



# Ainetta lisäävän valmistuksen hyödyntäminen robotiikan opetuksessa

Timo Seppänen

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Toukokuu 2023

Tekniikan ala

Robotiikka YAMK

**Seppänen, Timo**

## **Ainetta lisäävän valmistuksen hyödyntäminen robotiikan opetuksessa**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2023, 78 sivua.

Tekniikan ala. Robotiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

### **Tiivistelmä**

Opinnäytetyö käsittelee robotiikan opetusta ammattioppilaitoksissa ja sen työelämälähtöisyyden tärkeyttä. Ammattioppilaitoksissa opetetaan robotiikkaa, 3D-mallinnusta ja 3D-tulostusta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten oppilaitokset voivat hyödyntää ainetta lisäävää valmistusta ja tuottamaan omilla 3D-tulostuslaitteistoilla tarvittavia komponentteja ja osakokoonpanoja tukemaan robotiikan opetusta. Toimeksiantajana opinnäytetyössä oli Ammattiopisto Samiedu.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin laadullista kehittämistutkimusta. Työssä keskityttiin tarkastelemaan teollisuus- ja yhteistyörobotteja ja niiden eri sovelluksia kappaleenkäsittelyssä. Tutkimuksessa kartoitettiin ainetta lisäävän valmistuksen hyödyntämistä robotiikan opetuksessa verkkokyselyn avulla. Kyselyn kautta haettiin kohderyhmältä mielipiteitä, mielikuvia ja erilaisia näkökulmia lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista robotiikan opetukseen. Kohderyhmänä tutkimuksessa olivat Suomessa toimivien ammattioppilaitosten robotiikkaa opettava henkilöstö kone- ja tuotantotekniikan sekä sähkö- ja automaatioalan koulutusaloilta.

Tuloksena tutkimuksessa saatiin esimerkkejä erilaisista robotiikkaan liittyvistä komponenteista. Tulosten perusteella koostettiin esimerkkejä robotiikassa käytettävistä komponenteista, joita voidaan valmistaa ainetta lisäävillä valmistusmenetelmillä. Lisäksi tulosten perusteella rakennettiin kappaleenkäsittelyharjoitus robotille, jossa kaikki komponentit on valmistettu 3D-tulostamalla. Opinnäytetyön tulosten perusteella oppilaitokset voivat hyödyntää 3D-tulostusta robotiikan opetuksessa valmistamalla erilaisia robotiikkaan liittyviä komponentteja ja harjoitustehtäviä. Tutkimustulokset toimivat myös pohjana herättämään ajatuksia ainetta lisäävän valmistuksen hyödyistä niin robotiikan kuin muidenkin alojen opetuksen tukena.

### **Avainsanat (asiasanat)**

3D-tulostus, robotiikka, koulutus

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

**Seppänen, Timo**

### **Utilising additive manufacturing in robotics education**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 78 pages.

Engineering and technology. Master's Degree Programme in Robotics. Master's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The thesis deals with the teaching of robotics in vocational schools and the importance of its work-life orientation. Robotics, 3D modeling, and 3D printing are taught in vocational schools. The aim of the research was to find out how educational institutions can utilize additive manufacturing to produce the necessary components and subassemblies for robotics education using their own 3D-printing equipment. The client for the thesis was the Samiedu Vocational College.

Qualitative developmental research was used as the research method. The focus was on examining industrial and collaborative robots and their various applications in piece handling. The study surveyed the use of additive manufacturing in robotics education through an online questionnaire. The questionnaire sought opinions, perceptions, and various perspectives on the possibilities of additive manufacturing in robotics education from the target group. The target group for the study was teaching staff in Finland's vocational schools in the fields of machine and production technology as well as electrical and automation engineering, teaching robotics.

The results of the study provided examples of various components related to robotics. Based on the results, examples of components used in robotics that can be manufactured using additive manufacturing methods were compiled. In addition, a piece handling exercise for the robot was built, in which all components were 3D printed. Based on the results of the thesis, educational institutions can utilize 3D printing in robotics education by producing various components and exercises related to robotics. The research results also serve as a basis for generating ideas about the benefits of additive manufacturing as a support for teaching in robotics as well as other fields.

### **Keywords/tags (subjects)**

3D-printing, robotics, education

### **Miscellaneous (Confidential information)**

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma</b> .....	<b>5</b>
2.1	Tutkimusongelma .....	5
2.2	Tutkimusmenetelmä.....	6
2.3	Kohderyhmä ja aineistonkeruumenetelmä .....	7
2.4	Analyysimenetelmä .....	8
2.5	Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus .....	8
2.6	Tietoperusta .....	9
<b>3</b>	<b>Robotiikka</b> .....	<b>9</b>
3.1	Teollisuusrobotti.....	9
3.2	Robottityypit .....	10
3.3	Robotin tarttijat.....	16
3.4	Teollisuusrobotit tuotannossa .....	20
<b>4</b>	<b>Ainetta lisäävä valmistus</b> .....	<b>21</b>
4.1	Lisäävä valmistus .....	21
4.2	Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät .....	22
4.3	Lisäävä valmistus eri teollisuuden aloilla.....	28
4.4	Lisäävän valmistuksen prosessi.....	30
4.5	Näkökohtia tulostettavan kappaleen suunnitteluun .....	32
4.6	Pursotustekniikassa käytettävät materiaalit.....	33
4.7	Ainetta lisäävän valmistuksen turvallisuus .....	35
4.8	Suunnitteluohjelmistot lisäävässä valmistuksessa.....	36
<b>5</b>	<b>Robotiikan koulutus ammatillisessa koulutuksessa</b> .....	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>Tutkimustulokset</b> .....	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Johtopäätökset</b> .....	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Ratkaisumalleja robotiikan opetukseen</b> .....	<b>42</b>
8.1	3D-tulostuksen hyödyntäminen robotin tarttujassa.....	42
8.2	Kappaleiden hallinta robotin työalueella.....	45
8.3	Kokoonpanoharjoitus kappaleenkäsittelyrobotille .....	48
<b>9</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>56</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>58</b>
	<b>Liitteet</b> .....	<b>62</b>
	Liite 1. Näkökohtia tulostettavan kappaleen suunnitteluun .....	62

Liite 2. Sähköpostikyselyn saatekirje.....	68
Liite 3. Kyselyn vastaukset .....	69
Liite 4. Kokoonpanoharjoituksen tehtävä .....	78

## Kuviot

Kuvio 1. Suorakulmaisen robotin rakenne .....	11
Kuvio 2. Sylinterirobotin rakenne .....	12
Kuvio 3. SCARA-robotin rakenne .....	13
Kuvio 4. Rinnakkaisrakenteisen robotin rakenne .....	13
Kuvio 5. Napakoordinaatistorobotin rakenne .....	14
Kuvio 6. Kiertyvänivelisen robotin rakenne .....	15
Kuvio 7. Yhteistyörobotti ja ihminen jaetussa työtilassa .....	16
Kuvio 8. Kaksisormitarttuja .....	17
Kuvio 9. Alipainetarttuja .....	18
Kuvio 10. Magneettitarttuja .....	19
Kuvio 11. Erikoistarttuja .....	20
Kuvio 12. Sideaineen suihkutuspää .....	23
Kuvio 13. Suorakerrostusmenetelmä .....	24
Kuvio 14. Pursotusmenetelmä .....	25
Kuvio 15. Materiaalin suihkutuspää .....	25
Kuvio 16. Jauhepetisulatus .....	26
Kuvio 17. Kerroslaminointi .....	27
Kuvio 18. Valokovetus altaassa laskevalla rakennusalustalla .....	28
Kuvio 19. 3D tulostettu tuoli .....	29
Kuvio 20. Optimoitu kappale .....	31
Kuvio 21. Tulostusmateriaalien fyysisiä ominaisuuksia .....	35
Kuvio 22. Erilaisia kaksisormitarttujen leukoja.....	43
Kuvio 23. Leuat leveämpää tartuntaa varten.....	43
Kuvio 24. Koneistettuja tarttujen leukoja .....	44
Kuvio 25. Perusleukoihin vaihdettavia tulostettuja leukoja .....	44
Kuvio 26. 3D-tulostettu alipainetarttuja .....	45
Kuvio 27. Joustavat leuat .....	45
Kuvio 28. Kappaleiden syöttö robotille.....	46
Kuvio 29. Ladontatelineitä.....	47

Kuvio 30. Orientointiteline .....	47
Kuvio 31. Kiinnikkeitä antureille .....	48
Kuvio 32. Harjoituksessa käsiteltävät kappaleet .....	49
Kuvio 33. Kappaleiden syöttöasema .....	50
Kuvio 34. Kappaleen kokoonpanoasema .....	50
Kuvio 35. Tiivistemassatyökalu ja teline .....	51
Kuvio 36. Pulttien syöttölaite .....	51
Kuvio 37. Robottitarttujan leuat.....	52
Kuvio 38. Kokoonpanoharjoituksen alkutilanne.....	53
Kuvio 39. Tiivistemassan levitys.....	53
Kuvio 40. Pulttien asettaminen .....	54
Kuvio 41. Kokoonpanoharjoituksen lopputilanne .....	55

## **Taulukot**

Taulukko 1. Ainetta lisäävät menetelmäluokat.....	22
Taulukko 2. Tulostusmateriaalien ominaisuuksia.....	34

# 1 Johdanto

Ammattioppilaitoksissa opetetaan nykyisin robotiikkaa ja 3D-tulostusta. Robotiikan opetuksen tulee olla työelämälähtöistä ja harjoitustehtävien tulisi olla työelämää mukailevia. Pelkkä robottikäsi-varren liikuttelun ohjelmointi ei vielä vastaa työelämän sovelluksia, vaan roboteille on luotava harjoitustehtäviä, joiden avulla opiskelu on mielekästä.

Tämä opinnäytetyö käsittelee ainetta lisäävää valmistusta ja robotiikan opetusta toisen asteen koulutuksessa ammattioppilaitoksissa. Toimin Ammattiopisto Samiedussa kone- ja tuotantotekniikan opettajana ja viime vuosina työhöni on tullut mukaan robotiikan ja 3D-mallinnuksen ja -tulostuksen opetusta. Työssäni olen huomannut että ainetta lisäävää valmistusta voi hyödyntää monella eri tavalla robotiikassa ja robotiikan opetuksessa. Toimeksiantajana tässä opinnäytetyössä oli Ammattiopisto Samiedu.

Ammattioppilaitoksissa on robotteja, 3D-tulostuslaitteistoja ja 3D-mallinnusohjelmistoja, mutta mikä on opetushenkilöstön osaamisen taso näiden laitteiden ja ohjelmistojen käyttöön opetuksessa? Uusia laitteita ja ohjelmistoja hankitaan koulutukseen, ja osaltaan opetushenkilöstössä on aina vaihtuvuutta. Lisäksi aina läsnä oleva kiire ei anna juurikaan aikaa perehtyä syvällisemmin uusiin laitteistoihin ja ohjelmistoihin. Myöskään suunnittelu-aikaa ei ole riittävästi käytettävissä monipuolisten oppimistehtävien laatimiseen.

Koska oppilaitoksissa opetetaan 3D-tulostusta ja robotiikkaa, on käytettävissä myös laitteistoja ja ohjelmistoja tähän tarkoitukseen. Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia, millä tavalla ainetta lisäävää valmistusta on mahdollista hyödyntää robotiikan opetuksessa. Opinnäytetyön tulosten perusteella oppilaitokset voivat hyödyntää 3D-tulostuslaitteistoaan valmistamalla robotiikan opetukseen mm. erilaisia robotiikkaan liittyviä komponentteja tai harjoitustehtäviä.

Nykyisin ammattioppilaitoksissa on tarjolla robotiikan ja 3D-mallinnuksen ja -tulostuksen koulutusta eri tutkinnoissa ja tutkinnon osissa. Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnossa on valittavissa robotin käyttö -tutkinnon osa sekä 3D-valmistusmenetelmän käyttö -tutkinnon osa. Myös sähkö- ja automaatioalan perustutkinnossa on mahdollista opiskella robotiikkaa teollisuusrobotin asennus ja käyttö -tutkinnon osassa.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin laadullista kehittämistutkimusta. Aihetta rajattiin robotiikassa käsittelemään teollisuus- ja yhteistyörobotteja, jotka ovat tyypillisiä hankintoja oppilaitoksiin. Robotiikan sovelluksista keskityttiin kappaleenkäsittelyyn. Ainetta lisäävän valmistuksen menetelmistä keskityttiin FDM-valmistukseen, joka on yleinen ainetta lisäävä valmistusmenetelmä ja jonka tyyppisiä laitteistoja yleensä oppilaitoksiin hankitaan. Lisäksi näitä aiheita tarkasteltiin koulutuksellisista lähtökohdista.

Opinnäytetyössä selvitettiin verkkokyselyllä onko 3D-tulostusta hyödynnetty robotiikan opetuksessa, ja jos on, niin millä tasolla. Lisäksi kartoitettiin, minkä tyyppisiä harjoitustehtäviä oppilaitoksissa on käytössä ja minkälaisia tehtäviä haluttaisiin opetukseen. Kartoituksen kohteena oli mahdollisimman suuri otos Suomessa toimivista ammattioppilaitoksista.

Opinnäytetyön lopputuloksena vastattiin kyselyn kautta tulleeseen palautteeseen ja koostettiin erilaisia robotiikkaan liittyviä 3D-tulostettavia komponentteja, lisälaitteita ja esimerkkiharjoitustehtävä. Lisäksi hyödynnettiin työssä hankkimaani asiantuntijuutta ja tuotiin mukaan tekijän näkemyksiä 3D-tulostuksen hyödynnettävyydestä robotiikan koulutuksessa.

## 2 Tutkimusasetelma

### 2.1 Tutkimusongelma

Tässä työssä pyrittiin selvittämään, miten ainetta lisäävää valmistusta on mahdollista hyödyntää robotiikan opetuksessa. Kanasen (2017, 24) mukaan tutkimus aloitetaan määrittelemällä ongelma, joka antaa perustan ja helpottaa tutkimuksen toteutusta. Tutkimuskysymykset johdetaan ongelmasta ja niiden avulla pyritään ratkaisemaan ongelma.

Pääkysymyksenä tässä työssä oli: *Miten ainetta lisäävää valmistusta voi hyödyntää robotiikan opetuksessa?* Lisäkysymyksenä oli: *Minkä tyyppisiä harjoitustehtäviä ja niihin liittyviä komponentteja tarvitaan robotiikan opetuksessa ja mitä näistä voidaan valmistaa ainetta lisäävällä valmistusmenetelmällä?*

Kanasen (2017) mukaan tutkimusongelmaa on usein rajattava hallinnan vuoksi, mutta liika rajaaminen voi irrottaa sen kontekstistaan. Rajaus tarkoittaa yhden polun valintaa monista

mahdollisuuksista, mikä helpottaa ilmiön hallintaa ja ratkaisun löytämistä. Rajausta määrittää, mitkä tekijät otetaan huomioon ja mahdollistaa ongelman hallinnan. Rajaaminen tapahtuu yleensä tutkimuksen edetessä ja ongelman hahmottuessa. Liian aikainen rajausta ei ole suositeltavaa, koska se voi johtaa umpikujaan. (Kananen, 57-58.) Tässä tutkimuksessa aihetta rajattiin kone- ja tuotantotekniikan ja sähkö- ja automaatiotekniikan opinnoissa tyypillisesti käytössä oleviin robottityyppeihin. Näitä ovat kiertyväniveliset teollisuusrobotit ja yhteistyörobotit. Robottiikan sovelluksista haettiin ratkaisuja pääasiassa kappaleenkäsittelyyn. Ainetta lisäävän valmistuksen osalta keskityttiin muovin tulostamiseen FDM-menetelmällä, joka on yleinen käytössä oleva menetelmä myös oppilaitoksissa.

## 2.2 Tutkimusmenetelmä

Kanasen (2017, 35) mukaan laadullinen tutkimus käyttää sanoja ja lauseita tarkoituksenaan löytää ilmiöitä ilman tilastollisia tai muita määrällisiä menetelmiä. Sen tavoitteena on kuvailla, ymmärtää ja tulkita tutkittavia ilmiöitä syvällisesti, mutta ilman yleistettävyyttä kuten määrällisessä tutkimuksessa. Laadullisen tutkimuksen prosessi ei ole yhtä suoraviivainen kuin määrällisen tutkimuksen, ja analyysivaihe on syklinen ilman kvantitatiivisen tutkimuksen tiukkoja tulkintasääntöjä.

Laadullisessa tutkimuksessa pyritään saamaan valitulta ryhmältä tai yksilöltä sellaista tietoa, mikä ei ole suoraan kysyttävissä tai vaatii asian pohtimista. Kyseessä ei ole numeerisesti mitattavissa tai yleistettävissä olevan, vaan valittujen vastaajien kokemuksta tai käsitystä kuvaavan informaation etsiminen. Tutkittavilta haetaan tietoa, josta tutkijalla on etukäteen mahdollisesti vain aavistus. (Ronkainen & Karjalainen 2008, 18.)

Kehittämistutkimus pyrkii muutokseen kehittämällä tuotetta, menetelmää tai organisaatiota. Se voi yhdistää kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusta tai käyttää pelkästään kvalitatiivista lähestymistapaa. Kehittämistyöhön verrattuna kehittämistutkimus vaatii tutkimuksellista otetta ja tutkimusosion, ja se poikkeaa perinteisestä tutkimuksesta siinä, että siinä pyritään myös ongelman poistamiseen. Toisin kuin perinteinen tutkimus, kehittämistutkimus alkaa siitä, mihin perinteinen tutkimus päättyy. (Kananen 2015, 39-40.)

Tässä opinnäytetyössä haettiin kohderyhmältä ajatuksia, ideoita, näkökulmia ja mielipiteitä ainetta lisäävän valmistuksen hyödyntämisestä robotiikan opetuksessa. Vastausten perusteella pyrittiin

löytämään opetukseen soveltuvia ratkaisuja, joita voi toteuttaa oppilaitoksissa omilla 3D-tulostuslaitteilla. Tavoitteena oli löytää ja luoda esimerkkejä, joita voi käyttää sellaisenaan tai jotka voivat olla pohjana omille ideoille opetuksessa. Tutkimusmenetelmänä tässä opinnäytetyössä käytettiin laadullista kehittämistutkimusta.

### **2.3 Kohderyhmä ja aineistonkeruumenetelmä**

Kohderyhmänä tämän opinnäytetyön aineistonkeruussa olivat suomessa toimivien ammattioppilaitosten kone- ja tuotantotekniikan ja sähkö- ja automaatioalan opetushenkilöstö. Kyseisiin tekniikan aloihin liittyy ammattioppilaitoksissa robotiikan opetus. Aineisto, jota kerättiin, koostui edellä mainitulle kohderyhmälle osoitetun verkkokyselyn vastauksista. Valmista aineistoa ei ollut käytävissä, joten aineistoa jouduttiin keräämään kyselyn avulla. Aineistonkeruu suoritettiin verkko-pohjaisella kyselylomakkeella, tässä tapauksessa Webropol -kysely- ja raportointisovelluksella. Kyselyyn ohjattiin sähköpostin saatekirjeen kautta. Kyselyn kautta saatava aineisto oli luonteeltaan laadullista aineistoa, kuten esimerkiksi mielipiteitä, mielikuvia ja erilaisia näkökulmia.

Ronkaisen ja Karjalaisen (2008, 35-36) mukaan kyselyt voivat olla luonteeltaan strukturoituja eli jäsenneiltyjä tai avoimia. Kyselyssä voidaan käyttää myös molempia kyselytapoja. Jos tutkija käyttää strukturoitua kyselytapaa, on hänen tunnistettava tutkimuskohteensa hyvin, jotta kysymyksistä tulee mielekkäitä ja kysely rajaa näkökulmaa tutkittavaan ilmiöön. Kyselytutkimuksessa kannattaa käyttää avoimia kysymyksiä silloin, jos tarkoituksena on saada tutkimukseen pohjatietoja ideoinnin tai suunnittelun tueksi.

Kysely voi perustua avokysymyksiin, mutta kyselyn on oltava tällöin lyhyt ja avokysymykset on laadittava niin, että ne nivoutuvat toisiinsa ja muodostavat selkeän rakenteen. Avoimet kysymykset antavat paljon informaatiota tutkittavasta ilmiöstä, mutta avoimiin kysymyksiin pohjautuvissa kyselyissä vastausprosentti pienenee. Tämän vuoksi pääkysymyksiä on hyvä täydentää muilla kysymystyypeillä. (Ronkainen ym. 2008, 37.)

Kyselystä kannattaa tehdä sitä yksinkertaisempi, mitä vaikeammin vastaajat ovat motivoitavissa vastaamaan. Mikäli kysely vaikuttaa liian pitkältä, kannattaa miettiä mitä on pakko kysyä ja mitkä kysymykset ovat tutkimusongelman kannalta keskeisiä ja tätä kautta pyrkiä lyhentämään kyselyä.

Lyhyt kysely motivoi vastaamaan ja kyselystä jää lisäksi vastaajalle positiivinen mielikuva tutkimuksesta. (Ronkainen ym. 2008, 38-39.)

Tässä tutkimuksessa aineistonkeruumenetelmänä käytettiin avointa kyselyä. Lyhyt kysely motivoi vastaamaan kyselyyn, näin ollen kysymysten määrä päätettiin pitää mahdollisimman pienenä. Kysymysten määrä mainittiin myös saatekirjeessä. Kaikki kysymykset päätettiin esittää avokysymyksinä, jotta saataisiin erilaisia näkökulmia ja mielipiteitä tutkimusta varten. Kyselymenetelmään päädyttiin, jotta saataisiin kattava määrä vastauksia laajalta kohderyhmältä.

## **2.4 Analyysimenetelmä**

Tässä tutkimuksessa käytettiin laadullista sisällönanalyysimenetelmää. Laadullinen sisällönanalyysi ja teemoittelu ovat hyvin samankaltaisia ja usein niitä käytetään synonyymeinä. Sisällönanalyysin tarkoitus on tunnistaa, mistä aiheista, teemoista ja asioista aineisto koostuu. Esimerkiksi haastattelussa keskitytään siihen, mitä haastateltavat puhuvat, mediateksteissä käsiteltäviin aiheisiin ja valokuvien esittämiin asioihin. Sisällönanalyysissä ei yleensä tarkastella aineiston kieli- tai ilmaisu- tapaa systemaattisesti. (Kallinen & Kinnunen n.d.)

Tutkijan tekemä koodaus on keskeinen osa laadullista sisällönanalyysiä, joka perustuu sisällöllisten elementtien tunnistamiseen ja nimittämiseen aineistossa. Koodaus voi olla aineistolähtöistä, jolloin tutkija etsii aineistosta sellaisia kohtia, jotka kertovat tutkittavasta asiasta. Teksteissä nämä kohdat voivat vaihdella yksittäisistä ilmauksista pitkiin katkelmiin, kun taas kuva-analyysissä tutkija voi koodata joko pieniä yksityiskohtia tai kuvan kokonaisuutta. Teoriaohjatussa koodauksessa tutkija valitsee teoreettisen ymmärryksensä perusteella, mitkä seikat ovat kiinnostavia tutkittavassa aineistossa. (Kallinen & Kinnunen n.d.)

## **2.5 Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus**

Henkilöihin, joihin kysely kohdistui, selvitettiin saatekirjeessä tutkimuksen tarkoitus sekä miten aineistoa hallitaan. Osallistuminen kyselyyn oli luonnollisesti vapaaehtoista ja tapahtui nimettömästi. Vaikka aineistonkeruu koski oppilaitosten henkilöstöä, kysely järjestettiin niin, ettei vastauksia voitu kytkeä tiettyyn oppilaitokseen tai henkilöön. Näin menetellen tutkimuslupaa tässä työssä ei tarvittu. Myöskään salassa pidettävää aineistoa ei sisällynyt tähän tutkimukseen.

Tutkimusten luotettavuutta arvioidaan käyttäen luotettavuuskäsitteitä, jotka ovat mittareita tutkimustulosten laadun arvioimiseksi. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa luotettavuus voidaan arvioida ja laskea tarkasti, mutta laadullisessa tutkimuksessa luotettavuuden tarkastelu jää usein tutkijan arvion varaan. Kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuutta ei voida arvioida ja laskea samalla tavalla kuin kvantitatiivisessa tutkimuksessa. Laadullisessa tutkimuksessa luotettavuus on siis tutkijan arvioinnin ja näytön varassa, eikä objektiivisen luotettavuuden saavuttaminen ole käytännössä mahdollista. (Kananen 2017, 175.)

Yleiset luotettavuusmittarit tieteellisessä tutkimuksessa ovat reliabiliteetti ja validiteetti. Reliabiliteetti liittyy tulosten pysyvyyteen, kun taas validiteetti takaa, että tutkitaan oikeita asioita. Pysyvyys merkitsee sitä, että jos tutkimus toistetaan, saadaan samat tulokset. Tämä tarkoittaa sitä, että uusintamittaus vahvistaa alkuperäiset tutkimustulokset. (Kananen 2017, 175.) Tämän tutkimuksen luotettavuus pyrittiin varmistamaan mahdollisimman kattavalla kohderyhmällä ja tutkimuskysymyksistä johdetuilla kyselyn kysymyksillä.

## **2.6 Tietoperusta**

Tutkimukseen käytetty tietoperusta koostui robotiikkaan, ainetta lisäävään valmistukseen ja robotiikan opetukseen liittyvistä materiaaleista. Lähdeaineistona käytettiin sekä kotimaisia että kansainvälisiä lähteitä. Lähteinä toimivat pääasiassa kirjallisuus ja verkosta saatava materiaali, kuten esimerkiksi erilaiset artikkelit.

Käytetyt lähteet olivat ajankohtaisia ja antoivat viimeisintä tietoa tutkittavasta aiheesta. Tutkimuksessa käytettiin alkuperäisiä lähteitä. Alkuperäisten lähteiden käyttö varmisti, että tutkimus perustui luotettaviin ja tarkkoihin tietoihin, jotka ovat peräisin asiantuntijoilta. Verkkolähteiden osalta luotettavuuteen kiinnitettiin erityistä huomiota.

# **3 Robotiikka**

## **3.1 Teollisuusrobotti**

Tässä luvussa keskityn tarkastelemaan teollisuudessa käytettäviä robotteja. SFS-EN ISO10218-1 -standardi (2011, 12) määrittelee teollisuusrobotin seuraavasti: "Teollisuuden

automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva.” Kuivasen (1999) mukaan teollisuusrobotti on mekaaninen laite, joka siirtää työkalun kiinnityslaippaa halutulla tavalla. Kiinnityslaipan ja robotin jalustan välissä on tukivarsia, jotka yhdistyvät toisiinsa nivelien avulla. Nivelet saavat liikevoimansa servotoimilaitteilta, joita ohjataan takaisinkytkennän avulla. Robotin käyttämä liikerata voi perustua toimintaympäristön tapahtumiin, antureilta saatuun tietoon tai se voi olla kokonaan etukäteen määritetty. (Kuivanen 1999, 13.)

