

# Ohutlevyosien suunnittelun ja tuotannon välisen rajapinnan kehittäminen

Case: Teknoware Oy

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotantopainotteinen mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Anssi Vikman

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

VIKMAN, ANSSI:

Ohutlevyosien suunnittelun ja  
tuotannon välisen rajapinnan  
kehittäminen  
Case: Teknoware Oy

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 31 sivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli yhtenäistää käytäntöjä Teknoware Oy:n ohutlevytuotteiden suunnittelun ja tuotannon välillä. Työn sisältö liittyy lähinnä levytyökeskuksella tehtäviin valmistusmenetelmiin. Näitä ovat leikkaus, lävistys ja muovaus. Työ tehtiin pääosin SolidWorks-ohjelmistolla ja lisäksi apuna käytettiin Excel- ja Word-ohjelmia.

Aiemmin yrityksen ohutlevytyökalujen kirjasto, jota suunnitteluosasto käyttää työssään, ei pysynyt ajan tasalla. Päivitykset siihen tulivat myöhässä johtuen tiedonkulun ongelmista tuotannon ja suunnittelun välillä. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda työkalun hankinnasta hallittu prosessi sekä päivittää nykyinen kirjasto niin suunnittelua kuin tuotantoakin paremmin palvelevaksi kokonaisuudeksi.

Yrityksen ohutlevymuovausten mallinnukset päivitettiin ajan tasalle ja samalle yhtenäistettiin niiden nimeäminen suunnittelun ja tuotannon välillä. Muovausten merkitsemiseksi metallikuviin luotiin iskutaulukko joka yhtenäistää niiden ulkoasua sekä parantaa luettavuutta. Uuden työkalun tilaamisesta luotiin prosessikaavio ja tilauskaavake. Ohjeistus iskutaulukon käytöstä ja uuden työkalun tilaamisesta lisättiin sisäiseen suunnitteluohjeeseen.

Opinnäytetyö oli selkeästi rajattu ja onnistui hyvin. Alussa määriteltyihin tavoitteisiin päästiin ja sekä tuotannossa että suunnittelussa oltiin tyytyväisiä työn tuloksiin. Hankkeen todelliset hyödyt tulevat esiin jatkossa saumattomampana ohutlevykomponenttien suunnittelu- ja valmistusprosessina.

Asiasanat: ohutlevy, muovaus, levytyökeskus, suunnittelu

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

VIKMAN, ANSSI:

Development of the interface between sheet metal design and production  
Case: Teknoware Oy

Bachelor's Thesis in Production Oriented Mechatronics, 31 pages

Spring 2017

ABSTRACT

---

The topic of this thesis was to unify Teknoware Oy's practices in the design and production of sheet metal parts. The main focus was on punching machine manufacturing processes. The work was mainly done with SolidWorks software, but also Word and Excel programs were used.

Before this project the company's sheet metal tool library, which is used by the design department, was not updated regularly. The reason was the lack of information flow between the design department and the production unit. The aim of the thesis was to make tool ordering into a controlled process and update the existing tool library.

The company's forming tool models were updated and tool names were standardized for better usability. A punch table was created for the sheet metal drawings. This harmonizes the appearance of the drawings and makes them more readable. The tool ordering process is presented in a flow chart. The process contains a tools order form which was created in this project. An instructions manual for the order form and a punch table were added to the company's design guide.

The objectives of this thesis were clear and the execution was successful. The changes were well received by the production workers and the designers. Benefits of this project will be shown in the future as a more seamless process of designing and manufacturing sheet metal products.

Key words: sheet metal, forming, design, punching machine

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YRITYKSEN ESITTELY	2
2.1	Teknopower group	2
2.2	Teknoware Oy	2
3	OHUTLEVYTUOTTEIDEN VALMISTUSMENETELMÄT	4
3.1	Ohutlevy	4
3.2	Ohutlevyn leikkaus	4
3.2.1	Levytyökeskus	5
3.2.2	Mekaaninen leikkaus	6
3.2.3	Laserleikkaus	8
3.3	Ohutlevyjien taivutus	11
3.3.1	Särmäysmenetelmiä	11
3.3.2	Pyöristäminen	13
3.4	Ohutlevyn syväveto	15
4	OHUTLEVYOSIEN SUUNNITTELUN JA TUOTANNON VÄLISEN RAJAPINNAN KEHITTÄMINEN	19
4.1	Opinnäytetyön alkutilanne	19
4.2	Piirrekirjaston päivittäminen	20
4.3	Muovaustyökalujen nimeämiskäytäntö	23
4.4	Muovauskartan luominen	24
4.5	Muovausten huomiointi metallikuvassa	25
4.6	Työkalun tilausprosessin kehittäminen	26
4.7	Tilauslomakkeen luominen	28
5	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET	30

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Teknoware Oy. Työ tehtiin joulukuun 2016 ja huhtikuun 2017 välisenä aikana. Työn tarkoituksena oli selkeyttää toimintatapoja ohutlevysuunnittelun ja tuotannon välillä. Pääasialliset kehityskohteet olivat yrityksen ohutlevymuovausten päivittäminen ja levytyökeskuksen työkalun tilausprosessin luominen.

Muovausten päivitysprosessi piti sisällään muovausten mallinnusten tilanekartoituksen, jossa poistettiin käytöstä poistuneet työkalut ja lisättiin uusien työkalujen mallinnukset tarpeen mukaan. Lisäksi muovausten toimivuus testattiin koelevyjen avulla. Koelevyjä ajettiin eri materiaaleilla ja levympaksuuksilla. Osa ohutlevymateriaaleista todettiin huonosti muovauksille sopivaksi. Muovausten mallinnukset päivitettiin koelevyistä tehtyjen mittausten perusteella ja niistä tehtiin suunnittelijoita sekä tuotantoa varten muovauskartta, johon on kootusti kerätty tarvittavat tiedot käytössä olevista muovauksista. Lisäksi sovittiin yhtenäinen nimeämiskäytäntö näille työkaluille.

Uuden työkalun tilaamiselle luotiin prosessikaavio ja tilauskaavake. Näillä haluttiin selkeyttää tilauksen tekemistä ja samalla sopia yhteiset pelisäännöt. Lisäksi tilauksesta arkistoitu kaavake helpottaa jatkossa työkalujen kartoitusta ja työkalujen tiedot löytyvät kootusti yhdestä paikasta. Nämä ohjeet sekä kaavake lisättiin yrityksen sisäiseen suunnitteluohjeeseen, jotta uuden työkalun tilaaminen olisi jatkossa selkeämpää.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi yleisimpiä ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmiä leikkaamisen, taivutuksen ja syvävedon osalta.

## 2 YRITYKSEN ESITTELY

### 2.1 Teknopower group

Teknopower-konserni muodostuu kolmesta yrityksestä, joiden kaikkien liiketoiminta liittyy valaistukseen. Teknowaren lisäksi konserniin kuuluu Atexor, joka suunnittelee ja valmistaa käsivalaisimia vaativiin olosuhteisiin ja ammattikäyttöön. Tuotteiden tyypillisiä käyttökohteita ovat kaivokset ja räjähdysalttiit ex-tilat. (Teknoware Oy 2017a.)

Konsernin kolmas yritys on FLS Finland, joka tuottaa kustomoituja LED-näyttöjä huoltoasemille, pysäköintiyrityksille sekä muille teollisuuden aloille (FLS Finland Oy 2017).

### 2.2 Teknoware Oy

Teknoware Oy on lahtelainen perheyritys, joka on perustettu vuonna 1972. Pääkonttori ja valtaosa toimitiloista sijaitsevat Lahdessa, ja tämä yksikkö työllistää tällä hetkellä noin 300 henkilöä. Yhdysvalloissa, Connecticutin osavaltiossa on Teknowaren tytäryhtiö Trans-lite, joka työllistää noin 50 henkilöä. Lisäksi Teknowarella on myyntikonttoreita useissa maissa. Yrityksen tuotteita toimitetaan yli 50 maahan, ja noin 75 % yrityksen liikevaihdosta muodostuu viennistä. (Teknoware Oy 2017b.)

Yhtiön liiketoiminta voidaan jakaa kahteen pääalueeseen: turvavalaisustuotteisiin ja ajoneuvovalaistukseen. Turvavalaja yritys toimittaa kiinteistöihin ja laivoihin. Ajoneuvopuolella tuotetaan valaisimia julkisiin kulkuneuvoihin, kuten linja-autoihin, juniin, metroihin ja raitiovaunuihin. Molempien alueiden tuotteet suunnitellaan alusta asti yrityksen sisällä. Tuotteiden suunnittelussa yhdistyy mekaniikka ja elektroniikka. Mekaniikan suunnittelussa käytetään ohutlevyosia, alumiini- ja muoviprofiileita sekä koneistettuja osia. Varsinkin ohutlevyteknologia on tärkeä osa yrityksen erikoisosaimista. Elektroniikan tuotteista suunnittelu on painottunut LED-korttien, virtalähteiden, ILC (Intelligent light control)-tuotteiden ja vaihtosuuntaajien

kehittämiseen. Vuonna 2016 käyttöön otettu uusi elektroniikkatehdas on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Teknowaren tehdas Lahdessa (Sähköala 2016)

### 3 OHUTLEVYTUOTTEIDEN VALMISTUSMENETELMÄT

#### 3.1 Ohutlevy

Ohutlevyt ovat metallilevyjä, joita käytetään laajasti teollisuuden monilla aloilla. Ohutlevy on yksi käytetyimmistä metallin toimitusmuodoista ja sitä voidaan muovata, leikata ja taivuttaa monin eri tavoin. Ohutlevy toimitetaan käyttäjälle yleensä levynä eli rainana tai kelana. Lukemattomat tuotteet, joita käytämme päivittäin, on valmistettu ohutlevystä. Käytetyimpiä ohutlevyn materiaaleja ovat teräs ja alumiini joita molempia voidaan seostaa lukemattomin eri tavoin käyttötarkoituksen mukaan. (Havas, Hiitelä, Hultin, Matilainen & Parviainen 2010, 3.)

