

Aikuisen oppiminen 3D-tulostuksen prosesseissa

Tutkimus oppimiskokemuksista ja oppimisen rakentumisesta

Käsityön aineenopettajan tutkinto-ohjelma

Pro gradu -tutkielma

Laatijat:

Juuso Veikkola

Juho Vettenranta

28.4.2026

Rauma

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

Oppiaine: Käsityökasvatus

Tekijät: Juuso Veikkola & Juho Vettenranta

Otsikko: Aikuisen oppiminen 3D-tulostuksen prosesseissa – Tutkimus oppimiskokemuksista ja oppimisen rakentumisesta

Ohjaaja(t): yliopistonlehtori Mikko Huhtala

Sivumäärä: 39 sivua

Päivämäärä: 28.4.2026

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisia oppimiskokemuksia 3D-tulostusprosessit tarjoavat ja miten näiden prosessien oppiminen kokonaisuudessaan rakentuu aikuisen oppijan näkökulmasta. Ajatus tutkimukseen syntyi havainnosta, jonka mukaan aikuisen oppimista 3D-tulostuksen prosesseissa on tarkasteltu melko vähän.

Tutkimus toteutettiin laadullisena autoetnografisena tutkimuksena, jonka aineisto koostui tutkijan tuottamista päiväkirjamerkinnöistä. Merkinnät kerättiin viidestä erilaisesta 3D-tulostusprosessista. Päiväkirjoihin dokumentoitiin työvaiheita, onnistumisia, haasteita ja oppimiseen liittyviä havaintoja. Analysointi toteutettiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä, jossa tunnistettiin oppimiskokemuksiin, haasteisiin ja mahdollisuuksiin liittyviä teemoja.

Tulokset osoittivat 3D-tulostusprosessien tarjoavan aikuiselle oppijalle monipuolisia oppimiskokemuksia, jotka tukevat yksilön ymmärrystä kokonaisprosessista aina suunnittelusta valmiiseen tuotteeseen. Eri valmistusmenetelmät tarjoavat monia eri lähtökohtia 3D-tulostuksen harjoittelulle, jonka takia yksilö voi toteuttaa valmistusmenetelmiä oman taitotasonsa mukaan. Oppimisprosessissa haasteet olivat keskeisessä osassa, mutta ne pystyttiin näkemään oppimista edistävinä tekijöinä.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että 3D-tulostuksen työtavat toimivat mielekkäänä osana aikuisen oppimista. Onnistunut toteutus edellyttää kuitenkin ympäristöä, joka tukee tekemistä aineellisten sekä tiedollisten resurssien osalta. Oppijalla tulee olla riittävä osaaminen laitteiston käytöstä ja oppimisympäristön tulee tarjota tukea, joka kannustaa 3D-tulostuksen menetelmien hyödyntämiseen.

Avainsanat: 3D-tulostus, teknologiapohjainen oppiminen, aikuisen oppiminen, maker- kulttuuri

Sisällys

1	Johdanto	1
2	3D-tulostaminen ja oppiminen	2
2.1	3D-tulostaminen käsitteenä ja teknologiana	2
2.2	Yleisimmät 3D-tulostuksessa käytettävät materiaalit kuluttajakäytössä	3
2.3	3D-tulostaminen ja oppiminen	5
2.4	3D-tulostaminen ja maker-kulttuuri	6
3	Kestävä kehitys osana 3D-tulostamista	8
4	Taidon oppiminen ja -kehittyminen aikuisella	10
5	Tutkimuksen toteuttaminen	13
5.1	Tutkimuskysymykset ja hypoteesi.....	13
5.2	Menetelmät	13
5.3	Tutkimuksen toteutuksessa käytetty laitteisto ja materiaalit.....	17
5.4	Tekoälyn käyttö osana tutkimusta	21
6	Tutkimuksen tulokset	22
6.1	Kappaleen suunnittelu, mallintaminen ja tulostus.....	22
6.2	Valmiin 3D-mallin tulostus.....	23
6.3	Valmiin 3D-mallin muokkaus ja tulostus	24
6.4	Valmiin mallin muokkaaminen 3D-tulostimen ohjausohjelmistossa	25
6.5	Kappaleen skannaus ja tulostus	26
6.6	Yhteenveto tuloksista	27
7	Johtopäätökset	28
7.1	3D-tulostuksen prosessien tuottamat oppimiskokemukset aikuiselle oppijalle 28	
7.2	Aikuisen oppimisen rakentuminen 3D-tulostuksen prosesseissa.....	29
7.3	3D-tulostuksen prosessit oppimisen työkaluna.....	30
8	Pohdinta	32
8.1	Tutkimuksen tulosten jatkopohdinta	32

8.2	Pohdinta tutkimuksen luotettavuudesta.....	33
8.3	Pohdinta tutkimuksen etiikasta.....	34
8.4	Jatkotutkimusideat.....	35
8.5	Tutkimuksen kokonaismerkitys	36
	Lähteet.....	37

1 Johdanto

3D-tulostus on viimevuosina vakiinnuttanut paikkansa osana käsityön valmistustekniikoita ja sen myötä opettajakoulutusta. Tulevina opettajina katsoimme aiheelliseksi tarkastella 3D-tulostuksen menetelmiä ja selvittää, millaisia oppimiskokemuksia nämä prosessit tarjoavat aikuiselle oppijalle. Tämän tutkimuksen aloittanut idea oli huomio siitä, että perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) ei ole terminä tuotu ilmi 3D-tulostusta. Tämän aiheen vetovoimaa meille lisäsi myös se, että subjektiivisen kokemuksemme mukaan 3D-tulostusta käytetään hyvin vaihtelevissa määrin osana käsityötä. Tästä havainnosta meille heräsi kysymys siitä, miten 3D-tulostaminen saataisiin osaksi opetusta entistä vahvemmin. Teknologian hyödyntäminen opetuksessa edellyttää sitä, että opettajalla pitää olla käsitys teknologian toiminnasta. Tämä ajoi meidät tutkimaan 3D-tulostusprosessien tarjoamia oppimiskokemuksia ja aikuisen oppimisen rakentumista näiden prosessien yhteydessä.

Aiemmassa tutkimuksessa 3D-tulostusta on tarkasteltu erityisesti lasten ja nuorten oppimisen näkökulmasta (Kovacik, 2022; Choi & Kim, 2018). Aikuisen oppijan oppimisprosessien tarkastelu on sen sijaan jäänyt vähäiseksi. Tämä näkökulma on kuitenkin mielestämme tärkeä, koska opettajan osaaminen toimii perustana oppilaan oppimisessa. Aikuisen oppimisessa korostuukin aiemman kokemuksen merkitys ja uuden tiedon soveltaminen oppimistilanteisiin (Saunders & Wong, 2020). Nämä tiedon omaksumistavat tuottavat 3D-tulostuksen eri prosesseissa mahdollisuuksia monenlaiselle oppimiselle.

Tutkimuksessa pyrittiin tuottamaan ymmärrystä siitä, millaisia oppimiskokemuksia 3D-tulostuksen eri prosessit tarjoavat ja miten aikuisen oppiminen rakentuu näiden prosessien aikana. Tarkastelussa kohteena olivat erityisesti teknologian käytön omaksuminen, ongelmanratkaisun rooli oppimisessa ja oppijan itsereflektio. Tutkimus avaa näkökulmia siitä, millaisia haasteita ja mahdollisuuksia 3D-tulostamisen oppittelu voi tuottaa aikuiselle oppijalle. Näin tutkimus kytkeytyy laajempaan keskusteluun siitä, miten 3D-tulostusta voidaan kouluttaa ja millaisilla oppimisen tasoilla ja menetelmillä käyttäjä voi toteuttaa oppimista.

2 3D-tulostaminen ja oppiminen

2.1 3D-tulostaminen käsitteenä ja teknologiana

3D-tulostaminen on teknologia, joka mahdollistaa fyysisten esineiden valmistamisen digitaalisten mallien perusteella kerros kerrokselta. Tämä menetelmä eroaa perinteisistä teknisen käsityön työtavoista, koska siinä ei poisteta materiaalia vaan lisätään sitä kerroksittain. (Pearson & Dubé, 2021, s. 3039) Teknologia perustuu usein CAD (Computer Aided Design) -ohjelmistojen käyttöön, joiden avulla suunnitellaan esineen digitaalinen malli. Tulostusprosessissa voidaan hyödyntää erilaisia materiaaleja, kuten muovia, metallia, keramiikkaa tai jopa biomateriaaleja, riippuen tulostimen tyypistä ja käyttötarkoituksesta (Kovacik, 2022, ss. 93, 95). Tässä opinnäytetyössä keskitymme muoviin tulostusmateriaalina.

Tulostusprosessi voidaan jakaa yleisesti kahdeksaan työvaiheeseen, jotka pätevät suurimmaksi osaksi kaikkiin 3D-tulostamisen menetelmiin (Gibson ym., 2021, ss. 3-4). Ensimmäisessä vaiheessa luodaan CAD-malli, jossa valmistettavan osan ulkopinnat sekä muut kiinteät pinnat määritellään. Seuraavaksi malli muunnetaan STL-muotoon. Tämä tiedostomuoto toimii 3D-tulostamisessa standardina, kun digitaalisesti mallinnettua tuotetta siirretään valmistuslaitteelle. Kolmannessa vaiheessa tiedosto siirretään valmistuslaitteelle yleensä laitteiston valmistajan määrittelemän ohjelman kautta. Neljännessä vaiheessa määritellään asetukset, kuten materiaali, kerrospaksuus, suuttimen lämpötila ja kappaleen sijoittelu tulostusalustalla. Viides vaihe on kappaleen tulostaminen. Tämä prosessin osa on pitkälti automatisoitu, mutta ajoittain tulostusta on hyvä seurata, jotta varmistutaan siitä, ettei tulostusvirheitä pääse tapahtumaan tulostuksen aikana ja että säädöt ovat materiaalille tarkoituksen mukaiset. Kuudennessa vaiheessa kappale poistetaan tulostimesta, kun on varmistuttu siitä, että tulostimen lämpötila on riittävän alhainen ja että tulostusprosessi on varmasti päättynyt. Seitsemäntenä suoritetaan mahdollinen viimeistely, kuten tukirakenteiden poistaminen tai pinnan hionta. Viimeisessä vaiheessa kappale otetaan käyttöön, ja tarvittaessa sille tehdään lisäkäsittelyjä, kuten lämpökäsittely, sovittaminen tai kokoonpano. (Bisht & Vaishya, 2022, s. 244)

3D-tulostuksen etuja ovat sen monipuolisuus ja kyky luoda monimutkaisia rakenteita, joita perinteisin menetelmin olisi vaikeaa valmistaa. Tämä tekee työtavasta hyvän prototyyppien valmistukseen, erilaisten ratkaisujen prototyyppimäiseen testaamiseen sekä sellaisten kappaleiden valmistukseen, jotka eivät ole saatavilla kohtuullisilla kustannuksilla tai saatavuudessa on muutoin ongelmia. 3D-tulostus mahdollistaa tuotteiden tekemisen monipuolisesti monenlaiseen käyttöön. (Choi & Kim, 2018, s. 1546) 3D-tulostuksen kehitys on myös avannut mahdollisuuksia monialaisiin sovelluksiin. Esimerkiksi lääketieteessä voidaan tulostaa elinten malleja, jotka helpottavat kirurgista suunnittelua. Arkkitehtuurissa teknologiaa taas hyödynnetään pienoismallien valmistuksessa. Koulutuksessa 3D-tulostuksen mahdollisuudet ylittävät perinteisiä oppiaineiden rajoja ja tukevat ilmiöpohjaista oppimista, jossa yhdistellään eri tieteenalaja kokonaisuuksien ymmärtämiseksi. (Pearson & Dubé, 2021, s. 3040)

2.2 Yleisimmät 3D-tulostuksessa käytettävät materiaalit kuluttajakäytössä

PLA

PLA (polylaktidi) on monipuolinen ja ympäristöystävällinen muovilaatu, joka valmistetaan uusiutuvista raaka-aineista, kuten maissitärkkelyksestä tai sokeriruosta. Tämä tekee siitä biohajoavan ja ekologisen vaihtoehdon perinteisille muoveille. (Kalani & Horne, 2014, s. 65) PLA tunnetaan erityisesti sen helppokäyttöisyydestä ja laajasta soveltuvuudesta 3D-tulostuksessa, koska sitä on helppo tulostaa, sillä on hyvä kerrostumislaatu ja se ei vaadi korkeita tulostuslämpötiloja (Agocs ym., 2024).

