

Joonas Träskelin

**3D-TULOSTIN KOTIKÄYTTÖÖN JA TESTAUSSUUNNITTELU PAINETTAVALLE  
ANTURILLE**

**3D-TULOSTIN KOTIKÄYTTÖÖN JA TESTAUSSUUNNITTELU PAINETTAVALLE  
ANTURILLE**

Joonas Träskelin  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Tieto- ja viestintäteknikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma, laite- ja tuotesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Joonas Träskelin

Opinnäytetyön nimi: 3D-tulostin kotikäyttöön ja testaussuunnittelu painettavalle anturille

Työn ohjaajat: Kari Jyrkkä, Harri Määttä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 55

---

Oulun ammattikorkeakoulussa on ollut vuodesta 2014 lähtien mahdollista suorittaa opinnäytetyö 1-3 osassa. Tämä opinnäytetyö on tehty kahdessa osassa, ensimmäinen 5 opintopisteen osa tehtiin keväällä 2016 ja toinen 10 opintopisteen osa tehtiin syksyllä 2017.

Ensimmäinen osa käsittelee 3D-tulostimen hankintaa kotikäyttöön. Työssä käsitellään 3D-tulostamisen eri tekniikoita, materiaaleja sekä ohjelmistoja, joiden avulla 3D-tulostaminen mahdollistetaan. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan myös kotikäyttöön tulevan 3D-tulostimen kriteerejä ja oman tulostimen valintaa.

Opinnäytetyön toinen osa tehtiin Oulun ammattikorkeakoululle Smart-Fish-hankkeen edistämiseksi. Toisessa osassa perehdytään painettavan lämpötilasensorin testaussuunnitteluun ja kalibrointiin. Tehtiin testaussuunnitelma ja suoritettiin sen mukaiset testit. Kalibrointisuunnitelman tavoitteena oli helpottaa tulevaisuuden työmäärää tekemällä valmis taulukko, jonka mukaan on helppo valita oikeanlainen vastusarvo anturin ominaisuudet huomioon otettaessa, jolloin saadaan anturi näyttämään oikeaa lämpötila-arvoa.

---

Asiasanat: koosteopinnäyte, 3D-tulostus, painettava elektroniikka, testaussuunnittelu

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO.....	5
2 OPINNÄYTETYÖN ENSIMÄISEN OSAN ESITTELY.....	6
3 OPINNÄYTETYÖN TOISEN OSAN ESITTELY.....	7
4 YHTEENVETO.....	8

## LIITTEET

Liite 1. 3D-tulostin kotikäyttöön

Liite 2. Testaussuunnittelu painettavalle anturille

# 1 JOHDANTO

Oulun ammattikorkeakoulussa on vuoden 2014 jälkeen ollut mahdollista suorittaa opinnäytetyö kolmessa 5 opintopisteen osassa. Tämä opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta, ensimmäinen osa on 5 opintopisteen osuus ja toinen osa on 10 opintopisteen kokonaisuus. Yhdessä osat koostavat 15 opintopisteen opinnäytetyön. Ensimmäinen opinnäytetyön osa valmistui keväällä 2016 ja toinen syksyllä 2017. Ensimmäisen ja toisen osan aiheet eivät liity toisiinsa, sillä ensimmäinen osa tehtiin omien mielenkiintojen pohjalta ja toinen tuli toimeksiantona Oulun ammattikorkeakoululta. Opinnäytetyön osat esitellään tarkemmin koosteessa ja varsinaiset työt ovat liitteinä tämän esittelykoosteen jälkeen.

Opinnäytetyön ensimmäisessä osassa lähdettiin tutkimaan 3D-tulostamisen mahdollisuuksia kotioloissa. Tarkoituksena oli perehtyä tarkemmin 3D-tulostamisen tekniikoihin ja materiaaleihin, jotka soveltuvat tulostamiseen. Syvennyttiin myös ohjelmistoihin, joita on mahdollista hyödyntää oman kotitulostimen käytössä.

Työn toinen osan aihe tuli Oulun ammattikorkeakoulun Smart-Fish-hankkeelta. Tavoitteena oli toteuttaa testaussuunnitelma sekä suorittaa sen pohjalta testit painettavalle sensorille. Työn aikana tuli myös tehtäväksi tuottaa anturille kalibrointisuunnitelma, jonka tarkoitus oli helpottaa projektin jatkossa työtaakkaa anturia asennettaessa ja kalibroitaessa.

## 2 OPINNÄYTETYÖN ENSIMMÄISEN OSAN ESITTELY

Kevään 2016 aikana valmistunut opinnäytetyön ensimmäinen osa (liite 1) tehtiin toisen lukuvuoden opintojen ohessa ja pääasiallisesti ammattikorkeakoulun tiloissa. Ohjaajana ensimmäisen osan aikana toimi Kari Jyrkkä. Aiheeksi valikoitui itseäni kiinnostanut 3D-tulostaminen ja sen mahdollistaminen kotioloissa. Työn aikana tutustuttiin erilaisiin 3D-tulostamisessa käytettäviin tekniikoihin, materiaaleihin ja niiden ominaisuuksiin. Myös perehdyttiin eri ohjelmistoihin, joita kotikäyttäjä voi hyödyntää oman tulostimensa kanssa työskennellessään.

Opinnäytetyön ensimmäisestä osasta oli hyötyä siinä mielessä, että sen aikana sai tärkeää oppia ja ohjausta opinnäytetyön kirjoittamiseen ja tiedonhakuun. Ohjaajan läsnäolo koko ensimmäisen osan työstämisen aikana madalsi kynnystä kysyä vinkkiä pienimmästäkin asiasta. Työn aikana kertyneen tiedon ansiosta sain hankittua itselleni sopivan 3D-tulostimen ja pääsin nopeammin perille laitteen toiminnallisuudesta.

### 3 OPINNÄYTETYÖN TOISEN OSAN ESITTELY

Opinnäytetyön toinen osa (liite 2) toteutettiin kokonaisuudessaan syksyn 2017 aikana ja viimeisteltiin keväällä 2018 Oulun ammattikorkeakoulun toimeksiantona. Työ on 10 opintopisteen kokonaisuus ja ohjaajana toimi Kari Jyrkkä.

Oulun ammattikorkeakoulu auttaa kehittämään elintarvikealaa Pohjois-Pohjanmaalla monenlaisilla hankkeilla, joista yksi esimerkki on Smart-Fish. Hankkeessa sovelletaan painettavaa elektroniikkaa ruoan toimitusketjun seuraamisessa. Opinnäytetyön toisessa osassa perehdytään tarkemmin hankkeessa käytettävän painettavan anturin testaussuunnitelmaan sekä kalibrointisuunnitelman tekoon.

Työn toisessa osassa oli keskeisessä roolissa itsenäinen työskentely ja koulutuksen aikana opitut projektityöskentelytaidot. Työn aihe oli mielekäs ja liittyi omaan koulutusohjelmaan. Sen aikana omaa osaamista sai käyttää monipuolisesti ja oppia karttui matkanvarrella paljon lisää. Myös kiinnostus painettavaa elektroniikkaa kohtaan kasvoi ja tulevaisuuden odotukset siinä samalla.

## 4 YHTEENVETO

Opinnäytetyö suoritettiin kahdessa paketissa, joista syntyi yhdessä 15 opintopisteen kokonaisuus. Työmäärän jakaantuessa pienempiin osioihin tuntui opinnäytetyön kirjoittaminen helpommalta ja vähemmän raskaalta taakalta. Ensimmäisen ja toisen osan aiheet eivät suoranaisesti liity toisiinsa, mutta kummassakin työssä on uutuusarvoa ja tulevaisuuden kannalta hyödyllistä tietoa.

Työn ensimmäisessä osassa tutustuttiin pikamallinnuksen mahdollisuuksiin kotioloissa. 3D-tulostamisella on alati kasvavat markkinat, jossa sen teknologiat ja tarjonta yltävät yhä paremmin kuluttajien keskuuteen. Pikamallinnuksen saatavuus kotioloissa on lisännyt ihmisten kykyä tuottaa osia ja esineitä, jotka muuten olisi erittäin hankala valmistaa. 3D-tulostimien saatavuus on mahdollistanut eri alojen harrastajille mahdollisuuden luoda asioita, joista ennen pystyttiin vain haaveilemaan.

Toisessa osassa käsitelty painetun elektroniikan tekniikkoja käyttäen valmistettu lämpötila-anturi on tulevaisuuden kannalta ajateltuna kätevä vaihtoehto perinteiselle termistorille. Testaussuunnitelman avulla päästiin syventymään tarkemmin testausprosessin yksityiskohtiin. Opin miten eri ominaisuuksia vaativia anturin osia pystytään tuottamaan eri musteilla ja miten niitä tuotetaan. Kaiken kaikkiaan kummastakin työstä jäi käteen paljon uutta oppia, joista saattaa olla hyötyä tulevaisuuden työtehtävissä.



Joonas Träskelin

## **3D-TULOSTIN KOTIKÄYTTÖÖN**

## 3D-TULOSTIN KOTIKÄYTTÖÖN

Joonas Träskelin  
Opinnäytetyö ensimmäinen osa  
Kevät 2016  
Tieto- ja viestintäteknikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## SISÄLLYS

SANASTO.....	4
1 JOHDANTO .....	5
2 3D-TULOSTUKSEN TEKNOLOGIAT .....	6
2.1 Historiaa .....	6
2.2 Tekniikat .....	6
2.2.1 Stereolithography Apparatus (SLA).....	7
2.2.2 Digital Light Processing (DLP).....	7
2.2.3 Fused Deposition Modeling (FDM).....	8
2.2.4 Selective Laser Sintering (SLS).....	10
2.2.5 Selective Laser Melting (SLM).....	11
2.2.6 Electronic Beam Melting (EBM).....	11
2.2.7 Laminated Object Manufacturing (LOM).....	11
2.3 Yhteenveto tekniikoista.....	12
3 OHJELMISTOT .....	13
3.1 Suunnitteluohjelmat .....	13
3.1.1 SketchUp.....	13
3.1.2 Blender .....	13
3.1.3 Solidworks .....	14
3.1.4 Tinker CAD.....	14
3.2 Tulostusohjelmistot.....	14
3.2.1 Cura.....	14
3.2.2 Repetier Host .....	14
3.2.3 Simplify3D .....	14
3.3 Yhteenveto ohjelmistoista.....	15
4 OMAN TULOSTIMEN VALINTA .....	16
5 YHTEENVETO.....	19
LÄHTEET.....	20

## SANASTO

CAD = tietokoneavusteinen suunnittelu eli tietokoneella luotu piirustus.

G-koodi = Tietokoneohjatuissa tuotantolaitteissa käytetty kieli, joka kertoo koneelle, minne, kuinka nopeasti ja mitä reittiä pitkin pitää kulkea.

Sintraus = Kylmähitsautumista, jossa metallijauhepartikkelit hitsautuvat toisiinsa diffuusion vaikutuksesta.

Termoplastinen = Lämpömuovautuva aine, joka pehmenee lämmitessään ja kovettuu jäähtyessään.

## 1 JOHDANTO

Tämä työ on ensimmäinen osa kolmiosaisesta opinnäytetyöstä. Tavoitteena opetuksellisesti oli hankkia tietoa ja käyttää laadukkaita lähteitä ammattitekstin pohjana.

Tämä opinnäytetyö käsittelee erilaisia 3D-tulostuksen tekniikoita. Dokumentissa selvitetään mitä materiaaleja tulostuksessa voidaan käyttää sekä mitä ohjelmistoja 3D-tulostuksessa voidaan hyödyntää. Saatujen tietojen pohjalta vertaillaan kotikäyttöön sopivinta vaihtoehtoa ja valitaan kokoonpano tämänhetkisiltä markkinoilta. Kotikäyttöön sopivan 3D-tulostimen valintakriteerejä arvioidaan ja käydään läpi tulostimien hyviä ja huonoja puolia. Selvitetään miten 3D-tulostinta voi hyödyntää kotona ja voisiko 3D-tulostin tulevaisuudessa olla samassa asemassa kuin tavalliset mustetulostimet nykypäivänä.

Perehdytään myös 3D-tulostuksen uusiin innovaatioihin ja tämänhetkisiin uusiin tulostimiin, jotka ovat tuoneet jotain uutta 3D-tulostimien maailmaan. Perehdytään eri tulostusmateriaaleihin sekä niiden positiivisiin ja negatiivisiin puoliin.

Opinnäytetyön aihe valittiin omiin mielenkiinnon kohteisiin liittyen sekä siksi, koska se sivuaa koulutusalaani. 3D-tulostimet ovat myös lisääntymässä määrin siirtymässä jokapäiväiseen elämäämme ja niiden hinnat ovat pikkuhiljaa laskeneet sopivammaksi kuluttajille, jotka pystyivät muutama vuosi sitten vain haaveilemaan 3D-tulostamisesta kotioloissa. Työssä myös tutkitaan kuinka halvalla voi itse rakentaa oman 3D-tulostimen. Raportissa käsitellään myös oman tulostimen valintaa.

## 2 3D-TULOSTUKSEN TEKNOLOGIAT

### 2.1 Historiaa

3D-tulostus juontaa juurensa 1980-luvun alusta, jolloin yhdysvaltalainen 3D-tulostuksen pioneeri Charles Hull työskenteli yhtiölle, joka käytti ultraviolettivalon avulla pöytätasojen päällystysmuovin kovettamiseen. Hull sai idean, että on mahdollista käyttää UV-valoa ja tietokoneella mallinnettuja 3D CAD piirroksia esineiden valmistuksessa. Hän sai luvan yhtiöltä työskennellä laboratoriossa iltaisin ja viikonloppuisin kehittääkseen keksintöään (1.)

Hull onnistui tulostamaan noin 5 cm korkean kupin kuukausia kestäneen tulostuksen jälkeen. Hän saavutti sen käyttämällä nestemäistä akrylipohjaista materiaalia, joka kovettuu, kun se altistuu UV-valolle. Hull jatkokehitti keksintöään siihen pisteeseen, että hän sai perustettua oman yhtiönsä 3D Systemsin vuonna 1988. Hänen ansiostaan myös CAD-tiedostoista muunnettava ja 3D-tulostuksen mahdollistava vakiintunut tiedostomuoto STL (standard tessellation language) kehitettiin (1.) Nykyisin harrastelijoiden keskuudessa suosituin 3D-tulostuksen metodi, jossa muovi sulatetaan ja pursotetaan muotoon suuttimen kautta, syntyi Israelissa Stratasys-nimisen 3D-tulostukseen keskittyneen yrityksen toimesta. Vuonna 2005 englantilaisen Bathin yliopiston professori Adrian Bowyer kehitti projektin nimeltään RepRap. Se oli 3D-tulostin, joka pystyi tulostamaan lähes kaikki omat osansa ja muutamalla sadalla dollarilla oli mahdollista helposti kasata toimiva tulostin. Näin 3D-tulostus alkoi olla tarpeeksi edullista ja käytännöllistä harrastelijoille ympäri maailman (2).

