

3D-mallinnuksen ja -tulostuksen oppimisympäristön suunnittelu ja toteutus

Seppo Pietarila

Opinnäytetyö

Helmikuu 2015

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (YAMK), automaatioteknologian tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Pietarila, Seppo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä Helmikuu 2016
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi 3D- mallinnuksen ja -tulostuksen oppimisympäristön suunnittelu ja toteutus		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (YAMK), automaatioteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Seppo Rantapuska, Veli-Matti Häkkinen		
Toimeksiantaja(t) Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopisto		
Tiivistelmä <p>Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopistolla oli tarve kehittää nuorisopuolen koulutusta 3D-mallintamisen ja -tulostamisen osalta. Kehitystarpeen ohessa toimeksiantajalla oli tahtotila saada nykytilannekuva nopeasti kehittyvästä alasta sekä koulutusnäkökulmasta että yleisesti toimialana. Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopisto lähti elokuussa 2014 Opetushallituksen Edu3D.fi hankkeeseen mukaan, jonka avulla oli tarkoitus verkostoitua ja kerätä tietoa 3D-mallinnuksesta ja -tulostamisesta. Edu3D.fi hanke oli ensisijaisesti ammattiopistoille suunnattu kehityshanke. Opinnäytetyön tietopohja on kerätty haastattelemalla sekä hankeverkostossa olevia henkilöitä että peruskoulujen ja yliopistojen henkilöstöä, jotka hyödyntävät 3D-toimintoja ja tutkittu heidän toimintatapojaan.</p> <p>Haastattelututkimuksen perusteella laadittiin suunnitelma 3D-mallintamisen ja -tulostamisen pilottikurssin toteutuksesta. Kurssi oli suunnattu ammattiopiston opiskelijoille, jotka olivat kiinnostuneet 3D-mallintamisesta ja -tulostamisesta. Kurssilla käytiin läpi mallinnuksen perusteet Solidworks-ohjelmistolla ja mallinnettujen kappaleiden tulostaminen FDM-tekniikalla toimivalla tulostimella. Pilottikurssi toteutettiin viikon intensiivikurssina, jonka aikana kerättiin tietoa opetuksesta sekä siitä, miten opiskelijat kokivat 3D-tulostamisen ja -mallintamisen. Kurssin toteutuksen aikana myös testattiin Edu3d.fi-hankeverkostossa työn alla ollutta opetussuunnitelmaa 3D-mallintamisesta ja -tulostamisesta.</p> <p>Kehityshankkeen tuloksena syntynyttä opiskelumateriaalia ja kurssille hankittua tulostuslaitteistoa esiteltiin oppilaitoksen muihin yksiköihin esittelyteemapäivinä. Pilottikurssilta saadut kokemukset on hyödynnetty myös Edu3d.fi-hankeen opetussuunnitelman laadintakokouksissa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) 3D-tulostaminen, 3D-mallintaminen, Edu3d.fi, ammatillinen koulutus		
Muut tiedot		

Author(s) Pietarila, Seppo	Type of publication Master's thesis	Date February 2016
	Number of pages 49	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication 3D-modeling and -printing the learning environment design and implementation		
Degree programme Master's Degree Programme in Automation Technology		
Supervisor(s) Seppo Rantapuska, Veli-Matti Häkkinen		
Assigned by Vocational Education Institute of Northern Central Finland (POKE)		
Abstract <p>Vocational Education Institute of Northern Central Finland was the need to develop the youth side of training in 3D-modeling and for-Printing concerned. Developing necessary addition to the sponsor wanted to get a picture of the current situation rapidly moving field , as well as training from the perspective of the general line of business. Vocational Education Institute of Northern Central Finland started in August 2014 Board of Education Edu3d.fi the project of which it was intended to network and gather information about the 3D-modeling and for -Printing. Edu3D.fi project was primarily aimed at Vocational College for development. The knowledge base of the thesis was collected by interviewing the project network of persons and their operating methods. Interviews to collect information base is made also outside of the project work in primary schools and the university.</p> <p>Based on the interviews , plans 3D-modeling for Printing and pilot implementations of the course . The course was aimed at vocational college students who were interested in 3D-modeling and for -Printing . The course covered the basics of modeling in SolidWorks- software and modeled pieces Printing FDM technology, a working printer.</p> <p>The pilot course was conducted one week intensive course, during which the information was collected, as well as education on how students experienced 3D-printing and -modeling is. During the course of implementation also tested Edu3d.fi project network working on the curriculum for 3D-modeling and for -Printing</p> <p>The results, printing equipment and course materials from the implementation of the course was divided into the institution's other units Presentation of theme days. Experience of the pilot from the course has also been used Edu3d.fi-curricular project preparation meetings .</p>		
Keywords/tags (subjects) 3D-Printing, 3D-modeling, Edu3d.fi, vocational education		
Miscellaneous		

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	4
2	3D-mallintaminen ja -tulostaminen :tiedonkeruu	6
2.1	3d mallinnuksen ja tulostamisen opettaminen peruskoulussa	6
2.2	Opintojaksojen sisällöt ammatillisissa oppilaitoksissa	8
2.3	Pikamallinnus yrityksen liikeideana	10
3	3D-mallinnuksen ja- tulostuksen tekniikat.....	11
3.1	Mallintamishjelmistot	11
3.1.1	Thinkercad-ohjelmisto.....	11
3.1.2	Solidworks-ohjelmisto	13
3.1.3	Cads-ohjelmisto	14
3.2	Tulostusmenetelmät	15
3.2.1	Tulostamisen periaate	15
3.2.2	FDM (Fused Deposition Modeling)-menetelmä.....	16
3.2.3	Polyjet-tekniikka	17
3.2.4	SLS (selective laser sintering)-tekniikka.....	19
3.3	Kaupalliset sovellukset tulostusmenetelmiin.....	19
3.3.1	Minifactory-tuotemerkki	20
3.3.2	Profi 3D Maker-tulostin	22
3.3.3	Rakennussarjat	23
3.3.4	Objetct eden 350	25
3.3.5	Tulostamisen materiaalit.....	25
4	Opintojakson suunnittelu.....	28
4.1	Opintojakson laitteisto ja toteutustapa	29
4.2	Pilottikurssin sisältö.....	32
4.3	Arviointiperusteiden laatiminen	37

	2
5 Opintojakson toteutus	37
6 Opintojakson palaute ja kehitysehdotukset	43
7 Tiedon jakaminen opetushenkilöstölle ja jatkotoimenpiteet.....	44
8 Pohdinta	47
9 Lähteet.....	49
10 Liitteet	

Liite 1. Opetussuunnitelma 10ov.

Kuviot

Kuvio 1. Thinkercad-ohjelma.....	12
Kuvio 2. Pintamalli Solidworksilla mallinnetusta tuotteesta	13
Kuvio 3. Mallin viipalointi	16
Kuvio 4. FDM-tekniikan toimintaperiaate.....	17
Kuvio 5. Polyjet-toimintaperiaate	18
Kuvio 6. SLS-toimintaperiaate	19
Kuvio 7. Minifactoryn ulkoiset piirteet.....	21
Kuvio 8. Profi 3D Maker-tulostin.....	22
Kuvio 9. Velleman k8200-rakennussarja.....	24
Kuvio 10. Objec Eden 350-tulostin	25
Kuvio 11. MED 610-materiaali.....	27
Kuvio 12. Harjoitustyö 1: avaimenperä.....	34
Kuvio 13. Harjoitus 2: poletti.....	34
Kuvio 14. Harjoitus 3: hylsy	35
Kuvio 15. Harjoitus 4: suppilo	36
Kuvio 19. Suppilon mitoitus	36
Kuvio 17. Harjoitus 5: Kasperin avaimenperä	38
Kuvio 18. Tulostuslaitteisto	39
Kuvio 19. Polettiharjoitus tulostettuna.....	40
Kuvio 20. Tulostin	41
Kuvio 21. Opiskelijan oma harjoitustyö: autonturbon mallinnus.....	42

1 Johdanto

Opetushallitus on linjannut 2014, että jokaisella toisen asteen opiskelijalla olisi viiden vuoden sisällä oltava mahdollisuus saada koulutusta 3D-mallintamisen ja -tulostamisen perusteista. Linjauksen vuoksi Opetushallitus on rahoittanut Edu3d.fi-hankkeen, jolla pyritään vastaamaan juuri opetuksen mahdollistamiseen. Edu3d.fi-hankkeen tavoitteena oli luoda valtakunnan kattava kouluttajien verkosto, jossa tietoa ja osaamista 3D-mallintamisesta ja -tulostamisesta voidaan helposti jakaa. Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopisto lähti vuoden 2014 elokuussa mukaan hankkeeseen. Aikaisemmin Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopistolla ei ole ollut nuorten koulutuksessa 3D-mallinnuksen tai -tulostamisen kursseja. Hankkeeseen lähdettiin mukaan sen vuoksi että haluttiin ajankohtaista tietoa alasta.

Tämä opinnäytetyö käsittelee Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopistolle tehtyä 3D-mallinnuksen ja -tulostuksen kehitystyötä. Opinnäytetyö on osa automaatioteknologian ylempää AMK-tutkintoa. Opinnäytetyön aiheena on nuorisopuolen koulutuksen kehitystyö, joka lisää opiskelijoiden mahdollisuutta tutustua kolmiulotteiseen maailmaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia 3D-mallinnusta ja -tulostusta yleensä. Tutkimustulosten perusteella oli tarkoitus suunnitella ja toteuttaa pilot-kurssi, jonka avulla opiskelijat itse pääsivät kokeilemaan 3D-mallinnusta ja -tulostamista. Tutkimuksen osalta 3D-mallinnuksessa ja -tulostamisessa tarvittavien ohjelmisto ja laitekannan selvittäminen oli tärkeää. Ohjelmisto- ja laiteselvityksissä oli huomioitava juuri oppilaitoskäyttöön soveltuvat tuotteet. Ohjelmisto- ja laiteselvitysten lisäksi oli tarkoitus kerätä hyviä käytänteitä muiden oppilaitosten koulutussisällöistä, peruskoulu-, ammattiopisto- ja yliopistotasolta. Koulutuksen lisäksi tavoitteena oli lisätä tietoisuutta 3D-mallintamisesta ja -tulostamisesta sekä sen mahdollisuuksista.

Opinnäytetyö on tehty tiiviissä yhteistyössä Opetushallituksen Edu3d.fi-hankkeen kanssa. Lähtötilanteessa oli selvillä opinnäytetyön tiedonhankinnan haastavuus alan nopean kehittymisen takia. Tämän takia opinnäytetyön tiedonkeruumuodoksi on

valittu haastattelumenetelmä. Tietoa 3D-mallinnus ja -tulostusasioista on kerätty mahdollisimman hyvällä verkostoitumisella eri oppilaitosten edustajien ja alalla toimivien yrittäjien kanssa. Tiedon kerääminen on toteutettu pääasiassa Edu3d.fi hankekokouksissa, sekä erikseen sovituissa tapaamisissa asiantuntijoiden kanssa.

Opinnäytetyön kautta toteutetun kehitystyön tulos eli pilottikurssi oli tarkoitus esitellä koko Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopiston opetushenkilöstölle. Kehitystyön jalkauttamisella muihin toimipisteisiin ajateltiin lisäävän kiinnostusta 3D-mallintamiseen ja -tulostamiseen. Tiedon jalkauttaminen haluttiin tehdä mahdollisimman konkreettisesti, joten tulosten esittely tehtiin työpaja muotoisina esityksinä eri toimipisteissä.

2 3D-mallintaminen ja -tulostaminen :tiedonkeruu

Tiedonkeräämisen haasteena on ollut kirjallisen tiedon puute. 3D-mallintaminen ja -tulostaminen on alana niin nopeasti eteenpäin menevä ja kehittyvä, ettei kirjallisuutta ole ehtinyt syntyä. Opinnäytetyön tietopohjan tiedonkerääminen on tämä syyn vuoksi tehty pääosin haastattelemalla 3D-alalla toimivia ihmisiä. Henkilöhaastattelut on toteutettu suurimmalta osalta Edu3d.fi-hankekokouksissa tai niiden yhteydessä järjestettävissä työpajoissa. Edu3d.fi-hanke on Opetushallituksen rahoittama kehityshanke, jonka avulla pyritään kehittämään 3D-mallinnus ja -tulostus tietoisuutta ammatillisessa koulutuksessa. Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopisto (POKE) on mukana Edu3d.fi hanketyössä yhtenä hanketoteuttajana. Mukana hankkeessa on henkilöitä kaupalliselta alalta, sosiaali- ja terveysalalta sekä tekniikan ja liikenteen koulutusosalta.

2.1 3d mallinnuksen ja tulostamisen opettaminen peruskoulussa

3D-mallintaminen ja -tulostaminen on käytössä peruskoulujen opetuksessa. Tulostinten laitetoimittajan Internet-sivuilla oli esitelty peruskoulujen toimintatapaa. Vaikka peruskoulutus ei ole suorassa yhteydessä ammatilliseen koulutukseen, oli tärkeää selvittää miten opiskelijoille on annettu kyseistä koulutusta ennen ammatilliseen koulutukseen siirtymistä. Tein vierailukäyntejä perusopetuksen pariin, jossa 3D-mallinnusta ja -tulostamista käytettiin jo opetuksessa. Seuraavassa kappaleessa on kuvattu yhden vierailun havaintoja.

Vierailuni kohdistui Oulun Rajakylän peruskoululle, jossa peruskoulua on mahdollista käydä tekniikkapainotteisesti. Tässä koulussa oppilaat käyvät normaalin opetussuunnitelman mukaisesti koulua, mutta he tekevät vuoden aikana neljä projektiluontoista työtä, joissa hyödynnetään eri tekniikoita. Tekniikkapainotteinen opiskelu alkaa 3. luokalla ja kestää 6. luokkaan asti. Esimerkiksi yhden projektin tavoitteena oli luoda itselle sopiva nukke 3D-tulostusmenetelmällä ja käydä nukan avulla vuoropuhelu toisten oppilaiden kanssa. 3D-tulostettujen nukkejen avulla käydyt keskustelut videoitiin. Nukkejen avulla käydyt keskustelut olivat osa viestinnän ja äidinkielen opiskelua. Projektissa yhdistyi hienosti 3D-tulostaminen ja vuorovaikutustaitojen opiskelu.

Tekniikkapainotteisen peruskoulun opettajana toimii Jussi Näykki. Näykin kanssa käydyssä keskustelussa 6.11.2014 keskusteltiin 3D- mallintamisen ja -tulostamisen opetuksesta, sekä siitä mitä täytyy huomioida aiheen opettamisessa. Näykki aloittaa mallinnusopetuksen paperille tehtävästä kaksiulotteisesta piirtämisestä. Opiskelijat piirtävät paperille luonnoksen oikeassa koossa siten, että piirros on oikeilla mittasuhteilla piirretty. Piirtämisen apuna käytetään millimetripaperia, jolloin mittojen toteaminen on helpompaa. Paperille piirretyn muodon jälkeen siirrytään tietokoneavusteiseen mallintamiseen. Mallinnusohjelmana Näykki käyttää kouluttamisessa Thinkercad-ohjelmistoa. Mallinnusohjelman opettaminen onnistuu Näykin havaintojen perusteella helposti ja lähes kaikki oppivat ohjelman käytön perusteet lyhyessä ajassa. (Näykki, J. 2014)

Seuraavaksi haastattelin kasvatustieteiden opettaja Markus Packalenia. Packalenin kanssa käydyssä keskustelussa 6.11.2014, hän kertoi omia huomioitaan peruskouluikäisten opiskelijoiden 3D-opetuksesta. Packalen toimii Oulun yliopistolla kasvatustieteiden opettajana. Hän on ollut useissa peruskoulujen ala-asteelle tehtävissä projektiluontoisissa 3D-mallinnus ja -tulostuskoulutuksissa opettajana. Packalen mainitsee opetuksen haasteeksi sellaiset lapset, joille avaruusgeometria on vaikea käsite. Jos lapsi ei tahdo saada mielessään muodostettua kolmiulotteista kappaletta, on erittäin tärkeä aloittaa piirtäminen kaksiulotteisena, esimerkiksi paperille kynällä. Packalen mainitsee haastattelussa, että mikäli mallintamisessa tulee ilmi, että kolmiulotteisuus ei luonnistu, kannattaa siirtyä takaisin kaksiulotteiseen piirtämiseen. Kun piirtäminen on hallinnassa mittasuhteineen ja piirteineen, voidaan jatkaa kolmiulotteiseen mallintamiseen. Jos mallin luominen on ollut vaikeaa eikä kolmiulotteisuuden hahmottaminen ole onnistunut, on Packalen käyttänyt mm. muovailuvahaa muodon hahmottamisen apuvälineenä. (Packalen, M. 2014)

Peruskoululle tehdyssä vierailussa ilmeni näin ollen monia asioita, jotka täytyy ottaa huomioon myös ammatillisessa koulutuksessa. Ensin on tärkeää opetella kaksiulotteinen piirtäminen ja mittasuhteet, tämä voidaan testata esimerkiksi piirtämällä tuote oikean kokoisena paperille. Ammatillisessa koulutuksessa kannattaa huomioida asia siten, että ensin pidetään tekninenpiirustus ja vasta sen jälkeen aloitetaan 3D-mallintaminen tietokoneella. Avaruusgeometrinen hahmottamiskyky voi olla osalla

opiskelijoista rajallinen, jonka vuoksi täytyy varautua muihin mallinnusmenetelmin tarvittaessa. Tulostaminen tehdään peruskoulussa yhteisajolla, usein myös osittain miehittämättömänä. Tulostimeen laitetaan kappale tulemaan ja käydään välillä seuraamassa, miten kappale valmistuu. Itse tulostaminen on sivuseikka. Oppilaiden mielestä tärkeintä on saada tulostettava malli mieleisekseen.

