

# Polypropeenin lujittaminen turpeella

Mekaaninen testaus

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Materiaalitekniikka  
Muovitekniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Ville Mäkelä

Lahden ammattikorkeakoulu  
Materiaalitekniikan koulutusohjelma

MÄKELÄ, VILLE:

Polypropeenin lujittaminen turpeella  
Mekaaninen testaus

Muovitekniikan opinnäytetyö, 26 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetöissä tutkittiin polypropeenin lujittamista turpeen avulla. Tarkoituksena oli mekaanisin testeillä selvittää turvelujitetun polypropeenin ominaisuuksia ja verrata niitä polypropeeniin. Opinnäytetyö tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan laitoksen toimeksiantona.

Työ on jaettu teoreettiseen osuuteen ja kokeelliseen osuuteen. Teoriaosuudessa käydään läpi yleisellä tasolla muovikomposiitit sekä työssä käytettävät materiaalit turve ja polypropeeni.

Kokeellisessa osuudessa valmistetaan työssä käytettävät komposiitit ja testattavat koekappaleet, perehdytään työn mekaanisiin testeihin ja analysoidaan saadut testitulokset. Turpeen lisääminen polypropeeniin toi materiaaliin lisää kovuutta, mutta samalla heikensi sen iskunkestoja ja vetolujuutta.

Asiasanat: polypropeeni, turve, komposiitti, mekaaninen testaus

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Materials Engineering

MÄKELÄ, VILLE: Hardening Polypropylene with Peat  
Mechanical Testing

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 26 pages, 3 pages of  
appendices

Spring 2017

ABSTRACT

---

This thesis deals with hardening polypropylene with peat. The purpose was to examine the properties of polypropylene hardened with peat by mechanical testing and compare the results to ordinary polypropylene. The thesis was made for the Faculty of Technology of Lahti University of Applied Sciences.

The thesis is divided into two parts, theoretical and practical. In the theoretical part plastic composites and the materials used in the practical part were studied in general.

In the practical part composites and test pieces used in mechanical tests were prepared, mechanical tests were performed and the test results were analyzed. Adding peat to polypropylene seemed to harden the material, but also reduced its impact resistance and tensile strength.

Key words: polypropylene, peat, composite, mechanical testing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KOMPOSIITIT	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Matriisimuovit	2
2.3	Lisäaineet ja lujitteet	3
3	TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT	4
3.1	Turve	4
3.1.1	Maatuneisuus	4
3.1.2	Turvekuidun valinta	5
3.1.3	Työssä käytettävä turve	5
3.2	Polypropeeni	6
3.2.1	Ominaisuudet ja käyttökohteet	6
3.2.2	Työssä käytettävä polypropeeni	7
4	TUTKIMUKSET	8
4.1	Koemateriaalien valmistus	8
4.2	Koesauvojen valmistus	10
4.3	Kutistuma	12
4.3.1	Työn suoritus	12
4.3.2	Tulokset	12
4.4	Sulaindeksi (MFR)	13
4.4.1	Työn suoritus	13
4.4.2	Tulokset	14
4.5	Kovuus	15
4.5.1	Työn suoritus	15
4.5.2	Tulokset	16
4.6	Iskulujuus	17
4.6.1	Työn suoritus	18
4.6.2	Tulokset	18
4.7	Vetokoe	19
4.7.1	Työn suoritus	20
4.7.2	Tulokset	20
5	YHTEENVETO	24

LÄHTEET

25

LIITTEET

27

## 1 JOHDANTO

Muovit ovat yksi maailman käytetyimmistä materiaaleista niiden keveyden, helpon muovattavuuden, hyvien mekaanisten ominaisuuksien ja suhteellisen alhaisen hinnan takia. Edellä mainittujen etujen vuoksi muoveja sekoitetaan paljon myös muihin materiaaleihin. Tällöin kyse on muovikomposiitista.

Komposiitit ovat tuttuja tavalliselle kuluttajalle esimerkiksi urheiluvälineissä ja arjen elektronisissa sovelluksissa, mutta niiden käyttöala on laaja aina koriste-esineistä arvaruusteknologiaan. Uusia komposiitteja kehitetään jatkuvasti ja niiden tutkimiseen panostetaan.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli valmistaa polypropeeniturvekomposiitti ja tutkia sen mekaanisia ominaisuuksia. Tavoitteena oli selvittää kyseisen komposiitin hyödyt ja haitat verrattuna tavalliseen polypropeeniin.

Työ on jaettu teoreettiseen ja kokeelliseen osuuteen. Teoreettisessa osiossa käsitellään komposiitteja sekä turvetta ja polypropeenia materiaaleina. Teoriaosuuden pääpaino on turpeessa, sillä kyseessä on uusiutuva luonnonvara, jota varsinkin Suomen luonnossa esiintyy runsaasti. Sitä on myös tutkittu verrattain vähän ja uusia käyttökohteita kehitellään kiihtyvällä tahdilla.

Kokeellisessa osuudessa valmistetaan kahden eri sekoitussuhteen polypropeeniturvekomposiittia sekä tavallista polypropeenia. Näille materiaaleille suoritetaan mekaanisia testejä ja testaustuloksia verrataan keskenään ja polypropeenista löytyviin materiaalivalmistajien kirjallisiin arvoihin. Oletuksena oli, että turpeen lisääminen muoviin tuo komposiittiin samankaltaisia ominaisuuksia kuten puu eli materiaalin elastisuus heikkenee sekä kovuus ja jäykkyys lisääntyvät.

## 2 KOMPOSIITIT

### 2.1 Yleistä

Komposiiteilla tarkoitetaan yleisesti kahden tai useamman materiaalin yhdistelmiä, joissa materiaalit vaikuttavat yhdessä, mutta eivät ole sulautuneet tai lienneet toisiinsa. Yleensä komposiitista voidaan nimetä matriisi eli ainesosa, joka sitoo muut ainesosat, esimerkiksi hienojakoiset partikkelit tai ohuet kuidut, yhteen kokonaisuudeksi (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars & Komppa 2007, 17). Komposiitteja muodostamalla pyritään yhdistämään käytettävien materiaalien halutut ominaisuudet lopputuotteessa.

Yksi tärkeimmistä ja jatkuvasti kasvava komposiittien alaryhmä on muovikomposiitit. Niissä matriisina toimiva muoviaine voi olla myös useamman muovin seos, jolloin sekin on jo muovikomposiitti. Muovien ja muoviseosten ominaisuuksien muokkaamiseen käytetään lujitteita ja täyteaineita. (Saarela ym. 2007, 17.)

### 2.2 Matriisimuovit

Muoveja voidaan jaotella ryhmiin monilla eri tavoilla. Yksi yleisimmistä jaottelumenetelmistä perustuu niiden rakenteeseen muovattavuuden perusteella. Tällöin puhutaan kerta- ja kestormuoveista. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2008, 19.)

Pääryhmistä pienempi, joskin muovikomposiittien matriisina yleisimmin käytetty, on kertamuovi. Kertamuovi syntyy sen perusraaka-aineen hartsin kemiallisessa kovettumisreaktiossa, jossa polymeeriketjut kytkeytyvät toisiinsa kemiallisin sidoksin verkkomaiseksi rakenteeksi eli silloittuvat. Tätä rakennetta ei voida enään muovata uudelleen. Kertamuovien etuna on muun muassa helppo työstettävyys ja pieni muottikutistuma, jolloin niistä voidaan valmistaa eri valmistusmenetelmillä monenlaisia tuotteita eri sarjakokoihin. Toisaalta niiden huonoja puolia ovat etenkin heikko

iskunkestävyys ja se, ettei niitä voida kierrättää samalla tavalla kuin kestopuoveja uudelleen sulattamalla. (Saarela ym. 2007, 18, 35.)

