

KESTOMUOVIKOMPOSIITIN  
LASIKUITUJEN PILKKOONTUMINEN  
RUISKUVALUN AIKANA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Muovitekniikan koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Kevät 2008  
Teemu Leskinen 0200678

Lahden ammattikorkeakoulu  
Muovitekniikan koulutusohjelma

LESKINEN, TEEMU: Kestomuovikomposiitin lasikuitujen pilkkoontuminen  
ruiskuvalun aikana

Muovitekniikan opinnäytetyö, 46 sivua, 23 liitesivua

Kevät 2008

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia kestopuovikomposiitin lasikuitujen pilkkoontumista ruiskuvaluprosessin aikana eri ajoarvoilla ja kuinka tämä vaikuttaa valmiin tuotteen lujuusominaisuuksiin. Työ tehdään Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan laitokselle.

Työn teoriaosassa kerrotaan kestopuovikomposiitin raaka-aineista, valmistusmenetelmistä, käyttökohteista ja kuitujen pilkkoontumisesta. Lisäksi selvitetään mikä on ruiskuvaluprosessi ja kerrotaan tässä työssä käytettävät testausmenetelmät. Työn aihetta tutkitaan kahden erimittaisia lasikuituja sisältävän puovikomposiitin avulla, joiden testeistä on lopuksi esitetty mittaustulokset ja niihin perustuvat johtopäätökset.

Tutkimuksen tuloksista nähdään, että pidemmät kuidut pilkkoontuvat ruiskuvalun aikana huomattavasti ajoarvoista riippumatta. Tapahtumalla on myös suora yhteys valmiin tuotteen lujuusominaisuuksien heikkenemiseen. Lyhyempien kuitujen kohdalla pilkkoontumista ei sen sijaan havaittu tapahtuvan, mutta ruiskuvalettujen tuotteiden lujuusominaisuudet vaihtelivat selvästi prosessin aikana käytettyjen ajoarvojen välillä.

Avainsanat: puovikomposiitti, kuitujen pilkkoontuminen, lujuusominaisuudet

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

LESKINEN, TEEMU: Fracture of glass fibres in thermoplastic compound during injection molding

Bachelor's Thesis in Plastic Engineering, 46 pages, 23 appendices

Spring 2008

---

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine the fracture of glass fibres in a thermoplastic compound during injection molding with different parameters and its effects on the strength abilities of the finished product. The thesis was commissioned by the Faculty of Technology of Lahti University of Applied Sciences.

The theory part discusses the commodities, manufacturing methods, applications and fibre fracture of thermoplastic compounds. This part also describes the injection molding process and the testing methods which were used in the tests. The subject of this thesis was studied with two plastic compounds which both contain different lengths of glass fibres. The conclusions based on the test results are presented in the end of this thesis.

The test results clearly indicate that longer glass fibres tend to fracture considerably regardless of the parameters used in injection molding. This occurrence has a direct impact on the weakening of the strength abilities of the finished product. When it comes to shorter glass fibres there are no noticeable fractures but the strength abilities of injection molded products vary depending on the parameters used in the process.

Keywords: plastic compound, fibre fracture, strength abilities

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KESTOMUOVIKOMPOSIITIT	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Kestomuovit	3
2.3	Valmistusmenetelmät ja käyttökohteet	3
3	POLYPROPEENI	4
3.1	Yleistä	4
3.2	Ominaisuudet	5
3.3	Käyttö	5
4	LASIKUITU	5
4.1	Yleistä	5
4.2	Lasikuitutyypit	6
4.3	Lasikuidun valmistus	7
5	LASIKUITULUJITETTU POLYPROPEENI	8
5.1	Yleistä	8
5.2	Lasikuidun esiintyminen ruiskuvalettavassa polypropeenikomposiitissa	9
6	LUJITEKUITUJEN PILKKOONTUMINEN RUISKUVALUPROSESSIN AIKANA	10
7	TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT LAITTEISTOT JA MENETELMÄT	11
7.1	Optinen mikroskopia	11
7.1.1	Yleistä	11
7.1.2	Optisen mikroskoopin rakenne	11
7.2	Vetokokeet	12
7.3	Taivutuskokeet	13
7.4	Iskukokeet	14
7.5	Ruiskuvalu	15
7.5.1	Historia	15
7.5.2	Ruiskuvalukone	16

7.5.3	Ruiskuvalumuotti	16
7.5.4	Ruiskuvalujakso	16
8	TUTKIMUS JA TESTITULOKSET	18
8.1	Tutkimuksessa käytetyt muovikomposiitit	18
8.1.1	Neste PPGF40 pitkäkuitu	18
8.1.2	Polyram Black PPH300G4BK11	19
8.2	Lasikuitujen pituuksien mittaaminen ennen ruiskuvalua	20
8.3	Testattavien koesauvaerien ruiskuvalaminen	23
8.4	Koesauvaerien lasikuitujen pituuksien mittaaminen	25
8.5	Vetokokeet	29
8.6	Iskukokeet	33
8.7	Taivutuskokeet	36
9	YHTEENVETO	40
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	46

# 1 JOHDANTO

Komposiitiksi kutsutaan kahden tai useamman materiaalin yhdistelmää, jossa komponentit eivät ole lienneet tai sulaneet toisiinsa. Tutkimukseen valittiin kaksi erimittaisia kuituja sisältävää muovikomposiittia laajempien testituloksien aikaansaamiseksi. Toinen tutkittavista materiaaleista on Nesteen n. 10 mm pitkiä lasikuituja sisältävä PPGF40 -pitkäkuitukomposiitti ja toinen Polyramin n. 1 mm pitkiä lasikuituja sisältävä PPH300G4BK11 -lyhytkuitukomposiitti.

Kuitulujittamisen periaate on, että lujitettavan materiaalin, eli matriisin, sisään sijoitetaan sitä lujempaa materiaalia kuitujen muodossa niin paljon, että nämä ”vieraat” kuidut kantavat ulkoiset rasitukset, ja matriisin pääasialliseksi tehtäväksi jää kuitujen koossa pitäminen. Näin siis heikkokin materiaali saadaan lujaksi, jos se vain onnistuu pitämään lujittavat kuidut riittävän hyvin koossa ulkoisen rasituksen alaisena. Tämä periaate kuitenkin rakentuu ainoastaan katkeamattoman lujitekuidun ominaisuuksiin.

Lahden ammattikorkeakoululle työ on ensimmäinen laatuaan, ja sen tutkimukset suoritettiin kokonaisuudessaan koulun laitteistoja apuna käyttäen. Tutkimuksen tuloksien perusteella tehdään komposiittikohtaisia päätelmiä ruiskuvalukoneen ajoarvojen vaikutuksista valmiin tuotteen kuitupituuksiin, sekä veto-, taivutus- ja iskujuuteen.

## 2 KESTOMUOVIKOMPOSIITIT

### 2.1 Yleistä

Ihmiset keksivät ensimmäiset komposiitit jo vuosisatoja ennen ajanlaskumme alkua valmistaessaan tiiliä sekoittamalla olkia ja savea. Olki toimi tiilikomposiitissa lujitteena ja savi matriisina. Matriisiksi kutsutaan materiaaliyhdistelmän kokonaisuudeksi sitovaa aineosaa. Kestomuovikomposiitissa matriisina toimii nimensä mukaisesti kestonmuovi. Matriisin yhteen sitomat muut aineosat voivat olla esimerkiksi lujittavia kuituja, joiden avulla komposiitin ominaisuuksia parannetaan niin, että tulos enemmän kuin osiensa summa. Komposiitti on siis yleisnimi kaikille kahden tai useamman materiaalin yhdistelmille, joissa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole lienneet tai sulautuneet toisiinsa. (Myllymaa & Vesterbacka.)

Ensimmäinen patentti muovikomposiittien alalta myönnettiin 1900-luvun alussa fenolimuovien lujittamisesta. Ensimmäistä kaupallista huomiota muovikomposiitit saivat kuitenkin vasta 1930-luvulla, jolloin kehitettiin ensimmäiset polyesteri- ja epoksimuovit. Muovikomposiittien ensimmäiset massatuotantoon soveltuvat valmistusmenetelmät kehitettiin 1940-luvun loppupuolella. (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars & Komppa 2003, 13.)

Muovikomposiiteilla on joukko ominaisuuksia joiden avulla ne ovat osoittautuneet kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi metalleille ja muille materiaaleille. Tärkeimpiä etuja ovat suuri lujuus ja jäykkyys suhteutettuna ominaispainoon, muotoiluvapaus sekä mahdollisuus valmistaa suuria rakenteita yhtenä kokonaisuutena. Muoveille tyypillinen kemiallinen kestävyys ja lujuusominaisuuksien suunnattavuus ovat myös etuja, joiden vuoksi eri tilanteissa päädytään käyttämään muovikomposiitteja. Muovikomposiittien käyttöä rajoittaa raaka-aineiden korkeahko hinta ja useiden matriisimuovien alhainen lämmönkestävyys. (Saarela ym. 2003, 13.)

## 2.2 Kestomuovit

Suurempaa muovien pääryhmää kutsutaan kestopuoveiksi. Niiden molekyyliit ovat pitkiä polymeeriketjuja, joiden välillä ei ole kemiallisia sidoksia, joten niitä voidaan lämmön avulla muovata uudelleen rakenteen muuttumatta. Monet kestopuovit ovat ns. valtamuoveja, joita käytetään suuria määriä monissa sovelluksissa. Muovikomposiiteissa niiden käyttö on kuitenkin vähäisempää kuin kertamuovien, sillä kestopuovien muottikutistuma on suurempi ja niitä on vaikeampi työstää. Myös mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet ovat huonompia kertamuoveihin verrattuna. Tärkeimpiä matriisikestopuoveja ovat polyamidi ja tässäkin työssä käytettävä polypropeenii. (Airasmaa ym. 1991, 18.)

## 2.3 Valmistusmenetelmät ja käyttökohteet

Kestomuovikomposiittikappaleiden valmistukseen käytetään pääasiassa ruiskuvalua, ekstruusiota, puhallusmuovausta ja rotaatiovalua. Näistä selvästi käytetyin on ruiskuvalu, jonka avulla voidaan valmistaa melkein minkä muotoisia tuotteita tahansa. Ruiskuvalu on yleisin muovituotteiden valmistusmenetelmä. Ekstruusion avulla pystytään valmistamaan periaatteessa loputtoman pituisia kappaleita, sillä menetelmä perustuu muotoiluun käytettävään suulakkeeseen, jonka läpi tuote kulkee valmistuksen aikana. Menetelmän avulla valmistetaan paljon kalvoja tai profiileja. Valmistusmenetelmän valintaan vaikuttavat valmistettavan kappaleen koko, muoto, valmistussarjan suuruus ja halutut ominaisuudet. Ruiskuvalun ja ekstruusion lisäksi vain murto-osa kestopuovikomposiittituotteista valmistetaan toisilla menetelmillä. (Muovi - mahdollisuuksien materiaali.)



Kestomuovikomposiittien suurin käyttökohde on autoteollisuus, jossa on paljon raskaita metalliosia onnistuttu korvaamaan lasikuitulujitetulla muovilla. Yleisimpiä korvattuja osia ovat mm. spoilerit, puskurit, taustapeilin runko, polkimet ja bensinipumput. Muovikomposiittien selviä etuja metalliin nähden ovat niiden keveys, korroosion kestävyys, helppo muotoiltavuus ja vähäinen huollon tarve. Muita yleisiä kestopuovikomposiittien käyttökohteita ovat huonekalut, sähkökomponentit ja kodinkoneet. Kuviossa 1 näkyy kestopuovikomposiittituotteita. (Reduced fibre breakage in a glass-fibre reinforced thermoplastic through foaming.)



KUVIO 1. Kestomuovikomposiittien käyttökohteita.

### 3 POLYPROPEENI

#### 3.1 Yleistä

Polypropeeni on yksi kolmesta maailman käytetyimmistä muovista polyvinyylikloridin ja polyeteenin kanssa. Polypropeenit ovat tällä hetkellä nopeimmin kehittyviä ja käyttömäärältään kasvavia muoveja, joiden saatavuus erilaisina lajikkeina on todennäköisesti laajempaa kuin minkään muun muovin. Suhteellisen edullinen hinta ja laaja saatavuus räätälöitynä erilaisiin työstötekniikoihin ja käyttösovelluksiin ovat

vaikuttaneet polypropeenin käytön yleistymiseen. Yleisin työstömenetelmä on kuitenkin ruiskuvalu. (Järvelä, Syrjälä, Vastela, 1999, 19.)

### 3.2 Ominaisuudet

Polypropeenin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat hyvä kemiallinen kestävyys, kohtuulliset mekaaniset ominaisuudet, edullinen hinta ja pieni ominaispaino. Hyvän kulumiskestävyys vuoksi se on erinomainen materiaali mm. kalvosaranoiden valmistamiseen. Polypropeenin muottikutistuma on suhteellisen pieni ja sitä on helppo prosessoida. Puhtaana polypropeeni on täysin myrkytön ja sen pitkäaikainen käyttölämpötila on -20–100 astetta. Lyhytaikaisesti se kestää n. 120 asteen lämpötilaa. Kylmissä lämpötiloissa polypropeeni kärsii hauraudesta. Polypropeenin sähköneristyskyky on muihin muoveihin verrattuna yksi parhaista polyeteenin lisäksi. (Järvelä ym. 1999, 19.)

### 3.3 Käyttö

Polypropeenia käytetään melkein kaikilla teollisuuden aloilla. Ruiskuvalettuna sitä voidaan käyttää hyvin monissa sovelluksissa, kuten rasiat, pullot, erilaiset pakkaukset, ruiskut, kotitalouskoneiden osat ja autojen komponentit. Muita yleisiä käyttökohteita ovat mm. säiliöt, putket ja putkien osat, venttiilit ja pumput. (Järvelä ym. 1999, 19.)

## 4 LASIKUITU

### 4.1 Yleistä

Useissa tapauksissa muovi ei itse riitä kestävänsä siihen kohdistuvia kuormituksia, joten siihen täytyy lisätä lujitteita. Matriisimuovi sitoo lujitteet toisiinsa suojaten niitä ja siirtää kuormitukset lujitteiden kannettavaksi. Muovien varsinaisiksi lujit-

teiksi katsotaan ainoastaan tätä tarkoitusta varten valmistetut kuidut. (Airasmaa ym. 1991, 102.)

Tärkeimpiä tuotannon asteelle saatettuja lujitekuituja ovat lasi-, hiili-, aramidikuidut. Selvästi merkittävin näistä on kuitenkin lasikuitu, jonka osuus kaikesta lujitekäytöstä on yli 95%. Hiili-, ja aramidikuituja käytetään ainoastaan tapauksissa, joissa vaaditaan keveyttä ja samalla suurta lujuutta ja jäykkyyttä, kuten esimerkiksi urheiluvälineteollisuudessa. (Airasmaa ym. 1991, 102; Saarela ym. 2003, 74.)

Lasikuidun valmistus jatkuvina kuituina keksittiin 1930-luvun alussa ja sitä on valmistettu teollisesti vuodesta 1936. Samalla vuosikymmenellä tulivat myös ensimmäiset patentit polyesterihartsista, joten lujitemuovien valmistuksen voidaan katsoa alkaneen juuri ennen toista maailmansotaa. Lasikuidun käytön muovien lujittamiseen arvioidaan kasvavan vuosittain 3-5 %. Lujitemuoviteollisuuden lisäksi lasikuitua käytetään myös mm. kudoksien valmistuksessa sekä polyvinyylidikloridimatoissa ja -tapeteissa. (Saarela ym. 2003, 74.)

Muovin murtovenymä on yleensä n. 6-7 %, kun taas lasin murtovenymä on n. 2-3 %. Tämän vuoksi lasikuitu pystyy kantamaan ne rasitukset, jotka ympäröivä matriisimuovi sille välittää. Suuremman venymän omaavilla kuiduilla, kuten puuvilla ja nylon, ei ole samaa mahdollisuutta ottaa kannettavakseen matriisiin kohdistuvia rasituksia, koska matriisimuovi murtuu ennen kuin on tultu sille venymäalueelle, jossa nämä aineet rupeaisivat kantamaan. (Karo 1970, 42.)

#### 4.2 Lasikuitutyypit

Lasikuitua voidaan valmistaa monista eri lasityypeistä. Vanhin lasikuitutyyppi on A-lasi. Se on natriumkalsiumsilikaattilasia, josta valmistetaan myös ikkuna- ja pakkauslasia, mutta kuidun huonon vedenkestävyyden takia tästä lasityypistä ei enää valmisteta lasikuituja. Nykyään kuidun valmistus tapahtuu pääasiassa E – ja C-lasista. (Saarela ym. 2003, 75.)

E-lasista (Electrical glass) valmistettujen kuitujen osuus kaikesta valmistetusta lasikuidusta on nykyisin 99 %. Se sisältää alkaleja ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) alle 1 p%, joten sen kemiallinen kestävyys on hyvä. Lisäksi E-lasilla on hyvät sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet. (Saarela ym. 2003, 75.)

Korroosionkestäviä lujitemuovituotteita valmistettaessa käytetään C-lasia (chemically resistant glass). C-lasista valmistetaan pintahuopa, joka laitetaan laminaatin pintakerrokseen. (Saarela ym. 2003, 75.)

Lisäksi lentokoneteollisuutta varten on kehitetty S-lasi (high strenght glass) ja R-lasi. Niiden lämmönkestävyydet ovat erinomaiset, ja niiden vetolujuus ja kimmo-kerroin ovat E-lasin vastaavia arvoja suuremmat. S -ja R-lasin käyttöä rajoittaa kuitenkin korkea hinta. (Saarela ym. 2003, 75.)

#### 4.3 Lasikuidun valmistus

Lasikuidun valmistukseen tarvittavia raaka-aineita ovat  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  ja  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Näiden lähteet vaihtelevat jonkin verran saatavuudesta ja olosuhteista riippuen, mutta tavallisimmin  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -lähteenä käytetään kaoliinia,  $\text{CaO}$ -lähteenä kalkkikiveä,  $\text{SiO}_2$ -lähteenä kvartsihiekkää ja  $\text{B}_2\text{O}_3$ -lähteenä jotakin alkaalivapaata boorimineraalia, kuten kalsiumboraattia. Pääraaka-aineiden lisäksi lasikuidun valmistuksessa käytetään myös lisäaineita, joiden avulla säädellään lasin hapetuspelkistystasapainoa ja nopeutetaan kaasukuplien poistumista lasista. (Saarela ym. 2003, 75 -76.)

Valmistus alkaa raaka-aineiden punnituksella ja sekoituksella, jonka jälkeen raakaaineseos syötetään sulatusuuniin. Uuni lämmitetään polttamalla joko öljyä tai kaasua, jotta lasikuidun vaatima korkea 1400 asteen lämpötila saavutetaan. Lasikuidun ohuuden ja suuren vetonopeuden takia kuidun veto ei onnistu huonosta lasista. Sulatusprosessissa on siis tärkeää, että saavutetaan kaasukuplaton lasimassa, joka ei sisällä liukenemattomia aineita eikä kiteytymiä. (Saarela ym. 2003, 76.)

Sulatusuunin sisällä olevat pulputtimet puhaltavat sulan lasin läpi ilmakuplia, jotka sekoittavat lasia ja jakavat uunin kahteen osaan, sulatusosaan ja selvitysosaan. Sulatusosassa seos sulatetaan lasiksi, josta selvitysosassa poistuvat kaasukuplat ja lasi saa jäähtyä ennen poistumistaan uunista kurkun kautta H-kirjaimen muotoiseen kanavistoon. Kanavistossa lasi jäähdytetään sopivan lämpöiseksi, jotta se voidaan vetää H-kirjaimen pystysuorissa osissa olevien suuttimien läpi kuiduiksi. (Saarela ym. 2003, 77.)

