

# **Systemaattinen laadunvarmistus ja laboratorion mittausprosessit materiaalituotannossa**

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), Ympäristötekniikan koulutus  
2026  
Kaija Virtanen

## **Selvitys tekoälyn käytöstä**

Tämän opinnäytetyön kirjoittaja, Kaija Virtanen vastaa koko opinnäytetyön sisällön oikeellisuudesta, myös tekoälyllä tuotetun sisällön oikeellisuudesta. Tässä työssä on käytetty tekoälyä kielenhuollossa.

Kielenhuollossa käytettiin Copilotia (Microsoft Copilot: Your everyday AI companion) ja ChatGPT:tä varmistamaan kielellisen ilmaisun oikeellisuutta. Käyttö on satunnaista läpi työn. Tämän opinnäytetyön aitous on tarkastettu Turnitin samankaltaisuuden tarkastusohjelmalla.

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Kaija Virtanen	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 28	Valmistumisaika 2026
Työn nimi <b>Systemaattinen laadunvarmistus ja laboratorion mittausprosessit materiaalityöntuotannossa</b>		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), ympäristötekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Toimeksiantaja		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin toimeksiantajayrityksen laadunhallintaprosessia ja laadunvarmistuksen menetelmiä materiaalityöntuotannon osana. Työn tavoitteena oli kuvata, miten laboratorion mittaus- ja testausprosesseilla varmistetaan materiaalien tasalaatuisuus. Toimeksiantajana oli pääkaupunkiseudulla toimiva yritys.</p> <p>Laadunhallinnan teoreettinen viitekehys perustuu SFS-EN-ISO 9001 -laatu järjestelmästandardiin ja ISO 14001 -ympäristöjärjestelmään, joiden avulla yrityksen toimintaa ohjataan kohti systemaattista laadun parantamista ja kestävä kehitystä. Laadunhallinnassa keskeistä on jatkuva kehittäminen, mittausten luotettavuus ja asiakastyytyvyyden varmistaminen.</p> <p>Työssä tarkasteltiin laadunvalvontamenetelmiä, joiden avulla seurataan materiaalien prosessoitavuutta, mekaanisia ominaisuuksia sekä mahdollisia laatu vaihteluita tuotantoerien välillä. Lisäksi työssä käsiteltiin materiaalien pitkäaikaista seuranta, jonka avulla arvioidaan materiaalien säilyvyyttä ja ominaisuuksien pysyvyyttä.</p> <p>Tulosten perusteella voitiin todeta laboratorion olevan keskeinen osa yrityksen laadunhallintaa ja että systemaattinen laadun seuranta ja kehittäminen mahdollistavat prosessien vakauttamisen ja materiaalien korkean tasalaatuisuuden myös pitkällä aikavälillä.</p>		
Asiasanat laadunvalvonta, testaus, kiihdytetty hyllyikä, reaaliaikainen hyllyikä		

## Abstract

Author(s) Kaija Virtanen	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2026
	Number of Pages 28	
Title of Publication <b>Systematic quality assurance and laboratory measurement processes in material production</b>		
Degree, Field of Study Bachelor's Degree Programme in Environmental		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) Client		
Abstract <p>The thesis examined the quality management process and quality assurance methods of the client company as part of material production. The aim of the work was to describe how the laboratory's measurement and testing processes ensure the uniformity of materials. The client was a company operating in the Helsinki Metropolitan Area.</p> <p>The theoretical framework of quality management is based on the SFS-EN-ISO 9001 quality system standard and the ISO 14001 environmental system, which help guide the company's operations towards systematic quality improvement and sustainable development. Continuous development, reliability of measurements and ensuring customer satisfaction are key in quality management.</p> <p>The work examined quality control methods that are used to monitor the processability of materials, mechanical properties and possible quality variations between production batches. In addition, the work dealt with long-term monitoring of materials, which is used to assess the shelf-life of materials and the stability of their properties.</p> <p>Based on the results, it was concluded that the laboratory is a central part of the company's quality management and that systematic quality monitoring and development enable the stabilization of processes and the high uniformity of materials also in the long term.</p>		
Keywords quality control, testing, accelerated shelf life, real-time shelf life		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Laatua mittaamalla .....	2
2.1	Laadun määrittäminen.....	2
2.2	Laadun kehittäminen ja jatkuva parantaminen.....	3
3	Materiaalien valmistus- ja testausmenetelmät.....	4
3.1	Granulointi.....	4
3.2	Ruiskuvalu.....	5
3.3	Sulaindeksi.....	5
3.4	Mekaaninen testaus .....	6
3.4.1	Vetolujuuden määrittäminen (EN ISO 527-1:2010).....	6
3.4.2	Taivutuslujuuden määrittäminen (EN ISO 178:2010).....	8
3.4.3	Iskulujuuden määrittäminen - Charpy (EN ISO 179 -1:2010).....	9
3.5	Tuotteen hyllyikä .....	11
3.5.1	Kiihdytetyn hyllyiän määrittäminen (Accelerated shelf-life).....	11
3.5.2	Reaaliaikaisen hyllyiän määrittäminen (Real time shelf-life).....	12
4	Laadunvalvonnan toteutus laboratoriossa.....	13
4.1	Testausprosessin kuvaus .....	13
4.2	Ulkonäön määrittäminen visuaalisesti.....	13
4.3	Sulaindeksin (MFR) määrittäminen.....	14
4.4	Mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen .....	16
4.4.1	Vetolujuus.....	16
4.4.2	Taivutuslujuus .....	17
4.4.3	Iskulujuus .....	18
5	Tulokset.....	20
5.1	Tulosten vertailu spesifikaatioihin .....	20
5.2	Näytteen ulkonäkö.....	20
5.3	Näytteen sulaindeksi (MFR) .....	20
5.4	Näytteen vetolujuus .....	21
5.5	Näytteen taivutuslujuus .....	22
5.6	Näytteen iskulujuus .....	23
5.7	Tuotteen hyllyikä .....	25
6	Yhteenveto ja pohdinta .....	27
	Lähteet .....	29

Liite 1. Koeajotilaus-lomake

## 1 Johdanto

Kestävän kehityksen ja kiertotalouden merkitys on viime vuosina kasvanut merkittävästi, kun teollisuus ja kuluttajat etsivät ratkaisuja perinteisten fossiilipohjaisten materiaalien korvaamiseen. Tämä opinnäytetyö on toteutettu osana toimeksiantajan kehitysprosessia, jonka tavoitteena on vastata kasvaan tuotannon vaatimuksiin. Työtä on tehty yhteistyössä tuotantoketjutiimin sekä tuotantoprosessien optimoinnista vastaavan henkilön kanssa. Opinnäytetyön tavoitteena on kuvata laboratorion roolia tuotannon jatkuvassa laadunvalvonnassa sekä esittää menetelmät, joilla materiaalien laatua arvioidaan. Lisäksi työ pyrkii selvittämään miten laboratoriotoiminta tukee tuotannon luotettavuutta ja laadun varmistusta. Koska omassa laboratoriossa tapahtuva laadunvalvontaprosessi on toimeksiantajalle uusi, työn tarkoituksena on selkeyttää käytettäviä toimintatapoja sekä muodostaa yhtenäinen ja läpinäkyvä laadunvalvontaprosessi, joka tukee koko tuotantoketjua.

Toimeksiantaja on pääkaupunkiseudulla toimiva yritys, joka kehittää ja valmistaa biohajoavia ja biopohjaisia materiaaleja. Materiaalien valmistamiseen käytetään erilaisia ympäristöystävällisiä raaka-aineita, kuten sahateollisuuden sivuvirtoja. Materiaalit ovat kierrätettäviä mekaanisesti sekä kemiallisesti, eivätkä ne jätä jälkeensä pysyviä mikromuoveja tai muita myrkyllisiä aineita.

Kuten muidenkin materiaalien, myös biohajoavien ja biopohjaisten materiaalien kehittäminen itsessään edellyttää jatkuvaa laadunvalvontaa, jotta tuotteet täyttävät tekniset sekä ympäristövaatimukset. Tuotekehitysvaiheessa materiaalien testaus toteutetaan pitkälti samoilla menetelmillä kuin kaupallisten tuotteiden laadunvalvonnassa. Kaupallistamisvaiheessa tuotteelle määritellään tarkat laadunvalvontaan liittyvät spesifikaatiot. Tuotantomäärien kasvaessa laadunvalvonnan rooli korostuu entisestään, sillä sen avulla varmistetaan tuotantoerien välinen vertailukelpoisuus ja tuotteiden luotettava laatu.

Toimeksiantajan hankkimien omien testauslaitteiden käyttöönotto on mahdollistanut erityisesti kattavamman ja omavaraisemman laadunvalvonnan toteutuksen laboratoriotestauksena sekä prosessien yhdenmukaistamisen. Tämä on luonut edellytykset entistä luotettavammalle ja tehokkaammalle laadunhallinnalle, mikä puolestaan tukee sekä tuotteen tasalaatuisuutta, että yrityksen kykyä vastata kasvaviin asiakas- ja markkinavaatimuksiin. Työssä tarkastellaan laadunvalvontaprosessin nykytilaa ja käytössä olevia menetelmiä, sekä arvioidaan niiden vaikuttavuutta tuotelaadun varmistamisessa.

## 2 Laatua mittaamalla

### 2.1 Laadun määrittäminen

Laatu on tärkeä menestystekijä. Jatkuva kehittäminen muodostaa laadunhallinnan perustan, ja siksi on tärkeää, että laatu integroidaan osaksi jokapäiväistä toimintaa. Yleisesti laadulla ymmärretään asiakkaan tarpeiden täyttämistä yrityksen kannalta mahdollisimman tehokkaalla tavalla. (Lecklin 2006, 65.)

Tuotantolaitosten laadunhallinta rakennetaan usein SFS-EN ISO 9001-laaturajajärjestelmästandardin periaatteille. ISO 9000 -standardissa laadunhallinnalla tarkoitetaan koordinoituja toimenpiteitä organisaation suuntaamiseksi ja ohjaamiseksi laatuun liittyvissä asioissa (Lecklin 2006, 29). ISO 9001 -laaturajajärjestelmä ja ISO 14001 -ympäristöjärjestelmä ohjaavat ja tukevat toimeksiantajan päivittäistä toimintaa. Näiden järjestelmien avulla varmistetaan, että toiminta täyttää asiakkaiden vaatimukset ja odotukset sekä lakisääteiset, sääntelyyn liittyvät ja ympäristöön kohdistuvat velvoitteet ja tavoitteet. Tällaisia toimenpiteitä laboratorion osalta ovat tässä työssä esitettävät prosessin seuranta sekä mitattavuus.

