

# Taivutusautomaatin ominaisuuksien hyödyntäminen ohutlevytuotteiden suunnittelussa

Opinnäytetyö

Juha Häkkinen

Toukokuu 2013

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) HÄKKINEN, Juha	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 8.5.2013
	Sivumäärä 93 + 24	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi TAIVUTUSAUTOMAATIN OMINAISUUKSIEN HYÖDYNTÄMINEN OHUTLEVYTUOTTEIDEN SUUNNITTELUSSA		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) PARVIAINEN, Miikka MATILAINEN, Jorma		
Toimeksiantaja(t) Harvia Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Harvia Oy:n kiuastehtaalle Muurameen. Opinnäytetyössä tavoitteena oli tehostaa yrityksen uuden investoinnin, taivutusautomaatin, hyödyntämistä ohutlevytuotteiden suunnittelussa ja valmistuksessa.</p> <p>Tavoitteiden saavuttamiseksi opinnäytetyössä luotiin taivutusautomaatille suunnitteluohje, jonka avulla sen kyvyt ja rajoitukset voitiin ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Korkean automaatiotason koneiden tehokkaassa käytössä suunnittelun osuus on merkittävä ja siihen panostamalla voidaan saada aikaan huomattavia säästöjä.</p> <p>Toiminnallista tutkimusta tehdessä, suunnitteluohjeen laatimiseksi, käytiin läpi aiemmin särmäyspuristimilla taivutettavat levyosat. Levyosien taivutettavuus taivutusautomaatille määriteltiin ja rakennemuutosten tarvetta levyosille pohdittiin. Lisäksi selvitettiin mitä aiemmin tehtyjä työvaiheita taivutusautomaatilla kyettiin korvaamaan. Opinnäytetyössä laskettiin taivutusautomaatille myös tuntikustannukset, joita ei aikaisemmin ollut määritely.</p> <p>Benchmarking –tutkimuksella haettiin samaa valmistusteknologiaa omaavilta yrityksiltä oppeja ja toimintamalleja taivutusautomaatin kanssa työskentelyyn. Opinnäytetyössä vertailtiin yleisesti eri taivutusmenetelmiä. Vertailtavia taivutusmenetelmiä olivat taivutuskone, särmäyspuristin, taivutusautomaatti ja robotisointusärmäys. Taivutusmenetelmien vertailulla luotiin pohja, jonka avulla taivutusmenetelmiä voitiin vertailla Harvia Oy:n sisällä särmäyspuristimen ja taivutusautomaatin välillä.</p> <p>Tuloksien pohjalta yritys voi hyödyntää taivutusautomaattia tulevaisuudessa tehokkaammin. Benchmarking –tutkimuksessa ilmenneet kehitysehdotukset ovat sovellettavissa myös muihin samaa valmistusteknologiaa omaaviin yrityksiin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Taivuttaminen, taivutusautomaatti, suunnitteluohje, taivutusmenetelmät, kustannus, benchmarking		
Muut tiedot		



Author(s) HÄKKINEN, Juha	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 8.5.2013
	Pages 93 + 24	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title EXPLOITING THE PROPERTIES OF A PANEL BENDER WHEN DESIGNING SHEET METAL PRODUCTS		
Degree Programme Mechanical and Production Engineering		
Tutor(s) PARVIAINEN, Miikka MATILAINEN, Jorma		
Assigned by Harvia Oy		
Abstract <p>This thesis study was carried out for Harvia Ltd., a sauna stove factory in Muurame. The goal of the thesis was to improve the use of a new investment, a panel bender, when designing and manufacturing sheet metal products.</p> <p>To achieve the goals designing instructions were created for the panel bender. With the designing instructions the designers can take into account the abilities and restrictions of the panel bender. When dealing with the high automated machines the importance of designing increases. At the same time when designing instructions were made, all sheet metal parts were studied and defined to find out if it was possible to bend the parts with the panel bender. In addition some construction changes were considered and the old stages of operation were examined in case replacing them with the panel bender. In the thesis the hourly expenses of the panel bender were defined because they had not been defined earlier.</p> <p>Benchmarking research was done in the companies which possessed the same manufacturing techniques as Harvia Ltd. Via the research a lot was learned: How could working with the panel bender be improved and what were the main problems and issues that needed extra attention.</p> <p>In this thesis the most common bending processes were compared. The comparison was made between the bending machine, press brake, panel bender and robot assisted press brake. The comparison gave tools to examine Harvia's own bending processes more closely.</p> <p>The results of this thesis help the company to increase and improve the usage of the new panel bender. Development proposals, which were the result from the benchmarking research, can be used generally in companies which possess the same kind of manufacturing techniques.</p>		
Keywords Bending, panel bender, designing instruction, bending processes, expense, benchmarking		
Miscellaneous		

## SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>Opinnäytetyön lähtökohdat</b> .....	7
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset.....	7
1.2	Harvia Oy .....	8
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	10
<b>2</b>	<b>Särmäys ja taivuttaminen</b> .....	11
2.1	Taivuttamisen periaate .....	12
2.2	Muodonmuutokset .....	14
2.2.1	Taivutussäde.....	14
2.2.2	Takaisinjousto .....	14
2.2.3	Veneilmiö.....	15
2.2.4	Reikien ja muotojen sijoittaminen.....	16
2.3	Taivutuskone.....	17
2.4	Särmäyspuristin .....	19
2.4.1	Hydrauliset särmäyspuristimet.....	20
2.4.2	Mekaaninen särmäyspuristin .....	21
2.4.3	Sähkömekaaniset särmäyspuristimet .....	21
2.5	Särmäysmenetelmät.....	22
2.5.1	Vapaataivutus .....	22
2.5.2	Pohjaaniskutaivutus.....	22
2.5.3	Taivutus elastista vastinta käyttäen .....	23
2.5.4	Litistys.....	23
2.6	Robotisoitusärmäys .....	24
2.7	Taivutusautomaatti.....	26
<b>3</b>	<b>Muovaus</b> .....	28

3.1	Pyöristäminen.....	28
3.2	Syväveto .....	29
<b>4</b>	<b>Benchmarking .....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Kustannuslaskenta .....</b>	<b>33</b>
5.1	Kustannuslajilaskenta.....	36
5.2	Kustannuspaikkalaskenta .....	38
5.3	Suoritekalkyytit .....	39
5.4	Valmistus- ja omakustannusarvo.....	40
5.5	Kapasiteetti ja toiminta-aste .....	40
<b>6</b>	<b>Opinnäytetyön toteutus.....</b>	<b>42</b>
6.1	Prima-Power Ebe4 taivutusautomaatti.....	42
6.1.1	Runko .....	43
6.1.2	Lastaus- ja purkulaitteisto .....	44
6.1.3	Manipulaattori.....	45
6.1.4	Paikoituspinnit .....	46
6.1.5	Ylä- ja alatyökalu .....	46
6.1.6	Taivutusterät .....	47
6.1.7	Bend Express.....	47
6.1.8	Lisävarusteet.....	48
6.1.9	Mittatarkkuus ja laatu .....	53
6.1.10	Taivutuksen interpolaatio liikkeet .....	53
6.2	Suunnitteluohjeen laatiminen taivutusautomaatille.....	54
6.2.1	Imukuppitarttijat .....	55
6.2.2	Taivutettavat ainepaksuudet.....	56
6.2.3	Levyaihion minimi- ja maksimitat .....	57
6.2.4	Manipulaattori.....	57
6.2.5	Vakiovarusteilla valmistettävien taivutusten dimensiot .....	57

6.2.6	ASP-Lisäterillä valmistettavien taivutusten dimensiot .....	57
6.2.7	AUT- ylätyökalujen muodot ja mitat.....	58
6.2.8	Reikien ja muotojen sijoittaminen.....	59
6.3	Muotoilumahdollisuudet.....	59
6.4	Tuotannossa olevien levyosien läpikäynti taivutusautomaattia varten .....	62
6.5	Konstruktio muutokset .....	63
6.6	Työvaiheiden korvaus .....	67
6.7	Benchmarking .....	69
6.8	Taivutusautomaatin tuntikustannukset.....	73
6.8.1	Kustannusten jakautuminen .....	74
6.8.2	Valmistusarvot.....	75
6.9	Taivutusmenetelmien vertailu.....	76
6.9.1	Työkappaleet .....	77
6.9.2	Tarkkuus .....	78
6.9.3	Tuotanto .....	80
6.9.4	Ohjelmointi.....	81
6.10	Särmäyspuristimen ja taivutusautomaatin vertailu Harvia Oy:ssä .....	82
6.10.1	Valmistusmäärät.....	82
6.10.2	Valmistuskustannukset .....	83
<b>7</b>	<b>Kehittämisehdotuksia .....</b>	<b>84</b>
<b>8</b>	<b>Opinnäytetyön tulokset ja yhteenveto.....</b>	<b>86</b>
<b>9</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>88</b>
	Lähteet.....	92
	Liitteet .....	94
	Liite 1. Taivutusautomaatille sopivat levyosat .....	94
	Liite 2. Benchmarking kysymykset .....	97
	Liite 3. Benchmarking tulokset Sovella Oy .....	99

Liite 4. Benchmarking tulokset M-levy Oy.....	100
Liite 6. Kappaleajat ja taivutusmäärät.....	101
Liite 7. Valmistusmäärät ja valmistuskustannukset.....	102
Liite 8. Suunnitteluohje .....	103
Liite 9. Kuvia taivutusautomaatilla taivutettavista muodoista.....	113
KUVIO 1. Taivutusmenetelmiä.....	12
KUVIO 2. Venyminen ja tyssäntyminen.....	12
KUVIO 3. Plastinen ja elastinen vyöhyke.....	13
KUVIO 4. Bombeeraus ja työkappaleessa näkyvä veneilmiö .....	16
KUVIO 5. Reikien ja lovien mitoitus taivutuslinjaan nähden.....	16
KUVIO 6. Nurkkahelpotuksia .....	17
KUVIO 7. Taivutuskone.....	18
KUVIO 8. Taivutuksen suoritus taivutuskoneella.....	18
KUVIO 9. Särmäyspuristin.....	20
KUVIO 10. Särmäys.....	20
KUVIO 11. Robotisoitusärmäys.....	25
KUVIO 12. Taivutusautomaatti .....	27
KUVIO 13. Syvävetotyökalut.....	29
KUVIO 14. Vertailuoppimisprosessi .....	31
KUVIO 15. Vertailuoppimisprosessin kesto.....	32
KUVIO 16. Muuttuvat ja kiinteät kokonaiskustannukset.....	34
KUVIO 17. Muuttuvat ja kiinteät yksikkökustannukset .....	35
KUVIO 18. Koneen rakenne .....	44
KUVIO 19. Lastaus- ja purkulaitteisto .....	45
KUVIO 20. Manipulaattori ja tarrain .....	45
KUVIO 21. Paikoituspinnit .....	46
KUVIO 22. Taivutusterät ja –työkalut.....	47
KUVIO 23. ASP -kelkka ja lisätaivutusterä .....	49

KUVIO 24. ASP –lisätaivutusterät S1 ja S2.....	50
KUVIO 25. LBN purkulaitteen työnnin.....	51
KUVIO 26. T6-ryhmän AUT- lisätyökalu.....	51
KUVIO 27. UBC, manipulaattorin siltatarrain .....	53
KUVIO 28. Taivutusinterpolaatiot .....	54
KUVIO 29. Taitosliitoksia .....	60
KUVIO 30. Listaliitoksia.....	61
KUVIO 31. Levyaihio ja apukantti.....	62
KUVIO 32. ZSTM-207 ja taitosvirhe.....	63
KUVIO 33. ZSTM-207 ja helpotuksen sijainti .....	64
KUVIO 34. Helix Laatikon vaippa ja pohja .....	65
KUVIO 35. Helix negatiivisen suunnan taivutukset.....	65
KUVIO 36. ZSP-90 levyosa.....	66
KUVIO 37. Levytyökeskuksella tehtävä kalottimuoto .....	68
KUVIO 38. Pop –vetomutteri .....	68
KUVIO 39. Kalottimuodon korvaus taivutuksella .....	69
KUVIO 40. Salvagnini taivutusautomaatti, Sovella Oy .....	71
KUVIO 41. Purkurobotti, Sovella Oy.....	71
KUVIO 42. Salvagnini taivutusautomaatti, M-levy.....	72
TAULUKKO 1. Kustannuryhmät ja tuotantotekijät .....	36
TAULUKKO 2. ASP –lisäterilä taivutettavat materiaalivehvuudet .....	50
TAULUKKO 3. AUT -työkalut ja niiden käyttökohteet .....	52
TAULUKKO 4. Taivutettavat ainepaksuudet vakiovarusteilla.....	56
TAULUKKO 5. Lisäteräryhmillä taivutettavat ainepaksuudet.....	58
TAULUKKO 6. Nykytilan kartoitus .....	70
TAULUKKO 7. Toiminta-asteen tavoite .....	73
TAULUKKO 8. Kustannusten jakautuminen.....	74
TAULUKKO 9. Valmistusarvot .....	76



## LYHENTEET

VA = Valmistusarvo

MVA = Minimivalmistusarvo

NVA = Normaalivalmistusarvo

KVA = Keskimääräisvalmistusarvo

OKA = Omakustannusarvo

MOKA = Minimiomakustannusarvo

NOKA = Normaaliomakustannusarvo

ATC = Automaattinen työkalunvaihtaja, (Automatic tool change)

HTC = Hydraulinen työkalun kiinnitys (Hydraulic tools clamping)

ASP = Lisätaivutusterät (Additional short blades)

LBN = Viimeinen negatiivinen taivutus (Last negative bend)

AUT = Lisäylätyökalut (Additional upper tools)

CLL = Käänteinen taivutusjärjestys

UBC = Manipulaattorin siltatarrain (Upper bridge clamp)

TUT = Kääntävä purkupöytä (Tilting unloading table)

DFMA = Design for manufacturing

DFA = Design for assembly

## 1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

Opinnäytetyön tilaaja oli Harvia Oy:n saunakiuastehdas Muuramessa. Yrityksen puolelta opinnäytetyön ohjaajana toimi tuotantopäällikkö Arto Pirhonen.

Kiukaiden rakenteet muodostuvat suurelta osin eri valmistusmenetelmillä jalostetuista ohutlevyistä. Ohutlevyjen muotoon leikkaamisen jälkeen, yhtenä valmistusketjun tärkeänä osana on ohutlevyjen taivuttaminen. Taivutusvaiheesta osat jatkavat valmistusprosessissa maalaukseen, hitsaukseen, kokoonpanoon tai varastoon.

Taivutuksesta on jo vuosia vastannut yrityksen neljä särmäyspuristinta, mutta vuoden 2012 lopulla yritys hankki niiden lisäksi Prima-Power EBe4 taivutusautomaatin. Taivutusosastolla työskentely oli aikaisemmin pelkästään manuaalista työntekoa ja se oli hitauden vuoksi tuotannon pullonkaula. Yrityksellä ei ole aikaisempaa kokemusta pitkälle automatisoidusta taivutusmenetelmästä eikä sillä ollut tarkkaa tietoa siitä, mitkä särmäyspuristimilla taivutettavista osista sopisivat taivutusautomaatille. Lisäksi taivutusautomaatin todellisista ominaisuuksista ei löytynyt selkeää ja tarkkaa tietoa. Opinnäytetyölle aukeni paikka, koska taivutusautomaatti uutena investointina vaatii paljon resursseja sen tehokkaan hyödyntämisen mahdollistamiseksi.

### 1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena on tutustua perusteellisesti taivutusautomaattiin ja kartoittaa sen mahdollisuuksia suunnittelussa ja osavalmistuksessa. Perehdyttyä laitteen mahdollisuuksiin ja rajoituksiin, luodaan suunnittelijoiden avuksi mahdollisimman yksityiskohtainen ja selkeä suunnitteluohjeistus. Suunnitteluohjeen avulla taivutusautomaatti voidaan huomioida jo tuotteen suunnitteluvaiheessa, jolloin taivutusautomaatin todelliset hyödyt voidaan saavuttaa.

Suunnitteluohjeen laadinnan jälkeen käydään läpi valmistuksessa olevien taivutusta vaativien osien työpiirustukset ja selvitetään niiden sopivuus taivutusautomaatille. Lisäksi tutkitaan voidaanko osia saada taivutettaviksi taivutusautomaatille mahdollisten konstruktiomuutosten avulla. Työpiirustuksien läpi käynnin yhteydessä selvite-

tään voidaanko työkappaleen taivutuksen ulkopuolisia valmistusvaiheita korvata taivutusautomaatin monipuolisilla taivutusominaisuuksilla.

Opinnäytetyön tavoitteena on myös vertailla eri taivutusmenetelmiä yleisellä tasolla. Vertailtaviksi taivutusmenetelmiksi valikoituivat taivutuskone, särmäyspuristin, taivutusautomaatti ja robotisoitusärmäys. Yleisen vertailun lisäksi tullaan vertailemaan Harvia Oy:n tuotannossa taivutukseen käytettävien särmäyspuristimien ja taivutusautomaatin välisiä teknisiä ominaisuuksia, niiden eroja ja valmistuskustannuksia. Taivutusautomaatin kustannuksia tutkittaessa määritellään taivutusautomaatin kustannukset tuntia kohden. Opinnäytetyön edetessä Harvia Oy:n tuotantopäälliköltä tuli lisäksi toivomus, että opinnäytetyössä eriteltäisiin ja selvitetäisiin taivutusautomaatin tuntihintaan liittyviä kustannuksia.

Benchmarking tutkimus- ja kehitysmenetelmää käytetään hyödyntääksemme muiden yritysten aikaisempia kokemuksia taivutusautomaatin parissa työskentelystä. Tutkimuksen aikana vierailaan samaa valmistusteknologiaa omaavissa yrityksissä.

Benchmarking:n avulla pyritään hankkimaan tehdastason tietoa sekä yritysten toimintamalleja taivutusautomaatin kanssa työskentelyyn.

## 1.2 Harvia Oy

Harvia Oy on markkinoilla johtavassa asemassa oleva, saunakiukaita ja saunan oheistuotteita valmistava perheyritys. Se on toiminut Keski-Suomen alueella jo yli 60 vuotta. Konserni muodostuu tällä hetkellä Harvia Oy:stä, Velha Oy:stä ja Kiinassa toimivasta Harvia Guangzhou:sta. Harvia Oy työllistää maailmanlaajuisesti noin 300 henkilöä.

Opinnäytetyö tehtiin Harvia Oy:n päätoimipisteeseen Muurameen. Muuramessa sijaitsee Harvia Oy:n kiuastehdas, missä valmistetaan lähes kaikki yrityksen kiukaat. Muuramen toimipisteessä on katettua varastointi- ja tuotantotilaa yhteensä 32 000 m<sup>2</sup> ja siellä työskentelee noin 141 henkilöä (Taloussanomien n.d.). Harvia Oy:n valmistusvolyymi oli vuonna 2011 noin 100 000 kiuasta, joista noin puolet meni vientiin ympäri maailmaa. Kiukaista noin 60 000 oli sähkökiukaita ja 40 000 puukiukaita. Säh-

kökiuasmalleja on yhteensä 26 ja ne jaetaan lattia- sekä seinäkäyttöisiin (Sähkökiukaat 2011). Puukiukaita on yhteensä 29 eri mallia (Puukiukaat 2011). Saunakiukaiden lisäksi Harvia Oy valmistaa saunojen oheistuotteita kuten kiuluja, kauhoja, lämpömittareita yms. Lisäksi tuotekantaan kuuluu takkasydämiä, kamiinoita ja loimusavustimia. Kiukaat rakentuvat pääosin ohutlevyrakenteista, eikä yli viiden millimetrin ainepaksuuksia juurikaan käytetä. Kiukaiden osat jalostetaan pitkälle omassa tehtaassa ja osto-osia kiukaisiin tulee vähän.

Tuotantoprosessit voidaan jakaa Harvia Oy:n sisällä osavalmistuksiin ja loppukoonpanoihin sekä niiden tukitoimintoihin. Osavalmistusprosessit on jaettu funktionaalisen toimintamallin mukaan resurssiperusteisesti. Osavalmistuksesta vastaavat levytyökeskukset, särmäyspuristimet ja taivutusautomaatti sekä epäkeskopuristimet ja hitsausrobotit. Loppukoonpanot on jaettu kiuaskohtaisiksi soluiksi, jotka toimivat itsenäisinä kokonaisuuksina.

Harvia Oy panostaa tuotekehitykseen paljon etsien uusia ideoita toteutettavaksi. Uusien tuotteiden toteutusketju alkaa idean luomisesta, joka hyväksytetään tuotekehityspäälliköllä. Hyväksymisen jälkeen idea toteutetaan projektina, josta vastaa pääsääntöisesti yksi henkilö. Suunnittelija suorittaa tuotteen suunnittelun, prototyypin valmistuksen yhdessä tuotantohenkilöstön kanssa ja kiukaan toiminnan testaamisen. Tuotekehityksestä ja suunnittelusta vastaa yhteensä kuusi henkilöä.

Yrityksen talous on ollut lähivuosina hyvällä tasolla eikä varteen otettavia kilpailijoita ole pystynyt nousemaan haastajiksi. Vuoden 2011 tilinpäätöksessä liikevaihdoksi ilmoitettiin 41,6 miljoonaa euroa, josta nettotulosta oli noin 7,4 miljoonaa euroa (Taloussanomat n.d.).

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö sisältää sekä kvalitatiivisia, että kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Kvalitatiiviset tutkimukset käsittelevät asioiden merkityksiä, kun taas kvantitatiiviset tutkimukset numeroita.

Kvalitatiivisessa osuudessa selvitetään taivutusautomaatin ominaisuuksia ja kykyjä sekä selvitetään niiden avulla tuotannossa olevien osien sopivuus taivutusautomaatille. Työkappaleiden sopivuutta taivutusautomaatille tutkitaan myös rakennemuutosten kautta, jolloin pienillä muutoksilla saataisiin levyosat taivutusautomaatille sopiviksi. Opinnäytetyössä tutkitaan myös kuinka taivutusautomaatin ominaisuuksia hyödyntämällä voidaan jättää pois eri valmistusvaiheita. Edellä mainituissa tutkimukset suoritetaan tutustumalla taivutusautomaattiin käyttöohjeiden ja fyysisten mittausten perusteella. Benchmarking –menetelmää hyväksikäyttäen pyritään tutkimaan toisten samaa valmistusteknologiaa omaavien yritysten tapoja toimia taivutusautomaatin parissa, sekä oppimaan heiltä. Yleisellä taivutusmenetelmien vertailussa tuliaan hyödyntämään tuoretta kirjallisuutta ja näin saamaan ajankohtainen ja kokonaisvaltainen kuvaus taivutusmenetelmistä.

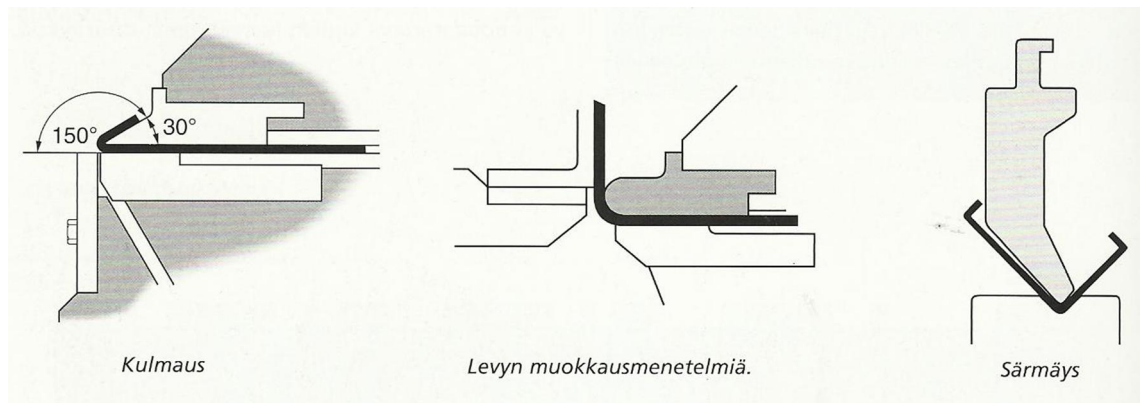
Kvantitatiivisessa tutkimuksessa pureudutaan taivutusautomaatin kustannusten laskentaan ja valmistusarvon eli konetuntihinnan määrittämiseen. Tarvittavat tiedot laskentaan on saatu haastattelemalla Harvia Oy: tuotantopäällikköä Arto Pirhosta. Koska taivutusautomaatti on yritykselle uusi tuotantohyödyke, eikä sen toimintaa ole vielä mittaroitu ja dokumentoitu, täytyi käyttösuhteen määrittämiseksi suorittaa laskelmia tavoitteelliselle käytännönkapasiteetille.

## 2 SÄRMÄYS JA TAIVUTTAMINEN

Kaarteiden ja kulmien muovaus voidaan standardin DIN 8586 mukaan jakaa kahteen ryhmään käytettävän muovaustyökalu tyyppin perusteella. Ensimmäisessä ryhmässä muovaus tapahtuu suoraviivaista muovaustyökalua käyttäen ja toisessa ryhmässä pyörivän muovaustyökalun avulla. (Schuler GmbH 1998, 366). Suoraviivaisella tarkoitetaan yleisempiä metalliteollisuuden taivutusmenetelmiä, kuten särmäyspuristinta. Tietoperusta osuudessa käsitellään ainoastaan suoraviivaisia taivutusmenetelmiä.

Levymateriaalin muovauksessa kohti lopullista muotoaan, käytetään usein valmistusmenetelmänä jonkinlaista taivuttamista. Taivuttaminen onkin yksi yleisimmistä metalliteollisuudessa esiintyvistä metallinmuovausmenetelmistä. Kyseenomaisesta muovausmenetelmästä käytetään nimityksiä kulmaus, särmäys ja taivuttaminen (Lepola & Makkonen 2011, 300).

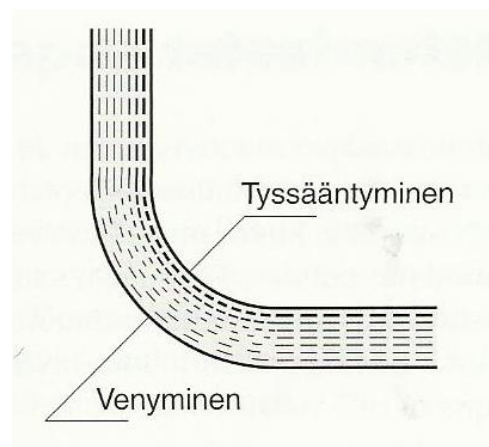
Kulmaus on käsin tai koneellisesti suoritettavaa ohuiden levymateriaalien muovausta, jota voidaan suorittaa menetelmästä riippuen ainevahvuuksille 1–2 mm (käsin) ja 2 – 5 mm (koneellisesti). Kulmaus on nimityksenä hieman vanhentunut ja nykyisin käytetään nimitystä ohutlevyysärmäys. Tämä johtuu ohuille levyille suunnattujen kulmauskoneiden jäämisestä pois nykyaikaisten koneiden tieltä. Särmäyksessä muovaus suoritetaan pienille taivutussäteille, usein materiaalivahvuuksista riippumatta. Ainoastaan särmäyskoneiden tekniset ominaisuudet tulevat vastaan suurien ainepaksuuksien kohdalla taivutusvoiman jäädessä vajaaksi. Taivuttamisesta puhutaan, kun levyn muovaus koskee suurempia taivutussäteitä kuin särmäyksessä. Taivuttamisen käyttökohteita ovat muototeräokset, teräslangat ja suurisäteiset levyn taivutukset. (Lepola & Makkonen 2011, 300.)



KUVIO 1. Taivutusmenetelmiä (Lepola & Makkonen 2011, 300)

## 2.1 Taivuttamisen periaate

Taivuttaminen perustuu kappaleen ominaisuuksien tuntemiseen, tarkemmin taivutettavan kappaleen myötörajan tuntemiseen. Taivutuksessa taivutuskohdan sisäpinnalla esiintyy tyssäntymistä ja ulkopinnalla puolestaan venymistä. Tyssäntyminen ja venyminen aiheuttavat taivutuskohtaan puristus- ja vetojännitysvoimia, jotka pyrkivät palauttamaan levyn alkuperäiseen muotoon. (Lepola & Makkonen 2011, 303.)

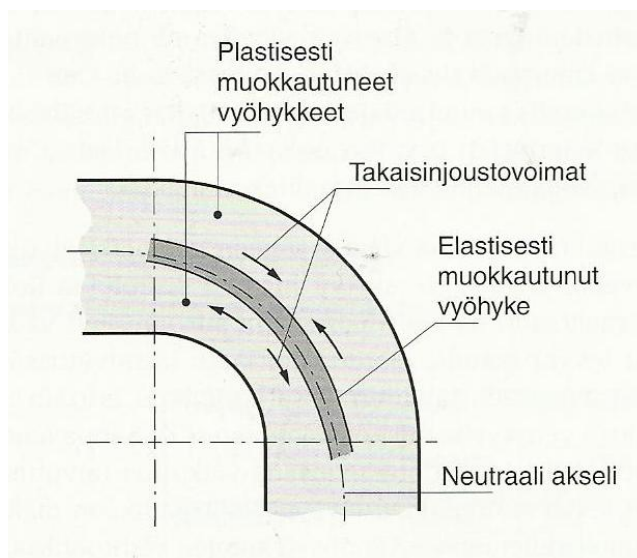


KUVIO 2. Venyminen ja tyssäntyminen (Lepola & Makkonen 2011, 303)

Taivutuksen voimasta levymateriaali pyrkii ohenemaan taivutuksen kohdalta, jolloin aineen keskilinja eli neutraaliakseli pyrkii siirtymään taivutuksen sisäpintaa kohti. Neutraaliakselin paikka löytyy taivutuskohdan sisä- ja ulkopinnan välistä siitä kohdasta, missä vetojännitys muuttuu puristusjännitykseksi ja jäännösjännityksen arvoksi

tulee nolla. Neutraaliakselin sijaintiin vaikuttavia seikkoja ovat levynpaksuus, materiaalin laatu ja taivutussäde. Jos levymateriaalia muokataan paljon, voi neutraaliakseli sijoittua myös aineen ulkopuolelle. (Lepola & Makkonen 2011, 303.)

Taivutustapahtuma voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: elastiseen, elastis-plastiseen ja täysin plastiseen. Elastisessa vaiheessa kappaletta taivutetaan niin, ettei sen ominainen myötöraja ylity, jolloin kappaleessa ei esiinny pysyviä muodonmuutoksia. Kappale pääsee taivutuksen jälkeen palautumaan alkuperäiseen muotoonsa. Elastis-plastisessa vaiheessa taivutuksen voima ylittää materiaalin myötölujuuden taivutuskohdan pintaosissa. Levyn pintaosiin muodostuu pysyviä muodonmuutoksia, mutta keskiosaan jää elastinen alue, joka pyrkii edelleen suoristamaan taivutusta. Kappaleeseen jää jonkin suuruinen pysyvä taivutus, eikä se palaudu enää alkuperäiseen muotoonsa. Täysin plastisessa vaiheessa levyn taivutussäde pienenee niin, että pintakerrokseen muodostuvat plastiset muodonmuutokset etenevät kohti taivutuksen keskiosaa. Taivutuskohdan keskiosaan ei jää enää elastisia vyöhykkeitä, jotka pyrkisivät palauttamaan kappaletta alkuperäiseen muotoon. Taivutuksesta muodostuu täysin pysyvä eli plastinen. (Matilainen ym. 2011, 239.)



KUVIO 3. Plastinen ja elastinen vyöhyke (Lepola & Makkonen 2011, 304)



## 2.2 Muodonmuutokset

Muodonmuutosten huomioon ottaminen levynmuovaamisessa on tärkeää oikeanlaisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Muodonmuutoksissa yleisimpiä ilmiöitä ovat särmän ulkopinnan murtuminen, materiaalin venyminen, takaisinjoustaminen, pitkien taivutusten kaareutuminen sekä reikämuotojen venyminen ja uudelleen sijoittuminen.

Kyseisiä muodonmuutoksia tullaan huomioimaan laadittaessa kattavaa suunnitteluohjetta taivutusautomaatille. Materiaalin venymisestä johtuvaa levyaihion oikaistun pituuden laskemista ei käsitellä tarkemmin, koska nykyaikaiset suunnitteluohjelmat pystyvät laskemaan levyaihion oikaistut mitat automaattisesti. Oikaistua pituutta laskettaessa lasketaan neutraaliakselin pituus. (Lepola & Makkonen 2011, 306.)

### 2.2.1 Taivutussäde

Taivutussäde voi aiheuttaa taivutettavassa työkappaleessa haitallisia muodonmuutoksia, jos taivutussäteestä tehdään liian pieni, eli taivutuskulmasta tulee terävä (Schuler GmbH 1998, 366). Sisätaivutussäde on riippuvainen ainepaksuudesta ja sen tulisi olla tilanteesta riippuen mahdollisimman suuri. Valmistajat antavat eri levy materiaaleille tietoja levykohtaisista minimi sisätaivutussäteistä, joiden arvoilla levyn ulkopinnassa ei tapahdu materiaalin murtumista. Mikäli taivutussädettä ei ole materiaalille määritetty, tulee sisäsäteenä käyttää yhtä vahvuusluokkaa suurempaa taivutussädettä (Lepola & Makkonen 2011, 302). Taivutussäteeeseen vaikuttaa myös levy materiaalin valssaussuunta. Valssaussuuntaan tehtävä taivutus kestää poikittaiseen suuntaan tehtävää taivutusta huomattavasti pienempiä taivutussädettä ilman murtumista.

### 2.2.2 Takaisinjousto

Levyaihiota muovatessa taivuttamalla, taivutuskohdassa esiintyy ulkopinnalla venymistä ja sisäpinnalla tyssäntymistä. Taivutuksen neutraaliakselin ympärille muodostuvat elastiset vyöhykkeet pyrkivät palauttamaan taivutusta kohti alkuperäistä muotoa, kun taas pintaosiin muodostuneet plastiset vyöhykkeet aiheuttavat päinvastai-

sen ilmiön vastustaen alkuperäisen muodon saavuttamista. Kuviossa kolme esitettyjen elastisten ja plastisten vyöhykkeiden aiheuttamien jäännösjännityksen vuoksi levyaihio joustaa takaisin, kunnes sisäinen voimatasapaino on löytynyt. Ilmiötä kutsutaan takaisinjoustoksi. (Lepola & Makkonen 2011, 304.)

