

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Alexi Ratilainen

SUUNNITTELUSÄÄNNÖSTÖN LAATIMINEN
OHUTLEVYTUOTTEIDEN SUUNNITTELUUN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2018
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
P. (013) 260 600

Tekijä(t)
Aleksi Ratilainen

Nimeke
Suunnittelusäännöstön laatiminen ohutlevytuotteiden suunnitteluun

Toimeksiantaja
Finelcomp Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli luoda suunnittelusäännöstö Finelcomp Oy:n tuotesuunnitteluosaston käyttöön. Säännöstön laatimisessa tarkoituksena oli luoda tietopankki ohutlevytuotteiden suunnitteluun, standardisoida yrityksen sisäisiä työskentelymenetelmiä sekä vähentää tuotesuunnittelussa esiintyviä virheitä.

Työssä perehdyttiin ohutlevytuotteiden valmistamiseen liittyvään valmistustekniikkaan, sekä asioihin, jotka eri valmistusvaiheiden kannalta tulisi tuotesuunnittelussa huomioida. Lisäksi opinnäytetyössä perehdyttiin 3D-mallintamisen ja piirustustekniikan teoriaan, sekä luotiin teorian ja yrityksen sen hetkisten menettelytapojen pohjalta ohjeistus näihin osa-alueisiin.

Lopputuloksena tässä opinnäytetyössä syntyi suunnittelusäännöstö, joka sisälsi suuntaa antavia ohjeita valmistustekniikkaan, 3D-mallintamiseen sekä piirustustekniikkaan liittyen. Lisäksi suunnittelusäännöstöstä laadittiin niin sanottu pöytäversio, jossa oleellimmat ohjeistukset tiivistettiin lyhyeksi listaksi, joka voi olla kaikkien työntekijöiden työpöydällä paperisena versiona.

Kieli
suomi

Sivuja 70
Liitteet 5
Liitesivumäärä 6

Asiasanat

valmistustekniikka, tuotesuunnittelu, ohutlevy, suunnittelusäännöstö



THESIS
MAY 2018
**Degree Programme in Mechanical and
Production Engineering**

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
P. (013) 260 600

Author (s)
Aleksi Ratilainen

Title
Creating a Design Guide for Sheet Metal Products

Commissioned by
Finelcomp Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to create a design guide for the use of Finelcomp Oy's product design department. The purpose of the design guide was to create an information bank regarding the design of sheet metal parts, standardise procedures inside the company and reduce errors in product design.

The thesis focuses on manufacturing techniques in sheet metal production and on things that should be taken into account when designing sheet metal products. The thesis also focuses on the theory of 3D modelling and technical drawings and creates a guide for these sectors, combining theory and the current procedures regarding 3D modelling and technical drawings inside the company.

The result of this thesis was a design guide, containing guidelines regarding production techniques, 3D modelling and technical drawings in sheet metal products. Furthermore, a compressed version of the design guide was created, so the employees could always have a concise list of the most important guidelines on their desk in paper form.

Language

Finnish

Pages 70

Appendices 5

Pages of Appendices 6

Keywords

production techniques, product design, sheet metal, design guidelines

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Työn tavoitteet ja rajaus	5
1.2	Työn tausta	5
1.3	Toimeksiantaja	6
2	Tuotekehitysprosessi	6
2.1	Käynnistäminen	7
2.2	Luonnostelu	8
2.3	Kehittely	10
2.4	Viimeistely	12
3	Mikä on suunnittelusäännöstö?	14
4	Lähtötilanne	15
4.1	Valmistustekniikka	15
4.2	Tuotetiedonhallinta	15
4.3	Mallinnus	15
4.4	Piirustustekniikka	16
5	Ohutlevytuotteiden suunnittelu	16
6	Valmistustekniset näkökohdat tuotesuunnittelussa	18
6.1	Leikkaus	19
6.1.1	Lävistys	19
6.1.2	Laserleikkaus	23
6.1.3	Leikattavien osien suunnittelu	24
6.2	Särmäys	27
6.3	Taivutusautomaatit	34
6.4	Hitsaus	36
6.4.1	MIG/MAG hitsaus	37
6.4.2	Pistehitsaus	39
6.5	Kokoonpano	40
6.6	Maalaus	43
7	Tuotetiedonhallinta	44
7.1	Attribuuttitieto	45
7.2	CustomTools	46
8	3D-mallinnus	47
8.1	Ohutlevytuotteiden mallinnus	48
8.2	Kokoonpanojen luomismenetelmät	49
8.3	Ohjeita ohutlevytuotteiden mallinnukseen	49
9	Piirustustekniikka	51
9.1	Osapiirustukset	52
9.2	Kokoonpanopiirustukset	52
9.3	Ohjeita valmistuspiirustusten laatimiseen	53
9.3.1	Valmistuspiirustukset	53
9.3.2	Mitoitus- ja merkintäohjeita eri valmistusvaiheisiin	57
10	Pohdinta	67
	Lähteet	70

Liitteet

1 Johdanto

1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda Finelcomp Oy:lle suunnittelusäännöstö. Suunnittelusäännöstön on tarkoitus toimia apuna Finelcomp Oy:n tuotesuunnitteluprosessissa. Säännöstön avulla pyritään standardisoimaan yrityksen sisäisiä työskentelymenetelmiä tuotesuunnittelussa, saamaan kaikki työntekijät noudattamaan samaa työskentelymallia sekä vähentämään tuotesuunnittelussa esiintyviä virheitä. Suunnittelusäännöstön on myös tarkoitus toimia apuna uusien työntekijöiden koulutusprosessissa.

Suunnittelusäännöstössä keskityttiin vain ohutlevytuotteiden suunnitteluun sekä opinnäytetyön sisältö rajattiin siten, ettei säännöstössä puututa lainkaan tuotteiden ideointiin ja keksimiseen liittyviin seikkoihin. Sisältö rajattiin myös siten, että säännöstössä keskitytään vain Finelcomp Oy:n itse valmistamiin tuotteisiin.

Suunnittelusäännöstön piti sisältää Finelcomp Oy:n tuotesuunnitteluun liittyviä ja siinä huomioitavia tärkeimpiä valmistusteknisiä seikkoja sekä tuotteiden mallintamiseen ja piirustusten laatimiseen liittyvää ohjeistusta. Lisäksi säännöstöön kaittettiin tuotetiedonhallintaan sekä CustomTools malli- ja piirustustietokantaan liittyvää ohjeistusta tuotesuunnitteluosaston tarpeisiin.

1.2 Työn tausta

Hain opinnäytetyön aihetta varta vasten Finelcomp Oy:ltä, koska olin työskennellyt siellä kesätyöntekijänä useana vuotena. Yrityksen ollessa minulle entuudestaan tuttu tiesin, että Finelcomp pystyisi tarjoamaan minulle hyvän ja mielenkiintoisen opinnäytetyön aiheen toteutettavaksi.

Opinnäytetyöni aiheeksi valitsin tämän keskusteltuani toimeksiantajayrityksen operatiivisen päällikön kanssa mahdollisista opinnäytetyön aiheista. Keskustelujen aikana kävi selväksi, että suunnittelusäännöstö olisi mahdollisista opinnäytetyön aiheista ajankohtaisin sekä hyödyllisin yrityksen kannalta. Näin myös tämän kyseisen opinnäytetyön aiheen kiinnostavana aihealueena.

