



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Miikka Soitamo

ÄÄNENVAIMENNINTEKNOLOGIAN RAKENTEEN VALMISTUS

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Miikka Soitamo
Opinnäytetyön nimi	Äänenvaimenninteknologian rakenteen valmistus
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	36
Ohjaaja	Osku Hirvonen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia eri valmistusmenetelmiä kirjallisuustutkimuksena äänenvaimennuksessa käytettävälle rakenteelle. Opinnäytetyö perustuu ennalta tutkittuun äänenvaimennustekniikkaan, johon pyritään löytämään valmistusteknisiä ratkaisuja rakenteen luomiseksi. Tarpeena on löytää menetelmä, jolla valmistetaan tiheään rei'itettyä levyä, joka on yhdistetty kiinteästi jakomateriaaliin ja taustalevyyn.

Opinnäytetyössä tutkitaan eri olemassa olevia valmistusmenetelmiä rakenteen komponenteille, joiden valmistettavuudelle ja kustannustehokkuudelle pyritään saamaan vastauksia haastatteleamalla valmistavia yrityksiä. Tietoa menetelmistä kerättiin kirjallisuuden pohjalta, sekä haastatteleamalla yritysten asiantuntijoita.

Tutkimuksen keskeisenä havaintona voidaan pitää tutkittavan rakenteen tuomia valmistusteknisiä rajoitteita. Jokaiseen tutkittavan rakenteen valmistus- ja liittämismenetelmään liittyy rajoituksia, joita pyritään ratkaisemaan yhdessä asiantuntijoiden kanssa. Rakenteen valmistaminen on käyttötarkoituksen vaatimien olosuhteiden vuoksi haastavaa, mutta mahdollista.

ABSTRACT

Author	Miikka Soitamo
Title	Manufacture of the Structure Used in Sound Attenuation Technology
Year	2019
Language	Finnish
Pages	36
Name of Supervisor	Osku Hirvonen

The objective of this thesis was to research different manufacturing methods as a literature research for the structure used in sound attenuation. The thesis is based on pre-studied silencing technique that seeks to find solutions to create a structure. There is a need to find a method for producing a dense perforated plate which is fixedly connected to the dividing material and the backing plate.

The thesis examines various existing manufacturing methods of the component structure to obtain information about their manufacturing and cost-effectiveness by contacting manufacturers. Methods were collected from the basis of literature and by interviewing company experts.

The key observation of the study is the manufacturing constraints of the structure. Each method of manufacturing and joining the structure under investigation involves limitations that are sought to be solved with experts. Because of the conditions required for the use, the construction of the structure is challenging but possible.

Keywords	Sound attenuation, manufacturing method, perforated plate, dividing material and constraints
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	WÄRTSILÄ OYJ	9
3	TURBOAHTIMEN ÄÄNENVAIMENNUS	10
	3.1 Melun esiintyminen ja torjunta	11
	3.2 Äänenvaimentimen rakenne ja toimintaperiaate.....	12
4	REIKÄLEVYN JA JAKOMATERIAALIN VALMISTAMINEN JA YHTENÄISTÄMINEN	13
	4.1 Rakenne.....	13
	4.1.1 Reikälevy.....	14
	4.1.2 Jakomateriaali	14
	4.1.3 Taustalevy	15
	4.2 Laserin käyttö perforaatiossa	15
	4.2.1 Perinteinen laserporaus	16
	4.2.2 Skannerioptiikka	18
	4.2.3 Laserablaatio	19
	4.3 Vesileikkaus	19
	4.4 Meistaus	20
	4.5 Juottoliitos.....	21
	4.6 Liimaliitos	21
	4.7 Laserhitsaus.....	23
	4.8 Syväveto.....	24
5	RAKENTEEN 3D-TULOSTAMINEN.....	27
	5.1 Powder Bed Fusion, PBF	27
6	KUSTANNUSTEHOKKUUS	30
	6.1 Valmistusmenetelmät.....	30
	6.2 Liitosmenetelmät.....	30
7	YHTEENVETO JA ARVIOINTI	32
	7.1 Tutkimusten vertailu	32
	7.2 Työn yhteenveto.....	33

7.3 Arviointi ja jatkotutkimus	33
LÄHTEET.....	35

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Wärtsilän liikevaihto vuonna 2018. /1/	9
Kuva 2. Äänenvaimentimen sijainti Wärtsilä 31SG -moottorissa. /25/	10
Kuva 3. Desibeliasteikko. /20/, 26/	11
Kuva 4. ABB:n vaimennuslevyjen ja KBB:n vaimennuskiekkojen sijoittelu. /3/	12
Kuva 5. Tutkittavan rakenteen komponentit.	14
Kuva 6. Paikalleen asennettu rakenne ei ole tiivis. /3/	15
Kuva 7. Alumiinilevyjen koeporaukset etu- ja takapuolelta. /24/	17
Kuva 8. Skannerioptiikka. /12/	18
Kuva 9. Rakenteen liimaliitos. /27/	22
Kuva 10. Paneelin ilmatilat täyttyneet ylimääräisellä liimalla /24/	23
Kuva 11. Läpihitsaussaumot molemmin puolin jakomateriaalin seinämiä.	24
Kuva 12. Poikkileikkaus syvävedetyn jakomateriaalin sijainnista rakenteessa. ...	25
Kuva 13. Jauhepetimenetelmä, Powder Bed Fusion (PBF). /28/	28
Kuva 14. 3D-tulostettu rakenne. Tukimateriaali täyttänyt ilmatilat.....	29
Kuva 15. Valmistus- ja liittämismenetelmien vertailu.	32

LYHENTEET JA MERKINNÄT

SG	Spark Gas
ABB	Asea Brown Boveri
KBB	Kompressorenbau Bannewitz
dB	Desibeli
mm	Millimetri
cm	Senttimetri
kW	Kilowatti
IMO	International Maritime Organization
LASER	Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation
AM	Additive Manufacturing
3D	Kolmiulotteinen
CAD	Computer Aided Design
PBF	Powder Bed Fusion

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tutkia turboahtimen äänenvaimennusratkaisujen rakenteellisia valmistusmenetelmiä. Työssä pyritään löytämään lähtökohtaisesti toimivia ratkaisumalleja ja niiden valmistettavuutta eri valmistusmenetelmillä, sekä arvioida näiden mahdollisuuksia äänenvaimennusteknologiassa. Menetelmissä tulee arvioida myös komponenttien valmistus- sekä kustannustehokkuutta. Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Wärtsilän Finland Oy:n Vaasan yksikön, Turbo Charging -osaston kanssa. Työtä suoritetaan pääasiallisesti Wärtsilän Vaasan yksikössä. Työn aihe on rajattu toimeksiantajan toimesta ennalta tutkittuun äänenvaimennusteknologiaan, ja työssä keskitytään löytämään kyseiselle vaimennusratkaisulle ominaisuuksiltaan tehokas ja toimiva valmistusmenetelmä.

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää menetelmä, jolla valmistetaan rei'itettyä levyä, joka on yhdistetty kiinteästi jakomateriaaliin ja taustalevyyn. Rakenteen materiaalinvalinnan ja valmistusmenetelmän suunnittelussa on huomioitava tuotteen kestävyys ja rakenteen käyttötarkoituksen vaatimat olosuhteet. Opinnäytetyön tavoitteeseen pyritään pääsemään aiheen perusteellisen teoriapohjan tutustumisen, sekä komponentteja valmistavien yritysten asiantuntijoiden kautta. Työssä pyritään hyödyntämään opiskeluaikana oppimia tiedonhakumenetelmiä, sekä erilaisten valmistusmateriaalien ja -menetelmien kustannustehokasta käyttöä.

Opinnäytetyö tuo esille myös nykyiset Wärtsilän moottoreissa käyttämät turboahtimien äänenvaimennustekniikat sekä teoriapaketin, jossa paneudutaan tutkimuksessa mahdollisesti esiin tuleviin kysymyksiin. Tutkimuksessa käydään läpi yksityiskohtaisesti erilaisia äänenvaimentimen rakenteellisia ratkaisumalleja, joita pystytään nykyaikaisilla valmistusmenetelmillä luomaan. Tärkeimpinä lähteinä työssä toimii Wärtsilän sisäinen kirjallisuusmateriaali, sekä asiantuntijoiden näkökulmat rakenteen mahdollisuuksista.

2 WÄRTSILÄ OYJ

Wärtsilä Oyj Abp on vuonna 1834 perustettu konepajateollisuus yhtiö, joka on kansainvälisesti merkittävä merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittaja. Keskittymällä kestäviin innovaatioihin, kokonaishyötysuhteeseen ja data-analytiikkaan, Wärtsilä maksimoi asiakkaiden alusten ja voimalaitosten ympäristötehokkuutta ja taloudellisuutta. Wärtsilän pääasiallinen toiminta on hajautettu Marine Business ja Energy Business toimintoihin 1.1.2019 alkaen. Ennen organisatorakenteen uudistusta, toiminta oli jaettu Marine Solutions, Energy Solutions ja Service toimintoihin. Wärtsilän henkilöstömäärä oli noin 19 000 ja yrityksen liikevaihto noin 5,2 miljardia euroa vuonna 2018 (Kuva 1). /1/



Kuva 1. Wärtsilän liikevaihto vuonna 2018. /1/

3 TURBOAHTIMEN ÄÄNENVAIMENNUS

Turboahdin on Wärtsilän moottorien suorituskyvyn kannalta huipputärkeä kokonaisuus. Ahtimen toiminta perustuu turbiinin ja kompressorin yhteistyöhön, jossa turbiini muuttaa pakokaasun hukkaenergian liike-energiaksi. Liike-energialla pyritään ahtimen akselin toisessa päässä sijaitsevaa kompressoripyörää, joka kovan pyörintänopeutensa avulla kompressoit tuloilmaa ylipaineeksi. Diffuusioitu ilma johdetaan palotilaan yhdessä polttoaineen kanssa. Ahtimen avulla moottorille syötetään tavallista enemmän ilmaa ja polttoainetta, joka on moottorin suorituskyvyn kannalta merkittävä lisä. Moottorin suorituskyvyn nostamiseen turboahtimen avulla, liittyy huomattava määrä turbiinien ja ilman aiheuttamaa melua. Turboahtimien käytön aiheuttamat melutasot pyritään minimoimaan kompressoripyörän eteen asennetulla vaimennuskomponentilla (Kuva 2).



