitään suurempia ongelmia. Testit aloitettiin laittamalla koneen sähköt ja paineet päälle. Samalla avattiin tietokone ja tutustuttiin kertauksen vuoksi ohjelmaan. Tämän jälkeen vetokoneeseen vaihdettiin leuat, jotta saataisiin mahdollisimman tarkkoja tuloksia. Aluksi vedettiin muita vetosauvoja ihan vain sen takia, että koneen paineet tasaantuisivat ja näin ollen testeihin tarkoitetuille kappaleilla saataisiin mahdollisimman tasaiset paineet. Sen jälkeen vuorossa oli sauvojen testaus eli jokaisesta lämpötilasta testattiin 10 sauvaa. Itse sauvojen testauksessa ei ilmennyt ongelmia, mutta tietokoneen näytönsäästäjä ei ilmeisesti päivittänyt kaikkia käyriä vaan jätti viivoja pois satunnaisesti. Tämä oli yksi syy, miksi käyrät tehtiin Microsoft Excelillä. Toinen syy oli se, että tämä mahdollisti sen, että kaikki 10 vetokäyrää saatiin samaan kaavioon. Asetusarvot näkyvät kuviossa 11. Kuvioissa 12, 13 ja 14 näkyvät vetolujuuskäyrät.

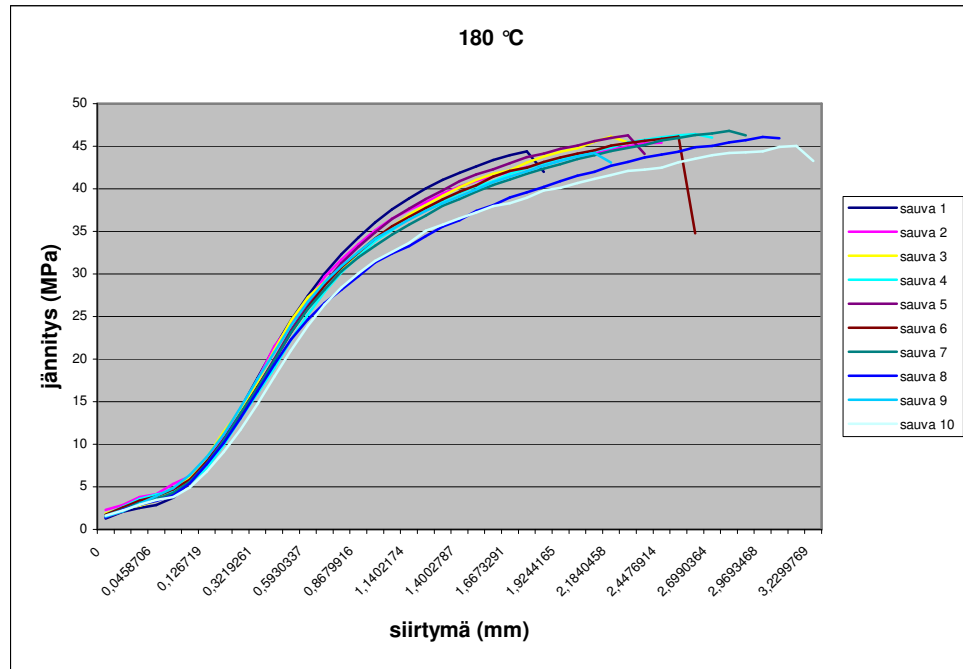
The screenshot shows the 'Kappale 2' software interface. It includes a top menu bar with options like 'Projekti', 'Koeappale', 'Ohjaus', 'Pisto', 'Pysäytysrajat', 'Lisämittauskanavat', and 'MChar'. The main window is divided into several sections:

- MITTAUSPISTEET:** Options for 'Säilytä mittauspistetiedot tietokannassa' and 'Tulosta mittauspistetiedot'.
- LASKENTA:** Checkboxes for 'Rp', 'Rm', 'Rel', 'ReH', 'Ec', 'Kor', 'Rp1', 'Rp2', 'Rp3', 'n', 'A', 'Z', 't', 'Um3', and 'Huom (syöttö)'.
- KOEKAPPALEEN DIMENSIOT:** A diagram of a tensile specimen with dimensions labeled: a, b, d, D, Du, So, Lc, Lo, Lu, Le, F, Fm, Rel, ReH, Ec, Kor, Rp1, Rp2, Rp3, n, A, Z, t, Um3, and Huom (syöttö).
- KPLIN TYYPI:** Radio buttons for 'Vapaa', 'Pyöise', 'Pukki', 'Suorakaide', and 'Pukiregimentti'.
- TULOKSET:** A table showing test results for various parameters.
- SYÖTTÖTIEDOT:** A table showing input data for the test.

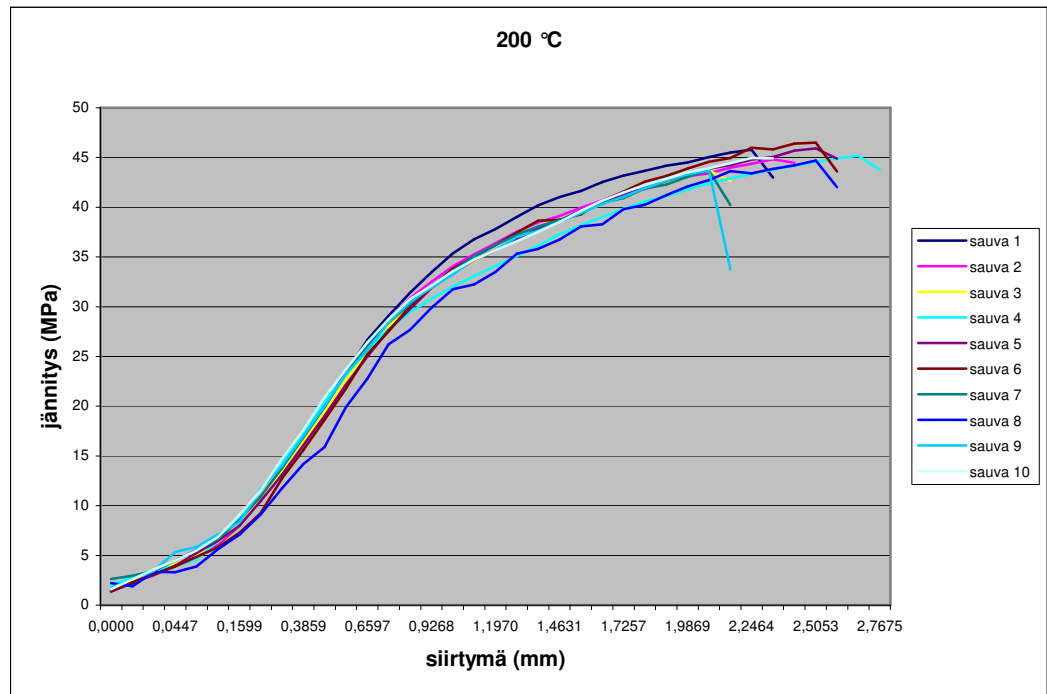
Murtoluoma	F	KN	0.262
Jännitys	f <sub>m</sub>	N/mm <sup>2</sup>	2.405
Alämpinnoitaja	Rel	N/mm <sup>2</sup>	
Ylempinnoitaja	ReH	N/mm <sup>2</sup>	
Kinnoitaja	Ec	N/mm <sup>2</sup>	5279
Korrelaatiokerroin	Kor.		0.9166
Murtoväyryys	A	%	
Huom (syöttö)			

Nimi	a	b	d	D	Du	So	Lc	Lo	Lu	Le	F	f <sub>m</sub>	Rel	ReH	Ec	Kor.	Rp1	Rp2	Rp3	n	A	Z	t	Um3	Huom (syöttö)
1	14.71	24.71				365.1	125.0	50.00			0.252	0.605											2.0°		
2	4.00	10.00				40.00	125.0	50.00			0.262	2.405			5279	0.916							1.7°		
3	1.70	23.01				39.12	150.0	75.00	111.0	100.0	18.75	460.5			5559	0.930	377.5	380.2	381.6	0.156	48.00				
4	5.72	19.01				109.0	125.0	50.00			0.512	4.695													
1					19.00	283.5	150.0	75.00		100.0	43.21	395.5			9285	0.996							4° 3.5'		

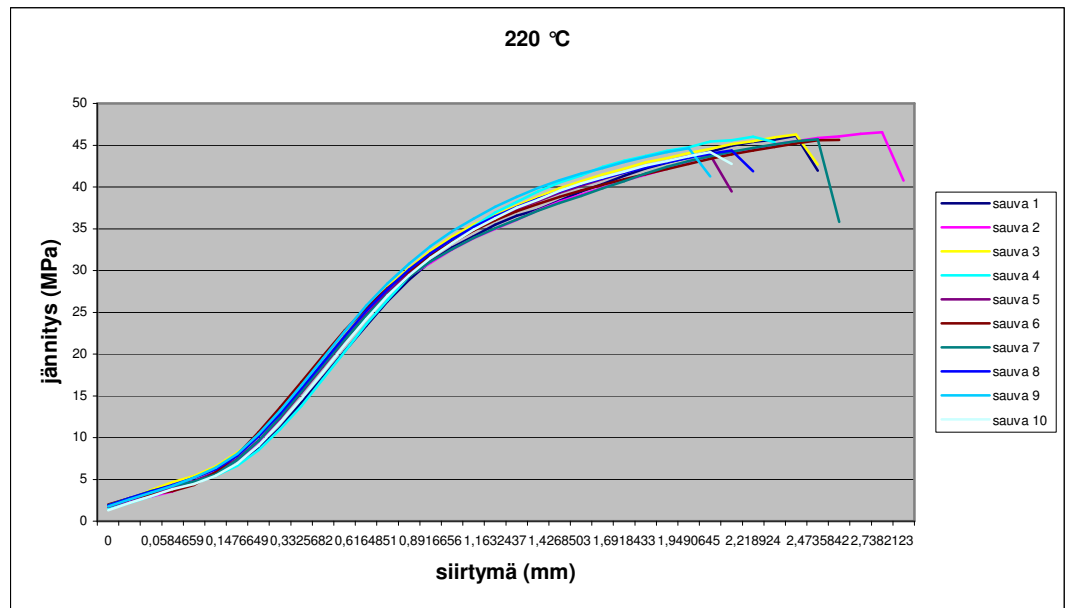
KUVIO 11. Vetokoneen asetusarvot



KUVIO 12. Kuviossa on kaikkien 180 °C:ssa ruiskuvalettujen sauvojen vetolujuudet näkyvissä jännitys-siirtymä-käyränä

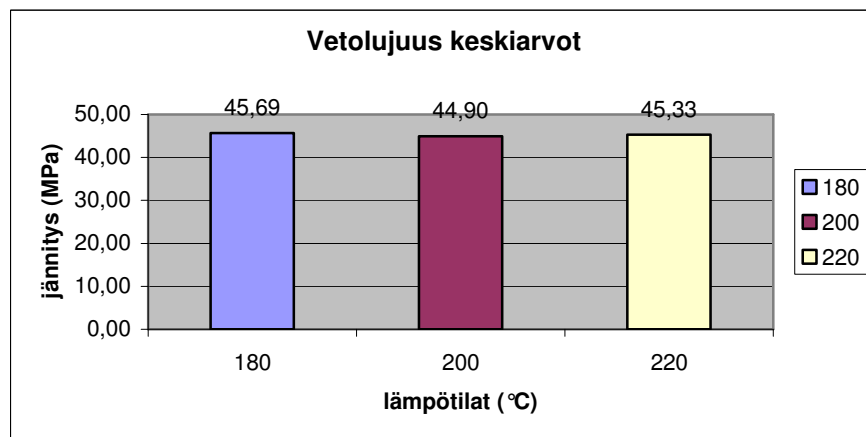


KUVIO 13. Kuviossa on kaikkien 200 °C:ssa ruiskuvalettujen sauvojen vetolujuudet näkyvissä jännitys-siirtymä-käyränä



KUVIO 14. Kuviossa on kaikkien 220 °C:ssa ruiskuvalettujen sauvojen vetolujuudet näkyvissä jännitys-siirtymä-käyränä

Kuviosta 15 voidaan nähdä, että erot lämpötilojen välillä ovat olemattomat. Kaikki näyttävät kestävän vetolujuutta yhtä hyvin. Vetolujuustestit eivät antaneet samanlaisia selkeitä tuloksia kuin iskulujuustestit.



KUVIO 15. Vetolujuuskeskiarvot



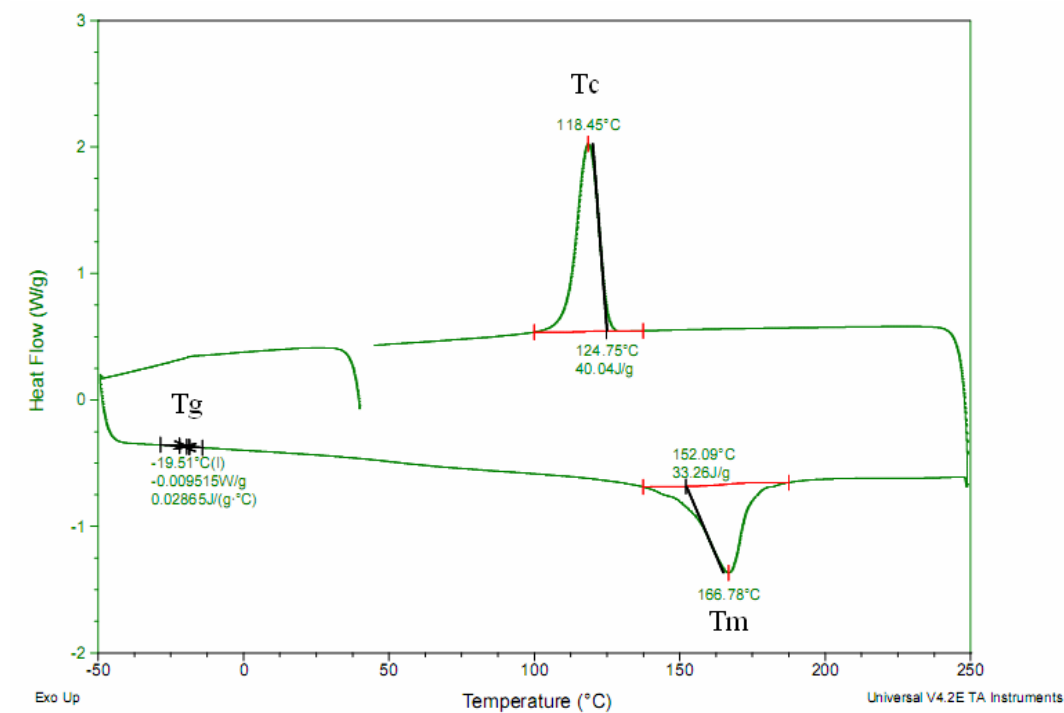
#### 4.4 DSC:n tulokset

Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetri ei ollut entuudestaan kovin tuttu. Tämän takia tutustumiseen meni aikaa muita laitteita kauemmin. Kone laitettiin lämpenemään ja samalla avattiin tietokoneohjelma, johon tutustuttiin ohjekirjan avulla. Tämän jälkeen avattiin kaasuhanat, jossa kaasuna oli typpeä. Kaasun virtausnopeus asetettiin 50 ml/min. Koneen lämpeneminen kesti noin 30 minuuttia, joten tässä vaiheessa oli hyvää aikaa vuolla testattavista koesauvoista palasia. Tarkkojen arvojen saamiseksi jokaisesta kappaleesta vuolttiin aina samasta kohtaa palanen, minkä jälkeen ne punnittiin erittäin tarkalla vaa'alla. Näytteen paino syötettiin tietokoneohjelmaan ja samalla varmistettiin aina, että oikeat asetukset ovat pysyneet siellä. Seuraavaksi näyte asetettiin alumiinikuppiin, joita oli kaksi. Toinen kupeista toimi referenssinä, joten se oli tyhjä. Referenssi tarkoittaa sitä, että näytettä verrataan siihen. Ohjelma sisälsi erilaisia vaiheita, joiden suunnittelussa täytyi olla tarkkana. Testattavia asioita oli kolme: sulamispisteen määrittäminen, oksidaatio ja puhtaan pelletin testaus lämpötiloissa 180, 200 ja 220 °C. Ensimmäisen testin vaiheet ja lämpötilat olivat seuraavat:

- alkulämmitys 40 °C:seen
- Ramp 20 °C/min to -50 °C
- Ramp 20 °C/min to 250 °C
- Ramp 20 °C/min to 40 °C.

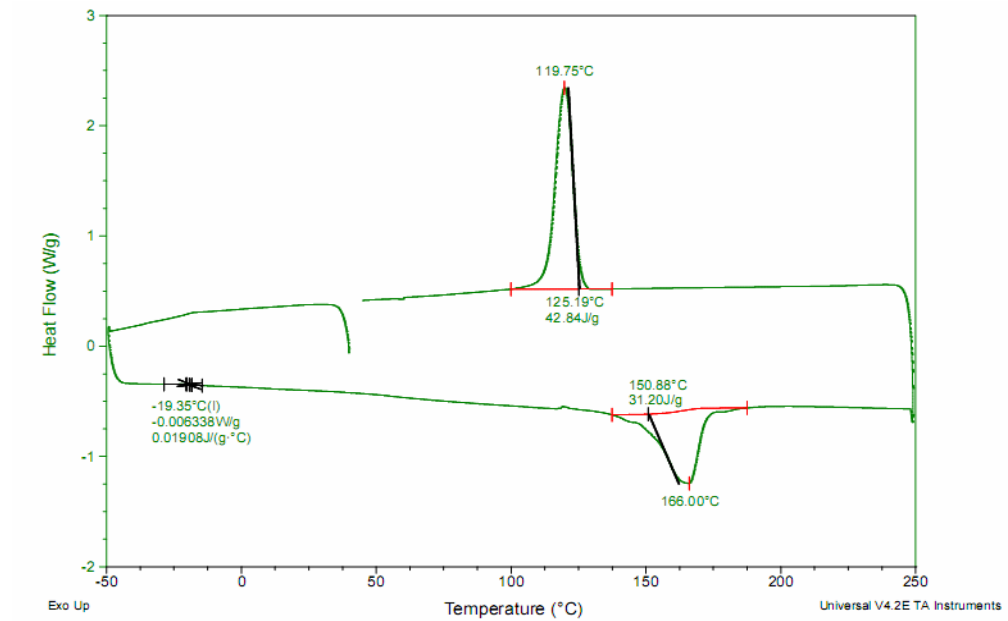
Ramp-vaiheista näkyy että aluksi kone lämmitetään 40 °C:seen. Tämän jälkeen kone alkaa jäähdyttää uunia -50 °C asti 20 °C/minuutti. Tällä tavoin mennään koko kierto loppuun asti ja tulokset ovat valmiita.