Suunnittelusäännösten laatiminen on ollut Finelcompin ohjelmistossa pitkään, mutta resurssien ja säännösten luomiseen käytettävissä olevan ajan puutteen takia ei tämän laatiminen ole ollut mahdollista. Näin ollen suunnittelusäännösten luominen soveltui loistavasti opinnäytetyön aiheeksi.

1.3 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantajana toimi Finelcomp Oy, joka on Outokummun teollisuusalueella sijaitseva sähkökeskusmekaniikkaan keskittyvä yritys. Finelcomp Oy tuottaa ratkaisuja sähkönjakelu- ja telelaitteiden kotelointi- ja kiinnitysmekaniikan tarpeisiin sekä tarjoaa korkealaatuista ja kilpailukykyistä ohutlevyosien sopimusvalmistusta asiakkailleen. (Finelcomp Oy 2017.)

2 Tuotekehitysprosessi

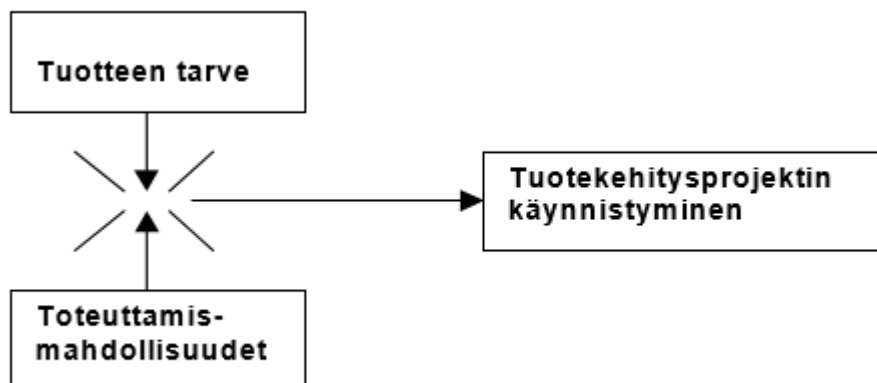
Tuotekehityksellä tarkoitetaan toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote. Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi, joka sisältää tuotteiden etsimisen, tuotekehitysprojektin käynnistämiseen tarvittavan tiedon keräämisen, tuotteen luonnostelun, yksityiskohtaisen suunnittelun, optimoinnin, työpiirustusten sekä muiden tuotteeseen liittyvän dokumentaation tekemisen ja tuotantomenetelmien kehittämisen. Tämän prosessin aikana pyritään täyttämään tuotteelle asetetut tavoitteet niin hyvin kuin on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista. (Jokinen 2010, 9–10.)

Tuotekehityksessä voi olla siis kyse joko täysin uuden tuotteen suunnittelusta tai jo olemassa olevan tuotteen kehittämisestä aiempaa paremmaksi. Tuotekehitysprosessista on olemassa useita erilaisia malleja, mutta yleensä se voidaan kuitenkin jakaa neljään eri vaiheeseen. Näitä tuotekehitysprosessin vaiheita ovat käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. (Jokinen 2010, 9–10.)

Vaikka tämän opinnäytetyön aikana laadittavan suunnittelusäännösten sisällöstä on rajattu kokonaan pois tuotteiden ideointi ja keksiminen, ovat nämä alueet tärkeässä osuudessa tuotekehitysprosessissa. Tässä osuudessa kerrotaan lyhyesti kaikista tuotekehitysprosessin vaiheista, nämä osuudet mukaan lukien.

2.1 Käynnistäminen

Tuotekehitysprojektin ensimmäinen vaihe on sen käynnistäminen. Tuotekehitysprojektin käynnistämisen perusedellytyksenä on tuotteen tarve ja mielikuva sen toteuttamismahdollisuudesta (kuvio 1) (Jokinen 2010, 17). Pelkkä tuotteen tarve ei kuitenkaan ole riittävä edellytys tuotekehitysprojektin käynnistämiseksi. Jokisen (2010, 17) mukaan hyvänä esimerkkinä tästä voidaan pitää sitä, että ikiliikkuja olisi hyvinkin tarpeellinen kehityskohde, mutta kun toteuttamismahdollisuuksia ei ole, ei vakavasti otettavia kehitysprojekteja käynnisty.



Kuvio 1. Käynnistämisen edellytykset (Jokinen 2010, 18).

Impulssi tuotekehitysprojektin käynnistämiseen voi tulla yrityksen ulkopuolelta tai yritykseltä itseltään. Ulkopuolelta tulevat impulssit voivat tulla esimerkiksi markkinoilta tai ympäristöstä. Näitä markkinoilta tulevia impulsseja voivat olla mm. omien tuotteiden vanheneminen, kilpailevien tuotteiden paremmuus, markkinoitoiden muutokset ja mahdolliset asiakkailta saadut kritiikit ja virikkeet. Ympäristöstä tulevia impulsseja ovat esimerkiksi raaka-aineiden hinnanmuutokset tai lainsäädännön muutokset. Yrityksen sisältä tulevia impulsseja voivat taas olla esimerkiksi uusien valmistusmenetelmien käyttö, tuotevalikoiman laajentamisen halu sekä omien ideoiden ja tutkimustulosten hyödyntäminen. (Pahl & Beitz 1990, 55–56.)

Tuotekehitysprosessin käynnistämävaiheen työnkuvaan kuuluvat kehityskohteen valinta, suunnittelutehtävän lähtötietojen kerääminen, asiakastarpeiden selvittäminen, tavoitteiden ja vaatimusten asettaminen sekä alkusuunnittelukatselmuksen suorittaminen (Mertanen 2016). Käynnistämävaihe päättyy myönteisessä tapauksessa kehityspäätökseen, jolloin voidaan siirtyä tuotekehitysprosessin seuraavaan eli luonnosteluvaiheeseen (Jokinen 2010, 18).

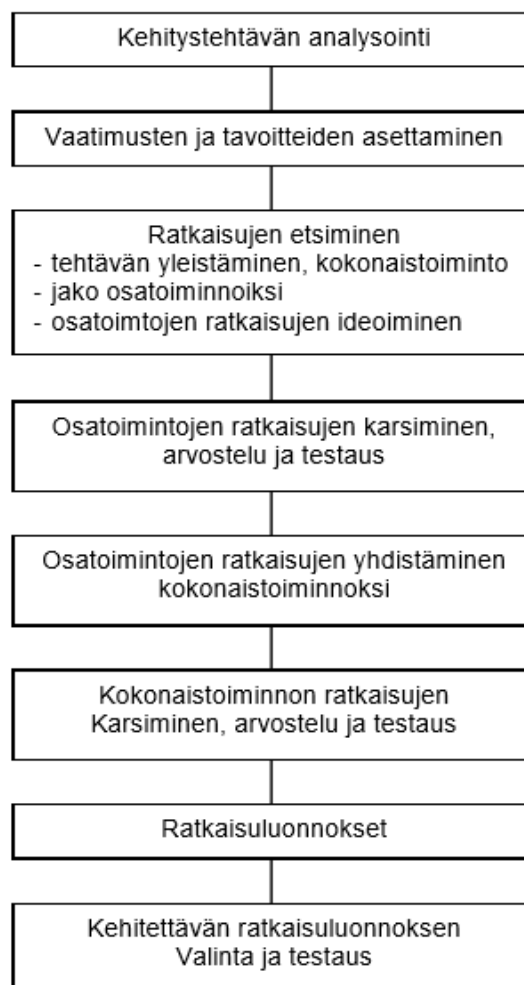
2.2 Luonnostelu

Tuotekehitysprosessin luonnosteluvaiheessa tarkoituksena on etsiä useita vaihtoehtoisia ratkaisuja kehitettävälle tuotteelle. Luonnosteluvaiheessa ei laadita vielä yksityiskohtaisia piirustuksia tuotteesta, vaan tehdään ratkaisuperiaatteita selventäviä luonnoksia. Tärkeimpinä työmenetelminä tässä vaiheessa ratkaisujen löytämiseen toimivat erilaiset luovat ideointimenetelmät. (Jokinen 2010, 21.)

