

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

OHUTLEVYJEN PIENSARJATUOTANNON TUOTTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT  
TEKIJÄT

CONTRIBUTING FACTORS IN PRODUCTIVITY OF SHEET METAL SMALL  
SERIES PRODUCTION

Lappeenrannassa 27.11.2017

Markus-Mikko Kylmä

Tarkastaja TkT Mika Lohtander

Ohjaaja TkT Mika Lohtander

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
LUT Kone

Markus-Mikko Kylmä

### **Ohutlevyjen piensarjatuotannon tuottavuuteen vaikuttavat tekijät.**

Kandidaatintyö

2017

43 sivua, 18 kuvaa ja 1 liite

Tarkastaja: TkT Mika Lohtander

Ohjaaja: TkT Mika Lohtander

Hakusanat: ohutlevy, tuotannon tuottavuus, työstömenetelmät

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa ohutlevyjen piensarjatuotannon tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä ja tuotannon tuottavuuden kehitystä suomessa viimeisen kymmenen vuoden aikana. Työssä tutkittiin erilaisia ohutlevyjen työstömenetelmiä ja tuotannon tehostamisen tapoja. Työssä selvitettiin suomalaisten yritysten tapoja mitata ja kehittää heidän tuotantonsa tuottavuutta.

Tämä työ koostuu kirjallisuuskatsauksesta ja kyselytutkimuksesta. Kirjallisuuskatsauksen avulla pyrittiin tutkimaan suurimmat tuotannon tuottavuuteen vaikuttavat tekijät ja erityisesti piensarja tuotannossa tehokkaimmat työskentely tavat. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta luotu kyselytutkimus pyrki selvittämään suomalaisten yritysten tuottavuuden muutoksia, sekä tuotannon tuottavuuden mittauksessa ja kehittämisessä käytettyjä keinoja.

Tutkimuksen avulla saatiin selville, että ohutlevyjen piensarjatuotannossa kannattaa suosia työstömenetelmiä joissa sarjojen väliset asennusajat ovat lyhyitä tai ne voidaan suorittaa koneiden käydessä. Lisäksi työssä saatiin selville, että erilaisten tuotannon optimointiin suunniteltujen ajattelutapojen kuten lean-ajattelutavan avulla voidaan parantaa tuotannon tuottavuutta merkittävästi.

Tutkimuksen perusteella voitiin päätellä, että yritysten välisessä tavassa mitata ja kehittää tuotannon tuottavuutta on suuria eroja. Suuret ja kasvavat yritykset pyrkivät kehittämään tuottavuuden parantamisessa ja pyrkivät tekemään sitä kaikin keinoin. Pienemmät yritykset taas tyytyvät kehittämään konekantojaa ja jättävät tuotannon optimoinnin suunnittelun vähemmälle.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
LUT Mechanical Engineering

Markus-Mikko Kylmä

### **Contributing factors in productivity of sheet metal small series production.**

Bachelor's thesis

2017

43 pages, 18 figures and 1 appendice

Examiner: D. Sc. (Tech.) Mika Lohtander

Supervisor: D. Sc. (Tech.) Mika Lohtander

Keywords: sheet metal, productions productivity, working processes

In this research the aim was to clarify the contributing factors of productivity development in sheet metals small series production and development of productivity in Finland during last ten years. In this work there was research of different kind of working methods for sheet metals and ways to improve production. The work also clarified the ways that Finnish companies use for measuring and developing their productions productivity.

In this work there is literature research and survey. The literature research tried to figure out the biggest effectives in productions productivity and specially to find out what are the most efficient working methods in small series production of sheet metals. The survey is made based on literature research and it tries to figure out the ways productivity has changed in Finnish companies and how they measure and improve their productivity.

With this research it got figured out how it is most reasonable to product sheet metals in small series? The used methods should have short setting times between the series or the settings should be able to be done during the machine is working. There was also figured out that different kinds of optimization methods of production like lean, can improve the productivity significantly.

Based on the research it can be deduced that there are big difference how different companies measure and improve their productions productivity. Big and developing companies tries to improve their productivity with all possible ways. While small companies only change their machinery, and do not focus on developing the optimization of their production.

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### SISÄLLYSLUETTELO

### LYHENNELUETTELO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>JOHDANTO</b> .....                             | <b>7</b>  |
|          | 1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....   | 7         |
|          | 1.2 Tutkimuksen rajaus ja tutkimusmenetelmät..... | 7         |
| <b>2</b> | <b>TUTKIMUSMENETELMÄT</b> .....                   | <b>9</b>  |
| <b>3</b> | <b>OHUTLEVYJEN TYÖSTÖ</b> .....                   | <b>10</b> |
|          | 3.1 Leikkaaminen.....                             | 10        |
|          | 3.2 Muovaus ja taivutus .....                     | 14        |
|          | 3.3 Levytyökeskus .....                           | 18        |
|          | 3.4 Liittäminen.....                              | 19        |
|          | 3.4.1 Hitsausliitokset.....                       | 19        |
|          | 3.4.2 Juotto.....                                 | 27        |
|          | 3.4.3 Mekaaninen liitos.....                      | 28        |
| <b>4</b> | <b>TUOTANNON TEHOSTAMINEN</b> .....               | <b>31</b> |
|          | 4.1 Lean .....                                    | 31        |
|          | 4.2 FMS .....                                     | 33        |
| <b>5</b> | <b>KYSELYTUTKIMUS</b> .....                       | <b>34</b> |
| <b>6</b> | <b>TULOKSET</b> .....                             | <b>36</b> |
| <b>7</b> | <b>JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA</b> .....           | <b>38</b> |
| <b>8</b> | <b>YHTEENVETO</b> .....                           | <b>40</b> |
|          | <b>LÄHTEET</b> .....                              | <b>41</b> |
|          | <b>LIITTEET</b> .....                             | <b>5</b>  |

**LYHENNELUETTELO**

|         |  |
|---------|--|
| FMS     | Flexible material system                 |
| MIG     | Metal inert gas                          |
| MAG     | Metal active gas                         |
| Nd: YAG | Neodymium-doped yttrium aluminium garnet |
| TIG     | Tungsten inert gas                       |

## 1 JOHDANTO

Teräsohutlevyksi voidaan määritellä teräslevy, jonka ainevahvuus on maksimissaan 3 millimetriä. Ohutlevyt voidaan jakaa materiaalin, pinnoituksen, valssaus menetelmän sekä muovattavuuden mukaan. (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä & Hultin 2011, s. 7.)

Tuotannon tuottavuutta ajatellessa ensin hyvä pohtia millaisilla mittareilla tuottavuutta mitataan. Onko eri yrityksissä käytössä samanlaiset tunnusluvut? Voiko näitä tunnuslukuja jotenkin vertailla? Ja mikä käytössä olevista tunnusluvuista kuvaa parhaiten tuotannon tuottavuutta?

### 1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Työn tavoitteena on tutkia ohutlevytuotannon, ja erityisesti sen piensarjatuotannon, tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä ja näiden tekijöiden vaikutusta tuotannon tuottavuuteen. Lisäksi työssä pyritään selvittämään, miten tuotannon tuottavuus on käytännössä muuttunut suomessa viimeisen kymmenen vuoden aikana ja mitkä tekijät siihen todellisuudessa ovat vaikuttaneet? Tutkimuskysymykset:

1. Miten ohutlevyjen piensarjatuotannon tuottavuus on muuttunut suomessa viimeisen kymmenen vuoden aikana?
2. Mitkä tekijät ovat vaikuttaneet ohutlevyjen piensarjatuotannon tuottavuuden muutoksiin?
3. Miten suomalaiset ohutlevy-yritykset mittaavat ja kehittävät tuotantonsa tuottavuutta?

### 1.2 Tutkimuksen rajaus ja tutkimusmenetelmät

Ohutlevytuotannon tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä on useissa eri tuotannon vaiheissa. Tässä työssä keskitytään pohtimaan suunnittelun jälkeisiä vaiheita ja täten itse kappaleen suunnittelun vaikutukset rajataan pois. Työssä tutkitaan erilaisia ohutlevyjen muokkaavia työstömenetelmiä sekä työn organisoinnin menetelmiä.

Ohutlevytuotannon tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä tutkitaan työn kirjallisuuskatsauksessa. Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on selvittää suurimmat vaikuttajat tuotannon tuottavuuden kehityksessä ja mahdollisesti selvittää kuinka suuri

vaikutus näillä ominaisuuksilla todellisuudessa on. Lisäksi työhön kuuluu kyselytutkimus, jossa erinäisiltä ohutlevytuotannon yrityksiltä ja konsulteilta kysytään minkälaisia muutoksia he ovat tehneet tuotannossaan viimeisen kymmenen vuoden aikana ja miten ne ovat vaikuttaneet heidän tuotantonsa tuottavuuteen?

## 2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä työssä käytettäviä tutkimusmenetelmiä ovat kirjallisuustutkimus ja kyselytutkimus. Kirjallisuustutkimusta tehdään ohutlevyjen työstömenetelmistä ja tuotannon tehostamiseen vaikuttavista tekijöistä, kuten lean-periaatteen käytöstä ohutlevytuotteiden valmistuksessa. Kirjallisuustutkimus on pääosin kvalitatiivista tutkimusta. Lähdemateriaalina kirjallisuustutkimuksissa käytetään aiheesta kertovaa kirjallisuutta, yritysten kuvauksia työstömenetelmistä sekä Lappeenrannan teknillisen yliopiston Finnerlut-tietokannasta löytyneitä tieteellisiä tekstejä.

Kyselytutkimuksessa pyritään kirjallisuustutkimuksen pohjalta esittämään joukolle suomalaisia ohutlevy-yrityksiä ja tuottavuuden tehostamiseen keskittyville konsulteille sellainen kysymyssarja, että saataisiin kvalitatiivisen tutkimuksen rinnalle kvantitatiivista tutkimusta. Näin ollen saataisiin konkreettisia lukuarvoja, joiden avulla voitaisiin tulkita ohutlevyjen piensarjatuotannon tuottavuuden kehitystä.



### 3 OHUTLEVYJEN TYÖSTÖ

Ohutlevyjä voidaan työstää usealla eri tavalla. Useita näistä työstömenetelmistä joudutaan tekemään yksittäin, omilla koneillaan ja sitten siirtämään työstettävä aihio seuraavaan koneeseen. Joitakin toimintoja voidaan myös yhdistellä ja tehdä niitä esimerkiksi levytyökeskuksilla tai erilaisilla työlinjastoilla. Tässä kappaleessa tutustutaan erilaisiin ohutlevyjen työstötapoihin ja niiden eroihin tuottavuuden ja työstön tehokuuden näkökulmasta. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 1985, s.232.)

#### 3.1 Leikkaaminen

Ohutlevyjen leikkausmenetelmät voidaan jaotella kahteen ryhmään. Termiseen leikkaukseen ja mekaaniseen leikkaukseen. Termisessä leikkauksessa levyä lämmitetään, jonka jälkeen siitä poistetaan sula materiaali. Mekaanisessa leikkauksessa levy leikataan käyttäen mekaanista voimaa. Tämä mekaaninen leikkaava voimaa voidaan tuottaa levyyn esimerkiksi erilaisten terien tai vesisuihkun avulla. (Matilainen et al. 2011, s. 142-170.)

Termisiä leikkausmuotoja ovat polttoleikkaus, plasmaleikkaus ja laserleikkaus. Termisten leikkausmenetelmien välisiä eroja ovat leikattavissa olevat materiaalit ja materiaali paksuudet, leikkaustarkkuus, leikkausnopeus, railon ja lämpövyöhykkeen leveys sekä laitekustannukset. Näistä menetelmistä polttoleikkaus sopii parhaiten paksummille 10-300 mm paksuille levyille. Polttoleikkauksessa levy lämmitetään paikallisesti syttymislämpötilaan kuumennuskaasuseoksen tuottamalla liekillä ja sitten varsinainen leikkaus suoritetaan happisuihkulla. Polttoleikkauksen huonona puolena on suuri lämpövaikutusvyöhyke. Polttoleikkauksessa leikkaustarkkuus on pienimmillään  $\pm 0,75\text{mm}$ , mutta tyypillisesti se on  $\pm 1,5\text{mm} - \pm 3,0\text{mm}$ . (Matilainen et al. 2011, s. 142-207.)

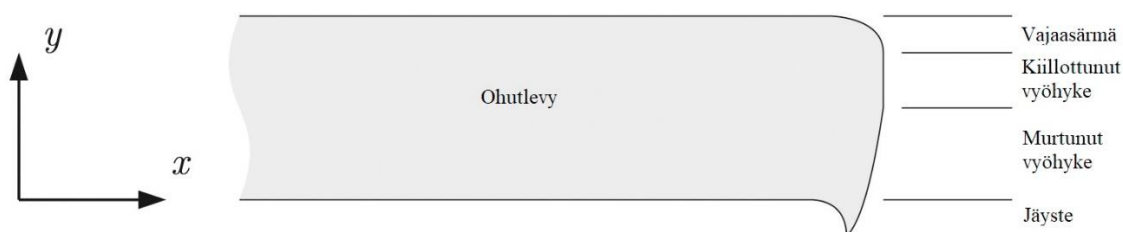
Plasmaleikkaus soveltuu hyvin 3-35 mm paksuille levyille. Plasmalla on mahdollista leikata kaikkia sähköjohtavia rautametalleja. Parhaiten plasmaleikkaus soveltuu haponkestäville ja ruostumattomille teräksille ja alumiiniseoksille. Plasmaleikkauksen toiminta perustuu plasmaleikkaukspolttimen elektrodin ja leikkauspinnan välille syntyvään valoakaareen johdetun plasmakaasun synnyttämään plasmakaareen, joka sulattaa metallin. Sula metalli poistetaan plasmasuihkun avulla. Plasmakaasuna voidaan käyttää muun muassa argonia,

happea, paineilmaa, typpeä, vetyä, ja eri kaasuseoksia kuten hapen ja argonin seosta tai hapen, argonin ja vedyn seosta. Plasmakaarta kuristetaan suuttimella, sekä usein myös jollain toisella kuristusta tehostavalla tavalla. Plasmakaarta kuristamalla saadaan kasvatettua tehotiheyttä riittävästi, jotta leikkaaminen onnistuu. Näitä plasmakaaren kuristusta tehostavia tapoja on monia ja ne antavat erilaisille plasmaleikkaus tavoille nimet. Dual-flow-plasmaleikkauksessa suuttimessa kulkee plasmakaasun lisäksi toinenkin kaasuvirta, joka kuristaa plasmakaarta suuttimen kuristuksen jälkeen jolloin saadaan kasvatettua tehotiheyttä. Vesistabiloitu plasmaleikkaus toimii lähes samalla tavalla kuin dual-flow-plasmaleikkaus, mutta toisen kaasun sijaan suuttimessa kulkeva vesisuihku kuristaa plasmakaarta. Tavanomaisessa plasmaleikkauksessa, happiplasmaleikkauksessa ja paineilmaleikkauksessa plasmakaaren kuristamiseen käytetään ainoastaan suutinta. Tavanomaisessa plasmaleikkauksessa plasmakaasuna voidaan käyttää kaikkia normaaleja plasmakaasuja, happiplasmaleikkauksessa käytetään happea ja paineilmaplasmaleikkauksessa paineilmaa. Happiplasmaleikkausta ja paineilmaplasmaleikkausta käytetään seostamattomien metallien leikkaukseen ja molemmissa menetelmissä huonona puolena on leikkauspinnan reunojen mahdollinen hapettuminen ja tytetyminen. Lisäksi on olemassa vedenalainen plasmaleikkaus jossa leikattava materiaali ja plasmaleikkuri suutin ovat veden alla. Tällöin voidaan hyödyntää veden jäähditys ominaisuutta ja plasmaleikkauksessa aiheutuva melu on huomattavasti pienempi. Hienosädeplasmaleikkauksessa plasmakaarta kuristetaan hienovaraisesti säädetyllä kaasuvirtauksella, jonka avulla plasmakaaresta saadaan tiiviimpi kuin muissa plasmaleikkausmenetelmissä. Näin saadaan varsinkin pienillä levypaksuuksilla hyvä leikkaustarkkuus. Leikkaustarkkuus on minimissään  $\pm 0,025\text{mm}$  mutta normaalisti  $\pm 0,5\text{mm}$  -  $\pm 1,0\text{mm}$ . (Matilainen et al. 2011, s. 149-207.)