Kuviossa 16 on kuvattu näytteen (180 °C) kierto, josta näkyy  $T_m$  sulamispiste 166,78 °C,  $T_g$  lasisiirtymälämpötila -19,51 °C ja  $T_c$  cristallaatio 118,45 °C. Näytteen paino = 4,4 mg.



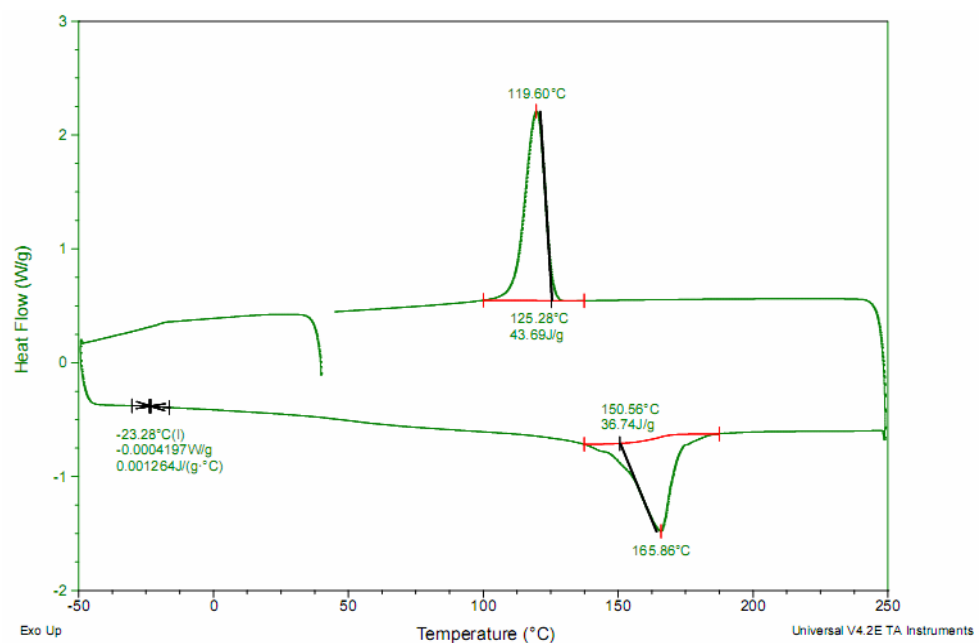
KUVIO 16. Kuviossa on nähtävissä 180 °C:ssa ruiskuvalutun sauvan testitulokset

Seuraavassa kuviossa (kuvio 17) on kuvattu näytteen (200 °C) kierto. Jos tätä verrataan edelliseen, niin kovin paljoa ei eroja löydy,  $T_m$  (166,00 °C) on lähes sama kuin edellisessä. Myös  $T_g$  (-19,35 °C) ja  $T_c$  (119,75 °C) ovat samankaltaisia. Näytteen paino = 7,0 mg.



KUVIO 17. Kuviossa on nähtävissä 200 °C:ssa ruiskuvaletun sauvan testitulokset

Seuraavassa kuviossa (kuvio 18) on kuvattu näytteen (220 °C) kierto. Näytteen paino = 5,7 mg. Edellisiin verrattaessa voidaan kuviosta havaita, että vain  $T_g$  ( $-23,28^{\circ}\text{C}$ ) on muuttunut jonkin verran.  $T_m$  ( $165,86^{\circ}\text{C}$ ) ja  $T_c$  ( $119,60^{\circ}\text{C}$ ) ovat lähellä edellisiä tuloksia.

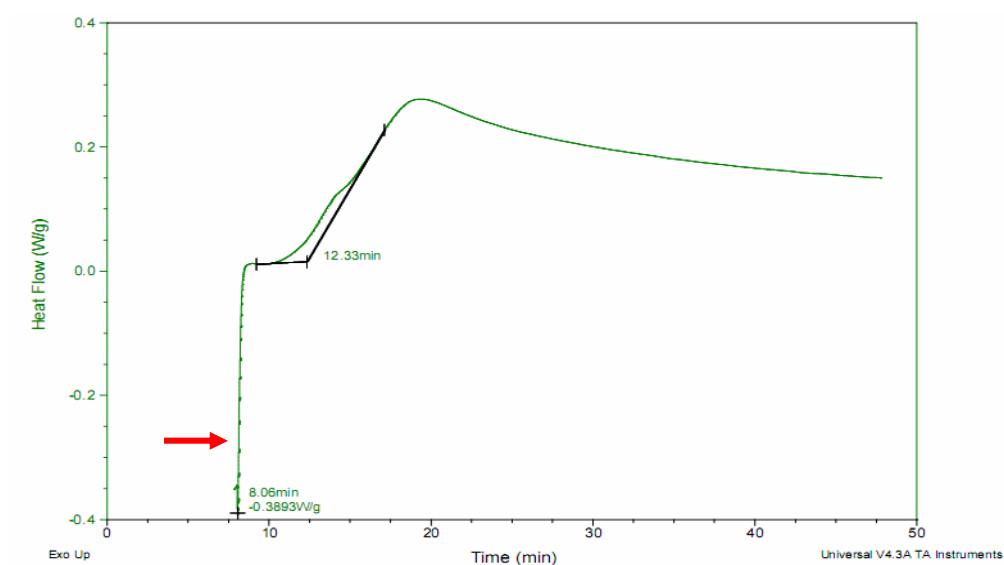


KUVIO 18. Kuviossa on nähtävissä 220 °C:ssa ruiskuvaletun sauvan testitulokset

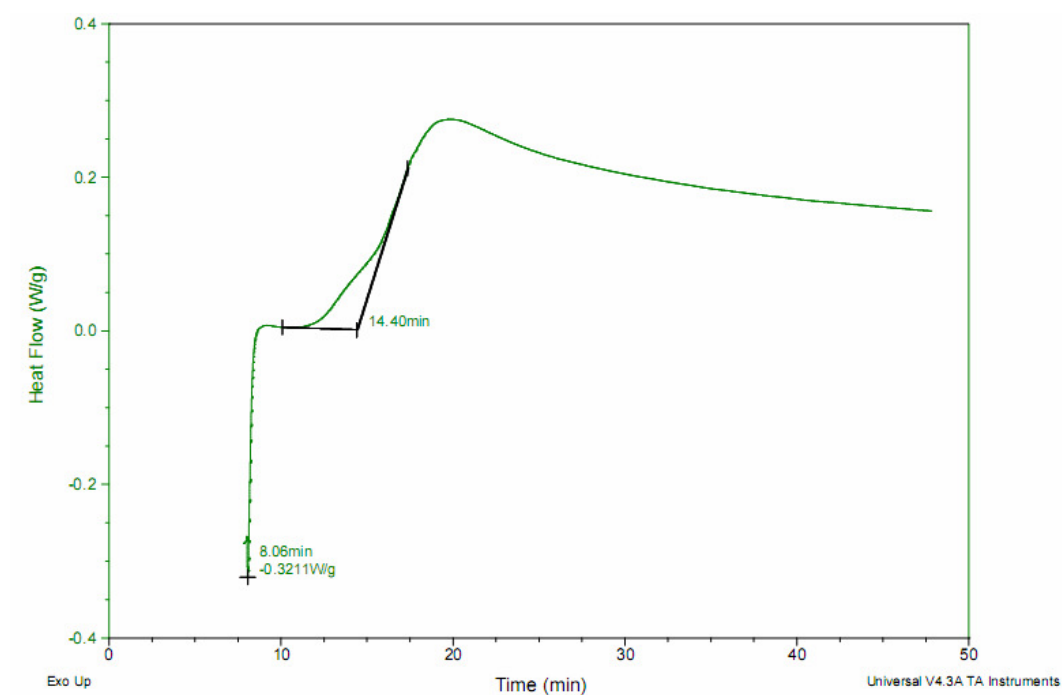
Toisen testin idea oli se, että eri lämpötiloissa ruiskuvaletut sauvat testattaisiin kaikki samassa lämpötilassa. Lämpötilaksi valittiin 200 °C. Nämä testit tehtiin OIT-menetelmällä, ja asetukset olivat seuraavat:

- Data storage OFF
- Ramp 20 °C/min to 180 °C
- Gas selection 2 (TYPPI)
- Data storage ON
- Isothermal for 60 min
- Gas selection 1 (ILMA)

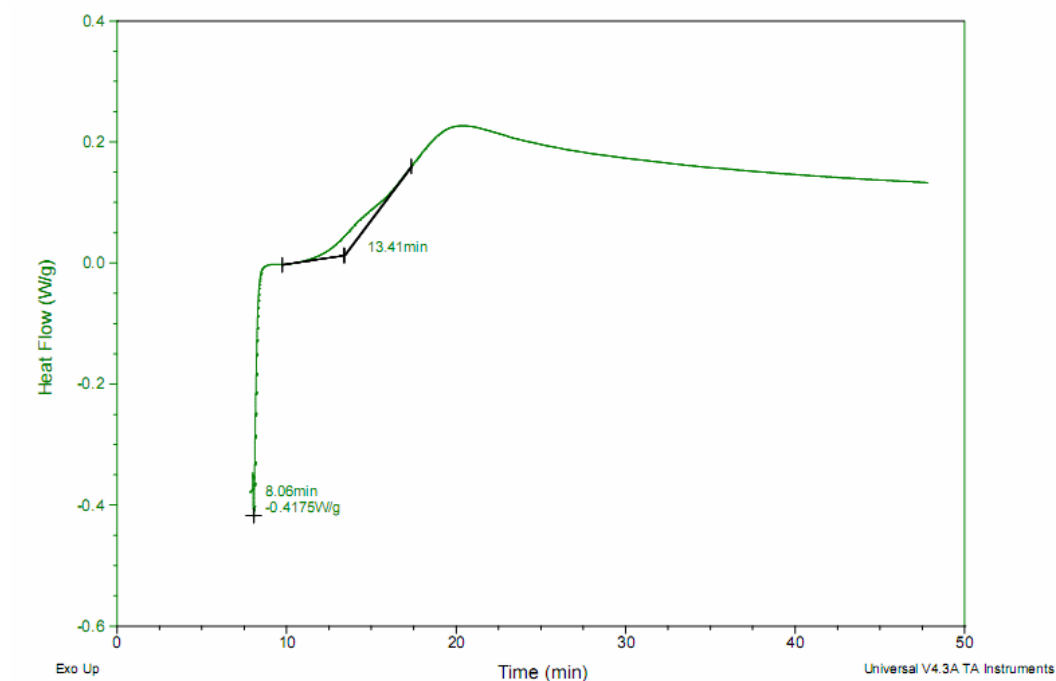
OIT-menetelmällä (Oxidative Induction Time) määritetään hapetuskestävyys. Kuten kierrosta voidaan havaita, niin käytössä on kahta kaasua, ilmaa ja typpeä. Sulaminen on jätetty kokonaan pois datan tallentamisesta käskyllä Data storage OFF ja sulamisen jälkeen se on mennyt päälle Data storage ON -komennolla. Näytettä lämmitetään inaktiivisessa atmosfäärissä lämmitysnopeudella 20 °C/min lämpötilaan 180 °C. Tämän jälkeen typpi vaihdetaan hapeksi. Mittaus on isotermistä 60 minuuttia. Tämä aika on määritetty 60 minuutiksi sen takia, että hapettuminen näkyy varmasti testituloksissa. Isotermi alkaa punaisen nuolen osoittamasta kohdasta. Kuvioissa 19, 20 ja 21 näkyvät OIT-tulokset. Alla olevista kuvioista voidaan havaita, että nämä kolme lämpötilan hapetuskestävyydet eivät poikkea juurikaan toisistaan. Hapetusaika saadaan laskettua vähentämällä kuviossa näkyvä suurempi aika pienemmällä. Pienempi aika kuvaa aikaa, jolloin typpi vaihtuu hapeksi.



KUVIO 19. OIT-tulokset on saatu 180 °C:ssa ruiskuvaletun kappaleen näytepalas-  
ta, jonka paino on 5,1 mg. Hapetusaika on 4,27 minuuttia.

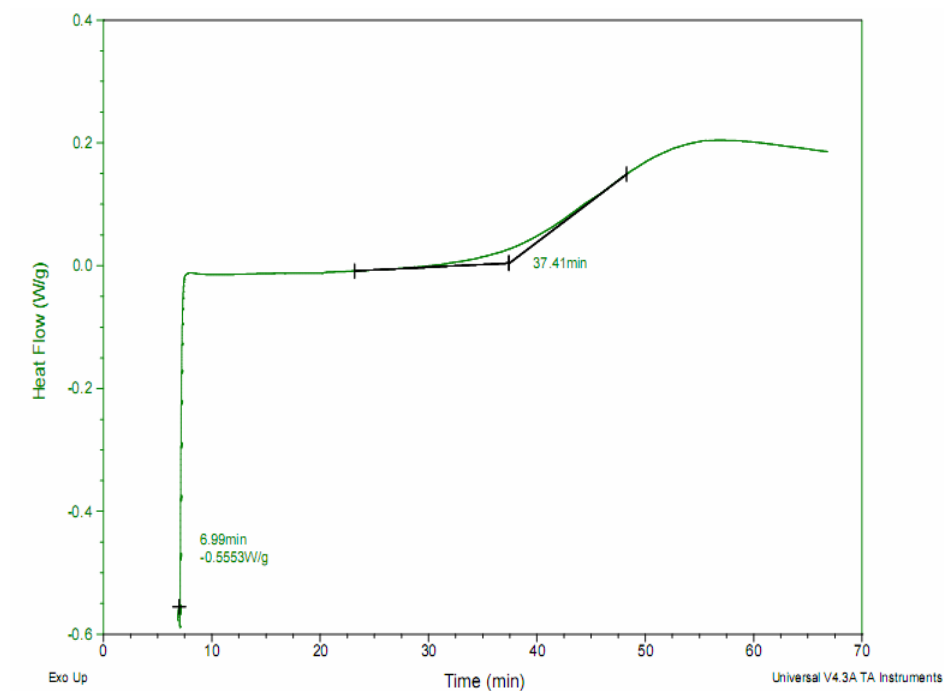


KUVIO 20. OIT-tulokset on saatu 200 °C:ssa ruiskuvaletun kappaleen näytepalas-  
ta, jonka paino on 5,6 mg. Hapetusaika on 6,34 minuuttia.



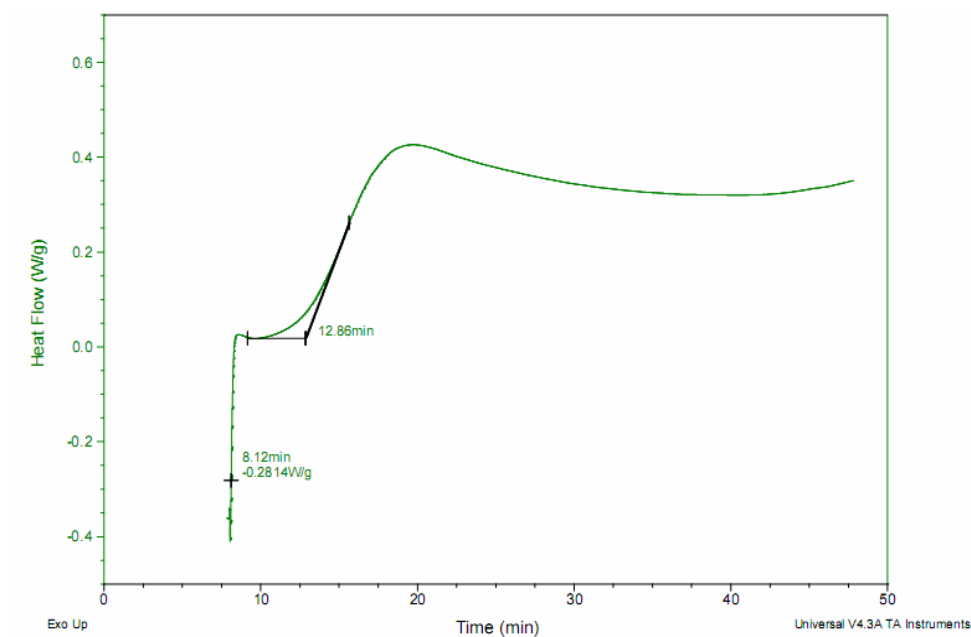
KUVIO 21. OIT-tulokset on saatu 220 °C:ssa ruiskuvaletun kappaleen näytepalas-  
ta, jonka paino on 5,5 mg. Hapetusaika on 5,35 minuuttia.

Viimeinen DSC:llä suoritettava testi oli puhtaan pelletin (Kareline®PPMS5050) testaaminen OIT-menetelmällä. Nämä testataan eri lämpötiloissa sen takia, että voitaisiin verrata näitä tuloksia ruiskuvalettujen näytteiden kanssa. Nämä tehtiin lämpötilaa lukuun ottamatta samoilla asetuksilla kuin edellinen testi. Näyte 1 testattiin lämpötilassa 180 °C. Kuviossa 22 näkyvät testitulokset. Kuten kuviosta voidaan havaita, hapetusaika on todella paljon pidempi kuin suuremmissa lämpötiloissa (kuvio 23, 24) testatut näytteet.