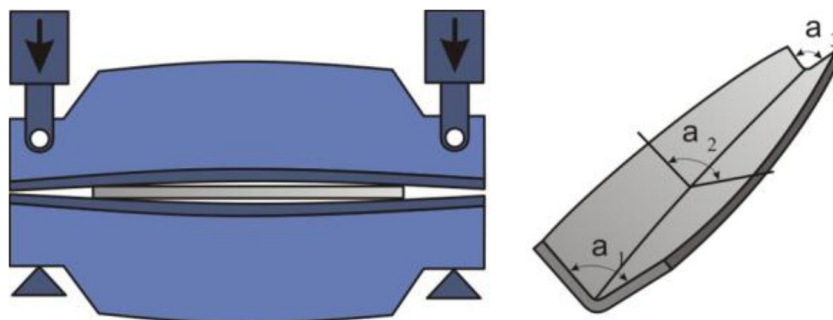
Takaisinjouston määrä kasvaa levyn ainevahvuuden pienentyessä, taivutussäteen ja myötölujuuden kasvaessa. Takaisinjousto esiintyy lähes kaikissa taivutusmenetelmissä, erityisesti vapaataivutuksessa. Takaisinjousto on vaikea arvioida materiaalien yksilökohtaisten ominaisuuksien vuoksi, mutta sitä voidaan tutkia särmäämällä koe-kappaleita ja korjaamalla kulmavirhe. Takaisinjousto voidaan minimoida lämmittämällä levyaihiota, jolloin sen ominainen myötölujuuden arvo laskee (Matilanen ym. 2011, 247). Lisäksi on mahdollista laskea takaisinjouston määrä takaisinjoustoker-toimen  $K$  avulla. Kerroin  $K$  voidaan laskea kaavaa 1 käyttäen ja mikäli sen arvoksi tuleva luku on lähellä yhtä, on takaisinjouston määrä hyvin vähäistä.

$$K = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (1)$$

$\alpha_1$ , Taivutuskulma ennen takaisin joustoja.  $\alpha_2$ , Taivutuskulma takaisinjouston jälkeen. (Lepola & Makkonen 2011, 304).

### 2.2.3 Veneilmiö

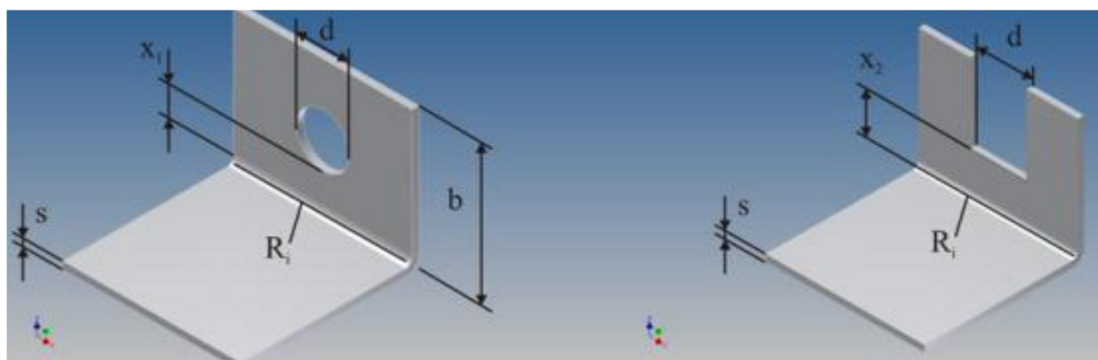
Niin sanottua veneilmiötä esiintyy pitkien kappaleiden taivuttamisessa särmäyspuristimella, missä taivuttava voima ei jakaannu tasaisesti taivutustyökalujen matkalla. Voiman epätasainen jakautuminen on seurausta särmäyspuristimien voimantuoton sijoittumisesta taivutustyökalujen päihin. Veneilmiössä taivutettavan työkappaleen taivutuskulmat ovat oikean suuruiset kappaleen päissä, mutta keskellä taivutuskulma jää suuremmaksi, jolloin pitkästä taivutuskappaleesta tulee venemäinen. Veneilmiötä voidaan kompensoida bombeeruksella eli työkalujen esitaivutuksella. Bombeeruksessa tasoitetaan iskupituus koko taivutustyökalujen matkalta yleensä esitaivuttamalla alatyökalupalkkia. (Matilanen ym. 2011, 244.)



KUVIO 4. Bombeeraus ja työkappaleessa näkyvä veneilmiö (Matilainen ym. 2011, 244)

#### 2.2.4 Reikien ja muotojen sijoittaminen

Erilaisia kolo- ja reikämuotojen sijoittamisessa tulee varoa niiden sijoittamista liian lähelle taivutuslinjaa. Koska taivutuskohdassa tapahtuu venymistä ja puristumista, aiheuttavat ne lähellä oleviin reikiin venymistä ja sijainnin muutoksia. Reikien ja lovi- en sijoittamisessa minimietäisyytenä taivutuslinjasta voidaan laskea kuvion viisi ja kaavojen kaksi ja kolme avulla. (Matilainen ym. 2011, 258.)



KUVIO 5. Reikien ja lovi- en mitoitus taivutuslinjaan nähden (Matilainen ym. 2011, 258)

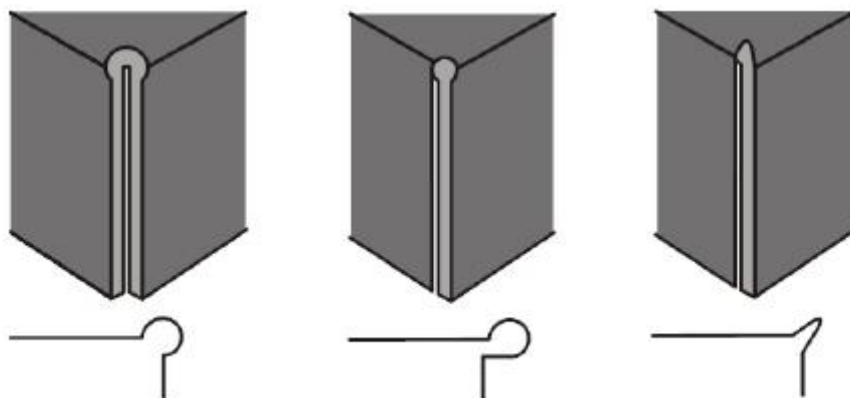
$$x_1 = \sqrt{d * s} + 0,8R_i * \sqrt{\frac{b}{d}} \quad (2)$$

$$x_2 = 1,1 * \sqrt{d * s} + 0,8R_i * \sqrt{\frac{b}{d}} \quad (3)$$

(Matilainen ym. 2011, 258)

Nurkkamuotojen sijoittamisessa tulee muistaa helpotusten käyttö. Ilman helpotuksia tehtävät nurkkamuodot voivat aiheuttavaa repeämisiä ja kulmien kohoamisia muu-

hun pintaan nähden. Helpotukset voivat olla muodoiltaan ja koiltaan monenlaisia riippuen käyttötarkoituksesta. (Matilainen ym. 2011, 259.)



KUVIO 6. Nurkkahelpotuksia (Matilainen ym. 2011, 259)

## 2.3 Taivutuskone

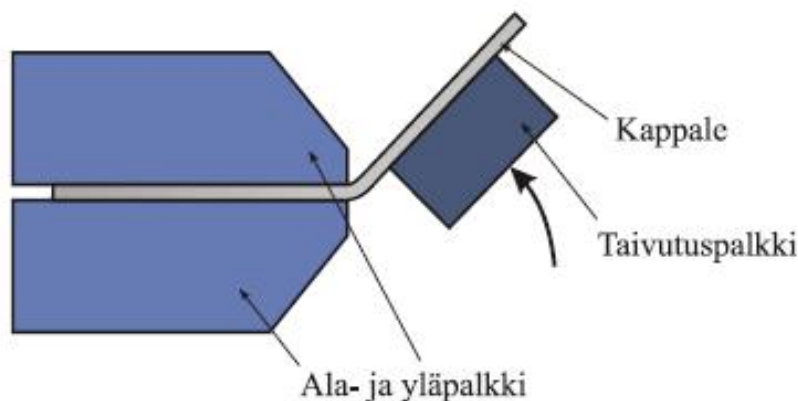
Taivutuskone on taivutuksessa käytettävistä koneista yksinkertaisin. Myös yksinkertaisimmat käsi käyttöiset taivuttamisessa käytetyt koneet lukeutuvat taivutuskoneiksi (Matilainen ym. 2011, 239). Taivutuskoneiden rakenne muodostuu yleisesti työpöydästä, rungosta, ylä- ja alapalkista, taivutuspalkista, ohjaimesta, työkaluista ja voimansiirtoyksiköstä. Suurissa taivutuskoneissa voimansiirron suorittaa hydraulikka, kun taas pienemmissä voimansiirto tapahtuu sähkömekaanisesti. Taivutuskoneiden työliikkeet tapahtuvat NC-ohjauksen turvin, jolloin itse taivutusprosessi on automatisoitu. Numeerisesti ohjataan mm. takavasteiden ja taivutuspalkin asemat sekä alapalkin taipumakompensointi, taivutusvoima ja yläpalkin liike (Mäki-Mantila 2001, 15). Taivutuskoneilla taivutuksia voidaan tehdä vain ylöspäin positiiviseen suuntaan, mutta uudemmilla monimutkaisimmilla laitteilla on mahdollista taivuttaa myös alaspäin negatiiviseen suuntaan. Nämä koneet ovat toiminnaltaan taivutusautomaatin kaltaisia, jotka sisältävät kappaleen käsittelymanipulaattoreita ja automaattisia kappaleen purku- ja lastauslaitteistoja.



KUVIO 7. Taivutuskone (Prolino n.d)

Taivutuskoneella suoritettava taivutus alkaa levyn asettamisesta työpöydälle, josta levy asemoidaan takavasteisiin käsin työntämällä. Asemoinnin jälkeen yläpalkki painuu alas puristaen taivutettavan levyn alapalkkia vasten. Taivutettava osa levyä jää vapaaksi, jonka jälkeen taivutuspalkki taivuttaa sen ylöspäin kuvion 8 mukaisesti.

Taivutustapahtuman aikana vain levyn taivutettava osio liikkuu muun levyn pysyessä paikallaan puristuksen vaikutuksesta (Mäki-Mantila 2001, 15). Taivutuksen muotoon voidaan halutessa vaikuttaa yläpalkkiin kiinnitettävällä taivutustyökalulla. Jos käytettävän taivutustyökalun pyöristys on taivutettavan vapaan pään taivutussädettä suurempi, muotoutuu levy taivutustyökalun mukaan. Mikäli työkalun pyöristys on pienempi, kuin taivutussäde, muotoutuu taivutettava levyn pää vapaasti (Matilainen ym. 2011, 240).



KUVIO 8. Taivutuksen suoritus taivutuskoneella (Matilainen ym. 2011, 239)

Taivutuskoneita käytetään lähinnä suurien, painavien ja paneelimaisten levyjen taivutukseen. Painavilla ja pitkillä levyillä kannattelun tarve on suurta, mikä hoituu taivutuskoneen työpöydän avulla. Taivutettavien materiaalien paksuudet vaihtelevat välillä 1,5 – 10,0 mm, mutta yleisimmin taivutettavat maksimipaksuudet eivät ylitä 3 mm (Mäki-Mantila 2001, 15). Taivutuskone sopii särmäyspuristinta paremmin pinnoitettujen levyjen taivutukseen, koska levy pysyy paikoillaan taivutustapahtuman aikana. Särmäyspuristimella taivutettaessa levy liukuu työkalujen välissä aiheuttaen mahdollisia naarmuja pinnoitteeseen.

Taivutuskoneella taivuttaessa virheet muodostuvat pääosin koneen numeraalisesti ohjattujen komponenttien tarkkuuksista, levyaihion mitta- ja materiaalipoikkeamista sekä operaattorin huolellisuudesta. Pitkiä kappaleita taivuttaessa voi esiintyä kuvion 4 mukainen veneilmiö, jossa taivutettavan kappaleen taivutussäde ja -kulma ovat levyn keskellä suurempia kuin päätyosissa.

Taivutuskoneen etuihin lukeutuu mahdollisuus taivuttaa suuria kappaleita nopeasti verrattuna esimerkiksi särmäyspuristimeen. Edellä mainittu hellävarainen taivuttaminen suojelee levyn pinnoitetta naarmuuntumiselta, kun kappale ei liu'u työkaluja vasten. Taivutettava kappale ei myöskään veny taivutuksen aikana (Mäki-Mantila 2001, 16). Lisäksi taivutuskone ei ole investointina kallis ja sen ohjelmointi on yksinkertaista.

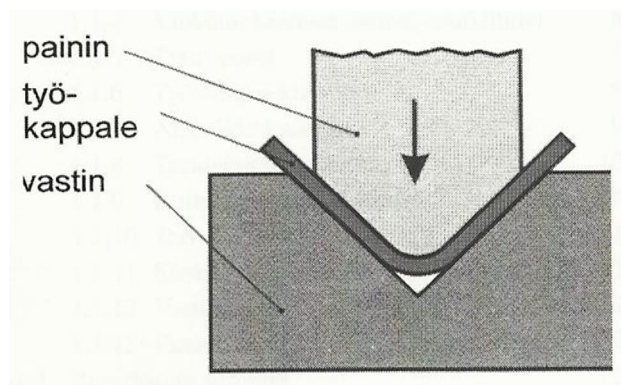
## 2.4 Särmäyspuristin

Särmäyspuristin on yleisimpiä koneita ohutlevytuotteiden valmistuksessa. Särmäyspuristimia on monen kokoisia, työkalupalkkien leveyksien vaihdellessa 1 – 10 metriin (Matilainen ym. 2011, 240). Särmäyspuristimia voidaan kytkeä rinnakkain, mikä mahdollistaa leveiden taivutusten suorittamisen. Yleisesti särmäyspuristimet ovat alle viiden metrin levyisiä.



KUVIO 9. Särmäyspuristin (Products PS. n.d.)

Taivutus tapahtuu asettamalla levyaiho ylä- ja alapalkissa olevien painimen ja vastimen väliin, jossa puristavalla liikkeellä saadaan aikaan haluttu taivutuskulma ja taivutussäde kuvion 10 mukaisesti. Levyaiho paikoitetaan taivutusta varten etu- tai takavasteisiin. Taivutuksen jälkeen levyaiho paikoitetaan uudelleen seuraavaa taivutusta varten. NC –ohjatuissa särmäyspuristimissa vasteiden paikat ohjautuvat numeerisesti jokaista taivutusta varten. Taivutettavaa levyaihiota voidaan käännellä taivutusten välillä, jolloin saadaan aikaan taivutuksia molempiin suuntiin ja haluttuihin paikkoihin.



KUVIO 10. Säritys (Mäki-Mantila 2001, 6)

#### 2.4.1 Hydrauliset särmäyspuristimet

Hydrauliset särmäyspuristimet ovat särmäyspuristimista yleisimpiä. Niissä työliike saadaan aikaiseksi yleensä kahden hydraulisen sylinterin avulla, jotka on kiinnitetty joko ylä- tai alapalkin päihin. Taivutusliike tapahtuu sylinterien sijainnista riippuen, joko alhaalta ylöspäin tai ylhäältä alaspäin. Alatoimisen särmäyspuristimen heikkou-

tena on työkappaleen liikkuminen taivutusliikkeen mukana, mikä voi aiheuttaa levyaihion liikkumista vasteisiin nähden ja aiheuttaa siten epätarkkuutta. Hydrauliset särmäyspuristimet ovat taivutusvoimaltaan suurimpia. Taivutusvoimat yltyvät esimerkiksi Prima-Power PH mallissa 16 000 kN:n saakka (Products Ph n.d.). Suurimmilla särmäyspuristimilla taivutusvoima voi yltyä jopa 20 000 kN:n (Mäki-Mantila 2001, 8.)

#### 2.4.2 Mekaaninen särmäyspuristin

Mekaaniset särmäyspuristimet ovat tekniikaltaan hieman vanhentuneita nykyaikaisiin hydraulisiin ja sähkömekaanisiin särmäyspuristimiin verrattuna. Mekaanisissa särmäyspuristimissa taivutusvoima saadaan aikaan pyörivän sähkömoottorin energian siirtämisellä vauhtipyörään, josta energia voidaan vapauttaa kytkimen avulla. Kytkeä siirtää energian kampiakseliin, jonka avulla työkalun liike saadaan aikaiseksi. Mekaanisen voimantuoton vuoksi työliike on epätarkka ja nopea. Käyttömekanismin avulla nopeasta työliikkeestä on saatu loppua kohden hidastuva, jolloin myös puskiin kohdistuva voima kasvaa. Mekaanisen voiman tuoton vuoksi mekaaniset särmäyspuristimet ovat alttiita rikkoontumisille, kun liian pitkäksi säädetty iskuliike aiheuttaa ylikuormituksen. (Mäki-Mantila 2001, 8.)

#### 2.4.3 Sähkömekaaniset särmäyspuristimet

Sähkömekaaniset särmäyspuristimet ovat yleistymässä nykypäivän konepajoissa. Sähkömekaanisissa särmäyspuristimissa taivutusvoima saadaan aikaiseksi servo-moottoreiden, vaihteistojen ja puskiin liikkeeseen tarvittavan mekaniikan avulla. Taivutusvoimat jäävät hydraulisia särmäyspuristimia huomattavasti pienemmiksi. Esimerkkinä Prima-Powerin eP Series, jonka taivutusvoima on maksimissaan 1300 kN. Sähkömekaanisilla särmäyspuristimilla voidaan kuitenkin päästä jopa 5000 kN:n taivutusvoimaan. (Mäki-Mantila 2001, 8.)

Sähkömekaanisissa särmäyspuristimissa yläpalkin liike saadaan aikaan hihnapyörien ja hihnojen avulla, joita on koko yläpalkin matkalla tasaisesti. Tämän ansiosta sähkömekaanisissa särmäyspuristimissa ei tarvita erikseen taivutuskompensoituja alapalkkeja, vaan kompensointi saadaan aikaiseksi yläpalkissa. (Dittus 2011)



## 2.5 Särmäysmenetelmät

Särmäysmenetelmiä ovat vapaataivutus, pohjaaniskutaivutus, taivutus elastinta vastinta käyttäen sekä litistys.

### 2.5.1 Vapaataivutus

Vapaataivutuksessa työkappale asetetaan ala- ja ylätyökalun väliin, missä työkappale taivutetaan työkalujen välissä ns. kolmipistetaivutuksena. Kolmipistetaivutuksessa työkappale jää alatyökalun V-aukon kahden kulman ja ylätyökalun kärjen väliin ja näin taivutuskulman suuruutta muunnellaan pelkästään ylätyökalun iskupituutta säättämällä. Ylätyökalun isku lopetetaan ennen kuin se saavuttaa alatyökalun V-aukon pohjan, jolloin väliin jää ilmarako. Vapaataivutuksessa käytettävien työkalujen kulmat ovat usein alle 90°, jolloin taivutuksen muoto ei määriy työkalujen muotojen mukaan. Taivutuksen muodot määräytyvät työkalujen keskinäisten etäisyyksien ja taivutettavan materiaalin ominaisuuksien, kuten lujuuden ja materiaalivahvuuden mukaan. Materiaalin ominaisuuksista riippuvan takaisinjouston määrä tulee kompensoida ylitaivutuksella. (Matilainen ym. 2011, 241.)

Vapaataivutuksen etuja ovat yksinkertaiset standardityökalut, joilla voidaan taivuttaa eri suuruisia kulmia eri suuruisille ainepaksuuksille. Yksinkertaisten työkalujen lisäksi on olemassa mekaanisesti säädettäviä alatyökaluja, joissa voidaan säätää erikseen V-uran leveyttä. Säädettävän V-uran avulla tarvittava työkalujen määrä vähenee, jolloin myös työkalujen vaihdot vähenevät (Mäki-Mantila 2001, 6). Vapaataivutuksessa voimantarve on myös pieni, jolloin taivutus onnistuu pienemmällä koneella tai suhteessa suuremmalle ainepaksuudelle. Vapaataivutuksen etuja ovat myös sen joustavuus ja helppo automatisointi (Matilainen ym. 2011, 241). Vapaataivutus onkin yleisin särmäysmenetelmä.

### 2.5.2 Pohjaaniskutaivutus

Pohjaaniskutaivutuksessa ylätyökalun iskupituus säädetään niin, että se painaa taivutettavan työkappaleen voimakkaasti alatyökalua vasten. Työkappale muotoutuu tarkasti työkalujen muotojen mukaan, minkä vuoksi työkalujen mittatarkkuudella on

suuri merkitys lopputulokseen (Matilainen ym. 2011, 241). Pohjaaniskutaivutuksessa saadaan aikaan hyvin tarkka ja jäykkä muoto, koska taivutettava materiaali muotoutuu lähes täysin plastisesti (Lepola & Makkonen 2011, 305). Plastisen muodonmuutoksen vuoksi takaisinjouston määrä on hyvin vähäistä tai sitä ei esiinny ollenkaan. Pohjaaniskutaivutuksessa plastinen taivutus saadaan aikaan suurella puristusvoimalla, mikä on noin 3 – 5 kertaa suurempi kuin vapaataivutuksessa. Pohjaaniskutaivutusta suositellaan alle 2 mm ainepaksuuksille, jotta puristusvoimien aiheuttamat rasitukset eivät kasva liikaa. (Matilainen ym. 2011, 242.)

### 2.5.3 Taivutus elastista vastinta käyttäen

Elastisen vastimen avulla taivutettava särmä muotoutuu käytettävän ylätyökalun mukaan. Elastinen vastin on valmistettu usein polymeeristä, jota vasten työkappale ja ylätyökalu painautuvat. Painumisen aikana työkappale muotoutuu ylätyökalun mukaisesti, vaadittaessa monimutkaisiinkin muotoihin. Elastinta vastinta käyttäessä tulee olla tarkka elastisen vastimen kovuuden suhteen. Liian pehmeä vastin voi aiheuttaa liian pitkän iskupituuden ja liian kova vastin puolestaan aiheuttaa liiallisen puristusvoiman tarpeen. Tavallisesti materiaaliin kohdistuva paine on noin 10 Mpa:n luokkaa (Mäki-Mantila 2001, 8). Menetelmä on tarkkuudeltaan vapaataivutuksen ja pohjaaniskutaivutuksen välillä, mutta epätarkkuus suurenee pitkien, yli kahden metrin mittaisten, kappaleiden kohdalla. (Matilainen ym. 2011, 242).

Elastisen vastimen käytöllä voidaan välttää työkappaleen naarmuuntuminen. Vapaa- ja pohjaaniskutaivutuksissa naarmuuntumista voidaan estää käyttämällä kiinteän alatyökalun ja työkappaleen välissä suojakalvoa. Elastinen vastin sopii useille eri ylätyökaluille, mutta sen käyttöä vaikeuttaa rajoittunut kestoikä. Elastinen vastin voi kulua voimakkaasti, mikäli taivutettavassa työkappaleessa on paljon reikiä tai ulkoneuvia muotoja. Nämä kuluttavat ja leikkaavat vastinta. Vastimen kulumista voidaan vähentää voitelemalla elastomeerin pinnat. (Mäki-Mantila 2001, 8).

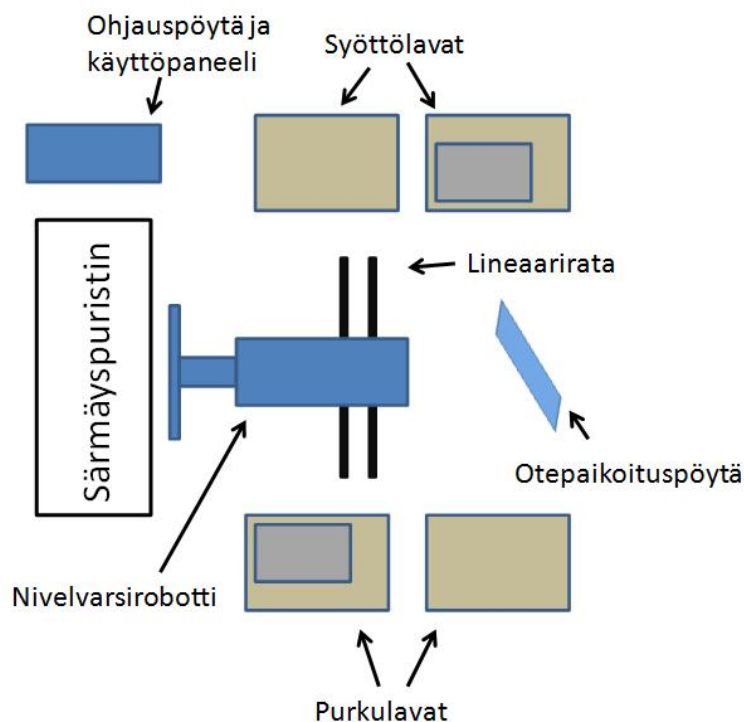
### 2.5.4 Litistys

Litistyksessä aihion reuna taivutetaan 180°. Litistys vaatii usein omat työkalut, jotka ovat tasapintaisia. Litistys suoritetaan kahdessa eri vaiheessa. Ensin suoritetaan särmän alkutaivutus, jota seuraa litistysvaihe (Mäki-Mantila 2001, 8). Litistykseen on

olemassa myös siihen suunniteltuja työkaluja, joissa ovat molempien työvaiheiden vaatimat työkalut yhdessä.

## 2.6 Robotisointusärmäys

Tavallisen särmäyspuristimen kappaleenkäsittely ja särmäystapahtuman avustaminen on mahdollista automatisoida nivelvarsirobotilla. Robotisoidussa särmäyksessä nivelvarsirobotti suorittaa särmäyksen perustoimenpiteet: levyaihion noudon, paikoituksen, taivutuksen myötäilyyn, otteenvaihdon ja pinoamisen. Laitteisto koostuu särmäyspuristimesta, vasteista, nivelvarsirobotista, otteenvaihto- ja paikoitusasemasta sekä syöttö- ja purkupisteistä. Robotisoidun särmäyksen laitteiston monipuolisuuden vaikuttavat särmäysvaiheiden ja särmättävien osien määrä. Joustavuuden saavuttamiseksi nivelvarsirobotti voidaan asentaa kiinteään aseman sijasta lineaariselle tai pyörivälle alustalle. Liikkuvan nivelvarsirobotin työalue kasvaa, jolloin on mahdollista käyttää ulottuvuudeltaan pienempiä nivelvarsirobotteja. Liikkuvuuden ansiosta nivelvarsirobotilla voidaan käyttää särmäyspuristimen koko leveydelle asennettuja työkaluasetuksia. (Mäki-Mantila 2001, 12 - 13). Kuviossa 11 on esitetty robotisoitu särmäyssolu oheislaitteineen.



KUVIO 11. Robotisointusärmäys (Mäki-Mantila 2001, 13. muokattu)

Kappaleen käsittelyssä käytettäviä tarraimia on monenlaisia, joista useimmat ovat alipaineella toimivia imukuppitarttujia. Aukotettujen profiilien käsittelyssä käytetään pihtitarraimia. Tarraimien vaihto on automatisoitu. (Mäki-Mantila 2001, 12 - 13).

Robotisoidun särmäyksen ohjelmointi on suuressa osassa. Ohjelmoinnissa tulee huomioida tarvittavat työkalut ja niiden sijainti särmäyspuristimen kidassa, käytettävät tarraimet ja niiden tarttumiskohdat, särmäysjärjestys, robotin suorittamat liikeradat ja mahdolliset tarttujan otteenvaihdot. Robotin ohjelmointi suoritetaan opettamalla robotille liikkeit ensin käsiohjauksella ja tallentamalla liikeratojen välipisteet ja liikkeiden nopeudet. Ohjelmoinnin nopeuttamiseksi standardiliikkeitä voidaan tallentaa aliohjelmia, kuten esimerkiksi kappaleen nouto ja purku sekä paikoitus tavasteisiin. (Mäki-Mantila 2001, 13).

Robotisoidussa särmäyksessä taivutettavat työkalut rajoittuvat usein tarraimen ja särmäyspuristimen työkalujen mukaan. Imukuppitarraimilla voidaan tarttua vain tasomaisiin pintoihin, joissa ei ole runsaasti reikiä. Imukuppitarttujilla ei myöskään voida tarttua kapeisiin työkaluihin, koska tarkan taivutuksen edellyttämä vakaa tartunta ei ole mahdollista. Robotisoidussa särmäyksessä taivutettava työkalu

tulisi tulla valmiiksi yhden työkierron aikana, koska uudelleen särmäys ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tämä voi asettaa ongelmia suurten monimutkaisesti särmättävien kappaleiden kohdalla, koska särmäyksessä käytettävät moninaiset työkalut eivät sovi särmäyspuristimen kitaan. Työkappaleen materiaalin kohdalla tulee huomioida ruostumattomien ja erikoislujien materiaalien takaisinjousto, joka voi aiheuttaa rajoittavia ongelmia. (Mäki-Mantila 2001, 13 - 14).

Taloudellisessa mielessä särmättävältä työkappaleelta vaaditaan seuraavia ominaisuuksia. Painavalla ja suuripinta-alaisella työkappaleella voidaan säästää työvoimakustannuksissa, kun manuaalisesti särmäyspuristimella taivuttaessa tulisi ko. työkappale vaatimaan kahden työntekijän panoksen. Työkappaleelta vaaditaan suurta särmäysvolyymia, jotta pitkä ohjelmointi aika (1 – 4 h) ei estä työn kannattavuutta. Lisäksi suurta särmäysvolyymia ja suuria eräkokoja tarvitaan hyvän asetusajaksuhteen saavuttamiseksi. Työkappale tulisi särmätä valmiiksi yhdellä työkaluasetuksella asetusajaksuhteen minimoimiseksi. Lisäksi valmiiksi taivutetulla työkappaleella tulisi olla pieni tilantarve varastoinnin ja sen aiheuttamien kustannusten vuoksi. Suuri aukoton pinta-ala mahdollistaa edullisten imukuppitarttujen käytön, jolloin tarvetta kalliille erikoistarraimille ei ole. (Mäki-Mantila 2001, 13 - 14).

## 2.7 Taivutusautomaatti

Taivutusautomaatti soveltuu hyvin suurten ja monimutkaisia taivutuksia omaavien työkappaleiden taivuttamiseen. Suurien työkappaleiden taivuttaminen onnistuu helposti, koska levyaihio lepää koko taivutustyökierron ajan työpöydällä liikkuen vain tarvittavia määriä taivutustyökalujen väliin. Taivutusautomaatilla voidaan taivuttaa positiiviseen sekä negatiiviseen suuntaan ja saada aikaan todella monimutkaisia taivutuksia. Taivutusautomaatin ehdottomiksi eduiksi luetaankin sen joustavuus ja monimutkaisten kappaleiden valmistus. (Mäki-Mantila 2001, 17).



KUVIO 12. Taivutusautomaatti (Products EBe. n.d.)

Taivutusautomaatti koostuu rungosta, taivutuskidasta, taivutusteristä, ala- ja ylätyökaluista sekä työpöydästä ja manipulaattorista. Taivutuskita muodostuu C-rungosta, johon on kiinnitetty ylä- ja alaterät. Yläterä taivuttaa työkalujen väliin puristettua levyaihiota alaspäin negatiiviseen suuntaan ja alaterä puolestaan taivuttaa sitä ylöspäin positiiviseen suuntaan. Manipulaattori on kiinnittynyt koneen runkoon ja siinä on levyaihioon tarttumisen vuoksi ala- ja ylätarrain. Manipulaattorissa on yksi lineaarinen akseli, joka siirtää levyaihiota taivutuskitaan päin ja pois sekä yksi rotaatioakseli, joka pyörittää levyaihiota työpöydällä. (Mäki-Mantila 2001, 17).

Taivutusautomaatit on mahdollista varustella valmistajien tarjoamilla optioilla, joilla voidaan mahdollistaa erinäisiä toimintoja. Näitä ovat mm. automatisoitu työkalun vaihto, kääntynyt taivutusjärjestys, lisätyökalut, leikkurit yms.

Taivutusautomaatilla taivutettavat työkappaleet rajoittuvat usein levyn maksimipaksuuden, särmän maksimikorkeuden ja levyaihion minimi- ja maksimikoon mukaan. Rajoituksia voivat aiheuttaa levyaihion erikoismuodot kuten vedot ja pyöreät reunamuodot. Taivutusautomaatille hyvin sopivia työkappaleita ovat paneelilevyt, joissa särmän reunakorkeus ei ole suuri pinta-alaan verrattuna (Mäki-Mantila 2001, 17).

Taivutusautomaatin tarkkuus paikoituksessa ja taivutuksessa on särmäyspuristinta parempi. Taivutusautomaatin tarkkuudella ja kyvyllä taivuttaa monimutkaisia muotoja voidaan saavuttaa kilpailuetua muihin taivutusmenetelmiin ja kilpailijoihin nähden. Monimutkaisilla taivutusmuodoilla voidaan vähentää levyosien kokonaismäärää, mis-

tä seuraa puolestaan aihion yksinkertaistuminen ja nimikkeiden vähentyminen. Laadukkaiden ja tarkkojen taivutusten ansiosta laatikkomaisissa tuotteissa nurkkapiena voidaan jättää kokonaan hitsaamatta. Tarkat taivutukset vähentävät yleisesti liittämistarvetta valmistusketjun edetessä. Taivutusautomaatin tuomien etujen tehokkaasta hyödyntämisestä seuraa läpäisyajojen lyhentyminen ja tuotannonohjauksen keventyminen. Keskenäinen tuotanto vähenee ja liittämisen työvoima- ja työvälinekustannuksissa voidaan säästää. Särmäyspuristimeen verrattuna välivarastoinnin määrä vähenee nimikkeiden vähentyessä ja, koska taivutusautomaatilla pystytään taivuttamaan pieniäkin eriä kustannustehokkaasti. Taivutusautomaatin tuomista eduista päästään nauttimaan parhaiten, kun sen tuomat mahdollisuudet ja kyvyt otetaan huomioon jo tuotesuunnittelussa. (Mäki-Mantila 2001, 18.)