2.2 Opintojaksojen sisällöt ammatillisissa oppilaitoksissa

Ammatillisessa koulutuksessa 3D-mallintaminen ja -tulostaminen on ollut joillain oppilaitoksilla jo useamman vuoden opetuksessa. Edu3d.fi hankeverkoston tapaamisissa ne ammattiopistot joilla toimintaa on ollut ovat esitelleet, miten he asiaa käsittelevät. Yhdessä hankekokouksessa nousi ilmi, että Lapin ammattiopistolla on tehty useamman vuoden 3D-mallinnusta ja -tulostusta yhdessä alueen yritysten kanssa.

Vierailu Lapin ammattiopistolla (LAO) antoi hyvän läpileikkauksen 3D-mallintamisen ja -tulostamisen kouluttamisesta toisen asteen opetuksessa. Lapin Ammattiopistolla annetaan koulutusta hahmojen mallintamiseen. Hahmoja käytetään pääasiassa pelien tekemiseen ja ne ovat osa 3D-grafiikka ohjelmiston käytön perusteet -kurssia. Mallintamisen tavoitteena on mahdollisimman todentuntuisten hahmojen luominen. Kun hahmojen mallintaminen alkaa luonnistua, siirrytään muihin mallinnuskohteisiin. Lahjakkaimmat opiskelijat ovat Lapin ammattiopistossa mallintaneet kokonaisia huoneita sisustuksineen ja huonekaluineen. Hahmo- ja tilamallinnukset tehdään 3DS Max Design-ohjelmalla. Metalliosastolla LAO:lla on käytössä Solidworks-ohjelmisto. Ohjelmaa käytetään koneistettavien kappaleiden sekä 3D-tulostettavien kappaleiden mallintamiseen. Mallinnusopetuksen lisäksi LAO:lla on merkittävästi panostettu myös kappaleiden tulostusmahdollisuuteen. Oppilaitokselle on hankittu ESR-hankkeiden avulla tulostin, jolla opiskelijat ja alueen yritykset pystyvät tekemään omia tulosteitaan. Haastattelussa 7.11.2014 3D-hankekoordinaattori Tarmo Aittaniemi esitteli alueen yritysten kanssa tehtävää yhteistyötä, joka on varsin tiivistä. LAO:lle hankittu tulostin on mahdollistanut alueen yritysten tuotteiden kehittämisen 3D-tulostusmahdollisuuden avulla. Yritysten pääasialliset tulosteet ovat proto- tai yksittäiskappaleita. Tulostimen hankintakustannukset ovat olleet satojatuhansia euroja. Oppilaitoksen henkilökunnan tehtävä LAO:n 3D-mallinnus ja -tulostusympäristössä

on olla tulostuskoneen käyttäjänä ja apuna 3D-mallintamisessa alueella toimiville yrittäjille. (Aittaniemi, T. 2014)

Vantaan ammattiopisto Varian Ojahaantien toimipisteessä ammatilliseen opetukseen on otettu 3D-tulostaminen opetusohjelmaan seuraavalla tavalla. Oppilaitokseen on ostettu 3D-tulostimen rakennussarja, ja se on kasattu mukana tulevien ohjeiden mukaan. Tulostimen kasaaminen on ollut oppimistilanne, jossa on opeteltu koneenrakentamista. Tulostimen kasaamisen jälkeen on aloitettu valmiiden 3D-mallien tulostaminen. Valmiit 3D-mallit tulosteisiin on ladattu Internetistä. 3D-mallit on pyritty valitsemaan siten, että niiden jalostamista voidaan jatkaa tulostamisen jälkeen. Hyvänä esimerkkinä Varian toiminnastaan voidaan pitää radio-ohjattavan auton osien tulostamista. Kun radio-ohjattavan auton osat ovat tulostuneet, hankitaan tarvittavat sähkömoottorit ja radio-ohjaimet. Tulostetuista osista ja komponentteina hankituista sähkömoottoreita ja radio-ohjaimista kasataan radio-ohjattu auto. Tulostettujen kappaleiden ja valmiina hankittujen osien kokoonpanoa voidaan sähkö- ja automaatiopuolen opiskelijoiden tapauksessaan pitää tärkeämpänä oppimistilanteena.

Edellä kuvatuissa kahdessa toimintamallissa on hyvin erilaiset lähestymistavat 3D-mallintamisen ja -tulostamisen opettamiseen. LAO:n toimintatapa on hyvin ammatillinen ja korkeatasoinen. LAO:n toiminta työllistää täysipäiväisesti 1-2 vakituista henkilöä. Toiminta vaatii merkittävät taloudelliset resurssit, vaikka osa rahoituksesta olisikin mahdollista saada esimerkiksi ESR-rahoituksena. LAO:n toiminta antaa opiskelijoille hyvän mahdollisuuden seurata 3D-mallinnus ja -tulostus toimintaa viimeisimmän tekniikan parissa. Ammattiopisto Varian toimintatapa ei vaadi suuria taloudellisia resursseja. Hyvin pienellä alkupääomalla on päästy kiinni 3D-tekniikkaan. Opettajalta joka aihetta opettaa, vaaditaan hyvää motivaatiota ja innostusta alaa kohtaan. Varian toimintatavassa voidaan tulostimen kokoonpanoa pitää merkittävänä oppimistehtävänä, toiminnan aloittamisessa. 3D-mallintaminen ei Varian toimintamallissa ole opetuksessa mitenkään mukana.

2.3 Pikamallinnus yrityksen liikeideana

Kolmas tapa tiedonkeräämisessä oli yritysvierailut ja messutapahtumat. Edu3d.fi hankkeen kautta olemme muiden hankkeessa mukana olleiden opettajien kanssa vierailleet Jyväskylässä toimivissa 3D-tulostusta tarjoavissa yrityksissä. Vierailujen aikana yrittäjät ovat esitelleet omaa liiketoimintaansa. Vierailujen yhteydessä yrittäjät ovat myös esitelleet tulostustekniikoita, joilla he tuotteita valmistavat. Yritysvierailut ovat olleet hyvä kokemus. Niistä saadut konkreettiset esimerkit ovat helpottaneet asioiden sisäistämistä ja havainnollistaneet mitä 3D-tulostamisella voidaan saada aikaiseksi.

10.12.2014 hankeverkoston tapaamisessa Formtec Oy:n Toni Järvitälo esitteli oman yrityksensä toimintaa ja tulostuspalvelua. Yritys on aloittanut toimintansa vuonna 2014 Jyväskylässä ja tarjoaa 3D-mallinnus ja -tulostuspalvelua. Yrityksen tavoitteena on olla mukana tuotteiden kehitystyössä ja mahdollistaa ensimmäisten kappaleiden tekeminen tehokkaasti ja nopeasti. Yksittäistuotannon lisäksi yritys tekee tulostamista sarjatyönä, mikäli kappaleiden mitat sen mahdollistavat. Yrityksellä on käytössä yksi tulostin. Yrityksen kautta on mahdollista ostaa myös 3D-mallinnuspalvelua. Järvitälo mainitsi vierailun yhteydessä, että tuotantolaitteiden hankintahinta on ollut karkeasti 200 000 euroa. Tuotantotilat ovat varsin pienet, mutta riittävät toiminnan harjoittamiseen. Tulostuspalvelulle on ollut käyttöä, tulostin on ollut käytössä hyvällä käyttöasteella.

Toinen tutustumiskohde oli Protopaja Kalliokoski Oy. Protopaja on myöskin vuonna 2014 perustettu 3D-tulostusta tarjoava yritys. Yrityksen toiminta on toisenlaista verrattuna Formtec oy:n toimintaan. Protopajalla oli useampia tulostimia, jotka kaikki toimivat eri menetelmillä. Yrityksen toimitilat olivat isot ja laajat. Tulostimet ovat sijoitettu hyvin suurelle lattiapinta-alalle. Koneiden sijoittelussa on tarkastelut suojusta tai pölynpoistoa 3D-tulostusmenetelmä vaati. Protopaja Kalliokoski teki vierailun aikana asiakastöitä ja kysyntää palvelulle oli ollut.

Molempien yrittäjien esittelyssä tuli ilmi yrittäjien luottamus tekniikkaan. Kumpikin yrittäjä oli hyvin varma tuotteiden kysynnän ja toiminnan kasvun jatkumisesta. Molemmat yritykset toimivat Keski-Suomen alueella.

3 3D-mallinnuksen ja- tulostuksen tekniikat

Kolmiulotteisen maailman hahmottaminen on normaalielämän perusasioita. Osalle ihmisistä se on vaikeaa ja osalle huomattavasti helpompaa. Kaikki ihmiset havainnoivat normaalielämässä asiat ja paikat kolmiulotteisesti. Asian tarkasteleminen tietokoneella tehdyn mallintamisen kautta tuo eteen ongelman, kuinka saada sileälle näyttöruudulle luotua kuva kappaleesta, jossa on kolme ulottuvuutta. Usein tietokoneella aloitettavassa mallintamisessa kannattaa lähteä liikkeelle kaksiulotteisesta piirtämisestä.

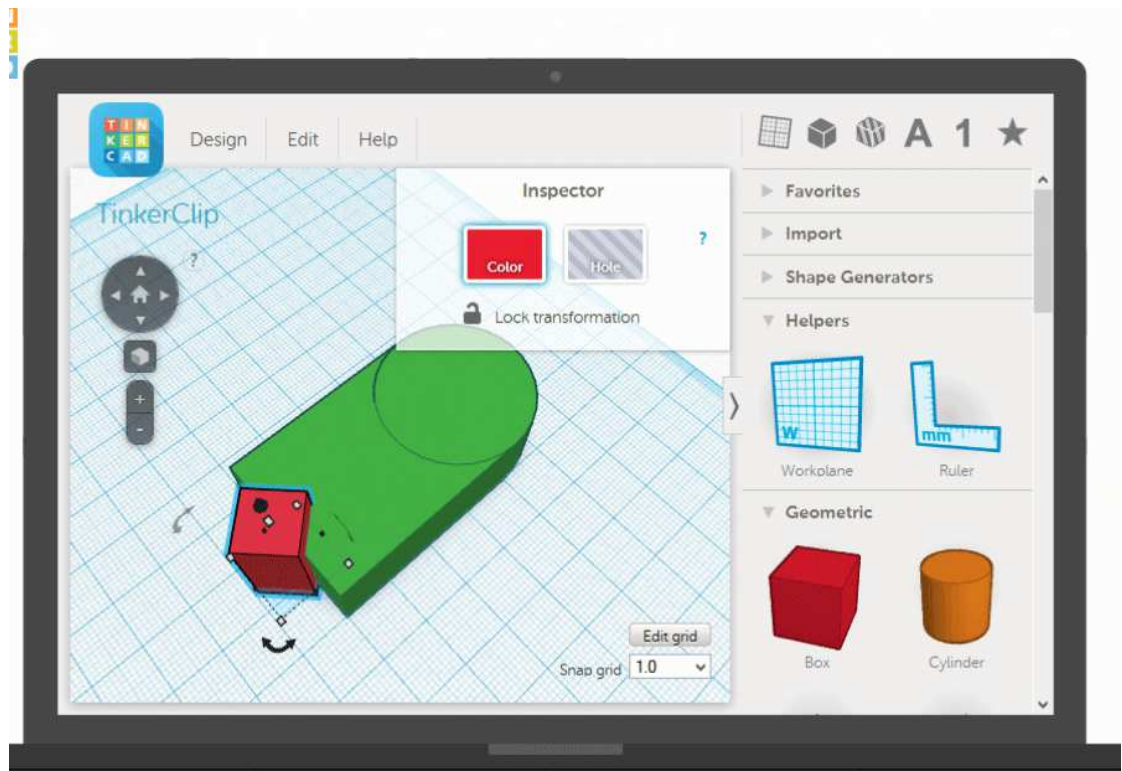
3.1 Mallintamisohjelmistot

Seuraavissa luvuissa esitellään erilaisia tietokoneella käytettäviä mallinnusohjelmia. Tavoitteena on selvittää, millaista mallinnusohjelmaa olisi järkevää käyttää koulutuksessa, jota ammatillisessa oppilaitoksessa oleville opiskelijoille annetaan. Ohjelmien vertailussa on käytetty toimittajien Internet-sivustoilta löytyvää tietoa. Ohjelmien käyttökokemuksista on tehty haastatteluita eri oppilaitoksissa toimivilta opettajilta.

3.1.1 Thinkercad-ohjelmisto

Haastattelussa 6.11.2014 /Jouni Karsikas kertoi, että ovat käyttäneet Thinkercad ohjelmistoa Rajakylän peruskoulun mallinnusohjelmiana 3-4-luokkalaisille. Ohjelmisto on ilmainen ja sen lataaminen onnistuu suoraan internetistä, kun sivustolle luo omat tunnukset. Tunnukset voi luoda itse, mikäli käyttäjä on yli 15 vuotias. Karsikas oli hoi- tanut asian siten, että vanhemmat olivat kotona luoneet omalle lapselleen tunnukset ja lapset olivat tuoneet ne kouluun. Käyttökokemukset ohjelmasta peruskoulussa olivat hyvät. Ohjelma on helppokäyttöinen ja selkeä. Ohjelmassa on hyvä tutorial-

toiminto, jonka avulla voi aloittaa opettamisen, vaikka itsellä ei mallintamiskokemusta aikaisemmin olisikaan.

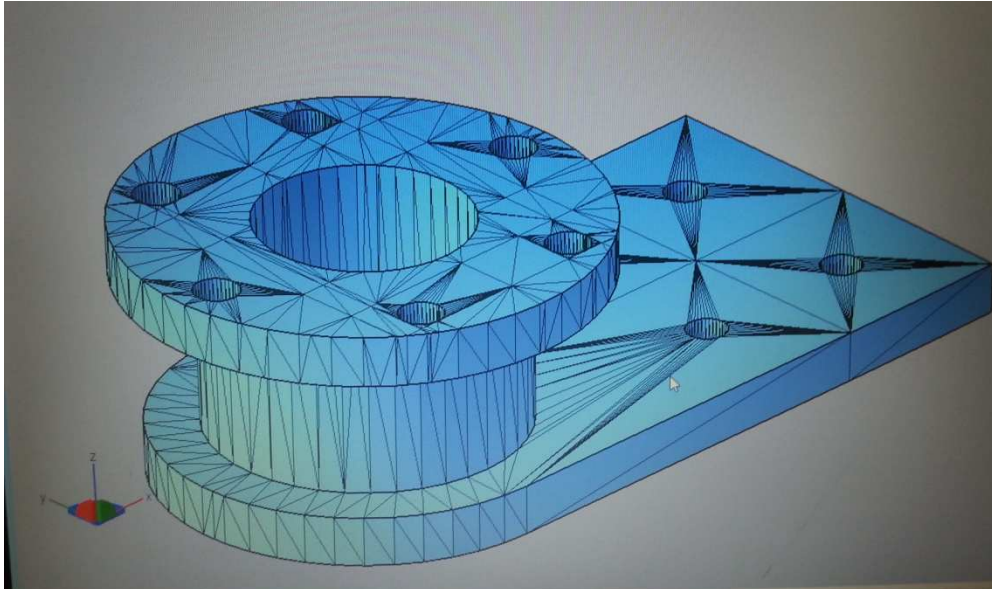


Kuvio 1. Thinkercad-ohjelma (The easiest, fiercest 3D design tool around. N.d)

Thinkercad kuuluu 123d design-ohjelmistoperheeseen. Ohjelmisto on luotu siten, että sillä voidaan mallintaa tulostettavia tuotteita. Ohjelman tutorial antaa neuvoja, miten mallin muodostamisessa edetään. Kuviossa 1 on näkymä Thinkercad-ohjelmiston käytöstä. Ohjelma perustuu suurelta osin ohjelmistossa valmiina olevien muotojen hyödyntämiseen. Kuviossa 1 on kuution ja sylinterin muotoiset kappaleet. Valitsemalla niistä esimerkiksi kuution ja antamalla sille halutut dimensiot saadaan muodostettua näytöllä vihreänä näkyvästä kappaleesta suorakulmainen osuus. Tämän jälkeen valitsemalla sylinterin ja sijoittamalla se suorakulmaisen kappaleen päälle ja mitoittamalla se saadaan muodostettua halutun muotoinen malli.