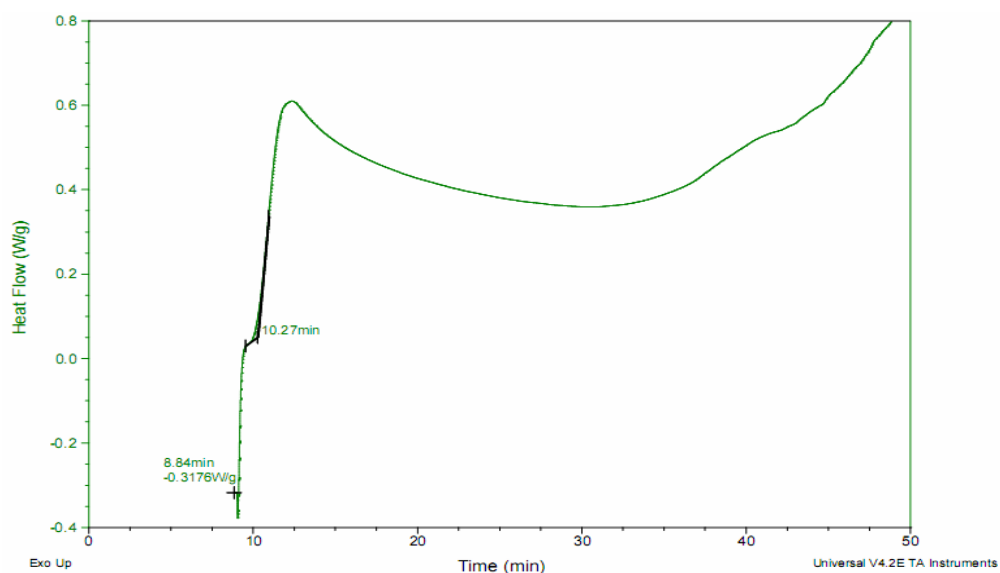
KUVIO 22. Näyte 1:n paino on 5,0 mg ja OIT-tulokset on saatu lämpötilassa 180 °C. Hapetusaika on 30,42 minuuttia.

Näyte 2 on testattu lämpötilassa 200 °C. Kuviossa 23 voidaan tarkastella testikäyrää, ja verrattaessa edelliseen kuvioon, siitä voidaan tehdä sellaisia johtopäätöksiä, että näiden kahden lämpötilan (180...200 °C) välillä hapetusaika lyhenee huomattavasti.



KUVIO 23. Näyte 2:n paino on 5,2 mg ja OIT-tulokset on saatu lämpötilassa 200 °C. Hapetusaika on 4,74 minuuttia.

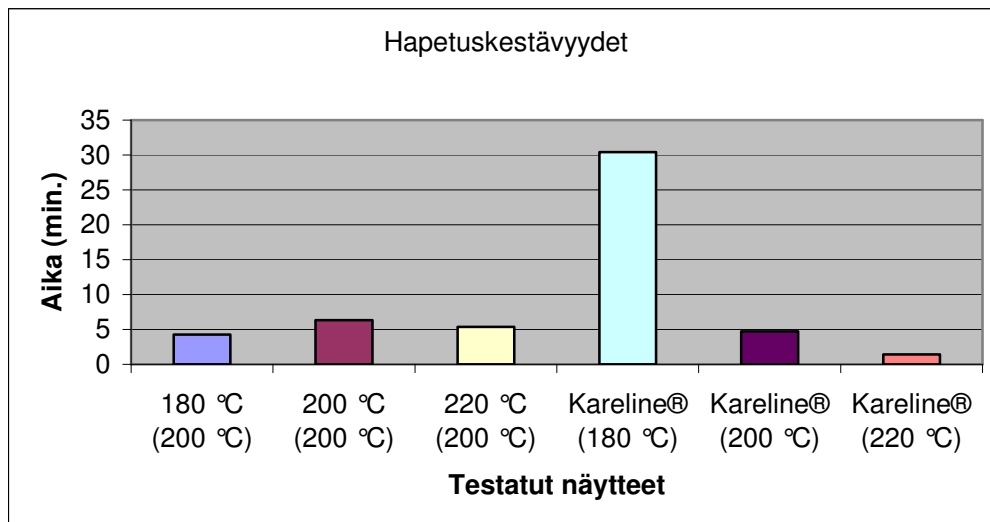
Näyte 3 on testattu lämpötilassa 220 °C. Kuviossa 24 on esitetty näytteen tulokset, joista voidaan havaita se, että mitä suuremmalla lämpötilalla materiaalia testataan, sitä nopeammin se hapettuu.



KUVIO 24. Näyte 3:n paino on 5,3 mg ja OIT-tulokset on saatu lämpötilassa 220 °C. Hapetusaika on 1,43 minuuttia.



Kuviossa 25 on havaittavissa kaikkien näytteiden hapetuskestävyydet. Suluissa olevat lämpötilat ovat ne lämpötilat joissa testit ovat tehty. Selkeästi suurin hapetuskestävyys on 180 °C:ssa testatulla Kareline®-näytteellä.

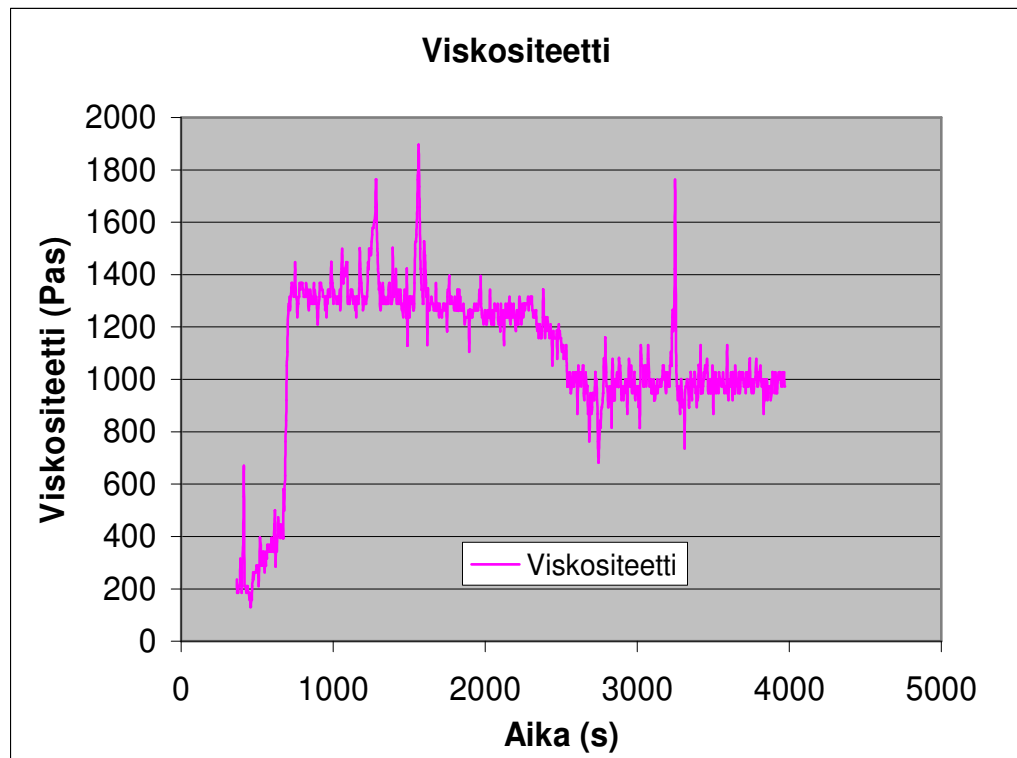


KUVIO 25. Kaikkien OIT-menetelmällä testattujen näytteiden hapetuskestävyydet

#### 4.5 Reometrin tulokset

Reometrilla haluttiin tutkia yleisesti tätä materiaalia, joten tässä testauksessa käytettiin pelkkiä pellettejä. Testeissä käytettiin suutinta, jonka sisähalkaisija oli 1,5 mm ja ulkohalkaisija 24 mm. Suuttimen pituus oli 16 mm. Kuviossa 26 on mitattu viskositeetti (Pas) ajan funktiona (s).

Lämmitys alkaa 0 sekunnista, jonka aikana materiaali tiivistyy männässä. Varsinainen mittausta alkaa noin 770 sekunnin kohdalla. Kuviosta voidaan päätellä, että viskositeetti pysyy noin 1400:ssa suunnilleen 2400 sekuntiin asti, jolloin tapahtuu viskositeetin äkillinen lasku ja viskositeetti putoaa 1000:een.



KUVIO 26. Reometrilla on saatu viskositeettikäyrä, jossa viskositeetti laskee 2400 sekunnin kohdalla huomattavasti ja materiaalista tulee silloin juoksevampaa

#### 4.6 Testit optimiarvoilla

Optimiarvoilla ajettujen kappaleiden kohdalla meneteltiin vähän toisin kuin muiden testikappaleiden. Näillä testeillä haluttiin selvittää sitä, miten kappaleiden ominaisuuksiin vaikuttaa se, että ne ovat 100 °C:ssa uunissa ja 100 °C:ssa vedessä 2 tuntia. Lisäksi vertailun vuoksi oli ns. normaalisauva, jolle ei ollut tehty mitään toimenpiteitä ruiskuvalun jälkeen. Valmistajan suosittelemat arvot näkyvät alla olevassa taulukossa 6.

Muut arvot, joita taulukossa ei näy, pysyivät samana kuin edellisten sauvojen arvot taulukossa 1.

## TAULUKKO 6. Valmistajan suosittelemat ajoarvot

## OPTIMIARVOT

Materiaalin kuivaus ennen ruiskuvalua kuivailmakuivurissa +100 °C/4h tai +80 °C/10h

Koneen lämpötilaprofiili +200/200/195/190/180 °C

Suuri ruiskutusnopeus

Ruiskutuspaine &lt;1000 bar

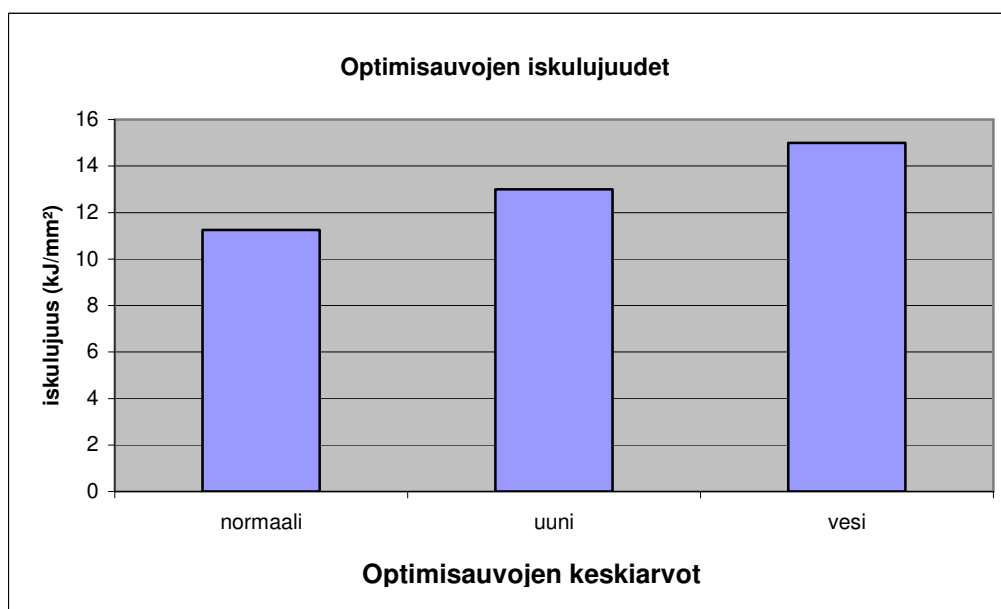
Muotinlämpötila +50...70 °C

Kun sauvat oli ruiskuvalettu, niiden annettiin jäähtyä noin tunnin. Tämän jälkeen ne merkattiin hyvin ja punnittiin vaa'alla. Punnitus tehtiin sen takia, että saataisiin selville, imeekö sauva kosteutta, kun sitä keittää vedessä ja toisaalta taas, häviääkö siitä kosteutta, kun se on uunissa. Testattavana oli siis 9 sauvaa, joista 3 sauvaa laitettiin kiehuvaan veteen kahdeksi tunniksi. Toiset 3 sauvaa laitettiin uuniin 100 °C:seen myös kahdeksi tunniksi. Kolmelle viimeiselle sauvalle ei tehty mitään toimenpiteitä. Taulukossa 7 on merkitty sauvojen paino ennen ja jälkeen toimenpiteiden. Tulokset ovat odotettuja, eli vedessä olleet sauvat imivät kosteutta itseensä ja näin ollen paino kasvoi. Toisaalta taas uunissa olleet sauvat haihduttivat pääsääntöisesti kosteutta, mutta myös muita aineita saattoi haihtua. Uunissa olleet sauvat kevenivät.

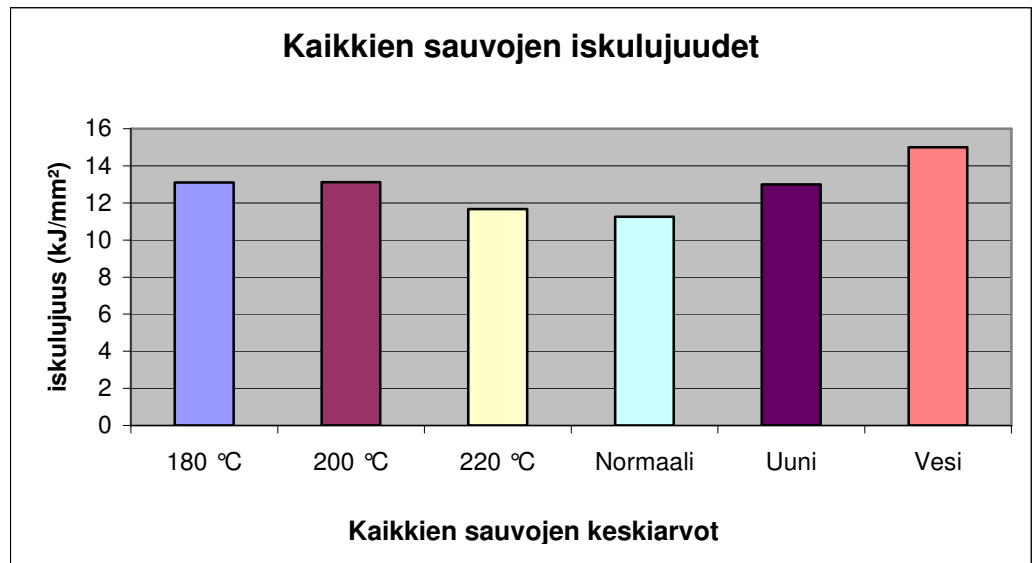
## TAULUKKO 7. Punnitustulokset uunissa/vedessä olon ennen ja jälkeen

Vesi 100 °C	Ennen (mg)	Jälkeen (mg)	Erotus (mg)	+/-	%
Sauva 1	10104,6	10191,4	86,8	+	0,86
Sauva 2	10100,6	10183,3	82,7	+	0,82
Sauva 3	10142,5	10231,5	89	+	0,88
Uuni 100 °C					
Sauva 4	10109,6	10092,1	17,5	-	0,17
Sauva 5	10119,8	10102,7	17,1	-	0,17
Sauva 6	10141,2	10126,9	14,3	-	0,14

Seuraavana testinä oli iskulujuus. Iskulujuus tehtiin 3 sauvalle (vesi, uuni ja normaali). Kuviossa 27 on vertailtu näiden kolmen sauvan iskulujuuksia keskenään. Kuvioista voidaan helposti todeta, että selvästi sitkein sauva on vedessä keitetty sauva. Toiseksi kestävin on uunissa ollut sauva ja viimeiseksi näissä vertailuissa jää normaali sauva. Haluttiin kuitenkin vielä nähdä se, miltä näyttää, jos kaikki sauvat laitetaan keskenään vertailuun. Kuviossa 28 on esitetty kaikkien sauvojen iskulujuudet. Näyttää vahvasti siltä, että vedessä keitetty sauva olisi kaikkein iskusitkein. Täytyy muistaa se, että kappale ei ollut enää märkä tehtäessä tätä testiä, vaan sen oli annettu kuivua luonnollisesti pari päivää. Tämä toimenpide tehtiin sen takia, että haluttiin tutkia, tekeekö vesi jotain pysyviä muutoksia kappaleeseen vai palautuuko kappale normaaliksi kuivuttuaan. Ilmeisesti vesi teki pysyviä vaikutuksia kappaleeseen. Tällä vedessä keitetyn sauvan iskulujuudelle voi löytyä kylläkin tekninen selitys. Voi olla, että kappale alkoi kuumassa vedessä kiteytyä tai havusellukuidut turposivat suuremmiksi ja ehkä tämä sitoi matriisin ja kuidut paremmin toisiinsa.