Kuva 2. Äänenvaimentimen sijainti Wärtsilä 31SG -moottorissa. /25/

Wärtsilällä on nykyisin kolme turboahdinratkaisujen päätoimittajaa, jotka toimittavat turboahtimet moottoreille. Ahtimien toimittajat ovat ABB, Napier ja KBB. Äänenvaimentimet ovat osa toimitettavan turbokaluston kokonaisuutta ja toimivat myös ilmansuodattimina koneeseen syötettävälle ilmalle. Nykyiset

äänenvaimentimet, joita Wärtsilä moottoreissaan käyttää, ovat toiminnaltaan samankaltaisia, mutta vaimentimet eroavat rakenteeltaan hieman toisistaan. /2/, 3/

3.1 Melun esiintyminen ja torjunta

Melulla tarkoitetaan korkeaa äänenpainetasoa, joka voi olla ihmisen kuulolle haitallista pieninäkin määrinä. Turboahtimen tuottamaa äänenpainetasoa mitataan logaritmisella asteikolla, jonka yksikkö on desibeli dB. Äänentaso voidaan jakaa standardisoiuihin painotettuihin A-, B-, C- ja D-Äänitasoihin. A-äänitaso on käytössä olevista tasoista yleisin ja käytetyin. Se painottaa taajuuksia, jotka ihmisen korva kuulee herkimmiten. Mittauksessa käytettyä painotettua äänitasoa merkitään desibelitunnuksen yhteydessä dB(A). Moottorin tuottama melutaso vaimentamattomassa kompressorissa voi olla ahtimen koosta riippuen jopa 140 dB(A). Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO on asettanut konehuoneen maksimi äänenpainetaksoksi 110 dB(A) aluksen koosta ja moottoreiden lukumäärästä riippumatta. Moottorien melutason pitäminen alhaisena on erittäin tärkeää sekä kansainvälisten säästösten, että yleisen turvallisuuden kannalta. /2/, 4/, 20/

120-130 dB	Kipukynnys, paineilmapora
120 dB	Kuulovaurioraja hetkellisessä altistuksessa
90-100 dB	Rock-konsertti
85 dB	Kuulovaurioraja jatkuvassa altistuksessa
80 dB	Lentokoneen sisätilat
40-60 dB	Normaali puhe 1m päästä
30 dB	Kuiskaus
20 dB	Rannekellon tikitys
0 dB	Kuulokynnys

Kuva 3. Desibeliasteikko. /20/, 26/

3.2 Äänenvaimentimen rakenne ja toimintaperiaate

Nykyisessä äänenvaimennustekniikassa käytetään hyödyksi absorboivaa villaa äänen vaimennusmateriaalina. Villa on hyvin yleinen vaimennukseen käytettävä absorboiva materiaali sen vaimennustehokkuuden ansiosta. Sen toiminta perustuu ääniaallon muuttumiseen lämpöenergiaksi siitä syntyneen sisäisen kitkan vaikutuksesta. Vaimennusmateriaaliin kohdistuva äänenpaine muuttuu villassa liike-energiaksi, tässä tapauksessa värähtelyksi, joka puolestaan muuttuu loppuviimein lämpöenergiaksi. /3/

Wärtsilän moottoreiden turboahdinratkaisut toimivat samalla periaatteella toimittajasta riippumatta. ABB, Napier ja KBB käyttävät vaimentimissaan villaa absorboivana materiaalina. Vaimennusmateriaali on yhdistetty materiaalia ympäröivällä rei'itetyillä metallilevyillä yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Metallilevyjen tarkoituksena on pitää vaimennusmateriaali tiukasti paikallaan. KBB:n vaimennusratkaisu eroaa muiden toimittajien ratkaisuista siten, että absorboivaa materiaalia ei ole ympäröity rei'itetyillä metallilevyillä. Napierin sekä KBB:n äänenvaimentimet ovat kiekkomaisia, päällekkäin ladottuja vaimennuslevyjä. Levyt ovat aseteltu vierekkäin äänenvaimentimeen yhdensuuntaisesti päätykotelon kanssa. ABB:n vaimennusmateriaalin muoto, sekä sijoittelu vaimenninkotelossa on huomattavan erilainen kuin Napierin ja KBB:n ratkaisuissa. Vaimennuslevyt ovat kaarevia, päätykotelosta kohtisuoraan sijoitettuja levyjä (Kuva 4). /5/, 6/



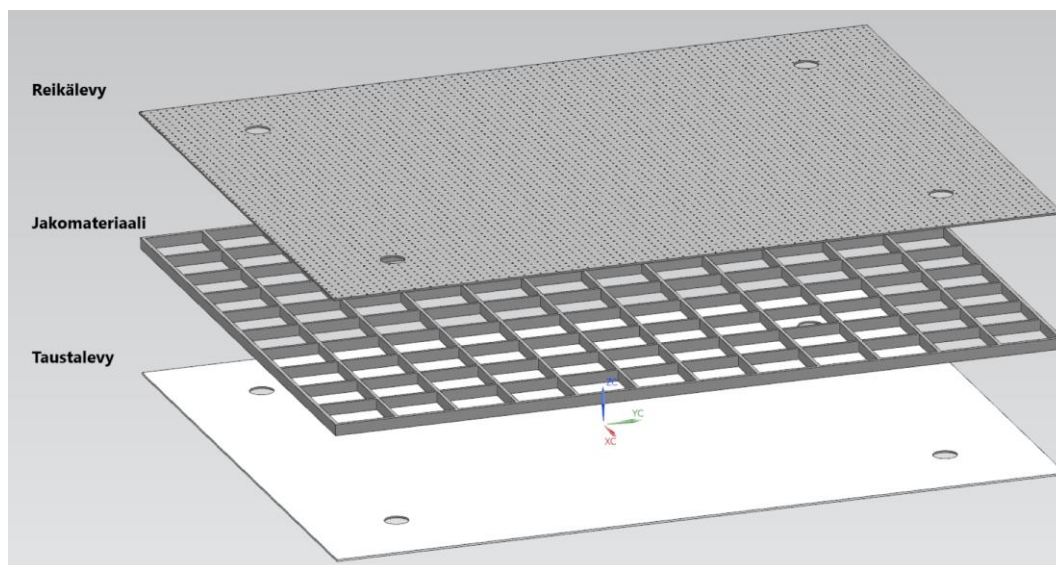
Kuva 4. ABB:n vaimennuslevyjen ja KBB:n vaimennuskiekkojen sijoittelu. /3/

4 REIKÄLEVYN JA JAKOMATERIAALIN VALMISTAMINEN JA YHTENÄISTÄMINEN

Mikroperforoidun levyn ja jakomateriaalin valmistus- ja liittämistutkimus yhteiseksi rakenteeksi perustuu aiempaan tutkimukseen, jossa mikroperforoidulla levyllä hävitetään äänienergiaa lämmöksi tietyllä resonanssialueella. Resonoiva vaimennustekniikka perustuu resonanssin aiheuttamaan ilman pumppaukseen reikien läpi. Ilman ahtautuminen reikien läpi muuttaa äänienergiaa lämpöenergiaksi. Jakomateriaali koostuu ilmatilasta, joka on jaettu omiin kammioihin. Resonoivaa äänen vaimennustekniikkaa on testattu vertailemalla sen vaimennuskykyä nykyiseen käytössä olevaan absorboivaan vaimennukseen ja tulokset ovat vakuuttavia. Ongelmaksi kehittyi komponenttien yhteensaattaminen tiiviiksi rakenteeksi.

4.1 Rakenne

Tutkittavan äänenvaimennusteknologian rakenne koostuu rei'itetystä levystä, jakomateriaalista, sekä umpinaisesta taustalevystä. Rakenteen materiaalit ovat tällä hetkellä ohuita metallisia komponentteja. Komponenttien sijoittelu on toteutettu siten, että jakomateriaali on rei'itetyn levyn ja taustalevyn välissä tiiviisti. Rakenteeltaan lopputuote on sandwich-tyyppinen kokonaisuus, joka on esitetty kuvassa 5. Tiiviin rakenteen aikaansaamiseksi, on tarkoin tutkittava mahdolliset valmistusmateriaalit ja -menetelmät kokonaisuuden luomiseksi. Rakenteen käyttötarkoituksen vaatimat olosuhteet, ilman virtausnopeus levyn ohi, yli +100 °C staattinen lämpötila sekä suuret värähtelytasot on otettava huomioon valmistuksessa. Yhtenäistä rakennetta suunnitellaan aluksi pienempänä 200 x 160 mm kokoisena rakenteena. Mahdollisten yhteenliitettyjen lopputuotteiden vaimennustehokkuutta voidaan testata niille rakennetussa testilaitteistossa.



Kuva 5. Tutkittavan rakenteen komponentit.