Laboratorion laaturajajärjestelmä määräytyy paljolti sen mukaan, mitä ominaisuuksia tuotantolaitoksen tuottamille raaka-aineille halutaan taata. Laboratoriotulosten merkitys on keskeinen monenlaisessa päätöksenteossa. Lähes aina tuotannollisten päätösten taustalla on laboratoriotutkimuksia ja analyysituloksia. (Jaarinen & Niiranen 2005, 9.) Mittausmenetelmistä saadut tulokset sekä niiden dokumentointi ovat tärkeä osa toimeksiantajan yrityksen laatua. Dokumenteista löytyvät esimerkiksi laadunvalvontanäytteiden ruiskuvalutilaukset, ohjeet työmenetelmistä sekä tuotantoeräkohtaiset analyysitulokset sähköisessä muodossa, jolloin ne ovat helposti jaettavissa, jäljitettävissä ja ylläpidettävissä. Jaarisen & Niirasen (2005) mukaan laboratorion laaturajajärjestelmässä ja menettelytapaohjeissa kuvataan, miten suunniteltu toiminnan laatu ja tulosten luotettavuus saavutetaan. Tulosten luotettavuuteen vaikuttaa menetelmään liittyvä hajonta eli toistettavuus. Toistettavuutta kuvaa mittausten vaihtelu, kun sama mittaus suorittaa mittauksen samasta näyttemateriaalista samalla laitteella (Jaarinen & Niiranen 2005, 35). Menettelytapaohjeiksi kutsutaan kaikkia analyysimenetelmien suoritukseen, välineistön käyttöön ja ylläpitoon liittyviä ohjeita (Jaarinen & Niiranen 2005, 9). Toimeksiantajan laboratorio vastaa tuotantoerien analyysien laadusta, tulosten dokumentoinnista sekä käytössä olevien menettelytapaohjeiden ajanmukaisesta päivittämisestä tarvittaessa.

## 2.2 Laadun kehittäminen ja jatkuva parantaminen

Sanotaan, että maailmassa ei ole mitään muuta pysyvää kuin muutos (Karjalainen 2020, 123). Karjalaisen & Karjalaisen (2020) mukaan oppiminen on jatkuva prosessi, joka perustuu teoriaan ja kokemuksiin sekä niiden analysointiin ja aktivoiviin menetelmiin. Laadunhallintaan kuuluu myös suoritustason jatkuva parantaminen niin nopeasti kuin kehitys sen sallii. Kehittämissimpulsseja saadaan paitsi omasta systemaattisesta laaturyöstä myös ulkopuolisesta maailmasta. (Lecklin 2006, 18.) Laadun kehittäminen tapahtuu yleensä projektimuotoisesti ja prosessien kehittämisen tavoitteena on tuottaa tuotteita, jotka vastaavat asiakkaiden laatuvaatimuksia mahdollisimman tehokkaasti (Lecklin 2006, 57).

Lean Six Sigma on tilastotieteeseen perustuva laatujohtamisen työkalu, jonka tavoitteena on minimoida prosessien vaihtelu ja poistaa virheet tuotannosta (Jääskeläinen 2024). Toimeksiantaja-yritys käyttää Lean Six Sigma -menetelmiä tuotannon analysointiin, kehittämiseen ja standardointiin. Prosessin vaihtelua tutkimalla voidaan prosessia ennustaa, joka taas mahdollistaa prosessin ohjauksen (Karjalainen 2020, 135). Huttusen (2025) mukaan asiakkaiden tuotannossa tämä näkyy materiaalien vähäisempinä tuotantohäiriöinä, ennustettavana suorituskynä sekä korkeana lopputuotteen laatuna. Lean Six Sigma -menetelmien avulla pyritään varmistamaan valmistusprosessin vakaus ja sekä valmistettavan tuotteen tasalaatuisuus.

Vaativuusspesifikaatiot ja-, toleranssit perustuvat tuotteen toimivuuteen. Spesifikaatiolla tarkoitetaan yksityiskohtaista määrittelyä, jolla voidaan määritellä tuotteen valmistus- tai laadunvalvontaprosessin tai ominaisuudet, jotka tuotteen on täytettävä (Saarela ym. 2007, 465). Tuote on virheellinen, jos se ei ole vaatimusten eli toleranssien mukainen (Karjalainen & Karjalainen 2020, 141). Karjalaisen & Karjalaisen (2020) mukaan toleranssit ovatkin keskeinen menetelmä laadun hallintaa. Toimeksiantaja on määritellyt erikseen jokaiselle tuotteelle tekniset laatuvaatimukset, jotka löytyvät tuotteen teknisestä tuoteselosteesta (Technical Data Sheet – TDS). TDS sisältää tietoja tuotteen teknisistä ominaisuuksista sekä suorituskynä ja käyttöön, kuten prosessointiin liittyviä ohjeita. Sen tarkoitus on antaa asiakkaalle tarkat tiedot siitä, mikä tuote on kyseessä, millaiset sen tekniset ominaisuudet ovat ja miten sitä käytetään asiakkaan omassa valmistusprosessissa.

Tuotteiden jäljitettävyys on olennainen osa tuoteturvallisuutta. Yrityksellä on vastuu valmistamiensa, maahantuomiensa ja myymiensä tuotteiden turvallisuudesta (Tukes, 2025). Esimerkiksi toimeksiantajan tuotantoeräkoodin avulla yksittäinen tuote voidaan tunnistaa, jäljittää sekä tarvittaessa poistaa myynnistä.

### 3 Materiaalien valmistus- ja testausmenetelmät

#### 3.1 Granulointi

Jatkuvan laadunvarmistuksen analyysissä käytettävät materiaalinäytteet, granulaatit, ovat peräisin toimeksiantajan materiaalien tuotantoeristä. Granulaatit valmistetaan yhteistyössä alihankkijan kanssa sulasekoittamalla (kompaundoimalla) yhdestä tai useammasta polymeeristä sekä täyte- ja lisäaineista valmistettu homogeeninen seos ekstruuderilla. Järvisen (2017) mukaan kompaundoinnissa ekstruuderin sylinterin sisällä pyörivä ruuvi plastisoi eli sulattaa muovin käyttäen apunaan painetta, kitkaa ja sylinterin seinämästä johtuvaa lämpöä.

Granuloinnissa seos puristetaan reikälevyn läpi ja katkaistaan nauha halutun mittaiseksi. Granulaatin koko on yleensä 2–5 mm (Kurri ym. 1999, 216). Granulaatin ulkomuoto voi vaihdella riippuen granulointitekniikasta, joita on erilaisia. Nauhagranuloinnissa ekstruuderin suuttimesta syötettävä sula polymeerimassa kulkee suuttimen läpi ja muodostaa leikattavan nauhan. Vedenalaista granulointia käytetään erityisesti silloin, kun haluttu granulaatti on muodoltaan enemmän pyöreä eikä sylinterimäinen (Nieminen, 2018).

Toimeksiantajan tuotannossa käytetään molempia tekniikoita. Kuvassa 1 vasemmalla, valkoiset ja puunväriset granulaatit, ovat valmistettu nauhagranuloimalla, kun taas oikeanpuoleiset pyöreänmalliset mustat sekä puunväriset granulaatit, ovat valmistettu vedenalaisella granulointimenetelmällä.

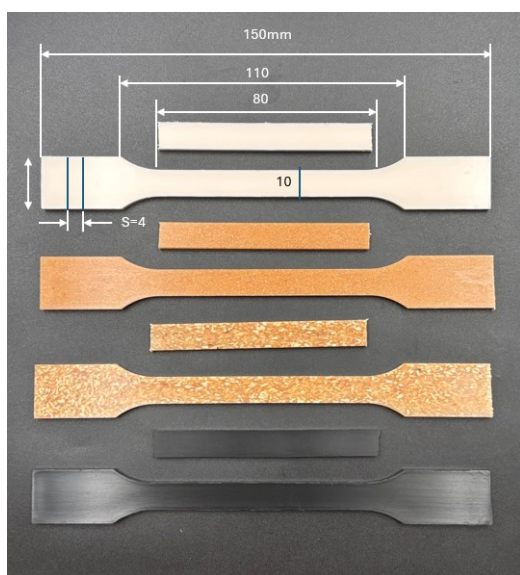


Kuva 1. Kahdella eri tekniikalla tuotettua granulaattia

Tuotantoerien laatua tuotantovaiheessa seurataan monitoroimalla materiaalikohtaisia valmistusparametrejä ja tekemällä laadunvalvontamittauksia. Näin varmistetaan, että tuotteen ominaisuudet ovat tuotespesifikaatioiden mukaisia. Granulaatin visuaalinen laadunvalvonta tehtaalla on näin ollen keskeisessä roolissa, kun ajatellaan materiaalin loppukäyttöä. Huolellisen valvonnan avulla voidaan tutkitusti vähentää reklamaatioita, jotka liittyvät tuotteen ulkonäköön ja käytettävyyden laatuun.

### 3.2 Ruiskuvalu

Materiaalien mekaanisia ominaisuuksia mitataan ruiskuvaletuista koesauvoista. Kullakin tuotteella on reseptin koostumuksesta riippuvat, yksilölliset ruiskuvaluparametrit, jotka optimoidaan parhaan prosessituloksen saavuttamiseksi. Kurrin ym. (1999) mukaan ruiskuvalu on valmistusmenetelmä, jossa valmistusprosessissa muovi plastisoidaan homogeeniseksi, tasa-aineiseksi massaksi, sulatussylinterissä olevien lämpövastusten lämmön, sekä kierukkaruuvien pyörimisestä aiheutuvan sisäisen kitkan avulla. Sulanut polymeeri ruiskutetaan nopeasti suurella paineella sopivasti temperoituun (jäähdytettyyn) yleensä teräksestä valmistettuun muottiin. Suljetussa muotissa muovi jähmettyy ja tietyn jäähdytysajan jälkeen muotti voidaan avata ja kappale työntää ulos muotista (Kurri ym. 1999, 72). Saarelan ym. (2007) mukaan koesauva on sauvamainen koekappale, jota käytetään erityisesti mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseen. Toimeksiantajan ohjeistuksen mukaan koesauvat ruiskuvaletaan jokaisesta laboratorioon saapuneesta tuotantoerästä. Mekaanisissa testeissä ja laadunvalvonnan yhteydessä käytettävien ruiskuvalettujen koesauvojen mittausmenetelmä määrittää näytteiden standardoidut mitat. Kuvassa 2 on nähtävissä eri materiaaleista ruiskuvalettuja, standardikokoisia koesauvoja.



Kuva 2. Ruiskuvalettuja standardikokoisia koesauvoja

### 3.3 Sulaindeksi

Sulavirtausindeksi (Melt Flow Rate - MFR), joka tunnetaan myös nimellä MFI (Melt Flow Index) kuvaa kuinka helposti termoplastinen polymeeri sulaa ja virtaa tietyissä olosuhteissa. Sen mittaaminen on yksinkertainen, helppo ja nopea menetelmä, joka soveltuu

rutiininomaiseen materiaalin laadunvalvontaan. (Kurri ym. 1999, 188). Sulavirtavuuden mittaaminen perustuu ISO 1133 standardiin (EN ISO 1133-1:2011).

Granulaatin sulaindeksimittaus suoritetaan puristamalla materiaali tarkkaan määritellyn suuttimen läpi määritellyn painon ja männän avulla sekä määritellyssä lämpötilassa (EN ISO 1133-1:2011). Sulaindeksi on se näytteen massa grammoina, joka puristuu sulaindeksilaitteen suulakkeen läpi 10 minuutin aikana (g / 10min). Toimeksiantajan materiaalien sulaindeksi (MFR) mitataan standardin ISO 1133 mukaisesti 190°C lämpötilassa käyttäen 2,16 kg:n painoa sekä suutinta, jonka mitat ovat 2,095 x 8,0 mm.

### 3.4 Mekaaninen testaus

Työssä esiteltävät EN ISO -standardit määrittelevät yleiset periaatteet mekaanisten ominaisuuksien testaamiseksi määritellyissä olosuhteissa. Lisäksi ne kuvaavat millaisille materiaaleille menetelmät soveltuvat ja miten eri tekijät, kuten testinopeus ja näytteiden käsittely, voivat vaikuttaa tuloksiin (EN ISO 527-1:2010). Menetelmät soveltuvat standardin mukaisesti mittoihin ruiskuvaletuille näytteille. Taulukossa 1 on esitetty työssä käytettävät EN ISO -standardit.