Luonnosteluvaihe noudattaa samoja työvaiheita, joita päätöksenteossa ja ongelmanratkaisussa yleensä käytetään. Päätöksenteossa ja ongelmanratkaisussa käytetään useita eri menetelmiä, mutta nämä menetelmät eroavat toisistaan vain pääosin yksityiskohtien ja työvaiheiden painotuksen suhteen. Yleinen etenemismalli, jota nämä menetelmät noudattavat on ongelman havaitseminen, asiakastietojen hankinta ja ongelman analysointi, vaatimusten ja tavoitteiden laatiminen,

ratkaisuideoiden etsiminen, ideoiden karsiminen ja arvostelu, valittujen ratkaisujen testaus sekä lopullisen päätöksen tekeminen. (Jokinen 2010, 21–22.)

Luonnosteluvaiheessa tavoitteena on saada muodostettua kokonaiskuva tuotteesta (Mertanen 2016). Luonnosteluvaiheen toimenkuvaan kuuluu abstrahointi, toimintorakenteen laatiminen ja sopivimpien vaikutusperiaatteiden sekä niiden yhdistelmien etsiminen. Näiden konkretisoinnin ja arvostelun jälkeen päädytään luonnosteluvaiheen lopuksi periaatteelliseen ratkaisuun eli ratkaisuluonnokseen, jota käytetään lähtökohtana tuotekehitysprosessin kehittämissä vaiheissa. (Gerhard & Wolfgang 1990, 71–72.) Kuviossa 2 esitetään luonnosteluvaiheen eteneminen VDI 2222 systemaattisen suunnitteluprosessin mukaan.



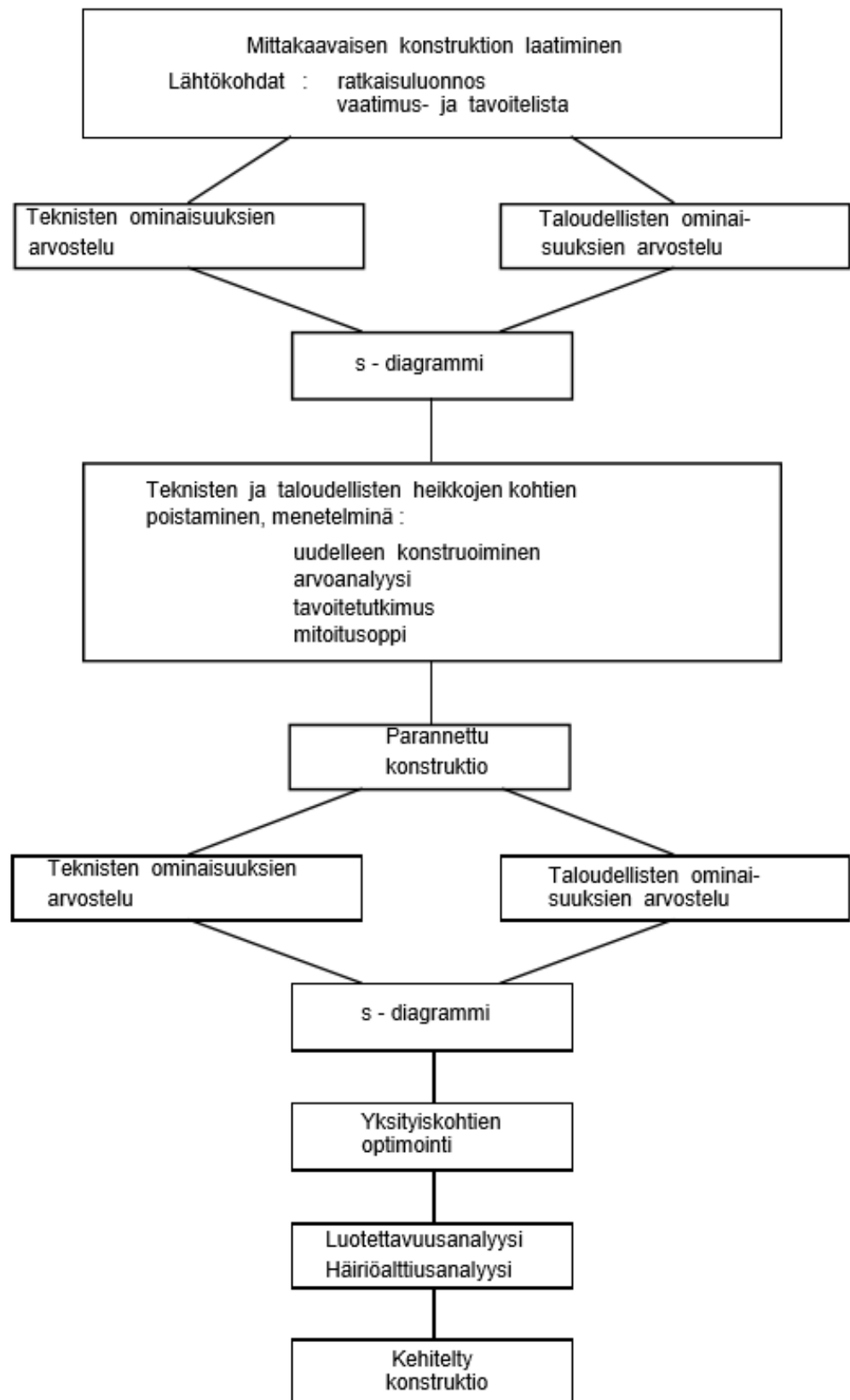
Kuvio 2. Luonnosteluvaiheen eteneminen VDI 2222 systemaattisessa suunnitteluprosessissa (Jokinen 2010, 22).

2.3 Kehittely

Kehittelyvaihe on se osa tuotekehitysprojektia, jossa periaatteellisesta ratkaisusta lähtien suunnitellaan teknisen tuotteen kokoonpanorakenne täydellisesti ja yksiselitteisesti teknisten ja taloudellisten näkökohtien mukaan (Gerhard & Wolfgang 1990, 49). Näin ollen kehittelyvaiheessa siis suunnitellaan tuotteen yksityiskohdat siten, että niiden pohjalta voidaan viimeistelyvaiheessa tehdä valmistuspiirustukset ja osaluettelot (Jokinen 2010, 89).

Lähtökohtana kehittelyvaiheessa toimii luonnosteluvaiheen lopuksi valittu ratkaisuluonnos. Kehittelyvaiheessa päähuomio kiinnitetään periaatteellisen luonnoksen rakenteelliseen muotoiluun. Näin ollen päätyövaiheina kehittäessä toimivat karkeasuunnittelu, hienosuunnittelu sekä suunnitelman täydentäminen ja tarkistaminen. (Mertanen 2016.)