Ohutlevyn paksuus vaihtelee suuresti käyttötarkoituksen ja materiaalin mukaan. Yleisesti voidaan todeta, että ohutlevyksi lasketaan levyt, joiden paksuus on 0,2-5mm. Ohutlevyn käyttö on yleistynyt myös raskaan koneenrakennusteollisuuden tuotteissa, koska on mahdollista saada kevyempiä rakenteita jäykkyyden kärsimättä (esimerkiksi kennorakenteet ja kotelomaiset ratkaisut). (Havas ym. 2010, 3.)

#### 3.2 Ohutlevyn leikkaus

Ohutlevytuotteen valmistus aloitetaan yleensä leikkaamalla aihioista oikean kokoinen kappale. Leikkaaminen voidaan karkeasti jakaa kahteen menetelmään: termiseen leikkaamiseen ja mekaaniseen leikkaamiseen. Termisen leikkaaminen on yleistynyt laserleikkauksen ansiosta. Tällä saadaan enemmän vapautta ohutlevynkappaleen muotoiluun verrattuna mekaaniseen leikkaamiseen. Muita leikkausmenetelmiä ovat polttoleikkaus, plasmaleikkaus ja vesisuihkuleikkaus, mutta ne soveltuvat paremmin suurille ainevahvuuksille. Mekaaninen leikkaus on usein nopein ja edullisin tapa leikata ja lävistää perusmuotoja varsinkin ohuilla materiaalivahvuuksilla. Kun mekaaniseen leikkaamiseen yhdistetään laserleikkaus saman ohjauk-

sen alle, saadaan todella joustava ja nopea leikkausprosessi. Nykyaikainen ohutlevytuotteiden valmistaja osaa hyödyntää joustavasti eri leikkausmenetelmiä valmistusprosessissa. (Havas ym. 2010, 142.)

### 3.2.1 Levytyökeskus

Levytyökeskus on yleisin ohutlevyjen leikkaustyökalu teollisuudessa. Peruslevytyökeskuksella voidaan lävistää, nakertaa ja tehdä matalia muovauksia ja taivutuksia. Leikattavat ja lävistettävät muodot ovat riippuvaisia käytettävissä olevista työkaluista. Levytyökeskuksen työkalut tilataan yleensä eri yritykseltä kuin itse keskus, sillä työkalujen valmistus on oma erikoisalansa. Levy kiinnitetään keskuksen kynsiin, ja levyä liikkuu vaakatasossa. Työkalu tekee lävistävät ja muovaavat iskut joita voi olla 500 - 1000 minuutissa. Tähän nopeuteen vaikuttavat levyn siirtonopeus ja siirtojen pituus. Levyn paikoitusnopeus on 40 - 80 m/min ja paikoitustarkkuudessa päästään  $\pm 0,1$  -  $\pm 0,15$  mm:n tarkkuuksiin. Leikattu kappale jätetään kiinni levyyn mikrokiinnikkeillä, jos keskuksessa ei ole automaattista materiaalin purkua. Näistä noin 1 mm:n paksuisista kiinnikkeistä kappaleet voidaan helposti ravistella irti ilman työkaluja. Esimerkki nykyaikaisesta levytyökeskuksesta on kuviossa 1. (Havas ym. 2010, 181.)



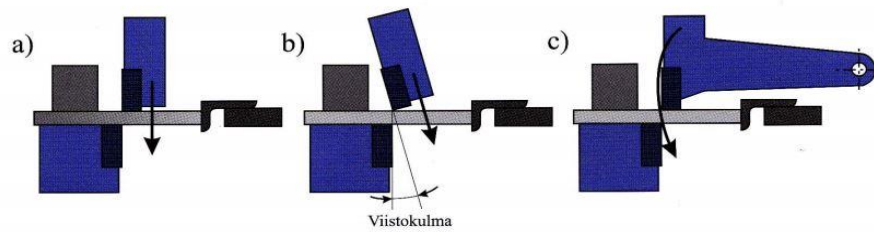
KUVIO 1. Automaattisella lastaus- ja purkulaitteella varustettu levytyökeskus (Coil sheet metal equipment 2017)

Nykyaikaisessa levytyökeskuksessa on usein laserleikkauspää, jolla korvataan mekaanisten lävistimien rajoituksia muotojen suhteen. Laserilla leikataan tuotteen ulkomuodot ja sellaiset muodot, joita työkaluista ei löydy. Laserille leikataan usein alkureikä mekaanisesti, jotta laserin hidas lävistysvaihe jää pois. Leikkauspää on yleensä kiinteässä asemassa ja levytyökeskuksen kynnet liikuttavat levyä haluttuun kohtaan. (Havas ym. 2010, 181 - 182.)

### 3.2.2 Mekaaninen leikkaus

Mekaaniseksi leikkaukseksi lasketaan perinteinen terillä tehtävä leikkaus ja vesisuihkuleikkaus. Vesisuihkuleikkaus ei ole kovin yleinen ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmä, joten tässä luvussa on keskitytty terillä tehtävään leikkaamiseen. (Havas ym. 2010, 169 - 171.)

Työkaluna mekaanisessa leikkaamisessa on suoralinjainen terä tai lävistin. Lävistimellä tehdään reikiä, ja suoralinjaisilla terillä leikataan yleensä kappaleen ulkomuodot. Mekaanisessa leikkauksessa yläterä painuu materiaaliin, ja kun materiaalin muodonmuutoskyky ylittyy, niin levy murtuu terien välissä. Mekaanisessa leikkauksessa muodostuu aina jäystettä, joten leikattuja kappaleita joudutaan usein jälkikäsittelemään. Suuntaisleikkaus on yleisin menetelmä, kun leikataan suorareunaisia kappaleita. Suuntaisleikkaus voidaan tehdä kolmella tavalla, jotka on esitetty kuvassa kuviossa 3. (Havas ym. 2010, 169 - 171.)



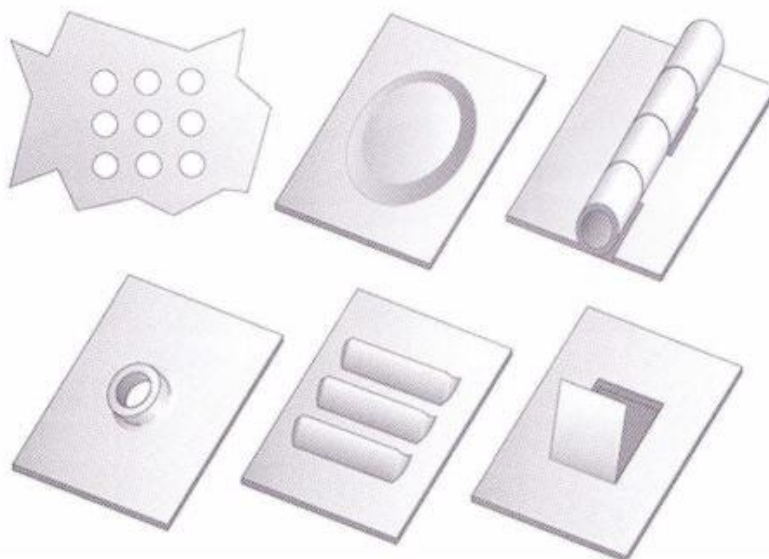
KUVIO 2. a) yhdensuuntainen leikkaus b) viistoleikkaus c) heilurileikkaus (Havas ym. 2010, 171)

Viistoleikkauksessa terät kuluvat huomattavasti vähemmän yhdensuuntaiseen leikkaukseen nähden. Lisäksi leikkausvoima pysyy tasaisempänä. Yleensä viistokulma on noin  $2^\circ$  ja sitä säätämällä voidaan leikata huomattavasti paksumpia levyjä kuin suoralla leikkauksella. (Havas ym. 2010, 169 - 171.)

Leikkausväli on tärkein säädettävistä asetuksista mekaanisessa leikkauksessa. Tämä väli on siis ylä- ja alaterän välinen etäisyys vaakatasossa. Yleisesti voidaan sanoa, että se tulisi olla noin 10 % leikattavan materiaalin paksuudesta. Leikkausväli vaikuttaa jäysteen määrään ja kappaleen mittatarkkuuteen. Yleensä mittatarkkuudessa päästään 0,1 mm:n tarkkuuksiin alle 5 mm:n materiaalivahvuuksilla. (Havas ym. 2010, 171 - 175.)