Vetolujuuden määrittäminen	EN ISO 527-1:2012 "Plastics. Determination of tensile properties"
Taivutuslujuuden määrittäminen	EN ISO 178:2010 "Plastics. Determination of flexural properties"
Iskulujuuden määrittäminen	EN ISO 179-1:2010 "Plastics. Determination of Charpy impact properties"

Taulukko 1. Mekaanisen testauksen standardit

#### 3.4.1 Vetolujuuden määrittäminen (EN ISO 527-1:2010)

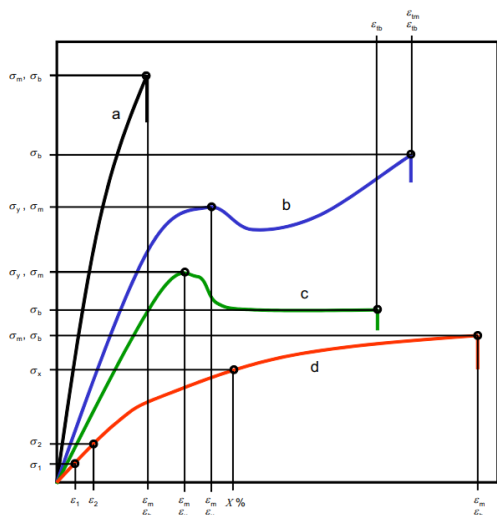
Vetolujuus määrittää polymeeriketjujen liikkuvuutta toistensa suhteen ja siihen vaikuttavat polymeerien liikkumismahdollisuudet ja polymeerien väliset sidokset (Lehtinen 2021, 141). Kurri ym. (1999) mukaan vetotestillä määritetään mm. muovimateriaalien vetokimmomoduuli, vetolujuus, myötöraja ja murtolujuus, eli testillä saadaan tietoa materiaalien lujuus-, sitkeys- ja jäykkyysominaisuuksista. Testituloksia hyödynnetään usein myös tuotannon laadunvarmistuksessa. Kokeen aikana mitataan koekappaleeseen kohdistuva kuormitus ja venymä. Varsinaisessa vetokokeessa venytetään standardikoesauvaa pituussuunnassa vakionopeudella ja mitataan samalla venytystä vastustavaa voimaa. (Kurri ym. 1999, 72, 191.) Vetolujuus vaikuttaa ratkaisevasti siihen, millaisiin käyttökohteisiin materiaali soveltuu. Mitattu venymä kertoo materiaalin sitkeydestä ja kimmomoduuli materiaalin jäykkyydestä. Mitä suurempi venymä materiaalilla on, sitä

sitkeämpi materiaali on kyseessä. Vastaavasti mitä suurempi E-kimmomodulin (Young's modulus) arvo on, sitä jäykempi materiaali on. Taulukossa 2 on esitetty toimeksiantajalle keskeiset vetokokeessa määritettävät ominaisuudet, niiden mittayksiköt sekä lyhyt kuvaus kullekin suurelle.

Ominaisuus	Yksikkö	Kuvaus
Tensile Modulus Young's	MPa	Materiaalin jäykkyys ts. venymisen vastuskyky
Tensile Stress Max Load	MPa	Suurin vetojännitys ennen murtumista
Tensile Strain @max load	%	Venymä maksimikuormalla
Tensile Strain @break	%	Venymä murtumishetkellä

Taulukko 2. Mekaaniset ominaisuudet vetokokeessa (EN ISO 527-1:2010)

Kuvassa 3 on nähtävissä standardin EN ISO 527-1:2010 mukaisesti määritettyjä muoveille tyypillisiä jännitys-venymäkäyriä standardin EN ISO 527-1:2010 mukaisesti, jossa Y-akselilla on jännitys ja X-akselilla venymä. Vetokokeessa mitattavien ominaisuuksien perusteella voidaan arvioida materiaalin mekaanista käyttäytymistä kuormituksen alaisena sekä materiaalin soveltuvuutta eri sovelluksiin. Käyrä (a) kuvaa materiaalia, jonka ominaisuuksia ovat kovuus ja hauraus. Tällaiset materiaalit kestävät hyvin kuormitusta käyrän elastisella alueella, mutta kuormituksen jatkuessa katkeavat äkillisesti. Käyrällä (b) on nähtävissä kovan, mutta sitkeän materiaalin käyttäytyminen vetokokeessa. Tästä hyvänä esimerkkinä polypropeeni (PP), jolla on selkeä myötökohta, jonka jälkeen se kestää vielä huomattavan venymän ennen katkeamista. Käyrä (c) kuvaa materiaalia, joilla on selkeä myötökohta, mutta jonka murtumiseen tarvitaan suuri venymä. Käyrä (d) sen sijaan on tyypillinen sitkeille, pehmeille sekä kumimaisille materiaaleille, joilla ei ole selkeää myötökohtaa. Tällaiselle materiaalille on ominaista suuri venymäkyky. (EN ISO 527-1:2010.) Toimeksiantajan tuotevalikoimasta löytyy materiaaleja, jotka edustavat kuvassa esitettyjä käyrätyyppejä a, c ja d.



Kuva 3. Jännitys-venymäkäyrä (EN ISO 527-1:2010)

### 3.4.2 Taivutuslujuuden määrittäminen (EN ISO 178:2010)

Taivutustestillä EN ISO 178:2010 saadaan esille koekappaleiden taivutuskäyttäytyminen eli taivutuslujuus, -moduuli ja muodonmuutos määritellyissä olosuhteissa. Muovien taivutuslujuutta voidaan mitata kolmi- tai nelipistetaivutuksena (Kurri ym. 1999, 192). Tässä opinnäytetyössä käytetään kolmipistetaivutusta, jossa näyte asetetaan tukien päälle ja taivutetaan sitä vakio painolla ja vakionopeudella jännevälän keskeltä, kunnes näyte murtuu tai saavutetaan 5 % venymä (EN ISO 178:2010). Kaikki muovit eivät murru taivutuskokeessa; tällöin taivutuslujuutta kuvataan myötörajan avulla. Taivutuskokeen tuloksena saadaan voima-taipuma-käyrä, josta voidaan laskea mm. taivutusmoduuli, murtojännitys ja venymä. Taivutuskokeella saadaan hyödyllistä tietoa testattaessa valmiita kappaleita laadun varmistamiseksi. (Kurri ym. 1999, 192.)

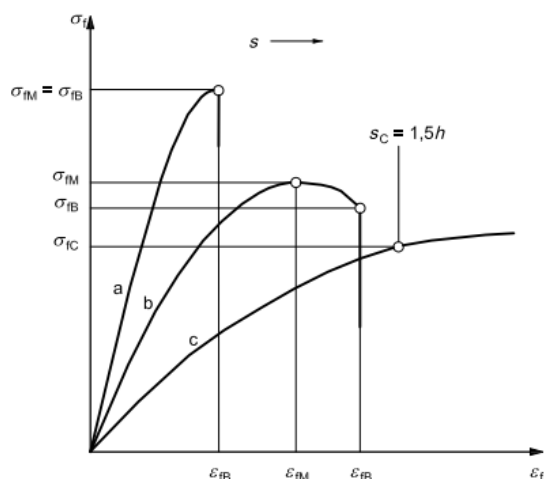
Taulukossa 3 on esitetty toimeksiantajalle keskeiset taivutuskokeessa määritettävät ominaisuudet, niiden mittayksiköt sekä lyhyen kuvauksen kullekin suureelle.

Ominaisuus	Yksikkö	Kuvaus
Flexure Modulus	MPa	Materiaalin jäykkyys taivutuksessa
Flexure Strain@max load	%	Suurin venymä taivutuksen aikana ennen murtumista
Flexure Stress @max load	MPa	Suurin taivutusjännitys ennen murtumista

Taulukko 3. Mekaaniset ominaisuudet taivutuskokeessa (EN ISO 178:2010)

Kuvassa 4 on nähtävissä standardin EN ISO 178:2010 mukaisesti määritettyjä muoveille tyypillisiä voima-taipumakäyriä, jossa Y-akselilla on voima ja X-akselilla taipuma. Testin perusteella voidaan arvioida materiaalin mekaanista käyttäytymistä kuormituksen alaisena sekä materiaalin soveltuvuutta eri sovelluksiin.

Käyrä (a) kuvaa materiaalia, joka murtuu ennen merkittävää taipumaa. Tällaiset materiaalit ovat kovia ja hauraita eivätkä kestä taivutusta juurikaan. Käyrän (b) materiaali saavuttaa maksimivoiman, mutta murtuu ennen taipumaa. Tämän tyyppiset materiaalit, esimerkiksi polypropeeni (PP), ovat usein melko sitkeitä taivutuskokeessa. Käyrän (c) materiaali taipuu murtumatta ja muodonmuutos jatkuu usein pitkälle. Yleisesti tunnetuista muoveista esimerkiksi polyeteeni (PE) on tämänkaltainen, erittäin sitkeä ja venyvä. Toimeksiantajan tuotevalikoimasta löytyy materiaaleja, jotka edustavat kaikkia kuvassa esitettyjä voima-taipumakäyrätyyppejä.



Kuva 4. Voima-taipumakäyrä (EN ISO 178:2010)

### 3.4.3 Iskulujuuden määrittäminen - Charpy (EN ISO 179 -1:2010)

Iskulujuudella kuvataan muovimateriaalin haurautta, sitkeyttä ja kykyä vastustaa katkeamista suuren nopeuden iskuilanteissa (Lehtinen 2021, 142). Kurri ym (1999) on esittänyt että, muovien iskulujuutta tutkitaan erilaisilla heiluri-iskureilla mittaamalla koesauvan katkaisemiseen tarvittava iskuenergia. Testissä loveamaton näyte kiinnitetään iskurin katkaistavaksi molemmista päistä. Iskurin katkaistua koekappaleen saadaan katkaisussa kulunut energia mitattua iskun jälkeisestä iskurin heilahduksesta. (Kurri ym. 1999, 192). Saarelan ym. (2007) mukaan iskulujuus (impact strength) kuvaa standardimenetelmällä mitattua materiaalin murtumisenergiaa iskumaisessa kuormituksessa.

Taulukkoon 4 on koottu toimeksiantajalle keskeiset charpy-iskukokeessa määritettävät ominaisuudet, niiden mittayksiköt sekä lyhyen kuvauksen kullekin suureelle.

Ominaisuus	Yksikkö	Kuvaus
Not instrument Abs Energy	J	Energia, jonka näyte absorboi iskun aikana
ISO 179-1 Break type	C, H, P, N	Murtumatyyppi
Not instrument Abs Energy	%	Absorboidun energian osuus suhteessa iskun energiaan
Charpy impact strength	kJ/m <sup>2</sup>	Materiaalin iskulujuus Charpy-testissä

Taulukko 4. Mekaaniset ominaisuudet iskukokeessa (EN ISO 179 -1:2010)

Isku voi käytännössä tarkoittaa esimerkiksi tilannetta, jossa ruiskuvalettu kappale putoaa kovalle lattiapinnalle. Materiaalien välillä on huomattavia eroja siinä, kuinka hyvin ne kestävät tällaisia iskeytymisiä ilman murtumista tai vaurioitumista. Materiaalin iskulujuus ilmoitetaan näytteen absorboimana energiana, joka ilmaistaan yksikössä kJ/m<sup>2</sup>. Murtumatyyppiluokitusta käytetään täydentämään kuvaavaan materiaalin käyttäytymistä numeerisen arvon rinnalla. ISO-standardi edellyttää murtumatyyppin kirjaamista iskukokeissa (EN ISO 179 -1:2010). Se kuvaa esimerkiksi onko materiaali hauras vai sitkeä.