Kehittelyvaiheen aikana ratkaisuluonnoksesta edetään kehitettyyn konstruktion (kuvio 3). Kehittelyvaiheen aluksi ratkaisuluonnoksen ja vaatimus- ja tavoitelistan pohjalta laaditaan mittakaavaan tehty konstruktiio. Tästä konstruktiosta kehitystä jatketaan poistamalla siitä taloudelliset ja tekniset heikot kohdat. Näiden heikkojen kohtien poistamisen jälkeen päädytään parannettuun konstruktion. Parannetusta konstruktiosta kehitystä jatkettaessa pyritään optimoimaan tuotteelle lisäarvoa tuottavia yksityiskohtia. Näiden yksityiskohtien optimoinnin jälkeen päädytään kehittelyvaiheen lopuksi kehitettyyn konstruktion. Tälle aikaan saadulle kehitetylle konstruktiolle haetaan hyväksyntää kehittelyvaiheen lopuksi. Jos konstruktiolle saadaan hyväksyntä, voidaan siirtyä tuotesuunnitteluprosessissa seuraavaan vaiheeseen eli viimeistelyyn. (Jokinen 2010, 89–92.)



Kuvio 3. Kehittelyvaiheen eteneminen (Jokinen 2010, 92).

2.4 Viimeistely

Viimeistelyvaiheeksi kutsutaan sitä työvaihetta, jossa kehittäelyvaiheen lopuksi va-
littua kehitettyä konstruktiota täydennetään lopullisilla konstruktion muotoa, mitoi-
tusta, pinnanlaatua ja materiaaleja koskevilla määräyksillä. Tätä vaihetta viimeis-
telyssä kutsutaan yksityiskohtien viimeistelyksi. Viimeistelyvaiheessa laaditaan
myös sitovat piirustukset ja muu dokumentointi tuotteen valmistusta varten. Vii-
meistelyvaiheen pääpainopisteenä on juuri tämä valmistusasiakirjojen kuten, val-
mistuspiirustusten, osaluetteloiden sekä muun valmistus- ja käyttödokumenta-
tion luominen. (Gerhard & Wolfgang 1990, 458.) Kuviossa 4 esitetään
viimeistelyvaiheeseen kuuluvat eri työvaiheet.



Kuvio 4. Viimeistelyn työvaiheet (Jokinen 2010, 97).

Viimeistelyvaihe alkaa yksityiskohtien viimeistelyllä. Viimeistään tässä vaiheessa tuotekehitysprojektia on tehtävä lopulliset päätökset konstruktion mitoista, muodosta, valmistukseen käytettävistä materiaaleista ja valmistusmenetelmistä. Tämä vaihe sisältää myös tarvittavien toleranssien sekä sovitteiden määrittämisen. (Jokinen 2010, 96–97.)

Yksityiskohtien viimeistelyn jälkeen voidaan tehdä työpiirustukset valmistettavista tuotteista. Työpiirustusten tekeminen aloitetaan yksittäisosista, jonka jälkeen siirytään kokoonpanokuvien, osaluetteloiden ja muiden tuotedokumenttien, kuten työselitteiden, asennus-, kuljetus- ja käyttöohjeiden laatimiseen. Dokumenttien laatimisen jälkeen on dokumentit vielä tarkastettava, että ne ovat yrityksen työtapojen ja standardien mukaisia, valmistusystävällisiä ja sisältävät kaikki tarvittavat tiedot valmistamiseen liittyen. (Jokinen 2010, 96–97.)

Jos prosessin aikana suunniteltava tuote tulee sarjatuotantoon, valmistetaan tuotteesta yleensä ennen sarjatuotannon aloittamista prototyyppi. Jos tuotteesta päätetään valmistaa prototyyppi, ei aikaisemmin mainittuja työvaiheita tehdä täydellisesti, vaan niitä täydennetään prototyypin avulla testauksesta saatujen tietojen pohjalta. Prototyypin valmistamisen syynä voi olla mm. tuotteen ominaisuuksien selvittäminen ja tarkastelu sekä niiden vertailu asetettuihin tavoitteisiin. Prototyypin valmistaminen ei kuitenkaan aina välttämättä sisälly viimeistelyvaiheeseen, vaan se voidaan tehdä myös jo aikaisemmin tuotekehitysprojektin aikana. (Jokinen 2010, 98.)

Prototyypin valmistamisen lisäksi voidaan ennen varsinaisen tuotannon aloittamista, tuotteesta valmistaa myös nollasarja. Nollasarjalla tarkoitetaan ensimmäistä tuotantosarjaa, joka tuotteita valmistetaan. Sen tarkoituksena on pääasiassa tutkia tuotteen valmistamismenetelmiä sekä antaa tietoa kustannuksista ja tuotteen ominaisuuksista. Nollasarjan koko voi vaihdella valmistuskustannuksista riippuen muutamista kappaleista satoihin kappaleisiin. (Jokinen 2001, 98–99.)

Jos tuotesuunnitteluprojekti on edennyt suunnitelmien mukaan ja yritys on testauksen jälkeen tyytyväinen projektin tulokseen, on vuorossa tuotteen hyväksyminen tuotantoon. Kun tuote on hyväksytty tuotantoon, voidaan sen valmistus

aloittaa. Vaikka tuotteen valmistus aloitetaan ei se kuitenkaan merkitse sitä, että tuotteen kehitystyön voisi lopettaa tähän. Tuotetta on pyrittävä kehittämään jatkuvasti, jotta se voidaan pitää kilpailukykyisenä mahdollisimman pitkään. Asiakailta on myös tärkeä kerätä palautetta tuotteesta, koska nämä tiedot ovat tärkeitä tuotteen kehityksen ja tulevien tuotekehitysprojektien kannalta. (Jokinen 2010, 99.)

3 Mikä on suunnittelusäännöstö?

Suunnittelusäännöstö on valmistus-, mallinnus- ja piirustusteknisten asioiden tietopankki. Suunnittelusäännöstö on myös ohjeistus, jota suunnitteluosaston työntekijät voivat käyttää apuna päivittäisissä työtehtävissään. Säännöstöä voidaan käyttää myös oppaana, joka toimii apuna uusien tuotesuunnitteluosaston työntekijöiden koulutuksessa.

Säännöstö sisältää valmistusteknistä teoriaa sekä Finelcomp Oy:n käytössä olevia ja hyväksi todettuja menettelytapoja ja ohjeistuksia tuotesuunnitteluun sekä tuotteiden valmistettavuuteen. Säännöstöön sisältyy myös ohjeistusta tuotteiden mallintamiseen, valmistuspiirustusten laatimiseen sekä tuotetiedonhallintaohjelmiston käyttöön.

Suunnittelusäännöstössä myös pyritään hyödyntämään suunnitteluosaston työntekijöille työuran aikana kertynyttä hiljaista tietoa. Pääosin tämä hiljainen tieto, jota tämän suunnittelusäännöstön laatimisessa pyritään hyödyntämään, on työntekijöille kertyneet ylös kirjaamaton tieto, rutiinit sekä menettelytavat tuotesuunnitteluun liittyen.

4 Lähtötilanne

4.1 Valmistustekniikka

Lähtötilanteessa yrityksellä ei ollut olemassa omaa yhteistä ohjeistusta valmistusteknisten asioiden huomioimisesta tuotesuunnittelussa. Tämän takia säännöstöön haluttiin koota tietopankki, jossa tärkeimmät eri valmistusvaiheissa huomioitavat asiat olisivat näkyvillä. Näin yleisimmin tarvittava tieto olisi nopeasti löydettävissä kirjallisessa muodossa kaikille sitä tarvitseville.