Teollisuusrobotit ovat kehittyneitä automaatiojärjestelmiä, joita ohjataan pääasiassa tietokoneen avulla. Robotin liikkeitä ohjaa tietokoneen valvonnassa oleva robottiohjain, johon on syötetty halutunlainen ohjelma. Ohjelmaa muuttamalla voidaan robotin liikeratoja ja toimintaa muuttaa. (Gupta, Arora & Westcott 2017, 399.)

Teollisuusrobotit koostuvat neljästä osajärjestelmästä, joita ovat mekaaninen yksikkö, virtalähde, ohjausjärjestelmä ja työkalu. Mekaanisella yksiköllä tarkoitetaan robotin liikkuvaa käsivartta ja kiinnitysjalustaa. Työkalut, kuten esimerkiksi tarrujat, on kiinnitetty robotikäsiarvassa olevaan työkalulaippaan. Virtalähteen tehtävänä on antaa robotille virtaa, mikä mahdollistaa robotin liikkumisen. Robotin käyttö voi olla hydraulista, pneumaattista tai sähköistä. Hydraulisia järjestelmiä käytetään raskaimmissa nostotehtävissä. Pneumatiikkaa käytetään usein tarttuvien kiinnittämiseen ja käyttämiseen. Ohjausjärjestelmä eli robottiohjain on robotin aivot. Ohjaimen tehtävänä on käynnistää ja koordinoita robotin liikkeitä ja toimintoja. Robottiohjaimen ohjelmointi on mahdollista suorittaa suoraan robotilla tai etäohjelmointina. Robotti käsittelee työkalua robottiohjelman edellyttämällä tavalla. Sovelluksesta riippuen työkaluna voi olla esimerkiksi tarttuja kappaleenkäsittelyä varten, hitsaustyökalu tai ruiskumaalaustyökalu. Työkalu voidaan integroida suoraan robotin mekaaniseen yksikköön tai liittää robottiin työkalulaipan avulla. (Gupta ym. 2017, 403-404.)

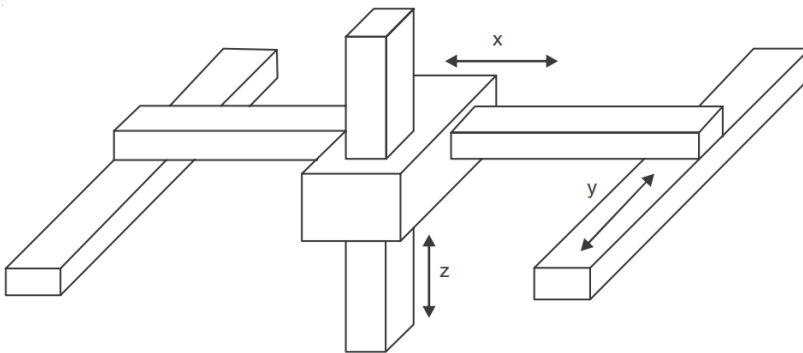
### **3.2 Robottityypit**

Teollisuusrobotti koostuu tyypillisesti jonkinlaisesta nivelrakenteesta. Teollisuudessa käytössä olevat robottityypit ovat suorakulmainen robotti, sylinterirobotti, scara-robotti, rinnakkaisrakenteinen robotti, napakoordinaatistorobotti ja kiertyvänivelinen robotti. Jokaisella robottityypillä on

erilainen työalue ja erilaisen rakenteen takia niillä on tietynlaisia etuja ja haittoja, jotka tulee huomioida robotin hankinnan yhteydessä. (Wilson 2015, 21.)

### Suorakulmainen robotti

Suorakulmaisessa robotissa, jota kutsutaan myös karteesiseksi robotiksi, on kolme toisiinsa nähden kohtisuorassa olevaa lineaarista liikeakselia X, Y ja Z kuvion 1 mukaisesti. X- ja Y-akselit ovat pituus- ja poikittaissuuntaisia liikkeitä ja Z-akseli on pystysuuntainen liike. Suorakulmaisia robotteja käytetään teollisuudessa mm. materiaalien käsittelyyn, tuotteiden kokoonpanoon ja liimaussovelluksiin. Etuina tämän tyyppisellä robottirakenteella on helppo ohjelmoitavuus ja käyttö sekä suurten kuormien käsittelykyky jäykän rakenteensa ansiosta. Suorakulmaisen robotin haittoina on robotin vaatima suuri käyttö- ja asennusalue sekä lineaariakselien ohjauspintojen suojauksen välttämättömyys pölyisissä ja syövyttävissä ympäristöissä. (Gupta ym. 2017, 415-416.)

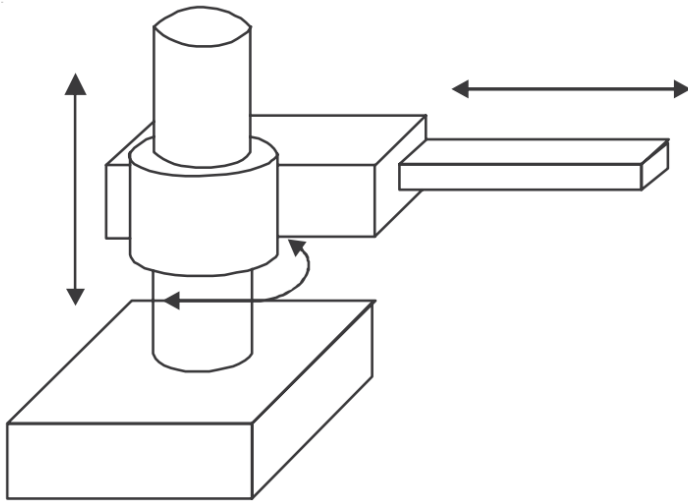


Kuvio 1. Suorakulmaisen robotin rakenne (Gupta ym. 2017)

### Sylinterirobotti

Sylinterirobotilla on kuvion 2 mukaisesti yksi kiertyvä ja kaksi lineaarista liikeakselia. Robotin runko koostuu vaakasuorasta käsivarresta, joka on asennettu pystysuuntaiseen pylvääseen. Pylväs kiertyy akselinsa ympäri ja vaakasuuntainen robotin käsivarsi liikkuu pituusakselinsa suunnassa sekä pylvään pituussuunnassa. Tämänkaltaisen jäykkä rakenne mahdollistaa raskaiden kuormien käsittelyn laajalla työalueella. Tyypillisesti sylinterirobotteja käytetään kokoonpanotehtävissä, pistehittausuksessa, työstökoneiden työkalujen käsittelyssä ja elektroniikkateollisuudessa. Sylinterirobotin etuja ovat suhteellisen helppo ohjelmointi, työskentelyalueen laajuus robotin ympärillä, raskaiden

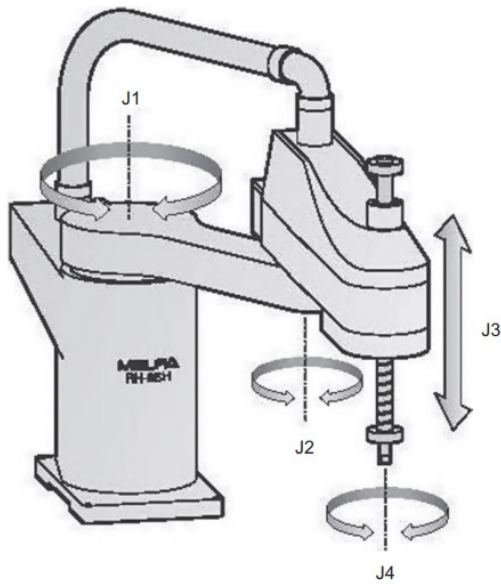
kuormien käsittely jäykän rakenteen ansiosta ja hyvä pääsy erilaisiin onteloihin ja ahtaisiin koneiden aukkoihin. Haittapuolena robotti ei ylety itsensä yläpuolelle, eikä pääse kurkottamaan esteiden ympärille. (Gupta ym. 2017, 416-417.)



Kuvio 2. Sylinterirobotin rakenne (Gupta ym. 2017)

### SCARA-robotti

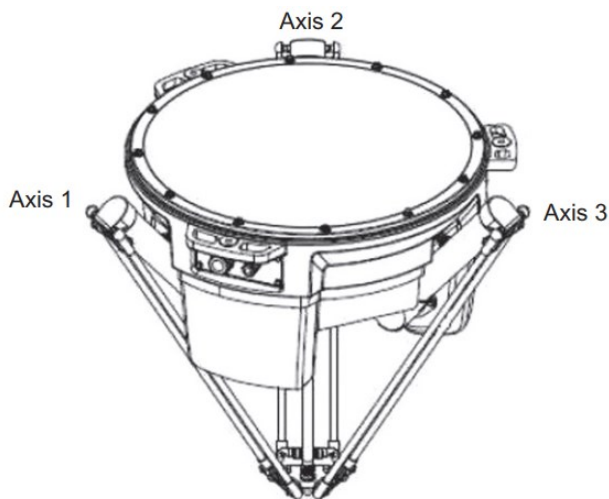
SCARA on lyhenne sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm. Robotti koostuu kolmesta kierto- ja yhdestä pystysuuntaisesta lineaariakselista, jotka on esitetty kuviossa 3. Tällä rakenteella päästään nopeisiin kiihtyvyyksiin ja liikenopeuksiin ja lisäksi robotin paikoitustarkkuus on erittäin hyvä. SCARA-robotit ovat tyypillisesti melko pieniä. Suurimmat robotit käsittelevät n. 2 kg:n kuormia ja ulottuvuutta näillä on noin yhden metrin verran. Pääasiassa SCARA-robotteja käytetään erilaisissa kappaleenkäsittely- ja kokoonpanosovelluksissa. SCARA-robotin tärkeimpinä etuina ovat suuri liikenopeus, erinomainen paikoitustarkkuus, suuri työskentelyalue ympärillä ja helppo ohjelmoitavuus. Rajoittuneet sovellusmahdollisuudet ja etäohjelmoinnin hankaluus ovat tämän robotityypin negatiivisia puolia. (Gupta ym. 2017, 420; Wilson 2015, 24-25.)



Kuvio 3. SCARA-robotin rakenne (Wilson 2015)

### Rinnakkaisrakenteinen robotti

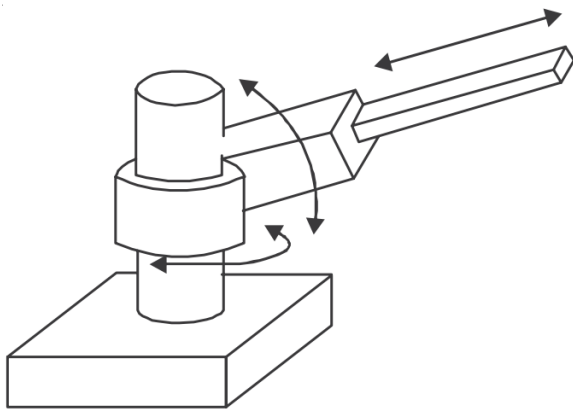
Rinnakkaisrakenteinen- eli deltarobotti on teollisuuskäytössä olevista robottityypeistä viimeisin tulokas. Tässä robottityypissä on kolme käsivartta, jotka on asennettu samaan alustaan ja tämä rakenne on asennettu työskentelyalueen yläpuolelle. Käsivarret yhdistyvät työkalulaippaan, johon kiinnitetään yleensä robottitarttuja. Rinnakkaisrakenteisen robotin rakenne on esitetty kuviossa 4. Pääsovelluksena rinnakkaisrakenteisilla roboteilla on yleensä keräily. Tämän takia robottityyppiä käytetäänkin yleisesti pakkauslinjoilla elintarviketeollisuudessa. Erittäin suuret kiihtyvyydet ja nopeudet ovat tämän robottityypin etuja. Haittapuolena ovat pieni hyötykuorman käsittelykyky ja rajoittunut ulottuvuus. (Wilson 2015, 27-28.)



Kuvio 4. Rinnakkaisrakenteisen robotin rakenne (Wilson 2015)

## Napakoordinaatistorobotti

Napakoordinaatistorobotit koostuvat pyörivästä alustasta, kiertyvästä käsivarresta ja käsivarren jatkeena olevasta teleskooppivarresta, joka liikkuu sisään- ja ulos. Robotin rakenne muodostuu kahdesta kiertyvästä akselistista ja yhdestä lineaariliikeakselista kuvion 5 mukaisesti. Napakoordinaatistorobotteja kutsutaan myös pallomaisiksi roboteiksi koska niiden työalue on pallomainen. Tyypillisiä käyttökohteita napakoordinaatistoroboteille ovat mm. kaari- ja pistehitsaus, valumuottien käsittely ja työstökoneiden palvelu. Robottityypin etuina ovat laaja työalue ja pieni lattiatilan tarve. Robotin haittapuolina ovat heikko tarkkuus ja hankala ohjelmoitavuus. (Gupta ym. 2017, 417-418.)



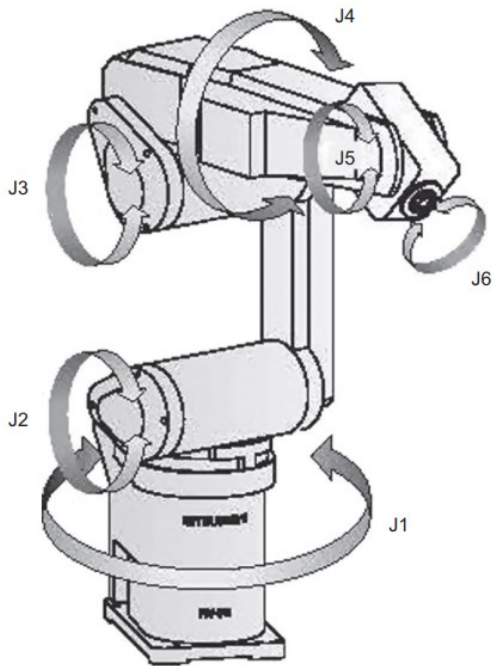
Kuvio 5. Napakoordinaatistorobotin rakenne (Gupta ym. 2017)

## Kiertyvänivelinen robotti

Yleisin teollisuusrobottien rakennetyyppi on kiertyvänivelinen robotti. Tämä rakennetyyppi muistuttaa ihmisen käsivartta ja on hyvin joustava. Näiden robottien rakenne koostuu kuudesta pyörivästä nivelestä, joista jokainen on liitetty edelliseen niveleen. Rakenteen ansiosta robotin työkalu voidaan asettaa mihin tahansa asentoon robotin työalueella. Kiertyvänivelisen robotin rakenteen takia jokainen robotin nivel kantaa seuraavien nivelten kuorman ja tämä vaikuttaa robotin rakenteen jäykkyyteen, kuormankantokykyyn ja liikkeiden toistettavuuteen ja tarkkuuteen heikentävästi. Servomootoreiden ja roboteissa käytettävän tekniikan kehittyminen on kuitenkin parantanut kiertyvänivelisten robottien suorituskykyä merkittävästi, jotta niitä voidaan käyttää tehokkaasti useissa erilaisissa teollisuuden sovelluksissa. Tyypilliset kiertyvänivelisten robottien kokoluokat vaihtelevat 0,5-3,5 metrin ulottuvuuksista 3-1000 kg:n kantokykyihin. Käyttökohteita

ovat mm. kappaleenkäsittely, kokoonpano, erilaiset hitsaukset, valujen käsittelyt, maalaus ja työkoneiden palvelu. Kiertyvänivelisten robottien etuja ovat suuri nopeus ja suuri mekaaninen joustavuus. Haittapuolena robotilla on monimutkainen ohjelmointi, joten se vaati erillisen robottiohjaimen ohjelmoinnin helpottamiseksi. Kuviossa 6 on esitetty kiertyvänivelisen robotin rakenne.

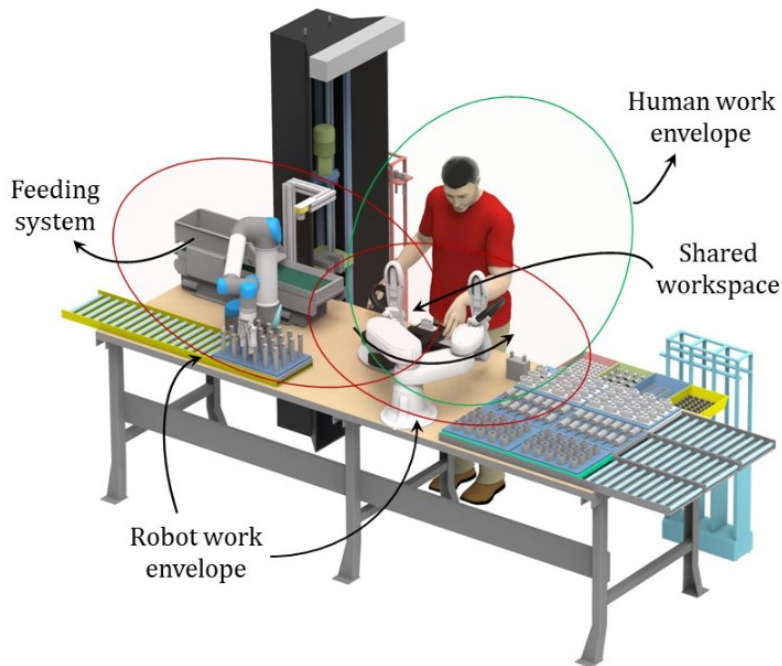
(Gupta ym. 2017, 418-419; Wilson 2015, 23-24.)



Kuvio 6. Kiertyvänivelisen robotin rakenne (Gupta ym. 2017)

## Yhteistyörobotti

Yhteistyörobotit eivät ole rakenteeltaan erillinen robottien ryhmä, vaan ne ovat robotteja, jotka on suunniteltu toimimaan turvallisesti ihmisten kanssa samassa työtilassa. Yleensä yhteistyörobotin rakenne on kiertyvänivelinen robotti. Useimmissa robottisovelluksissa yhteistyörobotti on vastuussa toistuvista, vähäpätöisistä tehtävistä, kun taas ihmistyöntekijä tekee ajattelua vaativia ja monimutkaisempia tehtäviä. Yhteistyörobottien käytettävyys, tarkkuus ja toistettavuus on suunniteltu täydentämään ihmistyöntekijän älykkyyttä ja ongelmanratkaisutaitoja. Yhteistyörobottien suunnittelu eroaa merkittävästi teollisista roboteista. Rajoitetut voimat, pyöristetyt muodot ja kevyt rakenne on suunniteltu ennen kaikkea turvallisuusnäkökulmat huomioiden. Useimmat yhteistyörobotit on varustettu antureilla ja erilaisilla turvaprotokollilla, jotta törmäykset tai vakavat törmäyksen seuraukset voidaan välttää. Kuviossa 7 on esitetty kaksi yhteistyörobottia ja ihminen työskentelemässä samassa työtilassa. (What Are Collaborative Robots? N.d.)



Kuvio 7. Yhteistyörobotti ja ihminen jaetussa työtilassa (Malik & Brem 2020)

Yhteistyörobotit tuovat muitakin etua kuin turvallisen käyttöympäristön. Yhteistyörobottien ohjelmointi on helppoa jopa robottiohjelmointia osaamattomalle työntekijälle. Joissakin tapauksissa robottia voidaan ohjelmoida siirtämällä robottikäsivartta käsin haluttuihin paikkoihin. Ohjelmoinnin helppouden ja nopeuden ansiosta yhteistyöroboteilla voidaan automatisoida useita erilaisia tehtäviä nopeilla vaihtoajoilla. Yhteistyörobotit on varustettu turvaominaisuuksilla, eivätkä ne vaadi aitoja tai muita turvalaitteita toimiakseen turvallisesti. Tämä alentaa kustannuksia ja robotin käyttöönottoaikaa merkittävästi. Käyttöönoton alhaiset kustannukset ja ohjelmoinnin helppous perinteisiin teollisuusroboteihin verrattuna tekevät yhteistyöroboteista paljon helpommin saatavia laajemmalle asiakaskunnalle. Yhteistyörobottien takaisinmaksuaika on melko lyhyt, yleensä muutama kuukausi. Yhteistyörobotteja käytetään laajalti eri aloilla, kuten esimerkiksi auto-, elektroniikka-, elintarvike-, ja metalliteollisuudessa. Lisäksi sovelluksia löytyy tieteellisestä tutkimuksesta, erilaisista valmistusprosesseista ja farmaseutisilta ja kemian aloilta. (What Are Collaborative Robots? N.d.)

### 3.3 Robotin tarttujat

Tässä luvussa käsittelen yleisimpiä roboteissa käytettyjä tarttujatyyppejä ja niiden ominaisuuksia. Kuivasen (1999) mukaan tarttuja tai tarrain on työkalu, jolla robotti pystyy poimimaan ja siirtä-

mään kappaleita asemasta toiseen. Työkaluna voi olla myös tiettyyn valmistusprosessiin tarkoitettu laite, kuten esimerkiksi maalausruisku, hitsauspistooli tai liimapuristin. On olemassa myös yhdistelmiä, jossa tarttujaan on yhdistetty jokin työvaiheeseen liittyvä työkalu. Tarttujat voidaan jakaa esimerkiksi mekaanisiin-, alipaine-, magneetti-, erikois- ja vakiotarttujiin. (Kuivanen 1999, 60.)

### Mekaaniset tarttujat

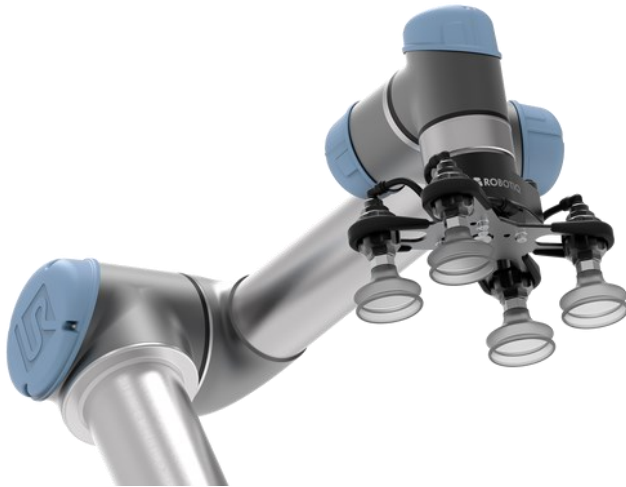
Mekaaniset tarttujat ovat yleensä ns. sormitarttuvia, jotka pystyvät tarttumaan kappaleeseen yleensä kahden tai kolmen liikkuvan sormen avulla. Kappale pysyy tarttujassa kiinni tarttujan ja kappaleen välisen kitkan ja puristavan voiman ansiosta. Mekaaniset tarttujat on usein varustettu esimerkiksi polyuretaanipehmusteella, joka lisää kitkaa eikä vahingoita työkappaletta. Useimmissa tapauksissa kaksi sormea riittää luotettavaan tarttumiseen, tarvittaessa sormien kosketuspinnat suunnitellaan kappalegeometrian muotoisiksi. Mekaaniset tarttujat voidaan suunnitella ja valmistaa käsiteltävän kappaleen ominaisuuksien, esimerkiksi koon, mukaisesti. Tarttujassa voi olla myös kaksoispihdit, jolloin työasemassa voidaan lisätä tuottavuutta. Käytettävä mekanismi voi olla pneumaattinen, sähköinen, mekaaninen tai hydraulinen. (Gupta ym. 2017, 471-472.) Kuviossa 8 on esitetty kaksisormitarttuja.



Kuvio 8. Kaksisormitarttuja (AGC-GRP-2F140 Robotiq Two Finger Gripper n.d.)

## Alipainetarttijat

Alipainetarttujen toiminta perustuu tarttujassa olevien imukuppien kautta muodostettuun alipaineeseen, joka on saatu aikaan käyttämällä ejectoria tai erillistä alipainepumppua. Alipainetarttujilla tartutaan työkappaleeseen yhdeltä suunnalta ja tartuttavan pinnan tulee olla riittävän sileä ja puhdas. Pinnan tulee olla myös tiivis, jotta ilma ei pääse virtaamaan siitä läpi. Imukuppeilla varustettu tarttuja on rakenteeltaan yksinkertainen ja luotettava, koska siinä on vähän liikkuvia osia. Lisäksi pehmeät kumiset tai muoviset imukupit eivät aiheuta vaurioita käsiteltäville kappaleille. Tarttuntavoimaa saadaan lisättyä lisäämällä imukuppeja tarttujaan. Usean imukupin tarttujissa on huolehdittava, että tartunta tapahtuu kaikilla imukupeilla, muutoin kappale ei pysy kiinni. Tasaisen tarttuntavoiman saavuttamiseksi kappaleesta kannattaa tarttua kiinni mahdollisimman keskeisesti. Alipainetarttujen huonona puolena ovat kappaleen putoaminen alipaineen kadotessa ja alipainetarttujan ei keskittävä ominaisuus. (Kuivanen 1999, 63-64.) Kuviossa 9 on neljän imukupin alipainetarttuja liitettynä robotin käsivarteen.



Kuvio 9. Alipainetarttuja (Robotic AirPick Vacuum Gripper for Universal Robots n.d.)

## Magneettiset tarttijat

Magneettisilla tarttujilla voidaan käsitellä vain magneettisia kappaleita. Periaate on sama kuin alipainetarttujissa, paitsi että magneetit korvaavat imukupit. Magneettitarttujan etuna alipainetarttujiin on se, että ne pystyvät käsittelemään reikiä sisältäviä metalliosia. Hyvän tartunnan saavuttamiseksi magneetilla on oltava tasainen tartunta kappaleeseen. Ilmarakoa ei tule olla tartuttavan kappaleen ja magneetin välillä, koska ne vähentävät tartunnan voimakkuutta ja voivat aiheuttaa

kappaleen irtoamisen. Magneettisia tarttuvia on kahta tyyppiä, kestmagneettisia ja sähkömagneettisia. Käytettäessä kestmagneettista tarttuvaa, tarvitaan erillinen irrotuslaite kappaleen irrottamista varten. Sähkömagneettisella tarttuvalla irrotus tapahtuu magneettikentän suuntaa kääntämällä. On huomioitava, että sähkömagneettista tarttuvaa käytettäessä sähkökatkoksen sattuessa kappale irtoaa tarttujasta, mikä voi aiheuttaa vaaratilanteen. Etuina magneettitarttuvia käytettäessä ovat tartunta yhdeltä pinnalta, tarttuvan soveltuvuus eri kokoisille kappaleille sekä nopeat noutoajat. Haittoina ovat mahdollinen kappaleen sivuttainen luistaminen tarttuvassa, useamman metallilevyn tarttuminen pinosta ja työkappaleeseen jäänyt jäännösmagnetismi. (Gupta ym. 2017, 473-474; Kuivanen 1999, 64.) Magneettitarttuja robotin käsivarressa on esitetty kuviossa 10.



Kuvio 10. Magneettitarttuja (MHM Magnetic Gripper Unit n.d.)