4.1.1 Reikälevy

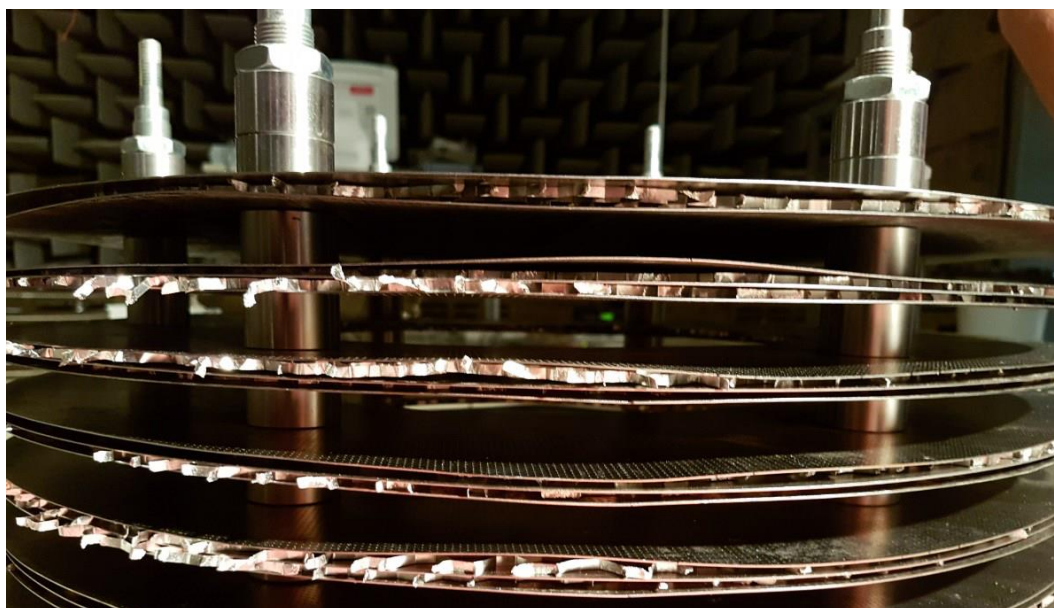
Tiheään rei'itetyn, mikroperforoidun levyn toimintaperiaate on vähentää ääniaaltojen etenemistä, sekä vaimentaa ääntä pienien reikien tuottamien kitkahäviöiden vaikutuksesta. Levyn paksuudeksi ja reikien halkaisijaksi on määritetty n. 0,5 mm sen valmistettavuuden, sekä vaimennettavan taajuuden sopivuuden kannalta. Valmistuksen kannalta oleellista on pyrkiä pitämään mikroperforoidun levyn geometriat toteutuskelpoisissa mitoissa. Kappaleen valmistusmateriaalin valinnassa huomioidaan kappaleelta vaadittavat ominaisuudet, sekä sen liittämismahdollisuudet rakenteen jakomateriaaliin.

4.1.2 Jakomateriaali

Jakomateriaalin avulla tutkittavaan rakenteeseen saadaan resonoivaan vaimennustekniikkaan oleellisena osana kuuluva tiivis ilmatila. Jakomateriaalin ilmatilan muotoa ei ole määritetty, mutta ilmatilan syvyys määritetään resonanssialueen taajuuden mukaan. Tutkimuksessa ilmatilan syvyys eli materiaalin paksuus on 3 mm. Ilmatilan leveys on määritetty olevan pienempi kuin 28 mm. Materiaalivalinnassa on otettava huomioon sen liitettävyyshäviömahdollisuudet reikä- sekä taustalevyyn.

4.1.3 Taustalevy

Rakenteen taustalevynä toimii täysin umpinainen levy, jonka tehtävänä on sulkea ilmatila tiiviisti jakomateriaalin toiselta puolelta. Taustalevyn yhteenliittämisen ansiosta jakomateriaalin ilmatilat pyritään erottamaan toisistaan, omiksi tiiviiksi kammioksi. Taustalevyn paksuudella ei ole vaimennustehon kannalta merkitystä. /6/



Kuva 6. Paikalleen asennettu rakenne ei ole tiivis. /3/

4.2 Laserin käyttö perforaatiossa

Mahdollisia valmistusmenetelmiä mikroperforoidulle levyille on olemassa useita. Tarkkuutta ja pieniä yksityiskohtia vaativiin metallityöstöihin käytetään yleisesti laserleikkausta teollisena työmenetelmänä. Laser on kvanttimekaaninen ilmiö, jossa valoa vahvistetaan säteilyn stimuloitulla emissiolla. Laser tuottaa suuren intensiteetin omaavaa vain yhtä aallonpituutta sisältävää valoa. Laserin valoalloilla on sama taajuus, joka tekee siitä koherenttia. Laserteknologian käyttö soveltuu monien materiaalien leikkaamiseen, mutta joihinkin laserin käyttö voi olla myös rajallista. Joidenkin alumiiniseosten kohdalla laserin käyttö voi olla ongelmallista valon heijastumisen takia. Valon heijastuminen alumiinin pinnalta takaisin työkalulle, voi tuhota laitteen käyttökelpottomaksi. /9/, 10/

4.2.1 Perinteinen laserporaus

Laserporaus on laadukas ja tehokas ohutlevyn työstömenetelmä. Laserporauksessa käytetään hyödyksi kohdistettua pulssitettua lasersädettä pienten reikien valmistamiseksi. Sen avulla päästään hyvin pieniin reikähalkaisijoihin. Laserporauksessa tuotettu lämpötila on matala, joten se ei aiheuta suuria muodonmuutoksia kappaleeseen. Vaikka laserporauksella on ylivertaisia ominaisuuksia muihin menetelmiin verraten, on tarkoin tutkittava sen soveltuvuus työstettävän rakenteen luomiseksi. Kun työstettävien reikien lukumäärä kasvaa satoihin, jopa tuhansiin, on otettava huomioon työhön kuluva aika. Laserporauksessa joudutaan ottamaan fyysinen liike koordinaatistossa jokaisen reiän kohdalla. /22/

Alihankkijan toimesta suoritettiin koeporauksia alumiiniseen, varastosta löytyneeseen valmiiseen liimattuun paneelirakenteeseen. Kokeessa testattiin, onko mahdollista porata reikiä vain päällimmäiseen ohutlevyyn ilman, että laser rei'ittää myös taustalevyn paneelin toiselta puolelta. Oletusarvona kokeessa kuitenkin oli, että laser tulee mahdollisesti tekemään reiät sekä etupuolella, että takapuolella olevaan alumiinilevyyn. Kokeessa käytetty alumiinirakenne on lähes vastaavanlaisissa mittoissa tutkittavan rakenteen kanssa. Testissä tutkittiin myös levyjen pinnoituksen, sekä liimaliitoksen vaikutusta laserporauksiin.



Kuva 7. Alumiinilevyjen koeporaukset etu- ja takapuolelta. /24/

Alumiinipaneelin koeporauksissa laser teki reiät molempiin levyihin, mutta muuten testi onnistui odotuksiin nähden hyvin. Levyjen pinnoitus ja liimaliitos eivät vaikuttaneet porauksen lopputulokseen. Kuten kuvassa 7 nähdään, reikien keskipisteiden etäisyydet toisistaan $l = 2.500 \text{ mm}$, sekä halkaisija $\varnothing = 0.658 \text{ mm}$ saatiin toteutettua tutkimuksen mittojen mukaisesti. Valmistajan mukaan reikien työstönopeudet olivat 500–1000 reikää/min välillä. Näillä nopeuksilla testikappaleen kokoisen, noin 5000 reiän mikroperforoidun levyn valmistus kestää noin 5–10 minuuttia. /24/

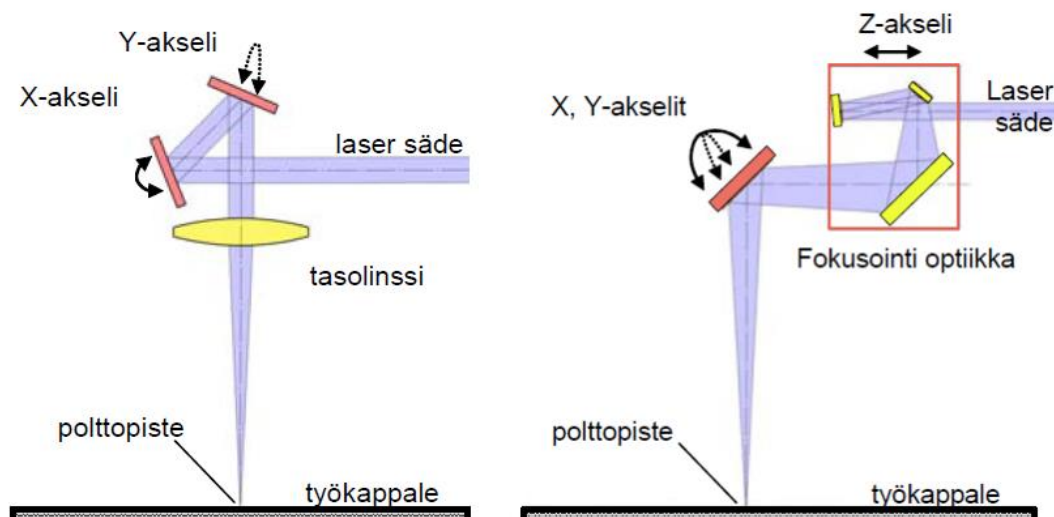
Laserporausta tutkiessa otettiin yhteyttä myös reikälevyä valmistavaan yritykseen. Mikroperforoitua levyä on saatavilla teräksisenä 0,5 x 1000 x 2000 mm kokoisena levynä 1,5 mm ja 2,5 mm reikäjaoilla. Levyn hintaluokka pyörii 70 €/m² alueella. Myös terästä kevyempää alumiinista levyä on saatavilla erilaisilla reikäjaoilla, jossa hinta on noin 32 €/m². Jos valmistaa reikälevyä pystytään hyödyntämään rakenteessa, ei erillistä levyn rei'itystä laserilla tai muilla menetelmillä kannata tehdä.