Laserleikkauksessa lasersäde sulattaa tai höyrystää leikattavan pinnan ja laserin kanssa samansuuntainen laseria ympäröivä leikkauskaasu poistaa laserin sulattaman tai höyrystämän materiaalin. Laserleikkauksen eri muotoja ovat polttoleikkaus, sulattava leikkaus ja höyrystävä leikkaus. Laserpolttoleikkauksessa eli laser-happi-leikkauksessa laser kohdistetaan materiaalin pintaan. Hapen ja materiaalin välistä reaktiota hyödyntäen saadaan lisätehoa laserille, josta syntyvän energian avulla voidaan suorittaa laserpolttoleikkaus. Leikkauksen aikana leikkaus pintaan syntyy oksidikerros joka parantaa pintaan muodostuvan sulan liikkuvuutta. Sulattavassa laserleikkauksessa materiaali sulatetaan

lasersäteellä ja puhalletaan pois kaasuseoksella. Kaasuseos myös suojaa leikattavaa materiaalia ilman aiheuttamalta hapettumiselta. Höyrystävä laserleikkaus toimii hyvin samantyyppisesti kuin sulattava laserleikkaus. Höyrystävässä laserleikkauksessa erona on se, että leikattava pinta pyritään höyryttämään tiheällä laserin tehosiheydellä ja pulssitetulla tehonsyötöllä. Höyrystävää laserleikkausta käytetäänkin useimmiten muille kuin metallikappaleille, mutta on sitä mahdollista käyttää myös metalleille ja sillä saakin ohuissa materiaaleissa aikaan tarkkaa leikkausjälkeä. Erilaisia laserjärjestelmiä laserleikkauksessa ovat CO<sub>2</sub>-laser ja Nd: YAG-laser (neodymium-doped yttrium aluminium garnet). Hiilidioksidilaser on näistä yleisemmin käytössä oleva leikkuulaser. Hiilidioksidilaser soveltuu mainiosti tasoleikkaukseen ja sen mahdollisuus lasersäteen pulssitukseen mahdollistaa tarkkojen muotojen leikkaamisen. Nd: YAG-laserin ohjailussa mahdollisuus optisen kuidun käyttöön on kuitenkin lisännyt sen käyttö erityisesti vaativissa käyttökohteissa erityisesti 3D-laserleikkauksessa. Laserleikkauksen leikkaustarkkuus on parhaimmillaan  $\pm 0,025\text{mm}$ , mutta tyypillisesti  $\pm 0,1\text{mm}$ . (Steen & Mazumder 2010, s. 131-198)

Mekaanisessa leikkauksessa aihiota leikataan terän tai lävistimen avulla. Useimmiten erilaisten terien avulla leikataan aihio haluttuun muotoon ja lävistimen avulla voidaan tehdä aihion erilaisia reikiä. Mekaanisessa leikkauksessa leikkauspintaan syntyy erilaisia alueita. Näitä alueita on vajaasärmä, kiillottunut vyöhyke, murtunut vyöhyke ja jäyste. Erilaisia mekaanisen leikkauksen menetelmiä ovat suuntaisleikkaus ja lävistäminen. (Ihalainen et al. 1985, s.252-254.)



**Kuva 1.** Mekaanisesti leikattu pinta. (Gustafsson, Oldenburg & Jansson 2016, s.173, Muokattu.)

Suuntaisleikkauksessa leikattava levy jää kahden leikkaavan terän väliin. Suuntaisleikkausta on kolme eri tyyppiä. Yhdensuuntaisessa leikkauksessa terät ovat kohtisuorassa toisiinsa

nähdän. Viistoleikkauksessa toinen teristä, yleensä ylempi, on pienessä yleensä noin kahden asteen kulmassa toiseen terään nähden. Heilurileikkauksessa toinen teristä on kiinnitetty ympyrärataa kulkevaan heiluriin. Yhdensuuntainen leikkaus kuluttaa leikkurin teriä huomattavasti nopeammin kuin vinoleikkaus tai heilurileikkaus, joissa terät ja leikattava levy hioutuvat vähemmän toisiaan vasten. (Ihalainen et al. 1985, s.252-254.)

Lävistyksessä käytetään työkaluparia jotka ovat lävistystyökalu eli pistin ja vastintyökalu eli tyyny. Lävistyksessä leikattava levy asetetaan tyynyn päälle jota kohti pistin alkaa työntymään aiheuttaen leikattavaan materiaaliin ensin kimmoisaa venymistä sitten plastista venymistä ja lopulta murtumisen. Lävistyksellä tehdään useimmiten erilaisia reikiä aihioihin, mutta sitä voidaan käyttää myös aihion ulkoreunojen leikkaamiseen. Tällöin lävistetään useita reikiä vierekkäin, kyseistä metodia kutsutaan nakertamiseksi. Yhdellä työkaluparilla ei pystytä tekemään kuin yhdenlaisia reikiä. Tämän takia lävistystyökalut ovat nykyään usein osana levytyökeskusta joissa on mahdollista liittää useita työkalupareja samaan laitteeseen. (Matilainen et al. 2011, s. 179-181.)

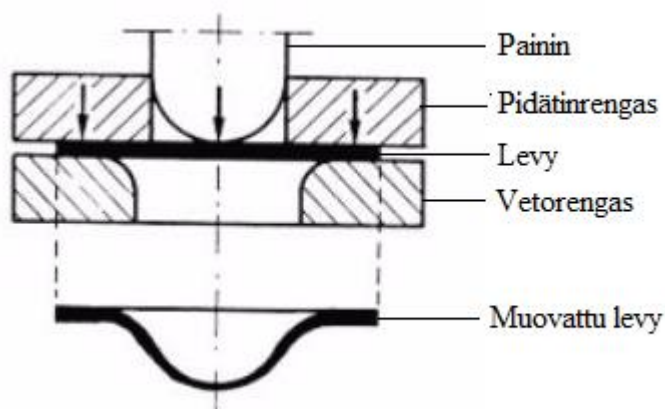
Vesisuihkuleikkaus on aivan omanlaisensa leikkausmenetelmä. Vesisuihkuleikkauksessa kappaletta leikataan joko pelkällä korkeapaineisella vesisuihkulla tai suihkun ja abrasiivin yhdistelmällä. Abrasiivilla tarkoitetaan hienojakoista hiontapartikkelia, joka sekoitetaan suuttimessa korkeapaineistettuun veteen. Abrasiivin avulla vesisuihkuleikkauksella voidaan leikata useita metalleja. Pelkällä vedellä ei voida leikata metalleja vaan leikkaaminen rajoittuu pienemmän lujuuden omaaviin materiaaleihin. Vesisuihkuleikkauksessa vesisuihku ja mahdollisesti käytettävä abrasiivi kohdistetaan leikkaus pintaan, joka kuluu abrasiivien ansiosta pois. Vesisuihkuleikkauksen leikkauspinnan tarkkuus on tarkimmillaan  $\pm 0,025\text{mm}$  -  $\pm 0,075\text{mm}$  mutta todellisuudessa käytännössä se on noin  $\pm 0,2\text{mm}$ . Ilman abrasiivia hieman parempi yleensä  $\pm 0,1\text{mm}$  -  $\pm 0,2\text{mm}$ . (Matilainen et al. 2011, s. 193-195.)

Polttoleikkausmenetelmistä laserleikkaus on hyvä ja yleispätevä ohutlevymateriaaleille. Se toimii kaikille muoveille ja puille sekä lähes kaikille metalleille, pois lukien erittäin heijastavat metallit. (Matilainen et al. 2011, s. 205-209.) Plasma sopii kaikille metalleille ja onkin noin neljä kertaa edullisempien investointikustannuksien vuoksi suositeltavampi kuin laser, jos laserin antamaa leikkaustarkkuutta ei vaadita (Tesko Laser Division 2017a). Polttoleikkaus soveltuu paremmin ohutlevyjä paksummille materiaaleille (Tesko Laser

Division 2017b). Vesisuihkuleikkaus on parhaimmillaan, jos ei haittaa että, materiaali kastuu ja silloin kun leikataan useista eri aineista koostuvia materiaaleja tai silloin kun materiaaliin ei saa tuoda lämpöä. Vesisuihkuleikkaus antaa yhtä hyvän leikkaustarkkuuden kuin laserleikkaus mutta se on hitaampaa etenkin teräviä kulmia leikatessa. Vesisuihkuleikkauksessa melusaaste on myös huomattavasti laserleikkausta suurempi. (Tesko Laser Division 2017c.) Mekaanisista leikkausmenetelmistä suuntaisleikkaus toimii hienosti, jos leikataan pelkästään suoria leikkauksia kappaleen ulkoreunoihin ja lävistäminen toimii parhaiten aihioihin, joihin tehdään useita tietyn muotoisia reikiä. (Matilainen et al. 2011, s.170-209.)

### 3.2 Muovaus ja taivutus

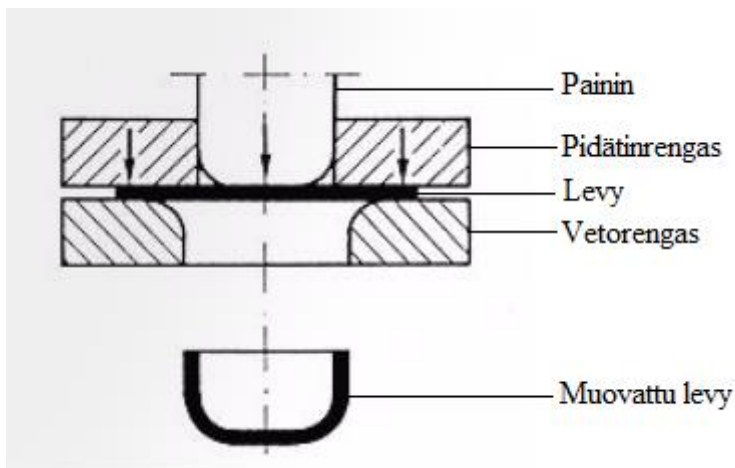
Venytysmuovauksessa ohutlevy muovataan astiamaiseksi kappaleeksi. Venytysmuovauksessa levy asetetaan työkaluparin väliin. Levyn liikkuminen estetään vetorenkaan ja pidätinrenkaan avulla. Kun levy on kiinnitetty, painin venyttää levyn haluttuun muotoon. Venytysmuovauksen periaate ja esimerkki tuotteen mahdollisesta muodosta on esitetty kuvassa 2. Venytysmuovauksessa levymateriaalin seinämäpaksuus pienenee venytetyltä alueelta. (Matilainen et al. 2011, s.226-227.)



**Kuva 2.** Venytysmuovauksen periaate (Kivivuori 2011, Muokattu.).

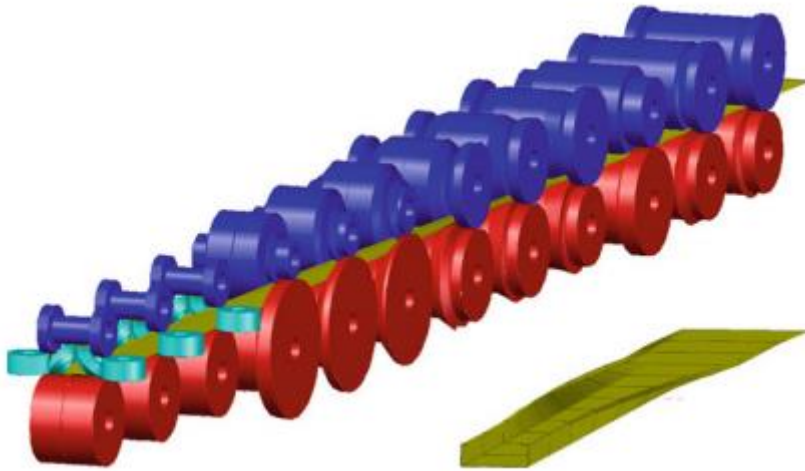
Ohutlevyjen syvävedo toimii hyvin samankaltaisesti kuin venytysmuovaus. Syvävedossa levyä ei puristeta paikoilleen vaan levy pääsee liukumaan puristuksen aikana. Tämä mahdollistaa sen, että syvävedolla valmistettavien tuotteiden seinämäpaksuus pysyy entisellään tai lähes entisellään. Syvävedon periaate ja esimerkki tuotteen mahdollisesta

muodosta on esitetty kuvassa 3. Syvävedolla tehtävissä tuotteissa korkeuden suhde halkaisijaan on rajoitettu. Yhdellä syvävedolla ei siis voida valmistaa äärettömän syvää kappaletta, mutta kappaletta voidaan työstää lisää ja tehdä niin sanottu jatkoveto. Ennen jatkovetoa kappaletta joudutaan lämmittämään materiaalin uudelleenkiteytyminen lämpötilan yli. Jatkovedon lisäksi syvävedettyä kappaletta voidaan jatko työstää kääntövedolla. Kääntövedossa uusi veto tulee ensivetoon nähden vastakkaiselta puolelta. Syvävedossa tapahtuvia virheitä ovat tavallisimmin murtuminen, rypytyminen, naarmuuntuminen ja paikalliset kuroumat. Virheet johtuvat useimmiten työkaluista tai levy materiaalin epätasalatuudesta. (Ihalainen et al. 1985, s.239-242.)