### 3 MUOVAUS

Tässä kappaleessa tullaan käsittelemään ohutlevyn muovaukseen liittyviä valmistusmenetelmiä. Valmistusmenetelmiksi rajoutuivat pyöristäminen ja syväveto, koska kyseiset ohutlevyn muokkausmenetelmät ovat olennaisia tutkittaessa työvaiheiden korvausta taivutusautomaatilla.

#### 3.1 Pyöristäminen

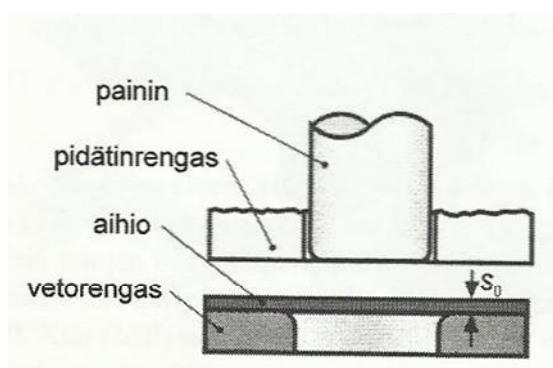
Pyöristäminen eli toisin sanoen mankelointi on särmäämisen ohella yksi yleisimmistä ohutlevyjen jalostukseen käytetyistä työstömenetelmistä. Pyöristämisessä levyaihiin saadaan aikaan pysyvä kaareutuva muoto, kun levyaihio syötetään kulkemaan pyöristyskoneen telojen välistä. Teloja on yleensä kolme kappaletta ja ne onkin sijoiteltavissa toisiinsa nähden halutun muodon aikaan saamiseksi. (Mäki-Mantila 2001, 22.)

Pyöristyskoneita on perusmalleista yksilöllisesti räätälöityihin koneisiin ja ne ovatkin jaettu epäsymmetrisiin ja symmetrisiin malleihin. Epäsymmetrisen pyöristyskoneen vetävät telat ovat sijoitettu päällekkäin, joista ylätela on hieman alatelaa edempänä ja taivuttava tela puolestaan on sijoitettu näiden eteen. Taivuttavaa etutelaa nostet-

taessa taivutussäde pienenee ja pyöristys muodostuu. Epäsymmetrisissä pyöristyskoneissa ala- ja etutela voidaan liikuttaa toisistaan riippumatta, mikä mahdollistaa taivutuksen ilman esitaivutusta. Symmetrisessä pyöristyskoneessa vetävät alatelat ovat sijoitettu symmetrisesti ylätelaan nähden. Ylätela puristaa levyaihiota alaspäin alateloihin nähden pienentäen taivutussädettä ja muodostaen pyöristykseen. (Mäki-Mantila 2001, 22.)

### 3.2 Syväveto

Syvävedossa levyaihiota muovataan puristinta ja syvävetotyökalua käyttäen. Levyaihiota asetetaan kuviossa 13 nähtävän pidätinrenkaan ja vetorenkaan väliin, jonka jälkeen painin painaa levyaihiota. Materiaali pääsee virtaamaan pidätin- ja vetorenkaan välisistä muotin pohjalle. Syvävedon onnistumiseksi täytyy hallita useita vaikeasti hallittavia parametreja, jotka voivat aiheuttaa ongelmia oikeanlaisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Ongelmallisia parametreja ovat mm. muovausnopeus, kitka, voitelu, painimen ja vetorenkaan pyöristykset sekä materiaalin muovausominaisuudet. Syvävedossa käytettävät työkalut ovat kalliita investointeja ja niinpä niiden valmistusvolyymit täytyy olla suuria. (Mäki-Mantila 2001, 22.)



KUVIO 13. Syvävetotyökalut (Mäki-Mantila 2001,22)



## 4 BENCHMARKING

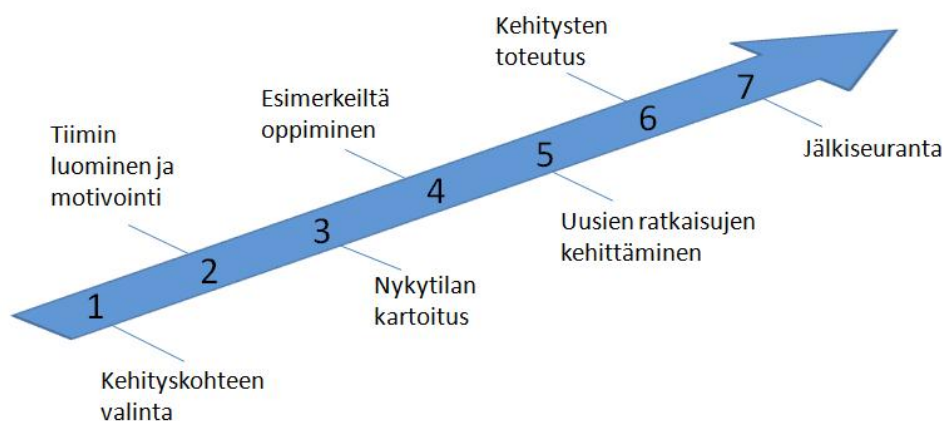
Benchmarking ja benchlearning ovat englanninkielisiä lähes samaa tarkoittavia termejä, jotka ovat suomennettu kiintopisteeksi ja vertailuoppimiseksi. Kummankin termin perusideana on oman toiminnan peilaaminen toisiin alalla menestyviin esikuvayrityksiin nähden ja kyky oppia heiltä.

Toisilta oppimisesta on tullut tärkeä ilmiö teollisuuden tuotannossa, hallinnossa kuin myös markkinoinnissa, oli kyse sitten julkisen tai yksityisen sektorin yrityksistä. Oppimisen tärkeys on edelleen korostunut, kun älyllisen pääoman merkitys yritysmäailmassa kasvaa. (Karlöf ym. 2003, 14.)

Oppimisessa ja peilaamisessa on hyvä ymmärtää mitä ja mihin ollaan vertaamassa. Teollisuusmaailman jatkuvan kehityksen ilmapiiri voi aiheuttaa yrityksille harhan jatkuvasta kehittymisen tarpeesta. Turhien asioiden jatkuva kehittäminen aiheuttaa kuitenkin vain häiriöitä organisaation toiminnassa (Karlöf ym. 2003, 14). Vertailuoppiminen on yksi keino, jolla yritykset voivat löytää oikeat muutosta vaativat kohteet. Suoritusmittareita vertaamalla esikuvayrityksiin, voidaan päätellä missä, milloin ja miten paljon eri kohteet tarvitsevat kehityspanosta. Suoritusmittareiden avulla yritys kykenee näkemään myös kohteet, jotka ovat esimerkkiyrityksen kanssa samalla tasolla ja eivät siten tarvitse kehitystä. (Karlöf ym. 2003, 15).

Vertailuoppimisen tavoitteena on saada aikaan muutoksia yrityksen sisäisissä käytösmaaleissa ja asenteissa. Ajattelulla, että on olemassa joku toinen, joka on tehnyt asiat aikaisemmin tai paremmin, voidaan poistaa itseriittoisuuden tunne ja näin säävuttaa ajattelutavan muutoksilla taloudellista hyötyä ja menestymistä (Karlöf ym. 2003, 16).

Vertailuoppiminen onkin systemaattinen lähestymistapa kehitykseen. Kirjan "Benchlearning, Good examples as a lever for development" mukaan vertailuoppimisprosessi on jaettu seitsemään loogisesti etenevään vaiheeseen, jotka on esitetty kuviossa 14.



KUVIO 14. Vertailuoppimisprosessi (Karlöf ym. 2001, 144. muokattu)

Ensimmäisessä vaiheessa korostetaan kehitysalueiden tarkkaa ja oikeaa määrittämistä. Alkuvalmisteluun tulee panostaa niin ajallisesti, kuin myös muiden resurssien puitteissa (Karlöf ym. 2003, 142). Toisessa vaiheessa pyritään valmistelevaan projektitiimi vertailuoppimista varten. Sopivan tiimin perustaminen, luottamuksen saavuttaminen tiimin kesken sekä asenteiden ja motivaation kohottaminen oppimiskyvyn kehittämiseksi on tärkeää (Karlöf ym. 2003, 147).

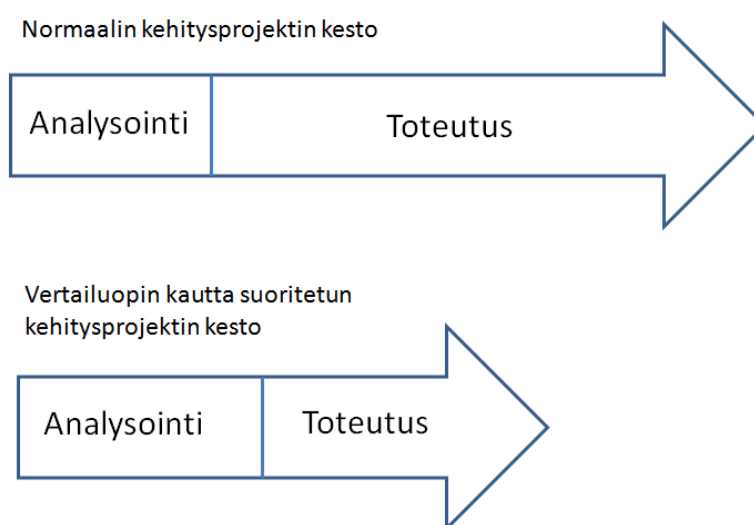
Kolmas vaihe eli nykytilan kartoitus on avain onnistumiseen. Mikäli omasta tasosta ei olla tietoisia, on hankala lähteä vertaamaan sen tasoa muihin yrityksiin. Kehityskoh- teeseen kattavalla perehtymisellä sekä analysoinnilla omaksutaan aihe ja saavute- taan omakohtaisia kokemuksia, joiden avulla kehittyminen on mahdollista. Nykytilan- teen kartoitus luo vertailuoppimisella lähtötason, mutta sen kautta saadaan myös tieto siitä, mitä esikuvayritykseltä lähdetään oppimaan. (Karlöf ym. 2003, 152-155).

Nykytilakartoituksen apuna voidaan käyttää prosessikuvauksia ja kalanruotokaavioi- ta, joiden avulla kehityskohteesta ja sen prosesseista saadaan kattava kokonaiskuva. Nykytilakartoituksen tuomana etuna voidaan pitää systemaattista ja jäsenneilyä uu- sien ideoiden ja inspiraatioiden hyödyntämistä (Karlöf ym. 2003, 155 -156). Kun esi- kuvayritykseen lähdetään vierailemaan, olisi suotavaa valmistautua vierailulle hyvin edeltä valmistelluin kysymyksin ja selkein tavoittein. Ilman minkäänlaisia esivalmiste- luita vierailu jää vain teollisuusturismien tasolle, eikä tarvittavia tietoja ja tuloksia saa- da aikaan.

Neljäs vaihe vertailuoppimisprosessissa on oppiminen ja ideoiden saaminen vertailu yritykseltä (Karlöf ym. 2003, 163). Tässäkin vaiheessa korostuvat edellisen nykytilakartoitusvaiheen peruseriaatteet tiedosta, mitä esimerkkiyrityksestä lähdetään oppimaan. Myös kumppaniyritykselle on saatava tietoisuuteen vertailuoppimisen periaate, jotta tarvittavaa tietoa kehitysalueesta voidaan saada. Neljännen vaiheen päätyttyä projektitiimillä tulisi olla dokumentaatiota esikuvayritykseltä saamista tiedoista. Myös selvyys siitä, miksi kyseisessä yrityksessä toiminta tuottaa parempia tuloksia ja on siten kannattavampaa (Karlöf ym. 2003, 176).

Viides vaihe on uusien ratkaisujen kehittäminen ja luominen. Aikaisemmin hankitun nykytilakartoituksen ja esikuvayritykseltä saamien tietojen perusteella projektitiimin tehtävänä on inspiroida ja luoda uusia konkreettisia ratkaisuja kehityskohteen ongelmiin. Uusien inspiraatioiden ja ratkaisumallien syntyessä, niiden hyväksyttäminen ja tärkeysjärjestykseen laittaminen edesauttaa vertailuoppimisen systemaattista läpikäyntiä. (Karlöf ym. 2003, 181).

Kuudennessa vaiheessa toteutetaan kehitellyt parannukset. Kun projektiin osallistuneet ovat olleen mukana ensimmäisistä hetkistä alkaen ja ovat itse kehityksen vaikutuspiirin alla, usko ongelmien ratkaisuihin ja projektin etenemiseen on vahva. Tästä johtuen oppimiskokemuksien avulla vertailuoppimisen kautta suoritettavien kehitysprojektien kokonaisaika kyetään lyhentämään kuvion 15 mukaisesti.



KUVIO 15. Vertailuoppimisprosessin kesto (Karlöf ym. 2001, 205, Muokattu)

Viimeiseen seitsemänteen vaiheeseen kuuluu seuranta ja uusien hankkeiden kehittäminen. Seuranta vaihe on vertailuoppimisen viimeinen vaihe, jossa kehitettyjen ratkaisujen toimintaa seurataan (Karlöf ym. 2003, 189). Koska vertailuoppimisessa on paljolti kyse asenteiden muuttamisesta suotuisaksi oppimiselle, antaa vertailuoppiminen kattavat ja avarakatseiset eväät tulevaisuuden hankkeille.

## 5 KUSTANNUSLASKENTA

Kaikenlaisen liiketoiminnan ylläpito aiheuttaa kustannuksia. Yrityksille on ensisijaisen tärkeää tuntea toimintaansa liittyvät kustannukset, jotta sen toiminnan kannattavuus ja taloudellisuus voidaan selvittää. Koska on olemassa erityyppisiä liiketoimia palvelualan yrityksistä teollisuusalan yrityksiin, on niitä varten myös erilaisia kustannuskäsitteitä ja laskentaa varten erilaisia kustannuskäsiteluookituksia. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 46.)

Kustannusten avulla pyritään mittaamaan tuotantotekijän kulutusta ja käyttöä rahallisesti. Kustannukset jaetaan muuttuviin ja kiinteisiin, välittömiin ja välillisiin, yhteis- ja yleiskustannuksiin sekä erillis- ja kokonaiskustannuksiin (Järvenpää ym. 2010, 54). Muuttuvat kustannukset ovat toiminta-asteen ja tuotantomäärien mukaan muuttuvia kustannuksia. Muuttuviksi kustannuksiksi pitää valita kustannukset, jotka ovat tarpeeksi selvästi yhteydessä toiminta-asteeseen (Järvenpää ym. 2010, 56). Muuttuvien ja kiinteiden kustannusten lajittelusta voi olla liiketoimintakohtaisia eroja niiden toiminnan luonteen vuoksi. Yleisesti teollisuusyritysten muuttuviksi kustannuksiksi lasketaan seuraavat:

- raaka-aineet, osto-osat ja puolivalmisteet
- tuotantoa varten hankitut alihankintapalvelut
- suoritettavan työn palkkakustannukset sivukuluineen
- tuotannon mukaan vaihtelevat apupalkat (mm. kuljetus, lajittelu ja kuormaus)
- suoritettavan työn kuluttama energiamaksu
- koneiden, laitteiden, työkalujen ja kaluston ylläpito tietyssä määrin.

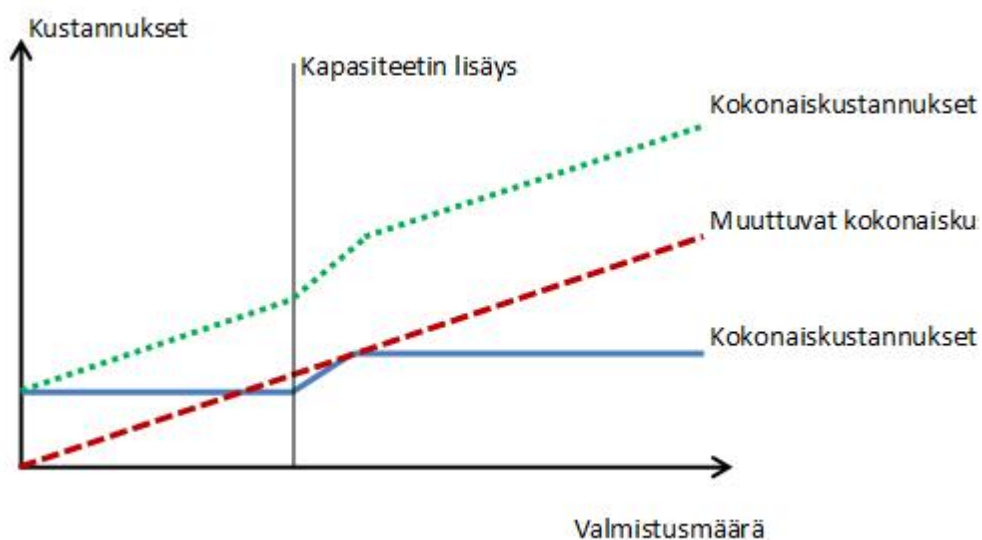
(Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 56.)

Kiinteät kustannukset eivät ole riippuvaisia toiminta-asteesta tai tuotantomäärästä, vaan kapasiteetin ylläpidosta ja sen muutoksista. Kiinteitä kustannuksia ovat seuraavat:

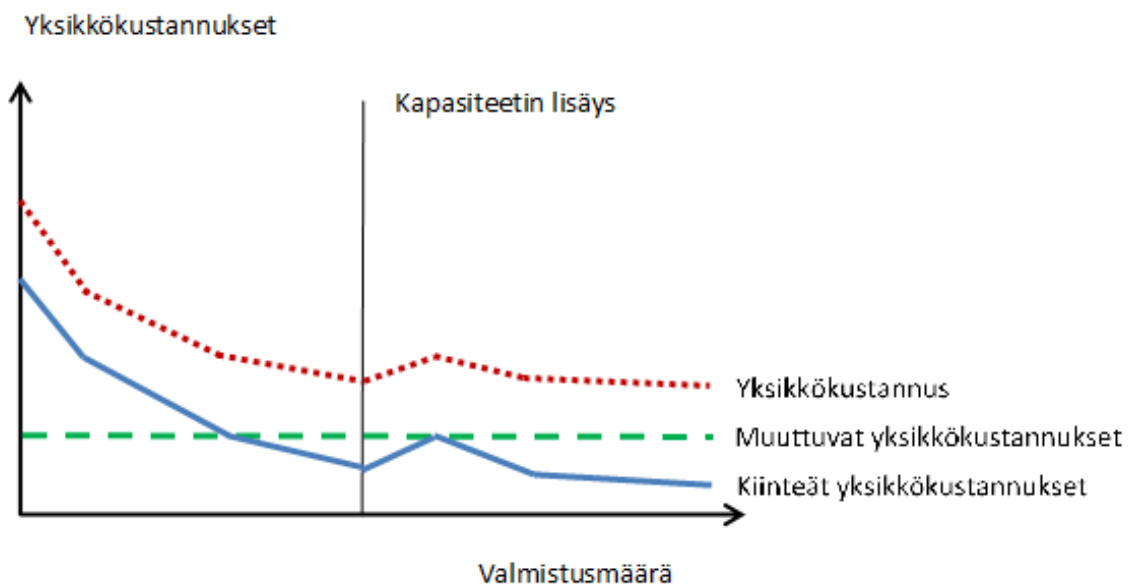
- kalustoon sidotun pääoman korot ja poistot
- vuokrat
- lämmitys- ja siivouskulut
- sähkön kiinteä perusmaksu
- yritysjohdon ja toimihenkilöiden palkat sivukuluineen
- hallinto- ja edustuskulut
- atk- ja toimistotarvikekulut.

(Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 46.)

Kuvioissa 16 on esitetty valmistusmäärän vaikutus muuttuviin ja kiinteisiin kokonaiskustannuksiin. Kuviossa 17 on puolestaan esitetty valmistusmäärän vaikutuksia muuttuviin ja kiinteisiin yksikkökustannuksiin.



KUVIO 16. Muuttuvat ja kiinteät kokonaiskustannukset (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 57, muokattu)



KUVIO 17. Muuttuvat ja kiinteät yksikkökustannukset (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 57, muokattu)

Muuttuvat ja kiinteät kustannukset jaetaan tuotekohtaisessa kustannuslaskelmassa välillisiin ja välittömiin kustannuksiin. Opinnäytetyön taivutusautomaatin tuntikustannusta laskettaessa emme nähneet tarpeelliseksi jakaa muuttuvia ja kiinteitä kustannuksia enää edelleen välillisiin ja välittömiin kustannuksiin.

## 5.1 Kustannuslajilaskenta

Kustannuslajilaskennassa otetaan huomioon yrityksen suoritteiden valmistukseen käyttämät tuotantotekijät. Tuotantotekijät voidaan jakaa työsuorituksiin, aineisiin sekä lyhyt- ja pitkävaikutteisiin tuotantotekijöihin. Taulukkoon 1 on kerätty tuotantotekijät ja kustannukset lajeittain.

TAULUKKO 1. Kustannuryhmät ja tuotantotekijät (Järvenpää ym 2010, 73)

Tuotantotekijät	Kustannusryhmät
Työsuoritukset	Palkkakustannukset Lakisääteiset henkilösivukustannukset Vapaaehtoiset henkilösivukustannukset
Aineet	Ainekustannukset
Lyhytvaikutteiset tuotantovälineet	Tarvikekustannukset Vuokratkustannukset Valaistus- ja energiakustannukset Kuljetus- ja ym. kustannukset
Pitkävaikutteiset tuotantovälineet	Poistokustannukset Korkokustannukset Vakuutuskustannukset

Työkustannuksia määrittäessä on tärkeä selvittää, mitkä työkustannuksista kohdistuvat juuri oikeille laskentakohteille. Teollisuusyrityksessä työntekijäkustannukset vaihtelevat paljon yrityksen automaatiotason mukaan. Korkean automaatiotason yrityksissä työntekijäkustannukset muodostavat murto-osan kokonaiskustannuksista, kun taas palvelualalla työntekijäkustannukset ovat hyvin merkittävässä roolissa. Työkustannusten keskeinen osa on työntekijälle työsuoritteiden tekemisestä maksettava bruttopalkka. Bruttopalkan lisäksi työkustannuksiin sisältyy laissa määrättyjä henkilösivukuluja, joita ovat vuosilomapalkat, sairaus- tai äitiysajan palkat sekä sosiaaliturva-, eläke- ja vakuutusmaksut. Henkilösivukulujen määrä vaihtelee vuosittain ja niiden osuus bruttopalkasta on noin 60 - 70 %. (Järvenpää ym. 2010, 73.)

Ainekustannukset ovat suuressa roolissa teollisuusalan yrityksissä aiheuttaen ison osan kustannuksista. Ainekustannuksiin luetaan seuraavat kustannustekijät. Raaka-aineet, puolivalmisteet sekä osa-, apu-, lisääaineet ja käyttöaineet, kuten poltto- ja

voiteluaineet. Lisäksi myös tarvikekustannukset lasketaan ainekustannuksiin. (Järvenpää ym. 2010, 77.)

Lyhytvaikutteisia tuotantovälineitä ovat energia-, tietoliikenne-, kuljetus-, kuljetusvakuutus-, huolto-, ja asiantuntijapalveluiden kustannukset. Lisäksi kone- ja tilavuokrat sekä leasingvuokrat lukeutuvat lyhytvaikutteisiin tuotantovälineisiin. Energia ja polttoainekulujen kohdalla yrityksen tulee miettiä niiden kustannusten kohdistumista, koska kyseisten tuotantovälineiden hinnat ovat yleensä markkinahintoja ja vaihtelevat ajan myötä. Tilavuokra voidaan käsitellä tuotantotilan neliömäärän mukaisesti. (Järvenpää ym. 2010, 82.)

Pitkävaikutteiset kustannukset muodostuvat pitkävaikutteisten tuotantovälineiden hankinnasta, hallinnasta, vakuuttamisesta ja näihin toimiin sitoutuneista pääomista. Pitkävaikutteisia tuotantovälineitä ovat rakennukset, tontit, koneet ja laitteet. Ai-neettomia pitkävaikutteisia tuotantovälineitä ovat puolestaan hankitut tietokonejärjestelmät ja –ohjelmat sekä patentit. Pitkävaikutteisiin hankintoihin liittyvät kustannukset ovat poistoja ja korkoja, mutta pääomakustannukset pitävät sisällään myös varastoon sidotun pääoman korkoja ja vakuutuksia (Järvenpää ym. 2010, 72).

Poistot ovat pitkäaikaiseen käyttöön tarkoitetun tuotantohyödykkeen aiheuttamia kustannuksia, jotka on jaksotettu sen käyttöajalle. Poistoaikaa määrittäessä täytyy pohtia kuinka kauan kyseinen tuotantohyödyke on todellisuudessa käytössä. Poistot voidaan jaksottaa seuraavilla menetelmillä.

Tasapoistossa hankintahinta jaksotetaan samansuuruisiksi osiksi hyödykkeen pitoajalle. Degressiivisessä poistossa eli menojäännöspoistossa poistokustannus pienenee vuosittain. Poiston suuruus määräytyy vakioprosentin mukaan menojämmärvosta. Progressiivisessä poistossa eli annuiteettipoistossa puolestaan poistokustannukset kasvavat hyödykkeen käyttövuosien mukana. Annuiteetilla tarkoitetaan kuoletuslainan vuotuisen koron ja lyhennyksen yhteissummaa. Annuiteetti lainassa annuiteetin määrä pysyy koko lainan takaisinmaksuajan samankokoisena, jolloin ajan kuluessa koron määrä suhteessa poiston määrään pienenee. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 99 – 102.)



Pääomaan ja sen käyttämiseen liittyy aina myös korot. Korkeus on hinta, joka täytyy maksaa rahan sitoutumisesta toimintaan (Järvenpää ym. 2010, 89). Kustannuslaskennassa korot voidaan ottaa kolmella eri tavalla huomioon.

- Kustannukset sisältävät toimintaan sitoutuneen koko pääoman laskennalliset korot
- Kustannukset sisältävät vain vieraanpääoman korot
- Kustannuksiin ei sisällytetä laisinkaan korkoja, vaan ne sisällytetään kate- tai voittotavoitteisiin.

(Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 104.)

## 5.2 Kustannuspaikkalaskenta

Yrityksessä pienintä toimintayksikköä kutsutaan kustannuspaikaksi. Kustannuspaikkojen aiheuttamia kuluja voidaan seurata ja dokumentoida erikseen, mikä helpottaa seurantaan ajanjaksoja kohden. Tämän avulla toteutuneita kuluja voidaan verrata budjetissa määriteltyihin tavoitteisiin ja saada selvyys kustannuspaikan taloudellisuudesta. Kustannuspaikkalaskelmilla saadaan myös pohja yleiskustannuslisille, kun lasketaan suoritekustannuksia. (Järvenpää ym. 2010, 90.)

Kustannuspaikat on nimetty toimintojen mukaan. Pääkustannuspaikka on tuotteen valmistukseen määritelty paikka, jossa suoritetaan jalostava-, kokoonpano-, tai viimeistelytyö. Apukustannuspaikat ovat pääkustannuspaikkaa avustavia, yrityksen toimintaa yleisesti avustavia toimintoja. Valmistuksen apukustannuspaikat eivät osallistu suoraan jalostavaan työhön, vaan apukustannuspaikkoja ovat esimerkiksi tuotesuunnittelu-, kunnossapito- ja työkaluosastot. Apukustannuspaikkojen aiheuttamat kustannukset kohdistetaan, joko suoraan tai toisten apukustannuspaikkojen kautta pääkustannuspaikalle. (Järvenpää ym. 2010, 91)

Kustannuspaikkoja ovat myös yhteiset kustannuspaikat, joita ovat lämmityskeskus ja vartiointi. Ainekustannuspaikat ovat nimensä mukaan vastuussa materiaalien hankinnoista ja varastoinnista. Hallinnolliset kustannuspaikat ovat talous ja yleisjohtoa. Markkinoinnin kustannuspaikat vastaavat myynnin ja markkinoinnin toiminnoista.

Tutkimus- ja tuotekehitystoiminnan kustannuspaikat vastaavat tutkimus- ja tuotesuunnittelutoiminnoista. (Järvenpää ym. 2010, 91.)

Apukustannuspaikkojen kustannukset siirretään pääkustannuspaikoille joko vyörytysmenetelmällä tai kiinteiden hintojen menetelmillä. Kustannuspaikkojen aiheuttamien kustannusten kohdentaminen suoritteille tapahtuu yleiskustannuslisien kautta.

### 5.3 Suoritekalkyytit

Suoritekalkyylien avulla määritellään tuotteen tai palvelun yksikkö- ja kokonaiskustannukset. Suoritteiden yksikkökustannukset voidaan laskea monella tapaa, mitä varten on olemassa erilaisia suoritekalkyylejä. Kalkyylistä riippuen suoritteelle kohdennetaan eri tavoin muuttuvia ja kiinteitä kustannuksia. (Järvenpää ym. 2010, 103.)

Minimikalkyyliissä huomioidaan suoritteen kustannuksista ainoastaan muuttuvat kustannukset, jolloin yksikkökustannus saadaan jakamalla muuttuvat kustannukset suoritemäärällä. Minimikalkyyli sopii laskentaan kun muuttuvien kustannusten osuus kokonaiskustannuksista on suuri.

Kiinteiden kustannusten osuuden kasvaessa kokonaiskustannuksiin nähden, on järkevämpää käyttää joko keskimääräis- tai normaalikalkyyliä. Keskimääräiskalkyyli ottaa huomioon sekä muuttuvat, että kiinteät kustannukset, jolloin suoritteen yksikkökustannus saadaan laskemalla muuttuvat ja kiinteät kustannukset yhteen ja jakamalla ne suoritemäärällä. Keskimääräiskalkyyllillä laskettaessa valmistusmäärillä on suuri vaikutus ja se voikin aiheuttaa matalilla valmistusmäärillä ylihinnottelua ja korkeilla valmistusmäärillä puolestaan alihinnottelua.

Normaalikalkyyllillä pyritään vaikuttamaan valmistusmäärien vaihteluihin. Normaalikalkyylin yksikkökustannusten laskentakaavassa muuttuvat kokonaiskustannukset jaetaan toteutuneella suoritemäärällä ja tähän lisätään kiinteät kokonaiskustannukset, jotka ovat jaettu normaalilla suoritemäärällä. (Järvenpää ym. 2010, 105-106.)

## 5.4 Valmistus- ja omakustannusarvo

Yritysten valmistus- ja omakustannusarvot lasketaan niin ikään edellä mainittujen kalkyylien avulla. Valmistusarvolla (VA) tarkoitetaan kustannuksia, jotka aiheutuvat vain tuotteen valmistuksesta. Valmistusarvoon sisällytetään vain tekemisestä aiheutuvat muuttuvat ja kiinteäkustannukset.

Valmistusarvoon lisättäessä vain muuttuvia kuluja, saadaan minimivalmistusarvo (MVA). Jos valmistusarvo lasketaan keskimääräis- tai normaalikalkyylin menetelmällä, saadaan normaalivalmistusarvo (NVA) ja keskimääräisvalmistusarvo (KVA). Normaali- ja keskimääräisvalmistusarvoon on muuttuvien kustannusten lisäksi sisällytetty kiinteitäkustannuksia.

Valmistusarvoon lisättäessä myös hallinnon ja myynnin aiheuttamat kustannukset, saadaan tuotteen omakustannusarvo (OKA). Omakustannusarvo voidaan niin ikään laskea minimi- ja normaalikalkyylin mukaisesti, jolloin puhutaan minimiomakustannusarvosta MOKA ja normaali omakustannusarvosta (NOKA). (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 120.)

## 5.5 Kapasiteetti ja toiminta-aste

Kustannuksia laskettaessa voidaan käyttää joko kapasiteettia tai toiminta-astetta kohdistettaessa kustannuksia tietyille yksiköille. Kapasiteetti on yrityksen tai jonkin sen osan enimmäistuotantomäärä tiettyä ajanjaksoa kohden. Kapasiteetit voidaan jakaa teoreettiseen ja tavoitekapasiteettiin sekä käytännön kapasiteettiin.

Teoreettinen kapasiteetti on enimmäiskapasiteetti ideaaliolosuhteissa, esimerkiksi viikon jokainen päivä kolmessa vuorossa ilman minkäänlaisia häiriöitä. Käytännön kapasiteetti voi sisältää hukka-aikaa. Se voi olla esimerkiksi toimintaa yhdessä vuorossa, jolloin hukka-ajaksi määrittyy kahdesta muusta vuorosta menetetty työaika. Käytännön kapasiteetissa tavoitekapasiteetista vähennetään tietty osuus aikaa, joka hukataan mm. seisonta-aikoihin, virheelliseen tuotantoon yms. (Eklund & Kekkonen 2011, 45.)

Tuotannossa käytetty työaika voidaan jakaa asetus-, kappale- ja apuaikaan. Asetusaika muodostuu erien vaihdon välillä tapahtuvista toimenpiteistä. Kappaleaika sisältää pää-, sivu- ja menetelmähäiriöaikoja. Pääaika on työkappaleen jalostukseen käytettyä aikaa. Sivuaika on puolestaan jalostavan työn tukevia toimintoja, kuten mittauksia ja työkappaleen liikuttelua. Menetelmähäiriöaika on nimensä mukaisesti häiriöistä johtuvaa ajan menettämistä. Apuaika muodostuu tuotannon ylläpitoon kuluva ajasta. Apuaikaan lukeutuu mm. kuluviin osien vaihtaminen, koneen puhdistus, operaattorin elpyminen yms. Ohjelmoitavissa koneissa työaikaan lukeutuu myös ohjelma-aika, joka muodostuu työstöohjelman tekoon kuluva ajasta. (Lapinleimu 1997, 49 – 52.)

