

Opinnäytetyö (AMK)  
Elektroniikan koulutusohjelma  
Elektroniikkatuotanto  
2014

Saku Katajamäki

# ALOITE KOLMIULOTTEISEN TULOSTIMEN HANKKIMISEKSI



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma | Elektroniikkatuotanto

2014 | Sivumäärä 24 + 11 liitettä

Ohjaaja: Ins.(YAMK) Yngvar Wikström

Saku Katajamäki

## ALOITE KOLMIULOTTEISEN TULOSTIMEN HANKKIMISEKSI

Tässä opinnäytetyössä tehtävänä oli tutustua 3D-tulostukseen, sen valmistusprosessiin ja yleisimpiin teollisuuden käyttämiin tekniikoihin sekä etsiä Turun ammattikorkeakoululle oma pöytämallinen 3D-tulostin. Tehtävänä oli myös valmistella tästä tutkimuksesta hankintaehdotus valikoiduista tulostimista Liiketalous, ICT ja Bioalojen tulosalueelle.

Työ alkoi tutkimalla mitä ovat käsitteet 3D-tulostus ja sen teollisuuden vastine pikavalmistus. Tutkittiin myös miten pikavalmistus eroaa muista valmistustavoista ja minkälainen tämä prosessi on. Seuraavaksi perehdyttiin yleisimpiin pikavalmistusprosesseihin, niiden käyttämiin laitteisiin ja materiaaleihin ja tehdään lyhyt katsaus 3D-tulostamisesta elektroniikkateollisuudessa.

3D-tulostimen hankinta aloitettiin haastatteleamalla elektroniikkalaboratorion opettajia siitä, minkälaiseen käyttöön koulun henkilökunta laitetta tarvitsee. Vaatimuksina oli, että laitteen tulee olla itse koottava, pöytämallia oleva termoplastisen muovin pursotukseen perustuva FDM-tulostin.

Tulostimen etsintä alkoi tavalliseen tapaan laajalla verkkohaulla. Annetuilla parametreilla ja ehdotettuun määrärahaan sopivista tulostimista koottiin lista ja laitteet pisteytettiin kunkin ominaisuuden mukaan.

Tuloksena listan viisi parasta koottavaa ja viisi koottua tulostinmallia valittiin hankintaehdotukseen tarkempaan selvitykseen.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että paras valinta on valmiiksi koottu malli vaativaan käyttöön tarkoitetulle 3D-tulostimelle. Näistä tärkeimmät ominaisuudet olivat laitteen tarkkuus ja nopeus.

ASIASANAT:

3D-tulostus, pikavalmistus, esinetulostus, kolmiulotteinen tulostus, hankintaehdotus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronic Engineering | Electronic Production

2014 | Total number of pages 24 + 11 attachments

Instructor: Yngvar Wikström, M.Eng

Saku Katajamäki

## INITIATIVE TO ACQUIRE A THREE-DIMENSIONAL PRINTER

The goal this thesis was to explore 3D printing, its manufacturing processes, and the most common techniques used in industry, as well as search for a table model 3D printer on behalf of Turku University of Applied Sciences. The task was to prepare a purchase requisition for 3D printers for the needs of the Business, ICT and Life Sciences Faculty.

This thesis first investigates the concepts of 3D printing and rapid manufacturing industry techniques. It also examines how rapid manufacturing is different from other manufacturing methods and what this process actually is. The thesis next focuses on the most common rapid manufacturing processes and their use by equipment and materials, as well as a brief overview of 3D printing in the electronics industry.

The 3D printer acquisition search was initiated by interviewing the Electronics laboratory teachers about the uses of the device. The requirements were that the device must be a self-assembled kit table model of the thermoplastic polymer extrusion-based FDM printer.

The 3D printer exploration began in the usual way of network research. Based on the given parameters and the proposed appropriation compatible printers were listed and equipment was scored for each property.

As a result, a list of the five best non-assembled and five assembled printer models were chosen for the purchase requisition on a more detailed reporting.

The results showed that the best choice is a pre-assembled model for heavy-duty use 3D printers. The most important features were higher accuracy and a higher rate of manufacturing on these models.

KEYWORDS:

3D-printing, rapid manufacturing, object printing, three-dimensional printing, purchase requisition

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 PIKAVALMISTUS</b>	<b>2</b>
Valmistusprosessi CAD-mallista valmiiseen kappaleeseen	4
<b>3 ADDITIIVISET VALMISTUSMENTELMÄT</b>	<b>6</b>
3.1 Fused Deposition Modeling (FDM)	6
3.2 Stereolitografia (SLA)	7
3.3 Selective Laser Sintering (SLS)	7
3.4 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	9
3.5 Laminated Object Manufacturing (LOM)	10
3.6 Electron Beam Melting (EBM)	11
<b>4 PIKAVALMISTUS ELEKTRONIikkATEOLLISUUDESSA</b>	<b>13</b>
Pikavalmistuksen tila Suomen elektroniikkateollisuudessa	14
<b>5 3D-TULOSTIMEN HANKINTA</b>	<b>16</b>
5.1 Halutut ominaisuudet	16
5.2 Tulostinvaihtoehtojen etsintä	17
5.3 Tulostinvaihtoehtojen pisteytys	17
5.4 Hankintaehdotus	19
<b>6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT</b>	<b>21</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>22</b>

## **KÄYTETYT SYMBOLIT JA LYHENTEET**

CAD	Computer-aided Desing, tietokoneavustettu suunnittelu
CNC	Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
DMLS	Direct Metal Laser Sintering, suora metallin lasersintraus
EBM	Electron Beam Melting, elektronisädesulatus
FDM	Fused Deposition Modeling, sulatuskerrostusmenetelmä
LOM	Laminated Object Manufacturing, laminoitu valmistus
PVC	Polyvinyylikloridi
SCAD	Solid Computer-aided Desing, kiinteän kappaleen tietokoneavustettu suunnittelu
SLA	Stereolitografi Aparatus, stereolitografia
SLS	Selective Laser Sintering, valikoiva lasersintraus
STL	Stereolitografia tiedosto, 3D-tulostuksessa käytetty tiedostoformaatti
UV	Ultravioletti

# 1 JOHDANTO

3D-tulostus tekee uutta tulemista ja viime vuosina ala on ollut tekniikan otsikoissa miltei päivittäin. Vaikka 3D-tulostimia ja yrityksiä, jotka tarjoavat kolmiulotteisia tulostuspalveluita, on ollut jo 90-luvulta lähtien. Suuren yleisön tietoisuuteen kolmiulotteinen tulostus on tullut vasta viime aikoina, sen keinot sekä käsitteet ovat vielä monille tuntemattomia ja tätä asiaa on tässä työssä pyritty tutkimaan. Tulostimia saa jo melko pienellä rahalla kotitalouksiin, ja teollisuuden käyttämät koneet ovat monipuolistuneet esim. käyttämään useampaa materiaalia samassa työssä. Teollisuudessa 3D-tulostustekniikasta käytetään myös termejä pikamallinnus ja pikavalmistus [1].

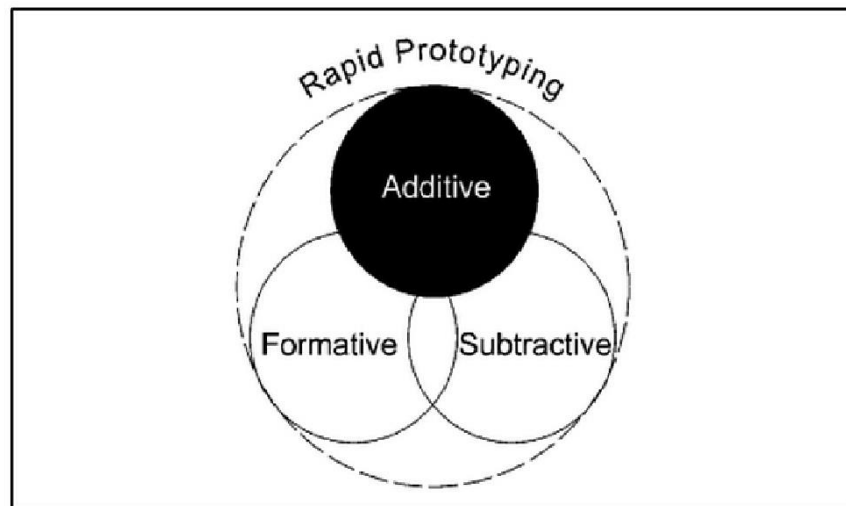
Tieteellisiä tutkimusraportteja on runsaasti, mutta selkeäsanaisista kirjallisuutta vain vähän. Pikamallinnuksesta on Suomessa myös tehty muutamia opinnäytetöitä [23, 24, 25].

Työn pääasiallisena osana oli tarkoitus tutkia kuluttajille suunnattuja työpöydälle sijoitettavia kolmiulotteisia tulostimia ja valmistella hankintaehdotus Turun ammattikorkeakoulun Liiketalous, ICT ja Bioalojen yksikölle pöytämallisen 3D-tulostimen hankinnasta elektroniikkalaboratorioon. Hankintaehdotuksen valmistelu, toteutus ja tulokset on kuvattu tässä työssä ja varsinainen ehdotusdokumentti on lisätty liitteeksi työn loppuun.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin mitä on pikavalmistus, miten se tapahtuu, sekä miten se eroaa muista valmistusmenetelmistä. Tutkitaan myös teollisuuden käyttämiä yleisempiä valmistustapoja ja sitä, miten näitä käytetään elektroniikkateollisuudessa.

## 2 PIKAVALMISTUS

Pikavalmistus (Rapid Prototyping) on kokoelma teknologioita, joilla CAD (Computer Aided Design) dataa hyväksikäyttäen tuotetaan fyysisiä malleja ja kappaleita materiaa lisäävillä valmistustavoilla (Additive Manufacturing). Pikavalmistus on yleinen teollisuuden käyttämä termi, jolla kuvataan valmistuksen nopeutta, tehokkuutta ja tuottavuutta. Se on myös laaja-alainen termi kattaen useita toisistaan erilaisia valmistusmenetelmiä, kuten subtraktiivinen, formatiivinen ja additiivinen valmistus (kuva 1). [1]



**Kuva 1.** Pikavalmistuksen kolme yleisintä valmistusmenetelmää [1, s. 13]

Additiivinen valmistus viittaa menetelmiin, joissa osa rakennetaan lisäämällä materiaalikerroksia päällekkäin. Nämä prosessit ovat luonteeltaan erilaisia kuin subtraktiivinen menetelmä tai formatiivinen menetelmä. Subtraktiiviset prosessit, kuten jysintä, sorvaus tai poraus, käyttää huolellisesti suunniteltuja työkalujen liikkeitä leikkaamalla pois materiaalia työkappaleesta muodostaen halutun osan. Esimerkkinä tästä on piirilevyjen protovalmistuksessa käytetty CNC-jyrsin, jolla ylimääräinen pinnoite poistetaan levyn pinnalta. Formatiivisissa prosesseissa, kuten valu tai muovaus, käytetään räätälöityjä työkaluja jähmettämään materiaali haluttuun muotoon esimerkiksi muotteja käyttämällä. Additiivimenetelmät eivät edellytä mukautettuja työkaluja tai suunniteltuja työkalun liikkeitä. Sen sijaan osat mallinnetaan suoraan digitaalisesta 3D-mallista. Malli muunne-

taan useiksi ohuiksi kerroksiksi ja tuotantolaitteisto rakentaa kunkin kerroksen peräkkäin kunnes osa on valmis. Additiivista valmistusta kutsutaan myös nimikkeillä kerrosittainen valmistus, suora digitaalinen valmistus tai kiinteä vapaamuotoinen valmistus. [1, 2, 3]