Ohjelma on hyvä ja helppo käyttää, mutta mikäli halutaan muodostaa muita kuin ohjelmassa valmiina olevia muotoja (ympyrä, kartio, suorakulmio jne) alkaa mallintamisen rajallisuus häiritä. Toisaalta mitoituksen tarkkuus on hyvä, mikäli mallin mit-

tojen ei tarvitse olla millimetritarkkuutta. Ohjelman ehdottomasti hyvä puoli on tallentaminen suoraan STL-tallennus muotoiseksi tiedostoksi. STL-tallennus muotoinen tiedosto on pintamalli, joka rakentuu pienistä kolmioista. (The easiest, fiercest 3D design tool around. N.d)



Kuvio 2. Pintamalli Solidworksilla mallinnetusta tuotteesta

Kuviossa 2 on tuote joka, on tallennettu STL-tallennus muotoon. Kuva on Solidworks-ohjelmiston näkymästä opiskelijan harjoituksesta pilot-kurssilla. Joka puolella kappaleen pintaa on kolmio, eikä valmiissa mallissa saa olla reikiä siten, että jokin kolmioista puuttuisi. STL-tallennus muotoinen tiedosto käy suoraan FDM-tekniikan tulostimille, eikä tiedostomuotoa tarvitse muuttaa tai kääntää.

3.1.2 Solidworks-ohjelmisto

Solidworks-ohjelmisto on ammattitason 3D-mallintamiseen tarkoitettu ohjelmisto. Ohjelmalla on mahdollista piirtää myös 2D-muotoja, mutta se ei ole suunniteltu siihen tarkoitukseen. Solidworks on perustettu 1993 vuonna. Pääkonttori sijaitsee tällä hetkellä Waltham, Massachusettsissa USA:ssa.

(tietoja solidworksista.N.d.)

Solidworks-tuoteperheestä löytyy 3D-mallinnuksen ohjelmisto, tuotehallinta ohjelmisto, elektroniikkasuunnittelun ohjelmisto, erilaisten mekaanisten asioiden simulointi ohjelmisto ja teknisen viestinnän ohjelmisto yrityksen sisällä. Lisäksi siinä on suunnittelun yksinkertaistamiseen työkaluja tarjoava 3dexperience-ohjelmisto. (tietoja solidworksista. N.d.)

Tulostettavien kappaleiden mallintaminen onnistuu Solidworks-ohjelmistossa parhaiten 3D-mallinnuksen osiossa olevalla ohjelmalla. Ohjelma toimii siten, että mallinnettava kappale tehdään valmiiksi ja tallennetaan part. muotoisena tiedostona. Mikäli malliin halutaan tehdä muutoksia, ne tehdään alkuperäismuotoon. Mallinnetusta tuotteesta voidaan tehdä pintamalli tallentamalla tuote toisena tiedostona STL-muotoiseen tiedostomuotoon.

Tiedustelin ohjelmistoasioista vastaavalta ATK- henkilöltä, onko Pohjoisen Keski-suomen ammattiopistolla yhtään Solidworks-lisenssiä olemassa. Oppilaitoksellamme on 60 kelluvaa 3D-cad lisenssiä. Tiedustelussa selvisi, että oppilaitoksemme aikuispuolella toimivalla opettajalla on pitkä työhistoria kyseisestä ohjelmistosta.

3.1.3 Cads-ohjelmisto

Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopistolla on käytössä CADs-ohjelmisto. Ohjelmaa käytetään talotekniikan ja metalliosaston opiskelijoiden teknisen piirustuksen opettamiseen. Ohjelman avulla harjoitellaan piirtämään 2D-kuvia. Metalliosastolla ohjelmaa opetetaan käyttämään kappaleiden valmistamista varten sekä kokoonpanopiirustuksiksi. Talotekniikassa piirtäminen on putkistojen kytkentäkaavioiden ja rakennusten talotekniikkaan liittyvien piirustusten tekemistä. Ohjelmaa käytetään molemmilla osastoilla yhden opintoviikon verran vuodessa yhtä luokkaa kohden. Päätaavoite piirtämisessä on järkevän ja oikein piirretyn piirustuksen aikaansaaminen.

CADs-ohjelmisto on suomalainen ohjelma ja sen kaikki valikot ja toiminnot ovat suomenkielisiä. CADs toimii portaittain hankittavan ohjelmiston tavoin. Asiakas voi ostaa perus-CADs-ohjelmiston, joka sisältää normaalin cad-ohjelmiston peruskäskyt.

Asiakas voi halutessaan laajentaa ohjelmistoa paremmin omaan käyttöönsä sopivaksi ostamalla lisäosan omalta alalta. CADS tarjoaa kolme päätuoteryhmää: sähkö ja automaatio, LVIA ja arkkitehti ja rakennesuunnittelu. Muiden toimialojen ohjelmistot ovat LVIA ja KONE. Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopistolla on LVIA ja KONE lisäosat ostettu perusversion lisäksi.

Haastatellessani mallinnuksen opettamisen ammattilaisia, en kohdannut yhtään henkilöä, joka olisi käyttänyt CADS ohjelmistoa 3D-mallien tekemisessä. Tutustuminen tarkemmin CADS-ohjelmiston tallennusmuotoihin ja ohjelman toimintaperiaatteen, selvisi seuraava asia: suora lainaus heidän internet sivuilta. *CADS-perusohjelmisto lukee ja tuottaa DRW-, DWG-,DXF- ja PDF-tiedostoja ja lukee IFC-tietomalleja. Aito yhteensopivuus mahdollistaa niin vanhojen CAD-kuva-arkistojen tehokkaan hyödyntämisen kuin myös sujuvan yhteistyön suunnittelun eri osapuolten kanssa.* (CADS tuote-esittely. N.d.)

Ohjelmisto on rakennettu vastaamaan hyvin erilaisten 2D-piirtämiseen soveltuvien tiedostojen käsittelyyn. Edellä mainitut tiedostomuodot ovat yleisesti käytössä myös polttoleikkaus- ja ratajysintätiedostomuotoina koneenrakennuksessa. Polttoleikkaus ja ratajysintä tapahtuvat kaksiulotteisessa maailmassa eikä kolmatta ulottuvuutta tarvita.

Jos tuotteiden mallintamiseen valitaan CADS-ohjelmisto, tarvitaan vähintään yksi ohjelma, joka ymmärtää CADS-ohjelmiston tiedostomuotoa ja STL-tiedostomuotoa. Näin voitaisiin väliohjelmaa käyttäen muuttaa CADS-ohjelmistolla saatu tiedostomuoto 3D-tulostimelle sopivaksi tiedostomuodoksi.

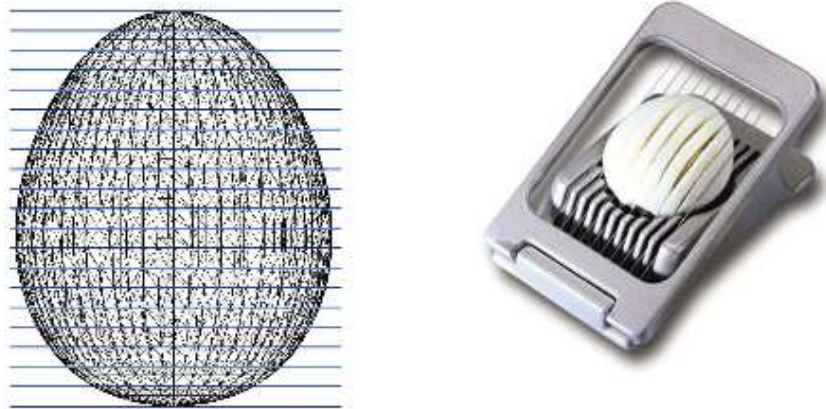
3.2 Tulostusmenetelmät

3.2.1 Tulostamisen periaate

Tulostaminen tapahtuu kerroksittain riippumatta tulostusmenetelmästä. Tulostimen yhteydessä oleva ohjelma viipaloi mallinnetun tuotteen haluttuihin kerrosvahvuuk-

siin. Kerrosvahvuus voi olla esimerkiksi 0,1 mm. Kuviossa 3. on havainnollistettu, mitä viipalointi tarkoittaa. Ajatuksen tasolla viipaloinnin voi mieltää samanlaiseksi toimenpiteeksi kuin kananmunan viipalointi. Tämä viipalointi tapahtuu automaattisesti, ja ohjelma laskee, mihin kohtaa viipalointi tehdään.

Kun tulostin aloittaa kappaleen tekemisen, tuo tulostin yhden kerroksen materiaalia kerrallaan. Se siis sulattaa yhden edellä kuvatun viipaleen kerrallaan kappaletta. Viipaloinnista käytetään nimitystä layer. Yhden layerin tekemiseen koneella menee koneesta riippuen sekunnista jopa puoleen minuuttiin. Kun yksi kerros on saatu sulatettua, on kerros ehtinyt jo toisesta päästä jäähtymään niin paljon, että voidaan aloittaa seuraavan kerroksen sulattaminen. Viipalointi on luonnollisesti tehty horisontaalisesti, että kerrokset voidaan tehdä toinen toisensa päälle.

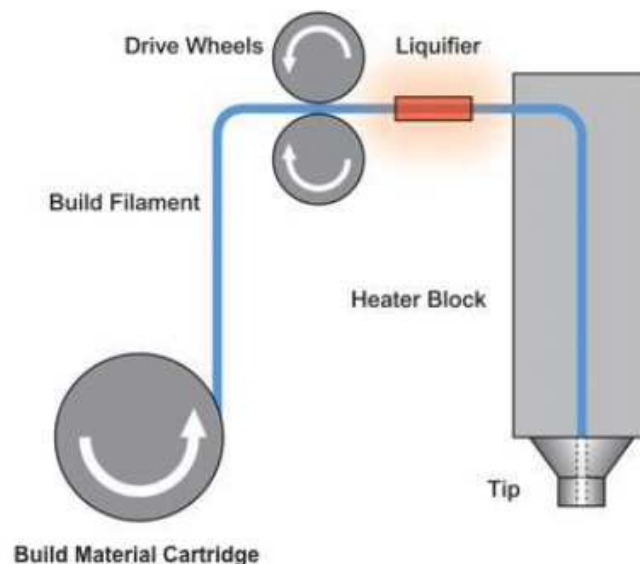


Kuvio 3. Mallin viipalointi (3d tulostimen toimintaperiaate. N.d)

3.2.2 FDM (Fused Deposition Modeling)-menetelmä

3D-tulostusmenetelmiä on olemassa useita. Osa menetelmistä on vain hiukan toisistaan poikkeavia, mutta ne on kuitenkin nimetty omiksi menetelmikseen. Yleisin edullisen hintaluokan tulostimista on FDM (Fused Deposition Modeling)-tekniikalla toimiva tulostin. Menetelmästä käytetään myös epävirallista nimeä pursotustekniikka.

Tulostustapahtuma on seuraavanlainen. Kuviossa 4 on esitetty materiaalirulla, josta sininen lanka (esimerkiksi 1,75 mm vahva) johdetaan vetorullien lävitse vastukseen. Vastus on lämmitetty niin kuumaksi, että lanka sulaa lähes nestemäiseen muotoon. Vastuksen jälkeen lähes nestemäinen muovi johdetaan suuttimeen, josta se tulee ulos. Suutin vie muovin lämmitetylle alustalle. Alusta liikkuu tulostimen itse laskemaa liikerataa myöten. Pääsääntöinen kerrosvahvuus FDM-tulostuksessa on 0,2 mm tai pienempi. Mikäli kerrosvahvuutta kasvatetaan, alkaa kappaleen pinta huonontua ja mittatarkkuus kärsiä. (Sovellukset FDM tekniikalla. N.d)

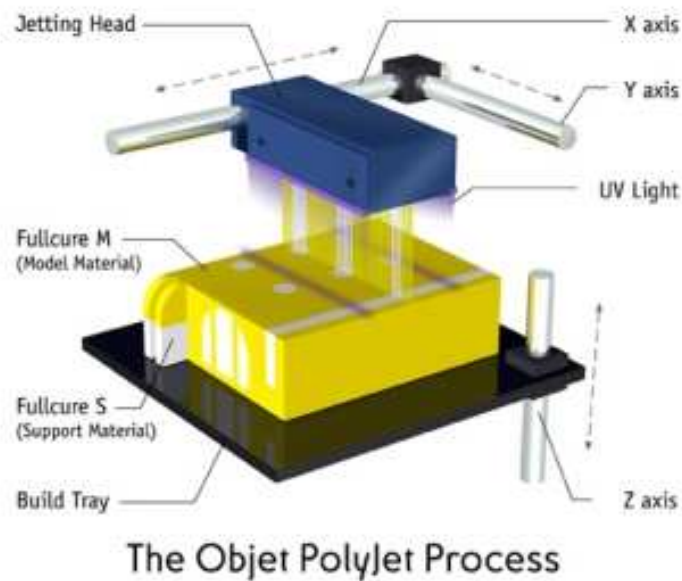


Kuvio 4. FDM-tekniikan toimintaperiaate (Sovellukset FDM tekniikalla. N.d)

3.2.3 Polyjet-tekniikka

Polyjet-tekniikka toimii seuraavalla tavalla: Nestemäinen akrylaattipolymeeri kovetetaan UV-valolla kerroksittain (kerros vahvuus on 0,03 mm - 0,016 mm.) Polymeerin ruiskutus tapahtuu useammasta suuttimesta. Suuttimet on kiinnitetty kelkkaan, joka liikkuu tason päällä. Kuviossa 5 sininen kelkka liikkuu mustan tulostusalustan päällä. Kelkasta ruiskutetaan nestemäistä materiaalia tulostusalustalle. Suuttimet ovat keskellä kelkkaa ja kelkan molemmiin puolin on UV-valot. UV-valot kovettavat alustalle

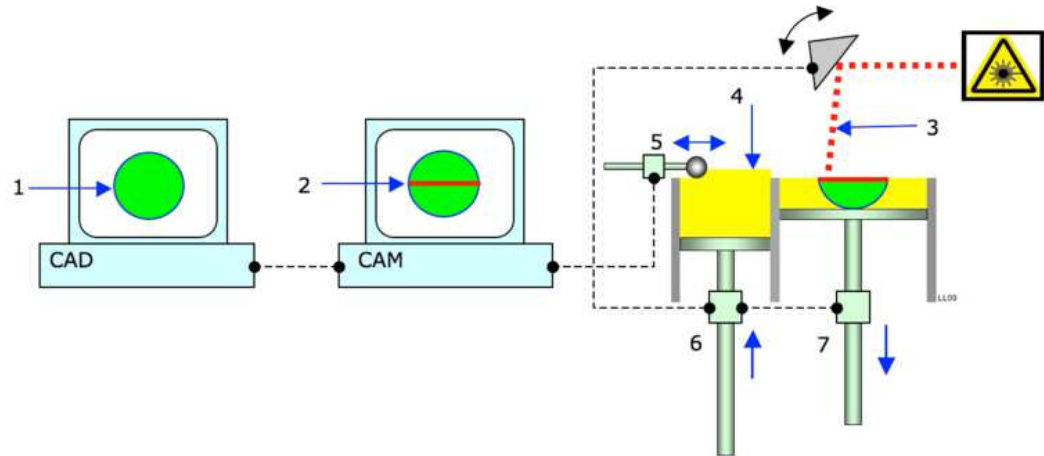
ruiskutetun materiaalin. Kone laskee itse, milloin mistäkin suuttimesta täytyy tulla nestettä jonkin murto-osasekunnin ajan. Neste ei ehdi olla pitkää aikaa tulostustason päällä, kun kelkan liikkuaessa kelkan laidalla oleva UV-valo kovettaa nesteen. Suuttimia voi olla yhdessä kelkassa esimerkiksi 1600 kpl (3DAddFab - Powered by Objet Polyjet Technology. N.d.)