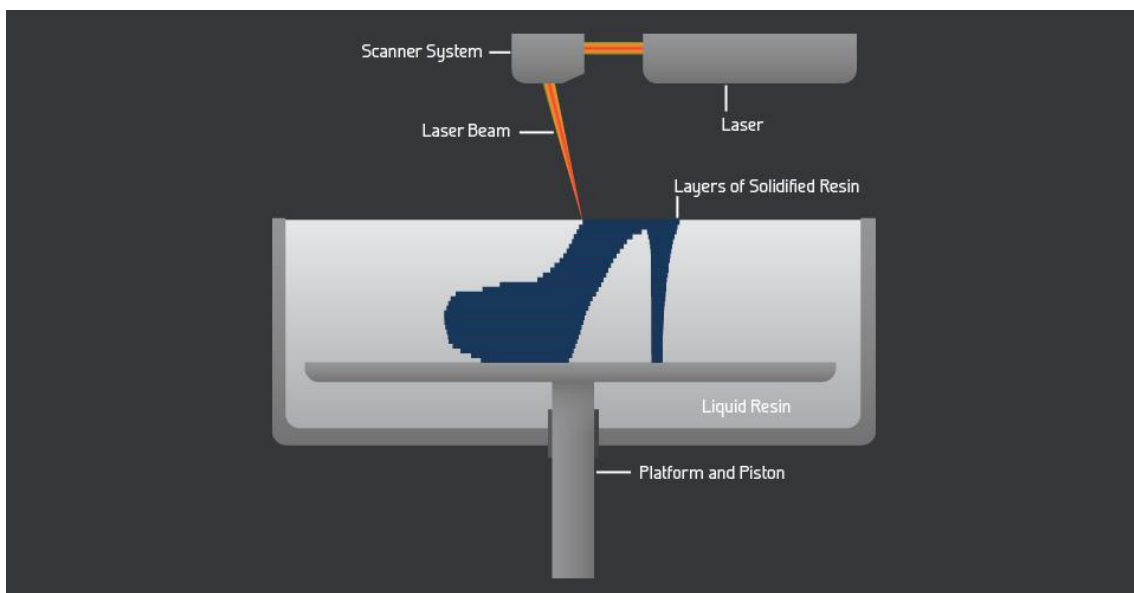
### 2.2 Tekniikat

On olemassa useita eri tekniikoita 3D-objektin tulostamiseen ja näillä on omat hyvät ja huonot puolensa. Tässä kappaleessa käsitellään eri 3D-tulostusmenetelmiä ja perehdytään niiden tekniikkaan sekä materiaaleihin.

### 2.2.1 Stereolithography Apparatus (SLA)

Stereolithography eli suomeksi stereolitografia on 3D-tulostuksen maailmassa vanhin tapa tulostaa kappaleita. Charles Hullin patentoima SLA-tekniikka muodostaa 3D-objekteja nestemäisestä fotopolymeerihartsista kerros kerrokselta. Neste jähmettyy reagoidessaan laserista tulevan uv-valon kanssa. Kun laser piirtää kuvion nesteen pinnalle, laskeutuu tulostustaso alemmas tyypillisesti 0,05 - 0,15 mm, jotta voidaan piirtää seuraava kerros kappaleeseen. Tätä jatkuu kunnes haluttu objekti on valmis. Alla oleva kuva selventää SLA-periaatetta (kuva 1.).

SLA laitteet ovat yleisesti käytössä yritysten keskuudessa, mutta kotikäytössä ne ovat harvinaisempia (3).



KUVA 1. SLA-tekniikan toimintaperiaate.

### 2.2.2 Digital Light Processing (DLP)

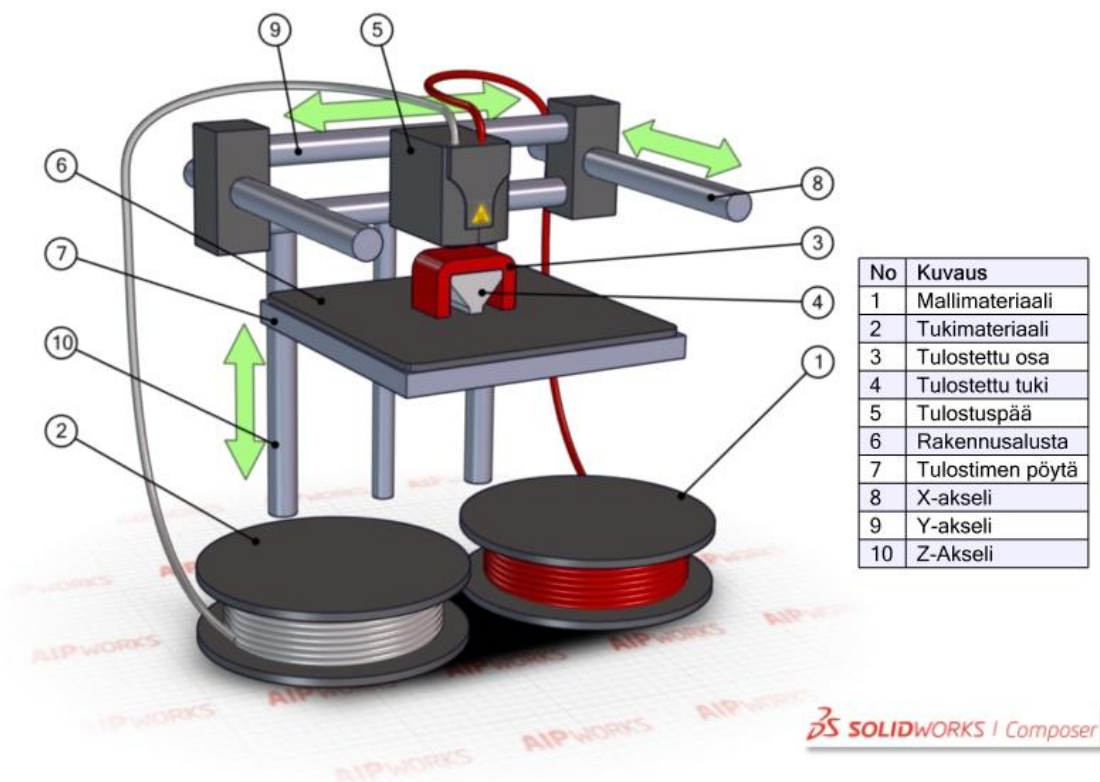
Digital Light Processing eli digitaalinen valon prosessointi on hyvin samantapainen tekniikka 3D-tulostukseen kuin SLA, mutta eroavaisuutena on valon lähde. Vuonna 1987 kehitetty DLP-tekniikka perustuu kuvan heijastamiseen projektorilla polymeerihartsin pinnalle kerros kerrokselta, jolloin saadaan tulostettua hyvin yksityiskohtaisia tulosteita.

DLP-tekniikassa käytetään apuna projektorin, jonka avulla saadaan tulostusaika aika pieneksi. Yhdessä kerroksessa kuluu muutama sekunti, joten tekniikka on huomattavasti nopeampi verrattuna esimerkiksi FDM-tekniikkaan (3).

### 2.2.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

Fused Deposition Modeling eli FDM on yleisesti tunnetuin menetelmä tulostaa esineitä. 1980-luvulla Stratasys-yhtiön keksimä FDM-tulostus käyttää pääasiassa termoplastista muovilankaa, joka lämmölle altistuessaan on helposti muotoiltavissa. Tällaisia muoveja ovat esimerkiksi ABS, PLA, PC, PA ja monet muut muovit. FDM-tekniikan hyvänä puolenä on, että sen avulla voidaan helposti tulostaa konseptimalleja tai prototyyppisiä sekä myös lopullisia valmiita tuotteita.

Harrastelijoiden keskuudessa suosittu FDM-tekniikan laitteisto on edullisin ja saatavimmilla oleva vaihtoehto 3D-tulostamiseen. Se on 3D-tekniikoista ainoa joka tuottaa kappaleita termoplastisesti, joten printatut esineet ovat mekaanisilta, termisiltä sekä kemikaalisilta ominaisuuksiltaan erinomaisia (3).



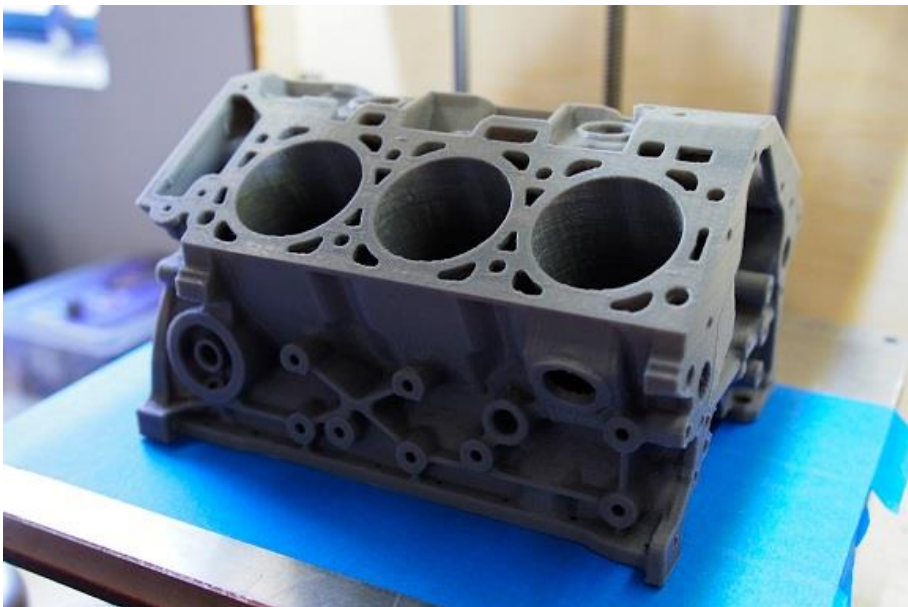
KUVA 2. FDM-tekniikan toimintaperiaate



3D-tulostuslaitteisto, joka perustuu FDM-tekniikkaan, tuottaa esineitä sulattamalla muovia ja pursottamalla sen kerros kerrokselta vähän samaan tapaan kuin stereolitografiassa. Ennen tulostusta ohjelma viipaloi CAD-piirroksen kerroksiin ja laskelmoi pursottimen reitin joka kerrokselle. Tulostusprosessin alkaessa tulostuspää kuumentaa syötettävää muovilankaa, joka suuttimen kautta puristetaan pohjalevyllä. 3D-tulostimen sisäinen ohjausyksikkö muuntaa kappaleen mitat X-, Y- sekä Z-koordinaateiksi joiden mukaan tulostuspää liikkuu (ks. kuva 2.) Kalliimmat tulostimet, joissa on kaksi tulostuspäätä, pystyvät tulostamaan myös jälkeinpäin poistettavaa tukimateriaalia muuten vaikeasti tulostettaville kappaleille (kuvan 2 kohdassa 4).

Stereolitografiaan verrattu FDM-tulostus on hitaampaa ja tulostettu kappale vaatii usein viimeistelyä tulostuksen päätteeksi. FDM-tekniikkaa käytettäessä tulostettua kappaletta voidaan jyrsiä, maalata tai päällystää.

Nykyään FDM-tekniologia on laajalle levinnyttä ja muun muassa monet autotuotanto- sekä elintarvikealan yhtiöt käyttävät 3D-tulostusta uusien tuotteiden kehityksessä, konseptimalleissa ja prototyypeissä sekä myös jopa tuotantolaitteissa. FDM-tekniikka mielletään helppokäyttöiseksi sekä ympäristöystävälliseksi tavaksi 3D-tulostamiseen. Tämä 3D-tulostusmenetelmä on tuonut mahdollisuuden tehdä helposti esineitä, joissa on monimutkaisia geometrisiä ominaisuuksia sekä onkaloita (ks. kuva 4.)



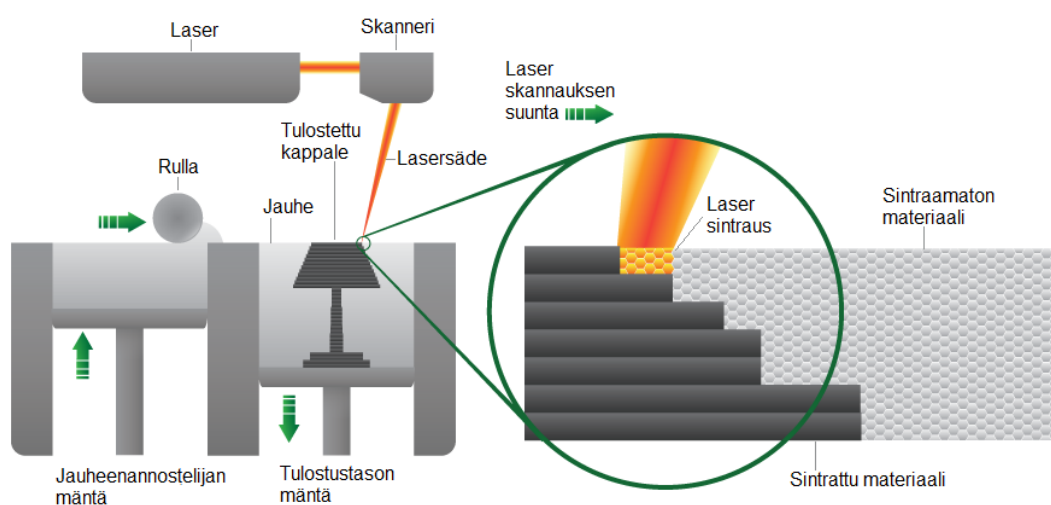
KUVA 3. Esimerkki FDM-tekniikalla tulostetusta kappaleesta.

FDM-tulostukseen voidaan käyttää monia eri muovityyppejä ja materiaaleja. Suosituimpia materiaaleja tulostukseen ovat PLA- sekä ABS-muovit. PLA eli polylaktidi on esimerkiksi maissitärkkelyksestä tai sokeriruosta valmistettua biohajoavaa muovia. ABS eli akryliniitriilibutadienistyreeni, josta myös esimerkiksi Lego-palikat valmistetaan, on öljypohjainen muovi. Näillä kahdella on omat hyvät puolensa, mm. ABS on kestävämpää ja joustavampaa, mutta tulostettaessa tuottaa hajuhaittoja. PLA:n lopputulos on tarkempaa siistimpää eikä luo hajuhaittoja tulostettaessa (3.) Muita FDM-tulostukseen sopivia materiaaleja löytyy paljon sekä vaihtelevilla ominaisuuksilla, joten sitä voidaan hyödyntää laajasti eri sovelluksissa.

Kotikäyttöön sopivia FDM-laitteita löytyy markkinoilta kattavasti ja hinta vaihtelee 250 euron ja 4000 euron välillä, myös kalliimpia ammattikäyttöön suunniteltuja laitteita löytyy yli 10 000 euron hintaan. Saatavilla on niin valmiita paketteja, kuin itse rakennettavia rakennussarjoja (3).

