

MODERNIEN VALMISTUSMENETELMIEN KÄYTTÖ
YRITYKSISSÄ JA OPPILAITOKSESSA

Majuri Mika

Opinnäytetyö

YAMK-koulutus
Uudistuvan teollisuuden asiantuntija

2024

Koulutus
Tutkintonimike

Tekijä	Mika Majuri	Vuosi	2024
Ohjaaja(t)	TkT Ari Pikkarainen		
Toimeksiantaja	Lapin AMK		
Työn nimi	Modernien valmistusmenetelmien käyttö yrityksissä ja oppilaitoksessa		
Sivumäärä	68 + 1		

Opinnäytetyön aiheena tutkittiin modernien valmistusmenetelmien käyttöä Lapin yrityksissä. Tutkittiin myös yritysten kiinnostusta laitteiden yhteishankintaan ja laboratoriotilojen yhteiskäyttöön Lapin AMKin kanssa. Työn päätavoite oli saada vastaukset tutkimuskysymyksiin, joiden perusteella konetekniikan opetusta ja tutkimusta voidaan kehittää yritysten tarpeiden mukaan. Tutkimuksen kohteena oli Lapin metallialan yritykset, jotka tekevät ohutlevyitä ja/tai käyttävät erilaisia levyjen muovausmenetelmiä ja tekniikoita.

Teoriaosuudessa käsiteltiin moderneihin valmistusmenetelmiin liittyviä tekniikoita ja menetelmiä, lisäävän valmistuksen eri menetelmiä, esimerkiksi 3D-tulostusta ja WAAM-hitsausta sekä muina menetelminä ISF-painomuovausta ja käsilaserhitsaus menetelmää. Teoriaosuuteen käytettiin laajasti kirjallista lähdeaineistoa.

Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä käytettiin laadullista tutkimusta, tarkennettuna tapaustutkimusta ja analyysimenetelmänä teemoittelua. Tutkimusmenetelmät käytiin myös teoreettisesti läpi, kirjalliseen lähdeaineistoon nojautuen.

Tutkimuskysymykset olivat seuraavat: Ovatko alueen yritykset kiinnostuneita koneiden ja laitteiden yhteishankintoihin Lapin AMKin kanssa? Millaisista valmistusmenetelmistä alueen yritykset ovat kiinnostuneet? Ovatko alueen yritykset kiinnostuneita Lapin AMKin laboraatiotilojen yhteiskäytöstä, tutkimus ja tuotekehityskäyttöön?

Tutkimuksen tulokset analysoitiin teemojen mukaisesti. Tulosten perusteella tehtiin selkeät johtopäätökset. Suurin osa yrityksistä oli kiinnostunut 3D-tulostuksesta, erityisesti metallien tulostuksesta sekä käsilaserhitsaus menetelmästä. Ja muutama näiden yhteishankinnoista. Toinen johtopäätös on, että yritykset ovat kiinnostuneita myös Lapin AMKin tilojen käytöstä omien tuotteiden tutkimukselle ja tuotekehitykselle. Nämä tulokset antavat tutkimuksen luotettavuuden rajoissa tietoa Lapin AMKin modernien menetelmien strategiakärjelle, koulutuksen ja tutkimuksen kehittämiseen ja mahdollisiin tuleviin investointeihin.

Avainsanat valmistusmenetelmät, lisäävä valmistus, painomuovaus, käsilaserhitsaus, yhteishankinta, yhteiskäyttö

Degree programme
Degree title

Author	Mika Majuri	Year	2024
Supervisor(s)	Ari Pikkarainen, D.Sc. (Tech.)		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Title	Use of modern manufacturing process in companies and an educational institution		
Number of pages	68 + 1		

The aim of this thesis was to examine the use of modern manufacturing methods in companies in Lapland. It also investigated the companies' interest in joint procurement of equipment and shared use of laboratory facilities with Lapland University of Applied Sciences. The main objective of the study was to obtain answers to research questions that would allow developing mechanical engineering education and research to better meet the needs of companies. The research focused on metal industry companies in Lapland that work with sheet metal and/or use various sheet forming methods and techniques.

The theoretical section covered techniques and methods related to modern manufacturing methods, such as various methods of additive manufacturing, for example 3D printing and WAAM welding, as well as other methods like ISF sheet forming and handheld laser welding. A wide range of literary sources was used for the theoretical part.

The research method used in the thesis was qualitative research, specifically a case study, with thematic analysis as the analytical method. The research methods were also theoretically reviewed, based on literary sources.

The research questions were as follows: Are companies in the area interested in joint procurement of machines and equipment with Lapland UAS? What kind of manufacturing methods are companies in the area interested in? Are the companies in the area interested in the joint use of the laboratory facilities of Lapland UAS for research and product development?

The research results were analyzed according to themes, and clear conclusions were drawn based on the results. Most of the companies were interested in 3D printing, especially metal printing, as well as handheld laser welding. A few were also interested in joint procurement of these technologies. Another conclusion is that companies are also interested in using the facilities of Lapland UAS for research and development of their own products. These results provide information, within the reliability limits of the research, to guide the strategy of modern methods at Lapland UAS, the development of education and research, and potential future investments.

Keywords manufacturing methods, additive manufacturing, sheet forming, handheld laser welding, joint procurement, shared use

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	MERI-LAPIN TALOUSALUE.....	10
2.1	Meri- Lapin kehittämiskeskus.....	10
2.2	Lapin ammattikorkeakoulu	11
2.3	Kemin uudistuvan teollisuuden osaamisryhmä	12
3	MODERNIT VALMISTUSMENETELMÄT	15
3.1	Lisäävä valmistus AM (Additive Manufacturing)	15
3.1.1	Lisäävän valmistuksen yleinen prosessi.....	18
3.1.2	WAAM-hitsaus (Wire Arc Additive Manufacturing)	19
3.1.3	Materiaalin pursotus (MEX)	22
3.1.4	Valokovetus altaassa (VPP).....	25
3.1.5	Jauhepetisulatus lämmityksellä (PBF).....	28
3.1.6	Jauhepetisulatus laserilla (PBF).....	31
3.1.7	Metallien jauhepetisulatus laserilla (PBF).....	34
3.2	ISF- painomuovaus (Incremental Sheet Forming)	38
3.3	Käsi­käyttöinen laserhitsausmenetelmä (Hand-held laser welding)	42
4	TUTKIMUSMENETELMÄT	46
4.1	Tutkimuksen tausta.....	46
4.2	Tutkimuksen kohde.....	47
4.3	Tutkimuksen tavoite ja tarkoitus.....	47
4.4	Tutkimusmenetelmät.....	48
4.5	Aineistonhankintamenetelmät.....	49
4.6	Analyysimenetelmät.....	50
4.7	Tutkimuskysymykset.....	51
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN.....	52
5.1	Kyselyn suunnittelu	52
5.2	Kyselyn rakenne	53
6	TUTKIMUKSEN TULOKSET	54
6.1	Tutkimuksen luotettavuus	54
6.2	Kyselyn tulokset.....	55
6.2.1	Teema 1: Käytettävät menetelmät, simulointi ja osaamisen taso ..	56

6.2.2	Teema 2: Modernit valmistusmenetelmät ja lisätieto niistä	58
6.2.3	Teema 3: Yhteishankintojen mahdollisuudet.....	61
6.2.4	Teema 4: Tilojen yhteiskäyttö ja tutustuminen AMK:n tiloihin.....	61
7	POHDINTA.....	64
7.1	Johtopäätökset tutkimuskysymyksille	64
7.2	Muut johtopäätökset	65
7.3	Tutkimuksen luotettavuus	66
7.4	Tutkimuksen hyödynnettävyys ja jatkotutkimukset	66
7.5	Opinnäytetyöstä.....	66
	LÄHTEET.....	67
	LIITTEET	69

ALKUSANAT

Kiitokset Lapin AMK:n konetekniikan osaamispäällikkö Lauri Kantolalle aiheesta ja suuret kiitokset Lapin AMK:n yliopettaja TkT Ari Pikkaraiselle erinomaisesta ja asiantuntevasta ohjauksesta.

Mika Majuri

30.9.2024

.....

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

WAAM	Wire Arc Additive Manufacturing
SPIF	Single Point Incremental Forming
TPIF	Two Point Incremental Forming
ISF	Incremental Sheet Forming
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused filament fabrication
SLA	Stereolithography
MEX	Material extrusion
VPP	Vat Photopolymerization
PBF	Powder Bed Fusion
MJF	Multi Jet Fusion
SLS	Selective Laser Sintering
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
SLM	Selective Laser Melting

1 JOHDANTO

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, minkälaisia moderneja valmistusmenetelmiä Meri-Lapin alueen pk-yrityksillä on tällä hetkellä käytössä tuotannossaan sekä minkälaisista valmistusmenetelmistä yritykset haluaisivat lisää tietoa ja AMK-tasoista käytännön tutkimusta. Tutkimuksessa kartoitetaan, onko alueen yrityksillä mielenkiintoa koneiden ja laitteiden yhteishankintoihin Lapin AMKin kanssa. Lisäksi tarkastellaan, kuinka Lapin AMKin tiloja voidaan hyödyntää nykyisten tai uusien menetelmien tutkimuksessa ja käyttöönotossa. Sekä kuinka yritykset voisivat hyödyntää AMKin tilojen yhteiskäyttöä, jolloin saadaan vahvistettua myös Lapin AMKin ja yritysten syvempää yhteistyötä ja sitä kautta vahvistaa tietämystä myös kyseessä olevista moderneista valmistusmenetelmistä.

Tutkimus rajataan materiaaleista ohutlevyjen ja 3D-tulostettavien materiaalien sekä menetelmien osalta hitsauksen (WAAM ja käsilaser), painomuovauksen ja lisäävän valmistuksen (3D-tulostuksen) alueelle. Tutkimukseen rajataan lisäksi valmistusmenetelmiin, jotka ovat olleet markkinoilla vasta vähän aikaa ja jotka kehittyvät nopeasti. Valintaan vaikutti osaltaan oppilaitoksen keskittyminen ohutlevyterästen muokkausmenetelmiin. Tutkimuksen tuloksia hyödynnetään koulutuksen kehittämisessä ja mahdollisissa investointihankkeissa sekä strategisen painopistealueen tarkasteluissa. Tulosten perusteella tehdään johtopäätöksiä koulutuksen ja yritysyhteistyön kehittämisestä Lapin AMKissa. Tutkimus antaa tietoa AMKin tilojen sopivuudesta ja hyödynnettävyydestä yritysten käyttöön.

Tutkimukseen valittiin uusimpia valmistus- ja muovausmenetelmiä, joita käytetään ohutlevyteräksien muokkaukseen. Ohutlevyteräksiä käytetään tämän alueen yrityksissä todella monenlaisten teollisten- sekä tuotekonstruktioiden suunnittelussa ja valmistuksessa. Lisäksi lisäävä valmistus (3D-tulostus) on tekniikka, joka kehittyy ja yleistyy nopeasti ja sen tuomia mahdollisuuksia ohutlevytekniikoiden rinnalla selvitetään. Laserhitsauksen edut yhdessä ohutlevyterästen ja muovitulosteiden kanssa mahdollistavat eri tyyppisten konstruktioiden suunnitteluun ja kehitykseen.

Erilaisten uusien valmistustekniikoiden hyödyntämiseen vaikuttavat monet seikat, kuten valmistusmenetelmän kannattavuus, investoinnin kannattavuus, standardoitavuus, hyväksyttävyyys eri kohteille, menetelmän toimivuus, menetelmän luotettavuus, menetelmän tuomat edut tuotanto- ja valmistusprosessiin sekä mahdolliset lait- ja asetukset. Tutkimuksen yksi osa-alue pyrkii vastaamaan muun muassa yhteisinvestointien mahdollisuuteen, jotta tekniikan käyttöönotto olisi mahdollisimman kannattavaa ja hyödyllistä yritysten kannalta.

Tutkimuksen tietoperusta rakentuu modernien valmistusmenetelmien teorioihin ja uusimpiin julkaisuihin. Tutkimuksen taustamateriaaleina käytetään myös Lapin AMKin aikaisempien ja nykyisten TKI-tutkimusten aineistoja. Tietoperustan osalta tukeudutaan alan kirjallisuuteen ja muihin julkaisuihin. Tutkimus toteutetaan laadullisena tutkimuksena ja lähestymistapana käytetään tapaustutkimusta. Opinnäytetyön aineistoa kerätään laadullisen tai tapaustutkimuksen mukaisilla menetelmillä, niihin kuuluu yritysten edustajien haastattelut ja kyselyt. Analyysimenetelmänä käytetään laadulliseen tutkimukseen teemoittelua.

Aiheen valintaan on vaikuttanut Lapin AMKin uusien strategian painopistealueiden muodostuminen, tämä tutkimus tukee modernien valmistusmenetelmien painopistettä. Tutkimus antaa tärkeää tietoa koulutukselle siitä, kuinka se vastaa yritysten tarpeita ja kuinka koulutus sekä siinä käytettävät tilat voivat tukea ja palvella yrityksiä ja yrityksille tehtävää tutkimusta.

2 MERI-LAPIN TALOUSALUE

Meri-Lappi sijaitsee Lounais-Lapissa Perämeren rannikolla. Meri-Lapin seutukunnassa on kaksi kaupunkia, Kemi ja Tornio. Lisäksi kuntakeskuksia ovat Keminmaa, Tervola ja Simo. Asukkaita seutukunnassa on noin 55 000. Meri-Lapin seutukunnalla on pitkä historia kaupan ja teollisuuden alalta. Tornio on ollut Lapin kaupan keskus jo vuosisatoja, ja Kemillä on pitkä historia puunjalostusteollisuudesta. Meri-Lapin seutukunta tuottaa 8% Suomen viennin arvosta. (Meri-Lapin kehittämiskeskus 2022b.)

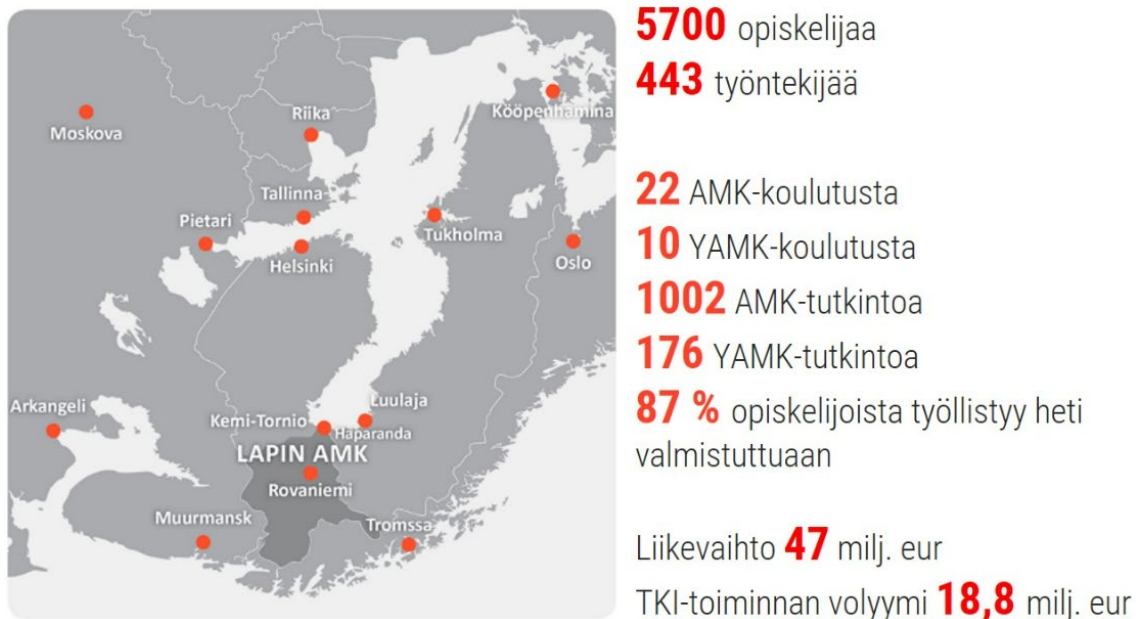
Alueella sijaitsee paljon teollisuutta. Seutukunnan suurimpia teollisuudenaloja ovat terästeollisuus, sellu- ja kartonkiteollisuus, kaivostoiminta sekä energiateollisuus ja näiden ympärille on kasvanut vahva pk-sektori jossa, sähkö- automaatioteollisuuden sekä kone- ja metalliteollisuuden osaaminen on korkeaa tasoa samoin kuin koulutuksessa. Alue on Ruotsin ja Perämeren solmukohtassa, jolloin myös logistiikka on alueella vahvaa, niin etelään kuin pohjoiseenkin. (Meri-Lapin kehittämiskeskus 2022b.)

2.1 Meri- Lapin kehittämiskeskus

Meri-Lapin kehittämiskeskus aloitti organisoimaan seutukunnan yhteistoimintaa 1969, jolloin se perustettiin, alkuun eri nimellä (Merilapin kehittämiskeskus 2022b). Kehittämiskeskuksen yksi keskeisistä tavoitteista on edistää alueen suurteollisuuden sekä uusien kasvualojen kilpailukykyä, lisäksi se pyrkii saamaan alueelle uutta yritystoimintaa sekä uusia investointeja ja työpaikkoja. Suurteollisuuden kilpailukykyä kehitetään juuri logistiikan, energiaratkaisujen ja ammattitaitoisen työvoiman saatavuutta parantamalla. Painopistealueita kehittämiskeskuksen toiminnassa on seuraavat kasvualat: logistiikka, energiasektori, kiertotalous, matkailu ja puurakentaminen. Lisäksi edistetään seudun kestävä ja vähähiilistä kehitystä, energiaomavaraisuutta ja lähialueen ruoan tuotantoa (Meri-Lapin kehittämiskeskus 2022a).

2.2 Lapin ammattikorkeakoulu

Lapin ammattikorkeakoulu kuuluu Lapin korkeakoulukonserniin, joka on johtava arktisen tutkimuksen ja osaamisen toimija niin kansallisesti kuin kansainvälises-
tikin. Se on kahden korkeakoulun, Lapin yliopiston ja Lapin ammattikorkeakoulun
yhteenliittymä, jonka erikoisosaamisena on arktinen globaali vastuullisuus, kes-
tävä matkailu ja etäisyyksien hallinta (Lapin AMK 2024a). Kuviossa 1 on esitetty
korkeakoulukonsernin päätunnusluvut.



Kuvio 1. Lapin korkeakoulukonsernin tunnuslukuja 2022. (Lapin AMK 2024a)

Lapin korkeakoulujen tehtävänä on koulutuksen saralla luoda uutta tietoa ja osaamista alueelle sekä vahvista yhteisöjen ja toimijoiden vastuullisuutta. Kansainväliset ja kansalliset verkostot tukevat strategioiden saavuttamista. Lapin korkeakouluyhteisön toiminta perustuu jatkuvaan vuorovaikutukseen sidosryhmien ja kumppaneiden kanssa niin ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestäväällä tavalla. Opiskeluympäristö on innostava ja se tarjoaa mahdollisuuksia, jossa erilaiset digitaaliset ratkaisut, työelämän yhteydet sekä osallisuus koulutus- ja tutkimusverkostoihin ovat osa opintoja. Lapin korkeakouluyhteisö on profiloitunut arktiseen olosuhdeosaamiseen ja pohjoisen muutoksen tutkimukseen ja toimintaa ohjaavat strategiset valinnat, jonka painopistealueita ovat kestävä rakennettu ympäristö ja liikenne, digitaalinen ja vihreä teollisuus, metsä ja energia, luovat, elämykselliset ja älykkäät ratkaisut matkailussa, hyvinvointia edistävät kestävät

ratkaisut sekä sosiaalisesti kestävä talous (Lapin AMK 2024b). Kuviossa 2 on esitetty Lapin korkeakoulukonsernin strategia.



Kuvio 2. Lapin korkeakoulukonsernin strategiakartta (Lapin AMK 2024b)

2.3 Kemin uudistuvan teollisuuden osaamisryhmä

Lapin AMKin uudistuvan teollisuuden osaamisryhmän toimipaikka sijaitsee Kemissä. Osaamisryhmään kuuluvat konetekniikan sekä sähkö- ja automaatiotekniikan insinööritutkintojen koulutukset, lisäksi YAMK-tutkinto sekä TKI-toiminta. Meri-Lapin seutukunnan ja koko Lapin teollisuuden pärjääminen kansallisilla ja kansainvälisillä markkinoilla vaatii jatkuvaa uudistumista ja uusia innovaatioita, jotta yritysten tuotanto- ja kilpailukyky voidaan mahdollistaa. Uudistuvan teollisuuden osaamisryhmässä pyritään vastaamaan tähän haasteeseen etsimällä aktiivisesti ratkaisuja teollisuuden digitalisaatio- ja tuotekehitystarpeisiin ja kehittämällä innovaatioita yhdessä yritysten, tutkijoiden ja opiskelijoiden kanssa (Lapin AMK 2024c).