### **Erikoistarttuajat**

Erikoistarttuajat mukautuvat tartuttavan työkappaleen muotojen mukaisesti. Tartunta voi tapahtua esimerkiksi lamelleilla tai muilla mekaanisesti muotoutuvilla elementeillä. Tarttuvassa voi olla sisällä granulaattia, jota voidaan muokata paineen avulla tartunnan aikaan saamiseksi. Tartunta voi perustua myös magneettipulveriin ja sitä säätävään sähkömagneettiin. (Kuivanen 1999, 64.) Kuviossa 11 on erikoistarttuja, jonka toiminta perustuu tarttuvan sisällä olevaan granulaattiin, tässä tapauksessa kahvijauheeseen (Owen-Hill 2019).



Kuvio 11. Erikoistarttuja (Owen-Hill 2019)

Edellä käsiteltujen tarttujatyyppeiden perusteella erilaisia tarttuvia on siis valittavissa roboteille eri sovelluksiin ja erityyppisille työkappaleille. On huomattava, että tarttujan valintaan vaikuttavat käsiteltävän työkappaleen erilaiset ominaisuudet, kuten muoto, dimensiot ja materiaali.

### 3.4 Teollisuusrobotit tuotannossa

Keinäsen, Kärkkäisen, Metson ja Putkosen (2001, 308) mukaan tuotannossa toimivan robotin tärkein ominaisuus ei ole nopeus, vaan sen luotettavuus ja uupumattomuus. Robotti pystyy toimimaan jatkuvassa miehittämättömässä käytössä keskeytyksettä ja pitämään tuotannon laadun taseisena. Tuotannon tehostuminen robotteja käytettäessä perustuu edellä mainittuihin seikkoihin sekä robotti-investoinnin kertaluonteisuuteen.

Teollisuusrobotteja on mahdollista hyödyntää erilaisissa toimintaympäristöissä ja roboteilla suoritettavat tehtävät voivat olla hyvinkin erilaisia ja monimutkaisia (Keinänen ym. 2001, 308). Tuotannossa olevat työtehtävät ovat jaettavissa kolmeen eri luokkaan, joissa voidaan hyödyntää robotiikkaa: varsinaiset prosessivaiheet, tuotannon logistiikka ja tuotannon ylläpito. Prosessivaiheita ovat mm. sorvaus, hitsaus, jysintä, maalaus ja kokoonpano. Tuotannon logistiikkaan kuuluvat materiaalien ja työkalujen siirrot työpisteiden ja varastojen välillä sekä muut siirrot tuotantolaitosten alueella. (Airaksinen, Honkatukia, Häkkinen, Kettunen, Niemelä, Vainio & Ventä 2018, 22.) Suomessa

robotteja hyödynnetään teollisuudessa kappaletavara-automaatioissa erilaisissa pakkaus- ja siirto-tehtävissä, hitsausautomaatioissa, konepajatuotannossa erilaisissa solusovelluksissa, maalaussovelluksissa ja elektroniikkateollisuuden kokoonpanotehtävissä (Keinänen ym. 2001, 309.)

## 4 Ainetta lisäävä valmistus

### 4.1 Lisäävä valmistus

Standardi SFS-EN ISO/ASTM 52900:2021 (2021, 1) määrittelee lisäävän valmistuksen prosessiksi, jossa materiaalia liitetään osien valmistamiseksi 3D-mallitiedoista, yleensä kerros kerrokselta, toisin kuin materiaalia poistavissa valmistusmenetelmissä. Lisäävästä valmistuksesta käytetään myös muita nimityksiä, jotka tarkoittavat samaa asiaa. Ainetta lisäävä valmistus, materiaalia lisäävä valmistus, 3D-tulostus ja pikamallinnus ovat yleisimpiä käytössä olevia nimityksiä. (Tietopankki 3D-tulostuksesta n.d.) Alosen, Alosen ja Heiskasen (2016, 5) mukaan 3D-tulostus -termiä käytetään sekä kuluttaja- että teollisuuspuolella. Kuitenkin yleisempää 3D-tulostus -termin käyttö on kuluttajakäyttöön tarkoitettujen laitteiden ja näillä valmistettujen pienehköjen muovikappaleiden yhteydessä. Termillä lisäävä valmistus halutaan viitata enemmän teollisuudessa tapahtuvaan tuotteiden valmistukseen. (Alonen, Alonen & Heiskanen 2016, 5.) Pannettin (2019, xxi) mukaan termistä 3D-tulostus on tullut yleisempi ja sitä käytetään yleensä synonyyminä lisäävä valmistus -termille. Termien käytöstä kiistellään edelleen, mutta molemmat nimet viittaavat kuitenkin kappaleiden valmistamiseen ainetta lisäämällä kerros kerrokselta.

Alosen ja muiden (2016, 6-7) mukaan perinteisiin valmistusmenetelmiin verrattuna lisäävällä valmistuksella saavutetaan monia etuja. Yksi merkittävimpiä etuja on materiaalin käyttö. Valmistettavan kappaleen massaa voidaan pienentää optimoimalla muotoja ja käyttämällä kennomaisia rakenteita. Kun tuotantomäärät ovat pieniä, valmistettavat kappaleet ovat monimutkaisia tai kappaleisiin tehdään useasti muutoksia, lisäävän valmistuksen tehokkuus ja joustavuus soveltuvat hyvin tämän tyyppisiin tilanteisiin. Joustavuutta ja tehokkuutta edesauttavat digitaalisessa muodossa olevat suunnitelmat, jolloin nopeita muutoksia voidaan tehdä valmistukseen vielä lähellä tuotannon aloittamista. Lisäävän valmistuksen muita etuja ovat mm. nopeat toimitusajat, pienempi materiaalihukka, työkalujen ja varastoinnin pienempi tarve ja mahdollisuus valmistaa tuotteet alueellisesti tai paikallisesti. (Alonen ym. 2016, 6-7.)

Ainetta lisäävä valmistusprosessi koostuu useasta vaiheesta. Prosessi alkaa valmistettavan kappaleen 3D-mallin hankkimisella. 3D-mallin voi mallintaa itse, hankkia valmiin mallin esimerkiksi web-kirjastoista tai luoda mallin 3D-skannauksen avulla. Käytettävä 3D-malli tulee olla ns. solidimalli. 3D-malli tallennetaan 3D-tulostimien viipaloitiohjelmien ymmärtämään muotoon ja yleisesti käytetään STL-tiedostomuotoa. STL-malli ladataan tulostusohjelmaan, joka viipaloi mallin kaksikulotteiseksi kerroksiksi. Kerrospaksuus voi vaihdella tulostimesta riippuen välillä 0,02-0,3 mm. Viipaloinnin jälkeen kappale tulostetaan 3D-tulostimessa kerros kerrokselta alkaen alimmasta kerroksesta. (3D-tulostuksen toimintaperiaate n.d.) Tulostettu kappale ei välttämättä täytä suunnittelijan asettamia vaatimuksia ja kappaletta joudutaan tästä syystä jälkikäsittelyyn. Yleisimpiä jälkikäsittelymenetelmiä ovat rakennusaluista irrottaminen, tukirakenteiden irrottaminen, pinnan viimeistely, mitatarkkuuden viimeistely, mekaanisten ominaisuuksien viimeistely ja metalleilla mahdolliset lämpökäsittelyt. (Chekurov, Eklund, Kujanpää, Pekkarinen, Syrjäjä, & Vihinen 2017, 18.)

## 4.2 Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät

Ainetta lisääviä valmistusmenetelmiä on useita ja ne jaotellaan seitsemään eri ryhmään (Chekurov ym. 2017, 8). Taulukkoon 1 on koottu eri menetelmät ja niiden lyhyt kuvaus.

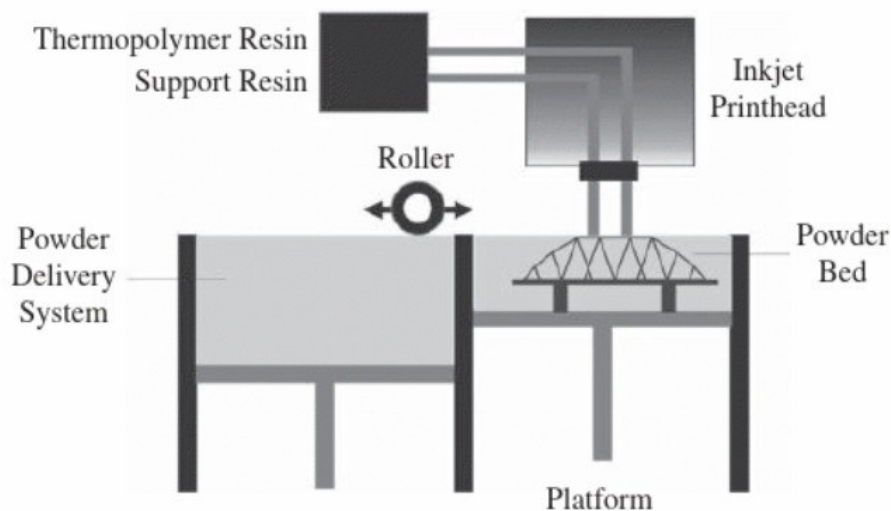
Taulukko 1. Ainetta lisäävät menetelmäluokat

Menetelmä	Englanniksi	Menetelmän kuvaus
Sideaineen suihkutus	Binder jetting	Jauhetta liitetään kerroksittain kohdistamalla nestemäistä sideainetta valittuihin kohtiin.
Suorakerrostus	Direct energy deposition	Materiaalia sulatetaan ja liitetään käyttämällä kohdennettua lämpöenergiaa.
Pursotus	Material extrusion	Materiaalia annostellaan suuttimen tai reiän läpi.
Materiaalin suihkutus	Material jetting	Raaka-ainepisaroita kovetetaan kohdennetusti.
Jauhepetisulatus	Powder bed fusion	Jauhepetiä sulatetaan lämpöenergian avulla kohdennetusti.
Kerroslaminointi	Sheet lamination	Kappale muodostuu materiaalileikkeitä lisäämällä.
Valokovetus altaassa	Vat photopolymerization	Nestemäistä muovia kovetetaan altaassa valon avulla.

<sup>a</sup> Huom. Taulukon tiedot lähteestä Chekurov ym. 2017, 8-10

### Sideaineen suihkutus – Binder Jetting

Sideaineen suihkutuksessa toimintaperiaate on samantyyppinen kuin mustesuihkutulostimissa. Perustana on jauhepeti, jonka päälle suihkutetaan nestemäistä sideainetta kappaleen muodon mukaisesti. Prosessia toistetaan kerros kerrokselta levittäen uusi kerros jauhetta ja sen päälle sideainetta, kunnes kappale on valmis. Tässä prosessissa kappaleelle ei tarvitse suunnitella tukirakenteita, vaan jauhepeti toimii tukirakenteena. Sideaineen suihkutus -menetelmää voidaan käyttää tulostamaan osia useista erilaisista materiaaleista. Materiaaleja voivat olla esimerkiksi muovit, metallit, hiekka ja keraamit. Menetelmän etuna on myös osien tulostaminen värillisinä levittämällä samanaikaisesti väriaineita sidosaineen mukana. (Menetelmät n.d.). Kuviossa 12 on esitetty menetelmän periaate.

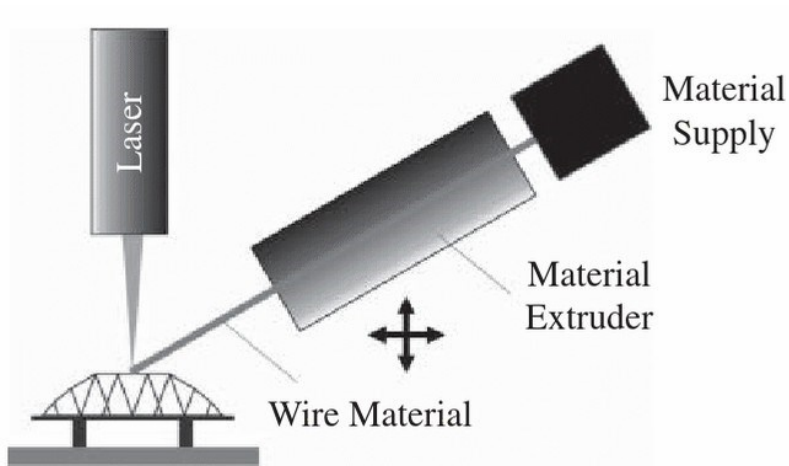


Kuvio 12. Sideaineen suihkutus (Pannett 2019, 8)

### Suorakerrostus – Direct Energy Deposition

Suorakerrostusmenetelmässä kohdistetaan lämpöenergiaa sulattamaan materiaalia ja joka samanaikaisesti sijoitetaan haluttuun kohtaan kappaleen muodostamiseksi. Lämpöenergian lähteenä voidaan käyttää laseria, elektronisädettä tai plasmakaarta. Käytettävä materiaali voi olla lanka- tai jauhemuodossa. Yleisin variaatio näistä lämpöenergian ja materiaalin yhdistelmästä on laser yhdistettynä jauhemateriaaliin. Suorakerrostusmenetelmässä rajoittavana tekijänä on tyhjän päälle tulostaminen. Tässä menetelmässä ei voida käyttää tukirakenteita, toisin kuin jauhepetimenetelmissä tietyillä materiaaleilla, joten kappaleet on suunniteltava valmistettavaksi ilman

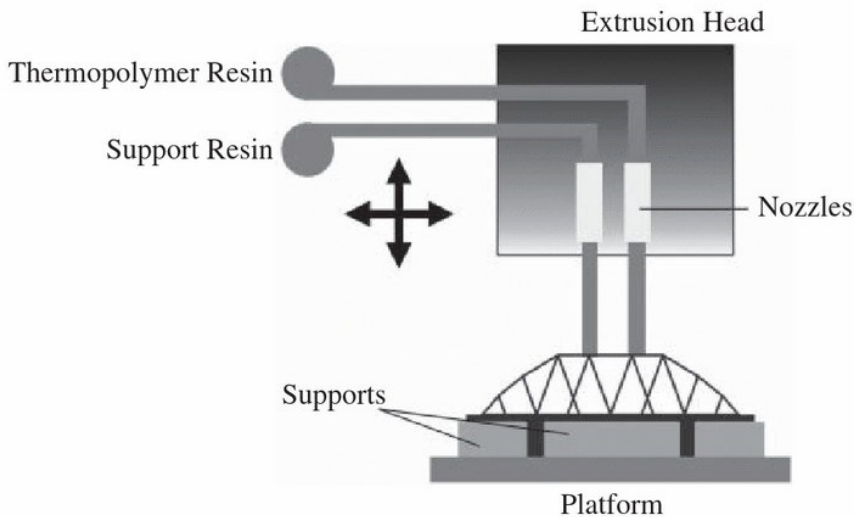
tukirakenteita. Suorakerrostusmenetelmällä voidaan valmistaa suuria kappaleita yhdistämällä laitteisto robottikäsiin. (Alonen ym. 2016, 38-39.) Pannettin (2019, 13) mukaan suorakerrostusmenetelmässä tulostuspää voi liikkua useita akseleita pitkin ja sijoittaa materiaalia mistä tahansa kulumasta. Tämän ominaisuuden ansiosta materiaalia voidaan sijoittaa vain sinne, missä sitä tarvitaan. Erityisesti tästä on hyötyä esineiden korjaamisessa. (Pannett 2019, 13.) Suorakerrostusmenetelmä on esitetty kuviossa 13.



Kuvio 13. Suorakerrostusmenetelmä (Pannett 2019, 13)

### Pursotus – Material Extrusion

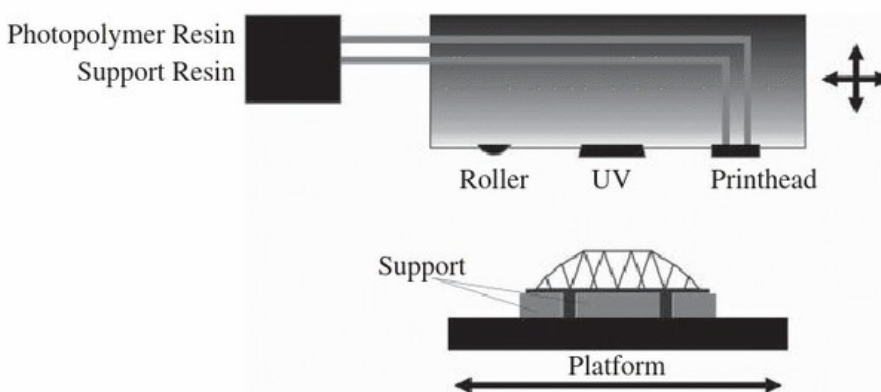
Pursotustekniikassa lankamaisessa muodossa olevaa kestopuovia puristetaan kuumennetun suuttimen läpi rakennusalustalle. Kappale valmistuu kerros kerrokselta alhaalta ylös siirtämällä tulostimen suutinta x- ja y- akselilla ja laskemalla rakennusalustaa z-suunnassa jokaisen tulostuskerroksen välillä. Tässä tekniikassa tyhjän päälle jäävien muotojen alle on tulostettava tukimateriaalia. (Pannett 2019, 9.) Pursotusmenetelmän laitteissa voidaan käyttää kahta suutinta, jolloin toisella pursotetaan rakennusainetta ja toisella tukimateriaalia (Chekurov ym. 2017, 8). Materiaalin pursotus -menetelmä on ainetta lisäävistä menetelmistä yksinkertaisin ja halvin, joten sitä käytetään yleisesti kuluttajataso laitteistoissa. Haittapuolena pursotustekniikalla on sen hitaus. Pursotustekniikasta käytetään myös nimityksiä Fused Deposition Modeling (FDM), Fused Filament Fabrication (FFF) ja Big Area Additive Manufacturing (BAAM). (Alonen ym. 2016, 19-21.) Kuviossa 14 esitetään pursotustekniikan periaate.



Kuvio 14. Pursotusmenetelmä (Pannett 2019, 10)

### Materiaalin suihkutus – Material Jetting

Materiaalin suihkutus toimii samalla periaatteella kuin mustesuihkutulostus. Nestemäistä materiaalia suihkutetaan valikoituihin kohtiin kerroksittain rakennusalustalla ja kerrosten välillä materiaali joko kovettu itsestään tai se kovetetaan UV-valon avulla. Materiaaleina käytetään pääasiassa valokovetteisia muoveja. (Pannett 2019, 7.) Suihkuttamalla kahta kovuudeltaan erilaista materiaalia tällä menetelmällä voidaan saada aikaan kappaleita, joissa on kovia ja pehmeitä kohtia (Chekurov ym. 2017, 8). Materiaalin suihkutuksen periaate on esitetty kuviossa 15.

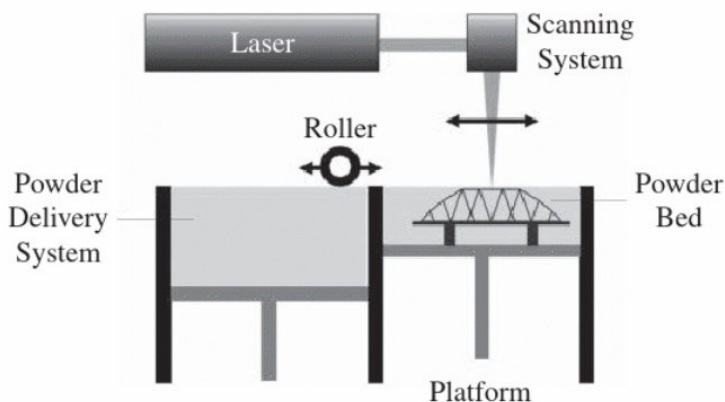


Kuvio 15. Materiaalin suihkutus (Pannett 2019, 7)

## Jauhepetisulatus – Powder Bed Fusion

Jauhepetisulatus perustuu muovi- tai metallijauheen sintraukseen tai sulatukseen kerros kerrokselta. Menetelmässä jauhetta levitetään tasainen kerros rakennusalustalle, jonka jälkeen lasersäde sulattaa jauheeseen halutun geometrian muodon. Rakennusalustaa lasketaan kerrospaksuuden verran ja jauheen levitys, laserilla sulatus sekä rakennusalustan lasku toistetaan niin monta kertaa, kunnes kappale on valmis. Muoviosia valmistettaessa erillisiä tukirakenteita ei tarvitse käyttää koska muovijauhe tukee niitä riittävästi. Metalliosat ovat liian raskaita jauheen tuettaviksi, joten tukirakenteita tarvitaan. (Chekurov ym. 2017, 9.) Jauhepetisulatusmenetelmä on yleisesti käytössä teollisuudessa ja etenkin metalliosien valmistuksessa (Pannett 2019, 10). Menetelmän periaate on esitetty kuviossa 16.

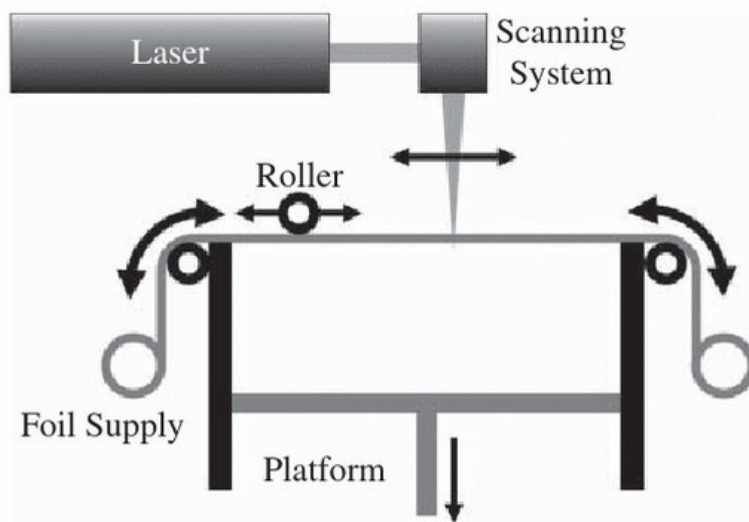
Jauhepetimenetelmästä on olemassa erilaisia tekniikoita. Direct Metal Laser Sintering (DMLS) perustuu materiaalin sintraukseen ja on jauhepetimenetelmän ensimmäinen kaupallisesti käytetty tekniikka. DMLS-termiä käyttävät eri valmistajat kuvaamaan sekä sintraavia että sulattavia laitteistoja, joten pelkän nimen perusteella ei voi olla varma valmistajan laitteiston käyttämästä tekniikasta. (Alonen ym. 2016, 33-34.) Verrattuna sulatusmenetelmään, sintrauksessa jauheen hiukkaset muunnetaan kiinteäksi kappaleeksi lämmön tai paineen avulla niin, että hiukkaset eivät saavuta sulamispistettä (Sintering n.d.). Selective Laser Melting (SLM) -tekniikassa jauhe sulatetaan täysin käyttämällä kuitulaseria. Direct Metal Printing (DMP) on 3DSystemsin käyttämä nimitys DMLS-menetelmästä, joka perustuu metallijauheen sulattamiseen. Electron Beam Melting (EBM) perustuu jauheen sulattamiseen elektronisäteellä. (Alonen ym. 2016, 35-36.) Selective Laser Sintering (SLS) nimitystä käytetään menetelmästä, jossa muovijauhetta sulatetaan lasersäteellä (Pannett 2019, 11).



Kuvio 16. Jauhepetisulatus (Pannett 2019, 11)

### Kerroslaminointi – Sheet Lamination

Kerroslaminointimenetelmässä materiaaliarkkeja asetetaan toistensa päälle kappaleen valmistamiseksi. Arkki- tai rullamuodossa oleva materiaali kiinnitetään edellisen päälle ja leikataan haluttuun muotoon. Materiaaleina voidaan käyttää esimerkiksi paperia, muovia, komposiitteja ja metalleja. Paperin ja muovin kiinnittämiseksi käytetään liimaa ja metalliarkit kiinnitetään ultraäänihitsauksella. Arkkien leikkaamiseen käytetään teriä ja metallin osalta laseria. Kerroslaminointimenetelmän etuina ovat käytettävien materiaalien edullisuus ja alhainen lämpötila prosessin aikana. Matalan lämpötilan ansiosta metallista valmistettavien kappaleiden sisään voidaan sijoittaa sensoreita, jotka muissa menetelmissä vahingoittuisivat korkeiden lämpötilojen seurauksena. (Alonen ym. 2016, 25-26; Pannett 2019, 13-14.) Kuviossa 17 on esitetty kerroslaminoinnin periaate.



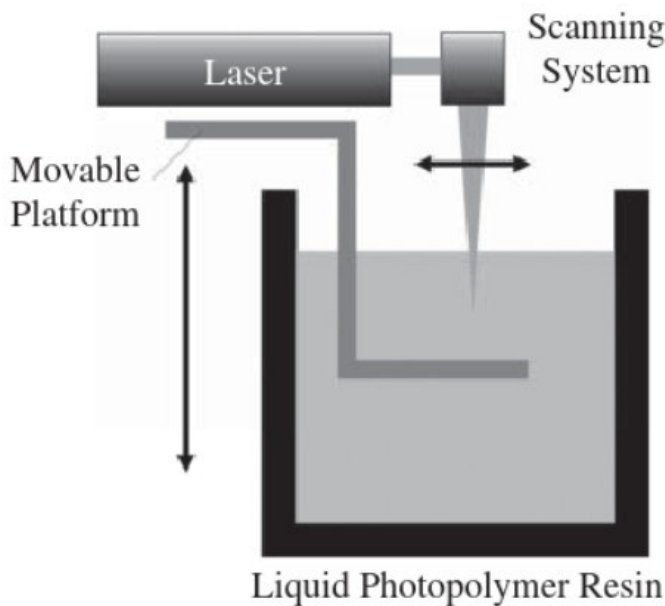
Kuvio 17. Kerroslaminointi (Pannett 2019, 14)

### Valokovetus altaassa – Vat Polyphotomerization

Valokovetus altaassa -menetelmä käyttää UV-valoa kovettamaan valikoivasti nestemäistä fotopolymeeriä tai epoksihartsia kiinteäksi kerrokseksi ennen seuraavan kerroksen kovettamista. Materiaalin kovettaminen tapahtuu joko UV-laserilla tai projisoimalla kappaleen muoto UV-valolla. Menetelmässä on mahdollista käyttää rakennusalustan päälle tai alle tulostavaa laitteistoa.

Rakennusalustan alapuolelle tulostavassa järjestelmässä rakennusalustaa nostetaan ylöspäin nestesäiliöstä ja kappale kovetetaan nestesäiliön pohjan läpi laserilla tai projektorilla. Alustan päälle tulostettaessa rakennusalusta laskeutuu altaan pohjaa kohti ja materiaalin kovettaminen tapahtuu

laserilla päältä päin. Valokovetus altaassa menetelmästä käytetään myös nimitystä stereolitografia (SLA tai SL). (Alonen ym. 2016, 28-29.) Menetelmän etuna on valmistettavien kappaleiden parempi tarkkuus ja pinnanlaatu sekä nopeus verrattuna muihin lisäävän valmistuksen menetelmiin. Haittapuolena ovat materiaalin kalleus ja rajoittuminen muoviin ja muovipohjaisiin materiaaleihin. (Pannett 2019, 6-7.) Valokovetus altaassa menetelmä laskevalla rakennusalustalla on esitetty kuviossa 18.