#### 2.2.4 Selective Laser Sintering (SLS)

1980-luvulla kehitetty SLS-tekniikka käyttää tehokasta laseria sekä jauhettua materiaalia esineiden tuottamiseen. SLA- ja SLS-tekniikoiden toimintaperiaate on hyvin samanlainen, SLS käyttää vain nesteen sijasta jauhemaista materiaalia vädissä, jonne kappale tulostetaan. Tehokas laser sintraa jauhetta kerros kerrallaan. Joka kerroksen välissä mäntä vetää tulostustasoa alemmas ja rulla annostelee ja levittää pienen määrän uutta jauhetta, jolloin laser voi piirtää uuden kerroksen, tätä jatketaan siihen asti, kunnes kappale on valmis. SLS-tekniikan etu on, että se ei vaadi tukirakenteiden tulostamista kappaleeseen, koska jauhepeti toimii tukena tulosteille (kuva 4.)



KUVA 4. SLS-tekniikan toimintaperiaate.

SLS-tekniikassa voidaan hyödyntää materiaaleina mm. polyamidia eli nylonia, keramiikkaa ja lasia. Myös joitakin metalleja on mahdollista tulostaa, kuten terästä, alumiinia sekä hopeaa (4). Täten SLS on hyvin monipuolinen tulostusmenetelmä, joka on etenkin teollisuudessa paljon käytetty keino. Harrastelijoille SLS-tekniikka on usein kumminkin liian kallis siinä käytetyn tehokkaan laserin takia (3.)

### **2.2.5 Selective Laser Melting (SLM)**

SLM-tekniikkaa kuuluu samaan kategoriaan ja on hyvin samanlainen tekniikka kuin SLS-tekniikka, eroavaisuutena näillä kahdella on se että, SLM sulattaa metallijauheen täysin yhdeksi kiinteäksi kappaleeksi sintraamisen sijasta. SLM-tekniikka on saksalaista perua vuodelta 1995, jolloin Fraunhofer instituutin tutkimusryhmän toimesta syntyi ensimmäinen SLM-patentti.

Materiaalivaihtoehtoja SLM-tekniikalle löytyy useita; ruostumaton teräs, titaani, koboltti, kromi ja alumiini. SLM-tekniikka on hyödyllinen sovelluksissa, joissa on vaikeuksia tuottaa kappaleita perinteisillä työkaluilla ja työstämismenetelmillä. Esimerkiksi ilmailualan projekteissa voidaan SLM-tekniikan avulla tulostaa uudenlaisia painoa vähentäviä komponentteja lentokoneisiin, jotka olisi vanhanaikaisilla menetelmillä liian hankalia tuottaa. Myös lääketieteessä SLM-tekniikkaa hyödynnetään muun muassa ortopedisiin ja hammaslääketieteen sovelluksiin (3.)

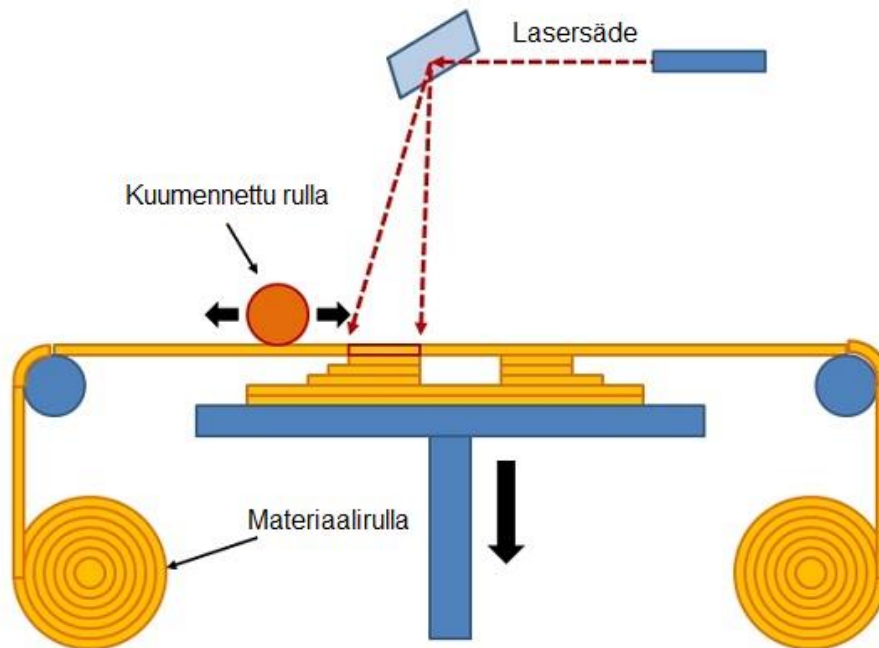
### **2.2.6 Electronic Beam Melting (EBM)**

Arcam AB-yhtymän kehittämä EBM-tekniikka syntyi 2000-luvun alussa. SLS- ja SLM-tekniikoiden kanssa hyvin samantyylinen EBM-tekniikka käyttää metallijauhepetiä tulostuspohjanaan, eroavaisuus muihin tulostustapoihin kuitenkin piilee tekniikassa, mikä sulattaa jauheen. EBM sulattaa metallijauheen elektronisuihkulla tyhjiössä. Prosessi tapahtuu jopa 1000 °C:n lämpötilassa. SLM-tekniikkaan verrattuna EBM on kallista, hidasta ja se on materiaalivalikoimaltaan suppea, joten se ei ole kovin suosittu tulostusmenetelmä, pääasiassa sitä hyödynnetään ilmailualan- ja lääketieteen-teollisuudessa (3).

### **2.2.7 Laminated Object Manufacturing (LOM)**

LOM-tekniikka on yksi nopeimmista ja edullisimmista tulostusmenetelmistä. Sen kehitti kalifornialainen Helisys-yhtiö. LOM-tulostuksessa sidosaineella päällystettyä paperi-, muovi- tai metallilevyä sulautetaan yhdeksi kappaleeksi kerros kerrallaan kuumuuden ja paineen avulla. Kerrosten välissä

kappaleen muoto leikataan tietokoneohjatulla laserilla tai veitsellä (3).



KUVA 5. LOM-tekniikan toimintaperiaate.

### 2.3 Yhteenveto tekniikoista

Edellä mainitut tekniikat ovat monipuolisia ja eri tekniikat toimivat paremmin eri tilanteissa, kuin toiset. Kotitulostimissa yleisimmin käytetään FDM-tekniikkaa, joten tästä syystä päädyin itsekin hankkimaan siihen perustuvan tulostimen. FDM-tekniikkaa käyttävät tulostimet ovat myös edullisia ja helppokäyttöisiä, joten kynnyksensä kokeilulle on pieni myös aloittelijalle.

## 3 OHJELMISTOT

3D-tulostuksessa käytettäviä ohjelmistoja on suuri valikoima ja on tärkeää valita omalle tulostimelle sopivat ohjelmat hyvän tulostuslaadun takaamiseksi. Aloittelijoille suositellaan yksinkertaisia ohjelmia, joissa asetukset ovat pitkälti ennalta määritellyjä tulostuksen helpottamiseksi. Harjaantuneemmalle käyttäjälle sekä ihan ammattikäyttöön suunnitellut ohjelmistot sisältävät paljon ominaisuuksia, joiden oppiminen vie aikaa ja joilla voi vaikuttaa tulostusjälkeen.

Tässä osiossa käsitellään ohjelmistoja, joilla voi suunnitella oman 3D-mallinnuksen. Käsitellään myös ohjelmistoja, joilla valmistellaan eli viipaloidaan valmis 3D-malli ja tuotetaan g-koodi, jota tulostin ymmärtää. Myös tulostimen hallitsemiseen tarkoitettuja eli 3D printer host-ohjelmia tarkastellaan.

### 3.1 Suunnitteluohjelmat

Omien 3D-mallinnuksien suunnitteluun käytettäviä ohjelmia löytyy laajalti ilmaisista ohjelmistoista maksullisiin lisenssiohjelmiin, joista kannattaa valita omaan käyttöön sopiva suunnitteluohjelma. Tässä kappaleessa tutustutaan muutamaaan suosituimpaan 3D-mallinnusohjelmaan.

#### 3.1.1 SketchUp

Arkkitehdeille alun perin suunniteltu Google SketchUp soveltuu hyvin myös muiden kolmiulotteisten mallien suunnitteluun. Se on yksinkertainen ja helposti opittava ohjelmisto, joka sopii hyvin aloittelijoille. Siinä on kattavat ominaisuudet ja se sisältää workshopin, josta voi ladata ylimääräisiä lisäosia ilmaiseksi.

Helppokäyttöinen SketchUp on ilmainen ja hyvin suosittu harrastelijoiden keskuudessa. Lisähinnasta saa pro-version joka sisältää ylimääräisiä ominaisuuksia (5).

#### 3.1.2 Blender

Blender on ilmainen 3D-mallinnusohjelmisto kattavin ominaisuuksin. Sen avulla voi tuottaa mm. malleja, animaatioita, simulaatioita, jopa pelejä. Monipuolisten ominaisuuksiensa takia Blender ei ole aloittelijaystävällisin vaihtoehto. Suuren yhteisönsä puolesta oppiminen kuitenkin voi olla helppoa, koska tietoa ja apua Blenderin käyttöön löytyy paljon (5).

### 3.1.3 Solidworks

Ammattikäyttöön suunniteltu Solidworks on tarkoitettu insinööreille ja suunnittelijoille. Se on harrastelijoille usein liian kallis mallinnusohjelma, mutta sen kattavat ominaisuuden takaavat mahdollisuuden monipuolisiin sovelluksiin. Takaisinmallinnus, simulaatio ja 3D-mallinnukset onnistuvat tehokkaasti CAD-ohjelmiston ansiosta helposti (5).

### 3.1.4 Tinker CAD

Aloittelijaystävällinen Tinkercad on ilmainen ja se sisältää kaikki tärkeimmät työkalut omien 3D-mallinnuksien valmistuksessa, joten sillä on hyvä aloittaa oma 3D-mallinnusharrastus. Kun TinkerCAD on hallinnassa, on järkevää siirtyä monipuolisempiin ohjelmistoihin kuten Solidworksiin (5).

## 3.2 Tulostusohjelmistot

3D-tulostukseen tarvitaan ohjelmistoja, joilla 3D-mallit viipaloidaan ja tuotetaan g-koodi joka ohjaa tulostinta, sekä tulostuksen valmisteluohjelmia, joilla voidaan skaalata ja asetella 3D-malli tulostusalustalle kuten halutaan.

### 3.2.1 Cura

Ilmainen Cura-ohjelmisto sisältää viipalointiin ja tulostimen hallitsemiseen tarvittavat välineet. Se on suosittu harrastelijoiden keskuudessa helppokäyttöisyytensä ja nopeutensa vuoksi. Cura sopii aloittelijoille yksinkertaisuutensa vuoksi (5).

### 3.2.2 Repetier Host

Repetier host on myös kombinaatio viipalointi- ja tulostimenhallintaohjelmistoista. Se on ilmainen ja sisältää hyvät ominaisuudet, joten se on hyvä vaihtoehto aloittelijalle (5).

### 3.2.3 Simplify3D

Maksullinen Simplify3D on yksi suosituimmista premium-ohjelmistoista. Sen avulla 3D-malleja voi korjata, valmistella, esikatsella, ja viipaloida. Kattavien ominaisuuksiensa ja nopeutensa ansiosta Simplify3D on houkutteleva vaihtoehto harjaantuneemmille harrastajille (5).

### 3.3 Yhteenveto ohjelmistoista

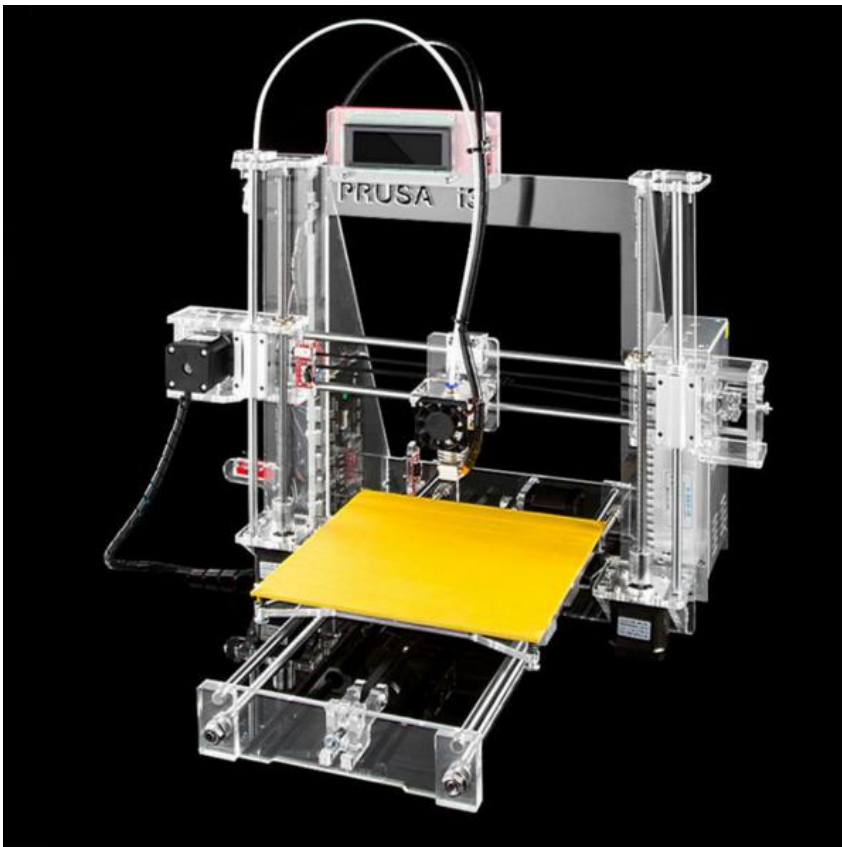
Vaihtoehtoja tulostimelle käytettävistä ohjelmistoista on kymmeniä, mutta on tärkeää miettiä mikä niistä sopii itselle parhaiten. Aloittelijoiden on syytä aloittaa helppokäyttöisillä ohjelmilla, kun taas harjaantuneempi tulostaja voi käyttää monipuolisempia ohjelmia parhaan tuloksen takaamiseksi. Itse valitsin oman tulostimeni kanssa käytettäväksi Repetier hostia joka sisältää viipalointityökalun sekä itse tulostimen hallintaohjelman. Se sisältää kaikki tarvittavat ominaisuudet ja on tarpeeksi yksinkertainen aloittelijalle.

## 4 OMAN TULOSTIMEN VALINTA

Tässä kappaleessa käsitellään oman 3D-tulostimen valintaa ja sitä, miksi päädyttiin tähän tiettyyn tulostimeen.

Minulla oli tietyt puitteet, mihin tulostimen piti pudota. Ensinnäkin sen piti olla halpa, koska opiskelijalla ei ole paljoa ylimääräistä rahaa. Toiseksi tulostimen piti olla suhteellisen luotettava ja yleinen, jotta siitä löytyisi mahdollisimman paljon tietoa internetistä ongelmatilanteiden varalta.