Laserleikkauksen hyödyntäminen ruudukkomaisen jakomateriaalin leikkauksessa on mahdollista. Leikkausnopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi leikattava materiaali ja ainevahvuus, käytettävä laser ja sen teho. 200 x 160 mm kokoisessa jakomateriaalin testipalassa leikattavaa pituutta on laskemien mukaan jo 7920 mm eli 7,92 m. Leikkausnopeus 3 mm:n ruostumattoman teräslevylle 6 kW:n tehoiltaan olevalla kuitulaserilla on noin 15 m/min. Ruudukkomainen rakenne lisää työaikaa

huomattavasti, kun leikkaus pysäytetään jokaisen valmiin ruudukon jälkeen ja paikoitetaan uuteen ruudukkoon. /31/

4.2.2 Skannerioptiikka

Työstettävien reikien lukumäärän kasvaessa suureksi, on tutkittava menetelmä, jolla voidaan mahdollisesti nopeuttaa valmistusta. Laserporauksessa on mahdollisuus hyväksikäyttää skannerioptiikkaa. Skannerioptiikka perustuu lasersäteen peilaukseen nopealiikkeisten peilien avulla. Peilien asentoa muuttamalla lasersäteen polttopistettä voidaan nopeasti siirtää seuraavaan rei'itettävään kohtaan skannerin paikoituspisteen pysyessä kuitenkin samana. Skannerioptiikkaa käyttämällä kappaleen työstönopeus paranee, kun robotin paikoitusta ei tarvitse tehdä jokaisen valmiin reiän jälkeen uudelleen. Uuden leikkauspisteen paikoitus aika putoaa skannerioptiikalla vain muutamaan millisekuntiin. Yhdellä paikoituksella tehtävien reikien määrä riippuu siitä, kuinka suorassa reikien tulee olla levyn pintaan nähden. Työstettävän materiaalin valinta vaikuttaa käytettävään laseriin ja sen myötä mahdollinen porausnopeus ja reiän geometriset rajoitukset voivat olla erilaisia eri materiaaleille. /12/, 13/



Kuva 8. Skannerioptiikka. /12/

4.2.3 Laserablaatio

Yksi tutkittavista mikroperforoidun levyn valmistusmenetelmistä, on lasermerkkauksesta tutumpi laserablaatio. Laserablaatio on menetelmä, jossa ultralyhyillä laserpulsseilla höyrystetään materiaalia levystä. Reiän työstössä irrotettava materiaali siirtyy sulana tai pölynä kohdepoiston kautta pölysäiliöön. Laserablaatio menetelmänä ei ole perinteistä laserporausta nopeampaa, mutta sitä voidaan hyödyntää tapauksessa, jossa reikiä työstetään valmiiseen rakenteeseen vahingoittamatta taustalevyä. Ablatiolla on mahdollisuus säilyttää taustalevy täysin koskemattomana ja roiskeettomana. Tällä hetkellä menetelmää käyttävät yritykset tekevät vain lasermerkkauksia ablaation avulla. Asiantuntijan arvion mukaan laserablaation työstönopeudet vaihtelevat 60–300 reikää/min välillä, joten se on huomattavasti hitaampaa kuin perinteinen laserporaus. Testikappaleen noin 5000 reiän valmistus laserablaatiolla veisi arviolta 17–84 minuuttia. /8/, 14/

4.3 Vesileikkaus

Vesileikkaus on monille materiaaleille soveltuva ohutlevyn työstömenetelmä. Sen toiminta perustuu hyvin pienen halkaisijan omaavaan vesisuihkuun, joka kohdistetaan leikattavaan kappaleeseen korkealla paineella. Korkean paineen vaikutuksesta vesisuihku työstää kappaletta irrottamalla siitä materiaalia. Ehdoton vesileikkauksen etu on materiaalin käsittely ilman lämpöä eli se ei aiheuta muodonmuutoksia kappaleelle. Vesileikkauksella on mahdollista työstää monia erilaisia materiaaleja pehmeistä muoveista aina koviin metalleihin. Työstömenetelmä valitaan leikattavan kappaleen materiaalin mukaan. Puhdasvesileikkaus on yleisesti käytössä oleva menetelmä, kun leikattava materiaali on pehmeää tai huokoista. Menetelmä ei sovellu metallin leikkaamiseen. Leikattavan materiaalin ollessa kovaa kiveä tai metallia, työstömenetelmä on silloin abrasiivileikkaus. Abrasiivileikkauksessa käytettävään veteen lisätään hiovaa ainetta, yleisesti leikkaustehoa lisäävää abrasiivihiekkaa. Hiekkakiteiden käyttö vesileikkauksessa mahdollistaa kovien materiaalien tarkan ja hyvälaatuisen työstön ilman lämpövaikutusta.

Vesileikkauksen mahdollisuus tutkittavan rakenteen työstössä on myös rajallista. Vesileikkauksessa käytettävän vesisuihkun halkaisijat lähtevät yleisesti 0,8–1,0

mm:n halkaisijoista ylöspäin, joten tarvittaviin reikähalkaisijoihin menetelmällä ei päästä. Kun halutaan päästä hyvin pieniin leikkaushalkaisijoihin, perinteinen vesi-leikkaus on korvattava mikrovesileikkauksella. Mikrovesileikkauksen halkaisijat lähtevät jopa 0,2 millimetristä ylöspäin. Suomessa kyseistä menetelmää harjoittavia työstökeskuksia on muutamia. Jotta mikrovesileikkauksesta saadaan kustannustehokasta ja nopeaa, työstö olisi suotavaa tapahtua monella eri leikkauspäällä samanaikaisesti. /11/

4.4 Meistaus

Meistaus on menetelmä, jossa ohutlevyä muotoillaan koneellisesti leikkaamalla tai puristamalla kappale haluttuun muotoon. Meistin toiminta perustuu meistotyökalun prässäykseen ohutlevvyn. Työkalun yksityiskohtainen muotoilu määrittää ohutlevvyn tehtävän muodon tai leikkauksen. Meistämällä on mahdollisuus leikata levyyn niin pyöreää, kuin neliömäistä reikää. Ohutlevytuotteiden sarjatuotannossa meistaus on varteenotettavin valmistusmenetelmä sen nopeuden ja yksinkertaisuuden ansiosta.

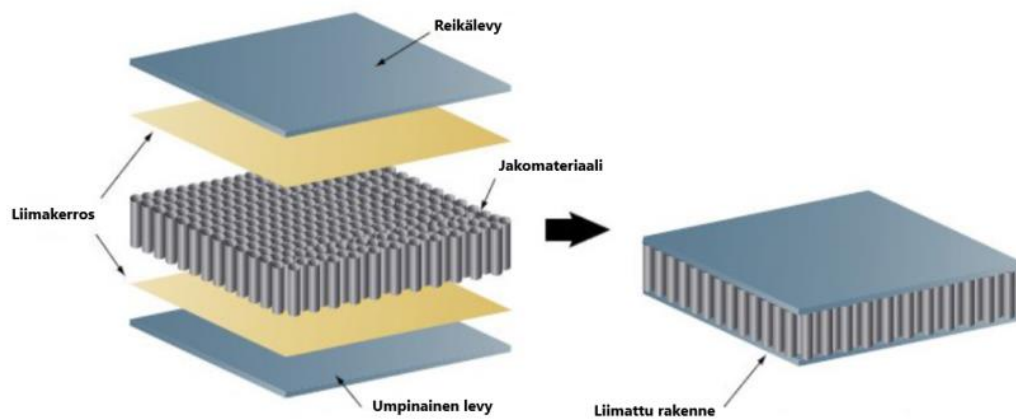
Ainoaksi ongelmaksi tutkimuksen kannalta asettuu leikattavan reiän koko. Reikälevyä valmistavien yritysten valmiiden meistityökalujen reikäkoot ovat tällä hetkellä minimissään kaksi millimetriä. Valmista meistityökalua ei 0,5 millimetrin reikään ole valmiina. Työkalun tekeminen valmistavan yrityksen mielestä voi olla mahdollista, mutta sen hinta on koekappaleen valmistuksen kannalta liian suuri toteutettavaksi tällä hetkellä. Asiantuntijan arvion mukaan meistityökalun hinta kipuisi tässä tapauksessa 25 000–35 000 euroon. Ennen työkalun valmistusta olisi tehtävä perusteellinen tutkimus siitä, miten työkalun 0,5 millimetrin pistimet tulisivat kestävästi ohutlevyn lävistämistä. Meistaus olisi hyvin varteenotettava menetelmä reikälevyn ja jakomateriaalin valmistukseen, mutta se vaatisi todella pitkää tutkimusta aiheesta. Tällä hetkellä meistausta ei pystytä soveltamaan tutkimuksen työstömenetelmänä reikälevyn valmistuksessa. /15/, 16/

4.5 Juottoliitos

Juottoliitoksella tarkoitetaan komponenttien yhdistämistä juotteen avulla. Juotemateriaalin sulamislämpö täytyy olla alhaisempi, kuin juotettavien kappaleiden sulamispiste. Juotetta valittaessa on otettava huomioon juotettavan kappaleen ominaisuudet, kuten materiaalin koostumus ja sulamispiste. Siksi monille materiaaleille on jo olemassa omat juotusmateriaalinsa. Juottomenetelmällä nopeimmalla ja helpoimmalla tavalla pääsee, mikäli juotettavat materiaalit ovat samoja. Työlämpötila juotossa ei ole yhtä korkea kuin hitsauksessa, joten materiaaliin kohdistuva lämpötila ei aiheuta suuria muodonmuutoksellisia ongelmia kappaleessa. Juottamismenetelmän soveltamisen ongelmaksi kehittyi sen vähäinen saatavuus verrattuna laser-työstöön ohutlevyteollisuudessa.