Kuvio 5. Polyjet-toimintaperiaate (3DAddFab - Powered by Objet Polyjet Technology. N.d.)

3.2.4 SLS (selective laser sintering)-tekniikka

SLS tekniikalla tulostaminen tapahtuu lasersäteellä muovin sulattamiseen. Kuviossa 6 keltainen aine on hienoksi jauheeksi jauhettua muovia.



Kuvio 6. SLS-toimintaperiaate (Selective laser sintering principle. N.d.)

Alkutilanteessa taso 7 on tyhjä. Keltaisesta kolmiosta lähetetään lasersäde peilin kautta (3), ja säde sulattaa tasolle ensimmäisen kerroksen. Tämän jälkeen taso 6 nousee hiukan ylöspäin ja vastaavasti taso 7 laskee halutun layer-vahvuuden verran alaspäin. Kaavin 5 käy työntämässä jauheen tasolle 7, minkä jälkeen lasersäteellä sulatetaan halutun muotoinen layer aikaisemmin sulatetun layerin päälle. Kappale on valmistuttuaan kokonaan jauheen peitossa, taso 7 on kokonaan täynnä jauhetta. (Selective laser sintering principle. N.d.)

3.3 Kaupalliset sovellukset tulostusmenetelmiin

3D-tulostimia on tullut 2010-luvulla enemmän markkinoille. Teollisen puolen tulostimien kirjo on lisääntynyt sekä hintataso on hiukan laskenut. Kuluttajakäyttöön tehdyt harrastetulostimien valmistajat ovat lisääntyneet merkittävästi. Seuraavassa osiossa on tarkasteltu kolmen eri tulostinvalmistajan tulostimia. Tulostimet on valittu sen perusteella, että niiden käytöstä on hyvät kokemukset niissä oppilaitoksissa ja yrityksissä, joissa olen hankkeen aikana vierailut.

3.3.1 Minifactory-tuotemerkki

Minifactory-pienoistehdas on suomalainen toimija tulostusalalla. Yritys toimii Seinäjoella ja on perustettu vuonna 2012. Yritys on perustettu start up-periaatteella. Minifactoryn tulostimet toimivat pursotustekniikalla (FDM) tulostaen muovilangasta haluttuja muotoja. Kuvioista 7 selviää Minifactoryn ulkoiset piirteet. Tulostusalusta liikkuu kuularuuvien avulla x- ja y-suunnassa. Korkeussuunnan liike saadaan tulostinpään liikkeellä. Minifactory on rakennettu ohjauksen osalta avoimen lähdekoodin varaan. Koneita voi käyttää esimerkiksi Cura- tai Repetierhost-ohjelmiston avulla. Molemmat ohjelmistot on rakennettu saman lähdekoodin päälle, ohjelmistot on ladattavissa internetistä. Kone on avoin, eikä koneen ympärillä ole erillistä suojaa. Tulostustapahtuman aikana täytyy varoa menemästä liian lähelle liikkuvaa alustaa tai tulostuspäätä.

Konetta myydään aloituspaketin kanssa sellaisena kokonaisuutena, että tulostamaan pääsee heti, kun paketti on saapunut. 30.4.2015 aloituspakettia kaupattiin 1590 euron hintaan, sisältäen arvonlisäveron. Pakettiin kuului tulostin, 1 kg PLA-tulostuslankaa ja oikeus käyttää Minifactory-kampusta. Kampus on internetissä toimiva opetuslanka, joka neuvoo kuinka tulostaminen tapahtuu. Kampuksella on opetusvideoita liittyen koneen käyttöön ja tulostamiseen. Liittymällä kampusen toimintaan pyritään tulostajista myös luomaan oma yhteisö joka inspiroituu tulostamisesta.



Kuvio 7. Minifactoryn ulkoiset piirteet (3D-tulostin. Minifactory 3 n.d.)

Minifactory-tulostimen yleistietoja

- tulostimen liikenopeus 80 mm/s
- tulostettavien layereiden kerrospaksuus 0,02 – 0,64 mm
- suurin tulostettavan kappaleenkoko 150 x 150 x 150 mm
- tulostusnauhoille kaksi telinettä
- koneen ulkomitat: 43,5 x 34 x 30 cm
- koneen paino 11 kg (3D-tulostin. Minifactory 3 n.d.)

Tulostusominaisuudet ovat seuraavat:

- tulostuslanka 1,75 mm (lisävarusteena 3,00 mm)
- suutinkoko vakiona 0,4 mm (lisävarusteena 0,3 mm - 0,8 mm)
- tulostussuuttimen lämpötila-alue 30 - 300 °C
- materiaalivalikoima: termoplastiset muovit, esim. PLA, ABS, Nylon, HPDE, PVA, Laywood, T-Glase, TPE, Laybrick, Hips, Bendlay, Polycarbonate jne.
- tulostusalusta on vaihdettava ja lämmitettävä (3D-tulostin. Minifactory 3 N.d.)

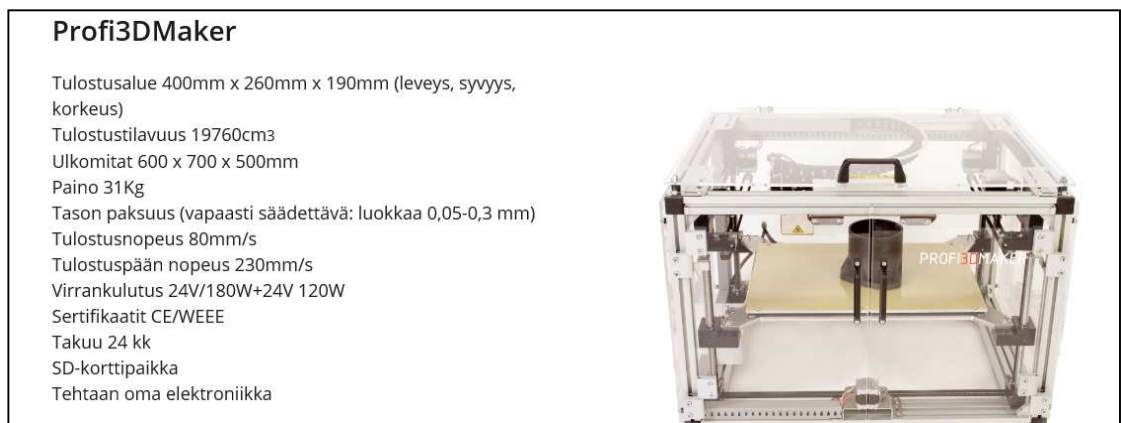
3.3.2 Profi 3D Maker-tulostin

Profi 3D Maker on tšekkiläinen tulostin, jonka suomalaisena maahantuojana toimii 3D Maker-niminen yritys. Kone toimii pursotintekniikalla (FDM) muovilangasta sulattamalla. Kone on toiminnaltaan hiukan poikkeava edellä kuvattuun Minifactoryn tulostimeen verrattuna Profi 3d Maker:ssa tulostuspää liikkuu x- ja y-suunnassa ja tulostusalusta pelkästään ylös-alassuunnassa (ks.kuvio 8). Koneen maahantuoja korostaa internetsivuillaan, että konetta valmistavassa tehtaassa on yli 20 vuoden kokemus koneenrakentamisesta.

Tiedustelusoitto maahantuojalle koneen- ja aloituspaketin hinnasta tuotti seuraavanlaisen tuloksen:

Koneen mukana tulevassa aloituspaketissa on mukana

- Profi 3D Maker-tulostin
- Yhden päivän kestävä maahantuojan pitämä käyttöönottokoulutus
- PLAPrintPlus ja ABSPrintPlus tulostuslankoja 4 kg
- Starting pack -työkalut ja -tarvikkeet, joita tarvitaan tulostamisen tekemiseen. (Verkkokauppa. 3D tulostimet. Profimaker. N.d)



Kuvio 8. Profi 3D Maker-tulostin (Verkkokauppa. 3D tulostimet. Profimaker. N.d)

Myös Profi3dmaker on rakennettu ohjauksen osalta avoimen lähdekoodin varaan. Koneetta voi käyttää sekä Cura- tai repetierhost-ohjelmiston avulla. Marraskuussa 2014 koneen hinta aloituspaketin ja koulutuksen kanssa oli 4500 euroa.

3.3.3 Rakennussarjat

Edu3d.fi-hankekokouksissa nousi 2014 syksyllä esiin, että Varia ammattioppilaitos Vantaalta on käyttänyt tulostamisen opetukseen 3D-tulostimen rakennussarjasta kasattavaa tulostinta. Tulostin toimii pursotintekniikalla (FDM). Perusajatus rakennussarjoissa on seuraava. Tilataan itselle sopiva sarja, joka sisältää kaikki tulostimessa tarvittavat komponentit. Komponenttien mukana tulee myös kokoonpano-ohjeet, joiden avulla tulostin kasataan. Valmiin tulostimen kanssa käytetään jotain internetistä saatavaa ilmaisohjelmaa, jonka avulla tulostinta ohjataan. Kuviossa 9 oleva Velleman k8200-rakennussarja on liikkeiltään samanlainen kuin Minifactory. Tulostimen pöytä liikkuu x- ja y-suunnassa ja tulostuspää ylös-alassuunnassa. Tulostimen ominaisuudet teknistä dokumentaation mukaan ovat juuri samanlaiset kuin edellä kuvatussa Minifactoryssä ja Profi 3d Maker:ssa. Myöskin rakennussarjassa on lämmitettävä tulostusalusta, niin kuin aikaisemmissa, ja tulostusalue on suunnilleen saman kokoinen Minifactoryn kanssa eli 200 mm x 200 mm. (K8200 Velleman 3D tulostin rakennussarja. N.d.)



Kuvio 9. Velleman k8200-rakennussarja (K8200 Velleman 3D tulostin rakennussarja. N.d.)

Welleman-rakennussarjan hinta marraskuussa 2014 oli 519 euroa. Rakennussarjan saa edullisimmin tilaamalla sen itse suoraan internetistä. Haasteena rakennussarjan tilaamisessa on sen teknisen tuen puute tai ongelmanratkaisumahdollisuudet. Aikaisemmin esitellyissä koneissa on maahantuoja tai koneen valmistaja, joilta saa käyttökoulutuksen koneeseen ja apua mahdollisiin ongelmatilanteisiin. (K8200 Velleman 3D tulostin rakennussarja. N.d.)

3.3.4 Objec Eden 350

Vierailulla Lapin ammattiopistolla 7.11.2014 tutustuimme Heidi Hoikkalan ja Tarmo Aittaniemen opastuksella LAO:lla olevan Objec Eden 350, 3d tulostimeen,(ks. kuvio 10). Tulostin on ollut Lapin ammattiopistolla kuusi vuotta käytössä. Tulostimella tehdään alueen yrityksille yksittäiskappaleita ja protosarjoja tuotantoon.



Kuvio 10. Objec Eden 350-tulostin (Eden. Photos. N.d.)

LAO:n tulostin toimii polyjet-tekniikalla. Tulostuksen laatu ja mittatarkkuus ovat erinomaisen hyvä. Pintakäsittelyä tulostamisen jälkeen ei tarvita. Tulostinta käytetään koneen mukana tulevalla omalla ohjausohjelmalla. Aittaniemi esitteli LAO:n tekemiä tuotteita, osa tuotteista oli tehty joustavasta materiaalista ja osa hyvin kovasta materiaalista. Tulostimen hankintahinta oli vuoden 2014 lopussa n.200 000 euroa, riippuen varustetasosta.

3.3.5 Tulostamisen materiaalit

Tulostimien lisäksi tulostustapahtumassa tarvitaan myös muita oheistarvikkeita. Seuraavissa luvuissa on esitelty yleisimpiä materiaaleja, joita tulostimet tarvitsevat. Materiaalien kirjo on hyvin laaja, eikä kaikkia materiaaleja ole tarkoituksella otettu tähän esiteltäväksi. Tavoitteena on käydä sellaisia materiaaleja läpi, joilla tulostaminen kannattaa aloittaa edellä esitellyillä tulostimilla.

PLA (Polylaktidi)

FDM-tulostimien yleisin muovi tulostusmateriaali on PLA. Materiaali on hyvä varsinkin suurien kappaleiden tulostamiseen, koska siinä ei esiinny juuri ollenkaan lämpökuroutumaa tai kappaleen muodon vääristymää. PLA on hyvä materiaali aloittelijalle, koska sitä voidaan pintakäsitellä ja esimerkiksi hioa normaaleilla menetelmillä. PLA:n sulamispiste on n 150-160 astetta, joten hiominen ja tulosteen muokkaaminen on tehtävä niin, että kappaleen pintalämpötila ei pääse liikaa nousemaan. PLA ei kestä UV-valoa. Mikäli kappale altistuu UV-valolle muuttuu kappale herkästi muotoa. Materiaali on biohajoavaa, mutta hajoaminen tapahtuu vasta hyvin vaativissa olosuhteissa. Raaka-aineena PLA:ssa on käytetty maissia ja sokeriruokoa. Teollisuudessa PLA-materiaalien käyttö on lisääntynyt, juuri biohajoavuuden ja ekologisen raaka-aineen vuoksi. (Tuotekuvaus PLA 1.75mm tulostusmateriaali. N.d)

PLA-materiaalin hyvät ominaisuudet tiivistettynä:

- tarkkuustoleranssi: $\pm 0,05$ mm
- ei kokorajoituksia tulostettavalle kappaleelle
- tulostusalustan lämpötila: 40 - 50 °C
- tulostuspään lämpötila: 190°C (Tuotekuvaus PLA 1.75mm tulostusmateriaali. N.d.)

ABS (akrylinitriilibutadieenistyreeni)

FDM-tekniikalla toimivissa tulostimissa toinen hyvin paljon käytetty muovi materiaali on ABS. ABS on kestävämpi materiaali, kun sitä verrataan PLA materiaaliin. Hinnaltaan materiaali on edullista ja sitä on käytössä hyvin monessa kohteessa myös muissa arkipäivän esineissä. Esimerkiksi autojen puskurit ja erilaiset kypärät ovat usein ABS-muovia. ABS-muovia on mahdollista työstää eri menetelmin, korkean sulamispisteen vuoksi. ABS:n huonoja puolia 3D-tulostamisessa on sen lämpötilamuutoksista johtuvat muodon vääristymiset. Perussääntö ABS-materiaalin käytössä on, että materiaalista ei kannata tulostaa yli 100 mm pitkiä pintoja. ABS-materiaali ei ole biohajoava. (Tuotekuvaus ABS 1.75mm tulostusmateriaali. N.d.)

ABS-materiaalin hyvät ominaisuudet tiivistettynä:

- mitta toleranssi: $\pm 0,05$ mm
- ei suositella suurten kappaleiden tulostamiseen muotovääristymien takia
- tulostusalustan suositus lämpötila: 80-90°C
- tulostuspään suositus lämpötila: 235°C (Ensimmäinen kerros 245°C)
- tulostusnopeus pienissä kappaleissa 20-30mm/s, suurissa 40-50mm/s (Tuotekuvaus ABS 1.75mm tulostusmateriaali. N.d.)

MED 610

Polyjet-tekniikalla toimivalla tulostimella on mahdollista tulostaa tuotteita jotka voivat olla pidempään ihmisen ihokontaktissa. MED 610-materiaali on juuri tähän tarkoitukseen sopiva materiaali. Materiaali voi olla 30 päivää suorassa ihokontaktissa tai 24 tuntia limakalvokontaktissa ihmiseen. Kuviossa 11 on MED 610-materiaalista tulostettu kuulolaitteen osa, joka tulee ihmisen korvaan. (3D Printing With Bio-compatible Material. N.d.)



