

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT

School of Energy Systems

LUT Mechanical Engineering

Research Group of Laser Materials Processing

LUT Scientific and Expertise Publications

Raportit ja selvitykset – Reports

95

Heidi Piili, Antti Salminen, Markus Korpela, Anu Kurvinen, Ari
Pikkarainen, Niko Riikonen, Atte Heiskanen, Sami Westman

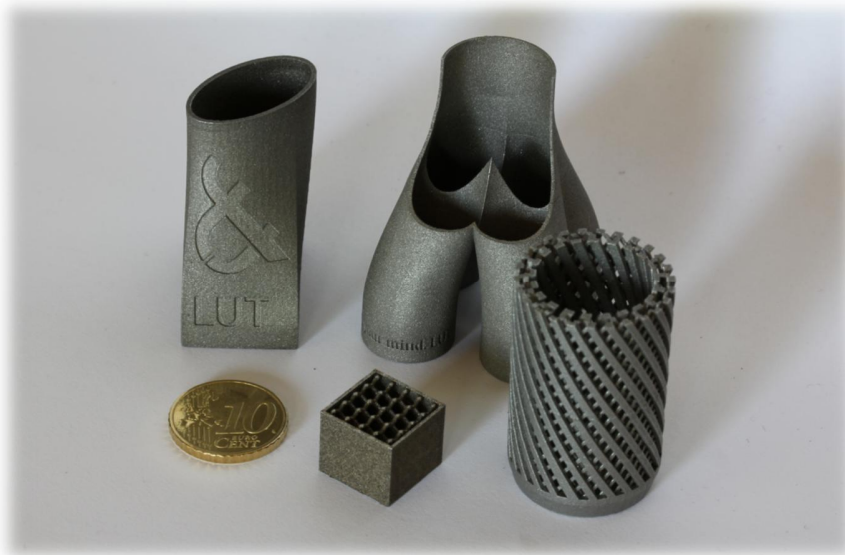
Lähtökohdat 3D-tulostuksen opetukseen ja koulutukseen

**Basis of education and training in 3D
printing**

 LUT
University

LUT-yliopisto
Lasertyöstön laboratorio
Konetekniikan osasto
School of Energy Systems

Lähtökohdat 3D-tulostuksen opetukseen ja koulutukseen



Koonnut: Dosentti Heidi Piili, TkT, LUT-yliopisto
Professori Antti Salminen, TkT, LUT-yliopisto
Nuorempi tutkija Markus Korpela, DI, LUT-yliopisto
Lehtori Anu Kurvinen, KTM, Saimaan AMK, Liiketalous
Lehtori Ari Pikkarainen, DI, Lapin AMK, Konetekniikan koulutus
Projektitutkija Niko Riikonen, DI, LUT-yliopisto
Tutkimusapulainen Atte Heiskanen, TkK, LUT-yliopisto
Tutkimusapulainen Sami Westman, opiskelija, LUT-yliopisto

Kirjoitettu: 11.9.2019

Tiivistelmä

Lisäävä valmistus, tuttavallisemmin 3D-tulostus, on nopeasti kehittyvä valmistustekniikka, joka on herättänyt globaalia kiinnostusta valmistavassa teollisuudessa. Tekniikka mahdollistaa uudenlaisten rakenteiden valmistuksen sen peruseriaatteensa ansiosta, jossa tuote valmistetaan materiaalia lisäämällä. Tämä poikkeaa perinteisestä valmistuksesta täysin, sillä perinteisin menetelmin tuotteita valmistetaan materiaalia poistamalla tai esimerkiksi valamalla, jolloin tuotteen valmistamiseen tarvitaan muotti.

Lisäävä valmistus käsittää joukon erilaisia valmistustekniikoita, joissa kussakin on laitekohtaisia variaatioita. Kukin laitevalmistaja on lisäksi nimennyt omat prosessinsa eri tavoin. Eri tekniikat soveltuvat erilaisille tuotteille ja lisäävälle valmistukselle onkin tyypillistä paitsi teknologioiden, myös sovelluskohteiden laaja kirjo. Myös uusia tekniikoita ja variaatioita jo olemassa oleviin tekniikoihin kehitetään lisää, mikä kasvattaa laajaa alan termistöä entisestään. Uudet tekniikat ja päivitykset mahdollistavat esimerkiksi uusien materiaalien hyödyntämisen, suuremmat tulostusnopeudet sekä rakennuskammioiden kasvaessa entistä suurempien kappaleiden valmistuksen. Myös ohjelmistojen kehitys avaa uusia mahdollisuuksia entistä parempien ja optimoitujen rakenteiden suunnitteluun, mikä on yksi 3D-tulostamisen hyödyntämisen kulmakivistä.

Nopeasti kehittyvä 3D-tulostuksen kenttä lisää tarpeen jatkuvalla kouluttautumiselle, jotta alan kehityksessä pysyy mukana. Uutta laitteistoa, termistöä, ohjelmistoja ja materiaaleja kehitetään jatkuvasti lisää ja tieto vanhenee nopeasti. Nopean kehityksen lomassa 3D-tulostus myös leviää nopeasti maailmalla. Tietoa 3D-tulostuksesta löytyy jo huomattava määrä, mutta oleellista onkin pystyä luomaan luotettavaa tietoon perustuva kokonaiskuva, jotta oppiminen pohjautuu alusta alkaen oikeisiin asioihin eikä virheelliseen tietoon.

Lisäävän valmistuksen sovellusalueita on useita, ja yksittäiset haarat jakautuvat vielä tulevaisuudessa hienojakoisemmaksi teknologian ja sovellustapojen kehittymisen myötä. Koulutukselle tilanne on toisaalta mahdollisuus, mutta toisaalta haaste. 3D-tulostus on monipuolinen aihe ja sitä voidaan soveltaa monella alalla ja tämä luo hyvin laajan koulutuksen kirjon ja tarpeen. Tämän lisäksi lisäävään valmistukseen ja 3D-tulostuksen opetuksen sekä koulutuksen suunnittelu ja laatiminen ovat hyvin haastavia, sillä ala kehittyy nopeasti ja sillä on poikkeuksellisia piirteitä perinteiseen valmistukseen verrattuna. 3D-tulostuksen opetus vaatii opettajalta paitsi sirpaleisen tiedon keräämistä useista eri lähteistä, myös alan aktiivista seuraamista sekä myös opetusmateriaalin säännöllistä vuosittaista uusimista. Opetussuunnitelmien päivittäminen, nopea reagointi 3D-tulostuksen kehitykseen sekä yritysten kanssa tehtävä yhteistyö koulutusten sisällön kehittämiseksi ovat tärkeitä tekijöitä osaamisen tehokkaan siirron mahdollistamiseksi yrityksiin ja valmistavaan teollisuuteen. Teollisen menestyksen saavuttaminen edellyttääkin, että on olemassa sellaisia ammattikorkeakouluja ja yliopistoja, jotka opettavat sekä kouluttavat 3D-tulostuksen asiantuntijoita.

Abstract

Additive manufacturing (AM), or commonly known as 3D printing, is rapidly developing manufacturing technology which has gathered a lot of global interest amongst manufacturing industry. This technology enables fabrication of new structures by utilizing addition of material. This differs remarkably from conventional manufacturing, where fabrication has happened by removing material or by casting, when mold is needed to be able to produce product.

Additive manufacturing consists of several different technologies which have a lot of variation in machine principles. In addition, every machine manufacturer has named their processes differently. Different additive manufacturing technologies are suitable for different products, and it is typical for AM that it has also variation in applications where it is used. New technologies and variations to existing equipment are developed constantly which largens terminology used in AM. New technologies and updates provides possibility to use new materials, faster manufacturing times and larger workpieces. Development of software also opens new possibilities for designing of more efficient and optimized structures, and this is seen as one of largest potential of 3D printing.

This fast development in AM puts constant demand for education and training. New equipment, terminology, software and materials are developed all the time and this makes information in AM to be old-fashioned rapidly. Besides of fast development, 3D printing is also used more widely globally all the time. Information about 3D printing can be found in huge amounts already now, but it is essential to create “big picture” based on reliable information so that learning is based on facts already from beginning, not on false information.

There is huge amount of applications within additive manufacturing, and single branches are even more wide in future when technology and application are further developed. This is both possibility and challenge for education and training. 3D printing is diverse technology and it can be applied in many fields and this all creates very wide need and demand for education and training. In addition, planning and execution of education and training in additive manufacturing and 3D printing is very challenging because whole industry develops fast and it has unique features if it is compared to conventional manufacturing. For teacher, education and training mean collection of fragmented information from many sources, and also following whole industry constantly. Material used for education and training has to be renewed every year. Updated syllabus, fast reactions to development of 3D printing and co-operation with companies are essential to develop education and training in additive manufacturing and 3D printing so that fast transfer of latest information to companies and manufacturing industry can happen efficiently. Industrial success demands that there are such universities of applied sciences and universities which educates and trains experts for additive manufacturing and 3D printing.

Esipuhe

Tämä julkaisu on tehty osana Teollisuuden 3D-tulostus (Me3DI) -hanketta, joka on saanut rahoituksen Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR). Mukana projektissa on LUT-yliopistolta lasertyöstön ja teräsrakenteiden tutkimusryhmät sekä yrityksiä. Hanke alkoi 1.9.2018 ja loppuu 31.12.2020.

Teollisuuden 3D-tulostus -hankkeessa (engl. Metal 3D Innovations, Me3DI) on tavoitteena muodostaa Etelä-Karjalan teollisuuden metallien 3D-tulostuskeskittymä, joka tehostaa metallien lisäävän valmistuksen (3D-tulostus) käyttöä. Keskittymä kokoaa yhteen maakunnan teollisen valmistuksen ja suunnittelun osaamisen hyödyntäen LUT-yliopiston tieteellisen tutkimuksen ja opetuksen resursseja. Hankkeessa selvitetään aluksi yritysten koulutustarpeet lisäävän valmistuksen ja 3D-tulostuksen osalta. Koulutuksen avulla voidaan ideointiprosessista poistaa perinteisiä valmistusteknisiä rajoitteita. Suunnittelutoimistoille koulutuksen hyöty näkyy geometrinen rajoitusten tunnistamisessa ja lujuusteknisten kysymysten tuntemisessa.