Näiden rajoitteiden perusteella päädyin tilaamaan oman tulostimeni kiinalaisesta nettikaupasta nimeltään AliExpress (9). Nettisivulta löytyy satoja eri tulostinvaihtoehtoja, mutta itse päädyin valitsemaan yhden suosituimmista malleista, koska siitä oli paljon hyvää palautetta ja sen mukana sai 2 kiloa tulostuslankaa (kuva 6).



*KUVA 6. Valitsemani tulostin.*

Tulostin on mallia RepRap Prusa i3, josta löytyy useita eri konfiguraatioita, mutta rungon rakenne on kaikissa sama. Prusa i3 on yksi yleisimmistä, ellei jopa yleisin itserakennettavan 3D-tulostimen muoto. Tästä syystä päädyin itsekin valitsemaan tämän mallisen tulostimen.



Yhteensä kuluja tulostimen hankinnalle tuli noin 290 euroa ja hinta sisälsi tullimaksut ja postikulut. Paketti saapui parissa viikossa kotiovelle kuljetettuna ja sarjan rakennukseen kului noin 7 tuntia (Kuva 7).



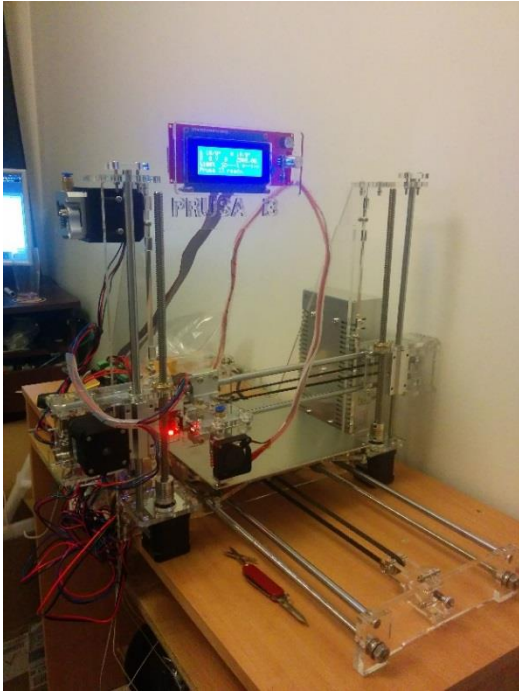
*Kuva 7. Paketti saapui hyvin pakattuna*

Tulostimen osat olivat hyvin paketoituja ja kaikki palaset olivat ehjiä, kun aloitin kasaamisen (Kuva 8).

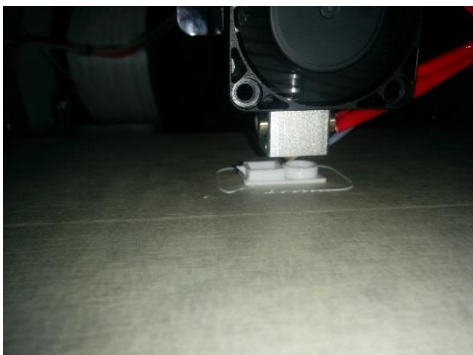


*Kuva 8. Tulostin rakennettiin pala kerrallaan.*

Paketin mukana tuli dvd, jolla oli hyvät ohjeistusvideot osien kasaamiseen, joten kasaaminen oli hyvin vaivatonta. Pian tulostin olikin jo kasassa ja valmis tulostamaan. Seuraavaksi vuorossa oli perehtyä ohjelmistoon mikä tuli myös dvd-levyllä. Tämä oli myös helppoa, sillä tähänkin oli video, jolla ohjeistettiin oikeiden asetusten laittaminen.



*Kuva 9. Valmis tulostin.*



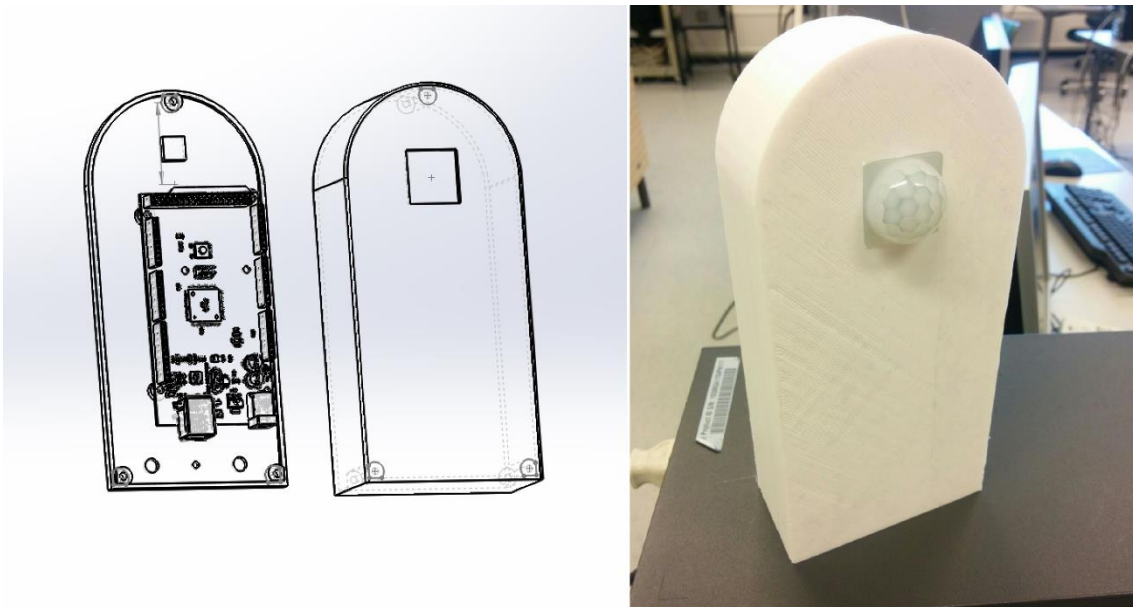
*Kuva 10. Ensimmäinen tulostus.*

Ensimmäiset tulostukset alkoivat sujua pieniä säätöjä vähitellen tekemällä (Kuva 10).

Loppujen lopuksi olen tyytyväinen valitsemaani tulostimeen, hyvän lopputuloksen saavuttaminen on ollut työlästä. Itse tulostin ei ole vaatinut suurempia säätöjä, mutta suurin osa hienosäädöstä tapahtuu ohjelmiston päässä. Tulostusnopeus, -lämpötila sekä monet muut pienet asiat vaikuttavat paljon lopputulokseen ja niiden ihanteellisen suhteen löytäminen on vienyt aikaa. Tulen tulevaisuudessa päivittämään tulostintani mahdollisimman hyväksi eri lisäosilla, kuten paremmalla jäähdytyksellä, koska aina on tilaa parannuksille.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön ensimmäisen osan tarkoitus oli käsitellä 3D-tulostuksen tekniikoita, historiaa sekä oman tulostimen valintaa. 3D-tulostustekniikkoja on monia ja niitä käsitellessä löydettiin kotitulos-  
tajalle toimivin tulostusperiaate, joka on FDM-tekniikka, sen edullisuuden, helppokäyttöisyyden  
sekä saatavuuden takia. Käsiteltiin myös ohjelmistoja, joita tarvitaan 3D-tulostuksessa ja valittiin  
itselle sopivin ohjelmisto, joka oli Repetier Host, sen helppouden vuoksi. Viimeiseksi käsiteltiin  
oman tulostimen hankintaa ja valintaperusteita, jolloin päädyttiin kiinalaiseen Prusa i3-tulostimeen,  
sen edullisuuden ja hyvän maineen vuoksi. Tulostin saatiin hankittua ja sitä ehdittiin hyödyntämään  
jopa kansainvälisessä yhteistyöprojektissa suunnittelemalla ja tulostamalla unenseurantalaitteelle  
kotelo. (Kuva 11.)



KUVA 11. Unenseurantalaite.

Kaikki tärkeimmät asiat saatiin pääosin käsitellyä dokumentissa, mutta vielä jäi varaa kertoa lisää asioista. Mielestäni kuitenkin opinnäytetyön ensimmäisen osan opetukselliset tavoitteet tuli saavutettua. Olen tyytyväinen asioihin, jotka saatiin purettua tässä dokumentissa ja tästä on hyvä jatkaa työtä toisessa osassa.

## LÄHTEET

Andrew Duffy, Ottawa citizen 2015. A brief history of 3D printing. <http://ottawacitizen.com/news/local-news/the-evolution-of-3d-printing> Hakupäivä: 11.2.2016

Dana Goldberg 2014. History of 3D Printing: It's Older Than You Are (That Is, If You're Under 30). <http://lineshapespace.com/history-of-3d-printing/> Hakupäivä: 11.2.2016

Types of 3D printers or 3D printing technologies overview <http://3dprintingfromscratch.com/compare/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/> Hakupäivä: 18.2.2016

Tietoa eri tulostustekniikoista ja termeistä. <http://www.rpcase.fi/Sovellukset/Tietoa-eri-tekniikoista>  
[Hakupäivä 17.3.2016](#)

Software & Tools. <http://3dprintingforbeginners.com/software-tools/> Hakupäivä 14.4.2016

Alienexpress. <http://www.aliexpress.com/>. Hakupäivä: 6.5.2016

Joonas Träskelin

## **TESTAUSSUUNNITTELU PAINETTAVALLE ANTURILLE**

## TESTAUSSUUNNITTELU PAINETTAVALLE ANTURILLE

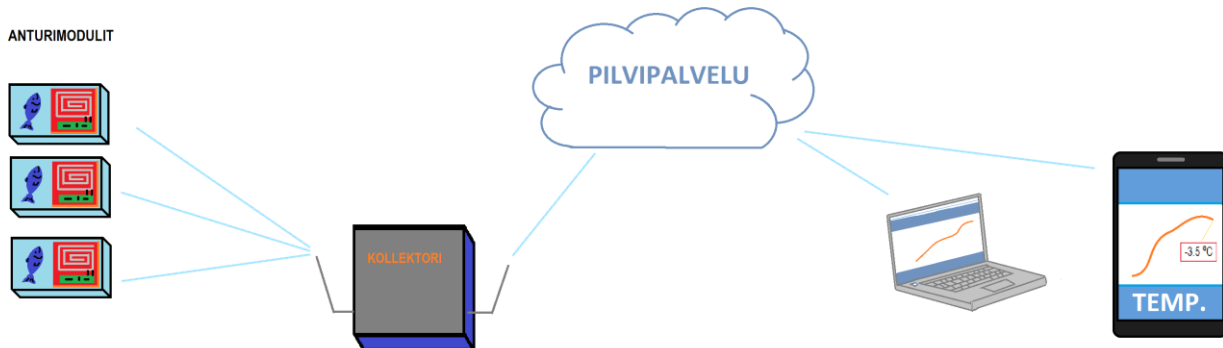
Joonas Träskelin  
Opinnäytetyö toinen osa  
Kevät 2018  
Tieto- ja viestintäteknikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

**SISÄLLYS**

1	JOHDANTO .....	4
2	TESTAUKSEN KOHDE JA TAVOITTEET .....	6
2.1	Testauksen kohde .....	6
2.2	Tavoitteet.....	8
3	TESTAUSYMPÄRISTÖ .....	12
4	TESTAUKSEN ORGANISOINTI JA RAPORTOINTI .....	9
4.1	Testaajaryhmän kokoonpano .....	9
4.2	Raportointi .....	9
5	TESTAUSSTRATEGIA.....	10
5.1	Testikappaleen tarkastus.....	11
5.2	Mittaukset.....	11
5.3	Hyväksymiskriteerit .....	11
6	TESTITULOSTEN ANALYSOINTI.....	15
7	KALIBROINTISUUNNITELMA.....	19
8	ANTURIN KOKOONPANO PIIRILEVYLLE.....	21
8.1	Sensorilevyn yhdistäminen kollektoriin .....	23
8.2	Vastusarvotaulukko .....	26
9	YHTEENVETO .....	27
	LÄHTEET.....	28

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä aiheena on tehdä testaussuunnitelma sekä kalibrointisuunnitelma Smart-Fish-hankkeessa käytettävälle painetulle lämpötila-anturille. Oulun ammattikorkeakoulu on osallisena kansainvälisessä hankkeessa, joka on lähtöisin Norjan kalateollisuuden tarpeeseen kehitteille laitetusta järjestelmästä. Järjestelmän tavoitteena on kehittää älykäs etikettijärjestelmä (englanniksi Smart-Label System), joka monitoroi sekä seuraa lämpötilaherkkien kauppatavaroiden kuljetusta tuottajalta kuluttajalle. Etiketti on kiinni tarkkailtavassa tuotteessa ja mittaa sen lämpötilaa, samalla lähettämällä tiedon telekommunikaatiojärjestelmälle, joka kokoaa datan ja lisää tietoon aikaleiman ja GPS-koordinaatit, jonka jälkeen järjestelmä lähettää tiedon eteenpäin palvelimelle pilvipalveluun. Palvelin tallentaa tiedot tietokantaan, josta niitä voidaan helposti tarkastella verkkoselaimen tai mobiilisovelluksen kautta. Näin varmistetaan kylmäketjun säilyminen, tuotteiden oikeaoppinen käsittely ja taatusti laadukas tuote. Työssä keskitytään pääasiassa painettuun lämpötila-anturiin, joka kiinnitetään elintarvikelaatikoihin. (Kuva 1.)



KUVA 1. Havainnollistava kuva toimitusketjun seurannasta

Tämän työn tavoitteena oli testitapausten perusteella edistää ja auttaa kehittämään erityinen lämpötila-anturi, joka soveltuu elintarvikkeiden lämpötilan seuraamiseen. Anturi haluttiin saada mittaamaan kohteen lämpötila 0,5 °C:n tarkkuudella, jolloin saavutetaan selkeä kuva elintarvikkeiden kylmäketjun säilyvyydestä. Testien avulla tavoitteena oli löytää antureista paras vaihtoehto käytettäväksi lopullisessa tuotteessa. Testaussuunnitelman pohjalta suoritettiin sen mukaiset tes-



tit ja perehdyttiin saatuihin testituloksiin tarkemmin. Testaussuunnitelman lisäksi tehtiin kalibrointi-suunnitelma jatkoon valitulle painettavalle lämpötila-anturille. Kalibroinnin aikana valittiin oikeanlaiset vastusarvot piirille, johon anturi tulee kiinni. Oikean kokoisten vastusten avulla oli tarkoitus saada anturi näyttämään todenmukaisia lämpötila-arvoja. Testaussuunnitelmassa pyrittiin kattamaan testausprosessi mahdollisimman monipuolisesti ja tarkasti.