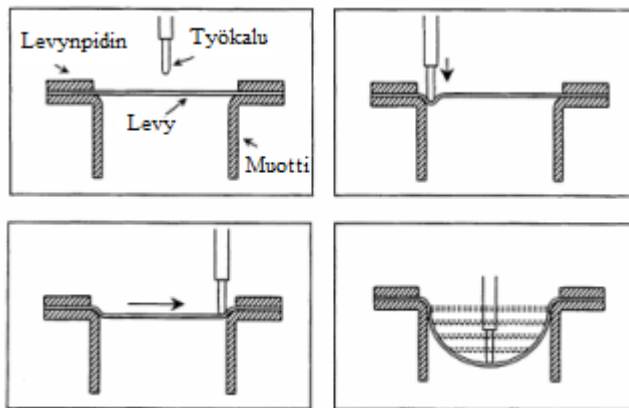
**Kuva 3.** Syvävedon periaate (Kivivuori 2011, Muokattu.).

Rullamuovaus on kylmämuovausmenetelmä, jossa ohutlevystä tehdään useiden rullien avulla profiilia kuvan 4 mukaisesti. Ohutlevyä syötetään kelalta jatkuvana nauhana peräkkäisten rullien läpi. Rullat muovaavat ohutlevynauhaa vaihe vaiheelta levymäisestä muodosta kohti halutun profiilin muotoa. Muovaus suoritetaan siten, että levyn seinämäpaksuus ei merkittävästi muutu. Rullamuovauksen etuna on mahdollisuus muiden prosessointimuotojen liittämistä rullamuovauslinjastoon. Esimerkiksi lävistämistoimenpiteitä ja hitsausta on helppo yhdistää rullamuovauksen kanssa. Rullamuovauksella on mahdollista tehdä varsin monimutkaisikin profiileja prosessin monivaiheisuuden ansiosta. Monivaiheisessa rullamuovausprosessissa tuotteeseen jää helposti jäännösjännityksiä, jotka ilmenevät muotovirheinä tuotteen katkaisuvaiheessa. Rullamuovatuissa tuotteissa esiintyy paljon muotovirheitä. Yksittäiseen profiiliin voidaan tehdä vaihtelua muuttelemalla rullien liikkeitä prosessin aikana (Nee 2015, s.285-307.).



**Kuva 4.** Rullamuovauksessa useiden rullien sarja tekee levystä halutun profiilin (Nee 2015.).

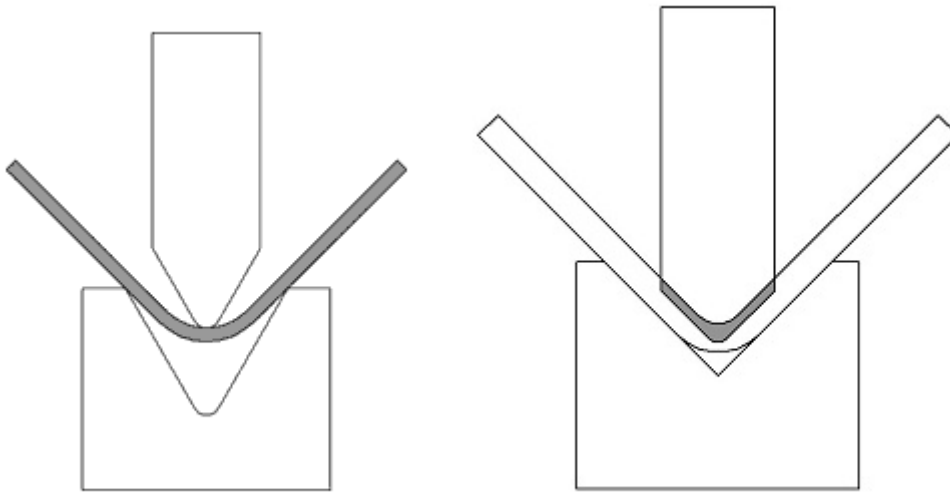
Inkrementaalimuovaus on kylmämuovaus menetelmä, jota voidaan soveltaa prototyyppien ja pienten sarjojen valmistuksessa. Inkrementaalimuovauksessa levyä muokataan käyttäen levynpidintä, muokkaustyökalua ja muottia tai kiinteää tukea. Levynpidin pitää levyaihion paikoillaan koko muovauksen ajan. Muokkaustyökalu painelee levyä haluttuun muotoon vaihe vaiheelta. Levyä painetaan tarvittavalla voimalla, jotta levymateriaaliin syntyy pysyvää muodonmuutosta. Muotti tai tuki tukee levyn reunoja alueelta jota ei haluta muovata. Tämä periaate on esitetty kuvassa 5. Inkrementaalimuovaus on joustava, ja helposti muokattavissa oleva menetelmä, mutta melko hidaskin verrattuna esimerkiksi syvävetoon. Esimerkiksi syvävetoon verrattuna inkrementaalimuovaus on todella edullista. Koska inkrementaalimuovauksen kulut ovat vain noin 5-10% syvävedon kuluista on se pienissä sarjoissa kannattavampaa kuin syväveto, vaikka onkin huomattavasti hitaampaa. (Lamminen et. al. 2004, s.8-21)



**Kuva 5.** Inkrementaalimuovauksen periaate (Lamminen et. al. 2004, Muokattu.).

Särmäys on levyn taivuttamista. Särmäyskoneiden leveydet voivat vaihdella yhden ja kymmenen metrin välillä. Särmäyksellä tehdään pitkiä suorita taivutuksia. Särmäyksessä levy asetetaan ala- ja ylätyökalujen väliin ja sitten ylätyökalu puristetaan kohti alatyökalua samalla aiheuttaen levyn taipumisen. Levyn taivutus voidaan tehdä joko vapaataivutuksena tai pohjaaniskutaivutuksena. Vapaataivutuksessa ylätyökalua ei viedä niin pitkälle että levy muotoutuisi alatyökalun pohjan mukaisesti. Pohjaaniskutaivutuksessa puolestaan ylätyökalu työntää levyn alatyökalun pohjaan ja levy muotoutuu sen mukaisesti. Vapaataivutus ja pohjaaniskutaivutus on esitelty kuvassa 6. Särmätessä on huomioitava taivutukseen vaadittava voima, levyn takaisin jousto ja aihiossa tapahtuvat mitta muutokset. Taivutusvoimaan vaikuttavat levyn pituus sekä paksuus, käytettävien työkalujen koko ja muoto sekä levyn murtolujuus. Nämä asiat on hyvä ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, varsinkin jos tiedetään millaiset laitteet ovat käytettävissä. Takaisinjoustolla tarkoitetaan sitä taivutetun kulman muutosta, joka tapahtuu sen jälkeen, kun kappale ei ole enää vaikutuksessa särmäimen kanssa. Levyssä vaikuttavat sisäiset jännitykset pyrkivät palautumaan levyn alkuperäiseen muotoonsa. Takaisinjousto ilmiöstä johtuen levyä joudutaan taivuttamaan enemmän kuin mitä taivutuksen halutaan lopullisessa kappaleessa olevan. Taivuttaessa huomioon otettavilla mittamuutoksilla tarkoitetaan useimmiten oikaistun pituuden huomioimista. Jotta valmis kappale olisi oikeissa mitoissa on aihiolle laskettava oikaistu pituus. Isolla taivutussäteellä taivuttaessa oikaistupituus on sama kuin valmiin kappaleen laippojen pituudet, mutta mikäli taivutus säde on pienempi kuin levynpaksuus kerrottuna 50 on oikaistu pituus laippojen yhteenlaskettua pituutta pienempi. Tämä johtuu siitä, että pienellä taivutussäteellä taivuttaessa levy materiaali venyy taipteen kohdalta. (Matilainen et al. 2011, s. 240-250.)



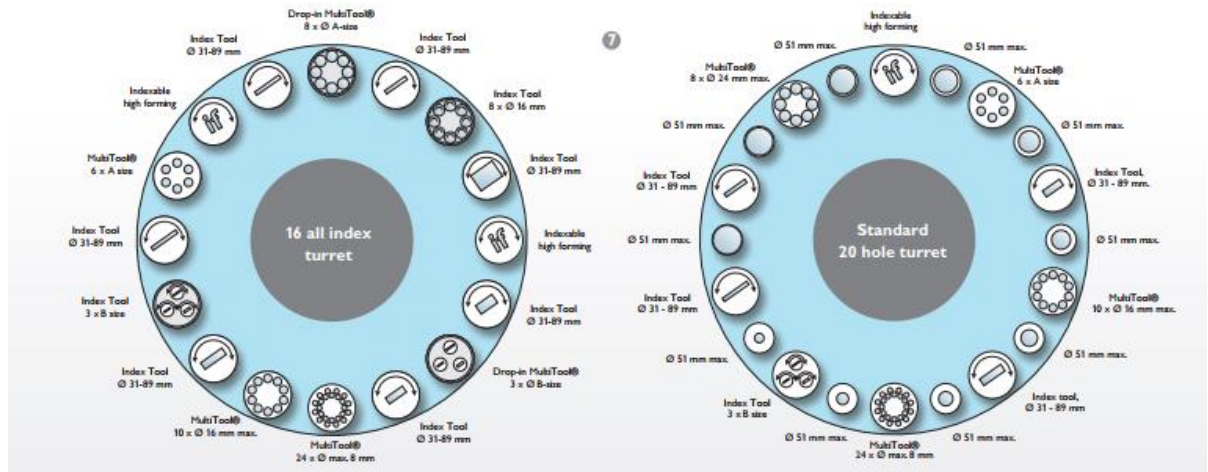


**Kuva 6.** Kuvassa vasemmalla vapaataivutus ja oikealla pohjaaniskutaivutus (Sheetmetal.me 2015.).

### 3.3 Levytyökeskus

Levytyökeskuksella tehdään erilaisia lävistyksiä, muovausta ja leikkauksia ohutlevy tuotteeseen. Levytyökeskuksesta riippuen voidaan työstää levyjä 0,5mm-12mm. Useimmiten työstettävät levyt ovat kuitenkin ohutlevyjä ja levypaksuus rajoittuu 1mm-3mm välille. (Ihalainen et al. 1985, s.258-259.) Työstettävän aihion koko vaihtelee koneesta riippuen, mutta voi olla jopa 4300 mm x 1565 mm (Prima Power 2014.). Työstettävä levy kiinnitetään pöytään. Levypitimet siirtelevät levyä työskentelyalueella siten että levytyökaluilla päästään vaikuttamaan haluttuun kohtaan levyä. Levytyökeskuksessa on useita erilaisia työkaluja ja työkalupareja erilaisten lävistysten ja muovausten tekoa varten. Nämä työkalut on kiinnitetty niin sanottuun revolveriin. Revolveri pyörähtää ja iskee oikean työkalun levyyn haluttuun kohtaan etukäteen ohjelmoidun ohjelma mukaisesti. Kuvassa 7 on esitetty kaksi esimerkkiä mahdollisesta revolverityökalusarjasta. (Ihalainen et al. 1985, s.258-260.) Revolverityökalun iskunopeus saattaa nousta jopa 1000 iskuun minuutissa. Lisäksi levytyökeskuksiin on mahdollista liittää useita erilaisia lisätyökaluja kuten lasereita leikkausta tai merkkausta varten, erilaisia kuljettimia toiminnan automatisointia varten tai erilaisia työstöä helpottavia laitteita kuten kulmaleikkuri ja kierteitysasema. Etenkin revolverin lävistystyökalujen, kuljettimien ja laserin yhteisvaikutuksella tehtävät työstöt

yhdistettynä helposti esiohjelmoitaviin tuotantotehtäviin kasvattaa pienissä sarjoissa tehtävien tuotteiden tuottavuutta. (Prima Power 2017.)



**Kuva 7.** Esimerkkikuva kahdesta mahdollisesta revolverityökalusarjasta (Prima Power 2014.).

### 3.4 Liittäminen

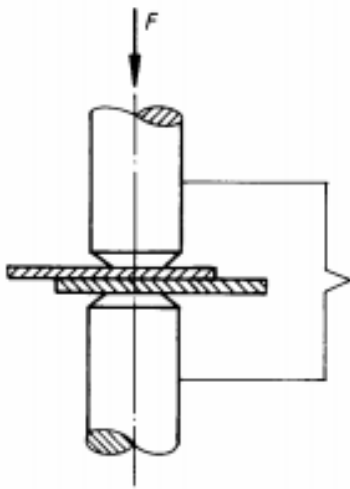
Ohutlevyjen liittämismenetelmät voidaan jakaa neljään ryhmään. Ryhmät ovat hitsausliitos, juotosliitos, liimaliitos ja mekaaninen liitos. Tässä työssä käsitellään hitsausliitoksia, juotosliitoksia ja mekaanisia liitoksia. Näistä hitsausliitos voidaan jakaa yhä puristushitsaukseen ja sulahitsaukseen, sekä mekaaninen liitos kiinnikeliitoksiin ja kiinnikkeettömiin liitoksiin. Valittavaan liitosmenetelmään vaikuttavat käytettävien materiaalien ominaisuudet, lopputuotteelta vaadittavat ominaisuudet ja asennettavuus. (Matilainen et al. 2011, s. 274.)

#### 3.4.1 Hitsausliitokset

Hitsausliitokset voidaan jakaa puristus ja sulahitsaukseen. Puristushitsaus voidaan yhä jakaa useisiin eri osa-alueisiin, mutta koska merkittävin ohutlevyproduktiossa käytettävä puristushitsausmenetelmä on vastushitsaus, käsitellään tässä kappaleessa ainoastaan sen eri muotoja. Vastushitsauksessa hitsattavat kappaleet painetaan yhteen ja niiden läpi johdetaan sähkövirtaa jolloin kappaleet sulavat yhteen usein jopa ilman lisäainetta. Erilaisia

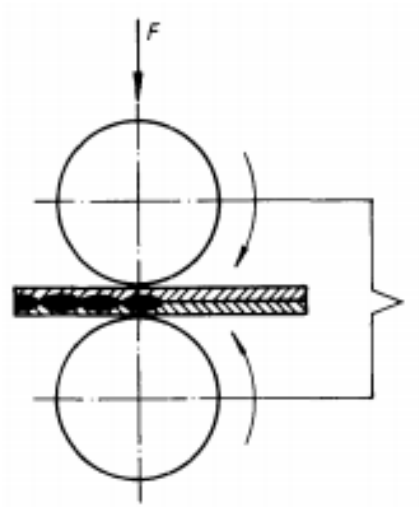
vastushitsaus menetelmiä ovat pistehitsaus, kiekkohitsaus, käsnähitsaus, tyssähitsaus ja leimuhitsaus. (Matilainen et al. 2011, s. 283.)