Tämä artikkeli haluaa tuoda koulutuksen eri näkökulmia esille, jotta lisäävää valmistusta voitaisiin myös teollisen koulutuksen kautta saada laajemmin implementoitua teollisesti. Tämän artikkelin kirjoittajat kiittävät Teollisuuden 3D-tulostus (Me3DI) -hanketta ja sen osallistujia tuesta sekä mahdollisuudesta tehdä tämä julkaisu.

11.9.2019, Lappeenrannassa

Heidi Piili, Antti Salminen, Markus Korpela, Anu Kurvinen, Ari Pikkarainen, Niko Riikonen, Atte Heiskanen, Sami Westman



Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Esipuhe.....	5
Sisällysluettelo	6
1 Johdanto	7
2 3D-tulostuksen opetus Suomessa ja maailmalla	9
A LUT-yliopiston 3D-tulostusopetus ja -koulutus.....	11
3 LUT-yliopiston 3D-tulostuksen opetuksen ja koulutuksen pedagoginen viitekehys	11
4 LUT-yliopiston 3D-tulostuksen opetuksen ja koulutuksen kehitys	12
B Lapin AMK:n 3D-tulostuksen opetus	18
5 3D-tulostuksen opetus Lapin AMK:n konetekniikan koulutuksessa	18
C Yhteenveto	22
Lähteet	23

1 Johdanto

Lisäävä valmistus (engl. additive manufacturing, AM), tai median kautta paremmin tunnettu 3D-tulostus (engl. 3D printing), on tällä hetkellä yksi globaalisti kiinnostavimpia valmistustekniikoita. Teknologia kokoa alleen ison joukon erilaisia valmistustekniikoita ja -prosesseja, joista kustakin on vielä olemassa lukuisia laitevariantteja. Puhutaan siis useista kymmenistä erilaisista tekniikoista ja laitteistoratkaisuista. Tekniikka kiinnostaa niin tuotteiden valmistuksen, tietotekniikan, liiketoimintamallien, lääketieteen kuin koruvalmistuksen ja muotoilun osajia. Lisäävälle valmistukselle onkin tyypillistä teknologioiden ja sovelluskohteiden tavattoman laaja kirjo.

3D-tulostus tulee olemaan osa digitaalista vallankumousta, joka muuttaa tulevaisuudessa valmistavan teollisuuden toimintatapoja. Valmistava teollisuus on jo nyt muutoksessa: toimijoiden määrä kasvaa, arvoketjuihin tulee uuden tyyppisiä toimijoita ja ennestään tutut toimijat tarjoavat täysin uusia tuotteita, toimintoja ja palveluita. Ongelma usein on se, että roolit ja verkostot eivät tällaisessa tilassa ole vielä muodostuneet.

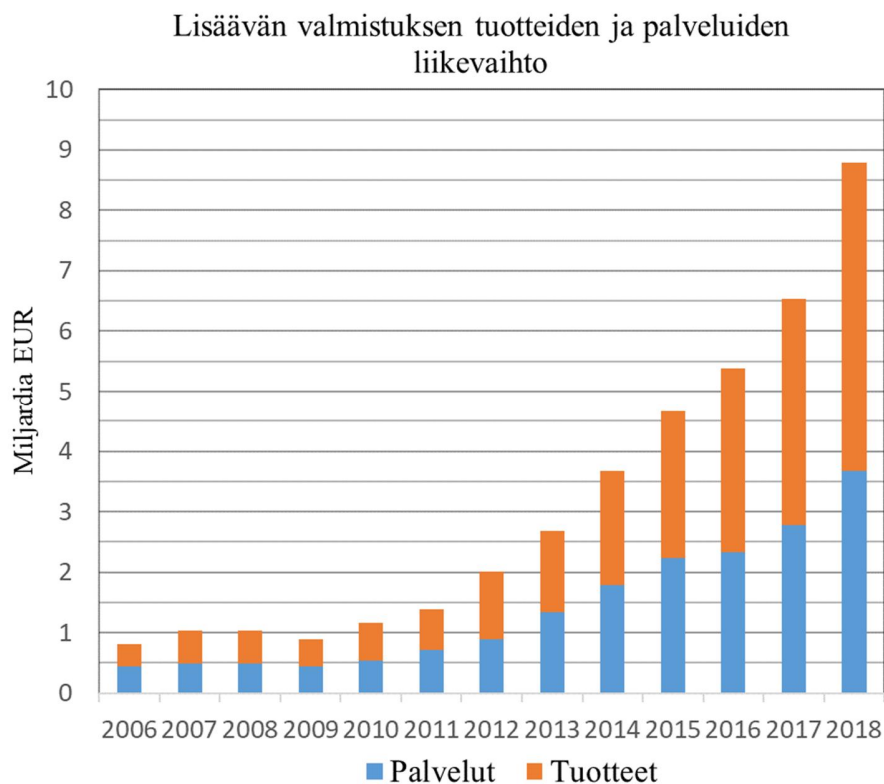
Digitalisaatio mahdollistaa muutoksen keskitetystä tuotantoprosessista hajautettuun, älykkääseen tuotantoon, erityisesti paikalliseen tuotantoon. Tässä kehityksessä 3D-tulostuksella on jalansija. Yritykset hakevat nyt kilpailuetua tekemällä tuotantoa ja logistiikkaa eri tavalla kuin muut. Erilaisten prosessien digitalisoinnilla ja automaatiolla yksikkökustannukset saadaan alas. Näin pitkälle jalostettuja, asiakkaalle räätälöityjä tuotevariaatioita pystytään tuottamaanärkevin kustannuksin lyhyellä toimitusajalla. Odotuksena on, että osa tuotannosta jatkuu kuten ennenkin, mutta osa tulee väistämättä muuttamaan huomattavasti jo lähivuosina. Suunnittelun merkitys tulee korostumaan, sillä suunta on kohti räätälöityjä ja personoituja tuotteita. Digitalisaation myötä valmistuksen odotetaan hajautuvan ja siirtyvän lähemmäksi markkinoita, ja kysymys onkin, että miten verkostot tulevat rakentumaan ja kuinka materiaalien hankinta tullaan organisoimaan.

Kuten mainittu, 3D-tulostuksella on moninaisia vaikutuksia valmistavaan teollisuuteen ja sen huomattavien etujen takia 3D-tulostus on jo otettu tuotannolliseen käyttöön maailmalla. Ollessaan tuore teknologia muihin perinteisiin valmistustekniikoihin nähden, koulutus on avainasemassa 3D-tulostuksen laajamittaisessa ymmärtämisessä. 3D-tulostuksen mahdollisuuksista ja hyödyistä puhutaan usein mediassa, mutta on myös tärkeää ymmärtää eri tulostustekniikoiden rajoitteet. Pitää myös muistaa, että 3D-tulostuksessa termistö on erittäin laaja ja saattaa usein vaikuttaa jopa sekavalta, koska useat eri laitevalmistajat ovat nimenneet prosessinsa itse. Standardisoituja 3D-tulostusprosessikategorioita on seitsemän, joihin lopulta jokainen eri laitevalmistajan tekniikka voidaan kategorioida. Myös uusia tekniikoita ja variaatioita nykyisiin tekniikoihin syntyy lisää, mikä kasvattaa termistöä ja standardoinnin tarvetta entisestään. Uudet tekniikat ja päivitykset mahdollistavat esimerkiksi uusien materiaalien hyödyntämisen, suuremmat tulostusnopeudet sekä rakennuskammioiden kasvaessa entistä suurempien kappaleiden valmistuksen. Myös ohjelmistojen kehitys avaa uusia mahdollisuuksia entistä parempien ja optimoitujen rakenteiden suunnitteluun, mikä on yksi 3D-tulostamisen hyödyntämisen suurimmista eduista. Alan trendinä on selkeästi tuotannollistuminen ja automaatioasteen lisääminen.

3D-tulostus poikkeaa muista valmistustekniikoista merkittävimmin siltä osin, että kappale valmistetaan materiaalia lisäämällä, eikä materiaalia poistamalla aihioista. Myöskään muottia ei käytetä osan valmistamiseen. Jo itsessään tämä muuttaa 3D-tulostuksen lähtökohdat muihin valmistustekniikoihin nähden. 3D-tulostus avaakin uusia mahdollisuuksia ja liiketoimintaa niin tuotesuunnittelun, laitevalmistuksen, tuotannon, jakelun, materiaalikehityksen, ohjelmistojen sekä tutkimuksen piiriin. 3D-tulostuksen kenttä ulottuu aina tuotteiden suunnittelusta lopputuotteiden elinkaaren loppuun.

Nopeasti kehittyvä 3D-tulostuksen kenttä lisää tarpeen jatkuvalla kouluttautumiselle, jotta alan kehityksessä pysyy mukana. Uutta laitteistoa, termistöä, ohjelmistoja ja materiaaleja kehitetään jatkuvasti lisää ja tieto vanhenee nopeasti. Nopean kehityksen lomassa 3D-tulostus myös leviää nopeasti maailmalla. Tietoa 3D-tulostuksesta löytyy jo huomattava määrä, mutta oleellista onkin pystyä luomaan luotettavaa tietoon perustuva kokonaiskuva, jotta oppiminen pohjautuu alusta alkaen oikeisiin asioihin eikä virheelliseen tietoon. Lisäksi tiedon siirto koulutuksesta valmistavaan teollisuuteen luo omat haasteensa, sillä koulutuksen tulee pystyä päivittämään lyhyelläkin aikavälillä olemassa olevien opetussuunnitelmien sisältöä sekä opetuslaitteistoa, jotta valmistuvat omaisivat tuoreimman tiedon tekniikasta.

Kuva 1 esittää liikevaihtoa lisäävän valmistuksen tuotteille ja palveluille. (Wohlers et al. 2019)



Kuva 1. Uusin tilasto myytyjen 3D-tulostuslaitteistojen määrästä maailmanlaajuisesti (Wohlers et al. 2019).

Kuvan 1 tilastosta voidaan nähdä, että vuoden 2009 jälkeen lisäävän valmistuksen liikevaihto on lisääntynyt vuosittain. Tuotteiden ja palveluiden liikevaihto kasvoi vuonna 2018 n. 34 % verrattuna edelliseen vuoteen. Vuosina 2017 ja 2016 vastaavat luvut olivat n. 22 % ja 15 %. Ala onkin kokenut huomattavaa kasvua tällä vuosikymmenellä, liikevaihdon kasvaessa n. 7,4-kertaiseksi viimeisen yhdeksän vuoden aikana.