Osaamisryhmässä edistetään kestävästä kehityksestä, kunnossapitoa ja energiatehokkuutta sekä toimitaan edelläkävijänä materiaali- ja suunnitteluosaamisessa. Uudistuvan teollisuuden osaamisryhmä on teollisuuden eri tuotantoteknologioiden ja automaation digitaalisten ratkaisujen asiantuntija, joka vastaa myös vih-

reän siirtymän tuomiin haasteisiin. Osaamisryhmä osallistuu myös kansainvälisellä tasolla vastuullisesti tuotettujen ja energiatehokkaiden ratkaisujen kehittämiseen elinkaaren hallinnassa. Erityisesti osaamisryhmä keskittyy liikenteeseen, automaatioon, kunnossapitoon ja teollisuuden kiertotalouteen. Osaamisryhmän kansainvälistä ja kansallista kärkiosaamista on seuraavat:

- *Fossiilivapaiden ja erikoislujien terästen muovaus, hitsaus ja teollisen käytön edistäminen*
- *Hiilijalanjäljen laskenta teollisuuden ja liikunnan/liikenteen alueella*
- ***Modernit valmistus- ja tuotantomenetelmät ja -ympäristöt***
- *Erityisesti lisäävä valmistus, teollisuus 4.0 & IoT & kunnossapito*
- *Robottiikan toimilaitte-, materiaali- ja soveltamisosaaminen ml. laitteiden etäkäyttö*
- *Vaativien olosuhteiden elektroniikka-, mittaus- ja automaatioratkaisut. (Lapin AMK 2024c.)*

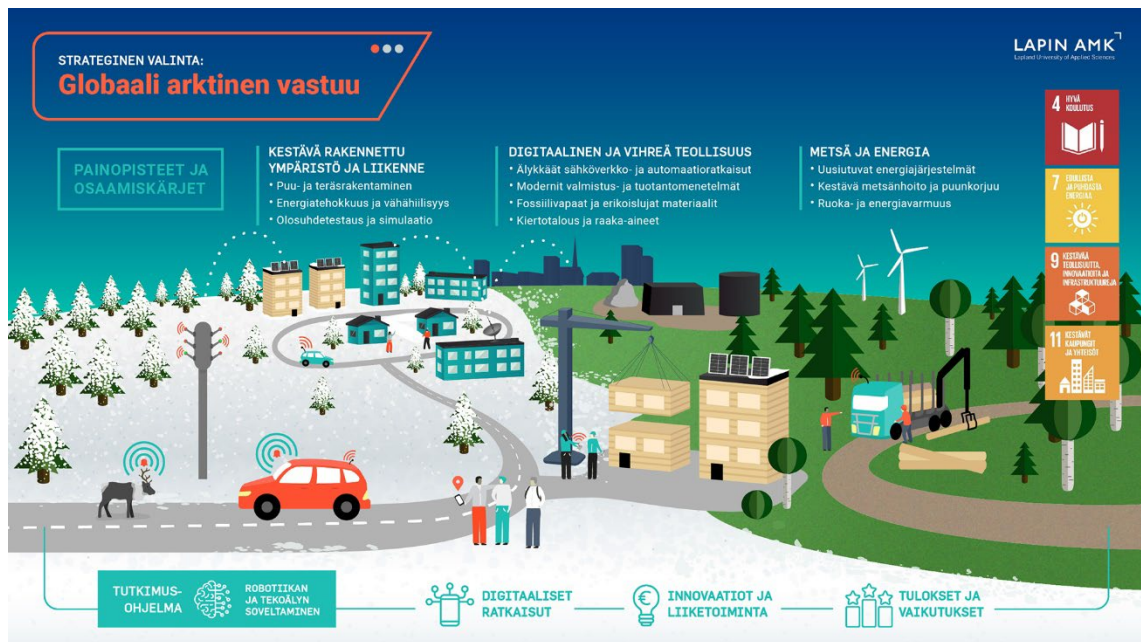
Korostettu teksti edellä viittaa suoraan tämän tutkimuksen aihealueeseen, joka on yksi Lapin AMKin strategian painopistealueen kärkeä.

Lisäksi talousalueella palvellaan seutukuntaa myös näillä avainosaamisalueilla:

- *Digitalisaation edistäminen oppimis- ja kehittämisympäristöissä sekä PK - yritysten toiminnan tukemisessa*
- *Energiantuotanto uusiutuvilla energianlähteillä*
- *Kiertotalouden ja kestävä kehityksen kehittämisosaaminen: viestintä, yritykset, koulutus*
- *Lisäävän valmistuksen osaamisen ja teknologian edistäminen (ml. metallien tulostus)*
- *Tiedon keruu, käsittely ja hyödyntäminen suunnittelun, tuotannon ja kunnossapidon tarpeisiin*

- Älykkäät sähköverkko- ja automaatiotratkaisut sekä uusien teknologioiden hyödyntäminen (Lapin AMK 2024c.)

Kemin toimipisteen oppimis- ja kehittämissympäristöt ovat modernit ja niitä hyödynnetään monipuolisesti opetuksessa ja TKI- ja palvelutoiminnassa. Koulutuksessa opintopolut on tehty joustaviksi, niissä hyödynnetään laadukkaasti työelämälähtöisyyttä sekä nykyaikaisia opetusmenetelmiä. Uudistuvan teollisuuden osaamisryhmässä panostetaan yritysten ja kumppaneiden kanssa jatkuvaan kehittymiseen, jotta mahdollistetaan koulutus- ja TKI-toiminnassa ja joka on edellytys yrityksille pärjätä kansallisilla ja kansainvälisillä markkinoilla sekä pysyä kilpailukykyisenä. (Lapin AMK 2024c.) Kuviossa 3 on esitetty strategiakuvaus, johon uudistuvan teollisuuden osaamisryhmä osallistuu.



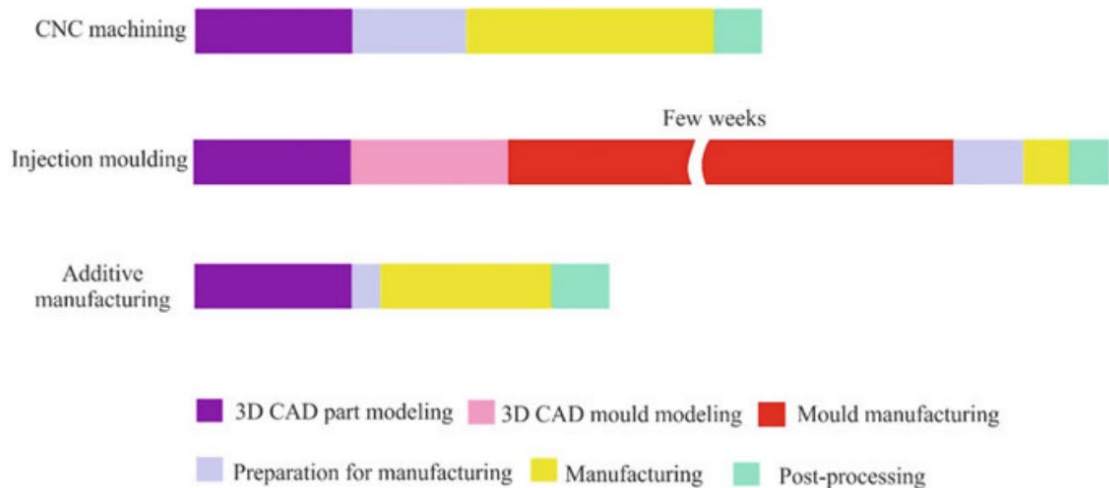
Kuvio 3. Uudistuvan teollisuuden strategiakartta (Lapin AMK 2024c)

3 MODERNIT VALMISTUSMENETELMÄT

Opinnäytetyöhön valittiin valmistusmenetelmiä, jotka ovat olleet markkinoilla vasta vähän aikaan ja joissa kehitys menee nopeasti eteenpäin. Osa on ollut jo pitempään saatavilla, mutta niissäkin ohjaus- ja ohjelmistot ovat kehittyneet modernimpaan suuntaan. Valintaan vaikutti osaltaan oppilaitoksen keskittyminen ohutlevyterästen muokkausmenetelmiin. Valitut menetelmät sopivat yksittäisten erikoisten konstruktoiden, pienten erien ja prototyyppien taloudellisesti järkevään valmistukseen. (Lange, Feucht & Erven, 2021, 144). Menetelmät ovat myös sellaisia, joita voitaisiin varsinkin ohutlevymateriaalien kanssa sovitella myös keskenään yhteen, jolloin se avaa monia uudenlaisia tuotekonstruktoiden valmistusmahdollisuuksia. Jokaisessa menetelmässä on spesifisiä tekniikoita, joita hyödyntämällä tuotekonstruktoiden variaatiot voivat olla perinteisiin valmistustekniikoihin verrattuna monimutkaisempia ja erikoisempia. Menetelmien teoriaosuudessa tarkastellaan periaatteet kyseessä olevista tekniikoista, 3D-tulostuksen osalta teoriat ovat keskittyneet yleisimpiin ja Lapin AMKin 3D-tulostuslaboratoriossa oleviin tekniikoihin.

3.1 Lisäävä valmistus AM (Additive Manufacturing)

Lisäävä valmistus (AM) on menetelmä, jossa kappale valmistetaan kerros kerrokselta, ja jonka jokainen kerros on ohut poikkileikkaus osasta, suunnitellun CAD-tiedoston mukaisesti. Aikaisemmin siitä on käytetty termiä 3D-tulostus (edelleen keskusteluissa) tai prototyyppien tulostus. Perinteisiin menetelmiin verrattuna lisäävä valmistus lyhentää uuden tuotteen valmistusaikaa ja alentaa kustannuksia. Menetelmä auttaa tunnistamaan kustannustehokkaasti jo prototyyppivaiheessa mahdolliset virheet, jotka tuotannon myöhemmissä vaiheissa voisivat tulla hyvinkin kalliiksi korjata. Menetelmä mahdollistaa monimutkaiset konstruktiot hyvinkin lyhyellä läpimenoajalla. Kokoonpanoja pystytään valmistamaan yhtenä prosessina useammasta eri materiaalista yhdessä syklissä. (Godec, Gonzalez-Gutierrez, Nordin, Pei, & Ureña Alcázar 2022, 3.) Kuviossa 4 on esitetty tuotantoaikojen vertailua perinteisen ja lisäävän valmistuksen välillä.



Kuvio 4. Lisäävän valmistuksen ja perinteisten menetelmien läpimenoaika -vertailu (Godec, ym. 2022)

Mikä tekee lisäävän valmistuksen järkeväksi tuotekehityksessä ja prototyyppien valmistuksessa? Perinteiset valmistusprosessit edellyttävät huolellista ja yksityiskohtaista osan geometrian analysointia, jotta voidaan määrittää esim. valmistusjärjestys ja mitä työkaluja ja valmistusprosesseja on käytettävä sekä mahdolliset osan viimeistelyyn tarvittavat menetelmät ja laitteet sekä muotit, niiden suunnittelu ja valmistus. Kun taas lisäävä valmistus (AM) tarvitsee vain joitain perusmittatietoja ja ymmärrystä AM-koneen toiminnasta ja materiaaleista, joita käytetään osan rakentamiseen. (Gibson, Rosen, Stucker & Khorasani 2021, 2.)

Lisäävän valmistuksen eri tekniikoilla on myös erilaiset mahdollisuudet. Osat valmistetaan lisäämällä materiaalia kerroksittain, kerroksen paksuus on rajallinen ja mittatarkkuus on riippuvainen AM-laitteesta. Mitä ohuempi jokainen kerros on, sitä lähempänä valmis osa on alkuperäistä CAD-mallia. Kaikki kaupallistetut AM-koneet käyttävät kerrospohjaista menetelmää ja tärkeimmät asiat, joilla ne eroavat toisistaan, ovat käytettävät materiaalit, kerrosten luominen ja kerrosten yhteen liittäminen. Nämä erot määrittelevät, millainen tarkkuus, millaiset mekaaniset ja materiaaliominaisuudet kappaleella on. Erot määrittävät myös tekijät, kuten kuinka nopeasti osa voidaan valmistaa, kuinka paljon jälkikäsittelyä tarvitaan, käytettävän AM-laitteen suuruuden sekä laitteen ja prosessin kokonaiskustannukset. (Gibson, ym. 2021, 2-3.)

Lisäävällä valmistuksella saavutettavia etuja, tuotekehitykseen ja tuotannon suunnitteluun, sillä saadaan:

- enemmän iteraatioita, jolloin virheet on mahdollista havaita helpommin.
- kokoonpanoja ja osien liitoskohtia voidaan tarkastella ennakkoon
- lujuus ja kestävyys voidaan tarkastella ennakkoon
- suunnitteluun saadaan helpotusta, jolloin tuotekehitysaika lyhenee ja prototyyppien tekeminen on tehokkaampaa

Tuotteen laatuun sillä saadaan vaikutettua:

- tuotteen, työkalun ja muotin mahdolliset ongelmat voidaan poistaa tuotekehitysvaiheessa
- tulostetusta prototyypistä on helpompaa havaita virheitä
- kokoonpanon toimintaa on helpompaa tarkastella tulosteesta, kuin tietokoneella olevasta 3D-mallista. (Godec, ym. 2022, 3.)

3D-tulostus ja WAAM-hitsaus (Wire Arc Additive Manufacturing eli robotisoitu kerroshitsaus menetelmä) kuuluvat ainetta lisääviin valmistusmenetelmiin. Tässä teoriaosassa keskitytään lähinnä niihin, joita on Lapin AMKin laboratoriossa ja lisäksi metallien 3D-tulostukseen ja WAAM-hitsaukseen. 3D-tulostuksen suurimpia etuja on kappaleiden muotojen monimutkaisuus ja erilaiset konstruktiot, joita perinteisillä ainetta poistavilla menetelmillä ei pystytä tekemään. 3D-tulostuksen filamenttimateriaalit kehittyvät nopeasti, mikä laajentaa käyttömahdollisuuksia ja tekee valmistusmenetelmästä hyvin kannattavaa. 3D-tulostusmenetelmät ovat kehittyneet niin, että iso osa valmistettavista osista menee suoraan kokoonpanoihin loppukäyttäjille, mutta tekniikka on erinomainen prototyyppien todelliseen valmistukseen ja sen jälkeen valmiin prototyypin testaukseen oikeissa olosuhteissa. (Gibson, ym. 2021, 2-5.)

Nykymarkkinat asettavat yhä tiukempia vaatimuksia tuotantoprosessien kehitykselle. Tuotteiden laadun parantamista koskevien vaatimusten lisäksi vaatimuksena on joustavampi tuotekehitys ja tuotanto. Näillä tavoitellaan kustannusten vähentämistä ja läpimenoaikojen lyhentämistä. Yhä enemmän lisääntyy pienet

tuotantoerät tuotannossa ja yksilölliset tuotekonstruktiot, näihin lisäävä valmistus ja niistä ennen kaikkea 3D-tulostus pyrkii vastaamaan. (Godec, ym. 2022, 1).

Rakennetta ja konstruktia suunnitellessa suunnitteluohjelmistolla voidaan kappaletta suunnittelupöydällä optimoida, jolloin käytetään ns. topologian optimointia. Komponentin rakenteen optimoinnilla saadaan lujuus pysymään samana, mutta materiaalimenekki vähäisempänä. Materiaalia sijoitetaan vain juuri sinne missä sitä lujuus ominaisuuksien myötä tarvitaan. Tästä seuraa myös lyhyemmät tuotantoajat, jolloin menetelmä on myös kustannustehokas. (Lange, ym. 2021, 146.) Topologian optimoinnin periaate on esitetty kuviossa 5.



Kuvio 5. Topologian optimoinnin periaate (3D Natives 2020)

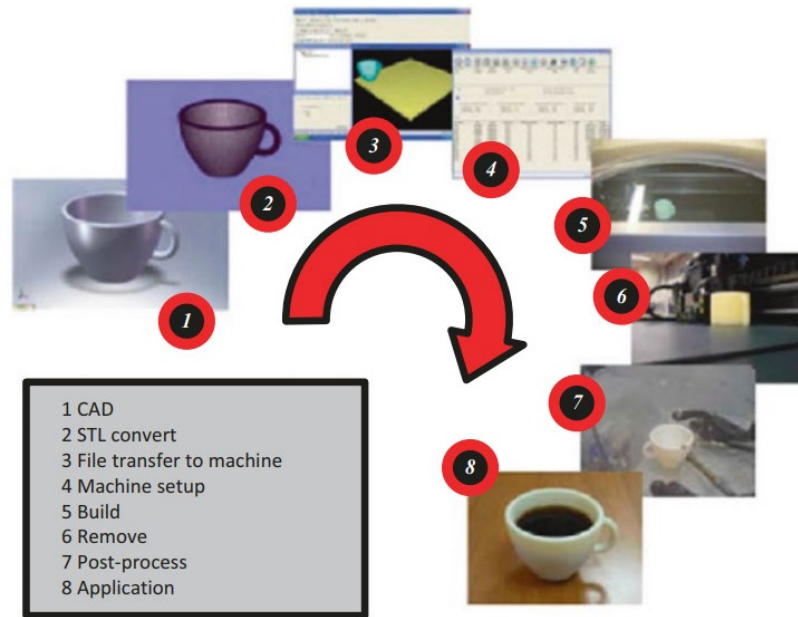
3.1.1 Lisäävän valmistuksen yleinen prosessi

Lisäävään valmistuksen prosessiin kuuluu monia vaiheita, tässä kappaleessa esitellään yleinen prosessikuvaus ennen tiedoston siirtämistä AM-laitteelle. Tämä lisäävän valmistuksen prosessi tarvitaan aina ennen varsinaista kappaleen valmistamista.

Vaihe 1: Osa tai kokoonpano mallinnetaan 3D-mallinnusohjelmalla, 3D-mallin täytyy olla joko tilavuus- tai pintamalli.

Vaihe 2: Kun 3D-malli on valmis, mallinnusohjelmassa se muutetaan STL-tiedostomuotoon, jota hyvin suuri osa AM-ohjelmistoista tukee ja muutosmahdollisuus kuuluu myös 3D-suunnitteluohjelmistojen ominaisuuksiin. AM-ohjelma pystyy lukemaan STL-tiedoston ja tekemään viipalointiprosessin 3D-mallille.

Vaihe 3: Tehdään AM-ohjelmassa tarvittavat säädöt; kerrospaksuus, suunta, täyttöprosentti ja muut toimenpiteet. Seuraavaksi malli viipaloidaan kerroksiin, josta ohjelmalla luodaan G-koodi tulostinta varten. G-koodin sisältämä tiedosto siirretään AM-laitteen lukijaan (Gibson, ym. 2021, 4-5). Prosessi jatkuu kuvion 6 mukaisesti eteenpäin ja siinä se näkyy kokonaisuudessaan.



Kuvio 6. Yleinen AM-prosessi (Gibson, ym. 2021)

3.1.2 WAAM-hitsaus (Wire Arc Additive Manufacturing)

WAAM-hitsaus on menetelmä, joka kuuluu lisäävän valmistuksen menetelmiin. Siinä robotisoidaan esim. MIG- tai MAG-hitsausprosessi, niin että hitsauslanka toimii tulostusmateriaalina, jota hitsataan kerros kerrokselta kappaleen pintaan. Robotti ja kääntöpöytä mahdollistavat moniakselisen valmistuksen. Menetelmällä on mahdollista valmistaa suuriakin komponentteja ja sillä voidaan saavuttaa jopa 5kg/h valmistaa rakennetta. Konstruktiorakenne voi olla perinteisiä menetelmiä monimutkaisempi ja kohdennetumpi, rajoittavana tekijänä robotin liikkeet. Rakenteen muokkaus on vapaampaa ja kappaleen muoto voi olla melkein millainen tahansa edellä mainitut rajoitteet huomioiden. WAAM-hitsausmenetelmän tarkkuuteen vaikuttavat kerroksen paksuus ja lisäainelangan paksuus. Hitsausmenetelmässä kappale hitsataan pohjalevyn päälle, jonka rakenteessa täytyy ottaa huomioon lämpö sekä jäähtymisen jännitykset. (Lange, Feucht & Erven, 2021, 144.)

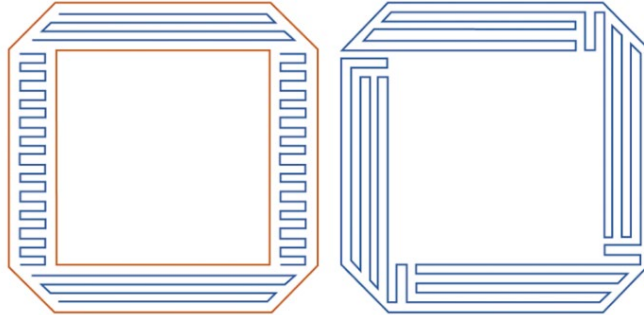
WAAM-hitsaus soveltuu kaikille hitsattaville materiaaleille, hitsausprosessi on vain vaihdettava materiaalin mukaan ja tarvittavia parametrejä on jo tutkittu hiili-teräksille, ruostumattomille teräksille, alumiinille, titaanille ja muille metalliseoksille. Menetelmällä on omat haasteensa, parametrien säätö vaatii tietämystä materiaalin, hitsauslangan, sulan metallin ja jäähtymisen suhteen, jotta hitsattava lisäaine pysyy rakenteessa esim. ulkonevissa kohdissa. Tarvittavia parametritietoja ovat elektrodi, langan halkaisija, suojakaasu, kaasun virtausnopeus, suuttimen geometria, hitsausjärjestelmä. Hitsauslaitteelle annettavia parametrejä ovat virta, jännite, langansyöttönopeus, hitsausprosessi (standardi, pulssi) ja liikenopeus. Rajoittavia tekijöitä ja reunaehtoja hitsaukselle ovat seuraavat: lämpötila, lämpötilasyklit, suuttimen suunnan mahdollisuudet, hitsausasennot, suuttimen etäisyys kappaleeseen ja hitsauksen alku-, keski- ja loppupisteet. WAAM-hitsausmenetelmällä on tulevaisuudessa potentiaalia, kun materiaalin käytön optimointiin kiinnitetään entistä enemmän huomiota ja erilaiset geometriset konstruktiot ovat vapaammin toteutettavissa. (Lange, ym. 2021, 145.) Kuviossa 7 on esitetty WAAM-hitsausmenetelmä.



Kuvio 7. WAAM-hitsausmenetelmä. (Hantula 2021)

WAAM-hitsauksen liikkeiden ja geometrian mallinnuksessa käytetään lisäävän valmistuksen tavoin viipalointiprosessia, jossa geometria jaetaan kerroksiin tai pisteisiin, joihin materiaali kerrostetaan. Kerrostasot ja niiden koordinaatit kuvataan eri liikekomennoilla tulostuspäälle, eli hitsaupistoolin kahvalle. Yleisesti ohjelmassa käytetään muidenkin lisäävän valmistusten ohjelmistojen tavoin G-koo-

dia, jonka viipalointiohjelmisto luo automaattisesti. Viipalointi ohjelma mahdollistaa erilaisia geometrioita ja tulostuspään liikestrategia mahdollisuuksia. Niitä on esitetty kuviossa 8. (Lange, ym. 2021, 145.)



Kuvio 8. Kaksi erilaista viipalointistrategiaa (Lange, ym. 2021)

Kappaleen 3D-malli muutetaan viipalointiohjelmalla esimerkiksi kuvion 5 mukaisiksi poluiksi, joita pitkin hitsauspää kulkee suunnitellulla nopeudella, kunnes kerrostaso on valmis, josta jatketaan seuraavalle kerrostasolle, kunnes kappale on suunnitellun 3D-mallin mukainen. Kappale vaatii erilaisia jälkityöstömenetelmiä sen mukaan, mitkä ovat kappaleelle asetetut vaatimukset ja sen tuleva käyttö. Jälkityöstömenetelmiä voivat olla perinteiset esimerkiksi poraus, koneistus, hionta. (Lange, ym. 2021,145.)