Kuvio 11. MED 610-materiaali (3D Printing With Bio-compatible Material. N.d.)

4 Opintojakson suunnittelu

Tässä opinnäytetyössä oli tehtävänä suunnitella ja toteuttaa 3D-mallintamisen ja -tulostamisen pilot-kurssi ammatilliseen koulutukseen. Tiedonhankinnan perusteella opintojakson toteutukseen oli hyvin monta mahdollisuutta. Taloudelliset resurssit huomioituna, kurssi oli mahdollista järjestää muutaman sadan euron panostuksella, tai siihen on mahdollista käyttää useita satoja tuhansia euroa.

Pedagogisesta näkökulmasta kurssin järjestäminen voidaan toteuttaa alueen yrityksiä palvelevana toimintana, jolloin opiskelija pääsee hyvin lähelle teollisuuden toimintatapoja. Toimintatavan heikkous on, että opiskelija itse ei ole oppimisen keskiössä, vaan toiminnalla pyritään palvelemaan yritysten kehittymistä. Toimintatavan vahvuus on, että opiskelija pääsee käyttämään korkeatasoisia laitteistoja ja viimeisintä tekniikkaa.

Toinen näkökulma asian oppimiseen voidaan ajatella olevan mallintamisen opettamisen. Käytetään asian opetteluun varattu aika mallinnusohjelman harjoitteluun ja siihen tukevana toimintona 3D-tulostamista. Mallinnusosaamista voidaan hyödyntää myös muissa ammatillisissa aineissa ja se on ammattia tukevaa.

Kolmas lähestymistapa asiassa on 3D-tulostimen toimintaperiaatteeseen tutustuminen ja siihen liittyvä oppiminen. Kolmannen lähestymistavan hyvänä puolena voidaan pitää itse tulostustekniikkaan perehtymisen ja prosessin opetteleminen laitetasolla.

Seuraavissa luvuissa on esitelty kolme eritasoista sisältöä, kunkin vaihtoehdon vaatimukset on avattu, mitä vaihtoehto sisältää pedagogisesta näkökulmasta ja millaisia taloudellisia resursseja se vaatii. Kolmeen vaihtoehtoon päädyttiin, jotta saadaan suuntaviivat, miten pilot-kurssi järjestetään.

4.1 Opintojakson laitteisto ja toteutustapa

Vaihtoehto 1

LAO:n mallin mukaisesti pyritään hankkimaan ESR-rahoitteinen 3D-tulostin, jonka pääasiallinen tarkoitus on tarjota alueen yrityksille 3D-tulostusmahdollisuus. Tulostimelta vaadittava tulostuslaatu huomioiden koneen hinta on n.200 000euroa. ESR-rahoitteisten projektien suuri painoarvo on alueen yritysten toimintamahdollisuuksien kehittäminen. Ammattiopiston rooli tällaisissa hankkeissa on koordinoita hanketta ja fyysisesti huolehtia koneen käytöstä.

Resurssien muodossa vaihtoehdon 1 mukainen toiminta vaatii yhden työntekijän työpanoksen. Henkilöltä vaaditaan hyvää projektinhallintataittoa, kiinnostusta aiheeseen sekä halua kehittyä 3D-alalla huippuosaajaksi. 3D-hahmottaminen on oltava projektiin valittavalla henkilöllä hallinnassa. Oppilaitokselta vaaditaan taloudellista sitoutumista projektiin.

Vaihtoehto 2

Toisessa vaihtoehdossa oppilaitokseen hankittaisiin n. 4500 euroa maksava FDM-tekniikalla toimiva Profi 3d Maker tulostin. Tulostimen hinta suhteessa tulostusominaisuuksiin oli laite-esitteen mukaan hyvä. Tulostin on kehittyneempi kuin Rajakylän peruskoululla käytössä oleva tulostin ja sen tulostusalue on suurempi. Opintojakson sisällöstä voitaisiin käyttää toinen puoli kappaleen mallintamisen opiskeluun ja toinen osa tulostimen käytön opiskeluun. Mallintamiseen vaihtoehdossa 2 valittiin Solidworks-ohjelmisto, joka oppilaitoksesta löytyi valmiina. Kurssin pääpaino on kappaleen mallintamisessa, mutta tulostinta käytetään motivaation ylläpitämiseen ja oppilaiden mahdollisten omien ideoiden toteuttamiseen. Tulostimen tulostusalue on 400x260mm. Tulostimen tulostusalueen koko mahdollistaa koko ryhmän tulosteiden tulostamisen kerralla.

Vaihtoehdossa 2 vaaditaan oppilaitokselta huomattavasti pienempää taloudellista sitoutumista 3D-laitteistojen ja -mallinnusohjelmistojen hankinnassa, kuin vaihtoehdossa 1. Kouluttaminen ei vaadi kokopäivästä kouluttajaa, vaan koulutus voi tapah-

tua muun työn ohessa. Koulutuksen järjestäjän täytyy kuitenkin olla kiinnostunut aiheesta ja hallita 3D-mallintamisen perusteet.

Vaihtoehto 3

Kolmas vaihtoehto oli tulostimen rakennussarjan hankkiminen. Rakennussarja on hintaluokaltaan n. 500 euroa oleva investointi. Koko tulostin rakennetaan osista mukana tulevien ohjeiden avulla. Valmiissa tulostimessa on 200 x 200 millimetrin kokoinen tulostusalusta, ja sille voidaan tulostaa muovia FDM-tekniikalla. Tässä vaihtoehdossa tulostimen kokoonpano ja käyttökuntoon laittaminen on isossa roolissa. Kursimuotoisena toteutuksena mallintamiseen ja mallin luomiseen jää tällöin huomattavasti vähemmän aikaa. Sen vuoksi mallinnusohjelmaksi ehdotettiin Thinkercad-ohjelmistoa, jolla on mahdollista mallintaa yksinkertaisempia ja epätarkempia 3D-malleja.

Vaihtoehdossa 3 oppilaitoksen taloudelliset vaatimukset ovat minimaaliset. Vaihtoehdon 3 kouluttajalta vaaditaan hyvin suurta kiinnostusta tekniikkaan ja 3D-tulostimien toimintaperiaatteen tuntemusta. Tärkein ominaisuus tämän vaihtoehdon onnistumisessa on innostunut kouluttaja, joka saa opiskelijat innostumaan aiheesta. Kouluttajan mallinnusosaaminen on sivuroolissa, riittää kun kouluttaja tietää miten 3D-malli rakentuu.

Vaihtoehdon valinta

Opintojakson karkea sisältö valittiin 2.12.2014 pidetyssä palaverissa. Esittelin kolme erilaista vaihtoehtoa koulutuksen aloittamiselle POKE:ssa. Palaverissa olivat mukana kuntayhtymän johtaja Jouni Kurkela ja tekniikan ja liikenteen koulutusjohtaja Hannu Pönkä.

Kuntayhtymän johtajan ja koulutusjohtajan kanssa käydyssä keskustelussa valitsimme vaihtoehdon 2. Keskustelun aikana päädyimme yhdessä ajatukseen, että lähdemme liikkeelle sellaisella vaihtoehdolla, joka tuntuu tällä hetkellä kustannuksiltaan kohtuulliselta ja antaa kuitenkin hyvän perustiedon opiskelijoille alasta. ESR-rahoitettuihin hankkeisiin oppilaitoksella ei ole kiinnostusta lähteä mukaan. Oppilaitoksen linja on pysyä mahdollisimman hyvin omassa liiketoiminnassaan ja osaamis-

alueessaan eli perustutkintojen kouluttamisessa. Keskustelimme myös siitä, että myöhemmässä vaiheessa esimerkiksi metalliosastolle on mahdollista ostaa 3D-tulostimen rakennussarjoja ja toteuttaa kokoonpanovaiheessa jokin ammattialaan liittyvä näyttö. Esimerkiksi koneenasennuksen näytöksi tulostimen kasaaminen soveltuu erinomaisesti.

Kun olimme päättäneet millä tasolla opetusta alamme antamaan, keskustelin koulutusjohtajan kanssa siitä milloin opintojakso olisi hyvä toteuttaa. Lähtökohta opintojakson toteutukselle oli kevät 2015. Tarkempi tarkastelu osoitti kuitenkin, että kevään lukujärjestykset oli jo luotu eikä vapaan viikon raivaaminen oppilaiden lukujärjestykseen näyttänyt helpolta ratkaisulta. Tämän vuoksi päädyimme aikaistamaan aikataulua siten, että opintojakson toteutusajankohdaksi valikoitui viikko 8. Tämä viikko on oppilaitoksessamme pajaviikko. Silloin jokainen ensimmäisen ja toisen vuosikurssin opiskelija saa valita vapaasti jonkin kurssin oppilaitoksen tarjonnasta. Kukin osasto tarjoaa omalta alaltaan jonkin sellaisen opintokokonaisuuden, joka on mahdollista toteuttaa yhden viikon aikana. Oppilaille kyseisen viikon kurssi kirjataan vapaasti valittavaksi opinnoksi, joita opiskelijan täytyy suorittaa 10 opintoviikkoa kolmen opiskeluvuoden aikana.

Tilasimme koululle marraskuussa 2014 Profimaker-tulostimen. Laitteiston toimituksessa ilmeni kuitenkin ongelmia. Sovittu toimitusviikko 8 ei onnistunut. Olimme sopineet pilottikurssin ajankohdaksi viikon 8 ja saimme maahantuojalta lainaan toisen tulostimen kurssin käyttöön.

Edu3d.fi-hankkeen puitteissa on työstetty opetussuunnitelmaa 3D-tulostamiseen ja -mallintamiseen. Liitteessä 1. on kuvattu 10 opintopisteen laajuisen kokonaisuuden osaamistavoitteet ja se kuinka osaamista arvioidaan. Opetussuunnitelman laadinnassa tavoitteena on, että kukin oppilaitos saa perusteet samanlaisena käyttöönsä ja voi muokata siitä omaan tarpeeseensa sopivan. Lopullinen 10 osaamispisteen suuruinen kokonaisuus saatiin valmiiksi vuoden 2015 syksyllä. Kurssi on suunniteltu soveltuvaksi vapaavalintaiseksi kurssiksi. Kurssin sisältö muokkautui vajaan vuoden työstämisen aikana hyvin paljon, lopulta pelkäsi tulostamiseksi suunniteltu kurssi sisältää myös hyvin paljon mallintamista ja sen opettelua. POKE:n pilottikurssin sisältöä suunnitel-

lessa opetussuunnitelmatyö oli aloitettu Edu3d.fi-hankkeessa, mutta se oli vielä kesken.

4.2 Pilottikurssin sisältö

Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopiston kurssin laajuudeksi muodostui 1 opintoviikko, osittain käytännön sanelemana ja osittain koulutusjohtajan kanssa yhdessä tehdyn valinnan mukaan. Suoritettavan opintojakson pituuteen vaikuttivat jatkossa pidettävät koulutukset. Näimme järkeväksi muodostaa kurssin, joka voidaan jatkossa tarjota myös vapaavalintaisena iltapäivä kurssina, joka myöskin kestää yhden opintoviikon.

Yhden opintoviikon kurssi sisältää 30 tuntia lähiopetusta, 6 tuntia päivässä. Kurssin nimi on 3D-mallinnuksen ja -tulostamisen perusteet. Kurssin teemaksi olen valinnut avaimenperien ja pienosien mallintamisen sekä niiden tulostamisen. Teemalla olen pyrkinyt siihen, että ei mallinnettaisi sellaisia kokonaisuuksia, joiden tekemiseen menee kauan tai jotka ovat hyvin abstrakteja. Mielenkiintoisissa harjoituksissa päästään konkreettiseen tuotteeseen kiinni sekä mallintamisessa että tuotteen tulostamisessa. Lapin ammattiopiston Heidi Hoikkala painotti motivaation ylläpitoa ja Heidi mainitsi, että on ensiarvoisen tärkeää päästä tulostamaan konkreettisia tuotteita mahdollisimman pian, sekä mallintaa sellaisia tuotteita jotka kiinnostavat oppilaita. (Hoikkala, H. 2014.)

Itse olen omassa opetustyössä huomionnut saman asian. Opettaessani nuorille opiskelijoille metallin koneistamista ei pelkän harjoitustyön tekeminen ole kovin kiinnostavaa, mutta jos opiskelija saa toteuttaa jotain omaa työtään, voidaan harjoitustyön haasteellisuudessa edetä huomattavasti korkeammalle tasolle.

Kurssin on suunniteltu toteutettavaksi seuraavanlaisesti:

Kurssi aloitetaan teorialuokassa ja käydään kurssin sisältö lävitse: mitä kurssin aikana tehdään ja mitä kurssin jälkeen tulisi osata, jotta kurssin läpäisee. Orientaatio-osioon kuuluu myös tulostamisen perusteiden läpikäyminen Powerpoint-esityksen avulla.

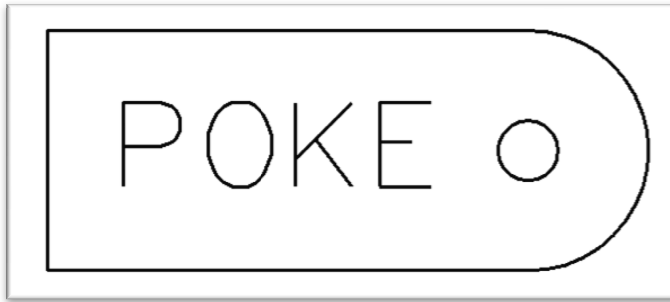
Tähän osioon on varattu kaksi oppituntia. Pedagogisena haasteena kurssin aloittamisessa ja teorian läpikäymisessä on turhautuminen. Opiskelijoista suurin osa on sellaisia, jotka haluavat päästä heti kokeilemaan ja tekemään itse, teorian kuunteleminen luentomaisesti on usein haastavaa. Tämän tiedostaen kurssi aloitetaan samalla tavalla kuin usein seminaarit tai koulutukset alkavat, aamukahveilla. Kukin opiskelija ottaa kahvit ja leivoksen heti opetustilaan tullessa ja istuu kuuntelemaan hiukan teoriapainotteisempaa asiaa.

Orientaatio-osion jälkeen siirrymme ATK-luokkaan. Jokaiselle opiskelijalle on varattu oma tietokone ja jokainen opiskelija tekee omaa työtään. Kukin opiskelija kirjautuu omilla verkkotunnuksilla koneelleen, jotta heidän omaa verkkotallennustilaa voidaan käyttää ja siten keskeneräiseksi jääneitä töitä ei yön aikana menetetä.

Ensimmäinen harjoitus tehdään täysin ohjatusti kaikki samaan tahtiin. Olen rakentanut 3 D-mallinnus ja -tulostamiskurssin siten, että yhdessä suoritettujen neljän harjoituksen jälkeen kukin opiskelija saa toteuttaa yhden vapaasti oman mieltymyksen mukaan toteutetun harjoituksen. Oman harjoituksen koko saa maksimissa olla 50 mm x 50 mm x 50 mm.

Harjoitus 1

Ensimmäinen harjoitus on tarkoitus saada mallinnettua ja tulostettua ensimmäisen kurssipäivän puoleen väliin mennessä. Harjoitus 1 on muodoltaan perinteisen avaimenperän muotoinen tuote, jossa on pyöreää muotoa ja suorakaiteen mallintamista (ks. kuvio 12). Kukin opiskelija mallintaa avaimenperään omat nimikirjaimensa. Harjoituksen taso pyritään pitämään mahdollisimman helppona ja sellaisena, ettei se jää keneltäkään tekemättä.



Kuvio 12. Harjoitustyö 1: avaimenperä

Avaimenperän mitat ovat

- korkeus 20 mm
- kokonaispituus 50 mm
- reikä 5 mm
- vahvuus 5 mm.