Murtumatyyppiluokitusta käytetään täydentämään kuvaavaan materiaalin käyttäytymistä numeerisen arvon rinnalla. ISO-standardi edellyttää murtumatyyppin kirjaamista iskukokeissa (EN ISO 179 -1:2010). Se kuvaa esimerkiksi onko materiaali hauras vai sitkeä. Ruiskuvalukappaleissa voi esiintyä neljää erilaista murtumatyyppiä (Taulukko 5), joita numeraalisen tuloksen lisäksi arvioidaan seuraavilla kirjaimilla:

C	complete break – näyte murtuu kahteen tai useampaan osaan
H	hinge break – jossa näytteen molemmat osat pysyvät yhdessä ohuen reunakerroksen avulla
P	partial break – osittainen murtuma
N	non break – jossa näyte vain on vääntynyt, muttei katkennut

Taulukko 5. Murtumatyyppiluokitus (EN ISO 179 -1:2010)

### 3.5 Tuotteen hyllyikä

Muovien ja polymeerien vanhenemistestaus on välttämätöntä, jotta voidaan varmistaa, että materiaalit täyttävät odotetun toiminnallisuuden ja käyttöiän. On olemassa muuttujia, jotka vaikuttavat materiaalien säilymiseen sille määritellyissä spekseissä (Nelson Labs). Esimerkiksi altistuminen lämmölle voi tunnetusti aiheuttaa monenlaisia muutoksia materiaalissa. Lämpötila ja aika yhdessä voivat vaikuttaa ominaisuusmuutosten laajuuteen. Vaikka polymeerit eivät välttämättä hajoa lyhytaikaisissa korkeissa lämpötiloissa, pitkäaikainen altistuminen korkeille lämpötiloille aiheuttaa yleensä jonkin verran heikkenemistä esimerkiksi materiaalin mekaanisissa ominaisuuksissa (Micomlab, 2025).

Hyllyiän arviointi on osa toimeksiantajan materiaalien laadunvalvontajärjestelmää. Toimeksiantaja on määrittänyt tuotantoerien testitulosten ja kerätyn prosessidatan avulla myös kehittämiensä materiaalien hyllyikää eli tuotteen varastointikestävyyttä ja säilyvyysaikaa, jonka jälkeen materiaalin ominaisuudet mahdollisesti alkavat muuttua tai heikentyä. Se perustuu toimeksiantajan mittaamiin materiaalien ominaisuuksiin ja niiden muutoksiin tietyissä säilytysolosuhteissa. Hyllyiän tarkasteluun liittyvä testaus on liitetty osaksi jatkuvan laadunvalvonnan protokollaa. Tällä pyritään saamaan luotettavaa tietoa materiaalien ominaisuuksien kehityksestä pidemmällä aikavälillä kuten esimerkiksi ominaisuuksien säilyvyydestä. Pitkäaikaiset analyysit materiaalien ominaisuuksista tehdään aiempien tuotantoerien perusteella, ja tuloksia verrataan alkuhetken nolla-arvoihin. Hyllyiän testaamiseen voidaan hyödyntää yhteistyökumppanien valmistamia ja varastoituja näytteitä tai toimeksiantajan laboratorion varastoimia näytteitä. Tässä opinnäytetyössä hyllyikää käsitellään ainoastaan yleisellä tasolla.

#### 3.5.1 Kiihdytetyn hyllyiän määrittäminen (Accelerated shelf-life)

Näytteille tehdään kiihdytetty vanhennustesti, joka simuloi reaaliaikaista vanhenemista. Siinä näytteet vanhennetaan käyttämällä korotettua lämpötilaa nopeuttamaan vanhenemisprosessia. Testin avulla saadaan tietoa materiaalin käyttöiästä sekä voidaan ennustaa paremmin sen pitkäaikaissäilyvyyttä sekä kykyä säilyttää laadun myös asiakkaan varastoinnissa. (Nelson Labs). Toimeksiantaja tekee testiä pääsääntöisesti uusille kehitysvaiheessa oleville materiaaleille, joiden pitkäaikaisominaisuuksia halutaan vielä varmentaa ja selvittää ennen markkinoille vientiä.

Standardin ASTM-F1980-21 mukaisesti 10 asteen lämpötilan nousun voidaan olettaa kaksinkertaistavan reaktionopeuden ja tätä arvioita voidaan käyttää projisoimaan kiihdytettyjen hyllyikä tutkimusten tuloksia reaaliaikaisten tutkimusten tuloksia vastaavaksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mikäli reaaliaikainen tutkimus tehtäisiin normaalissa

huoneen lämpötilassa (RT) +23°C, saataisiin kymmenen astetta korkeammassa lämpötilassa ajan suhteen identtiset mittatulokset puolet lyhyemmässä ajassa. Tätä standardin mukaista määrittelyä toimeksiantaja käyttää perustana kiihdytetyissä hyllyikätkimyksissään. Standardi ei kuitenkaan suosittele yli +60 °C:n lämpötilojen käyttöä, koska tällöin monien polymeerien rakenteellisten muutosten todennäköisyys kasvaa. Tällaisia muutoksia ovat muun muassa kiteisyyden muutokset, vapaiden radikaalien muodostuminen sekä peroksidien hajoaminen (ASTM-F1980-21.) Toimeksiantajan kiihdytetyssä vanhentamistestissä käytetään +60 °C:n lämpötilaa, jolloin standardin mukaisesti laskettuna 28 vuorokautta +60 °C:ssa vastaa yhden vuoden reaaliaikaista vanhenemista normaalissa huoneen lämpötilassa +23°C.

### 3.5.2 Reaaliaikaisen hyllyiän määrittely (Real time shelf-life)

Näytteiden reaaliaikainen vanhentaminen suoritetaan määritellyissä säilytysolosuhteissa, huoneen lämmössä (RT) +23°C reaaliaikaisesti. Tuotannossa pakattu materiaali (25 kg) altistetaan säilytysolosuhteiden vaihteluille, kuten pienille lämpötilan ja kosteuden muutoksille (Nelson Labs). Vanhentamisen jälkeen materiaalille suoritetaan tässä opinnäytetyössä määritellyt laadunvalvontaprotokollan mukaiset testaukset materiaalin suorituskyvyn arvioimiseksi valmistuspäivämäärän mukaisesti vuosittain niin kauan kuin materiaalia riittää eli useimmiten kahtena seuraavana vuotena.

## 4 Laadunvalvonnan toteutus laboratoriossa

### 4.1 Testausprosessin kuvaus

Tässä osiossa kuvataan laboratoriossa toteutettavien laadunvalvontaprosessien keskeiset työvaiheet yksityiskohtaisemmin. Prosessin havainnollistamiseksi tarkastellaan yhtä toimeksiantajan tuotetta esimerkkinäytteenä. Laboratorio huolehtii näytteiden testaamisesta, mutta tulosten tai prosessidatan tarkemmasta analysoinnista sekä prosessin optimointiin liittyvistä tehtävistä vastaa niistä vastuussa oleva henkilö.

Laadunvalvontanäytteiden testausta varten laboratorio tilaa ruiskuvalun alihankkijalta, joka valmistaa koesauvat sekä ottaa erillisnäytteen granulaatista sulaindeksin määrittystä varten. Koeajotilaukset (Liite 1) dokumentoidaan juoksevalla numeroinnilla (K20250xx) ja tallennetaan sähköisessä muodossa toimeksiantajan palvelimelle. Koestusohjelmaan syötetään ruiskuvalutilauksen juoksevakoodi K20250XX, näytteen tuotantonimikoodi esimerkiksi IM1020 sekä materiaalin valmistajan tuotantoeräkoodi PR010XXXX. Näiden tietojen perusteella muodostettu koodi, K2025004\_IM1020\_PR0103834-1, mahdollistaa materiaalin ja sen alkuperään liittyvien tietojen tehokkaan ja luotettavan jäljitettävyyden yrityksen sisäisessä järjestelmässä. Työn seuraavissa vaiheissa näytteestä käytetään lyhennystä PR0103834-1. Jatkuvan laadunvarmistuksen excel-taulukosta, Continuous quality inspection master table.xls, ruiskuvalutilauskoodi löytyy ensimmäisestä sarakkeesta nimellä Injection mold order. Näin ollen näytteen jäljitettävyyys säilyy myös tulostaulukossa.

### 4.2 Ulkonäön määrittäminen visuaalisesti

Granulaatin ulkonäköä tarkastelemalla voidaan havaita esimerkiksi sävyeroja verrattuna materiaalin referenssinäytteeseen. Tämä on usein merkittävä tekijä asiakkaan kannalta, sillä asiakas käy läpi hyväksyntäprosessin valitessaan materiaalia tuotteeseensa. Alkuperäisestä poikkeava sävy voi aiheuttaa lopputuotteessa vääristyneen värivaikutelman, jolloin tuote voi näyttää hyväksytyyn sävyyn rinnalla tummemmalta tai vastaavasti vaaleammalta. Eri reseptien koostumuksesta riippuen näytteissä voi esiintyä ulkonäköön liittyviä eroavuuksia. Ne voivat aiheutua erilaisesta granulointitekniikasta tai joidenkin reseptien sisältämästä puuaineksesta. Erityisesti valkoisiksi kompaundoituissa materiaaleissa mahdolliset mustat pilkut ovat kriittisiä, sillä ne erottuvat valmiissa tuotteessa selvästi. Vastaavasti puukuituja sisältävissä materiaaleissa voi esiintyä niin sanottua enkelin kiharaa, joka voi aiheutua granulaatin huonosta leikkuusta.

Toimeksiantajan ohjeistuksen mukaan granulaatin visuaalinen määrittäminen tehdään jokaisesta laboratorioon saapuneesta tuotantoerästä. Näytteen ulkonäköä arvioitaessa tulee kiinnittää

huomiota granulaatin väriin, kokoon ja sen muotoon vertaamalla sitä kyseisen materiaalin referenssinäytteeseen.

Materiaalinäytteet valokuvataan vakioidussa valaistuksessa, erillisessä kuvauskaapissa, jolloin kuvausvalo ja tausta ovat aina kaikille näytteille samat. Tämä parantaa kuvien vertailumahdollisuutta. Valokuva nimetään ja tallennetaan tuotantoerän tunnisteella tuotantoerää koskevaan tiedostoon toimeksiantajan tiedonhallintajärjestelmään. Valokuva linkitetään jatkuvan laadunvarmistuksen excel-tilaukseen, Continuous quality inspection master table.xls, kyseisen tuotantoerän riville.

### 4.3 Sulaindeksin (MFR) määrittäminen

Sulaindeksin mittaaminen valmistusprosessin aikana tarjoaa reaaliaikaista tietoa kompaundointiprosessin toimivuudesta. Materiaalin valmistaja vastaa tuotannonaikaisista laadunvalvontamittauksista, jotka tehdään 1000 kg:n välein. Kun mitattu arvo pysyy annetuissa spesifikaatioissa, voidaan varmistaa, että tuote on loppukäyttäjän prosesseissa hyvin prosessoitavissa käytettäessä TDS:n mukaisia prosessointilämpötiloja. Toimeksiantajan laboratorioissa tuotantonäytteistä mitatut arvot tuottavat arvokasta analysoitavaa lisädataa, jonka avulla voidaan varmistaa prosessin toimivuus sekä trendejä seuraamalla pystytään ennakoimaan prosessin kehityssuuntaa.