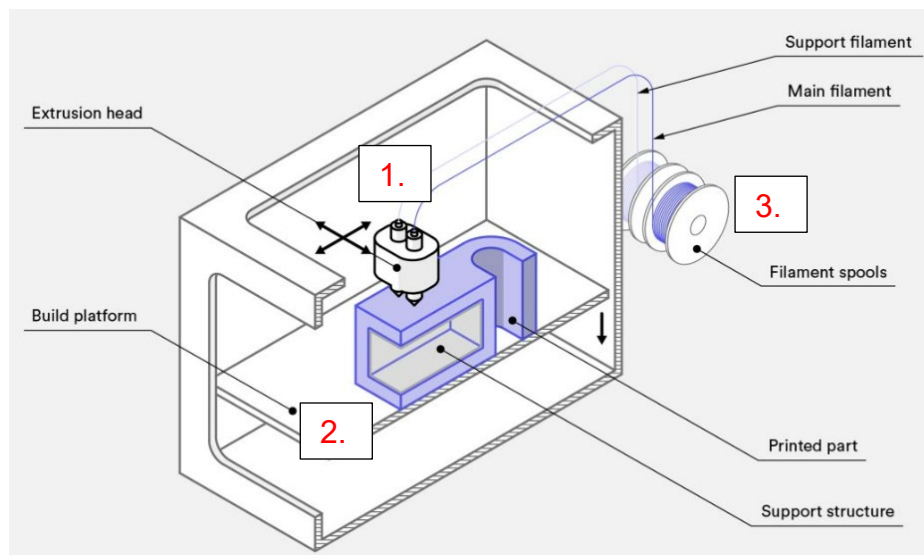
Kuviossa 9 on esitetty WAAM-hitsausmenetelmällä valmistettu tuote, joka on toteutettu Suomessa tehdyssä EnergyVaasa 3D-center -hankkeessa, vuonna 2018- 2020.



Kuvio 9. WAAM-menetelmällä tehty kappale, johon jälkityöstetty kiinnitysreiät (Hantula 2021)

3.1.3 Materiaalin pursotus (MEX)

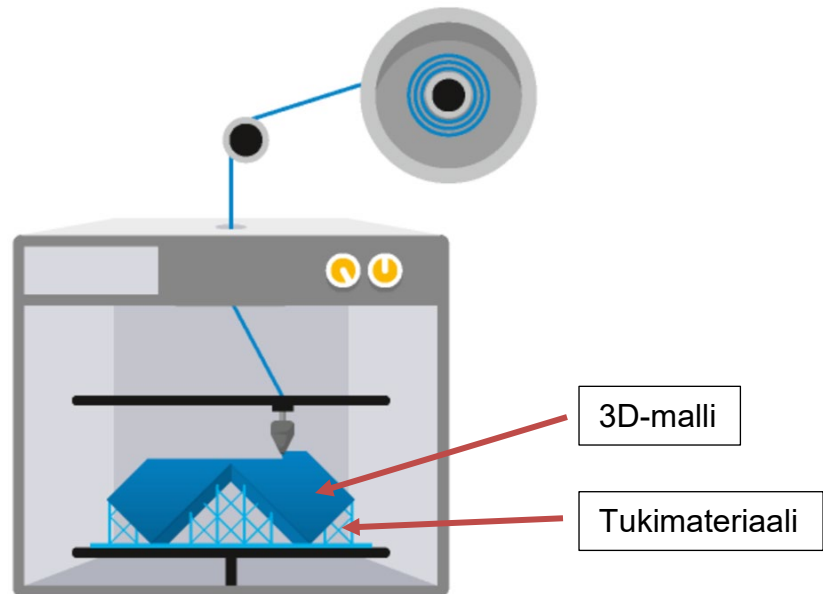
Ensimmäinen tekniikoista on materiaalien pursotus (Material Extrusion eli MEX) ryhmään kuuluva Fused Deposition Modeling eli FDM, joka on laajin ja yleisin tekniikka. Toisinaan osa kirjallisuudesta käyttää siitä myös nimitystä FFF eli Fused filament fabrication. Yleisin tapa tässä menetelmässä on käyttää termoplastista filamenttimateriaalia, jossa materiaali pursotetaan puristusruullilla pakottaen kuumennetun suuttimen läpi, jolloin se sulaa ja suutinpäätä kuljetetaan automaattisesti ennalta suunnitellun reitin mukaisesti ja kappale valmistuu kerros kerrokselta. Tärkeää tasaisen kerrospaksuuden ja saman halkaisijan aikaansaamiseksi on paine, jolla filamenttimateriaalia pakotetaan suuttimen läpi sekä x,y ja z- liikkeiden nopeus, niiden on pysyttävä oikeina koko prosessin ajan. (Gibson, ym. 2021, 171.) Kuviossa 10 on esitetty FDM- tulostimen periaate.



Kuvio 10. FDM-tulostimen periaate (Hubs 2024A)

FDM-tulostin koostuu (kuvio 10) suulakepuristussuutinyksiköstä (1), alustasta (2) ja muovifilamenttien syöttökeloista (3). Tulostimia on saatavana yhdellä ja kahdella suutinyksiköllä. Kahdella varustettu tulostaa toisella suuttimella tukimateriaalin ja toisella 3D- mallin materiaalin, jolloin materiaalit voivat olla erityyppisiä. Yhdellä suutinyksiköllä oleva tulostaa tukimateriaalin ja 3D- mallin materiaalin samasta suuttimesta, jolloin myös materiaali on molemmissa samaa. FDM- tulostimen tyypistä riippuen lineaariliikkeet XYZ- suuntaan voidaan toteuttaa suutinyksikön liikkeinä tai alustan liikkeinä. Kuviossa 10 olevassa suutinyksikkö liikkuu

XY- suunnassa ja alusta Z- suunnassa. (Hubs 2024b.) Kuviossa 11 on esitetty FDM- tulostuksen periaate.



Kuvio 11. FDM- tulostuksen periaate (Engineering Product Design 2021)

FDM-tulostuksen päävaiheet ovat:

- filamenttikelan, jossa on tulostusmateriaali, asennus
- alustan lämmitys
- tiedonsiirto tulostimelle
- filamentin syöttö suutinpäälle, joka lämmitetään tulostusmateriaalin vaatimusten mukaisesti oikeaan lämpötilaan
- tulostus kerroksittain, suutin työntää sulaa filamenttia ohuena nauhana alustalle, josta muotoutuu suunniteltu 3D-kappale
- kappaleen ollessa valmis, se poistetaan alustalta ja kappaleesta poistetaan mahdolliset tukimateriaalit ja se viimeistellään tarvittaessa. (Engineering Product Design 2021.)

FDM-tulostimissa on yleensä mahdollisuus säätää suuttimen ja alustan lämpötilaa, tulostusnopeutta, kerroksen korkeutta ja jäähdytystä. Näitä ominaisuuksia

muuttamalla saadaan kappaleesta halutunlainen kohteeseensa. FDM:ssä käytetty kerroskorkeus vaihtelee välillä 0,05 - 0,4 mm. Pienempi kerroskorkeus tuottaa pinnaltaan tasaisempia komponentteja ja tarkempia kaarevissa muodoissa, mutta suuremmalla kerroskorkeudella tulostusnopeus on parempi ja kustannukset jäävät kokonaisuutena alhaisimmiksi. Yleisesti hyvä kerroskorkeus on 0,2 mm, jolloin kustannukset, tulostusaika ja pinnan laatu ovat riittävä kompromissimoneen kohteeseen. FDM:ssä filamenttimateriaaleina ovat ABS, PC, PLA, Nylon, PETG, TPU ja PEI (Hubs 2024b) Kuviossa 12 on esitetty FDM- tekniikan tärkeimmät ominaisuudet ja kuviossa 13 on esitetty eri kerroskorkeudella tulostettuja kappaleita.

FDM	
Materials	Thermoplastics (PLA, ABS, PETG, PEI etc.)
Dimensional Accuracy	± 0.5% (lower limit on ± 0.5 mm)-desktop ± 0.15% (lower limit on ± 0.2 mm)-industrial
Typical Build Size	200 x 200 x 200 mm- desktop 900 x 600 x 900 mm-industrial
Common layer thickness	50 to 400 microns
Support	Not always required (dissolvable available)

Kuvio 12. FDM- tekniikan tärkeimmät ominaisuudet (Hubs 2024b)



Kuvio 13. FDM-kerroksen korkeus – 0,05, 0,2 ja 0,3 mm (Engineering Product Design 2021)

FDM- tekniikan etuja ovat kustannustehokkain tapa valmistaa prototyyppijä ja yksittäisiä termoplastisia komponentteja, lyhyet läpimenoajat ja edulliset lisäai-

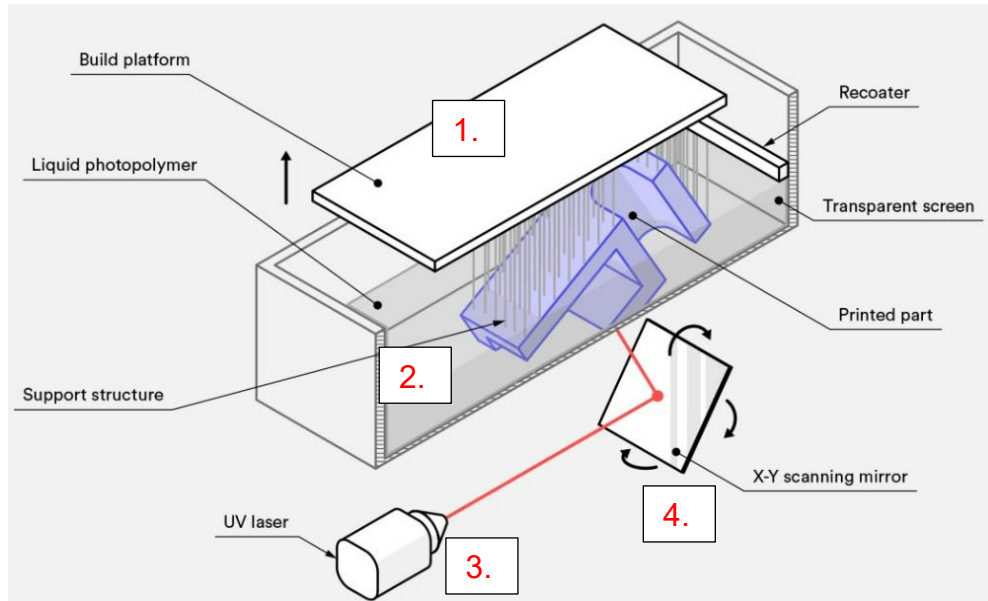
neet sekä laitehankintakustannukset. Lisäksi saatavilla suuri valikoima kesto-
muovimateriaaleja, helppokäyttöinen tekniikka sekä vaikeat muodot helposti to-
teutettavissa. (Engineering Product Design 2021.)

FDM- tekniikan haittoja ovat 3D- tulostusmenetelmien heikoin mittatarkkuus, jäl-
kikäsitteily välttämätön, lisäksi se on anisotooppinen sekä vääntyminen ja mate-
riaalin kutistuminen on yksi sen haitoista. Tekniikka vaatii tietyille konstruktiolle
tukimateriaalin ja sen poistaminen voi olla vaikeaa. Kerrosten tarttuvuus toisiinsa
on kriittisimpiä kohtia. (Hubs 2024b.)

3.1.4 Valokovetus altaassa (VPP)

Toinen tekniikka on valokovetus altaassa (Vat Photopolymerization eli VPP) -ryh-
mään kuuluva SLA eli stereolitografia, joka on ensimmäinen kaupallistettu 3D-
tulostustekniikka. Tekniikka keksittiin jo 1980- luvulla. Tekniikassa käytetään ult-
raviolettiasereita, joilla kovetetaan fotopolymeerihartsia tarkasti, jolloin niiden
olomuoto muuttuu nesteestä kiinteäksi UV-säteilyn aiheuttaman kemiallisen re-
aktion ansiosta juuri oikeaan muotoon (Gibson, ym. 2021, 77-78). Kappale val-
mistuu tarkasti kerros kerrokselta valmiiksi osaksi. Laservalon UV-säde voidaan
kohdistaa, jolloin on mahdollista kovettaa vain tietty osa nestemäisestä valopoly-
meeristä ja sen seurauksena saadaan muodostettua haluttu kiinteä 3D-malli XY-
tasolle, toistaen prosessia Z-tasolla. (Hubs 2024c.)

Menetelmä vaatii aina tukirakenteen konstruktiosta riippuen. Kerroskorkeus SLA-
tekniikassa on 0,025 - 0,1 mm, mittatarkkuus pöytälaiteissa $\pm 0,5 \%$ (teollisuus-
laitteissa jopa 0,15%). SLA-tulostusprosessin päätyttyä osat joudutaan puhdistaa
liuotinliuoksessa, jolla poistetaan hartsin jäämät, jotka eivät ole kovettu-
neet. Lopuksi osat kovetetaan lopullisesti UV-uunissa. SLA-osat voidaan viimeis-
tellä erilaisilla jälkikäsitteilymenetelmillä, kuten hiomalla, kiillotuksella ja ruisku-
maalauksella (Hubs 2024c.) Kuviossa 14 on esitetty SLA-tulostuksen periaate.



Kuvio 14. SLA-tulostusprosessin periaate (Hubs 2024c)

SLA-tulostimen pääosat ovat alusta (1), joka liikkuu Z-suunnassa johtoruuvilla, hartsiallas (2), joka sisältää nestemäistä fotopolymeeriä, sekä laser (3), joka lähettää UV- säteen peilin (4) kautta, joka ohjaa lasersäteen XY- tasoa pitkin (kuvio 14). Materiaaleina käytetään erilaisia polymeerihartseja, joita voidaan kovettaa UV-valolla. Niitä on ns. vakiohartsi, kirkas hartsi, tarkkuushartsi, sitkeä/kestävä hartsi, valettava hartsi, joustava hartsi, lääkehoitohartsi ja korkean lämpötilan hartsi, jo nimi kertoo niiden erikoisominaisuuksista (Hubs 2024c). Riippuen mitä hartseja käytetään, (epoksi- vai akrylaattihartsi) myös ominaisuudet vaihtelevat hieman, toisissa tapahtuu hieman enemmän kutistumista ja toiset ovat tarkempia ja kovempia. Toisaalta hartsit, joissa kutistumista on vähemmän, niillä kerrostarttuvuus on erinomainen. Uusimmat ns. hybridihartsit ovat parantaneet ominaisuuksia joka osa-alueella. (Gibson, Rosen, Stucker & Khorasani 2021, 81.) Kuviossa 15 on esitetty SLA-tekniikan tärkeimmät ominaisuudet.

SLA-tulostuksen päävaiheet:

- hartsisäiliön täyttö fotopolymeerillä
- työtason vienti Z-suunnassa mahdollisimman korkealle, kuitenkin sen täytyy olla hieman fotopolymeerikerroksen peitossa
- lasersäteen kohdistus vastaavalle pinta-alalle XY-tason poikki

- fotopolymeerin kovetus laserilla, kunnes kerros on kiinteä, jolloin muodostuu mallin poikkileikkaus
- työtason liikkuminen Z-suunnassa, jolloin uusi kerros nestemäistä fotopolymeeriä peittää kovetetun kerroksen
- vaiheiden toisto, kunnes 3D-kappale on valmis
- 3D-kappaleen kuivaus, puhdistus liuottimella ja mahdollisten tukirakenteiden poisto
- lopuksi kappaleen kovetus UV-uunissa lopulliseen kovuuteen. (Engineering Product Design 2021.)

SLA	
Materials	Photopolymer resins (thermosets)
Dimensional Accuracy	± 0.5% (lower limit: ±0.10 mm) – desktop ± 0.15% (lower limit ± 0.01 mm) – industrial
Typical Build Size	Up to 145 x 145 x 175mm – desktop Up to 1500 x 750 x 500mm – industrial
Common layer thickness	25–100 microns
Support	Always required (essential to producing an accurate part)

Kuvio 15. SLA-tekniikan tärkeimmät ominaisuudet (Hubs 2024c)

SLA-tekniikan etuja ovat uudelleenkäytettävä materiaali: säiliöön jäänyt nestemäisen fotopolymeeri voidaan käyttää uudelleen, mikä vähentää materiaalin kulutusta. Etuina myös tarkkuus, SLA-tekniikalla päästään jopa 0,01mm toleranssiin. Vaativat ja monimutkaiset geometriat ovat toteutettavissa tulostuksen laadun pysyessä erinomaisena. Lisäksi etuna sileä pinta, jolloin viimeistely jää vähäiseksi tai sitä ei tarvita lainkaan. Teollisuustulostimilla päästään jo 1500 x 750 x 500 mm kokosiin 3D-tulosteisiin. (Hubs 2024c.)

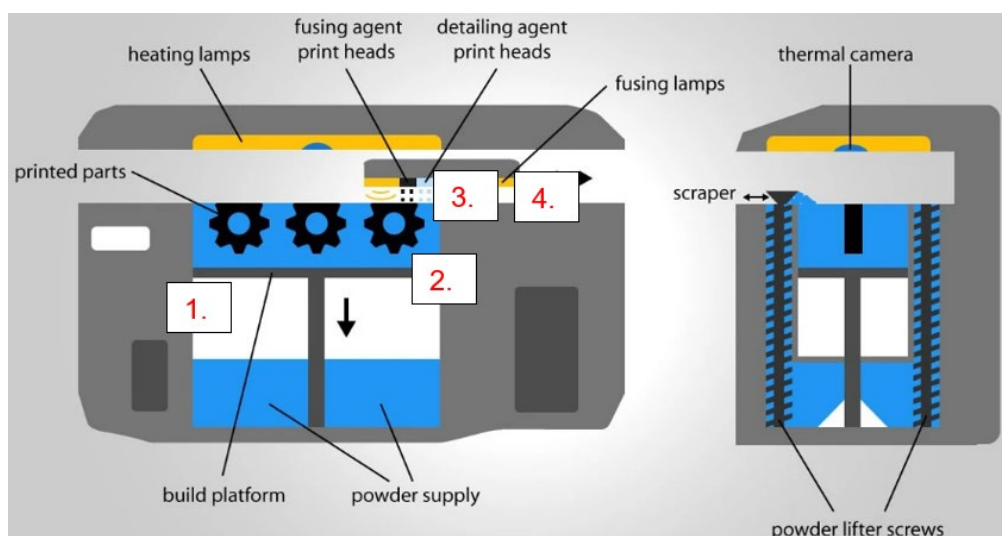
SLA-tekniikan haittoja on esimerkiksi tulosteen hauraus, jolloin se ei sovellu kaikkien prototyyppien valmistukseen. Tulostusprosessista ja materiaalista johtuen tulosteet ovat herkkiä auringonvalolle, jolloin niiden mekaaniset ja visuaaliset ominaisuudet huononevat auringonvalon vaikutuksesta. Lisäksi kutistumista tapahtuu hieman riippuen hartsityypistä. SLA-tekniikka edellyttää yleensä tukira-

kennetta, jolloin se lisää materiaalin kulutusta ja hieman lisää läpimenoaika, tukimateriaalin poistovaiheen takia. Haittoina myös alkuinvestointi eli varsinkin teolliset laitteet ja fotopolymeerihartsit ovat kalliita. (Hubs 2024c.)

3.1.5 Jauhepetisulatus lämmityksellä (PBF)

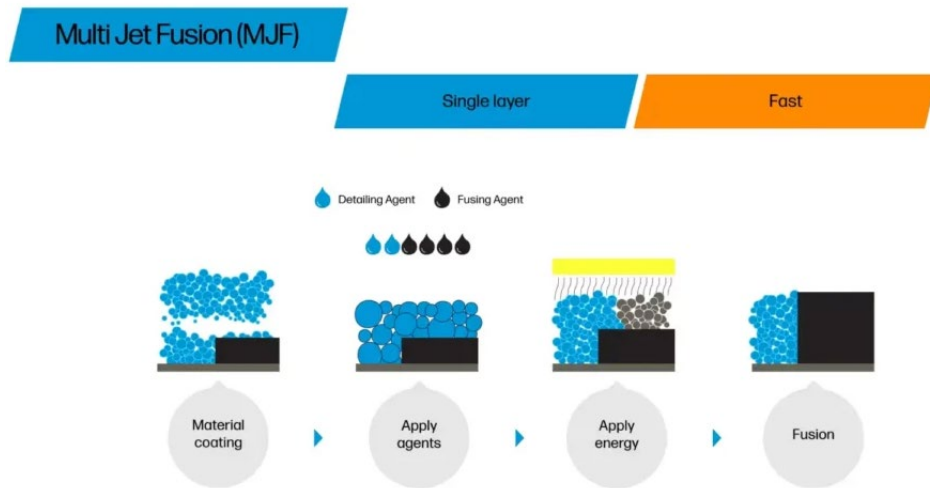
Kolmas tekniikka on jauhepetifuusiotekniikkaan (Powder Bed Fusion PBF) kuuluva MJF eli Multi Jet Fusion, joka perustuu jauhepohjaiseen lämpöfuusioon. Tässä tekniikassa jauhemaiset materiaalit muutetaan kiinteäksi käyttämällä lämpöä ja sidemateriaalia. Tekniikassa käytetään mustesuihkupäitä, joilla polymeerijauhe ruiskutetaan ohuina kerroksina, noin 0,08 mm, tulostuspedille. Ruiskutuksen jälkeen alue käsitellään lämpöenergialla, jolloin polymeerijauhe sulaa (sintrautuu) tarkasti kohdennetusti, määrittelyn mukaisesti ja sulamispisteessä oleva jauhe fuusioituu yhteen muodostaen vahvan kerroksen. Kerros sulautuu yhteen edellisen kerroksen kanssa ja tätä toistetaan, kunnes kappale on valmis. Tekniikka on nopea ja tulosteet ovat tarkkoja ja kestäviä. (Hubs 2024d.)

Käytettävänä materiaaleina MJF-tekniikassa ovat PA 12 Nylon kestävä muovi, PA 12 lasinailon, PA 11 Nylon sitkeä, PP polypropeeni, jolla on korkea kemiallinen kestävyys, TPU01 termoplastinen polyuretaani, joustava, TPU M95A ja TPA-termoplastinen polyamidi. (Hubs 2024d.) Kuviossa 16 on esitetty MJF-tulostimen periaate.