Lävistämällä tehdään levyyn suljettuja muotoja. Menetelmällä voidaan leikata myös kappaleen ulkoreunat lävistämällä reikiä vieri viereen. Menetelmää kutsutaan nakertamiseksi. Lävistyksen työkalu koostuu pistimestä, tyynystä ja irroittimesta. Lisäksi työkaluun voi kuulua jousipesä tai kohdistuselin. Pistin painaa levyä, kunnes materiaalin myötölujuus ylittyy ja tapahtuu plastinen muodonmuutos. Lopullinen leikkautuminen tapahtuu, kun pistimen ja tyynyn murtohalkeamat kohtaavat. Lävistämistä voidaan hyödyntää myös muovaukseen käyttämällä erikoistyökaluja. Muovaukset tehdään puristamalla levy tietynmuotoisen pistimen ja tyynyn väliin ja rajoittamalla iskunpituutta. Tällaisia muovauksia ovat esimerkiksi ilmanvaihtoraot, kaulukset ja uritukset. Lävistimellä voidaan tehdä myös reikäsarja yhdellä

työliikkeellä käyttämällä tätä varten tehtyä sarjatyökalua. Erilaisia muovauksia ja reikäsarja on esitettyä kuviossa 3. (Havas ym. 2010, 169 - 175.)

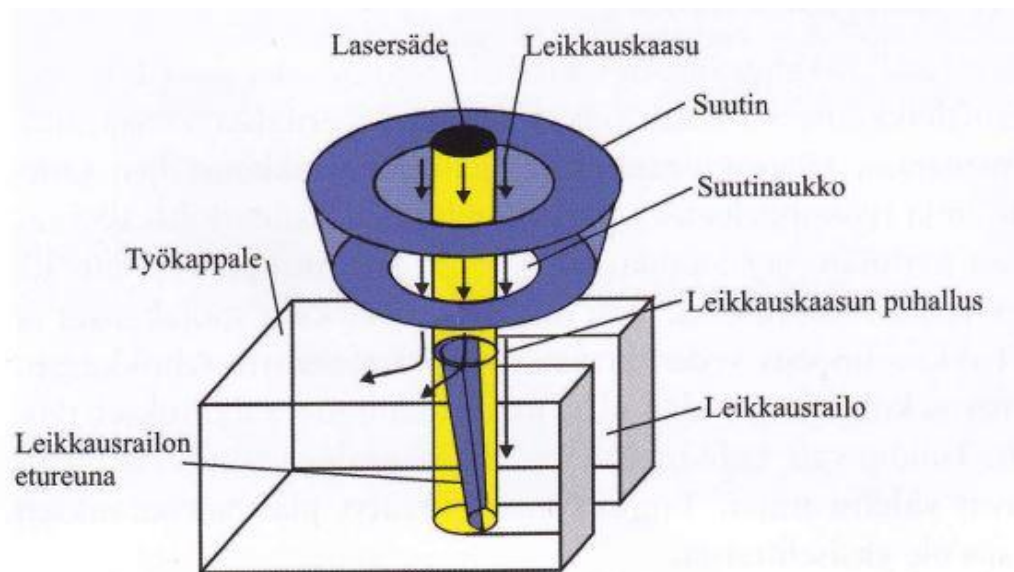


KUVIO 3. Lävistystyökaluilla tehtyjä muovauksia ja reikäsarja. (Havas ym. 2010, 183)

### 3.2.3 Laserleikkaus

Laserleikkaus on yleistynyt teollisuudessa viimeisen 20 vuoden aikana. Laserilla voidaan leikata käytännössä kaikkia metalleja sekä lisäksi monia muita materiaaleja. Hyvin heijastavat materiaalit, kuten puhdas alumiini, ovat kuitenkin hankalia leikata laserilla. Menetelmällä saadaan hyvälaatuisia tuotteita ja leikkaus tapahtuu nopeasti. Useimmiten jälkityöstölle ei ole tarvetta. Laserleikkaus voi olla polttoleikkausta, sulattavaa leikkausta, höyrystävää leikkausta tai näiden yhdistelmä. Menetelmät eroavat toisistaan railossa tapahtuvan kemiallisen reaktion sekä prosessissa käytetyn kaasun suhteen. Lasersäde sulattaa tai höyrystää materiaalin ja leikkauskaasu poistaa sulaneen materiaalin. Prosessissa voi muodostua purseita

materiaalin alareunalle, mutta niitä voidaan vähentää muuttamalla prosessin parametrejä. Laserilla päästään yleensä 0,1mm:n mittatarkkuuteen ohutlevyjä leikatessa. Railon leveys on yleensä 0,05 – 0,5 mm materiaalin paksuudesta riippuen. Laserleikkauksen periaate on esitetty kuviossa 4. (Havas ym. 2010, 158 – 164.)



KUVIO 4. Laserleikkauksen periaate (Havas ym. 2010, 158)

Laserpolttoleikkaus on yleisin laserin käyttötapa. Prosessissa käytetään hyväksi leikattavan materiaalin ja hapen välistä reaktiota. Materiaalin pinta hapettuu leikkausrailon etureunasta tehostaen laserin leikkaustehoa. Railon sisäpinnalle muodostuu oksidikerros, joka parantaa sulan liikkuvuutta. Tämä menetelmä sopii erityisesti hiiliteräksille ja niukasti seostetuille teräksille. (Havas ym. 2010, 158 - 160.)

Sulattavassa laserleikkauksessa käytetään inerttiä leikkauskaasua laserin lisäksi. Kaasuvirtaus puhalttaa sulan pois ja samalla suojaa leikattavaa materiaalia hapettumiselta. Menetelmä tunnetaan myös nimellä korkeapaineleikkaus ja sitä voidaan soveltaa kaikille metalleille sekä polymeereille ja

keraameille. Prosessin leikkausparametrit tulee olla tarkasti säädetty purseiden minimoimiseksi. (Havas ym. 2010, 160 - 162.)

Höyrystävässä laserleikkauksessa materiaalia höyrytetään lasersäteen avulla. Höyry puhalletaan pois railosta kaasuvirtauksella. Sulan määrä pidetään pienenä pulssittamalla laserin virtaa. Menetelmä ei ole kovin yleinen metalliteollisuudessa, mutta sillä saadaan todella tarkkaa leikkausjälkeä ohuilla materiaalivahvuuksilla. Laserleikkauksen hyötyjä ja haittoja on listattu taulukkoon 1. (Havas ym. 2010, 162 - 164.)

TAULUKKO1. Laserleikkauksen hyötyjä sekä haittoja (Havas ym. 2010, 169)

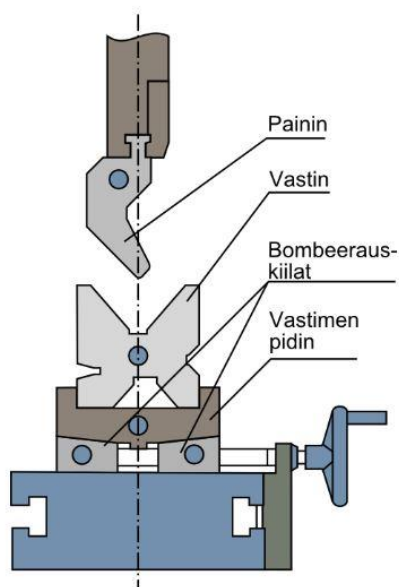
Hyvät puolet	Huonot puolet
Laaja valikoima leikattavia materiaaleja.	Laitteiston korkea investointikustannus.
Tarkka leikkaus. Vähemmän jälki-työstön tarvetta.	Saattaa tuottaa ylilaatua, jolloin kustannustehokkuus huononee.
Pieni lämpövaikutusalue.	Materiaalin pinnan epäpuhtaudet vaikuttavat leikkausjälkeen.
Suuri leikkauksenopeus pienillä materiaalivahvuuksilla.	Koneen huolto vaatii paljon osaamista.
Todella pienet muodonmuutokset leikattavassa kappaleessa.	Leikkaus huonolaatuista joillain muoveilla.
Mahdollisuus tehdä pieniä reikiä isoilla materiaalivahvuuksilla.	Käyttäjä tarvitsee suojarusteita.

### 3.3 Ohutlevyjien taivutus

Taivutus on valmistusmenetelmä, jossa levyä taivuttamalla saadaan aikaiseksi pysyvä muodonmuutos. Levyn vaikuttavan voiman täytyy ylittää kappaleen myötöraja, jotta muodonmuutos olisi pysyvä. Taivutuskohdassa levyn sisäpuoli painuu kasaan eli tyssääntyy, kun taas ulkopuoli levystä venyy. Levyn keskiosa pysyy muuttumattomana, mikäli taivutuksen säde on riittävän suuri. (Laakko 2016, 7.)

#### 3.3.1 Särjäysmenetelmiä

Särjäys on yleisin ohutlevyn taivutusmenetelmä. Levyaihio taivutetaan puristamalla se työkalujen välissä haluttuun kulmaan ja taivutussäteeseen. Eri särjäysmenetelmistä on kerrottu tarkemmin seuraavissa kappaleissa. Särjäyspuristimen periaate on esitetty kuviossa 5.