**Kuva 2.** Ylhäällä 3D-CAD malli. Vasemmalla kappale jaettu kerroksiksi isoa resoluutiota käyttäen. Oikealla resoluutiota on pienennetty ja kappaleen valmistustarkkuus kasvaa [2, s. 2]

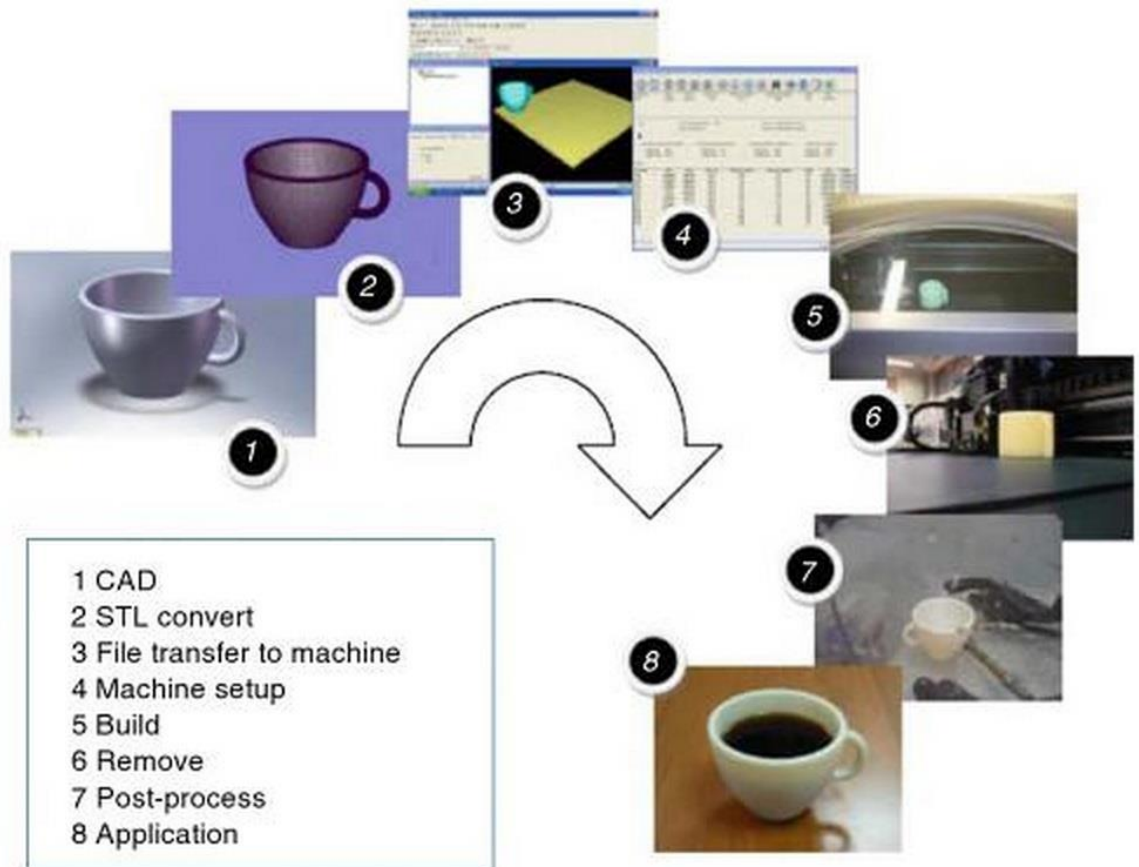
Yhden osan valmistus voi kestää vain muutaman tunnin tai se voi kestää muutaman päivän, riippuen osan koosta ja valmistustarkkuudesta. Kuitenkin prosessit, jotka edellyttävät tilaustyötä, kuten muotit, suunnittelu ja valmistus voi kestää useita viikkoja. Subtraktiivinen valmistus, kuten koneistus, voi tarjota enemmän verrattavissa tuotanto-aikaan, mutta ne ajat voivat kasvaa huomattavasti erittäin monimutkaisilla osilla. [1, 2]



## **Valmistusprosessi CAD-mallista valmiiseen kappaleeseen. [2]**

Materiaa lisäävät valmistustekniikat, kuten 3D-tulostus tai stereolitografia toimivat miltei kaikki samanlaisella kahdeksanportaisella prosessilla (kuva 3).

1. Haluttu kappale mallinnetaan 3D-CAD ohjelmalla, kuten SolidWorks, AutoCAD tai OpenSCAD. Monesti tämä on koko valmistusprosessin työläin ja eniten aikaa vievä osa. Ammattitaitoinen mallintaja suoriutuu työstä lyhyessäkin ajassa.
2. CAD-mallin valmistuttua tiedosto pitää kääntää STL-tiedostomuotoon (Stereolitografia tiedosto), joka toimii kommunikaatiosiltana CAD-tiedoston ja pikamallinnuslaitteen välillä. Tiedostomuunnoksessa voi tapahtua usein virheitä, joita varten on kehitetty tiedoston tarkastus- ja korjausohjelmia parhaan lopputuloksen varmistamiseksi.
3. Valmis ja tarkastettu STL-tiedosto syötetään mallinnuslaitteeseen.
4. Mallinnuslaite valmistellaan kappaleen työstämistä varten, esimerkiksi lisäämällä tarvittava valmistusmateriaali, nestemäinen polymeeri tai polymeerijauhe.
5. Laite aloittaa kappaleen valmistamisen. Kappaleen valmistamiseen voi kuluja tunnista useaan päivään, riippuen kappaleeseen käytettävää resoluutiota (kerroksen paksuutta), volyymikokoa ja korkeutta. Isossa kappaleessa on enemmän kerros-pinta-alaa tulostettavaksi ja korkeassa kappaleessa enemmän kerroksia. Myös kappaleen tarvitsevat tukirakenteet vaativat aikaa ja lisämateriaalia. Jauhepedille valmistetuissa kappaleissa ei yleensä erillisiä tukirakenteita tarvita, koska jauhe itsessään tukee kappaletta. Jos laitteen valmistustasolle mahtuu, pienempiä kappaleita voidaan valmistaa useita samalla kertaa, mikä lisää tehokkuutta.
6. Kappaleen valmistuttua ylimääräinen polymeerineste tai -jauhe otetaan talteen ja kappale poistetaan koneesta jälkikäsittelyyn.
7. Miltei kaikki erilaisilla pikavalmistustekniikoilla tuotetut kappaleet vaativat jonkinlaista jälkikäsittelyä, kuten mahdollisten tukirakenteiden poistamista, nesteen kuivausta, jauheen poistoa pinnalta ja onteloista, sekä pinnan hiomista. Toisinaan kappaleen jälkikäsittely sisältää myös maalauksen.
8. Tämän jälkeen kappale on valmis käyttöön.