Kuvio 16. MJF- tulostimen periaate. (Engineering Product Design 2021)

MJF-tulostimen pääosat ovat rakennuskammio (1), jauhepeti tai tulostustaso (2), tulostuspää ryhmä (3), jossa kiinnitys ja viimeistelyaine suuttimet, fuusiolamput (4), jäähdytysjärjestelmä ja ohjausjärjestelmät sekä jälkikäsittelylaitteisto. (Engineering Product Design 2021.) Kuviossa 17 on esitetty MJF-tulostuksen periaate.



Kuvio 17. MJF-tulostuksen periaate. (Engineering Product Design 2021)

MJF-tulostuksen päävaiheet:

- työalueelle levitetään ohut kerros jauhetta, kerroksen esilämmitys, lähelle sintrauslämpötilaa
- materiaalin suihkutuspää suuttimilla rakennusalustalle 3D-kappaleen mukaisesti
- infrapunavalo lämmityslampujen liikkuminen jauhekerroksen yli
- ruiskutettujen materiaalien seoksen sintraaminen, jossa lämpö sulattaa kiinnitys ja viimeistely aineilla peitetyn materiaalin
- toistetaan edelliset vaiheet, kunnes osa on valmis.
- jäähtymisen jälkeen kappale puhdistetaan sulamattomasta jauheesta (imuroidaan jauhe uudelleenkäyttöön)
- lopuksi käsittely kuulapuhalluksella tms. (Hubs 2024d.)

MJF	
Materials	Thermoplastics (NylonPA11, NylonPA12, PP, TPU M95A etc.)
Dimensional Accuracy	$\pm 0.3\%$ (lower limit on ± 0.3 mm)
Typical Build Size	380 x 285 x 380 mm
Common layer thickness	80 microns
Support	not required

Kuvio 18. MJF-tekniikan tärkeimmät ominaisuudet (Hubs 2024d)

MJF-tekniikan etuja ovat nopea läpimenoaika, lyhyehköt jälkikäsittelyajat, erinomaiset mekaaniset ominaisuudet, pieni kerrospaksuus, hyvä tarkkuus, materiaalin uudelleenkäyttö, tukirakenteita ei tarvita ja sillä voidaan tulostaa kestäviä ja toimivia osia. (Hubs 2024d.)

MJF-tekniikan haittoja ovat kallis alkuinvestointi, laitteet ja materiaalit sekä tietyt geometrian rajoitukset ja esimerkiksi ulokkeiden vääntyminen. (Hubs 2024d.) Kuviossa 19 on esitetty MJF-tulostettu kappale.

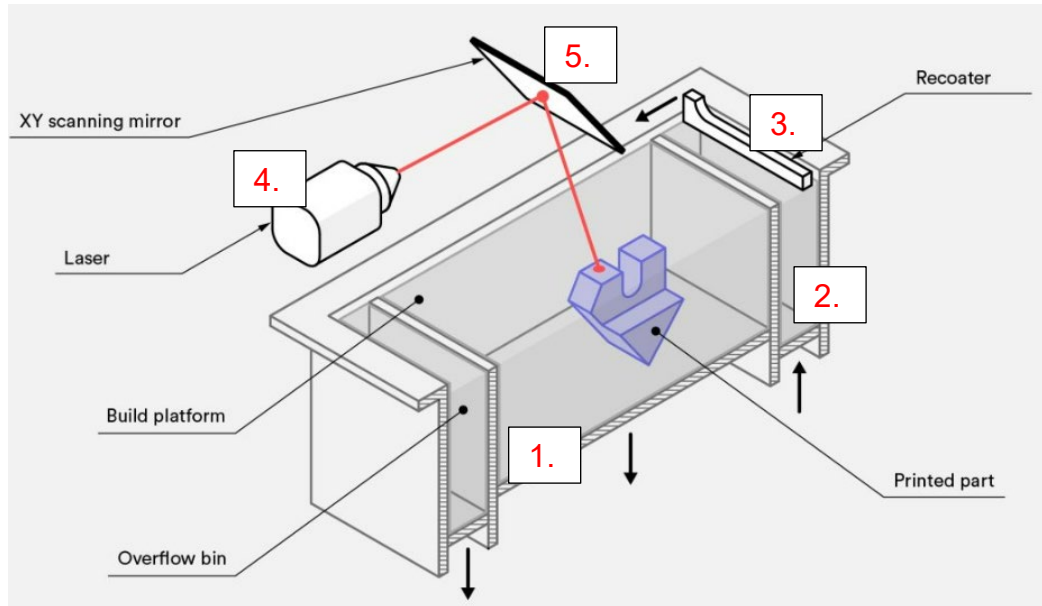


Kuvio 19. MJF-tulostettu kappale. (Engineering Product Design 2021)

3.1.6 Jauhepetisulatus laserilla (PBF)

Neljäs 3D-tulostustekniikka kuuluu myös jauhepetifuusiotekniikkaan, SLS eli Selective Laser Sintering. SLS-tekniikka on ensimmäisiä kaupallistettuja AM-tekniikoita. SLS-tekniikka eroaa edellä mainitusta MJF-tekniikasta ainoastaan lämmön tuonnilla sintrausvaiheessa, muuten periaatteet ovat saman tyyppiset kaikilla PBF-tekniikoilla. SLS-tekniikassa käytetään laseria (yleensä CO₂-laser), joka sulattaa (sintraa) valikoivasti jauhemaiset polymeerihiukkaset yhteen muodostaen näin 3D-kappaleen. Jauhepetikerros on tyypillisesti 0,075 - 0,1mm paksu, ja se levitetään rakennusalustalle jauhetasoitustelalla. Rakennusalustalla oleva jauhe pidetään esilämmitettynä, juuri sulamispisteen alapuolella. Esilämmityksellä laserin tehoa sintrauksessa tarvitaan vähemmän ja osan vääntymisen vähenee. Osan valmistuminen tapahtuu kammiossa, jossa on yleensä tyypikaasua, jauhemaisen materiaalin hapettumisen ja hajoamisen ehkäisemiseksi. Rakennusvaiheessa ei tarvita erillistä tuentaa, vaan sintrautumaton jauhe kappaleen ympärillä toimii tuentana. SLS-tekniikkaa käyttävistä laitteista käytetään myös nimitystä polymeerilasersintrauslaitteet (pLS). (Gibson, ym. 2021, 125-126.)

SLS-tekniikassa käytetyt materiaalit ovat termoplastisia polymeerejä, jotka ovat rakeisessa muodossa. SLS-tekniikalla päästään ohutseinämäisiin ja monimutkaisiin sisärakenteisiin. SLS-tekniikka on ihanteellinen nopeaan prototyyppien, toimivien prototyyppi kokoonpanojen, esituotanto-osien ja testilaitteiden valmistukseen. Materiaaleina osittain samoja kuin MJF-tekniikassa kuten PA12 Nylon, PEBA Polyeetterilohkoamidi, Alumidi, PA-FR hiilikuidulla täytetty polyamidi, PA-GF lasitäytetty polyamidi, PA11, TPE ja PP. Jälkikäsittelymenetelmiä on esimerkiksi kiilloitus, värjäys, ruiskumaalaus, lakkaus sekä vesitiiviit pinnoitteet ja metallipinnoitteet. (Hubs 2024e.) Kuviossa 20 on esitetty SLS-tulostimen periaate.



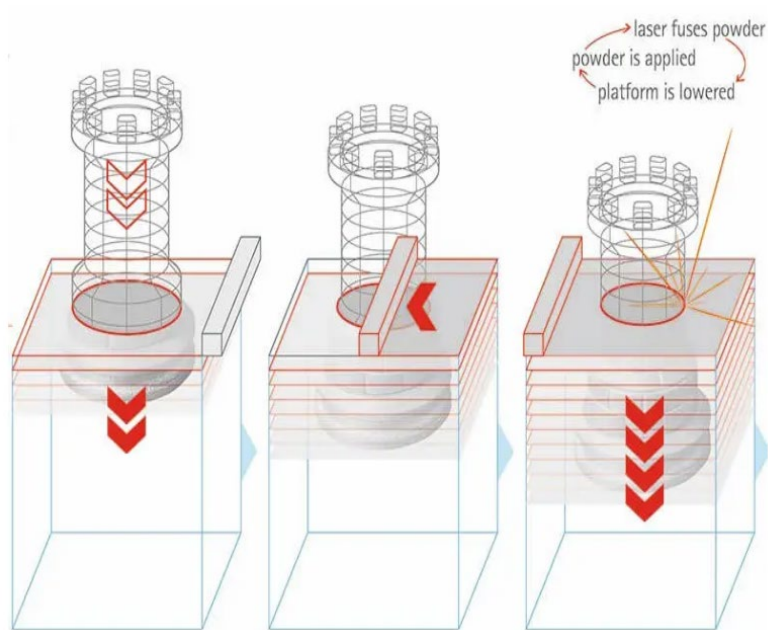
Kuvio 20. SLS-tulostimen periaate (Hubs 2024e)

SLS-tulostimen pääosat ovat (kuvio 20), rakennuskammio (1), jauhekammio (2), jauheenlevitin (3), laser (4) ja peili (5), jolla ohjataan lasersäde XY- suunnassa sekä infralämmittimet (Hubs 2024e).

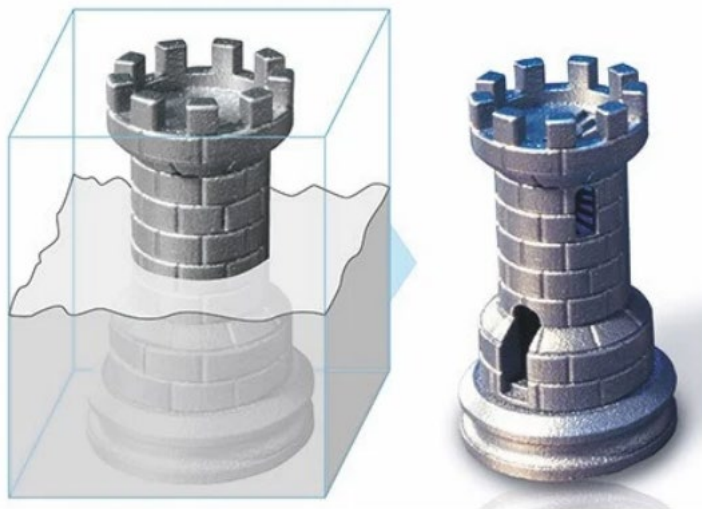
SLS- tulostuksen päävaiheet:

- jauhekerroksen valmistelu, ladataan kammioon ja tulostusalustalle
- jauhekammion lämmitys ja tulostusalustan lämmitys polymeerin sulamis- lämpötilan alapuolelle
- jauhekerroksen levitys levitystelalla
- laserskannataan kerroksen ääriviivat, jolloin polymeeri sulaa ja sintrautuu yhteen ja muodostuu kiinteäksi rakenteeksi
- ensimmäinen kerroksen valmistuttua, jalusta laskeutuu ja levitin levittää uuden jauhekerroksen
- prosessin toisto, kunnes kappale on valmis, kappaleen annetaan jäähtyä sintraamattoman jauheen sisällä
- jäähtymisen jälkeen osat puhalletaan paineilmalla puhtaaksi tai jälkikäsi- teltäväksi. (Hubs 2024e).

Kuviossa 21 ja 22 on esitetty SLS- tulostuksen periaate ja kuviossa 23 on SLS- tekniikan tärkeimmät ominaisuudet.



Kuvio 21. SLS-tulostuksen periaate. (Engineering Product Design 2021)



Kuvio 22. SLS-tulostuksen viimeinen vaihe ja kappaleen valmistuminen (Engineering Product Design 2021)

SLS

Materials	Thermoplastics (usually nylon)
Dimensional Accuracy	$\pm 0.3\%$ (lower limit of ± 0.3 mm)
Typical Build Size	300 x 300 x 300mm (up to 750 x 550 x 550mm)
Common layer thickness	100–120 microns
Support	Not required

Kuvio 23. SLS-tekniikan tärkeimmät ominaisuudet (Hubs 2024e)

SLS-tekniikan etuja ovat, kerrosten tarttuvuus erinomainen, kustannustehokas pienille sarjoille ja prototyypeille, ei tarvetta tukirakenteille, jauheen kierrätys, monimutkaiset geometriat, laaja valikoima nailon materiaaleja, hyvät mekaaniset ominaisuudet, nopeat tuotantoajat, huokoinen pinta, joten mahdollisuus värjätä kappaleita. (Hubs 2024e.)

SLS-tekniikan haittoja ovat laitekustannukset, kutistumien ja vääntyminen mahdollista jäähtymisen seurauksena, geometrian suunnittelussa huomioitava, ylisintrautuminen esim. pienien reikien kohdalla, poistoaukot tarvitaan umpikapaleille, epätarkempi verrattuna moneen muuhun AM-tekniikkaan, jälkikäsitteilyvaatimukset. (Hubs 2024e.)

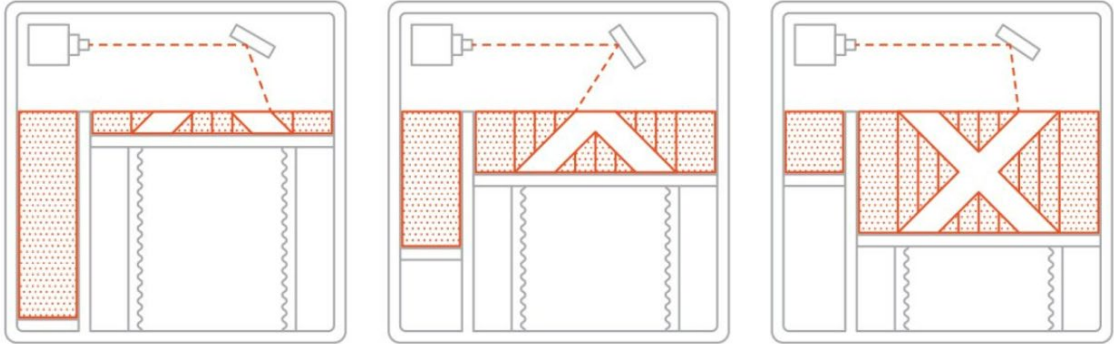
3.1.7 Metallien jauhepetisulatus laserilla (PBF)

Viidentenä 3D-tulostustekniikkana tarkastellaan myös jauhepetifuusiotekniikkaan kuuluvia metallien tulostustekniikoita, jotka ovat DMLS (Direct Metal Laser Sintering) ja SLM (Selective Laser Melting). Näitä tekniikoita käyttäviä laitteita nimitetään myös metallilasersintrauslaitteiksi (mLS). Näiden tekniikoiden peruseriaatteen ovat saman tyyppiset kuin edellä käsitelty SLS-tekniikan. (Gibson, ym. 2021, 125).

Käytännön ero DMLS:n ja SLM:n välillä on hyvin pieni, tuotesuunnittelussa näitä kahta tekniikkaa voidaan pitää samana. Molemmissa tekniikoissa käytetään suuritehoista laseria (nykyään yleensä kuitulaser) metallijauhehiukkasten sulattamiseen yhteen, muodostaen osan kerros kerrokselta. DMLS:n ja SLM:n väliset erot johtuvat hiukkasten sidosprosessista. DMLS:ssä jauhe koostuu materiaaleista, joiden sulamispisteet vaihtelevat ja jotka sulautuvat molekyyllitasolla korotetuissa lämpötiloissa (nestefaasin sintraus), kun taas SLM:ssä käytetään metallijauheita, joilla on yksi sulamislämpötila, joka sulattaa hiukkaset täysin (täyssulatus).

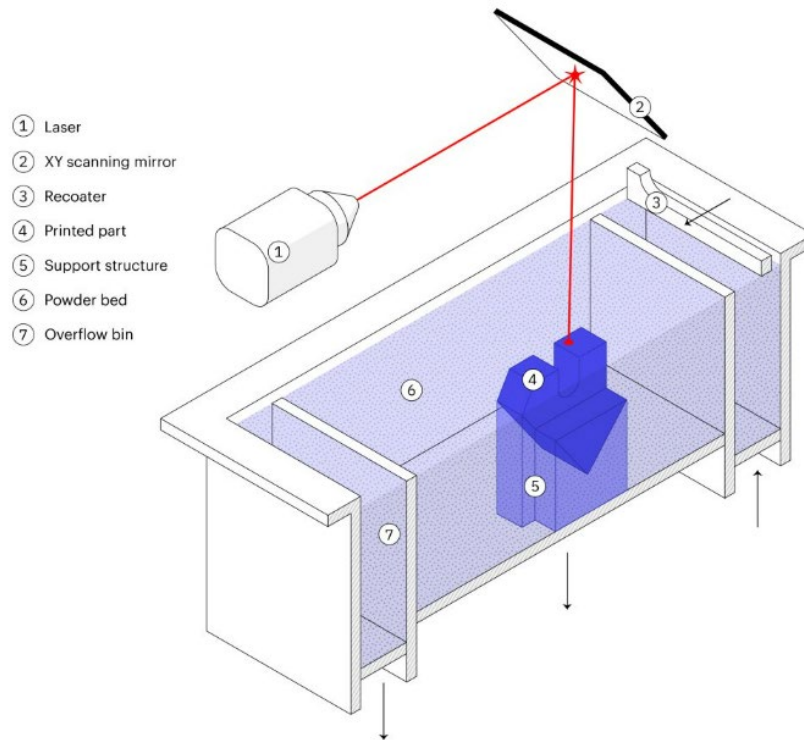
Käytännössä DMLS-tekniikalla valmistetaan osat metalliseoksista ja SLM-tekniikalla osat valmistetaan yhdestä metallista. Näillä tekniikoilla valmistettuja kappaleita voidaan käyttää suoraan prosessin jälkeen, vain irrotus jalustasta ennen käyttöönottoa (Gibson, ym. 2021, 141). Siksi useimmat metalliseokset ovat yhteensopivia DMLS-prosessin kanssa, kun SLM-tekniikassa voidaan käyttää vain

tiettyjä (puhtaita) metallimateriaaleja. (Hubs 2024E). Tekniikat on tarkoitettu nimenomaan metallien, kuten alumiinin, ruostumattoman teräksen, titaanin, kuparin, työkaluterästen, yleensäkin kaikkien hitsattavien terästen sintraamiseen, rajoittavana tekijänä on seokset, jotka halkeilevat nopean jäähtymisen aikana. (Gibson, ym. 2021, 128-130). Kuviossa 24 on esitetty näiden tekniikoiden tulostusprosessi ja kuviossa 25 on esitetty DMLS / SLM tulostin.



Kuvio 24. DMLS / SLM tekniikoiden tulostusprosessin periaate (Hubs 2024a)

Tekniikat ovat hyvin tarkkoja ja niillä päästään hyvinkin yksityiskohtaisiin kappaleisiin ja valmis kappale omaa hyvät mekaaniset ominaisuudet. Tekniikka sopii hyvin myös pienille osille ja sopii geometrioille, joita on mahdoton perinteisillä työstömenetelmillä tehdä. Kerrospaksuus on 20-50 μ m, riippuen metallijauheen ominaisuuksista. Kappaleita voidaan jälkityöstää myös perinteisillä menetelmillä, kuten poraus, jysintä ja kalvaus sekä kiillottaa ja maalata. (Hubs 2024a.)



Kuvio 25. DMLS / SLM tulostimen pääosat (Hubs 2024a)

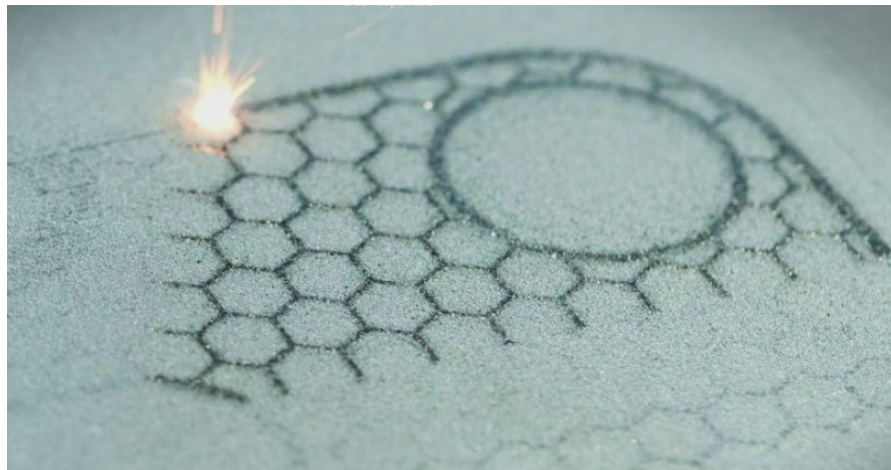
DMLS/SLM- tulostuksen päävaiheet:

- jauhekerroksen valmistelu, rakennuskammion lataus ja inerttikaasu täyttö
- lämmitys optimaaliseen tulostuslämpötilaan
- metallijauheen levitys, ohut kerros (tyypillisesti 50 μm) levitetään rakennusalustan päälle levitystelalla
- suuritehoinen laser skannaus, jolloin metallihiukkaset sulavat ja sintrautuvat yhteen, muodostaen kiinteän kappaleen
- ensimmäisen kerroksen valmistuminen
- uuden jauhekerroksen levitys ja sen skannaus laserilla uudestaan, tämän toistaminen, kunnes kappale on valmis
- kappaleen jäähtyminen, sen jälkeen irtojauheen poisto, muut jälkikäsittelyt, esimerkiksi jäännösjännitysten poisto
- osien irrotus rakennusalustastaan, esimerkiksi vannesahalla

- tuentojen poistaminen manuaalisesti tai CNC-koneistuksella. (Hubs 2024a.)

DMLS/SLM -tekniikan etuja ovat, soveltuvuus lähes kaikille metalleille, mekaaniset ominaisuudet vastaavat tavanomaisia metalliosia, voidaan valmistaa geometrioita, joita on mahdoton tehdä perinteisillä menetelmillä, hyvä kerros tarttuvuus, metallijauheet ovat kierrätettäviä, jauheen hukka alle 5%. (Hubs 2024a.)

DMLS/SLM -tekniikan haittoja ovat, suhteellisen hidas menetelmä, kallis menetelmä, vaatii asiantuntemusta, jälkikäsittely kallista, osa on kiinnitettävä jalustaan (vääntymisen estäminen), tukirakenteet nostavat jauheen käyttömäärää ja sen tähden kustannuksia (Hubs 2024E). Kuviossa 26 on esitetty DMLS-tulostuksen periaate ja kuviossa 27 on esitetty SLM/DMLS -tärkeimmät ominaisuudet sekä kuviossa 28 on esitetty DMLS-tekniikalla tulostettu osa.