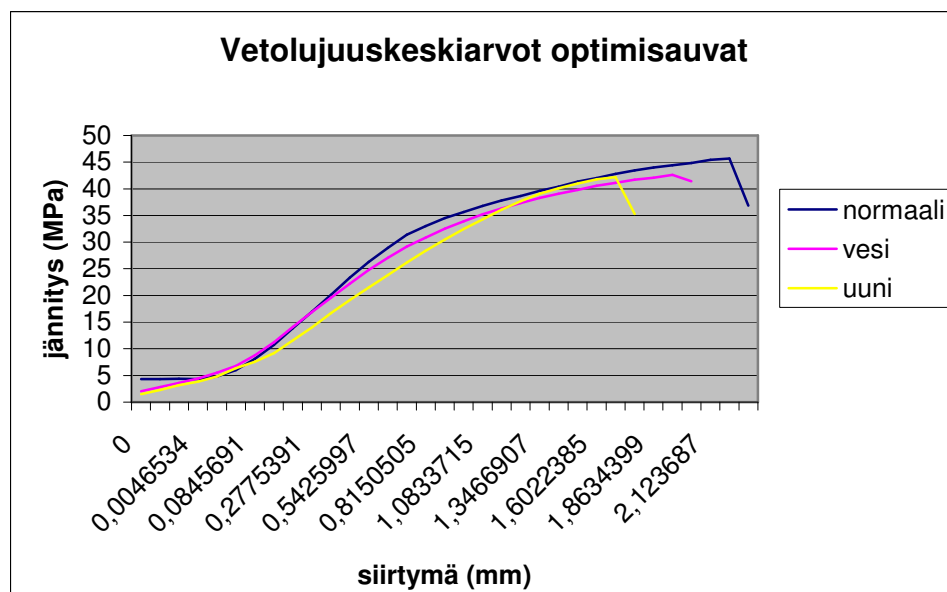


KUVIO 27. Optimisauvoilla testatuista iskulujuuksista vedessä keitettyillä sauvoilla oli paras iskulujuus



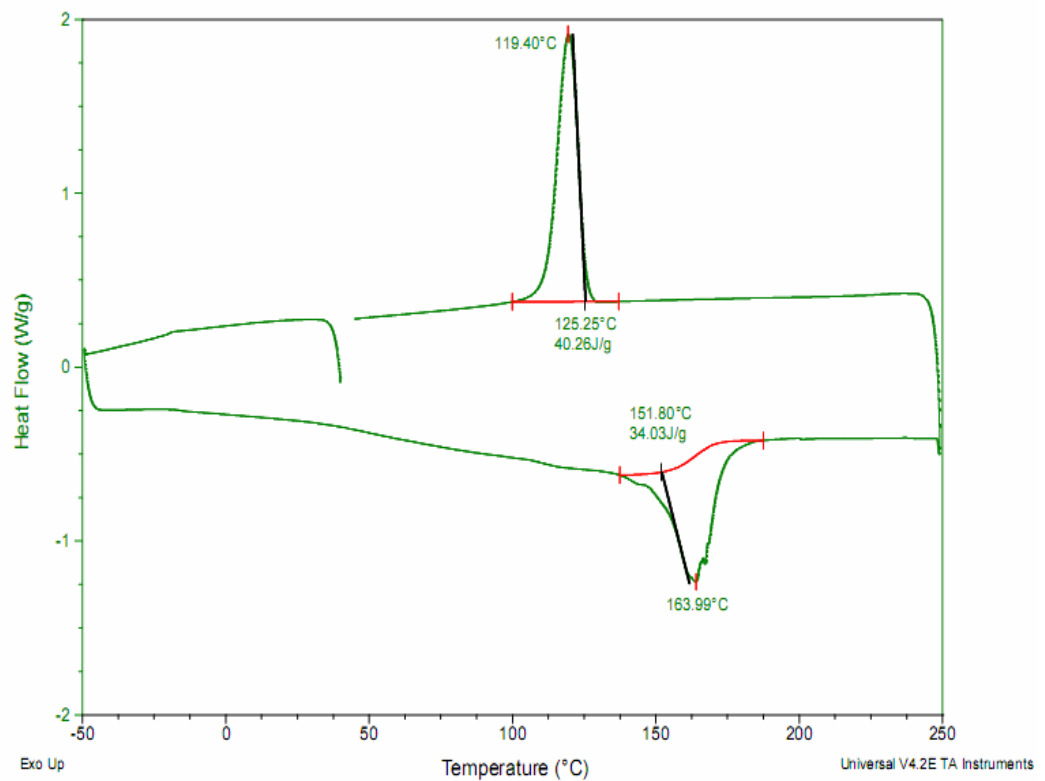
KUVIO 28. Kaikkien sauvojen keskiarvotulokset ovat vertailussa. Vedessä keitetyt sauvat ovat myös tässä vertailussa iskulujuudeltaan parhaimpia

Seuraavana vuorossa oli vetolujuuden testaus. Kuvio 29:n perusteella voidaan tehdä havainto, joka osoittaa sen, että optimisauvoista normaalisauvalla on paras vetolujuus. Vesi- ja uunisauva ovat veto-ominaisuuksiltaan aika tasaisia, mutta vesisauvan siirtymä on hivenen pidempi.



KUVIO 29. Kuviossa ovat optimisauvoilla testatut vetolujuudet

Optimisaivoille ei ollut tarkoitus tehdä enää muita testejä, mutta iskulujuudessa havaittu asia jäi mietityttämään sen verran, että sille tehtiin vielä testi DSC:llä. Tällä haluttiin selvittää, pitikö arvio kiteytymisestä paikkansa eli onko kappale alkanut lämmitessään kiteytyä uudelleen (jälkikiteytyminen). Kuviossa 30 on vesisauvan testitulokset. Näytteen paino on 6,2 mg. Kiteytymisasteesta voidaan päätellä se, että testitulos ei tukenut teoriaa kiteytymisestä. Kiteytymisaste ei juuri eroa muiden testattujen näytteiden kiteytymisasteesta.



KUVIO 30. Kuviossa on vedessä keitetyn sauvan DSC-testitulokset

## 5 YHTEENVETO

Aluksi mainittakoon, että tämän opinnäytetyön tekeminen oli erittäin mielenkiintoista sen vuoksi, että tutkittu materiaali oli ainakin Lahden ammattikorkeakoulun toimesta testaamaton. Materiaalina puukuitulujitettu polypropeeni oli aivan uusi ja se toi lisää haasteita tutkimuksissa. Tulevaisuudessa puukuitulujitteiset muovit lisääntyvät melko varmasti. Hyvien mekaanisten ominaisuuksien takia käyttökohteitakin alkaa tulla koko ajan enemmän.

Mielestäni testit onnistuivat melko hyvin, vaikka en saanut aivan niin selviä tuloksia kuin olin odottanut, mutta ovat ne kuitenkin suuntaa antavia. Testeissä eniten jäi harmittamaan ruiskuvaluvaiheessa tapahtunut materiaalin holvaantuminen. Sen olisin toivonut hoituvan paremmin, sillä työelämässä tällä tyylillä valmistettaessa kappaleita olisi kone sitonut kaksi ihmistä. Toinen pitäisi huolen siitä, että ruuvi saa materiaalia, ja toinen hoitaisi konetta ja tarkastelisi kappaleita. Mielestäni tutkimustuloksiani voitaisiin hyödyntää mahdollisissa jatkotutkimuksissa. Nämä tulokset antavat kuitenkin jonkinlaista suuntaa ja siitä on vaivattomampaa lähteä tekemään lisätutkimuksia haluttuun suuntaan. Tarkemmat testimenetelmät ja suuremmat testikappalemäärät antaisivat varmasti tarkempia tuloksia ja niistä olisi helpompaa päätellä, mitä todellisuudessa kappaleen rakenteessa tapahtuu. Toivon myös, että tämä työ herättää kiinnostusta niin oppilaissa kuin opettajissakin ja avartaa kokonaiskuvaa yleisesti puukuitulujitteisista muoveista.

## LÄHTEET

Alava, V. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.3.2007]. Saatavissa:  
<http://users.utu.fi/vaalav/luettavaa/gradu.pdf>

Clemons, G. 2000. Wood-plastic composites in United States. Forest ProductsJournal 6/2002, 10 - 18.

Empire West INC. 2004 [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.4.2007]. Saatavissa:  
[http://www.empirewest.com/info\\_resources/izodimpacttest.gif](http://www.empirewest.com/info_resources/izodimpacttest.gif)

Heikkinen, R. 2006 - 2007. Laboratorioinsinööri. Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan laitos. Keskustelut.

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 1999. Ruiskuvalu. Tampere: Plastdata Oy.

Kareline Oy Ltd. 2006. Kareline komposiittien soveltuvuus ja tyypillisiä käyttökohteita [verkkojulkaisu]. [viitattu 17.4.2007]. Saatavissa:  
[http://www.kareline.fi/data/tuotteet/kareline\\_sovelluksia.pdf](http://www.kareline.fi/data/tuotteet/kareline_sovelluksia.pdf)

Kareline Oy Ltd. 2007. Luonnonkuitulujitettu polypropeenikomposiitti [verkkojulkaisu]. [viitattu 9.2.2007]. Saatavissa:  
[http://www.kareline.fi/data/tuotteet/mds\\_kareline\\_ppms\\_fin.pdf](http://www.kareline.fi/data/tuotteet/mds_kareline_ppms_fin.pdf)

Koto, T. & Tiisala, S. 2004. Muovi + puu. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu.

Kulju, A. 1965. Muovien teknologia. Porvoo: WSOY.

MatWeb material property data. 1996 - 2007 [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.4.2007]. Saatavissa: [http://www.matweb.com/images/izod\\_apparatus.gif](http://www.matweb.com/images/izod_apparatus.gif)



Peltonen, H. 2007. Polymeerien mekaaninen murtuminen [verkkajulkaisu]. Tampereen teknillinen yliopisto [viitattu 15.4.2007]. Saatavissa:  
[http://www.tut.fi/plastics/liitteet/MOL6600/MOL6600\\_luento5.pdf](http://www.tut.fi/plastics/liitteet/MOL6600/MOL6600_luento5.pdf)

Penn Plastics INC. 1999. Penn Express Quick Quote Service and FAQ [verkkajulkaisu]. [viitattu 31.3.2007]. Saatavissa:  
<http://www.pennplastics.com/faq.htm>

Rosato, D. 1995. Injection Molding Handbook. 2:nd edition. USA: Kluwer Academic Pub.

## LIITTEET

LIITE 1 Kareline®PPMS:n käyttökohteita

LIITE 2 Testituloksia (180 °C)

LIITE 3 Testituloksia (200 °C)

LIITE 4 Testituloksia (220 °C)

## LIITE 1

Kareline® puukuitukomposiittien käyttökohteita (Kareline Oy Ltd 2007).



## LIITE 2/1

## Ruiskuvalettujen kappaleiden (180 °C) vetokokeilla saatuja testituloksia

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,284676	0,051387	0	0	0	0	0
1	0,1	2,052264	0,082091	0,015108	-0,3437	0	0	-0,00376
2	0,2	2,511756	0,10047	0,0241	-0,34375	0	0	-0,00305
3	0,3	2,861625	0,114465	0,032646	-0,34366	0	0	-0,00552
4	0,4	3,735302	0,149412	0,051254	-0,3436	0	0	-0,00543
5	0,5	5,525205	0,221008	0,089672	-0,34362	0	0	-0,0027
6	0,6	8,011637	0,320465	0,143311	-0,3436	0	0	-0,00482
7	0,7	10,87936	0,435174	0,208324	-0,34355	0	0	-0,00369
8	0,8	14,13399	0,56536	0,284564	-0,34359	0	0	-0,00223
9	0,9	17,75326	0,71013	0,371528	-0,34368	0	0	-0,00149
10	1	21,31196	0,852478	0,464846	-0,34371	0	0	-0,00206
11	1,1	24,54405	0,981762	0,557475	-0,34363	0	0	-0,0033
12	1,2	27,43273	1,097309	0,649179	-0,34352	0	0	-0,00363
13	1,3	30,02482	1,200993	0,740258	-0,34354	0	0	-0,00326
14	1,4	32,32747	1,293099	0,829483	-0,34359	0	0	-0,00461
15	1,5	34,27522	1,371009	0,917384	-0,34359	0	0	-0,0043
16	1,6	36,05551	1,44222	1,006122	-0,34366	0	0	-0,00399
17	1,7	37,59496	1,503798	1,095817	-0,34373	0	0	-0,00312
18	1,8	38,87903	1,555161	1,183442	-0,34372	0	0	-0,00416
19	1,9	40,0515	1,60206	1,271713	-0,34365	0	0	0,000357
20	2	41,05999	1,6424	1,356703	-0,34363	0	0	-0,00238
21	2,1	41,87616	1,675046	1,445671	-0,34367	0	0	-0,00166
22	2,2	42,64547	1,705819	1,532447	-0,34372	0	0	-0,00382
23	2,3	43,38565	1,735426	1,620495	-0,34365	0	0	-0,00179
24	2,4	43,94422	1,757769	1,707997	-0,34358	0	0	-0,0051
25	2,5	44,41004	1,776402	1,794294	-0,34351	0	0	-0,00395
26	2,6	42,002	1,68008	1,881594	-0,34355	0	0	-0,00487

## LIITE 2/2

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	2,2815	0,09126	0	0	0	0	0
1	0,1	2,845403	0,113816	0,011193	-0,34416	0	0	-0,05187
2	0,2	3,803692	0,152148	0,030091	-0,34427	0	0	-0,04827
3	0,3	4,138789	0,165552	0,054884	-0,34439	0	0	-0,04776
4	0,4	5,321236	0,212849	0,059811	-0,34391	0	0	-0,03409
5	0,5	6,229729	0,249189	0,08676	-0,34455	0	0	-0,06026
6	0,6	8,444069	0,337763	0,134489	-0,34407	0	0	-0,02937
7	0,7	10,84337	0,433735	0,201612	-0,34417	0	0	-0,02782
8	0,8	13,90264	0,556105	0,258569	-0,34408	0	0	0,007962
9	0,9	17,53536	0,701414	0,338196	-0,34377	0	0	-0,05686
10	1	21,50265	0,860106	0,436693	-0,34298	0	0	0,020572
11	1,1	24,10143	0,964057	0,536912	-0,34412	0	0	-0,02289
12	1,2	26,65336	1,066134	0,627329	-0,34431	0	0	-0,05136
13	1,3	29,65596	1,186238	0,718182	-0,34411	0	0	-0,03296
14	1,4	31,67602	1,267041	0,810554	-0,3442	0	0	-0,03444
15	1,5	33,50448	1,340179	0,894191	-0,34434	0	0	-0,03877
16	1,6	35,11571	1,404628	0,987807	-0,34406	0	0	-0,04226
17	1,7	36,49524	1,459809	1,069177	-0,34413	0	0	-0,04787
18	1,8	37,52211	1,500884	1,163214	-0,34446	0	0	-0,0417
19	1,9	38,42376	1,53695	1,248932	-0,34459	0	0	-0,03643
20	2	39,42551	1,577021	1,337893	-0,34424	0	0	-0,04693
21	2,1	40,26967	1,610787	1,427257	-0,34416	0	0	-0,05
22	2,2	40,93394	1,637357	1,515994	-0,34423	0	0	-0,04386
23	2,3	41,47215	1,658886	1,596253	-0,3445	0	0	-0,04333
24	2,4	42,03901	1,68156	1,688355	-0,34432	0	0	-0,03061
25	2,5	42,5426	1,701704	1,773147	-0,34444	0	0	-0,03633
26	2,6	42,93199	1,71728	1,859832	-0,34469	0	0	-0,03628
27	2,7	43,53306	1,741322	1,953501	-0,3441	0	0	-0,03589
28	2,8	43,83568	1,753427	2,041578	-0,3443	0	0	-0,04467
29	2,9	44,12987	1,765195	2,126367	-0,34432	0	0	-0,04126
30	3	44,61216	1,784486	2,202912	-0,34417	0	0	-0,04152
31	3,1	45,01082	1,800433	2,286915	-0,34433	0	0	-0,04263
32	3,2	45,34464	1,813786	2,380426	-0,34421	0	0	-0,03845
33	3,3	45,42388	1,816955	2,465739	-0,3442	0	0	-0,03802

## LIITE 2/3

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,891672	0,075667	0	0	0	0	0
1	0,1	2,482866	0,099315	0,022816	-0,34423	0	0	-0,01876
2	0,2	2,790007	0,1116	0,048694	-0,3446	0	0	-0,0037
3	0,3	3,349528	0,133981	0,042259	-0,34439	0	0	-0,01374
4	0,4	4,677076	0,187083	0,013454	-0,34445	0	0	-0,00453
5	0,5	6,227631	0,249105	0,107222	-0,34475	0	0	0,0015
6	0,6	8,469889	0,338796	0,130708	-0,3445	0	0	-0,00161
7	0,7	11,46547	0,458619	0,213176	-0,34449	0	0	-0,00617
8	0,8	14,0591	0,562364	0,283572	-0,34478	0	0	0,00724
9	0,9	17,30832	0,692333	0,320669	-0,34502	0	0	0,00482
10	1	21,06984	0,842793	0,435669	-0,34467	0	0	0,00146
11	1,1	24,50746	0,980299	0,477223	-0,34484	0	0	0,00461
12	1,2	27,27329	1,090932	0,65411	-0,34466	0	0	0,00801
13	1,3	29,04956	1,161982	0,720022	-0,34467	0	0	0,00124
14	1,4	30,58085	1,223234	0,840146	-0,34448	0	0	-0,00112
15	1,5	32,48391	1,299356	0,861627	-0,34462	0	0	0,01939
16	1,6	34,16924	1,36677	1,000453	-0,34472	0	0	-0,00223
17	1,7	35,53305	1,421322	1,079279	-0,34487	0	0	0,00288
18	1,8	36,97224	1,47889	1,151609	-0,34455	0	0	-0,0048
19	1,9	38,09334	1,523733	1,280504	-0,34463	0	0	-0,00418
20	2	39,15959	1,566384	1,345376	-0,34443	0	0	-0,01437
21	2,1	40,19177	1,607671	1,425143	-0,3447	0	0	-0,00225
22	2,2	41,03653	1,641461	1,520472	-0,34466	0	0	-0,00639
23	2,3	41,76887	1,670755	1,617539	-0,34475	0	0	-0,00253
24	2,4	42,1867	1,687468	1,690451	-0,34511	0	0	-0,02839
25	2,5	43,08439	1,723375	1,785001	-0,34501	0	0	-0,00746
26	2,6	43,7916	1,751664	1,870006	-0,34457	0	0	-0,00841
27	2,7	44,37356	1,774943	1,95608	-0,34452	0	0	0,0039
28	2,8	44,78438	1,791375	2,040819	-0,34505	0	0	0,01078
29	2,9	45,53665	1,821466	2,120111	-0,34454	0	0	-0,00453
30	3	46,11891	1,844756	2,205049	-0,34414	0	0	-0,00627
31	3,1	45,44971	1,817988	2,299906	-0,34488	0	0	-0,00613