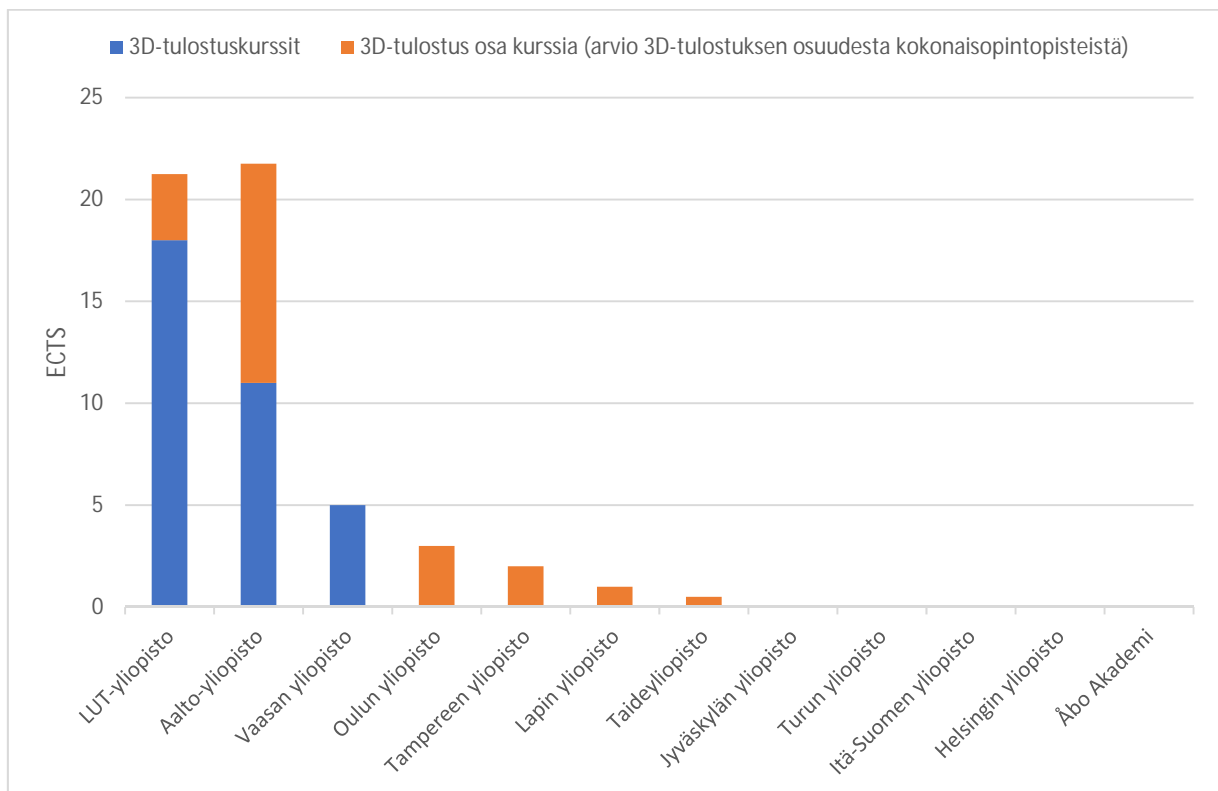
Lisäävän valmistuksen sovellusalueita on useita, ja yksittäiset haarat jakautuvat vielä tulevaisuudessa hienojakoisemmaksi, teknologian ja sovellustapojen kehittymisen myötä. Tilanne on toisaalta koulutukselle mahdollisuus – toisaalta haaste. 3D-tulostus on monipuolinen aihe ja sitä voidaan soveltaa monella alalla, mutta tämä myös luo hyvin laajan koulutuksen kirjjon ja tarpeen. Tämän lisäksi 3D-tulostuksen opetuksen

ja koulutuksen suunnittelu ja laatiminen on hyvin haastavaa, sillä ala kehittyy nopeasti ja sillä on poikkeuksellisia piirteitä perinteiseen valmistukseen verrattuna. Kirjallisuutta on niukasti tarjolla ja julkaisut vanhenevat hyvin nopeasti. 3D-tulostuksen opetus vaatii opettajalta paitsi sirpaleisen tiedon keräämistä useista eri lähteistä, myös alan aktiivista seuraamista sekä myös opetusmateriaalin säännöllistä vuosittaista uusimista.

On myös selvää, että eri tarpeita varten pitää luoda erilaisia koulutuksia eikä monella alalla 3D-tulostuksen koulutuksessa tarvitse mennä syvälle tekniikkaan ja ilmiöihin. Teollisen menestyksen saavuttaminen edellyttää myös, että on olemassa myös sellaisia ammattikorkeakouluja ja yliopistoja, jotka opettavat sekä kouluttavat 3D-tulostuksen asiantuntijoita

2 3D-tulostuksen opetus Suomessa ja maailmalla

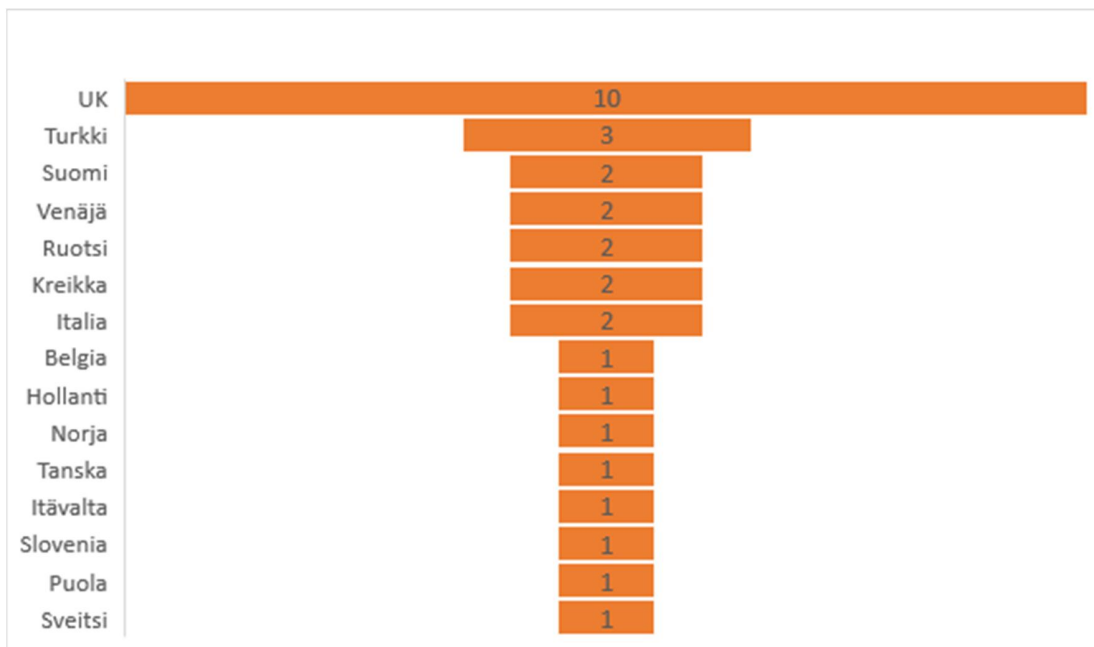
Kuvassa 2 esitetään aktiivinen 3D-tulostusopetus opintopisteinä mitattuna Suomen yliopistoissa. (Yliopistojen kurssitarjonta 2019)



Kuva 2. Aktiivinen 3D-tulostusopetus opintopisteinä mitattuna Suomen yliopistoissa. Sininen palkki kuvaa 3D-tulostusta pääosin käsittelevien kurssien opintopistemäärää ja oranssi palkki arviota 3D-tulostuksen osuudesta sellaisten kurssien opintopisteistä, jotka sisältökuvausten perusteella sisälsivät osaksi 3D-tulostusta. (Yliopistojen kurssitarjonta 2019)

Kuten kuvasta 2 voidaan nähdä, pelkästään 3D-tulostusta käsitteleviä kursseja tarjotaan vain kolmessa yliopistossa (sininen palkki), mutta kaikissa konetekniikan laitoksen omaavissa yliopistoissa (Aalto, LUT, Tampere, Oulu) sitä kuitenkin opetetaan osana jotain muuta kurssia (oranssi palkki). Lisäksi opetusta tarjoavat myös Vaasan ja Lapin yliopistot sekä Taideyliopisto. Aalto-yliopisto ja LUT-yliopisto tarjoavat suurimman osan 3D-tulostuksen opetuksesta Suomen yliopistoissa.

Euroopassa oli vuonna 2016 yli 30 3D-tulostuksen kannalta merkittävää instituutiota, joista kaksi oli Suomessa (LUT ja Aalto). Instituutioiden määrät on eritelty maittain kuvassa 3. (Wohlers et al. 2018)



Kuva 3. 3D-tulostuksen kannalta aktiivisten instituutioiden määrät Euroopassa maittain vuonna 2017 (Wohlers et al. 2018, s. 291–294).

Kuten kuvasta 3 voidaan nähdä, eniten merkittäviä instituutioita oli Isossa-Britanniassa, 10 kpl. Vuonna 2018 seitsemän isobritannialaista yliopistoa tarjosi maisterintutkintoja 3D-tulostus pääaineena (Findamastersin www-sivut 2018). Tutkinnoissa oli mahdollista valita 3D-tulostuksen kursseja 20–60 opintopisteen edestä. Tutkinnot sisälsivät 3D-tulostuksen perusteellisen läpikäymisen teoriana sekä lisäksi niihin kuului loppuyö, joka tyypillisesti käsittelee aihetta. (Yliopistojen www-sivut 2018).

Muissa eurooppalaisissa 3D-tulostuksen kannalta merkittävässä yliopistoissa on mahdollista valita vuoden 2018 selvityksemme perusteella 3D-tulostuksen kursseja 5–12 opintopisteen verran. Suomessa tohtorikoulutukseen liittyvää 3D-tulostuskurssia tarjoaa vain LUT-yliopisto.

A LUT-yliopiston 3D-tulostusopetus ja -koulutus

3 LUT-yliopiston 3D-tulostuksen opetuksen ja koulutuksen pedagoginen viitekehys

Suomessa 3D-tulostuksen opetusta ja koulutusta on myös viime aikoina herätty pohtimaan. Esimerkiksi Piili (2016) on julkaissut laajemmankin katsauksen 3D-tulostuksen opetuksen ja koulutuksen tarpeisiin. On tärkeää pohtia myös modernien valmistustekniikoiden opetusta ja ennen kaikkea myös modernien opetusteknologioiden käyttöä niiden opetuksessa.