Kuvio 26. DMLS-tulostuksen periaate. (Engineering Product Design 2021)

SLM / DMLS	
Materials	Metals & metal alloys (aluminum, steel, titanium)
Dimensional Accuracy	± 0.1 mm
Typical Build Size	250 x 150 x 150 mm (up to up to 500 x 280 x 360 mm)
Common layer thickness	20 – 50 microns
Support	Always required

Kuvio 27. SLM/DMSL -tekniikoiden tärkeimmät ominaisuudet (Hubs 2024a)



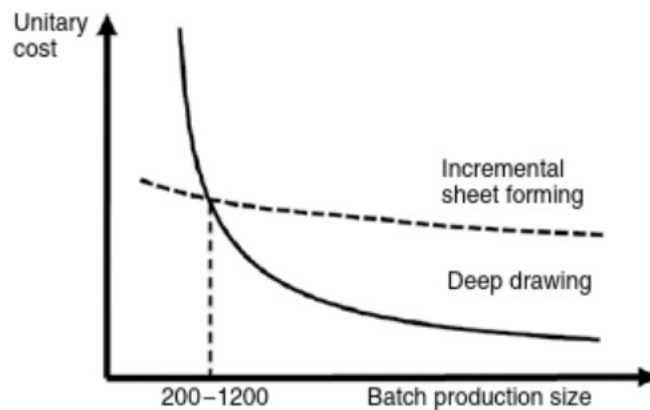
Kuvio 28. DMLS-tekniikalla tulostettu kiinnike, ennen tukirakenteiden poistamista. (Hubs 2024a)

Metallitulostuksessa tarvitaan aina tukirakenteita korkean lämpötilan vuoksi estämään kappaleen vääntymistä, toimimaan alustana seuraavalle kerrokselle ja kuljettamaan lämpöä pois kappaleesta. Tukirakenteissa ristikkokuvio on tavanomainen (kuvio 27) ja osat valmistetaan usein 45 asteen kulmaan vääntymisen minimoimiseksi sekä lujuuden maksimoimiseksi kriittisissä suunnissa. Tämä aiheuttaa kuitenkin tarvittavan tuennan määrän lisäämistä, pitempää valmistusajaa, materiaalihukkaa sekä kokonaiskustannuksia, siksi esimerkiksi topologian optimointi korostuu metalliosien jauhepeti tulostuksessa, mekaanisen kestävyysmaksimoimisen lisäksi. (Hubs 2024a.)

3.2 ISF- painomuovaus (Incremental Sheet Forming)

Yksi yleisimmistä teollisuuden muovausprosesseista on ollut syvävetäminen, lyhyen sykliajan ja kehittyneen prosessin takia. Syvävetoprosessi tarvitsee jokaiselle muovattavalle tuotteelle oman työkalujärjestelmän ja työkalut on valmistettava erittäin kestävästä materiaaleista, koska muovausprosessissa käytetään erit-

täin suuria voimia. Lisäksi työkalujärjestelmän on oltava tarkka työkalujen törmäysten välttämiseksi ja lopullisen tuoteosan mittatarkkuuden varmistamiseksi. Näiden vaatimusten saavuttamiseksi työkalujärjestelmässä käytetyt materiaalit ja valmistusprosessit ovat erittäin kalliita, jolloin syvävetoprosessi sopii perustellusti ja kannattavasti vain todella suurille sarjoille. Sarjan kappalemäärän vaikutus kustannuksiin nähdään kuviossa 8. (Koç & Özel 2019, 47.) Kuviossa 29 on esitetty erän suuruuden vaikutus valmistuskustannuksiin.



Kuvio 29. Tuotekappalemäärän vaikutus kustannuksiin. (Koç ym. 2019, 48)

ISF-painomuovaus (tai inkrementaalinen painomuovaus) on kehitetty juuri tähän tarpeeseen, kun kysymyksessä on pitkälle räätälöidyt yksittäiskappaleet ja pienet sarjat, joita voidaan valmistaa kohtuullisin valmistuskustannuksin. ISF on yksi uusista teknologioista ja sen merkitys on kasvanut viime vuosina. Vaikkakin ensimmäinen ISF-prosessiin liittyvä tutkimustyö tehtiin jo vuosikymmeniä sitten, yleistyi ISF-prosessin tutkimus eri puolilla maailmaa vuonna 2004. Tutkimus ja panostus ISF-teknologian kehittämiseen vastasi asiakkaiden vaatimuksiin räätälöityjen tuotteiden ja pienien erien kannattavuuteen. (Koç ym. 2019, 47.)

ISF-teknologian toimintaperiaate on yksinkertainen, CAD/CAM suunnitellun tuotteen geometriaan perustuen tehdään liikerata, jota CNC-ohjattu kone noudattaa. Koneeseen kiinnitetty muotoilutyökalu liukuu liikeradan mukaisesti painaen ohutlevyä, joka muuttaa vähitellen muotoa, ohutlevy on kiinnitetty kehikkoon koneen reunoille. Koneesta riippuen myös kehikko voi liikkua liikeradan tai x-y suunnan mukaisesti. Työkalu etenee kerroksittain alaspäin, jolloin levy venyy ja taipuu ha-

luttuun geometriaan. Kuviossa 30 on esitetty teknologian periaate. Inkrementaalinen liike tarkoittaa, että muovausaika on pitkä (tunteja, osan koosta riippuen) verrattuna syvävetoon, joka voi tuottaa osan muutamassa sekunnissa. (Koç ym. 2019, 47.)



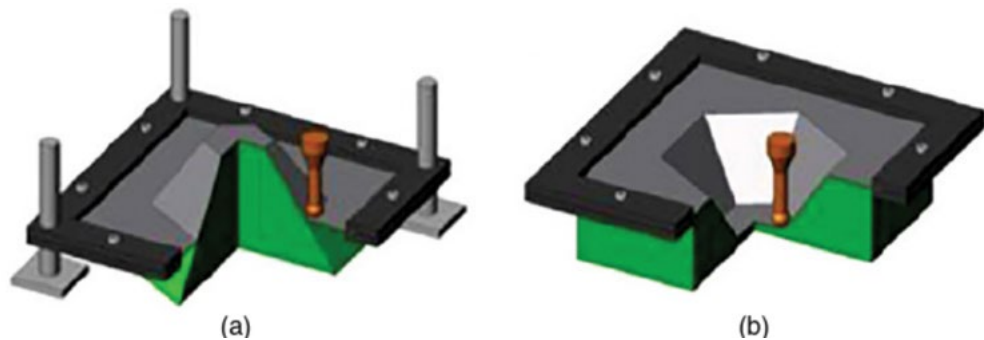
Kuvio 30. ISF-painomuovauksen periaate (Koç ym. 2019, 49)

ISF-teknologiassa työkalu painaa ohutlevyä voimalla, joka riittää pysyvään muodonmuutokseen. Käytettävään voimaan vaikuttaa muovattava materiaali ja ohutlevyn paksuus. Muottia muovauksessa ei tarvitse, vaan ohutlevyä tuetaan tarvittavista kohdista aihion alle sijoitettavalla kiinteällä tuella. Muovaustyökalua voidaan käyttää monelle eri osalle, geometrian ja ominaisuuksien ollessa erilaiset, tämä on yksi teknologian eduista, se on joustava. Lisäksi muottien valmistuskustannukset ovat alhaiset, jolloin tekniikka sopii hyvin pieniin eriin ja yksittäiskappaleille. (Koç ym. 2019, 48.)

ISF-prosessia voidaan suorittaa kaikissa numeerisesti ohjatussa vähintään kolmiakselisissa koneissa, jossa on lähtökohtaisesti mahdollisuus valita syöttönopeudet ja koneen rakenne on tarpeeksi massiivinen kiinnityspöydäksi. Yksi yleisimmistä ISF:ssä käytetyistä koneista onkin CNC-jyrsinkone, koska se on valmiiksi useimmissa konepajoissa, eikä koneeseen tarvitse tehdä suuria investointeja. Jyrsinkoneen muuttamiseksi ISF-järjestelmäksi tarvitaan muovaustyökalun lisäksi kiinnitysjärjestelmä, joten se on suhteellisen taloudellinen ratkaisu. Yksi tapa toteuttaa ISF-teknologiaa on käyttää teollisuusrobotia, joka kuljettaa muovauspäätä suunnitellun liikeradan mukaisesti, vaatimuksina robotille ovat tarvittavan voiman tuottaminen ja kiinnityspöydän riittävä jäykkyys. (Koç ym. 2019, 48-49.)

ISF-tekniikoista on joitakin erilaisia muunnelmia, käyttötarpeen mukaan. Yleisimmät ovat (SPIF, Single Point Incremental Forming) eli yksipiste inkrementaali muovaus ja (TPIF, Two Point Incremental Forming) eli kaksipiste inkrementaali muovaus. Lisäksi löytyy vähemmän käytettyjä, jotka on kehitetty parantamaan prosessin suorituskykyä tarkkuuden ja muovattavuuden suhteen. Single Point Incremental Forming (SPIF) tekniikka on yksinkertaisin, jota on myös eniten tutkittu. Siinä voima kohdistetaan vain yhteen kohtaan, muotoilutyökalun ja levyn väliseen kosketuskohtaan, kuvio 30, eikä siinä ole erillistä tukea tai muottia, levy kiinnitetään vain reunoistaan pöytään. Tämä yhdenpisteen muovaus on myös epätarkempi kuin muut menetelmät ja siksi geometrian kompensointiin käytetään suurempaa muodonmuutosta, jolloin levyn palautumisessa päästään lähemmäksi suunniteltua. (Koç ym. 2019, 49.)

Two Point Incremental Forming (TPIF) tekniikassa nimensä mukaisesti voima kohdistuu kahdessa pisteessä. Ensimmäinen piste sijaitsee samoin kuin edellä, muotoilutyökalun ja levyn välisessä kosketuskohdassa. Toinen kohta on ns. blank-die -rajapinnassa muottituessa, muottituki voi olla täysin tai osittain geometrialle sopiva ja muodonmuutosprosessi voi olla negatiivinen tai positiivinen, nämä on esitetty kuviossa 31. (Koç ym. 2019, 49.)

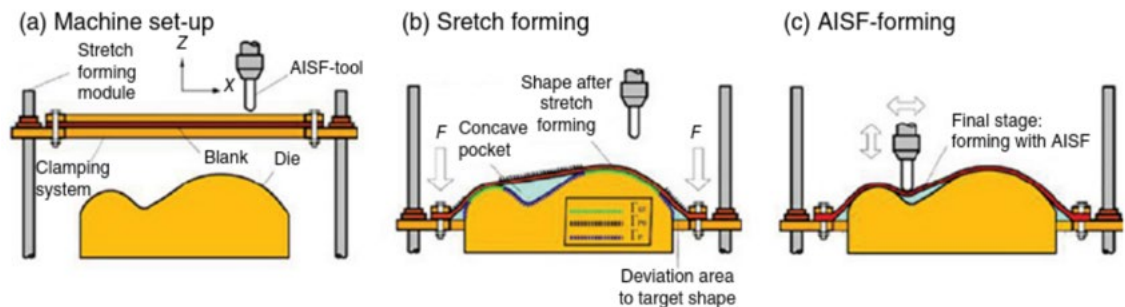


Kuvio 31. TPIF-tekniologia, a) positiivinen ja b) negatiivinen prosessi (Koç ym. 2019, 49)

Negatiivisessa prosessissa työkalu muovaa osan sisäpuolen pintaa ja positiivisessa toisinpäin eli kappaleen ulkopintaa. Ulkopinnan muovaus on levyn asennuksen kannalta haastavampi, koska kiinnityspöydän on siirryttävä samassa tahdissa työkalun aksiaalisen syötön kanssa. Muottituki voidaan valmistaa helposti työstettävistä ja edullisista materiaaleista, kuten puu, hartsi tms. TPIF- tekniikka

on monimutkaisempi kuin SPIF, mutta sillä päästään parempaan mittatarkkuuteen. (Koç ym. 2019, 49-50.)

Muita ISF-tekniikoita on Warm ISF, eli lämmitysjärjestelmällä varustettu, joko SPIF- tai TPIF- versio, lämmityksen ansiosta levyn muovattavuus paranee huomattavasti ja sitä käytetään yleensä huoneenlämmössä vaikeasti muovautuville materiaaleille, kuten magnesiumille tai titaaniseoksille. Yhtenä vaihtoehtona ISF-tekniikan parantamiseksi on myös hybridiprosessi, jossa ISF- tekniikka yhdistetään venytysmuovaukseen. Siinä kappaletta ensimmäisessä vaiheessa muovataan venytysmuovauksella, jolla tehdään esimuoto. Sen jälkeen vaikeammat, raot, ontelot ja syvät muodot tehdään ISF-tekniikalla, työkalun avulla, Tämä on esitetty kuviossa 32. (Koç ym. 2019, 50.)



Kuvio 32. Hybridi prosessi, a) laiteasetukset, b) venytysmuovaus, c) ISF-muovaus. (Koç & Özel 2019, 50)

3.3 Käsikäyttöinen laserhitsausmenetelmä (Hand-held laser welding)

Laserhitsaus kokonaisuudessaan on jo pitkään käytössä ollut tekniikka. Uutena siihen on tulleet kehittyneet ja helppokäyttöiset menetelmät, joista tässä tarkastelussa on niin sanottu käsikäyttöinen laserhitsaus (Hand-held laser welding). Käsikäyttöisiä laserhitsauslaitteita on nykyään markkinoilla monen tyyppisiä, vain hitsaukseen tarkoitettuja, mutta myös kokonaisuuksia, joissa on hitsaus, leikkaus ja puhdistustoiminnot. Käsilaserhitsaus sopii esimerkiksi alumiinille, hiiliteräkselle, ruostumattomalle teräkselle ja kuparille. Riippuen koneen tehosta (1kW – 3kW) ja materiaalista, päästään materiaalivahvuuksille 1mm – jopa 8mm. (Leapion 2023).

Laserhitsaus on tuonut monia etuja tuotekonstruktioiden suunnitteluun, koska sen käyttö nimenomaan ohutlevyterästen liittämismenetelmänä on tuonut valtavasti hyötyjä. Tämän liittämismenetelmän ansiosta rakenteita pystytään keventämään, kun monimutkaisissa konstruktioissa pystytään käyttämään ohutlevyteräksisiä. Laserhitsauksen käyttämä energiamäärä on pieni, jolloin energian tuonnin vähyyks vaikuttaa hitsauksen lämpövaikutuksiin, jonka seurauksena myös valmistettavan konstruktion muodonmuutokset ja jäännösjännitykset jäävät pienemmiksi. Laserhitsauksen nopeus on moninkertainen perinteiseen kaarihitsaukseen verrattuna. Muita etuja on pieni rakeenkasvu ja lämpövyöhykkeen leveys, hyvä laatu, jälkityöstön vähyyks ja soveltuvuus monille materiaaleille. Myös hitsauksen tuominen lähelle lämpöherkkiä komponentteja on mahdollista, kun hitsauksen hallittavuus on erittäin tarkka. (Hietala, Keskitalo, Jokelainen & Mäntyjärvi 2018, 14-17.)

Hitsauksessa käytettävällä lasersäteellä hitsattava kohta sulatetaan ja näin kappaleet liittyvät yhteen, sulan kohdalta, eikä lisäaineita välttämättä tarvita, vain suurempia täyttöjä vaativissa kohteissa. Lasersäteenä käytetään valoa, joka sisältää vain yhtä aallonpituutta eli kyseessä on ns. monokromaattinen valo. Laitteiston optiikan avulla säde fokusoidaan kappaleeseen. Laitteistoja on monenlaisia ja tässä tapauksessa laitteiston käsikahvaa siirretään samoin kuin perinteisessä MIG- tai MAG-hitsauksessa. Siirtämisessä vaihtoehtona voi olla esim. robotilla liikuttaminen. (Hietala, ym. 2018, 14-17.)

Laitteistosta ja käsikahvan siirtotavasta riippuen optiikan sijaintia voidaan säätää, koska laserin tarkkuus on hyvä ja kontaktia hitsattavan kappaleen välillä ei tarvita. Perinteisessä robotilaserhitsauksessa se on yleensä 200- 600mm, esitetty kuviossa 33. (Hietala, ym. 2018, 14-17.) ja käsilaserhitsauksessa se voi olla 10-50mm (kuvio 34).



Kuvio 33. Robotisoitu laserhitsaus. (Hietala, ym. 2018)

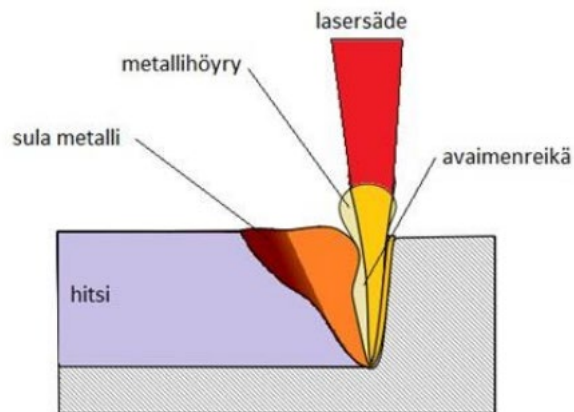


Kuvio 34. Käsilaserhitsaus (Kauppila, Hovikorpi & Salminen 2023)

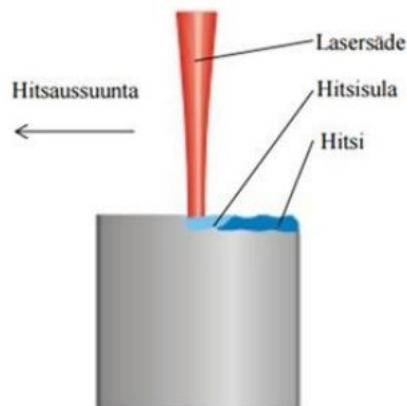
Laserhitsauslaitteiden fokusoitu lasersäde voidaan tuottaa monella erilaisella menetelmällä, joista yleisimpiä ovat kuitu-, hiilidioksidi- ja Yb:YAG kiekkolaser. Laserhitsin tulos voi poiketa toisistaan hyvinkin paljon riippuen tekniikasta mitä käytetään, vaikka nopeus ja teho olisikin sama. Lähtökohtaisesti laitteiston tuottamaan tulokseen kannattaa tutustua kokeellisesti. (Hietala, ym. 2018, 14-17.)

Laserhitsausmenetelmiä on kahden tyyppisiä, ns. avaimenreikä- ja sulattava hitsaus. Teollisuushitsauksessa käytetään yleensä avaimenreikähitsausta, esitetty kuviossa 35. Siinä tehotehoisuus on laserilla suuri ja se fokusoidaan kappaleen pintaan, jolloin kappaleeseen höyrystyy reikä, reiän syvyys riippuu käytettävistä parametreistä. Sula pakottuu reiän reunoille ja tapahtumalle vaadittava tehotehoisuus on vähintään $106\text{W}/\text{cm}^2$. Kun lasersädettä kuljetetaan kappaleen pinnalla

reunoilla oleva sula virtaa takapuolelle, se jähmettyy ja synnyttää hitsin. Kun laserhitsausta tehdään pienemmällä tehotiheydellä on kysymyksessä sulattava hitsaus, esitetty kuviossa 36, jossa materiaalia ei lävistetä vaan materiaalit sulavat yhteen. Yleensä säde on defokusoitua tai pienitehoista fokuoituuta, jolloin hitsi on matalampi ja hitsin leveys suurempi kuin avaimenreikähitsauksessa. (Hietala, ym. 2018, 14-17.) Käsilaserhitsaus on tyypiltään sulattavaa hitsausta ja sen tähden yleinen ohutlevyteräksiä hitsattaessa.



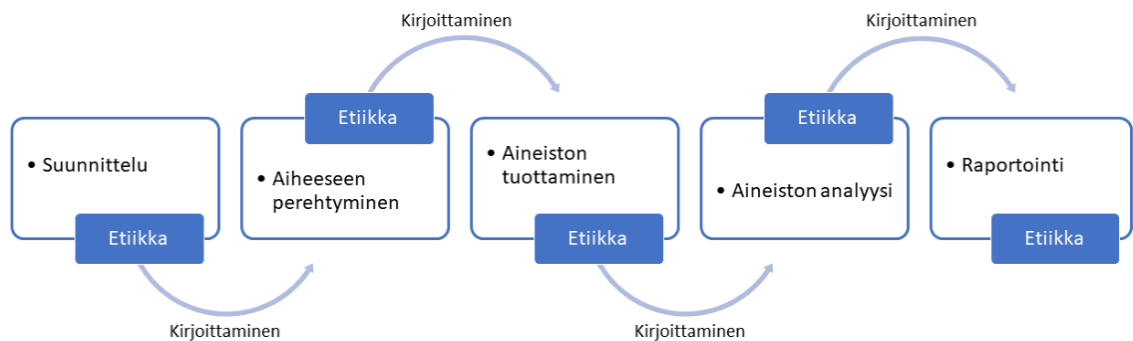
Kuvio 35. Avaimenreikähitsaus (Hietala, ym. 2018)



Kuvio 36. Sulatushitsaus (Hietala, ym. 2018)

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Kuinka tieteellinen tutkimus etenee? Tutkimuksen prosessi etenee aina asteittain ja siinä lähdetään tutkimusideasta liikkeelle. Prosessi etenee tutkittavaan aiheeseen perehtymiseen, tässä tapauksessa, valmistusmenetelmien teoriapohjaan, prosessi jatkuu tutkimussuunnitelman tekemiseen, tutkimusaineiston keruuseen, analysointiin ja raportointiin. Kuviossa 37 on esitetty malli tutkimusprosessin kulkusta. Todellisuudessa prosessin eri vaiheiden välillä on vuorovaikutusta, seuraava vaihe voi vaikuttaa edellisiin vaiheisiin tuoden niihin vielä tarkennuksia prosessin edetessä. Prosessin eri vaiheita siis limitetään tarpeen mukaan ja tutkimusetiikka sekä kirjoittaminen kulkee läpileikkaavana koko prosessin ajan. (Günther & Hasanen 2021.)