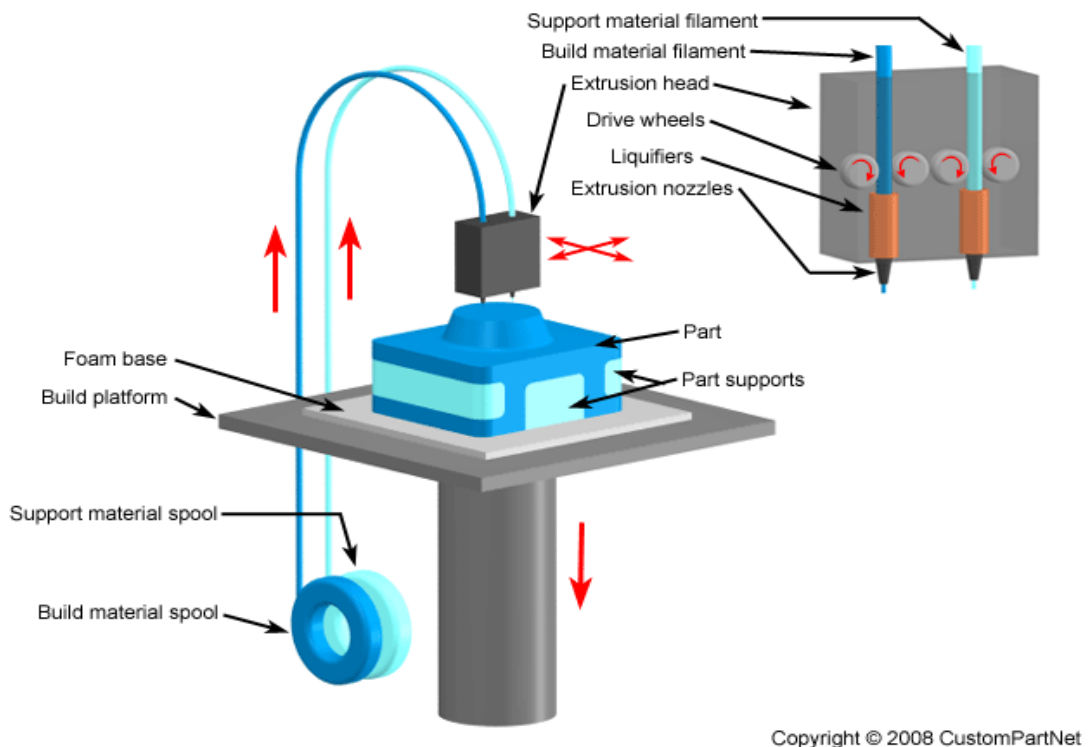


**Kuva 3.** Additiivinen valmistusprosessi CAD-mallista tuotteeksi [2, s. 4]

## 3 ADDITIIVISET VALMISTUSMENETELMÄT

### 3.1 Fused deposition modeling

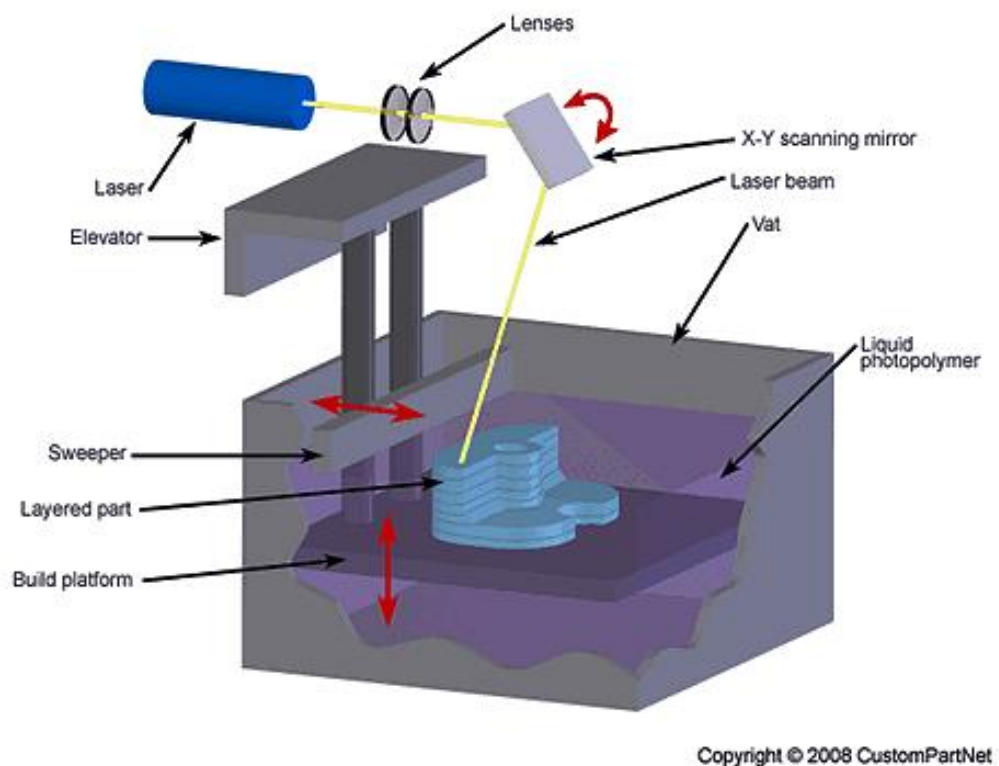
Fused deposition modeling (FDM, sulatuskerrostusmenetelmä) -prosessissa muovi- tai vahasaie syötetään puristussuulakkeen läpi, joka lämmittää materiaalin juuri sulamispisteen yläpuolelle. Suulake liikkuu vaakatasossa muodostaen kerroksen, joka kovettuu välittömästi ja sitoutuu edelliseen kerrokseen. Kerroksen valmistuttua alusta laskeutuu hieman ja suulake syöttää uuden kerroksen. Suulakkeen halkaisija määrittelee kerroksen paksuuden ja tulostustarkkuuden. Suulakkeet ovat helposti vaihdettavissa ja koot vaihtelevat 0,1 mm:stä useisiin millimetreihin. FDM laitteessa voi olla myös tukimateriaalisuulake, jolla syötetään tarvittavat tukiosat kappaleen valmistuksen ajaksi. Tukiosat poistetaan kappaleen valmistuttua, mistä johtuen tukimateriaali on heikkoa ja helposti poistettavaa, joskus jopa vesiliukoista. [1, 3, 4]



**Kuva 4.** FDM laitteen toimintaperiaate [5]

### 3.2 Stereolitografia

Stereolitografia (SLA) on pikavalmistuksessa yleisimmin käytetty tekniikka, joka otettiin käyttöön jo vuonna 1988. SLA prosessissa UV-laser pyyhkii UV herkkää nestemäistä polymeeriä joka kovettuu. Laserin käytyä koko kerroksen läpi terä pyyhkii pinnan ja tasoittaa sen, jonka jälkeen alusta laskeutuu millin sadasosan ja laser aloittaa uuden kerroksen valmistuksen. Osan valmistuttua polymeeriallas tyhjenetään ja osa pestään. Useimmissa tapauksissa osa sijoitetaan vielä UV-uuniin, jonka jälkeen tukiosat poistetaan ja valmis osa hiotaan tai muuten viimeistellään. [1, 3, 6]



**Kuva 5.** SLA-laitteen toimintaperiaate [7]

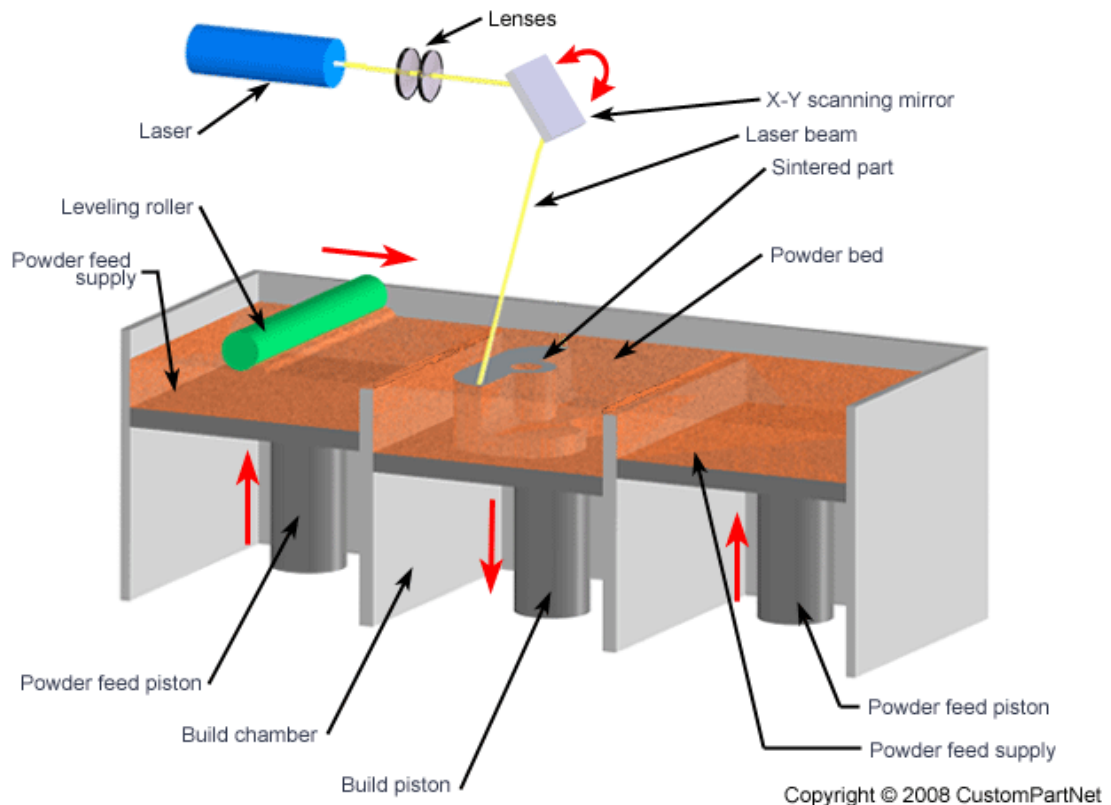
### 3.3 Selective laser sintering

Selective laser sintering (SLS, valikoiva lasersintraus) -prosessi on samankaltainen kuin Stereolitografia. Nestepolymeerin sijaan käytetään polymeeri- tai metallikomposiittijauhetta. Rulla tai kola levittää muutaman mikrometrin kerroksen jauhetta rakennusalustalle, jonka jälkeen lasersäteet kuumentavat jauheen joka sitoutuu edelliseen kerrokseen. Jauhe pidetään korotetussa lämpötilassa, niin että se sulaa helpommin

sintrauksessa. Prosessi toistetaan, kunnes koko kolmiulotteinen kappale on kerrostettu poikkileikkaus kerrallaan.

Toisin kuin stereolitografiassa, erityisiä tukirakenteita ei tarvita, koska ylimääräinen jauhe kussakin kerroksessa toimii tukena osaa rakennettaessa. Metallikomposiittimateriaalia käytettäessä, SLS-prosessissa jähmetetään polymeeriä joka toimii teräsjauheen sideaineena (100 mikronin halkaisija). Osa sijoitetaan tämän jälkeen uuniin yli 900 °C:n lämpötilaan, jossa polymeerisidosaine poltetaan pois (Burn-off) ja osaan lisätään pronsia (soluttautuminen) parantamaan sen tiheyttä. Koneistus ja viimeistely tapahtuvat tämän jälkeen.

SLS mahdollistaa monenlaisien materiaalien, kuten nylon, lasi-nylon, polystyreenit, SOMOS:in (kumimainen) ja aikaisemmin mainittujen polymeerin ja metallikomposiitin käytön. [1, 3, 8]

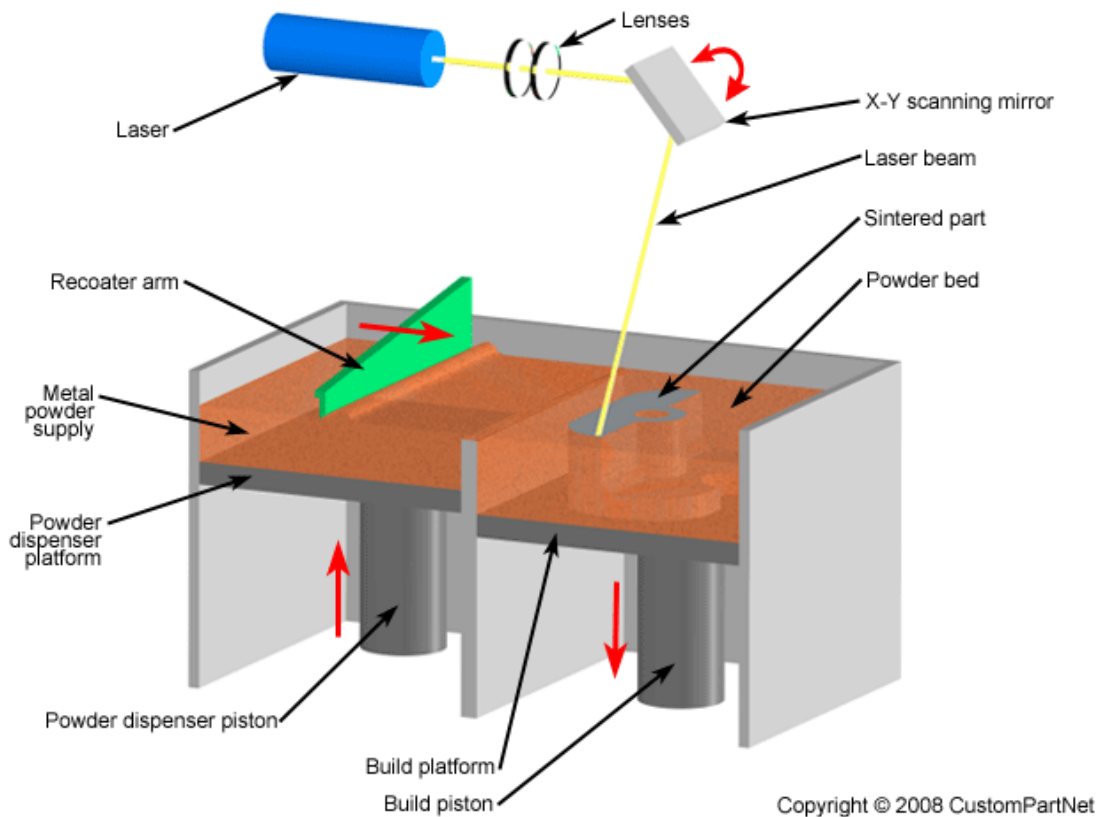


**Kuva 6.** SLS-laitteen toimintaperiaate [9]

### 3.4 Direct metal laser sintering

Direct metal laser sintering (DMLS, suora metallin lasersintraus) käyttää 20 µm:n kokoista metallijauhetta, ilman sidosainetta tai juoksutetta, jonka suuritehoinen laser sulattaa yhteen luoden uuden kerroksen. Polymeerisidosaineen pois jääminen välttää sidosaineen poispolton (burn-off) ja soluttautumisen vaiheet, ja tuottaa 95 % tiheän teräsosan verrattuna noin 70 % tiheyteen yltävän metallikomposiittimateriaalia käyttävään SLS:n. Lisäetuna DMLS prosessissa verrattuna SLS:n on parempi yksityiskohtien resoluutio johtuen ohuempien kerrosten käytöstä, jonka pienemmän jauheen halkaisija mahdollistaa. Tämä ominaisuus mahdollistaa monimutkaisempien osien valmistuksen. Materiaali vaihtoehtoja, joita tällä hetkellä on tarjolla sisältää muun muassa seos teräs, ruostumaton teräs, työkalu teräs, alumiini, pronssi, koboltti-kromi ja titaani. Toiminnallisten prototyypin lisäksi, DMLS käytetään usein työkalujen, lääketieteellisten implanttien ja ilmailutekniikan suurelle kuumuudelle altistuvien osien pikavalmistukseen.