Käyttöaste kuvaa yrityksen tai jonkin sen osan todellista tuotantomäärää tiettyyn ajanjaksoon nähden. Käytösuhde kuvaa puolestaan sitä, kuinka monta prosentti yrityksen todellinen tuotantomäärä on kapasiteettiin nähden. Yrityksen tavoittelevat menestyäkseen mahdollisimman suurta käytösuhdetta. Jos yrityksen tai sen osan käytösuhde on sata, se käyttää kaiken olemassa olevasta kapasiteetista. Käytösuhde saadaan laskettua seuraavasti.

$$\text{Käytösuhde} = (\text{Tuotantomäärä} / \text{kapasiteetilla}) \times 100$$

(Eklund & Kekkonen 2011, 45.)

Kapasiteetilla, toiminta-asteella ja käyttösuhteella on suuri vaikutus yksikkökustannuksiin. Toiminta-astetta voidaan joutua kasvattamaan, mikäli olemassa oleva kapasiteetti ei riitä tuottamaan vaadittua määrää. Kapasiteetin kasvattaminen kuitenkin nostaa kiinteiden kustannusten määrää. Kiinteitä kustannuksia voivat olla lisäkoneet tai palkatut työntekijät. Toiminta-asteen kohotus ei välttämättä vaadi kapasiteetin hankkimista, mutta se kasvattaa silti muuttuvien kustannusten määrää. Kasvanut tuotantomäärä tarvitsee enemmän raaka-aineita ja lisää valmistuksen kustannuksia. (Eklund & Kekkonen 2011, 46.)

## 6 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyön keskittyessä taivutusautomaatin ympärille, pyrittiin koneeseen tutustumaan alussa mahdollisimman huolellisesti. Taivutusautomaattiin oli olemassa yksi kansio, jossa esiteltiin koneen osia ja niiden toimintoja. Kansion avulla selvitettiin kuinka taivutusautomaatin eri osat toimivat ja mitkä ovat niiden funktiot taivutus-työkierron aikana. Lisäksi selvittelyä kaipasi lisävarusteiksi hankitut optiot ja kuinka paljon niitä hyödynnettiin. Opinnäytetyön aikana työskentelin Harvia Oy:ssä särmäjänä, jolloin pystyin muutaman viikon ajan alkuvuodesta 2013 seuraamaan koneen toimintaa käytännössä. Tutustuttua taivutusautomaattiin haastateltiin myös kahta koneella toimivaa operaattoria, joilta saatiin paljon tietoa koneen toiminnasta, käytännössä havaituista ongelmakohdista ja koneen eduista.

Taivutusautomaattiin oli olemassa myös käyttöohjekirja, joka oli hydrauliselle taivutusautomaatille suunnattu käyttöohjekirja. Sen sisältö vastasi kuitenkin pääpiirteittäin EBe4 taivutusautomaatin käyttöohjeita, joiden avulla kyettiin tutustumaan taivutusautomaatin käyttöön ja ohjelmointiin teorian muodossa.

### 6.1 Prima-Power Ebe4 taivutusautomaatti

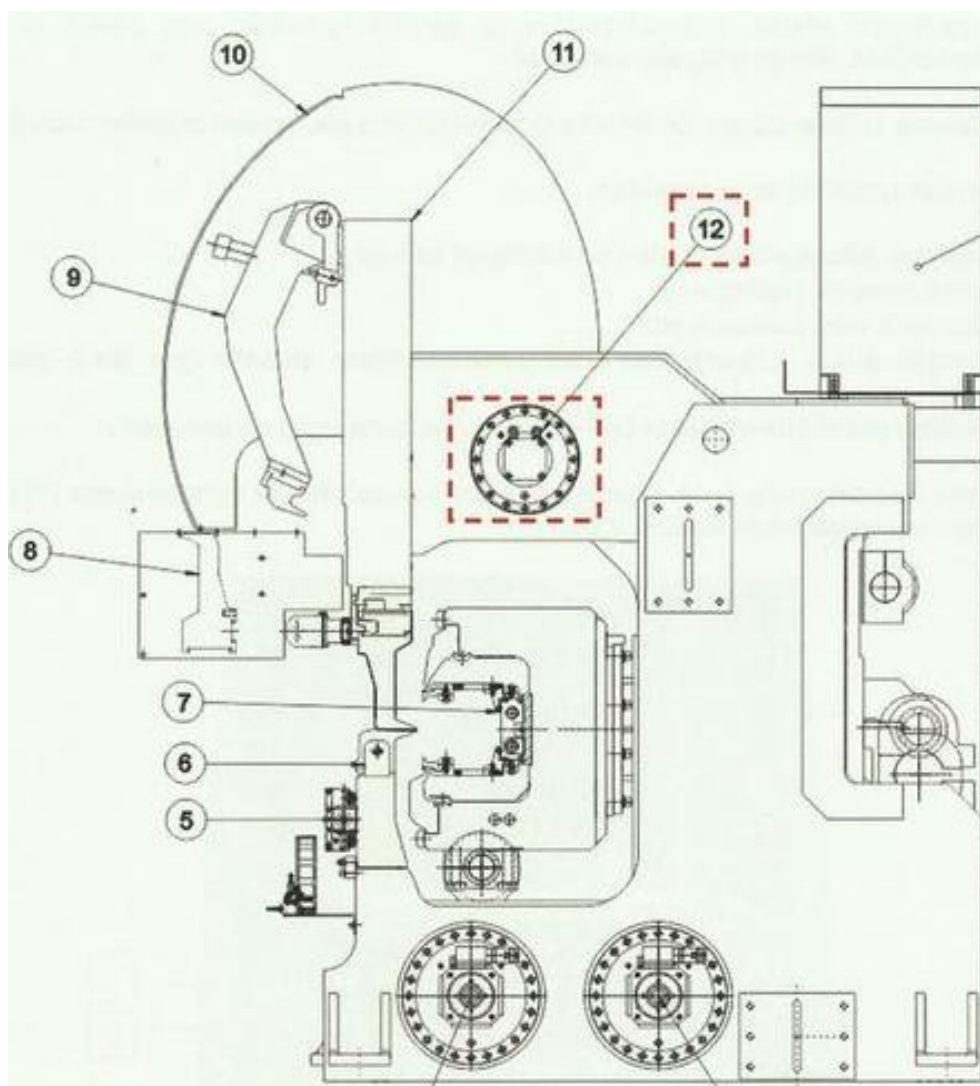
Prima-Power EBe4 on servosähköinen taivutusautomaatti, joka on pitkälle automatisoitu kokonaisuus. Täysin automatisoidussa työkierrossa kone suorittaa kappaleen lastauksen ja purun, sekä manipuloinnin, pyöriksen, taivutuksen ja työkalujen vaihdot. Automatisoitujen toimintojen avulla EBe4 pystyy taivuttamaan monimutkaisia ja korkea laatuista kappaleita itsenäisesti toimien. EBe4:n etuihin kuuluu myös vähäinen sähkönkulutus (9,5 kW).

EBe4 on CNC-ohjattu kone, joka on digitaalisesti yhteydessä ohjelmoituun logiikkaan. Kaikki servomootoreiden avulla liikuttettavat akselit ovat numeerisesti ohjattuja. Voimaa ja luotettavuutta tarvitsevilla toiminnoilla on käytetty voiman tuottona hydraulikkaa ja paineilmaa. (Finn-Power Italia 2012.)

Työkierto Ebe4 taivutusautomaatilla alkaa levyaihionipun nostamisesta koneen imukuppitarttujen alle. Tämä työ suoritetaan manuaalisesti trukin avulla ja se vaatii kohtuullista tarkkuutta, koska levyaihionippu ei saa olla epätarkasti pinottu tai paikoitettu, niistä aiheutuvien häiriöiden vuoksi. Imukupit nostavat tämän jälkeen yksittäisen levyaihion työpöydälle, josta manipulaattori tarttuu siihen. Manipulaattori työntää levyaihion paikoituspinnejä vasten erillisen paineilmalla toimivan työntölaitteen avulla. Paikoituksen jälkeen manipulaattori työntää tarvittavan määrän levyaihiota ylä- ja alatyökalun väliin, jotka taivutuksen aikana pitävät levyaihiota paikoillaan. C-rungossa olevat taivutusterät suorittavat vaaditut taivutuksen. Taivutukset suoritetaan levyaihion ulkoreunoista sisäänpäin jokainen reuna kerrallaan. Taivutuksia voidaan tehdä sekä negatiiviseen, että positiiviseen suuntaan. Kun tarvittavat taivutuksen on tehty, siirtää manipulaattori taivutetun levyn työpöydän hihnakuljettimille, jotka siirtävät sen purkupöydälle.

### 6.1.1 Runko

Ebe4 taivutusautomaatti koostuu kahdesta rungosta. Päärunko on lattiaan kiinnitetty, paikoillaan pysyvä koneen kiinteä runko, joka toimii koneen perustana ottaen vastaan taivutuksista muodostuvat voimat. Toisena runkona toimii C-runko, joka on kiinnitetty päärunkoon. C-rungossa on kiinni taivutuksessa käytettävät ylä- ja alataivutusterät. Kuviossa 18 on esitetty koneen rakenne ja keskeisimmät koneen osat. (Finn-Power 2012, 17.)



KUVIO 18. Koneen rakenne (Finn-Power 2012, 16)

### 6.1.2 Lastaus- ja purkulaitteisto

Lastauslaitteisto koostuu lastauspöydästä ja lastauslaitteesta. Lastauspöydälle asetetaan levyaihionippu, joka kohdistuu lastauspöydän vasteille kahden magneettitangon avulla. Lastauslaitteena toimii imukupeilla varustettu nostolaite, jossa on kaksoislevytunnistin. Imukupitarttujan nostokapasiteetiksi on määritelty 72 kiloa. Purkulaitteisto koostuu hihna- ja rullakuljettimista, mitkä poistavat taivutetun työkappaleen. (Finn-Power Italia 2012.)

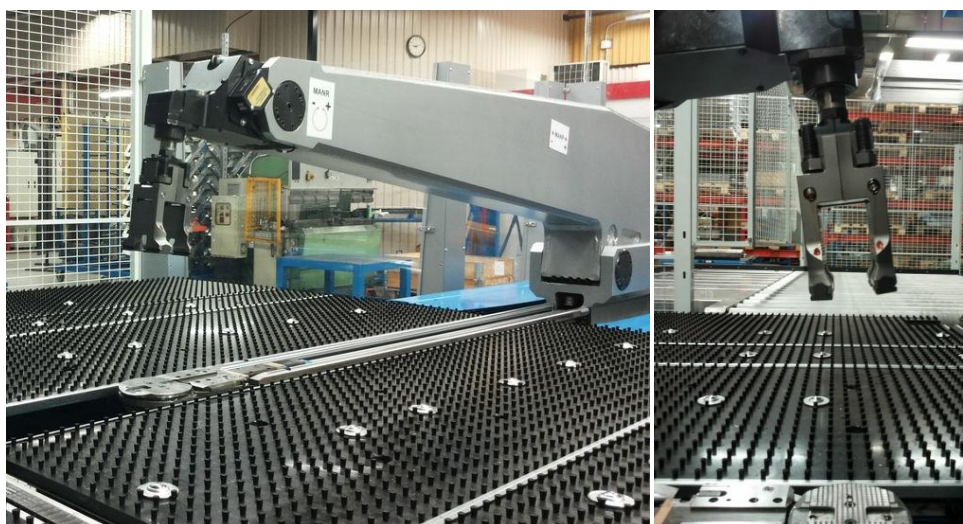


KUVIO 19. Lastaus- ja purkulaitteisto

### 6.1.3 Manipulaattori

Manipulaattorin tehtävä on käsitellä levyaihiota työpöydällä taivutustyökierron aikana. Näihin tehtäviin kuuluu levyaihion paikoitus, pyöritys ja taivutusohjelman mukaan etenevät liikkeet.

Manipulaattorin alusta on kiinnitetty lineaarisiin johteisiin, joita ohjataan kuularuuveilla. Manipulaattorin päässä on tarrain, jonka avulla pidetään ote levyaihioon ja pyöritetään sitä tarvittaessa 360°. Manipulaattorissa on paikoitusta varten erikseen pneumaattisesti toimiva työntävä sylinteri, joka pukkaa levyaihion paikoituspinnejä vasten. (Finn-Power Italia 2012.)

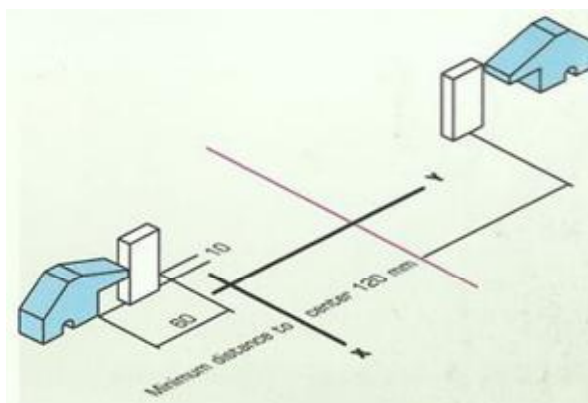


KUVIO 20. Manipulaattori ja tarrain



### 6.1.4 Paikoituspinnit

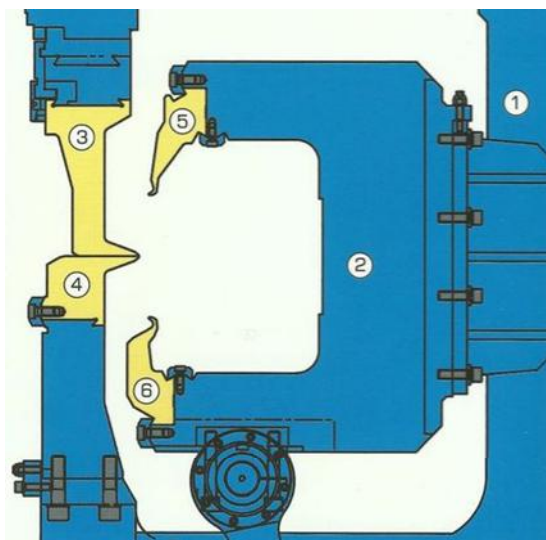
Paikoituspinnit toimivat kolmen NC-ohjatun akselin voimin, minkä ansiosta ne voivat keskittää epäsymmetrisiä tai –tasaisia levyaihioita. Paikoitettavan levyaihion ulkomitat tulee olla minimissään 370 mm x 180 mm ja maksimissaan 2450 mm x 1500 mm. Jokainen paikoituspinni, tyypistä riippumatta, on erikseen ohjelmoitavissa koneen keskilinjaan nähden. (Finn-Power n.d., 7)



KUVIO 21. Paikoituspinnit (Finn-Power n.d., 7)

### 6.1.5 Ylä- ja alatyökalu

Ylätyökalu muodostuu yhdestä tangosta ja työkalusegmenteistä. Segmentit ovat muokattavissa taivutettavan kappaleen mittojen mukaisesti. Ylätyökalusegmentit voivat supistua kapeammiksi taivutuksen jälkeen, mikä mahdollistaa työkalun irrottamisen koneesta. Ylätyökalu on kiinnitetty koneen päärunгон takaosaan neljällä saranoidulla tukivarrella. Ylätyökalun segmentit on kiinnitetty työkalutankoon hydraulikalaitteilla (HTC), joilla suoritetaan niiden lukitus ja avaaminen. Hydrauliikan avulla segmenttien vapauttaminen ja asentaminen on helppoa ja nopeaa. Finn-Power:n mukaan manuaalisesti suoritettuun työkaluasetukseen kuluu aikaa keskimäärin viisi minuuttia. Alatyökalu on yksittäinen elementti, mikä on kiinnitetty runkoon välikappaleella ja pikakiinnittimillä. (Finn-Power 2012, 18.) Kuviossa 22 numeroituissa kohdissa kolme ja neljä on esitetty ylä- ja alatyökalut.



KUVIO 22. Taivutusterät ja –työkalut (Finn-Power n.d., 6)

### 6.1.6 Taivutusterät

Taivutuksen suorittavat ylä- ja alaterät on kiinnitetty koneen C-runkoon kuvion 22 numeroiden viisi ja kuusi mukaisesti. C-runkoa voidaan liikuttaa taivutusten mukaan vertikaalisesti ja horisontaalisesti kahden kampiakselin ja kiertokankimekanismin avulla (Finn-Power Italia 2012). Yläterällä suoritetaan taivutukset negatiiviseen suuntaan, kun taas alaterällä saadaan aikaiseksi taivutus positiiviseen suuntaan. Teriä ohjataan numeerisesti ja itse liike saadaan aikaisesti servosähkömekanismeilla. (Finn-Power 2012, 17).

### 6.1.7 Bend Express

Bend Express on EBe4 taivutusautomaatin käyttämä Windows XP –pohjainen graafinen käyttöliittymä, joka toimii taivutusautomaatin omalla tietokoneella. Taivutettavan työkappaleen levyaihion tasomainen profiili tuodaan tietokoneelle DXF – tiedostomuodossa. Bend Express on luotu taivutusautomaatin ohjelmointia ja käyttöä varten. Pääominaisuuksia ovat koneen akseleiden graafinen ja numeerinen paikointus ja työkalujen tilojen esitys. CNC –ohjelman käsittely ja muokkaus sekä parametrien luonti ja aktivointi. (Finn-Power 2012, 1-1.)

käyttöliittymän monitoimijärjestelmä mahdollistaa mm. ohjelmoinnin, muokkauksen, ohjelmien latauksen ja niiden haun kirjastosta taivutussekvenssin aikana. Lisäksi

bend express tallentaa automaattisesti taivutusparametreja materiaalikirjastoon. (Finn-Power Italia 2012.)

### 6.1.8 Lisävarusteet

Prima-Power EBe4 taivutusautomaatti on mahdollista varustaa lisäoptioilla, jotta kone pystyisi vastaamaan mahdollisimman hyvin tuotannon vaatimuksiin. Seuraavaksi tullaan esittämään EBe4:n lisävarusteet, jotka ovat käytössä Harvia Oy:n taivutusautomaatissa.

#### **ATC, Automaattiset työkalunvaihtajat, TCS versio**

TCS on automaattinen työkalunvaihtaja, joka muuttaa ylätyökalun pituutta automaattisesti. TCS sisältää kaksi robottia, jotka siirtävät kapeita, 4 mm levyisiä, työkalusegmenttejä muuttaen ylätyökalun leveyttä. TCS robotit lastaavat ja purkavat kapeita työkalusegmenttejä ylätyökalun keskiosasta ja siirtävät päätysegmentit paikoilleen.

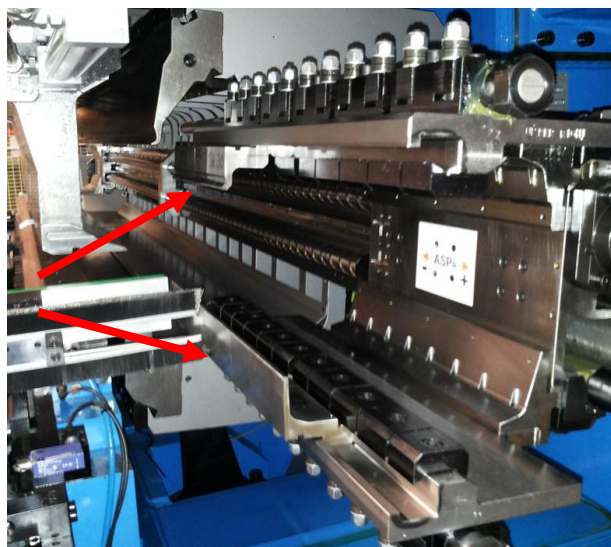
TCS:n avulla työkalujen kokonaismäärää voidaan pudottaa ja asetusaikoja lyhentää. Finn-Powerin mukaan työkalun vaihtoon kuluvaksi ajaksi on arvioitu keskimäärin 18 sekuntia. Lisäksi TCS:n avulla vältetään työntekijän tekemiltä virheiltä oikeiden työkalujen valinnassa. (Finn-Power 2012, 30.)

#### **ASP, Lisätaivutusterät**

ASP:llä tarkoitetaan C-rungon sisäpuolelle asennettuja lyhyitä lisäteriä. Lisäterät on kiinnitetty kahteen NC-ohjattuun kelkkaan, jotka pystyvät liukumaan lineaarisesti koneen puolelta toiselle. Kahdella itsenäisesti ohjattavalla akselilla lisäteriä voidaan paikoittaa symmetrisesti tai toisistaan riippumattomasti. Kuviossa 23 on esitelty kelkka, jossa on kiinni lisätaivutusteriä.

Kelkkoihin asennettavat lisäterät voivat olla erimuotoisia ja pituisia, riippuen työkalupaleen vaatimista taivutuksista. Lisäterillä suoritettavat taivutukset ovat usein pie-

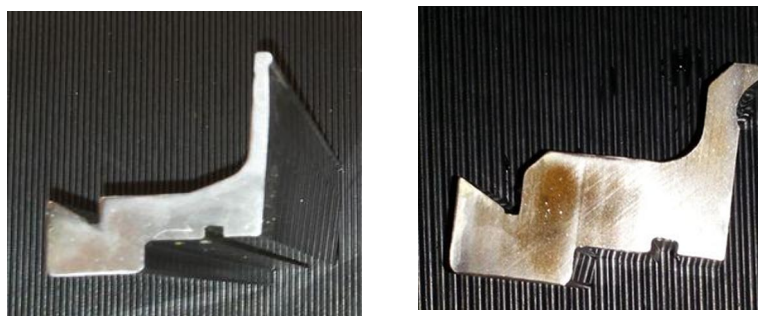
nempiä osittaistaivutuksia, reunojen siivekkeiden taivutuksia tai paneelimuotoisten levyaihioiden sisäpuolisia taivutuksia. Lisäterillä voidaan tehdä taivutuksia sekä positiiviseen, että negatiiviseen suuntaan. Kelkoissa sijaitsevien lisäterienterien vaihto suoritetaan manuaalisesti, joka lisää asetusaikaa lisäteriä vaativien taivutuskappaleiden kohdalla. (Finn-Power 2012, 31.)



KUVIO 23. ASP -kelkka ja lisätaivutusterä

Lisäterien pituudet voivat yltään maksimissaan 500 mm:n, kun asennettavien lisälaitteiden pituudet voivat yltää 900 mm:n. Lisäterillä taivutettavat ainepaksuudet ovat alhaisempia kuin vakiotaijutusterillä taivutettavat. (Finn-Power Italia 2012.)

ASP lisäterät on jaettu viiteen ryhmään ( S1, S2, S3, S4 ja S5). ASP terät ovat saatavilla sarjoissa, joissa ryhmäkohtaisten terien yhteisleveydet ovat 1190 mm. Jokaisen ryhmän teristä voidaan asentaa eri levyisiä teriä leveyksille 25 mm – 1000 mm. Alla olevassa taulukossa 2 on nähtävissä ASP –lisäterillä taivutettavat ainepaksuudet ryhmittäin terän leveyden ollessa 500 mm. (Finn-Power Italia 2012.)



KUVIO 24. ASP –lisätaivutusterät S1 ja S2

TAULUKKO 2. ASP –lisäterilä taivutettavat materiaalivehvuudet (Finn-Power Italia 2012)

Teräryhmä	Materiaalivahvuus
S1	2 mm
S2	1,5 mm
S3	1,5 mm
S4	1,2 mm
S5	1,5 mm

### LBN, Negatiivinen viimeinen taivutus

Taivutustyökierrossa pyritään tilanteeseen, jossa taivutettavan työkappaleen taivutettavien sivujen viimeiset taivutukset tapahtuvat positiiviseen suuntaan. Tällöin valmis työkappale voidaan purkaa normaaleja purkulaitteita käyttäen, ensin manipulaattorilla työpöydän keskelle ja siitä eteenpäin hihnakuuljettimilla purkupöydälle.

LBN:n avulla yhden sivun viimeinen taivutus voidaan tehdä negatiiviseen suuntaan.

LBN lisävarusteessa kelkka ja siihen kiinnitetty työnnin purkavat työkappaleen sivutain ulos koneesta viemättä sitä ollenkaan työpöydän keskelle. Kelkka ja työnnin korvaavat negatiivisen taivutuksen kohdalla manipulaattorin tehtävän. Työnnin nähtävissä vihreänä kuviossa 25. (Finn-Power 2012, 33.)



KUVIO 25. LBN purkulaitteen työnin

### AUT, Lisätyökalu

AUT mahdollistaa ylätyökalun vaihdon laskemalla lisätyökalun vakiona käytettävien ylätyökalusegmenttien alapuolelle. AUT koostuu työkalutankoon kiinnitetyistä lisätyökaluista sekä kahdesta vertikaalisesta siirtäjästä. Siirtäjien avulla AUT – työkalut siirtyvät vakioylätyökalusegmenttien alapuolelle taivutusohjelman määräämässä kohdassa (Finn-Power Italia 2012). AUT –lisätyökaluja käytetään taivutettaessa kohteita, jotka ovat jääneet edellisten taivutuksien vuoksi ”piiloon”. Lisäksi AUT -lisätyökaluja käytetään isojen säteistaitteiden, putkimaistenprofiilien ja leveiden sisätaivutuksien taivuttamisessa. (Finn-Power 2012, 36).



KUVIO 26. T6-ryhmän AUT- lisätyökalu

AUT –työkalut on jaettu taivutettavien profiilien mukaan kuuteen ryhmään (taulukko 3). Harvia Oy:ssä on käytössä T6 ryhmän AUT-työkalu, jolla voidaan taivuttaa materiaalivahvuuksia seuraavasti: normaaliteräs 2 mm, ruostumaton teräs 1,5 mm ja alumiini 2,5 mm (Finn-Power Italia 2012).

TAULUKKO 3. AUT -työkalut ja niiden käyttökohteet (Finn-Power Italia 2012)

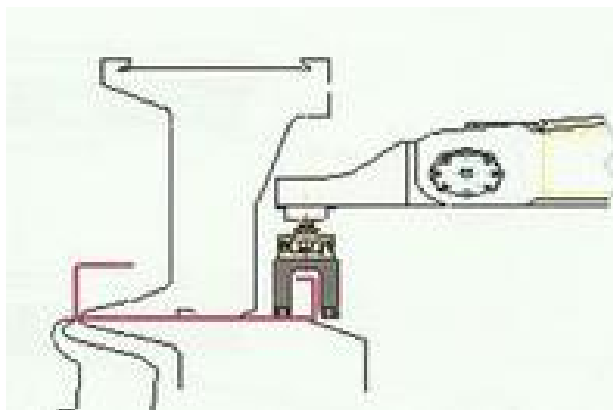
Työkaluryhmä	Käyttökohte
T1	Lyhyet ja ulkosivut
T2	Suljetut profiilit
T3	Litistykset
T4	Piiloon jäävät negatiiviset taivutukset
T5	Suursädetäivutukset
T6	Työkalu kohomuodoille

### CLL, Käänteinen taivutusjärjestys

Tavallisessa taivutustyökierrossa taivutetaan ensimmäiseksi levyaihion lyhyet sivut, jonka jälkeen pitkät sivut. CLL –option avulla tavallisen taivutustyökierron järjestys voidaan kääntää ja pitkät sivut voidaan taittaa ensimmäisenä. CLL muodostaa ylätyökaluun raot pidempien sivujen taitteille (Finn-Power 2012, 37). Raot voidaan muodostaa ylätyökaluun symmetrisesti ja epäsymmetrisesti taivututettavan levyaihion taitteiden mukaan. Muodostettavien rakojen suuruudet voivat vaihdella välillä 70 mm – 190 mm, kun käytössä ovat TCS -työkalunvaihtorobotit (Finn-Power Italia 2012).

### UBC, Manipulaattorin siltatarrain

UBC on nimitys manipulaattorin päässä sijaitsevalle, ylösalaisin olevan U-kirjaimen muotoiselle, erikoislevytarrain. Kuvion 27 erikoistarraimen avulla kahden taivutuksen välistä mitta voidaan lyhentää 120 mm:n, vakiopitimen määräämästä 160 mm:stä. Sen avulla yhä kapeammat muodot ovat mahdollisia, mutta uutena määreenä taivutettaville sivuille tulee erikoistarraimen sisäprofiilin mitat. Tarraimen sisäpuolelle jäävän taivutusprofiilin mitat tulee olla rajamittojen 30 mm x 85 mm puitteissa, eikä yli 2 mm ainepaksuuksia voida taivuttaa. (Finn-Power 2012, 38.)



KUVIO 27. UBC, manipulaattorin siltatarrain (Finn-Power 2012, 38)

### TUT, Kääntävä purkupöytä

TUT on vakiopurkupöydän tilalle asennettava nousevapurkupöytä, joka kuljettaa tai-vutettavat kappaleet koneenkäyttäjälle. Valmiiden kappaleiden saapuessa TUT-pöydälle, rullamekanismi kuljettaa ne pöydän päätä vasten, josta hihnakuljetin siirtää kappaleet koneenkäyttäjää kohti. TUT –purkupöytä mahdollistaa pienehköjen taivutuskappaleiden kohdalla 2 – 3 kappaleen puskurivaraston, jolloin koneenkäyttäjän ei tarvitse olla purkamassa jokaista valmistuvaa työkappaletta erikseen. (Finn-Power 2012, 35.)

#### 6.1.9 Mittatarkkuus ja laatu

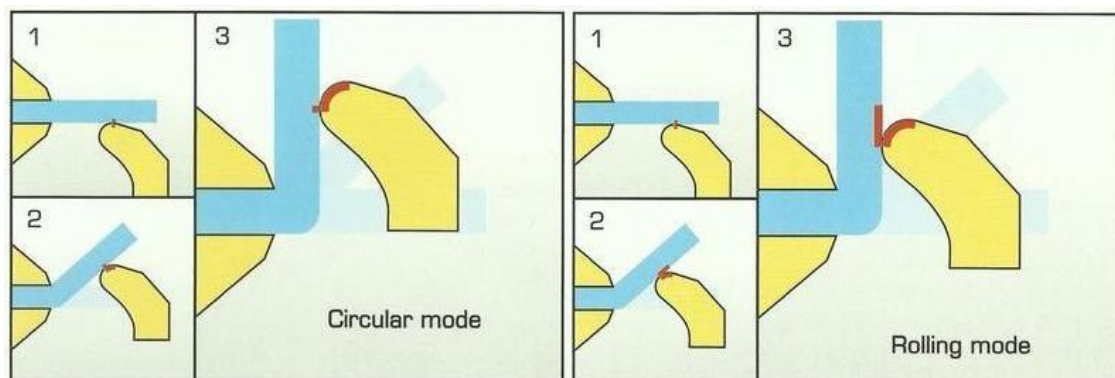
Prima-Power Ebe4 taivutusautomaatilla voidaan tehdä tarkkoja ja laadukkaita taivutuksia. Taivutusten dimensiotoleranssi on  $\pm 0,15$  mm ja suoruustoleranssi on 0,2 mm. Taivutusautomaatilla voidaan taivuttaa kulmia välillä  $-135^\circ \dots +135^\circ$ , jolloin kulmatoleranssi on  $\pm 0^\circ 25'$ . Pienin mahdollinen taivutuksen sisäsäde voi olla 1,5 – 2-kertainen ainepaksuuteen nähden. (Finn-Power Italia 2012.)

#### 6.1.10 Taivutuksen interpolaatio liikkeet

Tuotteen laadun takaamiseksi Finn-Power on kehittänyt taivutusautomaatin terien taivuttavia liikkeitä. Rolling mode on uusi taivutusperiaate, jossa levyaihion ja taivutusterän välillä on suurempi kontaktipinta, mutta ei suhteellista kitkaa. Taivutuksen aikana terä ikään kuin pyörähtää vaihtaen kontaktipistettä levyn pinnalla sekä terän kärjellä. Kitkattoman taivutuksen vuoksi rolling mode taivutusperiaatetta tulee suosia



arkojen materiaalien kohdalla. Kuviossa 28 on esitetty circular ja rolling mode taivutusperiaatteet. (Finn-Power Italia 2012.)



KUVIO 28. Taivutusinterpolaatiot (Finn-Power n.d., 5)

Toinen taivutusperiaate on standardi circular mode, jossa taivutusterän kärjen kontaktipiste muuttuu taivutuksen aikana, mutta kontaktipiste levyn pinnalla pysyy samana. Kummassakaan taivutusterän liikkeessä terä ei irtoa levyaihiosta missään vaiheessa. Tämä on saavutettu kahden teriä liikuttavan akselin voimin, joita ohjataan numeerisesti interpoloiden. CNC –ohjaus hallitsee taivutettavien kulmien suuruudet, levyaihion materiaalivahvuudet ja automaattisesti säätää parametrien puitteissa terien sijainnin.

## 6.2 Suunnitteluohjeen laatiminen taivutusautomaatille

Suunnittelulla on tuotteen valmistuksen kannalta merkittävä rooli. Suunnittelu vaiheessa pelkän tuotteen luomisen sijaan tulisi ottaa huomioon myös tuotteen valmistettavuus. DFMA (Design For Manufacturing) mukaan suunnittelu vaiheessa pyritään huomioimaan mahdollisimman hyvin tuotteen valmistettavuus yrityksen omilla valmistusresursseilla. DFA (Design For Assembly) puolestaan pureutuu suunnitteluvaiheessa tuotteen vaivattomaan kokoonpantavuuteen.

DFMA mukaisessa suunnittelussa onkin paino kysymys, mistä suunnittelija tietää tarpeeksi tarkasti yrityksen sisäisten valmistusresurssien ominaisuudet. Suunnitteluohjeilla pyritään vaikuttamaan suunnittelijoiden tietämykseen koneiden tarkoista valmistuskyvyistä ja siten mahdollistamaan valmistettavuuden näkökulmien huomioiminen. Etenkin korkean automaatiotason koneista on vaikea saada kaikkea hyötyä irti, mikäli suunnitteluvaiheessa ei keskitytä koneen kykyihin ja rajoitteisiin. Työstet-

täviä materiaalien, työkalujen ja niiden välisten suhteiden tuntemisella voidaan vaikuttaa merkittävästi pitkälle automatisoitujen koneiden kattavaan hyödyntämiseen (Lohtander 2013, 15).