Harjoitus 2

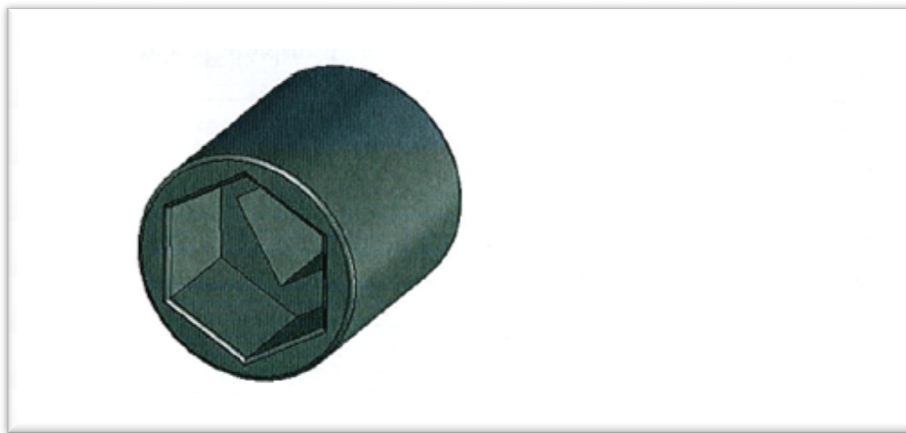
Toisessa harjoituksessa mallinnetaan markettien ostoskärryjen varaukseen tarvittava poletti. Kukaan opiskelija mallintaa oman osaamistasonsa mukaan kappaleeseen omia nimikirjaimia tai muotoja. Harjoitus tehdään yhdessä, siten että videotykillä heijastetaan valkokankaalle esimerkkisuoritus mallintamisen toteutuksesta. Tämän harjoituksen tehtävänannossa päädyin kuviossa 13 olevaan esimerkkituotteeseen. Mallina oli metallinen, juuri kyseiseen tarkoitukseen tehty tuote. Opiskelijoiden täytyy itse mitata kappaleen ulkomitat työntömitalla ja tarvittaessa piirtää tuotteesta käsin itselle mittakuva, ennen kuin mallintamisen ohjelmistolla voi aloittaa.



Kuvio 13. Harjoitus 2: poletti

Harjoitus 3

Kolmannessa harjoituksessa mallinnetaan kuusiokantaisen ruuvin avaamiseen ja ki-ristämiseen tarkoitettu hylsy (ks. kuvio 14). Kukin opiskelija mallintaa tuotteen ohja-
tusti ja harjoituksessa pyritään etenemään koko ryhmän kanssa. Hylsyn ulkopintaan
voivat ne opiskelijat, jotka saavat mallinnuksen aiemmin valmiiksi, mallintaa tekstiä.
Hylsyt pyritään saamaan tulostettua viimeistään toisen kurssipäivän aamuna. Mallin-
nuksen apuna käytetään Solidworks-ohjelmiston harjoitusta. Tarvittaessa harjoituk-
sen voi aloittaa aikaisemmin omatoimisesti Solidworks-ohjeen avulla.



Kuvio 14. Harjoitus 3: hylsy

Hylsyn mitat ovat seuraavat:

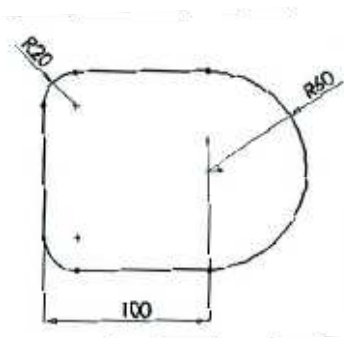
- avainväli 17 mm
- lieriöosan ulkohalkaisija 25 mm
- nelikulmion sivunpituus 10 mm
- kappaleen kokonaispituus 25 mm.

Harjoitus 4

Neljännessä harjoituksessa mallinnetaan nesteen kaatamiseen tarvittava suppilo (ks. kuvio 15). Harjoituksessa opetellaan käyttämään monipuolisesti Solidworks-
ohjelmiston työkaluja. Harjoituksen mitoituskuva on kuviossa 16. Harjoituksesta saa-
tavaa mallia ei voida tulostaa 1:1-kokoisena, vaan mallia on hiukan pienennettävä
ennen tulostamista. Harjoitus löytyy Solidworksin materiaaleista, ja mallintamiseen
on ohjeet, mikäli opiskelija haluaa toteuttaa mallin itsenäisesti.



Kuvio 15. Harjoitus 4: suppilo



Kuvio 16. Suppilon mitoitus

Suppilon mitat ovat seuraavat:

- suppilon kokonaiskorkeus 120 mm
- pyöreän muodon suurempi halkaisija 30 mm
- pyöreän muodon pienempi halkaisija 20 mm
- suppilon seinämän vahvuus 3 mm

Harjoitus 5

Harjoituksessa 5 on oman työn mallintaminen ja tulostaminen. Tavoitteena on mallintaa oppilasta kiinnostava aihe, joka motivoi mallintamaan hiukan vaikeampia muotoja. Harjoitustyö voi olla esimerkiksi oman mopon tai moottoripyörän logon mallintaminen ja tulostaminen. Useimmat automerkkien logot voivat toimia myös oman työn harjoituksena.

4.3 Arviointiperusteiden laatiminen

Yhden viikon mittaisen opintojakson arviointiperusteiden laatiminen on etukäteen hiukan haastavaa. Ongelmana on tiedon ja kokemuksen puute siitä mitä viikon aikana ehditään oppimaan. Toisaalta myös oppilaiden aikaisempi kokemus erilaisten suunnitteluohjelmistojen käytöstä, voi vaikuttaa merkittävästikin lopputilanteen osaamistasoon. Asetin viikon tavoitteeksi mallintamisen perusteiden hallitsemisen siten, että opiskelija pystyy ilman ohjausta tekemään yksinkertaisia muotoja sisältävän tuotteen mallintamisen. Yksinkertaisilla muodoilla tarkoitetaan muotoja, jotka saadaan Solidworks-ohjelmiston perustyökaluilla. Mallinnusosaaminen on tärkein yksittäinen tavoite, jonka olen asettanut opintojaksolle. Riippumatta siitä, miltä alalta opiskelijat kurssille tulevat, heille on apua omassa ammatissaan, jos he pystyvät sähköisesti mallintamaan kappaleita tietokoneella.

Toinen tavoite kurssille on, että opiskelija pystyy omatoimisesti opintojakson lopussa siirtämään mallintamansa kappaleen 3D-tulostimelle ja tulostamaan kappaleen. Ennen tiedoston siirtämistä opiskelijan täytyy osata myös tarkastaa, onko mallinnettu kappale sellainen, että sen tulostaminen onnistuu ja tuotteen pintamalli on kunnossa. Pintamalli täytyy tarkastaa erillistä Netfab Basic-ohjelmistoa käyttäen. Netfab-ohjelmiston avulla selvitetään onko pintamalliin jäänyt reikiä, jotka estävät hyvän tulostuksen. Tulostamiseen kuuluu olennaisena ja aivan peruskysymyksenä, missä asennossa kappale täytyy tulostaa, jotta tuote pystytään edes valmistamaan. Tulostusasennon ymmärtäminen on yksi pieni tavoite, joka opiskelijan tulee hahmottaa mallinnus-tulostus prosessissa.

5 Opintojakson toteutus

Opintojakson toteutusluku on päiväkirjatyylinen havainnointiin ja huomioihin kiinnittyvä osio. Tarkoituksena oli kerätä pilottijaksolta mahdollisimman paljon tietoa ja havaintoja, miten kurssin toteutus onnistui.

1. päivä

Aloitimme kurssin aamukahvilla. Olin varannut kurssin alkuun suklaapiirakat ja mehua mahdollisesti sellaisille, jotka eivät juo kahvia. Kahvit olivat yllätys opiskelijoille. Ajatukseni oli virittää päivän alku hiukan samalla tavalla kuin konsultin pitämä ulkopuolinen koulutus. Kahvittelun lomassa kävin 3D-mallinnukseen ja tulostamiseen liittyvät teoria-asiat. Samalla kävimme myös kurssin sisällön läpi. Opiskelijat olivat innostuneita aiheesta.

Teoriaosuuden jälkeen siirryimme ATK-luokkaan, jossa aloitimme 3D-mallinnuksen perusteiden läpikäynnin. Ensimmäisenä harjoituksena kävimme läpi, mitä 3D-mallintaminen Solidworks -ohjelmistolla tarkoittaa ja millainen mallintamisprosessi on. Lyhyen ohjelman alkuinfon jälkeen jokainen opiskelija alkoi mallintamaan avaimenperää. Avaimenperän mallinnus onnistui hyvin. Kun mallinnus oli saatu valmiiksi, tulostimme ensimmäisen kappaleen. Tulostimme yhden avaimenperän vain yhdelle opiskelijalle. Ensimmäisessä tulostuksessa meni noin puoli tuntia ja tulostuslaatu oli heikko suuren layer-vahvuuden vuoksi. Myöskään kappaleeseen kirjoitettu teksti ei näkynyt selvästi pienen fontin vuoksi. Kokonaisuudessaan ensimmäisen tulosteen laatu oli heikko. Toisen tulosteen teimme pienemmällä layer-vahvuudella, ja se onnistui jo paremmin. Toisen tulosteen tekemiseen meni reilut puoli tuntia. Ehdimme tulostamaan päivän aikana yhteensä kolme avaimenperää. Kaikki opiskelijat ehtivät mallintaa avaimenperän valmiiksi. Kuviossa 17 on Kasperin tulostama avaimenperä, jossa tulostuslaatu on mielestämme hyvä.



Kuvio 17. Harjoitus 5: Kasperin avaimenperä

2. Päivä

Käytimme tulostimen ohjaamiseen yhtä kannettavaa tietokonetta. Kuviossa 18 on tulostin kytketty tietokoneeseen, jolla tulostukset on tehty. Muutin toisen päivän ohjelmaa hiukan alkuperäistä sen vuoksi, että jokaisen opiskelijan olisi hyvä saada oma tulostus mahdollisimman pian.



Kuvio 18. Tulostuslaitteisto

Aloitimme päivän mallintamalla yhdessä markettien kärryissä tarvittavia poletteja (ks. kuvio 19). Kukin teki omaan malliin joko oman nimen tai nimikirjaimet. Laitoimme poletit tulostumaan aamukahvin ajaksi. Teimme tulostukset yhteistulostuksena, jolloin saimme kaikkien tulosteet kerralla valmiiksi.

Hylsyn mallintaminen alkoi opiskelijoilla eriaikaisesti. Sen vuoksi harjoituksen aloittaminen alkoi osittain itseohjautuvasti. Käytin apuna harjoituksen annossa Solidworks-ohjelmiston opetuskirjaa. Opiskelijat mallinsivat hylsyn, kukin samoilla ulkomi-
toilla. Kaikki opiskelijat mallinsivat hylsyn ulkopintaan oman nimen tai nimikirjaimet. Mallinnukset hylsyjen osalta olivat valmiina n. klo 13.00. Laitoimme kaikki hylsy-
tulostumaan samalla tulostuksella. Nimet tuotteiden ulkopinnassa mahdollistivat tuot-
teiden tarkastelun seuraavana päivänä. Kaksi opiskelijaa saivat mallinnukset huomatt-

tavasti nopeammin suoritettua kuin muut. He aloittivat mallintamaan omaa tuotetta. Opiskelijoiden mallinnukset olivat auton turbo ja mopon etuvalon kuori.



Kuvio 19. Polettiharjoitus tulostettuna

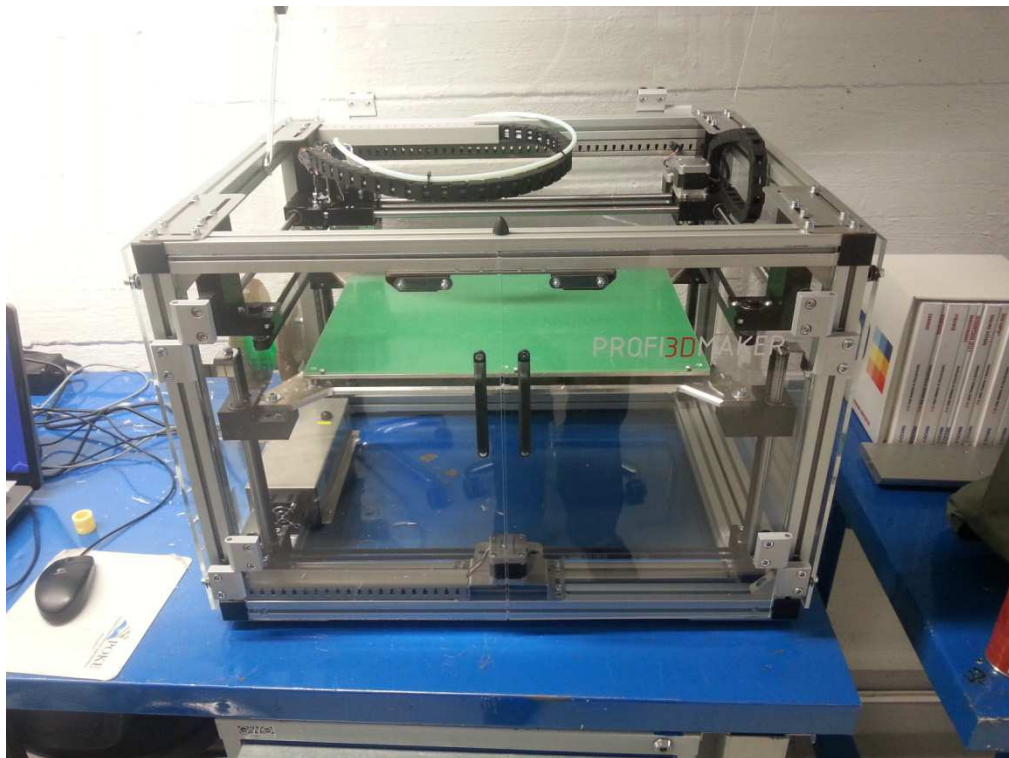
3. päivä

Ensimmäiseksi laitoin edellispäivän mallinnetun turbon tulostumaan. Tulostuskokona oli noin 0,2 kertaa alkuperäinen mallinnus. Turbon ensimmäinen tulostus ei onnistunut, koska kappale ei kiinnittynyt tarpeeksi hyvin alustaansa, vaan irtosi. Toisella tulostuskerralla tuote onnistui hyvin. Tuotteen ulkopinnasta tuli hiukan huono, johtuen kokoon nähden liian suuresta kerrosvahvuudesta. Harjoitustyönä tälle päivälle oli suppilon mallinnus ja tulostaminen. Mallintaminen onnistui hyvin ja jokainen opiskelija onnistui mallintamaan tuotteen tämän päivän aikana. Tulostuksissa pyrimme yhdistämään mahdollisimman monta tuotetta yhdellä tulostuksella. Kolmea suppiloa vaille kaikki saivat tuotteet tulostettua. Ehdimme välillä tehdä myös yhden oman työn. Oppilaan mallintama hylsy tulostettiin 100:lla täyttöasteella, jonka jälkeen testasimme kuinka paljon hylsy kestää momenttia. Hylsy ei kuitenkaan kestänyt riittävän suurta vääntömomenttia. Opiskelijan ajatuksena oli tehdä hylsy, jolla onnistuisi kiristää auton renkaan pultteja.

4. päivä

Aamun ensimmäisen tulostuksen jälkeen jokaisen opiskelijan kaikki ohjatut harjoitteet oli saatu tulostettua. 4. päivän alussa ilmoittautui vielä 2 uutta opiskelijaa kursseille. Heidän kanssaan aloitettiin mallinnus aivan alusta. Muut kurssin opiskelijat aloittivat kukin oman tuotteen mallintamista. Omina tuotteina opiskelijat mallinsivat auton vanteita, auton moottorin lohkoja, auton varaosia ja moottoriajoneuvojen logoja. Ne opiskelijat joilla ei ollut aluksi omaa työtä, löysivät kuitenkin itselle sopivan tuotteen pienen keskustelun jälkeen.

Kuviossa 20 vihreänä näkyvä alusta on tulostusalusta. Suuri tulostusalusta mahdollistaa useamman tuotteen tulostamisen yhtä aikaa.



Kuvio 20. Tulostin

5.päivä

5 päivänä jatkui kunkin opiskelijan oman tuotteiden mallintaminen ja tulostaminen. kuviossa 21 on noin 7 cm x 7 cm kokoinen turbo, joka on opiskelijan mallintama ja tulostama. Tuloste on käsitelty tulostamisen jälkeen dippaus-menetelmällä.