Verrattuna esimerkiksi ABS-muoviin, PLA on jäykempi, mutta samalla se on hauraampi ja vähemmän iskunkestävä. Sen kylmänkestävyys on hyvä, mikä tekee muovista sopivan matalissa lämpötiloissa säilytettäviin tuotteisiin. (Agocs ym., 2024) PLA-muovin etuja ovat sen biohajoavuus, ympäristöystävällisyys, valmistus uusiutuvista luonnonvaroista, helppo työstettävyys ja hyvä pinnanlaatu (Kalani & Horne, 2014, s. 65). Sen rajoituksiin muihin muovilaatuihin verrattuna kuuluvat haurastuminen, alhaisempi iskunkestävyys ja lämmönkestävyys sekä se, että biologinen hajoaminen tapahtuu vain tietyissä olosuhteissa, kuten teollisessa kompostoinnissa. PLA-muovia voidaan parantaa lisäämällä siihen erilaisia lisäaineita, kuten selluloosaa tai grafiittia, jotka parantavat sen ominaisuuksia mekaanisen kulutuksen ja lämmönkestävyyden osalta. PLA-muovi on yksi käytetyimmistä uusiutuvista

polymeereistä, joka tarjoaa ympäristöystävällisen vaihtoehdon perinteisille muoveille. (Agocs ym., 2024)

ABS

ABS (akrilonitriilibutadieenistyreeni) on kestävä muovilaatu lämpöominauksiltaan ja mekaanisen kulutuksen kestävydeltä. Nämä ominaisuudet tekevät muovilaadusta sopivan etenkin vaativiin käyttökohteisiin, kuten teknisiin osiin. (Kalani & Horne, 2014, s. 66) ABS on joustava ja iskunkestävä materiaali, mutta se vaatii tulostuksessa lämmitetyn tulostusalustan tai suljetun tulostusympäristön, jotta tulostettava tuote ei väännä lämpötilaerojen takia. ABS ei ole yhtä ympäristöystävällinen muovilaatu kuin PLA, mutta se on kuitenkin kierrätettävä materiaali. ABS-muovin ominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä siihen lisäaineita, kuten grafeenia tai polyuretaania. Nämä lisäaineet parantavat muovin mekaanisia ja lämpöteknisiä ominaisuuksia. Esimerkiksi grafeenioksidi lisää ABS:n vetolujuutta ja joustavuutta. Näin ABS muovin käyttömahdollisuuksia voidaan lisätä ja muovi on hyvä vaihtoehto käytettäväksi esimerkiksi korkean kulutuksen osissa. (Agocs ym., 2024)

PET-G

PET-G (polyeteenitereftalaattiglykoli) muovi on PET- muovista johdettu polymeeri. Ominaisuuksiltaan PET-G sijoittuu PLA- ja ABS- muovilaatujen välimaastoon yhdistäen PLA:n lujuutta ja ABS:n kestävyttä. (Agocs ym., 2024) Materiaali kestää sekä kemiallista että mekaanista kulutusta. Tämän muovilaadun tasapainotetut ominaisuudet tekevät siitä toimivan vaihtoehdon useisiin käyttökohteisiin. (El Mehtedi ym., 2024) Myös 3D-tulostuksen kannalta PET-G on hyvä muovilaatu, sillä sen ominaisuuksiin kuuluu hyvä kerrosten välinen tarttuvuus. Muovilaadun muokkaaminen erinäisin ainesosin voi parantaa sen ominaisuuksia esimerkiksi lämpö- ja sähköteknisten ominaisuuksien alueilla. (Agocs ym., 2024)

2.3 3D-tulostaminen ja oppiminen

Vaikka suomalaisen perusopetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014, ss. 430–433) ei suoranaisesti viitata terminä 3D- tulostukseen, sen eri tekniikat esiintyvät osana opetussuunnitelmaa. Opetussuunnitelman tavoitteita tarkastellessa voidaan huomata, että valmistusteknologia tukee opetussuunnitelman mukaisia tavoitteita. Siinä tuodaan esiin oppilaiden ohjaaminen kolmiulotteisten piirrosten- ja mallien tekemiseen. Myös tieto- ja viestintäteknologiaa ohjataan käyttämään läpi koko käsityöprosessin aina suunnittelusta dokumentointiin asti. Mallinnusta voidaan arvioida tuotteena sekä jatkokehittää tarvittaessa, jolloin saadaan toteutettua kokonaisen käsityön ideaa.

3D-tulostuksen prosessit toimivat oppimisen kannalta monimuotoisina opettaen monenlaisia taitoja sekä fyysisessä- että digitaalisessa valmistamisessa. Työtavan avulla oppijat voivat kehittää esimerkiksi ongelmanratkaisua, luovuutta ja avaruudellista hahmotuskykyä. (Kovacik, 2022, ss. 92-93) Esimerkiksi STEM-aineiden opetuksessa oppijat voivat suunnitella ja tulostaa omia mallejaan, mikä lisää heidän sitoutumistaan oppimisprosessiin. Tämä oppilaslähtöinen lähestymistapa perustuu konstruktionistiseen teoriaan, jossa oppiminen tapahtuu tekemisen ja kokemuksen kautta. (Papert & Harel, 1991) Choi ja Kim (2018, ss. 1549-1551) esittävät, että 3D-tulostuksen kustannukset ovat merkittävässä osassa tulostusvälineiden hankinnan mielekkyydessä. Esimerkiksi koululaitoksille taloudellinen investointi saattaa olla merkittävä osa kouluyhteisön budjetista, joten monet koulut kohtaavat taloudellisia esteitä uuden teknologian hankinnassa. He ehdottavat ratkaisuksi laajempaa kouluyhteistyötä, jolloin useampi koulu voisi käyttää yhteisesti hankittuja välineitä. Pearson ja Dube (2021) lisäävät, että 3D-tulostuksen toteuttaminen vaatii tulostuslaitteiden lisäksi myös tilojen osalta sopivaa ympäristöä. Tilarajoitteiden lisäksi tulostusprosessi voi olla hidas erityisesti monimutkaisempien mallien kohdalla. Tämä saattaa rajoittaa tulostamisen käyttöä aikakriittisissä tilanteissa. Myös Kovacikin (2022, s. 95) ja Kristiawan ym. (2021) mukaan monenlaiset tulostusmateriaalit ja niiden käyttötarkoitukset voivat olla epäselviä varsinkin vähemmän kokeneemmalle henkilölle.

Choi ja Kim (2018, s. 1550) toteavat, että opettajat kokevat 3D-tulostuksen haastavaksi, koska heiltä puuttuu valmistusteknologiaan tarvittavaa teknistä osaamista. Tämän takia valmistusmenetelmän kaikkia mahdollisuuksia ei pystytä hyödyntämään, koska opettajat kokevat oman osaamisensa liian vähäiseksi verrattuna valmistusteknologian asettamiin vaatimuksiin. Ratkaisuna tähän ongelmaan Pearson ja Dubé (2021, ss. 3060-3061) ehdottavat

opettajien täydennyskoulutukseen panostamista. Opettajien tulee saada riittävä koulutus sekä teknologian käytöstä että valmistustekniikan liittämisestä osaksi opetusta. Teknologian käyttöönottoa edesauttaa myös helposti saatava tekninen tuki, joka helpottaa uuden teknologian omaksumista ja edelleen opettamista.

3D-tulostuksen integrointi opetukseen vaatii huomattavasti enemmän aikaa kuin perinteiset opetusmenetelmät. Projektipohjainen oppiminen, johon 3D-tulostus usein liittyy, vaatii huolellista suunnittelua, aikaa toteutukseen ja resursseja ongelmanratkaisuun. Aikaresurssit ovat yksi suurimmista haasteista 3D-tulostuksen käytölle. (Pearson & Dubé, 2021, ss. 3060-3061) Choi ja Kim (2018, s. 1549) lisäävät, että aikarajoitteet ja perinteisten opetusmenetelmien suosiminen opetuksessa voivat tehdä uuden teknologian integroinnista haastavaa. Näihin haasteisiin voidaan kuitenkin vastata opettajien koulutuksella, selkeällä aikataulutuksella ja realististen sisältötavoitteiden asettamisella. Tämä mahdollistaa 3D-tulostuksen hyödyntämisen tehokkaasti myös rajoitetuissa ajallisissa puitteissa. Teknologian tarjoamat edut, kuten oppilaiden luovuuden ja ongelmanratkaisun tukeminen, perustelevat teknologian sisällyttämisen opetukseen. 3D-tulostuksen toteuttamisen kannalta tarvitaankin hankintojen suunnittelua, riittävää taloudellista ja teknistä tukea sekä opettajien koulutusta, jotta 3D-tulostaminen voi saavuttaa täyden potentiaalinsa opetusteknologiana. (Pearson & Dubé, 2021, ss. 3060-3061)

2.4 3D-tulostaminen ja maker-kulttuuri

Maker-kulttuuri on luovuuteen, oppimiseen ja yhteisöllisyyteen pohjautuva ajatus, joka kannustaa ihmisiä luomaan ja jakamaan omia projektejaan. Valmistustekniikoiden osalta se liittyy useimmin teknologiaan, mutta käsittää myös perinteisemmät valmistusmenetelmät. Maker-kulttuurin keskeinen periaate on se, että jokaisella on mahdollisuus oppia ja tuottaa itse sekä jakaa osaamistaan yhteisönsä kanssa. (Cohen ym., 2017; Soomro ym., 2023, ss. 531-532) Maker-kulttuuri edistää käytännön oppimista ja ongelmanratkaisua luomalla ympäristöjä, joissa ihmiset voivat työskennellä yksin tai yhteistyössä muiden kanssa. Näissä työskentely-ympäristöissä hyödynnetään erilaisia teknologioita, kuten laserleikkureita, CNC-koneita ja 3D-tulostimia, jotka mahdollistavat innovatiivisten ratkaisujen kehittämisen. Maker-tilat tukevat STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) -lähestymistapaa, yhdistäen tieteet, teknologian, insinööritaidot, taiteen ja matematiikan kehittäen opiskelijoiden kriittistä ajattelua ja luovuutta. (Soomro ym., 2023, ss. 531-532)

Maker-kulttuuri on yhteydessä konstruktionismiin, jonka mukaan oppijat oppivat rakentamalla, suunnittelemalla ja korjaamalla mahdollisia suunnitteluvirheitä tai viallisia tuotteita. Itsenäiset ja innovatiiviset ratkaisut taas tukevat yksilön ajattelua ja ongelmanratkaisukykyä (Pearson & Dubé, 2021, s. 3047). Lisäksi maker- kulttuuri painottaa epäonnistumista oppimista edistävänä tekijänä. Virheet kuuluvat tärkeänä osana oppimisprosessiin ja ne tarjoavat pohjan, jonka avulla yksilön on mahdollista kehittyä. Kehittyminen taas ajaa yksilöä tekemään uusia, innovatiivisia ratkaisuja ongelmiin. (Choi & Kim, 2018, s. 1548)

Maker-kulttuuri tarjoaa mahdollisuuksia oppimiseen ja opetuksen kehittämiseen erityisesti digitaalisten taitojen ja kestävän kehityksen innovaatioiden osalta (Deák & Kumar, 2024). Tämä on erityisen tärkeää tulevaisuuden työelämässä, jossa teknologisten ja luovien taitojen yhdistäminen korostuu. Maker-kulttuurin arvo tunnustetaan myös koulutusjärjestelmässä ja sen on huomattu motivoivan oppilaita opiskelemaan sekä kokeilemaan eri tapoja toteuttaa ja lähestyä erilaisia ilmiöitä. (Soomro ym., 2023, ss. 538-539)

3 Kestävä kehitys osana 3D-tulostamista

Kestävään kehitykseen liittyy paljon ennakkoluuloja ja tietämättömyyttä erityisesti uusien valmistusteknologioiden kohdalla. Vaikka yleinen mielikuva saattaa edelleen liittää 3D-tulostuksen ensisijaisesti harrastajien käyttämiin kulutustuotteisiin tai kokeellisiin prototyyppeihin Salmi (2023) osoittaa, että teknologia on vakiintunut osaksi teollisia prosesseja. Erityisesti ilmailu- ja avaruusteollisuudessa 3D-tulostusta hyödynnetään kevyiden ja rakenteellisesti optimoitujen komponenttien valmistuksessa, mikä vähentää materiaalien käyttöä ja parantaa energiatehokkuutta.

3D-tulostuksen keskeinen ero suhteessa perinteisiin käsityömenetelmiin on materiaalitehokkuus. Salmi (2023) korostaa, että 3D-tulostuksessa materiaalia lisätään vain tarvittava määrä. Tämä vähentää hukkamateriaalia verrattuna perinteisiin menetelmiin. CNC-koneistuksella syntyvän hukkamateriaalin määrä on merkittävästi suurempi verrattuna 3D-tulostuksen materiaalihukkaan, koska CNC-koneistuksessa materiaalia poistetaan yhtenäisestä kappaleesta. Vaikka CNC-koneistettujen kappaleiden hukkamateriaali voidaan kierrättää, nämä ylimääräiset askeleet käsittelyprosessissa lisäävät ympäristön kuormitusta. (Liu ym., 2016) 3D-tulostaminen mahdollistaa paitsi kevyempien rakenteiden luomisen, myös osien määrän vähentämisen. Perinteisesti valmistettu rakettimoottori voi koostua sadoista osista, mutta 3D-tulostuksen avulla samat toiminnot voidaan yhdistää huomattavasti pienempään määrään komponentteja, mikä vähentää kokoonpanon monimutkaisuutta ja potentiaalisia vikoja. (Salmi, 2023)

Toisaalta käytettävä laitteisto sekä materiaalit saattavat vaikuttaa tulostuksen kokonaisekologisuuteen. Laitteisto voi olla varsinkin teollisella tasolla paljon sähköenergiaa vaativaa. Tulostusmenetelmin valmistetuissa tuotteissa on yleensä vain yhtä materiaalia, joka helpottaa tulostusta. Kuitenkin kaikki tulostamisessa käytettävä materiaali ei ole välttämättä kierrätettävissä ilman laajaa käsittelyprosessia. (Liu ym., 2016)

Salmi (2023) nostaa esiin myös varaosien ja tuotteiden digitalisoinnin, joka voi vähentää logistiikan ja varastoinnin ympäristövaikutuksia. Kun tuotteita valmistetaan tarpeen mukaan lähellä loppukäyttäjää, kuljetusten määrä vähenee ja tuotantoketju lyhenee. Tämä on erityisen merkittävää opetuskontekstissa, jossa pienimuotoinen ja paikallinen valmistus on luonteva osa työskentelyä.