Suunnittelun ja tuotannon kyky hyödyntää heikosti koneiden ominaisuuksia on Mika Lohtanderin, vuonna 2013 valmistuneen, väitöskirjatutkimuksen polttava aihe. Kyseiseen aiheeseen on herätty vasta viime vuosina koneiden kehittyessä kovaa vauhtia. Tästä johtuen koneiden ominaisuuksien hyödyntämistä suunnittelun ja tuotannon välillä tutkitaan vasta opinnäytetöiden merkeissä. Vuonna 2010 Anssi Laherto kirjoitti kandidaatin työn aiheesta ”Ohjeita ohutlevytuotteiden valmistusystävälliseen suunnitteluun”, jossa suunnitteluohjeita pohdittiin levyn leikkauksen ja taivuttamisen kannalta.

Taivutusautomaatille tehdyssä suunnitteluohjeessa oli tarkoitus saada aikaan tarkka ohjeistus suunnittelun näkökulmia ajatellen. Koska taivutusautomaattien ominaisuudet ovat hyvin yksilökohtaisia riippuen niiden varustelutasosta, ei niille ole tehty yleispäteviä suunnitteluohjeita. Taivutusautomaatille tehdyssä suunnitteluohjeessa huomioitiin ko. koneen perustyökalujen ja terien määräämät taivutusdimensiot ja muotoilumahdollisuudet, mutta myös lisävarusteiden mahdollistamat ominaisuudet tuli kartoittaa huolellisesti.

Taivutusautomaatilla voidaan tehdä hyvinkin monimutkaisia taivutuksia ja suljettuja muotoja, joita rajoittavat taivutusautomaatin terien ja työkalujen dimensiot, sekä työstävien mekanismien fyysiset mitat. Taivutettavat levyaihiot voivat olla hyvinkin suuria tai puolestaan pieniä, riippuen taivutusautomaatin työpöydän koosta, paikoituspinnien etäisyyksistä tai ylätyökalun segmenttien aukeamasta. Taivutusautomaatti sisältää myös muita rajoitteita itse taivutusprosessin ulkopuolelta, joista välttämättä ei ole tietoa. Alle on koottu tärkeitä huomioitavia seikkoja, kun työkappaletta suunnitellaan taivutusautomaatille. Huomioitavat seikat ovat taivutustyökierron mukaisessa järjestyksessä, jolloin ne alkavat levyaihion lastauksesta ja päättyvät valmiiksi taivutetun työkappaleen purkuun. Liitteeseen 8 on koottu valmis suunnitteluohje.

### 6.2.1 Imukuppitarttijat

Imukuppien nostokapasiteetti on lastauslaitteistotietojen mukaan 72 kiloa, mikä mahdollistaa suurienkin kappaleiden lastauksen. Imukuppien tartunta tapahtuu

enimmillään 54 ja minimissään neljän imukupin voimin. Suurella imukupimäärällä voidaan tarttua kattavasti levy-pinta-alalta suureen kappaleeseen sekä välttää levyaihion rei'istä johtuvat tartuntavaikkeudet. Imukuppirivejä voidaan liikuttaa sivusuunnassa, jolloin reikien väistö tiettyyn rajaan asti onnistuu. Merkittäviä rajoitteita imukupitarttumat aiheuttavat kuitenkin pienten levyaihioden kohdalla, joihin tartutaan minimissään neljällä imukupilla. Imukuppien minietäisyydet ja halkaisijat on esitelty Liitteessä 8.

### 6.2.2 Taivutettavat ainepaksuudet

Taivutusautomaatin vakiovarusteisiin kuuluvilla taivutusterillä ja ylä- sekä alatyökaluilla taivutettavat ainepaksuudet vaihtelevat materiaalista riippuen. Ainepaksuudet ovat esitetty taulukossa 4. Huomioitava on kuitenkin, että ASP –lisävarusteen S1 ja S2 -luokan lisätaivutusterillä ei voida taivuttaa yli 2,5 mm ainepaksuuksia.

TAULUKKO 4. Taivutettavat ainepaksuudet vakiovarusteilla (Finn-Power Italia 2012, muokattu)

Materiaali	Lujuus [N/mm <sup>2</sup> ]	Ainepaksuus [mm]
Normaaliteräs	410	2,5
Ruostumaton teräs	600	1,8
Alumiini	260	3,5
Minimiaiinepaksuus		0,5

Prima-Power EBe4 taivutusautomaatilla on mahdollista taivuttaa materiaaleja, joiden pinnoitteet ovat herkkiä vaurioitumiselle. Rolling mode taivutuksen interpolaation avulla taivutettavan levyn ja taivutusterän väliin ei muodostu suhteellista kitkaa ja taivutus onnistuu aroista pinnoitteista huolimatta.

### 6.2.3 Levyaihion minimi- ja maksimitat

Levyaihion minimimitat määräytyvät paikoituspinnien etäisyyksien ja ylätyökalusegmentin aukeaman mukaan. Maksimittoja puolestaan rajoittaa työpöydän koko, missä levyaihiota pyöritetään jopa 360°. Levyaihioden ulkomitat ovat seuraavat:

- minimi 180 mm x 370 mm
- maksimi 1500 mm x 2450 mm.

### 6.2.4 Manipulaattori

Taivutusautomaatin manipulaattorin tarraimena toimii kuvion 27 mukainen U-kirjaimen muotoinen tarrain. Tarraimen sisäpuolelle jäävä avoin tila mahdollistaa kapeampien työkappaleiden taivuttamisen. Tarraimen sisämitat ovat 30 x 85 mm. Tarraimen mahdollistama kapeamman työkappaleen taivutus on huomioitu liitteen 8 suunnitteluohjeen taivutusdimensioiden määrittämisessä.

### 6.2.5 Vakiovarusteilla valmistettavien taivutusten dimensiot

Perustyökaluilla ja –taivutusterillä maksimi taivutusleveys on 2250 mm materiaalista riippumatta. Valmistettavat taivutusdimensiot ovat nähtävissä Liitteessä 8. Taivutusten dimensiot määräytyvät pääsääntöisesti taivutusautomaatin manipulaattorin tarttujan, ylätyökaluksen, ylä- ja alatyökaluksen välisen aukeaman sekä C-rungon sisämittojen mukaan. Jos työkappaleeseen jää negatiiviseen suuntaan oleva taitos, tulee sen olla taivutustyökierron viimeinen taivutus, jotta purku LBN –lisäpurkulaitteella onnistuu. Negatiiviseen suuntaan olevia taivutuksia voi olla työkappaleessa vain yksi ja sen korkeus saa olla maksimissaan 55 mm.

### 6.2.6 ASP-Lisäterillä valmistettavien taivutusten dimensiot

ASP-lisäterillä taivutetaan osittaistaivutuksia, pieniä lipareita ja sisäpuolisia muotoja. Lisäterien mahdollistamat taivutusten leveydet rajoittuvat terien maksimi ja minimi leveyksien mukaan. Taivutuksen leveyteen vaikuttaa myös taivutuksen sijainti riippuen siitä onko taivutus levyn reunassa vai sisäpuolella. Reunassa sijaitsevia taivutuksia voidaan taivuttaa molempien päätyjen kelkoilla, jolloin taivutusleveys kaksinkertaistuu. ASP-lisäterillä tehtävät muodot rajoittuvat lisäterien mallien, mittojen ja lisäteriä

liikuttavan kelkan sisämittojen mukaan. Harvia Oy:llä on käytössä kaksi lisäteräryhmää S1 ja S2. S1 ryhmän lisäterät on tarkoitettu paksummille ainepaksuuksille ja ryhmän S2 lisäterät puolestaan ohuille ainepaksuuksille. Taulukossa 5 nähdään lisäterillä taivutettavat maksimi ainepaksuudet terälevyden ollessa 500 mm. Kumpaakin lisäteräryhmää on yhteensä 1000 mm:n levyinen matka. 1000 mm:llä saadaan yhteen kelkkaan lisäterät sekä ylös että alas, tai puolestaan molempiin kelkkoihin 1000 mm:n matkalle pelkästään ylös tai alas. Teräosiot vaihtelevat leveysmitoiltaan (25 mm – 250 mm), joiden mukaan teriä voidaan jakaa kelkkoihin.

TAULUKKO 5. Lisäteräryhmillä taivutettavat ainepaksuudet

Materiaali	Lujuus [N/mm <sup>2</sup> ]	S1 Maksimi ainepaksuus[mm]	S2 Maksimi ainepaksuus [mm]
Normaaliteräs	410	2	1,5
Ruostumaton teräs	600	1,65	1,25
Alumiini	260	2,5	1,9
Minimiaiinepaksuus		0,5	0,5

ASP-lisäterillä taivutettavien taivutusdimensioiden määrittäminen on hyvin yksilökohtaista, kun lisäteriä kuljettavan kelkan ylä- ja alateräpitiimiin voidaan asettaa molempien lisäteräryhmien teriä yhtä aikaa. Kelkkoihin on myös mahdollista asentaa teriä pelkästään ylös tai alas, jolloin terien välisestä aukeamasta mahtuu ulos korkeampia taivutuksia. Taivutusten maksimi ja minimi dimensiot vaihtelevat sitä mukaan, minkälaisia teriä kelkkaan on asennettu. Suunnitteluohjeeseen on taulukoitu taivutusdimensioita tilanteille, joissa kelkkaan on kiinnitetty ylä- ja alateriksi S1 lisäteräryhmän terät. Toisessa tilanteessa kelkkaan on kiinnitetty S2 lisäteräryhmän terät ja kolmannessa tilanteessa ylös on kiinnitetty S1 ryhmän terä ja alas S2 ryhmän terät. Viimeiseen tilanteeseen kelkkaan on kiinnitetty pelkästään ylös tai alas S1 tai S2 ryhmän terät.

### 6.2.7 AUT-ylätyökälujen muodot ja mitat

AUT-ylätyökälujen avulla voidaan taivuttaa muotoja, jotka ovat jääneet muiden taivutusten ”varjoon”. Lisäksi niitä käytetään suursädetäivutusten, sekä putkimaisten profiilien taivutukseen. Harvia Oy:llä on käytössään T6 ryhmän AUT-ylätyökälu, jonka

avulla voidaan kiertää lähelle taivutusta kohollaan olevia muotoja. T6 – työkalu on nähtävissä kuviossa 26. Suunnitteluohje liitteessä 8 on nähtävissä havainnollistavia kuvia AUT –ylätyökalun mahdollistamista kohomuotojen sijoittelusta ja dimensioista.

### 6.2.8 Reikien ja muotojen sijoittaminen

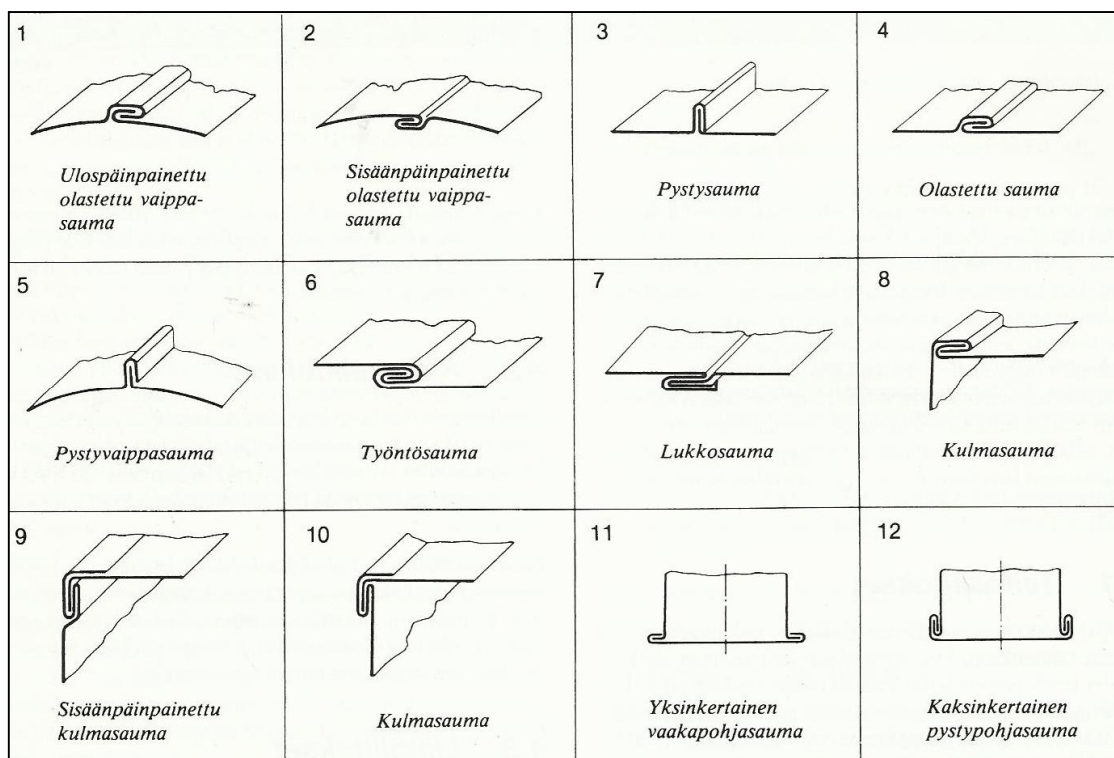
Aukko- ja reikämuotojen sijoittaminen liian lähelle taivutuslinjaa voi aiheuttaa niissä muodon- tai sijainninmuutoksia. Kyseiset muodonmuutokset ovat riippuvaisia niin materiaalista, kuin taivutusautomaatin työkalujen puristusvoimasta ja taivutusterien taivutusnopeudesta. Aukko- ja reikämuotojen sijoittelulle ei ole taivutusautomaatti-kohtaisia suosituksia. Niinpä reikien sijoittamisessa voidaan käyttää yleisiä mitoitussohjeita, jotka voidaan laskea teoriaosuuden kaavojen kaksi ja kolme avulla. Muotoa sijoittaessa voidaan haitalliset muodonmuutokset välttää, jos esimerkiksi vino-muoto sijoitetaan vähintään taivutettavan minimilaipan korkeuden etäisyydelle taivutuslinjasta.

## 6.3 Muotoilumahdollisuudet

Tuotekehitys on Harvia Oy:lle tärkeä tuotannon osa-alue, jonka avulla se pystyy pitämään asemansa johtavana saunakiukaiden valmistajana. Kiuasmalliston eri kiukaiden välillä on nähtävissä paljon muotoilueroja ja mallistosta löytyykin neliömäisiä, lieriömäisiä ja jopa pyöreitä kiukaita.

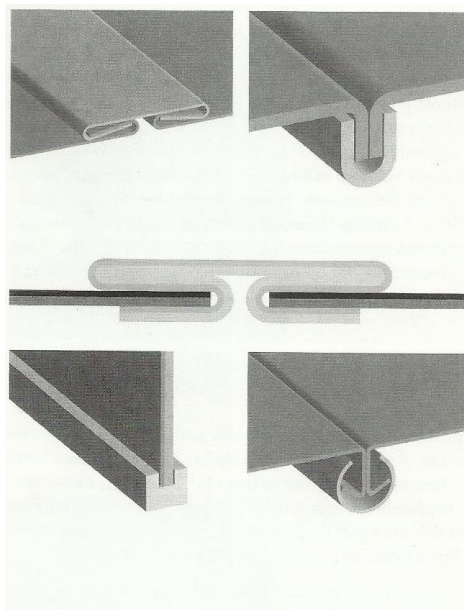
Taivutusautomaatin hyödyntämistä muotoilun kannalta on hankala yksinkertaisesti selittää, kosta taivutusautomaatilla tehtävät muodot ovat hyvin monimuotoisia ja niitä on vaikea kuvailla sanoin. Taivutusautomaatti kuitenkin mahdollistaa mittatarakan laadun ja monimutkaisten taivutusominaisuuksien puitteissa esimerkiksi erityyppisien kiinnikkeettömien liitoksien valmistamisen. Taivutusautomaatilla voidaan tehdä työkappaleisiin myös rakennetta jäykistäviä taivutuksia sekä kotelo- ja kennorakenteita. Liitteeseen 9 on kerätty Dalsin industries INC:n verkkosivuilta esimerkikuvia taivutusautomaatilla valmistettavista taivutusmuodoista. Liitteen kuvissa on esitetty myös jäykistemuotoja ja laatikkomaisten kappaleiden liitoksia. Laatikkomaisten kappaleiden liitokset on suunniteltu kokoonpantavuutta ajatellen, niin työn määrän kuin kustannusten vähentämiseksi. Taivutusautomaatin mahdollistamalla tarkoilla nurkkamuodoilla voidaan vähentää liittämisen tarvetta, kun liitoksien tiiveys saavutetaan ilman hitsausta.

Taivutusautomaatilla voidaan valmistaa taitos- ja listaliitoksia, joilla voidaan vähentää kiinnikeliitosten määrää ja saada aikaan ulkonäöltään siistejä liitoksia. Taitosliitokset voidaan tehdä materiaaleille, jotka kestävät 180° taivutuksia sisätaivutussäteen ollessa puolet levyn materiaalivahvuudesta. Taitosliitokselle suotuisia materiaaleja ovat kylmävalssatut teräket, alumiinit ja ruostumattomat sekä haponkestävät teräket. Taitosliitoksia voidaan suorittaa 0,2 mm – 2 mm ainepaksuuksille. Taitosliitoksista on esimerkkejä kuviossa 29. (Metalliteollisuuden Keskusliitto MET 1999, 39.)



KUVIO 29. Taitosliitoksia (Metalliteollisuuden Keskusliitto MET 1999, 40)

Listaliitoksissa liittäminen tapahtuu erillisten listojen tai vanteiden avulla, jotka voivat olla metallin sijasta muovia tai puuta. Listaliitokset voivat olla suoria tai pyöreitä ja ne voivat olla joko kiinteitä tai purettavia sovelluskohteesta riippuen. Listaliitokset eivät ole välttämättä kustannustehokkain ratkaisu liitoksien teossa, mutta koristelistojen avulla liitoksista voidaan saada ulkonäöllistä arvoa tuottavia. Kuviossa 30 on esitelty listaliitoksia. (Metalliteollisuuden Keskusliitto MET 1999, 39.)

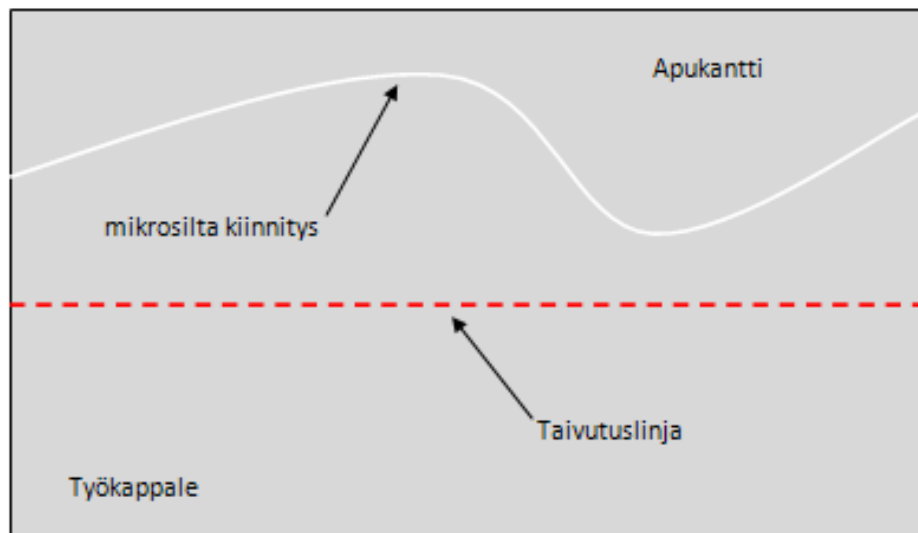


KUVIO 30. Listaliitoksia (Metalliteollisuuden Keskusliitto MET 1999, 41)

Ulkomuodoiltaan pyöreiden ja kaarevien reunamuotojen taivuttaminen taivutusautomaatilla on hankalaa tai mahdotonta. Esteeksi muodostuvat taivutusautomaatin levyaihion paikoitus, jolla levyaihio saadaan tarkasti keskitettyä ja tarkat taivutukset voidaan suorittaa. Kaarevien muotojen taittamisesta saadaan kuitenkin mahdollista, jos muodon reunaan jätetään mikrosilloilla kiinni ns. apukantti. Apukanttin reunat ovat suorat, joiden avulla normaali paikoitus taivutusautomaatille voidaan suorittaa. Apukantti voidaan poistaa taivutuksen jälkeen käsin taittamalla ja irrottamalla. Apukanttin käyttöä havainnollistaa kuvio 31.



KUVIO 31. Levyaihio ja apukantti



#### 6.4 Tuotannossa olevien levyosien läpikäynti taivutusautomaattia varten

Taivutusautomaatin ominaisuudet ja rajoitteet selvitettyä, käytiin läpi tuotannossa jo olevien levyosien työpiirustuksia ja selvitettiin niiden teoreettista sopivuutta taivutusautomaatille. Levyosat ovat valmistettu aikaisemmin Amada särmäyspuristimia käyttäen, joten levyosat olivat hyvin vaihtelevia kokojen ja taivutuksien puolesta.

Levyosien kartoittaminen alkoi selvittämällä levyaihion ulkomitat, jolla karsittiin alussa paljon osia. Suuri määrä osista oli liian pieniä, eikä niiden taivutus taivutusautomaatilla olisi onnistunut. Jos levyosa oli ulkomitoiltaan sopiva, tuli seuraavaksi tutkia ettei levyaihiossa ollut suurikokoisia reikiä, jotka estäisivät levyaihio lastauksen imukupitarttujilla. Jos edellä mainittuja rajoituksia ei löytynyt levyaihioista, tuli tutkia taivutusten mittoja ja suuntia. Suunnitteluohjetta laatiessa taivutusten dimensioiden mitat tulivat hyvin esille ja levyosien sopivuus taivutusautomaatille voitiin tarkistaa. Rajatapauksien kohdalla täyttä varmuutta sopivuudesta taivutusautomaatille ei voitu

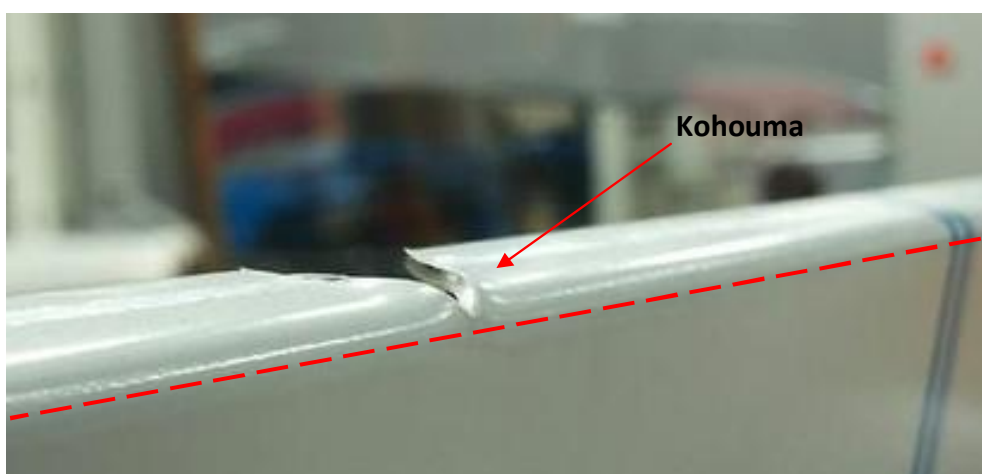
opinnäytetyön aikana selvittää, koska sopivuus todentuu vasta käytännössä kokeilemalla.

Taivutusautomaatille soveltuvista levyosista on kerätty luettelo liitteeseen 1. Taulukossa on esitetty myös arvioitu osien soveltuvuus ja mahdolliset huomioitavat ja muutosta vaativat kohteet.

## 6.5 Konstruktio muutokset

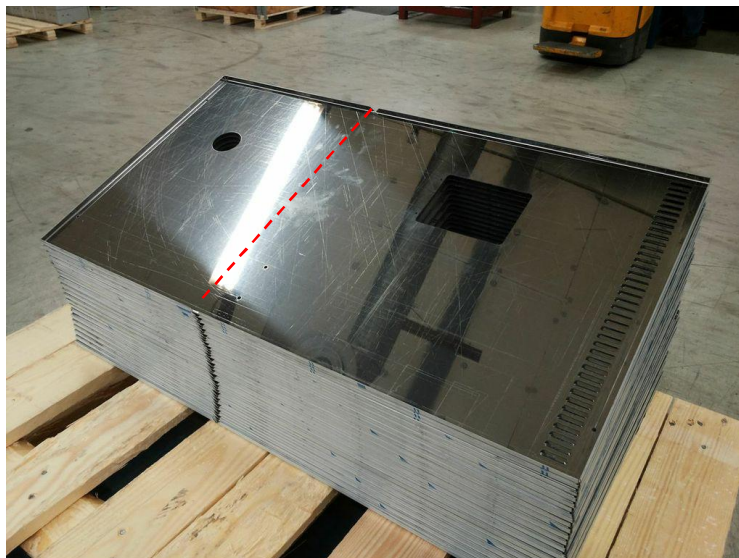
Taivutusautomaatille sopivien tuotannossa olevien levyosien kartoittamisen lisäksi etsittiin konstruktio muutosten keinoin lisää levyosia taivutusautomaatilla taivutettaviksi. Konstruktio muutokset käsittelevät tässä kappaleessa vaihtoehtoisten rakenteiden soveltamista ja taivutuslaadun parantamista eri leikkausgeometrioilla. Lisäksi tuodaan esille keinoja, joilla taivutuksia voidaan tehdä käsin kokoonpanossa taivutusautomaatin tai särmäyspuristimen sijaan.

Konstruktio muutoksiin löydettiin kohteita pitkin opinnäytetyön suorittamista, joista kyseiset esimerkit on otettu. Kuviossa 32 on esitetty kohtuullisen yleinen taitosvirhe, jonka esiintymistä oli nähtävissä useissa eri tuotteissa. Punaisella katkoviivalla merkittyä taivutuslinjaa taivutettaessa V -kirjaimen muotoon leikattu geometria on juuresta kohonnut muuhun pintaan nähden. Tämä kohouma joudutaan kokoonpanossa lyömään vasaralla muun pinnan tasolle. Kohouman estämiseksi V -muodon pohjaan tulisi tehdä pyöreä helpotus tai vino leikkaus tulisi muuttaa suoraksi kulmaksi.



KUVIO 32. ZSTM-207 ja taitosvirhe

Saman ZSTM-207 kappaleen viimeisen taivutuksen suorittaminen käsin kokoonpanossa on yksi muutosehdotus aikaisempiin työtapoihin nähden. Työkappale tarvitsee kuitenkin konstruktio muutoksen taivutuskevennyksen tekemiseksi, joka on esitetty kuviossa 33 punaisella katkoviivalla. Taivutuskevennyksien käyttöä voisi muutenkin yleistää kohteissa, jotka eivät joudu liiallisen rasituksen tai kuormituksen alle.

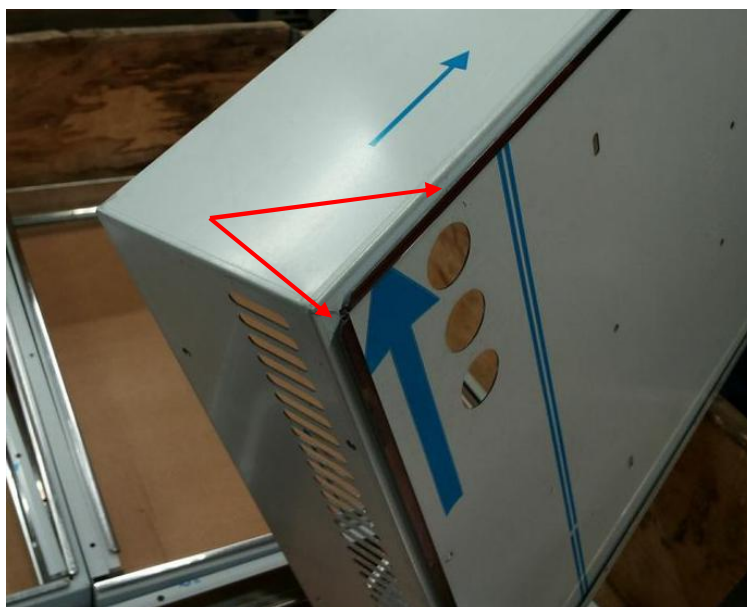


KUVIO 33. ZSTM-207 ja helpotuksen sijainti

Kuviossa 34 nähdään puolestaan helix –tuotteen rungon osa, joka muodostuu tällä hetkellä laatikon vaipasta ja pohjaosiesta. Molemmat osat taivutetaan särmäyspuristimilla erikseen, joka on hidasta monimutkaisten taivutusten vuoksi. Vaippa ja pohja kiinnitetään kokoonpanossa yhteen sokkoniiteillä. Laatikkomaisten kappaleiden taivuttaminen taivutusautomaatilla on nopeaa ja laadukasta särmäyspuristimeen verrattuna ja niinpä konstruktio muutokselle olisi tarvetta. Kyseenomainen tuote olisi erittäin helppo taivuttaa taivutusautomaatilla yhdestä yhtenäisestä levyaihiosta, mutta koska laatikon pohjapuolella on kaksi kuviossa 35 näkyvää negatiivista taivutusta, ei se nykyisellä rakenteella ole mahdollista. Pohjapuolen negatiiviset taivutukset ovat rungon sivuosien paikoitusta ja kiinnitystä varten. Vaihtoehtona negatiivisille taivutuksille voisi olla ruuvikiinnikeliitoksen käyttö ja osien paikoitus kokoonpanojigin avulla.



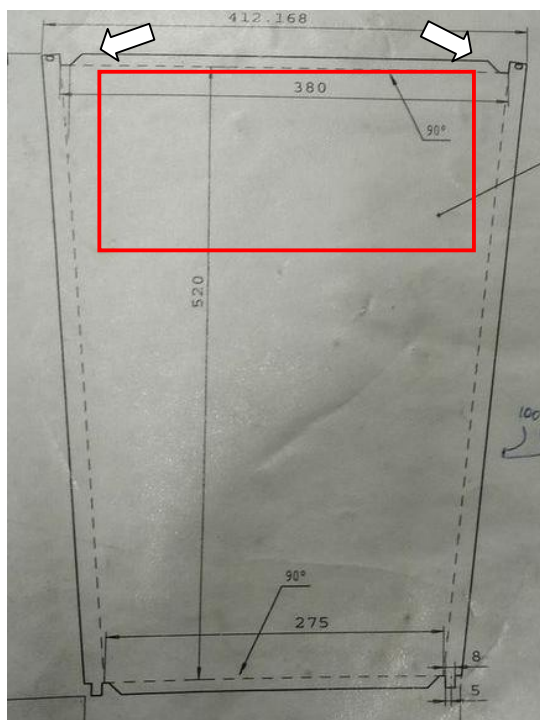
KUVIO 34. Helix Laatikon vaippa ja pohja



KUVIO 35. Helix negatiivisen suunnan taivutukset

Kuviossa 36 on esitelty ZSP-90 osan työpiirustus, jossa on esitetty punaisella suorakulmiolla taivutusautomaatin ylätyökalun geometria. Alaspäin kapenevassa osassa ongelmia taivutusautomaatilla taivuttaessa tuottaa leveän puolen päädyn taivutus. Kuviossa on nuolilla merkitty kohdat, jotka jäävät puristavan ylätyökalun ulkopuolella ja näin eivät taivu halutulla tavalla. Taivutus onnistuu päädyn keskikohdasta, mutta reunoista taivutus jää auki. Kyseistä taivutusta tehdessä ei voida käyttää leveämpää ylätyökalua, koska pitkien sivujen taivutukset täytyy tehdä ensin. Leveämpi ylätyökalu painaisi pitkien sivujen taivutukset pilalle. Konstruktio muutoksena kyseiseen ongelmaan on leveän päädyn taivutuksen kaventaminen niin, että koko taivutusmatka

jää ylätyökalun alle. Taivutuksen reunoilla olevia vinot muodot voitaisiin korvata 90° kulmilla kuviossa 32 nähtävän taitosvirheen välttämiseksi.



KUVIO 36. ZSP-90 levyosa

Käytäessä läpi levyosien työpiirustuksia, havaittiin useiden levyaihiodien sisältävän suuria reikä tai aukkomuotoja levyaihion keskiosassa. Esimerkiksi ZROST-710 tuotteessa on neliömäisen levyaihion keskellä suuri reikä, joka hankaloittaa imukuppitarttujilla nostamista huomattavasti. Tässä, kuin myös muissa samankaltaisissa levyaihioissa, tulisi käyttää imukuppitarttujilla lastaamisen helpottamiseksi mikrosiltoja. Mikrosilloilla pidettäisiin reikämuodon sisäpuolelle jäävä levyosa edelleen kiinni levyaihiossa ja tämän avulla voitaisiin edistää huomattavasti imukuppitarttujen ja ennen kaikkea taivutusautomaatin käyttöä. Benchmarking –tutkimuksesta ilmeni, että M-levy Oy:ssä mikrosiltojen käyttö oli todella yleistä ja niiden käytöllä koettiin olevan paljon etua. Mikrosiltojen vahvuudet ko. yrityksessä olivat 0,5 mm, joka koettiin tarpeeksi kestäväksi taivutusautomaatin käsittelyyn.

## 6.6 Työvaiheiden korvaus

Taivutusautomaatin käytöllä on mahdollista korvata aikaisemmin tuotannossa käytettäviä työvaiheita. Korvattavia työvaiheita ovat mm. syväveto, pyöristäminen eli mankelointi ja särmäyspuristimella elastisella vastimella taivutus. Syvävetämällä tehtävät laatikkomaiset tuotteet on mahdollista tehdä taivutusautomaatilla, kun levyaihion koko on tarpeeksi suuri. Pienissä kappaleissa levyaihion paikoituksesta muodostuu ongelma. Taivutusautomaatin käyttö syvävetomuotojen tekemisessä on taloudellisesti kannattavaa pienissä valmistusvolyymeissa. Syvävetotyökalujen ollessa kalliita investointeja, joudutaan niillä tekemään suuria valmistusmääriä kannattavuuden säilyttämiseksi.