Suuttimen jälkeen kuituihin suihkutetaan vettä jäähdyttämään ja kostuttamaan niitä, ennen pinnoiteaineella päällystämistä. Pinnoiteaineena toimivat vesiemulsiossa olevat kemikaalit, joiden päätarkoituksena on muodostaa kuiduista kimppu ja parantaa niiden kemikaalisia ja fysikaalisia pintaomaisuuksia. Pinnoitus tapahtuu vetämällä kuidut pyörivän telan yli, jonka pinnalla on pinnoiteaine-emulsion muodostama kalvo. Pinnoituksen jälkeen kuidut kelataan pahvisen hylsyn päälle. Jatkojalostuksessa kuitu jalostetaan hakkeeksi, rovingiksi tai matoiksi. (Saarela ym. 2003, 78; Karo 1970, 47.)

## 5 LASIKUITULUJITETTU POLYPROPEENI

### 5.1 Yleistä

Lasikuitulujitetun polypropeenin käyttö on viime vuosina lisääntynyt merkittävästi erilaisissa tekniikan sovelluksissa. Lasikuitulujitteen ansiosta tämän kestämuovikomposiitin hyviä ominaisuuksia ovat parempi vetolujuus ja mittapysyvyys sekä korkeampi käyttölämpötila kuin lujittamattomassa polypropeenissa. Lisäksi sen loputon varastointiaika ja luontainen kierrätettävyys ovat helpon työstettävyyden lisäksi edistäneet polypropeenikomposiittien käyttöä. Merkittävästi pienempi murtovenymä sekä sähköisten ominaisuuksien heikkeneminen verrattuna lujittamattomaan polypropeeniin ovat komposiitin huonoja puolia. Polypropeenin soveltuvuus suuriin valmistuseriin sekä niiden suhteellisen halvat valmistuskustannukset ovat lisänneet niiden tutkimusta ja käyttöä muovikomposiittien matriisinä. (The influ-

ence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection molded long and short fibre PP.)

## 5.2 Lasikuidun esiintyminen ruiskuvalettavassa polypropeenikomposiitissa

Polypropeenipohjaisten lasikuitulujitettujen muovikomposiittien valikoima on nykyään suuri, ja se kasvaa koko ajan. Valikoima jaetaan yleisesti osiin lujitekuidun pituuden perusteella. Ruiskuvaluun soveltuvat polypropeenikomposiitit pitävät sisällään ns. lyhyt – tai pitkäkuituja. Lyhytkuitujen pituudet ovat  $< 1$  mm ja pitkäkuitujen 1 – 25 mm. Lyhyempien kuitujen vuoksi lyhytkuitukomposiitilla on pieni muottikutistuma, jonka vuoksi valmiissa tuotteessa ei yleensä esiinny imuja. Pitkäkuitulujitetun polypropeenikomposiitin veto -, taivutus- ja iskulujuudet ovat merkittävästi suurempia kuin lyhytkuitulujitetun komposiittiin, sillä pidemmät kuidut pystyvät kantamaan tehokkaammin komposiittiin kohdistuvia rasituksia. Lyhytkuitujen orientointi on vaikeampaa, joten niiden avulla pitkäkuitujen tilavuusosuusarvot ovat mahdottomia saavuttaa. (The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection molded long and short fibre PP.)

Kuitupituuden lisäksi polypropeenikomposiitin ominaisuuksiin vaikuttaa myös lujitekuitupitoisuus. Pitoisuuden kasvulla on suora lineaarinen yhteys komposiitin kimmomoduliin. Mitä suurempi kuitupitoisuus on, sitä suurempi on komposiitin kimmokerroin. Samanlaista suoraa yhteyttä lujuusominaisuuksien kohdalla ei kuitenkaan ole, vaan maksimi-arvot saavutetaan pitoisuuden ollessa n. 40 - 50 p- %, minkä jälkeen ominaisuudet alkavat voimakkaasti laskea kohti lujittamattoman polypropeenin arvoja. Pitoisuuden kasvaessa lasikuitujen pilkkoontuminen ruiskuvalun aikana lisääntyy ja niiden sivusuhte pienenee. Rikkoutuneet kuidut eivät enää kykene kantamaan komposiittiin kohdistuvia rasituksia alkuperäisellä tavalla. (The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 7. Interface strength and fibre strain in injection molded long fibre PP at high fibre content.)

## 6 LUIJITEKUITUJEN PILKKOONTUMINEN RUISKUVALUPROSESSIN AIKANA

Muovikomposiitin mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttavat lujitekuidun pituus, tilavuusosuus ja sivusuhte sekä kuitujen orientoituminen. Ruiskuvalettavan tuotteen ominaisuuksien heikkenemiseen vaikuttaa yleensä lujitekuitujen vahingoittuminen ruiskuvalun aikana. Yleisesti voidaan sanoa, että tapahtumaan vaikuttaa kolme päätekijää: kuitujen väliset yhteentörmäykset, kuidun ja sylinterin seinien väliset yhteentörmäykset sekä sulan matriisin reologia. (Reduced fibre breakage in a glass-fibre reinforced thermoplastic through foaming.)

Ruiskuvalukoneen sylinterissä sulan massan mukana virtaavat lujitekuidut alkavat ajon aikana kääntyillä. Massan sisällä kääntyilevä kuitu altistuu leikkausjännityksille, joiden tuloksena se alkaa taipua. Kuitujen pilkkoontumista alkaa tapahtua, kun kriittinen leikkausjännitys on saavutettu. Kriittinen leikkausjännitys on riippuvainen kuidun kimmokertoimesta ja sivusuhteesta. Kuitujen kääntäilyyn vuoksi lyhyemmät ja pidemmät kuidut pilkkoontuvat enemmän suuremmilla tilavuusosuuksilla, jolloin kuitujen välistä yhteentörmäystä tapahtuu enemmän. Lyhyemmät kuidut ovat herkempiä keskinäisille osumille, sillä niitä on määrällisesti enemmän samassa tilavuusosuudessa. Niillä on myös taipumus kääntyillä enemmän, mikä vaikuttaa törmäilyjen syntyyn. (Reduced fibre breakage in a glass-fibre reinforced thermoplastic through foaming.)

Kuitujen tilavuusosuuden pienentäminen on kaikista tärkein syy vähentää kuitujen välistä törmäilyä, mutta se kuitenkin vaikuttaa selvästi mekaanisten ominaisuuksien heikkenemiseen. Kuitujen ja sylinterin seinien välisiä yhteentörmäyksiä voidaan vähentää huolellisella koneen ja ruuvien suunnittelulla. Tehokas tapa vähentää sulan matriisin sisäisiä jännityksiä on nostaa massan lämpötilaa, jolloin sen viskositeetti pienenee. (Reduced fibre breakage in a glass-fibre reinforced thermoplastic through foaming.)

## 7 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT LAITTEISTOT JA MENETELMÄT

### 7.1 Optinen mikroskopia

#### 7.1.1 Yleistä

Optisella mikroskopiolla tarkoitetaan näytteen tutkimista korkean suurennuskyvyn omaavilla optisilla mikroskoopeilla. Optista mikroskooppia käytettäessä tutkittava näyte asetetaan kohtisuorasti linssin akseliin nähden. Näytteeseen kohdistetaan valoa, joka osittain heijastuu takaisin linssille. Mikroskoopin kautta nähtävän kuvan laatu riippuu valaistuksen laadusta, sekä näytteen asettelusta ja ominaisuuksista. Optiset mikroskoopit luokitellaan yleensä suurennuskykynsä mukaan matala – tai korkeatehoisiin optisiin mikroskoopeihin. Matalatehoiset mikroskoopit suurentavat näytteen yleensä 5 – 60 kertaiseksi, joskin jotkut jopa 100 kertaiseksi. Korkeatehoisilla mikroskoopeilla saavutetaan yleensä 100 – 1000 kertainen suurennuskyky. (Optical microscopy.)

#### 7.1.2 Optisen mikroskoopin rakenne

Optinen mikroskooppi koostuu valonlähteestä, objektiiviosasta, aukkohimmenninrenkaasta, kenttähimmenninrenkaasta, okulaarista ja ristipöydästä. Perinteisesti mikroskoopin valonlähteenä on käytetty pienjännitehehkulamppua, mutta uusissa laitteissa käytetään lähes poikkeuksetta halogeenilamppua. Objektiiviosa sisältää yleensä 4 – 5 objektiivia, joiden avulla mikroskoopin suurennustehoa voidaan säätää. Okulaarin avulla objektiivin kuvaa suurennetaan entisestään yleensä kymmenkertaiseksi. Aukkohimmenninrengasta käytetään resoluution ja kontrastin säätämiseen. Kenttähimmenninrenkaan avulla taas voidaan säätää näkymän kokoa. Tarkasteltavaa näytettä voidaan ohjata ristipöydän avulla x – ja y – akselin suuntaisesti. (Optical microscopy.)



## 7.2 Vetokokeet

Vetokokeen avulla määritetään tavallisesti materiaalin kimmomoduli, vetolujuus, murtovenymä ja poikittaista suppeumaa kuvaava Poissonin vakion arvo. Lisäksi voidaan mitata vetokuormituksen aiheuttamaa koekappaleen säröilyä. Kokeista saatuja arvoja käytetään lujuuslaskelmissa tarvittavien materiaaliarvojen määrittämiseksi sekä laskentatulosten varmistamiseksi. Vetokokeet ovat helppoja ja nopeita suorittaa, joten ne soveltuvat hyvin aineen ominaisuuksien määrittämisen lisäksi myös laadunvalvontaan. (ISO 527-1:1993.)

Muovikomposiittien vetokoestandardit pohjautuvat lujittamattomille muoveille kehitettyihin koestusmenetelmiin. Koekappale on muodoltaan keskeltä kavennettu sauva, jonka muodolla pyritään saamaan pettämiskohta vapaalle keskialueelle. Mittaustulosten tarkkuuteen vaikuttavat erityisen paljon aineenkoestuslaitteeseen asennettavan koesauvan asennusvirheet. Koesauva on asennettava laitteeseen tarkasti vetokuormituksen suuntaisesti, koska jo pienetkin asennusvirheet vaikuttavat mittaustuloksiin. (ISO 527-2:1993.)

Vetokoelaitteisto mittaa koesauvaan kohdistuvaa kuormaa  $F$  ja sauvan mitta-alueen venymää  $\epsilon_x$  piirtäen samalla kokeen tulokseksi saatavaa jännitysvenymäkäyrää. Venymää mitataan ekstensiometrillä tai venymäliuskalla. Kun mitta-alueen poikkipinta-ala  $A$  tunnetaan, voidaan edelleen laskea kuormaa vastaava sauvan normalisoitu vetojännitys:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Jännitysvenymäkäyrä voidaan laskea jännitys/venymä-arvopareista. Sen lineaariselta alueelta valitaan kaksi jännitys/venymä-arvoparia, joista saadaan määritettyä materiaalin kimmomoduli:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

Kun lisäksi mitataan koesauvan poikittaista venymää  $\epsilon_y$ , saadaan  $\epsilon_x \epsilon_y$  – kuvaajan lineaariselta alueelta valituista venymäpareista laskettua Poissonin vakio:

$$\nu_{xy} = \frac{-\Delta \epsilon_y}{\Delta \epsilon_x}$$

(ISO 527-1:1993)

Kuormitusnopeudeksi kutsutaan laitteiston liikkuvan kiinnitysleuan nopeutta, joka vaihtelee välillä 1-500 mm/min. (ISO 527-1:1993.)

### 7.3 Taivutuskokeet

Vetokokeiden lisäksi koekappaleen sidoslujuuksia voidaan mitata myös taivutuskokeilla, jolloin maksimivetojännitys vallitsee taivutettavan koekappaleen alapinnalla ja vastaavasti maksimipuristusjännitys koekappaleen yläpinnalla. Koesauva on asetettu kahden rullamaisen tuen päälle, ja sitä kuormitetaan pyöreällä kuormituspäällä. Koetta nimitetään kolmipistetaivutukseksi. (ISO 178:1993.)

Taivutuskokeessa sauvaan kohdistuvaa kuormaa kasvatetaan tasaisella nopeudella. Kun sauva pettää, voidaan senhetkisen mitatun murtokuorman avulla laskea normalisoitu taivutusjännitys (taivutuslujuus) murtohetkellä. Kolmipistetaivutuksessa tämä saadaan lausekkeesta

$$\sigma = \frac{3FuL}{2bh^2},$$

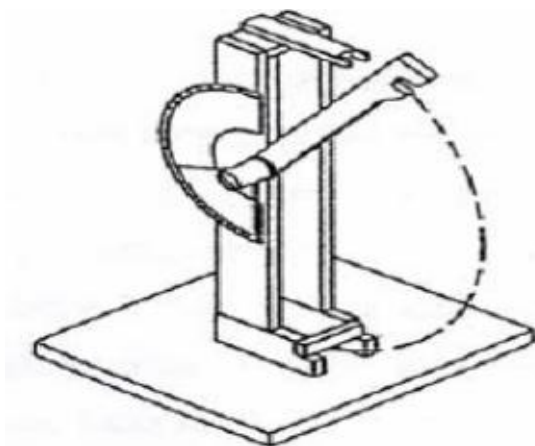
jossa  $F_u$  on murtokuorma,  $L$  on tukiväli,  $h$  on koesauvan paksuus ja  $b$  on koesauvan leveys. (ISO 178:1993.)

Normaalisti taivutuskoetta käytetään varmistamaan taivutusjäykkyydelle ja -lujuudelle laskennallisesti saadut arvot. Se on myös hyödyllinen työkalu laadunvarmistuksessa, sillä se on yksinkertainen toteuttaa, ja sen avulla saadaan testattua

monien materiaalien parametrien oikeellisuus tai virheellisyys. (Saarela ym. 2003, 302.)

#### 7.4 Iskukokeet

Muovien ja muovikomposiittien iskulujuutta tutkitaan erilaisilla iskukokeilla, joissa mitataan kappaleen murtumiseen tarvittava energia. Mitä enemmän materiaali pystyy absorboimaan nopeasti energiaa, sitä parempi on sen iskunkestävyys. Iskumaisen kuorman kantokyky on muoveilla usein heikompia kuin hitaasti kasvavan kuorman kesto. Iskulujuuden määrittämiseen käytetään yleisimmin heilahdusvasarauskoeetta. Kuviossa 3 on kuva kokeessa käytettävästä heilahdusvasarasta. (Muovien ominaisuudet ja niiden testaus.)



KUVIO 3. Kuviossa näkyy heilahdusvasara iskukokeiden suorittamiseen (Muovien ominaisuudet ja niiden testaus.)

Iskukokeet jaetaan yleisesti kahteen menetelmään. Izod - menetelmässä lovettu koekappale on pystysuorassa, ja isku suoritetaan loven puolelta. Charpy - menetelmässä koekappale on vaakatasossa, ja se on joko lovettu tai loveamaton. Jos kappale on lovettu, isku suoritetaan loven vastakkaiselta puolelta. Charpy on nykyään käytetympi menetelmä. (Muovien ominaisuudet ja niiden testaus.)

Loven merkitys koekappaleessa on toimia jännityksen keskittäjänä, jolloin kappaleessa mahdollisesti olevien virheiden vaikutus pienenee. Muovien lovi-iskulujuus on huomattavasti pienempi kuin loveamaton iskulujuus. Tämän tutkimuksen iskukokeet suoritettiin SFS-EN ISO 180 standardin mukaisesti Izod – menetelmällä, jolloin testattaviin koekappaleisiin tuli jyrsiä lovi, jonka pohjasäde oli 0,25 mm. Lämpötilan nostaminen parantaa iskulujuutta sillä polymeeriketjujen liikkeet pystyvät tasoittamaan iskun aiheuttamia jännityksiä muuttamalla niistä osan lämmöksi. Iskulujuus lasketaan absorboidun energian ja kappaleen poikkipinta-alan suhteena:

$$\frac{E}{(bh)}$$

Iskukokeet on helppo suorittaa, mutta koetulosten hyödyntämismahdollisuudet käytännön suunnittelutyössä ovat rajalliset. Kokeet sopivatkin lähinnä materiaali-vertailuihin. (SFS-EN ISO 180.)

## 7.5 Ruiskuvalu

### 7.5.1 Historia

Ensimmäisen ruiskutuksen muottiin teki Jon Wesley Hyatt vuonna 1868 valmistessaan biljardipalloja selluloidista. Vuonna 1872 Jon ja hänen veljensä Isaiah patentoivat ensimmäisen mäntäperiaatteella toimivan ruiskuvalukoneen ja tätä voidaan pitää ruiskuvaluteollisuuden alkuna. Laitetekniikka pysyi samana vuoteen 1946, jolloin James Hendry alkoi markkinoida kehittämäänsä ja patentoimaansa ruuvitoimista ruiskuvalukonetta perinteisen mäntäkoneen tilalle. Ruuvi, joka pyöriessään ulkopuolelta kuumennetussa putkessa sulattaa muovimateriaalin ja tekee ruiskutusiskun, aiheutti vallankumouksen muovituotteiden valmistuksessa. Ruuvikäyttöisen koneen suurena etuna on ensinnäkin ruuvin massaa sekoittava vaikutus ja toisaalta massan sekoituksen aikana tuotava ulkoinen mekaaninen energia. Noin 95 % kaikista muovien valukoneista hyödyntää ruuvia. (Järvelä, Syrjälä, Vastela 1999, 12.)

### 7.5.2 Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukoneen pääosat ovat koneenrunko, muotti, muotinsulkumekaniikka, ruiskutusruuvi, materiaalinsyöttöjärjestelmä sekä ohjausjärjestelmä. Yleisesti ruiskuvalukoneet luokitellaan muotin sulkuvoiman, ruiskutuspaineen tai ruuvikoon mukaan. Useimmiten kone rakennetaan niin, että muotti sulkeutuu vaakatasossa, mutta joihinkin erikoistarkoituksiin on rakennettu pystysuunnassa aukeavia muotteja painovoiman hyödyntämiseksi. Tällöin on yleensä kyse sellaisista koneista, joihin lisätään jokin metalliesine yhdistettäväksi valettavaan muottiin. Tällainen tilanne on esimerkiksi ruuvimeisselin valmistuksessa. Käyttövoiman suhteen koneita on kolme tyyppiä: hydraulisia, sähköisiä tai näiden yhdistelmiä. (Järvelä ym. 1999, 92.)

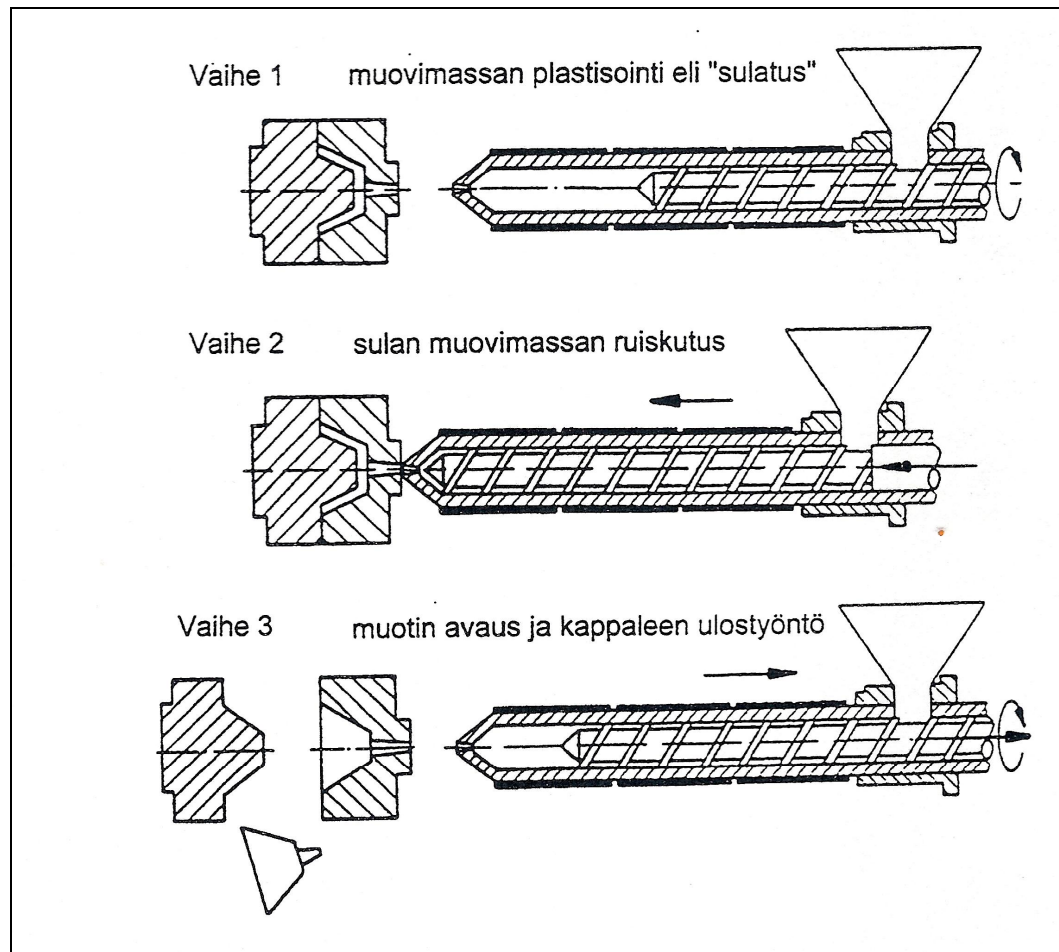
### 7.5.3 Ruiskuvalumuotti

Ruiskuvalumuotit ovat hyvin yksilöllisiä jo pelkästään siitä syystä, että ne tehdään yksittäin määrättyä kappaletta varten, ja viimeistely tapahtuu useimmiten käsityönä. Yksinkertaisimmillaan ruiskuvalumuotti muodostuu kahdesta muotin puolikkaasta, jotka on kiinnitetty ruiskuvalukoneen muottipöytiin. Nämä kaksi peruselementtiä, kiinteä muottipuolikas ja liikkuva puolikas, voidaan löytää jokaisesta ruiskuvalumuotista. Näistä puolikkaista yleensä se, josta ruuvi painuu muottia vasten, on kiinteä. Muotin perustehtäviin kuuluu toimia massasulan juoksukanavana ja antaa ruiskuvalukappaleelle haluttu muoto. (Järvelä ym. 1999, 113.)