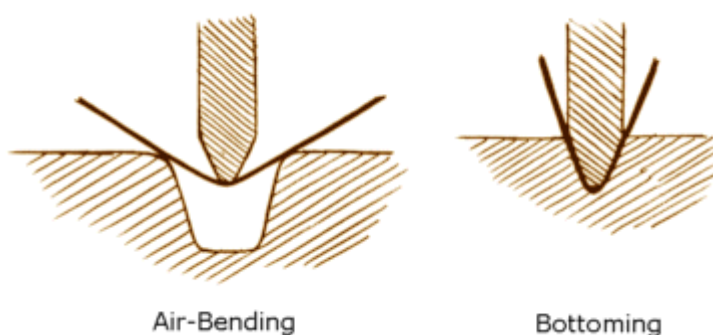
KUVIO 5. Särjäyksen periaate (Korhonen 2010, 16)

Särjäyspuristin on yleisin kone ohutlevyn taivutukseen. Särjäyspuristimen työkaluina toimivat ylä- ja alapalkkiin kiinnitetyt painin ja vastin. Levy

asetellaan työkalujen väliin, ja yläpalkkiin kiinnitetty painin suorittaa liikkeen vastinta vasten ja palautuu takaisin. Levyä siirretään tai käännetään haluttuun paikkaan seuraavaa särmäystä varten. Kappale paikoitetaan koneen takavasteiden avulla oikeaan kohtaan. Takavasteita liikutellaan yleensä ohjelmallisesti, jolloin ne liikkuvat automaattisesti oikealle paikalle sille tehdyn ohjelman mukaan. (Mäki-Mantila 2001, 6.)

Särmäyspuristimet voidaan jakaa rakenteen mukaan mekaanisiin, hydraulisiin ja sähkömekaanisiin laitteisiin. Näistä yleisimpiä ovat hydrauliset laitteet, sillä niiden rakenne on suhteellisen yksinkertainen ja niillä saadaan aikaiseksi suuria puristusvoimia. (Mäki-Mantila 2001, 7.)

Vapaataivutus on särmäysmenetelmä, jossa työstettävä kappale lepää vastimen kulmien varassa ja työliike päättyy ennen kuin levy osuu vastimen pohjaan. Työkalujen kulmat ovat vapaassa taivutuksessa yleensä teräviä, ja haluttu taivutuskulma muodostetaan iskunpituutta säätämällä. Vapaataivutuksen etuina on suhteellisen pieni voimantarve ja se että samoilla työkaluilla voidaan taivuttaa erisuuruisia kulmia sekä materiaalivahvuuksia. Vapaataivutuksessa voidaan käyttää vastimia, joiden uranleveyttä voidaan säätää. Tämä vähentää työkalunvaihtojen määrää. Takaisinjousto kumotaan suorittamalla tarvittava ylitaivutus. Vapaataivutuksen ja pohjaaniskutaivutuksen erot on havainnollistettu kuviossa 6. (Mäki-Mantila 2001, 6-7.)



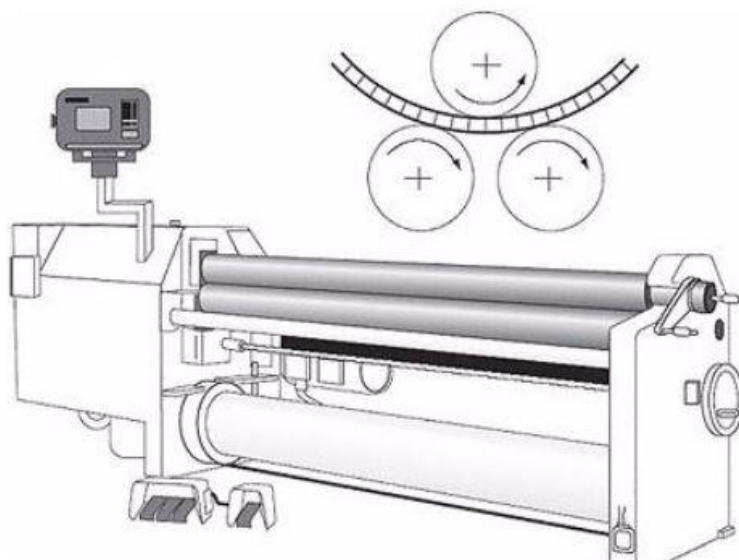
KUVIO 6. Vapaataivutus vasemmalla ja pohjaaniskutaivutus oikealla (eFunda Inc. 2017)

Pohjaaniskutaivutuksessa painin painetaan kokonaan kiinni vastimeen ja levy puristuu tarkasti vastimen uraan. Tällä saavutetaan tarkka ja jäykkä muoto muovattavaan levyyn. Riittävän suurella puristusvoimalla kompensoidaan levyn takaisinjousto. Tämä menetelmä vaatii särmäyspuristimelta suurta puristusvoimaa sekä tukevuutta. Puristusvoiman tarve tällä menetelmällä on 3 - 5 kertainen vapaataivutukseen verrattuna ja jokainen taivutuskulma vaatii oman työkalunsa. Tätä menetelmää harvoin käytetään yli 2 mm:n levypaksuuksille. (Mäki-Mantila 2001, 6 - 7.)

Litistys on särmäysmenetelmä, jossa aihion reuna taivutetaan 180° itsensä päälle. Litistys tehdään kahdessa vaiheessa, joista ensimmäinen on 120 - 150° ja toisessa vaiheessa levy litistetään tasomaisilla työkaluilla. Litistyksellä saadaan kappaleeseen lisää jäykkyyttä, mutta se vaatii hyvin muovattavan materiaalin, jotta taivutuskohta ei lähde murtumaan. (Mäki-Mantila 2001, 6 - 7.)

### 3.3.2 Pyöristäminen

Pyöristämistä usein kutsutaan mankeloinniksi koneen ulkomuodon ja toimintatavan perusteella. Tällä menetelmällä tehdään lieriömäisiä tai kartiomaisia taivutuksia sekä niiden osia. Yleensä levynpyöristyskoneessa on kolme telaa: yksi isompi sekä kaksi pienempää telaa. Pyöristyksen sädettä säädellään ylätelaa liikuttamalla. Telan liikuttaminen tapahtuu hydraulisesti tai sähköisesti. Pienissä koneissa säätö voi olla käsikäyttöinen. Mankelointikone on esitetty kuviossa 7. (Mäki-Mantila 2001, 20 – 21.)

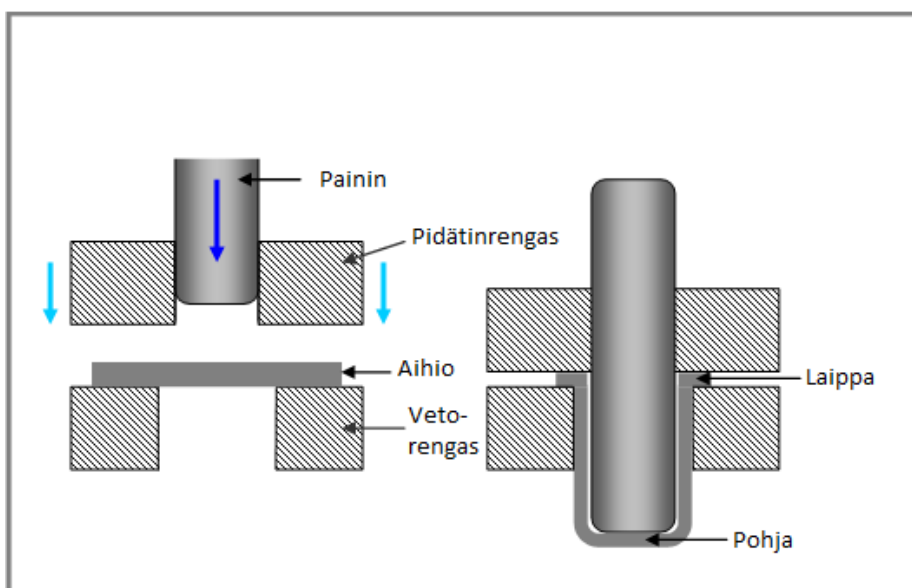


KUVIO 7. Pyörityskone ja kolmetelainen telajärjestelmä (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 164)

Ylätelan halkaisija on määräävä tekijä pyörityksen minimihalkaisijalle. Minimihalkaisija on noin viisinkertainen ylätelan halkaisijaan verrattuna. Koneen pyörityskykyyn vaikuttavat lisäksi levynpaksuus, leveys ja lujuus. Levyyntä jää pyörityksen jälkeen lyhyt suora osa, joka joudutaan pyörityttämään muilla keinoin, kuten vaikkapa särmäyspuristimella. Suoran osuuden pituus on 1 - 5 kertainen levyn paksuus. Pyörityttävän kappaleen poistamiseen on kaksi ratkaisua. Ylätela voi liikkua vaakatasossa, jolloin kappale nostetaan pois koneesta, tai koneen pääty on sivuun käännettävää mallia, jolloin kappale liu'utetaan pois koneen sivusta. Telojen taipuminen on yleistä, ja silloin kappaleisiin tulee usein tynnyrimäisyyttä tai tiimalasimaisuutta. Alateloiden taipumista voidaan vähentää tukirullien avulla. (Mäki-Mantila 2001, 20-24.)