4.6 Liimaliitos

Liimaliitoksella tarkoitetaan menetelmää, jossa tutkittavat komponentit saatetaan yhteen liimaliitoksella, joka on esitetty kuvassa 9. Liimaus on menetelmänä hyvin helppo ja nopea ratkaisu materiaalien yhdistämiseksi. Liimoilla on yleisesti hyvin vahva tarttuvuus pintoihin ja hyvin tarkan ulottuman avulla ne tunkeutuvat pienimpiinkin väleihin. Metalliliitoksissa liimaus on tehokas menetelmä, mikäli hitsaus tai juottaminen ei ole mahdollista tai kannattavaa esimerkiksi materiaalin koon ja paksuuden puolesta. Liimausmenetelmä ei tuota materiaalien liittämässä lämpöenergiaa, joten kappaleissa ei tapahdu muodonmuutoksia lämmön vaikutuksesta.



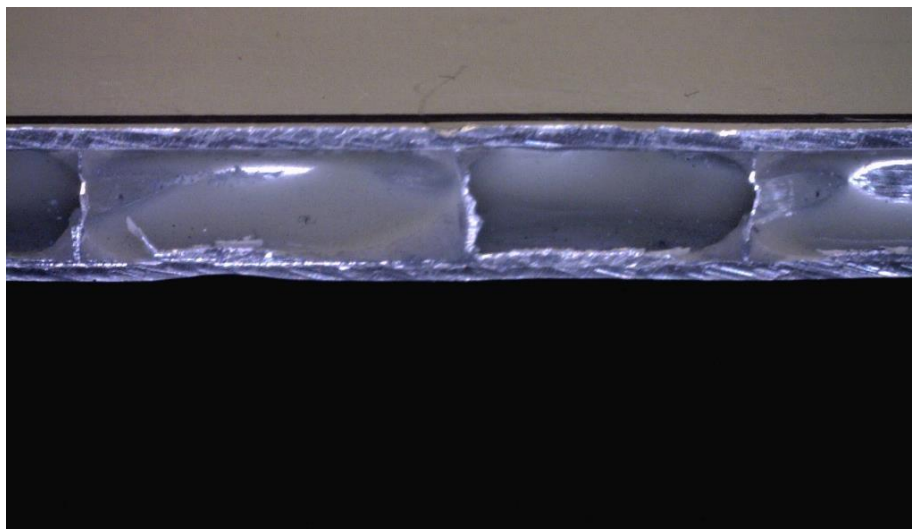
Kuva 9. Rakenteen liimaliitos. /27/

Liimasauman kestävyys riippuu siihen kohdistuvasta kuormituksesta, käyttölämpötilasta, sekä toimintaympäristöstä. Markkinoilla olevien liimojen ominaisuudet ja kestävyudet tarjoavat monipuolisen käyttöympäristön tälle liittämismenetelmälle. Mahdollisia liima- ja tiivistemassoja, joita tutkimuksessa voidaan hyödyntää, ovat korkean lämpötilan kestävät epoksi- ja silikonimassat. Vaikka metallien välinen liimasauma olisi liitokseltaan luja, turboahtimen äänenvaimennuksessa siihen voi kohdistua paikallisesti jopa yli +100 °C staattinen lämpötila. Äänenpaineen aiheuttamat pitkäaikaiset ja suuret värähtelytasot voivat myös olla suuri rasite lujalle ja jäykälle liimaliitokselle.

Haastatellessa alihankkijoita liimaliitoksen mahdollisuuksista anneteuilla mekaanisilla rajoituksilla, sopivimmaksi liitosaineeksi valikoitui epoksia korkeamman lämpötilan keston puolesta silikoniliima. Silikoniliiman saumasta tulee tiivis ja hieman pehmeä. Pehmeämmällä liitoksella saattaa olla vaikutusta värähtelyn sietoon. Silikoniliimaa on testattu onnistuneesti moniin materiaaleihin muovista metalleihin. /21/

Liimaliitoksen suunnittelussa on otettava myös huomioon liiman vaikutus reikälevyn pieniin reikiin. Liitos on toteutettava siten, että liima ei tuki mikroperforoidun levyn reikiä, jolloin kyky resonoida ääniaaltojen energiaa heikkenee. Rakenteen yksityiskohtaiset ominaisuudet määrittävät hyvin paljon sitä, milloin komponentit tulisi liimata yhteen. Reikien tekeminen valmiiksi liimattuun rakenteeseen saattaa vaurioittaa ja heikentää liimasaumojen kestävyyttä. Tutkimuksessa aiemmin

kokeiltiin tehdä koeporauksia liimattuun paneelirakenteeseen. Liimaliitoksen rajoitukseksi ilmaantui kennojen täytyminen suurimmaksi osaksi liimamassasta jo valmistusvaiheessa. Liimaliitos olisi toteutettava siten, että liimaliitos ei aiheuta ilmatilojen täyttymistä liimalla (Kuva 10). /24/

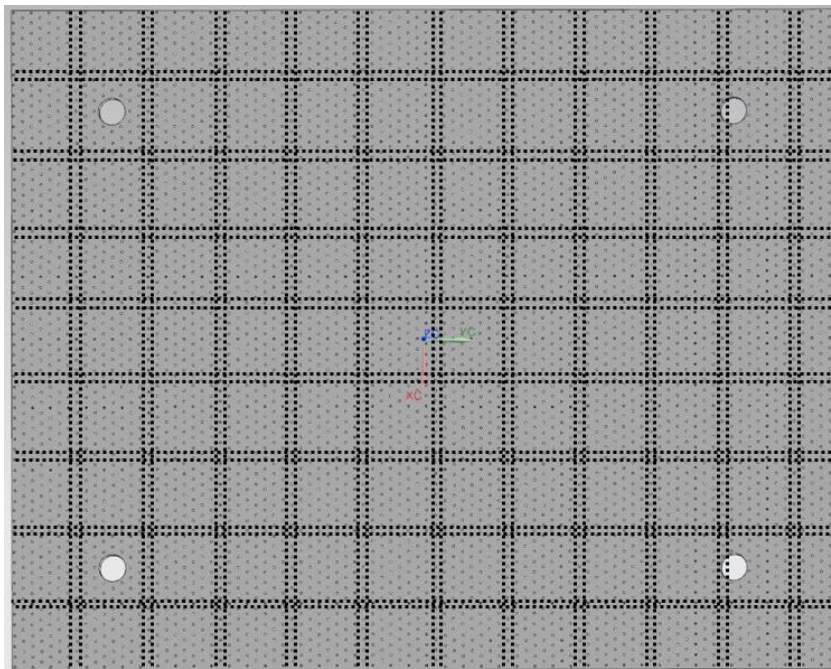


Kuva 10. Paneelin ilmatilat täyttyneet ylimääräisellä liimalla /24/

4.7 Laserhitsaus

Laserhitsaus on yleinen ohutlevytuotannossa käytettävä hitsausmenetelmä. Sen ehdottomiin etuihin kuuluu hitsausnopeus, sekä hyvin pieni lämpövaikutus hitsattavalle kappaleelle. Laserhitsaus on potentiaalinen tutkitun rakenteen liittämismenetelmä. Reikälevyn ja jakomateriaalin hitsaus voidaan myös suorittaa levyn pinnalta läpihitsauksena jakomateriaaliin asti. Läpihitsaus tuo esiin muutamia rajoituksia, jotka on huomioitava rakenteen suunnittelussa. Hitsattavien kappaleiden liitospinnat tulisi olla käytännössä ilmaaottomat eli tiiviisti kosketuksissa toisiinsa jo ennen hitsausta. Jakomateriaalin seinämän paksuus ei saa olla liian pieni, jolloin hitsin kohdistaminen tulee hankalaksi ja läpihitsausta ei pystytä suorittamaan tarkasti. Lämpö voi myös muovata hitsattavaa rakennetta, jolloin laskelmoidut hitsien paikat eivät enää pidä paikkaansa. Laserhitsauksia tarjoavan yrityksen lausunnon mukaan läpihitsauksenärkevin vaihtoehto on läpihitsata jakomateriaali kiinni seinämien kummaltakin puolelta levyjen läpi. Tällöin hitsaukseen kuluva aika tuplaantuu, sekä

rakenne tulee täyteen hitsaussaumoja. Kun vaimennuskomponentin rakenne asetetaan oikeisiin mittasuhteisiin, hitsaukseen kuluva aika on suuri. /17/



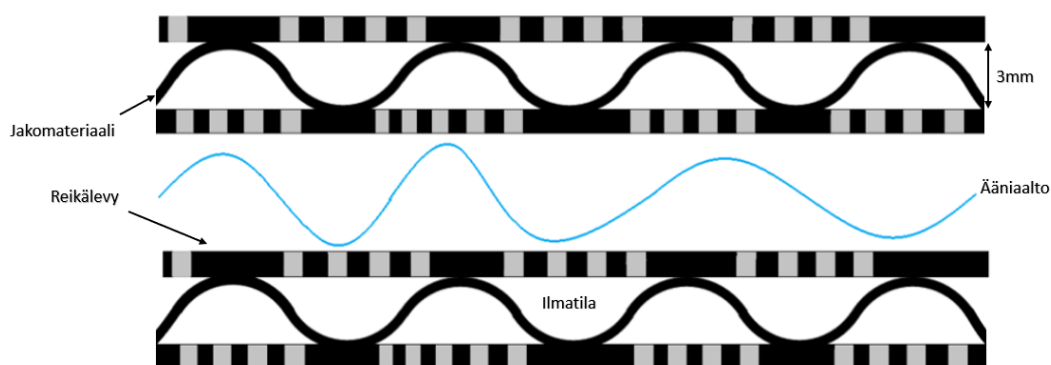
Kuva 11. Läpihitsaussaumot molemmin puolin jakomateriaalin seinämiä.