### 7.5.4 Ruiskuvalujakso

Ruiskuvalukoneen tehtävänä on aikaansaada muotin avaamiseen ja sulkeutumiseen tarvittavat liikkeet, muodostaa riittävä muottipuolikkaiden sulkuvoima, ruiskuttaa plastisoitu massa muottiin ja plastisoida uusi annos seuraavaa muotin täyttymistä varten. Ruiskuvalukoneiden alkutaipaleella lähes kaikki nämä mainitut vaiheet tehtiin käsikäyttöisesti. Ruiskuvalujakso voidaan jakaa useisiin vaiheisiin, mutta karkeasti tapahtumat voidaan jaotella kolmeen jaksoon: muovimassan plastisointiin, muotin täyttämiseen ja muotin avaamiseen sekä samalla kappaleen ulostyöntöön.

Jakson vaiheet on esitetty kuviossa 4. (Järvelä ym. 1999, 47, 92.)



KUVIO 4. Ruiskuvalujakson vaiheet (Järvelä ym. 1999, 92.)

## 8 TUTKIMUS JA TESTITULOKSET

### 8.1 Tutkimuksessa käytetyt muovikomposiitit

#### 8.1.1 Neste PPGF40 pitkäkuitu

Vuonna 1994 suomalainen Neste ja norjalainen Statoil yhdistivät petrokemikaalien ja muovien tuotantonsa, jonka seurauksena Borealis perustettiin. Tämän vuoksi tutkimuksessa käytetyn Neste PPGF40 pitkäkuitukomposiitin tuotenimi on muuttunut, eikä vanhalla nimikkeellä ole enää saatavissa tuotetietoja. Borealoksen uusi tuotenimi kyseiselle muovikomposiitille on Nepol GB402HP, jonka tietoja työssä käytetään. Tutkimuksen aikana kyseisestä komposiitista käytetään kuitenkin vanhaa tuotenimeä sekaannusten välttämiseksi. IDES – materiaalitietokannan tiedot Nepol GB402HP muovikomposiitista näkyvät liitteessä 6 työn lopussa. (Neste Oil Oyj historia.)

Neste PPGF40 pitkäkuitukomposiitti koostuu n. 10 millimetriä pitkistä lasikuiduista (40 p-%) ja matriisimuovina toimivasta polypropeenista (60 p-%). Komposiitin hyviä ominaisuuksia ovat lujuus, jäykkyys ja iskunkesto. Käyttökohteita ovat mm. sähkökomponentit, autojen eri osat ja huonekalut. Monissa eri sovelluksissa Neste PPGF40 komposiitilla korvataan myös metalliosia. Kuviossa 5 näkyy (ruiskuvalamattomia) Neste PPGF40 komposiittipellettejä. (Nepol GB402 HP product description.)



KUVIO 5. Neste PPGF40 muovikomposiittipellettejä

#### 8.1.2 Polyram Black PPH300G4BK11

Polyram Black PPH300G4BK11 on ruiskuvalusovelluksille kehitetty mustaa väriainetta sisältävä lyhytkuitukomposiitti, joka koostuu noin yhden millimetrin mittaisista lasikuiduista (20 p-%) ja matriisimuovina toimivasta polypropeenista (80 p-%). Komposiitin hyviä ominaisuuksia ovat sen sitkeys ja lujuus. Lyhyiden lasikuitujen ansiosta sen muottikutistuma on pieni, jolloin valmiissa ruiskuvalutuotteessa ei liiemmin esiinny imuja. Polyramin tietojen mukaan komposiitin tuotenimi on nykyään lyhennetty muotoon PPH300G4, eikä sitä valmisteta enää mustana. Käyttökohteita ovat mm. autojen puskurit ja sivupeilien muoviosat. Polyram lyhytkuitukomposiitin avulla on myös paljon korvattu autoteollisuuden peltiosia. Kuviossa 6 näkyy ruiskuvalamattomia Polyram Black PPH300G4BK11 komposiittipellettejä. Matweb – materiaalitietokannan tiedot Polyram PPH300G4 komposiitista näkyvät



liitteessä 7 työn lopussa. (Polyram products; Polyram PPH300G4 Polypropene 20 % glass fiber.)



KUVIO 6. Polyram Black PPH300G4BK11 muovikomposiittipellettejä

## 8.2 Lasikuitujen pituuksien mittaaminen ennen ruiskuvalua

Tutkimus aloitettiin mittaamalla molemmista komposiiteista lasikuitujen pituuksien keskiarvo ja -hajonta ennen ruiskuvalua. Ennen kuin tämä oli mahdollista, matriisimuovi piti polttaa pois kuitujen ympäriltä. Molempia komposiittipellettejä otettiin pieni määrä erillisiin kuppeihin ja molemmat kupilliset punnittiin. Tämän jälkeen pellettejä kuumennettiin hitsauspillillä metallisen kupin pohjasta niin kauan, että kupissa oli jäljellä vain lasikuituja. Kupissa olevat lasikuidut vietiin jälleen punnittavaksi, jotta saatiin selville tarkka kuitujen prosentuaalinen osuus ja verrattiin sitä kirjallisuuden arvoihin. Molempien komposiittien matriisista erotetut kuidut näky-

vät kuvioissa 7 ja 8.

Neste pitkäkuitupellettejä oli kupissa ennen kuumennusta 0,96 grammaa, josta kuituja jäi jäljelle 0,38 grammaa. Pitkäkuitujen prosentuaalinen osuus oli siis 39,6 %, joka on hyvin lähellä kirjallisuuden arvoa 40 %. Polyram lyhytkuitupellettejä kuumennettiin 1,06 grammaa, josta kuitujen painoksi jäi 0,23 grammaa. Prosentuaalinen osuus Polyram lyhytkuidulle oli siis 21,7 prosenttia, joka myös vastaa kirjallisuuden arvoa 20 %.

Tämän jälkeen lasikuidut vietiin mikroskoopille, jossa varsinainen mittaus tapahtui. Molemmista lasikuitueristä tehtiin kaksikymmentä satunnaisesti valittua mittausta keskimääraisten kuitupituuksien selvittämiseksi. Neste pitkäkuitukomposiitissa lasikuitujen pituuksien keskiarvo oli 9,25 mm ja keskihajonta 1,5 mm, kun taas Polyram lyhytkuitukomposiitin vastaavat arvot olivat 0,73 mm ja 0,26 mm. Kuitujen mitatut pituudet ovat taulukoituna liitteessä 1 työn lopussa. Luokitettut kuitupituudet ja frekvenssijakaumat näkyvät liitteessä 2 työn lopussa.



KUVIO 7. Kuviossa näkyy kuumennuksen avulla matriisimuovista eroteltuja Neste PPGF40 komposiitin sisältämiä lasikuituja



KUVIO 8. Kuviossa näkyy kuumennuksen avulla matriisimuovista eroteltuja Polyram PPH300G4BK11 komposiitin sisältämiä lasikuituja

### 8.3 Testattavien koesauvaerien ruiskuvalaminen

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon lasikuidut pilkkoontuvat ruiskuvalun aikana erilaisilla parametreilla ja miten pilkkoontuminen vaikuttaa muovikomposiitin ominaisuuksiin. Ruiskuvalut suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun Battenfeld -merkkisellä ruiskuvalukoneella. Alussa ruiskuvalukone laitettiin ajokuntoon, eli toisin sanoen koneen lämmöt asetettiin päälle. Koesauvamuotti oli valmiina kiinni koneessa, joten sitä ei tarvinnut erikseen nostaa paikalleen. Kun kone oli lämmennyt, syöttösuppiloon kaadettiin ensimmäiseksi Neste pitkäkuitupellettejä. Ennen muottiin ruiskutusta massaa ajettiin varovasti suuttimen läpi, jotta edellisten ajojen muovijäänteet saatiin ulos koneesta. Näin saavutettiin mahdollisimman puhtaat koesauvat tutkimukseen. Sama toimenpide tuli tehdä kun ryhdyt-

tiin valamaan Polyram lyhytkuitusauvoja. Tutkimuksen kannalta tärkeimmiksi ruiskuvalukoneen parametreiksi arvioitiin ruuvien sylinterin lämpötila, vastapaine ja plastisointiaika, joiden variaatioista ajettiin molemmista muovikomposiiteista neljä kahdenkymmenen koesauvan valmistuserää. Tutkimuksessa käytettävät koesauvat valmistettiin ISO 294-1:1996 standardin mukaisiksi. Valmistuserien parametrit näkyvät taulukossa 1. Muihin ajoarvoihin ei koskettu.

Kaiken kaikkiaan ruiskuvalut sujuivat ilman suurempia ongelmia. Ainoastaan pitkäkuitupellettien kohdalla syöttösuppiloa täytyi muutaman kerran ravistella, ettei materiaali tehnyt tukosta suuaukolle. Tämä olisi taas johtanut siihen, ettei ruuvi olisi saanut kunnolla annosta, vaan jättänyt muotin vajaaksi. Ajojen jälkeen valmiit koesauvat kerättiin erien mukaan numeroituihin pusseihin jatkokokeita varten. Kuviossa 9 näkyy molemmista komposiiteista ruiskuvalutut koesauvat.

TAULUKKO 1. Ruiskuvaluerien ajoarvot

Erä nro	Ruuvien sylinterin lämpötila (°C)	Vastapaine (bar)	Plastisointiaika (s)
1	220	0	8
2	220	15	15
3	260	15	15
4	260	0	8



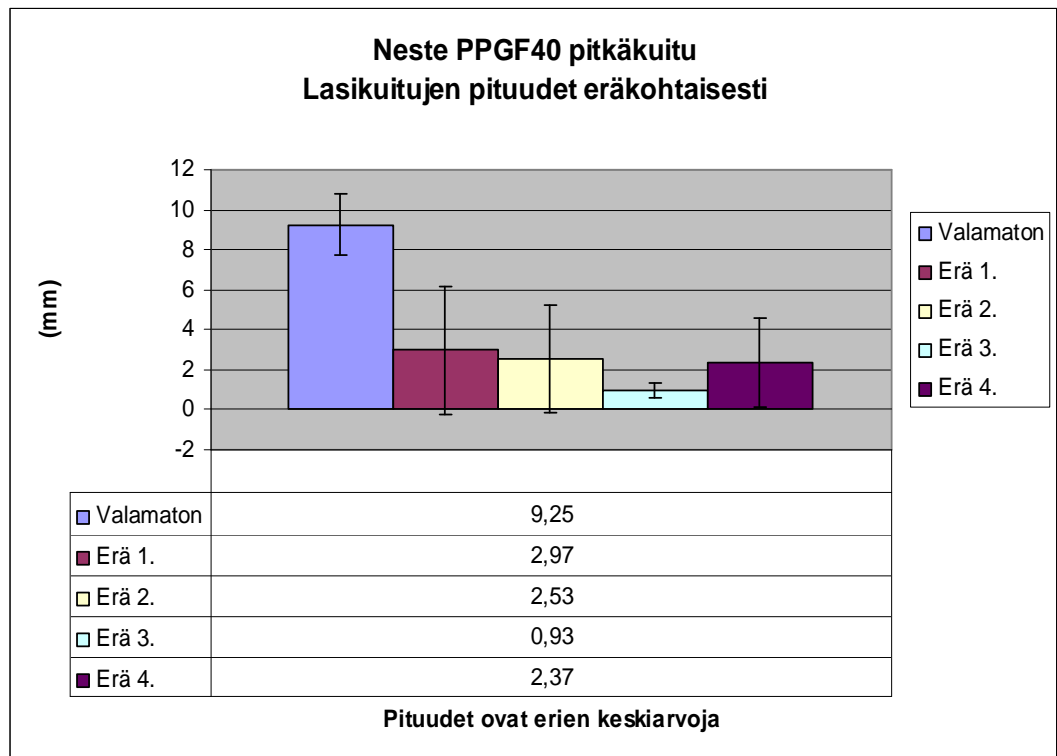


KUVIO 9. Kuviossa näkyy ruiskuvaletut koesauvat molemmista tutkittavista komposiiteista. Ylempänä Neste PPGF40 ja alempana Polyram Black PPH300G4BK11. Koesauvat ovat ISO 294-1:1996 standardin mukaisia.

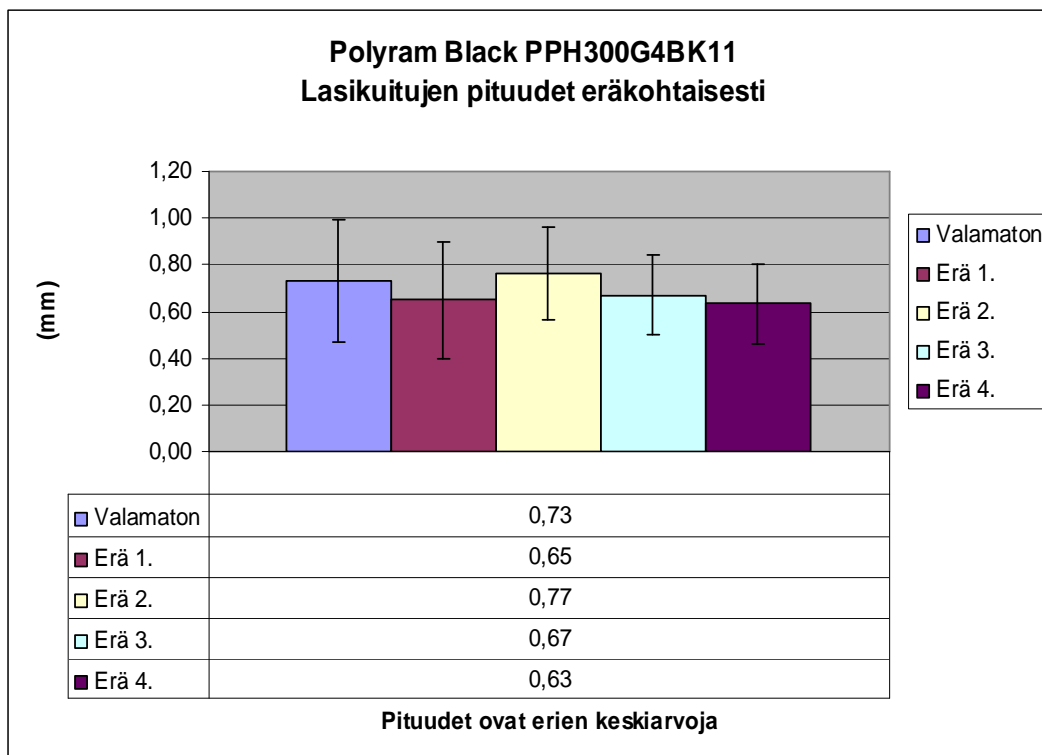
#### 8.4 Koesauvaerien lasikuitujen pituuksien mittaaminen

Molemmista muovikomposiiteista otettiin jokaisesta erästä yksi koesauva, josta leikattiin silmämääräisesti noin neliösenttimetrin kokoinen pala irti. Kuitujen erottaminen koesauvapaloista tapahtui samalla tavalla kuin tutkimuksen alussa komposiittipelleteistä. Jokaisen erän koesauvapalat asetettiin siis vuorotellen polttokuppiin, jota kuumennettiin pohjasta hitsauspillillä niin kauan, että jäljellä oli enää lasikuituja. Tämän jälkeen valmistuserien lasikuidut laitettiin eräkohtaisesti numeroituihin kuppeihin ja siirryttiin mikroskoopin luo suorittamaan kuitujen pituuksien mittausta. Jokaisen erän kuiduista tehtiin jälleen kaksikymmentä satunnaisesti valittua mittausta eräkohtaisten keskiarvojen selvittämiseksi. Kuvioissa 10 näkyvät

Neste pitkäkuidun eräkohtaiset kuitujen pituuksien keskiarvot ja –hajonnat ja kuviossa 11 Polyram lyhytkuidun vastaavat arvot. Vertailun vuoksi kuvioissa näkyvät myös kuitujen pituudet ennen ruiskuvalua. Kaikkien mitattujen kuitujen pituudet näkyvät liitteessä 1 työn lopussa. Eräkohtaiset luokitettut kuitupituudet ja frekvenssijakaumat näkyvät liitteessä 2.