4 Taidon oppiminen ja -kehittyminen aikuisella

Andragogiikka eli aikuiskasvatus käsittelee oppimista aikuisen henkilön näkökulmasta. Koulutuksen tarkastelussa korostuu useasti oppimisprosessin tarkastelu nimenomaan lapsen ja nuoren oppimisesta. Aikuisen oppimisstrategiat eroavat kuitenkin jossain määrin vielä harjoitusvaiheessa olevan lapsen ja nuoren strategioista. (Saunders & Wong, 2020)

Taidon oppiminen mielletään tapahtuvaksi kolmen vaiheen kautta. Näitä vaiheita ovat kognitiivinen-, assosiatiivinen- ja autonominen vaihe. Kognitiivisessa vaiheessa ihminen etsii itselleen tietoa siitä, miten tavoiteltava taito on opittavissa ja minkälaisia asioita tähän taitoon liittyy. Tässä oppimisen vaiheessa ihminen pystyy hahmottamaan tekemistä eteenpäin muutamia askeleita kerrallaan ja hän tarvitsee myös ohjausta edetäkseen asiassa. Oppimisen toisessa eli assosiatiivisessa vaiheessa henkilö kykenee jo hallitsemaan laajempia kokonaisuuksia verrattuna kognitiiviseen vaiheeseen. Henkilö kykenee hahmottamaan opittavan asian peruskäyttötoimet, mutta ei kykene vielä soveltamaan osaamistaan odottamattomiin tilanteisiin. Tällaisia odottamattomia tilanteita voivat olla esimerkiksi jonkin harvoin tarvittavan toiminnon toteuttaminen tai odottamaton ongelma jossain peruskäytön vaiheessa. Viimeisessä oppimisen vaiheessa toiminta automatisoituu kokonaisvaltaisesti ja henkilö pystyy toteuttamaan toimintaa automaation tasolla ilman, että yksittäisiä toiminnanosaia tarvitsee erikseen miettiä. Opitut rutiinit ja sisäiset mallit mahdollistavat käyttäjän suoriutumisen ilman suurempia ponnisteluja tavanomaisissa tilanteissa. (Lonka, 2020)

Aikuisen taidon oppimisessa voidaan havaita yhteyksiä konstruktivistiseen ja konstruktionistiseen oppimiskäsitykseen. Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan yksilöt luovat ja kehittävät tietoa vuorovaikutuksessa elinympäristönsä kanssa. Tämän oppimiskäsityksen mukaan myös oppilaan aiemmalla tiedolla on merkitystä uusien taitojen oppimisen kannalta. Aiemmat taidot antavat pohjan sille tavalle, miten ihminen kokee oman elinympäristönsä ja miten hän muodostaa uutta tietoa vuorovaikutuksessa elinympäristöönsä. (Saunders & Wong, 2020) Konstruktivistisen oppimiskäsityksen kohdalla kyseessä on oppijan aktiivinen kognitiivinen toiminta, jossa hän muokkaa aiempaa tietoaan suhteessa uuteen. (Miettinen, 2000, s. 288) Opettajalla on konstruktivistisessä oppimiskäsityksessä rooli tarjota oppimiselle otollinen oppimisympäristö sekä tukea ja ohjata oppijaa tiedon rakentamisen

prosessissa. Oppilas asetetaan keskiöön tiedon muotoilijana ja omaksujana. Tämän takia oppimiskäsitys nähdään oppilaskeskeisenä, jossa opettaja toimii oppimismahdollisuuksien luoja tarjoten sopivan fyysisen sekä henkisen ympäristön oppilaan oppimisprosessille. (Saunders & Wong, 2020)

Konstruktionistinen oppimiskäsitys jakaa konstruktivismiin kanssa ajatusta siitä, että tieto rakentuu kokemuksen kautta. Tässä oppimiskäsityksessä korostuu tekemisen kautta oppiminen, konstruktionismin painottaessa tiedon rakentamista ajattelussa.

Konstruktionistisen oppimiskäsityksen läheinen suhde konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen selittyy sillä, että konstruktionismin kehittäjä Semour Papert oli konstruktivismiin kehittäjän Piagen oppilas. (Lodi & Martini, 2021, s. 892) Konstruktionistisen ajattelun keskeinen periaate on se, että tekeminen ja tekemisen lopputuloksen tulisi olla oppijalle merkityksellistä (Semenov, 2017, s. 5). Tekemisen ja lopputuloksen näkymisen kannalta olennainen osa on ns. ”object to think with”- ajatus. Tämän ajatuksen teeman mukaisesti oppijalla tulee olla jokin väline, joka muuntaa abstraktin ajattelun konkreettiseen muotoon, jotta oppija voi käytännössä havainnoida oppimaansa. (Lodi & Martini, 2021, s. 892)

Taidon oppimisen ja edelleen kehittymisen kannalta keskeisessä osassa on oman toiminnan reflektointi. Itsessään reflektion käsite tarkoittaa ajattelun ja toiminnan systemaattisuutta, jonka tavoitteena on kehittää toimintaa. Reflektion avulla muotoillaan oppimisen perusta ja taidon oppimisen eri vaiheissa reflektion painopiste muuttuu. Aluksi oppija rakentaa omaa tietopohjaansa opiskeltavasta aiheesta. Osaamisen kehittyessä tietopohjan tiedot pystytään ottamaan käyttöön ja kokemuksen avulla oppija pystyy edelleen kehittämään osaamistaan reflektion kautta. (Körkkö & Ketonen, 2023, s. 193)

3D-tulostuksen osalta aikuisen oppimista tarkastellessa huomataan, että aikuisen oppimisessa ovat esillä vahvasti Saundersin & Wongin (2020) sekä Miettisen ajatukset konstruktivistisesta ja Lodin & Martinin (2021) sekä Semenovin (2017) konstruktionistisesta oppimisesta. Oppimisen muuttuminen itseohjautuvaksi tiedonhankinnaksi edistää tiedon käyttöönottamisen prosessia, jolloin tietoa ei opita välttämättä tulevaisuuden taitoja varten, vaan opittua voidaan alkaa soveltamaan välittömästi käytännön arjessa. Sisäisen motivaation kehittyminen oppimiseen edesauttaa tätä prosessia. Myös aikuisen ihmisen kokemuspohjan laajentuminen antaa henkilölle oppimisen jäsentämisen kannalta tärkeää näkökulmaa. Oppimisen suunnittelu andragogiikassa seuraa samantapaisia suuntaviivoja kuin pedagogiikassa. Opettajalla on edelleen keskeinen rooli oppimisen mahdollistajana, mutta oppimisen suunnitteluun ja

tavoitteiden asettamiseen on mahdollista osallistaa ryhmää pedagogista lähestymistapaa enemmän. Tämä ohjaa toimintaa kohti ryhmän tai yksilön tarpeiden mukaista oppimista. (Saunders & Wong, 2020)

5 Tutkimuksen toteuttaminen

5.1 Tutkimuskysymykset ja hypoteesi

Tutkimuksen päätavoitteena oli antaa työkaluja osaamiselle, joka tukee aikuisen oppijan 3D-tulostuksen prosessien oppimista. Erityisesti haluttiin selvittää, millaisia oppimiskokemuksia 3D-tulostuksen eri prosessit tarjoavat ja miten oppijan oppiminen rakentuu 3D-tulostuksen prosessien aikana. Näihin tavoitteisiin pyrittiin seuraavien tutkimuskysymysten kautta:

1. Millaisia oppimiskokemuksia 3D-tulostuksen eri prosessit tarjoavat aikuiselle oppijalle?
2. Miten aikuisen oppiminen rakentuu 3D-tulostuksen prosessien aikana?

Tutkimuksen hypoteesina oli, että 3D-tulostusteknologian hyödyntäminen voi edistää luovuutta, ongelmanratkaisutaitoja ja oppimista erityisesti silloin, kun ne integroidaan osaksi maker-kulttuuria. Tutkimuksessa tutkija toteutti prosessien testauksen ja prosessimuistiinpanojen luokittelun tuotteen valmistusprosessista päiväkirjamallin avulla, joka auttaa analysoimaan oppimiskokemuksia ja syventämään ymmärrystä oppimisprosessin kokonaisvaltaisista piirteistä. Hypoteesin mukaan tämä lähestymistapa ei ainoastaan mahdollista teknologian ja luovuuden yhdistämistä, vaan myös tuottaa arvokasta tietoa siitä, miten 3D-tulostusta voidaan soveltaa mielekkäästi aikuisen oppimisessa ja oppimisen rakentumisen tarkastelussa.

5.2 Menetelmät

Tutkimus toteutettiin autoetnografisena tutkimuksena, jossa aineistoa kerättiin päiväkirjamerkintöjen avulla. Päiväkirjoihin dokumentoitiin 3D-tulostusprosessien aikana koetut haasteet, oivallukset, ongelmanratkaisutilanteet sekä reflektio omasta oppimisesta ja kehityksestä. Aineisto analysoitiin laadullisen sisällönanalyysin avulla luokittelemalla merkinnät tutkimuskysymysten pohjalta muodostettuihin teemoihin.

Päiväkirjan avulla pystyttiin analysoimaan tekemistä sekä sitä, miten oppimista voitiin tehostaa. Tutkimusaineiston perusteella tuotettiin sisällönanalyysi. Tämä analyysi pyrkii tunnistamaan keskeiset teemat ja ilmiöt, jotka vaikuttavat oppimisprosessiin. Aineistoa on lähestytty laadullisesti, ja analyysin perustana ovat merkitysyksiköt, jotka on tiivistetty ja ryhmitelty. Tämän jälkeen niistä on muodostettu alaluokkia ja yläluokkia. Analyysi on toteutettu aineistolähtöisen sisällönanalyysin mukaisesti. (Tuomi & Sarajärvi, 2017, ss. 103, 117)

Sisällönanalyysi on perusanalyysimenetelmä, jota voidaan käyttää kaikissa laadullisen tutkimuksen perinteissä. Aineistolähtöinen sisällönanalyysi, on karkeasti kolmivaiheinen prosessi: 1) aineiston redusointi eli pelkistäminen, 2) aineiston klusterointi eli ryhmittely ja 3) abstrahointi eli teoreettisten käsitteiden luominen. Ennen analyysin aloittamista pitää sisällönanalyysissä valita analyysiyksikkö. Analyysiyksikkö voi olla yksittäinen sana, lause tai ajatuskokonaisuus. (Tuomi & Sarajärvi, 2017, ss. 103, 107)

Menetelmää, jota olemme käyttäneet tutkimuksessamme, voidaan perustella myös Cohenin, Manionin ja Morrisonin (2000) esittämien laadullisen tutkimuksen periaatteiden kautta. Heidän mukaansa laadullinen tutkimus soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa tavoitteena on ymmärtää ilmiöitä niiden luonnollisissa konteksteissa ja tarkastella tutkittavaa prosessia kokonaisuutena (Cohen ym., 2000, ss. 137-140). Autoetnografinen lähestymistapa vastaa tätä tarkoitusta, sillä tutkija toimii sekä kokijana että havainnoijana, ja aineisto rakentuu tutkijan omista kokemuksista ja reflektiosta.

Tutkimuksessamme roolit eriytyivät siten, että toinen tutkijoista toimi kokijana ja tuotti päiväkirja-aineiston ja toinen tutkijoista vastasi aineiston analyysistä. Cohen ym. (2000, ss. 137-140) korostavat, että tällainen roolijako voi vahvistaa tutkimuksen refleksiivisyyttä ja systemaattisuutta, koska kokijan ja analysoijan tehtävät eivät sekoitu. Kokija voi keskittyä kokemusten autenttiseen kirjaamiseen ja analyytikko voi tarkastella aineistoa kriittisestä näkökulmasta ilman, että hän on itse osa kokemuksellista prosessia. Tämä asetelma tukee tutkimuksen luotettavuutta ja tekee tulkintaprosessista läpinäkyvämmän. Lisäksi Cohen ym. (2000, ss. 44-45) erottavat tutkimusmenetelmän ja metodologian ja korostavat, että metodologian tehtävä on perustella, miksi valittu menetelmä soveltuu tutkimuskysymyksiin. Päiväkirjamerkinnot toimivat tutkimuksessamme Cohenin ym. (2000, ss. 293-303) kuvaamina

“accounts”-aineistoina, jossa tutkija dokumentoi kokemuksiaan välittömästi tapahtumien yhteydessä. Sisällönanalyysin käyttö analyysimenetelmänä on linjassa Cohenin ym. (2000, ss. 147-156) esittämien laadullisen aineiston analyysiperiaatteiden kanssa, joissa korostuvat merkitysten tunnistaminen, luokittelu ja tulkinta.

Valitsimme tutkimuksemme sisällönanalyysin analyysiyksiköksi 3D-tulostusprosesseissa koetut helpot asiat, ongelmat ja oppimisen kannalta merkitykselliset tapahtumat.