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on valikoivaa ja tulkitsevaa tiedonhakuprosessia ja aina tilannesidonnaista. Uuden oppiminen tapahtuu olemassa olevan tiedon pohjalta ja sen päälle uutta rakentaen. Uuden oppiminen edellyttää teknisissä tieteissä kuitenkin perustietopohjaa, johon uudet asiat voi lisätä. Luento-opetus on todettu eri yhteyksissä varsin huonoksi tavaksi opettaa ja totta onkin, että opettaja oppii siinä varsin tehokkaasti, mutta yleensä luennon jälkeen luennoijalla ei ole käsitystä siitä mitä opiskelijat oppivat. Luento-opetuksen hyvänä puolena on, että opettajan/opettajien kokemuksen pohjalta tarvittavan pohja-aineiston kerääminen on tehokkaampaa kuin pelkästään opiskelijoiden tiedon hankintaan pohjautuen. (Piili & Salminen 2016)

2000-luvun koulutuksessa lisäksi lähtökohtana on ymmärtää, missä määrin opiskelija on tiedon vastaanottaja ja missä määrin tiedon prosessoija, jonka oppimista tuetaan erilaisin ohjaamisen keinoin. Samalla on siirrytty uudenaikaisiin oppimisympäristöihin, joissa taitojen soveltamisen oppiminen faktatietämyksen rinnalla on mahdollista. Tämä edellyttää, että opettajakeskeisestä koulutuksesta ja oppimisympäristöstä siirrytään oppijakeskeiseen. (Kurvinen ja Juvonen 2017)

Taulukko 1 esittää opettaja- ja oppijakeskeisten lähestymistapojen eroavaisuudet. (Kurvinen ja Juvonen 2017, mukailen Trilling ja Fadel 2009)

Taulukko 1. Opettajakeskeisen ja oppijakeskeisen lähestymistavan vertailu. (Kurvinen ja Juvonen 2017, mukailen Trilling ja Fadel 2009)

Opettajakeskeinen	Oppijakeskeinen
Suoria ohjeita	Vuorovaikutusta
Tietoa	Taitoja
Sisältö	Prosessi
Perustaitoja	Sovellettavia taitoja
Faktoja ja periaatteita	Kysymyksiä ja ongelmia
Teoria	Käytäntö
Opetussuunnitelma	Projektit
Aikataulutettu	Tarpeen mukaan
Kaikille samaa	Henkilökohtaistettu
Kilpaileva	Yhteistyölle rakentuva
Luokkahuone	Koko maailma
Opettajan määrittelemät aineistot	Kaikki saatavilla oleva aineisto
Summatiiviset kokeet / testit	Kehityksen arviointi
Opitaan koulua varten	Opitaan elämää varten

Motivaation, oppimistyylien ja opetuskäytäntöjen välillä on selkeä yhteys (Fine 2003). Motivaatio vaikuttaa molempiin suuntiin; sen puute alentaa oppimistuloksia ja korkea motivaatio kohottaa tuloksia (Bembenutty 2008).

Yhdysvaltalaiset tutkimukset osoittavat, että insinöörikoulutuksessa saadaan hyviä tuloksia aikaan erilaisilla projektitoilla, joissa opiskelijoilla on kohtuullisen kokoinen, yli kolmen hengen, ryhmä ratkomassa ongelmaa, joka normaalin insinöörin käytännön tehtävien tapaan on avoin niin ratkaisultaan kuin lopputulokseltaankin. Tämä filosofia sopii erittäin hyvin lisäävän valmistuksen opetukseen. Saatavilla olevan tiedon suuren määrän vuoksi on loogista, että opiskelijat etsivät dataa ja käyttävät sitä oman projektinsa mukaisesti ja opettaja ohjaa prosesseja oikeaan suuntaan. (Piili ja Salminen 2016)

4 LUT-yliopiston 3D-tulostuksen opetuksen ja koulutuksen kehitys

3D-tulostuksen opetus aloitettiin LUT-yliopistossa konetekniikan osastolla vuoden 2013 alussa englanninkielisellä kurssilla ”Additive Manufacturing”, jonka laajuus on viisi opintopistettä. Vuonna 2015 tämä kurssinimi muutettiin ”Additive Manufacturing – 3D Printing”, ja sanan ”3D Printing” lisäys yksistään toi kurssille kaksinkertaisen määrän opiskelijoita. Tämän LUT-yliopiston kurssin yhtenä tarkoituksena on edistää erityisesti metallien 3D-tulostuksen osaamista maassamme ja tuoda uuden tekniikan osaamista sekä osaajia metalliteollisuutemme käyttöön. Kurssilla käsitellään laajasti kaikki 3D-tulostuksen päätekniikat, joskin pääpaino on nimenomaan metallien valmistuksessa. LUT-yliopistolla koko tämä opetus oli vuonna 2013 aivan uusi opintokokonaisuus ja sille tarkoituksenmukaiset opetusmenetelmät on pitänytkin luoda aivan alusta lähtien. Tämä diplomi-insinööriopintoihin kuuluva kurssi kestää yhden lukukauden. Aihepiiri on poikkitieteellinen ja etukäteen vuonna 2013 opetukseen lähdetessä näytti siltä, että opiskelijat voivat olla koulutustaustaltaan hyvinkin heterogeenisiä, joten opetustapaan suunniteltiin muutoksia. Tämän tyyppisen uuden teknologian opetuksessa on käytetty moderneja opetustapoja eikä niinkään perinteistä luento-opetusta.

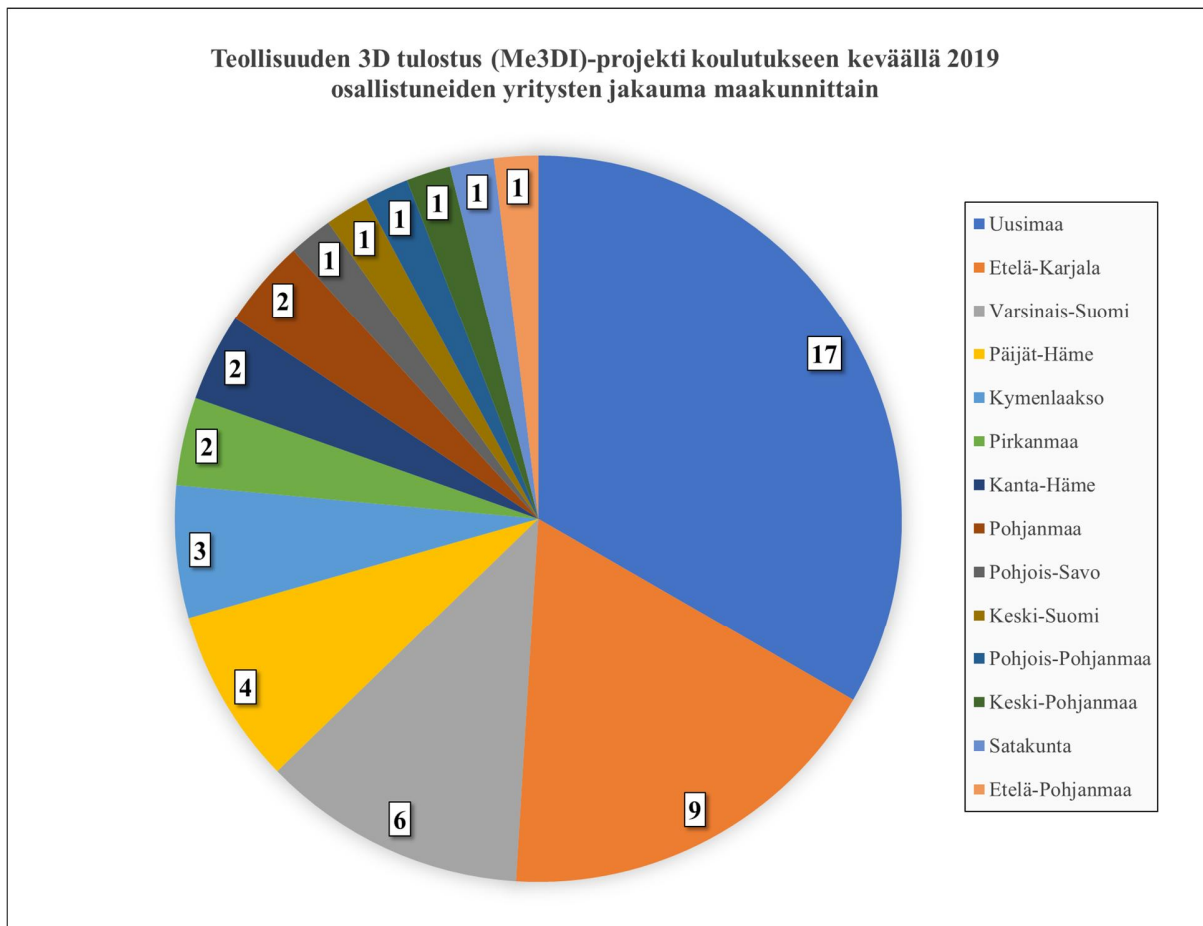
Vuonna 2014 opetusta ja koulutusta laajennettiin LUT-yliopistossa Koulutus- ja kehittämiskeskuksen kanssa vastaamaan teollisuuden koulutustarpeisiin perustamalla suomenkielinen asiantuntijaohjelmakokonaisuus. Kurssi koostui seuraavista osista eli moduuleista:

1. 3D-tulostuksen perusteet, kaksi lähiopetuspäivää
2. 3D-tulostuksen vaiheet, kaksi lähiopetuspäivää
3. Muovien 3D-tulostustekniikat ja -laitteistot, kaksi lähiopetuspäivää
4. Metallien 3D-tulostustekniikat ja -laitteistot, kaksi lähiopetuspäivää
5. 3D-tulostusprojektityö, neljä lähiopetuspäivää

Kesällä 2015 LUT-yliopistossa aloitettiin myös kurssi ”Additive manufacturing and 3D printing” kesäkoulussa, eli LUT Summer Schoolissa. Tämän laajuus on kolme opintopistettä. Kurssin suosio yllätti järjestäjät positiivisesti.