DMLS-prosessi voidaan suorittaa kahdella eri menetelmällä, jauhelaskeuman tai jauhepedin avulla, jotka eroavat siinä miten kukin kerros jauhetta levitetään. Jauhelaskeumatekniikalla jauhe sisältyy suppiloon, joka sulattaa sen ja tulostaa ohuen kerroksen alustalle. Jauhepetimenetelmällä (kuva 7) jauheenannostelijamäntä nostaa jauhesäiliön pintaa, jonka jälkeen pyyhkijä jakaa kerroksen pulveria tulostusalustalle. Molemmissa tapauksissa kerroksen levittämisen jälkeen laser polttaa kerroksen kiinni edelliseen kerrokseen. Kun kerros on rakennettu, tulostason mäntä laskee alustaa ja seuraava kerros jauhetta levitetään. Jauhelaskeumatekniikan etuna on, että tulostimessa voidaan käyttää useampaa kuin yhtä materiaalia kukin omassa suppilossa. Jauhepetimenetelmä on rajoitettu vain yhteen materiaaliin, mutta tarjoaa valmistuksen suuremmilla nopeuksilla. [1, 3, 10]

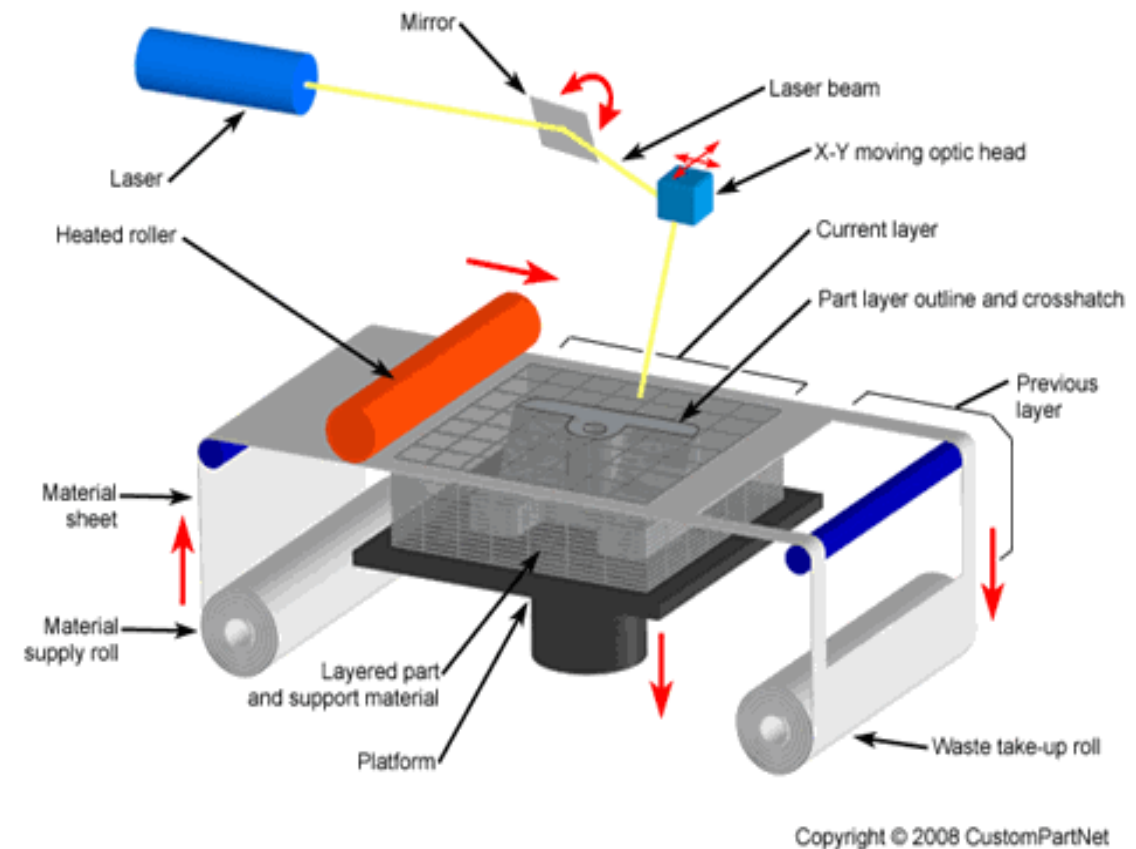


**Kuva 7.** DMLS-laitteen toimintaperiaate [11]

### 3.5 Laminated object manufacturing

Laminated object manufacturing (LOM, laminoitu valmistus) järjestelmän syöttömekanismi vetää uuden arkin tarvittavaa materiaalia rakennustason päälle, jonka jälkeen lämmitetty rulla painaa materiaaliarkin edellisen kerroksen päälle sitoen ne yhteen. Laser leikkaa kyseisen kerroksen ääriviivat arkkiin valmistuen näin uuden kerroksen kappaleeseen. Kun kukin leikkaus on suoritettu, valmistusalusta alenee yhden arkkilevyn paksuuden verran (tyypillisesti 0,05 - 0,5 mm). Uuden arkkilevyn edettyä aikaisemman päälle, rakennustaso nousee hieman ja prosessi toistetaan, kunnes osa on valmis. Kun kerros on leikattu, ylimääräinen materiaali pysyy paikallaan tukien osaa rakennuksen aikana.

Syöttörullan materiaaleina käytetään esimerkiksi termoplastisia muoveja (PVC), paperia, komposiittimateriaaleja, metalleja sekä keraamisia materiaaleja. [1, 3, 12]



**Kuva 8.** LOM-laitteen toimintaperiaate [13]

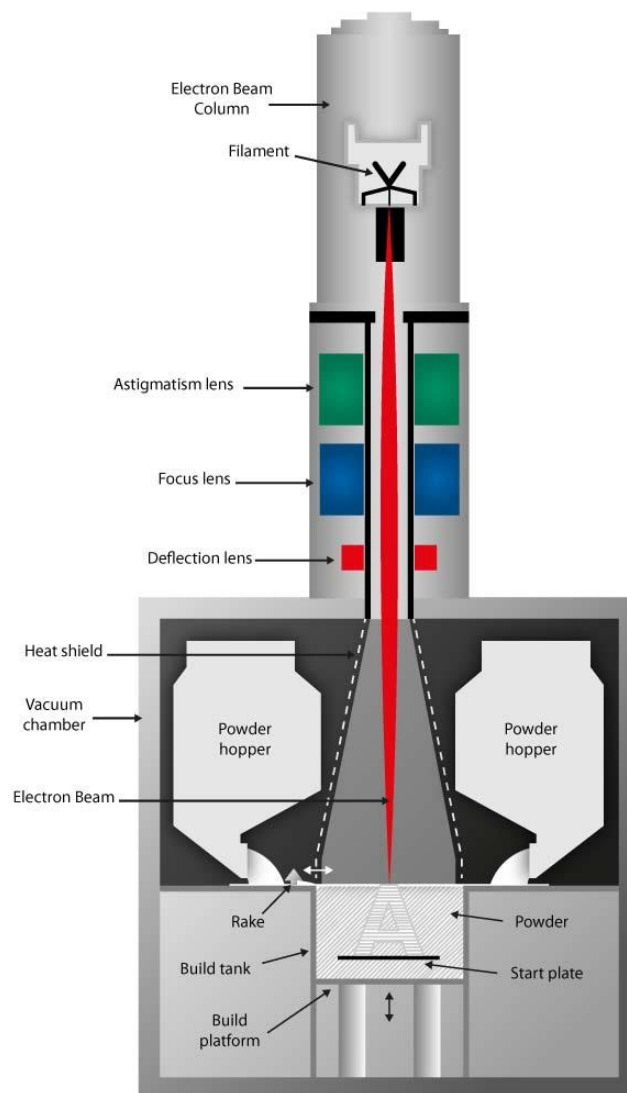
### 3.6 Electron beam melting

Elektronisädesulatus (EBM, electron beam melting) on viimeaikaisia uusia kehityksiä ja samanlainen DMLS, SLS tai SLA prosessin kanssa muutamien parannuksin. EBM-prosessissa filamentti, hehkulampun tapainen hehkulanka, toimii elektronilähteenä, joka lähettää elektronisäteen jota ohjataan ja keskitetään magneettisilla ohjureilla ja linseillä. SLS-prosessin tapaan laitteessa on jauhesäiliöt joista tasoituskola levittää uuden kerroksen jauhetta valmistuneen päälle. EBM-menetelmässä sulatus ja jauheen levitys on tapahduttava kuitenkin tyhjiössä, minkä johdosta laiteella päästään nopeampaan kerrosvalmistukseen, energiatehokkaampaan sulatussäteeseen, sekä tarkempaan ja laadukkaampaan työn jälkeen.



Säteen teho vaihtelee 50 W - 4000 W riippuen työn tarkkuudesta. Tulostettavien kerrosten paksuus voi vaihdella 0,025 mm ja 1 mm välillä ja tulostusnopeudessa päästään jopa kuuteen millimetriin tunnissa Z-akselilla.

EBM-prosessin materiaaleina käytetään pääasiassa titaania ja koboltti-kromia, mutta onnistuneesti on käytetty myös ruostumatonta terästä, muita työkaluteräksiä sekä alumiinia. DMLS ja SLS-prosesseista poiketen EBM:llä valmistettu kappale ei tarvitse yhtä paljon jälkikäsittelyä, mikä myös tehostaa kappaleen valmistusnopeutta. [3, 14]



**Kuva 9.** EBM-laitteen toimintaperiaate [15]

## 4 PIKAVALMISTUS

### ELEKTRONIIKKATEOLLISUUDESSA

Additiivista teknologiaa käytetään tyypillisesti valmistamalla mekaanisia osia käyttäen stereolitografia, laser sintraus ja muita tekniikoita. Näitä myös käytetään elektroniikan valmistuksessa, hyvin usein tukiroolissa, kuten koteloissa, mutta on myös kasvava joukko erikoistuneita sähköisiä materiaaleja.

Additiivisia valmistustekniikoita sovelletaan elektroniikan koko kirjossa, alkaen integroiduista piireistä erilliskomponenttien ja mikroaaltotekniikan valmistukseen. Näitä tekniikoita käytetään yhdessä ratkaisemaan monimutkaisia ongelmia, kuten valmistamalla elektroniikkaa samanaikaisesti mekaanisten osien ja kokoonpanojen kanssa. Tästä voi tulla varsin yleistä tulevaisuudessa, koska jokaisella teknologialla on hieman toisiaan poissulkevia etuja. Joissakin tapauksissa, aivan samaa pikavalmistustekniikkaa käyttäen eri materiaaleilla ja/tai koneen asetuksilla, voidaan käyttää sekä elektronisten ja mekaanisten ominaisuuksien suunnitteluun.