Taulukossa 6 on esitetty esimerkkituotteen reseptikohtainen spesifikaatiotaulukko, joka sisältää tuotteelle määritellyjä tyypillisiä ominaisuuksia, kuten sulaindeksimittauksen raja-arvot 3-9 (g/10min).

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES	
TENSILE PROPERTIES (ISO 527-1)	
Tensile strength (MPa)	26
Tensile modulus (GPa)	3,3
Tensile strain (%)	2,7
FLEXURAL PROPERTIES (ISO 178)	
Flexural strength (MPa)	36
Flexural modulus (GPa)	3,4
Flexural strain (%)	2,9
IMPACT PROPERTIES (Unnotched, ISO 179-1)	
Charpy impact strength (kJ/m <sup>2</sup> )	8 - 10
MFR (EN ISO 1133-1:2011)	
MFI (190°C/2.16 kg)	3 - 9

Taulukko 6. Esimerkkituotteen spesifikaatiotaulukko (Toimeksiantaja 2025)

Toimeksiantajan ohjeistuksen mukaan sulaindeksin määrittäminen tehdään jokaisesta laboratorioon saapuneesta tuotantoerästä. Ennen näytteen varsinaista analysointia näytettä kuivataan uunissa 4 tunnin ajan +105 °C:ssa. Näytteen analysoinnissa mitataan kolme rinnakkaista mittausta per näyte. Kolmella rinnakkaisella mittauksella varmistetaan tuloksen luotettavuus ja riittävä tasalaatuisuus. Näytteen mittaamisessa käytetään sulaindeksin analysointiin tarkoitettua MFI5 Melt Flow Tester- laitteistoa (Kuva 6).



Kuva 6. Sulaindeksilaitteisto (Instron 2025)

Näytteen tulokset tallennetaan jatkuvan laadunvarmistuksen excel-taulukon, Continuous quality inspection master table.xls, reseptikohtaisella välilehdelle (Kuva 7). Toimeksiantajan tuotteilla on materiaalikohtaiset spesifikaatiot riippuen reseptin sisältämisestä ainesosista. Sulaindeksin reseptikohtainen vaihteluväli onkin laaja, kun toimeksiantajan materiaalivalikoimasta löytyy tuotteita ekstruusiolaaduista ruiskuvalulaatuihin. Ekstruusiolaaduissa sulaindeksi on 3–8 (g / 10min), kun taas ruiskuvalulaaduissa se vaihtelee 8–35 (g / 10min).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P				
1	Inj.mold order	MANUFACTURER	BATCH NUMBER	TESTED BY	TEST DATE	MFI MEASUREMENT SPECIFICATION 3-9 g/10 min				MFI REPORTED IN COA		COLOR ANALYSIS COMPARED TO THE REFERENCE		ANALYSIS OF PROCESSABILITY: INJECTION						
						SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3	AVERAGE	0 = ACCEPTED 1= NOT ACCEPTED	TYPE VALUE	Link to file (mFiles)	0 = ACCEPTED 1= NOT ACCEPTED	Link to analysis photo (saved under the production batch in MFILES)	0 = ACCEPTED 1= NOT ACCEPTED	Link to manufacturing record (saved under the production batch in MFILES)				
2																				
3																				
4																				

Kuva 7. Continuous quality inspection master table.xls (Toimeksiantaja 2025)

#### 4.4 Mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen

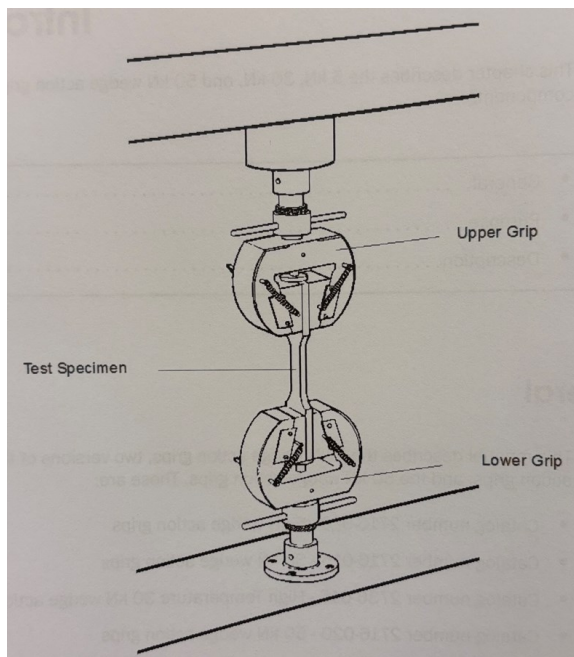
Mittausstandardien (EN ISO 527-1:2012), (EN ISO 178:2010) ja (EN ISO 179-1:2010) mukaan näytteet tulisi vakioida ennen mittausta ( $23 \pm 2$ ) °C lämpötilassa ja suhteellisen kosteuden ollessa ( $50 \pm 10$ ) %. Toimeksiantajan laboratorioissa on päädytty kuitenkin mittaamaan koesauvat aina ilman varsinaista vakiointia olosuhdekaapissa. Vakioinnin vaikutusta tuloksiin on aiemmin tutkittu ja verrattu ulkopuolisessa laboratorioissa mitattujen useiden näytelaatujen testisarjoilla mittalaitteiden hankinnan ohessa ja silloin päädyttiin tähän järjestelyyn. Ruiskuvalettuja koesauvoja vakioidaan laboratorion vallitsevissa olosuhteissa 1–2 vuorokautta ennen mittausta. Materiaalien veto-, - ja taivutuslujuuden testaus suoritetaan Instronin 34TM10M -laitteistolla käyttämällä kyseiseen testiin soveltuvaa työkalua. Mekaanisten ominaisuuksien tulokset kerätään toimeksiantajan tiedonhallintajärjestelmään tallennetuista materiaaliakohtaisista raakadata-exceleistä jatkuvan laadunvarmistuksen excel-työkaluun (Continuous quality inspection master table.xls) reseptikohtaisille välilehdille. Kuvassa 8 on nähtävissä esimerkkikuva lopputaulukosta.

Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES																						
Tens. Mod Young's Mod. (MPa)	STDEV	Tens. Mod E- Modulus (MPa)	STDEV	Tens. Stress @ max load (MPa)	STDEV	Tens. Strain @ max load (%)	STDEV	Tens. Strain @ break (%)	STDEV	Flex. Mod (Aut. Youn g) (Mpa)	STDEV	Flex. Strain @max load (%)	STDEV	Flex. Stress @max load (Mpa)	STDEV	Not instrum Abs Energy, J	STDEV	ISO 179-1 Break Type	Not instrum Abs Energy %	STDEV	Charpy impact strength kJ/m <sup>2</sup>	STDEV

Kuva 8. Continuous quality inspection master table.xls (Toimeksiantaja 2025)

##### 4.4.1 Vetolujuus

Ruiskuvaletut koesauvat nimetään ja niputetaan 5 kappaleen nippuihin mittausta varten. Mittaus suoritetaan Instronin 34TM10M- laitteistolla käyttäen kuvassa 9 esitettyjä vetoleukoja. Materiaalin koestusohjelmaan syötetään näytteen tiedot kohdan 4 Laadunvalvonnan toteutus laboratorioissa mukaisesti. Ohjelmaan liitettyllä työntömitalla mitataan koesauvan keskikohdasta leveys ( $10,0 \pm 0,2$  mm) ja paksuus ( $4,0 \pm 0,2$  mm). Koesauva kiristetään pystyasentoon laitteen vetoleukojen väliin kuvan 7 mukaisesti. Näytteistä mitataan 5 rinnakkaista mittausta standardin (EN ISO 527-1:2012) mukaisesti testinopeudella 5 mm/min, joiden keskiarvoa käytetään tuloksissa. Näytteen tulokset tallennetaan jatkuvan laadunvarmistuksen excel-työkaluun reseptikohtaiselle välilehdelle.

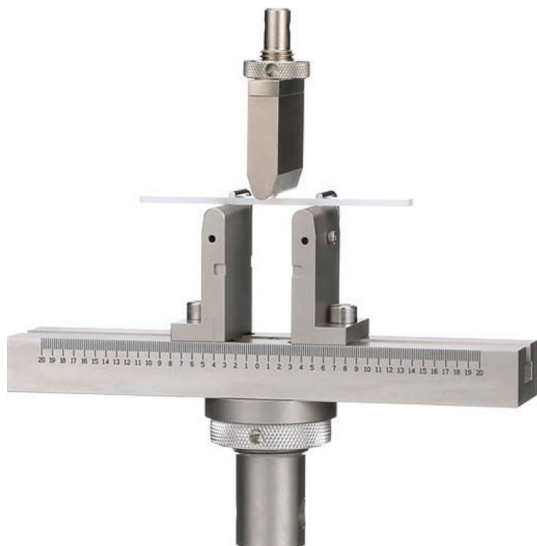


Kuva 9. Vetoleuat (gripit) (Instron 2025)

#### 4.4.2 Taivutuslujuus

Taivutusmäärittystä varten koesauvat teipataan viiden kappaleen nippuihin ja sahataan standardin ilmoittamaan määrämittaan, joka on  $80 \pm 2$  mm, laboratorion vannesahalla. Sahausvaiheessa tulee käyttää suojalaseja sekä työntötikkua, jolla näyte työnnetään sahan terälle. Työvaihe tulee toteuttaa työturvallisuusmääräykset huomioiden sekä rauhallisesti toimien. Sahatuista näytteistä mitataan 5 rinnakkaista mittausta standardin (EN ISO 178:2010) mukaisesti testinopeudella 2 mm/min, joiden keskiarvoa käytetään tuloksissa. Mittaus suoritetaan Instronin 34TM10M- laitteistolla.

Kuvassa 10 on nähtävissä kolmipistetaivutukseen käytettävä alusta, johon kappale asetetaan tukien päälle. Tukien etäisyys toisistaan on 64 mm. Materiaalin koestusohjelmaan syötetään näytteen tiedot kohdan 4 Laadunvalvonnan toteutus laboratoriossa mukaisesti. Ohjelmaan liitettyllä työntömitalla mitataan koesauvan keskikohdasta leveys ( $10,0 \pm 0,2$  mm) ja paksuus ( $4,0 \pm 0,2$  mm).



Kuva 10. Taivutuslaitteisto, kolmipistetaivutus (Instron 2025)

#### 4.4.3 Iskulujuus

Iskulujuuden määrittystä varten koesauvat (Kuva 11) teipataan viiden kappaleen nippuihin ja sahataan standardin ilmoittamaan määrämittaan, joka on  $80 \pm 2$  mm, laboratorion vannesahalla. Sahausvaiheessa tulee käyttää suojalaseja sekä työntötikkua, jolla näyte työnnetään sahan terälle. Työvaihe tulee toteuttaa työturvallisuusmääräykset huomioiden sekä rauhallisesti toimien.