Kuvio 37. Tutkimusprosessin kulku (Günther, ym. 2021)

4.1 Tutkimuksen tausta

Tässä tutkimuksessa kerätään tietoa Lapin AMK:n yhden strategisen painopistealueen kehittämiseen. Tarve tutkimukselle on akuutti, koska sillä tuetaan strategian kehityssuuntaa ja tutkimuksella saadaan tehtyä pohjatyötä mahdolliseen investointihankkeeseen sekä kehittämään alueen yritysten keskinäistä yhteisvoimallista kilpailumahdollisuutta yhä kovenevassa kaupallisessa kilpailussa globaalisti. Lisäksi tutkimuksella pyritään edesauttamaan alueen yritysten ja Lapin AMK:n yhteistyötä. Lapin ammattikorkeakoululla voidaan tehdä alueen yrityksiä hyödyntävää konkreettista tutkimusta, joihin myös yritykset voisivat osallistua oman tarpeen ja kiinnostuksen mukaisesti.

4.2 Tutkimuksen kohde

Tutkimuksen kohteena on siis alueen yritykset, jotka toimivat kyseessä olevien valmistusmenetelmien ja materiaalien parissa, lisäksi tutkimuksen kohteena on Lapin AMK. Tutkimuksen kohteena olevat yritykset valittiin sen mukaan, onko yrityksellä mahdollisesti käytössä näitä valmistustekniikoita tai vaihtoehtoisesti metallialan yritys, joka voisi olla kiinnostunut kyseessä olevista valmistustekniikoista. Yksi valintakriteeri oli, valmistaako yritys ohutlevytuotteita tai olisiko yritys mahdollisesti kiinnostunut laajentamaan toimintaansa niin, että myös ohutlevymateriaalit olisivat yritykselle tulevaisuudessa arkipäivää. Lähtökohtaisesti tutkimuksessa kartoitettiin Lapin alueen yritykset yritysten julkisista tiedoista, mikä on yrityksen toimiala ja mitkä ovat yrityksen erikoistumisalueet.

4.3 Tutkimuksen tavoite ja tarkoitus

Tutkimuksen tarkoitus on selvittää Lapin alueen yritysten kiinnostusta moderneihin valmistusmenetelmiin liittyvien koneiden ja laitteiden hankintaan, yhteishankintaan ja yhteiskäyttöön Lapin AMK:n kanssa. Tutkimuksessa selvitetään, kuinka AMK:n tilojen yhteiskäyttöä voidaan strategian painopistealueen valmistusmenetelmissä ja materiaalin käytön suhteen hyödyntää alueen yritysten kanssa. Tavoitteena on saada tietoa yritysten kiinnostuksesta uuteen yhteishankintamalliin, tilojen yhteiskäyttöön sekä modernien valmistusmenetelmien käyttöönottoon. Tutkimustyön tulosten pohjalta voidaan suunnitella mahdollisia investointeja ja saada Lapin AMK:n ja yritysten yhteistyö uudelle tasolle. Tutkimuksen mahdollisia seurauksia, esim. laiteinvestointeihin voidaan tulevaisuudessa hyödyntää yritys yhteistyössä ja konkreettisesti laboratoriossa tehtävässä tutkimuksessa ammattikorkeakoulun tiloissa.

Tämän tutkimuksen lopputulos tai tuotos on parhaimmillaan se, että saadaan tietoa yritysten valmistusmenetelmiin liittyvästä tilasta ja mitä menetelmiä yrityksissä on käytössä sekä mistä uusista menetelmistä yritykset ovat kiinnostuneita. Yritysten tarpeet vaihtelevat eikä yrityksillä ole aina järkevää tai mahdollisuutta tehdä hankintoja välttämättä itsenäisesti, jolloin yhteishankinta saattaisi olla ratkaisu. Parhaimmillaan lopputulos lisää selkeästi työelämän ja Lapin AMK:n yh-

teistyötä valmistustekniikassa sekä laboraatiotilojen yhteiskäytössä. Lisäksi tutkimuksessa käsiteltävät materiaalit ja osa valmistustekniikoista ovat sellaisia, joita Lapin AMK:n konetekniikan opinnot sisältävät. Valmistuttuaan koneinsinööriksi Lapin AMK:sta opiskelijalla on jo valmiudet viedä saatua tietoa yrityksiin.

4.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus toteutetaan laadullisena tutkimuksena ja lähestymistapana käytetään tapaustutkimusta lähinnä olevaa menetelmää. Monesti laadullinen tutkimus on myös tapaustutkimuksen tyyppinen, koska tutkimus rakennetaan tällaisen yhden asian, joka tässä edustaa tapausta tai pienemmän, valikoitujen tapausten varaan. Tutkimuksen kohteena, eli tapauksena on organisaatio tai jotkin organisaatiot ja toisaalta tapaus voi olla osa heidän yrityksen prosessia. (Vuori 2021.) Tässä opinnäytetyössä liittyen yrityksen prosessiin, heidän valmistusmenetelmiin.

Mikä lopulta muodostuu tutkimuksen kohdetapaukseksi, riippuu tutkimuksen tekijän analyyttisestä ajattelusta. Monesti tutkimuksessa perehdytään tutkittavaan asiaan ja kirjallisuuteen ja selvitetään aineistoa, ennen varsinaista päätöstä, mikä tapaus valitaan, johon tutkimuksessa lopulta keskitytään. (Vuori 2021.) Tutkittavaa tapausta pitää myös rajata ja tarkentaa, joka tässä opinnäytetyössä on rajattu nimenomaan valmistusmenetelmiin, yhteishankintoihin ja yhteiskäyttöön. Tutkimuksen rajaus on sovittu toimeksiantajan kanssa yhdessä.

Tapaustutkimuksessa tyypillisesti yritetään saada mahdollisimman monipuolinen kuva tapauksesta, siksi siihen tutustutaan kokonaisvaltaisesti sekä sillä saadaan tutkimuksesta luotettava. (Vuori 2021.)

Tutkimusprosessin eteneminen:

- suunnitteluvaihe, ideointi ja ajatusten jäsentely aihealueesta
- laaditaan tutkimuskysymykset
- laaditaan tietoperusta kyseessä olevasta aihealueesta tukemaan tutkimuksen toteutusta

- tehdään haastattelukysymykset, vastaamaan kattavasti tutkimuskysymyksiin
- haastatellaan yritykset
- tehdään haastatteluista yhteenveto
- analysoidaan tulokset
- tehdään tulosten pohjalta ehdotukset. (Vuori 2021)

Tapaustutkimuksessa tyypillisesti koetetaan saada mahdollisimman monipuolinen kuva tapauksesta, jolloin kokonaisvaltainen tutustuminen on aiheellista, teoriapohjalla tuetaan tätä. Sen tähden tapaustutkimuksessa yhdistellään eri aineistoja kuten haastattelut, kyselyt ja havainnointi. (Vuori 2021.) Tässä tutkimuksessa keskitytään haastatteluihin sekä mahdollisiin yritysvierailuihin, jotka osaltaan tukevat haastatteluja. Tutkimuksen kohteiden määrä sekä kohdennettu asiasisältö ohjaavat selkeästi tekemään opinnäytetyön laadullisena tutkimuksena. Tässä tutkimuksessa tapaukset ovat em. valmistusmenetelmät, yhteishankinnat ja tilojen yhteiskäyttö.

Tutkimusasetelma voidaan tapaustutkimuksessa rakentaa juurikin yhden tai useamman tapauksen mukaan. Tutkimuksessa olevaa kolmea tapausta analysoidessa, niitä voidaan myös vertailla. Siksi on asianmukaista valita tapaukset, jotka eroavat toisistaan. (Vuori 2021.) Tässä tutkimuksessa on selkeät erottavat tekijät.

4.5 Aineistonhankintamenetelmät

Laadullisessa tutkimuksessa on mahdollista käyttää monenlaisia aineistoja ja aineistonhankinta menetelmiä. Laadullisen tutkimuksen tai tapaustutkimuksen mukaisia aineistonhankinta menetelmiä ovat haastattelut, kyselyt, havainnointi, kirjoittaminen, kirjallinen materiaali, kyselylomakkeet yms. (Hyvärinen, Suoninen & Vuori 2021.) Opinnäytetyössä käytettäviin menetelmiin kuuluvat kyselyt ja mahdolliset asiantuntijahaastattelut ja aineistoa kerätään yritysten edustajilta.

Tutkimuskyselyillä tavoitellaan tietoa ja aineistoa, joilla pyritään vastaamaan tutkimusongelmaan. Tutkimuskysymyksiä ei kysytä sellaisinaan vaan tutkimuskysymysten tueksi on laadittu haastattelukysymykset, joiden antamalla tiedolla tutkimuksessa pystytään vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Haastattelukysymysten sisällöllä, muotoilulla, rajauksilla ja esitystyylillä saadaan vaikutettua siihen, millälaisia vastauksia ja millaista aineistoa saadaan kokoon. Se ei kuitenkaan ole ongelma, vaan kuuluu tämän tyyppiseen tutkimuksen tekemiseen. (Hyvärinen, ym. 2021.)

Eettisestä näkökulmasta laadullisen tutkimuksen aineiston anonymisointi auttaa tulosten julkistamista, jatkokäyttöä ja arkistointia. Aineiston anonymisointi kannattaa suunnitella jo aineistonkeruuvaiheessa, sillä helpotetaan työn tekemistä ja resurssointia. Henkilötietojen minimointia kannattaa käyttää alusta alkaen. (Kuula-Luumi 2021.)

Yritysten asiantuntijoille kohdistetut kyselyt tai mahdolliset haastattelut antavat selvyyden yritysten suhteesta tutkimuksen aiheista ja tieto on silloin luotettavaa. Ongelmia voi jonkin aiheen ympärillä tulla esimerkiksi, jos yritys ei halua kertoa omaa laitekantaansa kilpailullisista syistä.

4.6 Analyysimenetelmät

Millainen on laadullinen analyysi? Siitä voisi käyttää määritelmää saadun aineiston tiivistäminen ja jalostaminen käsitettävään ja teoreettiseen muotoon. Selkeää ohjetta laadullisesta analyysistä ei ole, mutta analyysillä pitäisi päästä pintaa syvemmälle, saada se tieto esiin, joka vastaa tutkimuskysymyksiin. Kerättyä aineistoa tarkastellaan analyttisesti ja tehtyjä havaintoja tulkitaan suhteessa teoriaan ja tutkimuksen tekijän omaan ajatteluun. Analyysillä haetaan lisäarvoa aineiston antamalle tiedolle. Laadullisen analyysin tekemiseen on monia menetelmiä, analyysimenetelmä on se konkreettinen tapa, jolla aineistoa käsitellään. Menetelmän valintaan vaikuttaa aineisto, jota on kerätty ja mitä siinä tulee ilmi tutkittavasta aiheesta. Käytettävän analyysimenetelmän täytyy olla sopiva tutkimusongelman, teorian ja käytössä olevan kerätyn aineiston kanssa. (Günther, ym. 2021.)

Analyysimenetelmäksi tutkimuksessa valikoitui teemoittelu, joka on yleinen laadullisessa tutkimuksessa käytettävä analyysimenetelmä. Teemoittelu sopii tutkimukseen ja tutkimuksen kyselyyn erinomaisesti, koska tutkimuskyselyn aiheet ovat selkeästi eri teemoja, jotka pyrkivät vastaamaan omalta osaltaan tutkimuskysymyksiin. Teemoittelussa tuodaan esille tutkimuksen keskeiset asiakokonaisuudet ja tyypillisimmät piirteet (Juhila 2021). Tutkimuksen raportointi vaiheessa voidaan esittää teemojen yhteydessä suoria sitaatteja kyselyn tuloksista, niillä saadaan havainnollistettua teemoittelua ja se antaa pohjaa kokonaisuudelle. (Juhila 2021.)

Tässä tutkimuksessa käytetään teemoittelua ja analyysissä peilataan aineistoa teoreettiseen viitekehykseen valmistusmenetelmien teemojen osalta. Lisäksi esitään yhteishankinnoista ja tilojen yhteiskäyttöön liittyvistä teemoista ennen kaikkea Lapin AMK:ta kiinnostavia asioita, joilla saadaan tietoa ja tukea tulevaisuuden kehitystä ajatellen.

4.7 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksessa pyritään saamaan vastaukset alla oleviin tutkimuskysymyksiin. Tutkimuskysymykset on laadittu niin, että niihin saatujen vastausten perusteella Lapin AMK:n yhden strategiakärjen tulevaisuutta ja kehitystä voidaan arvioida paremmin. Tutkimuskysymyksillä haetaan vastausta ja tukea myös mahdolliseen investointi hakkeeseen valmistusmenetelmiin liittyen. Tutkimuskysymysten vastaukset pyritään saamaan laajalla haastattelukysymys aineistolla, joka on esitetty liitteessä 1.

Tutkimuskysymykset:

- Ovatko alueen yritykset kiinnostuneita koneiden ja laitteiden yhteishankintoihin Lapin AMK:n kanssa?
- Millaisista valmistusmenetelmistä alueen yritykset ovat kiinnostuneet?
- Ovatko alueen yritykset kiinnostuneita Lapin AMK:n laboraatiotilojen yhteiskäytöstä, tutkimus ja tuotekehityskäyttöön?

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Tutkimus tehdään kyselytutkimuksena, joka toteutetaan Webropol- alustalla. Webropol- kyselyn lähetetään yrityksille sähköpostitse ja kohdistetaan yrityksessä vastaanottajalle, jonka vastuualueenaan on valmistusmenetelmät ja niihin liittyvistä asioista päättäminen tai vaihtoehtoisesti yrityksen johtohenkilölle. Kyselyyn liitetään saatekirje, jossa kerrotaan kyselystä, sen pääsisältö ja kannustetaan yrityksiä vastaamaan, jotta he olisivat omalta osaltaan kehittämässä koulutusta yritysten tarpeiden mukaisesti. Yritysten saaminen vastaamaan kyselyihin on haasteellista, jonka vuoksi tutkimuksen aikana ollaan mahdollisesti yhteydessä jokaiseen yritykseen, jolle kysely lähetetään. Tällä tutkimuksessa saadaan mahdollisimman korkea vastausprosentti, joka tukee haastattelun luotettavuutta ja se antaa laajemman kuvan alueen yrityksistä. Haastattelussa kysytään myös yritysten kiinnostusta Lapin AMK:n tiloihin tutustumiseen, mahdollisen yhteiskäytön suunnittelemiseksi sekä saamaan eri yritysten edustajat keskustelemaan tutkimuksen aiheista.

5.1 Kyselyn suunnittelu

Tutkimuksessa haastattelukysely laadittiin kattavasti, jotta tulosten ja analyysin perusteella saadaan luotettavat vastaukset tutkimuskysymyksiin. Haastattelukyselyssä on kolme pääteemaa, joihin tehtiin laaja kysymysaineisto. Pääteemoilla vastataan modernit valmistustekniikat strategiakärjen, painopistealueen pääsisältöön. Pääteemat ovat valmistusmenetelmät, yhteishankinta ja tilojen yhteiskäyttö. Pääteemojen alla on jokaiseen teemaan liittyen tarkentavia kysymyksiä, joista voidaan vastauksia valita vaihtoehtoina, monivalintana sekä sanallisesti.

Tutkimus toteutetaan laadullisena tutkimuksena ja menetelmä on tapaustutkimustyyppinen, se soveltuu näiden pääteemojen tutkimukselle erinomaisesti, ne kuvaavat tutkimuksen kohdetapauksia. Lisäksi haastattelukysymykset on rajattu koskemaan pääteemoja, kuitenkin niin että saadaan mahdollisimman monipuolinen kuva jokaisesta pääteeman sisällöstä. Haastattelukysely toteutetaan Webropol- kyselynä yritysten edustajilta, joka taas sopii hyvin aineiston hankintaan (Hyvärinen, ym. 2021).

5.2 Kyselyn rakenne

Kyselyn rakenne perustuu pääteemoihin ja niiden alla olevista tarkentavista kysymyksistä, kokonaisuutena kysely näkyy liitteessä 1.

a) Pääteema, nykyiset valmistusmenetelmät

- ovatko ohutlevytyöt yrityksen valmistuskategoriassa
- muovausmenetelmiin liittyen, nykyiset yrityksessä olevat menetelmät ja niiden osaamisen taso sekä lisätiedon/ osaamisen tarvekartoitus
- näkemykset muovausmenetelmien simulointiin

b) Pääteema, modernit valmistusmenetelmät

- modernien valmistusmenetelmien nykykäyttö, kiinnostus hankintaan, lisätiedon/ osaamisen tarvekartoitus
- tarkemmin 3D- tulostusmenetelmistä ja lisätiedon tarpeesta

c) Pääteema, yhteishankinta

- yritysten kiinnostus laitteiden yhteishankintaan Lapin AMK:n kanssa
- nykyinen laitekanta ja yhteisomistus

d) Pääteema, tilojen yhteiskäyttö

- yhteiskäyttö Lapin AMKin tilojen kanssa
- yhteiskäyttö yritysten tilojen kanssa
- tutustumisesta Lapin AMK:n tiloihin
- yrityksen ja Lapin AMK:n tämän hetken yhteistyöstä

6 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tutkimus toteutettiin kevään ja alkusyksyn 2024 aikana. Tutkimus lähetettiin 46:lle Lapin alueen yritykselle. Yritykset valittiin toimialansa ja erikoistumisensa mukaisesti. Yrityksen toimialan ja erikoistumisen täytyi liittyä tutkimuksessa olleisiin valmistustekniikoihin ja materiaaleihin. Luvussa 4.2 on tarkemmin esitetty tutkimuksen kohteiden määrittelyä. Tutkimukseen vastasi 19 yritystä. Tutkimuksessa oltiin puhelimitse yhteydessä kahteentoista yritykseen. Yhteydenotolla saatiin kaikista lähimpänä tutkimusaihetta olevat yritykset vastaamaan kyselyyn. Taulukossa 1 on esitetty kyselyyn vastanneiden yritysten jakauma, yrityksen liikevaihdon ja henkilömäärän mukaisesti.

Taulukko 1. Kyselyn jakautuminen yritysten liikevaihdon ja henkilöstön mukaisesti

Liikevaihtoluokka	n	Henkilöstö	n
0 - 0,5 milj.	4	1 - 5	5
0,5 - 2,5 milj.	4	6 - 10	2
2,5 - 5 milj.	6	11 - 20	4
5 - 10 milj.	1	21 - 40	4
10 - 20 milj.	4	41 - 80	4

6.1 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuus on Lapin AMK:n kannalta erittäin tärkeä asia, koska tutkimuksen tuloksilla saadaan vastauksia esimerkiksi millaisia investointeja ja mihin suuntaan opetusta ja tutkimusta aihealueilla kannatta viedä. Tutkimuksessa ilmeni, että Lapin metalliyriyten kokonaismäärä on noin sata yritystä. Tutkimuksen valintakriteereihin perustuen valittiin 46 yritystä, jotka ovat erikoistumisensa ansiosta lähimpänä kyseessä olevia aihealueita, näitä yrityksiä voidaan kutsua perusjoukoksi. Tutkimus toteutettiin kokonaistutkimuksena, jossa painoarvo kohdistuu koko perusjoukkoon.

Perusjoukko tarkoittaa tutkimuksessa joukkoa havaintoyksiköitä, jotka ovat tutkimuksen kohteena. Perusjoukon ominaispiirre on rajallinen määrä havaintoyksiköitä. Otos taas tarkoittaa perusjoukosta otettua otantaa, joka on mahdollista ja

järkevää ottaa ja kuitenkin edustaa perusjoukkoa. Kun otoksesta käytetään ns. tutkimuksen tekijän omaa harkintaa kyse ei ole enää otoksesta, koska se ei ole silloin sattumanvarainen niin kuin otos aina edellyttää, vaan harkinnanvarainen näyte. Tällöin päätelmät perusjoukosta on kyseenalaisia. (Wivolin 2024.)

Tässä tutkimuksessa perusjoukko oli ns. kohdistettu tutkimuksen valintakriteerein, jolloin otantaa ei tehdä ollenkaan vaan saadaan vastaukset koko perusjoukolta. Vastaajien määrän jäädessä alhaiseksi sitä voidaan verrata otannan virheisiin. Otannan virheistä ns. kato vastaa tässä tutkimuksessa hyvin lopputulosta.

Tutkimuksessa harvoin päästään täydellisyyteen ja esimerkiksi juuri kato virheelle tutkijan on vaikea tehdä mitään. Virheiden tunnistaminen on tärkeää tutkimuksen luotettavuuden kannalta. Kato on kyselytutkimuksessa ne vastaajat, jotka eivät jostain syystä ole kyselyyn vastanneet, lisäksi se voi kohdistua yksittäisiin kyselyn kysymyksiin, eli kaikkiin ei ole vastattu. Vastausprosentit jäävät monesti alhaisiksi, tyypillinen on alle 20% otoksesta, joka täytyisi ennakoida kyselyä teetettäessä ja suurentaa otosta sen mukaan ja lopulliseen otokseen lasketaan vain vastanneet. (Wivolin 2024.)

Tästä voidaan päätellä seuraavaa, koska perusjoukko vastaa tutkimuksen valintakriteerejä voidaan vastaajien määrää verrata otokseen, jolloin perusjoukkoon verrattava kokonaisvastausprosentti on kuitenkin 41% perusjoukosta ja tämän perusteella 41%:in edustamat vastaukset heijastavat kohtuullisen hyvin koko perusjoukon näkemystä. Lisäksi taulukon 1 jakauman mukaan vastaajia edustavat tasaisesti eri kokoiset yritykset, niin liikevaihdoltaan kuin henkilömäärältään.

6.2 Kyselyn tulokset

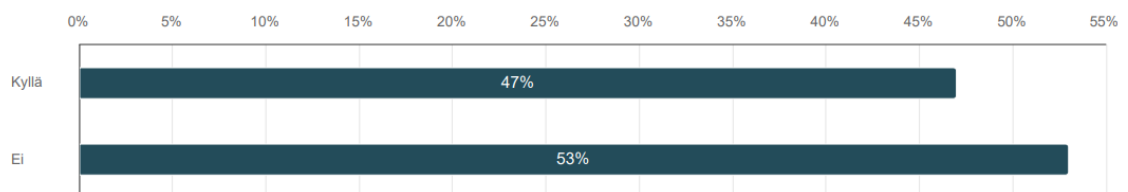
Kyselyn tulokset käydään seuraavaksi läpi teemoittain, analyysimenetelmä teemoittelun mukaisesti. Teemat on jaettu tutkimuskysymyksiin peilaten ja teemoja on neljä, samoin kuin kappaleessa 5.2 on suunniteltu. Ensimmäinen teema käsittelee yrityksillä käytössä olevia menetelmiä, simulointia ja menetelmien osaamisen tasoa sekä yrityksessä tehtäviä ohutlevyitä. Toinen teema käsittelee tutkimuksen teoriaosan moderneja valmistusmenetelmiä ja tarvetta niiden lisätiedolle. Kolmas teema käsittelee yhteishankintojen mahdollisuutta ja neljännessä teemassa käsitellään tilojen yhteiskäyttöä ja tutustumista Lapin AMKin tiloihin.