Viimeisen kurssipäivän ongelmaksi muodostui tietokoneiden kapasiteetti. Osa opiskelijoista eteni mallintamisessa hyvin pitkälle. Ongelmaksi muodostui tietokoneiden rajallinen mallin käsittely ja sen vuoksi tietokoneen mallinnusohjelma kaatui. Ongelmaa ei esiintynyt aiemmin, koska mallit olivat alkuviikosta huomattavasti helpompia ja eivät vaatineet tietokoneelta niin suurta suorituskykyä.

Viimeisenä opiskelijat vastasivat kurssin sisältöä ja opetusta koskevaan kyselyyn. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää, mikä kurssissa on onnistunut ja mitä täytyisi kehittää jatkoa ajatellen.



Kuvio 21. Opiskelijan oma harjoitustyö: autonturbon mallinnus

6 Opintojakson palaute ja kehitysehdotukset

Opintojakson jälkeen opiskelijoilta kerättiin opintojakson arviointikysely. Yhteensä arvion antoi 14 opiskelijaa. Kysely toteutettiin kurssin viimeisenä päivänä paperisena kyselynä. Opiskelija antoi palautteen anonyyminä. Kyselyn väittämät tuli arvioida asteikolla 1-5 kunkin väittämän perään.

Ensimmäisenä väittämänä tiedustelin aiheen tuntemusta, eli sitä, kuinka tuttu aihe oli opiskelijalle. Asteikolla 1= täysin eri mieltä ja 5 = Täysin samaa mieltä, ensimmäinen väittämä sai keskiarvon 2.07. Aihe oli siis hyvin vieras opiskelijoille.

Opintojakson laajuutta tiedustelin väittämällä "Opintojakson sisältö oli oikean kokoinen". Siinä sama asteikko antoi vastausten keskiarvoksi 3.85. Luultavimmin kurssin sisältö oli karkeasti oikein mitoitettu yhden viikon opintojaksoksi. Mielestäni omien töiden tekeminen harjoituksena muokkasi jokaisen kurssin sisällön hiukan erilaiseksi ja siten myös mielekkääksi sisällöltään.

Oppimista mittasin kahdella kysymyksellä mallinnuksen osalta "Opin mallinnuksen perusteet"-väittämällä ja tulostamisen osalta "Opin tulostamisen perusteet" -väittämällä. Molempien oppimista mittaavien väittämien keskiarvoksi tuli 4.3, joten mielestäni kurssin tavoitteet eivät olleet liian korkeat.

Muut asiat, joita opintojakson arvioinnissa tiedusteltiin, keskittyivät pääsääntöisesti opetukseen yleensä ja opettajana toimimiseen. Neljä edellä käsiteltyä kysymystä olivat omiani ja loput kuusi kysymystä POKE:n yhteisen kurssiarvioinnin kautta tulleita väittämiä.

Viimeisenä arvioinnin kohtana oli kurssin arvosana asteikolla 1-5. Oppilaiden antama arvio oli 4,5. Yleisesti ottaen hajonta oli suhteellisen tasaista. Jos keskiarvo oli arvioitavassa väittämässä 4,3, niin kyseisestä kohdasta ei ollut tullut yhtään arvosanaa 1 tai 2, vaan kaikki annetut numerot olivat joko 3, 4 tai 5.

Kurssista saadun palautteen mukaan kurssi oli kohtalaisesti onnistunut. Haastavaksi kurssin teki eriaikainen oppiminen. Jo ensimmäisen päivän jälkeen oli huomattavissa, että toinen opiskelija pääsee huomattavasti pidemmälle aiheessa kuin toinen opiskelija. Tämä asia oli tiedossa jo ennen kurssin aloittamista, mutta tuli varsin selkeästi esille. Toiselle opiskelijalle hahmottaminen on huomattavasti helpompaa kuin toiselle ja sen vuoksi mallintaminen on nopeampaa ja toisella taas hyvinkin hidasta.

Mielestäni kurssia voi pitää myös jatkossa saman sisältöisenä. Kurssiin valitut harjoitukset sisältävät kaikki mallinnuksen perusteiden oppimiseen tarvittavat asiat. Mallinnuksen oppiminen on tärkein kurssilla opittava asia. Harjoitusten konkreettisuus edistää oppimista. Konkreettinen tuotos innostaa opiskelijaa. Tärkeää on korostaa, ettei opetuksessa edetä liian nopeasti. Mikäli opiskelijan kohdalla tulee ilmi että aihe on liian vaikea, niin kannattaa palata hiukan taaksepäin vaatimustasossa ja jatkaa helpommalla tehtävällä. Kun oppimiseen tulee omaehtoinen imu, on opiskelija valmis ponnistelemaan tavoitteen saavuttamiseksi huomattavasti enemmän kun jos asiaa yritetään väkisin käydä yhdessä läpi.

7 Tiedon jakaminen opetushenkilöstölle ja jatkotoimenpiteet

Toteutetun pilottikurssin jälkeen on tärkeä jakaa saadut tulokset ja tiedot myös muille POKE:n organisaatiossa työskenteleville. Sovimme esimieheni kanssa, että syksy 2015 käytetään hankitun tiedon ja taitojen jakamiseen mahdollisimman monelle asiasta kiinnostuneelle.

Jo aiemmin Viitasaaren yksikön metalliosasto oli ilmoittanut kiinnostuksensa asiaan. Esimieheni selvitti muiden yksiköiden kiinnostusta aiheeseen ja kaupan- ja hallinnonala sekä luonnonvara-ala ilmoittivat olevansa kiinnostunut asiasta.

Viitasaari metalliala

Viitasaaren yksikössä päädyttiin suoraan kopioimaan pilottihankkeen mukaisen laitteiston hankkiminen. Pidimme palaverin Viitasaaren yksikön opettajan kanssa ja tilasimme Easymaker tulostimen toisella tapaamiskerralla. Tulostin on muuten samanlainen kuin pilottihankkeessa, mutta hiukan pienempi tulostusalueeltaan. Tulostimen

saavuttua Viitasaarelle, pidimme koulutuksen tulostimen käytöstä ja tutustuimme aiheeseen. Koulutuksessa oli mukana metalliosaston kaksi opettajaa. Yksi merkittävä asia, asioiden nopeaan etenemiseen oli mallinnusosaaminen. Viitasaaren yksikössä on mallinnusta opetettu jo aiemmin ja sen hallinta oli hyvää jo ennen tulostimen hankintaa. Myöskin opettajien mallinnusosaaminen on erinomaista.

Kolmannen koulutuspäivän valitsimme sellaiseen ajankohtaan kun peruskoulun opiskelijat seitsemänneltä ja kahdeksannelta luokalta olivat tutustumassa metalliosaston toimintaan. Pidimme tulostinta esillä konepajan pöydällä ja kerroimme heille uudesta tekniikasta. Varsinkin tyttäret olivat hyvin kiinnostuneita asiasta ja tulostimen esittely avasi keskusteluyhteyden myös muuhun metalliosaston esittelyyn.

Tutustumispäivän kiinnostuksesta johtuen ideoimme opettaja kollegoiden kanssa tulostimen käytön mahdollisuuksista oppilaitoksen markkinointitoimissa. Totesimme, että tulostimen vieminen peruskouluun voisi olla hyvä markkinointi keino, peruskoululaisten kiinnostuksen herättelemisessä metallialaa kohtaan. Tulostimen ja tietokoneen vieminen peruskouluun, esimerkiksi teknisentyön tunnille ei ole ongelma. Laitteet saadaan helposti mahtumaan henkilöauton peräkonttiin.

Viitasaaren metalliosasto on aika pieni, 17 opiskelijaa. 17 opiskelijaa koostuu kolmesta eri vuosikurssista. Tästä johtuen he voivat pitää tulostusmahdollisuutta muun opetuksen rinnalla ja kukin opiskelija voi vuorollaan tehdä mallinnusta ja tulostamista. Erillisen kurssin pitäminen aiheen tiimoilta ei ainakaan näin pienellä oppilasmäärällä ole järkevää. Tiedon ja taitojen levittäminen Viitasaarelle on mielestäni onnistunut hyvin.

Äänekoski kaupan- ja hallinnon ala

Kaupan- ja hallinnonalan alan koulutusjohtaja oli kiinnostunut tulostamisesta myös. Sovimme, että kävisin esittelemässä heille tekniikkaa yhtenä päivänä. Sovimme tapaamisen jolloin esittely tehdään ja heiltä kiinnostuneet opettajat ja opiskelijat kasattiin yhteen luokkatilaan. Otin pilottihankkeessa mukana olleen tulostimen mukaan ja asensin laitteet toimintakuntoon ennen esityksen alkamista. Lyhyen teoriaosuuden esittelyn jälkeen, mallinsimme oppilaiden kanssa avaimenperän. Avaimenperässä käytin yhden opiskelijan niemeä. Tulostimme kyseisen avaimenperän opiskelijalle, jonka nimellä avaimenperä oli.

Kaksi tuntia kestäneen esittelyn aikana osa opiskelijoista oli hyvinkin kiinnostuneita ja osaa opiskelijoista aihe ei suuremmin huvittanut. Jatkotoimenpiteitä ei sovittu, mutta opettajilla oli kiinnostusta mallinnuksen opettelemiseen. Sovimme että informoimme heitä, mikäli mallinnuksen opetusta järjestetään POKE:n sisäisesti.

Tarvaala luonnonvara-ala

POKE:n luonnonvara-alan opetuksesta vastaavan koulutusjohtajan esitys oli, että esitellään 3D-tulostusta myös heidän yksikössään. Esittely tapahtui luokkatilassa, johon veimme pilottihankkeessa hankitun tulostimen. Tulostimen yhteyteen asensimme myös tietokoneen, jolla oli mahdollista esitellä kuinka 3D-mallinnus tapahtuu. Esittelytilaisuudessa oli mukaan opiskelijan, joka oli mukana pilottikokeilu-kurssilla. Opiskelijan mallinnusosaaminen on hyvällä tasolla ja oman motivaation vuoksi on sisäistänyt mallinnus ohjelman käytön esimerkillisesti. Esittelimme esimerkin avulla, kuinka kappale mallinnetaan ja tulostetaan. Käytimme esimerkki kappaleina avaimenperä poletteja, joita jaoimme opiskelijoille sitä mukaan kun niitä valmistui.

3D-tulostamiseen kävi yhteensä tutustumassa 6 opiskelija ryhmää. Opiskelijaryhmät olivat hyvin innostuneita aiheesta ja esittelemisen oli helppoa. Esittelyssä mukana ollut opiskelija helpotti esityksen pitämistä, hän pystyi keskittymään mallintamiseen yhtä aikaa kun itse kerroin tekniikasta ja sen sovelluksista. Avaimenperäpolettien mallintamisessa pystyimme huomioimaan opiskelijaryhmien mielipiteet ja kiinnostuksen kohteet. Tämä lisäsi aiheen kiinnostavuutta. Yhdelle eläintenhoitajaksi opiskelevalle opiskelijalle mallinsimme ja tulostimme lemmikin nimen. Nimilappu oli tarkoitus laittaa lemmikin kaulapantaan kiinni. Lemmikin nimilapun mallintaminen ja tulostaminen onnistui hyvin.

Suuresta kiinnostuksesta johtuen Tarvaalassa pidetään keväällä 2016 mallinnus- ja tulostuskoulutus. Koulutukseen hakeutuminen on vapaaehtoista ja kestää kaksi työpäivää. Tavoitteena on kahden työpäivän aikana käydä mallintamisen ja tulostamisen perusteet lävitse. Kahden koulutuspäivän jälkeen jokainen opiskelija pääsee itse kehittämään omaa mallinnusosaamista ja tulostamaan tuotteita. Tulostimena voidaan käyttää pilottihankkeeseen hankittua Profi 3D Maker tulostinta.

8 Pohdinta

Opinnäytetyö lähti liikkeelle työnantajan kehitystarpeesta. Pohjoisen-Keski-Suomen ammattiopistolla haluttiin selvittää mitä 3D-mallinnus ja -tulostus tarkoittaa. Toimeksiantajan tavoitteena oli myös ottaa 3D-mallinnus ja -tulostaminen mukaan omaan koulutukseen. Suuremmissa kuvassa Opetushallitus oli linjannut, että opiskelijoilla täytyy olla halutessaan mahdollisuus opiskella 3D-mallintamisen ja -tulostamisen perusteet. Tavoitteena oli opinnäytetyön kautta vastata toimeksiantajan haasteisiin.

Kehitystyö lähti liikkeelle tiedonkeräämisellä ja tutustumisella 3D-alaan yleisellä tasolla. Itselläni ei ollut aikaisemmin kosketuspintaa 3D-tulostamiseen. 3D-mallinnus oli aikaisemmista opinnoista tuttu käsite. Haastattelu tutkimuksen tekeminen oli mielenkiintoista ja lisäsi merkittävästi omaa osaamistani alasta. Haastatteluita pyrittiin järjestämään samalla kertaa useampia. Haastatteluissa tuli ilmi, että valtakunnan tasolla 3D-mallinnus ja -tulostus koulutusta on hyvin monen tasoista. Opetuksessa käytetty laitteisto vaihteli hyvin paljon oppilaitosten välillä. Positiivisena yllätyksenä voi pitää Lapin ammattiopiston korkeatasoista ja eteenpäin menevää 3D-mallinnus ja -tulostusympäristöä. Tutkimustyötä aloittaessa mallinnuksen ja tulostamisen suhdetta oli vaikea hahmottaa. Mikäli halutaan valmistaa tuote tyhjästä suunnittelu-mallinnus-tulostus prosessina, kuinka suuri osa ajasta menee mallintamiseen? Tähän kysymykseen muodostin oman näkemykseni vasta POKE:n pilot kurssin toteutuksen jälkeen. Mielestäni 70% ajasta ja osaamisesta keskittyy mallintamiseen ja 30% tuotteen tulostamiseen. 3D-mallinnuksen merkityksen havaitseminen oli yksi tärkeimpiä asioita, jonka tutkimuksen aikana selvitin.

Pilot-kurssin suunnittelu onnistui mielestäni hyvin. Pystyin hyödyntämään kentältä tutkimustyönä kerättyä tietoa ja luomaan POKE:n ympäristöön sopivan koulutuskokonaisuuden. Esimieheni tuki kurssin suunnittelussa ja toteutuksessa oli merkittävä. Nopealla aikataululla edennyt kehitystyö saatiin vietyä läpi, koska päätökset toimenpiteistä pystyttiin tekemään pienellä ryhmällä. Kurssin toteutus vaiheessa koin eniten olevani mukavuusalueen ulkopuolella. Asia oli itselleni uutta ja en ollut aiemmin opettanut. Hyvä ilmapiiri opetustilanteessa auttoi asiassa ja kurssin toteutus onnistui lopulta hyvin.

Koko opinnäytetyön tuloksena saatiin opetusmateriaali 3D-mallinnus ja -tulostus kurssin pitämiseen. Harjoitusten lisäksi materiaali sisältää mallinnusohjelmistot, tulostin laitteiston sekä tarvittavat muut oheistarvikkeet. Halutessaan jokainen POKE:n opetushenkilöstöön kuuluva pystyy järjestämään 3D-mallinnuksen ja -tulostamisen kurssin. Kurssin pitäminen vaatii aiheeseen perehtymistä, mutta tämä opinnäytetyö antaa aiheesta riittävän läpileikkauksen.

Tulosten esittely tehtiin niihin POKE:n yksiköihin, jotka ilmaisivat kiinnostuksensa aihetta kohtaan. Kiinnostus aihetta kohtaan oli niin merkittävää osassa toimipisteissä, että uskon kehitystyön 3D-mallinnuksen ja -tulostamisen koulutuksen suhteen jatkuvan.

Henkilökohtainen tavoitteeni opinnäytetyölle oli alaan tutustuminen ja tiedon päivittäminen. Pääsin henkilökohtaiseen tavoitteeseen hyvin. Arvioni on, että ala kehittyy ja menee eteenpäin, mutta se ei vielä ole syrjäyttämässä perinteisiä valmistusmenetelmiä koneenrakennuksessa.

9 Lähteet

3D-tulostin. Minifactory 3 n.d. Minifactory Oy LTD. Viitattu 29.4.2015.

<http://www.minifactory.fi/3d-tulostin/minifactory-3/>

3D- Printing With Bio-compatible Material. n.d. Stratasys Ltd. Viitattu 29.4.2015

<http://www.stratasys.com/materials/polyjet/bio-compatible>

3D-tulostimen toimintaperiaate. n.d. AIPWorks Oy. Viitattu 29.4.2015

http://www.aipworks.fi/3dtulostimen_toiminta

3DAddFab-Powered by Objet Polyjet Technology. N.d. 3D Additive Fabrication Inc.