Suursäeteistaivutukset on mahdollista tehdä taivutusautomaatilla mankeloinnin sijaan. Rajoitteina toimivat ainoastaan taivutusautomaatin C-rungon sisämitat. Taivutusautomaatilla valmistettävien suursädetäivutusten laatu on erittäin hyvä ja tasainen. Laatuun voidaan vaikuttaa määrittelemällä taivutusautomaatin ohjelmaan taivutusaskelien määrä ja jokaisella taivutuksella tehtävä kulma. Mitä enemmän ja mitä tiheämpään taivutuksia tehdään, sitä siistimpi suursädetäivutuksesta tulee. Särmäyspuristimilla elastintavastinta apuna käyttäen voidaan tehdä suursädetäivutuksia, mutta niiden laadussa voi olla poikkeamia. Lisäksi elastinen vastin on altis kulumiselle ja rikkoontumiselle.

Kuviossa 37 on nähtävissä Harvia Oy:ssä levytyökeskuksella tehty kalottimuoto. Tällaiset muodot estävät taivutusautomaatin käytön, mikäli ne ovat levyaihion pohjassa työpöytään päin. Taivutusautomaatin käyttö estyy, kun levyaihio ei liiku kunnolla työpöydällä ja kun taivutustyökalut painavat kalottimuodon pilalle.



KUVIO 37. Levytyökeskuksella tehtävä kalottimuoto



KUVIO 38. Pop –vetomutteri

Levytyökeskuksella tehtäviä kalottimuotoja olisi mahdollista korvata kuvion 38 mukaisilla vetomuttereilla. Tällöin levytyökeskuksella tehtäisiin vetomutterin halkaisijan kokoinen reikä, johon vetomutteri voitaisiin asentaa ilmapainetyökalulla kokoonpanopisteellä. Vetomutterin asennus lisäisi kuitenkin työvaiheita ja sen kustannustehokkuus kalottimuotoon nähden olisi huonompi.

Kalottimuotoja on myös mahdollista korvata taivutusautomaatin ASP-terien taivutusominaisuuksilla. Näillä lisäterillä voidaan taivuttaa kapeita lipareita negatiiviseen ja positiiviseen suuntaan. Kuviossa 39 on esitetty tavallinen levytyökeskuksella tehtävä veto ja ASP-terillä tehtävä korvaava taivutus.



KUVIO 39. Kalottimuodon korvaus taivutuksella

## 6.7 Benchmarking

Taivutusautomaatin ollessa uuden tyyppinen kone Harvia Oy:ssä, päätettiin etsiä samaa valmistusteknologiaa omaavia yrityksiä benchmarking kohdeyrityksiksi. Yrityksiksi valittiin Harvia Oy:n aikaisemman alihankkijayrityksen M-levy Oy:n ja työpaikkalusteita valmistavan Sovella Oy:n. Molemmilla yrityksellä on tuotannossa käytössä Salvagninin valmistamat hydrauliset taivutusautomaatit. Molempien yritysten toiminta pyörii voimakkaasti ohutlevytuotteiden parissa, jolloin ne ovat tuotannollisesti samankaltaisia Harvia Oy:n kanssa. M-levy Oy:llä ei ole omia tuotteita, vaan toiminta perustuu alihankintatoimituksiin. Sovella Oy:llä valmistus etenee levymateriaalien leikkauksen, taivutuksen, liittämisen ja maalaamisen kautta loppukokoonpanoon koko tuotteen valmistusketjun läpi.

Suorittamani benchmarking, vertailuoppimisprosessi, etenee teoriaosuuden kuvion 14 mukaisesti kohtaan viisi saakka, jossa uusia kehityskohteita ja ideoita luodaan. Toteutus ja seuranta osioihin ei tässä opinnäytetyössä edetä, vaan ne jäävät Harvia Oy:n pohdittaviksi. Benchmarking -tutkimuksen tavoitteena oli saada selville, kuinka kyseiset kohdeyritykset ottavat taivutusautomaatin huomioon omassa tuotannossa ja minkälaista toiminta ko. koneen ympärillä on. Tavoitteena oli saada käytännön vinkkejä alkutaipaleella olevan taivutusautomaatin toiminnan kehittämiseen, sekä tulevaisuudessa koneen tehokkuuden mittaamiseen.

Benchmarking kohdeyrityksiin otettiin yhteyttä ja selvitettiin heille opinnäytetyön tavoitteet benchmarking vertailuoppimisen osalta. Heille pyrittiin välittämään tarpeeksi tietoa ja selventämään, ettei kyseessä ollut minkään tasoista yritysvakoilua, vaan kyseessä oli tutustumista toimintatapoihin. Molemmista yrityksistä oltiinkin hyvin vastaanottavaisia ja kysymyksiini vastailtiin tietämyksen mukaan.



Nykytilakartoituksen tehtiin vertailuoppimisprosessin kolmannen vaiheen mukaan käyttäen apuna kalanruotokaaviota, jolla pyrittiin selventämään kokonaistilaa taivutusautomaatin ympärillä. Kalanruotokaavion avulla selvitettiin nykytila koneen, menetelmän, raaka-aineiden, työkappaleiden, työntekijöiden ja suunnittelun osilta. Nykytila-analyyssissä on keskitytty aiheisiin, jotka osiltaan tuottavat nykyisessä tilassaan ongelmia tai ovat osoittautuneet opinnäytetyön aikana kehityskelpoisuutta. Kalanruotokaaviosta on tehty taulukko 6.

TAULUKKO 6. Nykytilan kartoitus

Menetelmä	Raaka-aineet	Taivutusautomaatti
Taivutusautomaatilla pyritään korvaamaan muita työvaiheita	Useita eri levy materiaalitoimittajia  Muovipintaiset levyt vaativat manuaalisen käynnön  Sinkitystä levy materiaalista tarttuu ainesta teriin.	Levyaihoiden lastaus manuaalista ja hidasta  Imukuppitarttijat suuria halkaisijaltaan (42mm)  Manipulaattorin tarrain kookas (U-kirjaimen muotoinen)
Työkappaleet	Työntekijät	Suunnittelu
Optimaalisia eräkojoja ei ole määritelty  Monimuotoisia	Aikaisempi työkokemus särmäspuristimilta  Monimutkaisten tuotteiden ohjelmointi ongelmallista  Oppiminen kokeilemalla  Taivutusautomaattiin perehdyttäminen kesken	Optioiden taivutusominaisuudet epäselvät  Taivutusautomaatin ominaisuuksista tietoa vain perustyökalujen osilta

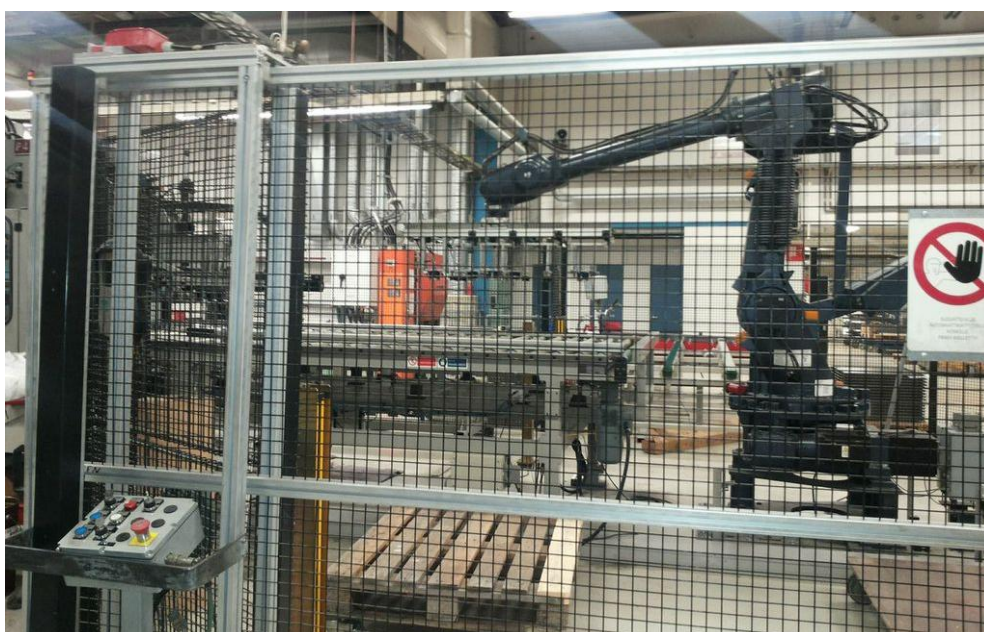
Nykytilakartoituksen valmistuttua koottiin listan kysymyksiä yritysvierailuille, jotka ovat nähtävissä Liitteessä 2. Nykytilakartoituksen avulla ilmeni paljon lisää tiedusteltavaa taivutusautomaateista ja toiminnasta niiden parissa.

Ensimmäisellä yritysvierailulla Sovella Oy:ssä selvisi, että he olivat ottaneet oman hydraulisen taivutusautomaattinsa käyttöön jo vuonna 2001. Yli kymmenen vuotta vanha taivutusautomaatti on toiminnaltaan hyvin samankaltainen kuin Harvia Oy:n syksyllä investoima, mutta sen tarkkuus ja monimutkaisten taivutusten tekeminen on

jonkin verran heikompaa. Taivutusautomaatin purkulaitteisto oli puolestaan hyvin kehittynyt nivelvarsirobotin huolehtiessa valmiiden työkappaleiden lajittelusta ja lastauksesta. Taivutusautomaatti ja purkurobotti ovat nähtävissä kuvioissa 40 ja 41.



KUVIO 40. Salvagnini taivutusautomaatti, Sovella Oy

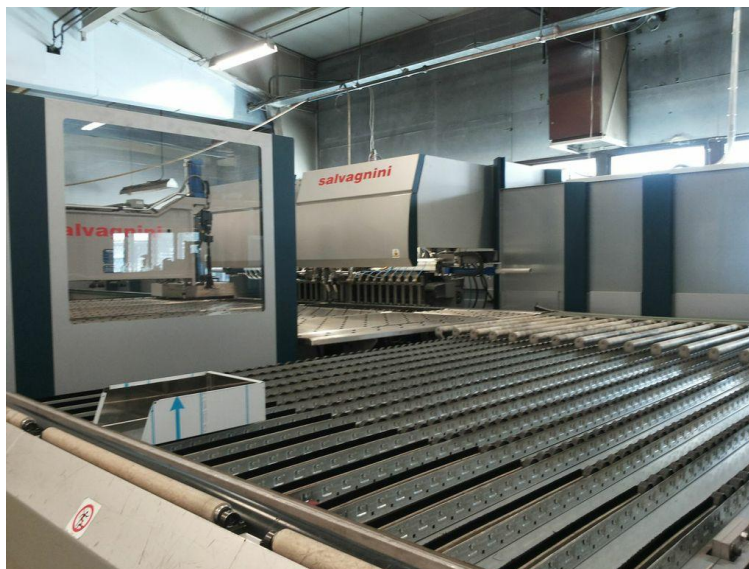


KUVIO 41. Purkurobotti, Sovella Oy

Liitteeseen 3 on koottu Sovella Oy:ssä vierailun johdosta esille ponnahtaneita varten otettavia toimintamalleja ja työskentelytapoja, joista voisi olla hyötyä kehittäessä taivutusautomaatin toimintaa tulevaisuudessa. Vierailulla selvisi myös, ettei Sovella-

la Oy:llä ollut käytössä minkäänlaisia taivutusautomaatille suunnattuja suunnitteluohjeita. Suunnitteluohjeen esiin tuominen keskusteluissa, aiheutti kiinnostusta myös kohdeyrityksessä ja uskon, että muutaman vuoden sisällä uuden taivutusautomaatin hankinnan jälkeen myös Sovella Oy pyrkii suunnitteluohjeen laatimiseen.

Toinen kohdeyritys oli M-levy Oy, jossa tuotannossa oli käytössä myös Salvagninin hydraulinen taivutusautomaatti, joka on nähtävissä kuviossa 42. M-levy Oy:lle taivutusautomaatti oli saapunut noin kaksi vuotta sitten ja niinpä se oli tekniikaltaan hyvin lähellä uusien taivutusautomaattien tasoa. Myös taivutusautomaatin varustelutaso oli hyvin lähellä Harvia Oy:n taivutusautomaattia. Vertailukohtana M-levy Oy:n taivutusautomaatti oli lähempänä Harvia Oy:n omaa, mutta yrityksen toiminta alihankintayrityksenä aiheutti suuria eroja mm. suunnittelun osilta. Suunnitteluun liittyviin kysymyksiin ei kyseisestä paikasta saatu vastauksia, koska suunnittelua ei M-levy Oy:ssä tehdä. Liitteeseen 4 on koottu Sovella Oy:n tapaan kehityskelpoisia toimintamalleja ja työskentelytapoja.



KUVIO 42. Salvagnini taivutusautomaatti, M-levy

## 6.8 Taivutusautomaatin tuntikustannukset

Taivutusautomaatti toimii Harvia Oy:ssä tällä hetkellä yhdessä vuorossa 06.00 - 14.00 välisenä kellon aikana. Tulevaisuudessa on todennäköistä, että sitä aletaan käyttää myös iltavuorossa, jolloin taivutusautomaatin käyttöajaksi muodostuisi 06.00 - 22.00. Taivutusautomaatille tarvitaan yksi operaattori, joka hoitaa koneen käytön sekä viikoittaiset pienimuotoiset huollot ja siivoukset.

Taivutusautomaatin toiminta-asteesta ja käyttösuhteesta ei ole mitattua toteutunutta tietoa. Valmistuskustannuksia laskettaessa toiminnalle lasketaan tavoitteellinen toiminta-aste, jonka toteutuminen tulevaisuudessa olisi mahdollista. Toiminta-asteen määrittämiseksi täytyy analysoida yhden työvuoron kapasiteetti, jossa tulee huomioida koneen seisokkiajat. Koska taivutusautomaatti ei ole vielä saavuttanut täyttä toimintakykyä, niin työntekijöiden oppimiskäyrän kuin taivutusautomaatille kohdennettavien osien suhteen, on taivutusautomaatin seisokkiaika tällä hetkellä tavallista suurempi. Taulukossa 7 on määritelty taivutusautomaatille tavoiteltava toiminta-aste ja käyttösuhde.

TAULUKKO 7. Toiminta-asteen tavoite

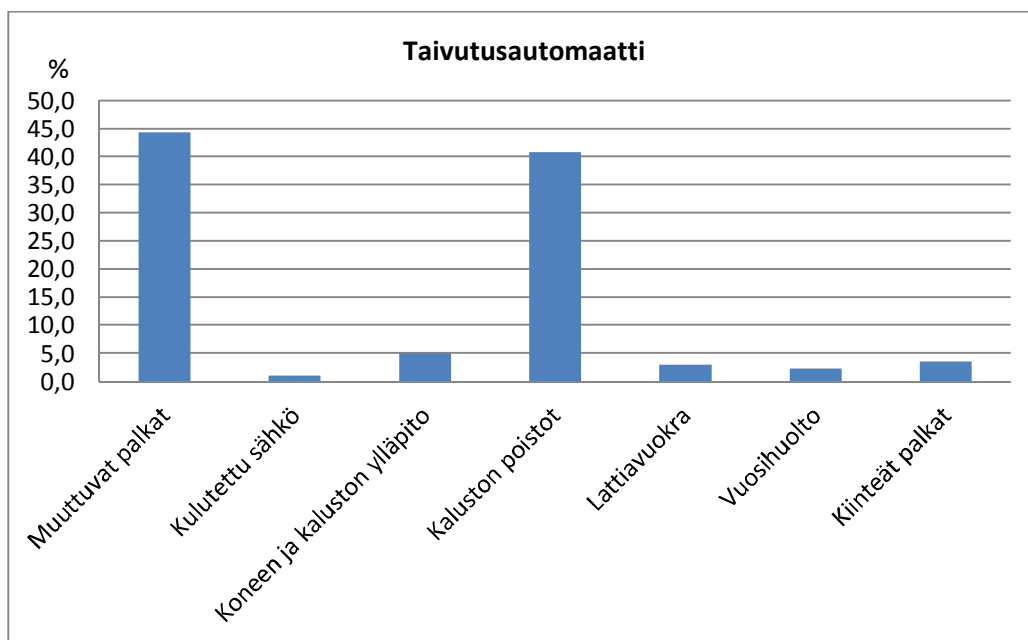
1-Vuoro	
<b>Tavoitekapasiteetti</b>	480 min
<b>Koneen seisokkiajat</b>	
Kahvitauot	12,5
Ruokatauot	12,5
Aloitus	5
Lopetus	10
Koneen siivous	10
Koneen huolto	5 (25min/vko)
Muut häiriöajat	60
<b>Yhteensä</b>	<b>115 min</b>
<b>Käytännön kapasiteetti eli Toiminta-aste</b>	<b>365 min</b>
<b>Käyttösuhde</b>	<b>76,0 %</b>

Kahdeksan tunnin vuorosta koneeseisokkiaikaa muodostuu työntekijän taukojen, koneen valmistelun aloitus- ja lopetusajoista, siivouksista ja huolloista sekä muista häiriöajoista. Taulukon 7 mukaisten laskelmista nähdään, että käyttösuhteeksi muodostuu 76 %, mikä on taivutusautomaatin kaltaiselle koneelle hyvä.

### 6.8.1 Kustannusten jakautuminen

Taivutuskoneen valmistuskustannukset on jaettu muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin. Muuttuvista kustannuksista lakisääteiset palkat sivukuluineen muodostavat 44,4 % kokonaiskustannuksista. Koneen ja kaluston ylläpitoon arvioidaan menevän noin 7500 € vuodessa, jos toiminta tapahtuu yhden vuoron aikana. Vuorojen lisääntyessä kahteen, ylläpitokulut kaksinkertaistuvat. Sähköstä aiheutuvat kustannukset ovat myös muuttuvia niiden vaihdellaessa työtuntien mukaan. Taivutusautomaatin sähkön keskilukulutus on kappaleen viisi mukaan 9,5 kW/h ja sähkön kilowattituntin keskihinta on siirtomaksuineen 10,5 centtiä. Sähkönkulutuksen arvioinnissa mahdollisimman lähelle todellista, on sähkön kulutus laskettu tavoitellun toiminta-asteen mukaisesti.

TAULUKKO 8. Kustannusten jakautuminen



Kiinteistä kustannuksista kaluston poistot muodostavat 40,9 % kokonaiskustannuksista. Taivutusautomaatin vaatima lattiapinta-ala on yhteensä 110,5 m<sup>2</sup>, johon kuuluu koneen lastauksen ja purun vaatimat tilat sekä tietokoneen ja ohjelmien käyttämiseen soveltuva työkoppi. Takuuajan päättymisen jälkeen taivutusautomaatti tar-

vitsee myös vuosittaisen huoltosopimuksen, jonka kustannukseksi arvioimme noin 5000 €. Kiinteät palkat sisältävät työnjohdon ja työkalusuunnittelun henkilöstön palkkakulut, jotka ovat 8 % muuttuvista palkkakuluista.

### 6.8.2 Valmistusarvot

Valmistusarvot eli tuntikustannukset on laskettu keskimääräiskalkyylin mukaisesti. Palaverissa Harvia Oy: tuotantopäällikön kanssa päätettiin, että minimikalkyylin mukainen laskenta ei ole sopiva yrityksen toiminnalle. Normaalikalkyylin mukaisesti laskenta ei onnistu, koska taivutusautomaatin todellista ja toteutunutta toiminta-astetta ei ole seurattu.

Keskimääräisvalmistusarvo on laskettu jaottelemalla kustannukset muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin sekä jakamalla kokonaiskulut tavoitellulla toiminta-asteella. Tavoitellun toiminta-asteen tuntimäärä on saatu kertomalla vuorojen tunnit käyttösuhteella.

Taulukossa 9 on laskettu valmistusarvo keskimääräiskalkyylin mukaan, joka ottaa huomioon muuttuvat ja kiinteät kustannukset. Keskimääräiskalkyylin avulla lasketuksa valmistusarvossa kaikki toimintaan liittyvät kustannukset tulevat katetuksi riippumatta siitä onko yrityksellä ko. toiminnassa yli- tai alikapasiteettia.

TAULUKKO 9. Valmistusarvot

	1-vuoro	2-vuoro	
<b>Muuttuvat kustannukset</b>			
Muuttuvat palkat	272,00	552,00	
Kulutettu sähkö	6,07	12,14	
Koneen ja kaluston ylläpito	30,99	61,98	
<b>Yht.</b>	<b>309,06</b>	<b>626,12</b>	<b>€</b>
<b>Kiinteät kustannukset</b>			
Kaluston poistot	250,49	250,49	
Lattiavuokra	18,16	18,16	
Vuosihuolto	13,70	13,70	
Kiinteät palkat	21,76	21,76	
<b>Yht.</b>	<b>304,11</b>	<b>304,11</b>	<b>€</b>
<b>Kaikki kustannukset yht.</b>	<b>613,17</b>	<b>930,23</b>	<b>€</b>
<b>Tavoite toiminta-aste</b>	<b>6,08</b>	<b>12,17</b>	<b>h</b>
<b>Valmistusarvo keskimääräiskalkyyli</b>	<b>100,79</b>	<b>76,46</b>	<b>€/h</b>

## 6.9 Taivutusmenetelmien vertailu

Metalliteollisuuden yrityksissä taivuttaminen on usein tuotannossa hitaimpia työvaiheita ja se toimii siten pullon kaulana. Levyn leikkaus on usein huomattavasti nopeampaa mutta taivutuksen jälkeinen mahdollinen hitsaus voi olla puolestaan hitaampi työvaihe. Taivuttaminen onkin tärkeä valmistusvaihe ja siihen tulee kiinnittää huomiota oikean taivutusmenetelmän löytämiseksi. Vertailtaviksi taivutusmenetelmiksi on tässä kappaleessa valittu taivutuskone, särmäyspuristin, taivutusautomaatti sekä robotisoitusärmäys.

Edellä mainitut taivutusmenetelmät eroavat teknisesti ja tuotannollisesti paljon toisistaan. Taivutusmenetelmien kesken löytyy myös suuria eroja. Taivutuskoneet voivat olla käsikäyttöisiä pieniä koneita, mutta niitä voidaan varustaa kappaleen käsitteijöillä, jolloin ne muistuttavat toiminnaltaan jo paljon monimutkaisempia taivutusautomaatteja. Jokainen vertailtavista taivutusmenetelmistä onkin varusteltavissa

jonkinlaisella automatiikalla, oli se sitten avustavarobotti tai monipuolinen nivelvarsi-robotti. Myös taivutukseen tarkoitettujen koneiden hinnat vaihtelevat paljon niihin hankittavien laitteistojen mukaan. Yksinkertaisimpia taivutuskoneita tai särmäyspuristimia voi hankkia jo muutaman kymmentuhannen euron hinnalla, kun taas pitkälle robotisoidut särmäyspuristin solut tai taivutusautomaatit nousevat investointeina yli miljoonaan euroon.

### 6.9.1 Työkappaleet

Taivutusmenetelmä määrittelee millaisia kappaleita koneilla voidaan taivuttaa. Taivutuskoneet ovat parhaimmillaan suurten paneelimaisten kappaleiden taivuttamisessa, jossa taivutuksia tehdään vain yhteen suuntaa. Kyseenomaisten kappaleiden kohdalla se on myös paljon nopeampi kuin särmäyspuristin. Lisäksi suurten kappaleiden kohdalla kannatteluntarve olisi liian suuri särmäyspuristimelle ja sen operaattorille. Taivutuskoneella pystytään taivuttamaan suurempia ainevahvuuksia kuin millään muulla taivutusmenetelmällä. Ainepaksuudet voivat ylittää teoriakappaleen mukaan jopa 10 mm:n. Taivutuskoneella suoritettu taivutus on menetelmänä hellävarainen pinnoitettujen levyjen suhteen. Taivutusmenetelmässä levyaihiot eivät altistu juurikaan taivutusterien ja työkappaleen väliselle kitkalle, toisin kuin särmäyspuristimella taivuttaessa. Taivutuskone säästää taivutettavaa levyaihiota myös materiaalin venymiseltä. Näin vältetään monilta muodonmuutoksista johtuvilta ongelmilta kuten oikaisutunpituuden määrittämiseltä.

Särmäyspuristimen edut tulevat esiin monimutkaisissa molempiin suuntiin tehtävissä taivutuksissa. Särmäyspuristimen elastisilla vastimilla voidaan taivuttaa ylätyökalun muotoisia taivutuksia, esimerkiksi suuria säteitä. Särmäyspuristin onkin todella joustava taivutusmenetelmä monipuolisina työkalu valikoiman puolesta. Särmäyspuristimilla voidaan taivuttaa pienempiä taivutussäteitä kun taivutuskoneella ja kappaleiden koko on yleensä huomattavasti pienempi. Poikkeuksiakin on, kun särmäyspuristimia kytetään rinnakkain, jolloin särmäystyökalujen leveys voi ylittää jopa 10 metriin. Tällaiset taivutukset vaativat useamman operaattorin yhtäaikaista toimimista tai avustavien laitteiden käyttöä. Särmäyspuristimilla taivutettavat työkappaleet vaihtelevat paljon myös särmäyspuristimen tyyppin mukaan. Särmäyspuristimista hydraulinen on kaikista voimakkain, jolla onnistuu suurten ainepaksuuksien taivuttaminen



sekä voimaavaativien pohjaaniskutaivutusten suorittaminen. Pohjaaniskutaivutuksilla saadaan aikaan pysyviä ja tarkkoja taivutuksia, joissa ei esiinny hankalasti hallittavaa muodonmuutosta eli takaisinjoustoja. Sähkömekaanisilla särmäyspuristimilla ei saavuteta niin suurta taivutusvoimaa ja niillä taivutetaankin ohuempia ainepaksuuksia. Sähkömekaaniset särmäyspuristimet ovat puolestaan nopeampia ja sopivat hyvin tarkkuutta vaativiin työkappaleisiin.

Taivutusautomaatti on itsenäisesti toimivat kokonaisuus, jossa taivutustyökierrosta huolehtii automaattinen taivutuskoneesta ja särmäyspuristimesta poiketen. Korkean automaatioasteen vuoksi taivutusautomaatilla voidaan valmistaa korkealaatuisia, mittatarkkoja ja tasalaatuisia taivutuskappaleita kerta toisen jälkeen. Taivutusautomaatilla voidaan taivuttaa monimutkaisia muotoja, joissa on taivutuksia molempiin suuntiin. Taivutusten lukumäärälle ei ole annettu enimmäismäärää, mutta taivutusten muotoja rajoittavat koneen fyysiset mitat ja ominaisuudet. Taivutusten monipuolisuuteen vaikuttaa koneen lisävarusteiden määrä, joita valmistajat tarjoavat. Lisätaivutusterillä voidaan esimerkiksi taivuttaa sormen levyisiä lipareita. Tehokkaimmillaan taivutusautomaatti on kuitenkin paneelimaisten ja laatikkomaisten työkappaleiden taivuttamisessa. Taivutusautomaatteja on voimantuoton mukaan jaettu hydraulisiin ja sähkömekaanisiin. Taivutettavat ainepaksuudet vaihtelevat voimantuoton mukaan, mutta ainepaksuudet ylittävät harvoin kolmea millimetriä. Sähkömekaanisissa taivutusautomaateissa, kuin myös särmäyspuristimissa, terien paikoitukset ja taivutusliikkeet ovat hydraulisia tarkempia ja nopeampia.

Robotisoidussa särmäyksessä taivutettavien työkappaleiden taivutusmuodot määräytyvät hyvin pitkälle särmäyspuristimen taivutusominaisuuksista, mutta myös nivelvarsirobotin tarraimen tyypistä. Tarraimia on imukuppi ja pihtityyppisiä. Työkappaleiden suuret aukot tai reiät vaikeuttavat huomattavasti robotisoidun särmäyksen hyödyntämistä.

### 6.9.2 Tarkkuus

Taivutuskoneilla taivuttaessa tarkkuus riippuu olennaisesti operaattorin työskentelytarkkuudesta. Levyaihioita paikoitetaan vasteisiin operaattorin toimesta peräkkäin, jolloin virheiden kertautuminen on myös mahdollista.

Särmäyspuristimilla voidaan taivuttaa niin vapaa- ja pohjaaniskutaivutuksena sekä elastintavastinta käyttäen. Vapaataivutuksessa taivutusten kulmatarkkuus on haastavaa, koska vapaataivutuksessa esiintyy materiaalikohtaista takaisinjoustoja. Takaisinjousto on hankalasti määriteltävissä, ja sen suuruus voidaan parhaiten määritellä koetaivutuksilla. Koekappaleet aiheuttavat kuitenkin hukkaa niin ajan kuin materiaalin puitteissa. Särmäyspuristimilla voidaan taivuttaa kuitenkin tarkkoja muotoja pohjaaniskutaivutuksella, jolloin taivutuksesta muodostuu täysin plastinen eikä takaisinjousto esiinny. Pohjaaniskutaivutus on esitelty kappaleessa 2.5.2. Särmäyspuristimissa taivutusparametreja on suhteellisen helppo hallita ja tarkkoja taivutuksia voidaan saada aikaan.

Taivutusautomaatilla voidaan valmistaa tarkkoja ja tasalaatuisia taivutuksia. Taivutusautomaatilla esiintyy takaisinjoustoja niin kuin särmäyspuristimella, mutta taivutusautomaatin ohjelmisto kerää jatkuvasti tietoa taivutuksista ja voi siten automaattisesti kompensoida takaisinjoustoja ylitaivutuksella. Taivutusautomaatin tarkat taivutukset johtuvat sen tarkasta paikoittamisesta. Työpöydälle nostettu kappale paikoitetaan niin pysty ja sivusuunnassa paikoituspinneihin, jonka jälkeen manipulaattorin tarrain tarttuu levyaihioon suurella voimalla. Taivutettava levyaihio ei pääse liukumaan tarraimessa, eikä epätarkkuuksia näin synny.

Robotisoidussa särmäyksessä taivutusten tarkkuus määrittyy niin ikään särmäyspuristimen tarkkuuksien mukaan. Levyaihion paikoitustarkkuus määräytyy puolestaan nivelvarsirobotin paikoitustarkkuuden mukaan, jos särmäyspuristimen vasteita ei käytetä. Kun levyaihio paikoitetaan nivelvarsirobotilla särmäyspuristimen vasteisiin, voi nivelvarsirobotin tarraimen imukupit liukua levyaihion pintaa vasten ja siten aiheuttaa virheitä tartuntakohtiin. Nivelvarsirobottien paikoitustarkkuus riippuu paljon robotin mallista ja laadukkaimmilla roboteilla voidaan päästä taivutusautomaatin tarkkuuteen.

### 6.9.3 Tuotanto

Taivutuskoneilla ja särmäyspuristimilla valmistus pohjautuu sarjatuotantoon. Särmäyspuristimilla asetus aika muodostuu pääosin taivutustyökalujen vaihdosta, taivutusohjelmien ollessa yleensä kirjastossa. Oman työkokemuksen perusteella särmäyspuristimilla terien vaihtoon kuluu noin 10 minuuttia mutta jos ohjelmaa joudutaan muokkaamaan tai tekemään kokonaan uusiksi, voi asetus aika kasvaa helposti yli 30 minuuttiin. Asetusaikojen suuruus vaatii suhteellisen pitkien sarjojen valmistuksen. Särmäyspuristimilla itse jalostavan työn määrä on suhteellisen pieni verrattuna automatisoituihin taivutusmenetelmiin. Särmäyspuristimilla jalostava toiminta-aste voi jäädä jopa alle 50 prosenttiin (Bossard 2012, 1).

Tuotannollisesti taivutuskonetta voidaan tehostaa automatisoidulla lastaus- ja purkulaitteilla. Tällöin taivutuskone alkaa muistuttaa taivutusautomaattia ja operaattorin työ muuttuu välittömästi työskentelystä valvovampaan rooliin. Myös särmäyspuristimiin voidaan asentaa taivutuksia avustavia laitteita, joilla voidaan helpottaa työnteekijän työrasitusta. Avustavilla laitteilla voidaan vähentää taivutuksessa tarvittavien operaattoreiden määrää, jos esimerkiksi aikaisemmin leveän työkappaleen taivuttaminen on vaatinut kahden operaattorin rinnakkain työskentelyn.

Robotisointusärmäyksessä robotti voi työskennellä särmäyspuristimeen verrattuna jatkuvasti läpi vuoron, jolloin toiminta-aste manuaaliseen verrattuna kasvaa. Nivelvarsirobotti suorittaa myös työkalujen vaihdon, joka mahdollistaa kannattavasti useampia asetuksia. Robotisoidulla särmäyksellä saavutetaan huomattavia etuja, kun sillä taivutetaan suuria sarjoja isokokoisia työkappaleita (Bossard 2012, 4).

Taivutusautomaatti mahdollistaa pienempien sarjojen valmistuksen, sen edistyksellisen työkaluvaihdon ansiosta. Sarjojen väliseen asetusten tekemiseen kuluu toisiin taivutusmenetelmiin verrattuna huomattavasti vähemmän aikaa. Automaattiset työkalujen vaihtorobotit vaihtavat työkappalekohtaiset asetukset muutamassa kymmenessä sekunnissa. Lisätaivutusterät joudutaan vaihtamaan manuaalisesti ja niihin operaattorilta kuluu muutama minuutti. Jos taivutusautomaatin varustelee älykkäillä nivelvarsiroboteilla, voidaan taivutusautomaatilla suorittaa LEAN -ideologiaa ja taivuttaa erilaisia osia osa kerrallaan. LEAN tuotannolla pystytään säästämään varas-

tointi kustannuksissa ja nopeuttamaan tuotteen läpäisyä huomattavasti. (Davis 2011, 2).

Taivutusautomaatin monipuolisten taivutusominaisuuksien ansiosta, voidaan osien lukumäärää tuotteissa vähentää. Tämä helpottaa tuotannon ohjausta osien lukumäärän tippuessa. Taivutusautomaatin tuomat edut eivät keskity pelkästään itse taivutusprosessiin. Taivutusautomaatin aikaan saama mittatarkkuus ja tasalaatuisuus helpottavat työskentelyä valmistusketjun edetessä. Hitsauksessa osien tarkkuudet helpottavat työskentelyä ja vähentävät jigien tarvetta ja monimutkaisuutta. Myös kokoonpanossa työskentely helpottuu, kun osat ovat juuri oikeanlaisia.