Läpihitsausta laserin avulla testattiin alihankkijan toimesta pienimuotoisesti ohuen levyn kanssa, mutta läpihitsaaminen ei onnistunut tiiviisti niillä levyn paksuuksilla, joilla tutkimusta tehdään. Jakomateriaali saatiin tarttumaan levyyn, mutta hitsausauman tiiviys oli epäluotettava. Jakomateriaalin liitämistä ilman läpihitsausta epäiltiin olevan hankalaa, sekä erittäin hidasta läpihitsaamiseen verrattuna, joten sitä ei kokeiltu. Laserhitsausnopeus yhdellä hitsauspäällä on noin 5 m/min. Hitsattavaa saumaa testikappaleessa olisi 1-saumaisella hitsauksella 428 cm. Koordinaatitasetuksineen testikappaleen 1-saumaisen hitsausnopeus olisi 2–3 minuuttia. Mikäli läpihitsaus vaatii saumat molemmin puolin jakomateriaalin seinämiä, hitsausaika tuplaantuu 4–6 minuuttiin. Laskelmista saadut tuotantoajat on laskettu vain rakenteen yhdelle pinnalle tehdyille laserhitsaukselle. /18/, 30/

4.8 Syväveto

Syväveto mahdollistaa ohutlevytuotteiden saumatonta ja muotovapaata muovamista. Ohutlevy syvävedetään työkalun yksityiskohtaisen rakenteen mukaiseen

muotoon muutamissa sekunneissa. Menetelmässä käytettävä työkalu määrittää syvävedettävään ohutlevyyn saatavat muodot. Syvävedossa ei ole tarkoitus venyttää materiaalia, vaan muovata sitä. Työmenetelmä on yleisesti käytössä kotelorakenteiden suunnittelussa sen yksinkertaisen ja nopean työkierron vuoksi. Yritysvierailulla syvävetoja toteuttavaan yritykseen, pyrittiin saamaan vastauksia jakomateriaalin muotoiluun ja yksinkertaiseen valmistamiseen. Muotoilultaan jakomateriaali voisi sisältää myös kuppimaisia syvennyksiä ilman läpimenoa materiaalista. Valmiin materiaalin lopullista muotoa voidaan kuvailla golfpallon pinnaksi ohutlevyissä. Tällöin rakenteen tiiviys on enää reikälevyn ja jakomateriaalin yhdistämisen varassa (Kuva 12).



Kuva 12. Poikkileikkaus syvävedetyn jakomateriaalin sijainnista rakenteessa.

Syväveto ei muiden menetelmien ohella myöskään ole rajoituksetonta työstämistä. Syvävedolla on mahdollisuus tehdä pyöreitä kuppimaisia muotoja, mutta kun syvennyksiä tulee tehdä levyyn monia, menetelmäksi muuttuu tällöin venytysmuovaus. Työstettävillä materiaaleilla venymää tapahtuu 20–25 %:iin asti, jonka jälkeen materiaaliin alkaa muodostua harventumia. Venymä tuo rajoitteita syvennyksien tekemiselle. Uuden työkalun hinta on rajoittava tekijä tutkimukselle tällä hetkellä. Jotta työkalun tekeminen olisi kannattavaa, tarvitaan suuria tuotantosarjoja, sekä toteutusasteelle vietäviä tuloksia rakenteen toimivuudesta äänenvaimennuksessa. Olisi hyvä testata, päästäänkö kuppimaisella ilmatilan muodolla samoihin vaimennusominaisuuksiin, kuin nykyisellä muodolla. Tämänhetkisellä jakomateriaalilla ilmatilan syvyys on kauttaaltaan 3 mm. Kuppimaiset syvennykset olisivat vain yhdestä ilmatilan kohdasta syvyydeltään 3 mm. /29/

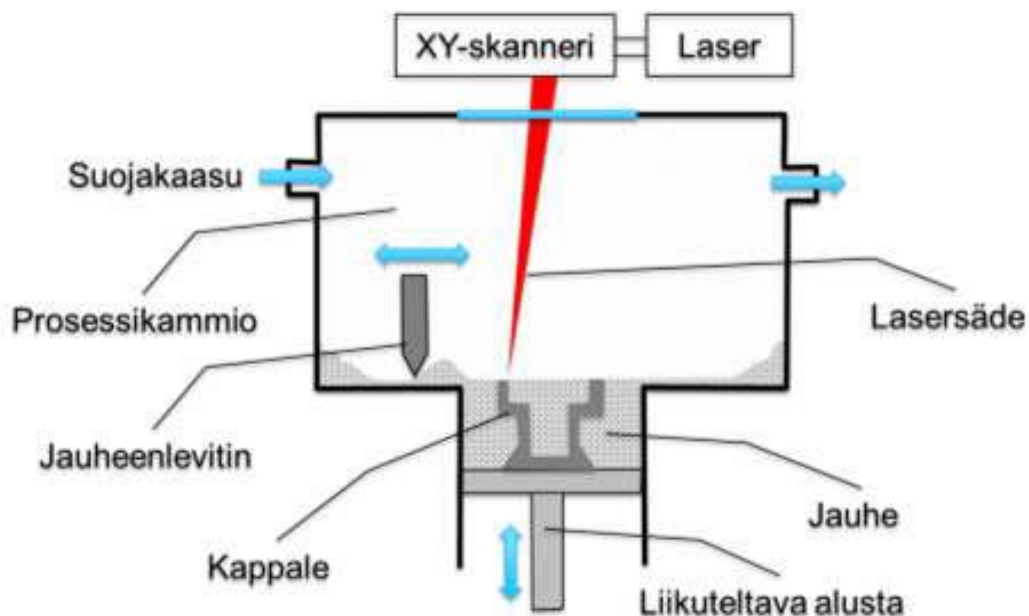
5 RAKENTEEN 3D-TULOSTAMINEN

Materiaalia lisäävän valmistuksen (Additive Manufacturing, AM) eli kolmiulotteisen tulostamisen lähes rajattomat mahdollisuudet on noteerattu teollisuudessa ja sen avulla pystytään tehostamaan ja nopeuttamaan eri tuotantoalueiden prosesseja. Nykyaikainen 3D-tulostaminen on tuottava tapa luoda fyysisiä kappaleita suoraan virtuaalisten CAD-mallien pohjalta. Sen avulla pystytään luomaan vaativimpiakin geometrioita, joita ei ole mahdollista tai kustannustehokasta valmistaa koneistamalla. Materiaalin 3D-tulostamisella on mahdollisuus päästä samoihin materiaalin lujuusominaisuuksiin, kuin muillakin valmistusmenetelmillä. Tutkittavan rakenteen yhtenäinen 3D-tulostaminen on potentiaalinen valmistusmenetelmä, jolla on mahdollista saavuttaa tässä tutkimuksessa haluttu lopputuote. Materiaalin tulostusteknologiaa hyödyntämällä olisi mahdollisuus ratkaista tutkimuksen suurimmat kompastuskivet, komponenttien valmistus, yhteenliittäminen ja rakenteen tiiviys. 3D-tulostamisessa hinta määräytyy materiaalin tulostuskorkeudesta, sekä -määrästä. Käytettävä tulostusmenetelmä vaikuttaa myös hintaan, joten hintaa on lähes mahdoton arvioida ilman 3D-mallia. Nyrkkisääntönä sarjavalmistuksessa on, että mikäli rakenne on mahdollista valmistaa helpommin perinteisillä menetelmillä, kannattaa se sillä myös tehdä. /7/

5.1 Powder Bed Fusion, PBF

Viitaten asiantuntijoiden arvioihin, lasersulatuksella tapahtuva jauhepetimenetelmä on mahdollinen keino tutkittavan rakenteen valmistukseen. Menetelmä tunnetaan nimeltä Powder Bed Fusion (PBF). Jauhepetitulostimia on maailman laajuisesti saatavilla muutama tuhat eri kokoluokissa. Keski-Euroopassa menetelmän kapasiteettia on saatavilla runsaasti, Suomessa jauhepetimenetelmään erikoistuneita palvelutarjoajia on muutama. Tulostuksessa rakenne piirretään kerroksittain metallisen jauhepedin pinnalle. Jauhepedin alustaa lasketaan alaspäin jokaisen valmiin sulakerroksen jälkeen. Laser piirtää pedin pinnalle halutun muodon joiden kohdalla metallijauhe sulaa kiinteään olomuotoon. Jokaisen sulatetun jauhekerroksen jälkeen, pedin pinnalle levitetään aina uusi jauhekerros, joka laserin avulla muodostaa kiinteän rakennekokonaisuuden. Valmiin tuotoksen jälkeen ylimääräinen jauhe

poistetaan alustalta, jolloin jäljelle jää vain yhteen sulautuneiden partikkeleiden muodostama rakenne. Kappaleen työstön jälkeen rakenteen pinnat jälkikäsitellään. Tulostamisen sulattamaton jauhe on suurimmaksi osaksi uudelleen käytettävissä kierrätyksen jälkeen.