Tarkoituksena ei ollut testata ennalta asetettua teoriaa, vaan tuoda esiin päiväkirjasta nousevia merkityksiä niin oppimisprosessissa, oppimiskokemuksissa, onnistumisissa ja haasteissa.

Havainnoista on poistettu ne asiat, jotka eivät olleet relevantteja tutkimuskysymyksiin verraten. Analyysissa päiväkirjasta otetut muistiinpanot laitettiin taulukkoon muokkaamattomina. Ensin päiväkirjamerkinästä tiivistettiin pelkistetty ilmaus, joka tiivistää alkuperäisen ilmauksen ydinajatuksen. Tämän jälkeen pelkistetty ilmaus luokiteltiin alaluokkaan ja sitten havainnot jaoteltiin yläluokkiin. (Kuva 1)

Päiväkirjasta poimittu merkitysyksikkö	Pelkistetty ilmaus	Alaluokka	Yläluokka / teema
“Etsittiin 3D-mallinnettu esine ja muokattiin sitä käyttötarkoitukseen sopivaksi.”	Valmiin mallin muokkaaminen omaan tarpeeseen sopivaksi.	Soveltava suunnittelu	Teknologian hyödyntäminen oppimisessa
“Yksinkertaisten muotojen lisääminen helppoa. Skaalaus myös helppo tehdä ennen ja jälkeen muotojen muokkaamista.”	Helposti lähestyttävä muokkaus ja skaalaus.	Helppokäyttöisyys ja saavutettavuus	Teknologian kohtaaminen opiskelijana

Kuva 1 Malli tutkimuksen analyysin toteuttamisesta.

Analyysin ensimmäisessä vaiheessa aineisto koodattiin teemoihin, jotka liittyivät oppimiskokemuksiin, haasteisiin, onnistumisiin ja opetuksellisiin ratkaisuihin. Nämä teemat muodostivat perustan oppimiskokemusten analysoinnille. Analyysin tulokset yhdistettiin tutkimuskysymyksiin, jotta oppimisprosessista saatiin kokonaisvaltainen kuva. Johtopäätöksiä muodostettaessa huomioitiin sekä yksilölliset että yhteisölliset oppimisen piirteet, mikä lisäsi analyysin syvyyttä ja monipuolisuutta. Lopuksi analyysin tuloksia vertailtiin tutkimuksen teoriataustaan. Tulokset tarjoavat arvokasta tietoa siitä, miten 3D-tulostus voi toimia

monipuolisena oppimisen välineenä ja miten opettaja voi edistää omaa oppimistaan tämän valmistusmenetelmän prosesseista.

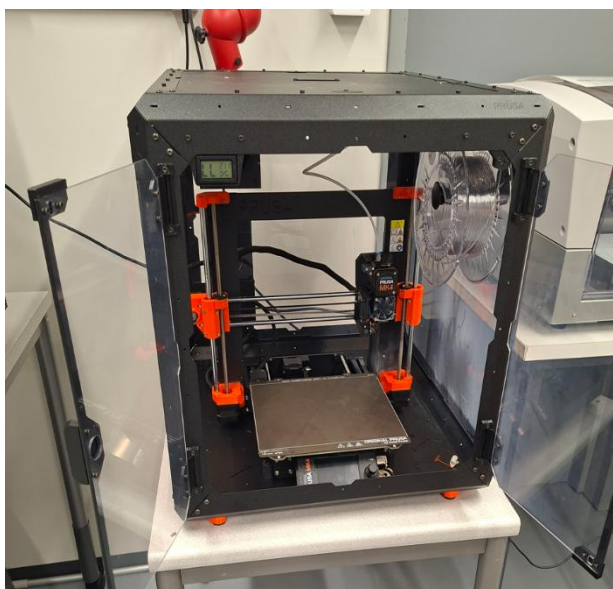
Tutkimuksen aineistonkeruuvaiheessa toteutetut tuotteet pyrittiin valikoimaan siten, että ne tulevat käyttöön tutkijoiden arjessa käyttöesineinä edistäen Salmen (2023) ja Liun ym. (2016) esittelemiä kestävän kehityksen periaatteita 3D-tulostuksessa. Näin pystyttiin mahdollisimman tehokkaasti tarkastelemaan prosessia oppijan ympäristölle oleellisten tuotteiden valmistusprosessien kautta. Samalla oppiminen pidettiin mahdollisimman mielekkäänä ja varmistuttiin siitä, että toteutetut tuotteet päätyvät myös käyttöön.

Aineisto kerättiin taulukkomuotoon viidestä eri 3D-tulostuksen prosessista. Vaikka muutokset käytännön prosesseissa ovat melko pieniä, saatiin näistä prosesseista arvokasta tietoa oppimiskokemuksen- ja oppimisen rakentumisen tarkastelussa. Aineistoa kerättiin päiväkirjamerkinnöistä, jotka oli tehty työskentelyn aikana tehdyistä huomioista. Prosessien kuvaus oli jaoteltu seuraavasti päiväkirjaan: työvaihe, kuvaus tehdystä työstä, onnistumiset, haasteet ja ongelmat, ratkaisut ja huomiot jatkoa varten sekä opetuksellisen näkökulman kannalta oleelliset asiat. Jos johonkin sarakkeeseen ei ollut raportoitavaa, jätettiin sarakke tyhjäksi. Tutkimusdataa kerättiin seuraavista prosesseista: tuotteen suunnittelu, mallintaminen ja tulostus; tuotteen tulostus valmiista 3D-mallista; valmiin mallinnuksen muokkaus ja sen tulostaminen; mallin muokkaus 3D-tulostimen ohjausohjelmistolla sekä tuotteen skannaus 3D-skannerilla. Näistä prosesseista kerättiin tietoa sessiokohtaisesti edellä mainittuihin kategorioihin. Toinen tutkijoista kävi läpi muistiinpanot eri prosesseista koostaen niistä sisällönanalyysin. Näin saatiin tutkimusdataa, jossa yksilön ennakoasenteiden vaikutusta tutkimusaineistoon saatiin vähennettyä.

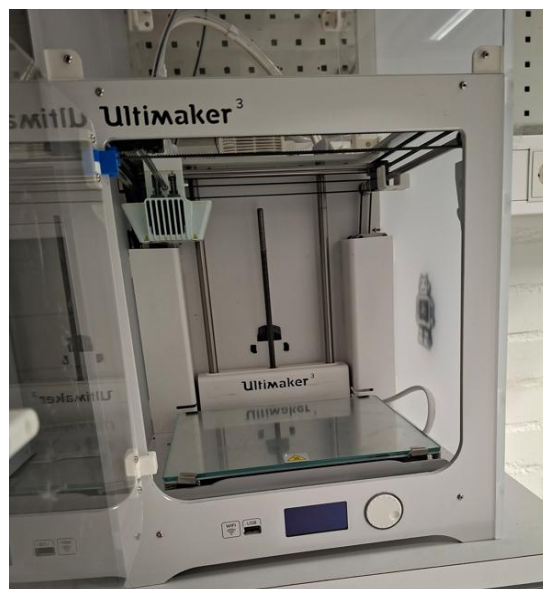
Tutkimuksen aineiston keräämisen osana toteutetut tuotteet pyrittiin valitsemaan niin, että ne olivat käyttäjän käyttöympäristön kannalta tarkoituksenmukaisia ja haastavuudeltaan käyttäjän taitoihin sopivia. Alusta suunniteltu tuote oli auton sisäverhoilun muovinen luukku. Tähän malliksi oli toinen samanlainen osa mittoja ja muotoja varten. Valmiin mallin 3D-tulostuksessa toteutettava tuote oli thingiverse.com- sivustolta etsitty malli kaapeliorganisoijasta. Valmiin 3D-mallin muokkauksessa käyttötarkoitukseen sopivaksi käytettiin myös thingiverse.com- sivustolta noudettua kansimallia auton sisustusverhoiluun, jota piti muokata tiettyyn automalliin sopivaksi. Tulostimen ohjausohjelmistolla muokatut tulosteet olivat vaappujen uintilevyjä, joiden kokoa muutettiin eri vaappumalleihin sopiviksi. Skannattu tuote oli pieni kulho, joka valikoitui prosessiin sopivan kokonsa takia.

5.3 Tutkimuksen toteutuksessa käytetty laitteisto ja materiaalit

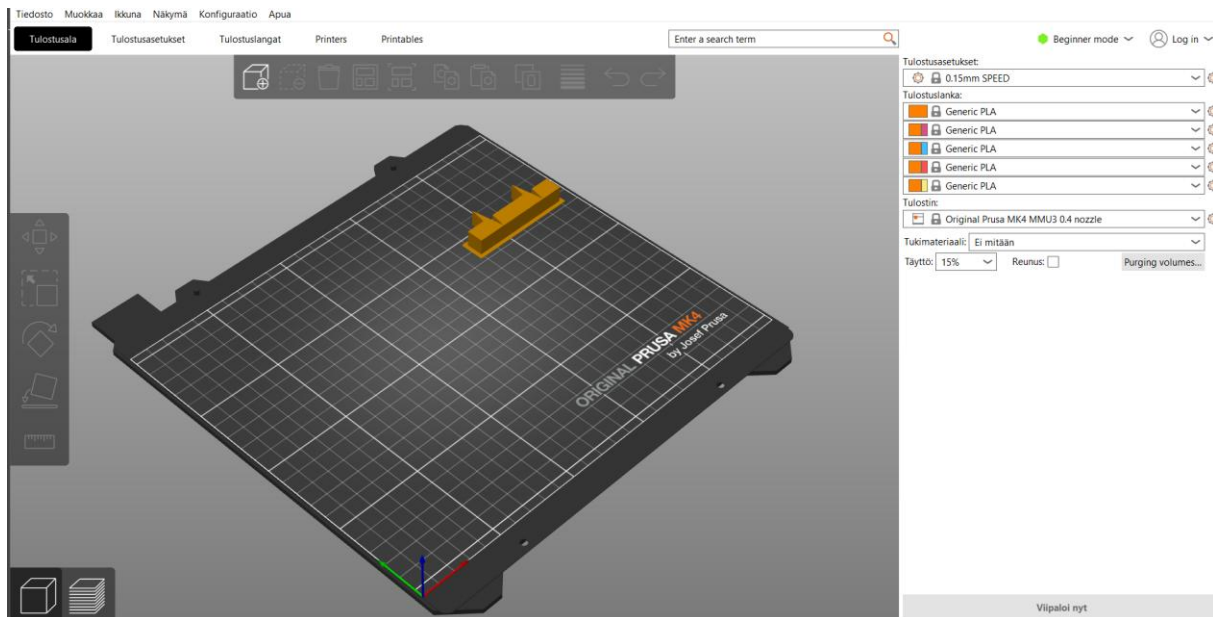
Tutkimus toteutettiin Turun yliopiston Rauman kampuksen Tekniska rakennuksen 3D-tulostuslaitteistolla. Kyseisessä yksikössä on sekä Ultimaker 3 että Original Prusa MK4S merkkisiä 3D-tulostimia. Tulostimilla on omat merkkikohtaisesti suunnitellut ohjausohjelmistot, joiden avulla tulostuksen asetusten määrittely tapahtuu. Ultimaker tuoteperheen ohjausohjelmisto on nimeltään UltiMaker Cura ja Prusan vastaava ohjelma on PrusaSlicer.