Pistehitsaus on hitsausmenetelmä, jossa kaksi päällekkäin aseteltua levyä hitsataan yhteen pistemäisellä hitsillä. Hitsaus suoritetaan elektrodeilla jotka puristavat levyjä toisiaan vasten ja sitten johtavat hitsauslämpöön vaadittavan sähkövirran levyjen läpi. Kuvassa 8 on esitetty pistehitsauksen periaate. (SFS 1990.)



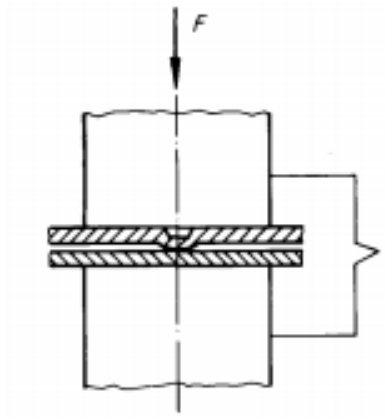
**Kuva 8.** Elektrodit painavat levyjä yhteen ja synnyttävät tarvittavan sähkövirran levyjen liittämiseen (SFS 1990.).

Kiekkohitsaus toimii hyvin samantyyllisesti kuin pistehitsaus, mutta kiekkohitsauksessa levyjä puristavina elektrodeina toimivat kaksi pyörivää kiekkoa kuten kuvassa 9 tai pyörivä kiekkoelektrodi ja kelkkaelektrodi (SFS 1990.). Rullahitsauksella tehdään peräkkäisiä pistehitsejä, jotka voivat tarvittaessa asettaa olemaan niin lähellä toisiaan, että hitsistä tulee jatkuvaa (Matilainen et al. 2011, s. 284-285.).



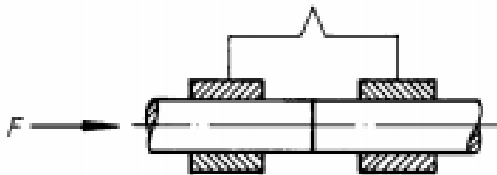
**Kuva 9.** Rullahitsaus kahdella rullalla (SFS 1990.).

Käsnaähitsauksessa hitsaukseen vaadittava sähkövirta johdetaan liitospinnalle tehtyihin yhteen tai useampaan käsnään, jolloin pistehitsiä muistuttava hitsi saadaan keskitettyä haluttuun kohtaan. Käsnaähitsauksessa kuten muissakin vastushitsaus menetelmissä hitsattavia kappaleita puristetaan toisiaan vasten. Käsnaähitsauksen periaate on esitettynä kuvassa 10. Käsnaähitsaus soveltuu hyvin esimerkiksi tappien ja ohutlevyjen yhteen hitsaamiseen. Käsnaähitsauksessa käytettävät elektrodit ovat isoja verrattuna muihin vastushitsausmenetelmiin. Tämä johtuu siitä, että elektrodien on pystyttävä peittämään kaikki hitsattavat käsnät. Tästä johtuen kontaktipinnat ovat suuria joka taas johtaa siihen, että lämmöntuonti on pienempää kuin muissa vastushitsausmenetelmissä. Esimerkiksi muovipinnoitettuja ohutlevyjä voidaan hitsata yhteen niin kutsutulla epäsuoralla käsnähitsauksella. Epäsuorassa käsnähitsauksessa virtaa ei johdeta suoran levyjen läpi vaan se tuodaan epäsuorasti siten että virta ei kulje pinnoitteen läpi. Tällä vältetään pinnoitteen vaurioitumista. (Matilainen et al. 2011, s.285-286.)



**Kuva 10.** Käsnehitsauksen peruseriaate (SFS 1990.).

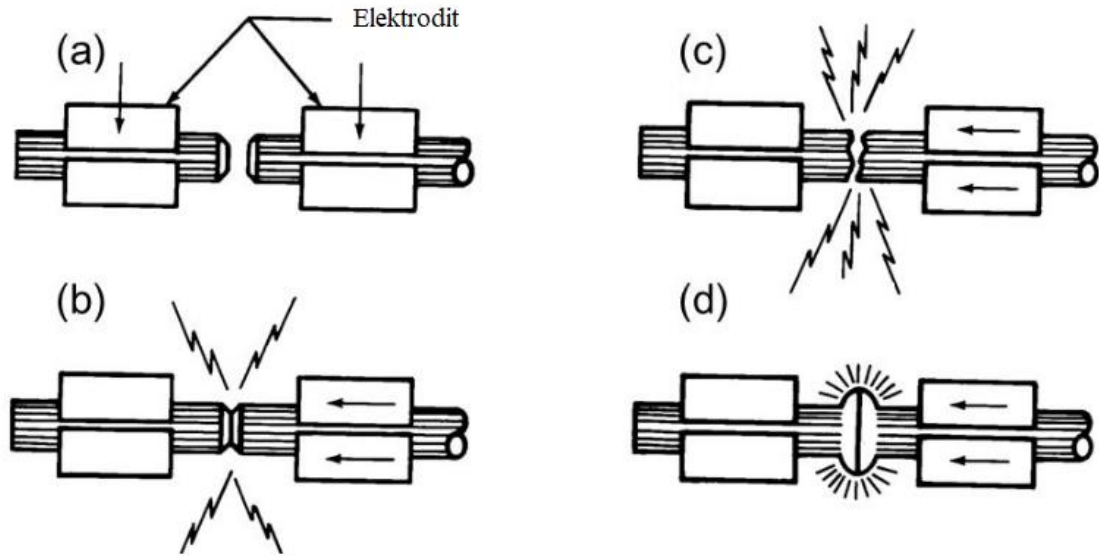
Tyssähitsausta käytetään esimerkiksi tankojen ja putkien päittäisliitoksiin. Tyssähitsauksessa kappaleiden päät puristetaan toisiaan vasten ja sopivasti sijoitetuista elektrodeista saatava sähkövirta johdetaan kappaleiden läpi. Sähkövirta antaa tarvittavan lämpötilan jolla kappaleet hitsautuvat yhteen. Tyssähitsauksen periaate on esitetty kuvassa 11. (Matilainen et al. 2011, s. 286-287.)



**Kuva 5** Tyssähitsaus

**Kuva 11.** Tyssähitsauksen peruseriaate (SFS 1990.).

Leimuhitsaus on hieman saman tyylistä kuin tyssähitsaus, mutta leimuhitsauksessa kappaleet eivät ole jatkuvasti puristettuina toisiaan vasten. Leimuhitsauksessa kappaleiden läpi aletaan kuljettaa sähkövirtaa ja kappaleiden annetaan koskettaa toisiaan siten että niiden välille alkaa syntyä valokaaria. Valokaaret lämmittävät kappaleet hitsauslämpöön ja sitten kappaleet puristetaan toisiaan vasten ja saadaan aikaan hitsausliitos. Kuvassa 12 on esitetty leimuhitsauksen vaiheet, vaihe a on alkutilanne, vaiheessa b aletaan syöttää virtaa ja kappaleiden päät käytetään yhdessä, vaiheessa c valokaari lämmittää kappaleita, vaiheessa d kappaleet on painettu yhteen ja liitos on luotu. (SFS 1990.)

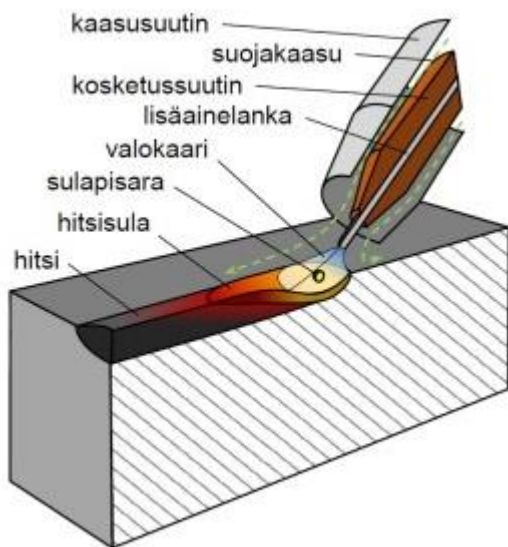


**Kuva 12.** Leimuhitsauksen vaiheet (O'Brien 1991.).

Sulahitsauksessa hitsattavat kappaleet eivät ole samalla lailla puristuksessa kuin vastushitsauksessa vaan kappaleiden liitoskohdat sulatetaan yhteen ja usein käytetään lisäksi lisäainetta liitoksen helpottamiseksi. Sulahitsaukset voidaan jakaa useisiin eri ryhmiin. Tässä työssä käsitellään ohutlevytyöstössä useimmiten käytettäviä menetelmiä ja siten käsittelyssä on kaarihitsaus ja sädehitsaus. Kaarihitsausprosesseista tässä työssä käsitellään kaasukaarihitsausprosesseja. Kaasukaarihitsausprosesseja ovat MIG/MAG-hitsaus, TIG-hitsaus ja plasmahitsaus. (Matilainen et al. 2011, s. 291-292.)

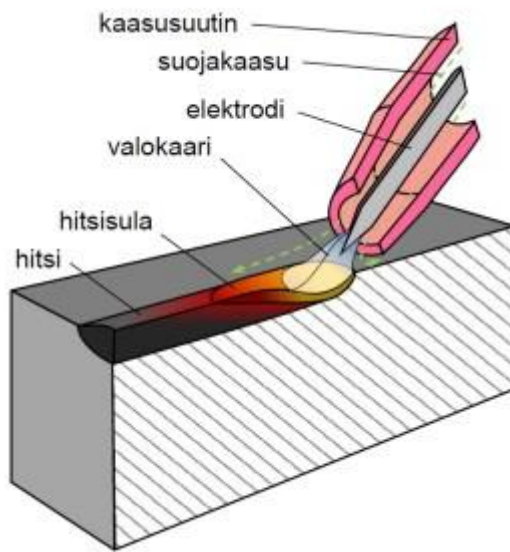
MIG- ja MAG-hitsaus ovat kaasuhitsausprosesseja. Siinä valokaari palaa materiaalin ja lisäainelangan välillä, suojakaasun ympäröimänä. Valokaari sulattaa lisäainelankaa joka siirtyy pisaroina hitsiin. Prosessin periaate on esitetty kuvassa 13. MIG (Metal-Arc Inert Gas Welding) tarkoittaa metallin kaarihitsausta inertillä suojakaasulla. MAG (Metal-Arc Active Gas Welding) puolestaan tarkoittaa metallin kaarihitsausta aktiivisella suojakaasulla. Argon, helium ja niiden seokset ovat inerttejä suojakaasuja. Argonin, hapen ja hiilidioksidin muodostamat yhdistelmät, pois lukien pelkästään hapen ja hiilidioksidin yhdistelmä, ja puhdas hiilidioksidikaasu ovat aktiivisia suojakaasuja. Inertit suojakaasut eivät reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa, kun taas aktiiviset reagoivat. MIG- ja MAG-hitsausprosessien välinen valinta tehdään hitsattavan materiaalin perusteella. Periaatteessa

voidaan sanoa, että MIG-hitsausta käytetään materiaalien hitsauksessa jotka eivät ole terästä ja MAG-hitsausta terästen hitsauksessa mukaan lukien ruostumattomat teräkset. MIG- ja MAG-hitsausprosessit ovat toistensa kanssa samanlaiset, ainoana erona on käytettävä kaasu. MIG- ja MAG-hitsaus ovat hyviä nopeita prosesseja jotka on helppo automatisoida. Lisäaine on edullista ja prosesseilla on hyvä tuottavuus. (Ionix 2017a.)



**Kuva 13.** MIG- ja MAG-hitsausprosessien periaate (Ionix 2017a.).

TIG (Tungsten Inert Gas Arc Welding) tarkoittaa inertillä kaasulla tapahtuvaa volframi kaarihitsausta. TIG-hitsaus on samantyylistä kuin MIG- ja MAG-hitsaus mutta sen sijaan että valokaari syntyisi lisäainelangan ja kappaleen välille, se syntyy sulamattoman volframi-elektrodin ja hitsattavan kappaleen välille. TIG-hitsauksessa ei myöskään ole välttämätöntä käyttää lisäainetta joka sulaisi hitsiin vaan valokaari sulattaa itse materiaalia joka jähmettyessään luo kappaleeseen hitsin. Lisäaineen käyttö on toki mahdollista. TIG-hitsaus on suojattu inertillä suojakaasulla. Prosessin periaate on esitetty kuvassa 14. (Ionix 2017b.) Hyvän lämmöntuonnin, sulan ja tunkeuman hallinnan vuoksi TIG-hitsaus sopii hienosti ohuille materiaalipaksuuksille ja optimaalisin materiaalipaksuus onkin 0,5mm-0,6mm (Matilainen et al. 2011, s. 294.).