KUVIO 10. Kuviossa näkyvät Neste pitkäkuidun ruiskuvalettujen koesauvojen lasikuitujen pituuksien keskiarvot ja – hajonnat eräkohtaisesti, sekä vastaavat arvot valamattomista komposiittipellesteistä

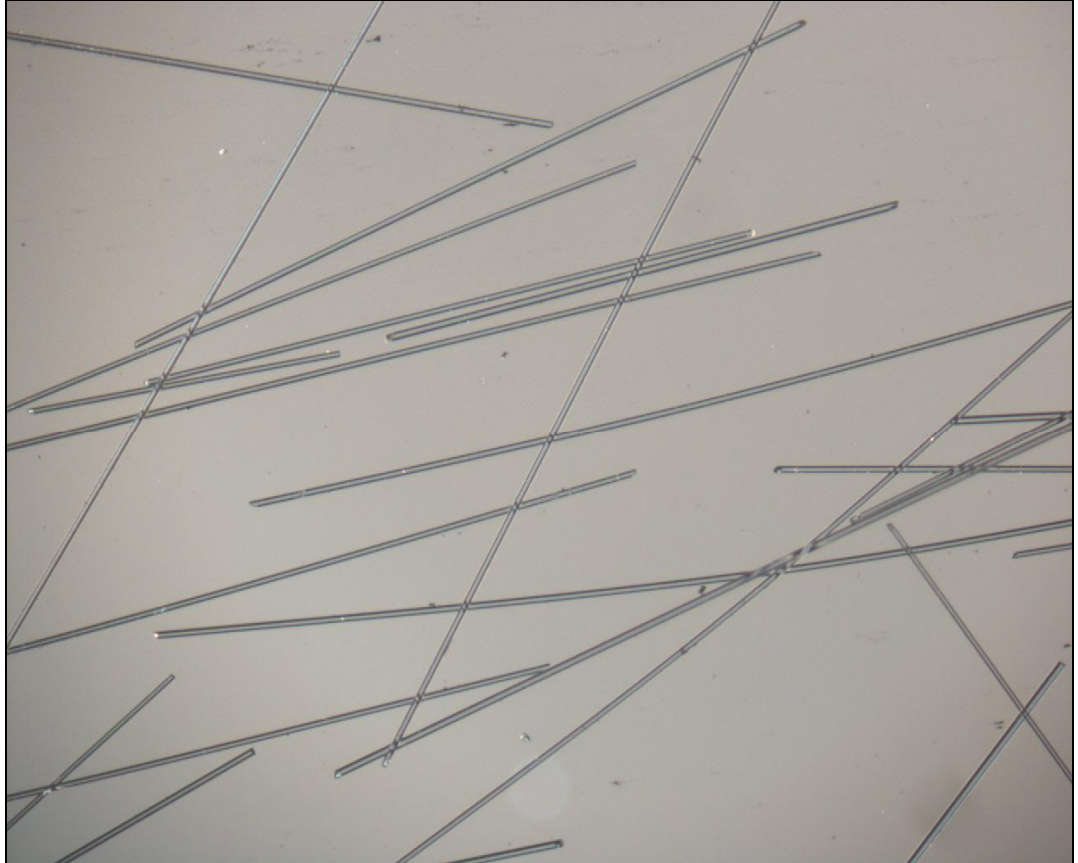


KUVIO 11. Kuviossa näkyvät Polyram lyhytkuidun ruiskuvalettujen koesauvojen lasikuitujen pituuksien keskiarvot ja – hajonnat eräkohtaisesti, sekä vastaavat arvot valamattomista komposiittipelleteistä

Neste pitkäkuidun kohdalla ruiskuvalun aikana tapahtunut pilkkoontuminen näkyi selvästi jokaisen erän kohdalla jo heti mikroskooppiin vilkaistaessa, kuten kuvioista 12 voidaan todeta. Kuitujen pituuksien hajonta, niin kuin kuvioista 10 näkyy, oli erittäin suuri. Kuitukimpuista löytyi melkein kaikkia pituuksia tasaisesti, mutta suurin osa kuiduista oli kuitenkin reilusti alle valamattoman pelletin sisältämän kuidun kirjallisuudessa esitetyn arvon (10 mm). Kuvioista voidaan päätellä korkeamman sylinterin lämpötilan aiheuttavan enemmän pilkkoontumista. Erässä neljä kuitujen pituudet olivat kuitenkin hyvin lähellä erien 1 ja 2 arvoja, vaikka lämpötila oli 40 astetta kyseisiä eräiä suurempi. Eniten pilkkoontumista oli tapahtunut erässä kolme, jossa sylinterin lämpötila oli 260 astetta, vastapaine 15 baria ja plastisointiaika 15 sekuntia. Korkeammilla lämpötiloilla vastapaine ja pidempi plastisointiaika vaikuttavat siis selvästi kuitujen pilkkoontumiseen synnyttäen massan sisäistä kitkaa, joka taas aiheuttaa materiaalin termistä hajoamista. Pisimmät kuidut olivat erässä 1, jonka koesauvat ajettiin ilman vastapainetta ruuvien sylinterin lämpötilan ollessa 220

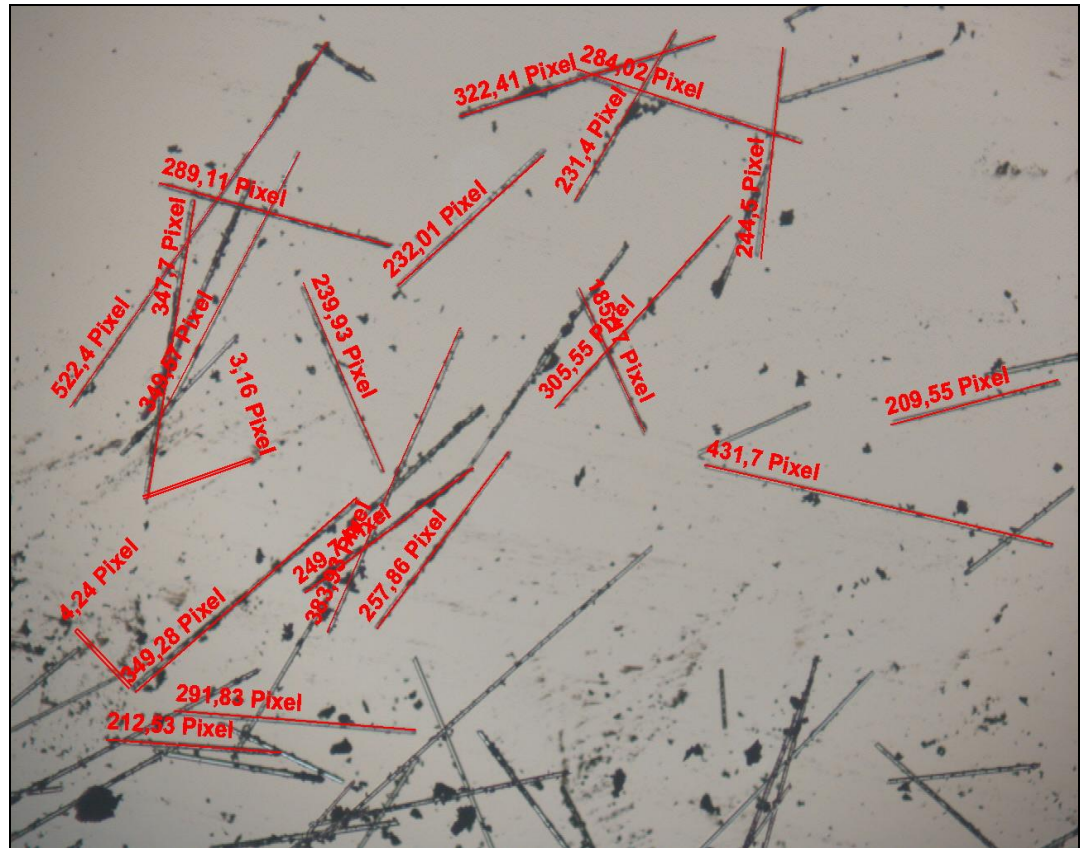


astetta ja plastisointiajan 8 sekuntia. Vastapaineen, ruuvien sylinterin lämpötilan ja plastisointiajan pienentämisellä voidaan siis testien mukaan vaikuttaa Neste pitkäkuitujen kestävyYTEEN ruiskuvalun aikana.



KUVIO 12. Kuviossa on näkymä mikroskoopilta mitattaessa Neste PPGF40 kompositin ensimmäisen erän kuitujen pituuksia

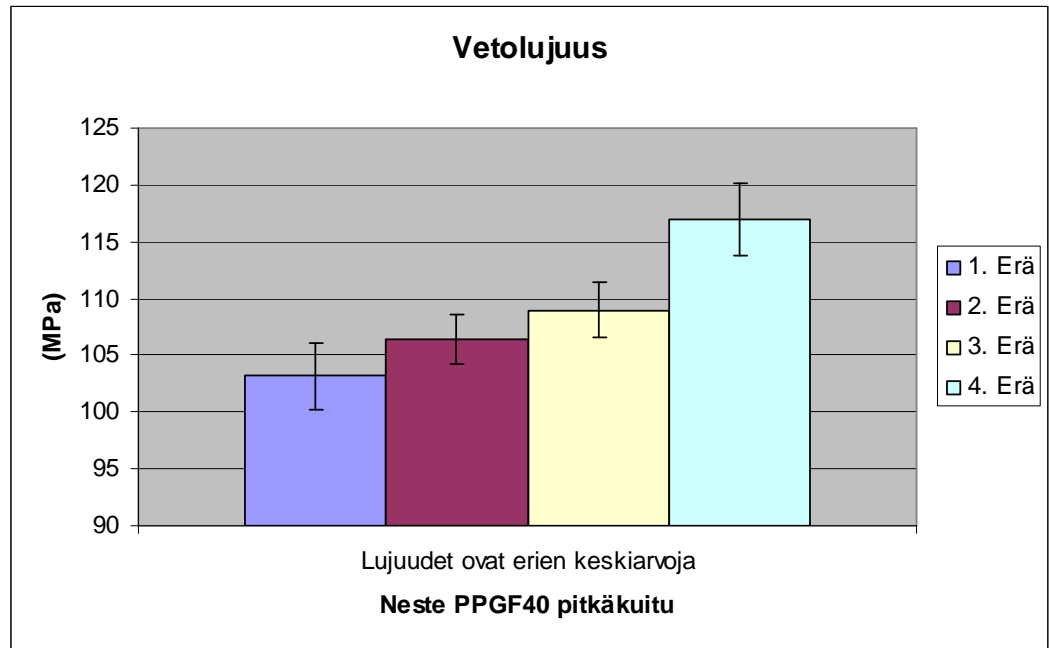
Polyram lyhytkuidun kohdalla kuitujen pilkkoontuminen oli erittäin vähäistä. Jokaisen ajetun erän kuitupituuskeskiarvo oli hyvin lähellä valamattoman kuidun vastaavaa arvoa. Erien väliset pienet erot johtuvat todennäköisesti kuitupituuksien keskihajonnasta, jota jokaisessa erässä, myös valamattomassa, selvästi oli. Kuvioista 11 voidaan päätellä, että lyhytkuitujen kohdalla erien väliset parametrierot eivät oleellisesti vaikuta lasikuitujen pilkkoontumiseen. Näkymä mikroskoopin läpi neljännen erän mittauksista on nähtävissä kuvioista 13.



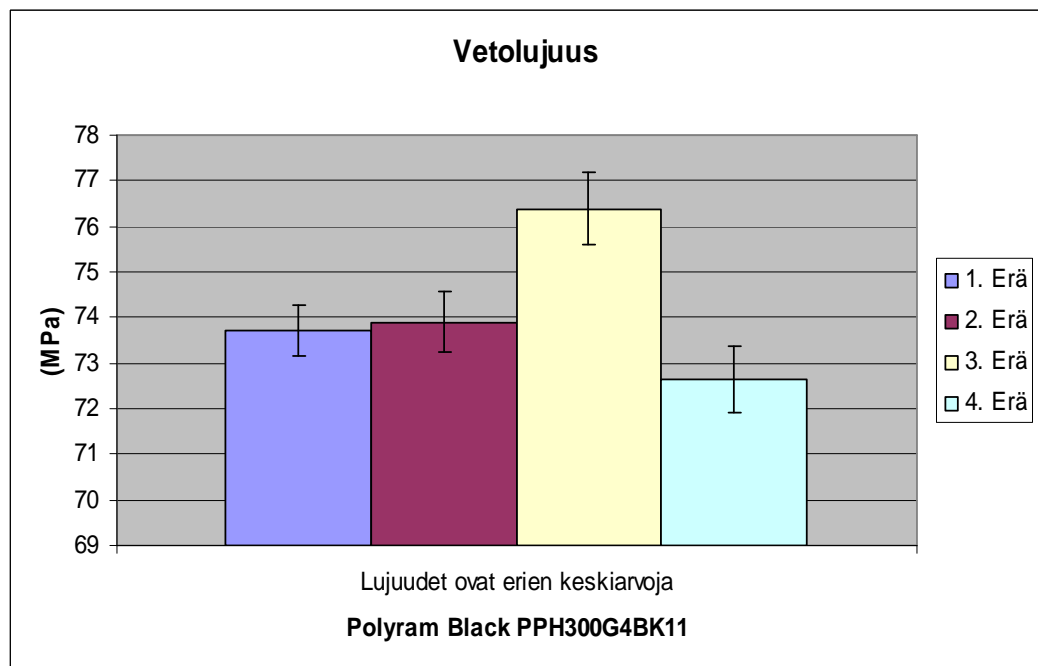
KUVIO 13. Kuviossa on näkymä mikroskoopilta mitattaessa Polyram Black PPH300G4BK11 komposiitin neljännen erän kuitujen pituuksia

## 8.5 Vetokokeet

Testit aloitettiin laittamalla vetokoneen sähköt ja paineet päälle. Samalla käynnistettiin tietokone ja tutustuttiin apuna käytettävään ohjelmistoon. Vetokoneen leuat vaihdettiin koesauvoille sopiviksi parhaan mahdollisen pidon saavuttamiseksi ja koneen vetonopeudeksi asetettiin 50 mm/min. Ohjelmistossa ilmeni ongelmia vedettävän kappaleen dimensioiden syöttämisessä sillä ohjelman oletusarvoja ei voinut muokata. Tämän vuoksi ohjelman ilmoittamat vetolujuudet eivät pitäneet paikkansa, vaan ne täytyi laskea itse jälkeenpäin. Jokaisesta erästä vedettiin viisi koesauvaa, joista kirjattiin ylös koneen ilmoittama siirtymä ja murtokuorma. Dimensioiden syöttämistä lukuun ottamatta testeissä ei ilmennyt ongelmia. Kuvioissa 14 ja 15 näkyvät muovikomposiittien ruiskuvalettujen valmistuserien vetolujuuksien keskiarvot ja keskihajonnat.

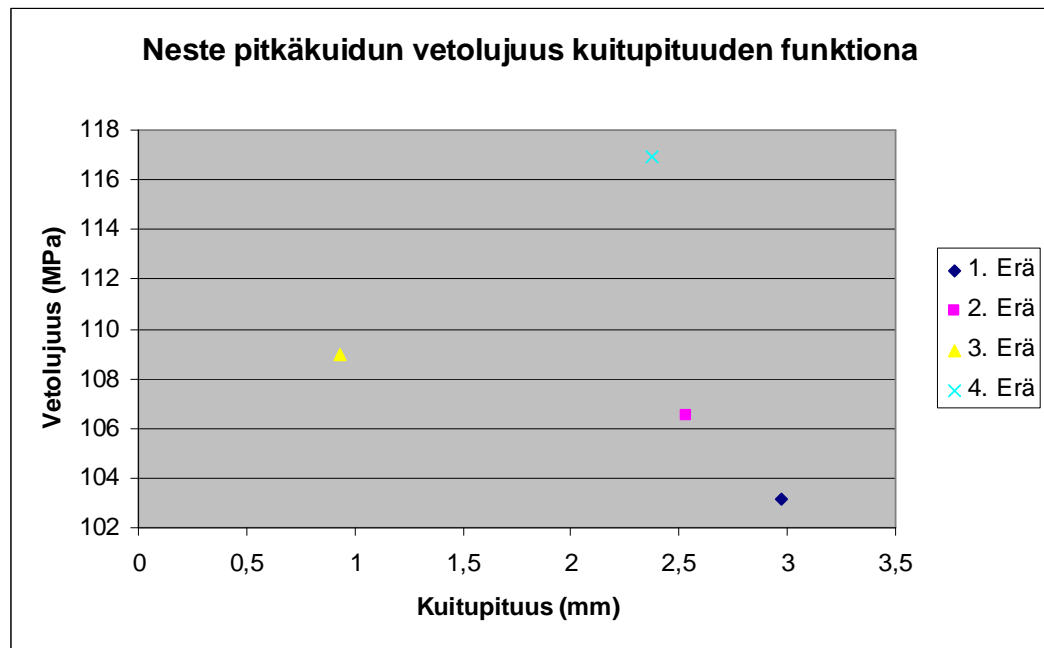


KUVIO 14. Kuviossa on Neste pitkäkuidun ruiskuvalettujen valmistuserien vetolujuuksien keskiarvot ja –hajonnat



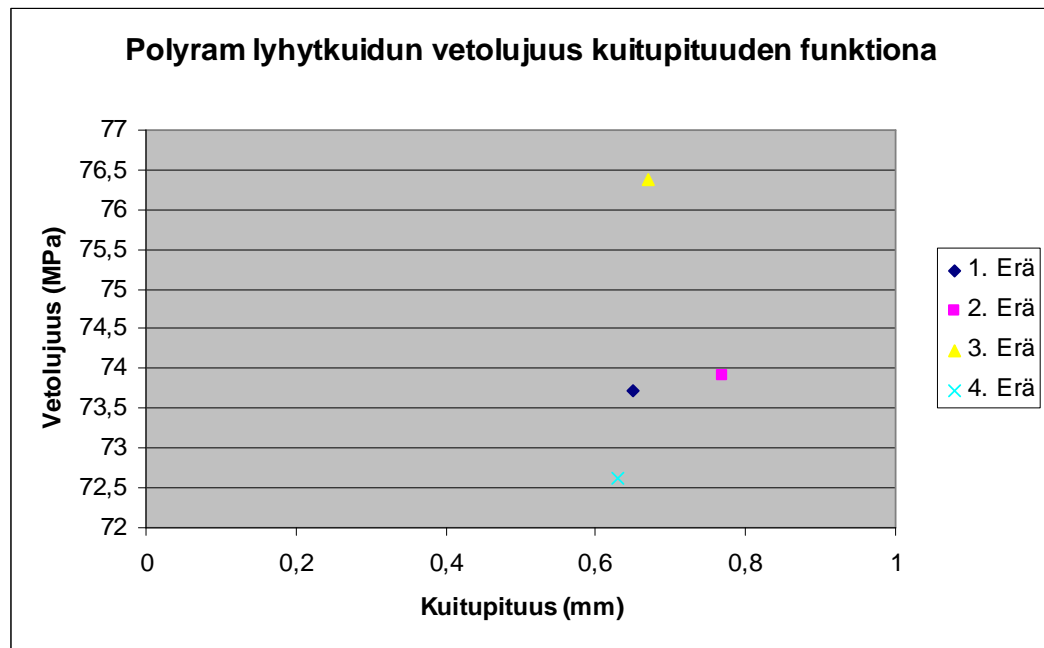
KUVIO 15. Kuviossa on Polyram lyhytkuidun ruiskuvalettujen valmistuserien vetolujuuksien keskiarvot ja –hajonnat

Kuviosta 14 voidaan nähdä, että Neste pitkäkuidun vetolujuudet nousevat melko tasaisesti ensimmäisestä erästä kolmanteen. Neljännen erän vetolujuudet ovat taas selvästi suurempia muihin verrattuna, vaikkakin sen kuitupituudet eivät eroa merkittävästi eristä 1 ja 2. Kolmannen erän kuitupituudet olivat selvästi muita pienempiä, kun taas vetolujuus oli suurempi kuin erissä yksi ja kaksi. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että aivan pieneksi pilkkoonuneet kuidut pystyvät sitomaan komposiitin osia tiukasti yhteen ja ottamaan vastaan vetorasitusta. Erissä 3 ja 4 ruuvinsylinterin lämpötila oli 40 astetta korkeampi kuin erissä 1 ja 2, joten lämmön voidaan todeta vaikuttavan positiivisesti ruiskuvalettavan pitkäkuitukomposiitin vetolujuuteen. Plastisointiajan ja vastapaineen merkitys jää testissä hieman kyseenalaiseksi, sillä vetolujuuksien keskiarvot nousevat eräkohtaisesti, vaikka vastapainetta ja 15 sekunnin plastisointiaikaa käytettiin ainoastaan erissä kaksi ja kolme. Ensimmäisessä ja neljännessä erässä plastisointiaika oli ainoastaan kahdeksan sekuntia eikä vastapainetta käytetty ollenkaan. Tästä voisi päätellä, että vetolujuuden kannalta pitkäkuitukomposiiteilla korkeammilla ruuvinsylinterin lämpötiloilla plastisointiaika kannattaa säätää lyhyemmäksi ja nollata vastapaine. Korkeampi lämpö itsessään aiheuttaa jo kuitujen pilkkoonumista ja sisäisten sidosten heikkenemistä, joten pidempi plastisointiaika korostaa vaikutuksia vielä entisestään. Kuitupituuksien vaikutus vetolujuuteen ei testistä täysin selviä, sillä kuitujen pituudesta huolimatta lujuusarvot vain kasvavat erästä erään. Kuviossa 16 on esitetty Neste pitkäkuidun valmistuserien vetolujuudet kuitupituuden funktiona.