## LIITE 2/4

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,70275	0,06811	0	0	0	0	0
1	0,1	2,621862	0,104874	0,036158	-0,345	0	0	0,028036
2	0,2	3,577616	0,143105	0,061537	-0,34492	0	0	0,013324
3	0,3	4,106471	0,164259	0,086502	-0,3447	0	0	0,015142
4	0,4	4,523651	0,180946	0,101664	-0,34478	0	0	0,018862
5	0,5	5,437548	0,217502	0,145927	-0,34504	0	0	0,010535
6	0,6	7,175355	0,287014	0,151279	-0,34481	0	0	0,011159
7	0,7	9,919339	0,396774	0,2061	-0,34481	0	0	0,017312
8	0,8	13,0015	0,52006	0,294173	-0,34452	0	0	-0,00063
9	0,9	15,95689	0,638276	0,378165	-0,34472	0	0	0,006214
10	1	18,96171	0,758468	0,455426	-0,34493	0	0	0,010704
11	1,1	22,26397	0,890559	0,546206	-0,34483	0	0	0,013004
12	1,2	25,2127	1,008508	0,637846	-0,34486	0	0	0,014473
13	1,3	27,90008	1,116003	0,72933	-0,34477	0	0	0,017293
14	1,4	30,20388	1,208155	0,822591	-0,34471	0	0	0,016764
15	1,5	32,08083	1,283233	0,914298	-0,34494	0	0	0,021612
16	1,6	33,88684	1,355474	1,001723	-0,3446	0	0	0,019627
17	1,7	35,16203	1,406481	1,084558	-0,34506	0	0	0,013888
18	1,8	36,50544	1,460217	1,177026	-0,34489	0	0	0,012829
19	1,9	37,51738	1,500695	1,269511	-0,34498	0	0	0,023964
20	2	38,62098	1,544839	1,343994	-0,34497	0	0	0,01736
21	2,1	39,50995	1,580398	1,440932	-0,34488	0	0	0,025001
22	2,2	40,31825	1,61273	1,523782	-0,3451	0	0	0,014974
23	2,3	40,84672	1,633869	1,619773	-0,3453	0	0	0,014192
24	2,4	41,77594	1,671038	1,697117	-0,34494	0	0	0,009476
25	2,5	42,43819	1,697528	1,790009	-0,34467	0	0	0,008468
26	2,6	43,012	1,72048	1,872093	-0,34488	0	0	0,005313
27	2,7	43,58044	1,743218	1,960919	-0,34466	0	0	0,007762
28	2,8	43,95595	1,758238	2,048325	-0,34507	0	0	0,007897
29	2,9	44,469	1,77876	2,132548	-0,34477	0	0	0,006132
30	3	44,85565	1,794226	2,220419	-0,3451	0	0	0,008256
31	3,1	45,4569	1,818276	2,30639	-0,34478	0	0	-0,00155
32	3,2	45,74475	1,82979	2,396184	-0,34457	0	0	0,009377
33	3,3	46,04149	1,84166	2,484246	-0,34485	0	0	-0,00352
34	3,4	46,2696	1,850784	2,569091	-0,34498	0	0	0,019987
35	3,5	46,41644	1,856658	2,657167	-0,34529	0	0	0,015057
36	3,6	46,01932	1,840773	2,743185	-0,34524	0	0	0,00949

## LIITE 2/5

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,412584	0,056503	0	0	0	0	0
1	0,1	2,096606	0,083864	0,01469	-0,34476	0	0	0,003818
2	0,2	3,080291	0,123212	0,006625	-0,34447	0	0	-0,01235
3	0,3	3,491742	0,13967	0,05483	-0,34504	0	0	0,004014
4	0,4	4,142195	0,165688	0,073202	-0,34491	0	0	-0,00468
5	0,5	5,491797	0,219672	0,082666	-0,34498	0	0	-0,00676
6	0,6	7,718909	0,308756	0,139832	-0,34481	0	0	-0,00062
7	0,7	10,60361	0,424144	0,193099	-0,34456	0	0	-0,02205
8	0,8	13,4846	0,539384	0,271765	-0,34493	0	0	-0,00828
9	0,9	16,61758	0,664703	0,347415	-0,34503	0	0	-0,00505
10	1	20,00089	0,800036	0,43752	-0,34481	0	0	-0,00829
11	1,1	23,38846	0,935538	0,527419	-0,34462	0	0	-0,015
12	1,2	26,35081	1,054032	0,621604	-0,34456	0	0	-0,01069
13	1,3	28,92333	1,156933	0,710406	-0,34479	0	0	-0,01459
14	1,4	31,27416	1,250967	0,804146	-0,34461	0	0	-0,01306
15	1,5	33,20751	1,3283	0,894557	-0,34471	0	0	-0,00751
16	1,6	34,86951	1,39478	0,984674	-0,34478	0	0	0,001231
17	1,7	36,46943	1,458777	1,073607	-0,34474	0	0	-0,00529
18	1,8	37,67791	1,507116	1,164047	-0,34494	0	0	-0,0002
19	1,9	38,80922	1,552369	1,252949	-0,34496	0	0	-0,00693
20	2	39,81479	1,592591	1,342688	-0,34511	0	0	0,003121
21	2,1	40,8873	1,635492	1,422387	-0,34499	0	0	-0,01448
22	2,2	41,67938	1,667175	1,513939	-0,34477	0	0	-0,01327
23	2,3	42,31159	1,692464	1,60095	-0,34501	0	0	0,000191
24	2,4	43,02138	1,720855	1,686222	-0,34489	0	0	-0,01194
25	2,5	43,73467	1,749387	1,770593	-0,34458	0	0	-0,018
26	2,6	44,14218	1,765687	1,859601	-0,34492	0	0	-0,00656
27	2,7	44,69531	1,787813	1,94592	-0,3446	0	0	-0,0083
28	2,8	45,09358	1,803743	2,033925	-0,34495	0	0	-0,00449
29	2,9	45,6053	1,824212	2,122653	-0,3448	0	0	-0,01239
30	3	45,96552	1,838621	2,207085	-0,34479	0	0	-0,01328
31	3,1	46,27135	1,850854	2,295127	-0,34476	0	0	-0,00174
32	3,2	44,10718	1,764287	2,383867	-0,34467	0	0	-0,00551



## LIITE 2/6

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,725347	0,069014	0	0	0	0	0
1	0,1	2,547464	0,101899	0,01465	-0,34475	0	0	-0,01445
2	0,2	3,3928	0,135712	0,032945	-0,34463	0	0	-0,01098
3	0,3	3,888287	0,155531	0,054517	-0,34494	0	0	0,020206
4	0,4	4,691393	0,187656	0,073226	-0,34477	0	0	0,017235
5	0,5	5,837044	0,233482	0,09352	-0,34526	0	0	0,004774
6	0,6	7,967595	0,318704	0,136221	-0,34494	0	0	-0,00098
7	0,7	10,54452	0,421781	0,194826	-0,34484	0	0	0,000933
8	0,8	13,48611	0,539445	0,267363	-0,34481	0	0	0,00293
9	0,9	16,70242	0,668097	0,343181	-0,34475	0	0	-0,00442
10	1	19,85444	0,794178	0,426929	-0,34506	0	0	-0,00559
11	1,1	23,10733	0,924293	0,521041	-0,34498	0	0	-0,00489
12	1,2	26,01823	1,040729	0,618939	-0,34499	0	0	0,001032
13	1,3	28,63732	1,145493	0,718619	-0,34484	0	0	-0,00701
14	1,4	30,79103	1,231641	0,796109	-0,34474	0	0	-0,00564
15	1,5	32,53659	1,301464	0,890865	-0,34518	0	0	0,012904
16	1,6	34,17365	1,366946	0,984931	-0,34507	0	0	0,009954
17	1,7	35,5941	1,423764	1,080947	-0,34472	0	0	0,011473
18	1,8	36,70809	1,468323	1,164376	-0,34506	0	0	0,00796
19	1,9	37,74612	1,509845	1,253972	-0,34498	0	0	0,020717
20	2	38,77641	1,551057	1,334577	-0,34511	0	0	0,003722
21	2,1	39,66954	1,586782	1,426865	-0,34493	0	0	0,010973
22	2,2	40,40108	1,616043	1,514799	-0,34504	0	0	0,018249
23	2,3	41,43579	1,657432	1,601522	-0,34449	0	0	-0,0011
24	2,4	42,12341	1,684937	1,685926	-0,34441	0	0	-0,00725
25	2,5	42,47462	1,698985	1,771449	-0,34503	0	0	0,004986
26	2,6	43,14007	1,725603	1,857207	-0,345	0	0	-0,00443
27	2,7	43,68564	1,747426	1,949768	-0,34479	0	0	-0,00199
28	2,8	44,13663	1,765465	2,036973	-0,3448	0	0	0,005267
29	2,9	44,51843	1,780737	2,120309	-0,34516	0	0	0,003566
30	3	45,09273	1,803709	2,201993	-0,34482	0	0	-0,01471
31	3,1	45,36951	1,81478	2,295079	-0,34475	0	0	0,01257
32	3,2	45,65691	1,826277	2,382733	-0,34494	0	0	0,008672
33	3,3	45,88046	1,835218	2,469528	-0,34527	0	0	0,011691
34	3,4	46,13086	1,845234	2,558938	-0,3447	0	0	0,018648
35	3,5	34,75639	1,390256	2,645872	-0,34489	0	0	0,005778

## LIITE 2/7

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,634407	0,065376	0	0	0	0	0
1	0,1	2,347864	0,093915	0,020589	-0,34499	0	0	0,012289
2	0,2	3,113164	0,124527	0,034448	-0,34483	0	0	0,005725
3	0,3	3,55992	0,142397	0,048892	-0,34495	0	0	0,007657
4	0,4	4,284409	0,171376	0,064141	-0,34497	0	0	0,007548
5	0,5	5,597169	0,223887	0,098729	-0,345	0	0	0,014512
6	0,6	7,728133	0,309125	0,146801	-0,34511	0	0	0,018361
7	0,7	10,47688	0,419075	0,206486	-0,34484	0	0	0,009616
8	0,8	13,61885	0,544754	0,279336	-0,34458	0	0	0,002849
9	0,9	16,57849	0,66314	0,36147	-0,34477	0	0	0,016457
10	1	19,86531	0,794612	0,445224	-0,34481	0	0	0,014973
11	1,1	23,1279	0,925116	0,536413	-0,34479	0	0	0,001524
12	1,2	25,91795	1,036718	0,634168	-0,34463	0	0	0,002267
13	1,3	28,16907	1,126763	0,725203	-0,34493	0	0	0,00894
14	1,4	30,35499	1,2142	0,815989	-0,34458	0	0	0,006295
15	1,5	31,96094	1,278437	0,905124	-0,3448	0	0	0,00798
16	1,6	33,31332	1,332533	0,992533	-0,34515	0	0	0,01651
17	1,7	34,63541	1,385416	1,082961	-0,34517	0	0	0,009053
18	1,8	35,79452	1,431781	1,170474	-0,34498	0	0	0,008283
19	1,9	36,85891	1,474357	1,256762	-0,34492	0	0	0,009094
20	2	37,99064	1,519625	1,344801	-0,34468	0	0	0,001864
21	2,1	38,8026	1,552104	1,434376	-0,34474	0	0	0,005434
22	2,2	39,65113	1,586045	1,522717	-0,34474	0	0	0,007422
23	2,3	40,44896	1,617958	1,607753	-0,34461	0	0	0,005969
24	2,4	41,0864	1,643456	1,696866	-0,34493	0	0	0,012912
25	2,5	41,75268	1,670107	1,784016	-0,34479	0	0	0,011818
26	2,6	42,35697	1,694279	1,867465	-0,34493	0	0	0,00729
27	2,7	42,89756	1,715902	1,955323	-0,34488	0	0	0,012808
28	2,8	43,49192	1,739677	2,042545	-0,34493	0	0	0,010686
29	2,9	43,94941	1,757976	2,131924	-0,34489	0	0	0,010202
30	3	44,42493	1,776997	2,219815	-0,34472	0	0	0,008941
31	3,1	44,8188	1,792752	2,303814	-0,34482	0	0	0,011737
32	3,2	45,15744	1,806298	2,392271	-0,345	0	0	0,01533
33	3,3	45,66503	1,826601	2,47569	-0,34478	0	0	0,00411
34	3,4	45,98697	1,839479	2,561485	-0,34482	0	0	0,005393
35	3,5	46,30476	1,85219	2,649809	-0,34485	0	0	0,002515
36	3,6	46,48499	1,8594	2,739989	-0,34474	0	0	0,012733
37	3,7	46,79947	1,871979	2,823853	-0,34477	0	0	0,005214
38	3,8	46,27524	1,85101	2,914069	-0,34493	0	0	0,012609

## LIITE 2/8

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,385831	0,055433	0	0	0	0	0
1	0,1	2,3109	0,092436	0,021873	-0,34464	0	0	-0,00162
2	0,2	2,911603	0,116464	0,036775	-0,34514	0	0	0,003596
3	0,3	3,35435	0,134174	0,049259	-0,34524	0	0	0,01236
4	0,4	4,0006	0,160024	0,06715	-0,34535	0	0	0,016259
5	0,5	5,429754	0,21719	0,094666	-0,34522	0	0	-0,00124
6	0,6	7,658551	0,306342	0,134898	-0,3447	0	0	-0,01382
7	0,7	10,13637	0,405455	0,193927	-0,34483	0	0	-0,00412
8	0,8	13,0299	0,521196	0,264299	-0,34501	0	0	-0,0071
9	0,9	16,21822	0,648729	0,342071	-0,34459	0	0	-0,00893
10	1	19,35984	0,774393	0,43166	-0,34477	0	0	-0,01402
11	1,1	22,2811	0,891244	0,528284	-0,34485	0	0	-0,01944
12	1,2	24,67062	0,986825	0,629937	-0,345	0	0	-0,0127
13	1,3	26,56038	1,062415	0,719267	-0,34497	0	0	-0,00272
14	1,4	28,15785	1,126314	0,805121	-0,34508	0	0	-0,00147
15	1,5	29,73354	1,189342	0,892819	-0,34513	0	0	-0,0048
16	1,6	31,34876	1,25395	0,987329	-0,34464	0	0	-0,00971
17	1,7	32,40181	1,296072	1,083089	-0,34502	0	0	-0,01008
18	1,8	33,26441	1,330576	1,169816	-0,34528	0	0	0,012363
19	1,9	34,44041	1,377617	1,252979	-0,34508	0	0	0,001836
20	2	35,55518	1,422207	1,342866	-0,34488	0	0	-0,00983
21	2,1	36,32436	1,452974	1,429329	-0,34524	0	0	0,001316
22	2,2	37,39654	1,495862	1,51427	-0,34483	0	0	-0,00236
23	2,3	38,08788	1,523515	1,601073	-0,34512	0	0	0,000627
24	2,4	38,98992	1,559597	1,687794	-0,34471	0	0	-0,0113
25	2,5	39,58503	1,583401	1,779235	-0,34487	0	0	0,002624
26	2,6	40,23151	1,609261	1,863236	-0,34529	0	0	0,002437
27	2,7	40,91004	1,636402	1,952164	-0,345	0	0	-0,00621
28	2,8	41,53078	1,661231	2,036871	-0,34485	0	0	0,003856
29	2,9	42,003	1,68012	2,128245	-0,3453	0	0	0,001153
30	3	42,69665	1,707866	2,211194	-0,34488	0	0	-0,01658
31	3,1	43,16415	1,726566	2,294153	-0,34496	0	0	-0,00944
32	3,2	43,6685	1,74674	2,381417	-0,34478	0	0	-0,01463
33	3,3	44,0109	1,760436	2,480787	-0,34478	0	0	0,008804
34	3,4	44,37457	1,774983	2,564658	-0,34515	0	0	-0,00334
35	3,5	44,88913	1,795565	2,645864	-0,34467	0	0	-0,01595
36	3,6	45,03218	1,801287	2,733901	-0,34503	0	0	0,001814
37	3,7	45,45008	1,818003	2,81444	-0,34494	0	0	-0,00277
38	3,8	45,72575	1,82903	2,902353	-0,34493	0	0	0,004784
39	3,9	46,09846	1,843938	2,992838	-0,34467	0	0	0,004991
40	4	45,95042	1,838017	3,081094	-0,34519	0	0	0,013489

## LIITE 2/9

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,485134	0,059405	0	0	0	0	0
1	0,1	2,120977	0,084839	0,018138	-0,34517	0	0	0,01018
2	0,2	3,000461	0,120018	0,034567	-0,34488	0	0	0,005934
3	0,3	3,910697	0,156428	0,055862	-0,34488	0	0	0,000691
4	0,4	4,839275	0,193571	0,080907	-0,34523	0	0	0,016853
5	0,5	6,372408	0,254896	0,109486	-0,34471	0	0	0,005553
6	0,6	8,479952	0,339198	0,152207	-0,34477	0	0	0,003863
7	0,7	11,17759	0,447104	0,211951	-0,34477	0	0	0,004083
8	0,8	14,29356	0,571742	0,284909	-0,34459	0	0	-0,00628
9	0,9	17,62524	0,705009	0,368726	-0,3443	0	0	-0,0125
10	1	20,78881	0,831552	0,45837	-0,34497	0	0	-0,00416
11	1,1	23,94224	0,95769	0,556534	-0,34473	0	0	-0,00012
12	1,2	26,73069	1,069228	0,651194	-0,34477	0	0	-0,00091
13	1,3	29,03292	1,161317	0,744147	-0,34483	0	0	-0,00138
14	1,4	30,94486	1,237794	0,836805	-0,34503	0	0	0,007636
15	1,5	32,59391	1,303756	0,927777	-0,34495	0	0	0,009153
16	1,6	34,15015	1,366006	1,015354	-0,34469	0	0	-0,00209
17	1,7	35,27509	1,411004	1,104733	-0,34492	0	0	0,002517
18	1,8	36,37946	1,455178	1,193956	-0,3449	0	0	0,006039
19	1,9	37,39247	1,495699	1,283832	-0,34482	0	0	0,002032
20	2	38,32676	1,533071	1,370614	-0,34483	0	0	0,00336
21	2,1	39,13701	1,56548	1,456038	-0,34497	0	0	-1E-05
22	2,2	39,94074	1,597629	1,543362	-0,34499	0	0	0,005074
23	2,3	40,79073	1,631629	1,630445	-0,3449	0	0	0,006223
24	2,4	41,44552	1,657821	1,718893	-0,345	0	0	0,01276
25	2,5	42,05888	1,682355	1,808056	-0,34498	0	0	0,009883
26	2,6	42,69975	1,70799	1,895543	-0,3447	0	0	0,006665
27	2,7	43,27261	1,730904	1,981843	-0,34472	0	0	0,004097
28	2,8	43,79101	1,75164	2,066699	-0,34483	0	0	-0,00122
29	2,9	44,19453	1,767781	2,153071	-0,34506	0	0	0,002271
30	3	43,07699	1,723079	2,243425	-0,34492	0	0	0,00532