Kestomuovit ovat nimensä mukaisesti muoveja, joita voidaan lämmön ja paineen avulla uudelleen muokata rakennetta muuttamatta. Tärkeimpiä matriisikestopuoveja ovat polypropeeni ja polyamidi. Lujitettujen kestopuovien työstö, ominaisuudet ja sovelluskohteet eroavat lujitetuista kertamuoveista ja niitä käytetään pääasiassa puolivalmisteina eli prepegeinä tai lyhyitä lujitekuituja sisältävinä granulaatteina. Granulaatit työstetään pääasiassa ruiskuvalamalla kuten lujittamattomat kestopuovitkin. (Saarela ym. 2007, 53.)

### 2.3 Lisäaineet ja lujitteet

Täyte ja seosaineet ovat kiinteitä partikkeleita, kuten esimerkiksi hienojakoisia mineraaleja, metallia tai jauhemaista lasia. Niillä pyritään, käyttötarkoituksesta riippuen, alentamaan raaka-ainekustannuksia tai muokkaamaan lopputuotteen ominaisuuksia, kuten keventämään tuotteen massaa sekä parantamaan sen sähkön- ja lämmönjohtavuutta. (Saarela ym. 2007, 20.)

Lujitteilla pyritään parantamaan muovien mekaanisia ominaisuuksia. Niiden pääasiallinen tehtävä on kantaa komposiittiin kohdistuvat kuormitukset ja täten rasitus siirtyy pois matriisimuovilta. Lujitteiksi lasketaan vain erityisesti tätä tarkoitusta varten valmistetut ja käsitellyt kuidut, vaikkakin joillain lisä- ja täyteaineilla voidaan parantaa muovin mekaanisia ominaisuuksia. Kaupallisesti tärkeimpiä lujitteita ovat lasi-, hiili- ja aramidikuidut. Näistä merkittävin on lasikuitu, jonka osuus kaikesta lujitekäytöstä on runsaat 95 %. (Saarela ym. 2007, 75.)



### 3 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT

#### 3.1 Turve

Turve on kosteissa olosuhteissa syntyvä, muodostumispaikalleen kerrostunut, eloperäinen maalaji. Turvetta syntyy, kun suokasvien jäänteet hajoavat epätäydellisesti eli hapenpuutteen ja runsaan veden vuoksi hajoaminen on vain osittaista. Maa-aineksen orgaanisen aineen osuus on oltava vähintään 75 % kuivamassasta, jotta se voidaan luokitella turpeeksi. Suomessa turpeen orgaanisen maa-aineksen osuus on pääsääntöisesti yli 90 %. Tästä noin puolet on hiiltä ja loput happea, typpeä ja vetyä. (Virtanen, Hänninen, Kallinen, Vartiainen, Herranen & Jokisaari 2000, 37.)

Turpeen muodostuminen tapahtuu kemiallisesti suurimolekyylisistä orgaanisista yhdisteistä, kuten selluloosasta, hemiselluloosasta, humusaineista, ligniineistä, proteiineista, vahoista ja hartseista. Epäorgaaniset aineet ovat puolestaan peräisin turpeeksi muodostuneista suokasveista sekä veden ja ilman kuljettamista aineista. (Virtanen ym. 2000, 37.)

##### 3.1.1 Maatuneisuus

Turpeen huminositeetti eli maatuneisuusaste (H) kuvataan ruotsalaisen luonnontieteilijän ja geologin Lennart von Postin kehittämällä kymmenasteikolla, jossa H1 on maatumatonta turvetta ja H10 täysin maatumutta turvetta (Geologia.fi 2011). Maatuneisuuden määrittämiseksi turvenäytettä puristellaan kädessä ja tarkkaillaan siitä puristuvan veden väriä ja sameutta, kasvijäännösten tunnistettavuutta, sormien välistä puristuvan amorfisen massan määrää ja puristejäännöksen kimmoisuutta. Maatuneisuusaste vaikuttaa turpeen koostumukseen ja rakenteeseen siten, että mitä maatumattomampaa turve on, sitä paremmin kasvin osat ovat erotettavissa. Puolestaan täysin tai lähes täysin maatumut turve on enemmän puuromaisen tuntuista, homogeenistä amorfista massaa. (Government of Canada 2013.)

Maatuneisuusasteella on täten vaikutusta kuitujen pituuteen, joka vaikuttaa testattavan materiaalin ominaisuuksiin. Maatumattomamman turpeen käyttö muovikomposiittisovelluksissa on myös rajoittuneempaa sen suuren partikkelikoon takia, kun taas hyvin maatunutta turvetta voidaan sekoittaa muoviin paljon helpommin pienen partikkelikoon ansiosta.

### 3.1.2 Turvekuidun valinta

Turpeesta on mahdollista valmistaa erilaisia ja eri käyttötarkoituksiin sopivia kuitujakeita. Valittaessa sopivaa kuitujaetta on otettava huomioon turpeen käyttökohde. Lyhyet kuitujakeet soveltuvat parhaiten komposiitteihin ja kuituvaloksiin sekä erilaisten kuitutuotteiden täyteaineiksi. Tuotteelle rakenteellisia ominaisuuksia tuomaan käytetään keskipitkiä kuituja. Pitkät kuidut puolestaan korvaavat pitkiä synteettisiä ja luonnonkuituja. Näiden lisäksi esimerkiksi Vapo on kehitellyt Natural-jakeita, jotka sisältävät eri kokoisia puumaisia jakeita, kuten varpuja ja kasvien juuristoja, jotka tuovat tuotteeseen luonnon alkuperää korostavan ja yksilöllisen ulkonäön. (Vapo 2012.)

### 3.1.3 Työssä käytettävä turve

Työssä käytettiin Vapon toimittamaa turvetta, mutta pakkauksesta oli tuotemerkintä kulunut pois, joten varmaa tietoa turpeen laadusta ei ole. Turpeen maatuneisuuden arvioitiin olevan noin H7 tai H8 von Postin asteikolla. Kuten kuvasta 1 voidaan havaita, turvemassa oli erittäin hienoa eli kuitujakeet olivat erittäin lyhyitä, joten kyseisen turpeen arvioitiin soveltuvan hyvin ruiskuvaluun.



KUVA 1. Seulottua turvetta

### 3.2 Polypropeeni

Polypropeeni on termoplastinen polymeeri eli kestopuovi. Sitä pystytään siis muovaamaan uudelleen lämmön ja paineen avulla. Polypropeeni koostuu kemiallisesti pelkästään hiilestä ja vedystä, ja sitä valmistetaan propeenista eli propyleenista ketju- eli additiopolymeroinnilla. (Airasmaa, Johansson, Kokko, Komppa, Linkoaho, Piltz & Saarela 1984, 63.)

Polypropeeni on valtamuovi, ja se on polyeteenien ja polyvinyylidikloridin jälkeen kolmanneksi eniten käytetty muovi maailmassa sekä yleisin kestopuovikomposiittien matriisi yhdessä polyamidin kanssa. (Saarela ym. 2007, 53.)