6.2.1 Teema 1: Käytettävät menetelmät, simulointi ja osaamisen taso

Ohutlevytuotteita valmistaa 47% kyselyyn osallistuneista yrityksistä, josta voidaan tehdä johtopäätös. Lapin AMKin keskittyminen opetuksessa ohutlevyihin on perusteltua, koska käytössä olevien ohutlevyille tarkoitettujen, siirtelyyn vaadittavat turvalliset työtavat ja menetelmät sekä ohutlevyjen muokkaamiseen vaadittavien laitteiden vaatima tila, on riittävä näille materiaalivahvuuksille. Ohutlevytuotteita valmistavat yritykset ovat taulukon 1 mukaisesti jakaantuneet hieman enemmän pienemmille yrityksille. Kuviossa 38 on esitetty jakauma ohutlevytuotteiden valmistuksesta.

1. Valmistaako yrityksenne ohutlevy tuotteita / osia ?

Vastaajien määrä: 19

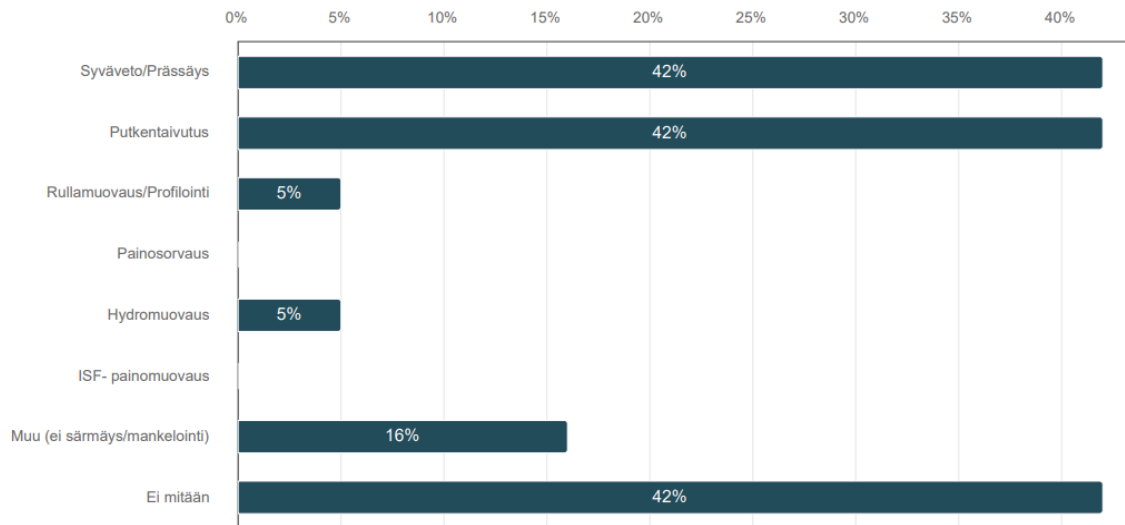


Kuvio 38. Ohutlevytuotteiden valmistus

Nykyisistä muovausmenetelmistä kysyttäessä vastausten perusteella tutkimuksessa havaittiin seuraavaa. Yleisimmät olivat syväveto/prässäys (42%) sekä putken taivutus (42%). Muut menetelmät olivat harvinaisempia. Kysymykseen vastanneista 42% ei käyttänyt mitään kyseessä olevista menetelmistä. Taulukon 1 jakaantumaa verrattaessa se oli aika tasainen, eikä yrityksen koko vaikuttanut siihen. Kuviossa 39 on esitetty kysymys nykyisin käytössä olevista muovausmenetelmistä.

2. Käytetäänkö yrityksessänne joitakin seuraavista muovausmenetelmistä? (voit valita useita)

Vastaajien määrä: 19 , valittujen vastausten lukumäärä: 29

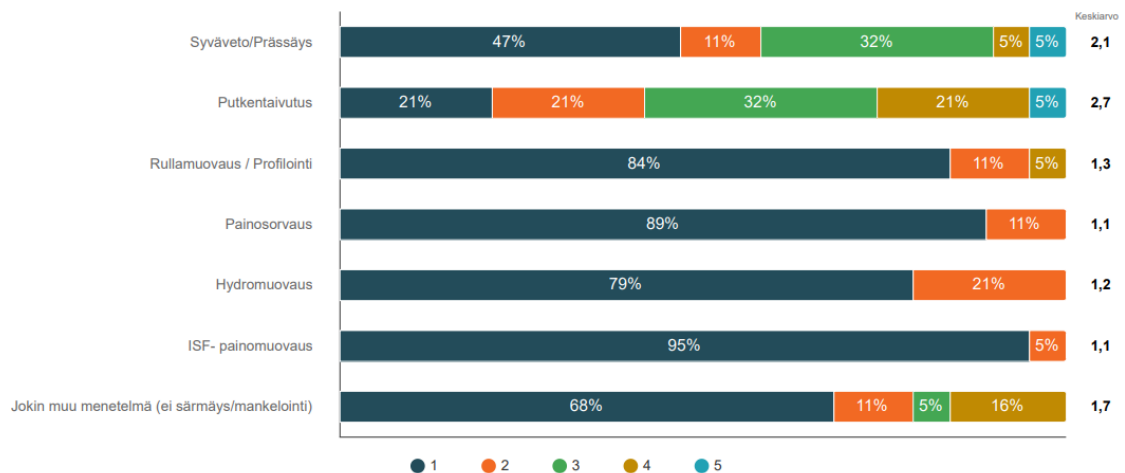


Kuvio 39. Nykyiset muovausmenetelmät

Kysymyksen 2 nykyisten muovausmenetelmien osaamisen tasoa on kysytty kysymyksessä 3. Vastaukset korreloivat selkeästi käytössä olevien menetelmien kanssa. Kuviossa 40 on esitetty kaikkien vastaajien antama osaamistaso kaikille kysytyille menetelmille. Kun tutkimuksesta tarkasteltiin erikseen niitä yrityksiä, jossa jokin menetelmä oli käytössä, osaamisen taso on jo huomattavasti parempi. Näistä laskelmista esimerkiksi syväveto/prässäys sai käyttäjien keskiarvoksi 3,4 ja putkentaivutus käyttäjien keskiarvoksi 3,5 osaamisen tasolla.

3. Miten arvioitte osaamisenne tasoa asteikolla 1-5 käyttämissänne muovausmenetelmissä? (1=Ei osaamista, 2=Vähäinen osaaminen, 3=Perustason osaaminen 4=Hyvä osaaminen, 5=Erinomainen osaaminen)

Vastaajien määrä: 19



Kuvio 40. Osaamisen taso nykyisillä muovausmenetelmillä

Kysymys 4 oli sanallinen ja siinä viitattiin edellisiin menetelmiin ja kysyttiin lisätiedon ja osaamisen kehittämistarvetta. Sanallisista vastauksista voi tehdä yksinkertaisen johtopäätöksen, yritykset eivät kokeneet tarvetta lisäosaamiselle eikä lisätiedolle kyseessä oleville menetelmistä. Yhdellä yrityksellä olisi tarvetta präsäyksen simuloinnin lisätietoon. Kysymyksen 4 perusteella voidaan tehdä päätelmä, ettei Lapin AMK:ssa ole tarvetta lisätä kyseessä olevien tekniikoiden opetusta.

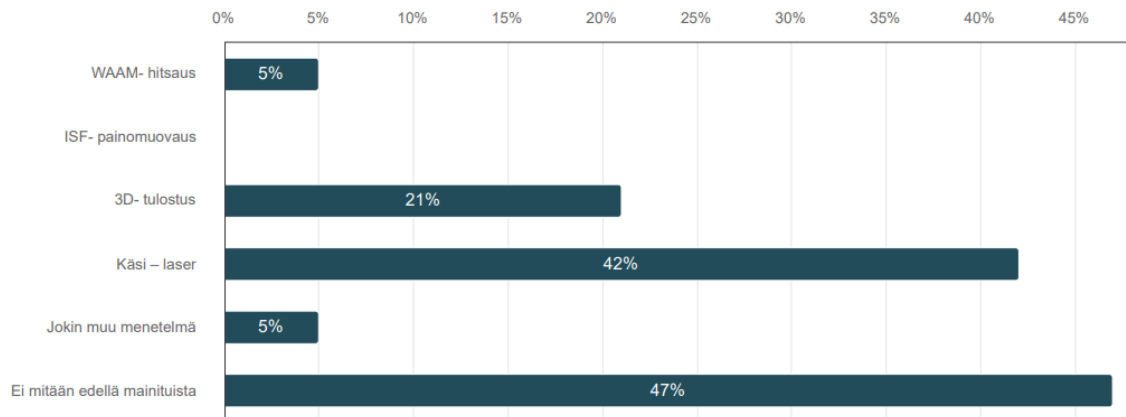
Kysymykset 5 ja 6 käsittelivät muovauksen simulointia ja tarvetta simuloinnille. Simulointi oli tuttua 26%:lle vastaajista ja 74% vastaajista ei nähnyt simulointia tarpeelliseksi omassa tuotannossaan. Tarvetta simuloinnille olisi 26%:lla vastaajista, prosenttiosuus on kuitenkin noin neljäsosa. Tästä voidaan olettaa, että yrityksille suunnatun muovaussimulointi päivän järjestämiseen Lapin AMK:ssa olisi tarvetta.

6.2.2 Teema 2: Modernit valmistusmenetelmät ja lisätieto niistä

Teemassa 2. keskityttiin moderneihin valmistusmenetelmiin, joita myös tutkimuksen teoriaosassa käsiteltiin. Tästä osiosta odotettiin tutkimuksessa kyselyn helmeä ja osittain se siitä saatiinkin. Kysymys 7 käsitteli modernien menetelmien tämän hetken käyttöä. Vastaus on todella selkeä, nämä menetelmät ovat vähäisessä käytössä Lapin yrityksillä, 68%:lla vastaajista ei ole kysymyksen menetelmiä käytössä. Kysymykset 8 ja 9 laajentaa kysymyksen 7 menetelmiä lisää ja antaa tarkempaa kuvaa yritysten kiinnostuksesta menetelmiä kohtaan. Kysymyksen 8, kiinnostus hankkia jokin moderneista menetelmistä, vastaajista 47% ei koe tarvetta tällaiseen, eli hieman alle puolet. Tutkimuksessa pidetään kuitenkin kohtuullisen merkittävänä sitä 53% osuutta, joka on kiinnostunut mahdollisesti hankkimaan jonkun näistä menetelmistä. Tämä tulos antaa tukea Lapin AMK:n strategiakärjelle moderneista valmistusmenetelmistä. Taulukon 1 jakauma ei vaikuta kysymysten 8 ja 9 vastauksiin. Kuviossa 41 on esitetty tarkemmin miten modernit tekniikat jakaantuvat vastaajien kesken.

8. Onko yrityksenne kiinnostunut hankkimaan jonkin seuraavista muovaus- / valmistusmenetelmistä (voit valita useita):

Vastaajien määrä: 19 , valittujen vastausten lukumäärä: 23

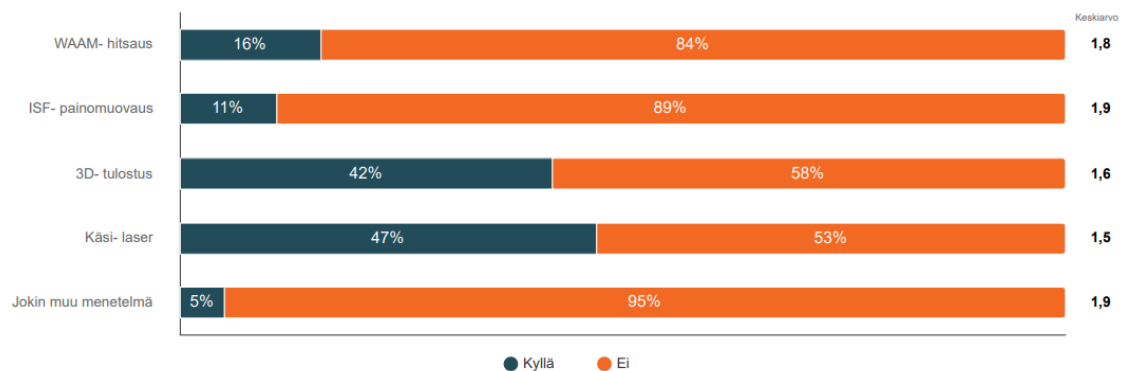


Kuvio 41. Yritysten kiinnostus moderneihin menetelmiin.

Kuviosta 41 voidaan todeta ISF- painomuovauksen olevan selkeästi sellainen menetelmä, jolle ei Lapin alueella ole kiinnostuneita yrityksiä, toisaalta yritysten tieto menetelmästä voi olla vähäistä ja lisätieto muuttaisi tilannetta, kuten kuvion 42 kohta ISF-painomuovaus hieman valaisee. Kysymys 9 antaa selkeän korrelaation edellisen kysymyksen välille. Niistä tekniikoista yritykset haluavat lisää tietoa, joita he olisivat kiinnostuneita hankkimaan. Kuviossa 42 on esitetty lisätiedontarve moderneihin menetelmiin.

9. Tarvitsetteko lisää osaamista / tietoa edellisen kysymyksen muovaus- / valmistusmenetelmistä?

Vastaajien määrä: 19



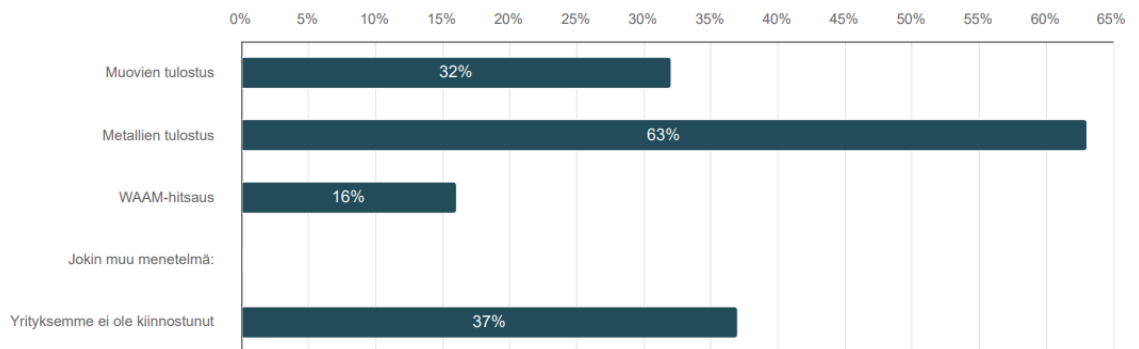
Kuvio 42. Lisätiedon ja osaamisen tarve moderneihin menetelmiin.

Tutkimuksessa selvitettiin 3D- tulostustarvetta vielä tarkemmin kahdella lisäkysymyksellä. Kysymykset 12 ja 13 paneutuivat 3D- tulostuksen menetelmä tasolle ja vastaukset antoivat erittäin tärkeää tutkimustietoa Lapin AMK:n 3D- tulostuksen kehittämiseen. 3D- tulostuksesta kiinnostuneita yrityksiä oli paljon ja taulukon 1

jakaantuma ei vaikuttanut asiaan erityisesti, eli kaikista yritys kokoluokista oltiin vahvasti kiinnostuneita kyseessä olevista menetelmistä. Erityisesti metallien tulostus (63%) on Lapin yrityksiä kiinnostava, joka taas antaa pohjatietoa tulevia Lapin AMK:n investointeja ajatellen. Lisäksi muovien tulostus (32%) on jo merkittävä ja WAAM hitsaus (16%) tarkoittaa, että näiden menetelmien käyttöönottoa pitää ehdottomasti harkita Lapin AMK:ssa. Samoin lisätiedon saaminen noudateli samansuuntaisia prosentteja jakaantuen menetelmien välillä samankaltaisesti. Kuviossa 43 on esitetty 3D- tulostus menetelmiä kohtaan esitetty kiinnostus ja kuviossa 44 on esitetty 3D- tulostusmenetelmien lisätietojen tarpeellisuus.

12. Onko yrityksenne kiinnostunut seuraavista 3D-tulostus menetelmistä?

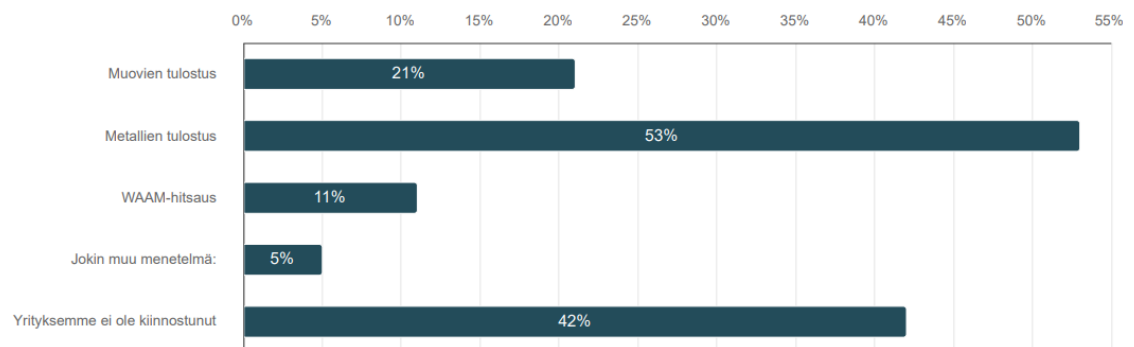
Vastaajien määrä: 19 , valittujen vastausten lukumäärä: 28



Kuvio 43. 3D- tulostus menetelmien kiinnostavuus.

13. Haluaisiko yrityksenne lisätietoja seuraavista 3D-tulostus menetelmistä?

Vastaajien määrä: 19 , valittujen vastausten lukumäärä: 25



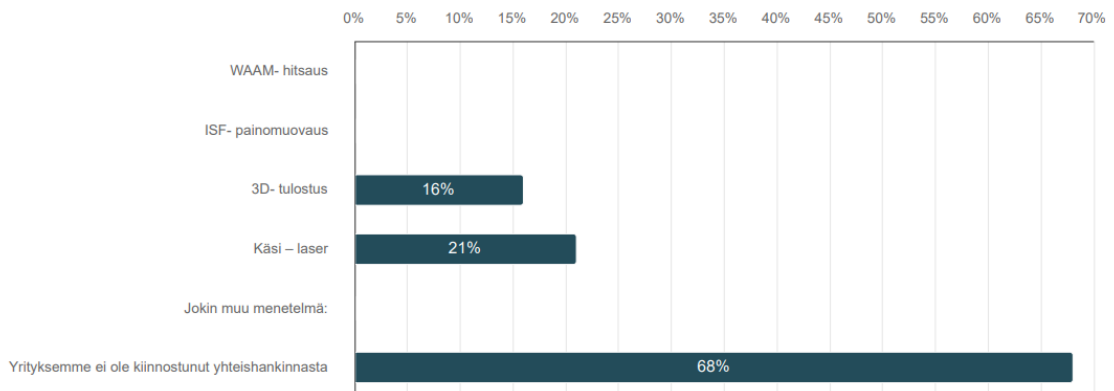
Kuvio 44. 3D- tulostuksen lisätiedot

6.2.3 Teema 3: Yhteishankintojen mahdollisuudet

Teemassa 3 käsitellään yhteishankintojen mahdollisuuksia. Kysymyksellä 10 selvitettiin Lapin AMK:n kanssa tehtäviä yhteishankintoja. Kysymyksellä saatiin tärkeää tietoa siitä, että on myös yrityksiä, jotka ovat tämän tyyppisestä mallista kiinnostuneita, prosentuaalisesti se ei ole suurta. Mutta Lapin AMK:n kannalta tärkein tässä kysymyksessä on se, että tällaisia yrityksiä löytyy. Kiinnostavaa on myös menetelmät, joihin yhteishankintoja ollaan kiinnostuneita tekemään. Menetelmät ovat juuri ne, joihin kohdistui kokonaisuutena suurin kiinnostus eli 3D-tulostus ja käsilaser. Yrityksistä kolme oli kiinnostunut molempien em. tekniikoiden yhteiskäytöstä. Tässäkään kysymyksessä taulukon 1 jakaantuminen ei näkynyt mitenkään erikoisemmin, jakaantuminen oli tasaista yrityksen kokoluokasta riippumatta. Lisäksi mainittakoon kysymys 11 jossa tiedusteltiin yhteiskäyttökoneita toisten yritysten kanssa, vastaus oli 100% kielteinen. Kuviossa 45 on esitetty yritysten kiinnostus yhteishankintaan.