## LIITE 2/10

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,6046	0,064182	0	0	0	0	0
1	0,1	2,2186	0,088746	0,02035	-0,34504	0	0	0,01034
2	0,2	2,8897	0,11559	0,037726	-0,34516	0	0	0,011996
3	0,3	3,4628	0,138512	0,045871	-0,34519	0	0	0,003543
4	0,4	3,7921	0,151683	0,068509	-0,34505	0	0	0,026091
5	0,5	4,9175	0,196698	0,084371	-0,3452	0	0	0,010256
6	0,6	6,8059	0,272237	0,126719	-0,34465	0	0	0,00541
7	0,7	9,1091	0,364366	0,184462	-0,3448	0	0	0,009533
8	0,8	11,7031	0,468126	0,251672	-0,3447	0	0	0,011672
9	0,9	14,6861	0,587445	0,321926	-0,34534	0	0	0,008376
10	1	17,9274	0,717096	0,404255	-0,34515	0	0	0,003906
11	1,1	21,0280	0,841122	0,500277	-0,34516	0	0	0,008655
12	1,2	23,9145	0,95658	0,593034	-0,34492	0	0	0,001999
13	1,3	26,4009	1,056036	0,686932	-0,3447	0	0	-0,00365
14	1,4	28,4312	1,137246	0,775928	-0,3448	0	0	-0,00034
15	1,5	30,0618	1,202474	0,867992	-0,34493	0	0	0,005684
16	1,6	31,5448	1,261793	0,95715	-0,34512	0	0	0,010082
17	1,7	32,5804	1,303217	1,047845	-0,34575	0	0	0,024193
18	1,8	33,6494	1,345977	1,140217	-0,34546	0	0	0,030488
19	1,9	35,0731	1,402923	1,221532	-0,34473	0	0	-0,00947
20	2	35,7861	1,431442	1,313609	-0,3449	0	0	0,007568
21	2,1	36,5597	1,462389	1,400279	-0,34493	0	0	-0,00143
22	2,2	37,2357	1,489428	1,489645	-0,34499	0	0	0,003658
23	2,3	37,9655	1,51862	1,573734	-0,34493	0	0	0,00383
24	2,4	38,3079	1,532315	1,667329	-0,34526	0	0	0,031648
25	2,5	38,9574	1,558297	1,75218	-0,34531	0	0	0,028431
26	2,6	39,8157	1,59263	1,833456	-0,34484	0	0	-0,00295
27	2,7	40,1272	1,605088	1,924417	-0,345	0	0	0,018738
28	2,8	40,6835	1,627341	2,008291	-0,34499	0	0	0,004047
29	2,9	41,1557	1,646229	2,097864	-0,34497	0	0	0,004453
30	3	41,6266	1,665064	2,184046	-0,34491	0	0	0,004143
31	3,1	42,0874	1,683495	2,266177	-0,34503	0	0	-0,0006
32	3,2	42,2388	1,689554	2,356102	-0,34544	0	0	0,017242
33	3,3	42,4742	1,698969	2,447691	-0,34561	0	0	0,039727
34	3,4	43,1337	1,725348	2,531562	-0,34493	0	0	0,013635
35	3,5	43,5370	1,741478	2,616011	-0,3451	0	0	0,008108
36	3,6	43,9479	1,757917	2,699036	-0,34475	0	0	-0,0092
37	3,7	44,1961	1,767846	2,789629	-0,34488	0	0	0,008175
38	3,8	44,2947	1,771789	2,876681	-0,34529	0	0	0,013563
39	3,9	44,3993	1,775974	2,969347	-0,34555	0	0	0,0211
40	4	44,9284	1,797136	3,047218	-0,34524	0	0	-0,00193
41	4,1	45,0193	1,800773	3,139366	-0,34529	0	0	0,015902
42	4,2	43,2879	1,731517	3,229977	-0,34483	0	0	0,015054

## LIITE 3/1

Ruiskuvalettujen kappaleiden (200 °C) vetokokeilla saatuja testituloksia

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,412638	0,056506	0	0	0	0	0
1	0,1	2,227343	0,089094	0,018771	-0,34424	0	0	0,003219
2	0,2	3,192158	0,127686	0,037352	-0,34415	0	0	-0,0012
3	0,3	3,882733	0,155309	0,059091	-0,34452	0	0	0,015421
4	0,4	5,100897	0,204036	0,078825	-0,34436	0	0	0,004848
5	0,5	6,128194	0,245128	0,108539	-0,34473	0	0	0,016076
6	0,6	8,008838	0,320354	0,151657	-0,34437	0	0	0,015172
7	0,7	10,62257	0,424903	0,210486	-0,34444	0	0	0,022107
8	0,8	13,43158	0,537263	0,282826	-0,34512	0	0	0,03505
9	0,9	16,86606	0,674643	0,358311	-0,34473	0	0	0,016222
10	1	20,10689	0,804276	0,445908	-0,34467	0	0	0,020288
11	1,1	23,38369	0,935348	0,543464	-0,34472	0	0	0,026626
12	1,2	26,65955	1,066382	0,638048	-0,34424	0	0	0,007769
13	1,3	29,07196	1,162878	0,73198	-0,34482	0	0	0,032203
14	1,4	31,41603	1,256641	0,823168	-0,34449	0	0	0,027924
15	1,5	33,44822	1,337929	0,910039	-0,34484	0	0	0,022098
16	1,6	35,36253	1,414501	1,002068	-0,34421	0	0	0,004874
17	1,7	36,76789	1,470716	1,091856	-0,34416	0	0	0,010424
18	1,8	37,81746	1,512698	1,18339	-0,34455	0	0	0,029548
19	1,9	39,03008	1,561203	1,265826	-0,34456	0	0	0,017341
20	2	40,18969	1,607587	1,356623	-0,34397	0	0	0,000103
21	2,1	41,0176	1,640704	1,439758	-0,34433	0	0	0,001611
22	2,2	41,62783	1,665113	1,532049	-0,3443	0	0	0,014329
23	2,3	42,54552	1,701821	1,620079	-0,34373	0	0	0,004664
24	2,4	43,17686	1,727075	1,702279	-0,34408	0	0	-0,00307
25	2,5	43,65759	1,746303	1,786839	-0,34457	0	0	0,006909
26	2,6	44,179	1,76716	1,87588	-0,34448	0	0	0,00758
27	2,7	44,4924	1,779696	1,965944	-0,34447	0	0	0,017894
28	2,8	45,05771	1,802308	2,05105	-0,34417	0	0	0,005998
29	2,9	45,49553	1,819821	2,135399	-0,34438	0	0	0,00373
30	3	45,79274	1,83171	2,222659	-0,34445	0	0	0,004439
31	3,1	42,98612	1,719445	2,313172	-0,34444	0	0	0,009102

## LIITE 3/2

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,452621	0,058105	0	0	0	0	0
1	0,1	2,44691	0,097876	0,01449	-0,3446	0	0	-0,01344
2	0,2	3,226054	0,129042	0,036416	-0,34455	0	0	-0,00935
3	0,3	4,150568	0,166023	0,050394	-0,34445	0	0	-0,0179
4	0,4	4,976571	0,199063	0,06697	-0,3449	0	0	-0,0072
5	0,5	6,144004	0,24576	0,099699	-0,34472	0	0	-0,00894
6	0,6	8,046112	0,321844	0,146307	-0,34475	0	0	-0,0035
7	0,7	10,5664	0,422656	0,205216	-0,34499	0	0	0,005623
8	0,8	13,64632	0,545853	0,274025	-0,34468	0	0	-0,0072
9	0,9	16,75313	0,670125	0,355188	-0,34488	0	0	0,003537
10	1	20,052	0,80208	0,445182	-0,34494	0	0	-0,00124
11	1,1	23,39758	0,935903	0,541281	-0,34467	0	0	-0,01035
12	1,2	26,18259	1,047303	0,634828	-0,3448	0	0	-0,00068
13	1,3	28,71321	1,148528	0,72287	-0,34488	0	0	-0,00599
14	1,4	30,86757	1,234703	0,817895	-0,34454	0	0	-0,01362
15	1,5	32,48937	1,299575	0,91134	-0,34487	0	0	0,002411
16	1,6	34,08868	1,363547	0,994272	-0,34464	0	0	-0,00848
17	1,7	35,27543	1,411017	1,082146	-0,34494	0	0	-0,00081
18	1,8	36,38037	1,455215	1,172072	-0,34518	0	0	0,004818
19	1,9	37,54831	1,501932	1,259988	-0,34504	0	0	-0,00504
20	2	38,49001	1,5396	1,348768	-0,34426	0	0	-0,01277
21	2,1	39,13429	1,565372	1,434939	-0,34482	0	0	0,000882
22	2,2	39,95777	1,598311	1,519749	-0,34496	0	0	0,000588
23	2,3	40,6972	1,627888	1,605565	-0,3449	0	0	-0,00572
24	2,4	41,40571	1,656229	1,694137	-0,34463	0	0	-0,00701
25	2,5	41,83845	1,673538	1,783216	-0,34522	0	0	0,011628
26	2,6	42,43484	1,697394	1,869995	-0,34508	0	0	0,006033
27	2,7	43,10188	1,724075	1,956806	-0,3447	0	0	-0,00464
28	2,8	43,39766	1,735906	2,045841	-0,34498	0	0	0,007532
29	2,9	43,97108	1,758843	2,128818	-0,34508	0	0	0,006454
30	3	44,38146	1,775259	2,216685	-0,34479	0	0	-0,00842
31	3,1	44,82178	1,792871	2,301373	-0,34471	0	0	-0,01366
32	3,2	44,45501	1,778201	2,393226	-0,3449	0	0	0,001896

## LIITE 3/3

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	2,00927	0,080371	0	0	0	0	0
1	0,1	2,82519	0,113008	0,018003	-0,34435	0	0	-0,0012
2	0,2	3,55187	0,142075	0,035029	-0,34424	0	0	-0,00977
3	0,3	3,93033	0,157213	0,044723	-0,34432	0	0	-0,01018
4	0,4	4,61623	0,184649	0,063845	-0,34429	0	0	-0,00311
5	0,5	6,43316	0,257326	0,100512	-0,34411	0	0	-0,01091
6	0,6	8,82374	0,352949	0,159914	-0,34421	0	0	-0,0051
7	0,7	11,6112	0,464446	0,229451	-0,34421	0	0	-0,005
8	0,8	14,4899	0,579596	0,306389	-0,34407	0	0	-0,00579
9	0,9	17,4327	0,697307	0,385949	-0,34433	0	0	-0,00664
10	1	20,4525	0,818102	0,473688	-0,3441	0	0	-0,01218
11	1,1	23,1687	0,92675	0,56828	-0,34421	0	0	-0,00534
12	1,2	25,6509	1,026036	0,659718	-0,34415	0	0	-0,0075
13	1,3	27,7293	1,109171	0,752461	-0,34431	0	0	-0,00726
14	1,4	29,4341	1,177366	0,839536	-0,34426	0	0	-0,01123
15	1,5	30,7922	1,231688	0,926827	-0,34429	0	0	-0,0093
16	1,6	32,006	1,280242	1,018304	-0,34424	0	0	-0,00971
17	1,7	33,0736	1,322946	1,109555	-0,34427	0	0	-0,00631
18	1,8	34,1075	1,364301	1,196954	-0,34419	0	0	-0,01047
19	1,9	35,1051	1,404205	1,285408	-0,34425	0	0	-0,0096
20	2	36,1321	1,445284	1,373131	-0,34425	0	0	-0,006
21	2,1	37,2877	1,491509	1,463123	-0,3441	0	0	-0,00726
22	2,2	38,1945	1,527779	1,550951	-0,34417	0	0	-0,00758
23	2,3	39,0214	1,560856	1,640041	-0,34432	0	0	-0,00295
24	2,4	39,8347	1,593389	1,725747	-0,34415	0	0	-0,00362
25	2,5	40,5853	1,623413	1,810304	-0,34405	0	0	-0,01288
26	2,6	41,1328	1,645311	1,897231	-0,34428	0	0	-0,00595
27	2,7	41,8096	1,672383	1,98691	-0,34417	0	0	-0,00513
28	2,8	42,3677	1,694706	2,071105	-0,34423	0	0	-0,00692
29	2,9	42,8874	1,715496	2,158536	-0,34424	0	0	-0,00759
30	3	43,3362	1,733449	2,246432	-0,34431	0	0	-0,00324
31	3,1	43,8027	1,752109	2,332572	-0,34409	0	0	-0,00869
32	3,2	44,1328	1,765312	2,417192	-0,34421	0	0	-0,005
33	3,3	44,5663	1,782652	2,505267	-0,3442	0	0	-0,00414
34	3,4	44,9133	1,796532	2,591744	-0,34425	0	0	-0,00616
35	3,5	45,1883	1,807534	2,680009	-0,34419	0	0	-0,00629
36	3,6	43,7704	1,750816	2,767468	-0,34419	0	0	-0,01011



## LIITE 3/4

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,365869	0,054635	0	0	0	0	0
1	0,1	2,287263	0,091491	0,023071	-0,34428	0	0	-0,00323
2	0,2	3,026998	0,12108	0,036073	-0,34426	0	0	-0,00582
3	0,3	3,948244	0,15793	0,051222	-0,34433	0	0	-0,00435
4	0,4	5,231178	0,209247	0,086583	-0,34423	0	0	-0,00996
5	0,5	6,471631	0,258865	0,118874	-0,3443	0	0	-0,00797
6	0,6	7,968435	0,318737	0,149702	-0,34438	0	0	0,00266
7	0,7	10,46225	0,41849	0,206212	-0,34407	0	0	-0,00878
8	0,8	13,08282	0,523313	0,275256	-0,34436	0	0	-0,00579
9	0,9	16,08758	0,643503	0,352784	-0,34431	0	0	-0,00204
10	1	19,02733	0,761093	0,431642	-0,34427	0	0	-0,0043
11	1,1	22,16443	0,886577	0,523688	-0,34428	0	0	-0,00554
12	1,2	25,00532	1,000213	0,621982	-0,34465	0	0	-0,00014
13	1,3	27,65325	1,10613	0,719166	-0,34433	0	0	-0,00246
14	1,4	29,75234	1,190094	0,812706	-0,3445	0	0	-0,00697
15	1,5	31,8748	1,274992	0,899921	-0,34422	0	0	-0,02177
16	1,6	33,37771	1,335108	0,990059	-0,34419	0	0	-0,00824
17	1,7	34,67872	1,387149	1,080667	-0,34424	0	0	-0,01313
18	1,8	35,69136	1,427655	1,167396	-0,34473	0	0	-0,0257
19	1,9	36,79326	1,47173	1,256589	-0,34445	0	0	-0,01049
20	2	37,83437	1,513375	1,346681	-0,3444	0	0	-0,00376
21	2,1	38,64799	1,54592	1,437358	-0,34455	0	0	-0,00129
22	2,2	39,69241	1,587696	1,524833	-0,34406	0	0	-0,00573
23	2,3	40,4386	1,617544	1,613006	-0,34435	0	0	-0,00049
24	2,4	41,24306	1,649722	1,697813	-0,34456	0	0	-0,00696
25	2,5	41,92815	1,677126	1,788701	-0,34445	0	0	-0,00236
26	2,6	42,62182	1,704873	1,87418	-0,34435	0	0	-0,00309
27	2,7	43,28648	1,731459	1,957741	-0,34438	0	0	-0,00383
28	2,8	43,89744	1,755898	2,048579	-0,34416	0	0	0,00667
29	2,9	44,25589	1,770235	2,133957	-0,34448	0	0	-0,00982
30	3	44,80184	1,792074	2,222649	-0,34424	0	0	-0,00596
31	3,1	45,05222	1,802089	2,310885	-0,34468	0	0	0,00184
32	3,2	45,68905	1,827562	2,390369	-0,34411	0	0	-0,01365
33	3,3	45,91487	1,836595	2,484053	-0,34431	0	0	-0,00142
34	3,4	44,8795	1,79518	2,573194	-0,34457	0	0	-0,01534