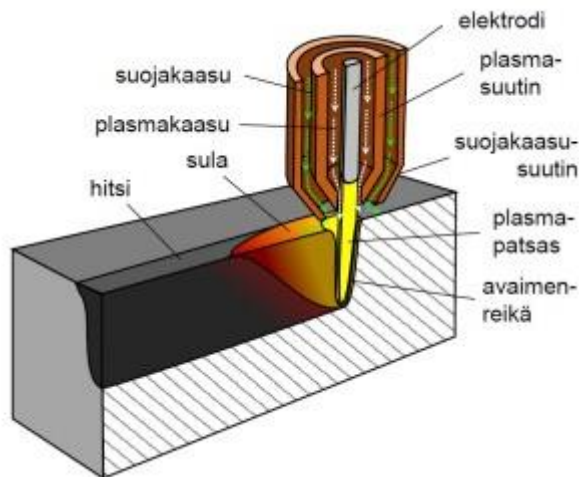


**Kuva 14.** TIG-hitsauksen periaate, kun ei käytetä lisäainetta (Ionix 2017b.).

Plasmahitsaus on TIG-hitsausta muistuttava kaasukaarihitsausprosessi. Plasmahitsaus perustuu suuttimessa olevan katodina toimivan, usein volframista valmistetun, elektrodin ja anodina toimivan kappaleen välille syntyvään valokaareen. Plasmahitsauksen valokaari kuitenkin on kuroutetaan suuttimessa, suuremman energiatihedden saavuttamiseksi. Plasmahitsauksen periaate ja suuttimen rakenne on esitetty kuvassa 15. Verrattaessa TIG-hitsaukseen plasmahitsauksen jopa kymmenkertaisen valokaaren energiatihedden ansioista plasmahitsausta voidaan soveltaa lävistävään hitsaukseen. Plasmahitsaus voidaankin jaotella lävistävään eli niin kutsuttuun avaimenreikähitsaukseen ja sulattavaan hitsaukseen. Sulattavana hitsauksena plasmahitsaus on hyvin samanlaista kuin TIG-hitsaus. Avaimenreikähitsauksessa plasma lävistää koko kappaleen ja plasmasäteen edetessä sula materiaali kiertää reiän taakse luoden hitsin. Näistä metodeista sulattava hitsaus sopii paremmin ohutlevyille ja avaimenreikähitsaus yli 3mm paksuille kappaleille. Plasmahitsauksessa ei tyypillisesti käytetä lisäainetta mutta niitä voidaan käyttää joissain tapauksissa. Plasmahitsauksessa käytetään usein plasmakaasuna argonia tai argonia ja siihen muutaman prosentin verran seostettua vetyä, koska argonin ionisoitumisenergia on matala, ominaispaino on suuri ja se on inerttiä. Plasmahitsauksessa käytetään suojakaasua. Suojakaasuna käytetään usein samaa kaasua kuin plasmakaasuna ja täten yleisin suojakaasu on argon. Plasmahitsaus on hyvin tarkka hitsaus menetelmä ja se vaatii tarkan railon. Menetelmän tarkkuuden vuoksi se on usein mekanisoitu tai automatisoitu, mutta se voidaan myös suorittaa käsin hitsauksena. Plasmahitsauksen etuina voidaan pitää suurehkoa



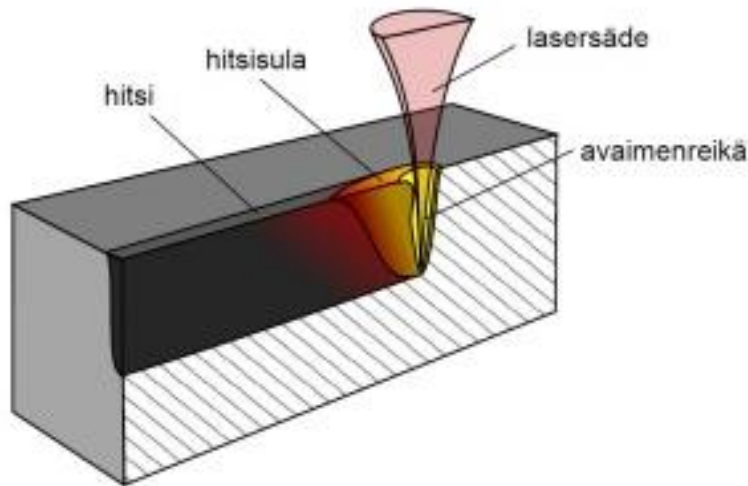
hitsausnopeutta, erinomaista laatua, roiskeettomuutta ja sitä että kappaleessa ei tapahdu suuria muodonmuutoksia. Huonoimpina puolina taas ovat suuret railontarkkuusvaatimukset, juurikaasun käytön tarve ja hitsausparametrien tarkkuudesta johtuva vaativa säätäminen. (Ionix 2017c.)



**Kuva 15.** Plasmahitsauksen periaate ja suuttimen rakenne (Ionix 2017c.).

Sädehitsaus on sulahitsausmenetelmä, jossa suuren energiatihedysten avulla synnytetään tarvittava hitsauslämpö. Sädehitsausmenetelmistä merkittävin ohutlevyteollisuudessa on laserhitsaus. Laserhitsaus voidaan jakaa avaimenreikähitsaukseen, sulahitsaukseen ja pulssihitsaukseen. Lisäksi laseria voidaan hyödyntää erilaisissa hybridihitsausmenetelmissä. Kuvassa 16 on esitetty laserhitsauksen toiminta. Laserilla tehtävä avaimenreikähitsaus toimii samalla tavalla kuin plasmalla suoritettava avaimenreikähitsaus. Sulattavalaserhitsaus tapahtuu periaatteessa samalla tavalla kuin avaimenreikähitsaus, mutta lasersäteiden energiatiheys on pienempi eikä se täten jaksa muodostaa reikää kappaleeseen vaan se lämmittää hitsattavan kappaleen pintaa sulattaen sitä. Sulasta muodostuu sädettä siirrettäessä hitsi. Avaimenreikähitsauksessa railontarkkuusvaatimukset ovat suuret, mutta sulahitsauksessa hitsi on matalampi ja leveämpi, joten railontarkkuuskin on pienempi. Pulssihitsaus toimii kuten sulahitsaus, mutta laserin teho on pulssitettu. Pulssitetulla teholla saadaan kappaleeseen suurempi lasersäteiden energiatiheys, mutta kuitenkin niin että avaimenreikää ei synny. Täten saadaan tarpeesta riippuen aikaan syvempi tunkeuma tai pienempi lämmöntuonti. Pulssihitsaus sopiikin erittäin vaativiin ja tarkkoihin hitsauksiin. Nykyään laserhitsausta suositaan, koska se aiheuttaa vain pieniä muodonmuutoksia

hitsattavassa kappaleessa ja se on erittäin nopea. Laserhitsauksella voidaan hitsata jopa useita metrejä minuutissa. (Matilainen et al. 2011, s. 299-301.)



**Kuva 16.** Laserhitsauksen peruseriaate (Ionix 2017d.).

### 3.4.2 Juotto

Juottamismenetelmät ovat toistensa kanssa hyvin samankaltaisia. Juottamisen periaatteena on yhdistää kaksi kappaletta sulan juotteen avulla, kuitenkin siten että perusaine ei sula. Juottamisessa juotteen sulamislämmön on oltava perusmateriaalin sulamislämpöä alhaisempi. Erilaisia juottomenetelmiä ovat kolviuutto, liekkiuutto, uuniuutto, induktiojuotto, vastusjuotto MIG-juotto ja laserjuotto. (Matilainen et al. 2011, s. 320-324.)

Kolviuutossa liitettäviä pintoja lämmitetään erillisellä juottokolvilla. Kolvilla myös sulatetaan juote, joka levittyy liitospintaan kolvia tasaisesti liikuttaessa. Liekkiuutossa kappaleiden liitoskohtia kuumennetaan liekkien avulla jotka ovat usein pyöriviä. Liekki sulattaa juotteen liitoskohtaan, tämän jälkeen kappale jäähdytetään ja se on valmis. Uuniuutossa kappaleet laitetaan yhteen ja kiinteä juote asetellaan liitoskohtaan. Tämän jälkeen ne liitettävät kappaleet ja juote asetetaan uuniin, jossa ne lämmitetään yli juotteen sulamislämpötilan, mutta alle kappaleiden sulamislämpötilan. Kun juote on sulanut liitospintaan, otetaan valmis kappale pois uunista ja se jäähdytetään, jonka jälkeen liitos on valmis. Induktiojuotossa kappaletta ja juotetta lämmitetään vaihtovirralla toimivan

induktiokelan avulla. Induktiokela sulattaa juotteen kappaleeseen. Vastusjuotto on pistehitsauksen kaltainen toimenpide. Siinä juote asetetaan kappaleiden väliin. Kappaleet puristetaan yhteen ja sitten niiden läpi johdetaan sähkövirtaa joka sulattaa juotteen. MIG-juotto on MIG-hitsauksen tapainen toimenpide, mutta siinä MIG-laitteiston parametrit on säädetty siten että vain laitteen syöttämä lisäainelanka sulaa juotteeksi ja liitettävä materiaali ei sula. Laserjuotossa juote asetellaan liitoskohteen, johon sitten kohdistetaan jatkuva tai pulssitettu lasersäde. Lasersäde sulattaa juotteen ja liitos on valmis. Laserjuotto on nopea ja tarkka menetelmä jossa lämmöntuonti on vähäistä. Se sopiikin hyvin lämpöherkkien materiaalien juottoon ja erilaisiin korjaustöihin. (Matilainen et al. 2011, s. 320-324.)

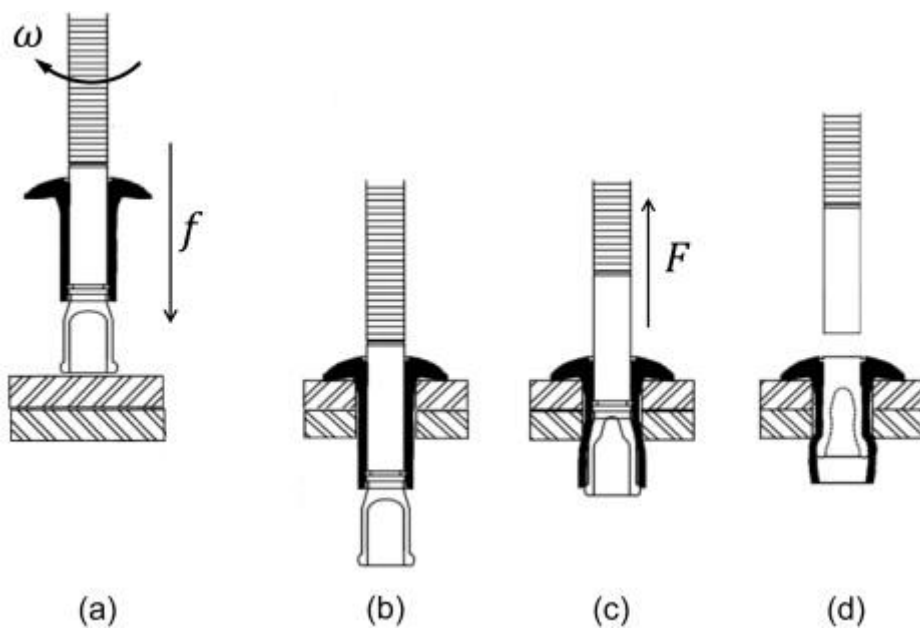
### 3.4.3 Mekaaninen liitos

Mekaaniset liitokset voidaan jakaa kiinnikeliitoksiin ja kiinnikkeettömiin liitoksiin. Kiinnikeliitoksissa käytetään materiaalien yhteen liittämiseen jotain ulkoista liitintä. Kiinnikkeettömissä liitoksissa liittäminen tapahtuu jotakin työstömenetelmää hyödyntäen, kuten puristusmuovausta tai muotoon leikkausta. Kiinnikeliitosten etuna on se, että ne ovat useimmiten avattavissa, kun taas kiinnikkeettömät liitokset eivät ole. (Matilainen et al. 2011, s. 331-341.)

Kiinnikeliitoksia ovat esimerkiksi erilaiset ruuvi, naula ja niittiliitokset. Ruuviliitokset voidaan jakaa tavalliseen ruuviliittämiseen, itsekierteittävään ruuviliittämiseen ja itseporautuvaan ruuviliittämiseen. Perinteisessä ruuviliittämässä ensin porataan reikä, sitten reikä kierteitetään ja lopulta asennetaan ruuvi ja ruuvin vastapuolelle mutteri. Jos reikä jätetään kierteittämättä, voidaan ruuvin ja mutterin avulla tehdä puristekiinnikeliitos. Siinä mutteri kiristetään niin tiukalle, että se pitää levyt paikallaan. Itsekierteittävässä ruuviliitoksessa kappaleisiin tehdään reikä ja ruuvi luo itse kierteen sitä asennettaessa. Itsekierteittävässä ruuviliitoksessa ei tarvitse mutteria. Itseporautuvassa ruuviliitoksessa ruuvissa on niin kutsuttu porakärki, joka tekee reiän kappaleeseen. Itseporautuvassa ruuviliitoksessa ruuvi myös kierteittää reiän, joten kaikki työvaiheet tapahtuvat kerralla. Ruuviliitoksien etuna on niiden helppo avattavuus ja mahdollisuus uudelleen kiinnitykseen. (Matilainen et al. 2011, s. 331-340.)

Naulaliitoksia voidaan tehdä käsin tai ampumalla. Naulaliitoksille ei tarvitse tehdä etukäteen reikää vaan reikä syntyy naulatessa. Naulaliitosta ei voida sen purkamisen jälkeen kiinnittää uudestaan, ainakaan samaan kohtaan. Naulaliitoksia tehdessä on huomioitava liitoksen kohde ja käyttöympäristö, jossa liitos tulee olemaan. Naulan ja liitettävän kappaleen tulisi olla samaa materiaalia ja materiaalien korroosion kestävyys tulisi ottaa huomioon käyttöolosuhteiden mukaan. (Matilainen et al. 2011, s. 335.)

Niittiliitoksia on useita erilaisia. Joissain liitoksissa vaaditaan etukäteen porattu reikä, toisissa taas ei. Osassa niittiliitoksista tarvitaan työkalut molemmille puolille liitosta osassa taas riittää, että työkalun saa vain toiselle puolelle liitettäviä kappaleita. Perusperiaatteena niittiliitoksessa kuitenkin aina on, että levyn läpi asetetaan niitti, joka puristetaan siten että molemmille puolille liitosta muodostuu reikää isommat pullistumat tai kannat. Kuvassa 17 on esitetty esimerkki niittiliitoksesta. Kyseessä on liitos, jossa on yhdistetty kitkahitsaus ja vetoniittiliitos. (Ihalainen et al. 1985, s.330-332.) Kuvan kohdassa (a) niitti porataan yhdistettävien levyjen läpi. Kuvan kohdassa (b) niitti on satu levyjen läpi ja se on valmiina niitattavaksi. Kohdassa (c) työkalulla tehdään vetoliike. Kuvan kohdassa (d) vedon aiheuttama voima on luonut liitoksen kantaa vastakkaiselle puolelle pullistuman, joka yhdessä kannan kanssa puristaa levyjä yhteen. Lopulta vedon voima katkaisee niitin vetokaran ja niittäus on valmis. (Junying, Yongqiang, Jingjing, Carlson & Jianping 2015.)