### 3.4 Ohutlevyn syväveto

Syvävedossa puristimeen asetettua työkappaletta muovataan syvävetopainimella. Syväveto on nopea prosessi, jonka työkalut ovat kalliita ja jokainen muoto tarvitsee oman painimen, joten syväveto sopii hyvin suurille tuotantoerille. Syvävetoon tarvitaan veto- ja pidätinrenkas, joiden väliin aihio puristuu sekä itse painin, joka määrittelee vedon muodon. Työkappale puristetaan pidätin- ja vetorenkaiden väliin ja painin lasketaan alas, jolloin aihio muovautuu vetorenkkaan ja painimen väliin. Riittävä puristusvoima estää aihion rypyttymisen. Vetorenkkaan pyöristyksellä estetään liiallinen tussäytyminen laipan ja vetokohdan taitoksessa. Syvävedon periaate on esitetty kuviossa 8. (Mäki-Mantila 2001, 22 – 23.)



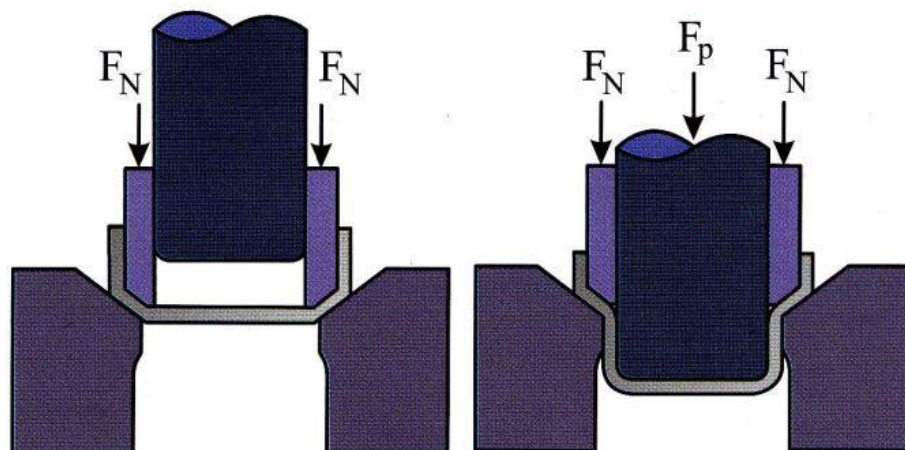
KUVIO 8. Syvävedon periaate (Substech 2013)

Syvävedossa ei tarkoituksellisesti pyritä muuttamaan materiaalin paksuutta, mutta käytännössä materiaali venyy aina jonkin verran varsinkin vedon seinämien kohdalla. Laipan kohdalla materiaali voi paksuuntua tussäytmisestä johtuen. (Mäki-Mantila 2001, 22 – 23.)

Syvävedon lopputulokseen vaikuttavat seuraavat parametrit:

- aihion materiaalin muovausominaisuudet
- aihion paksuus
- rajavetosuhde, eli työkappaleen halkaisija jaettuna työkalun halkaisijalla
- vedon syvyys
- työkalun pyöritykset
- koneen pidätysvoima
- aihion ja työkalun välinen kitkakerroin ja voitelu
- painimen työliikkeen nopeus.

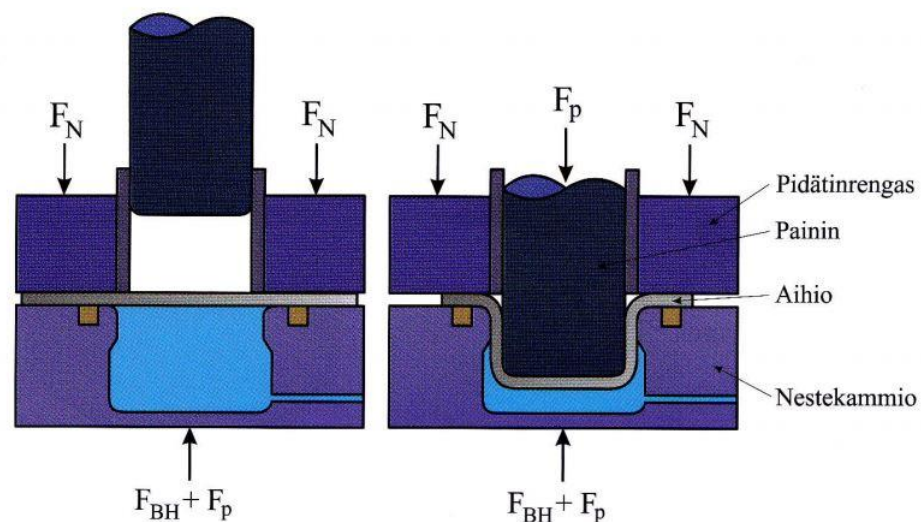
Vedon syvyyden määrää rajavetosuhde, jota ei tulisi ylittää yksivaiheisessa vedossa. Jos tuo raja ylitetään, alkaa materiaalia murtua. Vetoon saadaan lisää syvyyttä tekemällä jatkovetoja, jolloin materiaali kestää paremmin muovausta. Jatkovedon tarkoitus on tehdä edellisen vedon kupista kapeampi ja syvämpi. Kuviossa 9 tehdään jatkoveto vedettyyn kappaleeseen. (Mäki-Mantila 2001, 21 – 23.)



KUVIO 9. Jatkovedolla saadaan syvämpi muoto rikkomatta materiaalia. (Havas ym. 2011, 221)

Syvävedossa aihion koon määrittäminen on tärkeä vaihe, jota tarvitaan jo työkalua suunniteltaessa. Tarkan koon määrittäminen on vaikeaa, koska venymäjakaumaa ei voida etukäteen tietää. Apuna laskemisessa voidaan käyttää tietokoneohjelmaa, mutta lopullinen aihion koko määrittelyyn koevetojen avulla. (Mäki-Mantila 2001, 22 – 23.)

Hydromekaaninen syväveto on tavallisesta syvävedosta kehitetty versio, jossa vetorengas alla on nestesäiliö, jossa on yleensä vesi-öljy emulsiota. Työliikkeen aikana säiliöön muodostuu paine, joka saa aihion painautumaan tiukasti painimen muotoon. Täten vetorengasta ei tarvitse muotoilla. Vetovaiheita tulee mekaaniseen syvävetoon verrattuna vähemmän etenkin valmistettaessa kartiomaisia tai pallomaisia muotoja. Nesteen määrää voidaan vähentää työliikkeen aikana paineen vähentämiseksi. Painimen ja aihion välille muodostuu nestepaineen ansiosta kitkavoima, jonka suurimmat jännitykset ovat levyn paksuimmassa kohdassa. Täten rajavetosuhteen ollessa suurempi, voidaan vetää syvempiä levyosia. Menetelmä vaatii enemmän muovausvoimaa mekaaniseen syvävetoon verrattuna. Hydromekaanisen syvävedon periaate on esitetty kuviossa 10. (Havas ym. 2010, 233)



KUVIO 10. Hydromekaanisen syvävedon periaate (Havas ym. 2010, 233)

Yksi tämän menetelmän eduista on työkappaleen pinnanlaadun säilyminen parempana, sillä neste ei naarmuta ahiota. Myös takaisinjousto pysyy vähäisempänä ja vaikeita muotoja pystytään valmistamaan paremmin kuin mekaanisessa syvävedossa. Menetelmän huonoina puolina voidaan pitää alatyökaluilta vaadittua tiiveyttä sekä sitä että työkappale kastuu prosessissa. (Mäki-Mantila 2001, 26 – 27.)

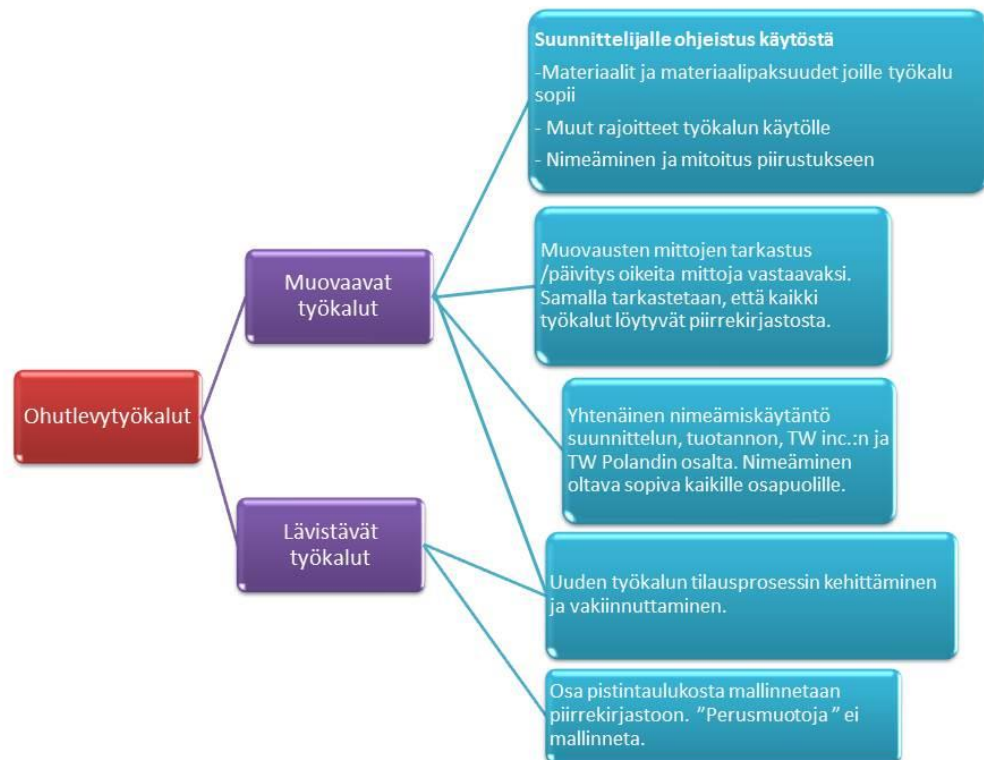
## 4 OHUTLEVYOSIEN SUUNNITTELUN JA TUOTANNON VÄLISEN RAJAPINNAN KEHITTÄMINEN

### 4.1 Opinnäytetyön alkutilanne

Opinnäytetyön aihe päätettiin kokouksessa, jossa käytiin läpi mahdollisia kehityskohteita Teknoware Oy:llä. Kokous pidettiin marraskuussa 2016. Aiheita tuli esille useita, mutta ohutlevyosien suunnittelun ja tuotannon välisen yhteistyön kehittäminen todettiin parhaaksi aiheeksi. Syitä valintaan olivat uusien tuotteiden kehitysprosessin nopeutuminen sekä tätä kautta syntyvät rahalliset säästöt. Säästöjä syntyy suunnittelijan sekä tuotannon työntekijöiden työajan tehokkaammasta käytöstä sekä materiaalisäästöistä.