Hankkeeseen on kerätty osalliseksi suuri asiantuntijayhteisö islantilaisia, norjalaisia sekä suomalaisia työryhmiä. Hanketta johdetaan Islannissa ja projektin koordinaattorina toimii tohtori Ragnheiður I Þórarinsdóttir. Islantilaiset ovat vastuussa projektin vetämisestä, vaatimusten ja mallin suunnittelusta sekä myös datan analysoinnista ja sen esittelystä. Suomalaistyöryhmä toimii Oulussa ja on vastuussa painettavan lämpötila-anturin tekemisestä, virrankulutuksen hallinnasta ja langattoman yhteyden rakentamisesta. Norjalaisen Nofima-instituutin rooli hankkeessa on yhdistää tietokannan data elektroniseen tuoteinformaatioon, joka on olemassa pakastettujen elintarvikkeiden toimitusketjussa. Lisäksi hankkeessa on mukana useita yhtiökumppaneita, jotka ovat pääasiassa norjalaisia ja islantilaisia kalateollisuuden yrityksiä. (1.)

Työssä on uutuusarvona painettavan elektroniikan hyväksikäyttö laitteessa. Vasta viime aikoina painettava elektroniikka on alkanut olla realistinen vaihtoehto perinteisten teknologiavalmistusmenetelmien joukossa. Tulevaisuudessa painettava elektroniikka on yhä tärkeämmässä asemassa, kun tavoitellaan edelleen pienempiä ja tiiviimpiä kotelointiratkaisuja uusille laitteille. Painettavalla elektroniikalla on monia etuja verrattaessa perinteiseen tapaan tuottaa piirilevyjä: painamismenetelmällä tuotettu piirilevy on muun muassa ohuempi, se voidaan tuottaa taipuisasta materiaalista ja se on helpompi valmistaa kuin perinteinen lasikuituvahvisteinen kuparifoliopiirilevy.

## 2 TESTAUKSEN KOHDE JA TAVOITTEET

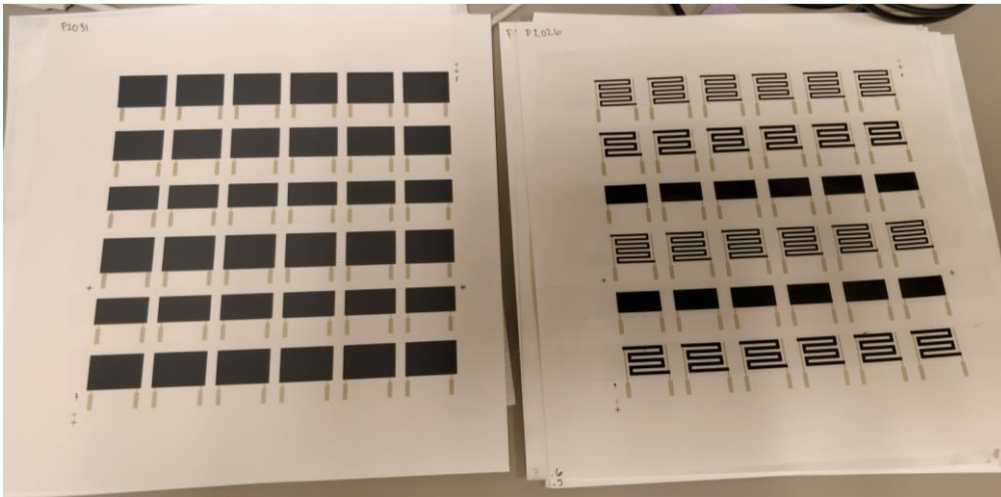
### 2.1 Testauksen kohde

Testauksen kohteena oli kymmenen arkillista silkkipainomenetelmällä tehtyjä termistoreita eli lämpötila-antureita. Antureiden koko, kuviointi sekä eristemateriaali vaihtelivat testattavien kolmen erilaisen anturityypin välillä. Substraatti eli materiaali, jolle anturi painettiin, pysyi samana kaikilla antureilla. Kaikki anturit oli myös painettu samaa mustetta käyttäen. Kymmenestä arkista, jotka painettiin, puolet eristettiin musteella ja puolet eristettiin laminoimalla yksi kerros läpinäkyvää muoviteippiä antureiden pinnalle. Taulukossa 1 esitellään painoprosessissa käytetyt materiaalit. Sensorikerroksen muste haluttiin pitää vielä salassa, joten sen tuottajaa ei voida kertoa.

*TAULUKKO 1. Antureiden valmistuksessa käytetyt materiaalit*

<b>Anturin osa</b>	<b>Kuvaus</b>	<b>muste PN/tuottaja</b>	<b>Prosessi</b>
Johtimet	Hopeapainomuste	LS-411AW Asahi	Silkkipaino
Painomuste	Grafiitti muste	Salainen	Silkkipaino
Eriste	Eristemuste	D2070423P5 SunChemical (2.)	Silkkipaino
Substraatti	Muovikalvo	135HWLD Hydroprint	

Testauksessa oli kolme eri layoutilla tehtyä anturia. Antureiden layoutin lisäksi testattiin kahdenlaista eristemateriaalia, mustetta ja teippilaminointia (kuva 2). Anturit valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun tiloissa sijaitsevassa Prinlab-laboratoriossa. Valmistusmenetelmänä käytettiin silkkipainomenetelmää, jossa painoseulan läpi vedetään painolastalla muste painoalustalle, jolloin tuloksena saadaan painoseulalle suunniteltu kuvio (3).



KUVA 2. Testauksen kohteena olleet anturit, vasemmalla eristemuste ja oikealla laminoidut

Anturien luominen oli monivaiheinen prosessi. Ensimmäiseksi pohjamateriaalille painettiin hopeamusteella referenssielektrodit, joiden tarkoitus oli toimia johtimien kiinnityspisteinä. Toisella painokerralla referenssielektrodien päälle painettiin grafiittimusteella haluttu anturikuvio eli työelektrodikerros. Kuvassa 3 näkyy työelektrodien kuvio mustana ja referenssielektrodien kuvio harmaana.

Viimeisenä painettiin eristemusteella eristekerros viidelle arkille kymmenestä. Jokaisen painovaiheen välissä arkit kuivattiin niille tarkoitetussa kuivausuunissa. Ne arkit, joiden antureita ei eristetty musteella, laminoitiin myöhemmin yhdellä kerroksella teippiä. Antureiden välillä suurin ero oli johdinrakenteessa. Ensimmäinen anturityyppi koostui pidemmästä ja ohuemmasta johtimesta, toisessa käytettiin hieman lyhyempää ja paksumpaa rakennetta. Kolmas anturi koostui yhdestä paksusta laatikkomaisesta johtimesta (kuva 3).



KUVA 3. Anturityypit

## 2.2 Tavoitteet

Tämän työn tavoitteena oli testitapausten perusteella auttaa kehittämään erityinen lämpötila-anturi, joka soveltuu elintarvikkeiden lämpötilan seuraamiseen. Haluttiin valita kuvan 3 anturityypistä sopivin ja kehittää kalibrointijärjestelmä, jonka avulla voidaan säätää lämpötila-anturi toimimaan 0,5 °C:n tarkkuudella. Testien avulla tavoitteena oli löytää antureista paras vaihtoehto käytettäväksi lopullisessa tuotteessa.

### 3 TESTAUKSEN ORGANISOINTI JA RAPORTOINTI

Testaussuunnitelman täytyy sisältää tiedot testaajaryhmän kokoonpanosta sekä tiedot, kuinka työn raportointi hoidetaan. Aluksi laadittiin lista hankkeen hyväksi toimivista henkilöistä ja esiteltiin, kuka on vastuussa projektin eri aihealueista. Selvitettiin myös, että kenelle ja miten työssä saadut tulokset raportoidaan.

#### 3.1 Testaajaryhmän kokoonpano

Testausryhmään kuuluvat seuraavat henkilöt:

Joonas Träskelin	Opiskelija
Harri Määttä	OAMK:n erikoistutkija
Henry Hinkula	Projektisuunnittelija
Tomi Tuomaala	Projektisuunnittelija

Joonas Träskelin kokoaa testaussuunnitelman, dokumentoi testauksen ja on osallisena tehtävissä testeissä. Hän suorittaa myös antureiden kalibroinnin ja siihen tarvittavat laskelmoinnit. Harri Määttä sekä Tomi Tuomaala toimivat painettavien anturien tuottamisen ja testaamisen johdossa. Henry Hinkula on vastuussa antureiden tarvitsemasta elektroniikasta ja sen tuotannosta.

#### 3.2 Raportointi

Testitulokset raportoidaan tähän työhön testaussuunnitelman jälkeen. Testien perusteella tehdään arvio parhaasta anturivaihtoehdosta. Testien edetessä tuloksia tarkastellaan ja niistä keskustellaan työn tilaajien Harri Määtän ja Henry Hinkulan kanssa.

## 4 TESTAUSSTRATEGIA

### 4.1 Testien suorittaminen

Testattavat anturit asetellaan testikammion alustalle pystysuoraan materiaalipuoli ylös, niin että materiaali ei kosketa alla olevaa alustaa. Tarvittaessa testikappale voidaan kiinnittää ritilään parhaaksi nähdyllä tavalla, jolloin vältetään testikappaleen liikkumiselta testin aikana. Mittaamisessa käytettävät johtimet tulee myös kiinnittää hyvin testikappaleeseen sekä testikammioon. Testausjärjestelmän tulee pysyä koskemattomana koko testin ajan, että vältetään häiriöitä testaustuloksessa. Jos mitataan painetun kerroksen paksuutta tai pinta-alaa, mittauspisteet tulee merkitä testikappaleeseen.

Testin aikana lämpötila säädetään tiettyjen määriteltyjen välien mukaan (taulukko 2), jonka jälkeen mitataan testikappaleen resistanssi. Jokaisen lämmönsäätökerran jälkeen tulee odottaa tarpeeksi pitkä aika, ennen kuin vastusarvo mitataan. Testi suoritetaan yhdelle kappaleelle ainakin kaksi kertaa peräkkäin, jolloin saadaan selville mahdollinen variaatio resistanssissa.

TAULUKKO 2. Lämpötila ja vastusarvo

Lämpötila °C	1. Testikerta [ $\Omega$ ]	2. Testikerta [ $\Omega$ ]
-1		
0		
1		
2		
4		
8		
10		
20		

Testien aikana testikappaleet tulee pitää irrotettuna ulkoisista virtalähteistä, että vältetään häiriöitä testidatassa. Jokaisen anturin testaus tulee suorittaa samoilla järjestelyillä ja testien vaihei-

den tulee pysyä kullakin testikerralla muuttumattomana. Esimerkiksi mittauslämpötilojen suorittaminen väärässä järjestyksessä voi vaikuttaa testituloksiin haitallisesti ja vaikeuttaa myös tuloksien yhdenmukaista raportointia.

#### **4.2 Testikappaleen tarkastus**

Testikappaleet tulee tarkastaa silmämääräisesti ennen testaamista sekä testaamisen jälkeen, jolloin varmistetaan, että testikappaleesta ei löydy poikkeavuuksia, kuten epämuodostuneisuutta, murtumia, halkeilua tms. Jos poikkeavuuksia havaitaan, tulee niistä kirjoittaa tiedot testiraporttiin. Virheellinen testikappale voi antaa vääristyneen testituloksen ja haitata testausprosessia.

#### **4.3 Mittaukset**

Testikappaleen resistanssi mitataan yleismittaria tai jotain muuta soveliaista mittavälinettä käyttäen. Mittaus suoritetaan lämpötiloissa  $-1\text{ °C}$ ,  $0\text{ °C}$ ,  $+1\text{ °C}$ ,  $+2\text{ °C}$ ,  $+4\text{ °C}$ ,  $+6\text{ °C}$ ,  $+8\text{ °C}$ ,  $+10\text{ °C}$  sekä huoneenlämmössä ( $\sim+21\text{ °C}$ ). Suhteellinen ilmankosteus tulee pitää vakiona  $\sim 30\%$ .

Määrätyistä olosuhdemääritelmistä ei saa poiketa, vaan tulee pysyä tarkasti lämpötila- sekä ilmankosteusrajoissa. Näin varmistetaan testien ehdottomuus ja taataan, että joka testitapaus on käynyt läpi juuri samat olosuhteet. Testitulosten perusteella saadaan siten valittua soveliain anturi jatkokehitystä varten.

#### **4.4 Hyväksymiskriteerit**

Testattavan anturin tulee näyttää vastusarvo suoraan verrannollisena lämpötila-arvon mukaan. Mikäli vastusarvo heittelee arvaamattomasti testin aikana, testikappale hylätään. Testikappaleen rakenne tulee olla ehjä. Jos kappaleen painojäljessä huomataan silmämääräisesti vaurioita, testikappale hylätään.

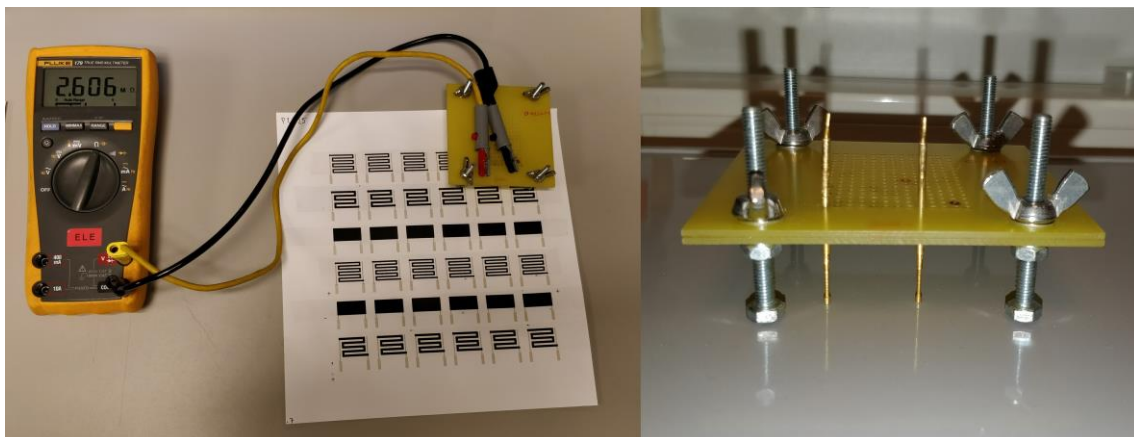
## 5 TESTAUSYMPÄRISTÖ

Testit suoritettiin OAMK:n painettavan elektroniikan laboratorion tiloissa. Taulukosta 3 käy ilmi, mitä välineitä tarvittiin testien aikana. Testausympäristöstä löytyi kaikki tarvittavat mittalaitteet ja välineet anturin perusteelliseen testaamiseen.

TAULUKKO 3. Testauksessa käytetyt työvälineet

Välineet	Malli
Olosuhdekaappi	Heraeus Vötsch HT 4002 (4)
Digitaalinen yleismittari	Fluke 179, Fluke 79
Lämpötilasensori	80BK integroitu DMM lämpötila-anturi
Resistanssin mittaustyökalu	-
Optinen pinnan topografi skanneri	Focalspec X400

Ennen olosuhdekaapissa testaamista kaikkien antureiden resistanssi mitattiin huoneenlämmössä käyttämällä erikoistutkijan Harri Määtän sekä projektisuunnittelija Tomi Tuomaalan kehittämää mittaustyökalua (kuva 4). Työkalun avulla saatiin mitattua jokainen anturi siten, että mittapään kosketuspinta-ala, kontaktiresistanssi sekä paine olivat mahdollisimman vakiot (5).