**Kuva 17.** Vetoniittiliitoksen muodostuminen (Junyinget et al. 2015, Muokattu.).

Kiinnikkeettömiä liitoksia ovat puristusliitokset, taitosliitokset, kielekeliitokset, listaliitokset ja rosette-liitokset. Puristusliitokset tapahtuvat samalla tavalla kuin puristusmuovaus. Liitoksessa vain asetetaan kaksi levyä pistimen ja tyynyn väliin. Puristusliitoksissa käytetään usein tunnettujen valmistajien työkalupareja joiden mukaan kyseiset liitokset ovat saaneet nimensä. Vakioituneiden käytäntöjen takia puristusliitoksista on helppo tehdä luotettavia, tiiviitä ja kestäviä kunhan parametrit on asetettu oikein puristettaville materiaaleille. Taitosliitoksessa liitettävien levyjen päät liitetään yhteen ja ne taivutetaan yhdessä kasaan. Taiveliitoksen kohta on aina vähintäänkin kolme kertaa liitettävää levyä paksumpi. Pitkittäinen taiveliitos voidaan valmistaa rullamuovaamalla. Muuten se tehdään usein painosorvilla tai puristimella. Taiveliitoksesta voidaan saada tiivis, jos sinne liitetään erillinen tiiviste. Taiveliitettävien materiaalien tulee kestää yli 180 asteen taivutus. Kielekeliitoksessa liitettävistä levyistä toiseen tehdään reiät ja toiseen kielekkeet. Sitten levyjä yhteen liittäessä kielekkeet työnnetään rei'istä ja taivutetaan toisen levyn taakse. Kielekeliitokset eivät ole tiiviitä eivätkä ne kestä suurta räsitusta. Listaliitoksissa liitettävät levyt liitetään muotosidonnaisesti erillisen listan avulla. Litat voidaan tehdä useaan eri muotoon ja useista eri materiaaleista. Listat ovat kuitenkin suhteellisen kalliita ja siksi listaliitosta ei käytetä, paitsi silloin kuin muut liitosmenetelmät eivät ole mahdollisia. Rosette-liitoksessa liitettäviin levyihin tehdään reiät. Toiseen levyistä tulee pelkkä reikä ja toiseen reikä ja reiän ympärille kaulus. Levyissä olevat reiät laitetaan yhteen siten että toisessa levyssä olevan reiän ympärillä oleva kaulus asetetaan toisen levyn reiästä läpi. Sen jälkeen molemmista rei'istä työnnetään läpi rosette-työkalu. Kun rosette-työkalu vedetään pois rei'istä se taivuttaa kauluksen reunat sivuille luoden liitoksen. (Matilainen et al. 2011, s. 341-346.)

## 4 TUOTANNON TEHOSTAMINEN

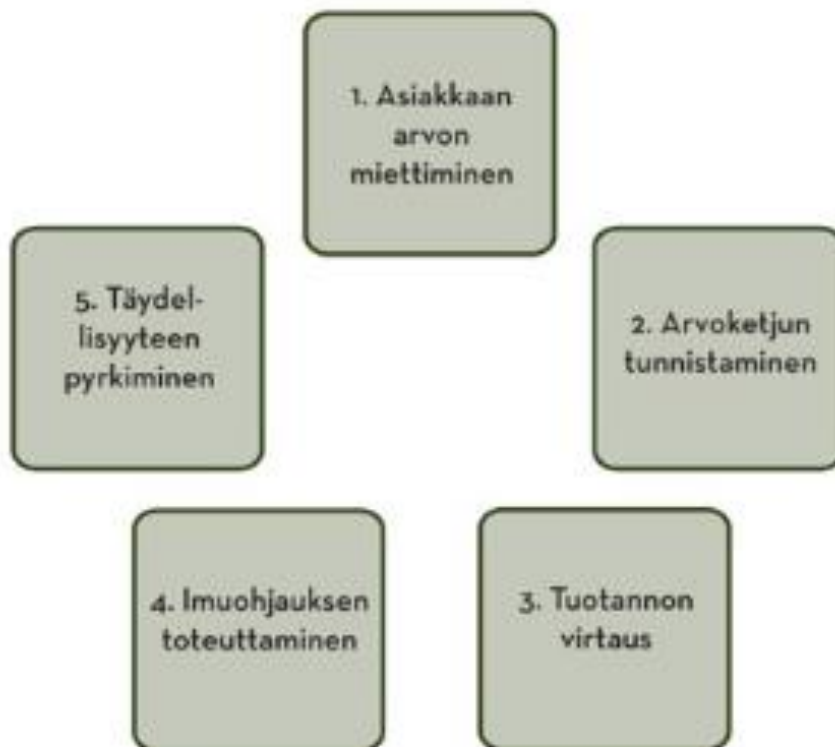
Tuotannon tuottavuuteen vaikuttaa oikein valittujen työstömenetelmien lisäksi muitakin asioita. Tuotannon tuottavuutta voidaankin mitata monin eri tunnusluvuin, esimerkiksi itse tuottavuutta lasketaan usein tuotoksen määrän ja panosten määrän osamäärällä, työn tuottavuutta tuotannon määrän ja työntekijöiden määrän osamäärällä ja pääoman tuottavuutta tuotoksen määrän ja kapasiteettiyksikön osamäärällä. Työn tuottavuutta tilinpäätöksessä voidaan laskea joko jalostusarvon ja palkkakustannusten osamäärällä tai jalostusarvon ja työntekijöiden määrän osamäärällä. Jalostusarvo itse kuvaa tuotannon arvon nousua tuotantoprosessin tuloksena. (Laine 1980.) Tunnuslukujen pohjalta voidaan huomata, että tuottavuutta voidaan parantaa muutenkin kuin konekantaa päivittämällä. Esimerkiksi tuotannon tehostaminen automatisoinnilla tai kokonaisuuden optimoinnilla.

### 4.1 Lean

Lean-ajattelutapa on saanut alkunsa 1940-luvulla japanissa Toyotan autotehtaalta. Leanin pyrkimyksenä on poistaa tuotannosta kaikki turha ja tuottaa asiakkaalle lisäarvoa kustannustehokkaasti. Lisäksi leanin tarkoituksena on luoda jatkuva materiaalin virta jossa ei synny katkoksia. Turhina asioina voidaan pitää kaikkea joka hidastaa tuotantoa ja täten aiheuttaa asiakkaalle lisäkustannuksia. Esimerkiksi ylituotanto, ylimääräiset varastot, tarpeeton kuljettaminen ja liikkuminen, odottelu sekä virheet ovat lean-ajattelutavan mukaisia turhia asioita. (Vuorinen 2013.)

Leanin peruseriaate on esitettyä kuvassa 18. Kuvassa ensimmäisessä ruudussa on asiakkaan arvon miettiminen. Sillä tarkoitetaan sitä, että kaikki mitä tuotannossa tapahtuu, tehdään asiakaslähtöisesti. Asiakkaan toiveet ohjaavat toimintaa ja kehitystyötä. Toisena kohtana on arvoketjun tunnistaminen. Yrityksen arvoketju tulee kuvata kokonaisuutena lähtö materiaaleista valmiiseen tuotteeseen. Kaikki suunnittelusta ja tavarantoimittajista lähtien pitää huomioida. Arvoketjussa olevat kohdat jotka eivät tuota asiakkaalle lisäarvoa ovat turhia ja ne tulee poistaa. Kolmantena kohtana on tuotannon virtaus. Tarkoituksena on, että niin materiaalin kuin informaationkin virtaus yrityksessä on jatkuvaa. Materiaalivirran on pysyttävä katkeamattomana ja mahdollisimman lyhyenä. Ylimääräinen kuljettaminen ja

käsittely tulee poistaa. Lisäksi erityistä tarkkuutta tulee käyttää laitteiden kunnossapidon ja toimintavarmuuden suhteen. Neljäntenä kohtana on imuohjauksen toteuttaminen. Kun aikaisemmat vaiheet ovat kunnossa, voidaan ruveta käyttämään imuohjausta. Imuohjauksessa tuote valmistetaan vasta asiakkaan tilauksesta. Tuotteita siis ei tehdä valmiiksi varastoon vaan sen valmistetaan asiakkaan toiveesta. Viidentenä kohtana on täydellisyyteen pyrkiminen. Lean-ajattelussa jatkuva kehitys on tarpeen. Jatkuvaa kehitystä vaaditaan koko yritykseltä. Jokisen työntekijän on jatkuvasti pyrittävä viemään omaa toimintaansa laadukkaampaan ja tehokkaampaan suuntaan, yhdessä muiden kanssa. Leanin tehokkuus ei siis perustu suureneviin tuotantomääriin vaan tehokkaaseen optimointiin jolla tehdään pelkästään se mitä asiakas tarvitsee. Niin ikään tuotannon läpimenoaikojen lyheneminen lean-tuotannossa on vähentyneen joutoajan ansiota eikä suuremman työtehon. (Vuorinen 2013.)



**Kuva 18.** Leanin periaate (Vuorinen 2013.).

## 4.2 FMS

FMS (flexible material system) tarkoittaa joustavaa materiaali järjestelmää. FMS-laitteiston tarkoituksena on automatisoida yhden tai useamman työstölaitteen materiaalin syöttö ja purku. Laitteisto voi myös siirtää kappaleita laitteilta toiselle ja suoraan valmisvarastoon. FMS-järjestelmän etuna on, että yksi ihminen voi valvoa useita järjestelmiä tai ne voivat toimia jonkin aikaa täysin miehittämättöminä. Lisäksi FMS-laitteisto pystyy valmistelemaan seuraavan sarjan kappaleet valmiiksi ja sarjan asetukset voidaan ajaa järjestelmään edellisen ajon aikana. Näin ollen koneille ei tule sarjojen väliin seisontaa vaan tuotto on jatkuvaa. Lisäksi järjestelmä toimii melko pienellä alalla jonka ansiosta se säästää hallitilaa ja tuo lisätilaa varastointiin. (Prima Power 2017.)



## 5 KYSELYTUTKIMUS

Tätä työtä varten tehtiin kyselytutkimus, jonka tarkoituksena oli kartoittaa miten tuotannon tuottavuudessa tapahtuneita muutoksia viimeisen kymmenen vuoden aikana. Kysely luotiin kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Pyrkimyksenä kyselyssä oli saada vastauksia tuottavuuden muutoksista ja muutoksiin johtaneista syistä. Muutokseen johtaneita syitä olisi täten mahdollista verrata kirjallisuuskatsauksessa esitettyihin tuotantomenetelmiin ja tuotannon optimointia edistäviin käytäntöihin, siten että niistä voisi päätellä mitkä ovat piensarjatuotannossa tuottavuutta parantavia menetelmiä.

Kyselyitä oli kahdella eri kysymyssarjalla. Toinen kysymyssarja lähetettiin kymmeneen suomessa toimivaan ohutlevy-yritykseen ja toinen neljälle tuotannon tuottavuutta tutkivalle ja kehittäväälle konsultille. Yritykset on valittu google-hakuohjelman avulla. Hakusanoilla ”ohutlevy” ja ”piensarja” löytyneistä hakutuloksista valittiin alkupäässä olleita yrityksiä. Kaikki yritykset joihin kysely lähetettiin ovat ohutlevytuotteita alihankintana yritysten toiveista tuottavia yrityksiä. Yritysten toimipisteet sijoittuvat eri puolille suomea, kuitenkin siten että pääosa on lounaisessa suomessa ja keskisuomessa eikä pohjoissuomesta ole yhtään yritystä. Konsultteja valittaessa ensimmäinen konsultti löytyi kirjallisuuskatsauksen aineistoja tutkiessa. Ensimmäisen konsultin löydyttyä tehtiin google-haku joka, suoritettiin kyseisen konsultin nimellä. Haku tuotti tuloksen, josta löytyi joukko erilaisiin tuotannon tehostamiseen erikoistuneita konsultteja. Näistä konsulteista kyselyyn valittiin ne, joilla oli taustaa metalli alalta, ohutlevytuotannosta tai lean-ajattelutavasta. Yrityksistä kyselyyn vastasi kolme yritystä kymmenestä ja konsulteista kyselyyn vastasi kaksi neljästä konsultista. Vastaukset olivat erittäin vaihtelevia laajuutensa ja informatiivisuutensa suhteen. Kyselyissä esitetyt kysymykset ja niiden vastaukset on koottu ja lisätty tämän työ liitteisiin. Ensin on esitetty yrityksille esitetyt kysymykset ja sitten konsulteille esitetyt kysymykset. Jokaisen kysymyksen jälkeen on kaikki kysymykseen saadut vastaukset. Vastaukset on esitetty siten että jokaisella yrityksellä on oma numero, joka on merkattu ennen vastausta. Osalla yrityksistä on moniosaisia vastauksia kysymyksiin jolloin, samaa numeroa on yhden kysymyksen alla käytetty useita kertoja. Sama systeemi pätee konsulttien vastauksissa. Konsulttien vastauksissa juokseva numerointi alkaa uudestaan.

Yrityksiltä kyselyn avulla yritettiin saada tietoa konekannan muutoksista ja muutosten vaikutuksesta tuottavuuteen. Lisäksi kyseltiin automaation käytöstä ja sen vaikutuksesta. Käyttävätkö työkoneille lastauksessa ja purussa automatisaatiota vai ihmistyövoimaa? Yrityksiltä tiedusteltiin myös sarjojen välisten asetusten tekemisestä. Tekevätkö he asetukset manuaalisesti vai voiko sitä automatisoida? Kuinka paljon kuluu aikaa sarjojen välisiin säätöihin ja ohjelmointiin? Kyselyssä kysyttiin myös, minkä työvaiheen tuottavuus on muuttunut merkittävimmin viimeisen kymmenen vuoden aikana? Erilaisten koneisiin liittyvän kyselyn jälkeen siirryttiin lean-ajattelutavan ja tuotannon mittaukseen liittyviin kysymyksiin. Kyselyssä kysyttiin, että onko yrityksellä käytössä lean-ajattelutapaa tai jotain muuta vastaavaa? Lisäksi kysyttiin, milloin ajattelutapaa on alettu käyttämään ja minkälaisia vaikutuksia sillä on ollut? Tuottavuuden kartoittamisesta kysyttiin, että millaisia tunnuslukuja yritykset käyttävät? Ja kuinka hyvin ne heidän mielestään kuvaavat tuottavuutta? Lopuksi vielä kysyttiin, että miten yrityksen tuotannon tuottavuus on muuttunut viimeisen kymmenen vuoden aikana? Ja millä on ollut suurin vaikutus muutokseen?