Yksittäisiä kehityskohteita löytyi useita. Ensimmäinen tehtävä olikin tehdä työlle selkeä rajaus ja asettaa tavoitteet sekä aikataulu. Työn rajauksesta tehtiin prosessikaavio, joka havainnollistaa yksittäiset tehtävät. Toimeksiantaja hyväksyi työn rajauksen pienillä muutoksilla, ja varsinainen kehitystyö voitiin aloittaa.

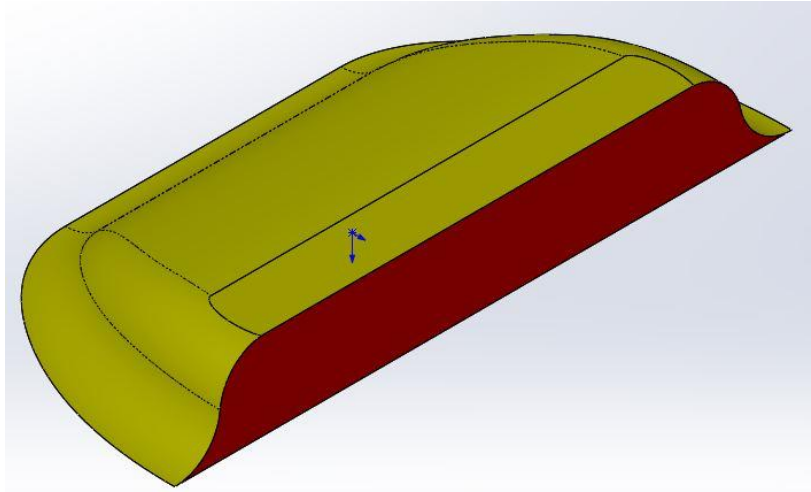
Työn pääasiallisena tarkoituksena oli selkeyttää ja yhtenäistää käytäntöjä ohutlevykomponenttien suunnittelu- ja valmistusprosessissa. Näillä toimilla voitaisiin nopeuttaa joitain toimintoja. Lisäksi prototyyppien määrä oli tarkoitus saada pienemmäksi, kun väärinkäsitykset piirustusten tulkinnassa saatiin karsittua pois. Opinnäytetyön osa-alueet on eritelty kuviossa 11. Ohutlevytyökaluilla viitataan tässä levytyökeskuksen työkaluihin.



KUVIO 11. Opinnäytetyön rajaus kaaviona

## 4.2 Piirrekirjaston päivittäminen

Piirrekirjastolla tarkoitetaan tässä yhteydessä SolidWorks-ohjelmiston käyttämää kirjastoa, johon on mallinnettu yrityksen käyttämien ohutlevy-muovausten valmiit 3D-mallit. Näitä pieniä muovauksia tehdään levytyökeskuksella. Jokaista muovausta varten on oma työkalunsa, joka teetetään erikseen tarkoituksen mukaan. Muovausten käytössä oli ilmennyt ongelmia suunnitteluosastolla. Ensimmäisenä tehtävänä olikin kartoittaa työkalujen nykytilanne ja tehdä suunnitelma toimenpiteistä, joilla muovauksia voitaisiin käyttää entistä tehokkaammin. Kartoituksessa löytyi muutama selkeä ongelma, jotka voitaisiin poistaa päivityksen myötä. Esimerkki muovaustyökalun mallinnuksesta on esitetty kuviossa 12.



KUVIO 12. Taskutyökalun mallinnus. Mallinnus esittää muovauksen ”negatiivin”.

Piirrekirjaston alkukartoituksessa todettiin seuraavat epäkohdat:

- Työkalujen nimeäminen on epä johdonmukaista.
- Tuotanto ja suunnittelu ovat nimenneet työkalut toisistaan poikkeavasti.
- Osa mallinnetuista muovauksista on poistunut käytöstä.
- Osasta muovauksia ei löytynyt mallinnusta.
- Mallinnuksessa ei ole otettu huomioon eri materiaaleja.
- Mallinnusten mitat eivät aina vastaa todellisuutta.
- Mallinnuksessa ei ole otettu huomioon eri materiaalityyppejä.
- Suunnittelijoilta puuttuu tieto, mihin muovauksia voidaan käyttää.

Näiden epäkohtien vuoksi muovaukset olivat jääneet vähälle käytölle tuotteiden suunnittelussa. Muovauksista teetettiin tuotannossa mallilevyjä, joiden perusteella voitaisiin tehdä tarvittavat korjaukset mallinnoihin. Koelevyjä teetettiin kaikilla yrityksen käytetyimmillä levy materiaaleilla ja paksuuksilla. Materiaaleja olivat puhdas alumiini, alumiiniseokset, sähkösinkitty teräs, ruostumaton teräs ja tina-pronssi seos. Materiaalien paksuudet olivat 0,5 – 3mm. Kuvassa 2 on joitain teetetyistä testilevyistä.



KUVA 2. Muovausten mallilevyjä eri materiaaleilla

Testilevyistä tehtyjen mittausten perusteella tehtiin tarvittavat muutokset mallinnuksiin. Poikkeavat mitat korjattiin oikeaksi ja osasta muovauksia tehtiin tarvittavat konfiguraatiot eri levynpaksuuksille. Mitat poikkesivat lähinnä syvyyden osalta. Levytyökeskuksen asetukset muuttuvat levynpaksuuden mukaan, ja tämän takia muovausten syvyys vaihtelee levynpaksuuden mukaan. Kahdesta muovauksesta ei ollut mallinnusta, joten ne luotiin koelevyjen mittojen mukaisesti. Osa testatuista materiaaleista todettiin sopimattomiksi tällaisille muovauksille. Varsinkaan tina-kupari seos ei kestänyt muovausta, vaan halkesi useimpien vetojen kohdalla.

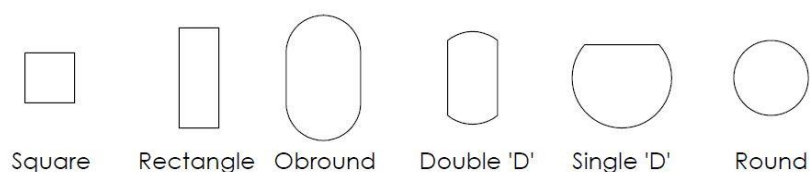
Mallinnuksessa on otettava huomioon työkalun kokonaisläpimitta, joka vaikuttaa ohutlevyosaan tehtävien muovausten vähimmäisetäisyyteen osan reunoista ja toisista muovauksista. Kokonaisläpimitat ovat levytyökeskuksen valmistajan määrittelemiä standardikokoja ja vaihtelevat välillä 26 – 159mm.

Metallikuvassa muovaukset esitetään erillisessä taulukossa josta selviää muovausten sijainti aihiossa sekä niiden lukumäärä. Taulukolla saadaan

kuvista selkeämpiä pienemmän mitoitustarpeen johdosta. Lisäksi taulukko yhtenäistää kuvien ulkoasua.

#### 4.3 Muovaustyökalujen nimeämiskäytäntö

Muovauksille piti kehittää yhtenäinen nimeämiskäytäntö, jota voitaisiin jatkossa käyttää uusillekin työkaluille. Kehittämistä hankaloitti se, että muovausten muotoja tai käyttötarkoituksia ei ole standardisoitu millään tavoin. Sama käytäntö pitäisi käydä niin kierrettyökaluille kuin taskutyökaluillekin. Yhtenäinen nimeäminen helpottaisi metallikuvien lukemista, sillä tuotanto on tähän asti nimennyt työkalut tietokannassaan eri tavalla kuin suunnitte-  
luosasto. Käytännön tulisi sopia käytettäväksi myös Yhdysvaltojen ja Puolan tuotantolaitoksissa. Nimien pituus oli rajattu 7 merkkiin levytyökeskuk-  
sen rajoitusten takia. Sopivaa mallia työkalujen identifioimiseen haettiin työkaluvalmistajan kautta. Pelkkä numerokoodi ei tuntunut sopivalta, sillä työkalun muoto tulisi selvitä nimestä. Käytännöksi valikoitui 6 merkinen tapa, jossa ensimmäinen kirjain kertoo, että kyseessä on muovaus. Kaksi seuraavaa kirjainta kertoo muovauksen perusmuodon levyn pinnan vastais-  
sesti katsottuna. Kirjainten perään tulee kaksinumeroinen luku, joka kertoo muovauksen päämitan millimetreissä. Viimeinen merkki on juokseva kirjain A:sta lähtien. Esimerkiksi FRO15A. Muovausten perusmuodot on esitetty kuviossa 13. Näistä poikkeavat muodot lyhennetään SP (special). Lisäksi käytössä olevien kierrettyökalujen nimistä selviää kierteen standardi ja koko. Esimerkiksi työkalu FTM60A on kierteytetty reikä M6 kierteiselle ruu-  
ville.