Eri puolilla maailmaa on kehitetty laserilla indusoitua materian siirto (Laser Induced Forward Transfer, LIFT) -teknologiaa useita vuosia. Materiaalit ja laitteet, kuten integroidut piirit ovat mukana välittäjäfilmissä ja nämä voidaan fyysisesti siirtää eri pinnoille laserpulsseilla. [16, 17]

Illinoisin yliopisto Yhdysvalloissa on työskennellyt materiaaleilla ja tekniikoilla, joilla voidaan tulostaa paitsi taipuisia kokoonpanoja, myös puolijohdelaitteita, jotka toimivat yhtä hyvin vaikka niitä venytettäisiin mekaanisesti.

Suoraan kirjoitustekniikoilla voidaan valmistaa magneettisia komponentteja, induktoreita ja tehdä johtimia piirilevyihin, sekä monia muita kohteita. Kuitenkin suurin osa työstä tällä alalla tehdään tutummilla additiivisilla tekniikoilla.

Esimerkiksi termoplastisia ekstruusiomenetelmiä, kuten FDM, käytetään pienten räätälöityjen liitinkuorien valmistukseen. Ne voidaan tehdä pienemmiksi ja halvemmalla kuin ruiskuvalua käyttäen.

Menetelmää voidaan käyttää myös valmistamaan ultrakondensaattoreita. Liete, joka sisältää mineraalimikroputkia, pursotetaan elektrodirakenteeseen muodostaen hyvin suuriarvoisen kondensaattorin energian varastointiin.

Lasersintrausta voidaan käyttää myös kapasitiivisten sähkövirtageneraattorien valmistukseen. Generaattori tuottaa matalatehoista sähkövirtaa matkapuhelimien, tablettien, GPS:n tai muiden pienien kannettavien laitteiden liikkeestä. Unimicron Technology Corp. käyttää additiivistä tekniikkaa monimutkaisten kolmiulotteisten piirirakenteiden valmistuksessa [18]. Unimicron on yksi suurimmista piirilevyjen valmistajista maailmassa ja tällaisia rakenteita voidaan käyttää monenlaisissa ahtaissa kulutustavaroissa, kuten matkapuhelimeissa. Eristävä kerros voidaan muodostaa käyttämällä stereolitografiaa, mustesuihkutulostuksella tai muulla additiivisella menetelmällä. Johdinradat ja sähköiset komponentit voidaan lisätä alustaan muilla eri tavoilla.

Additiivista valmistusta voidaan käyttää eri mittakaavoissa tarkasti asemoimaan elektroniset ja muut komponentit mutkikkaiksi kokonaisuuksiksi. Esimerkiksi stereolitografiaa käytetään valmistamaan kompakti kotelo laitteeseen, joka käsittelee terahertsisäteilyä Rensselaer Polytechnic Institute:n töissä. Microfabrica:n MICA Feeform™ prosessia voidaan käyttää kohdistamaan tarkasti pieniä RF tai optisia laitteita sekä tarjota keinoja valmistaa niitä. Tekniikkaa voidaan käyttää myös releiden, miniatyyrimittaussondien, mikroaaltokomponenttien ja muiden elektronisten laitteiden valmistuksessa.

Suomessa pikavalmistusmenetelmää käytetään lähinnä muiden kuin elektronisten osien valmistukseen, kuten laitteiden kuorien, tukirakenteiden tai kokoonpanossa asemointiin käytettäviin jigeihin.

### **Pikavalmistuksen tila Suomen elektroniikkateollisuudessa**

Puhelin- ja sähköpostikyselyt muutamiin Suomessa sijaitseviin pikavalmistuspalveluita tarjoaviin yrityksiin sekä elektroniikkaa valmistaviin yrityksiin tuottivat miltei identtisiä vastauksia. Kysymyksiin vastanneita yrityksiä olivat mm. Alphaform, RP-Case, RPC Group ja Bestdan.

Kysymykset olivat seuraavat:

- Valmistaako yritys jollekin elektroniikkayhtiölle tuotteita pikavalmistusmenetelmällä?
- Jos valmistaa, mille yrityksille (jos lupaa mainita)?
- Millaisia tuotteita ja millä menetelmällä?
- Ala on kasvussa, onko yrityksellä laajennussuunnitelmia?

Pikavalmistusyritykset eivät valmista elektronisia osia erinäisiä laitteiden kuoria lukuun ottamatta. Poikkeuksena Ruskolla sijaitseva Alphaform RPI Oy, josta annettiin erään heidän palveluitaan käyttävän yrityksen selonteko muovisen Jigiproton ominaisuuksista verrattuna SLA-prosessilla ja koneistusprosessilla valmistettuna. Raportin mukaan koneistamalla valmistetun muovisen jigien toleranssit olivat huonommat kuin SLA-prosessilla ja vaati sekä 2D, että 3D-kuvat. SLA:lla valmistetut kappaleet olivat pinnanlaadultaan paremmat ja sarjakappaleet laadultaan stabiilit eikä vaadi 2D-kuvia. Sisäisten alipainekanavien teko jigisiin helppoa ja yksinkertaista ilman lisäkustannuksia tai valmistusajan kasvua. [19]

Kysely osoitti, että elektroniikkayritykset eivät myöskään käyttäneet pikavalmistuspalveluita muuhun kuin prototyyppien kuorien ja ym. muoviosien valmistukseen. Näissäkin perinteinen ruiskuvalumenetelmä elää vielä vahvasti. Elektroniikka yrityksiä koskeviin kysymyksiin vastasi mm. OEM Electronics, Microteam ja LST Group.

Kysymykset olivat seuraavat:

- Käytättekö elektroniikka- tai prototyyppituotannossa pikavalmistuksella tai 3D-tulostamalla valmistettuja osia/kokonaisuuksia?
- Mikäli kyllä, minkälaisista osista on kyse ja mitä valmistustekniikkaa käyttäen?
- Mikä/mitkä pikavalmistusyritykset valmistavat kyseisiä osia, vai onko yrityksenne oma pikavalmistus laitteisto?
- Mikä/mitkä pikavalmistusyritykset valmistavat kyseisiä osia, vai onko yrityksenne oma pikavalmistus laitteisto?

## 5 3D-TULOSTIMEN HANKINTA

Elektroniikkatuotannon opettaja ja tämän opinnäytetyön valvoja Yngvar Wikström ilmoitti, että ICT-Cityn yksikkö harkitsee tiloihinsa 3D-tulostinta lisäämään valikoimaa opetukseen ja elektroniikan tutkimustyöhön. Hankinnasta keskusteltiin opettajien Wikström ja Tolmunen kanssa ja selvitettiin, millaisen laitetta yksikkö voisi käyttää ja millaisella määrärahalla laite tulisi hankkia.

### 5.1 Ehdotetut ominaisuudet

Vähimmäisvaatimuksiksi annettiin, että tulostimen tulee olla

1. FDM-tyyppin termoplastisen muovin pursotukseen kuuluva malli
2. koottava laite
3. mahdollisimman halpa, budjetoitu noin 5 000 €

3D-tulostimissa on toki lukuisia muita ominaisuuksia, jotka vaikuttavat laitteen käyttötarkoitukseen ja näiden ominaisuuksien paras valinta jäi opinnäytetyön tekijän tehtäväksi, koska tekijällä on tähän parempi asiantuntemus kuin tilaajalla.

Muita tärkeitä pisteytyksen arvoisia lisäominaisuuksia

1. tulostustarkkuus (tulostuskerroksen paksuus)
2. tulostusnopeus
3. tulostuspäiden lukumäärä
4. tulostettavan kappaleen maksimikoko

Kaikki ominaisuudet ovat tärkeysjärjestyksessä.

## 5.2 Tulostinvaihtoehtojen etsintä

Tulostinvaihtoehtojen etsintä aloitettiin nettihauulla. Harrastajille kohdistettujen 3D-tulostimien valmistajia on maailmassa kymmenittäin miltei jokaisella mantereella. Mistä tahansa maasta ei tulostinta kuitenkaan kannata omatoimisesti hankkia. Esimerkiksi Yhdysvallat on 3D-tulostinvalmistajien kärkimaita, mutta kaikista tietyn summan ylittävistä Suomeen toimitettavista tuotteista hintaan on lisättävä tulli ja arvonlisävero. Jos tulostimen hintaan lisätään 10 % tullimaksu sekä 22 % arvonlisävero, saattaa olla parempi hankkia tulostin muusta maasta tai EU:n sisältä.

Nettihaun seurauksena löytyi 3D-tulostuksen ja alan uutisia välittävä nettisivu [20], josta löytyi käyttökelpoinen lista erilaisista 3D-tulostimista, hinnoista ja niiden valmistajista linkkeineen. Pitkän etsinnän jälkeen lopulliselle listalle pääsi 16 erimallista 3D-tulostinta 7:ltä eri valmistajalta. Näistä valmistajista vain yksi on yhdysvaltalainen, mutta valmistajan laitteita on listalla 3, loput valmistajat ovat Euroopasta. Yhdysvaltalainen valmistaja 3D Systems pääsi valintaan mukaan erinomaisen helpon ja yksinkertaisen laitteiston vuoksi. Lisäksi yksi tämän valmistajan malleista oli listan ainoa, joka pystyi joko kolmen materiaalin tai värin samanaikaiseen tulostamiseen. Näiden kolmen 3D Systems-mallien suurin negatiivinen ominaisuus on, että kaikki ovat valmiiksi koottuja suoraan toimintakuntoisia laitteita.

Tehtävänä oli etsiä tilaajalle paras mahdollinen kolmiulotteinen tulostin. Koska koottavat tulostimen ovat alemman hintaluokan malleja, päätettiin hankintaehdotukseen liittää koottuja malleja koskeva osa. Monesti valmiiksi kootut tulostimet ovat, vertailusta päätellen, ylivertaisia koottaviin verrattuna ja myös näitä vertailemalla annetaan tilaajalle paras mahdollisuus tehdä päätös tarvitsemastaan laitteesta.

## 5.3 Tulostinvaihtoehtojen pisteytys

Tärkeimpänä kriteerinä oli tulostinta etsittäessä, että se olisi FDM–tyypin termoplastisen muovin pursotukseen kuuluva malli. Koska kaikki valitut mallit ovat kyseisen tyyppisiä, jätettiin tämä ominaisuus pisteyttämättä.

Annetut hakuparametrit olivat seuraavat: työpöytätulostin, koottava malli, maksimi hinta 5 000 € Tulostinvaihtoehdot on pisteytetty jokaisen ominaisuuden mukaan, ja pisteet on laskettu yhteen. Laitevaihtoehdot on esitetty listalla laskevassa järjestyksessä, kun pisteytyksessä on otettu huomioon hinta, koottava tai koottu malli, tulostuskoko, tulostustarkkuus, tulostusnopeus sekä tulostuspäiden lukumäärä (1-3).