#### 3.2.1 Ominaisuudet ja käyttökohteet

Polypropeenin suosioon vaikuttavat muun muassa sen helppo prosessoitavuus, työstettävyys, modifioitavuus, mekaaniset ominaisuudet sekä suhteellisen hyvä lämmönkesto yhdistettynä verrattain edulliseen hintaan (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 18 - 19). Sitä käytetäänkin paljon muun muassa putki-, puristus- ja rotaatiovalutuotannossa sekä hyvästä sähköneristyskyvystä johtuen lukuisissa elektroniikkateollisuuden sovelluksissa (Airasmaa ym. 1984, 63).

### 3.2.2 Työssä käytettävä polypropeeni

Tässä työssä käytettiin Borealoksen BC245MO -polypropeenin, joka on suunniteltu ja räätälöity ruiskuvalamista varten. Sen ominaisimpia piirteitä ovat hyvä jäykkyys, virumislujuus, erittäin hyvä prosessoitavuus sekä erittäin suuri iskulujuus, jopa alhaisissa käyttölämpötiloissa. Taulukossa 1 on esitetty valmistajan ilmoittamia mekaanisen testauksen arvoja.

TAULUKKO 1. Borealis BC245MO -polypropeenin mekaanisia arvoja (Borealis 2013.)

Ominaisuus	Tyypillinen arvo	Testausmetodi
Kutistuma	1-2 %	-
Sulaindeksi	3,5 g/10 min (230 °C/2,16 kg)	ISO1133
Iskulujuus Charpy, lovettu (23 °C)	15 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Iskulujuus Charpy, lovettu (-20 °C)	6,5 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Vetokimmomoduuli (50 mm/min)	1.350 MPa	ISO 572-2
Vetolujuus (50 mm/min)	25 MPa	ISO 572-2
Venymä (50 mm/min)	6 %	ISO 572-2



KUVA 2. Borealis BC245MO -polypropeenigranulaatteja

## 4 TUTKIMUKSET

Tämän opinnäytetyön käytännön osuuteen kuului polypropeeni-turvegranulaattien sekä koesauvojen valmistus, että niiden mekaaninen testaus ja testitulosten analysointi.

Työssä käytettävät turvelujitetut polypropeenigranulaatit valmistettiin itse. Sekoitussuhteiksi valittiin puhdas polypropeeni, 20 % turvetta ja 40 % turvetta. Puhdas polypropeeni valittiin myös mukaan, vaikka tarjolla oli myös valmistajan ja kirjallisuuden arvoja. Tämä tehtiin siitä syystä, että vertailemalla itse saatuja tuloksia puhtaasta polypropeenista kirjallisuuden ja valmistajan ilmoittamiin testituloksiin, voidaan havainnoida myös valmistusmenetelmästä, olosuhteista ja käyttäjästä johtuvat mahdolliset tulosten heittelyt. Täten tuloksia vertailtaessa virheen tuoma eroavaisuus on pienempi.

### 4.1 Koemateriaalien valmistus

Koemateriaalien valmistus aloitettiin valitsemalla tarkoitukseen sopivin turve. Tarjolla oli kolmea eri laatuista turvetta, joista käyttöön valikoitui kaikista parhaiten maaton ja hienojakeisin turvelaatu. Kuten kuvasta 1 voidaan havaita, turve oli jo itsessään hyvin hienoa ja partikkelit olivat pieniä. Turve oli silti siivilöitävä, jotta se olisi mahdollisimman tasalaatuista ja sekoittaminen polypropeeniin olisi helpompaa.

Turve ja polypropeeni punnittiin ja sekoitettiin keskenään. Ensin turvetta sekoitettiin 20 %:n sekoitussuhteella, johon sitten lisättiin tarvittava määrä turvetta, jotta materiaalia saadaan myös 40 %:n sekoitussuhteella. Sekoitettu 20-prosenttinen massa ajettiin Brabenderin yksiruuvisen ekstruuderin läpi. Prosessissa korkein lämpötila oli 190 °C, vaikka valmistaja suosittelee vähintään 230 °C:n lämpötilaa. Alemmaan prosessilämpötilaan päädyttiin kuitenkin turpeen palamisen ehkäisemiseksi ja minimoimiseksi. Kun ekstrudoitu massa oli jäähtynyt, rouhittiin se granulaateiksi Rapid Granulator -rouhemyllyllä.

Kuten kuvasta 3 voidaan havaita, on 20 %:n sekoitussuhteella valmistetussa komposiitissa vielä selkeästi silmällä eroteltavissa turve ja polypropeeni.



KUVA 3. 20 % turvetta sisältävä turve-polypropeeni komposiitti

40 % turvetta sisältävää komposiittia varten otettiin talteen noin kaksi viidesosaa jo valmistetusta materiaalista, johon turvetta vielä lisättiin. Sekoitettu massa ajettiin ekstruuderin läpi ja granuloitiin kuten aiemmin esitetty.

Sekoitussuhteeltaan enemmän turvetta sisältävän materiaalin ekstrudoiminen oli huomattavasti haastavampaa kuin vähemmän turvetta sisältävän. Massa ei meinannut liikkua ekstruuderissa, minkä seurauksena turve pääsi hajusta päätellen hieman palamaan. Ulkoisesti ei kuitenkaan ollut havaittavissa selkeästi palanutta materiaalia. Kuten kuvasta 4 voidaan havaita, polypropeenaa ei juurikaan voida enää silmällä erottaa turpeesta.

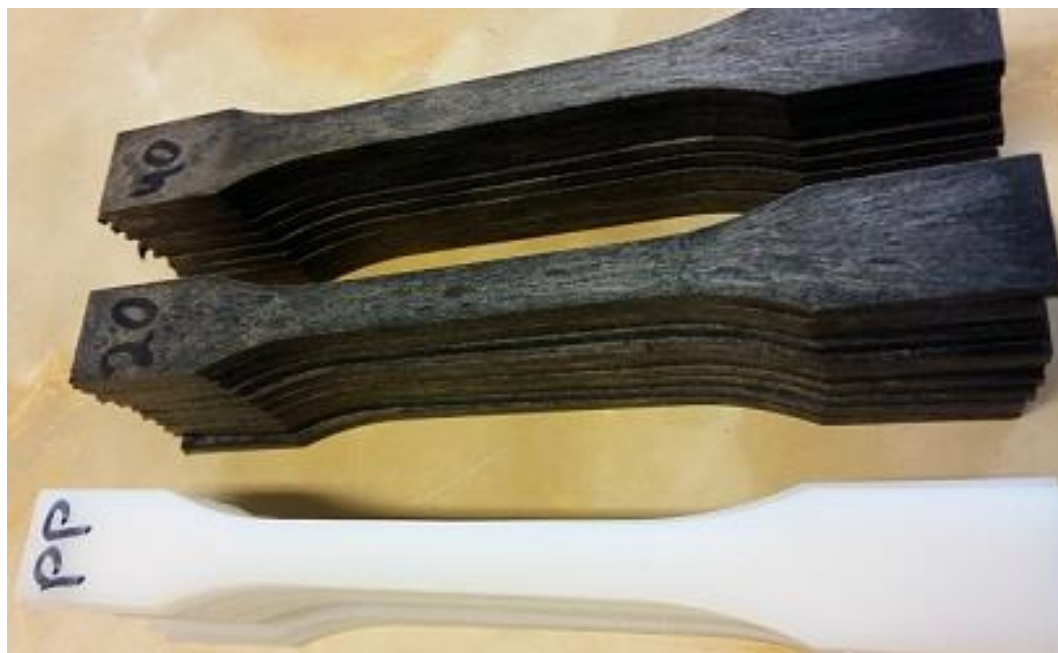


KUVA 4. 40 % turvetta sisältävä turve-polypropeenin komposiitti

#### 4.2 Koesauvojen valmistus

Raaka-aineiden valmistuksen jälkeen ne suljettiin saumattuihin pusseihin säilytystä varten. Pussit saumattiin ilmatiiviiden takaamiseksi ja kosteuden vakioimiseksi, jotta materiaalit pysyisivät mahdollisimman kuivina. Raaka-aineita säilöttiin pusseissa 24 tuntia, jonka jälkeen suoritettiin koesauvojen valmistus ruiskuvalamalla.