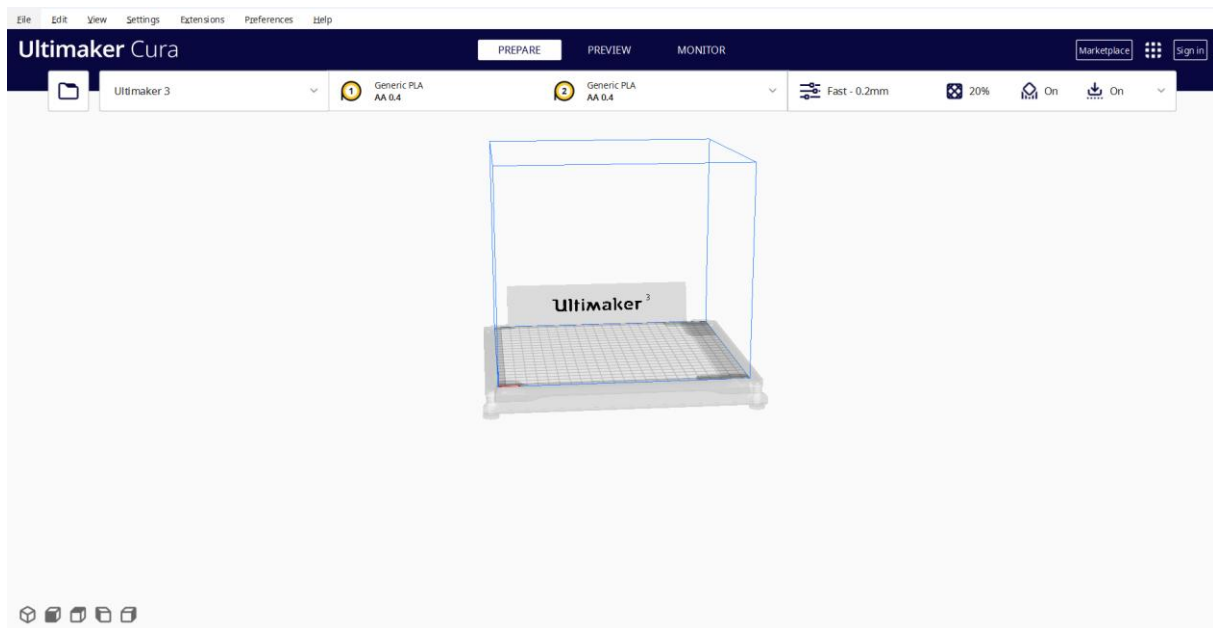
Kuva 2 Prusa MK4S -tulostin



Kuva 3 Ultimaker 3 -tulostin

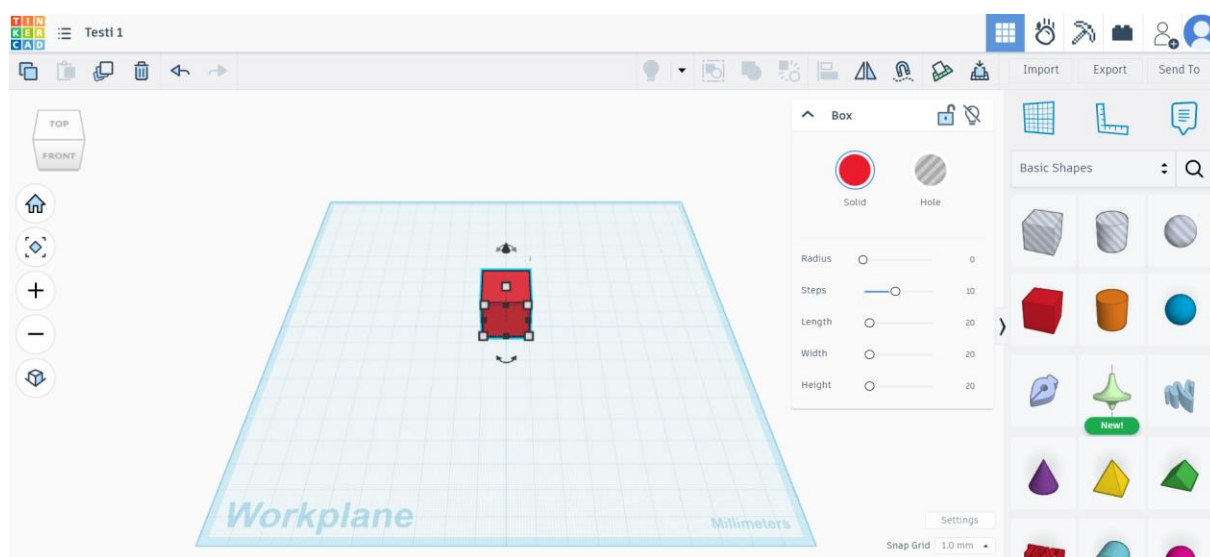


Kuva 4 PrusaSlicer -käyttöympäristö

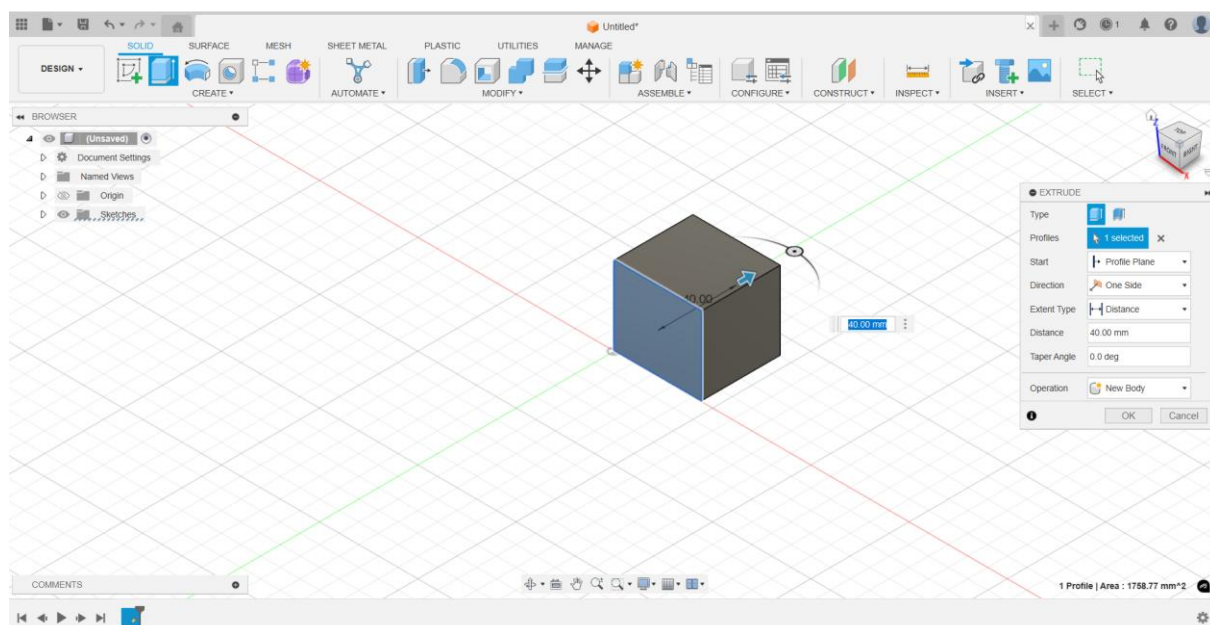


Kuva 5 UltimakerCura -käyttöympäristö

CAD-mallintamiseen käytettiin aluksi verkkoselaimessa toimivaa Autodeskin Tinkercad-ohjelmistoa. Tämä ohjelmisto valittiin siksi, että sen koettiin olevan yleisesti käyttöön sopivin, koska se on ilmainen ja sen käyttöön ei tarvita kovin tehokasta tietokonetta. Kuitenkin ongelmalliseksi tämän ohjelman käytön teki se, että esimerkiksi neliömuodon kulmien pyöristämiseen ei tässä ohjelmassa ole helppoa mahdollisuutta. Tämän takia yksinkertaiset mallinnukset toteutettiin Tinkercad-ohjelmistolla ja edistyneemmät mallinnukset Autodesk Fusion 360-sovelluksella.



Kuva 6 Tinkercad -käyttöympäristö

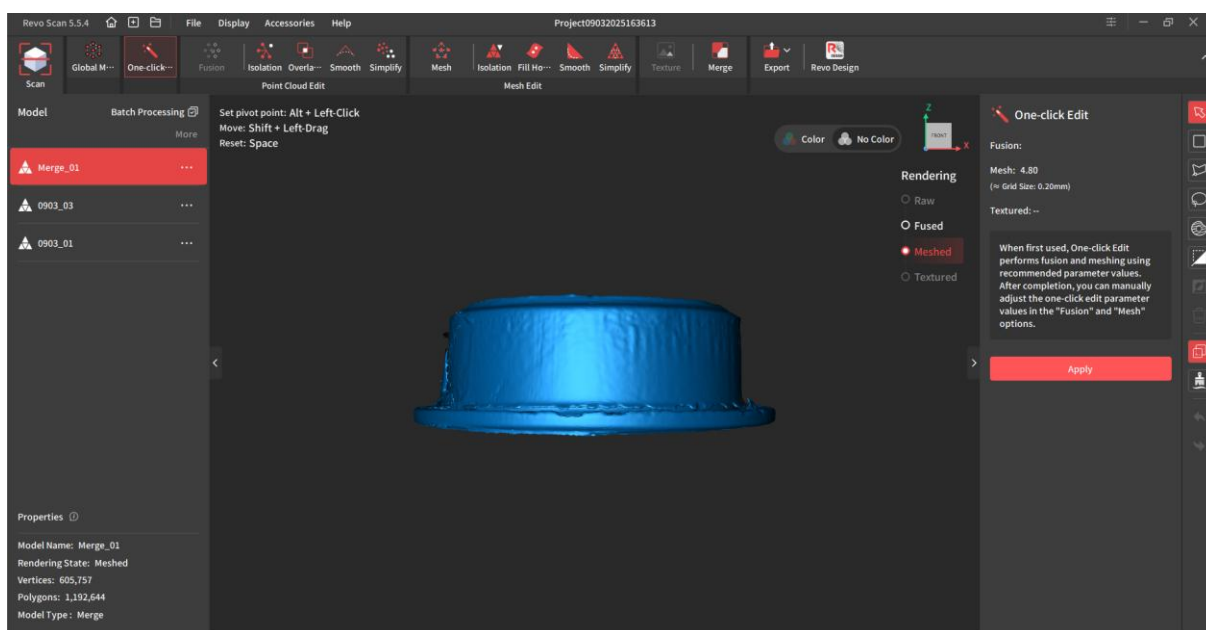


Kuva 7 Autodesk Fusion 360 -käyttöympäristö

Valmiita 3D-mallinnuksia etsittiin thingiverse.com- sivustolta, jonne sivuston käyttäjät voivat ladata omia tiedostojaan ja tiedostot ovat myös vapaasti ladattavissa muille käyttäjille maker-kulttuurin käytäntöjen mukaisesti. Tietokoneissa käytetty käyttöjärjestelmä oli Windows pohjainen. Tuotteen skannauksessa käytetty 3D-skanneri oli Revopoint 3D POP2 ja skannerin ajo- sekä muokkausohjelmisto oli RevoScan 5.



Kuva 8 Revopoint 3D POP2 -skanneri



Kuva 9 RevoScan 5 -käyttöympäristö

Tutkimuksessa valmistettujen tuotteiden materiaaliksi valikoitui PLA-muovi. Kaikissa prosesseissa päädyttiin käyttämään samaa muovilaatua, jotta tulostusolosuhteet säilyivät mahdollisimman samana ja voitiin välttää eri muovilaatujen aiheuttamat muuttujat prosesseissa. PLA:n hyvät tulostusominaisuudet ja alhaiset materiaalikustannukset olivat tekijöitä tämän muovilaadun valikoitumisessa tutkimukseen.

5.4 Tekoälyn käyttö osana tutkimusta

Tutkimuksessa on käytetty tekoälyä avustavassa ominaisuudessa. Teoriaosuuden laatimisessa tekoäly toimi apuna lähteiden etsinnässä, analyysissa ja joissain tapauksissa käänöksessä. Tutkimuksen toteutusosassa tuottamaamme päiväkirjaa analysoitiin myös tekoälyn avulla, jotta pystyimme löytämään kaikki tutkimuksen kannalta relevantit merkinnät. Käyttämämme tekoälymalli tutkimuksen toteuttamisessa oli Open AI:n ChatGPT ja sen eri tekoälymallit, esimerkiksi lähdetietokantojen tarkasteluun suunnatut mallit (Scholar GPT, Consensus).

Tutkimuksessa tekoäly on toiminut avustavassa roolissa. Tutkijoina tarkastimme tekoälyn ehdottamat ratkaisut ja lähteet hyvän tutkimuskäytännön mukaisesti. Tiedostimme tekoälyn toimintamallin tutkimuksen alussa ja tulkitsimme kriittisesti sen antamaa tietoa. Olemme tarkastaneet ja todenneet tekoälyn ehdottamat lähteet paikkansapitäviksi ja olemassa oleviksi. Tekoälyn käyttöä on tarkasteltu koko prosessin ajan kriittisesti.

6 Tutkimuksen tulokset

Tässä luvussa tarkastellaan viittä erilaista 3D-tulostuksen prosessia. Jokainen prosessi tuotti erilaisia oppimiskokemuksia ja haasteita, jotka yhdessä muodostavat kokonaiskuvan oppimisesta 3D-tulostuksen kontekstissa. Valmistusmenetelmät noudattavat Bishtin & Vaishyan (2022, s. 244) kahdeksanportaista tulostusprosessin kaavaa. On huomioitava, että kaikki prosessit eivät ala kaavan ensimmäisestä vaiheesta. Esimerkiksi valmista CAD-mallinnusta käsitellessä prosessi aloitetaan vaiheesta kolme, jolloin STL-muotoon muutettua mallinnusta käsitellään 3D- tulostimen ohjausohjelmistossa

6.1 Kappaleen suunnittelu, mallintaminen ja tulostus

Tässä prosessissa mallinnettiin aluksi CAD-malli Fusion 360-sovelluksessa, jonka jälkeen edettiin koko kahdenkisanvaiheisen tulostusprosessin läpi. Fusion 360-ohjelman käyttö koettiin haastavaksi varsinkin ohjelmiston käytön alkuvaiheessa. Mallinnusohjelman käytössä koetut haasteet tulivat esiin päiväkirjamerkinnöistä, mutta harjoittelu ja kärsivällinen tekeminen edistivät ohjelmiston hallintaa. Tämän ohjelman käyttö oli kuitenkin perusteltua, koska se mahdollisti monipuolisemman mallinnuksen verrattuna Tinkercad-ohjelmaan:

“Fusion 360 vaati opettelua jonkin verran tottumattomalta käyttäjältä. Mahdollistaa monimutkaisemmat toteutukset kuin Tinkercad, mutta ohjelmiston toiminta on haastavampaa aloittelevalla käyttäjälle.”