Konsulteilta kyseltiin hieman eri kysymyksiä. Konsulttien kysymysten painotus oli enemmän tuotannonohjauksen ja tuottavuuden mittaukseen liittyvissä kysymyksissä. Myös konsulteilta kysyttiin, että miten ohutlevytuotannon tuottavuus on kehittynyt suomessa viimeisen kymmenen vuoden aikana? Lisäksi kysyttiin, että millä tekijöillä on suurimmat vaikutukset muutoksiin? Vaikuttaako konekannan kehitys? Miten näkyy tuotannon optimointi? Myös konsulttien tuottavuuden tutkinnassa käyttämiä tunnuslukuja kysyttiin. Konsulteilta kysyttiin, onko lean-ajattelutapa tai muu vastaava alkanut näkymään suomalaisessa tuotannossa viimeisen kymmenen vuoden aikana? Lopuksi kysyttiin, että mihin suuntaan ollaan tällä hetkellä menossa?

## 6 TULOKSET

Kyselyn pohjalta voi huomata, että tuotannon tuottavuuden ja sen tarkkailun tasot vaihtelevat suuresti. Osa yrityksistä tarkkailee tuottavuuttaan säännöllisesti ja osa taas ei. Konekannan uusimisella on päästy keskimäärin 30% tuottavuuden nostoon. Tämä prosentti kuitenkin vaihtelee jonkin verran riippuen alkuperäisestä konekannasta ja työvaiheesta. Suurimmat vaikuttajat tuottavuuden nousuun konekanta vaihtamalla ovat itse koneen parempi suorituskyky ja modernimpien koneiden vaatimat lyhemmät asetusajat. Joissain tapauksissa on myös jätetty vanhaa laitekantaa toimimaan uusien koneiden rinnalle. Tällä on pyritty varmistamaan tuotannon jatkuvuus huolto- ja korjaustöiden aikana.

Automatisoinnin käyttö vaihtelee yritysten välillä. Levynsyötön automatisointia ei käytetä osassa yrityksistä ollenkaan ja osassa sitä ei käytetä piensarjoissa, koska automatisoinnin ohjelmointi vie niin paljon aikaa. Osassa yrityksistä automatisointia taas käytetään osassa prosesseista. Automatisoinnilla on onnistuttu kasvattamaan läpimenoastetta kappaleiden valmistuksen vakioinnin ansiosta.

Myös sarjojen välinen ohjelmointi ja säätäminen ovat eri yrityksissä toteutettu eri tavoin. Osa tekee sen manuaalisesti ja osa osittain automatisoidusti. Manuaalisesti sarjojen väliset asennusajat vaihtelevat tuotteiden mukaan viiden ja viidenkymmenen minuutin välillä sarjaa kohden. Osittain automatisoidussa järjestelmässä ohjelmoinnin ja säätämisen voi tehdä 90% koneen käydessä. Tämä vähentää vuositasolla koneen jouto aikaa useita tunteja.

Lean-ajattelutavan tai jonkin vastaavan käyttö on sekin melko vaihtelevaa. Osassa yrityksistä ajattelutapaa ei käytetä millään tapaa, osassa se on puolittain käytössä ja osassa se on täysin käytössä ja tuottaa tuloksia. Suomalaisilla yrityksillä tuntuu olevan tapana lähteä käyttämään lean-ajattelutapaa, mutta se jää usein ihan alkutekijöihin ja sen hyödyt jäävät saamatta. Monet asiat mieluummin ratkaistaan uuden tekniikan avulla, eikä keskitytä muuttamaan ohjausperiaatteita tai ajattelumalleja. Yritys jossa lean-ajattelutapa on otettu käyttöön vasta reilu vuosi sitten, on pystynyt tehostamaan ajankäyttöään jopa 30%. He kokevat, että heillä on vielä paljon parannettavaa ja uskovatkin että pysytät lean-ajattelutavan avulla parantamaan yksiköidensä tuottavuutta jopa 50% pitkällä aikavälillä.

Eri tahot käyttävät erilaisia tunnuslukuja tuottavuuden mittauksessa. Suuri osa yrityksistä ei mittaa tuottavuutta millään tapaa, eivätkä edes tarkkaan osaa määrittää mitä se heidän yrityksessään tarkoittaa. Yleisenä tunnuslukuna käytetään jalostusarvon ja henkilökulujen osamäärää. Tällä mittarilla voidaan pitää hyvänä tasona 1,5-1,8. Yli 1,8 arvoa voidaan jo pitää erinomaisena. Käytössä on myös käyttökateen ja tehtyjen työtuntien osamäärästä saatava tunnusluku. Lisäksi osa yrityksistä tutkailee päivittäisellä tasolla tehokkuutta ja onnistumisprosentteja.

Yritysten tuottavuus on parantunut viimeisen kymmenen vuoden aikana, vaikka yritysten välillä onkin suuria eroja. Osalla yrityksistä tuottavuus on parantunut kehittyneen ammattitaidon ansiosta, osalla taas vajaa kymmenen vuotta sitten olleen vaikean jakson jälkeisen nousukauden myötä. Osa yrityksistä on taas huomanneet, että he pystyvät tekemään töitä samalla tehokkuudella, vaikka heidän sarjakoot ovat pienentyneet ja sarjavariaatiot ovat kuukausitasolla seitsemänkertaistuneet. Suurin syy tehokkuuden säilymiseen on ollut asetusaikojen siirtämisellä niin sanotuksi ulkoiseksi työksi, joka tehdään koneen käydessä.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Ohutlevytuotannon tuottavuudessa tapahtuneiden muutosten kokoluokat vaihtelevat suuresti yritysten välillä. Pienet yritykset eivät kiinnitä huomioita tuottavuuden mittaamiseen tai kehittämiseen. Suuremmat yritykset taas panostavat enemmän tuottavuuden kehitykseen ja saavat siitä merkittävää hyötyä.

Tuotantoprosessit kehittyvät jatkuvasti ja lisääntyvä automatisointi ja eri työvaiheiden yhdisteleminen on alkanut näkymään tuotannon ja myös piensarjatuotannon kehityksessä. Erityisesti piensarjojen yhteydessä merkittävää hyötyä saa siitä, että sarjojen välisiä asetusajoja on saatu lyhennettyä ja siitä että asetuksia voidaan tehdä koneiden käydessä. Lisäksi kehittyneet automaattiset varastointijärjestelmät tuovat tehokkuutta niin materiaali vaihdoissa kuin lopputuotteen varastoinnissakin.

Erilaisten tuottavuutta tehostavien ajattelutapojen käyttö ei vielä Suomessa näy niin hyvin kuin olisi toivottavaa. Esimerkiksi lean-ajattelutapaa hyödyntämällä yritykset voisivat parantaa tuottavuuttaan useita kymmeniä prosentteja, mutta sitä ei haluta tai osata käyttää siten että siitä saataisiin merkittävää hyötyä. On toivottavaa, että tulevaisuudessa yritykset panostaisivat enemmän tuotannon tehostamiseen omia toimintatapoja muuttamalla, eikä pelkästään tehokkaampia koneita ostamalla. Myös automatisoitujen varastojen käyttö on vähäistä vaikkakin varmasti nopeammin yleistyvää kuin lean-ajattelutavan yleistyminen.

Kyselytutkimuksesta saadut tulokset eri tuotantovaiheiden vaikutuksesta tuottavuuteen olivat melko vaihtelevia. Siihen vaikuttaakin melko paljon tuotetut tuotteet ja niiden eri vaiheiden haastavuus, käytetyt laitteet ja viimeisen kymmenen vuoden aikana tehdyt koneinvestoinnit. Jo kymmenessä vuodessa laitteet ehtivät kehittyä niin paljon että laiteinvestoinnin ajankohdalla on merkittävä vaikutus siihen että minkä työvaiheen tuottavuus on parantunut eniten. Erityisesti piensarjatuotannossa kannattaa käyttää sellaisia prosesseja joihin ei tarvitse kalliita erityistyökaluja. Esimerkiksi laserleikkaus toimii hienosti erilaisille materiaaleille ja materiaalipaksuuksille, sen parametrit on helppo asettaa jokaiselle sarjalle ja sen lisäksi se on nopea ja tarkka leikkausmenetelmä. Muokkauksessa inkrementaalimuovauksella saa tehtyä monenlaisia muotoja ja muuttamalla työkalulla voi

tehdä monenlaisia muovauksia. Inkrementaalimuovaus ei ole kovin nopea menetelmä, mutta sitäkin on varmasti vielä mahdollista kehittää.

Automatisoinnin yleistyminen on muuttanut tuotannon suuntaa suurista sarjoista kohti piensarjatuotantoa ja se varmasti myös jatkaa sitä. Ohutlevy-yritykset jotka panostavat laiteinvestoinneissaan tuotantomenetelmiin jotka ovat automatisoitavissa pystyvät todennäköisemmin parantamaan piensarjatuotantonsa tuottavuutta. Lisääntyvä automatisointi parantaa sarjojen välisten asennusaikojen suorittamista koneiden käydessä ja vähentää tarvittavaa henkilötyövoimaa. Vähentyvät koneiden seisonta-ajat ja vähentyvät henkilökustannukset, suhteutettuna ennallaan säilyvään tai jopa kasvavaan tuotanto määrään tarkoittavat tuottavuuden kasvua.

Tässä työssä on käytetty tiedonhaussa Finnalut-tietokantaa. Suuri osa lähteistä on tietokannasta löytyneitä tieteellisiä tekstejä tai käsikirjoja. Lisäksi on käytetty Lappeenrannan yliopiston tiedekirjastosta löytyviä kirjoja. Työn tieteellisyyttä laskee se, että osa lähteistä on erilaisten yritysten sivuilta löytyneitä tekstejä, joissa kerrotaan heidän laitteistoistaan tai erilaisista työstömenetelmistä. Työn kyselytutkimuksen osuuden tieteellisyys ei ole kovin suuri. Kyselytutkimuksen otos jäi melko pieneksi matalan vastausprosentin myötä. Lisäksi osaan kysymyksistä ei saatu yhtenäisiä vastauksia vaan ne vaihtelivat melko suuresti eri yritysten ja konsulttien välillä.

Työ vastasi tavoitteisiin ja tutkimuskysymyksiin. Työn pohjalta voidaan havaita suomalaisessa ohutlevytuotannossa olevia ongelmia. Tuottavuuden mittaamiseen ja tehostamiseen tulisi panostaa enemmän. Jatkotutkimuksena voisi miettiä laajempaa kartoitusta yritysten välisistä eroista tuotannon tuottavuuden mittauksessa ja työstä jota yritykset tekevät tuottavuuden parantamiseksi.

## 8 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia ohutlevytuotannon piensarjatuotannon tuottavuuden vaikuttavia tekijöitä ja tuottavuuden kehitystä viimeisen kymmenen vuoden aikana Suomessa. Työn alussa on kirjallisuuskatsaus erilaisista ohutlevyjen työstömenetelmistä ja tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Kirjallisuuskatsauksen avulla pyrittiin selvittämään tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Kirjallisuuskatsauksen avulla saatiin selville, eri työvaiheissa käytettävissä olevia metodeja ja niiden eroavaisuuksia keskenään. Piensarjatuotannossa on kannattavaa keskittyä metodeihin, joilla päästään haluttuun lopputulokseen ja joissa sarjojen välinen asennusaika on mahdollisimman lyhyt. Lisäksi useiden eri työvaiheiden yhdistäminen erilaisilla yhdistelmäkoneilla ja automatisoinnilla on kannattavaa niin piensarjatuotannossa kuin ohutlevytuotannossa yleensäkin. Lisäksi piensarjatuotannossa toivottavaa olisi käyttää menetelmiä joissa ei tarvita yhtä sarjaa varten valmistettavaa erikoistyökalua, vaan pienet sarjat pystyttäisiin tekemään perustyökaluilla. Tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä kirjallisuuskatsauksessa tutustuttiin automatisoituihin materiaalinkäsittelyjärjestelmiin ja lean-ajattelutapaan. Automatisoiduilla järjestelmillä saadaan kasvatettua tehokkuutta ja pienennettyä sarjojen välisiä asennusaikoja ja täten kasvatettua tuottavuutta. Lean-ajattelutapaa oikein hyödyntämällä on mahdollista nostaa tuotannon tuottavuutta merkittävästi.

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta tehtiin kyselytutkimus, jossa oli kaksi erilaista kysymyssarjaa. Toinen kysymyssarja lähetettiin ohutlevy-yrityksiin ja toinen tuotannon tuottavuuden parantamiseen suuntautuneille konsulteille. Kyselytutkimuksen avulla saatiin selville, miten tuottavuus on muuttunut käytännössä ja mitkä tekijät siihen ovat vaikuttaneet. Tutkimuksen avulla selvisi, että suomalaisissa yrityksissä tuotannon tuottavuuden mittaaminen ja kehitysohjelmaan panostaminen vaihtelevat suuresti.

## LÄHTEET

Gustafson, E. Oldenburg, M. & Jansson, A. 2016. Experimental study on the effects of clearance and clamping in steel sheet metal shearing. *Journal of materials processing technology* 2016. Vol. 229. PP. 172-180

Ihalainen, E. Aaltonen, K. Aromäki, M. & Sihvonen, P. 1985. *Valmistustekniikka*. Oy Yliopistokustannus, HYY Yhtymä. 490 s.

Ionix. 2017a. MIG/MAG-hitsaus [verkkodokumentti]. [Viitattu 17.11.2017]. Saatavilla: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/kaarihitsaus/migmag-hitsaus/>

Ionix. 2017b. TIG-hitsaus [verkkodokumentti]. [Viitattu 17.11.2017]. Saatavilla: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/kaarihitsaus/tig-hitsaus>

Ionix. 2017c. Plasmahitsaus [verkkodokumentti]. [Viitattu 17.11.2017]. Saatavilla: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/plasmatyosto/plasmahitsaus/>

Ionix. 2017d. Laserhitsaus [verkkodokumentti]. [Viitattu 22.11.2017]. Saatavilla: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/lasertyosto/laserhitsaus/>

Junying, M. Yongqiang, L. Jingjing, L. Carlson, B & Jianping, L. 2015. Mechanics in frictional penetration with a blind rivet, In *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 222. s. 268-279. [Viitattu 23.11.2017]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.02.011>.

Kivivuori S. 2011. Teräsohutlevyjen muovattavuus ja materiaalilaadut. *Ohutlevy-lehti* 1/2011. [Viitattu 13.10.2017]. Saatavilla: <https://www.yumpu.com/fi/document/view/35767345/terasohutlevyjen-muovattavuus-ja-materiaalilaadut>

Laine, Pertti. 1980. *Tuotannon tunnusluvut*. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto.