KUVA 4. Mittaustyökalu käytössä antureiden mittauksessa



Testauksessa käytetty olosuhdekaappi Heraeus Vötsch HT 4002 (kuva 5) on mikroprosessori-pohjainen lämpötilanohjain ja -monitorointijärjestelmä. Seuraavat tiedot voidaan asettaa terminaaliiin ja ne näytetään digitaalinäytöllä:

- Lämpötila celsiusasteina.
- Asetettu sekä nykyinen lämpötila-arvo.
- Manuaalinen sekä automaattinen operointi. Voidaan ohjelmoida maksimissaan 99 testiohjelmia, joissa on 99 riviä, yhteensä 2000 ohjelmointiriviä.
- Ohjelmallinen lämpötilan rajoitus testitilan minimi- sekä maksimilämpötilalle.
- Lämpötila-alue  $-40\text{ °C} - +130\text{ °C}$ . (4)



KUVA 5. Mittausjärjestelyt

Haluttu antureiden testilämpötila-alue oli  $-1\text{ °C} - +10\text{ °C}$ , joka oli hyvin olosuhdekaapin rajoissa. Olosuhdekaappia ohjattiin testien aikana manuaalisesti. Kohdelämpötilan saavutettua otettiin kuva yleismittareista, jotka kukin olivat kiinni omassa anturissaan ja mittasivat sen resistanssia. Kuvan avulla saatiin tallennettua antureiden senhetkinen vastusarvo kaikilta yhtä aikaa.

Antureiden resistanssin muutosta seurattiin testien aikana neljällä Fluke 179 -yleismittarilla sekä kahdella Fluke 79 -yleismittarilla, jotka olivat kiinni antureissa hauenleukapuristimilla (kuva 6). Jokaiselle lämpötila-anturille oli oma yleismittari, jonka avulla saatiin mitattua anturin vastusarvoa jatkuvasti. Anturit kohotettiin korokkeella noin puoleenväliin testikammiota, jotta lämpötilanjakautuminen olisi optimaalinen ja testitulokset luotettavia.

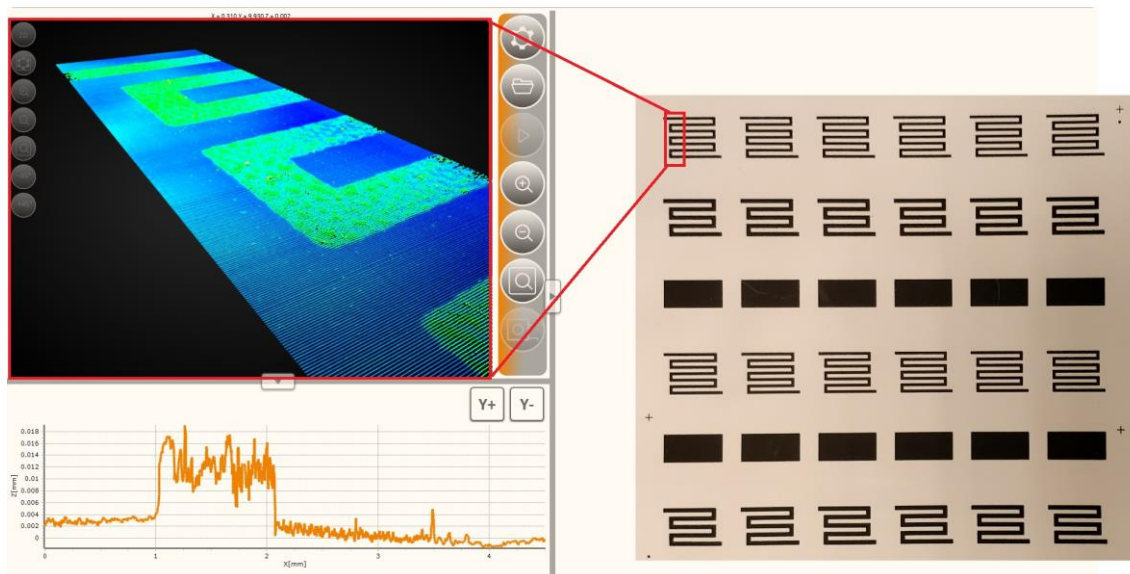


KUVA 6. Anturit olosuhdekammiossa

Lämpötilaa seurattiin testien aikana olosuhdekammion omalta lämpötilanäytöltä. Lisäksi lämpötilanseuraamiseen käytettiin yhtä Fluke 179 -yleismittaria, johon kiinnitettiin 80BK integroitu DMM-lämpötila-anturi. Anturi asetettiin mittaamaan ilman lämpötilaa keskeisesti antureihin nähden. Olosuhdekammion ja yleismittarin lämpötilasensoreiden lukemien perusteella pystyttiin ottamaan vastusarvoista näyte juuri oikean lämpötilan kohdalla suhteuttamalla lämpötilojen mitta-arvot. Luottamalla pelkästään yhteen lämpötilamittauksen lähteeseen olisi ollut hankalampi saada yhtä toistettavia tuloksia.



Koska epäiltiin, että painoprosessissa tapahtui jotain, mikä vaikuttaa antureiden vastusarvojen keskinäiseen vaihteluun, päätettiin mitata toiminnallisen mustekerroksen paksuus optisella pinnan topografiskannerilla. Testikohteena oli yksi arkki, jolle ei ollut painettu referenssielektrodeja eikä työelektrodimustepinnan päälle lisätty eristettä. Tavoitteena oli mitata ainoastaan toiminnallisen mustekerroksen paksuus. Kerrospaksuuden mittaamiseen käytettiin optista pinnan topografiskanneria Focalspec X400, jonka avulla pystytään mittaamaan ilman kontaktia mustekerroksen mittasuhteita, kerrospaksuutta ja pinnan rosoisuutta 1  $\mu\text{m}$ :n tarkkuudella. Mittatietojen perusteella voitiin luoda kolmiulotteinen pintaprofiilikuva mitattavasta pinnasta. (6.) Skannerin ohjelmiston avulla saatiin tehtyä myös kuvaajat pintaprofiileista. (Kuva 8.)



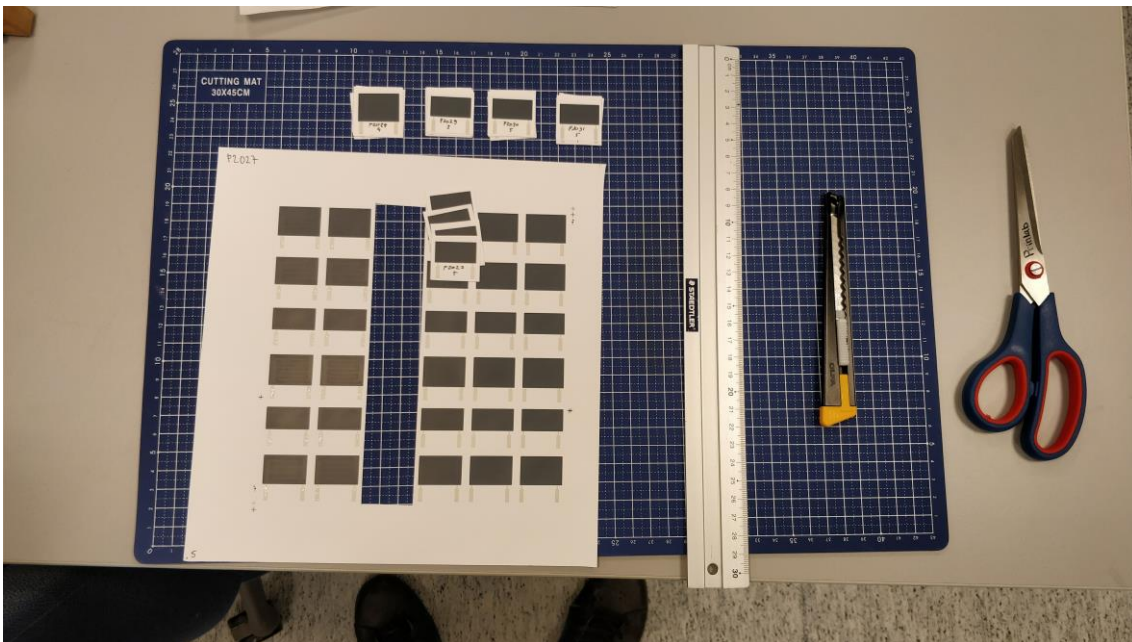
KUVA 8. Anturin pinnan topografiskannaus

Optisella pinnan topografiskannerilla tehdyt mittauksen tukivat päätelmää, että silkkipainoprosessin aikana musteen jakaantuminen arkille vaihtelee ja vaikuttaa antureiden resistanssiin. Skannauksissa huomattiin, että keskimääräinen kerrospaksuus vaihteli hieman eri osissa arkkia. Kerrospaksuus oli suuremmalla vastusarvolla olevilla antureille pienempi kuin pienemmällä vastusarvolle olevilla antureilla. Keskimääräisen kerrospaksuuden määrittäminen oli haastavaa, mutta saatiin kuitenkin selvitettyä tarpeeksi tarkasti vertailemalla ohjelmiston luomia kuvaajia.

Huoneenlämmössä tehtyjen mittausten jälkeen siirryttiin tekemään testit olosuhdekaapissa. Tiu-kan aikataulun ja turhan ylimääräisen työn välttämiseksi päätettiin testata joka arkilta vain yksi pystyrivi antureita. Osasyyn päätökseen testata vain yksi pystyrivi oli se, että jatkoon valikoitunutta

anturia testataan tulevaisuudessa lisää, joten ei nähty tarpeelliseksi testata jokaista 360 anturia. Haluttiin vain löytää kolmesta vaihtoehdosta paras.

Pystyrivi leikattiin irti kohdasta, missä resistiivisyys oli keskiarvoisimmillaan vaakarivin antureilla. Sen jälkeen antureihin kirjoitettiin arkin koodi sekä rivinumero, jotta ne eivät sekoittuisi keskenään (kuva 9). Sama toistettiin jokaiselle kymmenestä arkista ja oltiin valmiita testeihin, joissa testattiin jokaisen arkin keskiarvoisin pystyrivillinen sensoreita.



KUVA 9. Muste-eristeellä olevien antureiden valmistelu testejä varten

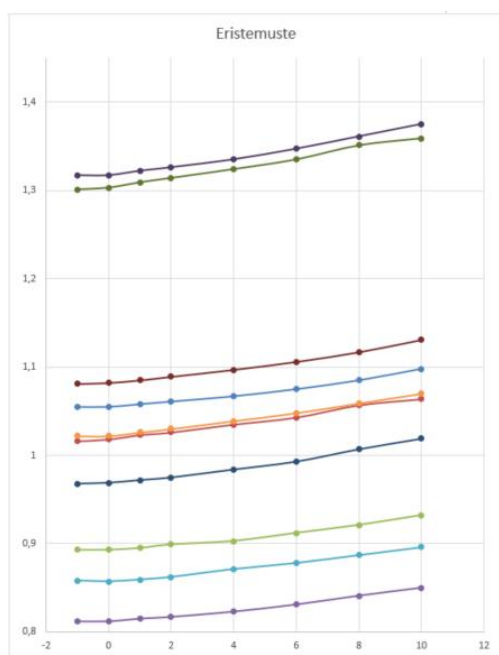
Anturit jäähdytettiin olosuhdekaapissa  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen ja anturin annettiin tasoittua noin 10 minuuttia, jonka jälkeen lähdettiin nostamaan lämpötilaa askel kerrallaan lämpötilaan  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jonka jälkeen lämpötilaa nostettiin 2 celsiusastetta kerrallaan, kunnes saavutettiin  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Joka askeleella, kun lämpötila oli tasaantunut tavoitteeseen, otettiin kuva kaikista yleismittareista ja näin saatiin kaikkien antureiden hetkellinen vastusarvo talteen. Testin jälkeen kuvista kirjattiin tiedot ylös Excel-taulukkoon ja tietojen perusteella luotiin kuvaajia antureiden käyttäytymisestä. Testit suoritettiin kahteen otteeseen, jotta mahdolliset virhearvot huomattaisiin.

Kun kummankin testikerran tulokset saatiin kirjattua ylös, oli vuorossa tietojen analysointi ja havainnollistavien kuvaajien luonti. Kuvaajien avulla oli tarkoitus selkeyttää anturien toiminnan lineaarisuutta sekä anturien resistiivisyyden keskinäistä hajontaa. Vaikka kaikkia antureita ei testattu, oli kerätyn testidatan määrä mittava.

Kuvaajien ja laskelmien mukaan valittiin paras vaihtoehto kolmesta anturityypistä jatsoon. Jatkokehitykseen valitsemiseen vaikutti anturin tasalaatuisuus, vastusarvojen kokoluokka ja se, että ne vaihtelisivat mahdollisimman vähän saman anturityypin kesken. Excel-taulukkoon laskettiin jokaisen anturin tuloksista, paljonko vastusarvo nousi yhtä celsiusastetta kohden. Laskettiin myös, montako prosenttia vastusarvo nousi testatun lämpötila-alueen sisällä (kuva 10). Hyvä anturi oli sellainen, jonka vastusarvo nousi aina saman verran samanlaisten antureiden kanssa. Antureiden resistiivisyys vaihteli eri anturityypien sisällä paljon, mutta anturien käyttäytyminen eri lämpötiloissa oli samankaltaista (kuva 11). Kuvaajista pyrittiin löytämään mahdollisimman lähekkäin asettuvia tuloksia ja haluttiin myös nähdä, että jokaisessa mitatun anturin käyrä on mahdollisimman samanlainen saman testausryhmän antureilla.