Mitä enemmän käyttäjän tuli itse mallintaa kappaletta, sitä enemmän potentiaali mahdollisiin ongelmiin kasvoi. Tutkimusaineistossa toistuu perehtymisen tarve ohjelmistoon ja laitteiston käyttöön. Samalla toistuu teema siitä, että käyttäjän taitotasoon nähden sopivalla perehtymisaineistolla ohjelmistojen käyttöön perehtyminen helpottuu. Nettifoorumit ja tekoäly auttoivat etenemään ohjelmiston käytössä. Nämä työkalut olivat hyvänä tukena käyttäjän ohjelmiston käytön harjoittelussa. Onnistumisen kokemukset linkittyivät myös itseohjautumisen kehittymiseen. Päiväkirjamerkinnöissä nousee esiin ilmiö, jonka mukaan työskentelyn edetessä tekijä kykeni yhä itsenäisemmin etsimään ratkaisuja ja tekemään

päätöksiä. Tämä kehitys näkyi tilanteissa, joissa hyödynnettiin ulkoisia apukeinoja ongelmien ratkaisemiseksi. Analyysissä todetaan:

”Tekoäly osoittautui erinomaiseksi tutoriksi CAD- ohjelmiston käytön harjoittelussa.”

”Nettifoorumit olivat apuna, samoin tekoäly auttoi löytämään oikean komennon.”

6.2 Valmiin 3D-mallin tulostus

Valmis STL-muotoon muutettu CAD-malli etsittiin thingiverse.com- sivustolta, minkä jälkeen tulostusprosessissa edettiin prosessipolun mukaisesti operointiin tulostimen ohjausohjelmistossa. Valmiit mallit mahdollistivat tulostuksen tekniikan sujuvan harjoittelemisen ilman, että käyttäjän piti itse mallintaa kappaletta alusta lähtien. Aineistossa esiin nousi käytettävien ohjelmistojen helppo asennettavuus ja käyttämisen omaksuminen opastetusti. Aluksi tulostimen ohjausohjelmisto vaikutti haastavalta testaajan taitotasolle. Ohjelmien toimivuuden omaksumisessa auttoivat kuitenkin ohjevideot, jotka ohjeistivat ohjelmien käyttöä alkuvaiheessa. Tulostettavien tuotteiden osalta aineistossa esiin nousi monipuolisuus ja helppous:

“Jos ohjelmaa alkaa käyttää ilman ohjeistusta, se vaikuttaa sekavalta aloittelijalle.”

“Ohjelman käyttäminen oli helppoa, kun löytyi sopivan tasoinen (aloittelija) ohjevideo.”

Valmiiden mallien koettiin suoraviivaistavan tulostuksen perusteiden omaksumista. Prosessi tuki luovaa ongelmanratkaisua ja vahvisti ymmärrystä siitä, miten valmiita malleja voidaan soveltaa omiin tarpeisiin. Aineistossa todetaan:

”Etsittiin sopiva 3D- mallinnettu esine ja muokattiin sitä käyttötarkoitukseen sopivaksi.”

“Valmiit mallit suoraviivaistavat prosessia merkittävästi.”

Valmiiden mallien koettiin helpottavan tulostusprosessia. Tämä mahdollisti käyttäjälle tavan tuottaa tulostettuja malleja vähäisemmälläkin osaamisella.

6.3 Valmiin 3D-mallin muokkaus ja tulostus

Tässä prosessissa thingiverse.com- sivustolta etsitty valmis mallinnus muokattiin käyttötarkoitukseen sopivaksi. Jos mallinnus olisi vain tulostettu, olisi prosessi ollut käytännössä samanlainen verrattuna valmiin mallin tulostamiseen. Tässä tapauksessa STL- muotoon vietyä CAD- mallia tuli muokata mallinnusohjelmassa. Valmiiden mallien muokkaaminen koettiin tehokkaaksi ja oppijan luovuutta tukevaksi. Tässä prosessissa tuli esiin vaativamman mallinnuksen asettamat rajoitteet valittavaan mallinnusohjelmaan. Prosessissa käytetty Tinkercad-ohjelmisto ei tuottanut ominaisuuksiltaan sellaista mallinnusta, jota valmiin mallin muokkaamiseen olisi vaadittu. Tämän takia Fusion 360 koettiin tässä prosessissa toimivammaksi ohjelmistoksi muokkausten toteuttamiseen. Tutkimusaineistosta poimittua:

”Jos halutaan monimutkaisempaa mallinnusta, tarvitaan tähän kykenevä ohjelma (esim. Fusion 360).”

“Mahdollistaa monipuolisen mallinnuksen melko helpolla tavalla.”

Lopullisessa tuotteessa koettiin ongelmia yhteensopivuudessa, jota aiheuttivat tulostetun kappaleen tukimateriaalit. Materiaalin poiston aiheuttamat yhteensopivuusongelmat nousivat laajemmin pääsyynä esille aineistossa. Muutenkin aineistossa esiin nousi, että valmiiksi mallinnetun kappaleen sopivuus kohteeseen on syytä varmistaa:

“Tukimateriaalien poisto aiheutti pieniä yhteensopivuusongelmia ja vaati hiontakäsittelyä.”

“Valmiit mallit voidaan muokata käyttäjän tarpeisiin, mutta yhteensopivuus on tarkistettava.”

6.4 Valmiin mallin muokkaaminen 3D-tulostimen ohjausohjelmistossa

3D-tulostimen ohjausohjelman hyödyntäminen valmiin mallin muokkaamisessa tarjosi konkreettisen tavan perehtyä tulostusprosessin vaiheisiin, joissa kappale oli mallinnettu ja käyttäjä pääsi suoraan 3D-tulostimen ohjelmiston käyttöön. Ohjelmisto itsessään antaa mahdollisuuden pieniin muokkauksiin esimerkiksi kappaleiden mittasuhteiden osalta, mutta varsinaista mallinnustyötä ohjausohjelmistossa ei suoritettu. Tämä prosessi alkaa tulostusprosessin tasolta kolme, jossa työskennellään tulostimen ohjausohjelmiston kanssa. Prosessin aikana huomattiin, että ohjelmiston perustoiminnot tulevat tutuksi käytännön tekemisen kautta ja muokkaaminen vahvistaa osaamista sekä teknistä luovuutta:

“Kappaleen muokkaaminen viipalointiohjelmassa (3D-tulostimen ohjausohjelmisto) antaa monipuolisen käyttökokemuksen ja perehdyttää ohjelman perustoimintoihin.”

Mittasuhteiden ymmärtäminen oli tärkeää, koska lopputuloksen sopivuuteen vaikuttivat pienetkin muutokset. Skaalauksen toimintojen ymmärrys oli keskeinen osa kappaleen käsittelyä kappaleen monistamisen lisäksi. Tutkimusaineistossa todetaan:

“Jos tulostetaan kappaleita, joita skaalataan vain yhteen tai kahteen suuntaan, tulee tämä ottaa huomioon skaalausta tehdessä.”

“Tulostuksessa tulee huomioida kappaleen vaatimukset suhteessa käytettävissä olevaan tilaan.”

Tulostimen ohjausohjelmiston käyttö tuki oppimista erityisesti siksi, että se tarjosi mahdollisuuden tarkastella mallin muokkausta ja tulostusprosessia yhdessä ohjelmassa. Aineistossa todetaan:

”Uintilevyjä saatiin helposti eri kokoisia. Samalla ohjelman toiminnot tuli käytyä monipuolisesti läpi.”

6.5 Kappaleen skannaus ja tulostus

Skannausprosessi mahdollisti 3D-mallinnuksen työtavan, jossa olemassa oleva fyysinen kappale muutettiin digitaaliseksi malliksi ja tulostettiin. Tämä tulostusprosessi hyödyntää skannauksen muodossa teknologiaa, joka osaltaan automatisoi mallinnusta. Vaikka mallinnusprosessi olikin osaltaan automatisoitu, voidaan myös tämän prosessin katsoa alkavan tulostusprosessin ensimmäisestä vaiheesta. Tämän prosessin kohdalla havaittiin, että skannauksen onnistuminen edellytti sekä teknistä osaamista että optimaalisia työskentelyolosuhteita:

“Vaatii paljon perehtymistä ja melko optimaaliset olosuhteet laadukkaiden skannausten saamiseksi.”

Skannausvaiheessa korostuivat ohjelmiston ja laitteiston tuntemus sekä jälkikäsitteilyn merkitys. Tässä vaiheessa korostui erityisesti kokeileminen, tiedonhankinta ja prosessin sisällä tapahtuva kokeilu. Skannausolosuhteet ja käyttäjän osaaminen heikensivät lopullisen mallin laatua. Skannauksen epätasaisuutta ei pystytty korjaamaan käyttäjän sen hetkellä taidolla skannerin käytöstä. Kuten aineistossa todetaan:

”Koska skannaus ei ollut optimaalinen ja malli vaati jälkitäyttöä skannauksessa olleiden reikien vuoksi, tulostuksesta ei tullut kovin hyvälaatuinen.”

Tämä teki näkyväksi sen, miten 3D-tulostuksen eri vaiheet vaikuttavat lopputulokseen. Teknologian tulee toimia, jotta saadaan aikaan toimiva lopputulos. Aineistossa tämä tiivistettiin seuraavasti:

”Perehtyminen ohjelmaan ja skannerin ominaisuuksiin on avainasemassa skannauksen toimivuuteen.”

6.6 Yhteenveto tuloksista

Tutkimuksen perusteella 3D-tulostuksen prosessit erosivat toisistaan vaativuuden, työvaiheiden ja osaamisen osalta. Aineistossa nousi esiin myös näitä yhdistäviä piirteitä. Suureksi yhtenäiseksi teemaksi muodostui ohjelmiston ja laitteiden käytön opettelu, joka edellytti perehtymistä, kokeilemistä ja jatkuvaa ongelmanratkaisua. Erityisesti mallinnusta ja muokkausta sisältävät prosessit olivat aineiston perusteella vaativampia verrattuna valmiisiin malleihin perustuviin menetelmiin.

Aineistossa korostui ulkoisten resurssien merkitys oppimisen tukena. Ohjevideot, foorumit, tekoäly sekä valmiit 3D-mallit helpottivat oppijan etenemistä prosessien omaksumisessa. Samalla tulostusprosesseihin liittyvät käytännön ongelmat kuten ohjelmistojen käytettävyys sekä rajoitteet, mittasuhteiden hallinta, tukimateriaalien poisto, yhteensopivuus ja skannauksen olosuhdevaatimukset nousivat esiin prosesseissa. Tuloksissa ilmenivät myös onnistumisen tunteet, jotka antoivat oppijalle varmuutta teknologian käytössä.

7 Johtopäätökset

7.1 3D-tulostuksen prosessien tuottamat oppimiskokemukset aikuiselle oppijalle

Tutkimuksessa saatiin selville, että 3D-tulostuksen prosessit tuottivat aikuiselle oppijalle monipuolisia oppimiskokemuksia. Nämä oppimiskokemukset liittyivät erityisesti teknologian hallintaan, ongelmanratkaisuun sekä oman toiminnan kehittämiseen. Oppimiskokemukset vaihtelivat prosessien vaativuuden mukaan siten, että mallinnusta ja muokkaamista sisältävät työvaiheet edellyttivät käyttäjältä syvempää osaamista verrattuna valmiisiin malleihin perustuviin prosesseihin. Keskeiseksi oppimiskokemukseksi muodostui ohjelmistojen ja laitteiston hallinnan kehittyminen. Oppijan piti samanaikaisesti omaksua useita taitoja, kuten mallinnohjelmiston käyttö, tulostusasetusten hallinta, materiaalin käyttäytyminen ja mittasuhteiden hallinta.

Ongelmanratkaisu näkyi keskeisenä osana useassa prosessissa. Eri prosesseissa esiintyneet haasteet, kuten tulostusvirheet ja ohjelmiston asettamat rajoitteet, vaativat oppijalta aktiivista ratkaisujen etsimistä. Nämä havainnot ovat linjassa Choin ja Kimin (2018) näkemyksiin, joiden mukaan 3D-tulostus tukee oppijan kykyä ratkaista luovasti erilaisia ongelmia. Oppimiskokemuksissa ilmenivät myös onnistumisen kokemukset. Nämä kokemukset liittyivät toimivien tuotteiden valmistukseen ja ongelmakohtien ratkaisemiseen. Kokemuksilla oli merkitystä oppijan pystyvyyden tunteen vahvistamisessa. Tämä tukee konstruktionistista näkemystä oppimisesta, jossa oppijalle merkitykselliset tuotokset antavat vahvan pohjan oppimiselle ja motivaatiolle. (Lodi & Martini, 2021; Semenov, 2017)

Ympäristön vaatimukset tekniikalle nousivat esiin etenkin kappaleen skannauksessa ja tulostuksessa. Esimerkiksi 3D-skanneri vaatii toimiakseen hyvin kontrolloidun valaistuksen, jotta 3D-malli on laadukas. Laatuksiteerit määrittävät suurta osaa siitä, milloin skannaus on riittävän hyvä, jotta se olisi käyttökelpoinen ja onko laatuun vaikuttava tekijä skanneri laitteena, ympäristö (esim. valaistus) tai jokin muu tekijä. Myös skannattava pintamateriaali aiheutti lopputuloksen laadun vaihtelua testitilanteessa heijastusten takia. Tämän johdosta ympäristön optimointiin skannerin käytön kannalta tulee kiinnittää huomiota, jotta kyseisellä tekniikalla saavutetaan toivottu lopputulos. Käytettävyyden ongelmat voivat muodostaa

haasteen prosessin mielekkyydelle. Nämä ajatukset ovat linjassa Pearsonin ja Duben (2021) ajatusten kanssa ympäristön optimoinnista tulostusprosessien käyttöön sopivaksi.