Syksyllä 2018 käynnistyneessä Teollisuuden 3D-tulostus (Me3DI) -hankkeessa metallien 3D-tulostamiseen erikoistuneessa koulutuspaketissa LUT-yliopisto tarjoaa koulutusta teollisuuden yrityksille, jotta tietoisuutta metallien 3D-tulostamisesta saataisiin lisättyä yritystasolle ja tekniikkaa alettaisiin hyödyntämään laajemmin Suomessa. Koulutukset on toteutettu osana Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamaa Me3DI-hanketta, joka tähtää muodostamaan metallien 3D-tulostuskeskittymän Etelä-Karjalan alueelle kaikkine toimijoinen aina tuotesuunnittelusta lopputuotteen käyttäjiin tehostaakseen metallien

lisäävän valmistuksen käyttöä. Hanke on kaksivuotinen, joten se on yhä tätä kirjoitettaessa käynnissä. Jo pidettyihin koulutuksiin osallistui yli 100 henkilöä yli 50 yrityksestä eripuolilta Suomea. Jakauma osallistuneista yrityksistä heidän kotipaikkakuntansa perusteella jaoteltuna on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Me3DI-hankkeen koulutukseen osallistuneiden yritysten jakauma maakunnittain.

Kuten kuvasta 4 nähdään, suurin joukko Me3DI-hankkeen koulutuksiin osallistuneista yrityksistä sijaitsee Uudellamaalla ja seuraavaksi suurin osa Etelä-Karjalassa. Kolmantena Varsinais-Suomi. Ne maakunnat, joista ei ollut yhtään osallistujaa, on jätetty pois kuvaajasta.

Me3DI-hankkeen koulutukseen sisältyi sekä suomen- että englanninkielisiä luentoja yhteensä 28 kappaletta, joista seitsemän suomeksi. Koulutukset pidettiin vuonna 2019 pääosin helmikuun ja kesäkuun välisenä aikana. Koulutuksista saatu palaute oli todella positiivista.

Taulukossa 2 on esitetty LUT-yliopistolla tällä hetkellä tarjolla olevat perustutkintokoulutuksissa olevat 3D-tulostuksen kurssit.

Taulukko 2. Tämän hetkinen LUT-yliopiston 3D-tulostuksen perustutkintokoulutus.

Opintojaksot	Op	Opiskelija- määrät (ka)
BK30A0901 Additive Manufacturing – 3D Printing	5	70
BK30A0803 Digital Advanced Manufacturing with Lasers	5	25
BK30A1201 Laser Materials Processing	5	25
BK30A1301 Laser Based Manufacturing for Design	5	20
BK30A1000SS Additive Manufacturing - 3D Printing, LUT Summer School Course	3	20
Yhteensä:	23	160

Taulukossa 3 on esitetty LUT-yliopistolla tällä hetkellä tarjolla olevat jatkotutkintokoulutuksessa olevat 3D-tulostuksen kurssit.

Taulukko 3. Tämän hetkinen LUT-yliopiston 3D-tulostuksen jatkotutkintokoulutus.

Opintojaksot	Op	Opiskelija- määrät (ka)
BK30AJ110 Postgraduate Course in Laser Based Additive Manufacturing and 3D Printing	10	10
Yhteensä:	10	10

”Additive Manufacturing – 3D Printing” -kurssilla opetus aloitetaan aloitusluennolla, jossa käydään kurssin sisältö läpi, alustetaan harjoitustyö ja käydään läpi sen vaiheet. Ytimenä on harjoitustöiden avulla toteutettava ryhmäoppiminen. Kurssi luennoidaan kaksi kertaa viikossa kolmen kuukauden ajan, jonka jälkeen kurssin aikana tehdyt harjoitustyöt esitetään seminaarissa ja lopuksi harjoitustyöstä kirjoitetaan raportti. Luennointi on rytmitetty pääosin lukukauden alkuun, jolloin saadaan jaettavaa varhaisessa vaiheessa tarvittava tietopohja, joka taas hyödyntää harjoitustyön tekemistä. Luennot tukevat harjoitustyön tekemistä ja antavat opiskelijoille laajemmin tietoa koko aihepiiristä. Luentoja on täydennetty alalla toimivien yritysedustajien vierailuluennoilla, jotka pidetään kurssin lopussa, jotta opiskelijoille on ehtinyt muodostua jo riittävän laaja kuva lisäävästä valmistuksesta yritysedustajien luennoilla käytyjen asioiden ymmärtämiseen sekä mahdollisten kysymysten kysymiseen yrityksiltä. Opiskelijat saavat siis myös tietoa siitä, kuinka teollisuus soveltaa lisäävän valmistuksen ja 3D-tulostuksen mahdollisuuksia, ja toisaalta taas siitä, mitkä ovat yritysedustajien mielestä teknologian tämänhetkiset haasteet.

Harjoitustyö etenee projektina, eli sille on laadittu aikataulu, joka noudattaa normaalia teollisuuden tuotekehityshanketta ideasta valmiiksi tuotteeksi. Aiheena on suunnitella ja valmistaa tietyillä reunaehdoilla ryhmän valinnan mukainen konkreettinen tuote. Aihe on jätetty avoimeksi niin toteutuksen kuin lopputuloksenkin osalta eli ryhmän luovuudelle jää tilaa. Ainoa rajoite on tuotteen maksimikoko, joka on tarpeen, jotta kaikkien ryhmien tuotteet voidaan vaivattomasti valmistaa. Kaikista harjoitustyöryhmien tuottamista aihioista valmistetaan ensin muovinen konkreettinen malli 3D-tulostamalla, jonka jälkeen järjestetään kurssin opiskelijoiden kesken äänestys, jossa valitaan viisi parasta tuotetta metallitulostukseen. Lukumäärä on rajattu viiteen, jotta kaikki kappaleet pystytään valmistamaan yhdellä ajolla. Kaikki ryhmät

kuitenkin suunnittelevat oman tuotteen myös metallista valmistettavaksi, vaikka heidän tuotetta ei metallista tulostettaisikaan. Tämä on tärkeää oppimisen kannalta.

Koulutus alkoi vuonna 2013 melko vaatimattomalla suosiolla, mutta vuosien varrella opiskelijamäärät ovat tasaisesti kasvaneet. Erityisesti kurssin nimen vaihdos pelkästä ”Additive manufacturing”-nimestä nimeen ”Additive manufacturing and 3D printing” toi kurssille kaksinkertaisen määrän opiskelijoita. 2018–2019-lukukaudella opiskelijoita ilmoittautui yli 75.

Projektityön vaiheet

1. Tiimien muodostaminen
Opiskelijat muodostavat ryhmät, joissa harjoitustyö tehdään.
2. Idea
Tässä vaiheessa ryhmällä on idea tuotteesta.
3. Kolme eri välinäyttöä mallien kehittämisestä
Näillä välinäytöillä käydään suunnittelusääntöjä läpi ja tarkistetaan että suunniteltavasta kappaleesta on tulossa sellainen, että se voidaan valmistaa metallien lisäävällä valmistuksella. Opiskelijat oppivat tämän välinäyttöprosessin ohessa koko ajan luennolla lisää suunnittelusta sekä tukirakenteista.
4. 3D-malli, välinäyttö, muovimalli
Ryhmällä on tässä vaiheessa rakenteesta digitaalinen kolmiulotteinen malli, jonka perusteella voidaan arvioida rakenne ja sen valmistettavuus. Kaikille kurssin opiskelijoille yhteisessä välinäytössä kukin ryhmä esittelee PowerPoint-esityksellä välinäyttöön mennessä tekemänsä mallin ja jatkosuunnitelman. Kappaleista valmistetaan muovimalli, jonka avulla voidaan arvioida metallirakenteen valmistettavuus. Lisäksi järjestetään äänestys viidestä parhaasta tuotteesta, jotka tulostetaan metallista.
5. Tukirakenteet
Useat lisäävän valmistuksen menetelmät edellyttävät ns. tukirakenteiden valmistuksen. Näillä mahdollistetaan tuotteeseen tulevien ns. ”roikkuvien” rakenteiden (engl. overhang) valmistus. Tässä vaiheessa opiskelijat ovat arvioineet mallinsa muovitulosteen pohjalta ja suunnitelleet tarvittavat tukirakenteet erikoisohjelmistolla metallitulostusta varten. Myös ryhmät, joiden tuotetta ei tulosteta metallista, tekevät tämän.
6. Valmistus
Viisi äänestettyä tuotetta valmistetaan metallista. Tähän vaiheeseen kuuluu vielä tukirakenteet sisältävän digitaalisen mallin käsittely lisäävän valmistuksen koneelle sopivaksi.
7. Jälkikäsittely
Kappale irrotetaan rakennusalustasta ja sille tehdään ulkonäön edellyttämät viimeistelyt, jotta kappale vastaa suunnitelmaa ja kuluttajatuotteen vaatimuksia.
8. Raportti
Ryhmä laatii projektin toteutuksesta ja ennen kaikkea digitaalisen mallin suunnittelun eri vaiheista kattavan raportin, jota käytetään työn arvioinnissa hyväksi.
9. Seminaari
Ryhmät esittelevät työnsä tulokset yhteisessä kaikille pakollisessa seminaarissa. Esitystä varten laaditaan PowerPoint-esitys, joka arvioidaan.

Oppimisympäristö

Kurssin luento-osuuksien opiskeleminen perustuu opiskelijoiden itsenäiseen luentojen seuraamiseen Moodle-alustalla, sekä alustalle linkitettyjen, teorian opiskelua tukevien lisämateriaalien opiskeluun. Ryhmissä tehtävässä harjoitustyössä opittua sovelletaan käytäntöön ja oppimista tukevat sekä luennoitsijoiden antama palaute työn kaikissa eri vaiheissa että opiskelijoiden oma reflektio oppimastaan seminaarin kautta sekä johtopäätösten tekeminen koko valmistusprosessista. Suunnitteluprosessi, valmistusmenetelmä sekä perusteet menetelmän käytölle esitetään koko muulle ryhmälle. Kaikkien ryhmien suunnittelemat työt valmistetaan laboratoriossa muoviraaka-aineista 3D-tulostamalla. Muovista valmistetut kappaleet esitellään muulle opiskelijaryhmälle ja opiskelijat äänestävät viisi parasta designia, jotka soveltuvat valmistettavaksi metallista. Suuri osa oppimisprosessista ja opiskeltavista materiaaleista on itsenäisesti opiskeltava verkossa, jolloin luennoitsijoilta saatava nopeasti saatavilla oleva tuki ja palaute korostuu entisestään.