4.2 Tuotetiedonhallinta

Tuotetiedonhallinnan osalta lähtötilanteessa tuotteiden nimissä ja tiedoissa oli eroavaisuuksia ja puutteita suunnitteluohjelmiston ja toiminnanohjausjärjestelmän välillä. Nämä puutteet ja eroavaisuudet täytyi pyrkiä poistamaan selkeällä ohjeistuksella tuotteiden mallien ja revisioiden nimeämiseen. Tämän lisäksi kaivattiin myös listaa tiedoista, jotka järjestelmään täytyy täydentää sekä ohjeistusta yleisesti suoritettavista toimenpiteistä.

4.3 Mallinnus

Tuotteiden mallinnuksen kannalta säännöstöön haluttiin selkeä ohje, jota työntekijät voisivat käyttää apuna tuotteiden mallinnuksessa SolidWorks-ohjelmistolla. Mallinnusohjelmiston käytön perusteiden osalta säännöstöön ei kuitenkaan kaivattu ohjeistusta, koska tätä varten on SolidWorksissa olemassa oma ohjelmaan sisällytetty opas.

Mallinnuksen osalta säännöstöön kuitenkin kaivattiin ohjeistusta mm. ohutlevy-
tuotteiden mallinnuksessa käytettävien taivutustaulukoiden sekä taivutussätei-
den käytöstä eri materiaaleille ja särmäysmenetelmille, sekä myös oikeiden ko-
koonpanossa käytettävien standardikomponenttien valintaan

komponenttikirjastosta. Lisäksi säännöstöön kaivattiin myös listaa tärkeimmistä suoritettavista toimenpiteistä ja tarkistuksista, jotka kokoonpanoille täytyy tehdä mallinnusvaiheessa. Näillä tarkastustoimenpiteillä pyritään tarkastamaan tuotteen oikeanlainen toiminta ja erotetaan mahdolliset suunnitteluvirheet jo ennen tuotteiden varsinaista valmistamista.

4.4 Piirustustekniikka

Piirustustekniikan osalta tiedossa oli että valmistus- ja kokoonpanopiirustuksissa esiintyy joitakin virheitä, puutteita sekä eroavaisuuksia. Piirustusteknisen ohjeistuksen avulla oli tarkoitus saada poistettua esiintyvät virheet ja puutteet, sekä saada standardisoitua kaikkien työntekijöiden laatimat piirustukset samanlaisiksi, selkeiksi ja helppolukuisiksi.

Piirustustekniikasta suunnittelusäännöstöön kaivattiin ohjeistusta mm. ohutlevytuotteiden mitoituksen perusteista, kääntö- ja levityskuvien tekemisestä sekä yleisiä ohjeita valmistuspiirustusten laatimiseen. Hitsausmerkintöjen osalta ohjeistusta kaivattiin pääosin pistehitsaukseen liittyen.

Säännöstön laatimista varten tehtävänä oli kartoittaa yleisimmin eri osastojen valmistus- ja kokoonpanopiirustuksissa esiintyviä virheitä ja puutteita. Nämä esille tulleet virheet ja puutteet tuli pyrkiä poistamaan säännöstöön sisällytettävällä ohjeistuksilla piirustustekniikkaan liittyen.

5 Ohutlevytuotteiden suunnittelun periaatteita

Hyvän ja tuotantotehokkaan suunnittelun edellytyksenä pidetään sitä, että suunnittelija tuntee tuotannossa olevien valmistusmenetelmien mahdollisuudet ja rajoitukset. Näin ollen suunnittelijan tulisi ottaa selvää mitä mahdollisuuksia tuotteen valmistuksessa on. Lyhyesti ilmaistuna suunnittelijan tehtävänä on

suunnitella tuote siten, että sen valmistus raaka-aineista valmiiksi tuotteeksi kuluttaa mahdollisimman vähän aikaa ja resursseja. (Piironen 2013, 4.)

Yleisesti ajateltuna tuotteet tulisi pyrkiä suunnittelemaan siten, että niissä käytetään mahdollisimman vähän eri osia ja komponentteja. Kokoonpanossa osien lukumäärä on lähes suoraan verrannollinen kustannuksiin, joten osien määrän minimoinnilla voidaan pienentää tuotantokustannuksia. Kuten myös osien määrä, jokainen piirre kasvattaa tuotteen valmistuskustannuksia. Tämän takia tuotteessa olevien piirteiden määrä tulisi pyrkiä minimoimaan. Näitä piirteitä voivat olla esimerkiksi liitokset, särmäykset, muodot, ulokkeet, syvennykset, reiät, taskut, kolot ja ainevahvuuserot. (Piironen 2013, 13–14.)

Valmistuksen kannalta ajateltuna tuotteissa on kannattavampaa hyödyntää toistuvia piirteitä sekä standardoituja muotoja, uniikkien muotojen käytön sijaan. Valmistuksen kannalta edullisimpia muotoja ovat yleensä yksinkertaisen muodot, kuten esimerkiksi neliöt, suorakulmiot, soikiot ja ympyrät. Suunnittelussa kannattaa myös aina pyrkiä hyödyntämään symmetriaa, jos se vain on mahdollista. Kappaleista ja muodoista kannattaa suunnitella symmetrisiä tai selkeästi epäsymmetrisiä valmistuksen helpottamiseksi. Tuotteen osat kannattaa myös pyrkiä suunnittelemaan itsepaikoittuviksi. Näin voidaan taata, että niitä ei asenneta väärään paikkaan tai väärinpäin. (Piironen 2013, 13–14.)

Tuotteiden modulointimahdollisuus sekä samojen osien toistuva ja tehokas käyttö on kannattavaa pitää mielessä tuotesuunnittelua tehtäessä (Piironen 2013, 13–14). Uutta osaa ei kannata yleensä ruveta suunnittelemaan, jos käyttötarkoitukseen on jo olemassa osa. Vanhoihin osiin ei kuitenkaan kannata tukeutua liikaa, jos ne selvästi ovat rajoitteita uusissa tuotteissa. Kannattavaa on myös aina miettiä, onko osaa tai komponenttia järkevää valmistaa itse vai voidaanko se hankkia helpommin ja edullisemmin osto-osana. (Kontkanen 2017.)

Myös toleransseihin ja välyksiin kannattaa kiinnittää huomioita tuotesuunnittelussa. Eri valmistusmenetelmien ja valmistusvaiheiden tarkkuus tulisi huomioida toleranssien ja välyksien suunnittelussa. Osat tulisi pyrkiä paikoittamaan toisiinsa

siten, että ne eivät ole usean taivutuksen päässä toisistaan tai että niiden paikoitus ei riipu taivutuksista. Näin saadaan parannettua lopullisen tuotteen valmistustarkkuutta. Kiinnitysreikiä voi myös olla tarpeellista suunnitella ovaaleiksi, jotta valmistuksen epätarkkuudet saadaan kompensoitua kokoonpanovaiheessa. Tärkeää on myös huomioida, että maalaus kasvattaa kappaleen mittoja, mikä tulisi taas huomioida suunnittelussa. (Kontkanen 2017.)

Tuotteita suunniteltaessa kannattaa pitää mielessä yleisesti käytettävissä olevat materiaalihiot ja levyarkkikoot. Suunniteltavat kappaleet tulisi suunnitella näihin yrityksen käytettävissä oleviin materiaalipaksuuksiin ja levykokoihin sopiviksi. Jos kappaleen valmistusmäärät ovat suuria, voi sitä varten olla kannattavaa hankkia oma levyarkkikoko, vakiokoon sijaan. Tämä on kuitenkin yleensä kannattavaa vain suurilla valmistusmäärillä silloin, kun materiaalihukka nousisi liian suureksi vakiolevykokoa käytettäessä. (Kontkanen 2017.)