**Taulukko 1.** Ominaisuuksien pisteytys

Arviointiperuste	Arviointi	Pisteet
Hinta	1-999 €	5p
	1000-1999 €	4p
	2000-2999 €	3p
	3000-3999 €	2p
	4000-5000 €	1p
Mallityyppi	Koottava	3p
	Koottu	1p
Tulostuskoko (X/Y-akseli)	400-300 mm	3p
	299-200 mm	2p
	> 200 mm	1p
Tulostustarkkuus	> 0.1 mm	3p
	$0.1 \geq 0.19$ mm	2p
	$\leq 0.2$ mm	1p
Tulostusnopeus	< 100 mm/s	3p
	$\geq 100$ mm/s	2p
	Ei ilmoitettu	1p
Tulostuspäiden lukumäärä	3 kpl	6p
	2kpl	4p
	1kpl	2p

Suurin osa pisteytyksistä ovat lineaarisia kahta poikkeusta lukuun ottamatta. Vaikka hakukriteerinä on koottavan mallin hankkiminen, on listalla kuitenkin koottuja tulostinmalleja. Tämä edellä mainittu johtuu siitä, että kaikki koottavat mallit ovat alemman hintaluokan tulostimia. Kalliimmat mallit ovat heti käyttövalmiita valmiiksi koottuja ja näitä on otettu listalle mukaan lisäämään erityyppisiä vaihtoehtoja. Myös tästä syystä mallit on pisteytetty tältä ominaisuudelta eri tavalla.

Tulostuspäiden lukumäärä on myös oma tärkeä ja vaati erityishuomiota. Ominaisuus on tärkeä ja lisää laitteen monimuotoisuutta. Suurin osa harrastajille suunnatuista FDM-tulostimista saadaan vain yhdellä kuumentavalla pursotuspäällä. Tämä tarkoittaa, että laitteella voidaan kerrallaan tulostaa vain yhtä materiaalia ja väriä. Laitteella, jossa on kaksi pursotuspäätä, voidaan tulostaa samaan kappaleeseen kahta eri väriä. Vastaavasti voidaan käyttää kahta eri materiaalia, normaalia polymeeriä itse kappaleessa ja vesiliukoista polymeeriä kappaleen tulostuksessa tarvittavissa tukirakenteissa. Tämän vuoksi myös tulostuspäiden lukumäärä on pisteytetty eri tavalla.

#### 5.4 Hankintaehdotus

Tulostimien arvosteluiden jälkeen tehtävänä oli kirjoittaa oppilaitoksen opettajille hankintaehdotus, josta toivottavasti seuraa seuraavassa budjettipäätöksessä 3D-tulostimen tilaus. Tarkoituksena ei ollut tilata tai koota minkään mallivaihtoehdon tulostinta, vaan saada opettajien tietoon oppilaitokselle parhaat mahdolliset tulostinvaihtoehdot.

Tulostimien pisteytystaulukosta valittiin 5 eniten pisteitä saaneet koottavat tulostinmallit sekä 5 eniten pisteitä saaneet kootut tulostinmallit, joista hankintaehdotus koottiin.

Näistä kymmenestä mallista kirjoitettiin hankintaehdotus, jossa ilmoitettiin hankintojen tarkoitus, parhaat mallivaihtoehdot ja näiden pisteytysjärjestelmä. Jokaisesta mallista liitettiin tärkeimmät tiedot, sekä internetlinkki kyseisen tuotteen myynti- ja tietosivulle. Ehdotuksen loppuun lisättiin vielä lista tulostimien käyttämisestä tulostusmateriaaleista ja niiden käyttötavoista

**Taulukko 2.** Koottavien laitevaihtoehtojen viisi parasta

Valmistaja	Malli	Hinta
Cartesio	PRotos v2 KIT	799 €
Cartesio	CartesioW1	2 615 €
OMNI3D	RAPCRAFT 1.4 KIT	1 867 €
Cartesio	CartesioW1	2 465 €
Velleman	K8200	599 €



**Taulukko 3.** Koottujen laitevaihtoehtojen viisi parasta

Valmistaja	Malli	Hinta
Leapfrog	CREATR	1 820 €
OMNI3D	ARCHITECT 1.1	4 200 €
OMNI3D	FACTORY 1.4 PRO	2 200 €
3DSYSTEMS	CubeX DUO	2 400 €
Leapfrog	CREATR XL	4 800 €

Alkuperäinen hankintaehdotus on liitteenä, josta löytyvät tarkemmat tiedot tulostinmal-  
leista.

## 6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin 3D-tulostamisen eli pikavalmistuksen nopeasti kasvavaan alaan ja tutkittiin, minkälaisia tekniikoita teollisuus käyttää hyväkseen. Pikavalmistuksen juuret ovat jo kolmen vuosikymmenen takaa, ja alalla alkoi kasvubuumi noin kymmenen vuotta sitten. Sen jälkeen on ilmestynyt toinen toistaan tehokkaampia ja monimuotoisempia laitteita. Tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa julkaistiin paperia käyttävä LOM-tyyppinen tulostin, joka pystyy tulostamaan jopa miljoona värisävyä [21], sekä tulostin, joka pystyy valmistamaan alkeellisia rakennuksia [22]. Bioteknologiassa on alkamassa myös murrosaika, kun 3D-tulostamalla voidaan pian valmistaa elimiä ja muita ruumiinosia.

Työ osoitti, että jo pitkään on myös tavallinen kuluttaja voinut saada 3D-tulostimen. Viime aikoina tulostinvalikoima on kasvanut vuosi vuodelta, ja tulostimien hinnat ovat laskeneet. Pian kolmiulotteisia kappaleita valmistava tulostin on kotona tai toimistossa vakiovaruste, kuten normaalit tulostimen nykyään. Tätä opinnäytetyötä tehtäessä on huomattu miten nopeasti tekniikka joillain aloilla kehittyi.

Kolmiulotteisia tulostimia tutkittaessa on selvinnyt, että ei kannata hankkia koottavaa kittiä, jos haluaa laitteen tuottavan laadukkaita osia vaativampiin tehtäviin. Koottavat mallit sopivat paremmin harrastaja käyttöön. Valmiiden mallien parhaina puolina ovat tarkkuus, nopeus ja vaivannäön säästö. Koottavien mallien hyvät puolet ovat päivitettävyyden, hinta ja tutustuminen 3D-tulostimen toimintaan laitetta kootessa.

Seuraavat opinnäytetyöt voivat koskea esimerkiksi kolmiulotteisen tulostimen hankintaa, käyttöönottoa ja käyttökoulutusta.

## LÄHTEET

- [1] Todd Grimm, *User's Guide to Rapid Prototyping*, 1 SME Drive, Dearborn, Michigan, Society of Manufacturing Engineers, 2004.
- [2] Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, 233 Spring Street, New York, NY, Springer Science + Business Media, 2010.
- [3] Chua, C. Leong, K. Lim, S. *Rapid prototyping, principles and application, 3<sup>rd</sup> Edition*, 57 Sheldon Street, Covent Garden, London, World Scientific Publishing, 2010
- [4] Fused Deposition Modeling (FDM), [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>, [Luettu 30.3.2014]
- [5] Fused Deposition Modeling (FDM) kuva, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm-small.png>
- [6] Stereolithography (SLA), [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>, [Luettu 30.3.2014]
- [7] Stereolithography (SLA) kuva, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/sla-small.png>
- [8] Selective Laser Sintering (SLS), [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>, [Luettu 30.3.2014]
- [9] Selective Laser Sintering (SLS) kuva, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/sls-small.png>
- [10] Direct Metal Laser Sintering (DMLS), [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering>, [Luettu 30.3.2014]
- [11] Direct Metal Laser Sintering (DMLS) kuva, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/dmls-small.png>

- [12] Laminated Object Manufacturing (LOM), [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>, [Luettu 30.3.2014]
- [13] Laminated Object Manufacturing (LOM) kuva, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/lom-small.png>
- [14] Joe Hiemenz, Electron Beam Melting, Advanced materials & Processes, s. 45-46, Maaliskuu 2007
- [15] Electron Beam Melting (EBM) kuva, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.arcam.com/wp-content/uploads/schematic-ebm-setup.jpg>
- [16] Matthias Nagel & Thomas Lippert, Laser-Induced Forward Transfer for Fabrication of Devices, Nanomaterials: Processing and Characterization with Lasers, First Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012
- [17] Laser-Induced Forward Transfer, [www-dokumentti], Saatavilla: <http://www.orc.soton.ac.uk/lift.html>, [Luettu 18.5.2014]
- [18] Applications of additive manufacturing, [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.additive3d.com/rm\\_35.html](http://www.additive3d.com/rm_35.html), [Luettu 19.5.2014]
- [19] Dan Björklöf, Alphaform, Henkilökohtainen haastattelu, 14.11. 2012
- [20] 3ders.org, Price compare - 3D printers, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>, [Luettu 27.4.2014]
- [21] MCOR technologies, MCOR IRIS, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.mcor technologies.com/3d-printers/iris/>, [Luettu 8.6.2014]
- [22] BBC NEWS, China: Firm 3D prints 10 full-sized houses in a day, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.bbc.com/news/blogs-news-from-elsewhere-27156775>, [Luettu 1.6.2014]
- [23] Kai Hakala, Opinnäytetyö, *SFF-TEKNOLOGIOIDEN SOVELLUSMAHDOLLISUUDET*, Lahden ammattikorkeakoulu, 10.5. 2010

[24] Jarkko Lohilahti, Opinnäytetyö, *SELVITYS 3d-TULOSTAMISEN TILASTA SUOMESSA*, Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Syksy 2011

[25] Marko Piira, *3D-TULOSTIMEN HANKINTA*, Turun ammattikorkeakoulu, 2013

**Liite 1. 3D-tulostimien pisteytystaulukko**

Valmistaja	Malli	Hinta €	Pisteet	Koottava	Pisteet	Tulostusleveys (XxYxZ)mm	Pisteet	Kerroksen paksuus Z mm	Pisteet	Tulostusnopeus mm/s	Pisteet	Tulostuspäiden lukumäärä	Pisteet	Yhteensä
German RepRap GmbH	Protos v2 KIT	799	5	Kyllä	3	220x220x130	2	0.1	2	180	3	2	4	19
Cartesio	CartesioV1	2615	3	Kyllä	3	400x200x200	3	0.1	2	150	3	2	4	18
OMIN3D	RAPCRAFT 1.4 KIT	1867	4	Kyllä	3	210x210x240	2	0.04	3		1	2	4	17
OMIN3D	FACTORY 1.2	3367	2	Ei	1	310x310x310	3	0.04	3	150	3	2	4	16
Cartesio	CartesioV1	2465	3	Kyllä	3	400x200x200	3	0.1	2	150	3	1	2	16
Leapfrog	CREATR	1820	4	Ei	1	230x270x200	2	0.05	3	60	2	2	4	16
Velemen	K8200	599	5	Kyllä	3	200x200x200	2	0.2	1	120	3	1	2	16
OMIN3D	FACTORY 1.2	2998	3	Ei	1	310x310x310	3	0.04	3	150	3	1	2	15
OMIN3D	RAPCRAFT 1.4 KIT	1498	4	Kyllä	3	210x210x240	2	0.04	3		1	1	2	15
Leapfrog	CREATR	1520	4	Ei	1	230x270x200	2	0.05	3	60	3	1	2	15
German RepRap GmbH	X400	2974	3	Kyllä	3	400x400x350	3	0.1	2		1	1	2	14
3DSYSTEM	CubexDUO	2400	3	Ei	1	230x265x240	2	0.1	2		1	2	4	13
Leapfrog	CREATR XL	4800	1	Ei	1	230x270x600	2	0.05	3	60	2	2	4	13
MiniFactory	MiniFactory 3	1590	4	Ei	1	150x150x150	1	0.02	3	80	2	1	2	13
3DSYSTEM	CubexTRIO	3200	2	Ei	1	185x265x240	1	0.1	2		1	3	6	13
3DSYSTEM	Cubex	2000	3	Ei	1	275x265x240	2	0.1	2		1	1	2	11

**Liite 2. Hankintaehdotus**

Turun ammattikorkeakoulu  
ICT-City  
Joukahaisenkatu 3  
20520 Turku

**HANKINTAEHDOTUS**

15.7.2014

**3D-TULOSTIN ICT-CITY:N YKSIKKÖÖN**

Turun ammattikorkeakoulun ICT-City:n yksikkö on osoittanut kiinnostusta työpöytämallisen 3D-tulostimen hankkimisesta yksikön laboratorioon. Opettajan Ygvar Wikström toimesta olen etsinyt hakuparametrien mukaisesti laitevaihtoehtoja yksikön opettajien valittavaksi.