Viitattu 29.4.2015. <http://www.3daddfab.com/technology/>

Aittaniemi, T. 2014. 3D-hankekoordinaattori. Lapin ammattiopisto. Haastattelu

7.11.2014

CADS tuote-esittely. N.d. Kymdata Oy Viitattu 28.4.2015 <http://www.cads.fi/>

Eden. Photos. N.d. Starasys Oy. Viitattu 18.5.2015 <http://www.sys-uk.com/eden>

Hoikkala, H. 2014. 3D-Mallinnuksen opettaja. Lapin ammattiopisto. Haastattelu

7.11.2014.

K8200 Velleman 3D tulostin rakennussarja. N.d. SKJ Business Oy. Viitattu 29.4.2015

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

Näykki, J. 2014. Peruskoulun opettaja. Rajakylän peruskoulu. Haastattelu 6.11.2014

Packalen, M. 2014. Kasvatustieteiden opettaja. Oulun Yliopisto. Haastattelu

6.11.2014

Selective laser sintering principle. n.d. Wikimedia. Viitattu 29.4.2015.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Selective_laser_sintering_principle.png

Sovellukset FDM tekniikalla. n.d. Starasys Oy. Viitattu 28.4.2015. [http://www.nc-](http://www.nc-tuote.fi/files/1613/9141/5899/Stratasys_-FDM_3D_tulostimet_ja_FDM_-tuotantokoneet_2014.pdf)

[tuote.fi/files/1613/9141/5899/Stratasys_-FDM_3D_tulostimet_ja_FDM_-tuotantokoneet_2014.pdf](http://www.nc-tuote.fi/files/1613/9141/5899/Stratasys_-FDM_3D_tulostimet_ja_FDM_-tuotantokoneet_2014.pdf)

Tietoja solidworksista.N.d. Dassault Systems. Viitattu 28.4.2015

<http://www.solidworks.fi>

The easiest, fiercest 3D design tool around. N.d. Autodesk oy. Viitattu 28.4.2015.

<https://www.tinkercad.com/>

Tuotekuvaus PLA 1.75mm tulostusmateriaali. N.d. Minifactory Oy.Viitattu 29.4.2015.

<http://www.minifactory.fi/verkkokauppa/pla-1-75mm-tulostusnauha/>

Tuotekuvaus ABS 1.75mm tulostusmateriaali. n.d. Minifactory Oy.Viitattu 29.4.2015.

<http://www.minifactory.fi/verkkokauppa/abs-1-75mm-tulostusnauha-2/>

Verkkokauppa. 3D tulostimet. Profimaker. N.d. Kreativo Oy.Viitattu 29.4.2015

<http://www.3d->

[tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-](http://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-)

[1/Products/3DF-Profi3DMaker](http://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-1/Products/3DF-Profi3DMaker)

Materiaalia lisäävän valmistusmenetelmän perusosaaminen (3D-mallinnus- ja -tulostusperusosaaminen), 10 osp

EDU3D.FI - 3D-tulostaminen ammatillisessa koulutuksessa oppimisympäristöjen kehittämishankkeen toimijoiden sekä Räätelöityjä tuotteita 3D-mallinnuksella ja -tulostuksella opetustoimen henkilöstökoulutushankkeen osallistujien/kouluttajien yhteistyössä valmisteleva vapaasti valittavan tutkinnon osan 10 osp luonnos.

Luonnos on valmisteltu kommentoitavaksi ja hyödynnettäväksi valtakunnallisesti 3D-mallinnus- ja tulostusosaamisen levittämiseksi ja jalkauttamiseksi osaksi ammatillista koulutusta eri koulutusaloilla ja tutkinnoissa.

Vapaasti valittava tutkinnon osa, 10 osp

Vapaasti valittavan tutkinnon osan ammattitaitovaatimukset, tavoitteet ja arviointikriteerit

Ammattitaitovaatimukset

Opiskelija tai tutkinnon suorittaja osaa:

- o toimia työturvallisuusohjeiden mukaisesti
- o suunnitella omalle alalle soveltuvia tuotteita
- o hyödyntää käyttökohteeseen soveltuvia 3D-mallinnusmenetelmiä
- o hyödyntää käyttökohteeseen soveltuvia 3D-tulostusmenetelmiä (materiaalia lisäävä valmistus)
- o valita oikean tulostusmateriaalin
- o asettaa 3D-tulostimen käyttökuntoon ja tulostaa kappaleen 3D-tulostimella
- o arvioida tuotteen laadun ja vastaavuuden asiakkaan tarpeisiin
- o viimeistellä tuotteen materiaalin ja käyttökohteen mukaisesti
- o huoltaa 3D-tulostinta ja ratkaista ongelmatilanteita
- o lajitella ja kierrättää hukkamateriaalin sekä ylläpitää siisteyttä ja järjestystä

Arviointi

Taulukkoon on koottu arvioinnin kohteet sekä arviointikriteerit kolmelle eri osaamisen tasolle. Opetussuunnitelmaperusteisessa koulutuksessa arvioinnin kohteet ovat samalla tutkinnon osan keskeinen sisältö.

Arvioinnin kohde	Arviointikriteerit		
1. Työprosessin hallinta	Tyydyttävä T1	Hyvä H2	Kiitettävä K3
	Opiskelija tai tutkinnon suorittaja		
Työprosessin hallinta ja suunnitelmallinen toteuttaminen	*valmistaa tulosteen niin, että se on hyväksyttävissä, mutta tarvitsee työvaiheissa etenemisessä ajoittaista ohjausta	*valmistaa tuotteen ohjeiden mukaan ja etenee sujuvasti työvaiheesta toiseen	* valmistaa tuotteen itsenäisesti edeten sujuvasti työvaiheissa ottaen huomioon vaiheiden järjestyksen ja raportoi työprosessin kulusta ja mahdollisista häiriötekijöistä
	*ymmärtää pääpiirteittäin tuotteen hinnan muodostumisen ja osaa ohjattuna laskea kokonaiskustannukset	* ymmärtää tuotteen hinnan muodostumisen ja osaa lähes itsenäisesti laskea kokonaiskustannukset	* ymmärtää tuotteen hinnan muodostumisen ja osaa itsenäisesti laskea kokonaiskustannukset

Työn turvallinen ja vastuullinen toteuttaminen	* noudattaa työaikoja, työohjeita ja muita työelämän toimintatapoja ohjattuna	* noudattaa työaikoja, annettuja työohjeita ja muita työelämän toimintatapoja sekä tekee annetut työtehtävät omatoimisesti	* noudattaa työaikoja, annettuja työohjeita ja muita työelämän toimintatapoja sekä tekee omalla vastuualueella omatoimisesti muitakin kuin annettuja työtehtäviä
Oman työn arviointi	*arvioi työnsä onnistumista	*arvioi työnsä onnistumista ottaen huomioon tuotteen laatuvaatimukset	*arvioi työnsä onnistumista ottaen huomioon tuotteen asettamat laatuvaatimukset ja ryhtyy tarvittaviin korjaaviin toimenpiteisiin
Arvioinnin kohde	Arviointikriteerit		
2. Työmenetelmien, välineiden ja materiaalin hallinta	Tyydyttävä T1	Hyvä H2	Kiitettävä K3
	Opiskelija tai tutkinnon suorittaja		
3D-mallin muodostaminen käytössä olevalle 3D-tulostusmenetelmälle	*osaa ohjatusti muodostaa 3D-mallin (esim. mallintaminen, skannaus, valmis malli)	*osaa muodostaa 3D-mallin (esim. mallintaminen, skannaus, valmis malli)	*osaa muodostaa 3D-mallin itsenäisesti (esim. mallintaminen, skannaus, valmis malli) ja raportoi työn vaiheista
Tulostettavan 3D-mallin käsittely	*arvioi ohjatusti 3D-mallin tulostuskelpoisuuden ja osaa tehdä tarvittavat korjaukset ja tarkistukset ohjattuna 3D-mallille siten että kappale on tulostettavissa	*arvioi 3D-mallin tulostuskelpoisuuden ja osaa tehdä tarvittavat korjaukset ja tarkistukset 3D-mallille siten että kappale on tulostettavissa	*arvioi 3D-mallin tulostuskelpoisuuden ja osaa tehdä itsenäisesti tarvittavat korjaukset ja tarkistukset 3D-mallille siten, että kappale on tulostettavissa ja selviytyy ongelmatilanteista
Tulostusmateriaalien valinta ja käsittely	*valitsee ja käyttää työohjeen mukaisia tulostusmateriaaleja ja välineitä ohjattuna *suojaa ja varastoi tulostusmateriaaleja ohjeiden mukaan ohjattuna	*tunnistaa, valitsee ja käyttää työohjeen mukaisia raaka-aineita ja työvälineitä *suojaa, varastoi ja käyttää materiaaleja huolellisesti ja taloudellisesti ohjeiden mukaan	*tunnistaa, valitsee ja käyttää työohjeen mukaisia raaka-aineita ja työvälineitä itsenäisesti *suojaa, varastoi ja käyttää materiaaleja huolellisesti ja taloudellisesti toimien itsenäisesti
3D-tulostimen käyttöön asettaminen ja käyttö	*osaa ohjattuna tehdä 3D-tulostimen käyttöönottoimet ja selviytyy ongelmatilanteista * osaa ohjattuna: siirtää tiedoston 3D-tulostimelle, tehdä tulostimen	*osaa lähes itsenäisesti tehdä 3D-tulostimen käyttöönottoimet ja selviytyy ongelmatilanteista *osaa vähäisellä ohjauksella: siirtää tiedoston 3D-	*osaa itsenäisesti tehdä 3D-tulostimen käyttöönottoimet ja selviytyy ongelmatilanteista *osaa itsenäisesti: siirtää tiedoston 3D-tulostimelle, tehdä tulostimen

	sovelluksella tarvittavat määritykset ja tulostaa tiedoston * ymmärtää tukimateriaalin merkityksen 3D-tulostamisessa ja osaa ohjattuna hyödyntää tukimateriaalia	tulostimelle, tehdä tulostimen sovelluksella tarvittavat määritykset ja tulostaa tiedoston * osaa arvioida tukimateriaalin tarpeen 3D-tulostamisessa	sovelluksella tarvittavat määritykset ja tulostaa tiedoston *osaa hyödyntää tukimateriaalia tarkoituksen mukaisesti ja
3D-tulosteen jälkikäsitteily ja viimeistely	*osaa ohjattuna tehdä ohjeen mukaiset tulosteen vaatimat viimeistelytoimenpiteet	*osaa tehdä ohjeen mukaiset tulosteen vaatimat viimeistelytoimenpiteet	*osaa itsenäisesti tehdä tulosteen vaatimat viimeistelytoimenpiteet
Hukkamateriaalin lajittelu- ja kierrätys sekä työympäristön siistiminen	*työskentelee tuhlausta välttäten, käsittelee ja hävittää syntyneen hukkamateriaalin ohjeiden mukaan sekä pitää työympäristön siistinä	*työskentelee tuhlausta välttäten, käsittelee, lajittelee ja kierrättää hukkamateriaalin lähes itsenäisesti sekä pitää työympäristön siistinä	*työskentelee tuhlausta välttäten, käsittelee, lajittelee ja kierrättää hukkamateriaalin itsenäisesti sekä pitää työympäristön siistinä ja hyvässä järjestyksessä
Arvioinnin kohde	Arviointikriteerit		
3. Työn perustana olevan tiedon hallinta	Tyydyttävä T1	Hyvä H2	Kiitettävä K3
	Opiskelija tai tutkinnon suorittaja		
Sovellusohjelmistojen ja 3D-tulostimien toimintaperiaatteiden hallinta	*osaa käyttää 3D-mallin käsittelyssä vaadittavia ohjelmistoja (3D-mallinnusohjelmistot ja mallin korjausohjelmistot) 3D-tulostinta ohjatusti	*osaa käyttää 3D-mallin käsittelyssä vaadittavia ohjelmistoja (3D-mallinnusohjelmistot ja mallin korjausohjelmistot) ja 3D-tulostinta ohjeen mukaan	*osaa käyttää 3D-mallin käsittelyssä vaadittavia ohjelmistoja (3D-mallinnusohjelmistot ja mallin korjausohjelmistot) ja 3D-tulostinta itsenäisesti
Materiaalien ja niiden ominaisuuksien tunteminen ja hyödyntäminen	*tuntee materiaalit ja niiden ominaisuudet siten, että pystyy valitsemaan ja käyttämään oikeita materiaaleja 3D-tulostamiseen ohjattuna	*tuntee materiaalit ja niiden ominaisuudet siten, että pystyy valitsemaan ja käyttämään oikeita materiaaleja 3D-tulostamiseen ajoittain ohjattuna sekä ymmärtää materiaalivalinnan merkityksen tuotteen ominaisuuksiin	*tuntee materiaalit ja niiden ominaisuudet siten, että pystyy valitsemaan ja käyttämään oikeita materiaaleja 3D-tulostamiseen itsenäisesti sekä ymmärtää materiaalivalinnan merkityksen tuotteen ominaisuuksiin

Arvioinnin kohde	Arviointikriteerit		
4. Elinikäisen oppimisen avaintaidot	Tyydyttävä T1	Hyvä H2	Kiitettävä K3
	Opiskelija tai tutkinnon suorittaja		

Ammattietiikka	*noudattaa sovittuja työaikoja ja -ohjeita	*noudattaa työyhteisön sääntöjä ja ohjeita; tekee työtä vastuuntuntoisesti ja sovitulla tavalla	*työskentelee hyvien ammattikäytänteiden mukaisesti ja työtään arvostaen
Terveys, turvallisuus ja toimintakyky	*asennoituu myönteisesti turvalliseen toimintaan; välttää riskejä työssään *noudattaa työstä annettuja turvallisuusohjeita eikä aiheuta vaaraa *havaitsee ja tunnistaa työhönsä liittyvät vaarat	*vastaa itsenäisesti toimintansa turvallisuudesta *noudattaa työssään työturvallisuusohjeita ja ottaa huomioon työyhteisön muut jäsenet *havaitsee ja tunnistaa työhönsä liittyvät vaarat	*kehittää itsenäisesti toimintansa turvallisuutta *noudattaa työssään työturvallisuusohjeita ja ottaa huomioon työyhteisön muut jäsenet *havaitsee ja tunnistaa työhönsä liittyvät vaarat sekä ilmoittaa niistä
Oppiminen ja ongelmanratkaisu	*arvioi omaa osaamistaan *havaitsee ongelman, mutta sen ratkaisemiseksi tarvitsee apua	*arvioi työtään ja tekemisiään monipuolisesti ja tekee itsenäisiä päätöksiä ajoittain *havaitsee ongelman ja osaa etsiä apua ongelman ratkaisemiseksi	*hankkii itsenäisesti tietoa, osaa arvioida työtään sekä toteuttaa työn oikein *havaitsee ongelman ja osaa esittää ongelmanratkaisu- vaihtoehtoja
Vuorovaikutus ja yhteistyö	*pystyy toimimaan työn kannalta välttämättömissä vuorovaikutustilanteissa	*osaa toimia työn vaatimissa vuorovaikutustilanteissa	*osaa toimia joustavasti ja yhteistyötä edistävästi eri vuorovaikutustilanteissa

Ammattitaidon osoittamistavat

Opiskelija tai tutkinnon suorittaja osoittaa osaamisensa kattavasti ammattiosaamisen näytössä tai tutkintotilaisuudessa valmistamalla 3D-tulosteen työturvallisuusohjeita noudattaen alan yrityksessä. Työtä tehdään siinä laajuudessa, että osoitettava osaaminen vastaa kattavasti ammattitaitovaatimuksia, arvioinnin kohteita ja kriteereitä.

Ammattiosaamisen näyttöä tai tutkintotilaisuutta voidaan jatkaa toisessa työpaikassa/työkohteessa tai ammatillisessa peruskoulutuksessa koulutuksen järjestäjän osoittamassa muussa paikassa niin, että osaamisen osoittamisen kattavuus varmistuu.

Siltä osin kuin tutkinnon osassa vaadittavaa osaamista ei voida työtä tekemällä ammattiosaamisen näytössä tai tutkintotilaisuudessa kattavasti osoittaa, sitä täydennetään muulla osaamisen arvioinnilla.