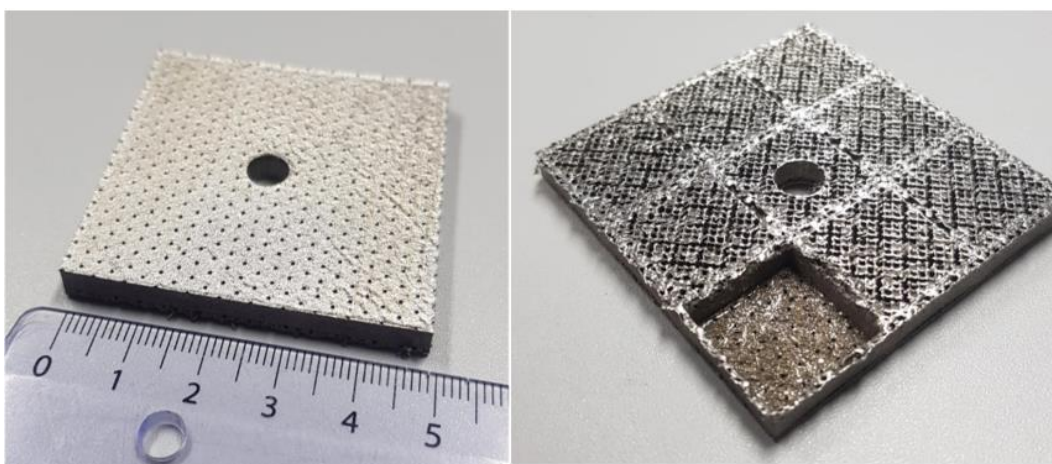


Kuva 13. Jauhepetimenetelmä, Powder Bed Fusion (PBF). /28/

Yhtenä tämän tulostusmenetelmän rajoitteena on rakenteen tulostuskulma. Metallijauhe ei tue sulaa materiaalia, jos rakennetta yritetään tulostaa ”tyhjän päälle”. Kotelomaisen rakenteen partikkeleita ei pysty tulostamaan, jos sen alapuolella ei ole uutta sulaa tukevaa kerrosta. Pisaramaisen rakenteen muoto ei tarvitse tukirakennetta, kuten kotelomainen. Ottaen tutkittavan rakenteen huomioon, lasersulatus on tehtävä 45° kulmassa, jolloin jo sulatetut kerrokset tukevat seuraavia sulatettavia kerroksia. Tämä rajoitus koskee juuri metallitulostusta. Metallitulostuksella ei ole samanlaista muotovapautta, kuin muovin lasersintrauksessa, jolla voidaan rakentaa myös tyhjän päälle. Mikäli tulostettavan rakenteen ei tarvitse olla metallia, muovin lasersintraus on menetelmänä helpompi ja halvempi. /19/, 23/

Rakenteesta tehty 3D-malli lähetettiin tulostukseen Italiaan, jossa siitä valmistettiin 5 x 5 cm testipala EOS-M290 metallin 3D-tulostimella jauhepetimenetelmää hyväksi käyttäen. Testipalan 3D-tulostuksessa päästiin varsin hyviin lopputuloksiin,

mutta rajoitteita ei täysin otettu huomioon. Rakenteen reiät tulostuivat odotusten tavoin hyvin, mutta tulostuskulmaa ei ollut asetettu kappaleelle, joten se oli laitettu makaamaan tulostusalustalle. Testipalan alapuoli tuli täyteen tukimateriaalia, joka on saatava irti rakenteen ilmatiloista. Tukirakenteiden poistotesti aiheutti tulostetun rakenteen hajoamista ja reunoista tuli epätasaiset, kuten kuvassa 14 ilmenee. Jatkokehityksenä ainetta lisäävässä valmistuksessa kannattaa lähteä testaamaan muovin soveltuvuutta. Muovin käyttö antaa enemmän vapautta tulostettavan muodolle, tulostuskulmalle, sekä keventää rakennetta huomattavasti. /19/



Kuva 14. 3D-tulostettu rakenne. Tukimateriaali täyttänyt ilmatilat.

6 KUSTANNUSTEHOKKUUS

Jotta kustannustehokkuus valmistuksen kannalta pysyy hyvänä, on otettava huomioon kappaleen tuotantoon kuluva aika, sekä tuotteen valmistuskustannukset. Monien eri työstömenetelmien käyttö ja monimutkainen valmistaminen eivät ole kustannustehokkuuden kannalta haluttuja ratkaisuja. Tutkimuksessa on löydettävä mahdollisimman yksinkertainen ja samalla tehokas ratkaisu lopputuotteen valmistamiseksi. Tehokas toimintamalli rakenteen valmistamisessa vaatii huolellista tuotannon suunnittelua yhdessä valmistavien yritysten kanssa.

6.1 Valmistusmenetelmät

Laserleikkaukset ja -poraukset ovat yleisiä ohutlevyjen työstössä käytettyjä menetelmiä. Reikien poraukseen lasertyöstö ei tutkimuksessa ole kannattavaa ilman skannerioptiikkaa. Tutkittavan komponentin 200 x 160 millimetrin kokoisessa testipalassa reikiä on jo reilusti yli 5000 kappaletta. Reikälevyn tekemiseen kuluva aika on tässä tapauksessa hyvin suuri, joten kappaleen valmistukseen pitää löytää kustannustehokkaampi ratkaisu. Jakomateriaalin valmistukseen menetelmä on mahdollinen. Sen valmistukseen kuluva aika on riippuvainen leikkauspäiden lukumäärästä. Vesileikkauksella päädytään samaan ongelmaan kuin lasertyöstöllä reikien suhteen.

Reikälevyn ja jakomateriaalin valmistaminen meistauksella olisi nopein ja yksinkertaisin komponenttien valmistusmenetelmä. Valmistavilla yrityksillä ei ole valmiita meistotyökaluja vastaaviin reiän halkaisijoihin ja mitoituksiin. Meistotyökalujen valmistaminen tutkimuksen komponentteihin olisi hyvin kallista, sekä työkalujen kestävyyttä tulisi testata pidemmän aikaa. Opinnäytetyön aika ja resurssit eivät kata tämän menetelmän testausta, mutta se on havaittu mahdolliseksi työstömenetelmäksi.

6.2 Liitosmenetelmät

Liitosmenetelmien yhteiseksi ongelmaksi kehittyi lopputuotteen valmistuksen monimutkaisuus. Jotta valittua liitosmenetelmää päästään hyödyntämään rakenteessa,

on ratkaistava komponenttien valmistusmenetelmät. Tämä rajoitus koskee kaikkia muita valmistus- ja liittämismenetelmiä paitsi rakenteen 3D-tulostamista, jossa on ratkaistu molemmat tutkimuksen ongelmakohdat. Monivaiheinen valmistusprosessi saattaa olla rasite kustannustehokkuudelle, mutta tutkimusvaiheessa on hyvä pitää kaikki mahdolliset toimintamallit avoimina. Rakenteen liimaliitos on potentiaalinen menetelmä, mutta liitoksen kestävyys käyttöympäristön olosuhteissa täytyy testata.

7 YHTEENVETO JA ARVIOINTI

7.1 Tutkimusten vertailu

Valmistus- ja liittämismenetelmiä on tarpeen vertailla myös keskenään, jotta pystytään kartoittamaan tutkimuksen kannalta varteenotettavat tavat saavuttaa haluttu lopputulos. Vertailussa on hyvä ottaa esille menetelmien tämän hetkinen saatavuus, tuotantoaika, rajoitteet sekä kustannustehokkuus. Kuvan 15 taulukossa ilmenee vertailtavien työmenetelmien mahdollisuudet tutkimuksen rakenteen kannalta.

Menetelmät	Saatavuus	Tuotantoaika	Rajoitteet	Kustannustehokkuus
Perforointi (reikälevy) Laserporaus	Yleinen ohutlevytuotannossa.	500-1000 reikää/min - testipala 5-10min.	Paikoitusnopeus.	Ei kustannustehokasta ilman skannerioptiikkaa.
Meistaus	Ei mitoituksia vastaavaa työkalua saatavilla tällä hetkellä.	Nopea läpimenoaika.	Uusi työkalu 25,000 – 35,000 euroa.	Kustannustehokas vasta suurelle tuotantovolyyymille.
Perforointi (jakomateriaali) Laserleikkaus/Vesileikkaus	Yleinen ohutlevytuotannossa.	Hidasta yhdellä leikkauspäällä.	Läpimenoajan pituus.	Kustannustehokkuus riippuu leikkauspäiden lukumäärästä.
Meistaus	Ei mitoituksia vastaavaa työkalua saatavilla tällä hetkellä.	Nopea läpimenoaika.	Uusi työkalu 25,000 – 35,000 euroa.	Kustannustehokas vasta suurelle tuotantovolyyymille.
Liitosmenetelmät Laserhitsaus	Yleinen ohutlevytuotannossa. Levyn läpihitsaus.	Testipalan 1-saumainen hitsaus 6-8 min. 2-saumainen 12-16 min. - Yhdellä hitsauspäällä.	Läpihitsauksen tiiviys epäluotettava.	Tiiviuden epäluotettavuuden ja hitsauksen hitauden vuoksi ei kustannustehokas.
Rakenteen 3D tulostus, Powder Bed Fusion	Jatkuvasti kehittyvä ja laajeneva teollisuuden tuotantomentelmä. Laaja saatavuus jo nyt.	Ei pitkiä tilausaikoja, nopeuttaa suunnittelua ja tuotekehitystä.	Tulostuskulma jauhepetimenetelmässä.	Kustannusarvio vaatii 3D-mallin, haastavat geometriat eivät nosta hintaa.
Liimaliitos	Olosuhteisiin soveltuvia liimoja saatavilla paljon.	Liiman kuivumisaika ominaisuuksista riippuen noin 10-60 min.	Reikien tukkeutuminen mahdollista.	Kustannustehokas soveltuessaan vaadittuihin olosuhteisiin.

Kuva 15. Valmistus- ja liittämismenetelmien vertailu.

Työstömenetelmien vertailussa 3D-tulostus nousee yksinkertaisuudellaan ja tehokkuudellaan yhdeksi varteenotettavimmista ratkaisuista. Rakenteeseen tehtävät työvaiheet saadaan tehtyä samanaikaisesti, joka nopeuttaa tuotantoaikaa huomattavasti. Nopealla tuotantoajalla varustettu meistaus sisältää tällä hetkellä rajoituksia, joita tässä työssä ei päästä käsittelemään rajallisen ajan ja kustannuksien puitteissa. Kuten laser- ja vesityöstöissä, myös meistaus on vasta rakenteen komponenttien valmistustekninen työvaihe. Seuraavaksi työvaiheeksi menetelmissä tulee

komponenttien yhteenliittäminen, jonka yhteydessä on otettava huomioon liitettävyyden tuomat uudet rajoitteet.