Kuvio 18. Valokovetus altaassa laskevalla rakennusalustalla (Pannett 2019, 6)

### 4.3 Lisäävä valmistus eri teollisuuden aloilla

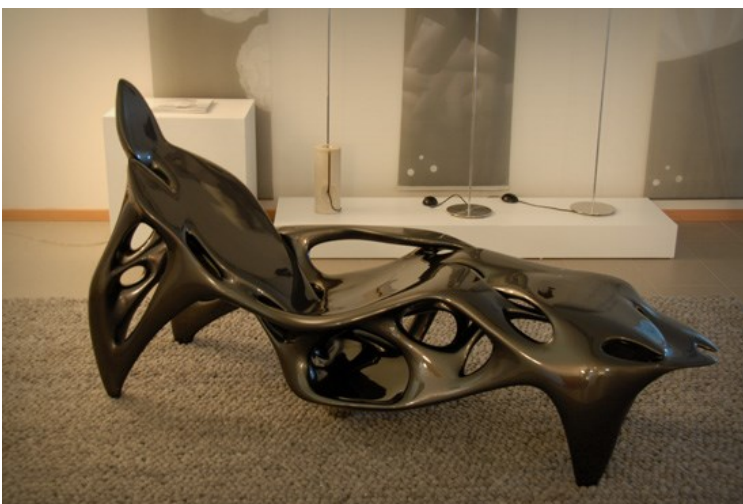
Eri teollisuuden aloilla lisäävä valmistus on ollut keskittynyttä pääasiassa prototyyppihin ja pien-sarjatuotantoon. Laitteiden ja menetelmien kehittyessä valmistusmenetelmää on alettu käyttää myös lopputuotteiden valmistukseen. Lisäävää valmistusta käyttävät useat eri teollisuuden alat. Näitä ovat mm. auto- ja ajoneuvoteollisuus, energiateollisuus, huonekaluteollisuus, ilmailu ja avaruus, konepajateollisuus ja rakennusteollisuus. (Lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa n.d.)

Auto- ja ajoneuvoteollisuus käyttää lisäävää valmistusta tutkimuksen, prototyyppi- ja vanhojen osien valmistuksen, muottien ja työkalujen valmistuksen ohella myös suoraan tiettyjen lopputuotteiden valmistukseen. Nykyisin lähes kaikki autovalmistajat käyttävät 3D-tulostettuja osia uusissa

automalleissa ja tarjoavat tulostettuja varaosia vanhempiin automalleihin. Lisävä valmistus soveltuu hyvin massaräätälöinnin tarpeisiin ja tästä syystä se on hyvä menetelmä autoteollisuuden valmistusprosesseihin, joissa vaaditaan joustavuutta ja nopeaa reagoitukykyä. (Lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa n.d.)

Energiäteollisuus on hyödyntänyt lisävää valmistusta mm. erilaisten polttoainesuuttimien valmistamiseen ja kaasuturbiinien polttimien kärkien muokkaukseen. Lisäävän valmistuksen hyötyjä on tutkittu myös tuulivoimaloiden komponenttien valmistamiseen. Energiäteollisuuden alalla valmistusta rajoittavana tekijänä on ollut laitteistojen koko. Ongelma poistunee lähitulevaisuudessa, koska tulostuslaitteistojen koot suurenevat vuosittain. (Lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa n.d.)

Huonekaluteollisuudessa lisävä valmistus tarjoaa enemmän mahdollisuuksia perinteisiin valmistusmenetelmiin verrattuna. Erityisesti vapaiden geometriamuotojen käyttömahdollisuus ja usean eri materiaalin valmistaminen samanaikaisesti antaa suunnittelijoille mahdollisuuden luoda tuotteita, joita aikaisemmin olisi ollut mahdotonta tai hyvin hankalaa valmistaa. Myös valaistus ja elektroniikka on mahdollista integroida paremmin huonekaluihin lisäävän valmistuksen avulla. (Lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa n.d.) Kuviossa 19 on lisäävän valmistuksen menetelmällä valmistettu tuoli.



Kuvio 19. 3D tulostettu tuoli (5 Amazing full sized furniture pieces made with 3D printing 2010)

Yksi merkittävimmistä lisäävän valmistuksen hyötyjästä on ilmailu- ja avaruusteollisuus. Ilmailussa käytettävien komponenttien painolla on suuri merkitys, johon lisäävän valmistuksen menetelmillä voidaan vaikuttaa. Hyvänä esimerkkinä toimii GE Aviationin valmistamat suihkumoottoreiden polttoainesuuttimet. Lisäävän valmistuksen avulla suuttimien paino on saatu 25 % kevyemmäksi ja viisi kertaa kestävämmäksi. Lisäksi suutin on rakenteeltaan vain yksi osa aikaisemman 18 osan sijaan. (Lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa n.d.)

Konepajateollisuus käyttää lisäävää valmistusta pääasiassa tuotantoa tukeviin toimiin kuten muotien, työkalujen, kiinnittimien ja prototyypin valmistukseen. Varsinkin kertakäyttöisten hiekkavalumuottien valmistuksessa lisäävä valmistus on nopeuttanut tuotantoa ja alentanut valmistuskustannuksia selkeästi. Konepajateollisuudessa ollaan kuitenkin vaiheessa, jossa nykyiseen tuotantoon integroidaan entistä enemmän lisäävää valmistusta. (Lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa n.d.)

Rakennusteollisuudesta lisäävälle valmistukselle löytyy useita käyttökohteita ja tekniikkaa tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa huomattavasti. Käyttämällä eri lisäävän valmistuksen menetelmiä rakennusteollisuuden tarpeisiin voidaan valmistaa tuotteita eri materiaaleista. Esimerkkejä ovat betonista pursotusmenetelmällä tulostetut rakennukset, jauhepetiteknikalla valmistetut vapaa- muotoiset rakenteet, suorakerrostusmenetelmällä valmistetut metalliset sillat sekä hiili- ja lasikuiduista tulostetut paviljongit. (Lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa n.d.)

#### **4.4 Lisäävän valmistuksen prosessi**

Lisäävässä valmistusmenetelmässä valmistusprosessi sisältää sarjan vaiheita, jotka ovat välttämättömiä tuotteen valmistamiseksi. Prosessissa erottuu neljä päävaihetta: CAD-mallin luominen, CAD-mallin käsittely viipalointiohjelmassa, tuotteen tulostus ja jälkikäsittely. (What is 3D printing? n.d.; 3D-tulostuksen vaiheet suunnitelmasta valmiiksi tuotteeksi n.d.)

Valmistusprosessi alkaa CAD-mallin luomisella. CAD-malli voidaan luoda 3D-mallinnusohjelmistolla, skannaamalla 3D-skannerilla tai lataamalla malli verkkokirjastoista. 3D-mallinnusohjelmiston on pystyttävä tuottamaan oikeanlainen tiedostomuoto mallin jatkokäsittelyä varten, jossa yleisesti käytetty tiedostomuoto on STL-tiedosto. Mallin suunnitteluvaiheessa kappaletta voidaan opti-

moida haluttujen ominaisuuksien osalta. Näitä ovat esimerkiksi materiaalmäärä, jäykkyys tai virtaavuus. Kappaletta suunniteltaessa ei ole syytä pohtia perinteisten valmistusmenetelmien pohjalta kappaleen muotoja, vaan pyritään suunnittelemaan juuri sellainen osa, joka toiminnallisilta ominaisuuksiltaan halutaan. Optimointi liittyykin oleellisesti 3D-tulostamalla valmistettävien osien suunnitteluun. (What is 3D printing? n.d.; 3D-tulostuksen vaiheet suunnitelmasta valmiiksi tuotteeksi n.d.) Kuviossa 20 on ylempänä perinteisille valmistusmenetelmille suunniteltu kappale ja sama kappale optimoituna lisäävälle valmistustavalle.



Kuvio 20. Optimoitu kappale (Optimize Additive Manufacturing Designs for Cost AND Function n.d.)

Toisessa vaiheessa 3D-mallista tallennettu STL-tiedosto avataan tulostus- eli viipalointiohjelmaan. Viipalointiohjelmassa mallia voidaan käsitellä eri tavoin ennen siitä saadun tulostustiedoston siirtämistä tulostuslaitteelle. Tyypillisimpiä toimenpiteitä, joita viipalointiohjelmassa tehdään ovat, kappaleen kääntäminen haluttuun tulostusasentoon, tukirakenteiden määrittäminen ja tulostettavien kappaleiden määrä. Muita säädettäviä parametrejä ovat esimerkiksi tulostuksen kerrospaksuus, tulostusnopeus, lämpötila ja kappaleen kiinnittyminen rakennusalustaan. Haluttujen asetusten jälkeen suoritetaan viipalointi, josta saadaan tulostustiedosto. (What is 3D printing? n.d.; 3D-tulostuksen vaiheet suunnitelmasta valmiiksi tuotteeksi n.d.)

Tulostusvaiheessa 3D-tulostimeen syötetään viipalointivaiheessa saatu tulostusohjelma. Ennen tulostuksen aloittamista varmistetaan, että edellinen tulostettu kappale on poistettu ja laitteisto puhdistettu. Lisäksi laitteeseen ladataan haluttu tulostusmateriaali ja tarkistetaan, että tulostusta

varten tarvittavat asetukset ovat asetettu. Itse tulostusprosessi on pääosin automaattinen. Laitteistosta, tulostettavan kappaleen koosta, käytetystä materiaalista ja tulostusasetuksista riippuen tulostusprosessi voi kestää useita tunteja tai jopa päiviä. (Introduction to 3D Printing 2016.)

Viimeistelyvaiheeseen kuuluvat tulostetun kappaleen tukirakenteiden poistaminen ja mittojen sekä yksityiskohtien tarkastaminen. Lopullisen käyttötarkoituksen mukaan kappaleelle voidaan tehdä myös koneistusta tai erilaisia pintakäsittelymenetelmiä kuten maalausta, kuulapuhaltamista tai kiillotusta. (3D-tulostuksen vaiheet suunnitelmasta valmiiksi tuotteeksi n.d.)

#### **4.5 Näkökohtia tulostettavan kappaleen suunnitteluun**

Lisäävällä valmistuksella valmistettavien kappaleiden suunnittelussa ja valmistuksessa on huomioitava tiettyjä seikkoja, jotka vaikuttavat kappaleen valmistuksen onnistumiseen. Tässä luvussa käsittelem tärkeimpiä suunnittelun ja valmistuksen näkökohtia, jotka tulisi ottaa huomioon lisäävässä valmistuksessa. Asiaa käsittelem pursotus- eli FDM-menetelmän tasolla. Suunnitteluohjeita on havainnollistettu liitteessä 1.

Tulostettavan kappaleen suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota useaan rakenteelliseen seikkaan, jotta saadaan valmistettua laadukas kappale tai jotta kappaleen valmistus edes onnistuisi. Kotelo- tai kuorirakenteissa seinämän paksuudelle suositellaan minimiarvoa, joka riippuu tulostussuuttimen leveydestä. Seinämän paksuus tulisi olla vähintään kaksi kertaa tulostussuuttimen leveys. Kappaleessa olevien ulokkeiden tulostus onnistuu ilman tukimateriaalia, jos ulokkeen kulma kappaleesta on enintään 45 astetta. Tätä 45 asteen sääntöä kannattaa hyödyntää suunnittelussa, jotta vältetään tukimateriaalin käyttöä. Kappaleeseen on mahdollista suunnitella rakenteita, jossa materiaalia tulostetaan tyhjän päälle kahden pisteen välillä. Tämä välimatka on kuitenkin syytä pitää lyhyenä, yleensä alle 15 mm. (Arroyo n.d.)

Pursotusmenetelmällä valmistetut pystysuorat reiät tulevat yleensä mallinnettua reikää pienemmiksi eli alamittaisiksi. Tämä johtuu valmistustekniikan ominaisuudesta, jossa sulaa muovia pursotetaan edellistä kerrosta vasten, jolloin materiaali hieman leviää ja tekee rei'istä pienempiä. Ongelmaan voi vaikuttaa suunnittelemalla reiät alamittaa suuremmaksi mallinnusvaiheessa.

Vaakasuuntaiset reiät voivat olla myös alamittaisia. Syynä tähän on tyhjän päälle tulostaminen ympyrän yläosassa, mikäli ei käytetä tukirakennetta. Jos kappaleen visuaalisuus ei ole ongelma, vaakasuuntaiset reiät voi suunnitella pisananmuotoiseksi. (Arroyo n.d.)

Kappaleiden yksityiskohdat tulee suunnitella yli 2 mm suuremmiksi. Pystysuorien akselien minimihalkaisijan tulee olla 3 mm tai suurempia, muuten tulostus epäonnistuu riittämättömän jäähtymisaian vuoksi. Mikäli kappaleessa käytetään tekstiä, on tekstin leveyden oltava vähintään 0,8 mm ja syvyyden 0,4 mm. Tekstifontteina kannattaa käyttää fontteja, joilla on tasainen leveys kaikilla kirjaimilla. Näitä ovat mm. Arial, Montserrat ja Helvetica. (Arroyo n.d.)

Kappaleen mekaaniseen vahvuuteen voi vaikuttaa käyttämällä pyöristyksiä ja ripoja. Helpoin tapa vahvistaa kappaletta on pyöristysten lisääminen sisänurkkiin. Koteloita suunniteltaessa pyöristetyt reunat ovat välttämättömiä, koska tietty lujuus on saavutettava samalla, kun tilaa ja materiaalia on rajoitetusti. Ripoja käytetään kappaleessa vahvistamaan ohuita seinämiä ja pitkiä vapaapituuksia. (Arroyo n.d.)

Kappaleen tulostusasennon valinnalla voidaan vaikuttaa tukirakenteen määrän käyttöön, tyhjän päälle tulostamiseen, kappaleen mekaaniseen kestävyys ja kappaleen kiinnittymiseen rakennuslustaan. THEY-sanan kirjaimilla voidaan havainnollistaa, miten kappaleen asento vaikuttaa eri tavalla tulostusprosessiin. (Arroyo n.d.) Tarkemmin tulostusasennon vaikutuksista on havainnollistettu liitteessä 1.

#### **4.6 Pursotustekniikassa käytettävät materiaalit**

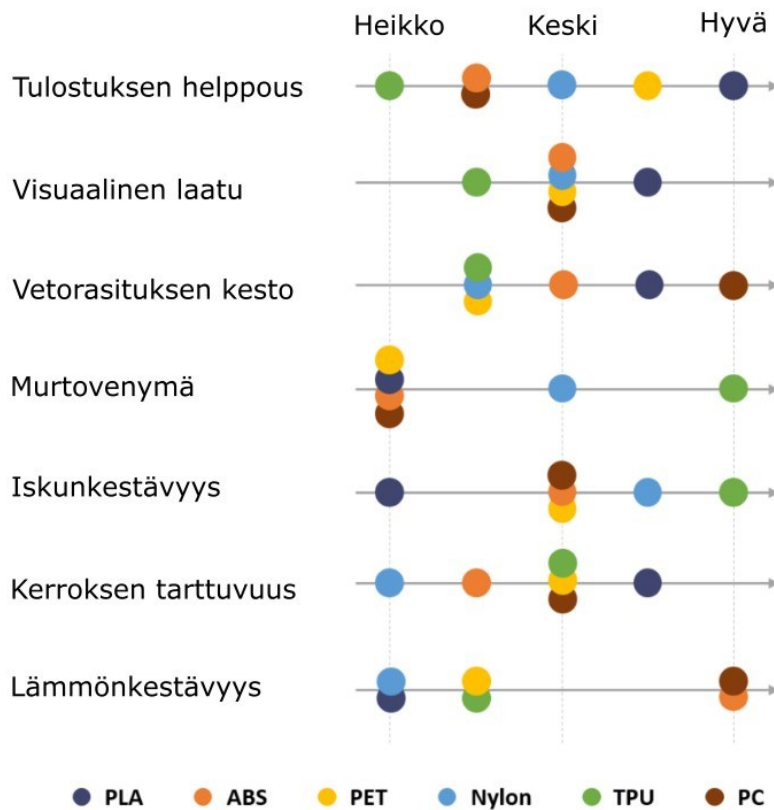
Materiaalin pursotustekniikassa käytetään lankamuodossa olevia muovipohjaisia materiaaleja. Yleisimpiä käytössä olevia materiaaleja ovat PLA, ABS, PET, Nylon, TPU ja PC. Käytettävän materiaalin valinta riippuu siitä, mitä materiaaliin liittyviä fyysisiä ominaisuuksia valmiilta kappaleelta halutaan. (FDM 3D printing materials compared n.d.) Taulukossa 2 on vertailtu yleisimpien tulostusmateriaalien ominaisuuksia.

Taulukko 2. Tulostusmateriaalien ominaisuuksia

Materiaali	Edut	Haitat	Tulostusprosessi
PLA	Biopohjainen ja biohajoava, helppo jälkikäsitely, hajuton, hyvä UV-kestävyys	Alhainen kosteudenkestävyys, hauras	Helppo ja nopea tulostusmateriaali, alhainen tulostuslämpötila, pieni kutistuminen
ABS	Hyvä kulutuskestävyys, helppo jälkikäsitely, koneistettavuus,	Heikko UV-kesto	Haju tulostettaessa, vaikeampi tulostettavuus
PET	Kosteudenkestävä, voi olla elitarviketurvallinen, hankauksenkesto	Pehmenee n. 70 asteessa	Helpohko tulostettavuus, väri muuttuu sameaksi tulostettaessa
Nailon	Hyvä kemiallinen kestävyys, korkea lujuus, lämmönkesto	Imee kosteutta	Vaikeampi tulostettavuus
TPU	Hyvä kulutuskestävyys, Öljyn- ja rasvankestävyys, Taipuisa materiaali	Vaikeasti liimattava, vaikeasti jälkikäsiteltävissä	Vaikeampi tulostettavuus, korkea tulostuslämpötila
PC	Vahva, helppo jälkikäsitely,	Heikko UV-kesto	Vaikeampi tulostettavuus, korkea tulostuslämpötila

<sup>a</sup> Huom. Taulukon tiedot lähteistä Express guide of FDM printing materials n.d. ja FDM 3D printing materials compared n.d.

Materiaalit voidaan luokitella ominaisuuksiltaan kolmeen luokkaan: mekaaninen suorituskyky, visuaalinen laatu ja tulostettavuus. Ominaisuuksia voidaan pilkkoa pienempiin osiin, jolloin on mahdollista määrittää tarkemmin sopiva tulostusmateriaali tulostettavalle kappaleelle. Yksityiskohtaisempia ominaisuuksia ovat tulostuksen helppous, visuaalinen laatu, vetorasituksen kesto, murtovenymä, iskunkestävyys, kerroksen tarttuvuus ja lämmönkestävyys. (FDM 3D printing materials compared n.d.) Kuviossa 21 on vertailtu tulostusmateriaalien fyysisiä ominaisuuksia.



Kuvio 21. Tulostusmateriaalien fyysisiä ominaisuuksia (FDM 3D printing materials compared n.d., muokattu)

## 4.7 Ainetta lisäävän valmistuksen turvallisuus

3D-tulostuksen yhteydessä voi esiintyä useita riskejä, kuten:

1. Vaarat, jotka liittyvät laitteeseen itseensä, kuten kuumat pinnat, liikkuvat osat ja sähköiskun vaara.
2. Altistuminen päästöille ja kemikaaleille valmistusvaiheessa tai lopputuotteen käytön yhteydessä.
3. Lopputuotteen turvallisuus ja sen täyttäminen sille asetettujen vaatimusten kanssa.

3D-tulostajan on otettava huomioon laiteturvallisuus, mukaan lukien kuumien pintojen, liikkuvien osien ja sähköturvallisuuden huomioiminen. Kuumat pinnat voivat aiheuttaa palovammoja, kun suuttimen lämpötila on jopa 250°C riippuen tulostusmateriaalista. Liikkuvat osat voivat aiheuttaa sormien puristumisvaaran, mutta tämä riski on yleensä pienempi koteloituissa tulostimissa. Tulostusprosessin aikana ilmaan vapautuvat pienhiukkaset ja jälkikäsittelyssä käytettävät kemikaalit voivat myös olla haitallisia. Siksi kemikaaleja käytettäessä on tärkeää lukea varoitusetiketit ja noudattaa annettuja ohjeita ja varoituksia. (Kysymyksiä ja vastauksia 3D-tulostamisesta 2018.)

Lisäksi kierrätysmateriaalien käyttö ja niiden sisältämät rajoitetut tai kielletyt aineet ovat myös riskejä. Joissakin tulostusmenetelmissä käytetyt tulostusmateriaalit itsessään voivat olla vaarallisia kemikaaleja, kuten stereolitografia-tulostuksessa käytettävät herkistävät kemikaalit. Kuluttajien käyttämät 3D-tulostimet perustuvat kuitenkin pääasiassa muovinauhan sulattamiseen, jossa käytetään kestopuovia raaka-aineena. (Kysymyksiä ja vastauksia 3D-tulostamisesta 2018.)

3D-tulostimien käyttöön liittyy altistumisriski erilaisille aineille. Siksi on tärkeää noudattaa valmistajien antamia ohjeita ja huolehtia laitteiden koteloinneista ja ilmanvaihdosta. Pelkkä ilmanvaihto ei riitä poistamaan nanohiukkaspäästöjä, jos tulostus kestää pitkään. Jauheiden käsittelyssä pitää välttää pölyn muodostumista ja käyttää teknisiä ratkaisuja pölyn torjuntaan kuten esimerkiksi kohdepoistot tai vetokaapit. Laitteiden toimivuus ja huolto pitää tarkastaa säännöllisesti. Pintojen puhdistamiseen suositellaan imurointia ja nihkeäpyyhintää eikä paineilmaa. (Viitanen, Kangas, Huhtiniemi, Kanerva, Stockmann-Juvala, Säämänen, Kukko, Tuomi, Partanen, Kallonen & Hämeri 2016, 36.)

Jotkin työvaiheet vaativat suojarusteiden käyttöä (hengityksensuojain, suojavaatetus jne.). Myös muiden työntekijöiden suojautuminen pitää ottaa huomioon ja rajoittaa tarvittaessa pääsyä tulostustiloihin. Pölyn leviämistä voi estää sulkemalla ovet työtilojen välillä. Jauhe voi olla myös itsesyttymisvaarallinen, joten laitteet pitää olla EX-suojattuja. Metallijauheet voivat sisältää syöpövaarallisia yhdisteitä. 3D-tulostimet tuottavat lämpöä, joten niiden sijoittelussa ja paloturvallisuudessa pitää olla varovainen. Kemikaaleja käsiteltäessä pitää käyttää sopivia suojakäsineitä eikä koskea kovettumattomiin muovikappaleisiin paljaalla iholla. Tulosteita maalattaessa on suojauduttava maalien ja niiden liuottimien vaikutuksilta. Ruiskumaalaus altistaa erityisen paljon, joten silloin tarvitaan tehokas ilmavaihto ja asianmukainen hengityksensuojain. (Viitanen ym. 2016, 36.)

#### **4.8 Suunnitteluohjelmistot lisäävässä valmistuksessa**

3D-mallien suunnittelua varten tarvitaan 3D-mallinnusohjelmisto. Saatavilla on ilmaisia ja maksullisia ohjelmistoja sekä verkkopohjaisina että eri käyttöjärjestelmille asennettavina versioina. Vaatimuksena käytettävälle mallinnusohjelmalle on se, että luotu malli saadaan vietyä STL-tiedostomuotoon. (Stríteský 2019, 26.)

Tinkercad on aloittelijoille sopiva ilmainen ja verkkopohjainen 3D-mallinnusohjelma. Tinkercadin perusideana ovat mallikirjastoista löytyvät perusmuodot, joita muokkaamalla ja yhdistelemällä luodaan 3D-malli. Ohjelmisto on varsin rajoittunut, eikä siitä löydy kehittyneempiä toimintoja. (Stríteský 2019, 26.)

Autodesk Fusion 360 on kehittyneempi ohjelmisto, jolla voi suunnitella monimutkaisempia komponentteja. Ohjelmisto perustuu parametriseen piirremallinnukseen. Parametrisuus mahdollistaa malliin liitettyjen mittojen muuttamisen missä vaiheessa mallinnusta tahansa, jolloin 3D-mallin muoto ja malliin kytkeytyvät kohteet, kuten työpiirustukset ja kokoonpanot muuttuvat vastaavasti. Piirremallinnusmenetelmässä malli muodostuu piirteistä. Peruspiirteeseen lisätään piirteitä, jolloin muodostuu haluttu malli. Muodostettujen piirteiden ominaisuuksia on mahdollista muokata piirrepuun kautta. (Hietikko 2015, 23; Stríteský 2019, 27.)

Blender on ilmainen Windowsille, Macille ja Linuxille saatavilla oleva 3D-mallinnusohjelma, joka on kehitetty avoimen lähdekoodin lisenssillä. Aloittelijalle ohjelma voi olla monimutkainen sen laajuuden vuoksi. Blenderillä on mahdollista tehdä yksittäisten 3D-mallien lisäksi esimerkiksi teksturointia ja animaatioita ja ohjelma soveltuukin tarkkaan parametriseen mallintamiseen verrattuna paremmin taiteellisten mallien luomiseen. (Stríteský 2019, 28.)

OpenSCAD on myös avoimen lähdekoodin ohjelma ja on saatavilla ilmaiseksi. Ohjelma poikkeaa muista mallinnusohjelmistoista oleellisesti käyttötapaansa osalta. Mallien luominen tapahtuu kirjoittamalla koodia kaksiosaisessa käyttöliittymässä, jossa toisessa on tekstinäkymä ja toisessa 3D-mallin esikatselu. OpenSCAD soveltuu paremmin ohjelmointiin tottuneelle henkilölle. (Stríteský 2019, 29.)

Edellisten mallinnusohjelmaesimerkkien lisäksi on saatavilla paljon muita 3D-mallinnukseen sopivia ohjelmistoja. Aloittelijoille soveltuvia ovat Tinkercadin lisäksi esimerkiksi SelfCAD ja Microsoft 3D Builder. Opiskelijoille ja ammattilaisille sopivia ovat mm. Autodesk Inventor, SolidWorks, Rhinoceros, OnShape, FreeCAD, SketchUp ja ZBrush. Laajempia ohjelmistokokonaisuuksia edustavat CATIA, Creo ja NX. (Choosing the Best 3D CAD Software: A Comprehensive Guide n.d.)