Opiskelijan kokemusta omasta oppimistaan tarkasteltiin haastattelututkimuksen avulla. Palautetta kerättiin keväällä 2019 muutamia kurssin suorittaneita tutkinto-opiskelijoita, parhaillaan kurssia käyviä opiskelijoita sekä täydennyskoulutukseen osallistuneita opiskelijoita. Tutkinto-opiskelijoista osa oli konetekniikan ja osa kemiantekniikan opiskelijoita. Kemiantekniikan alalla on nähtävissä joitakin sovellusalueita 3D-tulostamisen käytölle. Tämä vahvistaa myöskin ajatusta monialaisesta opiskelusta ja oppimisesta tämänkaltaisissa yliopisto-opinnoissa. Opiskelijoilta kysyttiin, kuinka he näkevät itsensä yleisesti oppijana ja kuinka kurssin pedagogiikka auttoi heidän oppimistaan sekä lisäsi syvällisempää ymmärtämystä aihepiiristä. Toinen kohderyhmä, jota lähestyttiin verkkokyselyllä, olivat teollisuuden edustajat, jotka suorittivat opintoja Me3DI-projektin järjestämänä täydennyskoulutuksena. Teollisuudesta mukana olleilta koulutettavilta haluttiin tietää heidän näkemyksiään siitä, kuinka koulutuksesta saatavaa alan viimeisintä tietoa voitaisiin hyödyntää heidän toimialallaan ja liiketoiminnassaan.

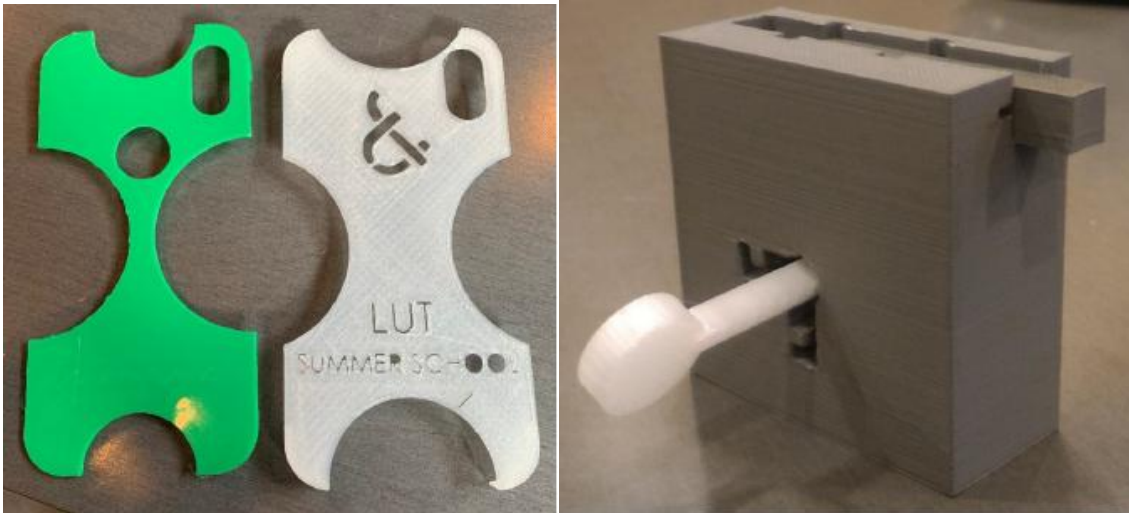
Saadut oppimiskokemukset

Kaikkien opiskelijoiden antamat vastaukset vahvistivat näkemystä siitä, etteivät perinteiset luennoitsijakeskeiset opetusmenetelmät välttämättä tue oppimisprosessia parhaalla mahdollisella tavalla. Opiskelijat kertoivat hyödyntäneensä oppimisalustalla olevia luennoituja videoita sekä hyvin laajaa alustalle linkitettyä taustamateriaalia, kuten lisäävän valmistuksen tekniikoita esitteleviä videoklippejä. Näistä taustatietoja opiskelijat pystyivät hyödyntämään kurssilla toteutetussa ryhmätyössä konkreettisesti.

Kaikki opiskelijat kertoivat, että ryhmätyö, jossa käytiin läpi koko valmistusprosessi suunnitteluvaiheesta alkaen, oli keskeisessä roolissa tukemassa oppimista. Töiden kireän valmistusaikataulun vuoksi opiskelijat eivät itse päässeet toteuttamaan laboratoriossa tapahtuvaa valmistusta, mutta ryhmät saivat demonstraatiomateriaalia, kuten videoita ja valokuvia valmistuksesta ja sen etenemisestä. Se, että työn tuloksen näki konkreettisesti, koettiin hyvin merkitykselliseksi. Yksi yleisesti saatu kokemus oli, että muiden ryhmien suorituksista voitiin myös oppia. Opintojakso koettiin hyvin käytännönläheisesti orientoituneeksi, mikä koettiin hyvin poikkeukselliseksi tekniikan alan koulutuksessa.

Osa opiskelijoista oli ymmärtänyt ajatuksen luovasta ja uudenlaisesta, innovatiivisen ajattelun omaksumisesta erittäin hyvin. Tämä onkin tärkeää ymmärtää, sillä lisäävän valmistuksen sovellusalueilla tarvitaan juuri uudenlaisia ratkaisuja, jotka eivät suoraan korvaa perinteisiä menetelmiä, vaan saattavat täydentää niitä.

Myös kurssilla opettavien mukaan harjoitustöiden taso on ollut erittäin korkea. Kuvassa 5 on esitetty vuoden 2019 kesäkoulun ”Additive Manufacturing – 3D Printing” -kurssin tuloksia.



Kuva 5. Opiskelijoiden harjoitustöiden tuloksia vuoden 2019 kesäkoulun ”Additive Manufacturing – 3D Printing” –kurssilla. Puhelimen kuoret vasemmalla ja toimiva lukkopesä oikealla.

Itse asiassa kurssin laatijoille ja opettajille on tullut täytenä yllätyksenä, kuinka paljon aiheen opetuksesta saadaan aiheita myös tutkimukseen, kun opiskelijat ovat pystyneet usein tuomaan esille uusia asioita, joita olivat selvittäneet työtä tehdessään, ja jotka olivat uusia jopa opettajille. Harjoitustöissä on myös käsitelty runsaasti erilaisia käytännön sovelluksia, joista suuri osa oli teollisesti toteutettuja eri teollisuuden aloilla.

Opiskelijat kirjaavat kurssilla palautetta oppimisestaan, opetuksesta ja kurssista kurssin jälkeen erikseen palautettavaan reflektioon. Kritiikkiä kurssit ovat saaneet lähinnä aikataulujen muutoksista sekä aihealuetta käsittelevien teemojen järjestyksestä. Palautteiden perusteella on luotu asioille sellainen käsittelyjärjestely, että oppiminen tapahtuu konstruktiiivisesti.

Täydennyskoulutukseen osallistuneiden teollisuuden edustajien kyselyssä selvisi, että he olivat tietoisia saatavilla olevasta koulutustarjonnasta. Koska lisäävän valmistuksen uusin tutkimustieto on yliopistoissa. Teollisuuden edustajat kokivat, että yliopistojen rooli on toimia myös alan kouluttajana, jotta yritysten kilpailukyky tulevaisuudessa pystytään vahvistamaan ja ylläpitämään.

Luovuuden ulottuvuus

Tekoälyn ja neljännen teollisen vallankumouksen aikakaudella on olemassa vielä jotakin, mitä emme voi korvata täysin digitalisaatiolla ja automaatiolla, se jokin on luovuus. IBM:n (2010) tekemän tutkimuksen mukaan kaikilla yrityksen toiminnan tasoilla on juuri se tapa vastata toimintaympäristön haastavuuteen ja kompleksisuuteen, jotta haasteista voidaan rakentaa uusia liiketoiminnan mahdollisuuksia. Pedagogisten menetelmien kehittäminen on jatkuva, ajan myötä uusiutuva prosessi. Lisäävä valmistus itsessään on aihe, jonka kaikkia mahdollisia sovellusalueita ei vielä ole löydetty. Tämä asettaa yleisesti vaatimuksen oppia luovuutta ja kykyä perinteisten valmistavassa teollisuudessa käytettyjen menetelmien ulkopuolelle.

B Lapin AMK:n 3D-tulostuksen opetus

5 3D-tulostuksen opetus Lapin AMK:n konetekniikan koulutuksessa

Lapin Ammattikorkeakoulu sijaitsee Pohjois-Suomessa kolmella eri paikkakunnalla: Kemissä, Rovaniemellä ja Torniossa. Lapin AMK:ssa on n. 5200 opiskelijaa tarjoten koulutusta tekniikan, terveyden, kaupan, kulttuurin ja luonnonvarojen aloilla. Konetekniikan koulutus sijaitsee Kemissä tarjoten mahdollisuuden kouluttautua kone- ja tuotantotekniikan insinööriksi eri osa-alueille.

Lapin AMK:n konetekniikan koulutus päätti vuoden 2015 alussa hankkia ensimmäiset muovien pursotukseen perustuvat 3D-tulostimet, joiden tarkoitus oli järjestää uudenlaisen tuotantoteknologian opetusta ja antaa opiskelijoille uusia mahdollisuuksia tehdä käytännön töitä projektituonteisesti. Koulutukseen hankittiin 6 kpl muovien pursotukseen perustuvaa tulostinta suomalaiselta Minifactory Oy -yritykseltä, koska tekniikan oppimiskynnys ja hinta olivat matalampia verrattuna muihin tulostustekniikoihin.