Kuva 11. Määrämittaan sahattuja koesauvoja

Näytteistä mitataan 10 rinnakkaista standardin (EN ISO 179-1:2010) mukaisesti. Näyte asetetaan tukien päälle, joiden etäisyys toisistaan on  $62 \pm 0,5$  mm. Toimeksiantajan testilaitteessa koekappaletta ei kiinnitetä kummastakaan päästä testialustaan. Määrittäksessä voidaan tarvittaessa käyttää kahden tai viiden kilojoulen (kJ) iskuvasaraa riippuen materiaalin ominaisuuksista. Mittaus suoritetaan CEAST 9050 Impact Tester-iskuvasaralaitteella. Materiaalin koestusohjelmaan syötetään näytteen tiedot kohdan 4

Laadunvalvonnan toteutus laboratoriossa mukaisesti. Ohjelmaan liitettyllä työntömitalla mitataan koesauvan keskikohdasta leveys ( $10,0 \pm 0,2$  mm) ja paksuus ( $4,0 \pm 0,2$  mm). Näyte asetetaan tukien varaan ja testi käynnistetään vapauttamalla heilurivasara. Iskurin katkaistua näyte laite mittaa katkaisussa kuluneen energian iskun jälkeisestä iskurin heilahduksesta. Kuvassa 12 on nähtävissä iskulujuusmittaukseen käytettävä alusta, johon kappale asetetaan.



Kuva 12. Näyte tukien varassa, CEAST 9050 Impact Tester

## 5 Tulokset

### 5.1 Tulosten vertailu spesifikaatioihin

Tässä osiossa käydään läpi esimerkkinäytteen tulokset ja verrataan niitä tuotteelle määritettyihin spesifikaatioihin. Tulosten vertaaminen sisäisiin spesifikaatioihin on keskeinen osa laadunvalvontatestien analysointia, koska se määrittää täyttääkö materiaali tai tuote sille määritetyt tekniset laatuvaatimukset ja käyttöön liittyvät ominaisuudet. Kohdassa 4.2 on esitelty esimerkkituotteen reseptikohtainen spesifikaatiotaulukko, joka sisältää tuotteelle määriteltyjä tyypillisiä ominaisuuksia. Tulosten ja prosessidatan lopullisesta analysoinnista sekä prosessin optimointiin liittyvistä tehtävistä vastaa niistä vastuussa oleva henkilö.

### 5.2 Näytteen ulkonäkö

Näytteen PR0103834-1 visuaalisessa määityksessä granulaattinäytteen ulkonäköä verrattiin referenssinäytteen ulkonäköön, muotoon sekä kokoon. Näytteessä ei havaittu poikkeamia. Puukuituja sisältävässä materiaalissa voi esiintyä lieviä tummuuseroja, jotka johtuvat puulaadun sävyvaihteluista, mutta tässä näytteessä niitä ei havaittu. Muodoltaan ja kooltaan granulaatti oli myös referenssin kaltainen.

Näyte kuvattiin tuotantoeräkoodilla varustettuna vakioidussa valaistuksessa. Valokuva dokumentoitiin tiedonhallintajärjestelmään sekä linkitettiin jatkuvan laadunvarmistuksen excel-tilukoon, Continuous quality inspection master table.xls, kyseisen tuotantoerän riville.

### 5.3 Näytteen sulaindeksi (MFR)

Näytteestä PR0103834-1 mitattiin sulaindeksi standardin EN ISO 1133-1:2011 mukaisesti (190°C / 2,16 kg). Taulukossa 7 esitettyjen mittaustulosten perusteella näytteen kolme rinnakkaista mittausta olivat keskenään hyvin tasalaatuisia ja toistettavia.

Ruiskuvalutilaus koodi	Tuotantoerä koodi	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3	Keskiarvo
K2025004	PR0103834	8,79	8,83	8,99	8,87

Taulukko 7. Sulaindeksitulokset

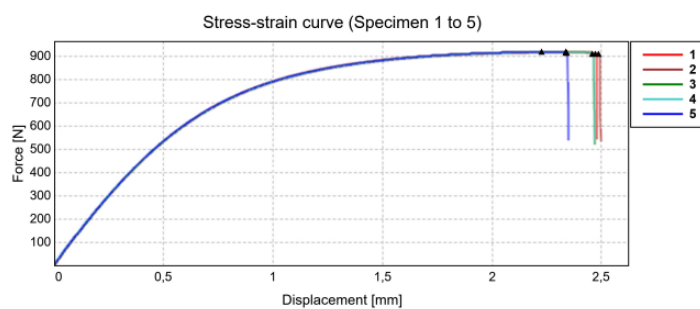
Kohdassa 4.2 esitetyn esimerkkituotteen reseptikohtaisen spesifikaatiotaulukon mukaan tuotteelle määritellyt raja-arvot ovat 3-9 (g/10min). Tämän mukaan näytteen tulos 8,87 g/10min. oli hyväksyttävä, vaikka onkin lähellä spesifikaation ylärajaa. Tulokset

dokumentoitiin tiedonhallintajärjestelmään jatkuvan laadunvarmistuksen excel-taulukkoon, Continuous quality inspection master table.xls, kyseisen tuotantoerän riville.

#### 5.4 Näytteen vetolujuus

Kuvassa 13 on esitetty viiden rinnakkaisnäytteen vetolujuuden mittaustulokset näytteelle PR0103834-1. Kuvaajalta on luettavissa voima (Force, N) – venymä (Displacement, mm) käyrä, joka osoittaa kuinka vetokuorma kasvaa muodonmuutoksen mukana, kunnes kappale murtuu. Eri värein merkityt käyrät ovat rinnakkaisnäytteitä.

Kuvan taulukossa esitetään mittaukseen liittyvät tiedot, kuten kappaleiden mitat, moduulit A (Modulus A Young's, MPa) ja E (Modulus E, MPa), vetolujuus, venymät sekä maksimikuorma (F Max Load, N). Lisäksi taulukosta löytyy jokaisen mitattavan suureen keskiarvot (Mean) ja hajonnat (S.D.). Näiden tietojen perusteella voidaan arvioida materiaalin jäykkyyttä ja lujuutta.



	Smpl	Thick [mm]	Width [mm]	Mod A Young's [MPa]	Mod seg [MPa]	Mod E [MPa]	Tens Strength [MPa]	Tens strain at Max Load [%]	Tens strain at Yield [%]	Tens strain Brk [%]	F Max Load [N]	Note
1	K2025004IM1020_PR0103834-1	4,04	9,940	3551	3312	2212	22,86	2,03	2,03	2,15	918	
2		4,02	9,970	3526	3278	2190	22,85	2,03	2,03	2,16	916	
3		4,03	9,950	3544	3293	2197	22,91	2,03	2,03	2,14	919	
4		4,03	9,950	3538	3284	2195	22,89	2,03	2,03	2,14	918	
5		4,03	9,960	3542	3285	2198	22,86	1,94	1,94	2,03	918	
Mean		4,03	9,954	3540	3290	2198	22,88	2,01	2,01	2,12	918	
S.D.		0,01	0,01	9,26	13,26	8,21	0,02	0,04	0,04	0,05	1,03	
Min		4,02	9,940	3526	3278	2190	22,85	1,94	1,94	2,03	916	
Max		4,04	9,970	3551	3312	2212	22,91	2,03	2,03	2,16	919	

Kuva 13. Vetolujuuden kuvaaja ja tulostaulukko (Toimeksiantaja 2025)

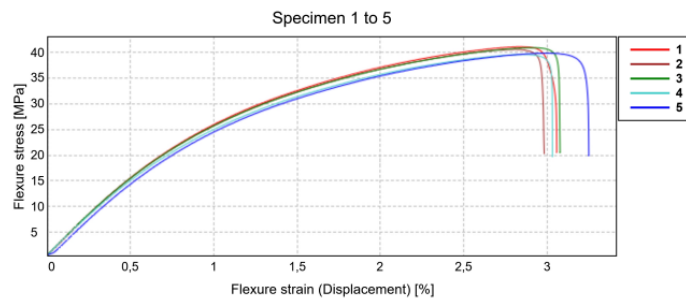
Näytteen PR0103834-1 antama tulos oli kuvassa 2 esitetyn käyrän (a) kaltainen, joka vastaa EN ISO 527-1:2010 -standardin mukaista jännitys–venymäkäyrää. Käyrän muodon perusteella voidaan päätellä, että näyte on samanaikaisesti kohtuullisen kova, mutta

hauras. Esimerkkituotteen reseptikohtaisessa spesifikaatiotaulukossa (kohta 4.2) esitetty vetomoduulin (Modulus A Young's, MPa) arvo 3300 MPa kuvaa materiaalin tyypillistä tavoitetasoa, ei varsinaista raja-arvoa. Näytteen mitattu keskiarvo, 3540 MPa, ylittää tämän tason, mikä viittaa materiaalin jäykkyyden olevan vähintään vaaditulla tasolla. Lisäksi mitattu arvo sijoittuu materiaalille tyypillisen keskihajonnan (3200 – 3600 MPa) vaihteluvälin sisälle, mikä tukee tuloksen luotettavuutta. Näin ollen tulos on spesifikaation mukainen ja hyväksyttävä. Näytteiden valmistuksen tasalaatuisuutta kuvasi yksittäisten koesauvojen välinen paksuuden ja leveyden vähäinen vaihtelu. Rinnakkaisnäytteet käyttäytyivät testissä lähes identtisesti. Tulosten pieni keskihajonta osoittaa mittaumenetelmän olevan luotettava ja toistettava sekä soveltuvan erinomaisesti tuotannon laadunvalvontaan.

### 5.5 Näytteen taivutuslujuus

Kuvassa 14 on esitetty viiden koesauvan taivutuslujuusmittausten tulokset näytteelle PR0103834-1. Kuvaajalta on luettavissa taivutusjännityksen (Flexure stress, MPa) suhde taivutusvenymään (Flexure strain, %). Eri värein merkityt käyrät ovat rinnakkaisnäytteitä.

Mittauksen yhteenvetotiedot, kuten kappaleiden mitat, taivutusmoduulit A ja E, taivutuslujuus (Flexure Strength, MPa), saavutetut venymäarvot sekä keskiarvot ja hajonnat, esitetään kuvaajan alapuolella olevassa taulukossa. Näiden tietojen perusteella voidaan arvioida materiaalin jäykkyyttä, kimmoisuutta ja kestävyyttä taivutuksessa.