Jotkut ohjelmistoyritykset tarjoavat ohjelmistaan ilmaisia lisenssejä opiskelukäyttöön. Esimerkiksi Autodeskin mallinnusohjelmat, kuten Inventor, ovat ilmaiseksi käytettävissä oppilaitosten henkilökunnalle ja opiskelijoille. Ohjelmistoihin saa rekisteröitymällä Autodeskin verkkosivulla vuoden käyttölisenssin, jonka jälkeen halutun ohjelman voi ladata ja asentaa omalle tietokoneelle. (About the Autodesk Education plan. n.d.)

## **5 Robotiikan koulutus ammatillisessa koulutuksessa**

Ammatillisen koulutuksen tavoitteena on kehittää opiskelijan ammatillista osaamista sekä osaltaan kehittää työelämää ja vastata työelämän osaamistarpeisiin. Lisäksi ammatillisen koulutuksen tavoitteena on edistää yrittäjyyttä ja tukea elinikäistä oppimista. Opintojen jatkaminen korkeakoulussa on mahdollista ammatillisen koulutuksen suorittamisen jälkeen. (Ammatillinen koulutus 2022.)

Robottiikkaa voi opiskella ammatillisessa koulutuksessa kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnossa ja sähkö- ja automaatioalan perustutkinnossa. Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon robotin käyttö -tutkinnon osassa asetetaan opiskelijalle erilaisia ammattitaitovaatimuksia. Näitä ovat robotin ja sen apulaitteiden käytön osaaminen, nivelvarsirobotin tai robottisolun ohjelmointi ja käyttö, nivelvarsirobotin palauttaminen tuotantokuntoon häiriötilanteen jälkeen ja työelämän toimintatapojen ja robotin käytön työturvallisuusvaatimusten noudattaminen. Opiskelijan osaamista arvioidaan näiden ammattitaitovaatimusten hallitsemisesta käytännön työtehtävissä järjestettävissä näytöissä. (Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto 2022; Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto 2021.)

Sähkö- ja automaatioalan perustutkinnossa on teollisuusrobotin asennus ja käyttö -tutkinnon osa, jossa ammattitaitovaatimukset on jaettu neljään osaan. Ammattitaitovaatimuksia ovat robotiikka-asennuksiin valmistautuminen, robotin asennukset ja käyttöönotto, robotin ja robottisolun käyttäminen sekä robotin huolto ja kunnossapito. Ammattitaito osoitetaan näytössä tekemällä teollisuusrobotin asennuksia ja käyttämällä teollisuusrobotia. (Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto 2021.)

## 6 Tutkimustulokset

Kohderyhmänä tämän opinnäytetyön aineistonkeruussa olivat suomessa toimivien ammattioppilaitosten kone- ja tuotantotekniikan ja sähkö- ja automaatioalan opetushenkilöstö. Sähköpostiosoitteet tutkimusta varten kerättiin oppilaitosten verkkosivujen henkilöstön yhteystietojen kautta. Sähköpostiosoitteita saatiin kerättyä 548 kappaletta. Näistä 277 oli kone- ja tuotantotekniikan ja 271 sähkö- ja automaatioalan henkilöstöä. Joidenkin oppilaitosten yhteystiedoissa ei ollut eritelty henkilön osaamisalaa tai yhteystietoja ei ollut saatavilla. Näiden oppilaitosten henkilöstölle kyselyä ei voitu lähettää. Kyselyyn vastasi 40 henkilöä ja vastausprosentti oli 7,3%.

Kyselyssä esitettiin seuraavat kysymykset:

1. Minkälaisia käytännön harjoituksia teillä on käytössä robotiikan opetuksessa?
2. Minkälaisia harjoituksia toivoisitte roboteille opetuskäyttöön?
3. Oletteko valmistaneet 3D-tulostamalla komponentteja ja/tai harjoitustehtäviä roboteille?
  - Kyllä. Mitä?
  - Ei.
4. Mikä on näkemyksenne, miten 3D-tulostusta voitaisiin parhaiten hyödyntää robotiikan opetuksessa?

Seuraavassa olen analysoinut kyselystä saatuja vastauksia kysymyksittäin. Kaikki kyselystä saadut vastaukset on taulukoitu muokkaamattomina liitteessä 3.

### *1. Minkälaisia käytännön harjoituksia teillä on käytössä robotiikan opetuksessa?*

Laadullisessa sisällönanalyysissä pyritään ymmärtämään aineiston sisältöä ja tunnistamaan siinä esiintyviä teemoja tai kategorioita. Tässä tapauksessa vastauksia analysoitiin robotiikan opetuksen käytännön harjoitusten näkökulmasta. Kategorioiksi muodostui kappaleenkäsittely, ohjelmointi, hitsaus, konenäkö, levyjen taivutus ja muut yksittäiset harjoitukset.

Suuri osa vastaajista mainitsi kappaleenkäsittelyn, jossa käytetään robottia siirtämään kappaleita paikasta toiseen. Toinen yleinen harjoitus on ohjelmointi, joka liittyy usein robotin liikeratojen luomiseen ja kappaleiden käsittelyn ohjaamiseen. Hitsausharjoitukset hitsausrobotilla mainittiin myös

useassa vastauksessa. Konenäköä hyödynnettiin myös joissain vastauksissa, esimerkiksi kappaleiden tunnistamisessa ja lajittelussa.

Muut mainitut harjoitukset olivat melko erilaisia ja vaihtelevia, kuten levyjen taivutus, Legorobotit, Arduino-ohjelmointi ja pisteiden ajo käsikapulalla. Useat vastaukset mainitsivat myös rajalliset resurssit opetustyössä.

## *2. Minkälaisia harjoituksia toivoisitte roboteille opetuskäyttöön?*

Kysymys koski toiveita harjoituksista, joita roboteille voitaisiin tarjota opetuskäyttöön. Vastaajat keskittyivät pääasiassa konkreettisiin harjoituksiin, jotka liittyivät teollisuuden käyttöön, kuten hit-sausharjoituksiin, kappaletavaran käsittelyyn ja automaatioon, kappaleiden vaihtoon CNC-koneelle, robottien kunnossapitoon ja häiriötilanteiden ratkaisuun. Osa vastaajista mainitsi myös haluavansa harjoituksia, jotka perustuvat parametriojelmointiin ja mobiilirobotteihin. Jotkut vastaajat myös toivoivat, että harjoitukset olisivat käytännönläheisiä ja innostaisivat opiskelijoita oppimaan robotiikkaa. Vastaukset keskittyivät opiskelijoiden tarpeisiin, joita he tarvitsevat tulevaisuudessa tyotehtävissään teollisuudessa.

## *3. Oletteko valmistaneet 3D-tulostamalla komponentteja ja/tai harjoitustehtäviä roboteille?*

Vastaukset sisälsivät erilaisia komponentteja ja harjoitustehtäviä, jotka on valmistettu 3D-tulostamalla. Vastauksissa mainittiin muun muassa tarttujan leukoja, kappaleita kappaleenkäsittelyyn, telineitä kappaleiden ladontaa varten, varaosia, pienosia, kiinnikkeitä, koteloiteja, shakkinappuloita, anturien kiinnitysvälineitä ja terätulkkeja. Näiden teemojen lisäksi vastauksissa mainittiin erilaisia kohteita, joihin tulostettuja komponentteja voidaan käyttää, kuten teollisuuskeittiö, automaatio-ohjattu minitehdas, konepajamittauksen ympäristö, satunnaiset tarpeet ja shakkilaudan pelinappulat. Vastaukset viittasivat siihen, että 3D-tulostamista käytetään oppilaitoksissa erilaisten komponenttien valmistamiseen roboteille ja muille laitteille. Vastaukset eivät kuitenkaan antaneet tarkkaa kuvaa siitä, kuinka yleistä 3D-tulostaminen näiden komponenttien ja harjoitustehtävien valmistamisessa on.

#### 4. Mikä on näkemyksenne, miten 3D-tulostusta voitaisiin parhaiten hyödyntää robotiikan opetuksessa?

Kysymys liittyi 3D-tulostuksen hyödyntämiseen robotiikan opetuksessa. Vastaajat ehdottivat erilaisia ideoita, kuten tarttujien leukojen tulostamista, valmiiden palikoiden tulostamista, hitsaamalla 3D-tulostamista, harjoitustöitä ja valmiita tulostustiedostoja, 3D-tulostuksen ja robotiikan yhteiskäyttöä, metallitulostettujen komponenttien käyttöä, harjoituskappaleiden luomista, koordinaatiston hahmottamista, 3D-kuvien käyttöä, käsiteltävien kappaleiden ja tarttujien osien tulostamista sekä erilaisten tarraimien tekemistä. Vastaajat mainitsivat myös erilaisten osien, kuten kuljettimien, lajittelijoiden ja koneiden osien, valmistamisen 3D-tulostamalla. Osa vastaajista totesi, että 3D-tulostuksen ja robotiikan yhdistämistä ei ole vielä juurikaan käytetty oppilaitoksissa, mutta se voisi olla hyödyllistä oppilaille ja tuleville tekniikan ammattilaisille.

## 7 Johtopäätökset

Vastaajien ehdotukset osoittivat, että 3D-tulostuksen käyttö robotiikan opetuksessa tarjoaa monia mahdollisuuksia oppilaille ja tuleville tekniikan ammattilaisille. 3D-tulostuksen avulla voidaan luoda erilaisia osia, kuten tarttujien leukoja, harjoittelukappaleita sekä muita robotiikan komponentteja, joita voidaan käyttää harjoitustyössä ja käytännön projekteissa. 3D-tulostus voi myös auttaa oppilaita hahmottamaan koordinaatistoa ja parantamaan avaruudellista hahmottamistaan.

Lisäksi metallitulostettujen komponenttien käyttö ja koneiden osien valmistaminen 3D-tulostamalla voivat tarjota opiskelijoille mahdollisuuden käyttää huipputeknologiaa ja parantaa valmistusprosessien ymmärtämistä. Vastaajat mainitsivat myös valmiiden tulostustiedostojen käytön mahdollisuuden, joka voi auttaa oppilaita keskittymään enemmän robottien käyttöön ja vähentää komponenttien valmistukseen käytettävää aikaa. Vaikka vastaajat huomauttivat, että robotilla suoritettavaa 3D-tulostamista ei ole vielä laajalti käytetty oppilaitoksissa, se voi tarjota opiskelijoille uusia mahdollisuuksia kehittää taitojaan.

Vastausprosentti 7,3 % tarkoittaa, että vain 40 ihmiseltä saatiin vastaus kyselyyn, kun taas 508 henkilöä ei vastannut kyselyyn. Tämä voi johtaa vääristyneisiin tuloksiin, sillä vastaajat eivät välttämättä edusta koko kohdejoukkoa. Mikäli vastaajien joukko ei edusta koko kohdejoukkoa, tulokset voivat olla vinoutuneita ja luotettavuus kärsii.

Saatu tutkimusaineisto kuitenkin vahvasti omaa näkemystäni siitä, miten 3D-tulostusta on mahdollista hyödyntää robotiikan opetuksessa. Omassa työssäni arjen kokemukset ja havainnot oppimistilanteissa ovat osoittaneet 3D-tulostuksen hyödyllisyyden robotiikassa. Siksi toin tutkimukseen mukaan omaa asiantuntijuuttani, joka tuki saatuja tuloksia ja näiden pohjalta pystyin kehittämään ratkaisumalleja robotiikan opetukseen.

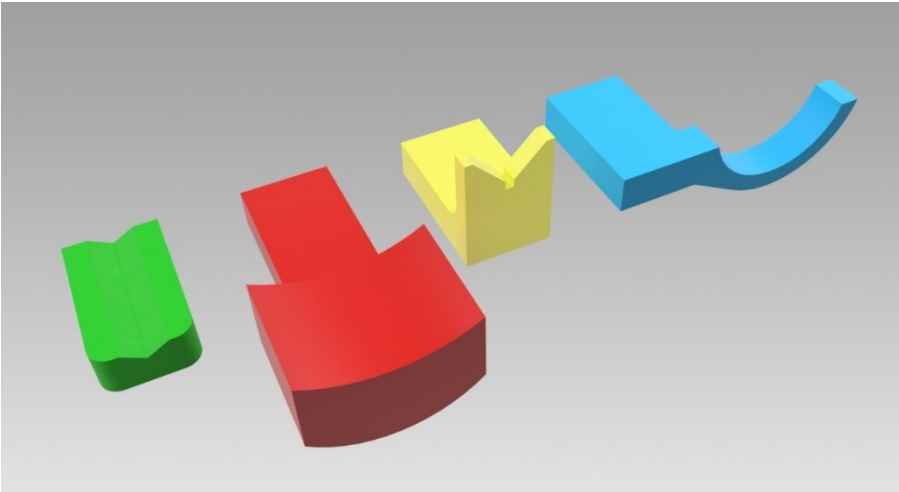
Seuraavaan lukuun olen koonnut esimerkkejä komponenteista ja harjoitustehtävästä, joiden osat voidaan mallintaa ja tulostaa oppilaitoksissa ja hyödyntää robotiikan opetuksessa. Komponenttien laatimisessa on hyödynnetty kyselyn kautta saatuja tuloksia ja omaa asiantuntemustani 3D-tulostuksen ja robotiikan osaamisalalta. Komponenteissa on keskitytty yleisimpiin robotiikassa vastaan tuleviin tilanteisiin, mutta samalla ne toimivat esimerkkeinä ja ajatuksia herättelevänä pohjana sille, missä muissa kohteissa 3D-tulostusta voisi hyödyntää.

## **8 Ratkaisumalleja robotiikan opetukseen**

Tähän lukuun olen koonnut esimerkkejä erilaisista 3D-tulostamalla valmistettavista komponenteista, joita voidaan hyödyntää robotiikan opetuksessa. Esimerkit keskittyvät kappaleenkäsittelyrobotiikkaan. Loppuun olen koostanut kokoonpanoharjoituksen, jossa kaikki tarvittavat komponentit voidaan valmistaa 3D-tulostamalla.

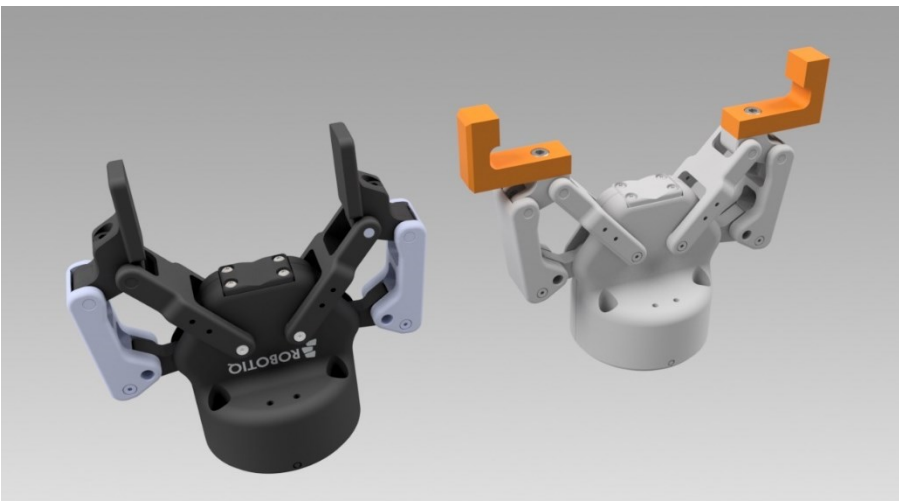
### **8.1 3D-tulostuksen hyödyntäminen robotin tarttujassa**

Tyypillisimpiä tulostettavia komponentteja robotiikassa ovat erilaiset tarttujan osat. Esimerkiksi kaksi- tai kolmisormitarttujassa mukana tulevat vakioleuat eivät välttämättä sovi kaikille kappaleille, joita robotilla käsitellään. Tällöin on valmistettava leuat, joilla kappaleesta saadaan pitävä tartunta. Kuviossa 22 on esimerkkejä erilaisista tulostettavista kaksisormitarttujan leuoista, joissa leuka on muotoiltu käsiteltävän kappaleen tartuntakohdan mukaan.



Kuvio 22. Erilaisia kaksisormitarttujan leukoja

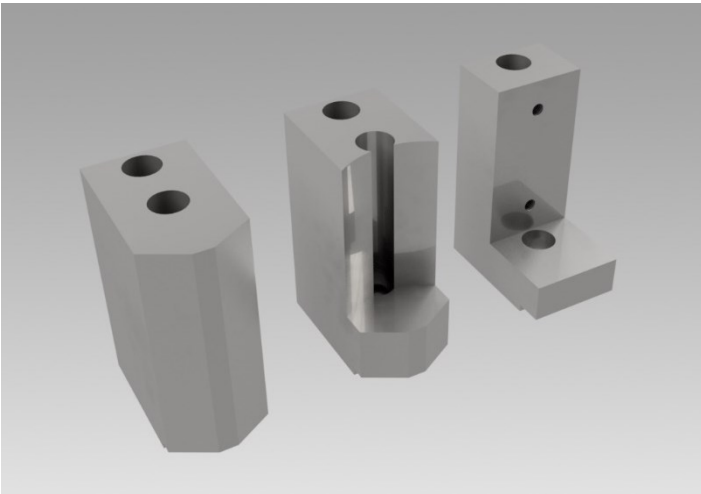
Mikäli käsiteltävä kappale on kooltaan liian suuri robotissa olevalle tarttujalle, voidaan valmistaa leuat, joilla tartuntaetäisyyttä saadaan kasvatettua. Kuviossa 23 on oikeanpuoleisessa tarttujassa tulostetut leuat, joilla voidaan poimia suurempi kappale kuin vasemmanpuoleisen, samanlaisen tarttujan vakioleuoilla. On kuitenkin varmistettava, että suurempi kappale pysyy tarttujassa kiinni, eikä pääse irtoamaan siirron aikana.



Kuvio 23. Leuat leveämpää tartuntaa varten

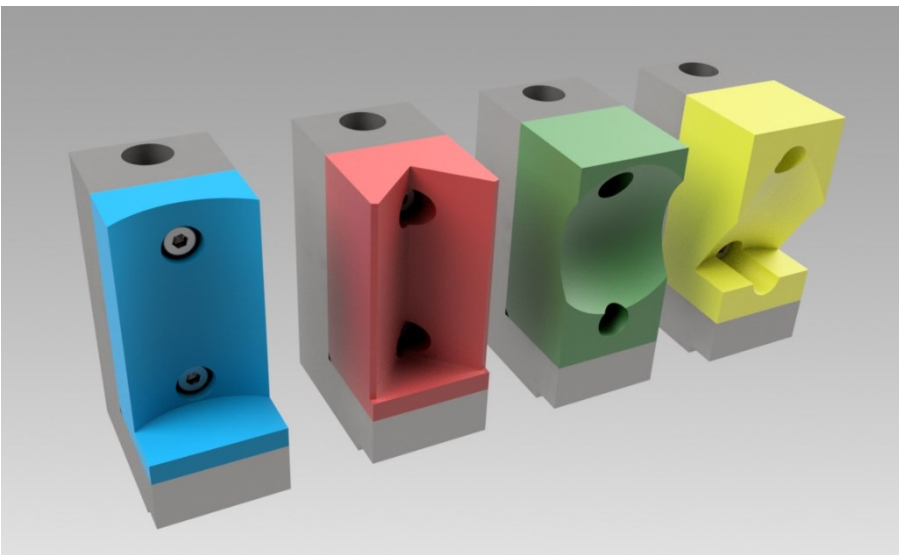
Robotteihin on saatavilla teräksisiä tarttujan leukoja. Näistä voidaan muotoilla esimerkiksi koneistamalla halutun muotoisia käsiteltäville kappaleille. Jos robotilla käsitellään paljon eri muotoisia kappaleita, joudutaan hankkimaan ja koneistamaan leukoja vastaava määrä. Suuri leukojen määrä ja koneitus lisäävät kustannuksia. Ratkaisuna voi olla perusleukoihin vaihdettavat 3D-tulostetut muotoleuat. Kuviossa 24 on vasemmalla käsittelemätön perusleuka, keskellä

koneistettu leuka tiettyä kappaleen muotoa varten ja oikealla koneistettu leuka 3D-tulostettua muotoleukaa varten.



Kuvio 24. Koneistettuja tarttujan leukoja

Koneistamalla perusleukaan paikka 3D-tulostetuille leuoille, voidaan samoja perusleukoja käyttää eri muotoisten kappaleiden käsittelyyn. Kuviossa 25 on esimerkkejä perusleukoihin tulostetuista muotoleuoista. Joidenkin leukojen muoto on haastavaa, ellei jopa mahdotonta valmistaa koneistamalla. Tällöin potentiaalinen vaihtoehto on käyttää 3D-tulostusta apuna.



Kuvio 25. Perusleukoihin vaihdettavia tulostettuja leukoja

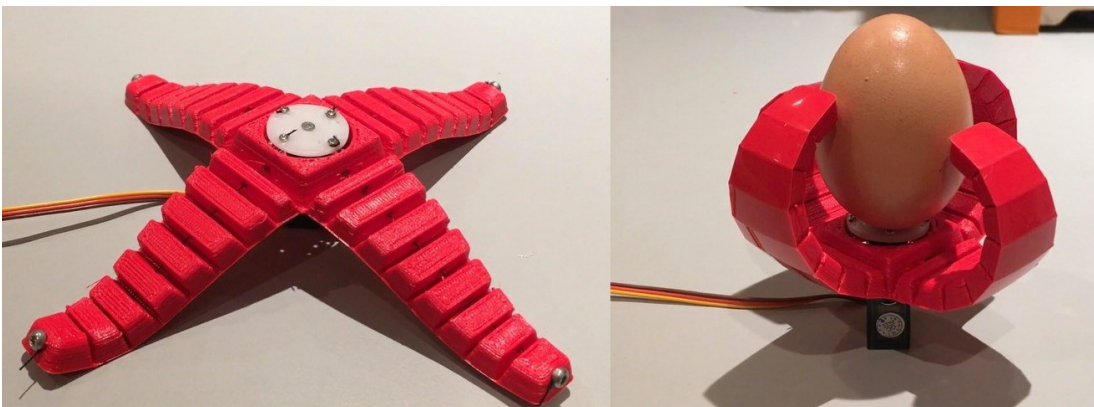
Alipainetarttuvia voidaan valmistaa 3D-tulostamalla. Itse suunnittelemalla, mallintamalla ja tulostamalla voidaan yksinkertaistaa rakennetta huomattavasti. 3D-tulostuksen avulla voidaan

tarttujaan suunnitella sisäiset imukanavat, jotka eivät ole alttiita rikkoutumiselle kuten ulkoiset imuletkut. Alipainetarttuja voidaan muotoilla käsiteltävän osan mukaan, kuten kuviossa 26.



Kuvio 26. 3D-tulostettu alipainetarttuja (Asiakascase: 3D-tulostamalla kevyemmät robottitarttutjat edullisemmin ja nopeammin 2016)

3D-tulostamalla voidaan valmistaa myös erikoistarttuja. Kuviossa 27 on esitetty joustavasta materiaalista tulostettu taipuva tarttuja. Tulostusmateriaaliksi soveltuu TPU-muovi.

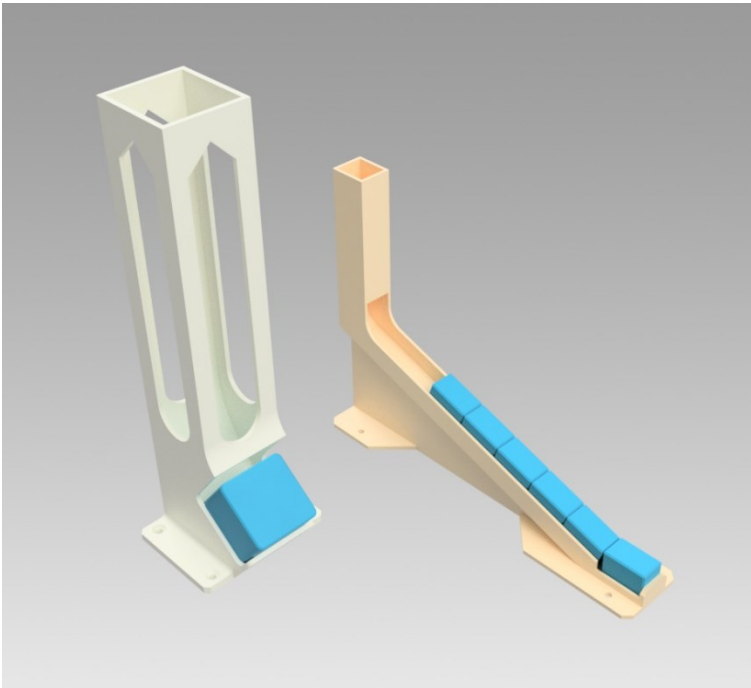


Kuvio 27. Joustava tarttuja (Print-In-Place Robotic Gripper n.d., muokattu)

## 8.2 Kappaleiden hallinta robotin työalueella

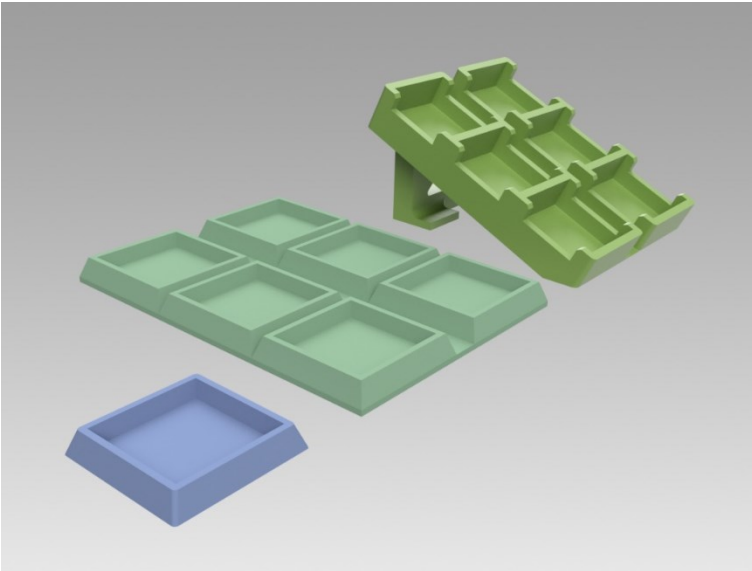
Automaattisesti toimiva kappaleenkäsittelyrobotti poimii kappaleita käsiteltäväksi tietyistä paikasta. Poimintapaikka voi olla esimerkiksi liukuhihna tai kuormalava. Mikäli liukuhihnaa ei ole käyt-

tettävissä ja halutaan automatisoida kappaleiden syöttö robotille, voidaan apuna käyttää painovoimaa. Robotiikan harjoitustehtävissä riittää yleensä, että tiettyä toimenpidettä toistetaan muutama kerran, eikä toiston tarvitse olla jatkuvaa. Näin ollen voidaan valmistaa erilaisia kappaleiden syöttölaitteita robotille, jotka toimivat painovoiman avulla. Kuviossa 28 on kaksi esimerkkiä kappaleiden syöttämisestä robotin poimittavaksi.