Ruiskuvalu tapahtui KraussMaffei KM50-90C2 -ruiskuvalukoneella. Koesauvat valettiin kaksipesäisellä muotilla standardin ISO 3167: 2014 mukaisiin mittoihin taulukossa 2 esitettyjen arvojen mukaisesti. Ainoa poikkeama oli jäähdytysajassa, joka oli puhtaalle polypropeenille 20 sekuntia, kun taas molempien turvetta sisältäneiden komposiittien jäähdytysaika oli 25 sekuntia. Muotin lämpötilaa ei mitattu, koska mittari unohtui liittää muottiin, mutta muotin lämpötilan arvioitiin olevan suunnilleen kädenlämpöinen eli noin 35 °C.



KUVA 5. Ruiskuvaletut koesauvat

TAULUKKO 2. Ruiskuvalupöytäkirja

LÄMPÖTILAT	Vyöhyke 1	180 °C
	Vyöhyke 2	190 °C
	Vyöhyke3	190 °C
	Suutin	190 °C
RUISKUTUS	Nopeus	15 mm/s
	Paine	700 bar
JÄLKIPAINI	Aika	10 s
	Paine	500 bar
JÄÄHDYTYS	Aika	20-25 s

Jäähtyneet valmiit koesauvat suljettiin saumattuihin pusseihin säilytystä varten. Pussit saumattiin ilmatiiviiden takaamiseksi ja kosteuden vakiointiseksi, jotta materiaalit pysyisivät mahdollisimman kuivina. Kappaleiden mahdollinen kosteuden kerääminen vääristäisi testeistä saatavia arvoja, ja täten oli erittäin tärkeää, että säilytys tapahtuisi mahdollisimman vakaisissa olosuhteissa.



### 4.3 Kutistuma

Muovimateriaaleissa esiintyy jälkikiteytymisestä johtuvaa kutistumaa. Jälkikiteytymistä tapahtuu, kun muovi ei ehdi kiteytymään riittävästi jäähdytysajan ollessa liian lyhyt. Kutistumista tapahtuu yleisesti tunteja, mutta myös päiviä kappaleen muotistapoiston jälkeen. Tämän takia kutistuma on tärkeä mitattava ominaisuus, jotta se voidaan ottaa huomioon tuote- ja muottisuunnittelussa.

#### 4.3.1 Työn suoritus

Jokaisesta materiaalista valittiin satunnaisesti viisi koesauvaa, joiden pituudet mitattiin 24 tuntia ruiskuvalun jälkeen. Mittaus tapahtui työntömitalla 0,05 mm:n tarkkuudella ja saatua arvoa verrattiin muotin pituusmittaan, joka oli 170,00 mm.

#### 4.3.2 Tulokset

Polypropeenista saatu kutistumakeskiarvo 0,82 % on erittäin lähellä valmistajan ilmoittamaa 1 - 2 % (taulukko 1) arvoa, joten mittauksia voidaan pitää onnistuneina ja tuloksia luotettavina. Taulukosta 3 voidaan havaita, ettei kutistumassa ollut merkittäviä eroja. Pientä kutistuman vähenemistä oli kuitenkin havaittavissa, kun turvepitoisuus oli 40 %. Ero on kuitenkin niin vähäinen ja otoskoko pieni, että kyse voi myös olla mittavirheen poikkeamasta.

TAULUKKO 3. Mitatut kutistumat ja keskiarvot

Materiaali	Kutistuma					ka.
	1	2	3	4	5	
Polypropeeni	0,82 %	0,82 %	0,76 %	0,79 %	0,88 %	<b>0,82 %</b>
PP + turve 20 %	0,74 %	0,85 %	0,82 %	0,74 %	0,88 %	<b>0,81 %</b>
PP + turve 40 %	0,59 %	0,65 %	0,68 %	0,65 %	0,65 %	<b>0,64 %</b>

#### 4.4 Sulaindeksi (MFR)

Sulaindeksin (Melt flow rate) avulla mitataan sulan (polymeeri)materiaalin juoksevuutta. Sitä käytetään arvioitaessa materiaalin soveltuvuutta eri sulatyöstömenetelmiin, kuten esimerkiksi ruiskuvaluun. Sulaindeksin avulla saadaan tietoa muun muassa materiaalin virtausominaisuuksista, moolimassan suuruusluokasta ja työstettävyydestä. (Kurri ym. 2008, 192.)

Sulaindeksimittauksessa mitattavaa materiaali esilämmitetään mittauslaitteen sylinterissä ennalta määriteltyyn lämpötilaan. Esilämmityksen jälkeen massa puristetaan suuttimen läpi männän avulla. Materiaalin virtausta suuttimen läpi helpotetaan lisäämällä mäntään sopiva paino, joka ilmoitetaan mittauksen yhteydessä mittauslämpötilan kanssa. Mittausaika on 10 minuuttia, ja sopiva näytteenottoväli määritellään oletettavissa olevan sulaindeksin sekä näytteenottotavan mukaan. Manuaalisessa näytteenotossa on tärkeää määrittää riittävän pitkä näytteenottoväli, ja se on suositeltavaa ainoastaan sulaindeksiarvojen ollessa alhaisia. Leikatut näytteet punnitaan ja tuloksena ilmoitetaan suuttimen läpi virrannut materiaalmäärä grammoina kymmenen minuutin aikana. (Zwick/Roell 2017b.)

##### 4.4.1 Työn suoritus

Sulaindeksimittaus suoritettiin ISO 1133: 2011 -standardin mukaisesti. Mittaus suoritettiin vain komposiittimateriaaleille. Sylinterin lämpötilaksi valittiin 190 °C, joka oli myös materiaalien työstölämpötila. Materiaalia esilämmitettiin sylinterissä viisi minuuttia ennen mittauksen aloittamista. Suuttimen halkaisija oli 2,08 mm ja punnuksen paino 5 kg. Alun perin painoksi valittiin 2,16 kg, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia valmistajan ilmoittaman arvon kanssa, mutta jo ensimmäisellä mittauksella havaittiin, ettei komposiittimateriaalia saada riittävästi suuttimen läpi. Tämän johdosta painoa lisättiin.

Näytteitä otettiin 120 sekunnin välein ja ne punnittiin analyysivaa'alla 0,1 mg:n tarkkuudella. Mittauksia suoritettiin molemmille komposiiteille neljä

kappaletta. 20 % turvetta sisältäneen komposiitin mittauksista yksi suoritettiin aiemmin mainitulla 2,16 kg punnuksella, joten vertailtavia mittaustuloksia saatiin vain kolme kappaletta. Kaikki kolme mittaustulosta olivat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan, joten tulosta voidaan pitää vertailukelpoisena.