	Smpl	Thick [mm]	Width [mm]	Mod (E) [MPa]	Mod (A Young's) [MPa]	Flex Strength [MPa]	Flex strain at Max load [%]	Flex strain Brk (Std) [%]	Flex stress Brk (Std) [MPa]	Defl. @max [mm]	Force Brk (Std) [N]	Note
1	K2025 003_I M102 0_PR 01038 34-1	4,02	9,940	2319	3199	41,1	2,83	3,06	26,4	4,81	44,2	
2		4,03	9,960	2289	3243	40,6	2,80	2,98	22,1	4,75	37,3	
3		4,03	9,960	2272	3237	40,9	2,91	3,08	24,7	4,94	41,5	
4		4,07	9,980	2200	3143	39,6	2,89	3,03	32,0	4,84	55,2	
5		4,07	9,990	2195	3045	39,8	3,01	3,25	26,0	5,05	44,8	
Mean		4,04	9,966	2255	3173	40,4	2,89	3,08	26,2	4,88	44,6	
S.D.		0,02	0,02	54,96	82,17	0,66	0,08	0,10	3,64	0,12	6,60	
Min		4,02	9,940	2195	3045	39,6	2,80	2,98	22,1	4,75	37,3	
Max		4,07	9,990	2319	3243	41,1	3,01	3,25	32,0	5,05	55,2	

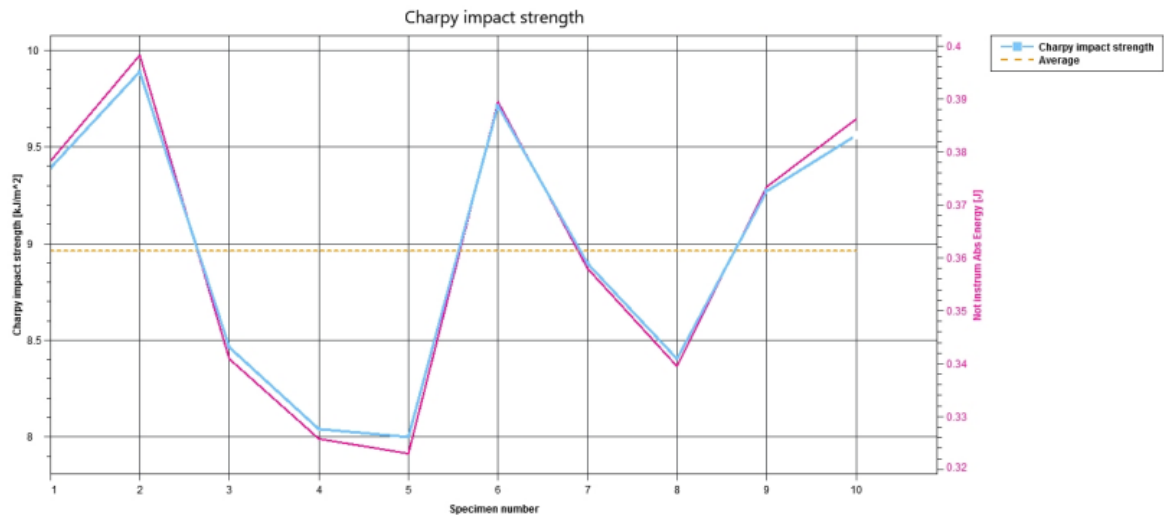
Kuva 14. Taivutuslujuuden kuvaaja ja tulostaulukko (Toimeksiantaja 2025)

Näytteen PR0103834-1 antama tulos oli kuvassa 3 esitetyn käyrän (a) kaltainen, joka vastaa EN ISO 178:2010 -standardin mukaista voima-taipumakäyrää. Käyrän muodon perusteella voidaan päätellä, että näyte on samanaikaisesti kohtuullisen kova, mutta hauras. Tulosten perusteella materiaalin käyttäytyminen oli yhdenmukaista rinnakkaisnäytteiden välillä. Esimerkkituotteen reseptikohtaisessa spesifikaatiotaulukossa (kohta 4.2) esitetty taivutuslujuuden (Flexure Strength, MPa) 36 MPa kuvaa materiaalin tyypillistä tavoitetasoa, ei varsinaista raja-arvoa. Näytteen mitattu keskiarvo, 40,4 MPa, ylittää tämän tason, mikä viittaa materiaalin mekaanisten ominaisuuksien olevan vähintään vaaditulla tasolla. Materiaalille tyypillistä keskihajonnan vaihteluväliä (35 – 38 MPa) suurempi tulos puolestaan viittaa materiaalin hyvään suorituskykyyn eikä heikennä sen käytettävyyttä. Näin ollen tulos voidaan katsoa spesifikaation mukaiseksi ja hyväksyttäväksi. Näytteiden valmistuksen tasalaatuisuutta kuvasi yksittäisten koesauvojen välinen paksuuden ja leveyden vähäinen vaihtelu. Tulosten pieni keskihajonta osoitti mittausmenetelmän olevan luotettava ja hyvin toistettava.

## 5.6 Näytteen iskulujuus

Biomateriaaleille ominaista on usein niiden matalat iskulujuudet verrattuna esimerkiksi polyeteeniin (PE), jonka iskulujuus voi olla 50–150 kJ/m<sup>2</sup>. Toimeksiantajalla on tuotannossaan iskulujuudeltaan erilaisia materiaaleja. Reseptikohtaista vaihtelua on välillä 6–33 kJ/m<sup>2</sup>. Lisäksi on materiaaleja, jotka eivät katkea tässä testissä, vaan tulos on N - not break.

Kuvassa 15 on esitetty kymmenen koesauvan iskulujuusmittausten tulosten kuvaaja näytteelle PR0103834-1. Kuvaajan X-akselilta on luettavissa rinnakkaisnäytteiden lukumäärä (Specimen number), vasemmalla Y-akselilla iskulujuuden vaihtelu (Charpy impact strength, kJ/m<sup>2</sup>) sekä oikeanpuoleisella Y-akselilla energia, jonka näyte absorboi iskun aikana (Not instrument Abs Energy, J). Kuvaajan perusteella absorboitu energia seuraa lähes samaa trendiä kuin iskulujuus, vaikka onkin skaalattu hieman eri akseleille.



Kuva 15. Iskulujuuden kuvaaja (Toimeksiantaja 2025)

Mittauksen yhteenvetotiedot, kuten kappaleiden mitat, iskulujuus, absorboitu energia, murtumatyyppi sekä keskiarvot ja hajonnat, esitetään kuvaajan alapuolelle kuuluvassa taulukkokuvasssa 16. Näiden tietojen perusteella voidaan arvioida materiaalin haurautta tai vastaavasti sitkeyttä.

	Smpl	Width [mm]	Thickness [mm]	Not instrum Abs Energy [J]	ISO 179-1 Break Type	Not instrum Abs Energy % [%]	Charpy impact strength [kJ/m <sup>2</sup> ]	Impact velocity [m/s]	Impact energy [J]
1	K2025004 IM1020_P R0103834-1	9.97	4.04	0.378	C	18.9	9.390	2.90	2.000
2		9.97	4.04	0.398	C	19.9	9.889	2.90	2.000
3		9.97	4.04	0.341	C	17.0	8.464	2.90	2.000
4		10.03	4.04	0.326	C	16.3	8.040	2.90	2.000
5		9.97	4.05	0.323	C	16.2	7.999	2.90	2.000
6		9.95	4.03	0.390	C	19.5	9.714	2.90	2.000
7		9.96	4.04	0.358	C	17.9	8.897	2.90	2.000
8		10.00	4.04	0.340	C	17.0	8.403	2.90	2.000
9		9.97	4.04	0.373	C	18.7	9.270	2.90	2.000
10		10.00	4.04	0.386	C	19.3	9.559	2.90	2.000
Average		9.98	4.04	0.361		18.1	8.962	2.90	2.000
S.D.		0.02	0.00	0.03		1.38	0.70	0.00	0.00
Coeffi. of var.		0.24	0.12	7.63		7.63	7.80	0.00	0.00
Min.		9.95	4.03	0.323		16.2	7.999	2.90	2.000
Max.		10.03	4.05	0.398		19.9	9.889	2.90	2.000

ISO 179-1 Break Type					
	ND	NB	P	C and H	C
Percentage %	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N. Specimens	0	0	0	0	10

Kuva 16. Iskulujuuden tulostaulukko (Toimeksiantaja 2025)

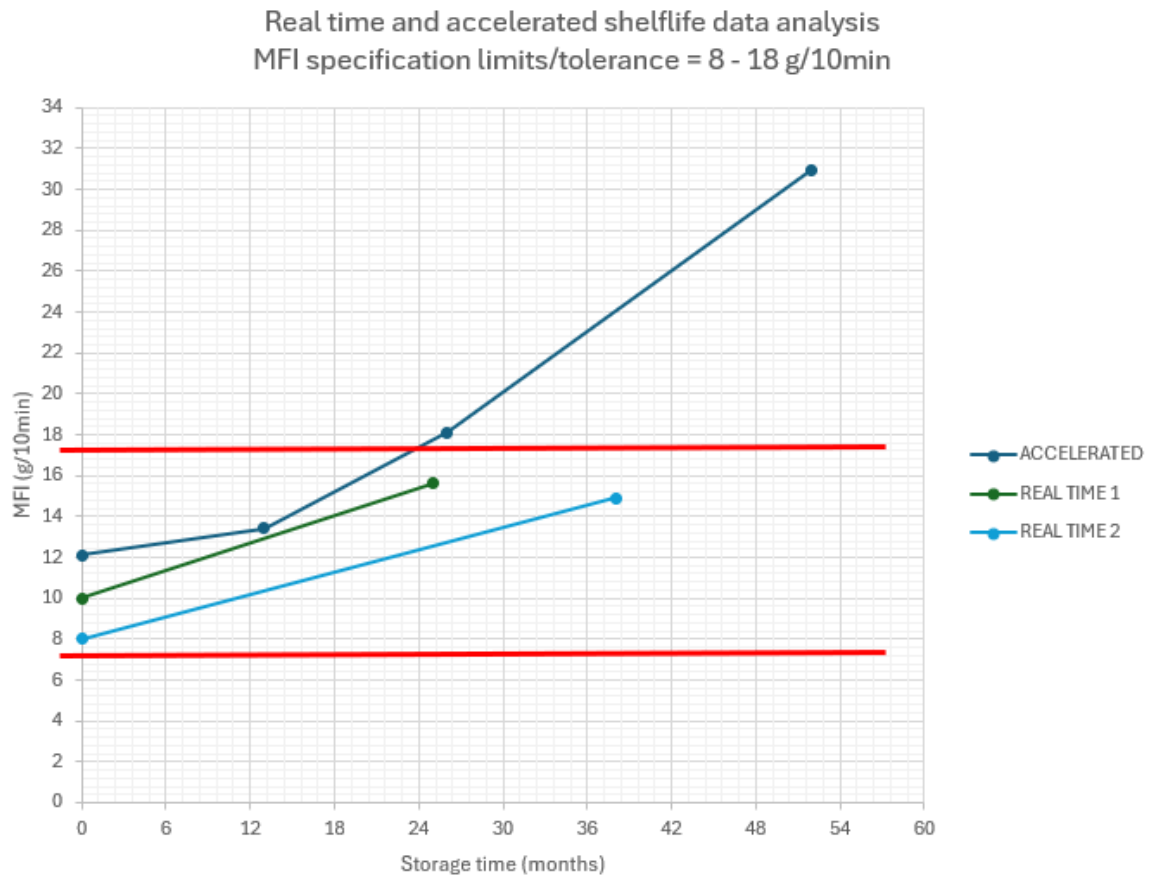
Kuvassa esitetyn iskulujuuden tulostaulukon perusteella näytteen PR0103834-1 iskulujuus standardin EN ISO 179-1:2010 mukaisesti mitattuna oli 8,96 kJ/m<sup>2</sup> ja murtumatyyppiltään C, complete break. Näyte murtui kahteen osaan. Kyseessä oli iskunkestävyydeltään siis hyvin hauras materiaali. Esimerkkituotteen reseptikohtaisessa spesifikaatiotaulukossa (kohta 4.2)

iskulujuuden raja-arvoksi on määritelty 8–10 kJ/m<sup>2</sup>. Tämän perusteella näytteen tulos, 8,96 kJ/m<sup>2</sup>, sijoittuu vaaditulle vaihteluvälille. Hajontaa näytteeseen voi aiheuttaa muun muassa polymeerin rakenne ja erilaiset täyteaineet, jotka voivat lisätä jäykkyyttä, mutta samalla vähentää iskulujuutta. Koesauvojen valmistusmenetelmä, ruiskuvalu, voi myös aiheuttaa näytteeseen orientaatiota, joka voi vaikuttaa iskulujuuteen.