Lämpötila	P2027-2	Lämpötila	P2028-2	Lämpötila	P2029-2	Lämpötila	P2030-2	Lämpötila	P2031-2
20	1,185	20	1,177	20	1,018	20	0,945	20	0,898
-1	1,055	-1	1,016	-1	0,893	-1	0,812	-1	0,858
0	1,055	0	1,018	0	0,893	0	0,812	0	0,857
1	1,058	1	1,023	1	0,895	1	0,815	1	0,859
2	1,061	2	1,026	2	0,899	2	0,817	2	0,862
4	1,067	4	1,035	4	0,903	4	0,823	4	0,871
6	1,075	6	1,043	6	0,912	6	0,831	6	0,878
8	1,085	8	1,057	8	0,921	8	0,841	8	0,887
10	1,098	10	1,064	10	0,932	10	0,85	10	0,896
kohm/C	3,91	4,36	3,55	3,45	3,45				
%	4,1	4,7	4,4	4,7	4,4				

KUVA 10. Testitulostaulukko anturien käyttäytymisestä  $-1 - +10$  °C alueella

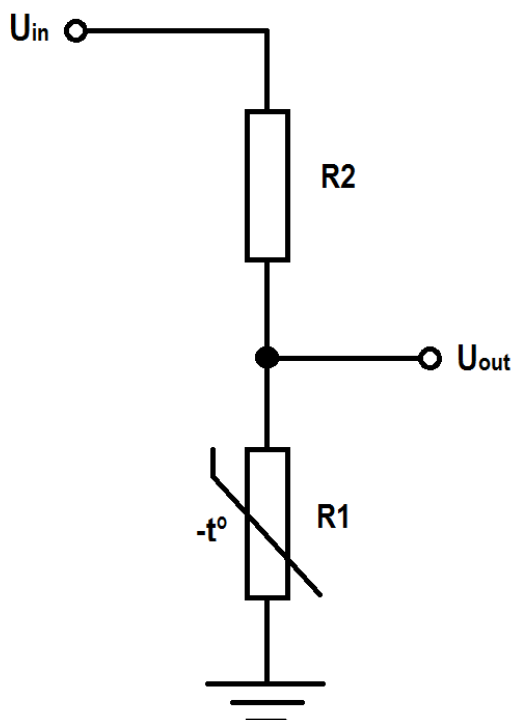


KUVA 11. Kuvaaja testattujen anturien käyttäytymisestä

## 7 KALIBROINTISUUNNITELMA

Kalibrointisuunnitelman avulla pyrittiin helpottamaan projektin myöhemmässä vaiheessa tapahtuvaa anturimoduulien tuotantoa siten, että tässä työssä tehdyn taulukon (taulukko 4) avulla voidaan helposti katsoa, minkä arvoisen jännitteenjakovastuksen tulee olla, kun tiedetään lämpötila-anturin ominaisuudet.

Kalibrointisuunnitelman tarkoituksena oli saada laite antamaan todenmukaisia ja haluttuja arvoja lämpötila-anturilta. Teoreettisesti tarkasteltuna tässä työssä käytetyssä laitteessa kalibrointi on hyvin yksinkertaista. Koska lämpötila-anturin resistiivisyys muuttuu suhteessa lämpötilaan, on mahdollista tehdä lämpötilanmittaus jännitteenjakoa apuna käyttämällä. AD-muunnoksen jälkeen saadaan luettua lämpötila jännitteestä ja kalibrointi tapahtuu vaihtamalla kiinteän vastuksen arvoa. Kuvassa 12 on yksinkertaistettu piirros piirilevyllä olevasta jännitteenjakopiiristä. R1 vastaa painettua lämpötila-anturia ja R2 on piirilevyiltä löytyvä kiinteä vastus, jonka arvoa muuttamalla kalibroidaan lämpötila-arvo todenmukaiseksi.



KUVA 12. Yksinkertaistettu kuva piirilevyn jännitteenjaosta

Lämpötilan noustessa lämpötila-anturin resistiivisyys nousee, jolloin puolestaan jännitteenjakajan ulostulojännite pienenee. Tämän tyyppistä vastusta kutsutaan PTC-termistoriksi, joka on lämpötilan mittauksissa yleisesti käytettyjen NTC-termistoreiden vastakohta. PTC on lyhenne sanoista Positive Temperature Coefficient, ja usein niitä käytetään ylikuormitussuojina ja lämpöelementteinä. (7.) Tässä työssä kuitenkin PTC-termistoria hyödynnetään lämpötilan mittaamiseen samalla periaatteella kuin NTC-termistoria, erona vain se, että lämpötila-arvon laskemiseen käytetään eri kaavaa. Tässä työssä ei kuitenkaan perehdytä tarkemmin palvelimella tapahtuvaan lämpötila laskentaan ja kaavoihin, koska tavoitteena oli ainoastaan anturin testaaminen ja kalibrointi.

Lähtökohtaisesti haluttiin mitoittaa piirilevylle tuleva kiinteän vastuksen resistanssi samaan kokoluokkaan kuin painetulla anturilla on lämpötilan ollessa  $-1\text{ °C} - +2\text{ °C}$ . Näin piirilevyn lähettämä mittadatan arvo asettuu 12-bittisen arvoalueen puoleen väliin ja saadaan laskettua lämpötila. Käytännössä kuitenkin alue ei ollut mikrokontrollerin sisäisten resistanssien takia täysi 4095-tilainen, vaan mittauksien perusteella se rajoittui 3100 tilaan lähdejännitteen ollessa noin 3,3 voltia. Jos kiinteän vastuksen ja anturin ominaisresistanssin ero on liian suuri, jännitteenjaossa syntyvän ulostulojännitteen resoluutio on liian pieni ja tarkan lämpötila-arvon tuottaminen mahdollonta. Esimerkiksi jos kiinteän vastuksen arvo on  $10\text{ k}\Omega$  ja painetun anturin vastusarvo kohdelämpötilassa on  $1,0\text{ M}\Omega$ , niin 3,3 voltin sisääntulo jännitteestä ulostulojännite on 0,0326 voltia eli käytännössä 0, jolloin palvelimella tapahtuva lämpötilan laskeminen epäonnistuu. AD-muuntimen arvo on verrannollinen ulostulojännitteen arvoon ja lämpötila lasketaan AD-muuntimen arvosta, jonka täytyy olla tietyllä alueella, että oikea lämpötila saadaan laskettua.

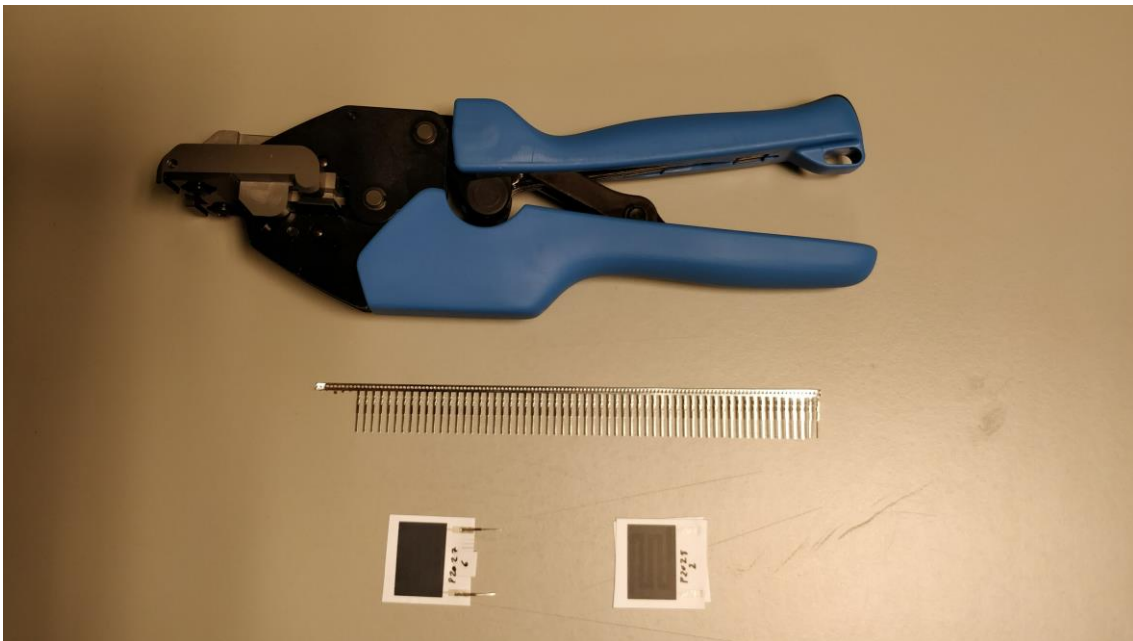


## 8 ANTURIN KOKOONPANO PIIRILEVYLLE

Kun oli perehdytty anturin kalibrointiin teoriassa, pystyttiin hyödyntämään opittuja asioita käytännössä. Painetun anturin ominaisuuksien perusteella lähdettiin kokoamaan toimivaa kokonaisuutta. Prototyypin vaatiman muun elektroniikan ollessa valmiina voitiin keskittyä antureiden kasaamiseen piirilevylle ja sen jännitteenjaosta vastuussa olevaan osa-alueeseen.

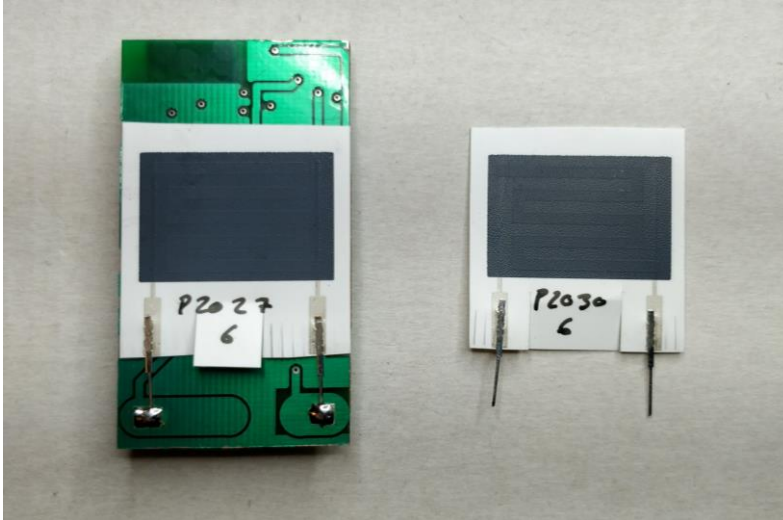
### 8.1 Lämpötila-antureiden valmistelu

Testattuihin antureihin täytyi puristaa liittimet, jotta se saataisiin juotettua piirilevylle kiinni. Antureihin käytettiin patentoituja 1,27mm:n Crimpflex-uroslittimiä, jotka on kehitetty varta vasten painettavan elektroniikan tarpeisiin. Liittimet puristettiin antureiden referenssielektrodien päälle siihen tarkoitetuilla Hand Crimp Tool HCT-127 -puristuspihdeillä, jotka löytyvät kuvasta 13. Liittinten puristamisen jälkeen tarkistettiin yleismittarilla sähkönjohtavuus ja se, että kaikki liittimet olivat kunnolla kiinni referenssielektrodeissa.



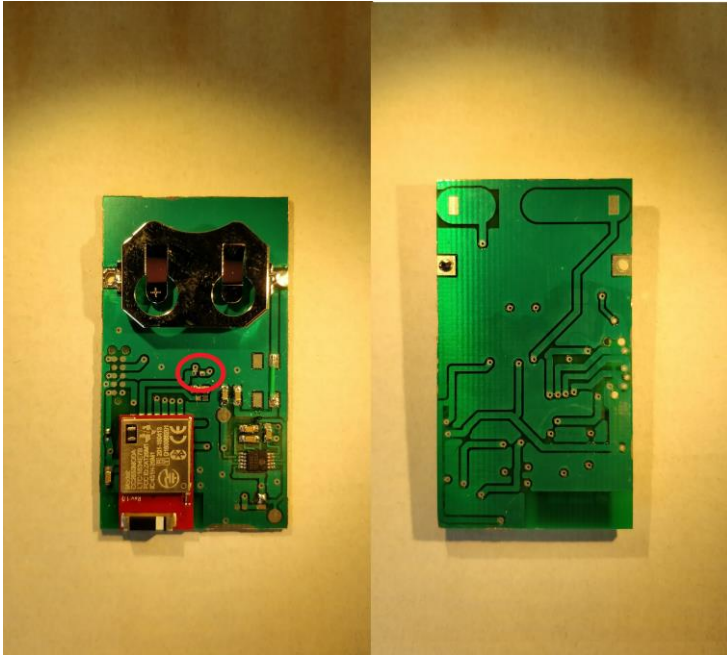
KUVA 13. Antureihin puristettiin liittimet juottamista varten

Kun liittimet saatiin puristettua kaikkiin tarvittaviin antureihin, oli vuorossa juottaminen piirilevyille. Piirilevyjen lakkapinnoitetta täytyi hieman raapia irti, jotta liittimet saatiin kohdistettua juotospisteisiin oikein. Juotettavat pinnat puhdistettiin isopropanolilla ja pyyhittiin, jonka jälkeen pinnoille lisättiin hieman juotetta. Anturin liittimet juotettiin nopeasti kiinni piirilevyille, että välttyttiin liialta kuumentumiselta, joka olisi voinut vaurioittaa anturia (kuva 14).



*KUVA 14. Valmis kokoonpano ja vierellä anturi, johon on puristettu liittimet*

Kun tiedettiin lämpötila-anturin vastusarvo kohdelämpötilassa, voitiin mitoittaa jännitteenjaossa käytettävä kiinteä vastus oikeaan kokoluokkaan ja juottaa se piirilevyille. Kuvasta 15 on ympyröity vastus, joka vastaa lämpötila-anturin kanssa jännitteenjaosta. Vastuksen vastusarvo määriteltiin pyöristämällä se lähimpään tarjolla olleiden pintaliitosvastusten kokoluokkaan, kun painetun anturin vastusarvo oli  $-1^{\circ}\text{C} - +2^{\circ}\text{C}$ . Esimerkiksi kun anturin vastusarvo oli kohdelämpötila-alueella  $0,976\text{ M}\Omega$ , valittiin kiinteän vastuksen kooksi  $1,0\text{ M}\Omega$ . Luvussa 8.3 esitellään vastusarvotaulukko, jonka mukaan valittiin anturille sopiva vastus.