#### 4.4.2 Tulokset

Kuten taulukosta 4 voidaan havaita, oli 20 % turvetta sisältäneen komposiitin sulaindeksin mittaustulosten hajonta hyvin vähäistä. Suuremman sekoitussuhteen komposiitissa oli puolestaan havaittavissa hieman vaihtelua mittaustulosten välillä, mutta sulaindeksi-arvon suuruusluokka on silti hyvin todettavissa. Vaihtelun suurin tekijä on todennäköisesti turpeen partikkelikoossa tai massan epätasaisessa sekoittumisessa. Suuttimeen on voinut joissain mittauksissa mennä hetkellisesti pelkästään turvetta tai polypropeenaa, jolloin virtaus on ollut materiaalista riippuen joko heikompi tai suurempi.

Täysin suoraa vertailua valmistajan taulukossa 1 esittämään arvoon ei voida sylinterin lämpötilan ja punnuksen massan eroavaisuudesta johtuen tehdä. Mittauksia suoritettaessa ja tuloksia analysoidessa oli kuitenkin havaittavissa, että turpeen lisääminen polypropeenin joukkoon heikentää huomattavasti materiaalin juoksevuutta.

Tulos oli ennakoitavissa turpeen kuivan koostumuksen sekä epätasaisen partikkelikoon takia. Myös mahdollinen epätasainen sekoittuminen polypropeeniin heikentää sulavirtausta. Epätasaisesta sekoittumisesta olisi mahdollista vähentää muun muassa automaattisella sekoituslaitteistolla ja ajamalla materiaalit ekstruuderin läpi useampaan kertaan.

TAULUKKO 4. Sulaindeksimittauksen keskiarvot ja keskihajonnat

Materiaali	MFR (190 °C /5 kg)	
	Ka. (g/10 min)	Kh.
PP + turve 20 %	4,08	0,07
PP + turve 40 %	1,70	0,39

## 4.5 Kovuus

Kovuusmittauksella tarkastellaan materiaalin kykyä vastustaa muodonmuutosta staattisen kuormituksen aikana. Mittaus tapahtuu painamalla standardoitua paininta mitattavan kappaleen pintaan tietyllä voimalla tietyn aikaa. Kovuusmittauksen tulos on painauman koko, joka voidaan lukea myös mittalaitteesta. (Kurri ym. 2008, 197; Zwick/Roell 2017c.)

Tyypillisimmät muovien kovuusmittaukset ovat Rockwell- ja Shore-mittausmenetelmät. Näistä yleisemmin käytössä on Shore, joka jaetaan A- ja D-tyypin menetelmiin. Shore A soveltuu elasteille, esimerkiksi kumeille ja pehmeille muoveille, ja Shore D puolestaan kovemmille muoveille (Kurri ym. 2008, 197).

### 4.5.1 Työn suoritus

Kovuusmittaus suoritettiin Shore D -menetelmällä. Jokaisesta materiaalista valittiin satunnaisesti viisi koesauvaa, joista mitattiin kovuus kappaleen molemmista päistä sekä keskeltä. Saaduista mittaustuloksista laskettiin kappalekohtainen keskiarvo, jonka avulla laskettiin materiaali-kohtainen keskiarvo ja keskihajonta (liite 1). Mittaus suoritettiin ISO 868: 1997 -standardin mukaisesti. Mittaustulos kirjattiin 15 sekuntia kärjen kappaleeseen painamisen jälkeen.



KUVA 6. Shore D -kovuusmittauslaitteisto

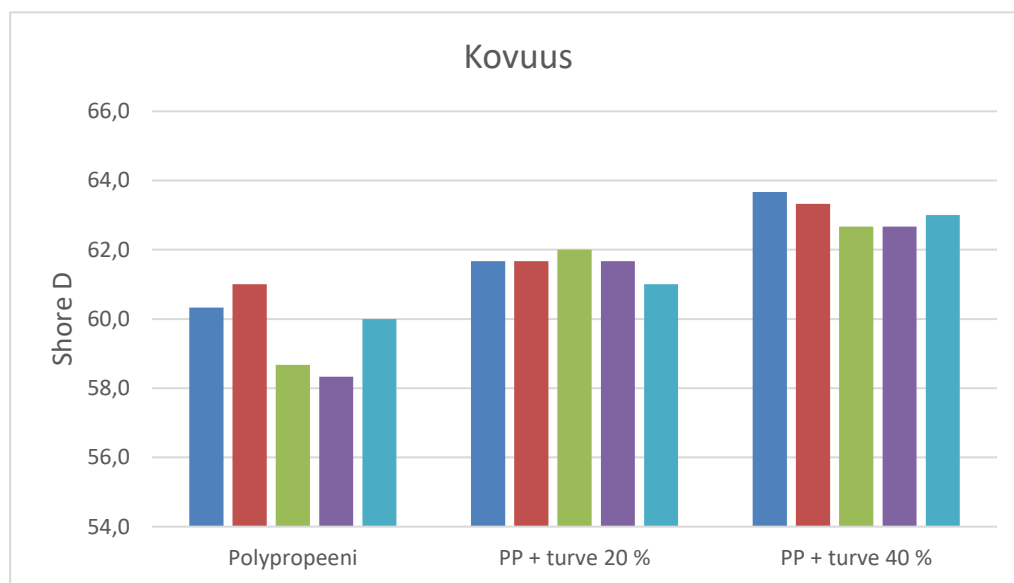
#### 4.5.2 Tulokset

Valmistaja ei ole ilmoittanut työssä käytetylle polypropeenille kovuutta, joten vertailuarvo pelkälle polypropeenille jouduttiin etsimään toisaalta. Kansainvälinen kemikaalialan yritys INEOS ilmoittaa polypropeenin Shore D kovuusarvoksi 55-65 yksikköä, joten mitattu 59,7 on kelvollinen arvo ja täten saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina. (INEOS 2014, 1.)

Oletettavaa oli, että turvetta lisäämällä materiaalin kovuutta voidaan lisätä ja tämä voidaan havaita myös mittaustuloksista. Kuten kuviosta 1 voidaan havaita, turvetta lisäämällä materiaalin kovuusarvo kasvoi lähes

lineaarisesti. 40 % turvetta sisältävässä komposiittimateriaalissa kovuus oli yli viisi prosenttia suurempi kuin pelkässä polypropeenissa.

Komposiittien materiaalikohtaisista tuloksista on myös havaittavissa saatujen kovuusarvojen tasaisuus, josta voidaan päätellä turpeen ja polypropeenin sekoittuneen suhteellisen tasaisesti polypropeenin joukkoon.



KUVIO 1. Koekappaleille mitattujen kovuusarvojen kappalekohtaiset keskiarvot

#### 4.6 Iskulujuus

Iskulujuuskokeissa tutkitaan materiaalin murtumiskäyttäytymistä nopean kuormituksen alaisena. Iskulujuuden mittaamiseen käytetään erilaisia heiluri-iskureita, joilla selvitetään koemateriaalin katkaisemiseen tarvittava iskuenergia. (Kurri ym. 2008, 196; Zwick/Roell 2017a.)