KUVIO 16. Kuviossa on esitetty Neste pitkäkuidun valmistuserien vetolujuudet kuitupituuden funktiona

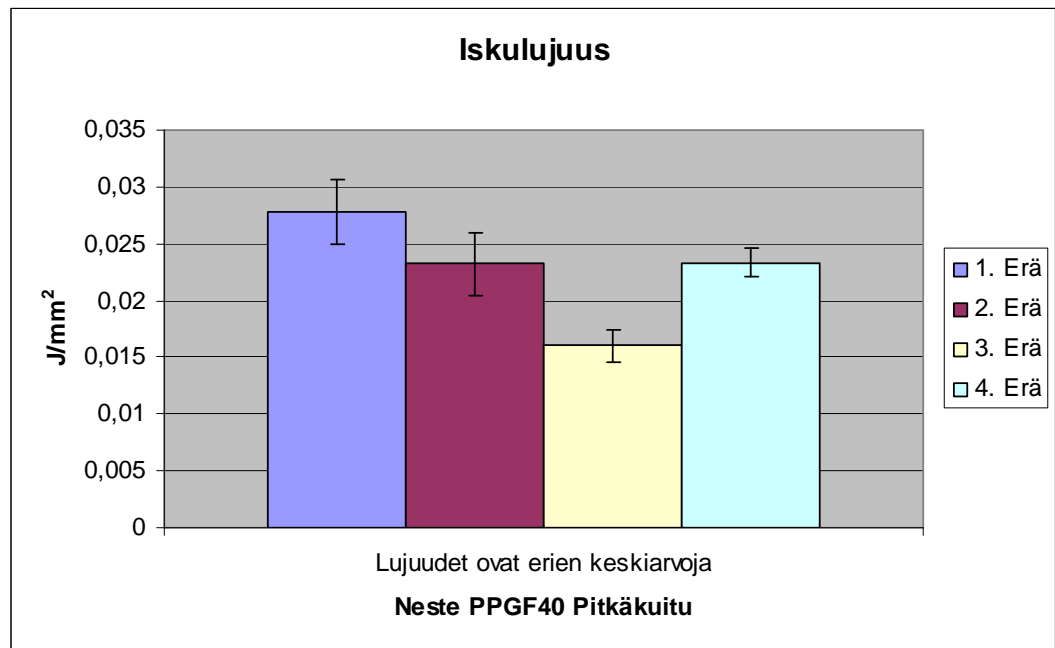
Polyram lyhytkuitukomposiitin kohdalla tilanne on aivan erilainen. Kuviosta 15 näkyy kuinka kolmannen erän vetolujuudet ovat selvästi muita parempia neljännen erän ollessa heikoin. Suurin ja pienin arvo siis saavutettiin 260 asteen sylinterin lämpötilalla. Tilanne vastapaineen ja plastisointiajan suhteen tässä lämpötilassa on siis päinvastainen pitkäkuitukomposiittiin verrattuna. Todennäköisesti pidemmän plastisointiajan ansiosta lyhytkuidut kerkeävät orientoitua vetolujuuden kannalta paremmin. Kun taas tarkastelee toisen ja kolmannen erän tuloksien eroja, huomaa kuinka 40 asteen lämpötilakorotus vaikuttaa positiivisesti vetolujuuteen. Luultavammin pehmeämpi massa helpottaa kuitujen orientoitumista. Ensimmäinen ja toinen erä eivät eroa toisistaan juuri ollenkaan. Kuitupituuksien kannalta tuloksia ei voida analysoida, sillä ne eivät erien kohdalla juurikaan eroa. Kuviossa 17 on esitetty Polyram lyhytkuidun valmistuserien vetolujuudet kuitupituuden funktiona. Vetokokeiden taulukoidut tulokset näkyvät liitteessä 3 työn lopussa.



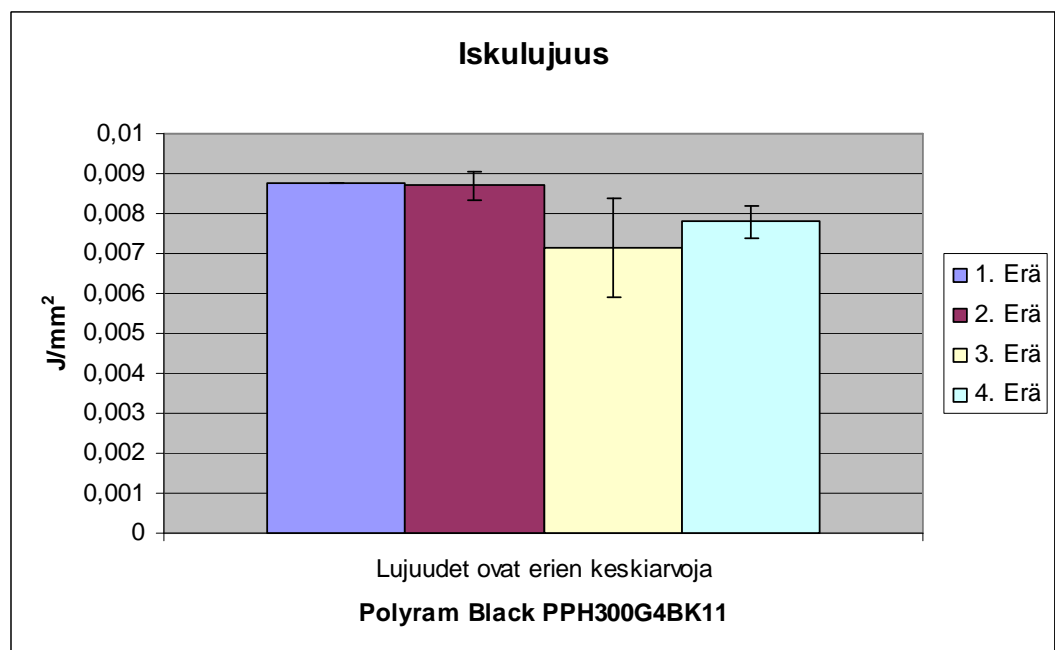
KUVIO 17. Kuviossa on esitetty Polyram lyhytkuidun valmistuserien vetolujuudet kuitupituuden funktiona

## 8.6 Iskukokeet

Iskukokeet suoritettiin Izod -menetelmällä, joten ennen testien aloittamista iskettäviin koesauvoihin jysyttiin lovi, jonka pohjasäde oli 0,25 mm. Koesauvat asetettiin vuorotellen koneeseen pystysuorassa ja iskut suoritettiin loven puolelta. Komposiittien jokaisesta valmistuserästä testattiin viisi koesauvaa, joiden tuloksista laskettiin keskiarvo ja – hajonta. Kuvioissa 18 näkyvät Neste pitkäkuidun valmistuserien keskiarvoiset iskulujuudet ja kuviossa 19 Polyram lyhytkuidun vastaavat arvot. Kuvioissa 20 ja 21 on esitetty valmistuserien iskulujuudet kuitupituuden funktiona. Iskukokeiden taulukoidut tulokset näkyvät liitteessä 5 työn lopussa.

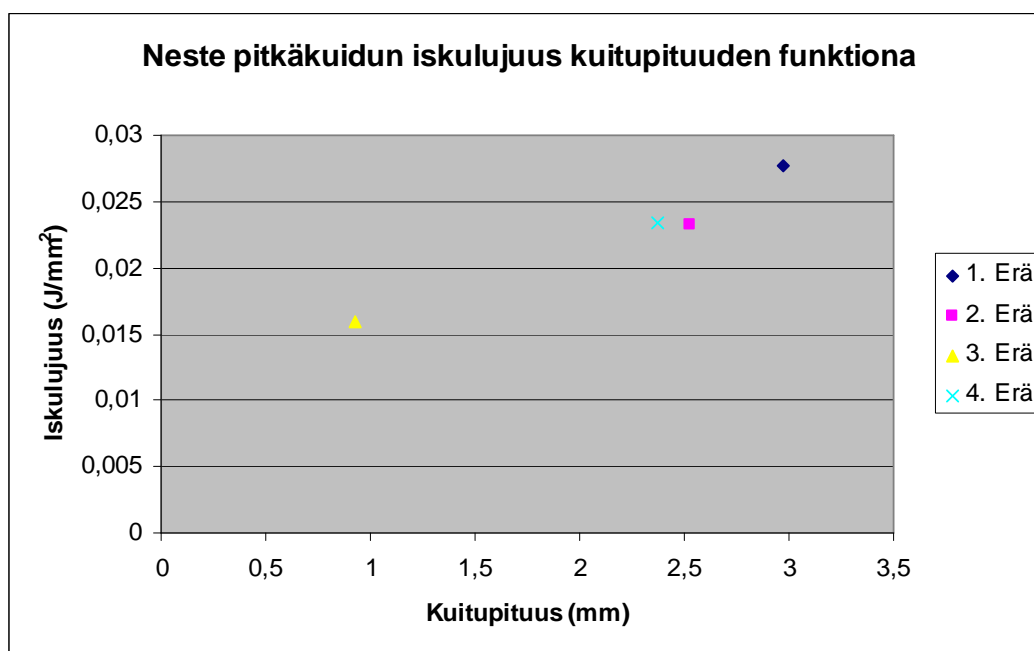


KUVIO 18. Kuviossa on Neste pitkäkuidun ruiskuvalettujen valmistuserien iskulujuudet ja niiden keskihajonnat



KUVIO 19. Kuviossa on Polyram lyhytkuidun ruiskuvalettujen valmistuserien iskulujuuksien keskiarvot ja -hajonnat

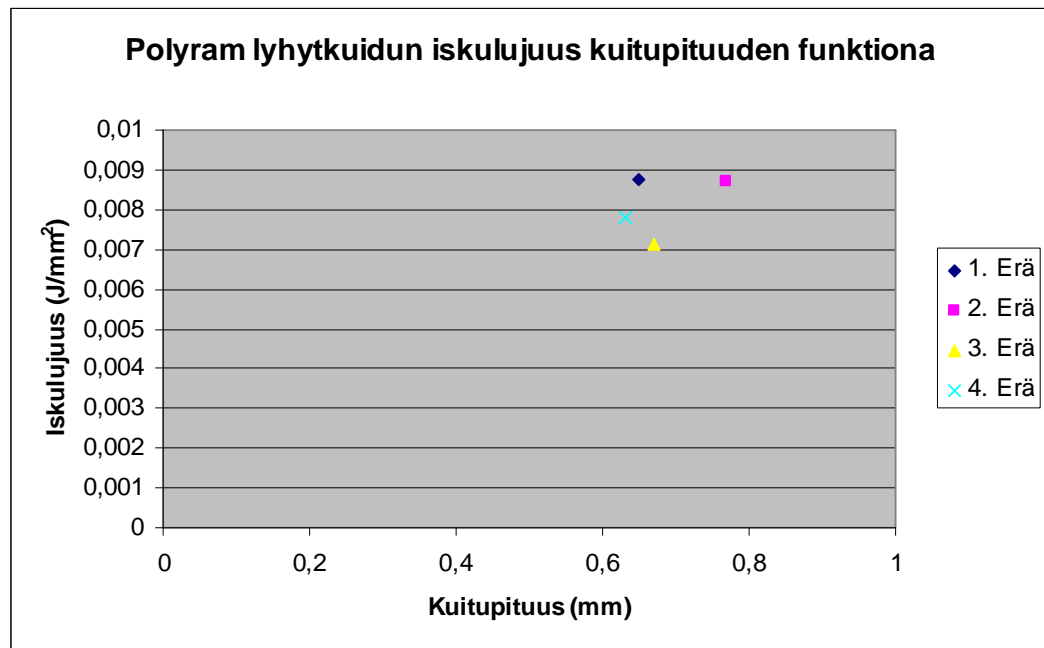
Neste pitkäkuidun kohdalla erien iskulujuuksien erot ovat suoraan verrattavissa eräkohtaisiin kuitujen pituuksiin. Kun tarkastelee kuviota 20, on selvää, että pienempi kuitujen pilkkooneminen johtaa suurempiin iskulujuusarvoihin. Pidempiä lasikuituja sisältävä muovikomposiitti siis kykenee absorboimaan suuremman määrän iskuenergiaa. Ruiskuvalukoneen ajoparametrit vaikuttavat iskulujuuteen samassa suhteessa kuin kuitujen pilkkoonumiseen. Kun ruiskuvaletulta muovikomposiittituotteelta vaaditaan iskulujuutta, on tärkeää kiinnittää huomiota valun aikana tapahtuvaan pitkäkuitujen pilkkoonumiseen.



KUVIO 20. Kuviossa on esitetty Neste pitkäkuidun valmistuserien iskulujuudet kuitupituuden funktiona

Polyram lyhytkuidun eräkohtaiset kuitupituudet ovat hyvin lähellä toisiaan, niin kuin myös erien väliset iskulujuudetkin. Molempien muovikomposiittien kohdalla lujuudet ovat siis suoraan verrattavissa lasikuitujen pituuteen. Kuitujen pilkkoonumista ei missään erässä liiemmin tapahtunut, joten erien lujuudetkin pysyvät melkein samoina. Ainoa suurempi lujuusarvoero kuviosta 19 löytyy erästä kolme, mutta tämäkin selittyy keskihajonnan suuruudella. Lyhyemmät kuidut pilkkoonuvat vain vähän ruiskuvalun aikana ajoparametreista riippumatta, joten niiden vaikutus iskulujuuteen on vähäinen, kuten kuviosta 21 voidaan todeta.



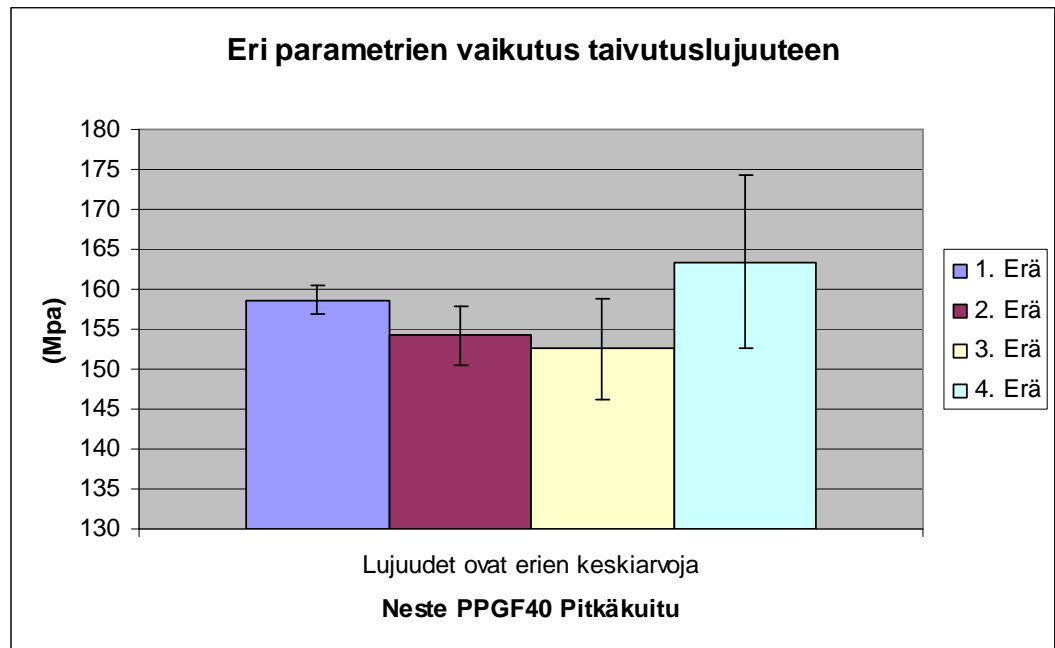


KUVIO 21. Kuviossa on esitetty Polyram lyhytkuidun valmistuserien iskulujuudet kuitupituuden funktiona

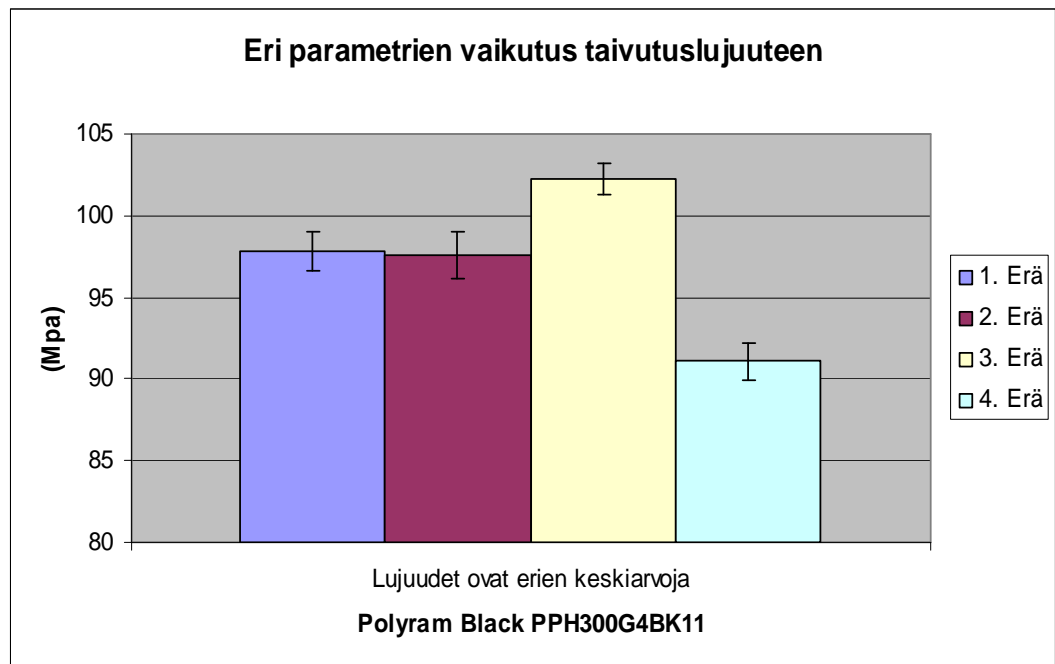
## 8.7 Taivutuskokeet

Taivutuskokeet suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puun raaka-aine-laboratorion vetokoneella. Ennen testien aloittamista laitettiin sähköt ja paineet päälle, sekä käynnistettiin tietokone. Kone asetettiin vedon sijasta toimimaan taivutuskokeiden mukaisesti, sekä siihen vaihdettiin kolmipistetaivutukseen soveltuvat leuat, joiden tukipisteiden jänneväli oli 64 millimetriä. Ongelmia ilmeni jälleen koe-kappaleen dimensioiden syöttämisessä tietokoneeseen, aivan kuin vetokokeidenkin aikana. Tämän vuoksi ohjelman laskemat taivutuslujuudet eivät pitäneet paikkansa, joten testin aikana kirjattiin ylös murtumiseen vaadittu voima sekä siirtymä. Taivutuslujuudet laskettiin kirjatusta arvoista jälkepäin. Testien aikana ei dimensioiden syöttämisen lisäksi ilmennyt muita ongelmia. Molemmista komposiiteista taivutettiin jokaisesta erästä viisi koesauvaa, joiden kirjatusta arvoista laskettiin taivutuslujuudet. Kuvioissa 22 ja 23 näkyvät tutkittavien muovikomposiittien eräkohtaiset taivutuslujuuksien keskiarvot ja -hajonnat. Kuvioissa 24 ja 25 on esitetty valmistuserien taivutuslujuudet kuitupituuden funktiona. Taivutuskokeiden taulu-

koidut tulokset näkyvät liitteessä 4 työn lopussa.