## LIITE 3/5

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,418068	0,056723	0	0	0	0	0
1	0,1	2,32905	0,093162	0,031748	-0,34437	0	0	0,00535
2	0,2	3,163521	0,126541	0,04475	-0,34417	0	0	-0,00313
3	0,3	3,897292	0,155892	0,061039	-0,34421	0	0	0,00098
4	0,4	4,862032	0,194481	0,08157	-0,34416	0	0	0,01387
5	0,5	5,827973	0,233119	0,118663	-0,34442	0	0	0,01785
6	0,6	7,287157	0,291486	0,149802	-0,34429	0	0	-0,00471
7	0,7	9,229341	0,369174	0,208257	-0,34508	0	0	-0,03172
8	0,8	12,74998	0,509999	0,262292	-0,34447	0	0	0,00064
9	0,9	15,58985	0,623594	0,341044	-0,34434	0	0	0,00399
10	1	18,64203	0,745681	0,42119	-0,34433	0	0	0,00814
11	1,1	21,79587	0,871835	0,512968	-0,34455	0	0	0,02598
12	1,2	25,22483	1,008993	0,609438	-0,34382	0	0	0,06625
13	1,3	27,51452	1,100581	0,703096	-0,34495	0	0	-0,0038
14	1,4	30,07507	1,203003	0,79196	-0,34441	0	0	0,00118
15	1,5	32,0215	1,28086	0,889928	-0,34443	0	0	0,00031
16	1,6	33,82779	1,353112	0,982995	-0,34409	0	0	0,00267
17	1,7	34,9914	1,399656	1,070279	-0,34452	0	0	-0,00013
18	1,8	36,20861	1,448344	1,160192	-0,34448	0	0	0,00833
19	1,9	37,4534	1,498136	1,252458	-0,34427	0	0	0,05765
20	2	38,65553	1,546221	1,338549	-0,34353	0	0	0,05474
21	2,1	38,74966	1,549986	1,430537	-0,34475	0	0	-0,0062
22	2,2	39,2738	1,570952	1,51405	-0,34537	0	0	-0,03247
23	2,3	40,66635	1,626654	1,602736	-0,34433	0	0	0,03025
24	2,4	41,56199	1,662479	1,688279	-0,3443	0	0	0,00488
25	2,5	42,55714	1,702286	1,769679	-0,34414	0	0	0,02511
26	2,6	43,13606	1,725442	1,860781	-0,34439	0	0	0,01532
27	2,7	43,87525	1,75501	1,945743	-0,34436	0	0	-0,01945
28	2,8	44,55121	1,782048	2,032516	-0,34419	0	0	-0,01828
29	2,9	44,93291	1,797316	2,120037	-0,34462	0	0	-0,01481
30	3	45,97765	1,839106	2,20074	-0,34371	0	0	0,00259
31	3,1	45,83024	1,83321	2,29408	-0,34499	0	0	-0,01418
32	3,2	46,40656	1,856262	2,381933	-0,34374	0	0	0,04767
33	3,3	46,48684	1,859474	2,469126	-0,34448	0	0	0,03937
34	3,4	43,58456	1,743383	2,560493	-0,34408	0	0	0,03936

## LIITE 3/6

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	2,644866	0,105795	0	0	0	0	0
1	0,1	2,969063	0,118763	0,052452	-0,34449	0	0	-0,00553
2	0,2	3,434068	0,137363	0,00563	-0,3444	0	0	-0,00193
3	0,3	4,464014	0,178561	0,009587	-0,34461	0	0	-0,00712
4	0,4	5,58232	0,223293	0,034651	-0,34434	0	0	-0,0019
5	0,5	6,631623	0,265265	0,064978	-0,34446	0	0	-0,00684
6	0,6	8,559095	0,342364	0,102666	-0,34429	0	0	-0,00229
7	0,7	10,92281	0,436912	0,17708	-0,34438	0	0	-0,0046
8	0,8	13,76446	0,550578	0,224589	-0,34437	0	0	0,002976
9	0,9	16,89016	0,675607	0,324897	-0,34434	0	0	0,006052
10	1	19,91293	0,796517	0,393002	-0,34456	0	0	-0,00908
11	1,1	23,31	0,9324	0,468317	-0,34445	0	0	-0,00293
12	1,2	26,13813	1,045525	0,597305	-0,34447	0	0	-0,00974
13	1,3	28,42117	1,136847	0,710934	-0,34441	0	0	-0,00387
14	1,4	30,23769	1,209507	0,790432	-0,34456	0	0	-0,00034
15	1,5	32,10728	1,284291	0,877878	-0,34443	0	0	-0,01193
16	1,6	33,61583	1,344633	0,964735	-0,34446	0	0	-0,00562
17	1,7	35,07457	1,402983	1,036755	-0,34437	0	0	-0,00702
18	1,8	36,23134	1,449254	1,132485	-0,3445	0	0	-0,00551
19	1,9	37,22327	1,488931	1,223429	-0,34439	0	0	0,003061
20	2	38,06555	1,522622	1,313445	-0,34445	0	0	0,018576
21	2,1	38,71039	1,548415	1,403176	-0,34435	0	0	0,061272
22	2,2	39,39302	1,575721	1,482376	-0,3453	0	0	-0,04206
23	2,3	40,43133	1,617253	1,567719	-0,34456	0	0	0,01514
24	2,4	40,91116	1,636447	1,657867	-0,3454	0	0	-0,03814
25	2,5	41,89358	1,675743	1,740954	-0,34471	0	0	-0,00517
26	2,6	42,26763	1,690705	1,833774	-0,34503	0	0	-0,01894
27	2,7	43,04621	1,721848	1,919837	-0,34473	0	0	-0,00858
28	2,8	43,6962	1,747848	2,00508	-0,34476	0	0	-0,02575
29	2,9	40,22418	1,608967	2,098687	-0,34444	0	0	-0,00073

## LIITE 3/7

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	2,213239	0,08853	0	0	0	0	0
1	0,1	1,909655	0,07639	0	0	0	0	0
2	0,2	3,336326	0,13345	0,039188	-0,34433	0	0	-0,01424
3	0,3	3,303461	0,13214	0,056566	-0,3454	0	0	-0,0422
4	0,4	3,888942	0,15556	0,067082	-0,34524	0	0	-0,02627
5	0,5	5,637608	0,2255	0,06517	-0,34469	0	0	-0,01614
6	0,6	7,088466	0,28354	0,121508	-0,34468	0	0	-0,01919
7	0,7	9,114636	0,36459	0,16926	-0,34438	0	0	0,00902
8	0,8	11,73049	0,46922	0,238178	-0,34451	0	0	-0,006
9	0,9	14,17569	0,56703	0,341394	-0,34459	0	0	-0,00353
10	1	15,89842	0,63594	0,429517	-0,3453	0	0	-0,02719
11	1,1	19,92438	0,79698	0,436756	-0,34391	0	0	0,02649
12	1,2	22,77853	0,91114	0,530236	-0,34508	0	0	-0,03293
13	1,3	26,21436	1,04857	0,645932	-0,34434	0	0	0,01517
14	1,4	27,68167	1,10727	0,807425	-0,345	0	0	-0,01503
15	1,5	29,87827	1,19513	0,83953	-0,34389	0	0	0,02912
16	1,6	31,74073	1,26963	0,960843	-0,34265	0	0	0,09323
17	1,7	32,22996	1,2892	1,0261	-0,34445	0	0	0,02058
18	1,8	33,50579	1,34023	1,119567	-0,34518	0	0	-0,04129
19	1,9	35,33465	1,41339	1,19356	-0,34348	0	0	0,0521
20	2	35,80919	1,43237	1,29598	-0,34439	0	0	0,02977
21	2,1	36,7429	1,46972	1,387069	-0,34445	0	0	0,01702
22	2,2	38,05276	1,52211	1,465294	-0,34332	0	0	0,09939
23	2,3	38,28912	1,53156	1,55472	-0,34482	0	0	0,00733
24	2,4	39,78717	1,59149	1,633064	-0,3438	0	0	0,0235
25	2,5	40,2557	1,61023	1,738159	-0,34473	0	0	0,00211
26	2,6	41,21394	1,64856	1,820564	-0,34411	0	0	0,03908
27	2,7	42,08897	1,68356	1,900233	-0,34539	0	0	-0,08548
28	2,8	42,72839	1,70914	1,994434	-0,34418	0	0	0,01462
29	2,9	43,63888	1,74556	2,084139	-0,34281	0	0	0,08923
30	3	43,41879	1,73675	2,152518	-0,34453	0	0	0,01705
31	3,1	43,86334	1,75453	2,252316	-0,34466	0	0	0,01392
32	3,2	44,21619	1,76865	2,333639	-0,34478	0	0	0,00027
33	3,3	44,68662	1,78746	2,432512	-0,34473	0	0	-0,01016
34	3,4	42,00822	1,68033	2,519762	-0,34492	0	0	0,0027

## LIITE 3/8

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,738665	0,06955	0	0	0	0	0
1	0,1	2,63071	0,10523	0,01729	-0,345	0	0	-0,00529
2	0,2	3,438098	0,13752	0,03127	-0,3452	0	0	-0,01796
3	0,3	5,349936	0,214	0,03572	-0,3431	0	0	0,007103
4	0,4	5,867132	0,23469	0,06278	-0,3434	0	0	0,066951
5	0,5	7,118813	0,28475	0,09542	-0,3435	0	0	0,071489
6	0,6	8,294401	0,33178	0,13181	-0,3458	0	0	-0,06494
7	0,7	11,60856	0,46434	0,19396	-0,3434	0	0	0,021259
8	0,8	14,02052	0,56082	0,25951	-0,3445	0	0	0,016715
9	0,9	17,0118	0,68047	0,35379	-0,3444	0	0	0,043761
10	1	20,0208	0,80083	0,42955	-0,3444	0	0	0,026714
11	1,1	23,26773	0,93071	0,52269	-0,3443	0	0	0,016863
12	1,2	25,60032	1,02401	0,61949	-0,3455	0	0	-0,01191
13	1,3	28,43506	1,1374	0,72065	-0,344	0	0	0,051201
14	1,4	30,45655	1,21826	0,80572	-0,3443	0	0	0,019375
15	1,5	31,91432	1,27657	0,89955	-0,3446	0	0	0,003536
16	1,6	33,23829	1,32953	0,99471	-0,3445	0	0	0,033268
17	1,7	34,80998	1,3924	1,06419	-0,3447	0	0	0,006239
18	1,8	35,71428	1,42857	1,14953	-0,345	0	0	-0,00432
19	1,9	37,01282	1,48051	1,24559	-0,3443	0	0	0,034924
20	2	37,65115	1,50605	1,3411	-0,3446	0	0	0,016984
21	2,1	38,55384	1,54215	1,42663	-0,3444	0	0	0,020699
22	2,2	39,41182	1,57647	1,50357	-0,3445	0	0	0,019172
23	2,3	40,29947	1,61198	1,59228	-0,3444	0	0	0,020332
24	2,4	41,04661	1,64186	1,69402	-0,3445	0	0	0,024159
25	2,5	41,93941	1,67758	1,78104	-0,3444	0	0	0,031335
26	2,6	42,66087	1,70643	1,86618	-0,3443	0	0	0,01934
27	2,7	43,30446	1,73218	1,94883	-0,3441	0	0	0,034074
28	2,8	43,72431	1,74897	2,04249	-0,3442	0	0	0,022938
29	2,9	33,76682	1,35067	2,13918	-0,3444	0	0	0,016146

## LIITE 3/9

Laskuri	Aika	Jännitys	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	1,6217	0,064868	0	0	0	0	0
1	0,1	2,61113	0,104445	0,02476	-0,34448	0	0	-0,0224
2	0,2	3,59426	0,14377	0,03483	-0,34449	0	0	-0,00497
3	0,3	4,46557	0,178623	0,04851	-0,34436	0	0	-0,01281
4	0,4	5,51765	0,220706	0,07363	-0,34439	0	0	-0,00996
5	0,5	6,84593	0,273837	0,10608	-0,34456	0	0	-0,01434
6	0,6	9,06743	0,362697	0,15285	-0,34438	0	0	-0,01057
7	0,7	11,5117	0,460466	0,20811	-0,34471	0	0	-0,00673
8	0,8	14,7132	0,588529	0,28866	-0,34455	0	0	-0,00935
9	0,9	17,5994	0,703977	0,36893	-0,34465	0	0	-0,00093
10	1	20,8774	0,835095	0,44776	-0,34437	0	0	0,00107
11	1,1	23,7281	0,949125	0,55329	-0,34485	0	0	-0,00077
12	1,2	26,4026	1,056102	0,65221	-0,34456	0	0	-0,00968
13	1,3	28,7285	1,149139	0,74139	-0,34438	0	0	-0,0118
14	1,4	30,7597	1,230387	0,83685	-0,34444	0	0	-0,01001
15	1,5	32,112	1,284479	0,92428	-0,34483	0	0	0,00084
16	1,6	33,5554	1,342215	1,01134	-0,34463	0	0	-0,01673
17	1,7	34,7181	1,388725	1,09499	-0,34463	0	0	-0,00487
18	1,8	35,6774	1,427095	1,19196	-0,34462	0	0	-0,00121
19	1,9	36,5748	1,462993	1,27907	-0,34457	0	0	-0,00106
20	2	37,5086	1,500345	1,3575	-0,34454	0	0	-0,0053
21	2,1	38,5045	1,54018	1,44785	-0,34461	0	0	-0,01201
22	2,2	39,6364	1,585456	1,53668	-0,34448	0	0	-0,00387
23	2,3	40,6785	1,627141	1,6213	-0,34446	0	0	-0,01035
24	2,4	41,4602	1,658407	1,71159	-0,34452	0	0	-0,00687
25	2,5	42,2363	1,689451	1,79812	-0,34443	0	0	-0,01093
26	2,6	42,8538	1,714152	1,88285	-0,34439	0	0	-0,00668
27	2,7	43,5003	1,740012	1,97261	-0,34449	0	0	-0,0109
28	2,8	43,9104	1,756415	2,06357	-0,34471	0	0	0,00072
29	2,9	44,4436	1,777744	2,14403	-0,34447	0	0	-0,0052
30	3	44,956	1,798241	2,23405	-0,34452	0	0	-0,00356
31	3,1	44,9155	1,796618	2,3221	-0,34451	0	0	-0,00128

## LIITE 4/1

Ruiskuvalettujen kappaleiden (220 °C) vetokokeilla saatuja testituloksia

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,068488	0	0	0	0	0
1	0,1	0,093296	0	0	0	0	0
2	0,2	0,126544	0,031684	-0,34439	0	0	0,010454
3	0,3	0,162178	0,04331	-0,34418	0	0	0,006295
4	0,4	0,189842	0,060594	-0,34462	0	0	4,71E-05
5	0,5	0,226317	0,078101	-0,34427	0	0	-0,0055
6	0,6	0,274511	0,107945	-0,34441	0	0	0,009074
7	0,7	0,34741	0,152446	-0,34477	0	0	-0,00072
8	0,8	0,445611	0,213677	-0,34475	0	0	-0,00055
9	0,9	0,566492	0,28451	-0,34445	0	0	0,006915
10	1	0,687513	0,359565	-0,34453	0	0	0,002676
11	1,1	0,814522	0,446543	-0,34456	0	0	0,001938
12	1,2	0,935464	0,538196	-0,34463	0	0	0,00322
13	1,3	1,052172	0,627675	-0,34459	0	0	-0,00051
14	1,4	1,154834	0,710671	-0,34456	0	0	0,002116
15	1,5	1,243657	0,796501	-0,34469	0	0	-0,00473
16	1,6	1,310584	0,914949	-0,34479	0	0	0,000272
17	1,7	1,36375	1,000322	-0,34482	0	0	-0,00796
18	1,8	1,418903	1,09512	-0,34474	0	0	0,004762
19	1,9	1,461672	1,224265	-0,34457	0	0	-0,00328
20	2	1,491682	1,285011	-0,34467	0	0	0,006685
21	2,1	1,53383	1,347652	-0,34475	0	0	0,008734
22	2,2	1,57889	1,439343	-0,34451	0	0	-0,00102
23	2,3	1,61442	1,520099	-0,34462	0	0	-0,00204
24	2,4	1,653081	1,598643	-0,34452	0	0	-0,00444
25	2,5	1,688899	1,687341	-0,34466	0	0	0,000234
26	2,6	1,716295	1,780945	-0,34456	0	0	0,015595
27	2,7	1,742671	1,869813	-0,3446	0	0	0,004278
28	2,8	1,769161	1,956544	-0,34473	0	0	0,001082
29	2,9	1,798009	2,042113	-0,34462	0	0	-0,0059
30	3	1,816653	2,132884	-0,34458	0	0	-0,00418
31	3,1	1,827267	2,222961	-0,345	0	0	-0,00502
32	3,2	1,844668	2,310552	-0,34468	0	0	-0,00695
33	3,3	1,678517	2,397198	-0,3446	0	0	-0,0002

## LIITE 4/2

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,071157	0	0	0	0	0
1	0,1	0,097274	0,04986	-0,34463	0	0	-0,00017
2	0,2	0,117254	0,061128	-0,34451	0	0	-0,00232
3	0,3	0,14312	0,058466	-0,34452	0	0	-0,00789
4	0,4	0,185144	0,09038	-0,34464	0	0	8,26E-06
5	0,5	0,229399	0,120292	-0,34464	0	0	-0,00133
6	0,6	0,291976	0,147665	-0,34451	0	0	-0,00142
7	0,7	0,380306	0,198892	-0,34478	0	0	0,005448
8	0,8	0,49305	0,248843	-0,34507	0	0	0,012979
9	0,9	0,630393	0,332568	-0,34476	0	0	-0,00152
10	1	0,75152	0,439095	-0,34448	0	0	0,005602
11	1,1	0,874339	0,518413	-0,34464	0	0	0,002911
12	1,2	0,99617	0,616485	-0,34437	0	0	0,000259
13	1,3	1,097066	0,713133	-0,34429	0	0	-0,00911
14	1,4	1,173678	0,80459	-0,3445	0	0	-0,00924
15	1,5	1,236781	0,891666	-0,34487	0	0	0,012221
16	1,6	1,300491	0,985646	-0,34467	0	0	0,002516
17	1,7	1,354195	1,073734	-0,34466	0	0	0,00639
18	1,8	1,398677	1,163244	-0,34494	0	0	0,013579
19	1,9	1,442531	1,251632	-0,34507	0	0	0,019144
20	2	1,488398	1,338786	-0,34477	0	0	0,00565
21	2,1	1,528793	1,42685	-0,34461	0	0	0,001189
22	2,2	1,563445	1,513665	-0,34467	0	0	0,002911
23	2,3	1,596959	1,600221	-0,34449	0	0	0,003189
24	2,4	1,630505	1,691843	-0,34422	0	0	-0,00108
25	2,5	1,658415	1,775495	-0,34475	0	0	0,012982
26	2,6	1,687599	1,863406	-0,34487	0	0	0,011727
27	2,7	1,722079	1,949064	-0,34466	0	0	-0,00162
28	2,8	1,74676	2,036198	-0,34453	0	0	-0,00573
29	2,9	1,765586	2,123338	-0,34471	0	0	0,000218
30	3	1,779026	2,218924	-0,34472	0	0	0,017214
31	3,1	1,803419	2,298127	-0,34442	0	0	-0,0013
32	3,2	1,819799	2,382286	-0,34455	0	0	-0,00085
33	3,3	1,833907	2,473584	-0,3446	0	0	0,00418
34	3,4	1,841542	2,56096	-0,34489	0	0	0,012702
35	3,5	1,854356	2,647441	-0,3447	0	0	0,016626
36	3,6	1,861812	2,738212	-0,3446	0	0	0,019813
37	3,7	1,630906	2,824445	-0,34467	0	0	0,007784