Iskulujuuskokeessa koekappale kiinnitetään laitteistoon, joko molemmista päistä vaakatasoon (Charpy) tai vain toisesta päästä kohtisuoraan iskusuuntaa vasten (Izod). Tämän lisäksi kokeessa käytettävä kappale voidaan myös loveta, jolloin voidaan todeta materiaalin loviherkkyys. Kappaleen kiinnityksen jälkeen heiluri vapautetaan ja katkaisuun tarvittu iskuenergia voidaan lukea laitteesta. Iskulujuuden ilmaisussa käytetään

katkaisuun vaaditun energian suhdetta katkaisukohtaan pinta-alaan. Yksikkönä käytetään  $J/m^2$ .

#### 4.6.1 Työn suoritus

Työssä määritettiin standardin ISO 180: 1997 mukaisesti materiaalien Izod-iskulujuus sekä loveamattomana, että lovetuna. Tätä varten ruiskuvaletuista sauvoista oli valmistettava kokeeseen sopivia koesauvoja. Sauvojen päät katkaistiin tähän tarkoitukseen tehdyn jigien avulla (kuva 7). Tämän lisäksi osa sauvoista lovettiin. Loven syvyys oli 2 mm. Jokaista materiaalia kohden valmistettiin viisi lovettua ja viisi loveamatonta sauvaa. Mittaustulokset kirjattiin 0,05 joulen tarkkuudella.



KUVA 7. Koesauvajigi

Mittaustulokset kirjattiin ylös ja niiden avulla laskettiin kappalekohtainen iskulujuus (liite 2), materiaalikohtaiset keskiarvot ja materiaalikohtaiset keskihajonnat (taulukko 5 ja 6).

#### 4.6.2 Tulokset

Loveamattomasta polypropeenista ei saatu tuloksia, sillä heilurin liike-energia ei riittänyt katkaisemaan koesauvoja. Lovetut polypropeenisauvat sen sijaan katkesivat, mutta mittaustuloksissa oli suurta vaihtelua. Tähän

syynä on mahdollisesti polypropeenin loviherkkyys sekä koesauvoissa havaittu loven epätasainen syvyys, sillä osassa polypropeenisauvoista lovi jäi pienemmäksi kuin 2 mm. Sama ilmiö oli havaittavissa myös 20 % turvetta sisältäneissä sauvoissa, joskin niissä lovi oli paljon tasaisempi. Koesauvat, jotka sisälsivät 40 % turvetta olivat iskunkestoltaan kaikista heikoimpia, mutta niissä loveamisen merkitys väheni oleellisesti verrattuna muihin koemateriaaleihin.

Mittaustuloksista on havaittavissa turpeen huomattava vaikutus materiaalin iskulujuuden heikkenemiseen lovetun 40 % turvetta sisältävän sauvan iskulujuuden ollessa alle viidesosan lovetun polypropeenisauvan iskulujuudesta. Myöskin komposiittien välillä oli havaittavissa huomattavia eroja. 40 % turvetta sisältävän loveamattoman sauvan iskulujuus oli vain viisi prosenttia suurempi kuin lovetun 20 % turvetta sisältäneen sauvan.

TAULUKKO 5. Loveamattomien koesauvojen iskulujuus

Materiaali	Izod iskulujuus (kJ/m <sup>2</sup> )	
	Ka.	Kh.
Polypropeeni	> 66,25	0,00
PP + turve 20 %	11,00	2,24
PP + turve 40 %	7,25	1,37

TAULUKKO 6. Lovettujen koesauvojen iskulujuus

Materiaali	Izod iskulujuus (kJ/m <sup>2</sup> )	
	Ka.	Kh.
Polypropeeni	27,50	7,30
PP + turve 20 %	6,88	0,86
PP + turve 40 %	4,69	0,00

#### 4.7 Vetokoe

Vetokokeella saadaan tietoa muovien lujuudesta, sitkeydestä ja jäykkyydestä. Vetokoetta hyödynnetään muun muassa tuotannon laadunvalvonnassa ja eri materiaalien testituloksia voidaan hyödyntää tuotesuunnittelussa materiaaleja valittaessa. Kokeessa mitataan vetokoesauvaan kohdistuva kuormitus ja venymä. (Kurri ym. 2008, 194.)



Vetokokeessa kuvan 5 mukainen koesauva kiinnitetään molemmista päistä mittauslaitteeseen ja sitä vedetään vakionopeudella pituussuunnassa, kunnes koesauva saavuttaa myötörajan. Myötörajassa materiaali katkeaa tai alkaa venymään nopeasti, vaikka voimaa ei merkittävästi lisätä.

Vetokokeen mitatusta voimasta ja venymästä saadaan muodostettua jännitysvenymäkuvaaja. Kuvaajan avulla voidaan laskea muun muassa vetolujuus  $\sigma$  (MPa), venymä  $\epsilon$  suhteellisena tai prosentteina ja vetokimmokerroin eli kimmomoduuli  $E_t$  (MPa). (Kurri ym. 2008, 195.)

#### 4.7.1 Työn suoritus

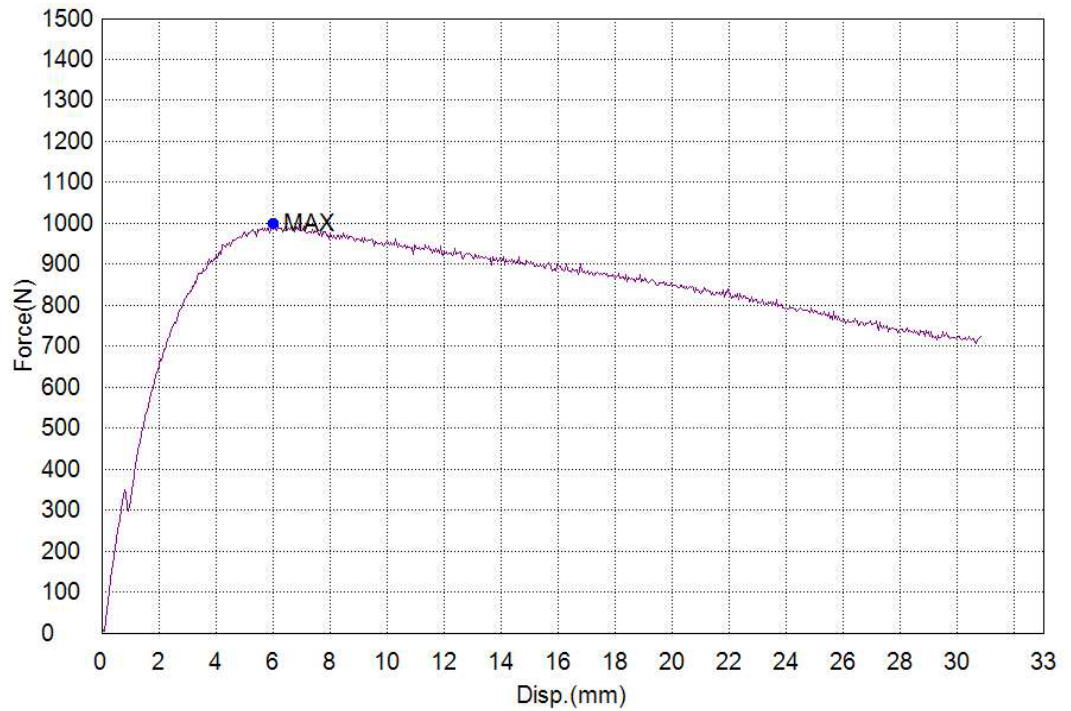
Vetokoe suoritettiin Shimadzu AG-IC 100kN vetokoneella ISO 527: 2012 -standardin mukaisesti vetonopeuden ollessa 50 mm/min. Jokaisesta materiaalista testattiin viisi satunnaisesti valittua koesauvaa. Saatujen voimavenymäkuvaajien perusteella jokaiselle materiaalille laskettiin vetolujuus (MPa), venymä (%) ja vetokimmomoduuli (MPa). Edellä mainittujen arvojen laskennalliseen määrittämiseen käytetyt kaavat ovat nähtävissä liitteessä 3.