Lamminen, L. Wadman, B. Küttner, R & Svinning, T. 2004. Prototyping and low volume production of sheet metal components. Nordic Industrial Fund. 23 s.

Matilainen, J. Parviainen, M. Havas, T. Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Teknologiainfo Teknova Oy. 387 s.

Nee, A. 2015. Handbook of Manufacturing Engineering and Technology. Springer-Verlag London. 1528 s.

O'Brien, R. 1991. Welding Handbook. Eighth Edition. Volume 2: Welding Processes. American Welding Society. 955 s.

Prima Power. 2014. Shear Genius Integrated punching and shearing. [verkkodokumentti]. [Viitattu 8.11.2017]. Saatavissa:  
[https://www.primaindustrie.com/uploads/editorialtext/docs/404GB\\_May2014\\_\\_Shear\\_Genius\\_SGe.pdf](https://www.primaindustrie.com/uploads/editorialtext/docs/404GB_May2014__Shear_Genius_SGe.pdf)

Prima Power www-sivut. 2017. [Viitattu 8.11.2017]. Saatavissa:  
<https://www.primapower.com/fi>

SFS 3055 Hitsaussanasto. Vastushitsaus. 1990. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki.

Sheetmetal.me. 2015. Tooling terminology [verkkodokumentti]. [Viitattu 3.11.2017]. Saatavissa: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology>

Steen, W. Mazumder, J. 2010. Laser Material Processing. Springer-Verlag London. 558 s.

Tesko Laser Division. 2017a. Standard metal cutting processes: laser cutting vs. flame cutting [verkkodokumentti]. [Viitattu 12.10.2017]. Saatavissa: [http://teskolaser.com/flame\\_cutting.html](http://teskolaser.com/flame_cutting.html)

Tesko Laser Division. 2017b. Standard metal cutting processes: laser cutting vs. plasma cutting [verkkodokumentti]. [Viitattu 12.10.2017]. Saatavissa: [http://teskolaser.com/laser\\_cutting2.html](http://teskolaser.com/laser_cutting2.html)

Tesko Laser Division. 2017c. Standard metal cutting processes: laser cutting vs. water jet cutting [verkkodokumentti]. [Viitattu 12.10.2017]. Saatavissa: [http://teskolaser.com/waterjet\\_cutting.html](http://teskolaser.com/waterjet_cutting.html)

Vuorinen, T. 2013. Strategiakirja. Alma Talent. 284 s.

## LIITTEET

LIITE I, 1

### YRITYKSET

- Oletteko päivittänyt työkoneitanne viimeisen kymmenen vuoden aikana? Minkälaisia muutoksia olette tehneet? Miten se on vaikuttanut tuottavuuteen?
  1. Vuosi sitten hankimme toisen levytyökeskuksen vanhan rinnalle. Tuottavuuteen tietysti uusi kone tottakai hieman parempi itsessään, mutta se ei ollut pääsyy hankintaan. Haettiin ennenkaikkea varmuutta , ettei tuotanto keskeydy avainkoneen huoltojen ja korjausten ajaksi.
  2. Olemme päivittäneet kaikki puhtaat laserit CO2->kuitulasereiksi. Sähkökulutus varsinkin koneen seisoessa huomattavasti pienempi. Myös yhdistelmäkone vs. puhdas levytyökeskus vähentänyt asetusajoja.
  3. Olemme hankkineet kaksi uutta tasolaseria FinnPower L6 ja Bystronic. Molemmissa on materiaalin käsittely robotti. Laser-leikkaukseen olemme hankkineet myös 3kW 3D-laserin (PrimaPower). Hitsaukseen olemme hankkineet uuden sukupolven Fronius MIG/MAG-hitsauskoneita ja uuden robottihitsausaseman. Pintakäsittelyssä olemme keskittyneet pulverimaalaukseen, johon hankimme menneenä kesänä uuden automaattimaalausyksikön (Wagner).
  3. Meillä kyseisten kohteiden tuottavuus on noussut keskimäärin 30%, riippuen hieman alkuperäisestä konekannasta.
  
- Käytättekö automatisointia? Onko lastaus työkoneille ja työkoneilta pois koneiden tekemää vai työntekijöiden tekemää? Kuinka suuri vaikutus automatisoinnilla on?
  1. Ei ole automaattilastauksia
  2. Isommissa sarjoissa käytetään automaatiota, mutta ei piensarjoissa. automaation ohjelmointi kun vaatii oman aikansa.
  3. Kuten edeltä käy ilmi, on jokaisessa uudessa hankinnassa pyritty nostamaan automaation astetta merkittävästi. Tavallisilla tasossa leikkaavilla lasereilla materiaalin käsittely tapahtuu robotilla. 3D-laserilla joudutaan käyttämään henkilöitä ja hitsausrobotilla paletille latomiseen käytetään henkilöitä.

Hitsausrobotti itse vaihtaa paletista toiseen automaattisesti ja hakee oikean ohjelman.

3. Automatisoinnilla pystytään nostamaan merkittävästi läpimenoastetta ja varsinkin robotteja käyttämällä saadaan kappaleiden valmistus helpoimmin vakioiduksi.
- Kuinka kauan aikaa kuluu ohjelmointiin/säätämiseen työvaiheiden välissä? Tapahtuuko säätö manuaalisesti vai automatisoidusti?
    1. Manuaalisesti tapahtuu..vaihtelee tuotteiden mukaan ehkä 5-50min/sarja .
    2. Riippuu ihan työstä.
    3. Uudella robottisolulla ohjelmointi ja säätäminen tehdään käytännössä 90% koneen käydessä. Samoin levyleikkauksessa nestaus tehdään koneen käydessä ja uudet materiaalit tuodaan jo valmiiksi koneen makasiinin ulottuville
  
  - Minkä työvaiheen tuottavuus on muuttunut merkittävimmin viimeisen kymmenen vuoden aikana?
    1. Särmäyksen.
    2. Laserleikkauksen varsinkin ohuilla materiaaleilla suuremmissa sarjoissa.
    3. Vaikea eritellä onko jokin muuttunut enemmän kuin toinen. Meillä tuotevariaatioiden määrä on moninkertaistunut noin 500 tuotteesta 3500 erilaiseen tuotteeseen/kuukausi.
  
  - Onko yrityksessänne käytössä LEAN-ajattelutapa tai joku muu vastaava? Milloin ajattelutapaa on ruvettu hyödyntämään yrityksessä? Kuinka suuria vaikutuksia sillä on ollut?
    1. Lean ajattelutapa sinänsä on, mutta mitään varsinaista järjestelmää ei
    2. Ei varsinaista LEANia, ennemmin työntävä kuormitustapa.
    3. Yrityksemme ajattelun taustalla on LEAN, vaikka kutsumme sitä ROTI:ksi. Ajan käytön tehostumisen kanssa puhutaan jopa 30% parannuksesta, silti meillä on vielä paljon parannettavaa ja varmasti voidaan vieläkin yksikköä kohden parantaa tuottavuutta yms. noin 50% pitkällä aikavälillä.
    3. Olemme aloittaneet varsinaisen LEAN ajattelun 2016 loppu kesästä.

- Minkälaisia tunnuslukuja käytätte tuottavuuden kartoittamiseen? Kuinka hyvin ne mielestänne kuvaavat tuotantonne tuottavuutta?
  1. Ei ole käytössä tunnuslukuja tuottavuuden mittaamiseen. Tilinpäätös kertoo, onko oltu riittävän tuotteliaita.
  2. Jalostusarvo/henkilökulut. Ihan kohtalaisen hyvin
  3. Mittaamme kannattavuutta eri tasoilla. Päivittäisellä tasolla mittaamme lähinnä tehokkuutta ja onnistumisprosenttia. Eli vertaamme suunnitellun ja toteutuneen tuotannon suhdetta ja millaisella prosentilla tuote tulee kerralla valmiiksi. Viikkotasolla seuraamme keskimääräistä läpimenoaikaa ja kuukausitasolla seuraamme käyttökattetta/tehty työtunti (€/h)
  
- Miten tuottavuutenne on muuttunut viimeisen kymmenen vuoden aikana? Millä on mielestänne ollut suurin vaikutus muutokseen?
  1. Tuottavuus on parantunut työntekijöiden ammattitaidon mukana
  2. 2008 jälkeen romahti liikevaihto ja kilpailu ollut tiukempaa myös globalisaation ja niukkojen aikojen vuoksi. Paranemaan päin taas.
  3. Tuottavuus on parantunut siinä mielessä, että vaikka sarjojen koot ovat pienentyneet niin olemme pystyneet säilyttämään tehokkuuden. Olemme pystyneet siirtämään asetusaikaa koneilla ns. ulkoiseksi työksi joka tehdään koneen käydessä ja samalla pienentämään suunnitelmallisesti valmistuksessa eräkokoja.

## KONSULTIT

- Miten ohutlevytuotannon tuottavuus on kehittynyt suomessa viimeisen kymmenen vuoden aikana?
  1. Erittäin suuria eroja eri yritysten välillä. Osalla on modernit koneet, joita osaavat käyttää tehokkaasti (=pienet asetusajat, koneen nopeuden hyödyntäminen yleisesti), osalla vanhat koneet ja heikosti osaavat kuskit tai työnjohtajat
  2. Tähän ei voi vastata ennen kuin olet määrittänyt mitä tarkoitat tuottavuudella: Perinteistä konetyön tuottavuutta?, henkilötyön tuottavuutta?, koneiden resurssitehokkuutta?, virtaustehokkuutta?, ...
  2. Tuottavuus on käsitteenä erittäin vaikea, me jokainen ymmärrämme sen omalla tavallamme. Tuottavuus on määritettävä tapauskohtaisesti, sen on peilattava valittuja menestys-/kilpailutekijöitä, ydinosaamisia jne.
  2. Lähes pääsääntöisesti yrityksen/tuotannon johto ei osaa määrittää mitä tuottavuus heidän tehtaassaan tarkkaan ottaen tarkoittaa à tuottavuutta ei mitata.
  2. Toisaalta tuottavuutta pidetään käsitteenä niin itsestään selvänä, että sitä ei vaivauduta määrittämään (tähän ansaan älä lankea).
  
- Millä tekijöillä on suurimmat vaikutukset tuottavuuden kehitykseen? Vaikuttaako konekannan kehitys? Kuinka paljon tuotannon optimointi vaikuttaa?
  1. Konekannan kehitys yhdistettynä ymmärrykseen vaihtoajoista. Osa ajaa miehittämätöntä tuotantoa, esim. kahta konetta yhdellä kuskilla tai ilta- ja yövuoroista osan ilman miehitystä. Nämä riippuvat täysin koneen valmiuksista ja siitä, paljonko työtä on tehty häiriöiden poistamiseksi
  1. Tuotannon optimointi? Jos tarkoitat levyn saannon parantamista nestauksen keinoin, on sillä merkitystä juuri miehittämättömän tuotannon aikaisiin häiriöihin (saadaan levyjäte pois pöydältä ilman, että levy takertuu mihinkään). Osa ajaa materiaalin saannosta välittämättä yhden tai kahden työn osia, jotta

saavat työn samalta lavalta eteenpäin, ilman osien lajittelua ja tarramerkkaamista, tms. (En ole tämän alan osaaja)

2. Ei voi vastata. Vrt. edellinen vastaus.

- Millä tunnusluvuilla tutkitte tuottavuutta?

1. jalostusarvo jaettuna henkilöstökuluilla, jolla saman alan yrityksiä pystyy luotettavasti vertailemaan ("hyvä" taso 1.5 – 1.8, erinomainen, jos tästä yli).

1. Henkilöstökulut = kaikki yrityksen maksamat palkat, HSK:t ja eläkulut, tms., myös siis omistajien ja toimihenkilöiden osalta

2. Avainkysymys.

2. Ohutlevytuotannon keskeisenä tuotoksena voidaan pitää esim. sen palvelukykyä seuraaville työvaiheille; kokoonpanohitsaukselle ja kokoonpanolle. Mikä voisi olla tällöin sopiva mittari panokselle?

2. Eräässä kehityshankkeessa voitiin ohutlevyvalmistuksen tuottavuuden parantuneen selvästi, kun seuraavien vaiheiden osapuutteet vähenivät murtoosaan aikaisemmasta.

- Onko LEAN-ajattelutapa tai muu vastaava alkanut näkymään suomalaisen tuotannon tuottavuudessa viimeisen kymmenen vuoden aikana?

1. Yleistäen äärettömän heikosti. Ei jakseta vääntää alkua pitemmälle, lopetetaan johonkin 5S:n jälkeiseen sessioon ja esitellään rinta kaarella "liinattua" pajaa. Yritysjohto ei ole vaivautunut selvittämään, mitä Lean on. Erittäin monet yritysjohtajat miettivät asiaa yksikkökustannuksien, ei kokonaisuuden ohjaamisen kannalta. Oma näkemykseni on siis erittäin skeptinen

1. On tietysti sitten niitäkin yrityksiä, jotka poikkeavat tästä linjasta ja ymmärtävät, mitä pitää tehdä ja tekevät asioita jäsennellysti

1. Lean on monella liian japanilaislähtöistä, ts. työnjohtaja-eksperttiisiin perustuvaa. Onneksi on niitä, jotka osaavat käyttää työntekijöiden osaamisen oikealla tavalla, ks. sosioteknisen koulukunnan opit

2. Mitä tarkoitat tarkkaan ottaen LEAN-ajattelutavalla? Jos ymmärrät sen toimintastrategiana, jossa painotetaan virtaustehokkuutta, niin toki voidaan sanoa suomalaisen ohutlevyтуotannon virtaustehokkuuden parantuneen, koska paljon on tehty toimenpiteitä asetusajkojen lyhentämiseksi: Taivutusautomaatit, siirtyminen levytyökeskuksista laserleikkuuseen, särmäyksen kehittyneet teränvaihdot, ...
- Mihin suuntaan ollaan tällä hetkellä menossa?
    1. Monesti asiat halutaan ratkaista mieluummin uuden tekniikan avulla, muuttamatta ohjausperiaatteita tai ajattelumallia. Päästään taas muutama vuosi eteenpäin nilkuttamalla. Tuottavuustyön perusteita ei enää juuri osata tai jakseta miettiä
    1. Työnjohtoa kuormitetaan kaikenlaisella hallinnollisella työllä ja tuottavuuden kehittäminen jää tekemättä. Tuotannon kehitysprojekteja ei osata vetää eikä usein edes määritellä, miltä projektin lopussa asioiden pitää näyttää
    2. Vrt. edellinen vastaus.