Annetut hakuparametrit: työpöytätulostin, koottava malli, maksimi hinta 5000 €

Kolmiulotteisiin tulostimiin paremmin perehtyneenä suosittelen harkitsemaan myös valmiiksi koottuja tulostinmalleja. Kootut tulostimet ovat monin tavoin ylivertaisia koottaviin malleihin verrattuna. Tähän hankintaehdotukseen on sisällytetty myös koottuja malleja koskeva arviointi. Näistä malleista on valittu vain laitteet joissa on enemmän kuin yksi tulostuspää.

Tulostinvaihtoehdot on pisteytetty jokaisen ominaisuuden mukaan ja pisteet on laskettu yhteen. Laittevaihtoehdot on esitetty laskevasa järjestyksessä, kun huomioon on otettu: hinta, koottava tai koottu malli, tulostuskoko, tulostustarkkuus, tulostusnopeus, sekä tulostuspäiden lukumäärä (1-3). Koko lista liitteenä viimeisellä sivulla.

Laitteita ei ole kilpailutettu, koska tarkoitus on hankkia vain yksi.

Koottavien laitevaihtoehtojen viisi parasta (valmistaja, malli, hinta):

German RepRap GmbH	PRotos v2 KIT	799 €
Cartesio	CartesioW1	2 615 €
OMNI3D	RAPCRAFT 1.4 KIT	1 867 €
Cartesio	CartesioW1	2 465 €
Velleman	K8200	599 €

Koottujen laitevaihtoehtojen viisi parasta (valmistaja, malli, hinta):

Leapfrog	CREATR	1 820 €
OMNI3D	ARCHITECT 1.1	4 200 €
OMNI3D	FACTORY 1.4 PRO	2 200 €
3DSYSTEMS	CubeX DUO	2 400 €
Leapfrog	CREATR XL	4 800 €

Ominaisuuksien pisteytys:

Hinta:

1-999 €	5p
1000-1999 €	4p
2000-2999 €	3p
3000-3999 €	2p
4000-5000 €	1p

Malli:

Kootava	3p
Koottu	1p

Tulostuskoko (X/Y-akseli):

400-300 mm	3p
299-200 mm	2p
> 200 mm	1p

Tulostustarkkuus:

> 0.1 mm	3p
0.1 ≥ 0.19 mm	2p
≤ 0.2 mm	1p

Tulostusnopeus:

< 100 mm/s	3p
≥ 100 mm/s	2p
Ei ilmoitettu	1p



Tulostuspäiden lukumäärä:

3 kpl	6p
2 kpl	4p
1 kpl	2p

Tarkemmat tiedot koottavista laitteista:

### **German RepRap GmbH, PProtos v2 Kit**

Tukeva runko auttaa välttämään rakenteen liikkeitä suuremmilla tulostusnopeuksilla. Protos V2 käyttää täysin avointa lähdekoodia. Yhdistettynä modulaariseen kokoamistapaan, tämä varmistaa yhteensopivuuden RepRap yhteisön lisämuokkauksiin. 3D-tulostin on varustettu yhdellä Ekstruuderilla vakiona ja sitä voidaan laajentaa toisella tulostamaan kahta väriä tai käyttämään vesiliukoista tukimateriaalia. Monet eri muovit ovat Protos V2 käytettävissä. Riippuen vaatimuksista voit käyttää ABS, PLA, PP, Laywood, Laybrick sekä PVA alusmateriaalina.

#### **Tekniset tiedot:**

Laitteen vievä koko pöydällä: 450mm x 450mm

Tulostusala: max 230 x 230 x 125 mm (X/Y/Z) ilman lämmitettyä tulostusala-

Nopeus: max 350 mm/s

Min. kerrospaksuus: 0.1 mm

Käyttöjännite: 220-240 / 115V AC 50/60 Hz

Tulostusmateriaalit\*: ABS / PLA / PP / PVA / Laywood / Laybrick

Vaatii tietokoneen tulostamiseen

#### **Pakkaus sisältää:**

Tukeva runko säätöjaloilla, ruuvit, kierretangot, akselit, holkit, pallo- ja liukulakerit

Jakohihnat ja hiotut hihnapyörät 5 x NEMA17 askelmoottori 0.52 Nm vääntömomentilla

Ramps v1.4.2 Open Source ohjauskortti, kaapelit ja virtalähde

Modulaarinen kuumennuspää 3mm paksuiselle langalle

0.5mm tulostussuutin (vaihtoehtoisesti 0.4 / 0.3mm suutin tilalle)

#### **Päivitysosia:**

Lämmitetty tulostustaso 12V

Modulaarinen kuumennuspää 1.75 mm:n paksuiselle langalle

Tulostussuuttimia eri tarkkuuksille: 0.5 / 0.4 / 0.3 mm

LCD ohjausyksikkö SD-kortinlukijalla omatoimiseen tulostukseen

Tuplasuutin päivityspaketti

Lasinen tulostustaso (PLA materiaalille)

<https://shop.germanreprap.com/en/product?info=254>

[http://wiki.germanreprap.com/en/handbuch/protos\\_v2.0\\_3d-drucker\\_handbuch](http://wiki.germanreprap.com/en/handbuch/protos_v2.0_3d-drucker_handbuch)

## **Cartesio, CartesioW1**

### **Tekniset tiedot:**

Laitteen koko: 720 mm x 530 mm x 610 mm (LxWxH)

Paino: 24kg

Käyttöjännite: 110/220V AC 360W

Tulostusala: 400 mm x 200 mm x 200 mm (X/Y/Z)

Tulostusnopeus: 150 mm/s

Min. kerrospaksuus: 0.1 mm

Dual mallissa 2 Ekstruuderia (Pursotuspäätä) (+150€)

Tulostusmateriaalit\*: PLA, PVA, Nylon

Softa: Open source

LCD näyttö, SD-kortinlukija ja USB liitin

### **Päivitysosia:**

Useita ekstruuderia vaihtoehtoja

Useita varaosia

<http://mauk.cc/webshop/systems/cartesio-system-diy/Cartesio-w1-diy>

## **OMNI3D, RAPCRAFT 1.4 KIT DUAL**

### **Tekniset tiedot:**

Paino: 12 kg

Toimitus Paino: 14 kg

Toimitus mitat: 500 mm x 500 mm x 750 mm

Käyttöjännite: 230VAC 2A / 110VAC 3.5A

Suuttimen läpimitta: 0.4-0.5 mm

Tulostussäikeen paksuus: 1.75 mm

Tulostusala: 210 mm x 210 mm x 240 mm

Nopea tulostus.

Min. kerrospaksuus: 0.04 mm

Tulostuspää (200C): käyttölämpötila saavutetaan noin 1 min.

2 tulostuspäätä.

Lämpötila (60C): käyttölämpötila saavutetaan noin 3 min.

Tulostusmateriaalit\*: PLA, PVA, Nylon, Lay-wood, Lay-brick, PET, Hips.

USB-liitäntä.

Hiljaisin 3D-tulostin markkinoilla.

Säännöllisiä ilmaisia tulostimen päivitysosia.

1 vuoden takuu elektroniikkaan ja ei-kuluviin osiin.

Ilmainen toimitus.

### **Ilmainen softa:**

RepetirHost + Skeinforge/SFACT/Cura/SLIC3R

Tiedostotyyppiä: \*. STL / \*. Obj

Käyttöjärjestelmät: Windows XP tai uudempi, Linux (Ubuntu 12.04 +), Mac OS X [10.6/10.7/10.8]

Ohjelmisto on täysin ilmainen; se perustuu avoimen lähdekoodin RepRap.org projektiin. Näin 3D-tulostin pystyy palvelemaan useita tarkoituksia ja voit nauttia monista avoimen lähdekoodin mahdollisuuksista. Ohjelmisto toimii seuraavilla tiedostotyypeillä: \* STL ja \*. OBJ.

**Runko:**

Alumiiniprofiilit, lämmitetty lasinen tulostustaso, lineaarisen liikkeen XY laakerit, lineaarisen liikkeen Z laakeri, askelmoottorit (1.8° kulma 4.8 kg/cm 47.1 N/cm 2.5A).

<http://omni3d.com/en/sklep/3d-printers/rapcraft-1-3-kit-czarny/>

**Velleman K8200**

**Tekniset tiedot:**

lineaarisen liikkeen laakerit: 8 ja 10 mm

Virtalähde: 15 V / 100W

USB 2.0

Tulostusala: 200 x 200 x 200 mm

Tyypillinen tulostusnopeus: 120 mm/s

Maximi tulostusnopeus: 150 - 300 mm/s

Suutimen läpimitta: 0.5 mm

Tulostustarkkuus: seinän paksuus (X,Y): 0.5 mm, kerroksen paksuus (Z): 0.20 - 0.25 mm

Laitteen koko: 600 x 450 x 600 mm (LxWxH)

Tulostusmateriaalit\*: PLA ja ABS

Paino: 8.7 kg

Softa: Repetier v0.84 (Open Source)

Pakkaus sisältää: 5m mustaa PLA lankaa

<http://www.elektroniikkamaailma.fi/tuote/3d-tulostin-rakennussarja/K8200/>

<http://www.k8200.eu/>

Tarkemmat tiedot kootuista laitteista:

**Leapfrog CREATR**

**Tekniset tiedot:**

Laitteen koko: 500 x 600 x 500 mm

Laitteen paino: 32 kg

Käyttöjännite: 100-240 V

Virrankulutus: 400 W

2 tulostuspäätä

Tulostusala: 230 x 270 x 200 mm

Maksimi tulotusvolyymi: 12,4 L

Min. kerrospaksuus: 0.05 mm

Maximi tulostusnopeus: 350 mm/s

Lämmitetty tulostustaso

Tulostusmateriaalit\*: ABS, PLA, PVA, Laybrick, Nylon

<https://www.lpfrg.com/product/creatr/>

### **OMNI3D ARCHITECT 1.1**

#### **Tekniset tiedot:**

Paino: 14 kg

Toimitus Paino: 16 kg

Toimitus mitat: 500 mm x 600 mm x 850 mm

Käyttöjännite: 230VAC 2A / 110VAC 3.5A

Suuttimen läpimitta: 0.4-0.5 mm

Tulostussäikeen paksuus: 1.75 mm

Tulostusala: 310 x 410 x 310 mm

Min. kerrospaksuus: 0.04 mm

Nopea tulostus.