## LIITE 4/3

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,070832	0	0	0	0	0
1	0,1	0,104824	0,008013	-0,34466	0	0	-0,00736
2	0,2	0,148528	0,016075	-0,34455	0	0	-0,02276
3	0,3	0,187131	0,043346	-0,34441	0	0	-0,02752
4	0,4	0,216246	0,069844	-0,34459	0	0	-0,01613
5	0,5	0,262703	0,070477	-0,34453	0	0	-0,01737
6	0,6	0,328158	0,121769	-0,34463	0	0	-0,01611
7	0,7	0,408129	0,187218	-0,34464	0	0	-0,0122
8	0,8	0,511339	0,240806	-0,34467	0	0	-0,00972
9	0,9	0,631118	0,313688	-0,34445	0	0	-0,01323
10	1	0,75719	0,388773	-0,34454	0	0	-0,01553
11	1,1	0,889512	0,480762	-0,34451	0	0	-0,01903
12	1,2	1,011297	0,570819	-0,34466	0	0	-0,01617
13	1,3	1,12064	0,669343	-0,3445	0	0	-0,01812
14	1,4	1,211205	0,764177	-0,3446	0	0	-0,01573
15	1,5	1,292795	0,856408	-0,34445	0	0	-0,01845
16	1,6	1,362586	0,939689	-0,3446	0	0	-0,02262
17	1,7	1,419949	1,042754	-0,34463	0	0	-0,0188
18	1,8	1,464814	1,129818	-0,34469	0	0	-0,01461
19	1,9	1,511763	1,213324	-0,34467	0	0	-0,01559
20	2	1,552359	1,300358	-0,34467	0	0	-0,01425
21	2,1	1,593526	1,386567	-0,34444	0	0	-0,01922
22	2,2	1,627505	1,475671	-0,34461	0	0	-0,01607
23	2,3	1,659482	1,567329	-0,34455	0	0	-0,01729
24	2,4	1,687966	1,645258	-0,34452	0	0	-0,01775
25	2,5	1,718424	1,736784	-0,34448	0	0	-0,01529
26	2,6	1,738416	1,826669	-0,34458	0	0	-0,01437
27	2,7	1,762735	1,908901	-0,34439	0	0	-0,02102
28	2,8	1,782961	1,992712	-0,34454	0	0	-0,01687
29	2,9	1,804809	2,085281	-0,34458	0	0	-0,0185
30	3	1,818828	2,174371	-0,34461	0	0	-0,01832
31	3,1	1,83731	2,255563	-0,34446	0	0	-0,02191
32	3,2	1,852021	2,341658	-0,3446	0	0	-0,02296
33	3,3	1,707254	2,433584	-0,34474	0	0	-0,01751

## LIITE 4/4

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,056936	0	0	0	0	0
1	0,1	0,087055	0	0	0	0	0
2	0,2	0,11896	0,033313	-0,34468	0	0	-0,00172
3	0,3	0,151847	0,048791	-0,34469	0	0	-0,00467
4	0,4	0,18057	0,067671	-0,34476	0	0	-0,00019
5	0,5	0,217304	0,089424	-0,34464	0	0	0,000479
6	0,6	0,265054	0,115744	-0,3446	0	0	-0,00108
7	0,7	0,340954	0,157626	-0,34468	0	0	0,002008
8	0,8	0,439121	0,216106	-0,34469	0	0	0,002822
9	0,9	0,552149	0,285668	-0,34484	0	0	0,009678
10	1	0,680075	0,359847	-0,34464	0	0	-0,00469
11	1,1	0,810183	0,448115	-0,34452	0	0	0,001071
12	1,2	0,943027	0,537093	-0,3447	0	0	-0,01039
13	1,3	1,058446	0,638834	-0,34477	0	0	0,017647
14	1,4	1,170186	0,729005	-0,34471	0	0	-0,00209
15	1,5	1,264556	0,822237	-0,34442	0	0	-0,00268
16	1,6	1,34263	0,91153	-0,34463	0	0	-0,00226
17	1,7	1,411283	1,003246	-0,34477	0	0	0,008537
18	1,8	1,477947	1,09294	-0,34454	0	0	-0,00032
19	1,9	1,52827	1,18128	-0,34479	0	0	0,006171
20	2	1,57782	1,272398	-0,34479	0	0	0,010642
21	2,1	1,621925	1,358329	-0,34451	0	0	0,007994
22	2,2	1,655624	1,445095	-0,34495	0	0	0,003473
23	2,3	1,696103	1,530775	-0,34466	0	0	0,003212
24	2,4	1,725386	1,616778	-0,34472	0	0	-0,00032
25	2,5	1,748618	1,708964	-0,34462	0	0	0,013666
26	2,6	1,772804	1,792802	-0,34472	0	0	0,003621
27	2,7	1,790083	1,879588	-0,34503	0	0	0,007287
28	2,8	1,818192	1,965471	-0,34432	0	0	-0,00852
29	2,9	1,823843	2,053131	-0,34491	0	0	0,009545
30	3	1,839869	2,143756	-0,34468	0	0	0,012638
31	3,1	1,815206	2,233246	-0,34449	0	0	0,00704

## LIITE 4/5

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,080185	0	0	0	0	0
1	0,1	0,109683	0,015317	-0,34448	0	0	-0,00636
2	0,2	0,126856	0,029296	-0,34451	0	0	-0,00146
3	0,3	0,14353	0,037401	-0,34456	0	0	-0,00171
4	0,4	0,172751	0,054252	-0,34458	0	0	0,004476
5	0,5	0,233929	0,088084	-0,34458	0	0	0,003268
6	0,6	0,317795	0,136996	-0,34441	0	0	-0,0035
7	0,7	0,425452	0,198969	-0,34444	0	0	-0,00106
8	0,8	0,544487	0,277391	-0,34437	0	0	-0,00485
9	0,9	0,665989	0,356176	-0,3444	0	0	-0,00019
10	1	0,790111	0,445117	-0,3445	0	0	0,000333
11	1,1	0,913192	0,534468	-0,34452	0	0	-0,00337
12	1,2	1,020136	0,627165	-0,3446	0	0	-0,0016
13	1,3	1,115141	0,71707	-0,34454	0	0	-0,00358
14	1,4	1,197529	0,807686	-0,34458	0	0	-0,00086
15	1,5	1,27153	0,899253	-0,3445	0	0	0,001976
16	1,6	1,33507	0,98288	-0,34455	0	0	-0,00237
17	1,7	1,391619	1,072091	-0,3445	0	0	-0,0007
18	1,8	1,440174	1,158522	-0,34448	0	0	-0,00254
19	1,9	1,483784	1,247772	-0,3445	0	0	-0,00193
20	2	1,519508	1,334223	-0,3445	0	0	-0,00353
21	2,1	1,552389	1,42244	-0,34456	0	0	0,000282
22	2,2	1,583905	1,506328	-0,34461	0	0	-0,00062
23	2,3	1,610699	1,595744	-0,34461	0	0	0,002225
24	2,4	1,637174	1,683166	-0,34465	0	0	0,002585
25	2,5	1,661149	1,769293	-0,3446	0	0	-0,00293
26	2,6	1,685969	1,85606	-0,34454	0	0	-0,0004
27	2,7	1,71084	1,945284	-0,34459	0	0	0,001142
28	2,8	1,73496	2,031323	-0,34455	0	0	-0,00195
29	2,9	1,75592	2,118052	-0,34448	0	0	0,00046
30	3	1,77413	2,201755	-0,34465	0	0	0,000721
31	3,1	1,791812	2,288507	-0,34448	0	0	-0,00094
32	3,2	1,808263	2,375626	-0,34447	0	0	0,000621
33	3,3	1,823268	2,460034	-0,3445	0	0	-0,00245
34	3,4	1,825624	2,552007	-0,34465	0	0	0,000982

## LIITE 4/6

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,07587	0	0	0	0	0
1	0,1	0,11086	0	0	0	0	0
2	0,2	0,14369	0,03772	-0,3445	0	0	-0,0054
3	0,3	0,1687	0,05558	-0,3444	0	0	-0,0066
4	0,4	0,18836	0,06901	-0,3445	0	0	-0,0017
5	0,5	0,22395	0,08749	-0,3445	0	0	0,00122
6	0,6	0,29238	0,12576	-0,3444	0	0	0,00271
7	0,7	0,38516	0,18097	-0,3445	0	0	-0,0014
8	0,8	0,49873	0,24691	-0,3446	0	0	0,0002
9	0,9	0,62094	0,32321	-0,3445	0	0	-0,0011
10	1	0,74566	0,40708	-0,3445	0	0	-0,0016
11	1,1	0,86912	0,49758	-0,3445	0	0	-0,0047
12	1,2	0,98277	0,59592	-0,3445	0	0	0,00148
13	1,3	1,08506	0,68646	-0,3444	0	0	0,00011
14	1,4	1,17098	0,7775	-0,3446	0	0	-0,003
15	1,5	1,24229	0,86282	-0,3446	0	0	-0,0029
16	1,6	1,30223	0,95677	-0,3445	0	0	-0,0031
17	1,7	1,35652	1,04662	-0,3445	0	0	0,00038
18	1,8	1,40285	1,13477	-0,3446	0	0	0,00042
19	1,9	1,44439	1,22256	-0,3445	0	0	0,00142
20	2	1,48724	1,31023	-0,3445	0	0	-0,0034
21	2,1	1,52319	1,39972	-0,3444	0	0	-4E-05
22	2,2	1,55744	1,48593	-0,3445	0	0	-0,0004
23	2,3	1,59322	1,57194	-0,3445	0	0	-0,0006
24	2,4	1,62749	1,65836	-0,3445	0	0	0,00044
25	2,5	1,66475	1,74702	-0,3445	0	0	0,00315
26	2,6	1,69661	1,8316	-0,3445	0	0	-0,0028
27	2,7	1,72391	1,92157	-0,3445	0	0	-0,0016
28	2,8	1,74659	2,00827	-0,3447	0	0	-0,0015
29	2,9	1,76794	2,09715	-0,3445	0	0	-0,0007
30	3	1,78678	2,1819	-0,3445	0	0	0,00027
31	3,1	1,80322	2,26904	-0,3445	0	0	-0,0011
32	3,2	1,81895	2,35652	-0,3446	0	0	-0,0034
33	3,3	1,82868	2,44188	-0,3445	0	0	-0,0004
34	3,4	1,43331	2,53238	-0,3445	0	0	-0,0036

## LIITE 4/7

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,075713	0	0	0	0	0
1	0,1	0,110019	0,019486	-0,34451	0	0	0,000432
2	0,2	0,141835	0,037223	-0,3446	0	0	-0,00313
3	0,3	0,17303	0,056723	-0,34458	0	0	0,000122
4	0,4	0,207359	0,07646	-0,34467	0	0	-7,4E-05
5	0,5	0,247792	0,101887	-0,34457	0	0	0,00115
6	0,6	0,312112	0,137704	-0,34455	0	0	-0,00034
7	0,7	0,406107	0,190123	-0,34454	0	0	-0,00485
8	0,8	0,514121	0,256844	-0,34458	0	0	-0,00157
9	0,9	0,636317	0,331075	-0,34459	0	0	0,001942
10	1	0,758639	0,41158	-0,34453	0	0	8,28E-05
11	1,1	0,886041	0,5041	-0,34449	0	0	-0,00414
12	1,2	1,006414	0,599873	-0,34468	0	0	-0,00065
13	1,3	1,111309	0,69641	-0,34457	0	0	-0,0017
14	1,4	1,204655	0,788174	-0,34458	0	0	0,000332
15	1,5	1,282679	0,879489	-0,34459	0	0	0,003731
16	1,6	1,35063	0,971512	-0,34447	0	0	0,001674
17	1,7	1,409079	1,059138	-0,34446	0	0	0,000903
18	1,8	1,458365	1,146292	-0,34458	0	0	-0,0016
19	1,9	1,50292	1,236221	-0,34459	0	0	-0,00051
20	2	1,543821	1,324979	-0,34456	0	0	-0,00398
21	2,1	1,57897	1,411991	-0,34456	0	0	-0,00053
22	2,2	1,613216	1,497101	-0,34453	0	0	-0,0022
23	2,3	1,642065	1,584639	-0,34455	0	0	-0,00182
24	2,4	1,668914	1,671488	-0,3445	0	0	0,000236
25	2,5	1,693231	1,757782	-0,34448	0	0	-0,00032
26	2,6	1,718143	1,844981	-0,34453	0	0	-0,00132
27	2,7	1,740004	1,932609	-0,34451	0	0	-0,00093
28	2,8	1,758883	2,019626	-0,34449	0	0	0,000429
29	2,9	1,775298	2,106543	-0,34453	0	0	-0,00015
30	3	1,674879	2,193825	-0,34467	0	0	0,003894

## LIITE 4/8

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,0702	0	0	0	0	0
1	0,1	0,1042	0,01976	-0,3442	0	0	0,00347
2	0,2	0,13707	0,0388	-0,3443	0	0	0,00227
3	0,3	0,16897	0,0571	-0,3442	0	0	0,00439
4	0,4	0,20825	0,07823	-0,344	0	0	0,00087
5	0,5	0,25532	0,10559	-0,3441	0	0	0,0022
6	0,6	0,3223	0,14407	-0,3443	0	0	0,00321
7	0,7	0,41737	0,19993	-0,3444	0	0	0,00404
8	0,8	0,52924	0,26898	-0,3443	0	0	0,00474
9	0,9	0,65112	0,34454	-0,3443	0	0	0,00531
10	1	0,77895	0,42945	-0,3442	0	0	0,00343
11	1,1	0,90814	0,5227	-0,3442	0	0	0,00268
12	1,2	1,03147	0,619	-0,3442	0	0	0,00324
13	1,3	1,1392	0,712	-0,3442	0	0	0,00207
14	1,4	1,23281	0,80466	-0,3443	0	0	0,00413
15	1,5	1,31698	0,89688	-0,3441	0	0	0,00201
16	1,6	1,38793	0,98651	-0,3443	0	0	0,00415
17	1,7	1,44883	1,07661	-0,3443	0	0	0,00424
18	1,8	1,50448	1,16406	-0,3443	0	0	0,00116
19	1,9	1,55276	1,25368	-0,3443	0	0	0,0016
20	2	1,59558	1,34114	-0,3443	0	0	0,00058
21	2,1	1,63214	1,42702	-0,3442	0	0	0,00443
22	2,2	1,66486	1,51286	-0,3442	0	0	0,00063
23	2,3	1,69076	1,60127	-0,3442	0	0	0,00512
24	2,4	1,71886	1,68981	-0,3443	0	0	0,00296
25	2,5	1,74395	1,77804	-0,3442	0	0	0,00659
26	2,6	1,76656	1,86233	-0,3443	0	0	0,00517
27	2,7	1,78505	1,95063	-0,3441	0	0	0,00341
28	2,8	1,65003	2,03919	-0,3443	0	0	0,00485

## LIITE 4/9

Laskuri	Aika	Voima	Siirtymä	Venymä	UlkMit1	UlkMit2	UlkMit3
0	0	0,052737	0	0	0	0	0
1	0,1	0,087143	0,0178	-0,34464	0	0	0,002437
2	0,2	0,119387	0,038516	-0,34464	0	0	0,000487
3	0,3	0,152897	0,053714	-0,34455	0	0	-0,00995
4	0,4	0,178525	0,075185	-0,34468	0	0	0,004428
5	0,5	0,218027	0,098781	-0,34455	0	0	0,00761
6	0,6	0,275222	0,128913	-0,34468	0	0	0,002151
7	0,7	0,36227	0,17804	-0,34465	0	0	0,003874
8	0,8	0,470582	0,240763	-0,34458	0	0	-0,0037
9	0,9	0,586929	0,313904	-0,34462	0	0	-0,0004
10	1	0,712139	0,395288	-0,34456	0	0	-0,00233
11	1,1	0,845076	0,485121	-0,34458	0	0	-0,00535
12	1,2	0,967797	0,579431	-0,34478	0	0	0,001406
13	1,3	1,080423	0,673976	-0,34454	0	0	-0,00313
14	1,4	1,17684	0,767839	-0,34453	0	0	-0,00244
15	1,5	1,260967	0,860357	-0,34464	0	0	-0,00194
16	1,6	1,331684	0,949649	-0,3447	0	0	0,004318
17	1,7	1,396108	1,039833	-0,34455	0	0	0,006279
18	1,8	1,449615	1,129265	-0,34468	0	0	-0,00066
19	1,9	1,500362	1,218287	-0,34453	0	0	-0,00118
20	2	1,538137	1,308078	-0,34471	0	0	0,004485
21	2,1	1,580889	1,3902	-0,34466	0	0	-0,00547
22	2,2	1,616469	1,478227	-0,34462	0	0	-0,00512
23	2,3	1,646425	1,566522	-0,34469	0	0	-0,00371
24	2,4	1,673897	1,654443	-0,34483	0	0	0,001582
25	2,5	1,703396	1,741915	-0,34461	0	0	-0,0036
26	2,6	1,723934	1,829499	-0,34471	0	0	0,003041
27	2,7	1,746533	1,916733	-0,34471	0	0	-0,0007
28	2,8	1,767414	2,003825	-0,34474	0	0	-0,00344
29	2,9	1,710156	2,092639	-0,34464	0	0	0,000867