#### 4.7.2 Tulokset

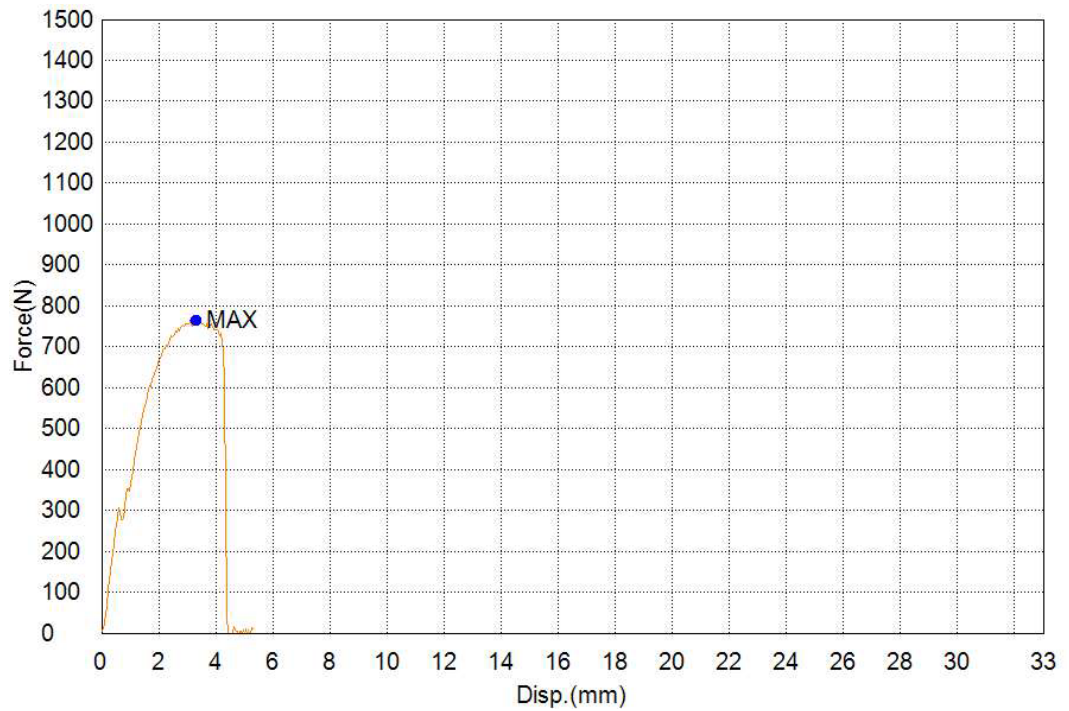
Valmistajan ilmoittama vetolujuus 25 MPa (50 mm/min) vastasi polypropeenin testauksesta saatua arvoa, kuten myös vetokimmomoduuli. Venymässä havaittiin pieni poikkeama, sillä valmistajan ilmoittama venymä oli 6 %, kun taas kokeellinen arvo oli 8 %. Kokonaisuudessaan arvot ovat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan ja hajonnan ollessa hyvin pientä (taulukko 7) voidaan vetokoetta pitää onnistuneena ja tuloksia luotettavina sekä vertailukelpoisina. Huomioitavaa kuitenkin on vetokimmomoduulin arvoissa se, että laskenta jouduttiin suorittamaan voimavenymäkuvaajista hyvin epätarkoilla arvoilla, johtuen kuvaajien skaalauksesta, joten täyttä varmuutta turpeen vaikutuksesta kyseiseen ominaisuuteen ei saatu. Toisaalta voimavenymäkuvaajista (kuvio 2-4) voidaan todeta, ettei koemateriaalien vetokimmomoduulit olennaisesti poikkea toisistaan.

TAULUKKO 7. Vetokokeen tulosten keskiarvot ja keskihajonnat

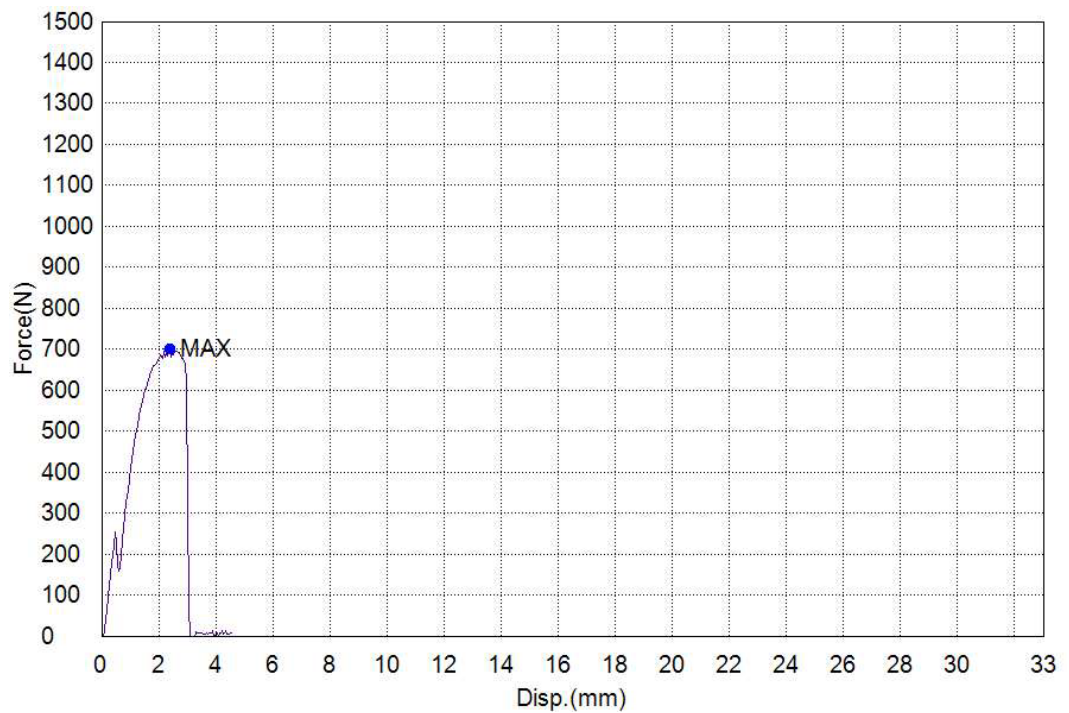
Materiaali	Vetolujuus (MPa)		Venymä (%)		Vetokimmomoduuli (MPa)	
	Ka.	Kh.	Ka.	Kh.	Ka.	Kh.
Polypropeeni	25,03	0,16	8,2	0,46	1387	292
PP + turve 20 %	19,25	0,43	4,5	0,68	1173	239
PP + turve 40 %	17,66	0,38	3,0	0,11	1387	292



KUVIO 2. Polypropeenin voimavenymäkuvaaja



KUVIO 3. Polypropeenia ja 20 % turvetta sisältäneiden komposiitin voimavenymäkuvaaja



KUVIO 4. Polypropeenia ja 40 % turvetta sisältäneiden komposiitin voimavenymäkuvaaja

Sekä vetolujuudessa että venymässä suurin eroavaisuus on havaittavissa puhtaan polypropeenin ja pienemmän sekoitussuhteen komposiitin välillä.