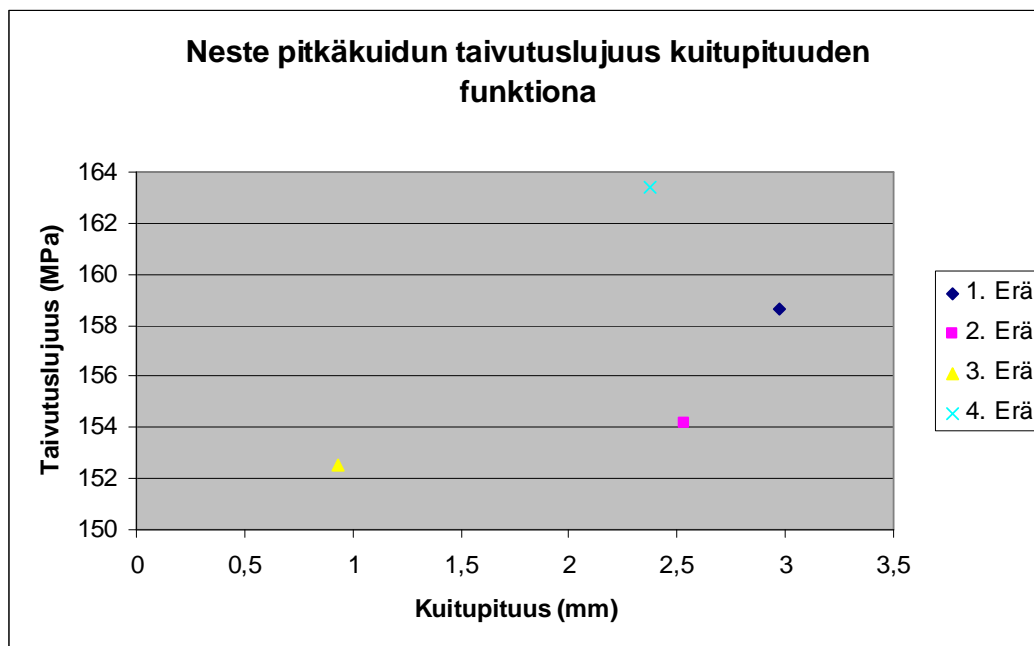


KUVIO 22. Kuviossa on Neste pitkäkuidun ruiskuvalettujen valmistuserien taivutuslujuuksien keskiarvot ja – hajonnat



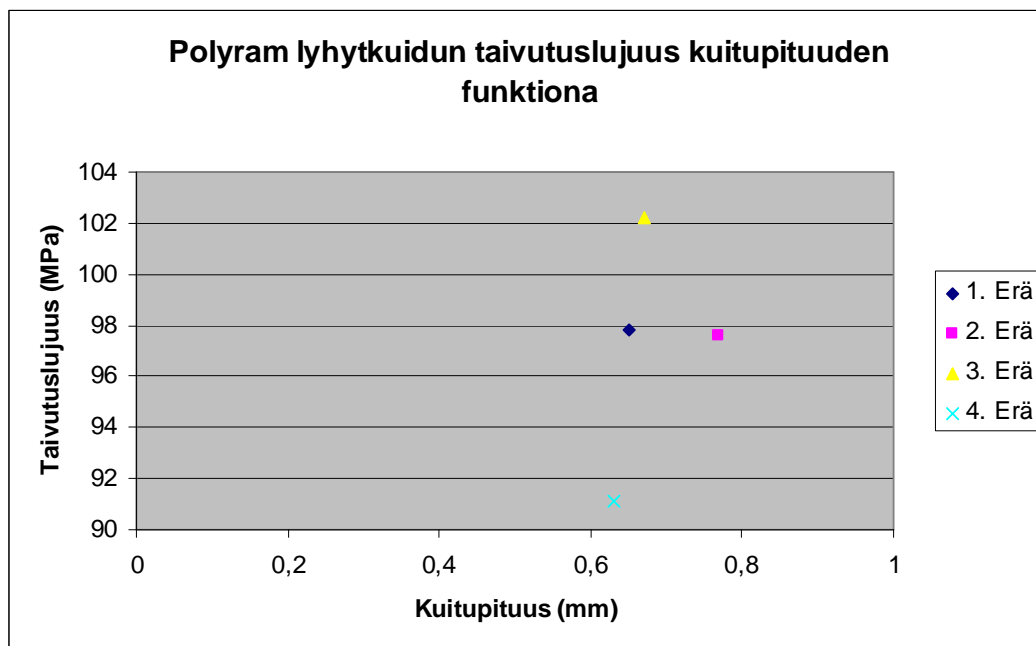
KUVIO 23. Kuviossa on Polyram lyhytkuidun ruiskuvalettujen valmistuserien taivutuslujuuksien keskiarvot ja – hajonnat

Neste pitkäkuidun taivutuslujuudet vaihtelevat eräkohtaisesti hyvin samalla tavalla kuin iskulujuudet. Kuviota 24 tarkastelemalla on nähtävissä selkeä yhteys kuitujen pilkkoontumisella ja taivutuslujuuksilla. Vaihtelut eivät ole samansuuruisia, mutta trendi on nähtävissä. Poikkeuksena on ainoastaan erä neljä, jonka lujuusarvot olivat muita korkeampia, mutta kuten kuviosta 22 voidaan todeta, hajonta on myös suhteellisen suuri. Taivutuskokeista saatu selkeä johtopäätös on, että pidemmät kuidut pystyvät pitämään komposiittia kasassa suuremmilla rasituksilla kuin lyhyet. Pilkkoon tuneet kuidut heikentävät selvästi ruiskuvaletun muovituotteen taivutuslujuutta. Näin ollen ruiskuvalukoneen ajoparametrit vaikuttavat taivutusominaisuuksiin samaan tapaan kuin kuitujen pilkkoontumiseenkin.



KUVIO 24. Kuviossa on esitetty Neste pitkäkuidun valmistuserien taivutuslujuudet kuitupituuden funktiona

Polyram lyhytkuitukomposiitin kohdalla taivutuskokeiden tulosten analysointi ei ole yhtä yksiselitteistä kuin Nesteen komposiitin kohdalla. Kuitujen pilkkoon tuminen oli jokaisessa erässä hyvin samansuuruista, mutta kuten kuviosta 23 voidaan nähdä, taivutuslujuuksissa on vaihtelua. Lyhytkuitukomposiitin kohdalla suora yhteys taivutuslujuuden ja kuitujen pituuksien välillä voidaan siis unohtaa. Ensimmäinen ja toinen erä ajettiin molemmat 220 asteen ruuvien sylinterin lämpötilassa, joten vastapaine ja plastisointiajan lisääminen eivät tässä vaiheessa vaikuttaneet taivutuslujuuteen. Suurimmat lujuusarvot saatiin erästä kolme, jonka kohdalla lämpötila nostettiin 260 asteeseen muiden parametrien pysyessä samoina. Lämmön korotus helpottaa muovin sisäisten sidosten ja lasikuitujen orientoitumista, jonka seurauksena komposiitti kestää paremmin taivutusrasitusta. Neljännen erän kohdalla vastapaineen poisto ja plastisointiajan lyhennys aiheuttivat selvän romahduksen lujuusarvoissa. Ilman vastapainetta ja tarpeeksi pitkää plastisointiaikaa komposiitin sisällä tapahtuva orientoituminen jää vaiheeseen aiheuttaen hauraamman lopputuloksen.



KUVIO 25. Kuviossa on esitetty Polyram lyhytkuidun valmistuserien taivutuslujuudet kuitupituuden funktiona

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kuinka paljon kahden erilaisen kestopuovi-komposiitin lasikuidut pilkkoontuvat ruiskuvalun aikana eri ajoarvoilla ja kuinka tämä vaikuttaa valmiin tuotteen ominaisuuksiin. Koska tutkittavia materiaaleja oli kaksi erilaista, eivätkä niiden testitulokset ole yhteyksissä toisiinsa, johtopäätökset esitetään tapauskohtaisesti.

Nesteen PPGF40 muovikomposiitin lasikuidut pilkkoontuivat kaikilla työssä käytetyillä ruiskuvalukoneen ajoarvovariaatioilla huomattavasti. Pilkkoontuminen oli kuitenkin suurimmillaan kolmannessa erässä, jossa ruuvien sylinterin lämpötila oli 260 astetta, vastapaine 15 baria ja plastisointiaika 15 sekuntia. Tämän erän keskiarvoinen kuitupituus oli tippunut valamattoman kuidun 9,25 millimetrin keskiarvosta melkein kymmenesosaan. Muiden erien kuitupituudet olivat suhteellisen lähellä toisiaan vaihdellen 2,4 - 2,9 mm välillä. Kuitujen pilkkoontumisella oli selvä yhteys ruiskuvalettujen koesauvojen taivutus- ja iskulujuuteen. Mitä enemmän kui-

dut olivat pilkkoontuneet, sitä pienemmät olivat kyseiset lujuusarvot. Vetolujuuden kohdalla suoraa yhteyttä kuitujen pilkkoontumiseen ei kuitenkaan ilmennyt, vaan suurimmat arvot tulivat selvästi erästä neljä. Ruuvien sylinterin lämpötilan nosto paransi vetolujuuksia, mutta erässä kolme korkeamman lämpötilan lisäksi vastapaine ja pidempi plastisointiaika korostivat ilmeisesti massan sisäistä kitkaa, joka taas aiheutti materiaalin termistä hajoamista. Jos Neste pitkäkuitukomposiitista ruiskuvalulla valmistetulta muovituotteelta vaaditaan vetolujuutta, kannattaa sylinterin lämpötila asettaa 260 asteeseen, poistaa vastapaine ja lyhentää plastisointiaikaa. Suurimmat isku- ja taivutuslujuudet saavutettiin erästä yksi, jonka kuitupituuksien keskiarvo oli muita suurempi. Erä ajettiin 220 asteen sylinterin lämpötilalla ilman vastapainetta plastisointiajan ollessa kahdeksan sekuntia.

Polyramin valmistaman PPH300G4BK11 -lyhytkuitukomposiitin kohdalla ruiskuvalun ei havaittu aiheuttavan kuitujen pilkkoontumista millään tutkimuksessa käytetyillä ajoarvoilla. Jokaisen ajetun valmistuserän kuitujen pituudet olivat hyvin lähellä valamattoman pelletin mitattuja arvoja. Erien väliset pienet vaihtelut pituuskieskiarvoissa selittyvät keskihajontojen suuruudella. Kuitujen vähäisestä pilkkoontumisesta huolimatta erien välillä oli samankaltaisia eroja verrattaessa veto- ja taivutuslujuuksia. Molempien lujuustestien suurimmat arvot tulivat erästä kolme ja pienimmät erästä neljä. Kumpikin erä ajettiin 260 asteen lämpötilassa, joten erona oli ainoastaan vastapaine ja plastisointiajan kesto. Näiden merkitys korkeammissa lämpötiloissa on siis huomattava, mutta päinvastainen kuin Neste pitkäkuituilla. Parhaat veto- ja taivutusominaisuudet saavutettiin siis 260 asteen ruuvien sylinterin lämpötilassa 15 barin vastapaineella ja viidentoista sekunnin plastisointiajalla. Iskujujuuksien kohdalla erien välillä ei ilmennyt mainittavia eroja, joten nähtävissä on suora yhteys kuitujen pituuteen.

Lyhyesti voidaan todeta, että pidemmät kuidut pilkkoontuvat huomattavasti ruiskuvalun aikana ja tähän on syytä kiinnittää huomiota valmiin tuotteen lujuusominaisuuksia ajatellen. Varsinkin vastapaineen ja plastisointiajan vaikutus korkeammilla ruuvilämpötiloilla oli huomattava. Lyhyemmät kuidut eivät enää ruiskuvalun aikana pienene, vaan lujuusominaisuuksiin vaikuttavat ainoastaan ruiskuvaluprosessin aikana käytetyt ajoarvot. Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty komposiittikohtaiset kuitupi-

tuuksien ja lujuusarvojen keskiarvot, sekä valmistuserien ajoparametrit.

TAULUKKO 2. Neste PPGF40 muovikomposiitin valmistuserien ajoparametrit sekä niiden avulla saadut keskiarvoiset kuitupituudet ja lujuusarvot

Valmis-tuserä	Ruuvien sylinterin lämpötila (°C)	Vastapaine (bar)	Plastisointi -aika (s)	Kuitupituus (mm)	Vetolujuus (Mpa)	Taivutuslujuus (Mpa)	Iskulujuus (J/mm <sup>2</sup> )
1.	220	0	8	2,97	103,2	158,6	0,027
2.	220	15	15	2,53	106,5	154,2	0,023
3.	260	15	15	0,93	109,0	152,5	0,016
4.	260	0	8	2,37	116,9	163,4	0,023

TAULUKKO 3. Polyram Black PPH300G4BK11 muovikomposiitin valmistuserien ajoparametrit sekä niiden avulla saadut keskiarvoiset kuitupituudet ja lujuusarvot

Valmis-tuserä	Ruuvien sylinterin lämpötila (°C)	Vastapaine (bar)	Plastisointi aika (s)	Kuitupituus (mm)	Vetolujuus (Mpa)	Taivutuslujuus (Mpa)	Iskulujuus (J/mm <sup>2</sup> )
1.	220	0	8	0,65	73,7	97,8	0,009
2.	220	15	15	0,77	73,9	97,6	0,009
3.	260	15	15	0,67	76,4	102,2	0,007
4.	260	0	8	0,63	72,6	91,1	0,008

## LÄHTEET

Painetut lähteet:

Airasmaa, I., Kokko, J., Komppa, V. & Saarela, O. 1991. Muovikomposiitit.

Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 1999. Ruiskuvalu. TTTK- Paino, Tampere.

Karo, J. 1970. Lujitemuovit. Werner Söderström Osakeyhtiön kirjapaino, Porvoo.

Kettunen, P. 1990. Polymeerimateriaalit II. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere.

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. 2003. Komposiittirakenteet. Hakapaino Oy, Helsinki.

ISO 178:1993. Muovien taivutuskokeet. International Organization of Standardization.

ISO 527-1:1993. Muovien vetokokeiden periaatteet. International Organization of Standardization.

ISO 527-2:1993. Muovien vetokoeiden testiolosuhteet valetulle koesauvalle. International Organization of Standardization.

SFS-EN ISO 180. 2001. Izod –iskulujuuden määrittäminen muoveille. Suomen standardisoimisliitto SFS.

ISO 294-1:1996. Standardisoitu koesauva. International Organization of Standardization.



Elektroniset lähteet:

Myllymaa, H. & Vesterbacka, P. Komposiitit [verkkojulkaisu]. Helsingin yliopisto, Kemian laitos [viitattu 12.1.2008]. Saatavissa:  
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/komposiitit/historiaa.htm>

Muovien ominaisuudet ja niiden testaus [verkkojulkaisu]. Tampereen teknillinen yliopisto [viitattu 21.1.2008]. Saatavissa:  
[http://www.tut.fi/plastics/liitteet/mol\\_6910\\_Luento5\\_1%20Muovien\\_ominaisuudet.pdf](http://www.tut.fi/plastics/liitteet/mol_6910_Luento5_1%20Muovien_ominaisuudet.pdf)

Neste Oil Oyj historia [verkkojulkaisu]. Neste Oil [viitattu 10.3.2008]. Saatavissa Neste Oil yhtiön kotisivuilta:  
<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,62,163>

Nepol GB402HP product description [verkkojulkaisu]. Ides, the plastic web [viitattu 12.3.2008]. Saatavissa Ides –tietokannassa:  
<http://www.ides.com/grades/ds/E74842.htm>

Polyram products [verkkojulkaisu]. Polyram - leading manufacturer of engineering thermoplastic compounds [viitattu 12.3.2008]. Saatavissa Polyram – tietokannassa: <http://www.polyram.co.il/Polyramd/>

Polyram PPH300G4 Polypropylene, 20 % glass fiber [verkkojulkaisu]. Matweb, material property data [viitattu 12.3.2008]. Saatavissa Matweb – tietokannassa:  
<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matid=57589>

Muovi - mahdollisuuksien materiaali, [verkkojulkaisu]. Luemuovia.net - muoviteollisuus ry [viitattu 9.5.2008]. Saatavissa luemuovia.net sivustolta:  
[http://www.luemuovia.net/opettajat/teknenen/teknenenkalvot.ppt#265,1,Muovituotteiden\\_valmistusmenetelmät](http://www.luemuovia.net/opettajat/teknenen/teknenenkalvot.ppt#265,1,Muovituotteiden_valmistusmenetelmät)

Optical microscopy [verkkojulkaisu]. Siliconfareast.com – all about semiconductor manufacturing [viitattu 9.5.2008]. Saatavissa Siliconfareast sivustolta: <http://www.siliconfareast.com/optical.htm>

Zhang, G. & Thompson M.R. Reduced fibre breakage in a glass-fibre reinforced thermoplastic through foaming [verkkojulkaisu]. Department of Chemical engineering, McMaster University, Canada [viitattu 10.5.2008]. Saatavissa Science Direct –tietokannassa: <http://www.sciencedirect.com>

Thomason, J.L. The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection molded long and short fibre PP [verkkojulkaisu]. European Owens Corning Fiberglas, Battice, Belgium [viitattu 7.5.2008]. Saatavissa Science Direct –tietokannassa: <http://www.sciencedirect.com>

Thomason, J.L. The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 7. Interface strength and fibre strain in injection molded long fibre PP at high fibre content [verkkojulkaisu]. European Owens Corning Fiberglas, Battice, Belgium [viitattu 6.5.2008]. Saatavissa Science Direct –tietokannassa: <http://www.sciencedirect.com>

## LIITTEET

LIITE 1. Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien taulukoidut lasikuitujen pituudet

LIITE 2. Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien luokitettuihin kuitupituudet ja frekvenssijakaumat

LIITE 3. Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien taulukoidut vetokokeiden tulokset

LIITE 4. Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien taulukoidut taivutuskokeiden tulokset

LIITE 5. Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien taulukoidut iskukokeiden tulokset

LIITE 6. IDES – The Plastic Web - tietokannan Nepol GB402HP muovikomposiitin materiaalitiedot

LIITE 7. MATWEB – tietokannan Polyram PPH300G4 muovikomposiitin materiaalitiedot

Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien taulukoidut lasikuitujen pituudet

TAULUKKO 1. Neste pitkäkuidun mitatut lasikuitujen pituudet ennen ruiskuvalua.

Mittaus	(mm)	Mittaus	(mm)
1.	8,00	11.	10,00
2.	10,00	12.	10,00
3.	10,00	13.	11,00
4.	5,00	14.	10,00
5.	8,00	15.	11,00
6.	8,00	16.	10,00
7.	9,00	17.	9,00
8.	11,00	18.	10,00
9.	10,00	19.	10,00
10.	8,00	20.	7,00
		Keskiarvo	9,25
		Keskihajonta	1,50

TAULUKKO 2. Polyram lyhytkuidun mitatut lasikuitujen pituudet ennen ruiskuvalua.

Mittaus	(mm)	Mittaus	(mm)
1.	0,56	11.	0,69
2.	0,97	12.	0,13
3.	0,88	13.	0,62
4.	0,85	14.	0,94
5.	0,80	15.	1,05
6.	0,74	16.	0,66
7.	0,62	17.	0,99
8.	1,29	18.	0,74
9.	0,46	19.	0,49
10.	0,72	20.	0,44
		Keskiarvo	0,73
		Keskhajonta	0,26

TAULUKKO 3. Neste pitkäkuidun mitatut lasikuitujen pituudet eräkohtaisesti ruiskuvalujen jälkeen.