10. Onko yrityksenne kiinnostunut hankkimaan jonkin seuraavista menetelmistä yhteiskäyttöön Lapin AMK:n kanssa (voit valita useita):

Vastaajien määrä: 19 , valittujen vastausten lukumäärä: 20



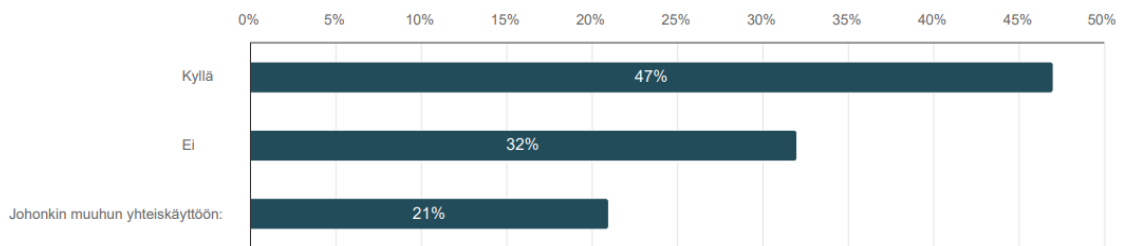
Kuvio 45. Yhteishankinta Lapin AMK:n kanssa

6.2.4 Teema 4: Tilojen yhteiskäyttö ja tutustuminen AMK:n tiloihin

Tutkimuksen kyselyn viimeinen osio käsitteli tilojen yhteiskäyttöä. Yritysten Lapin AMK:lle yhteiskäyttöön mahdollisesti antamia tiloja kartoitettiin kysymyksessä 15. Sille ei nähty kovin suurta kiinnostusta, toki mahdollisesti vaihtoehdon oli antanut 31% ja sanallisilla kommentteilla vielä avannutkin millaiseen käyttöön. Selkeästi 53% oli kyseistä mahdollisuutta vastaan. Kysymys 14 antaa vastauksen Lapin AMK:n tilojen yhteiskäytöstä kiinnostuneille ja siinä vastausprosentti on jo 47%,

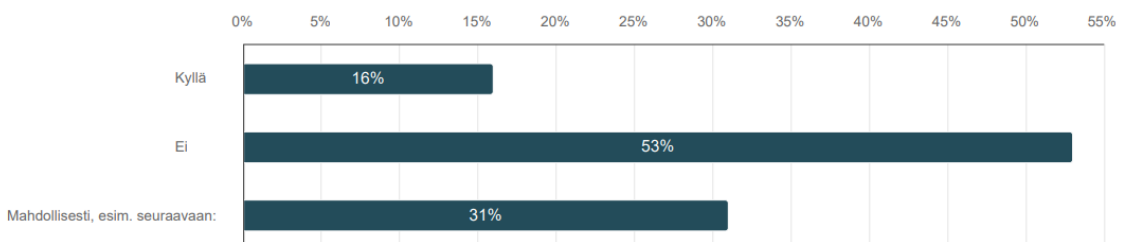
jota voidaan pitää merkittävänä huomiona, lisäksi vastaus, mahdollisesti muuhun yhteiskäyttöön, tuloksena 21% vastauksista. Huomionarvoista on myös, että kaikki yritysten kokoluokat ovat tasaisesti edustettuina tässä vastauksessa. Tämä on erityinen tieto tutkimuksesta ja Lapin AMK:lle tärkeä. Tämä avaa erinomaisia mahdollisuuksia yhteistyön kehittämiseksi, uusien modernien valmistusmenetelmien investoinneille ja käyttöönotolle. Yritysten tuoteinnovaatioiden kehitykselle yhdessä Lapin AMK:n kanssa sekä tutkimustoiminnalle joihin yritykset voisivat tuoda oman panostuksensa. Kuviossa 45 on esitetty Lapin AMK:n tilojen yhteiskäyttö ja kuviossa 46 on esitetty yritysten tilojen yhteiskäyttö.

14. Onko yrityksenne kiinnostunut Lapin AMK:n tilojen ja laitteiden käytöstä tuotekehitykseen ja mahdollisesti prototyyppien valmistukseen?
Vastaajien määrä: 19



Kuvio 45. Lapin AMK:n tilojen yhteiskäyttö.

15. Onko yrityksenne kiinnostunut omien tilojenne yhteiskäytöstä Lapin AMK:n kanssa?
Vastaajien määrä: 19

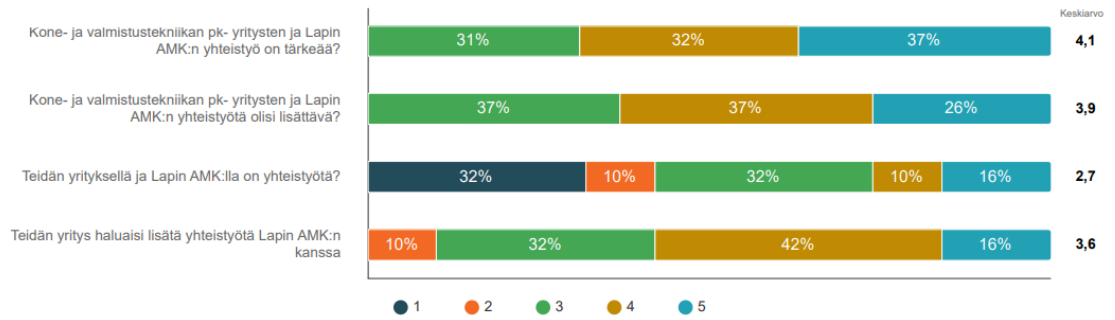


Kuvio 46. Yritysten tilojen yhteiskäyttö.

Tutkimuksessa kysyttiin myös yritysten kiinnostusta tulla tutustumaan Lapin AMK:n laboratoriotiloihin ja siihen tutkimus antaa erinomaisen vastauksen, jopa 79% yrityksistä on kiinnostunut tutustumiskäynnistä. Tässä Lapin AMK:n täytyy ottaa selkeä askel ja järjestää yrityksille tällainen mahdollisuus. Lisäksi kysymys 17 kartoitti tämän hetkistä yhteistyötä yritysten kanssa, joka on esitetty kuviossa 47. Kolmasosalla yrityksillä ei ole mitään yhteistyötä, tämä herättää mielenkiinnon, voitaisiinko yhteistyötä alkaa rakentamaan myös näiden yritysten kanssa.

17. Arvioikaa asteikolla 1-5 seuraavia asioita, (1= täysin eri mieltä, 5= täysin samaa mieltä)

Vastaajien määrä: 19



Kuvio 47. Yhteistyö Lapin AMK:n ja yritysten välillä.

7 POHDINTA

Tutkimuksessa haettiin vastauksia tutkimuskysymyksiin, moderneista valmistusmenetelmistä, yhteishankinnoista ja tilojen yhteiskäytöstä. Tutkimuksessa saatiin hyvinkin selkeät vastaukset kysymyksiin. Tutkimus antaa tärkeää ja ajantasaista tietoa tutkimuksen tekijälle ja Lapin AMK:lle jatkokäsittelyä varten. Lapin AMK:ssa voidaan tutkimuksen perusteella tehdä johtopäätöksiä, mihin suuntaan konetekniikan opetusta valmistustekniikoiden osalta kannattaa kehittää sekä TKI-hankkeiden ideointiin, valmisteluun ja suunnitteluun. Tutkimuksessa selviää hyvinkin selkeästi kaksi tekniikkaa joihin Lapin AMK:ssa pitäisi seuraavaksi panostaa, nykyisten tekniikoiden rinnalla. Ne ovat 3D- tulostus, josta vielä tarkennuksena metallien tulostus, se nousi selkeästi kiinnostavimmaksi tutkimuksessa. Toinen kiinnostava menetelmä, joka nousi tärkeäksi, on käsilaser, sille on selkeästi myös tarve Lapin alueella.

7.1 Johtopäätökset tutkimuskysymyksille

Tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

- Ovatko alueen yritykset kiinnostuneita koneiden ja laitteiden yhteishankintoihin Lapin AMK:n kanssa?
- Millaisista valmistusmenetelmistä alueen yritykset ovat kiinnostuneet?
- Ovatko alueen yritykset kiinnostuneita Lapin AMK:n laboraatiotilojen yhteiskäytöstä, tutkimus ja tuotekehityskäyttöön?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaus yhteishankinnasta Lapin AMK:n kanssa oli neljä yritystä kiinnostunut, niissä menetelmät olivat juuri tutkimuksen kiinnostavimmat eli 3D- tulostus ja käsilaser. Näistä kiinnostuneita yrityksiä on kuitenkin määrällisesti vähän, mutta ne ovat sitäkin tärkeämpiä Lapin AMK:n kannalta. Tätä on hyvä pohtia Lapin AMK:ssa, kun investointeja näitä menetelmiä kohtaan mahdollisesti aloitetaan suunnittelemaan. Yhteishankinnasta kiinnostuneita olevien yritysten kanssa kannattaa suunnitella yhteistyötä asian tiimoilta. Investoinnit kyseisiin laitehankintoihin ovat kuitenkin rahallisesti suuria, joten mahdollinen yrityksiltä saatava pääoma on tärkeässä roolissa.

Toisen tutkimuskysymyksen vastaus löytyy helposti tutkimuksesta. Siinä selkeästi kiinnostavimmat menetelmät olivat edellä jo mainitut 3D- tulostus ja käsilaser. WAAM- hitsauksesta kiinnostuneita oli yksi yritys, joten sen painoarvo jää vähäiseksi. Nämä kaksi, 3D- tulostus ja käsilaser ovat tulevaisuuden tekniikoita, joiden käyttö jatkuvasti lisääntyy ja jopa niiden yhteensovittaminen uusien tuotteiden kehittämisessä on selkeä tulevaisuuden kilpailukyvyyn mahdollistaja. Muovitulosteiden ja vähäistä lämpöä tuova käsilaser menetelmä avaa uusia komponentti ja tuote tason mahdollisuuksia. Nämä on huomioitava nopeastikin Lapin AMK:n strategia tasolla.

Tutkimuskysymykseen kolme tutkimus antoi hyvin vastauksen. Lapin AMK:n tilojen käyttöä mahdollisiin yritysten tutkimukseen ja tuotekehitykseen on selkeä kiinnostus ja sitä kannattaa lähteä kehittämään eteenpäin. Vastanneista 47% oli kiinnostunut tästä mahdollisuudesta. Tämä on myös selvä jatkumo edellisiin vastauksiin. Kiinnostavimmat tekniikat ovat juuri niitä, joihin kannattaa nyt investointia ja resurssia keskittää, koska juuri näillä tekniikoilla voidaan tehdä Lapin AMK:n tiloissa tehdä konkreettista tutkimusta ja tuotekehitystä. Uusien innovaatioiden tuominen opiskelijoiden arkeen avaa mahdollisuuksia myös uudelleenlaiselle yritysyhteistyölle, jolle on Lapin AMK:lla nyt tilaus ja mahdollisuus.

7.2 Muut johtopäätökset

Tutkimuksesta voidaan tehdä muutama toisenlainenkin poikkeava johtopäätös edelliseen kappaleeseen. Tutkimuksen menetelmistä IFS- painomuovaus ja WAAM- hitsaus jäivät hyvinkin vähälle huomiolle vastaajien keskuudessa. Tässä pohdintaa herättää ajatus, kuinka hyvin yritykset tunsivat nämä menetelmät. Toisaalta nämä tekniikat eivät ole uusimpia, niitä on tutkittu maailmalla aikaisemmin. Haastattelukysymyksiin olisi selkeästi kaivattu yksi kysymys lisää, jossa olisi kartoitettu, kuinka hyvin yritykset tuntevat kyseessä olevat valmistusmenetelmät. Olisiko tutkimus mahdollista toteuttaa toisinpäin, eli tekniikat esitellään ensin esimerkiksi Teamsin kautta yrityksille, jonka jälkeen tehdään tutkimus menetelmien kiinnostavuudesta. Siinä on tietenkin yksi jatkotutkimuksen aihe.

7.3 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuskysymyksiin saatiin kattavasti vastauksia jalostettavaksi edelleen ja tutkimuksen luotettavuus on hyvän ja kohtuullisen välillä, koska vastausprosentti jäi noin neljäänkymmeneen. Vaikka saatu vastausprosentti sinänsä on hyvä tällaiselle laadulliselle kohdennetulle tutkimukselle, jää siihen kuitenkin muutamia kysymysmerkkejä. Yksi askarruttava tekijä on, kuinka tulokset muuttuisivat, jos kysely olisi lähetetty kaikille noin sadalle Lapin metallialan yritykselle. Toki nyt kyselyä kohdennettiin, juuri niihin yrityksiin, jotka tutkimuksessa esiintyviä valmistusmenetelmiä lähimpinä ovat. Toinen askarruttava tekijä on juuri vastaajien määrä, kysely lähetettiin 46 yritykselle ja 19 yritystä vastasi siihen. Noudatteleeko vastaamatta jääneiden yritysten vastaukset millä virhemarginaalilla nyt saatuja vastauksia? Voidaanko tutkimusta pitää sen perusteella tarpeeksi luotettavana ja vastauksia antavana, tutkijan mielestä kyllä, koska kohdennus ja yhteydenotto yrityksiin lisäsi vastaajamäärää kuitenkin 30%, jotka olivat hyvinkin suuressa määrin ohutlevyitä tekeviä yrityksiä.

7.4 Tutkimuksen hyödynnettävyys ja jatkotutkimukset

Tutkimusta voidaan hyödyntää Lapin AMK:n valmistustekniikan strategiakärjen sisältöjen kehittämisessä. Tutkimus antaa selkeän kuvan investoinneille ja mitä uusia tekniikoita opetukseen kannattaa tuoda mukaan. Lisäksi tutkimus antoi selkeän tuloksen, mihin tekniikkaan ei kannata investoida. Tutkimusta voidaan sellaisenaan hyödyntää ja sen perusteella voidaan tehdä myös tarkentavia jatkotutkimuksia aihepiirin ympäriltä.

7.5 Opinnäytetyöstä

Tutkimus oli mielenkiintoinen tehdä, ensinnäkin kyseessä oleviin valmistustekniikoihin perehtyminen lisäsi tutkimuksen tekijän teoria osaamista ja ymmärtämistä aihealueista. Tutkimus herätti mielenkiintoa jatkuvasti enemmän tutkimuksen edetessä. Itse tutkimustyö oli haastava ja aikaa vievä. Teoriaan lähdeaineistoa oli hyvin saatavilla ympäri maailman. Tutkimuksen läpi vieminen ja menetelmien ja analyysien käyttö oli tekijälle uutta ja avasi ymmärrystä sekä opetti todella paljon tutkimuksen tekemisestä.

LÄHTEET

3D Natives 2020. Topology optimization for 3D printing. Viitattu 28.1.2024.
<https://www.3dnatives.com/en/topology-optimisation140820184/>

3D Systems 2024. Improve Your Performance with Metal. Viitattu 20.2.2024
<https://www.3dsystems.com/3D-printing-metal-parts-and-materials>

Engineering Product Design 2021. Fused Deposition Modeling (FDM). Viitattu 14.2.2024. <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/fused-deposition-modeling/>

Godec, D., Gonzalez-Gutierrez, J., Nordin, A., Pei, E. & Ureña Alcázar, J. 2022. A Guide to Additive Manufacturing. Springer Nature Switzerland

Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., Khorasani, M. 2021. Additive manufacturing technologies – Third edition. Springer Nature Switzerland.

Günther, K. & Hasanen, K. 2021. Tutkimuksen kulku. Teoksessa J. Vuori. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 4.3.2024.
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-prosessi/tutkimuksen-kulku/>

Günther, K., Hasanen, K & Juhila, K. 2021. Johdanto: analyysi ja tulkinta. Teoksessa J. Vuori. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 6.3.2024.
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/analyysi-ja-tulkinta/>

Hantula, J. 2021. Energiaa. Moottorin tuen tulostus WAAM-tekniikalla. Viitattu 14.1.2024. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021122061836>

Hietala, M., Keskitalo, M., Jokelainen, T. & Mäntyjärvi, K. 2018. Laserhitsauskä-sikirja. Oulu: Oulun yliopisto.

Hubs 2024a. What is metal 3D printing and how does it work? Viitattu 10.3.2024 <https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing/>

Hubs 2024b. What is FDM 3D printing? Viitattu 8.3.2024
<https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/#>

Hubs 2024c. What is SLA 3D printing? Viitattu 9.3.2024
<https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sla-3d-printing/>

Hubs 2024d. What is MJF 3D printing? Viitattu 9.3.2024
<https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-multi-jet-fusion/#null>

Hubs 2024e. What is SLS 3D printing? Viitattu 10.3.2024
<https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sls-3d-printing/>

Hyvärinen, M., Suoninen, E. & Vuori, J. 2021. Haastattelut. Teoksessa J. Vuori. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 6.3.2024.

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/>

Juhila K. 2021. Tutkimuksen kulku. Teoksessa J. Vuori.. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 1.9.2024.

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/teemoittelu/>

Kauppila, J., Hovikorpi, J. & Salminen, A. 2023. Käsikäyttöisten lasereiden turvallisuusriskit yllättävät monet. Hitsaustekniikka lehti 3/2023

Koç, M. & Özel, T. 2019. Modern manufacturing processes. Hoboken, NJ: Wiley.

Kuula-Luumi, A. 2021. Laadullisen aineiston anonymisointi. Teoksessa J. Vuori. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 6.3.2024.

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusetiikka/laadullisen-aineiston-anonymisointi/>

Lapin AMK 2024a. Esittely. Viitattu 4.2.2024. <https://www.lapinamk.fi/fi/Esittely>

Lapin AMK 2024b. Strategia. Viitattu 4.2.2024. <https://www.lapinamk.fi/fi/Esittely/Strategia>

Lapin AMK 2024c. Uudistuva teollisuus. Viitattu 4.2.2024. <https://www.lapinamk.fi/fi/Esittely/Osaamisryhmat/Uudistuva-teollisuus>

Leapion 2023. Leapion Handheld Laser Welder. Viitattu 14.1.2024. <https://www.leapion.com/Industrial-Laser-Welder.html>

Meri-Lapin kehittämiskeskus 2022a. Kärkitoimialat ja hankkeet. Viitattu 4.2.2024. <https://meri-lappi.fi/etusivu/karkitoimialat-ja-hankkeet/>

Meri-Lapin kehittämiskeskus 2022b. Merilapin kehittämiskeskus. Viitattu 4.2.2024. <https://meri-lappi.fi/>

Vuori, J. 2021. Tapaustutkimus. Teoksessa J. Vuori. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 4.3.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/tapau-stutkimus/>

Wivolin S. 2024 Ketä ja mitä oikein tutkitaan? Viitattu 1.9.2024 <https://www.teetutkimus.fi/blogi/keta-ja-mita-oikein-tutkitaan-osa-1>

LIITTEET

Liite 1. Haastattelukysymykset

Liite 1. Haastattelukysymykset

Modernit valmistus- ja muokkausmenetelmät**Yhteistiedot**

Yrityksen nimi: * _____

1. Valmistaako yrityksenne ohutlevy tuotteita / osia ? * Kyllä Ei**2. Käytetäänkö yrityksessänne joitakin seuraavista muovausmenetelmistä? (voit valita useita) *** Syväveto/Prässäys Putkentaivutus Rullamuovaus/Profilointi Painosorvaus Hydromuovaus ISF- painomuovaus Muu (ei särmäys/mankelointi) _____ Ei mitään

3. Miten arvioitte osaamisenne tasoa asteikolla 1-5 käyttämissänne muovausmenetelmissä? (1=Ei osaamista, 2= Vähäinen osaaminen, 3=Perustason osaaminen 4=Hyvä osaaminen, 5=Erinomainen osaaminen) *

	1	2	3	4	5
Syväveto/Prässäys	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Putkentaivutus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rullamuovaus / Profilointi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Painosorvaus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hydromuovaus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ISF- painomuovaus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Jokin muu menetelmä (ei särmäys/mankelointi)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Tarvitsetteko lisää osaamista / tietoa joistain kysymyksessä 2 mainituista muovausmenetelmistä? *

5. Onko muovauksen simulointi teille tuttua? *

- Kyllä
 Ei

6. Näkisittekö simuloinnin tarpeelliseksi omassa tuotannossanne? *

- Kyllä
 Ei

7. Onko yrityksessänne käytössä jokin seuraavista valmistusmenetelmistä (voit valita useita): *

- WAAM- hitsaus
- 3D- tulostus
- Käsi – laser
- Ei mitään edellä mainituista.

8. Onko yrityksenne kiinnostunut hankkimaan jonkin seuraavista muovaus- / valmistusmenetelmistä (voit valita useita): *

- WAAM- hitsaus
- ISF- painomuovaus
- 3D- tulostus
- Käsi – laser
- Jokin muu menetelmä _____
- Ei mitään edellä mainituista

9. Tarvitsetteko lisää osaamista / tietoa edellisen kysymyksen muovaus- / valmistusmenetelmistä? *

	Kyllä	Ei
WAAM- hitsaus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ISF- painomuovaus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D- tulostus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Käsi- laser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Jokin muu menetelmä _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. Onko yrityksenne kiinnostunut hankkimaan jonkin seuraavista menetelmistä yhteiskäyttöön Lapin AMK:n kanssa (voit valita useita): *

- WAAM- hitsaus
- ISF- painomuovaus
- 3D- tulostus
- Käsi – laser
- Jokin muu menetelmä: _____
- Yrityksemme ei ole kiinnostunut yhteishankinnasta

11. Onko yrityksellänne yhteiskäytössä olevia koneita, jonkin toisen yrityksen kanssa? *

- Kyllä
- Ei
- Emme halua kertoa

12. Onko yrityksenne kiinnostunut seuraavista 3D-tulostus menetelmistä? *

- Muovien tulostus
- Metallien tulostus
- WAAM-hitsaus
- Jokin muu menetelmä: _____
- Yrityksemme ei ole kiinnostunut

13. Haluaisiko yrityksenne lisätietoja seuraavista 3D-tulostus menetelmistä? *

- Muovien tulostus
- Metallien tulostus
- WAAM-hitsaus
- Jokin muu menetelmä: _____
- Yrityksemme ei ole kiinnostunut

14. Onko yrityksenne kiinnostunut Lapin AMK:n tilojen ja laitteiden käytöstä tuotekehitykseen ja mahdollisesti prototyyppien valmistukseen? *

Kyllä

Ei

Johonkin muuhun yhteiskäyttöön: _____

15. Onko yrityksenne kiinnostunut omien tilojenne yhteiskäytöstä Lapin AMK:n kanssa? *

Kyllä

Ei

Mahdollisesti, esim. seuraavaan: _____

16. Onko yrityksenne kiinnostunut tulemaan tutustumaan Lapin AMK:n tiloihin ja laitteisiin sekä keskustelemaan aiheesta myös muiden ko. valmistusmenetelmistä kiinnostuneiden yritysten edustajien kanssa? *

Kyllä

Ei

17. Arvioikaa asteikolla 1-5 seuraavia asioita, (1= täysin eri mieltä, 5= täysin samaa mieltä) *

	1	2	3	4	5
Kone- ja valmistustekniikan pk-yritysten ja Lapin AMK:n yhteistyö on tärkeää?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kone- ja valmistustekniikan pk-yritysten ja Lapin AMK:n yhteistyötä olisi lisättävä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Teidän yrityksellä ja Lapin AMK:lla on yhteistyötä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Teidän yritys haluaisi lisätä yhteistyötä Lapin AMK:n kanssa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. Mistä muusta haluaisit keskustella Lapin AMK:n konetekniikan ja TKI-henkilöiden kanssa tai mitä terveisiä haluaisit Lapin AMK:lle lähettää?