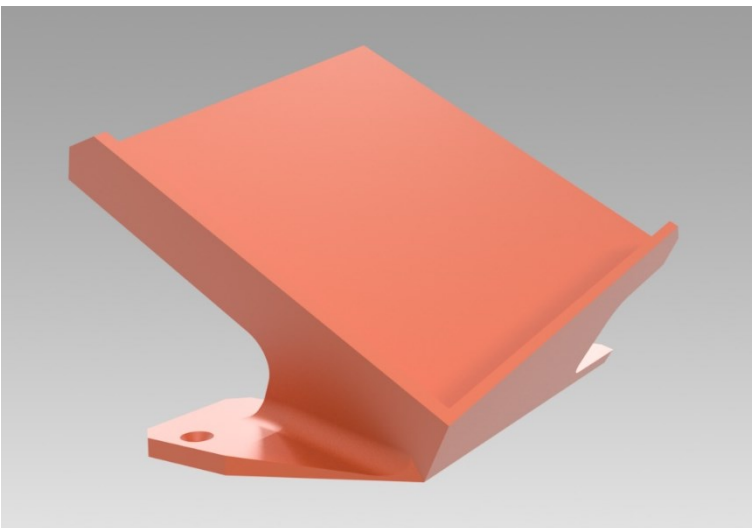
Kuvio 28. Kappaleiden syöttö robotille

Robotiikkaharjoituksissa kappaleita usein ladotaan esimerkiksi pöydälle tai kuormalavalle. Ladontaharjoituksen vaativuutta voi vaihdella käyttämällä erilaisia telineitä, joihin kappaleet asetellaan. Jos käytetään alipainetarttujaa, kappaleet on mahdollista latio kiinni toisiinsa. Mikäli käytössä on kaksisormitarttuvia, joudutaan kappaleiden väliin jättämään tarttujalle tilaa. Tämä tulee huomioida telineitä suunniteltaessa. Kuviossa 29 on esitetty erilaisia telineitä, joihin kappaleita voi latio.



Kuvio 29. Ladontatelineitä

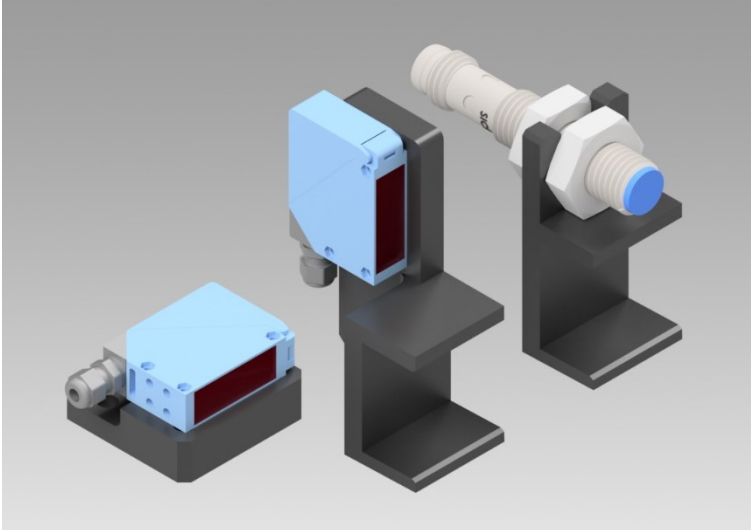
Mikäli poimittava kappale halutaan asemoida tarkasti tarttujaan, voidaan käyttää erillistä telineettä, johon kappale pudotetaan ja poimitaan uudelleen. Tässä telineessä kappaleet orientoituvat kolmessa suunnassa siten, että uudelleen poimittaessa kappaleet ovat aina tarttujaan nähden samassa asemassa. Orientointitelineettä käyttämällä voidaan poistaa kappaleen sijaintiin liittyvät epätarkkuudet poimittaessa kappale käsiteltäväksi robotilla. Kuviossa 30 on esitetty 3D-tulostamalla valmistettava orientointiteline.



Kuvio 30. Orientointiteline

Robottiikaharjoituksissa voidaan käyttää erilaisia antureita. Anturit voivat olla kiinteästi asennettu harjoitusalueelle tai ne voivat olla liikuteltavissa eri harjoitusten tarpeiden mukaan. Tulostamalla

voidaan valmistaa erilaisille antureille sopivia kiinnikkeitä. Kuviossa 31 on esitetty 3D-tulostettavia kiinnikkeitä antureille. Vasemmalla on pöydän pintaan ruuveilla tai kaksipuoleisella teipillä kiinnitettävä anturin kiinnike ja keskellä ja oikealla pöydän reunaan kiinnittyvät siirrettävät versiot.



Kuvio 31. Kiinnikkeitä antureille

### 8.3 Kokoonpanoharjoitus kappaleenkäsittelyrobotille

Tämän kokoonpanoharjoituksen tarkoituksena on simuloida robottisolua, jossa suoritetaan tuotteen kokoonpano. Tavoitteena on oppia ohjelmoimaan robotin liikeradat riittävällä tarkkuudella ja sopivilla liikenopeuksilla. Harjoituksessa pyritään myös hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan aliohjelmia, laskureita, hyppykäskyjä tai muita ohjelmatoimintoja, jotka helpottavat ohjelmointia ja lyhentävät ohjelman pituutta.

Harjoitus on suunniteltu UR5-yhteistyörobotille, mutta soveltuu luonnollisesti muillekin roboteille, joiden ulottuvuus riittää kattamaan harjoitusalueen. Käsiteltävien kennorakenteisten muovikappaleiden paino on enimmillään noin 100 g, joten pienempienkään robottien kuormankantokyky ei ole rajoittava tekijä tässä harjoituksessa. Tarttujana harjoituksessa käytetään kaksisormitarttujaa, jonka on avauduttava yli 70 mm. Lisäksi avautumismatkan on oltava säädettävissä. Esimerkkinä harjoituksessa on käytetty Robotiq 2F-85 -tarttujaa.

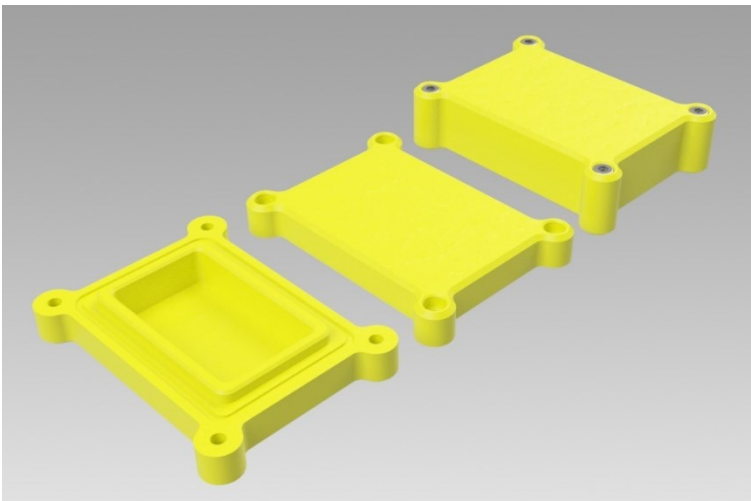
Kokoonpanoharjoituksen kaikki komponentit on suunniteltu 3D-tulostettaviksi tulostimilla, joiden rakennuskammion koko on vähintään 150 mm x 150 mm x 160 mm (leveys x syvyys x korkeus).

Kaikki komponentit on mallinnettu siten, että tulostuksessa ei tarvita tukirakenteita. Kaikkiaan tulostettavia osia on 18 kappaletta, mukaan lukien kaksipistetarttujan leuat.

### **Kokoonpanoharjoituksen komponentit**

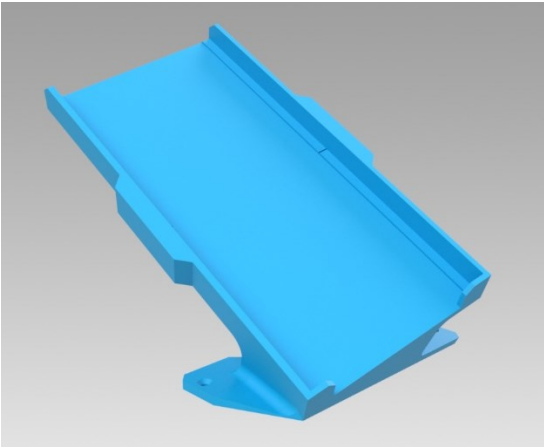
Harjoituksen komponentit kiinnitetään ruuvaamalla esimerkiksi vanerilevyille. Ruuveina voi käyttää 4x20 uppokantaruuveja. Levyn koko tässä harjoituksessa on suunniteltu olevan 500 mm x 500 mm. Levyn paksuus tulee olla riittävä ruuvausta varten, esimerkiksi 24 mm. Erillinen levy, johon harjoitus on koottu, on helposti siirrettävissä robotille harjoittelua varten.

Koottava tuote käsittää pohja- ja kansikappaleen. Pohjakappaleeseen on mallinnettu ura, johon harjoitellaan tiivistemassan levitystä. Osissa on paikat pulteille kiinnittämistä varten. Molemmat osat poimitaan tarttujalla kapeammalta leveydeltä, joka on 70 mm. Pohja- ja kansiosa sekä koottu tuote on esitetty kuviossa 32.



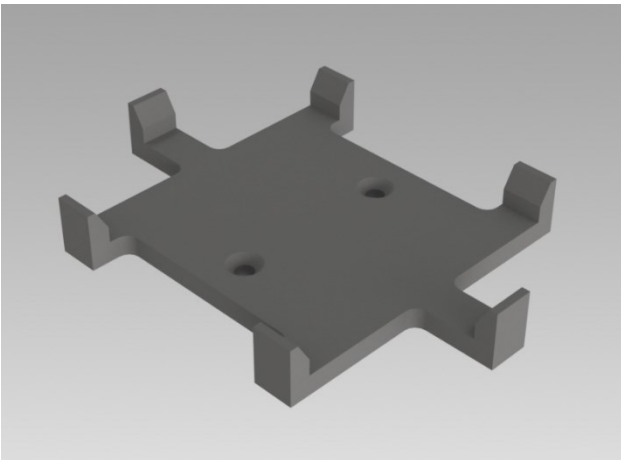
Kuvio 32. Harjoituksessa käsiteltävät kappaleet

Kappaleet syötetään robotille kappaleiden syöttöaseman kautta. Harjoitukseen tulee kaksi samanlaista syöttöasemaa, joista toisessa on pohjakappaleet ja toisessa kansikappaleet. Kumpaankin asemaan mahtuu kolme kappaletta. Syöttöasema on suunniteltu kaksiosaiseksi, jotta se veisi mahdollisimman vähän tilaa tulostimilla. Kuviossa 33 on esitetty kaksiosainen kappaleiden syöttöasema.



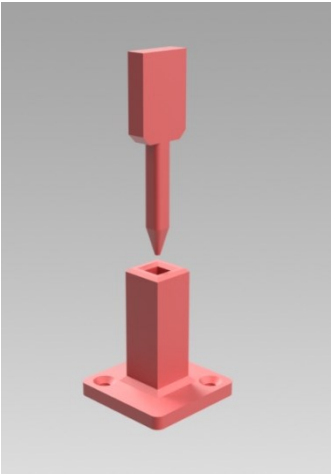
Kuvio 33. Kappaleiden syöttöasema

Tuotteen kokoonpano tapahtuu kokoonpanoasemassa. Kokoonpanoasema on suunniteltu siten, että se keskittää pohjakappaleen pienellä välyksellä aseman keskelle. Muissa kappaleissa asennusvälys on suurempi, joten kokoonpanoaseman tarkkuus riittää luotettavaan kappaleiden kokoonpanoon. Kokoonpanoasema on esitetty kuviossa 34.



Kuvio 34. Tuotteen kokoonpanoasema

Koska opetuskäytössä harvemmin on robotille tarkoitettua laitteistoa tiivistemassan levitykseen, simuloidaan tässä harjoituksessa tiivistemassan levittämistä kappaleeseen. Tiivistemassan levitykseen käytetään kuviossa 35 esitettyä kynämäistä tiivistemassatyökalua, joka on sijoitettu omaan telineeseensä. Työkalu poimitaan kaksipistetarttujan leukojen tasopinnoilla. Todellisessa massan levityksessä robotin ohjelmassa laitetaan massan pursotus päälle/pois robotin lähtöjen kautta. Tätä voidaan haluttaessa simuloida kytkemällä ohjelmassa esimerkiksi erillinen lamppu päälle/pois robotin lähtöjen kautta.



Kuvio 35. Tiivistemassatyökalu ja teline

Kappaleet kiinnitetään toisiinsa lopuksi M5x20 pulteilla. Tässä harjoituksessa pultteja ei kierretä paikalleen, vaan ne pudotetaan niille varattuihin reikiin kappaleessa. Pultit poimitaan pulttiautomaatista tarkoitusta varten muotoiltujen leukojen avulla. Poimintavaihe vaatii ohjelmoinnissa tarkkuutta ja maltillista liikenopeutta, koska virhemarginaalit tilan suhteen ovat pienet poimintakohdassa. Tulostusta varten pulttien syöttölaite on suunniteltu kolmiosaiseksi. Kuviossa 36 esitetty syöttölaite koostuu telineestä ja syöttökourusta, joka on kaksiosainen. Syöttölaite kootaan pulttaamalla.



Kuvio 36. Pulttien syöttölaite

Tämän harjoituksen leuat on suunniteltu Robotiq 2F-85 tarttujalle. Muille tarttujille leukojen kiinnitys on suunniteltava tarttujan mukaan. Leuoissa on kaksi tartunta-aluetta: tasopinnat ja

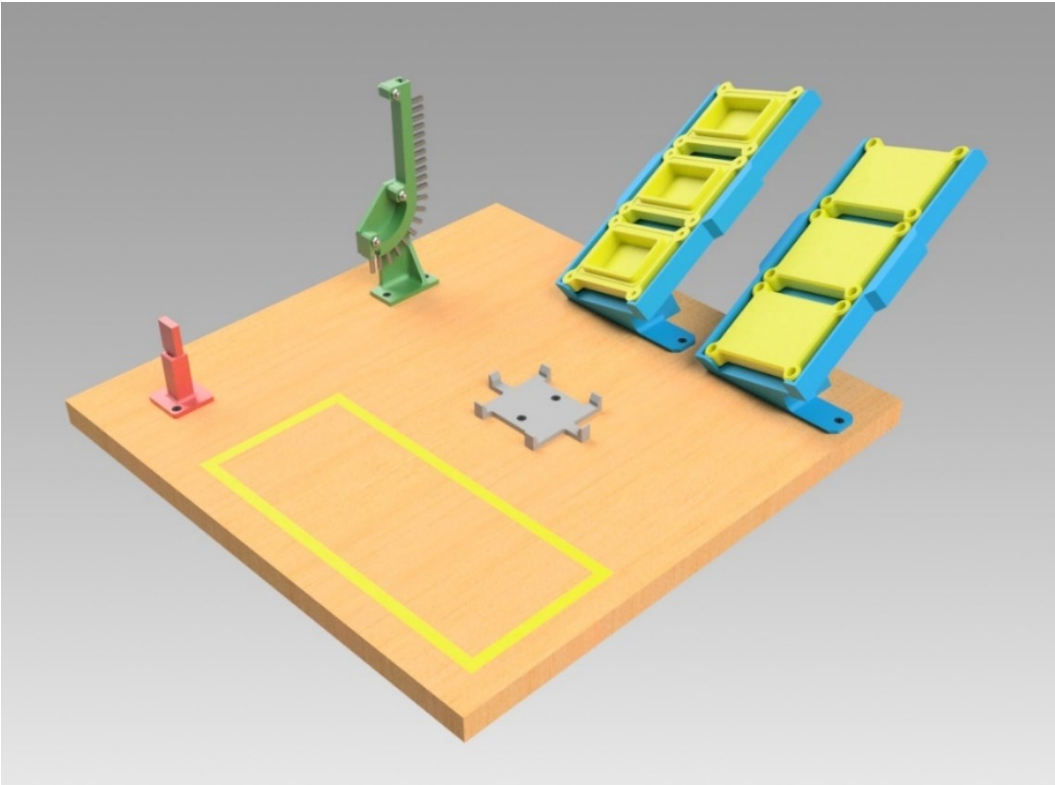
pulttien tartuntaosa. Kappaleiden siirtoihin ja tiivistemassatyökalun käsittelyyn käytetään tasopintoja, pultit poimitaan pulttien tartuntaosalla. Kuviossa 37 on esitetty harjoituksen kaksisormitarttujan leuat.



Kuvio 37. Robottitarttujan leuat

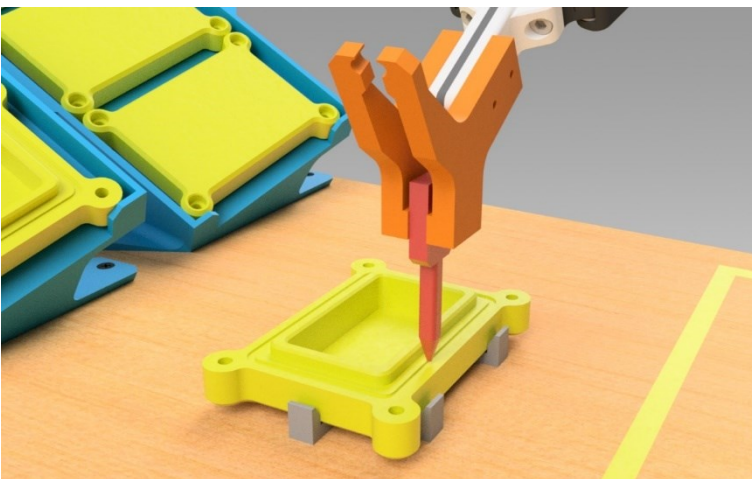
### Harjoituksen eteneminen

Kuviosta 38 ilmenee kokoonpanoharjoituksen aloitustilanne. Komponentit on sijoitettu alustalle siten, että robotilla on tilaa poimia tarvittava osa esteettömästi. Kansi- ja pohjakappaleet on ladottu omiin telineisiinsä. Molemmissa telineissä on kolme kappaletta ja telineestä poimitaan robotilla aina alin kappale käsiteltäväksi.



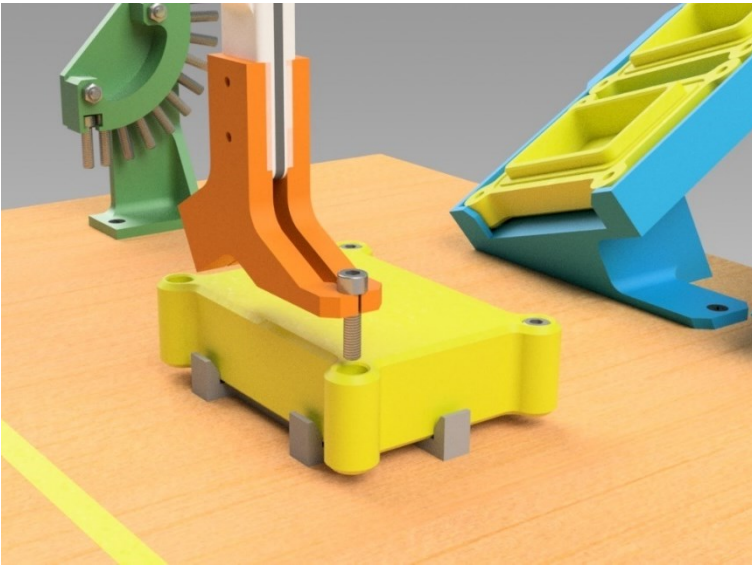
Kuvio 38. Kokoonpanoharjoituksen alkutilanne

Harjoitus aloitetaan siirtämällä pohjakappale kokoonpanoasemaan. Seuraavaksi poimitaan massatyökalu telineestä ja paikoitetaan työkalun kärki pohjakappaleessa olevan uran yläpuolelle noin 2 mm:n etäisyydelle. Massatyökalulla seurataan uraa täysi kierros käyttämällä lineaari- ja kaariliikkeitä hitaalla nopeudella, esimerkiksi 20 mm/s. Massan levittämisen jälkeen työkalu palautetaan telineeseen. Tiivistemassan levittämistilannetta kokoonpanoasemassa on esitetty kuviossa 39.



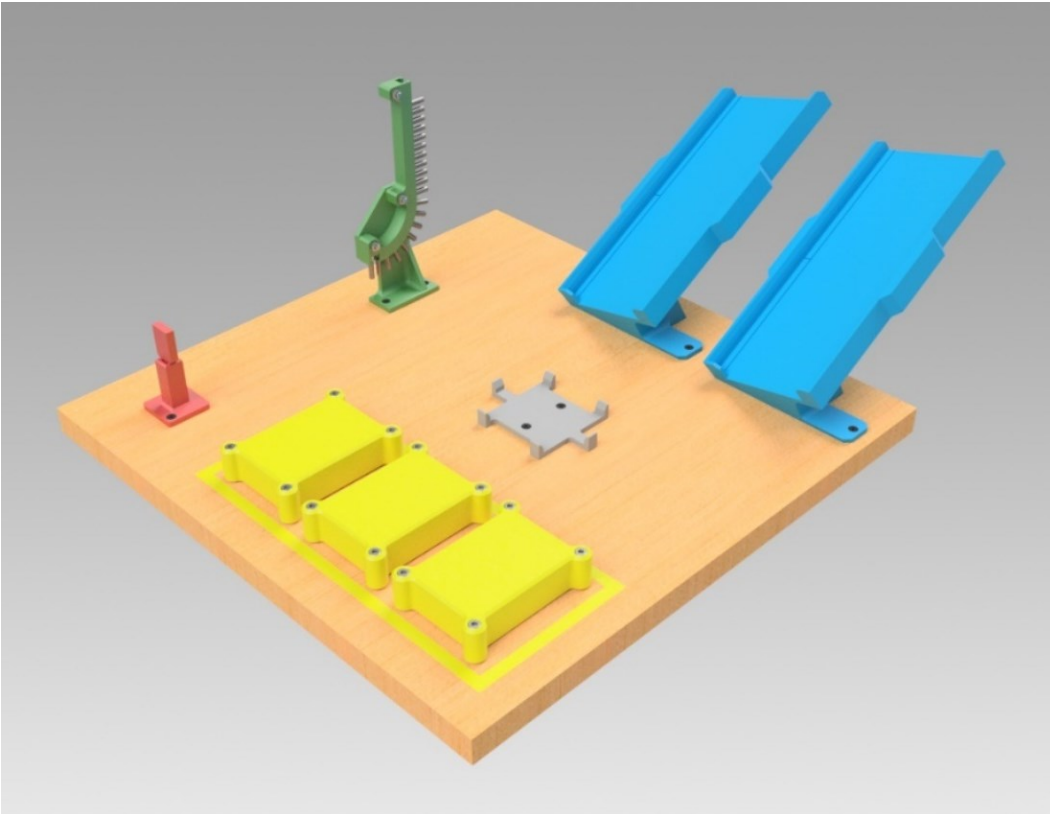
Kuvio 39. Tiivistemassan levitys

Tiivistemassan levittämisen jälkeen noudetaan toisesta kappaleiden syöttöasemasta kansikappale ja asetetaan se pohjakappaleen päälle. Pulttien syöttölaitteesta noudetaan pultti ja pudotetaan se kappaleessa olevaan pulttireikään. Pudotuskorkeus kannattaa olla mahdollisimman pieni siten, että leuat avataan vasta kun pultin kierrepää on reiässä. Pulttireiän upotus on tehty kartioksi jotta pultti putoaa kokonaan reikään eikä jää lepäämään tasomaista upotusta vasten. Jokaiseen neljään reikään asetetaan pultti. Pultin asettamista kappaleeseen esittää kuvio 40.



Kuvio 40. Pulttien asettaminen

Pulttien asettamisen jälkeen tuotteen kokoonpano on valmis. Valmis tuote nostetaan kokoonpanoasemasta tarttumalla leuoilla pohjakappaleen sivuilta. Leuat on muotoiltu siten, että ne eivät osu kansikappaleeseen. Valmis tuote vietään keltaisella merkitylle varastoalueelle. Kokoonpanoprosessi toistetaan kolme kertaa. Kuviossa 41 on esitetty kokoonpanoharjoituksen lopputilanne.



Kuvio 41. Kokoonpanoharjoituksen lopputilanne

Robottiohjelmassa kannattaa hyödyntää aliohjelmaa, laskureita ja hyppykäskyjä tai muita käyttöjärjestelmän tarjoamia mahdollisuuksia, jotta ohjelmasta ei tulisi liian pitkä ja se olisi helposti muokattavissa. Huomiota kannattaa kiinnittää robotin liiketyyppeihin ja nopeuksiin. Kaikki poiminnot ja asettamiset vaativat hitaita ja tarkkoja lineaariliikkeitä kun taas siirrot voivat olla nopeampia nivelliikkeitä.

Liitteessä 4 on opiskelijoille laadittu ohje tehtävän suorittamiseksi. Harjoitusta voi laajentaa syöttämällä enemmän kappaleita ja pinoamalla niitä esimerkiksi päällekkäin varastoalueelle. Myös koottavan tuotteen sisälle voi sijoittaa jonkin kappaleen. Tällöin on järjestettävä ylimääräinen syöttöasema kyseiselle kappaleelle.

Kokoonpanoharjoitus on tehty harjoittelua varten ja aina uutta opetellessa virheitä sattuu. Robotiikan harjoituksissa törmäysten mahdollisuus on aina olemassa. Harjoituksen komponentteja kannattaakin tulostaa muutamia kappaleita varastoon mahdollisten törmäystilanteiden varalle.

## 9 Pohdinta

Tämä tutkimus tarkasteli ainetta lisäävän valmistuksen hyödyntämistä robotiikan opetuksessa. Tutkimuksessa käytettiin kyselytutkimusta, jota täydennettiin hyödyntämällä tekijän omaa asiantuntemusta. Tuloksena oli esimerkkejä erilaisista robotiikkaan liittyvistä komponenteista ja harjoitustehtävä robotille. Tulokset toimivat esimerkkeinä oppilaitoksille robotiikan opetuksessa.

Tutkimuksen pääkysymyksenä oli: *Miten ainetta lisäävää valmistusta voi hyödyntää robotiikan opetuksessa?* Täydentävänä lisäkysymyksenä oli: *Minkä tyyppisiä harjoitustehtäviä ja niihin liittyviä komponentteja tarvitaan robotiikan opetuksessa ja mitä näistä voidaan valmistaa ainetta lisääväällä valmistusmenetelmällä?* Kyselyn kautta saatujen tulosten perusteella robotiikan erilaisten komponenttien valmistamisessa voidaan hyödyntää lisäävää valmistusta monipuolisesti, tyypillisiä osia ovat esimerkiksi tarttujan leuat ja erilaiset harjoittelukappaleet. Ainetta lisäävää valmistusta hyödyntämällä on mahdollista valmistaa myös monipuolisia harjoitustehtäviä, kuten tässä tutkimuksessa kehitetty kokoonpanoharjoitus osoittaa.