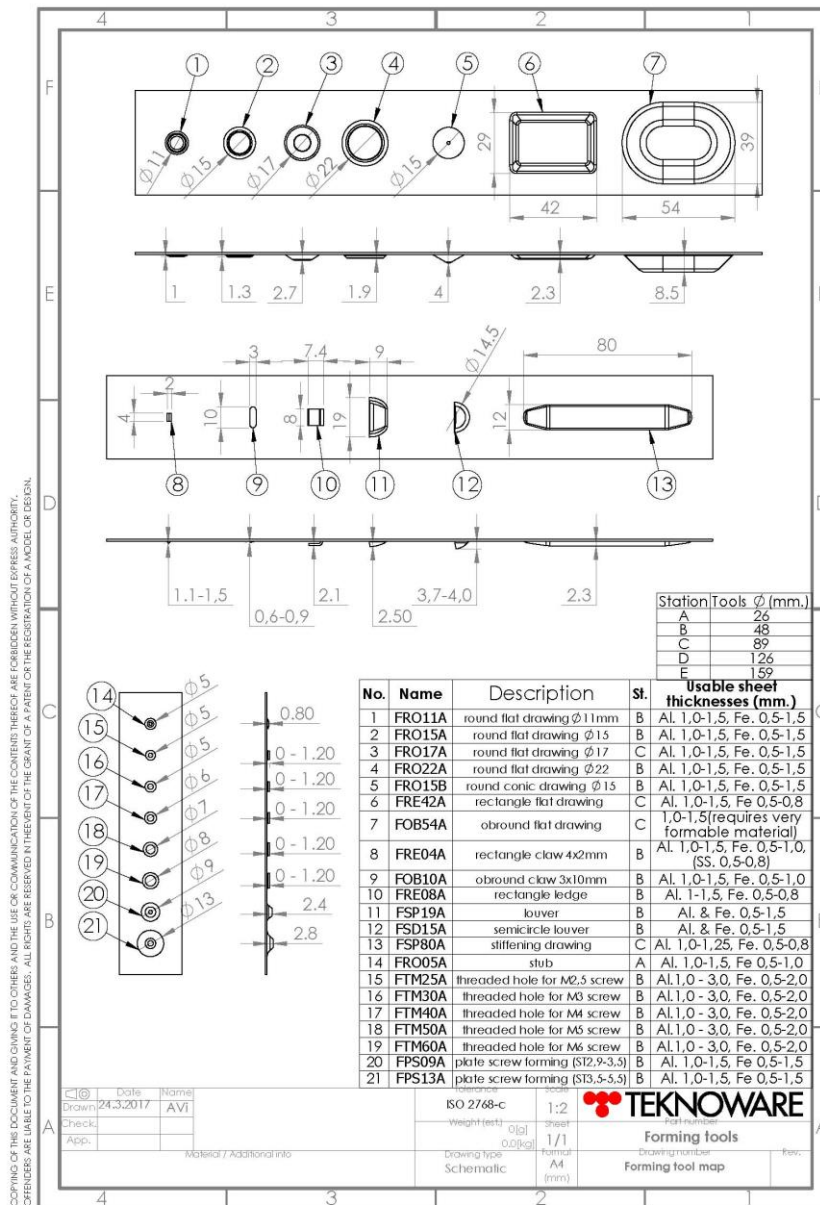


KUVIO 13. Muovausten perusmuodot

#### 4.4 Muovauskartan luominen

Muovauskartalla tarkoitetaan metallikuvaa, josta selviää käytettävissä olevat muovaukset. Kuvasta ilmenee muovausten päämitat, nimeäminen ja työkalun asema sekä muovaukselle sopivat materiaalit ja materiaalipaksuudet. Asema kertoo työkalun kokonaisläpimitan ja vaikuttaa siihen, kuinka lähelle aihion reunaa tai toista muovausta voidaan työliike suorittaa. Liian lähelle toista muovausta tehty isku litistää muovauksen. Kuva tulisi olla A4 kokoinen ja helposti päivitettävissä. Muovauksen soveltuvuus tietyille levy materiaalille tai levynpaksuudelle kokeiltiin tähän asti aina erikseen. Jatkossa soveltuvuus voidaan tarkistaa helposti muovauskartasta. Kun käyttöön tulee jatkossa uusia materiaaleja tai työkaluja, tehdään niistä testilevyt, jotta voidaan todeta niiden toimivuus.

Kuva on tarkoitettu suunnitteluosaston ja tuotannon käyttöön yleiseksi ohjeeksi. Siitä voi helposti tarkastaa päämitat, aseman, nimeämisen ja materiaalarajoitukset yhdeltä sivulta. Tarkempia mittauksia voidaan suorittaa tämän projektin aikana teetetyistä muovausten testilevyistä. Muovauskartta on esitettyinä kuviossa 14.



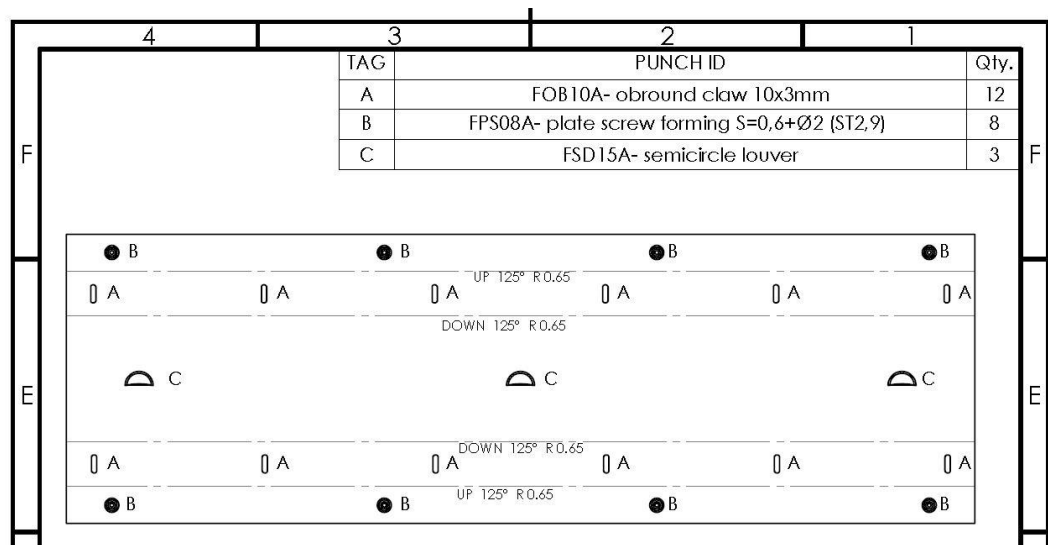
KUVIO 14. Muovauskarttaa käytetään apuna ohutlevyosien suunnittelussa.

#### 4.5 Muovausten huomiointi metallikuvassa

Tuotannossa ohutlevyosien aihiot leikataan levytyökeskuksella kaksikulotteisen levityskuvannon perusteella. Muovaukset tulee erotella metallikuvassa, jotta niitä ei tulkittaisi rei'iksi. Kaksikulotteisen kuvannon perusteella

niitä on muuten vaikea erottaa. Piirrekirjaston päivityksen yhteydessä päätettiin myös yhtenäistää muovausten merkkaukset metallikuvissa. Ennen yhtenäistämistä merkkauksesta ei ollut virallista tapaa, vaan jokainen suunnittelija teki ne omalla tavallaan.

Muovaukset päätettiin jatkossa erotella iskutaulukkoon, joka lisätään metallikuvaan. Kuviossa 15 on koekappaleesta tehtyyn metallikuvaan lisätty iskutaulukko. Taulukko helpottaa kuvien tulkitsemista ja yhtenäistää niiden ulkonäköä. Siitä selviää käytettävä työkalu lyhyen kuvauksen kera ja iskujen lukumäärä kyseisessä työkappaleessa. Iskujen lukumäärän merkkauksella eliminoidaan laskuvirheen mahdollisuus, kun työntekijä tekee ohjelman levytyökeskuksella.