Käytettyjen materiaalien kannalta esiin nousivat maininnat tulostuksen tukimateriaalien heikosta poistettavuudesta. Tutkimuksen tulosteissa käytetty muovilaatu (PLA) oli murtumaominaisuuksiltaan hieman ennalta arvaamatonta kylmäsittelyssä jäykkyytensä vuoksi (Agocs ym., 2024). Tämä voitaisiin ratkaista käyttämällä toista, helpommin poistettavaa materiaalia, tukimateriaalin tehtävässä. Useamman materiaalin käyttö tulostuksessa asettaa tulostimelle vaatimuksia, jotta materiaalien rinnakkainen käyttäminen on mahdollista. Tämä saattaa aiheuttaa Choin & Kimin (2018) esiin tuomia taloudellisia haasteita soveltuvia laitteita hankittaessa.

7.2 Aikuisen oppimisen rakentuminen 3D-tulostuksen prosesseissa

Aineiston perusteella aikuisen oppiminen rakentui 3D-tulostuksen prosesseissa vaiheittaisesti. Keskeistä oli aktiivinen tekeminen, kokeilu ja itsereflektio. Oppiminen ei edennyt suoraviivaisesti, vaan rakentui yrityksen ja erehdyksen kautta.

Prosessien alkuvaiheessa korostui tiedonhankinta ja toimintojen ymmärtäminen. Longan (2020) mukaan tämä vaihe vastaa aikuisen taidon oppimisen kognitiivista vaihetta. Tässä vaiheessa oppija turvautui ulkoisiin ohjeisiin ja valmiisiin malleihin toiminnassaan. Osaamisen kehittyessä oppija siirtyi vaiheeseen, jossa toiminta sujuvoitui ja kokonaisuuksien hallinta kehittyi sellaiselle tasolle, että asteittaiselle tuelle ei ollut enää tarvetta. Tämä vastaa Longan (2020) mukaan oppimisen assosiativista vaihetta, jossa toiminta alkaa jäsentyä vaiheittaisesta tekemisestä kohti kokonaisvaltaista peruskäytön hallintaa.

Tulokset osoittavat, että oppiminen rakentui konstruktivistisen ja konstruktionistisen oppimiskäsityksen varaan 3D-tulostuksen eri prosesseissa. Oppija ei omaksunut tietoa passiivisesti, vaan uusi osaaminen muodostui uuden ja vanhan tiedon vuorovaikutuksesta Saundersin ja Wongin (2020) näkemysten mukaisesti. Samalla oppiminen ilmeni konstruktionismin periaatteiden mukaisesti Lodin ja Martinin (2021) sekä Semenovin (2017) ajatusten mukaisesti. 3D-mallit ja tulosteet toimivat oppimisessa ajattelun välineinä ja näiden välineiden avulla oppija pystyi tarkastelemaan tulostusten laatua, sekä kehittämään omaa toimintaansa.

Oppimisprosesseissa korostui myös itseohjautuvuus, joka on keskeinen aikuisen oppimisen piirre. Oppija hyödynsi aktiivisesti erilaisia tietolähteitä ja sovelsi oppimaansa prosesseissa. Nämä havainnot ovat linjassa Saundersin ja Wongin (2020) näkemyksiin siitä, että aikuisen oppiminen perustuu oma-aloitteisuuteen ja oppimisen käytäntöön siirtämiseen.

7.3 3D-tulostuksen prosessit oppimisen työkaluna

Tutkimuksen perusteella 3D- tulostuksen prosessit tuottavat oppimistilanteita, joissa keskeiseen rooliin nousee oma-aloitteinen toiminta, teknologian hallinta sekä ongelmanratkaisu. Oppiminen ei ole valmiiksi jäsenneily tai lineaarinen prosessi, vaan vaiheittain etenevä kokonaisuus, joka ohjaa oppijan aktiiviseen oman toimintansa kehittämiseen. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että eri työskentelytavat tuottivat erilaista oppimista. Valmiiden mallien käyttö mahdollisti keskittymisen tulostusteknologian käytön harjoitteluun. Tällaiset prosessit antoivat mahdollisuuden opetella laitteiston peruskäyttöä. Mallinnusta sisältävät prosessit edellyttivät oppijalta syvempää ymmärrystä teknologian käytöstä. Samalla nämä prosessit tukivat käyttäjän osaamisen kehittymistä koko prosessissa laaja-alaisemmin verrattuna valmiiden mallien käyttöön.

Kaikissa prosesseissa keskeinen piirre oli ongelmanratkaisu. Prosesseissa esiintyneet haasteet edellyttivät aktiivista ratkaisujen etsimistä. Näissä tilanteissa oppiminen rakentui yrityksen, erehdyksen ja osaamisen edelleen kehittämisen kautta konstruktionismin periaattein Lodin ja Martinin (2021) sekä Semenovin (2017) ajatusten mukaisesti. Nämä havainnot ovat myös linjassa Cohenin ym. (2017) ja Soomron (2023) näkemyksiin maker- kulttuurista, jossa virheet nähdään oppimista edistävinä tekijöinä.

Tuloksissa esiin nousivat myös aikuisen oppimisen itseohjautuvuus sekä reflektiivisyys. Oppimisprosessissa hyödynnettiin aktiivisesti eri tietolähteitä, jotta saavutettiin toivottu lopputulos. Tämä tukee andragogista näkemystä siitä, että oppija toimii aktiivisena tiedon rakentajana hyödyntäen ympäristössään olevia resursseja tiedon muodostuksessa Saundersin ja Wongin (2020) ajatusten mukaisesti. Oppimisen reflektio näkyi prosesseissa siten, että oppija arvioi jatkuvasti omaa toimintaansa suhteessa prosessin tuloksiin kehittäen tekemistään. Tämä mahdollisti osaamisen kehittämisen ja toiminnan kehittämisen. Nämä ilmiöt ovat Longan (2020) ajatusten mukaan keskeisiä tekijöitä aikuisen oppimisen prosessissa. Tulostusprosessin vaatimat lisätoimet, kuten jälkikäsitteily, voivat toimia oppimista tukevana tekijänä, mutta

tämä vaatii ajankäytön hallintaa. Tästä voidaan päätellä, että opettajan tietämystaso tulee olla riittävä, jotta tulostusprosessien käyttö opetuksessa on mahdollista. Tämä on linjassa Pearsonin ja Dubén (2021) esittämän opetushenkilöstölle suunnatun lisäkoulutuksen ajatuksen kanssa.

Kokonaisuudessaan 3D-tulostuksen prosessit rakensivat aikuisen oppimista yhdistämällä teknisen osaamisen, konkreettisen tekemisen, ongelmanratkaisun ja itseohjautuvan työskentelyn. Oppiminen tapahtui tilanteissa, joissa oppijan piti toimia aktiivisesti, tehdä päätöksiä ja soveltaa oppimaansa muuttuvissa tilanteissa.

8 Pohdinta

8.1 Tutkimuksen tulosten jatkopohdinta

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että 3D-tulostuksen prosesseissa oppiminen rakentuu kokonaisuutena, jossa teknologinen osaaminen, ongelmanratkaisu ja itseohjautuva toiminta muodostavat yhtenäistä oppimista.

3D-tulostamisen prosessit antavat mahdollisuuden tehdä oppiminen näkyväksi Lodin ja Martinin (2021) sekä Semenovin (2017) ajatusten mukaisesti. Kokemukset siitä, että on mahdollista hallita uusia oppimisympäristöjä ja teknologiaa lisäsivät itseluottamusta. Tästä voidaan johtaa päätelmä, että oppimisen tulisi olla oppijalle kiintoisaa, mieluisaa ja toimintaympäristöön jollain tavalla sidottua konstruktivistisen oppimiskäsityksen ajatusten mukaisesti. Tässä tutkimuksessa oppiminen ei perustunut valmiin tiedon omaksumiseen, vaan oppijan piti aktiivisesti rakentaa omaa ymmärrystään. Etenkin mallinnusta ja muokkausta sisältävät prosessit edellyttivät oppijalta kykyä rakentaa uutta tietoa.

Tutkimus antaa tukea myös Cohenin ym. (2017) ja Soomron ym. (2023) ajatuksille maker-kulttuurista. Oppimisen haasteet liittyivät ajankäyttöön, teknologian toimintaan ja toteutusympäristön aiheuttamiin tilasuunnittelun haasteisiin. Haasteet eivät kuitenkaan olleet oppimista haittaavia tekijöitä, vaan ne olivat keskeisessä osassa oppimisprosessissa. Oppimista tapahtui tilanteissa, joissa toiminta ei tuottanut toivottua lopputulosta. Tämä asetti oppijan tarkastelemaan ja kehittämään omia ratkaisumallejaan.

On huomattava, että tässä tutkimuksessa aikuinen toteutti ja havainnoi 3D-tulostuksen menetelmiä, jolloin on pohdittava andragogisen näkökulman aiheuttamaa vinoumaa tulosten siirtämisessä peruskoulun pedagogiseen kontekstiin. Nämä havainnot vaativat tuekseen aiheesta tehtävää lisätutkimusta, jossa oppimisprosessit siirretään opettajan oppimisen tasolta oppilaan oppimisen tasolle. Yhteenvetona voidaan todeta, että oppimisprosessit rakentuvat kokeilusta ja tekemisen reflektiosta. Analyysi viittaa siihen, että 3D-tulostamisen andragoginen potentiaali ei rajoitu teknisten taitojen oppimiseen, vaan se tukee laajasti ongelmanratkaisutaitoja, itseohjautuvuutta ja yhteisöllistä oppimista. Nämä oppimisen

työkalut voidaan valjastaa tehokkaasti käyttöön, kun ympäristö tukee kokonaisvaltaisesti oppijan oppimishalua.

Aikuisen oppiminen 3D-tulostuksen prosesseissa rakentuu itseohjautuvuuden, kokemuksellisuuden ja reflektiivisyyden kautta. Oppija ei pelkää seurata ohjeita, vaan toimii aktiivisesti ohjaten omaa oppimisprosessiaan. Oppimisessa esiintyi taipumus etsiä tietoa laitteiden käytöstä eri lähteistä ja soveltaa löydettyä tietoa käytäntöön. Nämä havainnot ovat linjassa Saundersin ja Wongin (2020) ajatusten kanssa andragogisesta tiedon kehittymisestä. Oppijan oppiminen perustui oma-aloitteisuuteen, kokemukseen ja oppijan kykyyn yhdistää tietoa käytännön tilanteisiin. Tässä tutkimuksessa yksittäinen oppimisprosessi laajeni osaksi laajempaa oppimiskokonaisuutta, jossa oppija muodosti tietoa myös aiemmin tehtyjen prosessien perusteella. Oppiminen näyttäytyy myös Longan (2020) esittelemien kehittymisen vaiheiden kautta. Alkuvaiheessa toiminta perustui ohjeiden seuraamiseen ja perustoimintojen hahmottamiseen. Osaamisen kehittyessä toiminta muuttui sujuvaksi kokonaisuudeksi, jolloin oppija hallitsi prosesseissa laitteiden käytön perusmekaniikat. Tämän perusteella oppimispolkuja 3D-tulostuksessa tulisi rakentaa siten, että ne tarjoavat oppijalle hänen taitotasoonsa nähden sopivasti haastetta. Yksi oppimisen merkittävä piirre oli oman toiminnan reflektointi. Korkon ja Ketosen (2023) ajatusten mukaisesti oppija reflektoi omaa toimintaansa 3D-tulostuksen prosesseissa. Tämä toiminnan reflektio mahdollisti osaamisen kehittymistä Longan (2020) aikuisen osaamisen kehittymisen mallin mukaisesti. Tämän tutkimuksen kontekstissa osaamisen kehittyminen painottui oppimisen assosiativiseen vaiheeseen, jossa käyttäjä osaa käyttää ohjelmistoja melko hyvin perustasolla. Tällä tasolla oppijan reflektion tukeminen on tärkeää hänen osaamisensa kehittymisen ja uuden tiedon rakentumisen kannalta.

8.2 Pohdinta tutkimuksen luotettavuudesta

Koska tutkimuksen aineisto koostettiin testiluontoisesti eri valmistustekniikoita kokeilemalla, on tärkeää pohtia, miten tutkijan omat käsitykset ja kokemukset vaikuttavat aineiston muodostamiseen ja tulkintaan. Laadullisessa tutkimuksessa tutkijan rooli ei ole koskaan täysin neutraali, ja subjektiivisuus on osa tutkimusprosessia (Eskola & Suoranta, 2008, ss. 18-21). Tämä voi aiheuttaa näkökulman vinoumaa, mikä on huomioitava tutkimuksen luotettavuutta arvioitaessa. Aineistonkeruun yhteydessä syntyvät tulkinalliset valinnat voivat vaikuttaa siihen, millaiset havainnot korostuvat ja millaiset jäävät vähemmälle huomiolle

(Hirsijärvi ym., 2009, ss. 160-164). Tätä vinoumaa on pyritty minimoimaan selkeällä roolijaolla, jossa toinen tutkijoista kokosi tutkimusaineiston testaamalla eri valmistustekniikoita ja toinen analysoi aineiston laadullisin menetelmin. Tällainen työnjako tukee laadullisen tutkimuksen luotettavuutta, koska se erottaa kokemuksen tuottamisen ja tulkinnan toisistaan sekä vähentää yksittäisen tutkijan vaikutusta analyysiin (Hirsijärvi ym., 2009, ss. 226-231). Lisäksi Roolijako vahvistaa analyysin läpinäkyvyyttä ja systemaattisuutta, mikä on keskeistä laadullisen tutkimuksen arvioinnissa (Tuomi & Sarajärvi, 2017, ss. 122-126)

Sisällönanalyysin luotettavuutta vahvistettiin noudattamalla Tuomen ja Sarajärven (2017, ss. 117-118; 133-135) esittämiä analyysin vaiheita ja periaatteita. Analyysiprosessi eteni aineistolähtöisesti ja koodausta tehtiin vaiheittain. Tämä tukee analyysin jäljitettävyyttä. Lisäksi tutkimuksen reflektiivisyyttä vahvistettiin dokumentoimalla tutkijan omia havaintoja ja tulkintoja prosessin aikana. Reflektiivisyys on keskeinen osa laadullisen tutkimuksen uskottavuutta, sillä se tekee tutkijan tulkintaprosessin näkyväksi ja auttaa tunnistamaan omia ennako-oletuksia (Syrjälä ym., 1995, ss. 177-120)

8.3 Pohdinta tutkimuksen etiikasta

Tutkimusetiikka on olennainen osa kaikkea tieteellistä tutkimusta. Sen tarkoituksena on varmistaa, että tutkimus toteutetaan rehellisesti, vastuullisesti ja luotettavasti.