6 Valmistustekniset näkökohdat tuotesuunnittelussa

Yleensä suuri osa tuotteen valmistuskustannuksista syntyy työstä. Tuotteet tulisi siis pyrkiä suunnittelemaan siten, että niiden valmistamiseen tarvitaan mahdollisimman vähän eri työvaiheita ja otteita. Valmistukseen tarvittavissa työvaiheissa tulisi taas pyrkiä toistoihin ja saman työkalun käyttöön. Myös kappaleen muotoon ja asentoon kannattaa kiinnittää huomiota ja suunnitella ne siten, että kappaleen asentoa ei tarvitsisi muuttaa työvaiheen aikana. Valmistusvaiheessa kannattaa yleensä pyrkiä minimoimaan käsityön osuus, sillä käsityö voi olla huonosti suunniteltuna hidasta, epälaadukasta ja kallista. Suuri käsityön osuus voi myös huonontaa toimitusvarmuutta ja valmistuksen laatua. (Piironen 2013, 6, 16.)

Tuotteiden kokoonpanoa ja rakennetta voi olla kannattavaa miettiä yhdessä tuotantopuolen edustajien kanssa. Näin voidaan saada parempi käsitys millainen tuotteen rakenteen kannattaa olla sen valmistettavuuden kannalta. Esimerkiksi hitsattavissa ja kokoonpanolinjassa koottavissa tuotteista tämä kannattaa huomioida. (Kontkanen 2017.) Valmistusta varten tuotteista on tärkeää laatia selkeät ja

helposti luettavat valmistuspiirustukset, joiden pohjalta tuote voidaan valmistaa ilman että työntekijöiden tarvitsee kysyä lisäneuvoja työn suorittamiseen (Piironen 2013, 55).

Tässä valmistustekniikkaan keskittyvässä osiossa perehdytään tärkeimpien ohutlevytuotannon työvaiheiden perusteisiin, teoriaan sekä suunnitteluohjeisiin, joiden mukaan suunnittelusäännöstön valmistustekniikkaosuus on laadittu. Tässä osiossa läpikäytäviä aiheita ovat leikkaus, särmäys, hitsaus, kokoonpano sekä maalaus.

6.1 Leikkaus

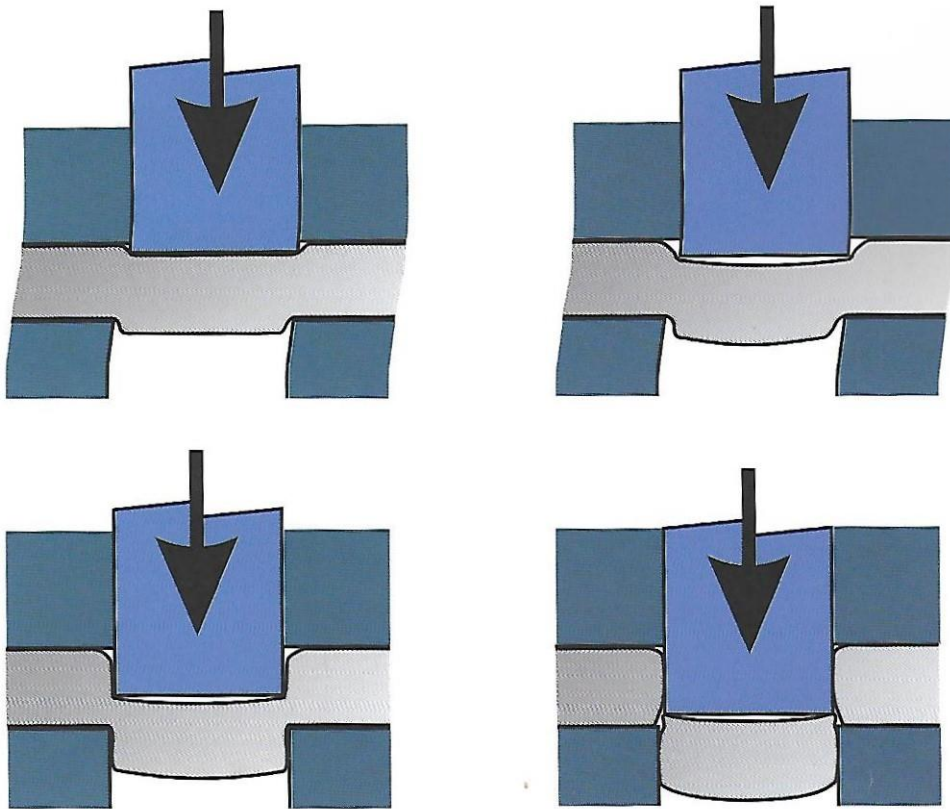
Ohutlevytuotteen valmistus alkaa yleensä sopivan aihion leikkaamisella levyarkista. Leikkaaminen on yleisnimitys lävistämiselle, irrottamiselle, sekä muille leikkaustavoille (Aromäki 2002, 233). Tässä opinnäytetyössä leikkausmenetelmistä tarkastellaan vain lävistystä ja laserleikkausta, näiden ollessa tärkeimmässä osuudessa Finelcompin tuotannossa.

6.1.1 Lävistys

Lävistys kuuluu mekaanisiin leikkausmenetelmiin, joissa leikkaamiseen käytetään mekaanisesti tuotettua voimaa. Mekaaniset leikkausmenetelmät sopivat kaikkien materiaalien leikkaamiseen, mutta paksummilla ohutlevyillä leikkaamiseen vaadittava voima tulee huomioida materiaalipaksuutta valittaessa. (Parviainen & Havas 2011, 169–170.)

Nykyään ohutlevyjen lävistämiseen tapahtuu yleensä levytyökeskuksilla. Levytyökeskuksia pidetään levytyötekniikassa samantapaisina yleistyökoneina, kuin koneistustyökeskuksia lastuavassa työstössä. Levytyökeskuksilla pystytään lävistämään, nakertamaan sekä tekemään matalia muovauksia. Lävistyksessä levyyn leikataan muoto leikkaimella, johon kuuluu pistin sekä tyyny. Lävistys tapahtuu levyn ollessa tyynyn päällä, pistimen suorittaessa työiskun.

Lävistyksen kulku tapahtuu siten, että ensin pistin kohtaa levyn pinnan ja alkaa leikata sitä. Lopulta materiaalin alaosa murtuu ja jätepala irtoaa. Leikattava levy myöntää ensin kimmoisesti ylittäen lopulta myötölujuuden, jonka jälkeen plasti-
nen muodonmuutos alkaa. Lopullinen leikkautuminen tapahtuu, kun pistimestä ja tyynystä alkunsa saaneet murtohalkeamat kohtaavat. (Parviainen & Havas 2011, 179–181.) Kuviossa 5 on esitetty lävistyksen kulku pistimen työiskun aikana.



Kuvio 5. Lävistämisen vaiheet (Parviainen & Havas 2011, 180).