Mittaus	1. Erä	2. Erä	3. Erä	4. Erä
1.	1,20	1,04	0,85	6,00
2.	1,38	0,48	1,28	7,00
3.	0,59	0,99	0,75	7,00
4.	2,27	1,61	0,79	1,01
5.	1,88	0,87	0,99	2,18
6.	1,11	1,01	2,34	1,41
7.	0,80	1,17	0,68	5,00
8.	1,66	0,96	0,88	0,30
9.	2,60	0,81	0,82	1,19
10.	0,83	0,99	0,73	1,02
11.	4,00	4,00	0,71	0,57
12.	9,00	11,00	0,82	1,98
13.	3,00	8,00	1,06	1,15
14.	10,00	2,88	0,99	5,00
15.	1,70	3,00	1,34	1,83
16.	1,06	6,00	0,72	1,11
17.	1,23	0,98	0,66	1,11
18.	1,45	1,62	0,65	0,85
19.	12,00	0,96	0,82	0,64
20.	1,65	2,23	0,78	1,02
Keskiarvo	2,97	2,53	0,93	2,37
Keskihajonta	3,23	2,71	0,37	2,19

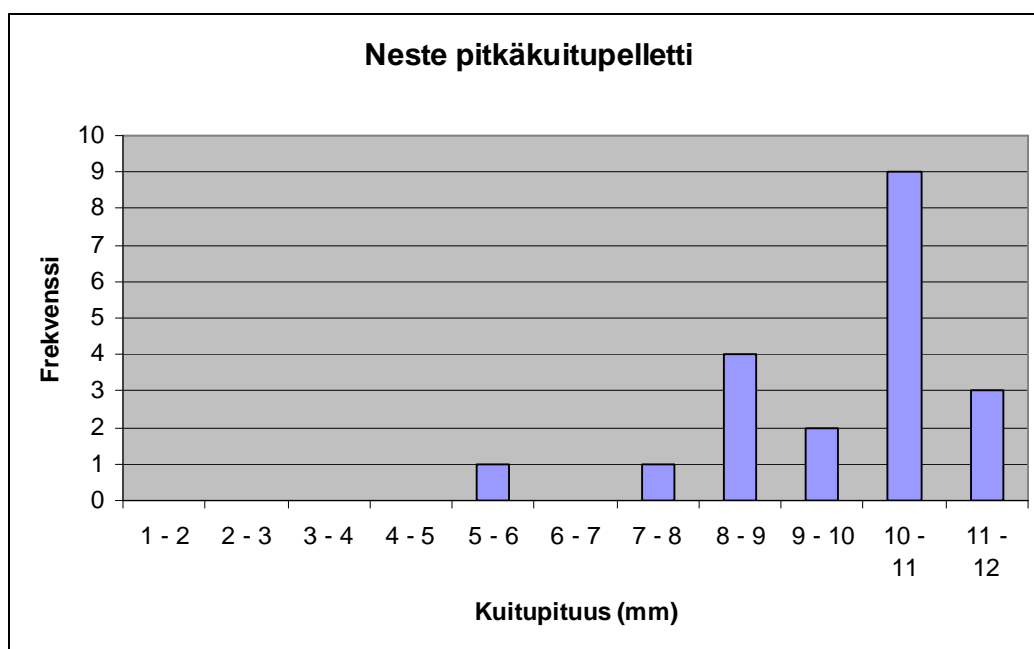
TAULUKKO 4. Polyram lyhytkuidun mitatut lasikuitujen pituudet eräkohtaisesti ruiskuvalujen jälkeen.

Mittaus	1. Erä	2. Erä	3. Erä	4. Erä
1.	0,73	0,46	1,06	0,49
2.	0,19	0,55	0,93	0,62
3.	0,24	0,78	0,54	1,11
4.	0,40	0,63	0,40	0,51
5.	0,67	0,49	0,72	0,82
6.	0,35	0,83	0,71	0,55
7.	0,32	0,83	0,85	0,62
8.	0,46	0,67	0,65	0,92
9.	0,57	0,97	0,57	0,65
10.	1,00	0,85	0,65	0,39
11.	0,83	1,00	0,74	0,60
12.	1,01	0,93	0,47	0,69
13.	0,65	0,96	0,53	0,52
14.	0,75	0,77	0,69	0,49
15.	1,03	1,14	0,73	0,74
16.	0,76	1,02	0,66	0,74
17.	0,73	0,82	0,40	0,74
18.	0,83	0,60	0,60	0,45
19.	0,79	0,50	0,58	0,53
20.	0,72	0,52	0,89	0,45
Keskiarvo	0,65	0,77	0,67	0,63
Keskihajonta	0,25	0,20	0,17	0,17

Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien luokitettut  
kuitupituudet ja frekvenssijakaumat

TAULUKKO 5. Neste pitkäkuidun ruiskuvalamattoman komposiittipelletin  
luokitettut kuitupituudet.

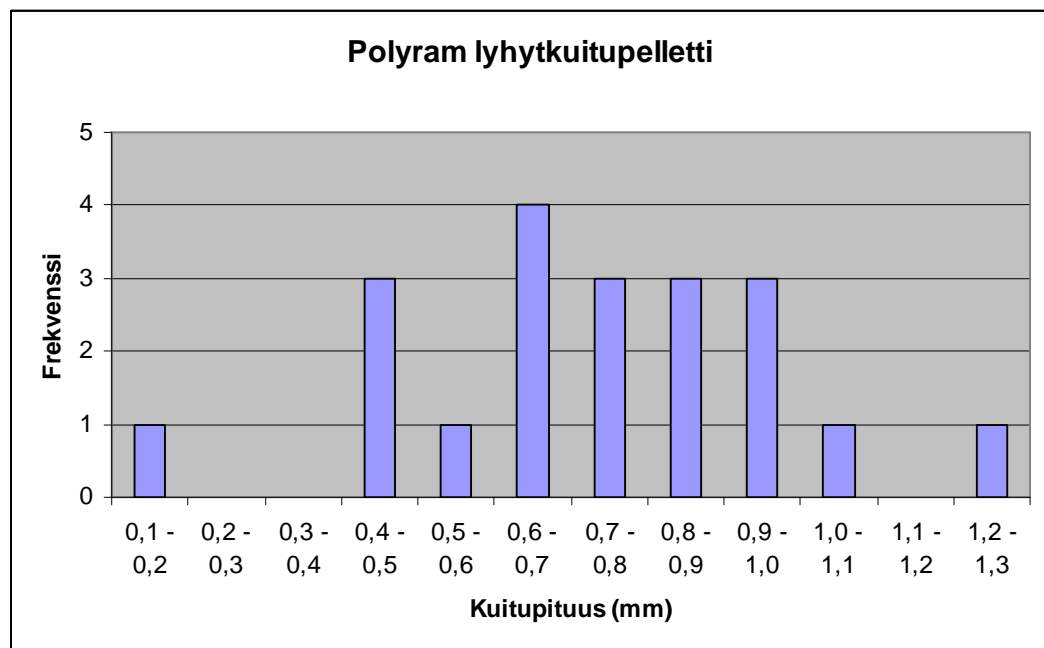
	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	1 - 2	1,5	0
2	2 - 3	2,5	0
3	3 - 4	3,5	0
4	4 - 5	4,5	0
5	5 - 6	5,5	1
6	6 - 7	6,5	0
7	7 - 8	7,5	1
8	8 - 9	8,5	4
9	9 - 10	9,5	2
10	10 - 11	10,5	9
11	11 - 12	11,5	3



KUVIO 1. Neste pitkäkuidun ruiskuvalamattoman komposiittipelletin  
luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma

TAULUKKO 6. Polyram lyhytkuidun ruiskuvalamattoman komposiittipelletin luokitettut kuitupituudet

	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	0,1 - 0,2	0,15	1
2	0,2 - 0,3	0,25	0
3	0,3 - 0,4	0,35	0
4	0,4 - 0,5	0,45	3
5	0,5 - 0,6	0,55	1
6	0,6 - 0,7	0,65	4
7	0,7 - 0,8	0,75	3
8	0,8 - 0,9	0,85	3
9	0,9 - 1,0	0,95	3
10	1,0 - 1,1	1,05	1
11	1,1 - 1,2	1,15	0
12	1,2 - 1,3	1,25	1

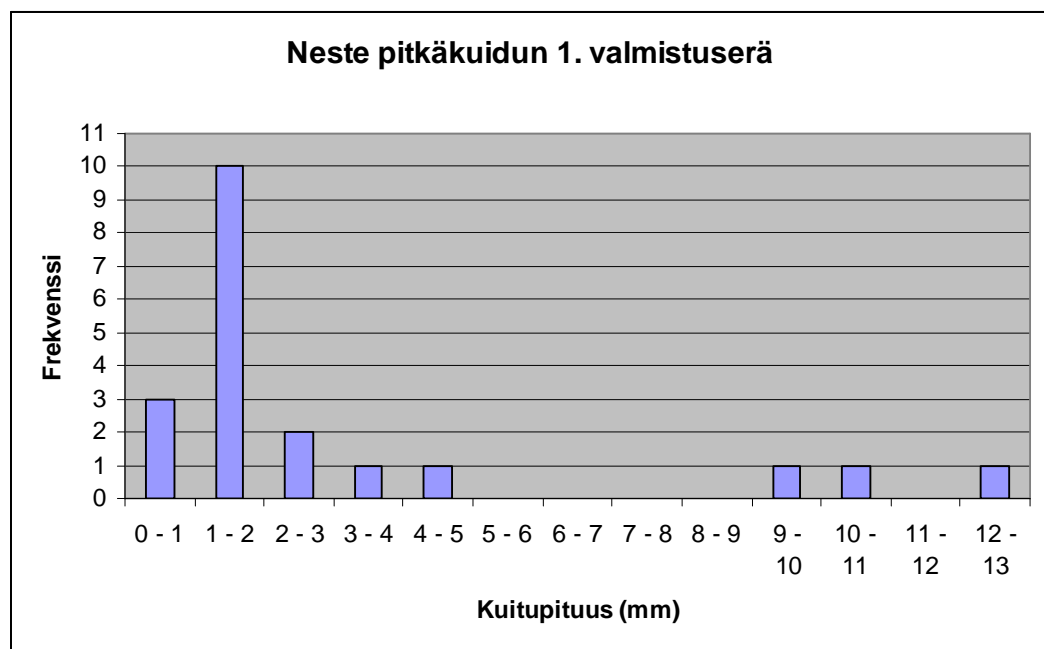


KUVIO 2. Polyram lyhytkuidun ruiskuvalamattoman komposiittipelletin luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma



TAULUKKO 7. Neste pitkäkuidun 1. valmistuserän luokitettut kuitupituudet

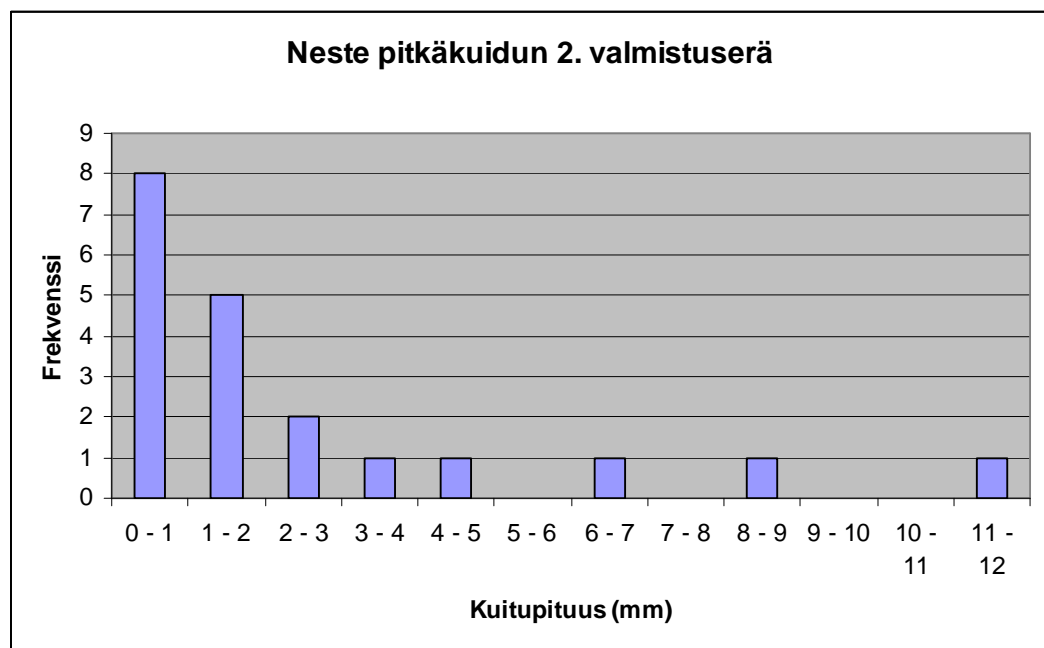
	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	0 - 1	0,5	3
2	1 - 2	1,5	10
3	2 - 3	2,5	2
4	3 - 4	3,5	1
5	4 - 5	4,5	1
6	5 - 6	5,5	0
7	6 - 7	6,5	0
8	7 - 8	7,5	0
9	8 - 9	8,5	0
10	9 - 10	9,5	1
11	10 - 11	10,5	1
12	11 - 12	11,5	0
13	12 - 13	12,5	1



KUVIO 3. Neste pitkäkuidun 1. valmistuserän luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma

TAULUKKO 8. Neste pitkäkuidun 2. valmistuserän luokitettut kuitupituudet

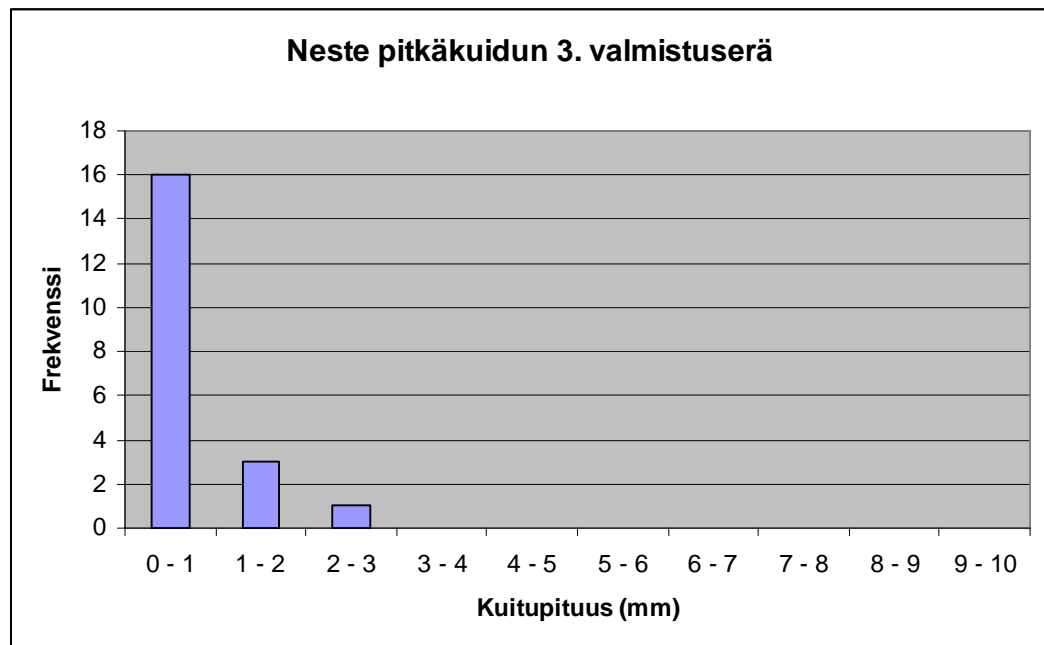
	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	0 - 1	0,5	8
2	1 - 2	1,5	5
3	2 - 3	2,5	2
4	3 - 4	3,5	1
5	4 - 5	4,5	1
6	5 - 6	5,5	0
7	6 - 7	6,5	1
8	7 - 8	7,5	0
9	8 - 9	8,5	1
10	9 - 10	9,5	0
11	10 - 11	10,5	0
12	11 - 12	11,5	1



KUVIO 4. Neste pitkäkuidun 2. valmistuserän luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma

TAULUKKO 9. Neste pitkäkuidun 3. valmistuserän luokitettut kuitupituudet

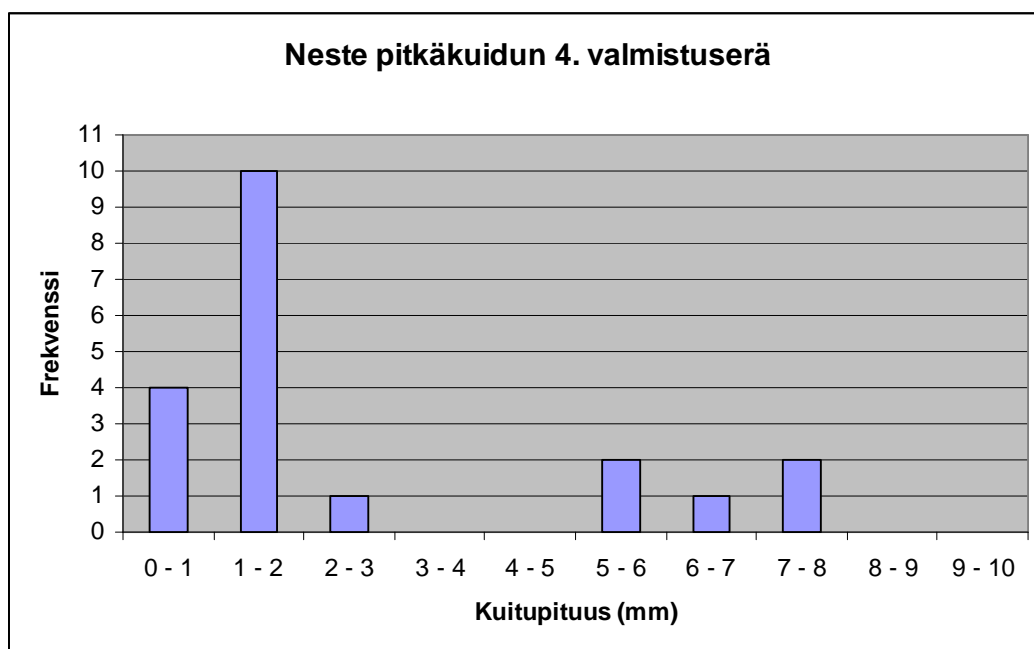
	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	0 - 1	0,5	16
2	1 - 2	1,5	3
3	2 - 3	2,5	1
4	3 - 4	3,5	0
5	4 - 5	4,5	0
6	5 - 6	5,5	0
7	6 - 7	6,5	0
8	7 - 8	7,5	0
9	8 - 9	8,5	0
10	9 - 10	9,5	0



KUVIO 5. Neste pitkäkuidun 3. valmistuserän luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma

TAULUKKO 10. Neste pitkäkuidun 4. valmistuserän luokitettut kuitupituudet

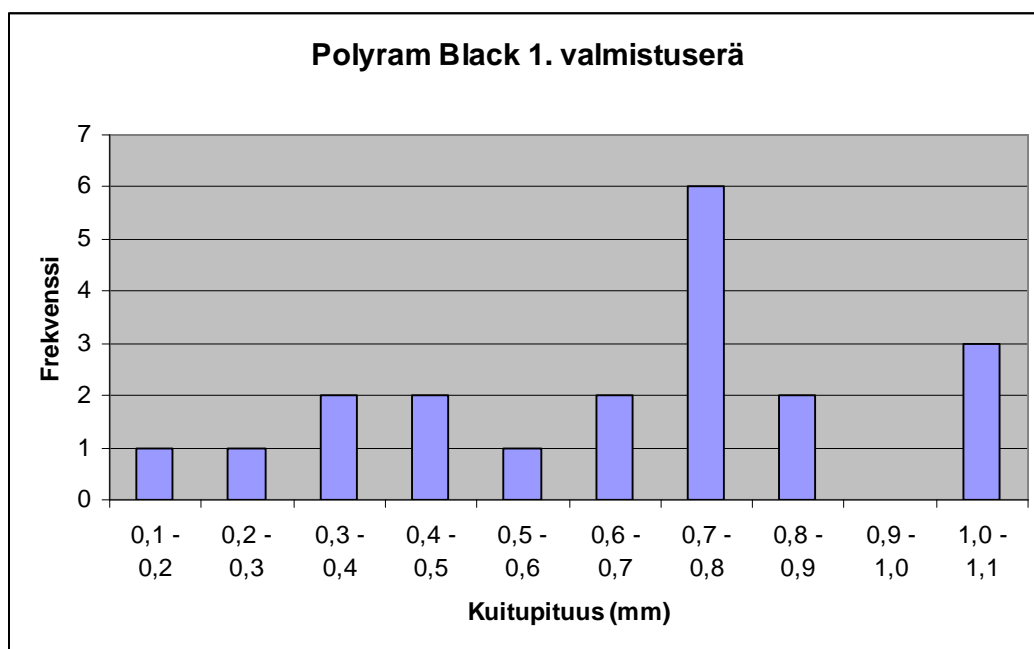
	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	0 - 1	0,5	4
2	1 - 2	1,5	10
3	2 - 3	2,5	1
4	3 - 4	3,5	0
5	4 - 5	4,5	0
6	5 - 6	5,5	2
7	6 - 7	6,5	1
8	7 - 8	7,5	2
9	8 - 9	8,5	0
10	9 - 10	9,5	0



KUVIO 6. Neste pitkäkuidun 4. valmistuserän luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma

TAULUKKO 11. Polyram lyhytkuidun 1. valmistuserän luokitettut kuitupituudet

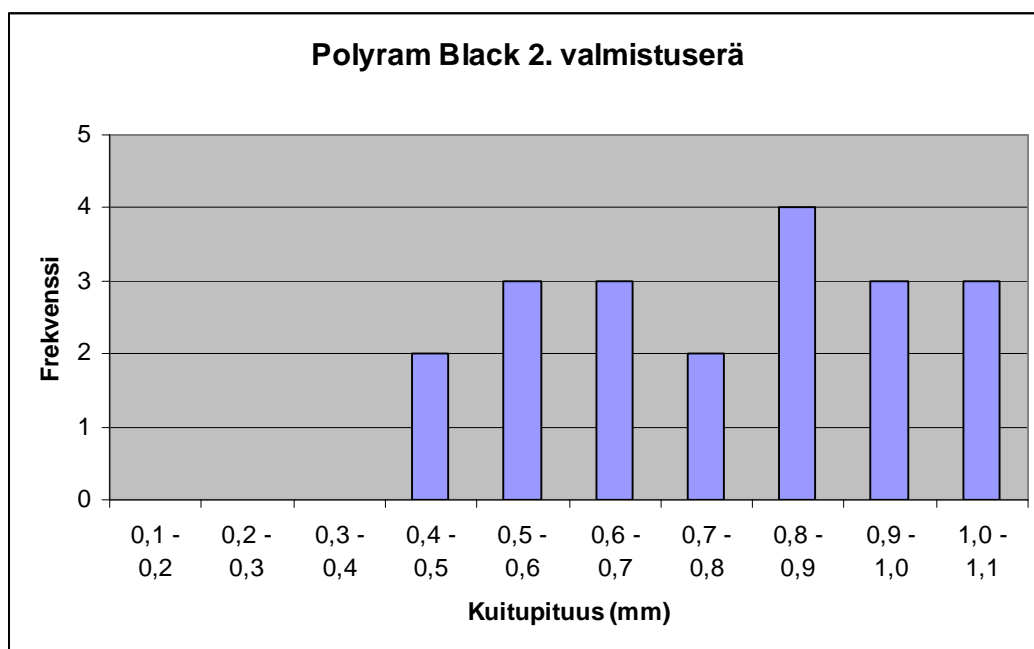
Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
0,1 - 0,2	0,15	1
0,2 - 0,3	0,25	1
0,3 - 0,4	0,35	2
0,4 - 0,5	0,45	2
0,5 - 0,6	0,55	1
0,6 - 0,7	0,65	2
0,7 - 0,8	0,75	6
0,8 - 0,9	0,85	2
0,9 - 1,0	0,95	0
1,0 - 1,1	1,05	3



KUVIO 7. Polyram lyhytkuidun 1. valmistuserän luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma

TAULUKKO 12. Polyram lyhytkuidun 2. valmistuserän luokitettut kuitupituudet

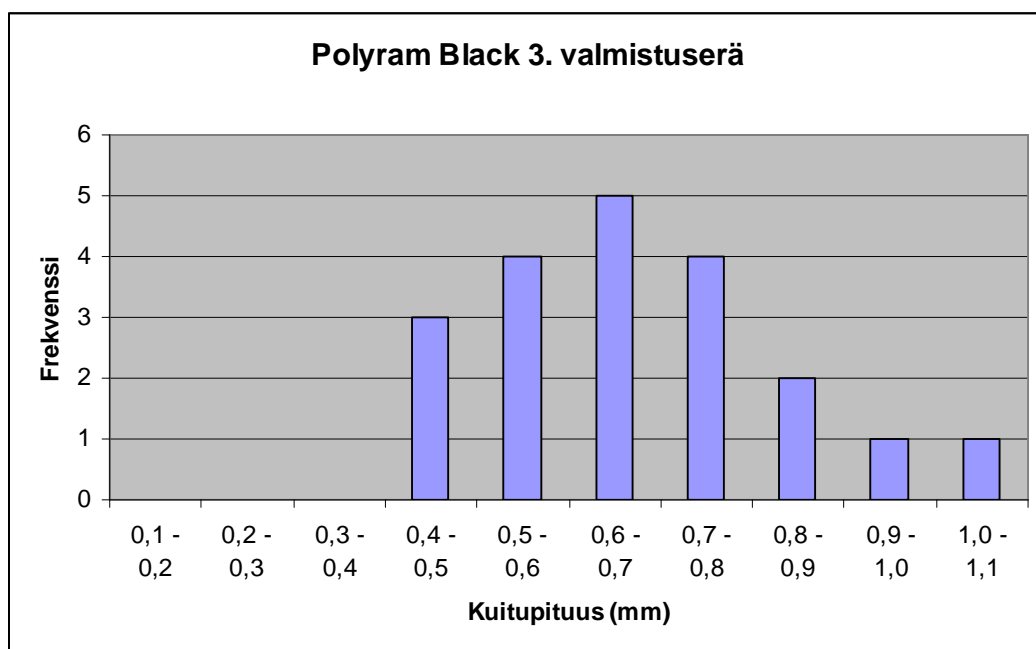
	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	0,1 - 0,2	0,15	0
2	0,2 - 0,3	0,25	0
3	0,3 - 0,4	0,35	0
4	0,4 - 0,5	0,45	2
5	0,5 - 0,6	0,55	3
6	0,6 - 0,7	0,65	3
7	0,7 - 0,8	0,75	2
8	0,8 - 0,9	0,85	4
9	0,9 - 1,0	0,95	3
10	1,0 - 1,1	1,05	3



KUVIO 8. Polyram lyhytkuidun 2. valmistuserän luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma

TAULUKKO 13. Polyram lyhytkuidun 3. valmistuserän luokitettut kuitupituudet

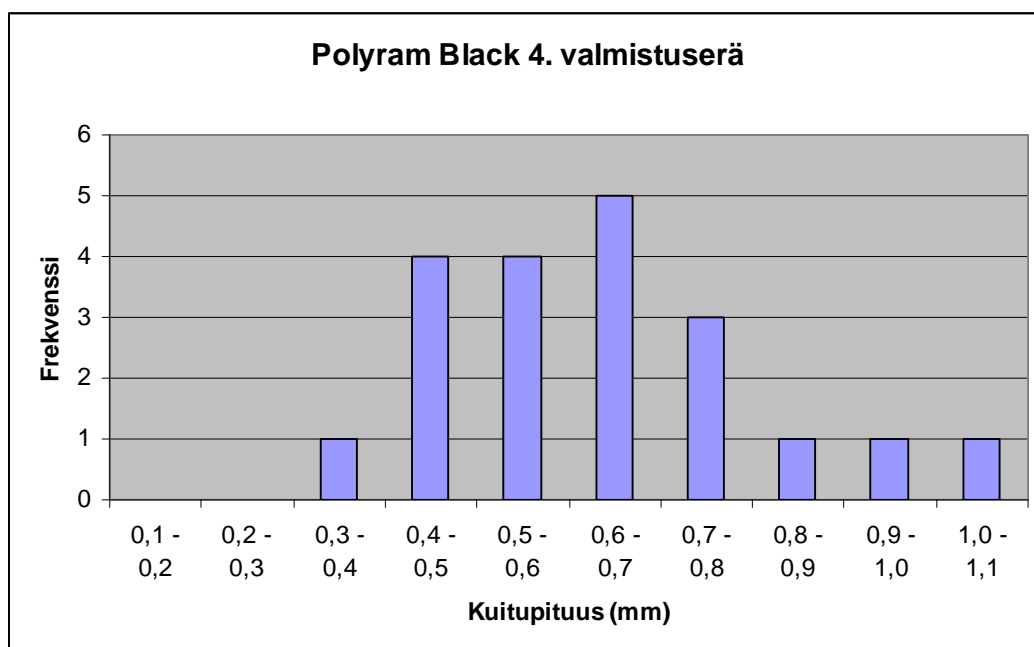
	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	0,1 - 0,2	0,15	0
2	0,2 - 0,3	0,25	0
3	0,3 - 0,4	0,35	0
4	0,4 - 0,5	0,45	3
5	0,5 - 0,6	0,55	4
6	0,6 - 0,7	0,65	5
7	0,7 - 0,8	0,75	4
8	0,8 - 0,9	0,85	2
9	0,9 - 1,0	0,95	1
10	1,0 - 1,1	1,05	1



KUVIO 9. Polyram lyhytkuidun 3. valmistuserän luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma

TAULUKKO 14. Polyram lyhytkuidun 4. valmistuserän luokitettut kuitupituudet

	Luokka (mm)	Keskipiste	Frekvenssi
1	0,1 - 0,2	0,15	0
2	0,2 - 0,3	0,25	0
3	0,3 - 0,4	0,35	1
4	0,4 - 0,5	0,45	4
5	0,5 - 0,6	0,55	4
6	0,6 - 0,7	0,65	5
7	0,7 - 0,8	0,75	3
8	0,8 - 0,9	0,85	1
9	0,9 - 1,0	0,95	1
10	1,0 - 1,1	1,05	1



KUVIO 10. Polyram lyhytkuidun 4. valmistuserän luokitettujen kuitupituuksien frekvenssijakauma



Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien taulukoidut  
vetokokeiden tulokset

TAULUKKO 15. Neste pitkäkuidun 1. valmistuserän vetokokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Vetojännitys (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	4,022	3,840	0,101
2.	4,156	4,100	0,104
3.	4,276	4,110	0,107
4.	3,996	3,460	0,100
5.	4,187	3,580	0,105
K.a	4,127	3,818	0,103
K.h	0,117	0,296	0,003

TAULUKKO 16. Neste pitkäkuidun 2. valmistuserän vetokokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Vetojännitys (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	4,193	3,500	0,105
2.	4,344	3,650	0,109
3.	4,144	3,120	0,104
4.	4,291	3,500	0,107
5.	4,325	3,490	0,108
K.a	4,259	3,452	0,106
K.h	0,087	0,197	0,002

TAULUKKO 17. Neste pitkäkuidun 3. valmistuserän vetokokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Vetojännitys (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	4,238	3,290	0,106
2.	4,299	3,170	0,107
3.	4,350	3,320	0,109
4.	4,492	3,580	0,112
5.	4,416	3,290	0,110
K.a	4,359	3,330	0,109
K.h	0,099	0,151	0,002

TAULUKKO 18. Neste pitkäkuidun 4. valmistuserän vetokokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Vetojännitys (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	4,596	3,390	0,115
2.	4,552	3,480	0,114
3.	4,610	3,640	0,115
4.	4,847	3,550	0,121
5.	4,776	3,560	0,119
K.a	4,676	3,524	0,117
K.h	0,128	0,094	0,003

TAULUKKO 19. Polyram lyhytkuidun 1. valmistuserän vetokokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Vetojännitys (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	2,976	3,960	0,074
2.	2,970	3,950	0,074
3.	2,940	3,970	0,074
4.	2,927	3,710	0,073
5.	2,932	4,050	0,073
K.a	2,949	3,928	0,073725
K.h	0,022494444	0,128140548	0,000562361

TAULUKKO 20. Polyram lyhytkuidun 2. valmistuserän vetokokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Vetojännitys (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	2,958	3,960	0,074
2.	2,926	3,950	0,073
3.	2,993	4,070	0,075
4.	2,937	3,850	0,073
5.	2,967	3,960	0,074
K.a	2,9562	3,958	0,073905
K.h	0,026243	0,077910205	0,000656077

TAULUKKO 21. Polyram lyhytkuidun 3. valmistuserän vetokokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Vetojännitys (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	3,069	3,850	0,077
2.	3,070	3,940	0,077
3.	3,074	3,860	0,077
4.	3,064	3,860	0,077
5.	2,999	3,750	0,075
K.a	3,0552	3,852	0,07638
K.h	0,031618033	0,067601775	0,000790451

TAULUKKO 22. Polyram lyhytkuidun 4. valmistuserän vetokokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Vetojännitys (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	2,935	3,880	0,073
2.	2,920	3,510	0,073
3.	2,873	3,630	0,072
4.	2,924	3,640	0,073
5.	2,874	3,490	0,072
K.a	2,9052	3,63	0,07263
K.h	0,029457	0,155402703	0,000736419

Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien taulukoidut taivutuskokeiden tulokset

TAULUKKO 23. Neste pitkäkuidun 1. valmistuserän taivutuskokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Taivutuslujuus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	0,266	4,8	0,1596
2.	0,263	4,8	0,1578
3.	0,267	4,8	0,1602
4.	0,26	4,8	0,156
5.	0,266	4,8	0,1596
K.a	0,2644	4,8	0,15864
K.h	0,002880972	0	0,001728583

TAULUKKO 24. Neste pitkäkuidun 2. valmistuserän taivutuskokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Taivutuslujuus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	0,265	5,0	0,159
2.	0,248	4,6	0,1488
3.	0,26	5,0	0,156
4.	0,257	4,7	0,1542
5.	0,255	4,7	0,153
K.a	0,257	4,8	0,1542
K.h	0,006284903	0,187082869	0,003770942

TAULUKKO 25. Neste pitkäkuidun 3. valmistuserän taivutuskokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Taivutuslujuus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	0,265	4,9	0,159
2.	0,248	4,2	0,1488
3.	0,257	4,5	0,1542
4.	0,262	4,6	0,1572
5.	0,239	4,3	0,1434
K.a	0,2542	4,5	0,15252
K.h	0,01066302	0,273861279	0,006397812

TAULUKKO 26. Neste pitkäkuidun 4. valmistuserän taivutuskokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Taivutuslujuus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	0,283	5,0	0,1698
2.	0,242	4,3	0,1452
3.	0,287	5,4	0,1722
4.	0,272	4,8	0,1632
5.	0,278	5,0	0,1668
K.a	0,2724	4,9	0,16344
K.h	0,017896927	0,4	0,010738156

TAULUKKO 27. Polyram lyhytkuidun 1. valmistuserän taivutuskokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Taivutuslujuus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	0,161	6,5	0,0966
2.	0,162	6,5	0,0972
3.	0,162	6,6	0,0972
4.	0,164	6,6	0,0984
5.	0,166	7,2	0,0996
K.a	0,163	6,68	0,0978
K.h	0,002	0,294957624	0,0012

TAULUKKO 28. Polyram lyhytkuidun 2. valmistuserän taivutuskokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Taivutuslujuus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	0,166	7,2	0,0996
2.	0,16	7,3	0,096
3.	0,162	7,0	0,0972
4.	0,164	6,7	0,0984
5.	0,161	6,7	0,0966
K.a	0,1626	6,98	0,09756
K.h	0,002408319	0,277488739	0,001444991

TAULUKKO 29. Polyram lyhytkuidun 3. valmistuserän taivutuskokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Taivutuslujuus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	0,17	6,6	0,102
2.	0,171	6,4	0,1026
3.	0,169	6,5	0,1014
4.	0,173	6,6	0,1038
5.	0,169	6,7	0,1014
K.a	0,1704	6,56	0,10224
K.h	0,00167332	0,114017543	0,001003992

TAULUKKO 30. Polyram lyhytkuidun 4. valmistuserän taivutuskokeiden tulokset.

Mittaus	Voima (kN)	Siirtymä (mm)	Taivutuslujuus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.	0,151	6,5	0,0906
2.	0,152	6,4	0,0912
3.	0,155	6,8	0,093
4.	0,151	6,8	0,0906
5.	0,15	6,2	0,09
K.a	0,1518	6,54	0,09108
K.h	0,001923538	0,260768096	0,001154123

Neste PPGF40 ja Polyram PPH300G4BK11 muovikomposiittien taulukoidut  
iskukokeiden tulokset

TAULUKKO 31. Neste pitkäkuidun eräkohtaiset iskuenergiat.

Mittaus	Erä 1. (J)	Erä 2. (J)	Erä 3. (J)	Erä 4. (J)
1.	1,15	1,05	0,70	1,00
2.	0,95	1,05	0,65	0,90
3.	1,15	0,85	0,65	0,97
4.	1,05	0,85	0,65	0,90
5.	1,25	0,85	0,55	0,90
K.a	1,11	0,93	0,64	0,93
K.h	0,11	0,11	0,05	0,05

TAULUKKO 32. Neste pitkäkuidun eräkohtaiset iskulujuudet.

Mittaus	Erä 1. (J/mm <sup>2</sup> )	Erä 2. (J/mm <sup>2</sup> )	Erä 3. (J/mm <sup>2</sup> )	Erä 4. (J/mm <sup>2</sup> )
1.	0,02875	0,02625	0,0175	0,025
2.	0,02375	0,02625	0,01625	0,0225
3.	0,02875	0,02125	0,01625	0,02425
4.	0,02625	0,02125	0,01625	0,0225
5.	0,03125	0,02125	0,01375	0,0225
K.a	0,02775	0,02325	0,016	0,02335
K.h	0,002850439	0,002738613	0,001369306	0,001193734

TAULUKKO 33. Polyram lyhytkuidun eräkohtaiset iskuenergiat.

Mittaus	Erä 1. (J)	Erä 2. (J)	Erä 3. (J)	Erä 4. (J)
1.	0,35	0,34	0,20	0,33
2.	0,35	0,35	0,30	0,30
3.	0,35	0,35	0,30	0,30
4.	0,35	0,37	0,30	0,30
5.	0,35	0,33	0,33	0,33
K.a	0,35	0,35	0,29	0,31
K.h	0,00	0,01	0,05	0,02

TAULUKKO 34. Polyram lyhytkuidun eräkohtaiset iskulujuudet.

Mittaus	Erä 1. (J/mm <sup>2</sup> )	Erä 2. (J/mm <sup>2</sup> )	Erä 3. (J/mm <sup>2</sup> )	Erä 4. (J/mm <sup>2</sup> )
1.	0,00875	0,0085	0,005	0,00825
2.	0,00875	0,00875	0,0075	0,0075
3.	0,00875	0,00875	0,0075	0,0075
4.	0,00875	0,00925	0,0075	0,0075
5.	0,00875	0,00825	0,00825	0,00825
K.a	0,00875	0,0087	0,00715	0,0078
K.h	0	0,00037081	0,00124499	0,000410792

IDES – The Plastic Web - tietokannan Nepol GB402HP muovikomposiitin materiaalitiedot

**Nepol GB402HP by Borealis A/S is a PP, Unspecified (Polypropylene, Unspecified) plastic material with filler: Glass fiber, long, 40 %**

*Product description:*

Nepol GB402HP is a 40 % long glass fibre reinforced polypropylene grade intended for injection moulding and extrusion. The long glass fibres, chemically coupled to the polypropylene matrix, are providing outstanding mechanical properties such as high strength, high stiffness and excellent impact behaviour.

Due to its excellent combination of properties this material can substitute in many applications other engineering plastics or metal alloys. A significant value of this material is the fact that it does not change its mechanical properties at humid conditions or water contact.

*General:*

Material Status	commercial: Active
Availability	Europe, North America, South America
Test Standards Available	ISO
Reinforcement	Glass Fiber, long, 40 % Filler by Weight
Features	Chemically coupled
	Impact Resistance, High
	Recyclable Material
	Stiffness, High
	Strength, High

Uses	Automotive applications
	Automotive Exterior Parts
	Automotive Instrument Panel
	Automotive Interior Parts
	Electrical / Electronic Applications
	Furniture
Forms	Metal Replacement
	Pellets
Processing Method	Extrusion
	Injection Molding

*IDES – The Plastic Web*



MATWEB – tietokannan Polyram PPH300G4 muovikomposiitin materiaalitiedot

**Polyram PPH300G4, 20 % Glass Fiber**

*Material Notes:*

20 % glass fiber reinforced polypropylene for injection molding applications.  
Information provided by Polyram Ram On Ind.

*Physical properties:*

Density	1,01 g / cc
Linear Mold Shrinkage	0,0320 cm / cm
Melt Flow	5 g / 10 min

*Mechanical Properties:*

Tensile Strenght, Yield	70,0 MPa
Elongation at Break	3,00 %
Tensile Modulus	4,80 GPa
Flexural Modulus	3,20 GPa
Flexural Strenght	100 MPa
Izod Impact, Notched	0,950 J / cm

*Thermal Properties:*

Melting Point 165 °C

Maximum Service Temperature, Air 110 °C

Deflection Temperature at 0,46 MPa 153 °C

Deflection Temperature at 1,8 MPa 145 °C

*MATWEB – Material Property Data*