## 5.7 Tuotteen hyllyikä

Hyllyikäanalyysillä pyritään arvioimaan, kuinka pitkään materiaali tai tuote säilyttää sille määritetyt ominaisuudet varastoinnin aikana. Tyypillisesti analyysissä tutkitaan tuotteen kriittisten ominaisuuksien muutosta ajan funktiona sekä verrataan tuloksia etukäteen määriteltyihin spesifikaatorajoihin. Kiihdytettyjä varastointikokeita käytetään usein nopeuttamaan hyllyiän arviointia, ja niiden luotettavuutta arvioidaan vertaamalla tuloksia reaaliaikaiseen varastointiin.

Kuvassa 17 on esitetty tuotteen hyllyikäanalyysin tulos erälle toiselle toimeksiantajan tuotteelle. Analyysissä tutkittiin materiaalin sulaindeksin muuttumista varastointiajan funktiona ja tuloksia verrattiin tuotespesifikaatiossa määritettyihin raja- ja toleranssiarvoihin. Tässä työssä kiihdytettyä ja reaaliaikaista vanhenemistestausta käsiteltiin ainoastaan osana laajempaa testauskokonaisuutta, eikä hyllyikäanalyysi ollut tutkimuksen varsinainen päätavoite. Tämän vuoksi analyysissä hyödynnettiin erillistä, jo olemassa olevaa mittausaineistoa toisesta tuotteesta, minkä vuoksi käytetty näyte poikkeaa muualla työssä esitellystä materiaalista. Ero on havaittavissa muun muassa sulaindeksin erilaisina raja-arvoina verrattuna työssä esimerkkinäytteenä käytettyyn materiaaliin.



Kuva 17. Reaaliaikainen ja kiihdytetty hyllyikäanalyysi tuotteelle (Toimeksiantaja 2025)

Analyysi osoitti, että kiihdytetty ja reaaliaikainen tutkimus antavat vertailukelpoista dataa ja tämän analyysin perustella tuotteelle voidaan määrittää hyllyikä, eli pisin sallittu varastointiaika ennen tuotteen vanhentumista. Kuvassa tuotteen spesifikaatorajat, 8–18 g/10min, on esitetty punaisilla viivoilla.

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Laboratorion rooli laadunhallinnassa on tärkeä osa yrityksen kokonaisuutta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kuvata sisäiseen laadunvalvontaan liittyvä testausprosessi. Yrityksen omien laitehankintojen myötä laboratorion tuottaman datan avulla voidaan paremmin ohjata tuotantoprosessien optimointia sekä varmistaa tuotteiden laatuvaatimusten täyttyminen. Laboratorion tuottamilla mittaustuloksilla on vaikutusta materiaaleja koskevaan päätöksen tekoon. Materiaalien systemaattisen ja säännöllisen testaamisen avulla voidaan nähdä varhaisia merkkejä materiaaliominaisuuksien heikkenemisestä sekä auttaa ennakoimaan prosessin vaihtelua ja vähentämään virheitä. Optimoidun prosessin ja toleranssien avulla pystytään lisäämään tehokkuutta, vähentämään pitkässä juoksussa kustannuksia sekä parantamaan laatua. Oikein määritellyt toleranssit näkyvät asiakkaalle ennustettavana suorituskykyinä, vähäisimpinä tuotantohäiriöinä sekä tuotteiden tasalaatuisuutena. Ne lisäävät asiakastytyvyyttä ja kilpailukykyä.

Tässä työssä esiteltujen testausmenetelmien käyttö osana tuotannon laadunvalvontaa, lisäsivät näytteiden vertailukelpoisuutta ja jäljitettävyyttä merkittävästi. Tulosten systemaattinen dokumentointi paransi tiedon saatavuutta ja käytettävyyttä läpi koko organisaation, mikä tukee nopeaa reagointia poikkeamiin ja päätöksenteon läpinäkyvyyttä. Lisäksi reaaliaikainen data ja ennakoiva analytiikka tukevat nopeaa reagointia ja kustannustehokkuutta.

Näyte PR0103834-1 täytti kaikilta osin esimerkkituotteen spesifikaatiotaulukossa (kohta 4.2) määritellyt tavoite-arvot. Visuaalisesti granulaatti vastasi referenssiä väriltään, muodoltaan sekä kooltaan, ilman havaittavia poikkeamia. Näytteen sulaindeksi-arvo (MFR) sijoittui hyväksyttävälle tasolle, vaikkakin lähelle ylärajaa. Vetomoduuli (Modulus A Young's, MPa) ja taivutuslujuus (Flexure Strength, MPa) ylittivät tavoite-arvot, mikä osoittaa materiaalin olevan mekaanisilta ominaisuuksiltaan vaatimusten mukainen. Iskulujuuden (Charpy impact strength, kJ/m<sup>2</sup>) tulos sijoittui myös sille asetetulle vaihteluvälille. Kokonaisuutena näyte-erän ominaisuudet olivat yhtenäisiä ja vastasivat tuotteen spesifikaatioita.

Tässä työssä kiihdytettyä ja reaaliaikaista vanhenemistestausta käsiteltiin vain osana laajempaa testauskokonaisuutta. Toimeksiantajan käyttämät kiihdytetyt ja reaaliaikaiset hyllyjän testausmenetelmät muodostavat kuitenkin keskeisen osan kokonaisvaltaista laadunvarmistusta. Niiden avulla voidaan varmistaa materiaalien pitkäaikainen luotettavuus sekä laatia ennusteita uusien materiaalien käyttäytymisestä.

Tulevaisuudessa, tuotekohtaisen datan lisääntyessä toleransseja voidaan tarkastella uudelleen ja tunnistaa missä rajoissa prosessi toimii luotettavasti ja missä kohtaa toleransseja voidaan tiukentaa tai löysätä ilman riskiä laadun heikkenemisestä.

Opinnäytetyön kirjoittamisen aikatauluttaminen oli aluksi haastavaa, sillä oli vaikea päättää, mistä näkökulmasta lähestyisin aihetta. Lisäksi ajantasaisten ja laadukkaiden lähteiden löytämisessä oli haastetta. Lähteiden kriittinen arviointi ja tiedonhaku kuitenkin vahvistivat tutkimuksellista osaamistani. Toisaalta tässä työssä käsiteltyjen aiheiden peruseriaatteet eivät ole vuosien varrella merkittävästi muuttuneet, minkä vuoksi hyödynsin osittain vanhempaa kirjallisuutta.

Tätä työtä tehdessä yhteistyö ohjaavan opettajan ja toimeksiantajan kanssa sujui hienosti. Heiltä saamani rakentava palaute kannusti kehittämään työtäni ja parantamaan sen laatua. Lisäksi opin tieteellisen kirjoittamisen periaatteita ja raportoinnin selkeyttä, mikä on arvokas taito kaikissa asiantuntijatehtävissä. Kokonaisuutena työn tekeminen vahvisti ammatillisia sekä viestinnällisiä valmiuksiani.

## Lähteet

ASTM-F1980-21. Standard Guide for Accelerated Aging of Sterile Barrier Systems and Medical Devices.

Instron. 2025. Melt Flow Index Tester: MFi5. Viitattu 3.10.2025. Saatavissa:

<https://www.instron.com/it/products/testing-systems/rheology/melt-flow-index-testers/mfi5/>

Instron. 2025. Pendulum Impact Testing Machine. Viitattu 3.10.2025. Saatavissa:

<https://www.instron.com/en/products/testing-systems/impact-systems/pendulums/9050-pendulum/>

Instron. 2025. Three point bend test fixtures. Viitattu 3.10.2025. Saatavissa:

<https://www.instron.com/en/products/testing-accessories/flexure-fixtures/three-point-bend-test-fixtures/>

Karjalainen, E & Karjalainen, T. 2020. Lean Six Sigma 2.0 ja Laatuteknologia. Lahti: Painotalo Plus Digital Oy.

Kurri Veijo, Malen Timo, Sandell Risto & Virtanen Matti. 1999. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy.

Lecklin, O. 2006. Laatu yrityksen menestystekijänä. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Lehtinen, L. 2021. Kestävä pakkaus. Forssa: PunaMusta Oy.

Jaarinen, S & Niiranen, J. 2005. Laboratorion analyysitekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy.

Järvinen, P. 2017. Muovit ja muovituotteiden valmistus. Porvoo: Bookwell Oy.

Jääskeläinen, Janne K. 2024. Lean – mitä se on ja miten käytät sitä? Viitattu: 29.10.2025.

Saatavissa: <https://www.jannejaaskelainen.fi/lean/#lean-menetelm%C3%A4t-ja-ty%C3%B6kalut>

Micomlab. 2025. Polymer accelerated heat aging without load. Viitattu 30.10.2025.

Saatavissa: <https://www.micomlab.com/micom-testing/astm-d3045/>

Nelson Labs. 2025. What is Accelerated & Real-Time Aging Testing. Viitattu: 30.10.2025.

Saatavissa: <https://www.nelsonlabs.com/testing/accelerated-real-time-aging/>

Nieminen, J-P. 2018. Kompaundoinnin laitteistojen vertailu muoviteollisuudessa ja termoplastisen polyuretaanin sisäisen kosteuden vaikutus kompaundoinnin lopputuotteeseen. Viitattu 12.11.2025. Saatavissa:

[https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/156357/Jukka-Pekka\\_Nieminen\\_Kandidaatinty%C3%B6.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/156357/Jukka-Pekka_Nieminen_Kandidaatinty%C3%B6.pdf?isAllowed=y&sequence=1)

Plastics - Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics - Part 1: Standard method (ISO 1133-1:2011)

Plastics - Determination of tensile properties - Part 1: General principles (ISO 527-1:2012)

Plastics - Determination of flexural properties (ISO 178:2010)

Plastics - Determination of Charpy impact properties - Part 1: Non-instrumented impact test (ISO 179-1:2010)

Saarela Olli, Airasmaa Ilkka, Kokko Juha, Skrifvars Mikael, Komppa Veikko. 2007. Komposiittirakenteet. Helsinki: Hakapaino Oy.

Sulapac Oy. 2025. How Lean6sigma methods make a difference: ensuring consistent quality in Sulapac materials. Viitattu: 15.10.2025. Saatavissa:

<https://www.sulapac.com/blog/how-lean6sigma-methods-make-a-difference-ensuring-consistent-quality-in-sulapac-materials/>

Tukes. 2025. Tuotteiden jäljitettävyys. Viitattu: 4.12.2025. Saatavissa:

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaaimustenmukaisuus/tuotteiden-jaljitettavyys>

Tuominen, K. & Moisio, J. 2022. Laatua, luotettavuutta ja varmuutta. Turku: Oy Benchmarking Ltd.

## LIITE 1.

KOEAJOTILAUS

K2025004

Tilaaja: Etunimi Sukunimi	Tilauksen päivämäärä: xx.xx.2025	Koeajopäivä:
Tilauksen tiedot:  Tuotannon laadunvalvontanäytteet/hyllyikä  Tuotantokoodi - eränro IM1020 - PR0103484-1  +MFR-näytteet materiaaleista		
Käytettävä muotti: koesauva, 60kpl/materiaali	Reseptien lukumäärä: x	
<b>Käytettävät materiaalit:</b>	<b>Kuivaus:</b>	<b>Huomioitavaa:</b>
IM1020	80C_4h	
Koekappaleiden lähetys:  Säkit siirretään hyllyikä-lavalle labran käyttöön.		