Nakerruksesta puhutaan silloin kuin useita lävistyksiä tehdään vierekkäin. Nakerruksella leikataan yhtenäisiä muotoja ja leikkauslinjoja, joten esimerkiksi kappaleen ulkomuotojen leikkaus tapahtuu yleensä nakertamalla (Parviainen & Havas 2011, 179–181). Nakerruksessa on tärkeää, että työkalun käyttöaste on tarpeeksi suuri, sillä liian pieni käyttöaste voi lisätä työkalujen kulumista tai vahingoittaa lävistystyökaluja. Esimerkiksi suorakulmion muotoisilla työkaluilla käyttöasteen on suositeltavaa olla yli 30 %, mutta neliötyökaluilla voi käyttöaste olla tätäkin pienempi.

Levytyökeskuksissa työkalut varastoidaan yleensä työkalurevolveriin, joka mahdollistaa useiden työkalujen käytön lyhyellä työkalunvaihtoajalla. Kun revolveria pyöritetään NC-ohjelman avulla, saadaan valittua haluttu työkalu käyttöön. Revolverissa olevat työkalupesät jaetaan A–D, A:n ollessa pienin työkalupesä ja D:n ollessa suurin työkalupesä. Työkalurevolverissa työkaluasemat voivat olla myös sijoitettuina useaan kehään, mikä mahdollistaa työkalujen määrän maksimoinnin. (Havas 2008, 2, 6.)

Työkalurevolvereissa on yleensä rajoitettu määrä indeksiasemia, joissa työkalun asentoa voidaan säätää pyörittämällä työkalua. Tämä mahdollistaa iskujen lyömisen työkalulla useaan eri kulmaan, mikä taas luo uusia mahdollisuuksia lävis-tettävien muotojen suhteen. Työkalurevolverin työkalumäärää voidaan kasvattaa käyttämällä ns. multitool-monityökalupäitä (kuvio 6). Näissä monityökalupäissä on useita pistin-tyynypareja, jotka voidaan aktivoida yksitellen. Multitoolien käyttö on kannattavaa mm. silloin, kun valmistettavat kappaleet sisältävät paljon ja monia erikokoisia standardimuotoisia reikiä ja muotoja. Näiden työkalujen käytöllä saadaan myös vähennettyä asetusaikoja levytyökeskuksilla, sillä kun koneessa olevat multitool-työkalut sisältävät suurimman osan käytössä olevista standardi-muodoista, kuluu koneenkäyttäjältä vähemmän aikaa työkalujen vaihtoon. (Parviainen & Havas 2011, 182–183.)



Kuvio 6. Multitool-työkalun pistin-tyynypari (Parviainen & Havas 2011, 184).

Levytyökeskuksissa työstettävän levyn kiinnitys tapahtuu kynsillä, joilla levytyökeskus tarraa levystä kiinni. Kynsien määrä vaihtelee levytyökeskuksesta toiseen. Vanhemmissa levytyökeskuksissa levyn kiinnitys voi tapahtua kahdella kynnellä, kun taas uudemmissa levytyökeskuksissa voi olla jopa neljä kynntä levyn kiinnitystä varten. Kynsien avulla levyä liikutellaan koordinaattipöydällä työkalun asemaan nähden, työkalun suorittaessa työiskut. (Parviainen & Havas 2011, 181.)

Työkalun iskunopeus levytyökeskuksissa ilmoitetaan yleensä nakerrusnopeutena, joka voi olla nykyaikaisilla levytyökeskuksilla jopa 1100 i/min. Kokonaisnakerrusnopeudesta puhutaan silloin, kun huomioon otetaan myös levyn siirtonopeus. Kokonaisnakerrusnopeus ilmoitetaan tietyllä reikien välisellä siirtymällä, esimerkiksi 200 lävistysiskua/min 25 mm:n reikäeräisyydellä. Levyn paikoitusnopeudet ovat nykypäivänä jo hyvin suuria, jopa 80 m/min. Paikoitustarkkuus levytyökeskuksilla on noin $\pm 0,1$ mm, toistotarkkuuden ollessa $\pm 0,03$ mm. (Parviainen & Havas 2011, 181.)

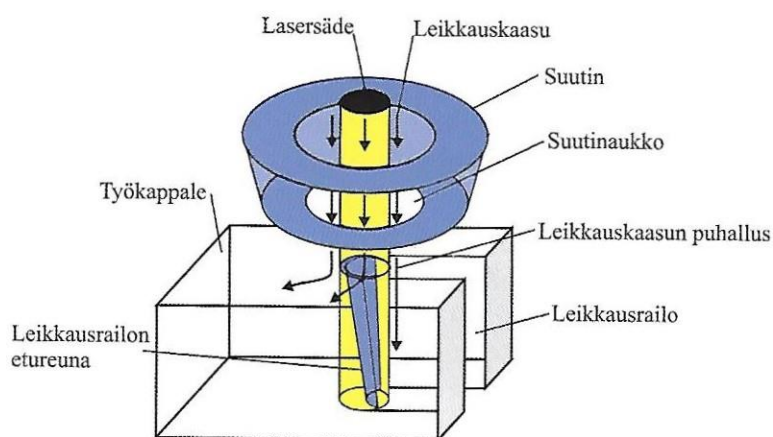
Leikkauksen jälkeen levyosat jätetään yleensä kiinni levyrankaan mikrokiinnikkeillä. Mikrokiinnikkeet ovat levyrangan ja levyosan väliin jätettäviä pieniä siltoja, jotka pitävät kappaleet kiinni levyssä työstön aikana. Mikrokiinnikkeet voidaan sijoittaa esimerkiksi kappaleen nurkkakohtiin. Mikrokiinnikkeiden koko valitaan usein siten, että kappaleet voidaan irrottaa levystä pientä voimaa käyttämällä, esimerkiksi käsin ravistamalla. Mikrokiinnikkeitä käytetään suuressa osassa levytyökeskuksia ja laserleikkureita, joita ei ole varustettu automaattisella materiaalin purulla. (Parviainen & Havas 2011, 181.)

Osa levytyökeskuksista on varustettu kulmaleikkurilla, jolla suorareunaiset kappaleet voidaan leikata irti levystä yhdellä iskulla. Näissä levytyökeskuksissa irti leikkaus tapahtuu kahdella toisiinsa nähden 90° kulmassa olevalla leikkausteillä. Kulmaleikkuri asettaa kuitenkin rajoitteita levypaksuuden suhteen, sen yleensä rajoittuen maksimissaan 3,0 mm levypaksuuteen. Kulmaleikkurin avulla voidaan säästää työajassa, sillä leikkuri mahdollistaa kappaleiden automaattisen purun. Kulmaleikkurilla varustetuissa levytyökeskuksissa myös materiaalinhukka

on yleensä pienempi, koska kappaleet voidaan sijoittaa kiinni toisiinsa sillä mikroriinnikkeitä ei automaattisen purun takia tarvita. (Parviainen & Havas 2011, 181–182.)

6.1.2 Laserleikkaus

Laserleikkaus kuuluu termisiin leikkausmenetelmiin. Termisissä leikkausmenetelmissä leikattava materiaali kuumennetaan paikallisesti korkeaan lämpötilaan, jonka johdosta leikkautuminen tapahtuu joko palamalla, sulamalla, höyrystymällä tai näiden yhteisvaikutuksesta. Leikkauksen aikana raihoon puhalletaan kaasua, joka poistaa raihoon syntyvät leikkajätteet. Kuviossa 7 on havainnollistettu laserleikkauksen periaate. (Parviainen & Havas 2011, 142.)



Kuvio 7. Laserleikkaus (Parviainen & Havas 2011, 158).