Molemmat ominaisuudet heikkenivät huomattavasti, kun taas komposiittien välillä eroavaisuudet eivät olleet läheskään yhtä suuret.

Olennaista on myös, että lisätessä turvetta polypropeenin joukkoon materiaalista tuli hyvin jäykkää ja haurasta. Molemmat komposiitit katkesivat helposti, kun taas puhdas polypropeeni alkoi kuroutua myötörajan saavutettuaan. Kuroutuminen on tyypillistä sitkeille materiaaleille, kuten kestopuoveille, joihin polypropeeni kuuluu.

## 5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä valmistettiin turvemuovikomposiittia, jossa matriisimuovina käytettiin polypropeenä. Valmistetun komposiitin mekaanisia ominaisuuksia tutkittiin kahdella eri sekoitussuhteella.

Käytännön osuuteen valmistautumista hankaloitti vähäinen työhön sopiva tieto turpeesta. Työ pystyttiin kuitenkin suorittamaan ongelmitta ja tietoisuus turpeen ominaisuuksista kasvoi työn edetessä.

Itse komposiittien valmistus oli vaivatonta. Testejä suoritettaessa havaittiin, että turve toi komposiittiin ennalta oletettuja ominaisuuksia, kuten kovuutta ja jäykkyyttä. Komposiittien elastisuus heikkeni jopa oletettua enemmän, mikä rajaa monia käyttökohteita pois. Testituloksiin saattoi kuitenkin vaikuttaa turpeen laatu, karkea seulonta sekä vähäinen sekoittaminen. Tarkempia tuloksia olisi luultavasti saatavilla vielä paremmin maatuneella turpeella, tiheämmällä seulonnalla ja ajamalla materiaalit useampaan kertaan ekstruuderin läpi ennen itse koesauvojen valmistusta. Testituloksista oli kuitenkin selkeästi havaittavissa eroavaisuuksia turvemuovikomposiitin ja tavallisen polypropeenin välillä. Turve antoi ruiskuvaletuille kappaleille myös persoonallisen ulkonäön. Tämä voisikin olla yksi turpeen käyttökohde muoviteollisuudessa, esimerkiksi koriste-esineissä.

Tutkimustulosten perusteella turvetta voitaisiin käyttää muovin lujittamiseen sellaisissa sovelluksissa, joissa tarvitaan tavallista polypropeenä kovempaa pintaa, mutta kappaleeseen ei kohdistu vetäviä tai iskunkestoja vaativia voimia.

Työ herätti mielenkiintoa turpeen lisätutkimiseen ja turvemuovikomposiittien jatkojalostusmahdollisuuksien selvittämiseen.

## LÄHTEET

### PAINETUT LÄHTEET

Airasmaa, I., Johansson, C.-J., Kokko, J., Komppa, V., Linkoaho, P., Piltz, A. & Saarela, O. 1984. Lujitemuovitekniikka. Hämeenlinna: Arvi A. Karisto Oy:n kirjapaino.

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. Tampere: TTKK-Paino.

Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2008. Muovitekniikan perusteet. 4. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa V. 2007. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys ry.

### SÄHKÖISET LÄHTEET

Borealis. 2013. Product Data Sheet. [viitattu 15.5.2017]. Saatavissa: <http://www.borealisgroup.com/en/polyolefins/products/Others/BC245MO/>

Geologia.fi 2011. Sanakirja [viitattu 20.4.2017]. Saatavissa: <http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-13-02-26/525-m>

Government of Canada. 2013. Von Post [viitattu 20.4.2017]. Saatavissa: <http://sis.agr.gc.ca/cansis/nsdb/soil/v2/slt/vonpost.html>

INEOS. 2014. Typical Engineering Properties of Polypropylene [viitattu 15.5.2017]. Saatavissa: <http://www.ineos.com/globalassets/ineos-group/businesses/ineos-olefins-and-polymers-usa/products/technical-information--patents/ineos-engineering-properties-of-pp.pdf>

Vapo. 2012. Kuidun valinta [viitattu 20.4.2017]. Saatavissa: <http://www.vapo.fi/tuotteet-ja-palvelut/vapo-fibers/kuidun-valinta>

Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R.-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2000. Suomen Turvevarat 2000. Geologian Tutkimuskeskus

[viitattu 20.4.2017]. Saatavissa:

[http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr\\_156.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_156.pdf)

Zwick/Roell. 2017a. Iskuvasarat [viitattu 15.5.2017]. Saatavissa:

<http://www.zwick.fi/fi/tuotteet/iskukoelaitteet/iskuvasarat.html>

Zwick/Roell. 2017b. Sulaindeksilaitteet [viitattu 15.5.2017]. Saatavissa:

<http://www.zwick.fi/fi/tuotteet/sulaindeksi-ja-hdtvicat-testauslaitteet/sulaindeksilaitteet.html>

Zwick/Roell. 2017c. Zwick:n analoginen Shore-kovuusmittari [viitattu 15.5.2017]. Saatavissa: <http://www.zwick.fi/fi/tuotteet/kovuusmittarit-ja-kovuusmittauslaitteet/shore-irhd-kovuusmittarit/zwickn-analoginen-shore-kovuusmittari.html>

## LIITTEET

LIITE 1. Shore D- kovuus

LIITE 2. Iskulujuusarvot (kJ/m<sup>2</sup>)

LIITE 3. Vetokokeen laskennalliset kaavat



LIITE 1. Shore D- kovuus

	Shore D- kovuus						
<b>Materiaali</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Ka.</b>	<b>Kh.</b>
Polypropeeni	60,3	61,0	58,7	58,3	60,0	<b>59,7</b>	<b>1,13</b>
PP + turve 20 %	61,7	61,7	62,0	61,7	61,0	<b>61,6</b>	<b>0,37</b>
PP + turve 40 %	63,7	63,3	62,7	62,7	63,0	<b>63,1</b>	<b>0,43</b>

LIITE 2. Iskulujuusarvot (kJ/m<sup>2</sup>)

Materiaali	Izod iskulujuus (kJ/m <sup>2</sup> )				
	1	2	3	4	5
Polypropeeni	> 66,25	> 66,25	> 66,25	> 66,25	> 66,25
Polypropeeni lovettu	32,81	32,81	32,81	20,31	18,75
PP + turve 20 %	26,25	26,25	26,25	16,25	15,00
PP + turve 20 % lovettu	6,25	7,81	6,25	7,81	6,25
PP + turve 40 %	6,25	6,25	6,25	8,75	8,75
PP + turve 40 % lovettu	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69

### LIITE 3. Vetokokeen laskennalliset kaavat

Vetolujuus  $\sigma = \frac{F}{A}$ , jossa

F = testissä mitattu voima (N) ja

A = koekappaleen alkuperäinen poikkipinta-ala (mm<sup>2</sup>).

Venymä  $\varepsilon = \frac{\delta L}{L} \times 100 \%$ , jossa

$\delta L$  = koekappaleen pituuden muutos (mm) ja

L = koekappaleen alkuperäinen mittapituus (mm).

Vetolujuus  $E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$ , jossa

$\delta_1$  = jännitys (MPa) venymän arvolla  $\varepsilon_1$  (mm) ja

$\delta_2$  = jännitys (MPa) venymän arvolla  $\varepsilon_2$  (mm).