Tutkimusetiikkaan liittyvät pohdinnat eivät ole irrallinen osa tutkimusta, vaan kietoutuvat jokaiseen vaiheeseen tutkimusprosessissa. Etiikka kulkee mukana aiheen valinnassa, aineiston keräämisessä, analysoinnissa ja tulosten raportoinnissa. (Tuomi & Sarajärvi, 2017, s. 150)

Tutkimusetiikan periaatteisiin kuuluu rehellisyys, huolellisuus ja tarkkuus. Tämä tarkoittaa sitä, että tutkija ei saa vääristellä aineistoa tai muokata tuloksia haluamansa kaltaisiksi. (Tuomi & Sarajärvi, 2017, s. 150) Viitaten edelliseen, oman tutkimuksemme kannalta on hyvä ottaa huomioon, että pyrimme pysymään mahdollisimman objektiivisinä sen suhteen mitä missäkin tutkimuksen vaiheessa teimme. Pyrimme toimimaan ilman henkilökohtaisia tunteita tai ennakkoluuloja.

Tässä tutkimuksessa eettiset kysymykset liittyvät erityisesti aineiston keruuseen ja raportointiin. Koska aineisto on kerätty päiväkirjamallilla, se sisältää subjektiivisia kokemuksia ja havaintoja. Tämä tuo tutkimukseen merkittävän henkilökohtaisen

ulottuvuuden. Otimme tämän näkökulman tutkimusaineistoa kerätessämme huomioon siten, että toinen tutkijoista keräsi tutkimusaineistoa ja toinen analysoi kerätyn aineiston. Näin saimme vähennettyä henkilökohtaisten näkemysten tai tuntemusten kertautumista esimerkiksi tiettyä valmistusmenetelmää kohtaan. Tällä menetelmällä saimme vähennettyä riskiä tutkimustulosten kumuloituvalla vääristymisellä henkilökohtaisten näkemysten tai tuntemusten kannalta.

8.4 Jatkotutkimusideat

Tämä tutkimus toteutettiin aikuisen oppimisen näkökulmasta. Sen takia tulee pohtia, miten lisäävän valmistuksen prosesseja voitaisiin edelleen siirtää tarkoituksenmukaisesti kohti perusopetuksen kontekstia. Myös valmistusteknologioiden mielekkyys opiskelijan oppimisen tai opetusresurssien näkökulmasta tutkittuna voisi olla kiinnostava näkökulma jatkojalostaa tutkimusta. Esimerkiksi näkökulmia 3D-tulostuksen käyttöön perusopetuksessa voisi saada arvioimalla laajalla otannalla opettajien tai opiskelijoiden kokemaa asennetta tätä valmistusmenetelmää kohtaan. Tällaisella tutkimusotteella voitaisiin saada perusteluja sille, miksi jokin valmistustapa 3D-tulostuksen piirissä on toista suositumpi. Tämä voisi antaa myös mahdollisuuden luoda opettajille tarvetta vastaavaa koulutusta. Asennoitumista voitaisiin tutkia motivaatiotekijöiden kautta. Esimerkiksi havainnoimalla, minkä oppimisprofiilin oppilaat mahdollisesti käyttävät mitäkin valmistusmenetelmää ja minkälainen suhtautuminen heillä on kokonaisvaltaisesti käsityötä tai tiettyä valmistusmenetelmää kohtaan.

Koska Prusa on uudempaa teknologiaa verrattuna Ultimaker tulostimiin, päädyimme pääosin tekemään mallien tulostustyötä Prusan 3D-tulostimella ja ohjelmistoilla. On huomioitavaa, että kokemuksemme mukaan esimerkiksi tulostusnopeus on huomattavasti nopeampaa uudemmilla laitteilla, joka edisti esimerkiksi tämän työn aineistonkeruuprosessia. Tutkijoiden subjektiivisten kokemusten mukaan peruskoulun käsityössä esiintyy merkittävästi esimerkiksi Ultimaker 3 ja vastaavan teknologian ajanjakson tulostimia. Tämän takia jatkossa olisi syytä tutkia sitä, miten eri tulostusnopeudella operoivat tulostimet vaikuttavat työskentelyn kulkuun peruskoulu kontekstissa. Asiaa voitaisiin selvittää esimerkiksi seuraavanlaista kysymystä hyödyntäen: Onko peruskoulukontekstissa nopeammasta tulostusteknologiasta merkittävää hyötyä opetusympäristössä 3D-tulostuksen menetelmiä opiskeltaessa? Tätä tutkimusidea voidaan jakaa myös pienempiin alaosiin siten, että selvitetään esimerkiksi opetuskäytössä

olevien tulostinten tulostusnopeutta verrattuna toisiinsa, jonka jälkeen voitaisiin toteuttaa edellä mainitun kaltainen tutkimus tulostusnopeuksien pedagogisista vaikutuksista.

8.5 Tutkimuksen kokonaismerkitys

Tutkimuksen perusteella 3D-tulostuksen oppimisympäristö on kokonaisuus, jossa teknologiset välineet ja oppijan toiminta yhdistyvät toisiinsa. Kun oppimisympäristö tukee kokeilua, sallii epäonnistumiset ja rakentuu vuorovaikutukselle, voi oppija keskittyä oppimiseen ilman painetta. Tällöin oppimisympäristöä voidaan kuvailla oppimisen harmonisena kehtona, jossa oppiminen rakentuu turvallisesti, mutta tavoitteellisesti teknologian ja oikea-aikaisen ohjauksen tukemana. Tämä korostaa sitä, että valmistusmenetelmien arvo ei ole riippuvainen yksittäisestä välineistä, vaan tavasta tehdä ja hyödyntää koko oppimisprosessia.

Lähteet

- Agocs, C., Hanon, M. & Zsidai, L. (2024). A comprehensive review of fused deposition modeling (FDM) method using PLA, ABS, and PET-G polymers. *Gradus*, 11(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.47833/2024.1.ENG.007>
- Bisht, A. & Vaishya, R. (2022). A comprehensive detailed review of additive manufacturing (3D printing) processes, application and future aspects. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 3(6), 4095–4105.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3844/ajassp.2019.244.272>
- Choi, H. & Kim, J. (2018). Implications for activating 3D printer use for education in elementary and secondary schools. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(4 - 2), 1234 - 1245. <https://doi.org/https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.4-2.5722>
- Cohen, J., Jones, W., Smith, S. & Calandra, B. (2017). Makification: Towards a framework for leveraging the maker movement in formal education. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*. Waynesville, NC USA: Association for the Advancement of Computing in Education, 26(3), 217–229. <https://doi.org/https://www.learntechlib.org/p/174191/>
- Cohen, L. M. (2000). *Research Methods in Education*. Lontoo: RoutledgeFalmer.
- Deák, C. & Kumar, B. A. (2024). A systematic review of STEAM education's role in nurturing digital competencies for sustainable innovations. *Education Sciences*, 14(3).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/educsci14030226>
- El Mehtedi, M., Buonadonna, P., El Mohtadi, R., Loi, G., Aymerich, F. & Carta, M. (2024). Optimizing milling parameters for enhanced machinability of 3D-printed materials: An analysis of PLA, PETG, and carbon-fiber-reinforced PETG. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/jmmp8040131>
- Eskola, J. & Suoranta, J. (2008). *Johdatus laadullisen tutkimukseen*. Tampere: Vastapaino.
- Favorin, J. (2015). *3D-MALLINTAMINEN JA -TULOSTAMINEN*. Tampere: Tampereen yliopiston normaalikoulu. Noudettu osoitteesta
https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/98028/3d_mallintaminen_%20ja_tulostaminen_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gibson, I., Rosen, D., Strucer, B. & Khorasani, M. (2021). *Additive Manufacturing Technologies*. Springer International Publishing.
- Hirsijärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2009). *Tutki ja kirjoita*. Helsinki: Tammi.
- Kalani, H. & Horne, R. (2014). *3D Printing For Dummies*. John Wiley & Sons.
- Kovacik, P. (2022). Possibilities of 3D printing as modern technology using at education. *ournal of Education, Technology Science and Computer*, 3(33), 92–100.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15584/jetacomps.2022.3.10>

- Kristiawan, R. B., Imaduddin, F., Ariawan; Ubaidillah & Arifin, Z. (2021). A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. *De Gruyter*(11), 639–649. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>
- Körkkö, M. & Ketonen, L. (2023). Itsenäinen osaamisalue vai kaikkien taitojen äiti – Reflektiivisyyden merkitys opettajan osaamiselle. *Kasvatus & Aika*, 17(1), 184–202. <https://doi.org/https://doi.org/10.33350/ka.116947>
- Li, C., Ramakrishna, S. & Singh, S. (2018). A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95, 2281–2300. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00170-017-1345-3>
- Liu, Z., Jiang, Q., Zhang, Y., Li, T. & Zhang, H.-C. (2016). Sustainability of 3D printing: A critical review and recommendations. *Proceedings of the ASME 2016 International Manufacturing Science and Engineering Conference (MSEC2016)*. Charlotte, NC: ASME. Noudettu osoitteesta <https://doi.org/10.1115/MSEC2016-8618>
- Lodi, M.; & Martini, S. (2021). Computational Thinking, Between Papert and Wing. *Science & Education*, 30(4), 883–908. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11191-021-00202-5>
- Lonka, K. (2020). *Oivaltava oppiminen*. Otava.
- Miettinen, R. (2000). Konstruktivistinen oppimisenäkemyks ja esineellinen toiminta. *Aikuiskasvatus*, 20(4), 276–288.
- Opetushallitus. (2014). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014.
- Parkkinen, T. (2017). Hittilelu räjäytti 3D-tulostamisen suosion koulussa - "Valitut jouduttiin arpomaan". <https://doi.org/https://yle.fi/a/3-9640954>
- Pearson, H. A., & Dubé, A. K. (2021). 3D printing as an educational technology: Theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice. *Education and Information Technologies*, 27, 3037–3064. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10639-021-10733-7>
- Salmi, M. (26. 9 2023). <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/totta-vai-tarua-3d-tulostuksella-voidaan-valmistaa-avaruusraketti>. (A. yliopisto, Toimittaja) Noudettu osoitteesta <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/totta-vai-tarua-3d-tulostuksella-voidaan-valmistaa-avaruusraketti>: <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/totta-vai-tarua-3d-tulostuksella-voidaan-valmistaa-avaruusraketti>
- Saunders, L. & Wong, M. (2020). Teoksessa *Instruction in Libraries and Information Centers* (ss. 37–46). Windsor & Downs Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.21900/wd.12>
- Semenov, A. (2017). Seymour Papert and us: Constructionism as the educational philosophy of the 21st century. *Educational Studies Moscow*(1), 269–294. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2017-1-269-294>

- Soomro, S. A., Casakin, H., Nanjappan, V. & Georgiev, G. V. (2023). Makerspaces fostering creativity: A systematic literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 530–548. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10956-023-10041-4>
- Syrjälä, L., Ahonen, S., Syrjäläinen, E. & Saari, S. (1995). *Laadullisen tutkimuksen työpajoja*. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Thalmann, S., Fessl, A. & Pammer-Schindler, V. (2020). How large manufacturing firms understand the impact of digitization: A learning perspective. *Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 4806–4815. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/10125/64332>
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2017). Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 103, 117.
- Vosniakos, G., Michael, S. & Vasileiou, A. (2017). Digital manufacturing process chain for one-off replacement parts: A precision casting case study. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 1(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jmmp1020017>
- Wu, D., Rosen, D., Wang, L. & Schaefer, D. (2015). Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation. *Computer-Aided Design*, 59, 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.07.006>
- Wu, D., Terpenney, J. & Schaefer, D. (2016). Digital design and manufacturing on the cloud: A review of software and services. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 31(1), 104–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0890060416000305>
- Yusra, A., Neviyarni, S. & Erianjoni, E. (2022). A review of behaviorist learning theory and its impact on the learning process in schools. *International Journal of Educational Dynamics*, 5(1), 81-91. <https://doi.org/10.24036/ijeds.v5i1.373>