Saadut tulokset toimivat myös pohjana ideoinnille, miten ainetta lisäävää valmistusta voi robotiikassa ja myös muilla tekniikan osa-alueilla hyödyntää. Usein uusien komponenttien suunnittelussa lähdetään liikkeelle perinteisten valmistusmenetelmien pohjalta. Ainetta lisäävää valmistusta hyödyntämällä päästään irti perinteisten valmistusmenetelmien rajoituksista ja voidaan suunnitella kappaleet juuri halutunlaisiksi. Lisäävä valmistus on myös kustannustehokas keino protokappaleiden valmistamiseksi, joilla testataan osan toimivuutta ennen lopullista valmistusta. Yksi työn tuloksista onkin ajattelun ohjaaminen ainetta lisäävän valmistuksen hyötyihin.

Kahden eri tutkinnon osan opiskelijoiden välistä yhteistyötä voidaan lisätä hyödyntämällä ainetta lisäävää valmistusta robotiikan opetuksessa. Robotiikan opiskelijat voivat antaa toimeksiannon halutuista osista, jonka jälkeen 3D-tulostuksen opiskelijat pääsevät suunnittelemaan annettujen vaatimusten perusteella tulostettavia kappaleita 3D-tulostuksen vaatimukset silmällä pitäen. Tämä yhteistyö voi auttaa opiskelijoita kehittämään tiimityöskentelytaitojaan, ongelmanratkaisutaitojaan ja luovuuttaan.

Tutkimuskysymykset ja niistä johdetut kysymykset verkkokyselyyn olivat tutkimuksen luotettavuuden kannalta asianmukaisia. Kyselyn kautta saatiin mielestäni hyvä kuva opetushenkilöstöltä tämän hetken tilanteesta robotiikan opetuksesta. Lisäksi saatiin toteuttamiskelpoisia ideoita ja ajatuksia ainetta lisäävän valmistuksen hyödyntämisestä robotiikan opetuksessa.

Luotettavuutta tutkimukseen haettiin laajalla vastaajajoukolla, jotta tavoitettaisiin ne henkilöt, jotka toimivat robotiikan parissa eri oppilaitoksissa. Oppilaitosten yhteystietojen perusteella ei voitu tietää ketkä henkilöt vastaavat robotiikan opetuksesta, joten oli odotettavissa, että vastausprosentti on pieni tai vastauksissa mainitaan se, että henkilö ei opeta robotiikkaa.

Tutkimuksen rajoituksiin kuuluu kyselyn vastausprosentti, joka oli matala (7,3 %). Vastauksia saatiin 40 henkilöltä. Vaikka vastausprosentti oli alhainen, vastausten perusteella saadut tutkimuksen tulokset ovat hyödyllisiä robotiikan opetuksessa. Tutkimuksessa hyödynnettiin lisäksi työssä hankimaani asiantuntijuutta ja tutkimukseen sisällytettiin omia näkemyksiäni ainetta lisäävän valmistuksen hyödyntämisestä robotiikan koulutuksessa.

Tämä tutkimus tarjoaa käyttökelpoista tietoa robotiikan opetuksen kehittämiseen toisen asteen oppilaitoksissa. Käytännön esimerkit robottikomponenteista ja harjoitustehtävistä ovat hyödyllisiä opettajille, jotka haluavat kehittää robotiikan opetusta oppilaitoksissaan. Tutkimuksen tulokset voivat myös auttaa oppilaitoksia parantamaan opiskelijoidensa teknisiä taitoja ja valmistamaan heitä tulevaisuuden työelämään.

Jatkotutkimusaiheena voitaisiin tarkastella metallin tulostuksen hyödyntämistä robotiikan opetuksessa. Metallin tulostus on kasvava ala, joka tarjoaa mahdollisuuksia moniin sovelluksiin, mukaan lukien robotiikan opetus. Tutkimuksessa voitaisiin tutkia, miten metallin tulostus voidaan integroida robotiikan opetukseen ja mitä hyötyjä se voi tarjota opiskelijoille.

## Lähteet

3D-tulostuksen toimintaperiaate. N.d. AIPworks-yrityksen www-sivut. Viitattu 6.2.2022. <https://aipworks.fi/3d-tulostus/tietoa/3d-tulostuksen-toimintaperiaate/>.

3D-tulostuksen vaiheet suunnitelmasta valmiiksi tuotteeksi. N.d. Artikkelin 3D Formtech Oy -yrityksen www-sivulla. Viitattu 25.3.2022. <https://3dformtech.fi/3d-tulostuksen-vaiheet-suunnitelmasta-valmiiksi-tuotteeksi/>.

5 Amazing full sized furniture pieces made with 3D printing. 2010. Blogikirjoitus i.materialise [www-sivulla](http://www.i.materialise.com). Viitattu 25.3.2022. <https://i.materialise.com/blog/en/5-amazing-full-sized-furniture-pieces-made-with-3d-printing/>.

About the Autodesk Education plan. N.d. Ohje Autodesk-yrityksen www-sivulla. Viitattu 3.4.2022. <https://knowledge.autodesk.com/customer-service/account-management/autodesk-for-education/students-and-educators>.

AGC-GRP-2F140 Robotiq Two Finger Gripper. N.d. Kaksisormitarttujan tiedot Active Robots [www-sivulla](http://www.active-robots.com). Viitattu 13.2.2022. <https://www.active-robots.com/agc-grp-2f140-robotiq-two-finger-gripper.html>.

Airaksinen, M., Honkatukia, J., Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Vainio, T. & Ventä, O. 2018. Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. Valtioneuvoston kanslia. Viitattu 24.2.2022. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161102/47-2018-ROBOFINN\\_raportti\\_.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161102/47-2018-ROBOFINN_raportti_.pdf).

Alonen, A., Alonen, L. & Hietikko, E. 2016. Lisäävän valmistuksen perusteet. Savonia-ammattikorkeakoulu. Viitattu 6.2.2022. [https://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/tki\\_ja\\_palvelut/julkaisut/lisaavan\\_valmistuksen\\_perusteet.pdf](https://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/tki_ja_palvelut/julkaisut/lisaavan_valmistuksen_perusteet.pdf).

Ammatillinen koulutus. 2022. Ammatillisen koulutuksen määrittely opetushallituksen [www-sivulla](http://www.oph.fi). Opetushallitus. Viitattu 10.4.2022. <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/ammattillinen-koulutus>.

Arroyo, A. N.d. Ultimate Guide: How to design for 3D Printing. Artikkelin Wikifactory [www-sivulla](http://www.wikifactory.com). Viitattu 30.3.2022. <https://wikifactory.com/+wikifactory/stories/ultimate-guide-how-to-design-for-3d-printing>.

Asiakascase: 3D-tulostamalla kevyemmät robottitarttujat edullisemmin ja nopeammin. 2016. Aipworks [www-sivustolla](http://www.aipworks.fi) oleva asiakascase robottitarttujasta. Viitattu 14.2.2023. <https://aipworks.fi/2016/07/15/asiakascase-3d-tulostamalla-kevyemmät-robottitarttujat-edullisemmin-ja-nopeammin/>

Chekurov, S., Eklund, P., Kujanpää, V., Pekkarinen, J., Syrjälä, K. & Vihinen, J. 2017. 3D-tulostuksen suunnittelu- ja päätöksenteko-opas yrityksille. DIMECC Oy. Viitattu 6.2.2022. <https://www.dimecc.fi>

[mecc.com/wp-content/uploads/2019/06/DIMECC\\_PUBLICATIONS\\_NO12\\_3D\\_tulostuksen\\_suunnittelu\\_ja\\_paatoksen\\_teko\\_opas\\_yrityksille.pdf](https://mecc.com/wp-content/uploads/2019/06/DIMECC_PUBLICATIONS_NO12_3D_tulostuksen_suunnittelu_ja_paatoksen_teko_opas_yrityksille.pdf).

Choosing the Best 3D CAD Software: A Comprehensive Guide. N.d. Artikkelin Formlabs-yrityksen www-sivulla. Viitattu 5.4.2022. <https://formlabs.com/blog/cad-software/>.

Express guide of FDM printing materials. N.d. Artikkelin Treatstock-yrityksen www-sivulla. Viitattu 4.4.2022. <https://www.treatstock.com/guide/article/118-express-guide-of-fdm-3d-printing-materials>.

FDM 3D printing materials compared. N.d. Artikkelin HUBS-yrityksen www-sivulla. Viitattu 4.4.2022. <https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>.

Gupta, A.K., Arora, S.K. & Westcott, J.R. 2017. Industrial Automation and Robotics. Mercury Learning and Information. Viitattu 9.12.2021. <https://janet.finna.fi>, Knovel.

Hietikko, E. 2015. Tietokoneavusteinen suunnittelu. SolidWorks 2016. 7.p. Helsinki: Books on Demand.

Introduction to 3D Printing. 2016. Training in 3D printing to foster EU innovation & creativity -sivuston oppimismateriaali. EU:n Erasmus -hanke. Viitattu 26.3.2022. [https://3d-p.eu/wp-content/uploads/2018/08/IO3\\_3DP-courseware\\_EN.pdf](https://3d-p.eu/wp-content/uploads/2018/08/IO3_3DP-courseware_EN.pdf).

Kallinen, T. & Kinnunen, T. N.d. Etnografia. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 23.2.2023. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/laadullinen-sisallonanalyysi/>.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 212. <https://janet.finna.fi>, Booky.

Kananen, J. 2017. Laadullinen tutkimus pro graduna ja opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 234. <https://janet.finna.fi>, Booky.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso T. & Putkonen, K. 2001. Logiikat ja ohjausjärjestelmät. WSOY.

Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto. 2022. Tutkinnon perusteet. Opetushallitus. Viitattu 18.3.2022. <https://eperusteet.opintopolku.fi/#/fi/esitys/7823349/reformi/tutkinnon-osat/7845311>.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Helsinki: Talentum Oyj.

Kysymyksiä ja vastauksia 3D-tulostamisesta. 2018. Artikkelin Turvallisuus- ja kemikaaliviraston www-sivulla. Viitattu 20.3.2023. <https://tukes.fi/documents/5470659/8579343/Kysymyksi%C3%A4+ja+vastauksia+3D-tulostamisesta/abf321b9-bbd0-41ab-adba-4a640cbac159/Kysymyksi%C3%A4+ja+vastauksia+3D-tulostamisesta.pdf?t=1531111867000>

Lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa. N.d. Tietopankki 3D-tulostuksesta www-sivut. Savonia. Viitattu 22.3.2022. <https://3dtulostus.savonia.fi/fi/tietopankki/teollisuusuuden-kayttokohteet>.

Malik, A. & Brem, A. 2020. Man, machine and work in a digital twin setup: a case study. University of Southern Denmark, University of Stuttgart. Viitattu 24.1.2022. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2006/2006.08760.pdf>.

Menetelmät. N.d. 3D-tulostuksen menetelmät www-sivu. Savonia. Viitattu 5.2.2022. <https://3dtulostus.savonia.fi/fi/tietopankki/menetelmat>.

Optimize Additive Manufacturing Designs for Cost AND Function. N.d. Artikkelit Additive Manufacturing www-sivulla. Viitattu 25.3.2022. <https://www.additivemanufacturing.media/articles/optimize-additive-manufacturing-designs-for-cost-and-function>.

Pannett, L. 2019. Supercharg3d: How 3D Printing Will Drive Your Supply Chain. John Wiley & Sons, Incorporated. Viitattu 5.2.2022. <https://janet.finna.fi>, Ebook Central.

Print-In-Place Robotic Gripper. 2017. instructables www-sivustolla olevan tarttujan rakennusohje. Viitattu 10.2.2023. <https://www.instructables.com/Print-in-Place-Robotic-Gripper/>

Robotic AirPick Vacuum Gripper for Universal Robots. N.d. Alipainetarttujan tiedot Automation Distribution www-sivulla. Viitattu 16.2.2022. <https://automationdistribution.com/robotiq-airpick-vacuum-gripper-for-universal-robots/>.

Ronkainen, S. & Karjalainen, A. 2008. Sähköä kyselyyn! Web-kysely tutkimuksessa ja tiedonkeruussa. Lapin yliopiston menetelmätieteiden laitoksen tutkimuksia 1.

SFS-EN ISO 10218-1. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. 3.p. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 21.12.2021. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN ISO/ASTM 52900:2021. 2021. Additive manufacturing. General principles. Fundamentals and vocabulary. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 21.12.2021. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Sintering. N.d. Määritelmä ScienceDirect www-sivulla. Viitattu 12.2.2022. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/sintering>.

Stríteský, O. 2019. Basics of 3D Printing with Josef Prusa. Praha: Prusa Research a.s.

Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto. 2021. Tutkinnon perusteet. Opetushallitus. Viitattu 18.3.2022. <https://eperusteet.opintopolku.fi/eperusteet-service/api/dokumentit/8262159>.

Tietopankki 3D-tulostuksesta. N.d. Tietopankki 3D-tulostuksesta www-sivut. Savonia. Viitattu 5.2.2022. <https://3dtulostus.savonia.fi/fi/tietopankki>.

Viitanen, A., Kangas, A., Huhtiniemi, M., Kanerva, T., Stockmann-Juvala, H., Säämänen, A., Kukko, K., Tuomi, J., Partanen, J., Kallonen, K., Hämeri, K. 2016. Materiaalia lisäävän valmistuksen (3D-tulostus) kaasu- ja hiukkaspäästöt eri työvaiheissa. Työterveyslaitos. Viitattu 20.3.2023.

<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131891/Materiaalia%20lis%C3%A4v%C3%A4n%20valmistuksen%20%283D-tulostus%29%20kaasu-%20ja%20hiukkasp%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6t%20eri%20ty%C3%B6vaiheissa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

What Are Collaborative Robots? N.d. Artikkelin Association for advancing automation www-sivuilla. Viitattu 23.1.2022. <https://www.automate.org/a3-content/what-are-collaborative-robots>.

What is 3D printing? N.d. Artikkelin Makerbot-yrityksen www-sivulla. Viitattu 25.3.2022.

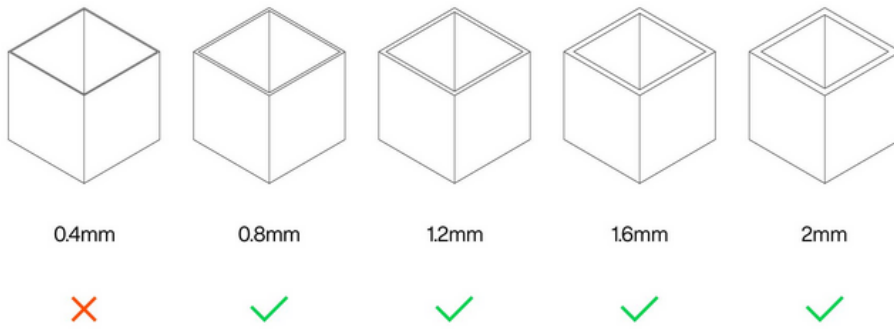
<https://www.makerbot.com/stories/engineering/what-is-3d-printing/>.

Wilson, M. 2015. Implementation of Robot Systems: An Introduction to Robotics, Automation, and Successful Systems Integration in Manufacturing. Amsterdam: Butterworth-Heinemann. Viitattu 9.12.2021. <https://janet.finna.fi>, EBSCOhost Ebooks.

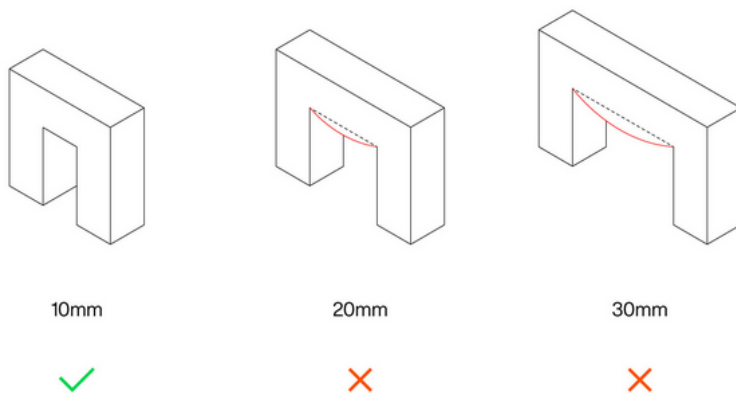
## Liitteet

### Liite 1. Näkökohtia tulostettavan kappaleen suunnitteluun

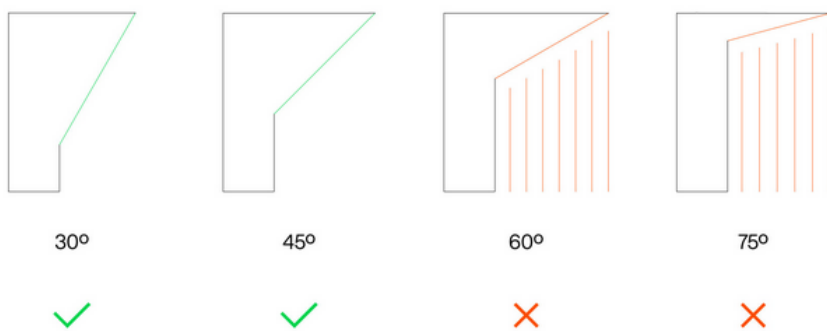
Kuvien ja tekstin lähde: Arroyo n.d.



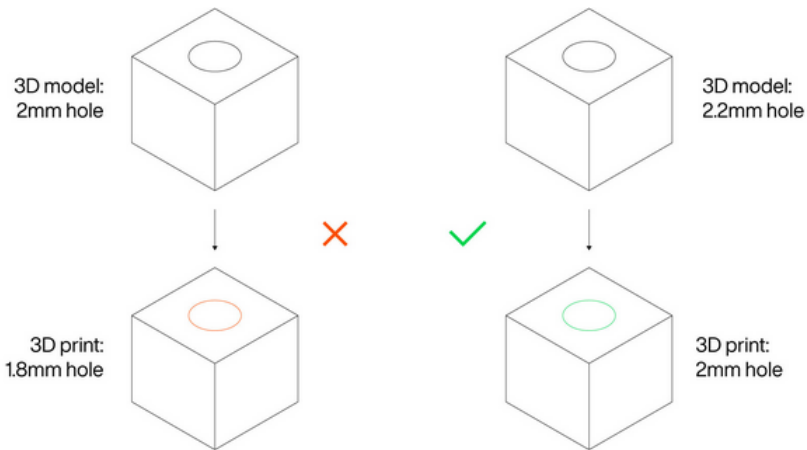
Seinämän paksuuden tulee olla vähintään 2 kertaa suuttimen halkaisija.



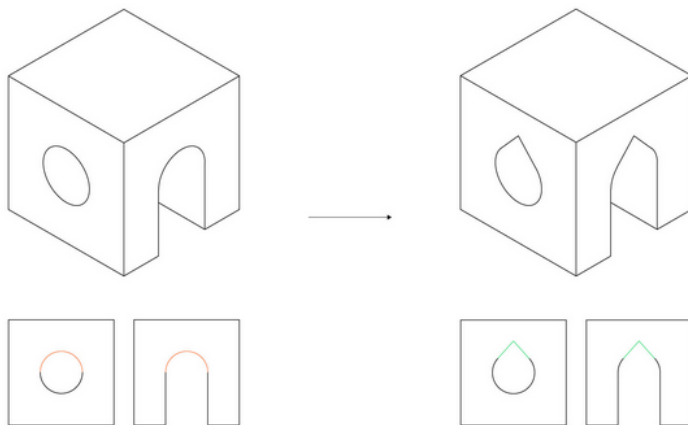
Tyhjän päälle tulostamisen eli siltauksen välimatka.



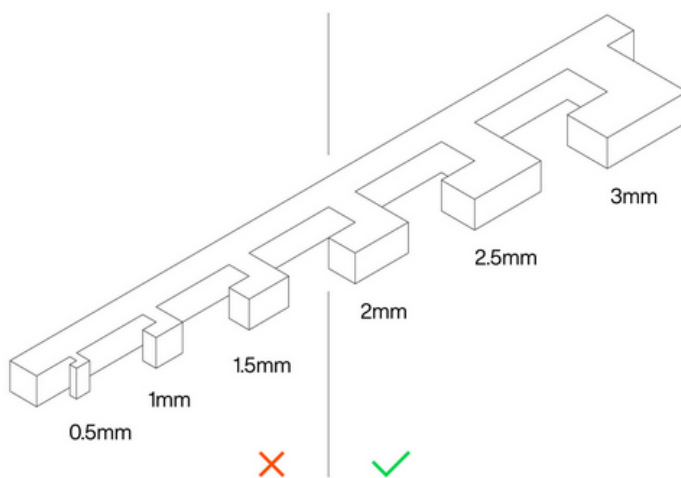
Ulokkeiden 45 asteen sääntö.



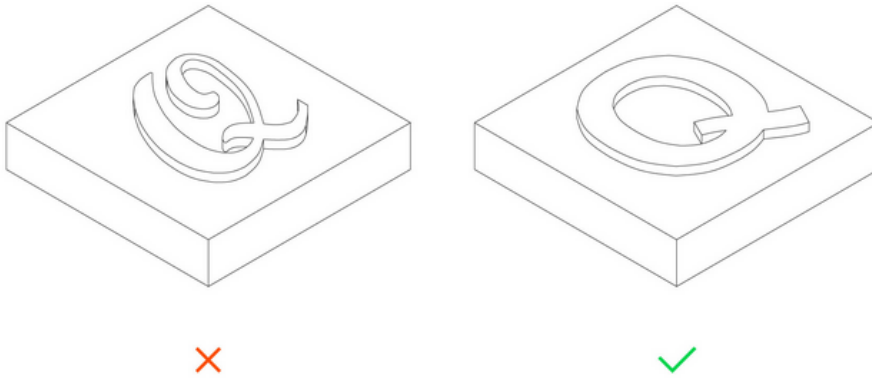
Pystysuorien reikien mittojen huomiointi.



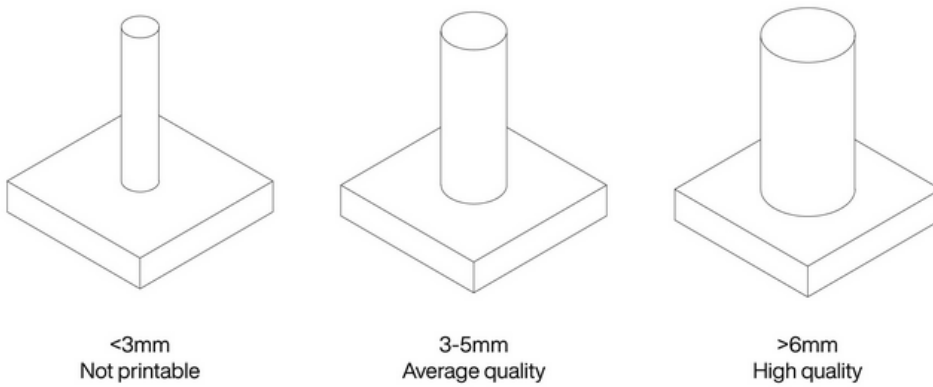
Vaakasuorat reiät ja kaaret.



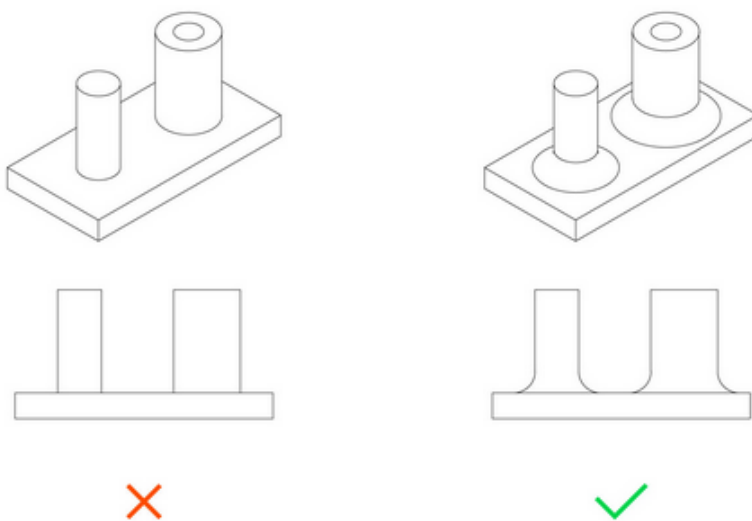
Yksityiskohtien koko.



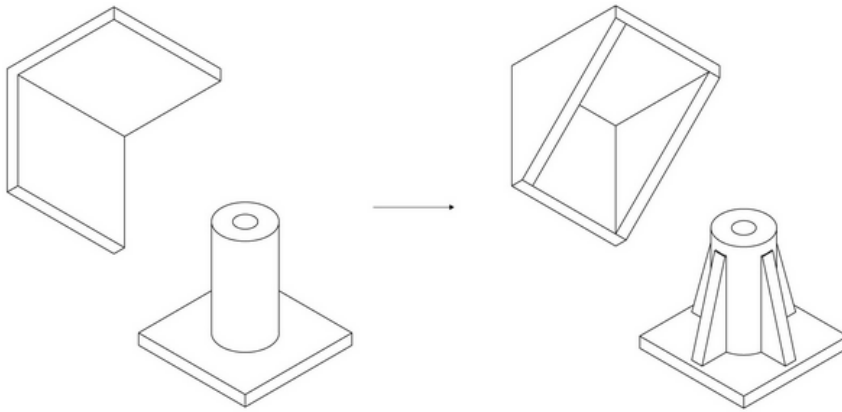
Sopivan tekstifontin valinta.



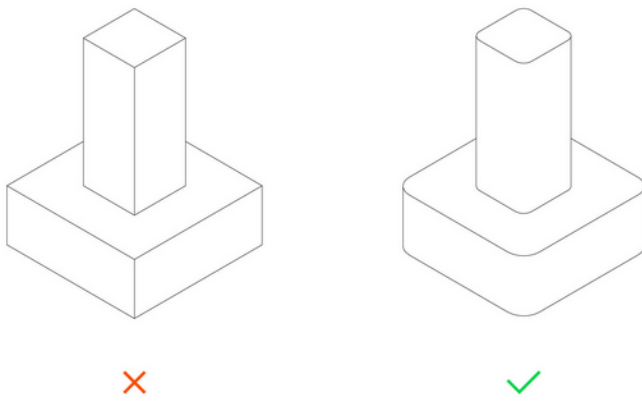
Pystysuorien akselien halkaisijat.