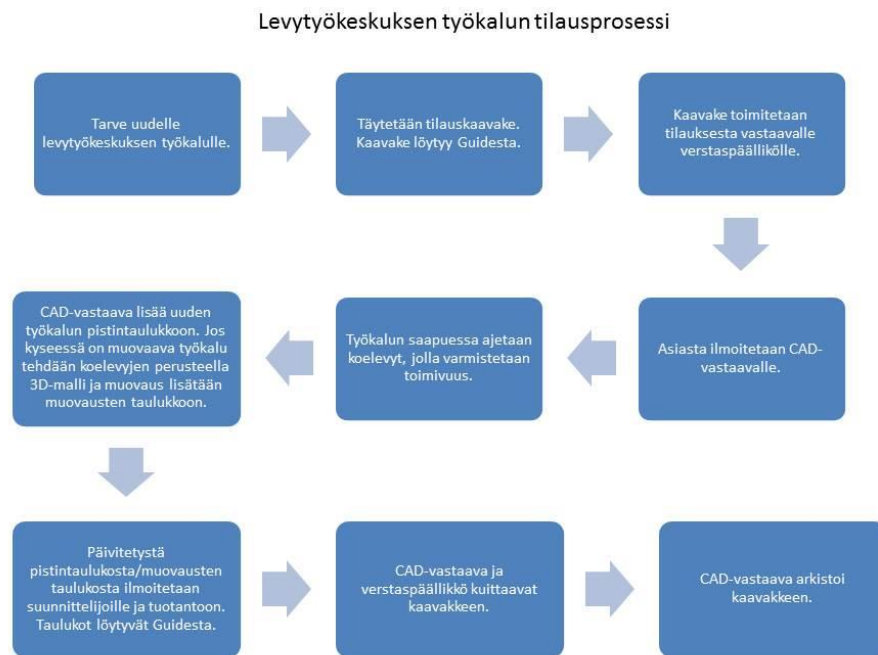


KUVIO 15. Koekappaleesta tehtyyn kuvaan on lisätty iskutaulukko.

#### 4.6 Työkalun tilausprosessin kehittäminen

Tarve uudelle levytyökeskuksen työkalulle tulee useimmiten esille uuden tuotteen suunnitteluvaiheessa. Työkalu voi olla lävistävä tai muovaava. Tähän asti työkalun tilaamiseen ei ole ollut minkäänlaista ohjetta, vaan

uutta työkalua tilattaessa on otettu yhteyttä tilauksesta vastaavalle verstaaspäällikölle, joka tekee tilauksen työkaluvalmistajalle. Tieto uudesta työkalusta ei ole välttämättä tavoittanut kaikkia suunnittelijoita, vaikka siitä voisi olla hyötyä muissakin tuotekehitysprojekteissa. Yrityksen käytössä olevat työkalut on koottu pistinkarttaan ja muovauskarttaan, jotka päivitetään tarvittaessa. Helpoin tapa tiedottaa uudesta työkalusta on päivittää se edellä mainittuihin kuviin. Jos tieto ei kuitenkaan kulkeudu päivityksestä vastaavalle henkilölle, kuvien päivitys viivästyy ja tieto ei kulkeudu halutulla tavalla. Tilausprosessi on esitetty kuviossa 16.




KUVIO 16. Levytyökeskuksen työkalun tilausprosessi. Guide on yrityksen sisäisessä lähiverkossa oleva suunnitteluohje.

Tilausprosessista luotiin prosessikaavio, joka löytyy yrityksen sisäisestä suunnitteluohjeesta. Kaavion mukaisilla toimilla varmistetaan, että tarvittavat päivitykset pistin- tai muovauskarttaan tulevat tehdyiksi ja tieto välittyy tätä kautta suunnitteluryhmälle.

#### 4.7 Tilauslomakkeen luominen

Uuden työkalun tilaamista varten tehtiin tilauslomake, jolla varmistetaan hallittu tilausprosessi. Lomake on esitettyinä kuviossa 17. Lomakkeen tarkoituksena on prosessin aikana varmistaa tarvittava tiedonkulku. Kaavake arkistoidaan suunnitteluosaston käyttöön, jotta jälkikäteen voidaan assosoida fyysinen työkalu ja siitä tehty mallinnus. Kaavake haluttiin pitää melko yksinkertaisena ja yksiselitteisenä. Se tehtiin Word tekstinkäsittelyohjelmalla, koska se löytyy jokaiselta tietokoneelta ja on helppokäyttöinen. Kaavakkeen tiedot ovat melko suppeat, mutta tarkemmat tiedot työkalusta piirustuksineen löytyvät työkalutoimittajan toimittamista dokumenteista.

		1
<b>UUDEN TYÖKALUN TILAAMINEN LEVYTYÖKESKUKSELLE</b>		
<b>YLEISTÄ</b>		
Tuote	Lävistystyökalu <input type="checkbox"/> Muovaustyökalu <input type="checkbox"/>	Tilaja: Tilauksen pvm:
<b>TUOTTEEN TIEDOT</b>		
Lävistyksen muoto ja mitat:		
Muovaavan työkalun kuvaus:		
<b>TUOTANNOLLISTAJA / VERSTASPÄÄLLIKKÖ TÄYTTÄÄ</b>		
Valmistaja:		
Valmistajan tuotenumero:		
Työkalun asema:		
Työkalun materiaali:		
Lisätietoa:		
<b>CAD-VASTAAVA TÄYTTÄÄ</b>		
Uusi työkalu päivitetty pistintaulukkoon / muovausten taulukkoon		<input type="checkbox"/> OK
Työkalulla teetetty testilevy	<input type="checkbox"/> Ei tarvetta	<input type="checkbox"/> OK
Muovaus mallinnettu piirrekirjastoon	<input type="checkbox"/> Ei tarvetta	<input type="checkbox"/> OK
Muovaavan työkalun nimi:		
<b>HYVÄKSYNTÄ</b>		pvm:
Verstaspäällikkö/tuotannollistaja:		
CAD-vastaava:		
<small>23.3.2017 AVI</small>		

KUVIO 17. Levytyökeskuksen työkalun tilauslomake

## 5 YHTEENVETO

Rajapinnan kehittäminen ohutlevyosien tuotannon ja suunnittelun välillä oli mielenkiintoinen hanke. Alussa tehty selkeä rajausta työn sisällöstä ja tavoitteista helpotti työn etenemisen arviointia huomattavasti. Haastavinta tässä työssä oli löytää kummallekin osapuolelle sopivat ratkaisut. Uskon, että uusi järjestely tulee palvelemaan pienen totuttelun jälkeen huomattavasti paremmin kuin vanha.

Työlle asetettuihin tavoitteisiin päästiin. Yrityksen käyttämien muovausten mallinnukset on päivitetty ja työkalut on nimetty yhteneväisesti ja loogisesti. Käytössä olevat muovaukset voi jatkossa tarkistaa muovauskartasta, johon on koottu kaikki muovaustyökalut ja tarvittavat tiedot niistä. Projektin aikana tilatut muovausten koelevyt jäivät suunnittelijoiden käyttöön mitaus- ja testauskäyttöön. Työkalun tilaaminen on jatkossa hallittu prosessi, jonka johdosta suunnitteluosastolla on käytössään aina ajan tasalla oleva muovaus- ja pistinkirjasto. Iskutaulukko tekee metallikuvista yhtenäisempiä ja helpompia tulkita. Lisäksi taulukko vähentää laskuvirheitä kuvaa tehtäessä ja nopeuttaa kuvan tekemistä.

Projektin aikana opin ajattelemaan asioita myös tuotannon työntekijöiden kannalta. Lisäksi levytyökeskuksen toimintaan perehtyminen oli hyvää oppia jatkoa ajatellen. Aluksi hitaasti edennyt työ valmistui suunnitellussa aikataulussa ja toteutus onnistui mielestäni hyvin.

## LÄHTEET

Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työväline-tekniikat. Porvoo: WSOY.

Coil Sheet Metal Equipment Floreani & Partners 2017. Punching machine FINN-POWER F5 Express [viitattu 1.2.2017]. Saatavissa:  
<http://www.coilsheetmetalequipment.com>

Efunda Inc. 2017. Bending [viitattu 23.1.2017] Saatavissa:  
[http://www.efunda.com/processes/metal\\_processing/bending.cfm](http://www.efunda.com/processes/metal_processing/bending.cfm)

FLS Finland Oy 2017. yritysesittely [viitattu 11.1.2017] Saatavissa:  
<http://flsfinland.fi/yritys/>

Havas, T., Hiitelä, E., Hultin, S., Matilainen, J. & Parviainen, M. 2010. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknoliateollisuuden julkaisu 6/2010. Helsinki: Teknova Oy

Korhonen, S. 2010. Ruostumattomat teräkset ja niiden soveltuvuus konepajan ohutlevytuotantoon. Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.

Laakko, L. 2016. Ohutlevytuotteiden valmistus särmämällä. Oulu: Oulun Yliopisto

Mäki-Mantila, Jari. 2001. Ohutlevyjen taivutus ja muovaus. MET-julkaisuja nro. 11/2001. Helsinki: METin Muovaustekninen yhteistyöryhmä.

Substech. 2013. Deep drawing [viitattu 25.1.2017]. Saatavissa:  
[http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=deep\\_drawing](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=deep_drawing)

Sähköala. 2016. Teknowaren uusi tehdas. [viitattu 7.2.2017] Saatavissa:  
[http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/uutiset/fi\\_FI/060916\\_Teknoware/](http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/uutiset/fi_FI/060916_Teknoware/)

Teknoware Oy. 2017a. Teknower group [viitattu 11.1.2017] Saatavissa:  
<http://www.teknoware.com/fi/yrityksemme/teknower>

Teknoware Oy. 2017b. Yrityksemme [viitattu 11.1.2017] Saatavissa:

<http://www.teknoware.com/fi/yrityksemme>