#### 6.9.4 Ohjelmointi

Taivutusmenetelmien ohjelmoinneissa on niin ikään suurta eroa. Taivutuskoneella ja särmäyspuristimilla ohjelmointi on suhteellisen yksinkertaista ja ohjelmia voidaan tehdä suoraan koneen näytöllä. Operaattorin täytyy tuntea materiaali- ja taivutus työkalukohtaiset ominaisuudet. Ohjelmat ovat mahdollista tallentaa kirjastoon, mikä lyhentää kappalekohtaista asetusajaa seuraavalla kerralla.

Taivutusautomaatissa ohjelmointi alkaa DXF-tiedostosta. DXF-tiedosto saadaan taivutusautomaatille levytyökeskusten nestaustiedostoista. Nestaustiedostoihin lisätään ohjelmalla taivutuslinjat ja muut taivutusparametrit. Ohjelma simuloidaan toimivuuden varmistamiseksi ennen taivutusautomaatille lähettämistä. Taivutusautomaatilla voidaan valmistella ohjelmia samaan aikaan, kun kone suorittaa taivutustyötä. Tämä nopeuttaa edelleen asetusajoja.

Robotisoidussa särmäyksessä vaativin ohjelmoinnin osuus on nivelvarsirobotin liikkeiden määrittäminen. Ohjelmoinnin nopeuttamiseksi on mahdollista tehdä aliohjelmia, joilla robotti saadaan standardipisteisiin nopeasti. Nivelvarsirobotin ohjelmoinnissa haastavinta on kuitenkin taivutettavan työkappaleen liikkeiden myötäily, joka pitää saada toimimaan yhdessä särmäyspuristimen ohjelman liikkeiden kanssa. Särmäyspuristimen ja nivelvarsirobotin yhteistyön saavuttaminen vaatii paljon resursseja ja testaamista.

## 6.10 Särmäyspuristimen ja taivutusautomaatin vertailu Harvia Oy:ssä

Harvia Oy:ssä on tällä hetkellä käytössä neljä särmäyspuristinta ja taivutusautomaatti. Taivutusautomaatille pyritään jatkuvasti kohdentamaan lisää jo tuotannossa olevia levyosia sekä uusien tuotteiden levyosia. Taivutusautomaatin ohjelmisto kerää taivutettavista työkappaleista työkierrukseen liittyviä aikoja, jotka ovat nähtävissä Liitteessä 6. Opinnäytetyön aikana annoin taivutusautomaatin operaattoreille taulukon, johon he keräsivät ohjelmasta kappale-, lastaus-, purku-, ja työkalun vaihtoon kuluvia aikoja sekä levyaihionipun asetuksiin kuluvia aikoja ja kyseisten levyaihiodien kappalemääriä.

### 6.10.1 Valmistusmäärät

Työkierron ajoista tärkein on taivutukseen kuluva kappaleaika, jonka perusteella on mahdollista laskea tunnissa tuotettujen valmiiksi taivutettujen kappaleiden lukumäärä. Särmäyspuristimen kappaleajat määriteltiin työkappaleiden urakkahinnoittelun perusteella. Arvion mukaan keskimääräinen tuntipalkka urakkapalkalla on noin 13,5 €. Särmäyspuristimella tunnissa valmistuvien kappaleiden määrät saadaan jakamalla keskimääräinen urakkapalkka työkappaleen yksikkökohtaisella urakkapalkalla. Särmäyspuristimella valmistuvat tuntikohtaiset kappalemäärät ovat nähtävissä liitteessä 7.

Tunnissa valmistuvien työkappalekohtaisten valmistusmäärien avulla voidaan vertailla yhden särmäyspuristimen ja taivutusautomaatin tehokkuutta. Liitteessä 7 nähdään, että taivutusautomaatilla ja särmäyspuristimella valmistuvissa määrissä ei ole havaittavissa yksiselitteisiä eroja. Toisia kappaleita valmistuu särmäyspuristimella enemmän, kun toisten kappaleiden kohdalla taivutusautomaatti osoittautuu tehokkaammaksi. Ainoastaan ZJ-10 työkappaleen kohdalla on havaittavissa suuri ero taivutusautomaatin hyväksi. Suurin valmistuksessa nähtävä ero särmäyspuristimen ja taivutusautomaatin välillä on asetusajoissa. Särmäyspuristimella taivutusterien vaihtoon kuluu 10 minuutista yli puoleen tuntiin, kun liitteen 6 mukaan taivutusautomaatilla työkalunvaihtoon kuluu keskimääräisesti 28,3 sekuntia. Särmäyspuristimella levyaihioniput nostetaan lavalla särmäyspuristimen eteen ja taivutusautomaatilla levyaihionippu nostetaan imukuppitarttujen alle. Taivutusautomaatilla levyaihion laitta-

miseen kuluva asetusaika kasvaa, jos levyaihiot joudutaan kääntämään manuaalisesti esimerkiksi muovipinnoitteen vuoksi. Liitteestä 6 nähdään taivutusautomaatille levyaihion laittoon kuluva keskimääräinen asetusaika 8,7 minuuttia.

### 6.10.2 Valmistuskustannukset

Valmistuskustannuksia vertaillaessa selvitettiin särmäyspuristimen tuntikustannukset tuotantopäälliköltä. Särmäyspuristimen tuntikustannusta vertailtiin taivutusautomaatin keskimääräiskalkyylin mukaiseen tuntikustannukseen. Koska Särmäyspuristimet pyörivät kahdessa vuorossa, vertailtiin kustannuksissa taivutusautomaatin kahden vuoron tuntikustannusta eli 76,46 €/h. Liitteessä 7 nähdään työkappalekohtaiset valmistuksen yksikkökustannukset. Taulukosta on selkeästi nähtävästi, että taivutusautomaatin kustannukset ovat järjestelmällisesti särmäyspuristinta korkeammat. Yksikkökohtaisissa valmistuskustannuksissa ei ole huomioitu asetusaikojen vaikutusta, mikä tasoittaisi kustannusten eroja.

On kuitenkin hyvä muistaa, että taivutusmenetelmistä riippuvat valmistuskustannukset eivät ole kaikki kaikessa. Taivutusautomaatilla on mahdollista taivuttaa pienempiä sarjoja ja siten pienentää varastoinnista aiheutuvia kustannuksia. Lisäksi pienemmät sarjakoot nopeuttavat tuotteen kokonaisläpäisyäikää, mistä seuraa puolestaan nopeammin tuottoa yritykselle. Taivutusautomaatin tuottama laatu on merkittävä ero särmäyspuristimen tuottamaan laatuun. Yksikkökohtaiset valmistuskustannukset ovat taivutusautomaatilla ehkä suuremmat, mutta sen tuoman laadun vaikutusta valmistusketjun edetessä on vaikea rahallisesti arvioida. Työkappalenimikkeiden ja kokoonpanovaiheiden vähentyminen sekä kokoonpanon ja hitsauksen helpottuminen tuottavat säästöjä valmistusprosessin edetessä.

## 7 KEHITTÄMISEHDOTUKSIA

Opinnäytetyötä tehtäessä ja tutustuesssa taivutusautomaatin toimintaan ilmeni monia edelleen kehitettäviä kohteita. Osa kehityskohteista ja parannuksista tulivat operaattorien puolesta, mutta suurin osa kehityskohteista ponnahti esille omia tutkimuksia tehdessä sekä benchmarking –yrityksissä vieraillessa.

Taivutusautomaatilla suurin asetusaikeiden aiheuttaja on levyaihioniden lastaus imukuppitarttujen alle. Levyaihioniput tulevat toisilta levytyökeskuksilta sekalaisissa nipuissa, joita ei voida suoraan lastata taivutusautomaatille. Asetusaikaa muodostuu kun operaattori joutuvat suoristamaan niput kasaamalla ne uudestaan tai muovivasaralla naputellen. Taivutusautomaatille suunnatuissa levyaihioissa tulisikin suosia juuri niitä levytyökeskuksia, jotka niputtavat aihiot tasaisiin pinkkoihin.

Eräiden muovilla suojattujen levyaihionippujen kohdalla levyaihiot joudutaan kääntämään ylösalaisin aihio kerrallaan, jotta suojamuovi saadaan jäämään oikealle puolelle taivutusautomaatilla taivuttaessa. Kääntäminen vie huomattavan paljon aikaa ja suurien kappaleiden kohdalla tarvitaan kahta työntekijää. Tähän ongelmaan ratkaisuksi olisi mahdollista hankkia tai valmistaa levyaihionipun kääntölaite, jonka avulla voidaan kääntää kokonippu ylösalaisin lavalta toiselle. Sovella Oy:ssä oli käytössä ko. laite, jota käytettiin paljon ja jonka hyödyt olivat ilmeiset.

Toinen kehitysehdotus ongelmaan on leikkausgeometrioiden peilaus levytyökeskuksilla. Peilauksen avulla geometria saadaan oikeinpäin suojamuoviin nähden, jolloin kääntämisen tarve häviää levyaihioniden lastauksessa. Peilaus onnistuu hyvin levytyökeskuksilla joissa on kulmaleikkurit, mutta laserleikkureilla levyn alapuolella oleva suojamuovi voi irrota leikkausta suoritettaessa. Peilausta tulisi kuitenkin kokeilla myös laserleikkureilla, koska leikkausparametreja säätämällä suojamuovin irtoamista voitaisiin välttyä.

Taivutusautomaatissa on nykyisin käytössä imukupit lastausta varten. Niiden halkaisijat ovat 42 mm. Halkaisija on suhteellisen suuri ja imukuppitarttujaan olisi hyvä hankkia pienemmät imukupit. Näillä olisi mahdollista kiertää paremmin reikä- ja aukkomuotoja. Nostokapasiteetti säilyisi tarvittavalla tasolla pienemmistä imukupeista huolimatta, koska tuotannossa on vain vähän painavia levyaihioita. Levyaihioniden reiät aiheuttavat muutenkin ongelmia imukuppitarttujalla lastatessa. Jatkossa suuri-

en reikien kohdalla olisi järkevää jättää mikrosilloilla kiinni aukosta irtoava hukkapala, jotta imukupilla voitaisiin tarttua siihen. Mikrosiltojen käyttö M-levy Oy:ssä oli yleistä ja toimivaa.

Manipulaattorin päässä sijaitseva tarrain on nykyään väärinpäin olevan U-kirjaimen muotoinen. Tämä olisi mahdollista korvata J-kirjaimen muotoisella tarraimella, jolloin taivutettavien särmien dimensioita voitaisiin edelleen kasvattaa. Manipulaattorin tarraimella on toinenkin ongelma, jossa tarrain tarttuu levyaihioon niin suurella voimalla, että suojamuovin liima tarttuu levyaihion metalliseen pintaan. Tämä joudutaan myöhemmin kokoonpanossa puhdistamaan liuottimilla. Tarraimia on olemassa eri materiaaleista, jotka olisivat hellempää levyaihioille ja niin vähentäisivät liiman tarttumista.

Taivutusteriin jää kertymiä sinkkipinnoitteesta, kun taivutusautomaatilla taivutetaan sinkittyä terästä. Sinkkikertymät lähes hitsautuvat teriin kiinni ja niiden puhdistaminen on vaikeaa. Taivutusteriä ei voida irrottaa taivutusautomaatista kemiallistapuhdistusta varten, koska niiden tarkka asennus paikoilleen vaatisi ulkopuolisia osaajia. Sinkin kertymistä teriin voidaan vähentää käyttämällä terissä keraamisia voiteluaineita, jotka kestävät erinomaisesti painetta eivätkä kerää likaa. Sinkin kertyminen voidaan vähentää käyttämällä taivutusautomaatin rolling mode taivutusinterpolaatiota, jossa työkappaleen ja terän välille ei muodostu kitkaa. Tämä vähentää olennaisesti sinkkipinnoitteen tarttumista teriin ja sitä tulee käyttää jatkossa sinkittyjen terästen taivuttamisessa.

Taivutuslaadun varmistamiseksi levyateriaaleja olisi hyvä tilata samalta toimittajalta isoissa erissä. Materiaalista johtuvat laatupoikkeamat tulevat esille erityistä tarkkuutta vaativissa taivutuksissa. Materiaalipoikkeamien hallitsemisella pystyttäisiin ennustamaan paremmin myös hankalasti ennustettavan takaisinjoustop määrää.

Tulevaisuudessa taivutusautomaatin tehokkuutta tulisi seurata ja mittaroida. Käyttöasteen seuraamisella nähtäisiin taivutusautomaatin todellisen hyödyntämisen taso ja se antaisi eväät toiminnan kehittämiseksi. Käyttöasteen mittaukseen olisi mahdollista järjestää manuaalisesti täytettävät kortit, joihin operaattorit merkkaisivat esimerkiksi taivutusautomaatin taivutus-, seikkokki- ja huoltoajat. Käyttöasteen merkitys Harvia Oy:n kaltaisessa pieneräutuotannossa on erittäin tärkeää kustannustehokkaan toimin-



nan edistämiseksi.

## 8 OPINNÄYTETYÖN TULOKSET JA YHTEENVETO

Opinnäytetyöstä muodostuneet tulokset voidaan jakaa suunnitteluohjeeseen, tuotannossa olevien osien läpikäyntiin ja niiden muutoksien kartoittamiseen sekä työvaiheiden korvaamiseen. Tuloksia olivat myös bechmarking –tutkimus, valmistuskustannuksien laskeminen sekä yleinen taivutusmenetelmien vertailu ja Harvia Oy:n sisäisten taivutusmenetelmien vertailu.

Konkreettisenä tuloksena opinnäytetyöstä valmistui suunnitteluohje taivutusautomaatille. Suunnitteluohjeen laadinta alkoi lähes nollatasolta, koska taivutusautomaatin mukana olleet perusohjeet eivät vastanneet taivutusautomaatin kykyjä siihen hankittujen lisävarusteiden tuomien ominaisuuksien johdosta. Suunnitteluohjeessa taivutusautomaatille osien suunnitteluun saatiin koko taivutustyökierron kattava ohjeistus, jossa esitetään jo lastausvaiheessa levyaihioissa huomioitavat seikat. Työkierron edelleen jatkuessa tutkittiin manipulaattorin tarraimen merkitystä taivutuksen aikana. Määritettyämme tarraimen tarkat sisämitat, pystyttiin taivutusautomaatilla taivuttamaan kapeampia työkappaleita. Tämän vuoksi uudet perustaivutusterillä ja taivutustyökaluilla taivutettavat taivutusdimensiot tuli päivittää.

ASP-Lisätaivutusterät kuuluivat optioina hankittaviin lisävarusteisiin ja niille ei ollut määritelty minkäänlaisia taivutusdimensioita. Suunnitteluohjeessa on esitelty lisäteräkohtaiset taivutusten minimi ja maksimi mitat, joita voidaan taivuttaa. Myöskään AUT-lisätyökalujen ominaisuuksia ei ollut kartoitettu aikaisemmin. AUT-lisätyökalujen muotojen ja pituuksien mittaamisen jälkeen oli mahdollista luoda suunnitteluohjeeseen kuvanto, missä esitellään AUT-lisätyökaluryhmän T6 taivutusominaisuudet.

Suunnitteluohje sisältää taivutusdimensioiden lisäksi ohjeistuksia muotojen ja reikien sijoitteluun. Liitteeseen 9 on koottu kuvia erilaisista taivutusautomaatilla tehdyistä muodoista, joilla pyritään saamaan lukijalle hyvä kuva taivutusautomaatilla tehtävistä muodoista. Lisäksi toivotaan, että kuvilla on inspiroiva vaikutus suunnitteluun. Opinnäytetyössä esittelemäni taitos- ja listaliitokset on tuotu esille samasta syystä.

Ne luovat ideoita vaihtoehtoisista kiinnitysmenetelmistä perinteisten ruuvi- ja sokkoniittiliitosten sijaan.

Opinnäytetyössä käytiin läpi tuotannossa olevia työkappaleita ja läpikäynnin tuloksena saatiin aikaiseksi lista niistä työkappaleista, jotka olisi teoriassa mahdollista taivuttaa taivutusautomaatilla. Listan avulla työkappaleita voidaan ohjata taivutusautomaatille yhä tehokkaammin. Osa listassa olevista työkappaleista on lähellä raja-arvoja ja niiden taivutettavuus voidaan varmentaa vain käytännössä kokeilemalla. Osien taivutettavuuden testauksella voidaan tehostaa taivutusautomaatilla taivutettavien työkappaleiden lukumäärää sekä löytää työkappaleista kohtia, jotka vain pienillä muutoksilla saadaan sopivaksi taivutusautomaatille.

Rakennemuutoksia työkappaleisiin ilmeni osien läpikäynnin yhteydessä sekä pitkin opinnäytetyötä. Rakennemuutoksissa on pureuduttu muutaman työkappaleen muutosmahdollisuuksiin ja havaittuihin taivutusvirheisiin. Rakennemuutoksien kartoittamiseen voisi kuluttaa huomattavia tuntimääriä, ja niinpä rakennemuutoksien kartoittamisella pyrin herättämään ajatuksen siitä, kuinka pienillä muutoksilla työkappale voidaan saada taivutusautomaatille sopivaksi.

Benchmarking –tutkimuksella päästiin tutustumaan kahden hyvin erilaisen yrityksen toimintaan taivutusautomaatin parissa. Tutkimuksen tuloksia esiin ilmeni useita toimintamalleja, joita hyödyntämällä myös Harvia Oy:ssä voitaisiin tehostaa taivutusautomaatin käyttöä ja parantaa työkappaleiden taivutusta taivutusautomaatilla. Tärkeimpiä toimintamalleja ja tapoja olivat pienemmät imukuppitarttujan imukupit, levyaihoiden kääntölaite ja levyaihoiden geometrioiden peilaus, yhdeltä levytoimitajalta tilaus, J-kirjaimen muotoinen manipulaattorin tarrain, mikrosiltojen käyttö isojen reikämuotojen kohdalla sekä käyttöasteen mittausta ja seuranta. Kyseisten toimintatapojen käyttöönotto Harvia Oy:ssä oli varmasti hyödyllistä ja huomattavia parannuksia saataisiin aikaan tulevaisuutta ajatellen.

Opinnäytetyössä laskettiin taivutusautomaatille tuntikustannukset, joita ei ollut aikaisemmin laskettu. Tuntikustannusta laskettaessa kartoitettiin taivutusautomaattiin liittyvät kustannukset, joiden kustannuserien suuruudet voidaan nähdä taulukossa 8. Tuntikustannukset on laskettu yhdelle sekä kahdelle vuorolle, koska lähitulevaisuu-

nessa taivutusautomaatin toimintaa tullaan laajentamaan nykyisestä yhdessä vuorosta toimimisesta kahteen vuoroon.

Yleisessä taivutusmenetelmien vertailussa luotiin katsaus taivutuskoneeseen, särmäyspuristimeen, taivutusautomaattiin ja robotisoituun särmäykseen. Kyseisiä taivutusmenetelmiä vertailtiin tarkemmin koneiden, niillä työstettävien työkappaleiden, taivutustarkkuuksien, tuotannollisten vaikutusten ja ohjelmoinnin kannalta. Taivutusmenetelmien vertailusta muodostui pohja taivutusmenetelmien erojen vertailulle Harvia Oy:ssä. Särmäyspuristimien ja taivutusautomaatin erojen kartoittaminen taivutettavien kappalemäärien ja kustannusten välillä antaa yritykselle käyttökelpoista tietoa taivutettavien tuotteiden ohjauksesta eri koneille.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, koska olin työskennellyt yrityksessä aiemmin taivutusosastolla. Aikaisempi työkokemus särmäyspuristimilla loi hyvän peruspohjan lähteä tutkimaan kehittyneempää taivutusmenetelmää. Opinnäytetyö eteni pääpiirteittäin opinnäytetyösuunnitelman mukaisesti, vaikka sen ohella täysipäiväinen työskentely vaikeutti aikataulussa pysymistä.

Tavoitteena opinnäytetyössä oli edesauttaa taivutusautomaatin mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä. Keinoja tähän olivat suunnitteluohjeen laatiminen, tuotannossa olevien osien läpikäynti, yrityksen taivutusmenetelmien vertailu ja benchmarking –tutkimus.

Opinnäytetyön alun teoriaosuudessa läpikäytiin paljon lähteitä liittyen taivuttamiseen, taivutusmenetelmiin, kustannuksiin ja benchmarking:n. Läpikäynnin jälkeen, opinnäytetyö tuntui asettuvan raiteilleen ja se eteni mukavasti loppuunsa.

Eniten työllistävä osuus opinnäytetyössä oli perusteellinen taivutusautomaattiin tutustuminen ja sen pohjalta suunnitteluohjeen luominen. Taivutusautomaatissa on paljon riippuvuussuhteessa olevia elementtejä ja yhden ominaisuuden muutos vaikuttaa helposti toiseen. Niinpä yleisesti suunnitteluun pätevän suunnitteluohjeen

luominen vaati paljon aikaa ja pohdiskelua. Suunnitteluohjeesta muodostui omasta mielestä Harvia Oy:n käyttöön tarpeeksi tarkka. Suunnitteluohjeen luomiseen olisi voinut kuluttaa vielä paljon tunteja mutta aikaan suhteutettuna varsinaisia tuloksia olisi saatu enää vähän. Suunnitteluohjeen taivutusdimensioiden arvot ovat teoreettisia, mikä aiheuttaa epävarmuustekijöitä. Taivutusdimensioiden arvoista voidaan olla varmoja vasta käytännössä kokeilemalla, mihin ei ollut opinnäytetyön aikana mahdollisuutta.

Levyosien läpikäynnin, muutosten kartoittamisen ja työvaiheiden korvauksen tutkimisen osuudesta kyettiin saamaan hyviä tuloksia. Muutosta vaativien työkappaleiden kohdalla yrityksellä ei ole välttämättä intressejä lähteä muuttamaan työkappaleita, koska ne ovat olleet tuotannossa jo kauan eikä niiden jatkuvuudesta ole välttämättä tietoa. Muutoskohteiden kartoitus opinnäytetyössä oli pintapuolista, koska niiden hahmottaminen pelkästään työpiirustuksista tuntui itselle hankalalta. Saamillani tuloksilla uskon olevan herättävä vaikutus ja toivon, että muutoskohteiden kartoitukseen kiinnitetään jatkossa huomiota.

Benchmarking oli itselle vain etäisenä terminä tuttu, ja sen toteuttaminen yrityksiin oli mielenkiintoista. Yllätyksenä tuli kohdeyritysten ystävällinen ja avoin suhtautuminen esittämiini kysymyksiin, vaikka osa kysymyksistä saattoikin olla tuotannollisesti arkoja. Tuloksena benchmarking –tutkimuksesta saatiin paljon hyödyllisiä toimintatapoja ja keinoja taivutusautomaatin toiminnan parantamiseksi. Opinnäytetyön kehitysehdotuksista suurin osa saavutettiin benchmarking –tutkimuksen kautta ja niiden hyöty ei rajaudu pelkästään Harvia Oy:n. Kehityskohteiden tulokset ovat päteviä myös muissa metalliteollisuuden yrityksissä, joissa on käytössä samaa valmistusteknologiaa.

Taivutusautomaatin tuntikustannuksien laskeminen oli antoisaa, koska yritys ei ollut aikaisemmin määrittänyt niitä. Kustannuksiin perehtyminen kehitti omaa osaamistani ko. alalla. Tuntikustannuksia laskettaessa kustannusten jako suoritettiin vain muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin, koska tarkemmalle jaottelulle emme nähneet tarvetta. Välillisten ja välittömien kustannusten vyöryttäminen tietyille kustannuspaikalle olisi mahdollistanut tarkemman kustannusten kohdentamisen. Harvia Oy:ssä tuotantoa ei ole kuitenkaan jaettu kustannuspaikkoihin, joten välillisten ja välittömien kus-

tannusten vyöryttäminen oli mahdotonta. Tuntikustannukset määriteltiin yrityksen käyttöön sopivalla tarkkuudella.

Harvia Oy:n taivutusmenetelmien vertailusta saaduilla tuloksilla on mahdollista kohdentaa tiettyjä kappaleita valmistettavaksi juuri oikealle koneelle. Vertailu suoritettiin yhdeksälle työkappaleelle, mikä on pieni otanta koko Harvia Oy:n työkappaleiden määrästä. Jatkossa kattavampi vertailu antaisi tuotannon ohjaukselle tehokkaan työkalun särmäyspuristimien ja taivutusautomaatin kustannustehokkaalle kuormittamiselle.

Valmistuskustannuksiin ja valmistuviin kappalemääriin liittyy lieviä epävarmuustekijöitä. Taivutusautomaatin ilmoittamat kappaleajat olivat kellotuksen perusteella paikkaansa pitäviä mutta särmäyspuristimen tuntikohtaisten valmistusmäärien laskeamisessa arvioitiin urakkatuntipalkaksi 13,5 €. Urakkatuntipalkka voi vaihdella todellisuudessa paljon työntekijöiden välillä. Kustannusten vertailu ei anna myöskään täysin todellista kuvaa, koska niitä laskettaessa ei huomioitu asetusaikojen vaikutusta. Asetusaikojen vaikutusten pois jättäminen oli kuitenkin perusteltua, koska asetusaajoista ei ollut minkäänlaista aikaisempaa dokumentointia. Asetusajat vaihtelivat paljon toisistaan eri työkappaleiden kohdalla. Niinpä asetusaikoja vertailtiin omakohtaisten työkokemusten ja taivutusautomaatin keskiarvojen pohjalta.

Opinnäytetyön aihe oli mielestäni hyvä, sen laajentaessa omaa osaamistani taivuttamisesta mm. suunnittelun näkökulmasta. Konekohtaisen tuntikustannusten laskeamista toi uutta tietoa kustannusten lajeista, kustannuspaikoista ja kustannusten johtumisen periaatteista. Ensikokemus benchmarking –tutkimukseen oli myös antoisa ja se lisäsi uskoa yritysten väliseen yhteistyöhön.

Opinnäytetyön suoritus Harvia Oy:ssä oli hyvin itsenäistä, koska opinnäytetyö ei liittynyt mihinkään käynnissä olevaan projektiin. Ohjausta ja neuvoja sain yrityksen puolelta tarvittaessa niin tuotantopäälliköltä, työnjohtajilta sekä taivutusautomaatin operaattoreilta. Itsenäinen toimiminen kehitti omaa päättelykykyä ja itsenäistä sekä systemaattista toimimista ongelmien parissa.

Olen tyytyväinen opinnäytetyössä saavutettuihin tuloksiin. Asettamani panos ajallisiin resursseihin verrattuna tuotti hyödyllistä ja käyttökelpoista tietoa yrityksen käyttöön ja toimintojen kehittämiseen.

## LÄHTEET

- Bossard, B. 2012. Bending for the internal customer. Artikkele The Fabricator:n verkkosivuilla. Viitattu 13.4.2013.  
<http://www.thefabricator.com/article/bending/bending-for-the-internal-customer>
- Dalsin industries INC. 2008 . Photo gallery. Dalsin industriesin verkkosivuilla. Viitattu 12.4.2013. [http://www.dalsinind.com/photo\\_gallery.html](http://www.dalsinind.com/photo_gallery.html)
- Davis, D. 2011. Automated bending keeps the pieces flowing. Artikkele The Fabricator:n verkkosivuilla. Viitattu 13.4.2013.  
<http://www.thefabricator.com/article/bending/automated-bending-keeps-the-pieces-flowing>
- Dittus, J.2011. Electric press brakes bend fast and safety. Artikkele The Fabricator:n verkkosivuilla. Viitattu 3.4.2013.  
<http://thefabricator.com/article/bending/electric-press-brakes-bend-fast--and-safely>
- Eklund, I. & Kekkonen, H. 2011. Toiminnan kannattavuus. 1. painos. Helsinki: WSOY-pro.
- Finn-Power. 2012. BEND-Express- käyttöohjekirja.
- Finn-Power. 2008. Automatic Bending technology. Sales training.
- Finn-Power Italia. 2012. Technical offer Express Bender Ebe4.
- Finn-Power. n.d. Sales & service representation. Servo electric bending automation.
- Järvenpää, M., Lämsiluoto, A., Partanen, V. & Pellinen, J. 2010. Talousohjaus ja kustannuslaskenta. 1. painos. Helsinki: WSOYpro.
- Karlöf, B., Lundgren, K. & Edenfeldt Froment, M. 2003. Ota oppia parhaista, tehoa vertailuoppimisesta. Helsinki: Talentum Media Oy.
- Karlöf, B., Lundgren, K. & Edenfeldt Froment, M. 2001. Benchlearning, Good Examples as a Lever for Development. Viken: AGtran.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY.
- Lepola, P. & Makkonen, M. 2011. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY-pro.
- Lohtander, M. 2013. Ohutlevytuotannossa tarvittavan tiedon esittäminen suunnitellun tueksi. Väitöskirjatutkimus. Hämeenlinna: Ohutlevypäivät.
- Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.
- Metalliteollisuuden Keskusliitto MET. 1999. Ohutlevyjen liittäminen. MET-julkaisu nro 7/1999. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Mäki-Mantila, J. 2001. Ohutlevyjien taivutus ja muovaus. MET-Julkaisuja 11. Helsinki: METin Muovaustekninen yhteistyöryhmä.

Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2007. Johdon laskentatoimi. 6.-8. painos. Helsinki: Edita Prima.

Products EBe. n.d. Prima-Power:n verkkosivuilla. Viitattu 26.4.2013.  
<http://www.primapower.com/en/products/thebend/ebe-en/>

Products PH. n.d. Prima-Power:n verkkosivuilla. Viitattu 3.4.2013.  
<http://www.primapower.com/en/products/thebend/ph-en/>

Products PS. n.d. Prima-Power:n verkkosivuilla. Viitattu 29.4.2013.  
<http://www.primapower.com/en/products/thebend/ps-en/>

Prolino. n.d. Cidan, Petersen machinery:n verkkosivuilla. Viitattu 15.4.2013.  
<http://www.petersenmachinery.com/folding-machine/prolino/prolino.html?view=application>

Puukiukaat. 2011. Harvia Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 15.1.2013.  
<http://harvia.fi/content/fi/39/77/Puul%C3%A4mmitteiset%20kiukaat.html>

Schuler GmbH. 1998. Metal forming handbook. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.

Sähkökiukaat. 2011. Harvia Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 15.1.2013.  
<http://harvia.fi/content/fi/39/10148/S%C3%A4hk%C3%B6kiukaat.html>

Taloussanommat. n.d. Harvia Oy, taloustiedot. Viitattu 15.1.2013.  
<http://yritys.taloussanommat.fi/y/harvia-oy/muurame/0176654-2/>



## LIITTEET

## Liite 1. Taivutusautomaatille sopivat levyosat

Kansio	Sopivuus taivutusautomaatille				Huomioitavaa / Muutokset
	Kappale	Hyvä	Haastava	Huono	
ZVR/ZSKA					
	ZVR-493			X	
	ZVR-730			X	
	ZVR-498			X	
	ZVR-10S	X			Sisään kääntyvät kielekkeet
	ZVR-10	X			Sisään kääntyvät kielekkeet
	ZVR-495	X			
	ZVR-490	X			
ZSTM					
	ZSTM-205	X			Vetoja
	ZSTM-206	X			
	ZSTM-201	X			Viimeinen taivutus Amadalla
	ZSTM-202	X			
ZRH/Figaro					
	ZRH-707	X			
ZJ/ZKER/ZST					
	ZKER-25	X			
	ZKER-26	X			
	ZJ-10-(T1)	X			
ZSJ					
	ZSJ-40T	X			
	ZSJ-50	X			
	ZSJ-130	X			
ZSE/Fuga					
	ZSE-180	X			
	ZSE-220	X			
USA ZSL/ZSP					
	ZSL-643		X		Levyaihion koko matkalla taivutus R=839
	ZSL-636	X			
	ZSL-645			X	Levyaihion kokomatalla R=839,4
ZSVH					
	ZSVH-20		X		Litistykseen välissä 0,2 mm ilmarako
	ZSVH-310	X			
	ZSVH-320	X			
	ZSVH330	X			
Z2ES/ZH2/ZROST					
	SKIP-730	X			
	Z2ES-110	X			
	Z2ES-150	X			
	ZROST-580	X			
	ZROST-		X		Reikä levyaihion sivuosassa

	710				
	ZH2-600	X			
ZH					
	ZH-20	X			
ZSV/ZSVE					
	ZSV-20	X			
	ZSV-50		X		Levyaihion keskellä kaksi vetoa ylöspäin
	ZSV-100	X			
	ZSVE-30E	X			
ZVS					
	ZVS-255		X		Levyaihion koko matkalla taivutus R=839
ZEL					
	ZEL-95	X			
PP					
	ZROST-730		X		Kieleke jota ei saisi taittaa
	ZROST-845	X			
	ZROST-910	X			
	ZROST-921	X			
	ZROST-930	X			
	ZROST-940	X			
	ZROST-941	X			
	ZROST-951	X			
	ZROST-920	X			
ZIP					
	ZIP-302	X			
	ZIP-313	X			
	ZIP-307	X			
	ZIP-312			X	Vinon muodon vuoksi päätytaitteiden muoto muutettava, jotta taitos voidaan suorittaa
	ZIP-305				
ZSP					
	ZSP-70	X			
	ZSP-90			X	Vinon muodon vuoksi päätytaitteiden muoto muutettava, jotta taitos voidaan suorittaa
ZSF					
	ZSF-540	X			Galvanoitu, rolling mode interpolaatiota
	ZSF-170	X			
ZHH					

	ZHH-20	X			
	ZHH-30	X			
	ZHH-70	X			
	ZHH-70T	X			
	ZHH-100T	X			
ZSL					
	ZSL-150	X			
	ZSL-220	X			
	ZSL-435	X			
	ZSL-520	X			
	ZSL-636	X			
	ZSL-637	X			
	ZSL-660	X			
ZSS					
	ZSS-20	X			
	ZSS-80	X			
	ZSS-90	X			
	ZSS-160S	X			
	ZSS-450	X			
	ZSS-460	X			
ZL					
	ZL-110	X			
VELHA	ZVEL-247	X			
	ZVEL-248	X			
	ZVEL-250	X			

## Liite 2. Benchmarking kysymykset

Milloin taivutusautomaatti on hankittu?