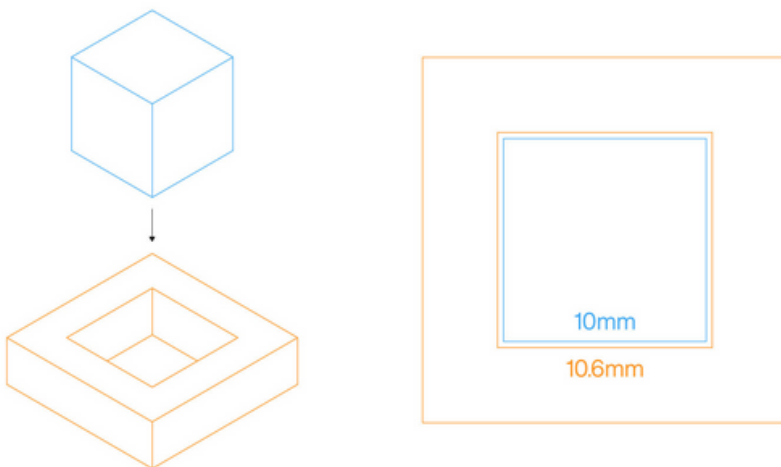
Pyöristysten käyttö rakenteen vahvistamiseksi.



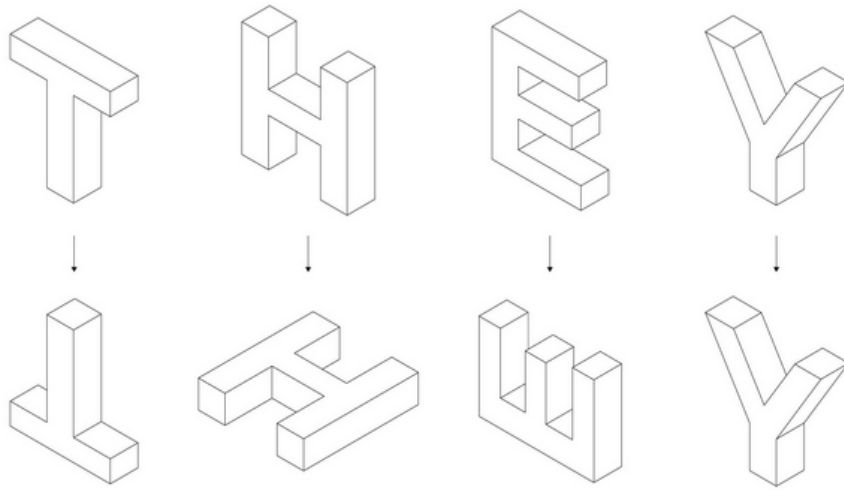
Ripojen käyttö rakenteen vahvistamiseksi.



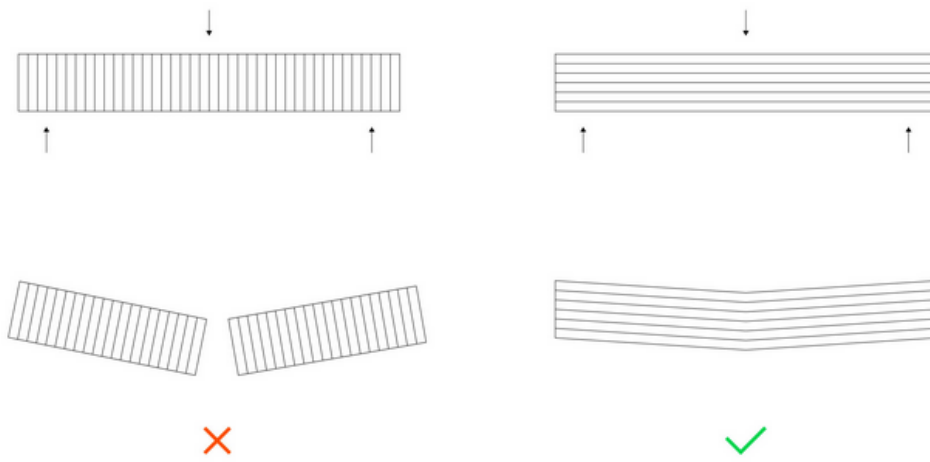
Kulmien pyöristys tekee tulostusjäljestä siistimmän.



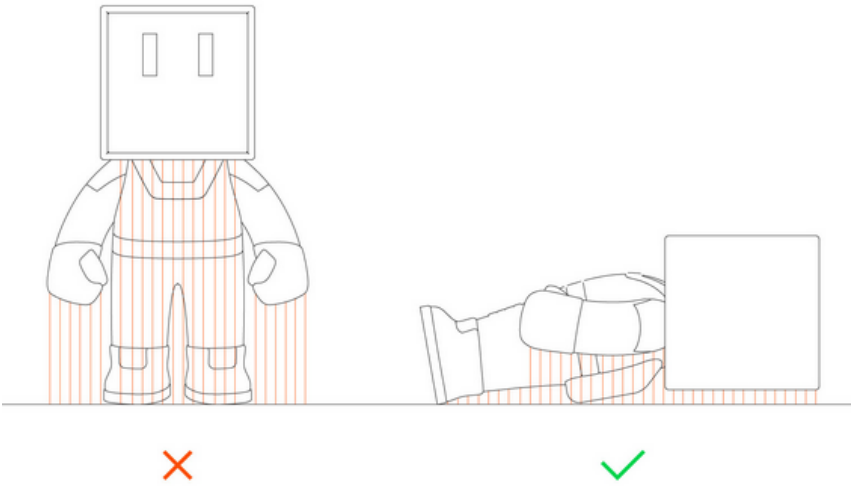
Toisiinsa liittyvien osien väliin vähintään 0,3 mm:n välys sivua kohti.



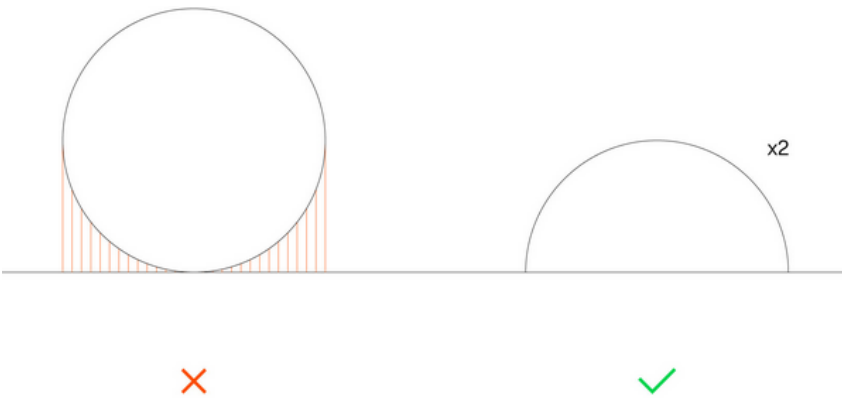
Tulostasensennon vaikutus ulokkeisiin, siltaukseen ja tukimateriaalin käyttöön.



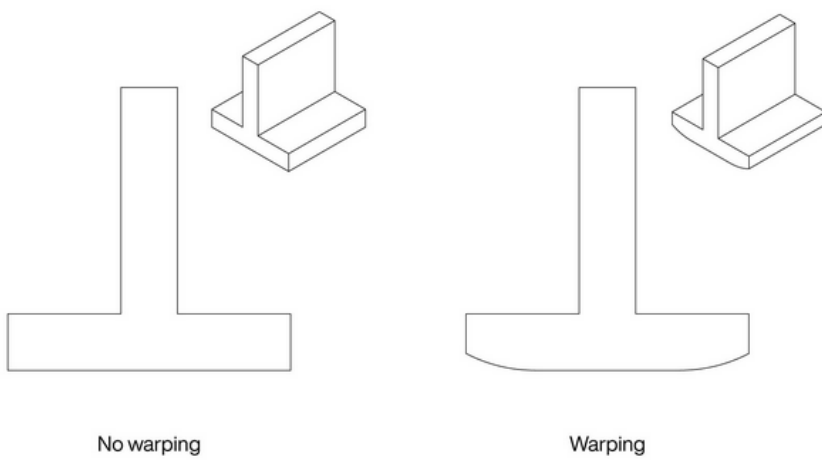
Tulostasensennon vaikutus kappaleen vahvuuteen.



Tulostusasennon merkitys tukimateriaalin määrään.



Monimutkaisen tai suuren mallin jakaminen pienempiin osiin.



Laajojen pintojen reunat irtoavat helposti tulostusalustasta.

## Liite 2. Sähköpostikyselyn saatekirje

Sähköpostin otsikko: Kysely ainetta lisäävän valmistuksen hyödyntämisestä robotiikan opetuksessa

Hyvä kone- ja tuotantotekniikan / sähkö- ja automaatioalan asiantuntija,

Olen YAMK robotiikan koulutusohjelman opiskelija Jyväskylän ammattikorkeakoulusta. Teen opinnäytetyöni yhteistyössä Ammattiopisto Samiedun kanssa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää kyselytutkimuksen avulla, miten ainetta lisäävää valmistusta voi hyödyntää robotiikan opetuksessa. Aihe liittyy kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon robotin käyttö ja 3D-valmistusmenetelmän käyttö -tutkinnon osiin sekä sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon teollisuusrobotin asennus ja käyttö -tutkinnon osaan.

Kysely on lyhyt, sisältäen neljä kysymystä, ja vastaamiseen menee aikaa noin 5-10 minuuttia.

Vastaaminen kyselyyn on luonnollisesti vapaaehtoista ja tapahtuu nimettömästi. Kyselyn tuloksia käsitellään luottamuksellisesti ja tulokset julkaistaan niin, ettei yksittäistä vastaajaa ja oppilaitosta voi niistä tunnistaa. Valmis opinnäytetyö on vapaasti luettavissa osoitteessa [www.theseus.fi](http://www.theseus.fi) julkaisemisen jälkeen.

Toivon vastausta kyselyyn 13.5.2022 mennessä. Paljon kiitoksia osallistumisesta!

Terveisin,

Timo Seppänen

Opiskelija

Jyväskylän ammattikorkeakoulu

email: [aa3941@student.jamk.fi](mailto:aa3941@student.jamk.fi)

Linkki kyselyyn: <https://link.webropolsurveys.com/S/9D998725F4EBE5CE>

### Liite 3. Kyselyn vastaukset

#### 1. Minkälaisia käytännön harjoituksia teillä on käytössä robotiikan opetuksessa?

Vastaajien määrä: 40

Vastaukset
Kappaleenkäsittelyä harjoituspalikoilla, muodon seuraamista kynällä, lavauksen harjoituksia.
Meillä ei ole robotiikan opetusta.
Ohjelmointia
Kappaleen käsittely, offline ja onnline ohjelmoinnin avulla.
Hitsausrobotilla hitsataan erilaisia osia. Kappaleenkäsittelyrobotilla jossa imukuppi ja sormitar- rain siirrellään kappaleita.
Perustason ja liian vähän. Opetuksen resurssit ovat sellaiset, että joidenkin tutkinto-osioiden laajuus on suhteellisen kapea tästä syystä.
Hitsausrobotille tulevalle kappaleelle ensin suunnitellaan ja valmistetaan hitsausjigi. Sen jälkeen tehdään ohjelma kappaleen hitsaamiseksi siinä, valmistetaan jonkinmoinen piensarja kappala- leita.Kappaleenkäsittelyrobotilla siirrellään pääasissa kappaleita paikasta toiseen
Ihan normaaleja kappaleenkäsittelyyn ja hitsaamiseen liittyviä. Työkalun vaihtoa, puhdistusru- ttiineja ja ulkoisten akseleiden käyttö. Hitsauskoneina kaksi Froniuksen CMT-konetta.
Kappaletavara-automaatioon liittyviä. 3D tulostukseen liittyviä. Levyn särmäykseen liittyviä. Hit- saukseen liittyviä.
Hitsausharjoitteet hitsausrobotilla ja kappaleenkäsittelyä kahdella muulla robotilla
Arduino-ohjelmointia, valmiin robotti-rakennussarjan käyttöönotto, infrapuna- ja ultraääniantu- rien hyödyntäminen (Tieto- ja viestintätekniikan koulutuksessa)
Käytössämme on hitsausrobotti, joten harjoitukset liittyvät lähinnä hitsattavien kappaleiden lii- keratojen luontiin.
Kappaleenkäsittely, lavaus, konenäkö, hitsaus, työostokeskuksen palvelu

<p>Lego-maailma</p> <p>Arduino ohjelmointiin + kiinan-kasaussarjat</p>
Pienahitsaukset
<p>Hitsausrobotiikassa</p> <p>Pienahitsit</p> <p>Yksinkertainen tuote = kuutio</p> <p>Tuote + kiinnittimen valmistus</p>
Pisteiden ajoa käsikapulalla. PLC:n ja robotin välisen kättelyn tekoa.
ABB:n robotin ohjelmointiharjoitustehtävät Flexbendant-ohjelmointipäätteellä määrätyille liikeradoille.
Poin-to-point ohjelmointi opetusta. Eli käsikapulalla pisteiden opettaminen. Kappaleiden siirtelyä tarttujalla ja tarttuja/tussi yhdistelmällä tekstin kirjoitusta piirtoalustalle.
Hitsausharjoituksia, kappaleen käsittelyä, levyjen taivutuksen automatisointia
ABB irb120 robottisolu. I/O:ta painikkeilla ja merkkivaloilla. Erilaisia ohjelmointiharjoituksia. Turva-automaatio sisällytettynä.
Kappaleen käsittelyä, siirtoa paikasta toiseen.
Normaalia kappaleen käsittelyä ja konenäön avulla tunnistamista.
Emme opeta robotiikkaa
<p>Ei opeteta erillistä robotiikan tutkinnon osaa muuta kuin hitsauksen näkökulmasta kone- ja tuotantotekniikassa.</p> <p>Sähköllä robottia opetetaan muun tutkinnon osan yhteydessä pintapuolisesti, jotta perusohjelmointi ja kappaleiden käsittely onnistuu.</p>
Konenäköä hyödyntävät UR robotin lajittelu harjoitus, sekä vapaalta rajatulta alueelta kappaleen noutaminen makasiiniin konenäön osalta. Perus kappaleen siirto työasemaan/varastopaikasta. Pinoaminen. Piirto tehtävä esim. Suomen lippu robotilla. Osan sijoitus rasteriin yms.
Ohjelmointia, Legorobotit. Robotiikka ei kuulu tämän hetkiseen opetussuunnitelmaan ollenkaan.
Ei ole

Perusohjelmointia, kappaleen käsittelyä
perusohjelmointia ja kappaleen käsittelyä
Hitsausroboteilla hitsataan saumaa käyttäen railon seuranta. Suoraa saumaa ja levittämällä. Kappaleen käsittelyssä, Kappale tarttujaan ja siirretään pisteestä A pisteeseen B
Yhteistyörobotilla siirtelemme jääkiekkoja imukuppitarttujan avulla erilaisia pinoja tehden. Sormitarttujan avulla pudotamme eri muotoisia palikoita yksilöllisten levyyn tehtyjen reikien läpi.
Ei ole robotiikan harjoituksia,
Ei tietoa
Hitsaus- ja ohjelmointiharjoituksia niin online- kuin offlinetilassa
Hitsausrobotti (ei tällä hetkellä käytössä)
Robotilla ohjataan lajittelulinjaa.
Meillä ei ole robotiikan opetusta oppilaitoksessamme tai mitään siihen liittyvää.
Oppilaitoksen yksikössä ei ole minkäänlaista robottia
Robotin offline ohjelmointia siten, että hitsausrobotin pistoolin pään hitsauslanka kulkee tiettyä reittiä (sisältää lineaari- ja ympyräliikettä sekä robotin kelkan liikettä). Näiden harjoitusten jälkeen yksinkertaisten hitsisaumojen hitsausta.

## 2. Minkälaisia harjoituksia toivoisitte roboteille opetuskäyttöön?

Vastaajien määrä: 38

Vastaukset
Harjoituksia, jossa kaksileukatarttujalla varustettua robottia voi hyödyntää mahdollisimman monipuolisesti.
Työelämään liittyviä
Konkreettisia mistä opiskelija "syttyisi"
minulle on omia opetus materiaaliit offline ja Online ohjelmoinnin varten.
Nykyiset hyviä
Harjoituksia joissa parametriojelmoinnin hyödyt tulee esiin
Mieluusti saisi olla jotain todellisia, käyttöön meneviä kappaleita, joita valmistettais aina joku piensarja ajoittain
Robottiemme käyttäjät ovat hyvin huonosti itsenäisesti opiskelevia. Työtehtävät ja harjoitukset on oltava yksinkertaisia ja lyhyitä.
Hitsausta cobottilaitteella edellisten lisäksi. Lisää cobottikäyttöä esim. pussitusharjoitus jne.
Hitsausrobotille erimuotoisten kappaleiden hitsausharjoitteita Kappaleenkäsittelyyn robotille ja särmäyspuristimelle harjoitteita esim. asiakastöistä
Kappaleen vaihto CNC-koneelle. Tällaista robottia meillä ei ole.
yllä olevat on aivan riittäviä
Käytännön läheisiä toiselle asteelle
Monimuotoisia, käytännössä esiintyviä kappaleita.
Tuote + kiinnitin ainakin hitsausrobotiikassa
Robottijärjestelmän kunnossapito.
Kappaletavara automaatioon yhdistettynä, tuotteiden lajittelua. Tästä ohjelmointi harjoitus.

Harjoitukset tulisi peilata työelämän vaatimuksiin, eli mitä tietoja ja taitoja siellä tarvitaan (tai mitä ilmeisemmin tullaan lähitulevaisuudessa tarvitsemaan). Itse näkisin, että kohdan 1 lisäksi koululla olisi syytä olla MIR, koska mobiilirobotteja alkaa olla jo yrityksissä käytössä
Robotin asennus ja käyttöönotto. Akselikalibroinnit, I/O:n kytkentää.
Esim. kappaleen siirto kuljettimelta kiinnittimelle ja edelleen kuljettimelle.
Yksinkertaisia muotoja sekä helposti ymmärrettäviä.
Meillä ei ole robotteja, eikä robotiikan opetusta
Robottisolun häiriötilanteista selviämiseen ja robottisolun muutoksien tekemiseen.
Näillä perusharjoituksilla jo pärjää pitkälle. Ehkä joku pienimuotoinen osakokoonpano olisi hyvä.
En osaa sanoa
Asennus ja teorian tukemiseen.
Kappaletavaralaitteiston ja robotin yhteistyö
kappaletavara-automaatio laitteiston ja robotin yhteistoiminta.
Kappaleenkäsittelyssä oikeita kappaleita oikeille työstökoneille. Opetuksessa se ei vain ole kovin helppoa toteuttaa, kun robotti on tehty sarjatyöhön. Oppilaitoksissa ajetaan 1 tai 2 kappaletta....
Konepalvelukäyttöä tukevia harjoitteita pitäisi kehitellä enemmän...
Käytännönläheisiä, jotka liittyvät teollisuuden ratkaisuihin.
Käytännönläheisiä ja kaikkia hyödyntäviä.
ohjelmointia erilaisten kappaleiden kanssa
Vaikea sanoa , jotakin käytännön läheisiä tuotteita
Mielenkiintoisia harjoituksia, joilla saadaan nuoret sitotumaan ja kiinnostumaan robotiikasta. Esim. jokin pelimuotoinen media tai ohjelma, jossa kännykällä saisi robotiikan alkeet ja aloan esittelyn toimimaan.
Tasa- ja vaihtosähkötekniikan opetuksen tukemista.
Automaatiotekniikan opetuskäyttöä.

Hitsausharjoituksia
Oppilaitoksen johto haluaisi, että robotilla hitsattaisiin asiakastöitä, jota emme tällä hetkellä kuitenkaan tee. Tämä vaatisi parempien hitsausjigien suunnittelua ja valmistusta ja voisi johtaa siihen suuntaan, että opiskelijat toimisivat ainoastaan hitsausrobotin operoijina, jos robotille asetettaisiin "tiukat tuotantotavoitteet".

### 3. Oletteko valmistaneet 3D-tulostamalla komponentteja ja/tai harjoitustehtäviä roboteille?

Ei-vastajien määrä: 22

Kyllä -lisätekstikenttään vastaajien määrä: 16

Kyllä -lisätekstikentän vastaukset
Tarttujan leukoja, kappaleita kappaleenkäsittelyyn, telineitä kappaleiden ladontaa varten.
tartuja
Robotin tartuntaleukoja, kahvoja teollisuuskeittiön tarpeisiin, automaatio-ohjatun minitehtaan komponentteja, konepajamittauksen ympäristön protokappaleita
Cmt menetelmällä kylmähitsattu ns. Varaosia
varaosia
Kiinnikkeitä ja koteloiteja satunnaisesti tarpeen mukaan
tarttujan osia
pienosia
erilaisia pienoiskappaleita
muutamana vaatimattoman kiinnittimen
Useampi erillinen tulostin, siirrettäviä palikoita robotille tulostettu
Komponentteja eli esim. shakkinappuloita on tulostettu. Niiden sijoittelu pelilaudan lähtö/aloitus järjestykseen.

Kiinnitys välineitä esim. antureille
erillaisia tarttujan leukoja
Koneiden ja laitteiden varaosia, terätulkkeja metsäkoneeseen
Tarttujia

#### 4. Mikä on näkemyksenne, miten 3D-tulostusta voitaisiin parhaiten hyödyntää robotiikan opetuksessa?

Vastaajien määrä: 33

Vastaukset
Erilaisia tarttujan leukoja tulostamalla.
En tiedä
Tehdä valmiita palikoita esim. Autoon josta yleensä ollaan kiinnostuneita.
3D tulostimen avulla voi valmistaa nopea valmistaa tarttujia semmoinen kuin halutaan ei semmoinen kuin voi valmistaa.
Meillä froniuksen cmt-hitsauskone jolla voidaan hitsaamalla 3d-tulostaa
Oma perehtymiseni on melko torso, mutta ehkä pinnanlaadun parantamisessa, mahdolliset kapaleiden käännöt sekä parempien tulostusasentojen löytäminen, jotta tulostimen liikevarat saadaan hyödynnettyä paremmin.
Ennakkoon suunnitelluilla harjoitustöillä ja valmiilla tulostustiedostoilla ainakin meillä voisi olla helpoin päästä liikkeelle. Saattaa syntyä kipinä harjoitella lisää ja perehtyä asiaan paremmin.
Pitää se siinä mukana tukemassa kokonaisuutta, jotta riittävän laaja käsitys robotiikan kokonaisuusmahdollisuuksista saavutetaan.
3-D tulostuksen ja robotiikan sovittamista yhteiskäyttöön
Joissakin alan yrityksissä olen nähnyt 3D-tulostettuja tarttujia ja kiinnittimiä hitsausrobottien yhteydessä.

tarttujen valmistus, käsiteltävien kappaleiden valmistus
ks. kohta 3
Hitsattavien mallikappaleiden teko
<p>Tarttujen valmistus.</p> <p>Hitsausrobotiikassa tietysti voitaisiin käyttää metallitulostettuja komponenttejä esimerkiksi tulkkeina tai kiinnittimien osina =&gt; toki oppilaitokselle erittäin kallista käyttää joten hyöty jää hyvin marginaaliseksi.</p> <p>ehkäpä ?</p> <p>3D tulostusta voisi opettaa robotilla?</p>
3D-tulostuslaitteet perustuvat askelmoottorikäyttöihin ja robotit servokäyttöihin. Molemmat säätötekniikan sovelluksia nopeissa ja tarkoissa liikeohjauksissa. Yhteinen säätötekniikka ja liike-mittaustekniikka voisi olla opetussisältönä.
Harjoitus kappaleiden luontia, sekä mahdollisesti (riippuen robotista) tarttujan leukoja.
Saas nähdä miten työelämän kysyntä kehittyy tässä suhteessa. Olen kuullut, että robotilla "tulostetaan" eli lisätään metallia hitsaamalla, ja näin saadaan tehtyä monimutkaisiakin tuotteita/aihioita. Se voisi olla yhtenä opetuksen aiheena.
Koordinaatiston hahmottaminen, ehkä integrointia ytoihin tätä kautta.
3D tulostukseen pitää olla 3D kuva tuotteesta. Robotin tartuntapää voisi toimia kuvan ottajana 360 astetta. Robotilla voisi tulostimen avulla saada isompia tuotteita aikaan.
Ei ole kokemusta kummastakaan, niin ei ole oikein mitään näkemystäkään.
Tulostamalla käsiteltäviä kappaleita ja tarttujan osia.
Tarttujan mukaan 3D-mallista tulostetut tarkat tarttujamuotin mukaiset kappaleet (tarkkuutta vaativa ohjelmointi).
en osaa sanoa
?
En osaa vastata.
Erilaisia tarttujia tulostamalla

Erilaisten tarraimien tekeminen tulostamalla tulee ensimmäisenä mieleen.
Erilaisten kappaleen tarttujien kehittämissä, komponenttien valmistuksessa.
Ei näkökantaa.
?
3D voisi valmistaa esim. kuljettimen, lajittelijan tai muun koneen osia. Hammasrattaita, osia, tukkia, telineitä jne
Minulla ei ole näkemystä asiaan.
Meillä on useita muovin 3D-tulostimia, mutta ei metallin 3D-tulostimia. Jos robottia hyödyntäisi 3D-tulostuksessa, niin tällöin pitäisi kai tehdä melko suuri panostus robotin ohjelmiston kehittämiseen ja sen käytön opetteluun. En näe tätä ainakaan tällä hetkellä mahdolliseksi oppilaitoksesamme, koska opettajien aika ei riitä "kaiken uuden opetteluun". Ammatillisessa toisen asteen oppilaitoksessa opiskelijoille annettavat tehtävät pitää olla melko hyvin valmisteltuja toisin kuin esim. AMK:ssa, joissa opiskelijoilta voidaan edellyttää omatoimista asioihin perehtymistä ja ongelmien ratkaisua.

## Liite 4. Kokoonpanoharjoituksen tehtävä

Tässä harjoituksessa tehtävänä on suorittaa tuotteen kokoonpano kappaleenkäsittelyrobotilla.

Vaihda robotin kaksipistetarttujaan kokoonpanoharjoitusta varten tulostetut leuat. Rakenna robotin ohjelma siten, että yhden tuotteen kokoonpano toistetaan kolme kertaa.

Toteuta kokoonpano seuraavien ohjeiden mukaisesti:

1. Poimi pohjakappale syöttöasemasta (1) ja siirrä se kokoonpanoasemaan (2).
2. Poimi tiivistemassatyökalu (3) telineestä.
3. Seuraa massatyökalulla pohjakappaleessa olevaa uraa noin 2 mm:n korkeudella nopeudella  $20 \text{ mm/s}$ .
4. Palauta tiivistemassatyökalu telineeseen.
5. Poimi kansikappale (4) syöttöasemasta ja aseta se pohjakappaleen päälle.
6. Poimi pultti automaatista (5) ja pudota se kappaleen pultinreikään. Toista tämä neljä kertaa.
7. Nosta valmis tuote kokoonpanoasemasta ja siirrä se varastoalueelle (6).
8. Kokoa kaikki kolme tuotetta kohtien 1-7 mukaisesti.