Rakenteen liimaliitosta voidaan pitää 3D-tulostuksen rinnalla mahdollisena menetelmänä, jolla tutkimusta viedään eteenpäin. Soveltuvien liimojen löytyttyä, sen ominaisuuksia voidaan lähteä testaamaan, kun tiedetään komponenttien valmistustavat.

7.2 Työn yhteenveto

Työn tavoitteena oli löytää menetelmä, jolla saadaan valmistettua tiheään rei'itettyä levyä, joka on yhdistetty tiiviisti rakenteen jakomateriaaliin sekä taustalevyyn. Rakenteen valmistuksessa oli otettava huomioon sen käyttötarkoituksen vaatimat olosuhteet. Tutkimuksessa käytiin läpi mahdolliset valmistus- ja liitosmenetelmät hyötyineen ja rajoituksineen. Mahdollisia ratkaisuja rakenteen valmistukseen tuli esille monia, mutta rajoitteet karsivat menetelmiä pois kustannusten tai saatavuuden vuoksi. Vierailuilla valmistaviin yrityksiin saatiin runsaasti tietoa siitä, miten rakenteen valmistusta pystyttäisiin heidän osaltaan viemään eteenpäin kohti tuotantoastetta. Muutamaa potentiaalista valmistusmenetelmää päästiin testaamaan pienimuotoisesti valmistavien yritysten puolesta. Tutkimusta jatketaan myös tämän opinnäytetyön jälkeen. Tämän hetkiset opinnäytetyön tulokset pyrkivät tuomaan esille mahdolliset rakenteen valmistus- ja liittämismenetelmät, joita hyödyntämällä rakenne saadaan valmistettua.

7.3 Arviointi ja jatkotutkimus

Tutkimuksessa esiteltiin kattavasti jokainen rakenteen työstömenetelmä. Menetelmistä laadittiin teoriapohja, jota hyödyntämällä päästiin käsiksi itse menetelmään. Jokaisen menetelmän mahdollisuutta rakenteen valmistuksessa tutkittiin yhdessä asiantuntijoiden kanssa. Tutkimuksessa päästiin tuloksiin, jotka edistävät pääsemistä tavoitteisiin. 3D-tulostamisen, laserporauksen ja liimaliitoksen mahdollisuudet ovat tavoitteiden kannalta merkittäviä. Lopullinen rakenne ja sen valmistusmenetelmän tutkiminen vaatii vielä jatkotutkimuksia, joihin tässä opinnäytetyössä aikaa ei tarpeeksi riittänyt. Jatkotutkimuksena olisi hyvä kokeilla laserporauksen ja

liimaliitoksen yhteiskäyttöä rakenteen valmistamiseksi. Rakenteen suunnittelussa ei kannata jättää yhtään kiveä kääntämättä, villeistäkin ideoista saattaa syntyä toteutuskelpoisia ratkaisuja. Kitkahitsauksen mahdollisuuksia metallisen rakenteen liitoksessa olisi hyvä jatkotutkimuksen kohde. Liitospinnat hitsautuisivat yhteen muodostaen rakenteen liitospinnoista tiiviitä.

Vaikka nykyiset tutkimukset perustuvat metallisien komponenttien valmistamiseen ja yhteenliittämiseen käyttöympäristön olosuhteiden vuoksi, olisi hyvä tarkastella muovien ja erilaisten komposiittimateriaalien soveltuvuutta rakenteessa. Teollisuudessa käytettävillä erikoismuoveilla lämpötilankesto voi olla hyvinkin suuri, esimerkiksi paistinpannuissa käytettävä teflon. Myös muovisen 3D-tulostetun rakenteen mahdollisuutta ja kestävyyttä käyttötarkoituksen vaatimissa olosuhteissa olisi hyvä tutkia jatkon kannalta.

LÄHTEET

- /1/ Wärtsilä. Wärtsilä lyhyesti. Viitattu 8.1.2019. <https://www.wartsila.com/fi/wartsila>
- /2/ Tubrotekniikka. Turboahdin toiminta. Viitattu 14.1.2019. <https://turbo-tekniikka.fi/turbot/turboahdin-toiminta/>
- /3/ Kytölä, A. 2017. Wärtsilä internal document. Developing turbocharger silencer noise attenuation technology.
- /4/ International Maritime Organization, IMO. 4.2. Noise level limits. Viitattu 14.1.2019. [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MSC%20-%20Maritime%20Safety/337\(91\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MSC%20-%20Maritime%20Safety/337(91).pdf)
- /5/ Akustiikan perusteet. Akustiikkasanasto. Viitattu 14.1.2019. <http://www.akustiikkapalvelut.fi/akustiikan-perusteet/sanasto>
- /6/ Kytölä, A. 2017. Tampereen teknillinen yliopisto. Turboahdinten äänenvaimentimen teknologian kehittäminen. Viitattu 14.1.2019.
- /7/ 3Dformtech. Metallin 3D-tulostus. Viitattu 14.2.2019. <https://3dformtech.fi/3d-tulostus/metallin-3d-tulostus/>
- /8/ Kaakkunen J. 2011. Toiminnallisten pintojen valmistus femtosekunti-lasera-
blaatiolla. Viitattu 19.2.2019. <https://docplayer.fi/10055483-Jarno-kaakkunen-nanoteknologiaa-koneenrakentajille-15-11-2011-toiminnallisten-pintojen-valmistus-femtosekunti-laserpulssiablaatiolla.html>
- /9/ Ionix Oy. Lasertyöstö. Viitattu 19.2.2019. <http://www.ionix.fi/fi/teknologia/lasertyosto/>
- /10/ Kauppinen V. 1989. Levytyöt pienerätuotannossa. Viitattu 19.2.2019.
- /11/ Laserle Oy. Vesileikkaus. Viitattu 25.2.2019. https://www.laserle.fi/vesileikkaus/?utm_campaign=Vesileikkaus+koko+Suomi&utm_source=google&utm_medium=ppc&utm_term=%2Bvesileikkaus&utm_content=2327026xCjwKCAiAns-njBRB6EiwATkM1Xt0Gc-sJwMSAn-_t8oJyXJEgzqi-zD35JdOj8caq83QZlm-RAT69SyhoC5IEQAvD_BwE
- /12/ Hovikorpi J. & Lahti K. Hitsautekniikka 1/2006. Skannerilaserhitsaus. Viitattu 25.2.2019. https://www.apricon.fi/wp-content/uploads/01-06_hitsautekniikka_skannerilaserhitsaus.pdf
- /13/ Salminen, A. 2019. Professori. Lappeenranta University of Technology. Haastattelu 6.3.2019.

- /14/ Lappalainen, I. 2019. Technology Director. Ionix Oy. Haastattelu 6.3.2019.
- /15/ Ryhänen, K. 2019. Tuotepäällikkö. Meconet Oy. Haastattelu 6.3.2019.
- /16/ Rasku, J. 2019. Tuotepäällikkö. Reikälevy Oy. Haastattelu 6.3.2019.
- /17/ Pelttari, T. 2019. Tuotantopäällikkö. Kenno Tech Oy. Haastattelu 6.3.2019.
- /18/ Mikkonen, P. 2019. Tuotantopäällikkö. Welas Oy. Haastattelu 6.3.2019.
- /19/ Raukola, J. 2019. Innovation Expert. Wärtsilä Oyj. Haastattelu 6.3.2019.
- /20/ J. Borenus. 1975. Perustietoa melusta ja tärinästä. Viitattu 11.3.2019.
- /21/ Litsilä, P. 2019. Tuotepäällikkö. Kevra Oy. Haastattelu 11.3.2019.
- /22/ Ionix Oy. Laserporaus. Viitattu 19.3.2019. <http://www.ionix.fi/fi/teknologia/lasertyosto/laserporaus/>
- /23/ Alvo, Savonia-ammattikorkeakoulu. Jauhepetimenetelmät. Viitattu 20.3.2019. <http://alvo.savonia.fi/tietopankki/menetelmat/47-jauhepetimenetelmat>
- /24/ Urtti, T. 2019. Tuotantopäällikkö. HT Laser Oy. Haastattelu 25.3.2019.
- /25/ Diesel & Gas Turbine Wolrdwide. Wärtsilä picked for argentine power plant. Viitattu 10.3.2019. <https://dieselgasturbine.com/wartsila-picked-for-argentine-power-plant/#.XJipf-QUoI>
- /26/ Aaltomuoto. Äänen ominaisuuksia. Viitattu 10.3.2019. <https://aaltomuoto.wordpress.com/aani/aanitekniikan-perusteet/2-aanen-ominaisuuksia/>
- /27/ Admatis Ltd. Sandwich structures. Viitattu 25.3.2019. http://www.admatis.com/eng/competencies_material_science_sandwich.html
- /28/ J.Vihinen. 2015. Tampereen teknillinen yliopisto 3D-tulostustekniikat. Viitattu 25.3.2019. https://www.vtt.fi/files/services/mav/3D%20-tulostustekniikat_Vihinen.pdf
- /29/ Siltanen, H. 2019. Tuotepäällikkö. Meconet Oy. Haastattelu 5.4.2019.
- /30/ Ionix Oy. Laser- ja hybridihitsauksen käyttökohteet. Viitattu 8.4.2019. https://www.pohjois-savo.fi/media/seminaarit-ja-tapahtumat/2015/ta-keoff2_21052015/laser-ja-hybridihitsauksen-kaytto-cc-88kohteet.pdf
- /31/ K. Kauppinen. 2016. Oulun Yliopisto. Hiilidioksidi ja kuitulaserin vertailu. Viitattu 8.4.2019.