Tämän ns. ensimmäisen vaiheen tarkoitus oli hankkia aiheesta tietämystä ja luoda pohja 3D-tulostuksen opetuksen ja oppimisen järjestämiselle. Tähän liittyi henkilökunnan kouluttautumista ja tutustumista laitteisiin sekä aiheeseen liittyvään teoriaan. 3D-tulostus otettiin osaksi erityisesti tietokoneavusteiden suunnittelun opintojaksoja, joissa tekniikkaa käytettiin tuottamaan prototyyppejä tehdyistä suunnitelmista. Opiskelijoille annettiin lisäksi mahdollisuus perehdytyksen jälkeen valmistaa omia projekteja tulostimilla ja tämä osoittautuikin varsin suosituksi toiminnaksi. Taulukossa 5 on esitetty tuolloisen opetussuunnitelman (OPS) mukaiset tarjolla olevat opintojaksot, joiden aiheet liittyvät 3D-tulostukseen joko kokonaan tai osittain. Kaikki opintojaksot olivat tarjolla vaihtoehtoisina opintojaksoina, joita opiskelijat saivat valita. Opintopisteet sisältävät sekä teoria- että käytännön osuuden.

Taulukko 5. Vanhan OPS:n mukaiset 3D-tulostukseen liittyvät opintojaksot.

Opintojaksot	Op (3D-tulostuksen osuus max)	Opiskelijamäärät (ka)
3K3409 3D CAD Jatko 2	3	12
3K3123 3D Printing (book exam)	3	11
3K7245 Projekti: Koneensuunnittelu 1	2	4
3K7246 Projekti: Koneensuunnittelu 2	6	4
Yhteensä:	14	31

Tähän liittyen LUT-yliopistolle tehtiin konetekniikan diplomityö 2017, jonka tavoitteena oli suunnitella ja luoda 3D-tulostuksen oppimisympäristö Lapin AMK:n konetekniikan koulutukselle. Työn yksi päätulos oli kaksivaiheinen 3D-tulostuksen oppimisprosessi, jonka seurauksena opiskelijoista koulutettiin itsenäisiä muovien pursotukseen perustuvan 3D-tulostuksen osaajia.

Ensimmäisessä vaiheessa opiskelija omaksuu tarvittavan perusteorian eri tulostustekniikoihin liittyen ja suorittaa ensimmäisen tehtävän, joka on portfoliotyypinen katsaus 3D-tulostuksen eri osa-alueisiin:

1. Lisäävän valmistuksen perusteet
2. Lisäävän valmistuksen prosessi
3. Eri 3D-tulostustekniikat
4. Jälkityöstö ja sen merkitys
5. DfAM-suunnitteluperiaatteet (Design for Additive Manufacturing)
6. Lisäävä valmistus osana koneen-/tuotesuunnitteluprosessia
7. Tulostusprosessin läpikäynti konekohtaisesti (mm. tekniikat, suunnitteluperusteet, jälkityöstö jne.).

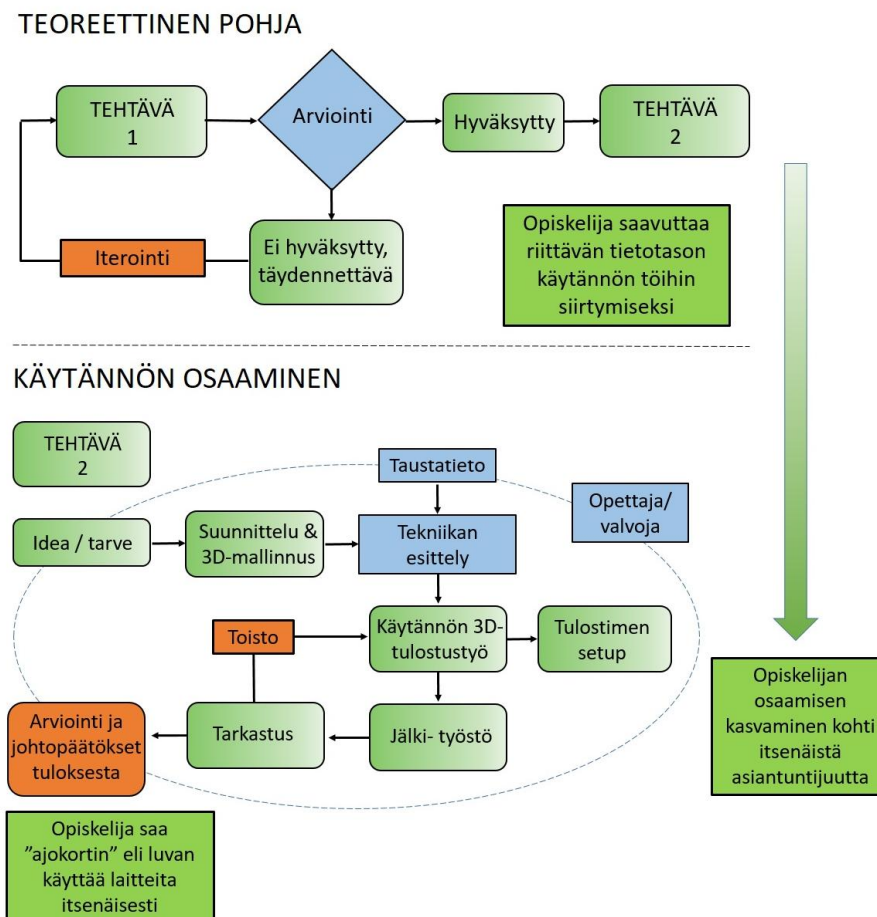
Mikäli ensimmäinen vaihe on suoritettu hyväksytysti, opiskelijalla on täten riittävä teoreettinen tietopohja, jotta voidaan siirtyä käytännön työhön. Opettajan ja opiskelijan dialogi portfolioista mahdollistaa ensinnäkin tarvittavan tietotason varmentamisen, mutta myös keskustelun ja palautteen kautta opiskelija voi syventää ja kehittää haluamiaan osa-alueita.

Tämän jälkeen opiskelija etenee toiseen vaiheeseen, jossa suoritetaan laajamittaisempi suunnittelu- ja käytännön tulostustyö, jonka aikana opiskelija pääsee sekä ohjatusti että itsenäisesti suorittamaan lisäävän valmistuksen mukaista prosessia opettajan toimiessa oppimisen ohjaajana sekä palautteen antajana jokaisessa vaiheessa. Opiskelija saa tämän vaiheen myötä ”ajokortin” eli luvan käyttää laitteita myös itsenäisesti. Samaa prosessia voidaan myös soveltaa laite-/tekniikkakohtaisesti, sillä muovitulostustekniikat poikkeavat toisistaan olennaisesti.

Tämä kaksivaiheiden prosessi mahdollistaa teoreettisen tiedon ja käytännön taidon yhdistämisen perinteiseen suunnitteluprosessiin, jonka hallitseminen on yksi konetekniikan koulutuksen kulmakivistä. Kaksivaiheinen oppimisprosessi on esitetty kuvassa 6.

Tämä kolmen vuoden ajanjakso on juurruttanut 3D-tulostuksen pysyväksi osaksi opintojaksoja ja erityisesti oppilasprojekteja, joiden pohjalta Lapin AMK:n konetekniikan koulutus on nyt toteuttamassa toista vaihetta, jossa suunnitellaan ja rakennetaan täysin uusi 3D-tulostuslaboratorio, jossa keskiössä on opiskelijan oppiminen sekä turvallisen 3D-tulostuksen järjestäminen. Tavoitteena on mahdollistaa useamman polymeerien tulostukseen perustuvan tekniikan oppiminen ja sitä kautta tehostaa oppilaiden 3D-tulostuksen osaamista. Tärkeä tavoite on myös viedä valmistuvien opiskelijoiden mukana tietämystä 3D-tulostuksen mahdollisuuksista alueen teollisuuteen ja yrityksiin. Uuden laboratorion myötä konetekniikan koulutuksessa ollaan kehittämässä olemassa olevan oppimisprosessin pohjalta uudenlaista 3D-tulostuksen oppimisprosessia, jossa oppiminen tehostuu usean käytettävän tekniikan kautta ottaen huomioon pedagogiset perusteet tekniikan kautta, erilaiset muovien tulostustekniikat sekä lisäävän valmistuksen prosessivalinnan tekniikkakohtaisesti. Tämä kehitystyö kulminoituu tämän julkaisun kirjoittamishetkellä meneillään olevassa väitöstutkimuksessa LUT-yliopistolle, jota tehdään Lapin AMK:n konetekniikan koulutuksessa.

Tämän lisäksi vuonna 2017 käyttöön otettu uusi OPS mahdollistaa 3D-tulostuksen mukaan ottamisen useaan eri opintojaksoon antaen opiskelijoille mahdollisuuden soveltaa opittuja asioita eri ydinaineiden parissa. Uuden OPS:n rakenne perustuu projektioppimiseen, jossa jokaisen lukukauden keskiössä on oppimisprojekti ja lukukauden muut oppiaineet tukevat projektin sisältöä. Näiden ns. ”tukikurssien” sisältö tukee projektin toteuttamista ja 3D-tulostuksen mukaan ottaminen erityisesti projekteihin mahdollistaa yhä useamman opiskelijan osallistumisen oppimiseen.



Kuva 6. Lapin AMK:n konetekniikan koulutuksen 3D-tulostuksen oppimisprosessi (Pikkarainen 2017).

Uuden tulevan laboratorioympäristön integrointi useaan eri opintojaksoon mahdollistaa 3D-tulostuksen osuuden huomattavan kasvun Lapin AMK:n konetekniikan koulutuksen sisällössä ja tavoitteena onkin hyödyntää sitä laaja-alaisesti niin opetuksessa kuin TKI-hankkeissakin. Tämän myötä koko vuosikurssi käy läpi tietyt opintojaksot, joissa käsitellään 3D-tulostusta, jolloin siitä tulee luonnollinen osa koulutusta. Projektit mahdollistavat myös toimeksiannon saamisen työelämästä, jolloin yrityksetkin voivat hyötyä tehtävien kehitystöiden kautta 3D-tulostuslaboratoriosta. Tämä onkin tärkeää, sillä teknologian laaja-alainen levittäminen vaatii sen, että nykyiset koulutettavat insinöörit omaksuvat 3D-tulostuksen yhdeksi valmistustekniikaksi perinteisten ainetta poistavien tekniikoiden rinnalle. Opiskelijamääristä on huomioitava se, että lukuvuoden aikana sama ryhmä käy läpi tietyt opintojaksot mutta eri vuosikurssien myötä 3D-tulostuksen osaavien opiskelijoiden määrä kasvaa huomattavasti.