Mitä taivutusautomaatilla tehdään?

Millaisia ominaisuuksia taivutusautomaatilla taivutettavat levyosat sisältävät?

Millaiset taivutettavat levyosat on jätetty pois taivutusautomaatilta? (kokemuksen kannalta havaitut seikat)

Käytetäänkö paljon lukitsevia muotoja? Esimerkiksi listaliitoksia.

Kuinka tuotesuunnittelijat huomioivat taivutusautomaattia suunnitteluvaiheessa?

Panostetaanko osasuunnitteluun minkä verran?

Onko suunnittelijoille olemassa suunnitteluohjetta pelkästään taivutusautomaatille?

Jos on, kuinka tarkasti ohjeeseen on eritelty esim. lisäterien minimi ja maksimi mitat /taivutettavien muotojen dimensiot jne.?

Miten yrityksessä hyödynnetään taivutusautomaatin muotoilumahdollisuuksia?

Onko taivutusautomaatin avulla pystytty jättämään pois työvaiheita, kuten manke-  
lointia ja syvävetoja?

Aikaisempiin aikoihin verrattuna, onko taivutusautomaatin mahdollistamasta tarkemmasta taivutuslaadusta ollut merkittävää hyödytä verraten aikaisempiin taivutusmenetelmiin? (esim. liittämistarpeen vähentyminen kokoonpanossa tms.)

Kuinka kauan arviolta kappaleen suunnitteluun ja ohjelmointiin menee?

Kuinka uuden työkappaleen nosto tuotantoon tapahtuu?

Minkä verran kiinnitetään huomiota taivutusautomaatilla taivutettaviin sarjakokoihin? (Onko kokemuksen karttuessa muodostunut jotain ”sääntöä”?)

Seurataanko taivutusautomaatin tehokkuutta / kustannustehokkuutta jollain lailla?

Taivutusautomaatin vaikutukset tuotannon operatiiviseen ohjaukseen: kapasiteetti, nopeammat läpimenoajat, hallitumpi läpimeno, käsityövaiheiden väheneminen?

Onko taivutusautomaatilla esiintynyt jotain sudenkuoppia, jotka ovat aiheuttaneet ongelmia sen toiminnassa tai tuotannonohjaus mielessä?

Suurimmat hyödyt jotka on saavutettu taivutusautomaatin kautta?

Tuleeko levymateriaali yhdeltä vai useammalta toimittajalta?

Miten taivutuskoneen aihoiden lastaus suoritetaan? Tulevatko levyaihio niput suoraan levytyökeskuksilta?

Kuinka terien puhtaudesta huolehditaan sinkittyä levymateriaalia taivutettaessa?

### Liite 3. Benchmarking tulokset Sovella Oy

Aihe-alue	Toimintatapa	Hyödyt / Huomioitavaa
Suunnittelu	Suunnittelijat ja nestaaajat pohtivat yhdessä mitä tuotteita taivutusautomaatilla voidaan tehdä.	Useampien työntekijöiden ammatillinen tieto saadaan hyödynnettyä.
Valmistus	Standardituotteet ja -osat.	Nopeuttaa ohjelmointia ja asetusaikoja.
Valmistus	Taivutusautomaatin kohdistetaan mahdollisimman paljon tuotteita.	Taivutusautomaatin käyttöaste nousee, Manuaalisen työn haitat vähenevät, tasainen laatu.
Valmistus	Muovilla suojattujen levyaihioiden kääntö taivutusautomaatille suoritetaan aihioden kääntölaitteella.	Koko aihio nippu voidaan kääntää kerralla, jolloin lastausvaihe nopeutuu ja manuaalisen työn tarve vähenee.
Valmistus	Sarjakoot määräytyvät kysynnän ja tarpeen mukaan. Hälytysrajat antavat impulssin valmistukselle.	Toiminnanohjausjärjestelmä pitää hälytysrajoilla huolen osien riittävyydestä, eikä osia taivuteta turhaan varastoon.
Valmistus	Pienet, erikseen tilatut, lastauslaitteen imukupit.	Imukuppien vaatiman tasaisen reiätömän alueen koko pienenee.
Valmistus	Manipulaattorin tarttuja J-kirjaimen muotoinen.	Manipulaattorin tarttujan vaatima ala pienempi.
Valmistus	Materiaalitoimittajista riippuvat erot materiaalissa. Tilauksia mahdollisimman paljon samalta toimittajalta isoissa erissä.	Taivutuslaadun paraneminen ja mitatarkkuuksien tasoittuminen.
Seuranta	Machinetrack ohjelma seuraa taivutusautomaatin käyttöastetta, jonka mukaan määräytyvät tuotantopalkkiot.	Taivutusautomaatin tehokasta hyödyntämistä pystytään seuraamaan tarkasti, samalla motivoiden työntekijöitä tehokkaaseen työntekoon
Seuranta	Kuluneiden terät aiheuttavat helposti kaareutumia pitkissä kappaleissa	Pitkien kappaleiden taivuttamisessa seurattava terien kuntoa ja taivutuskuulmien suuruuksia taivutettavan työkappaleen päissä ja keskellä.

## Liite 4. Benchmarking tulokset M-levy Oy

Aihe-alue	Toimintatapa	Hyödyt / Huomioitavaa
Valmistus/ Suunnittelu	Mikrosiltojen käyttö suurien reikämuotojen kohdalla. Mikrosillan vahvuus 0,5 mm.	Reikämuodot levyaihioissa eivät aiheuta ongelmia imukuppitarttujen tai manipulaattorin tarraimen käytössä.
Valmistus	Samanaikainen työkappale valmistus taivutusautomaatilla sekä särmäyspuristimella. Kaikki mahdolliset taivutukset tehdään ensin taivutusautomaatilla ja loput särmäyspuristimella.	Taivutusautomaatilla voidaan nopeuttaa pitkissä sarjoissa kappaleiden läpäisyä ja samalla työntekijän kuormitus vähenee suurien kappaleiden kohdalla.
Valmistus	Pienet, erikseen tilatut, lastauslaitteen imukupit.	Imukuppien vaatiman tasaisen reiätömän alueen koko pienenee.
Valmistus	Manipulaattorin tarttuja J-kirjaimen muotoinen	Manipulaattorin tarttujan vaatima ala pienempi
Valmistus	Levytyökeskuksella leikkausgeometrioiden peilaus. Taivutusautomaatilla saadaan suojamuovi jäämään taivutusmuotojen ulkopuolelle.	Muovilla suojattujen levyjen käännöllä vältytään levyaihioiden lastausvaiheessa taivutusautomaatille. Asetusajat pienenevät ja toiminta-aste nousee.
Valmistus	Taivutusautomaatilla tehdään pienimatka suurta taivutussädettä ja jatketaan mankeloimalla	Saadaan kappale mankeliin ja koko matkalla tasainen pyöristys
Valmistus	Sinkityn materiaalin tarttumista ehkäistään pyyhkimällä teriä tasaisin välein sienillä tai liinoilla. Sienipyyhkäisy on mahdollista ohjelmoida haluttuihin taivutusten väleihin.	Sinkityn levymateriaalista irtoava sinkkipinnoite ei tartu teriin ja vähentää näin terien kulumista. Naarmut seuraavissa taivutuserissä vähenevät etenkin ruostumattoman teräksen kohdalla.
Seuranta	Taivutusautomaatin tehokkuudesta pidetään kirjaa käyttöastetta seuraamalla.	Taivutusautomaatin tehokasta hyödyntämistä pystytään seuraamaan ja kehittämään.

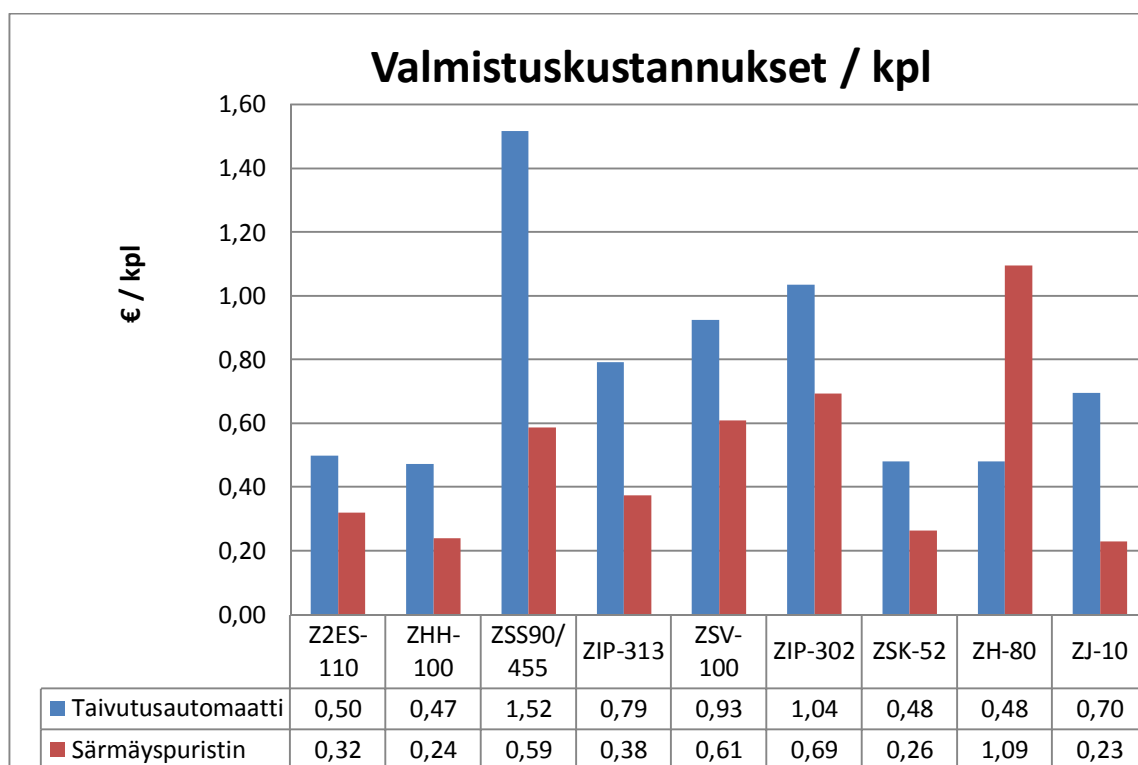
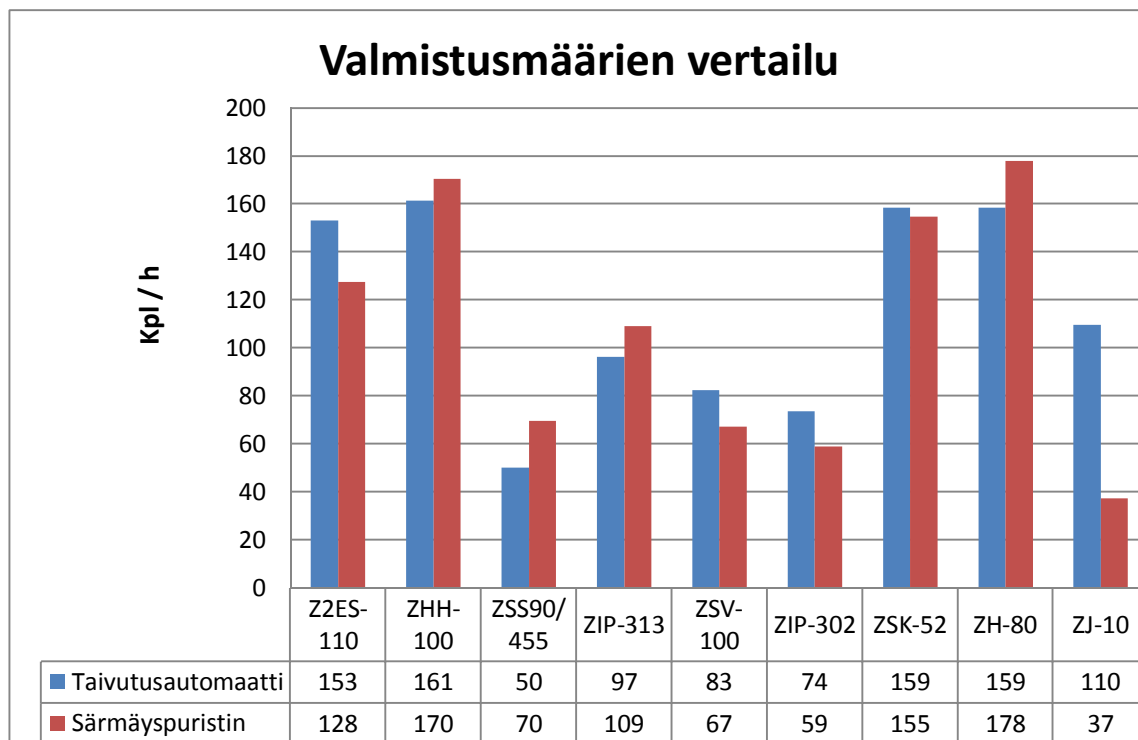
## Liite 6. Kappaleajat ja taivutusmäärät

Nimike	Kappaleaika [s]	Kpl/h taivutusautomaatti	Lastausaika [s]	Purkuaika [s]	Työkalun vaihto [s]
Z2ES-110	23,5	153	13,3	16,1	39,4
ZHH-100	22,3	161	13,1	21,7	20,1
ZROST-930	76,5	47	14,4	25,4	34,9
Z9M-100	33	109	14,9	20,9	24,4
Z9M-110	32,5	111	14,9	20,9	15,1
ZSS90/455	71,5	50	14,2	22,7	34,8
ZSS-636	37,1	97	14,9	22,1	40,4
ZIP-313	37,3	97	14,2	22	26,3
ZSL-660	81,8	44	14,3	21,6	36,9
ZSV-100	43,6	83	14,2	22,5	27,8
ZSP-825	59,5	61	14,2	22,5	38,9
ZSL-637	37	97	14,2	22,2	15
ZIP-302	48,8	74	14,6	22	27,1
ZS1M-201	37,6	96	16,2	21,9	24,9
ZSK-52	22,7	159	13,6	20,9	27
ZSS-460/80	27,8	129	13,9	22,6	24,9
ZH-80	22,7	159	13,8	22	23,2
ZJ-10	32,8	110	14,8	20,4	28,4
<b>Keskiarvot</b>	-	-	14,3	21,7	28,3

Nimike	Levyaihioiden manuaalinen lastaus [min]	kpl	Urakkahinta särmäyspuristimella € / kpl	kpl/h särmäyspuristin
Z2ES-110	-	-	0,1058	0
ZHH-100	15	300	0,0792	170
ZROST-930	5	-	-	
Z9M-100	8	100	-	
Z9M-110	13	100	-	
ZSS90/455	15	250	0,19371	70
ZSS-636	7	180	-	
ZIP-313	6	250	0,1236	109
ZSL-660	8	200	-	
ZSV-100	8	200	0,2006	67
ZSP-825	8	200	-	
ZSL-637	7	180	-	
ZIP-302	10	200	0,2287	59
ZS1M-201	7	100	-	
ZSK-52	4	60	0,0872	155
ZSS-460/80	8	200	-	
ZH-80	-	-	0,0758	178
ZJ-10	10	70	0,3605	37
<b>Keskiarvot</b>	8,7	172,7	-	-



## Liite 7. Valmistusmäärät ja valmistuskustannukset



## Liite 8. Suunnitteluohje

### Suunnitteluohje

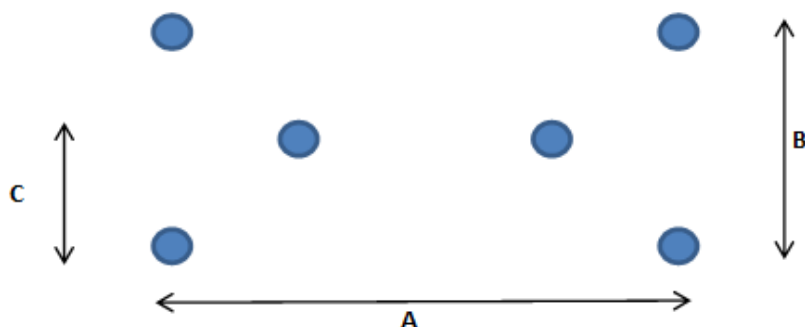
#### Levyaihion mitat

Minimi sivujen pituudet 180 mm x 370 mm.

Maksimi sivujen pituudet 1500 mm x 2450 mm.

#### Imukuppitarttujan rajoitteet

- Nostokapasiteetti 72 kg
- Imukuppitarttujan imukuppien minimietäisyydet



A = 350 mm

B = 160 mm

C = 100 mm

Imukupin halkaisija  $\varnothing = 42$  mm

#### Taivutettavat ainepaksuudet

vakiotaivutustyökalut ja -terät

Materiaali	Lujuus [N/mm <sup>2</sup> ]	Max.ainepaksuus [mm]
Normaaliteräs	410	2,5
Ruostumaton teräs	600	1,8
Alumiini	260	3,5
Minimiaiinevahvuus		0,5

## ASP- listätaivutusterät

<b>Materiaali</b>	<b>Lujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>S1 Max.ainepaksuus [mm]</b>	<b>S2 Max.ainepaksuus [mm]</b>
Normaaliteräs	410	2	1,5
Ruostumaton teräs	600	1,65	1,25
Alumiini	260	2,5	1,9
Minimiaiinevahvuus		0,5	0,5

## AUT-lisätyökalut

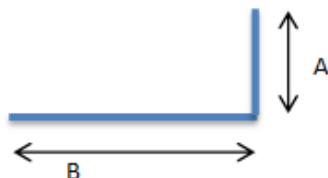
<b>Materiaali</b>	<b>Lujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Max.ainepaksuus [mm]</b>
Normaaliteräs	410	2
Ruostumaton teräs	600	1,65
Alumiini	260	2,5
Minimiaiinevahvuus		0,5

Vakiovarusteilla valmistettavien taivutusten dimensiot

S =levyn paksuus

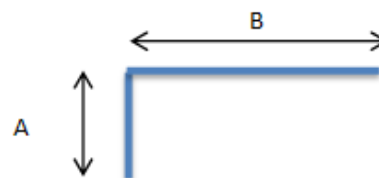
[mm]

Positiivinen taivutus



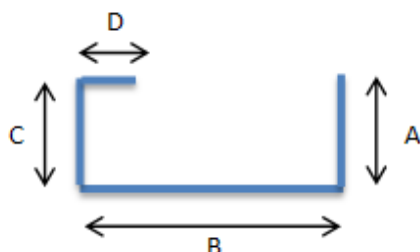
S	A min	A max	B min
0,8	6,5	200	120,5
1	7,5		121
1,5	9		121,5
2	11		122
2,5	12,5		122,5
3	15		123

Negatiivinen taivutus



S	A min	A max	B min
0,8	6,5	55	120,5
1	7,5		121
1,5	9		121,5
2	11		122
2,5	12,5		122,5
3	15		123

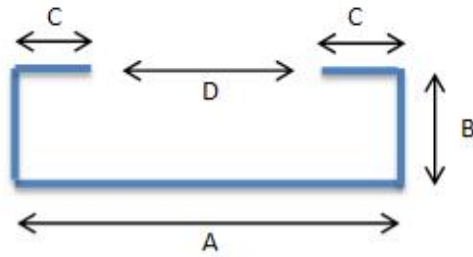
HUOM! Negatiivisen taivutuksen täytyy olla taivutustyökierron viimeinen ja niitä voi olla vain yksi.



S	A min	A max	B min
0,8	6,5	200	161
1	7,5		162
1,5	9		163
2	11		164
2,5	12,5		165
3	15		166

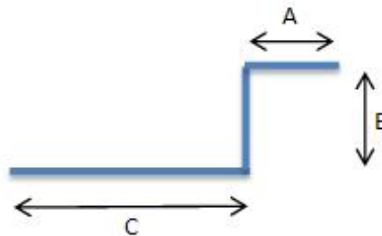
JOS

C max	D max	B min
85	30	120,5
		121
		121,5
		122
		122,5
		123

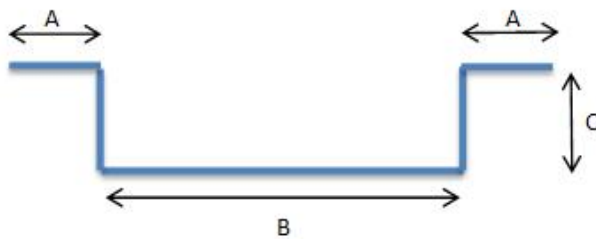


S	C min	C max	B min	B max	D min
0,8	6,5	55	7,4	200	160
1	7,5		8		
1,5	9		9,5		
2	11		11		
2,5	12,5		12,5		
3	15		14		

$b \text{ min} = 3 * S + 5 + C * \tan 20^\circ$



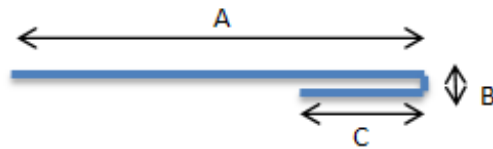
S	A min	A max	B min	B max	C min
0,8	6,5	85	17	200	120,5
1	7,5		18		121
1,5	9		20		121,5
2	11		22,5		122
2,5	12,5		25		122,5
3	15		27,5		123



S	A min	A max	B min	B max	C min
0,8	6,5	85	16,5	200	161,5
1	7,5		17		162
1,5	9		20		163
2	11		22		164
2,5	12,5		24		165
3	15		26		166

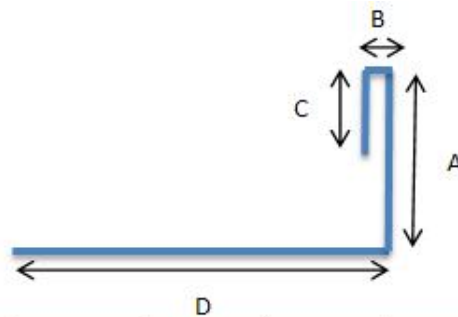
JOS

C max	A max
85	30



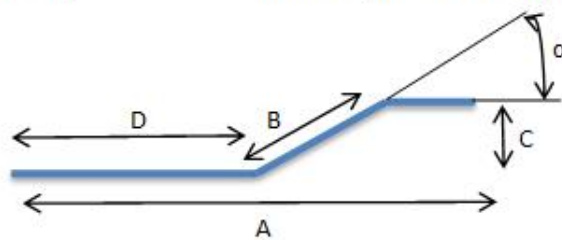
S	C min	C max	B	A min
0,8	6,4	60	1,84	120 + C
1	8		2,3	
1,5	12		3,45	
2	16		5,2	

$C_{min} = 8 * S$   
 Kun  $S = 0,8 \dots 1,5 \rightarrow B = 2 * S + 0,3 * S$   
 Kun  $S = 2,0 \rightarrow B = 2 * S + 0,6 * S$



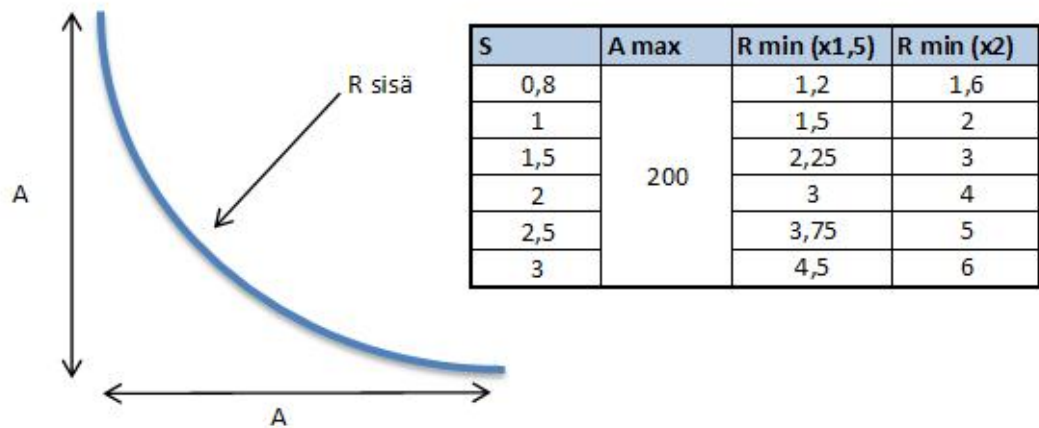
S	C min	C max	B	A min	A max	D min
0,8	6,4	60	1,84	C + 7	200	120,8
1	8		2,3			121
1,5	12		3,45			121,5
2	16		5,2			122

$C_{min} = 8 * S$   
 $C_{max} = A - 4 * S$ , Kun  $S = 1,5$   
 $C_{max} = A - 5 * S$ , Kun  $S = 2,0$   
 $D_{min} = 120 + S$   
 Kun  $S = 0,8 \dots 1,5 \rightarrow B = 2 * S + 0,3 * S$   
 Kun  $S = 2,0 \rightarrow B = 2 * S + 0,6 * S$

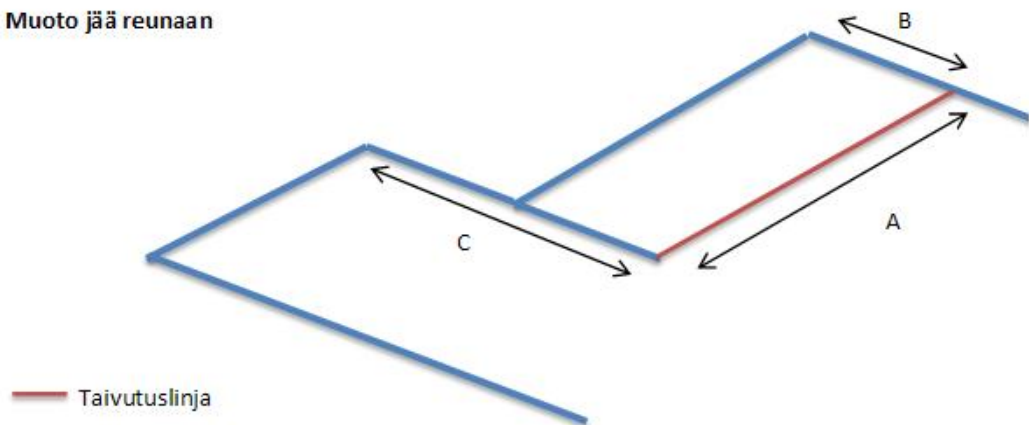


S	A	C	B	D min	$\alpha$
1	$A1 - 0,3 * S$	1,2	2,4	121	30°
1,5	$A1 - 0,3 * S$	1,7	3,6	121,5	30°
2	$A1 - 0,3 * S$	2,3	4,8	122	28°
2,5	$A1 - 0,3 * S$	2,8	6	122,5	28°
3	$A1 - 0,3 * S$	3,4	7,2	123	28°

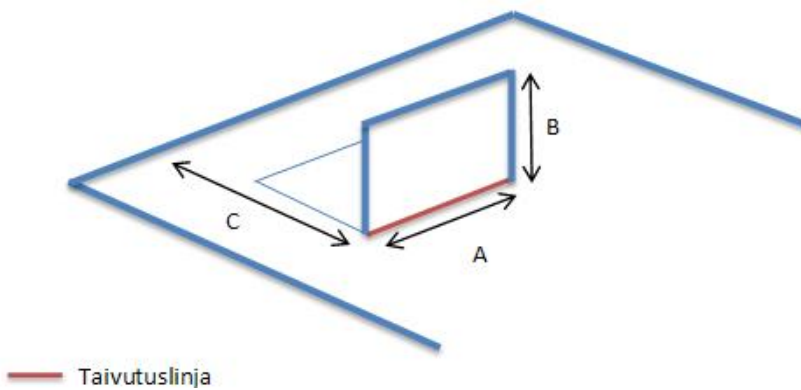
A1 = Oikaistupitus

**Taivutussäteet****ASP-lisäterä ryhmillä S1 ja S2 valmistettävien taivutusten dimensiot**

Muoto jää reunaan

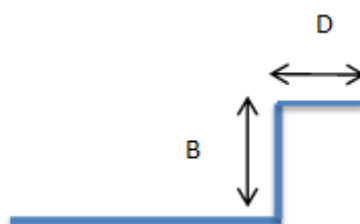


Muoto jää sisälle



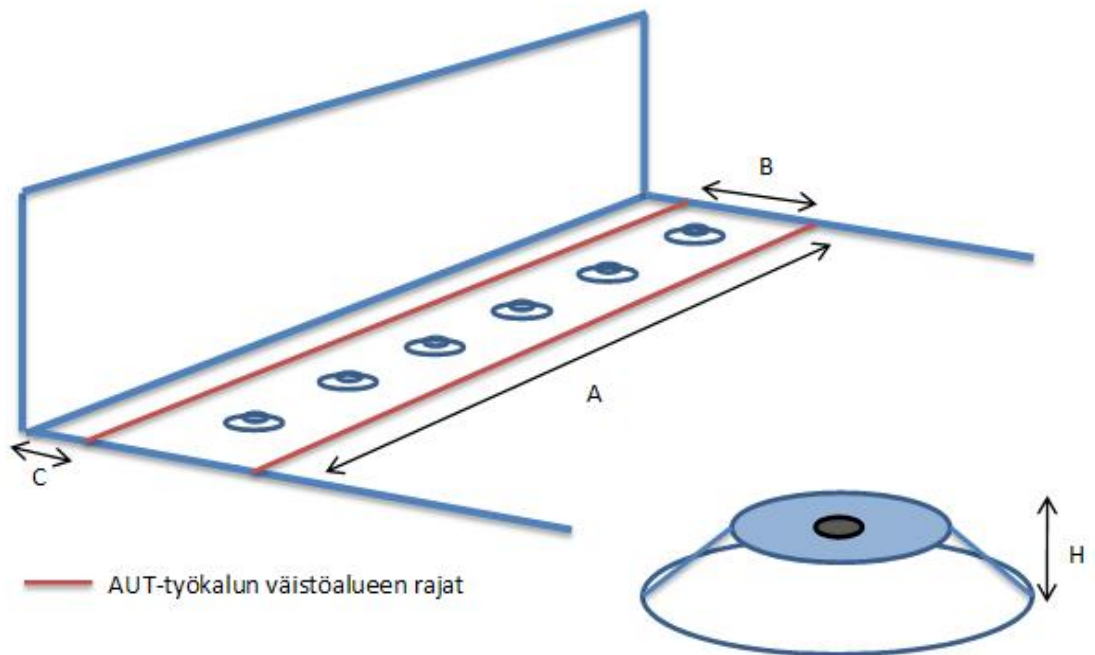
S	A min		A max			C max
	S1	S2	S1 ylä+ala	S2 ylä+ala	S1 ylä+S2 ala	
0,8	25	25	500	500	1000	200
1						
1,25						
1,5						
1,65						
1,9						
2						
2,5						

S	B max, Positiiviseen suuntaan					B max, Neg. Suunta
	S1 ylä+ala	S2 ylä+ala	S1 ylä + S2 ala	S1 ala	S2 ala	
0,8	132	114	123	147	142	55
1						
1,25						
1,5						
1,65						
1,9						
2						
2,5						



S	B min		B max	D min	D max
	S1	S2			
0,8	10	4	Nähtävissä ylemmässä taulukossa	6,5	55
1				7,5	
1,25				8,25	
1,5				9	
1,65				9,9	
1,9				10,4	
2				11	
2,5				12,5	



AUT –lisätyökaluilla väistettävät kohomuodot

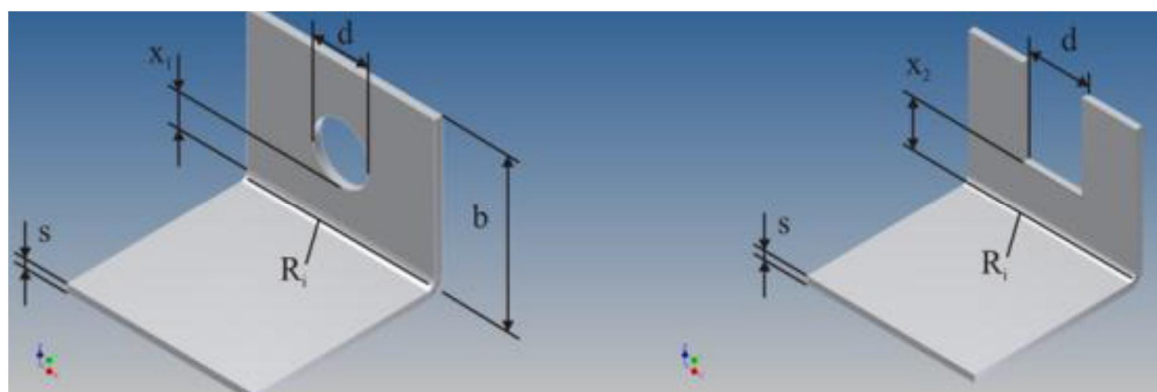
S	A min	A max	B max	C min	H max
0,8	120	1700	90	18	5,8
1					
1,5					
2					

**Toleranssit**Mittatoleranssi:  $\pm 0,15$  mm

Suoruustoleranssi 0,2 mm

Kulmatoleranssi  $\pm 0^{\circ}25'$ , kun Kulman suuruus  $135^{\circ} \dots +135^{\circ}$ **Reikien ja muotojen sijoittaminen**

Reikien sijoittaminen taivutuslinjan lähelle voidaan laskea kaavojen avulla.



$$x_1 = \sqrt{d * s} + 0,8R_i * \sqrt{\frac{b}{d}}$$

$$x_2 = 1,1 * \sqrt{d * s} + 0,8R_i * \sqrt{\frac{b}{d}}$$

Muotojen tulee sijoittaa vähintään minimilaitan korkeuden verran taivutuslinjasta.

S	Min etäisyys
0,8	6,5
1	7,5
1,5	9
2	11
2,5	12,5
3	15

**Muuta huomioitavaa**

1. Manipulaattorin tarraimen puristusvoima on suuri, jolloin sädemuotojen läheltä tarraaminen voi aiheuttaa jälkiä.
2. Herkkäpinnoitteisia levyateriaaleja voidaan taivuttaa rolling mode taivutusinterpolaatiota käyttämällä

(Finn Power 2008.)

**Liite 9. Kuvia taivutusautomaatilla taivutettavista muodoista**

(Dalsin industries INC. 2008)