Tulostuspää (200C): käyttölämpötila saavutetaan noin 1 min.

2 tulostuspäätä.

Lämpötaso (60C): käyttölämpötila saavutetaan noin 3 min.

Tulostusmateriaalit\*: PLA, PVA, Nylon, Laywood, Laybrick, PET, Hips.

USB-liitäntä.

Säännöllisiä ilmaisia tulostimen päivitysosia.

1 vuoden takuu elektroniikkaan ja ei-kuluviin osiin.

Ilmainen toimitus.

Päivitysosia: LCD paneeli ja SD kortinlukija

#### **Ilmainen softa:**

RepetirHost + Skeinforge/SFACT/Cura/SLIC3R

Tiedostotyyppiä: \*. STL / \*. Obj

Käyttöjärjestelmät: Windows XP tai uudempi, Linux (Ubuntu 12.04 +), Mac OS X [10.6/10.7/10.8]

Ohjelmisto on täysin ilmainen; se perustuu avoimen lähdekoodin RepRap.org projektiin. Näin 3D-tulostin pystyy palvelemaan useita tarkoituksia ja voit nauttia monista avoimen lähdekoodin mahdollisuuksista. Ohjelmisto toimii seuraavilla tiedostotyypeillä: \* STL ja \*. OBJ.

<http://omni3d.com/en/sklep/3d-printers/architect/>

### **OMNI3D FACTORY 1.4 PRO**

#### **Tekniset tiedot:**

Paino: 14 kg

Toimitus Paino: 31 kg

Toimitus mitat: 650 mm x 570 mm x 650 mm

Käyttöjännite: 230VAC 2A / 110VAC 3.5A

Suuttimen läpimitta: 0.4-0.5 mm

Tulostussäikeen paksuus: 1.75 mm

Tulostusala: 210 mm x 210 mm x 240 mm

Nopea tulostus.

Min. kerrospaksuus: 0.04 mm

Tulostuspää (200C): käyttölämpötila saavutetaan noin 1 min.

2 tulostuspäätä.

Lämpötaso (60C): käyttölämpötila saavutetaan noin 3 min.  
Tulostusmateriaalit\*: PLA, PVA, Nylon, Lay-wood, Lay-brick, PET, Hips.  
USB-liitäntä.

Säännöllisiä ilmaisia tulostimen päivitysosia.  
1 vuoden takuu elektroniikkaan ja ei-kuluviin osiin.  
Ilmainen toimitus.

Päivitysosia: LCD paneeli ja SD kortinlukija

**Ilmainen softa:**

RepetirHost + Skeinforge/SFACT/Cura/SLIC3R

Tiedostotyyppejä: \*. STL / \*. Obj

Käyttöjärjestelmät: Windows XP tai uudempi, Linux (Ubuntu 12.04 +), Mac OS X [10.6/10.7/10.8]

Ohjelmisto on täysin ilmainen; se perustuu avoimen lähdekoodin RepRap.org projektiin. Näin 3D-tulostin pystyy palvelemaan useita tarkoituksia ja voit nauttia monista avoimen lähdekoodin mahdollisuuksista. Ohjelmisto toimii seuraavilla tiedostotyypeillä: \* STL ja \*. OBJ.

<http://omni3d.com/en/sklep/3d-printers/rapcraft-1-4/>

**3DSYSTEMS CubeX DUO**

**Tekniset tiedot:**

Laitteen koko: 515 x 515 x 598 mm

Laitteen paino: 37 kg

Tulostusala: 230 x 265 x 240 mm

Min. kerrospaksuus: 0.1 mm

käyttöjännite: 110-240 VAC

Maksimi tulostuslämpötila: 280 ° C

Valmistajan oma softa

Tulostusmateriaalit\*: ABS, PLA, PVA

USA: <http://cubify.com/en/Products/CubeXTechSpecs>

EU: <http://www.robotshop.com/eu/en/cubex-duo-3d-printer-eu.html>

**Leapfrog CREATR XL**

**Tekniset tiedot:**

Laitteen koko: 500 x 600 x 900 mm

Laitteen paino: 37 kg

Käyttöjännite: 100-240 V

Virrankulutus: 400 W

2 tulostuspäätä

Tulostusala: 230 x 270 x 600 mm

Maksimi tulostusvolyymi: 37,2 L

Min. kerrospaksuus: 0.05 mm

Maximi tulostusnopeus: 350 mm/s

Lämmitetty tulostustaso

Tulostusmateriaalit\*: ABS, PLA, PVA, Laybrick, Nylon

<https://www.lpfrg.com/product/creatr-xl/>

<http://shop.3dtech.fi/tuote/33/creatr-xl-3dtulostin>

\*Tulostusmateriaalit:

PLA (polymaitohappo) - on luonnollista, biologisesti hajoavaa polymeeriä, joka valmistetaan maissi- tai perunatärkkelyksestä. Alhaisen sulamislämpötilan vuoksi se on vakaa 3D-tulostuskomposiitti. Se on myös 100% luontoystävällinen, samaan aikaan kevyt ja vahva.

ABS (Akryylinitriilibutadienistyreeni) - ABS on luultavasti toiseksi helpoin materiaali 3D tulostaa, mutta on varottava, kun tulostetaan suurempia esineitä, koska malli voi kärsiä vääntymisestä kuin se jäähtyy.

ABS on myös hyvä, koska se on helpompi ostaa ja vaatii vähemmän voimaa suulakepuristaa kuin PLA, koska sillä on pienempi kitkakerroin. Tämä tekee siitä paremman, PLA:n verrattuna, materiaalin pieniä osia puristettaessa. Huonona puolena ABS:ssä on, että sitä pitää tulostaa korkeammassa lämpötilassa. Sen lasittumislämpötila on ~ 105 ° C. ABS on amorfinen joten sillä ei ole todellista sulamispistettä, kuitenkin 230 ° C on standardi tulostuslämpötila .

Käyttökohteita ovat muun muassa erilaiset kypärät, kotitalous- ja konttorikoneet, kotelot, Lego-palikat, putket ja profiilit sekä veneet. ABS-muovia käytetään myös henkilöautojen korien helmoissa ja puskureissa polikarbonaatin sekoitteena PC/ABS. Lisäksi tietokoneiden ja tulostinten rungot ovat tavallisesti ABS-muovia.

PP (Polypropeeni) – ABS:n kaltainen termoplastinen polymeeri joka on erittäin vastustuskykyinen liuottimille, emäksille ja hapoille. Käyttölämpötila 160 – 180 ° C.

PVA (Polyvinyylialkoholi) – vesiliukoinen polymeeri jota käytetään pääasiassa 3D-tulostuksessa tukimateriaalina. Käyttölämpötila ~80 ° C. Materiaali alkaa hajota 200 ° C:ssa.

PET (Polyetyleenitereftalaatti) – virvoitusjuomapulloista tuttu kestumuovi. Sulamispiste ~ 260 ° C. Voidaan käyttää ABS:n tavoin. Vastustuskykyinen alkoheille ja liuottimille, hyvä iskunkestävyys.

Nylon - erinomainen viimeistelylaatu, hyvä (parempi kuin ABS:llä) mekaaninen ja kemiallinen kestävyys. Helppo koneistettavuus. Ohutseinäiset nylonesineet ovat hyvin joustavia. Hyvä muotinvalmistusmateriaali.

HIPS (High Impact Polystyrene) – styreenistä valmistettu polymeeri, sulamispiste ~ 240 ° C. Normaali Polystyreeni on haurasta, mutta tämä sekoitetaan polymeroinnin yhteydessä polybutadienin kanssa, saadaan iskunkestävää Polystyreeniä (HIPS). Toimii ABS:n tavoin.

Laywood - sekoitus joka sisältää kuitua kierrätetystä puusta ja polymeeriä sideaineena. Voidaan sulattaa ja valaa kuten muitakin komposiitteja, sillä on samat ominaisuudet kuin PLA materiaalilla. Erikoisen piirre tällä materiaalilla on sen kyky muovautua näyttämään puun kasvurenkailta hienovaraisin ruskean ja beigen värimuunnoksia. Väriä voidaan manipuloida ja muuttaa milloin tahansa asettamalla tulostuspään lämpötila 180 ° C vaaleammalle värille ja 230 ° C tummemmalle sävyille. Jäähdyessä minimaalista vääntymistä.

Laybrick – samanlainen komposiitti kuten Laywood, mutta betonimainen. Polymeeriä sidosaineena ja puukuidun sijaan käytetään erilaisia mineraaleja sekä kalkkikiveä. Tulostuslämpötilaa säätämällä saadaan sileää tai karkeaa pintajälkeä. Useita väri vaihtoehtoja. Jäähdyessä minimaalista vääntymistä.

Saku Katajamäki  
Elektroniikkatuotannon opiskelija  
Turun AMK  
Oppilasnumero: 1002514

Valmistaja	Malli	Hinta €	Pisteet	Koottava	Pisteet	Tuotusloko (XxYxZ)mm	Pisteet	Kerroksen paksuus Z, mm	Pisteet	Tuotusnopeus mm/s	Pisteet	Tuotuspäiden lukumäärä	Pisteet	Yhteensä
German RepRap GmbH	Protos v2 KIT	799	5	Kyllä	3	220x220x130	2	0.1	2	180	3	2	4	19
Cartesio	CartesioW1	2615	3	Kyllä	3	400x200x200	3	0.1	2	150	3	2	4	18
OMNI3D	RAPCRAFT 1.4 KIT	1867	4	Kyllä	3	210x210x240	2	0.04	3		1	2	4	17
OMNI3D	FACTORY 1.2	3367	2	Ei	1	310x310x310	3	0.04	3	150	3	2	4	16
Cartesio	CartesioW1	2465	3	Kyllä	3	400x200x200	3	0.1	2	150	3	1	2	16
Leapfrog	CREATR	1820	4	Ei	1	230x270x200	2	0.05	3	60	2	2	4	16
Velleman	K8200	599	5	Kyllä	3	200x200x200	2	0.2	1	120	3	1	2	16
OMNI3D	FACTORY 1.2	2998	3	Ei	1	310x310x310	3	0.04	3	150	3	1	2	15
OMNI3D	RAPCRAFT 1.4 KIT	1498	4	Kyllä	3	210x210x240	2	0.04	3		1	1	2	15
Leapfrog	CREATR	1520	4	Ei	1	230x270x200	2	0.05	3	60	3	1	2	15
German RepRap GmbH	X400	2974	3	Kyllä	3	400x400x350	3	0.1	2		1	1	2	14
3DSYSTEM	CubeX DUO	2400	3	Ei	1	230x265x240	2	0.1	2		1	2	4	13
Leapfrog	CREATR XL	4800	1	Ei	1	230x270x600	2	0.05	3	60	2	2	4	13
MiniFactory	MiniFactory3	1590	4	Ei	1	150x150x150	1	0.02	3	80	2	1	2	13
3DSYSTEM	CubeX TRIO	3200	2	Ei	1	185x265x240	1	0.1	2		1	3	6	13
3DSYSTEM	CubeX	2000	3	Ei	1	275x265x240	2	0.1	2		1	1	2	11