Taulukossa 6 on esitetty uuden OPS:n mukaiset opintojaksot, jotka sisältävät 3D-tulostamista. Projekteissa tulostuksen osuus riippuu aina aiheesta, koska tekniikkaa voidaan käyttää esim. prototyypin tai lopputuotteen tekemiseen. Uuden OPS:n myötä 3D-tulostuksen osuutta erityisesti saavutettavien

opiskelijoiden määrällä mitattuna saadaan kasvatettua huomattavasti, sillä 3D-tulostus on kiinteänä osana pakollisia opintojaksoja eikä pelkästään mukana vaihtoehtoisissa opintojaksoissa, kuten vanhassa OPS:ssa.

Taulukko 6. Uuden OPS:n mukaiset 3D-tulostukseen liittyvät opintojaksot.

Opintojaksot	Op (3D-tulostuksen osuus max)	Opiskelijamäärät (ka)
K502K101 Projekti: Tuotekehitys	1	25
K502K102 Projekti: Prototyyppi	2	25
K502K144 Tuotteen 3D suunnittelu	2	25
3K3124 3D Printing (book exam)	5	12
K502K301 Työelämälähtöinen projekti	2	25
K502K302 Projekti: Ratkaisun jäljillä	2	25
K502K311 3D tulostus ja sovellukset (1. toteutus kevät 2020 uudessa 3D-tulostuslaboratoriossa)	5	? (valinnainen opintojakso, ilmoittautuminen ei vielä auki tämän kirjoittamishetkellä)
Yhteensä:	19	137

Tulevaisuudessa insinöörikoulutuksen järjestäjien yksi keskeinen haaste onkin 3D-tulostuksen tietämyksen lisääminen erityisesti teollisuudessa ja yrityksissä. Alan nopea muuttuminen ja erityisesti teknologian huima kehitystahti asettaa suuria haasteita insinöörikoulutukselle; miten taata ajanmukaisen tietämyksen leviäminen valmistuvien insinöörien myötä teollisuuteen ja yrityksiin? Opetussuunnitelma on hyvä työväline opetuksen ja oppimisen järjestämiseen, mutta insinöörikoulutuksen neljän vuoden läpivientisykli on liian hidaskäyttö 3D-tulostuksen tekniikan kehittymisen rinnalla. Opetussuunnitelman tulee mahdollistaa myös nopeat muutokset ja tämä tapahtuu erityisesti mahdollistamalla 3D-tulostuksen integroiminen useaan eri oppiaineeseen ja projektiin sekä päivittämällä toteutussuunnitelmia jokaisella toteutuskerralla; vaikkakin 3D-tulostuksen perusteet pysyvät samoina, jopa yhden vuodenkin aikana voi tulla uusia mahdollisuuksia teknologian hyödyntämiseen erityisesti valmistavassa teollisuudessa.

Erityisesti 3D-tulostukseen liittyvien kompetenssien ja osaamistavoitteiden luominen, lisääminen ja päivittäminen OPS:n kautta opintojaksojen toteutuksiin on tärkeää. Kompetenssien luomisessa tärkeää on saada kommentteja yrityksiltä heidän tarpeistaan 3D-tulostukseen liittyen ja näin ollen opetussuunnitelmatyössä yritykset ovatkin tärkeässä osassa. Kehitystahti huomioiden on osaamistavoitteita päivitettävä säännöllisin väliajoin, jotta opintojaksot pysyvät vuosittain ajan tasalla. Erityisen tärkeää on myös tukea opiskelijoiden itsenäistä työskentelyä laboratoriossa; esimerkiksi omien projektien toteuttaminen lisää oppimismotivaatiota ja asiantuntijuutta. Toinen tärkeä seikka on teknologian ajanmukaisuus; käytettävien tulostimien tulee olla ajantasaiset ja mahdollistaa tekniikan soveltaminen alan koulutuksen mukaisiin kohteisiin. Parhaiten tämä toteutuu järjestämällä teollisuuden ja yritysten kanssa yhteisiä projekteja, joissa opiskelija pääsee hyödyntämään taitojaan todellisissa toimeksiannoissa. Näin välitön palaute työelämän tarpeista saavuttaa koulutuksen ja mahdollistaa ajan tasalla olevien insinöörien kouluttamisen tehokkaammin.

C Yhteenveto

Lisäävä valmistus, tai tavallisemmin 3D-tulostus, on tällä hetkellä globaalisti valmistustekniikoiden kehittämisen kiinnostavimpia kohteita. Tekniikka kiinnostaa niin tuotteiden suunnittelun, valmistuksen, tietotekniikan, liiketoimintamallinen, lääketieteen kuin koruvalmistuksen ja muotoilunkin osajia.

Yritysten pitäisi pystyä ennakkoluulottomasti testaamaan, paitsi tuotteidensa soveltuvuutta 3D-tulostukseen, mutta myös sitä, miten paljon parempia tuotteista voidaan tehdä suunnittelemalla ne täysin uudella tavalla, jotta uuden teknologian mahdollisuudet voidaan hyödyntää kaikin mahdollisin tavoin. Tämä edellyttää koulutusta, jolla eri työntekijäryhmät oppivat hyödyntämään teknologian mahdollisuuksia. Pitää myös voida kouluttaa olemassa olevaa teollisuutta, jotta tekniikan implementointi voisi edetä ennakkoluulottomasti Suomessa. Koulutusta tarvitaan, jotta suomalainen teollisuus pysyisi kansainvälisessä kilpailussa mukana.

Opetuksen rooli tällaisen uuden teknologian implementoinnissa on äärettömän tärkeä, sillä lisäävä valmistus tarjoaa suuren määrän mahdollisuuksia suunnitella uusia tuotteita, tuotantotapoja ja liiketoimintamalleja. 3D-tulostuksen opetuksen suunnittelu ja laatiminen on hyvin haastavaa, sillä ala kehittyy nopeasti eteenpäin. Kirjallisuutta on niukasti tarjolla ja julkaisut vanhenevat hyvin nopeasti. 3D-tulostuksen opetus vaatii opettajalta paitsi sirpaleisen tiedon keräämistä useista eri lähteistä, myös alan aktiivista seuraamista sekä myös opetusmateriaalin säännöllistä vuosittaista uusimista. Ajanmukaisen tiedon siirtäminen koulutuksesta työelämään vaatii aktiivista opetussuunnitelman päivittämistä erityisesti osaamistavoitteiden ja toteutussuunnitelmien myötä; yritysten ja koulutusten järjestäjien yhteistyö ja kommunikointi on keskiössä suunniteltaessa opetussuunnitelmaa ja sen sisältöä.

Lisäävän valmistuksen koulutuksessa on hyvä käyttää jonkin verran moderneja opetusmenetelmiä. Sen käytännön toteuttaminen edellyttää kuitenkin hyvää perusasioiden hallintaa, jonka vuoksi opetusmenetelmäksi sopii myös luento-opetus siinä määrin, että tarpeellinen perusosaaminen saadaan varmistettua. Lisäävästä valmistuksesta liikkuu niin paljon erilaisia uskomuksia ja jopa virheellistä tietoa, että oppimisen toteutusta ei voi jättää vain opiskelijoiden oman aktiivisen tiedonhankinnan varaan.

Lähteet

Bembenuty, H. 2008. Self-regulation of learning and test anxiety. *Psychology Journal*, 5(3), 122–139.

Findamastersin www-sivut. 2018. [Viitattu 18.5.2018]. Saatavissa: <https://www.findamasters.com/>

Fine, D. 2003. A sense of learning style. *Principal leadership: High School Edition*, 4(2), 55–59.

IBM corporation. 2010. Capitalizing on Complexity. Insights from the Global Chief Executive Officer Study. [Viitattu 10.9.2019]. 76 s. Saatavissa: <https://www.ibm.com/downloads/cas/1VZV5X8J>

Kurvinen, A., Juvonen, P. 2017. Kokeiluekosysteemi avoimen innovaatio toiminnan kasvualustana. *AMK-lehti/UAS Journal* no 3/2017. [Viitattu 26.8.2019]. Saatavissa: <https://uasjournal.fi/tag/team-learning>

Piili, H., Salminen, A. 2016. Näin opetan lisäävää valmistusta ja 3D-tulostusta: Pohdintoja uuden teknologian opetuksesta ja koulutuksesta. *Lappeenrannan teknillinen yliopisto*. [Viitattu: 22.3.2018]. 20 s. Saatavissa:

Pikkarainen, A. 2017. 3D printing – Creating learning environment for engineering students. *Diplomityö*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 91 s. + appendices 4 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201705106371>

Trilling, B. & Fadel, C. 2009. *21st Century Skills – Learning for Life in our Times*. San Francisco. Jossey-Bass.

Yliopistojen kurssitarjonta. 2019. Suomalaisen yliopistojen kurssitarjonta. [Viitattu 27.8.2019]. Saatavissa: <https://weboodi.lut.fi/oodi/etusivu.html>; <https://oodi.aalto.fi/a/etusivu.html>; <https://weboodi.uwasa.fi/oodi/etusivu.html>; <https://weboodi oulu.fi/oodi/etusivu.html>; <https://www.tut.fi/opinto-opas/2018-2019/>; <https://weboodi.ulapland.fi/lay/etusivu.html>; <https://weboodi.uniarts.fi/uniarts/etusivu.html>; <https://opinto-opas.jyu.fi/fi/>; <https://nettiopsu.utu.fi/index>; <https://weboodi.uef.fi/weboodi/etusivu.html>; <https://weboodi.helsinki.fi/hy/etusivu.html>; <https://nettiopsu.utu.fi/opas/opintoKokonaisuus.htm?rid=30232&lang=fi&uiLang=fi&lvv=2017>

Yliopistojen www-sivut 2018. 3D-tulostusta pääaineena tarjoavien isobritannialaisten yliopistojen verkkosivut. [Viitattu 20.8.2018]. Saatavissa: <https://www.nottingham.ac.uk>; <https://www.sheffield.ac.uk>; <https://www.derby.ac.uk>; <https://www.lboro.ac.uk>; <https://www.uclan.ac.uk>; <https://www.cranfield.ac.uk>; <https://www.strath.ac.uk>

Wohlers, T., Campbell, I., Diegel, O., Kowen, J. 2018. *Wohlers Report 2018: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*. Colorado, USA: Wohlers Associates. 342 s.

Wohlers, T., Campbell, I., Diegel, O., Huff, R., Kowen, J. 2019. *Wohlers Report 2019: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*. Colorado, USA: Wohlers Associates. 369 s.