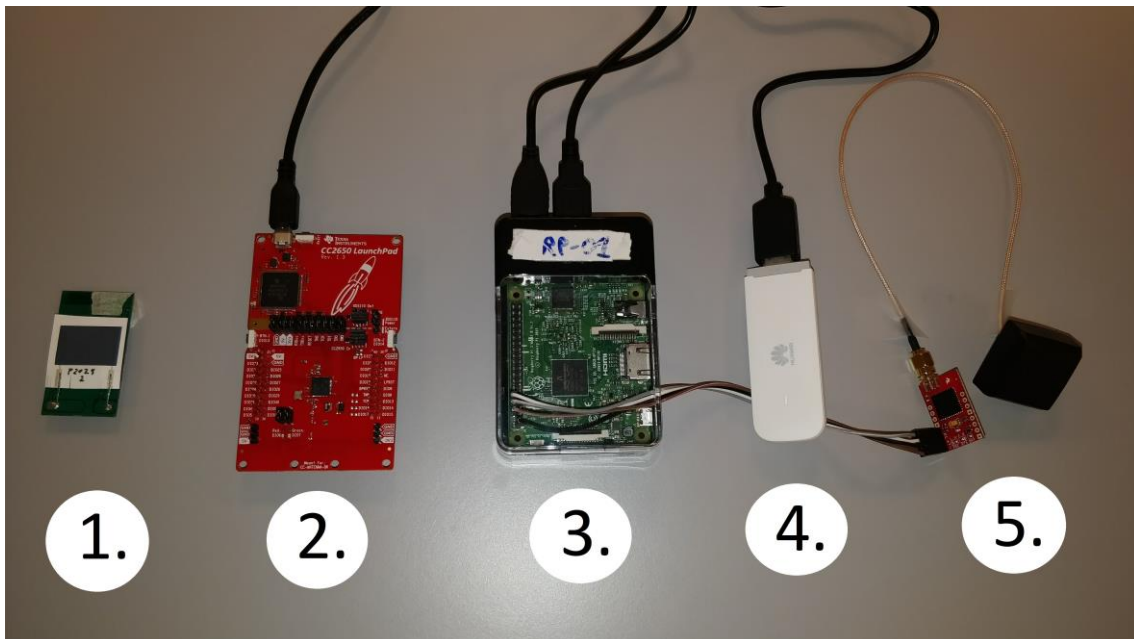


KUVA 15. Piirilevy, johon anturi juotettiin paikoilleen, kiinteä vastus ympyröitynä

## 8.2 Sensorilevyn yhdistäminen kollektoriin

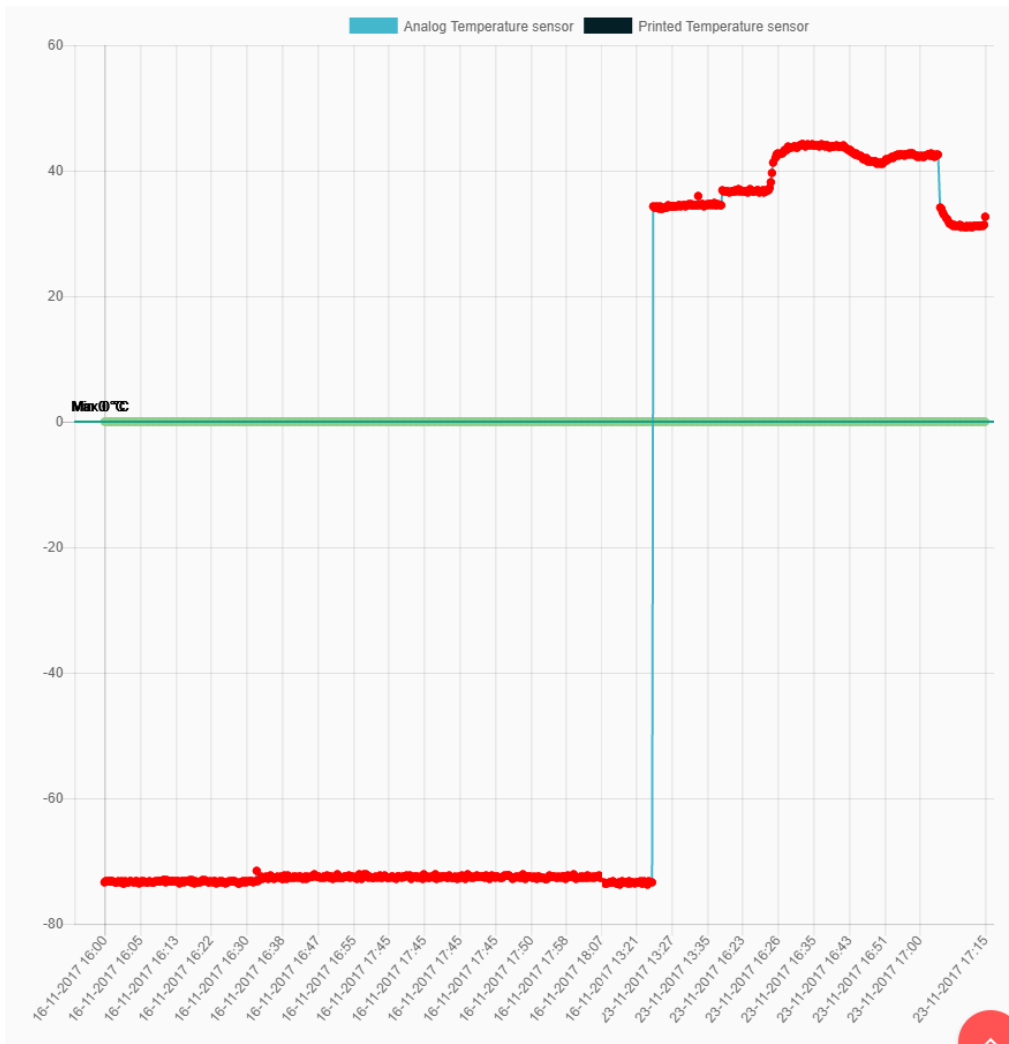
Kun anturin ja piirilevyn kokoonpanon oli valmiina, ryhdyttiin testaamaan, onnistuuko piirilevy lähettämään lämpötilatietoja kollektorille. Kun piirilevyllä annettiin käyttöjännite paristolta, lähti radio käyntiin ja se alkoi etsimään kollektoria jolle lähettää lämpötilamitta-arvoja. Kollektorin roolissa toimi Raspberry Pi 3B -tietokone. Sen terminaalien kautta täytyi käynnistää palvelimen skripti, joka lähettää tietoa pilvipalveluun Bluetooth-yhteyden saatuaan. Terminaalien kautta saatiin seurattua myös samalla piirilevyn serverille lähettämää tietovirtaa.

Muita oleellisia komponentteja kokoonpanossa ovat kuvasta 16 löytyvät osat. Border-router TI CC2650 Launch pad toimi rajapintana ja loi yhteyden tiedonsiirrolle anturimoduulin ja Raspberry Pin välillä. Huawei E160E USB-modeemin avulla saatiin internetyhteys, jotta tiedot saatiin siirrettyä palvelimelle. Sparkfun Venus GPS-moduulia käytettiin lisäämään lämpötilatietoihin sijaintitiedot.



KUVA 16. Kokoonpano kollektorin kanssa. 1. Anturimoduuli 2. Border-Router 3. Raspberry Pi 3B 4. Huawei E160E USB-modeemi 5. Venus GPS-moduuli

Kaikki anturimoduulit saatiin testattua ja yhdistettyä kollektoriin. Jokaiselle piirilevyille tehtiin olosuhdekaapissa testi, jossa se ensin jäähdytettiin huoneenlämmöstä  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen, jonka jälkeen lämpötila nostettiin  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen. Anturin lähettämää tietovirtaa seurattiin ja mitta-arvoja otettiin talteen tarkempaa analysointia varten. Projektille tehtyjen verkkosivujen kautta pystyttiin tarkastelemaan kuvaajaa, jossa näkyi palvelimella laskettu lämpötila ajan funktiona (kuva 17). Kuvaajasta näkyy, kuinka piirilevy, johon ei ollut juotettu painettua lämpötila-anturia oli lähettänyt lämpötila-arvoa  $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lämpötila-anturi juotettiin paikoilleen, piirilevy käynnistettiin ja yhdistettiin kollektoriin, joka lähetti verkkosivulle mitattuja lämpötila-arvoja. Tehdyt lämpötilamittaukset kuitenkin olivat käänteisiä ja eivät vastanneet todellisia lämpötila-arvoja. Virheelliset mitta-arvot johtuvat palvelimella tehtävistä laskutoimituksista, jotka ovat vastuussa AD-muuntimen arvojen muuttamisesta lämpötila-arvoiksi. Todettiin kuitenkin, että anturin käyttäytyminen oli lämpötilasta riippuvaista. Siten täytyy muokata lämpötila-arvojen laskenta vastaamaan todellisuutta.



KUVA 17. Projektin verkkosivuilta löytyvä lämpötilakuvaaja

### 8.3 Vastusarvotaulukko

Jännitteenjakovastuksen valintaa helpottamaan tehtiin taulukko, jonka avulla tuotantovaiheessa kevennetään työtaakkaa vastusta määriteltessä, kun tiedetään painetun anturin ominaisuudet. Taulukkoon 4 on listattu anturin vastusarvo huoneenlämpötilassa eli noin +20 °C ja sitä vastaava kiinteän jännitteenjakovastuksen arvo. Taulukko 4 on tehty e24-sarjan pintaliitosvastusten arvojen mukaisesti.

TAULUKKO 4. Kalibrointitaulukko

Jännitteenjakovastuksen vastusarvo	Anturin vastusarvo huoneenlämpötilassa	Jännitteenjakovastuksen vastusarvo	Anturin vastusarvo huoneenlämpötilassa
300 kΩ	300–315 kΩ	1,8 MΩ	1,71–1,9 MΩ
330 kΩ	316–345 kΩ	2 MΩ	1,91–2,1 MΩ
360 kΩ	346–375 kΩ	2,2 MΩ	2,11–2,3 MΩ
390 kΩ	376–410 kΩ	2,4 MΩ	2,31–2,55 MΩ
430 kΩ	411–450 kΩ	2,7 MΩ	2,56–2,85 MΩ
470 kΩ	451–490 kΩ	3 MΩ	2,86–3,15 MΩ
510 kΩ	491–535 kΩ	3,3 MΩ	3,16–3,45 MΩ
560 kΩ	536–590 kΩ	3,6 MΩ	3,46–3,75 MΩ
620 kΩ	591–650 kΩ	3,9 MΩ	3,76–4,1 MΩ
680 kΩ	651–715 kΩ	4,3 MΩ	4,11–4,5 MΩ
750 kΩ	716–785 kΩ	4,7 MΩ	4,51–4,9 MΩ
820 kΩ	786–865 kΩ	5,1 MΩ	4,91–5,35 MΩ
910 kΩ	866–955 kΩ	5,6 MΩ	5,36–5,9 MΩ
1 MΩ	0,956–1,05 MΩ	6,2 MΩ	5,91–6,55 MΩ
1,1 MΩ	1,06–1,15 MΩ	6,8 MΩ	6,56–7,15 MΩ
1,2 MΩ	1,16–1,25 MΩ	7,5 MΩ	7,16–7,95 MΩ
1,3 MΩ	1,26–1,4 MΩ	8,2 MΩ	7,95–9,1 MΩ
1,5 MΩ	1,41–1,55 MΩ	10 MΩ	9,1–10 MΩ
1,6 MΩ	1,56–1,7 MΩ		

Anturimoduulin jatkokehityksessä olisi järkevää lisätä jännitteenjakovastuksia kaksi kappaletta, jolloin olisi mahdollista määrittää haluttu resistanssi tarkemmin kytkemällä vastukset sarjaan. Me-gaohmiluokassa vastusten välinen vastusero kasvaa, mitä suuremmaksi vastusarvot nousevat. Vastusten välinen ero voi olla kahden vierekkäisen vastuksen välillä useita satoja ohmeja, jolloin on vaikea löytää anturin vastusarvoa vastaava kiinteä vastus.

## 9 YHTEENVETO

Tavoitteena opinnäytetyössä oli painettavan lämpötila-anturin testaussuunnittelu ja testaaminen. Asetetut tavoitteet saavutettiin ja työn tuloksena saatiin testattua anturimoduulin prototyyppi onnistuneesti. Työ sisälsi paljon mielekästä käytännön tekemistä, joka antoi lisäintoa kirjoittamiselle. Tässä työssä esitelty tapa käyttää painettavan elektroniikan menetelmiä lämpötila-anturin tuottamiseen on vain yksi esimerkki, mihin monikäyttöistä painettua elektroniikka voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Tekniikan ja osaamisen kehittyessä tulemme varmasti elämään yhä enemmän painetun elektroniikan keskellä.

Opinnäytetyön aikana opin lisää painettavan elektroniikan kanssa työskentelystä ja sain paljon uutta tietoa laboratorion henkilökunnalta. Työssä käytiin läpi Smart-Fish-hankkeen perustiedot, anturin testaamisen suunnittelu ja suunnitelman toteuttaminen. Testitulokset analysoitiin ja niiden pohjalta siirryttiin kalibroimaan anturimoduuli, jotta painetun anturin mittaamat lämpötila-arvot vastaisivat mahdollisimman tarkasti todellisuutta. Työn aikana sai siis suorittaa monipuolisia tehtäviä komponenttien juottamisesta aina olosuhdekaappitestaamiseen ja testituloksien dokumentointiin.

Työssä saatujen tuloksien perusteella painettu lämpötila-anturi on potentiaalisesti todellinen tuote jo lähitulevaisuudessa. Jatkokehittävää on vielä kuitenkin jäljellä, että anturit saadaan esittämään tarkkaa lämpötila-arvoa. Tavoitteena ollut puolen asteen tarkkuus lämpötilan mittaamisessa jäi vielä epäselväksi ja varmistuu vasta, kun palvelimen ohjelmaan tehdään lämpötilan laskentaan tarvittavat muutokset. Testituloksien perusteella mittatarkkuus vaikutti kuitenkin lupaavalta. Painettujen antureiden tulisi olla mahdollisimman tasalaatuisia ja vastusarvoiltaan samanlaisia. Anturimoduulin jännitteenjakopiiriä tulee muokata siten, että voidaan määrittää kiinteän vastuksen vastusarvo kohtaamaan tarkemmin painetun anturin vastusarvoa. Smart-Fish-hankkeen edetessä edellä mainitut asiat saadaan varmasti kehitettyä vastaamaan vaatimuksia ja tässä työssä saadut tulokset päästään hyödyntämään hankkeen hyväksi.

## LÄHTEET

1. Smart-Fish. 2017. Saatavissa: <http://smart-fish.eu/about/>. Hakupäivä 26.10.2017.
2. D2070423P5 Grey Dielectric Paste. 2017. SunChemical Gwent Group. Saatavissa: [http://www.gwent.org/gem\\_data\\_sheets/biosensor\\_products/polymer\\_based\\_dielectric\\_materials/grey\\_dielectric\\_d2070423p5.pdf](http://www.gwent.org/gem_data_sheets/biosensor_products/polymer_based_dielectric_materials/grey_dielectric_d2070423p5.pdf). Hakupäivä 20.12.2017.
3. Hoppy, A. 1997. Screen printing for the industrial user. SunChemical Gwent Group. Saatavissa: [http://www.gwent.org/gem\\_screen\\_printing.html](http://www.gwent.org/gem_screen_printing.html). Hakupäivä 16.11.2017.
4. Temperature Test Chamber VT 4002 Operating Instructions. 1996. Vötsch Industrietechnik. Saatavissa: [http://doc.es.aau.dk/fileadmin/doc.kom.aau.dk/labs\\_facillities/control/manuals/VT4002\\_climate\\_chamber.pdf](http://doc.es.aau.dk/fileadmin/doc.kom.aau.dk/labs_facillities/control/manuals/VT4002_climate_chamber.pdf). Hakupäivä 16.11.2017.
5. Tuomaala Tomi. 2016. Elektrokemiallisten biosensorialustojen valmistus silkkipainotekniikalla OAMK PrinLab ympäristössä. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/118680/Tuomaala\\_Tomi.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/118680/Tuomaala_Tomi.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Hakupäivä 14.11.2017.
6. OAMK. 2016. FocalSpec X400 surface topography measurement system for printed electronics production control. Printlab. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/hankkeet/printlab/equipment/index.php?page=x400>. Hakupäivä 30.11.2017.
7. PTC thermistor. Resistorguide. 2017. Saatavissa: <http://www.resistorguide.com/ptc-thermistor/>. Hakupäivä 21.11.2017.