Leikkausmenetelmänä laserleikkaus on hyvä valinta pienille ja keskisuurille sarjoille, prosessin joustavuuden ja kohtuullisen lyhyiden läpimenoaikojen takia. Laserleikkaus soveltuu suurelle osalle materiaaleista, mutta heijastavat materiaalit ovat vaikeasti leikattavissa (esim. puhdas alumiini tai kupari). Laserleikkaus myös tarjoaa vapautta leikattavien muotojen suhteen, sillä toisin kuin lävistyksessä, muotojen ei tarvitse olla käytössä olevien työkalujen mukaisia. Laserleikkaus soveltuu hyvin tarkkuutta vaativille kappaleille, mutta jos suurta tarkkuutta ei vaadita se voi johtaa ylilaatuun. (Parviainen & Havas 2011, 158–164.)

Laserleikkauksella saavutetaan yleensä 0,1 mm mittatarkkuus, materiaalipaksuuden ollessa alle 10 mm. Railonleveys laserleikkauksessa on taas yleensä 0,1–1,0 mm. Yleensä leikkauksessa tavoitellaan mahdollisimman kapeaa railon leveyttä, mutta paksummilla materiaaleilla sulan poistamista voidaan helpottaa käyttämällä leveämpää railoa. Ohuemmillä materiaalipaksuuksilla laserleikkauksella voidaan päästä hyvinkin tasaiseen pinnankarheuteen, mutta paksumpia materiaalipaksuuksia leikatessa railonreunaan jää selvästi näkyviä uurteita ja muotoja. (Parviainen & Havas 2011, 162.)

Parvialaisen ja Havaksen (2011, 162) mukaan moni valmistaja lupaa laserleikkauksella saavutettavat pinnankarheudet seuraavasti:

- Levyn paksuus alle 3 mm, Ra = 0,5–5 µm.
- Levyn paksuus 4–8 mm, Ra = 4–10 µm.
- Levyn paksuus yli 8 mm, Ra = 10–20 µm.

6.1.3 Leikattavien osien suunnittelu

Tärkein asia joka leikkausvaiheessa tulisi huomioida on osien sijoitus leikkausalueelle siten, että ne voidaan leikata mahdollisimman tehokkaasti ja materiaalia hukkaamatta. Materiaalin hukkaa voidaan myös pienentää osien muotoilulla, mutta muotoilulla ei kuitenkaan tulisi vaikeuttaa osien särmäystä. (Hietikko 2015b, 7–8.)

Lävistämällä leikattavat osat tulisi pyrkiä suunnittelemaan kulmikkaiksi ja suoraviivaisiksi, kun taas laserilla leikattavat osat voivat olla muodoiltaan myös kaarevia ja ympyrämäisiä. Laserleikkauksessa kaarevien muotojen leikkaus voi olla jopa nopeampaa, lyhemmän leikkausradan takia. Lävistettävissä osissa pyöreitä muotoja ja kaaria joihin ei ole olemassa vakiotyökalua tulisi pyrkiä välttämään, sillä kun muoto joudutaan tekemään useammalla iskulla, reunaan jää aina pientä pykälää sekä iskumäärän kasvaessa myös lävistysaika kasvaa. Jos suunniteltu kappale sisältää paljon reikiä, on se yleensä kannattavampaa leikata lävistämällä sillä aloitusreikien tekeminen kasvattaa leikkausaikaa laserilla leikattaessa. Osia

suunniteltaessa tulisi myös huomioida mikroinnikkeet, sillä niiden sijoitus on helpointa suoriin sivuihin ja kulmiin. (Parviainen & Havas 2011, 188.)

Leikattavien reikien ja muiden muotojen suunnitteluun on olemassa joitain nyrkisääntöjä, mitä voidaan käyttää apuna tuotteita suunniteltaessa. Reikien halkaisija on suositeltavaa valita suuremmaksi kuin materiaalinpaksuus. Etäisyyttä reikien välissä tulisi olla vähintään 2 kertaa materiaalinpaksuus ja etäisyys levynlaidan ja reiän välillä tulisi olla vähintään 2,5 kertaa materiaalinpaksuus. Kun taas reikä sijoitetaan lähelle taivutusta, tulisi sen etäisyys taivutuksen sisäreunasta olla vähintään 2 kertaa levynpaksuus + taivutussäde. Isokokoisissa reissä ja muodoissa on suositeltavaa, että reiän ja taivutuksen väliin jätetään 4 kertaa levynpaksuus + taivutussäde. Syvennyksiä ja kielekkeitä suunniteltaessa tulisi huomioida, että niiden leveyden tulisi olla suurempi kuin 1,5 kertaa levynpaksuus. Kielekkeiden tai syvennysten pituus tulisi pyrkiä rajoittamaan siten, että se ei ole enempää kuin 5 kertaa sen leveys. (Quality Tool Inc, 10–12.)

Edellä mainittujen sekä alla olevien suunnitteluohjeiden lisäksi myös liitteessä 1 on esitetty ote suunnittelusäännöstöön sisällytetystä yleisestä ohjeistuksesta leikattaviin kappaleisiin liittyen. Tämä liitteeksi laitettu ohjeistus sisältää lävistettävien sekä laserleikattavien kappaleiden suunnittelussa huomioitavia oleellisia seikkoja ja ohjeistuksia.

Suunnitteluohjeita lävistettäville kappaleille

Lävistettävissä kappaleissa on tärkeää, että ne voidaan valmistaa käytettävissä olevilla työkaluilla. Lävistystyökalujen muodot on standardoitu, joten tuotetta suunniteltaessa tulisi selvittää käytettävissä olevat työkalut työkaluluettelosta. Tuotesuunnittelua tehtäessä kannattaa myös selvittää erikoistyökalujen käyttömahdollisuus. Erikoistyökalujen käyttökohteita voi olla esimerkiksi tarkan kaarevuussäteen lävistys tai vaikka monimutkainen nurkkamuoto, jota ei voida vakio-työkaluja käyttäen lävistää. (Parviainen & Havas 2011, 182–184.)

Lävistettävissä kappaleissa tulisi suosia suoraviivaisia muotoja, jotka ovat standardimuotoisilla työkaluilla valmistettavissa. Kappaleessa olevat reiät ja muut muodot kannattaa pyrkiä suunnittelemaan mahdollisuuksien mukaan samankokoisiksi, jotta ne voidaan lävistää samoilla työkaluilla, näin ollen vähentäen työkalun vaihtoon kuluva työaika. Muotoina kappaleissa tulisi välttää kapeita kankaksia, liian teräviä kulmia sekä turhia pyöristyksiä. (Laherto 2010, 13–14.) Pyöristyksistä sisäpuoleinen pyöristys on helpompi valmistaa kuin ulkopuoleinen, koska se voidaan lyödä suoraan pyöreällä työkalulla. Tämän takia kannattaa sisäpuoleisissa pyöristyksissä pyrkiä käyttämään samoja pyöristyssäteitä kuin käytössä olevissa pyöreissä työkaluissa. Ulkopuoleisia pyöristyksiä varten voi olla kannattavaa hankkia erikoistyökalu, jolla haluttu pyöristyssäde voidaan lyödä yhdellä iskulla nakerruksen sijaan. Tästä syystä pyöristysten kokoja tulisi myös pyrkiä standardisoimaan, jotta mahdollisimman monessa osassa olevat pyöristykset voitaisiin lyödä samalla työkalulla. (Kontkanen 2017.)

Suunnitteluohjeita laserleikattaville kappaleille

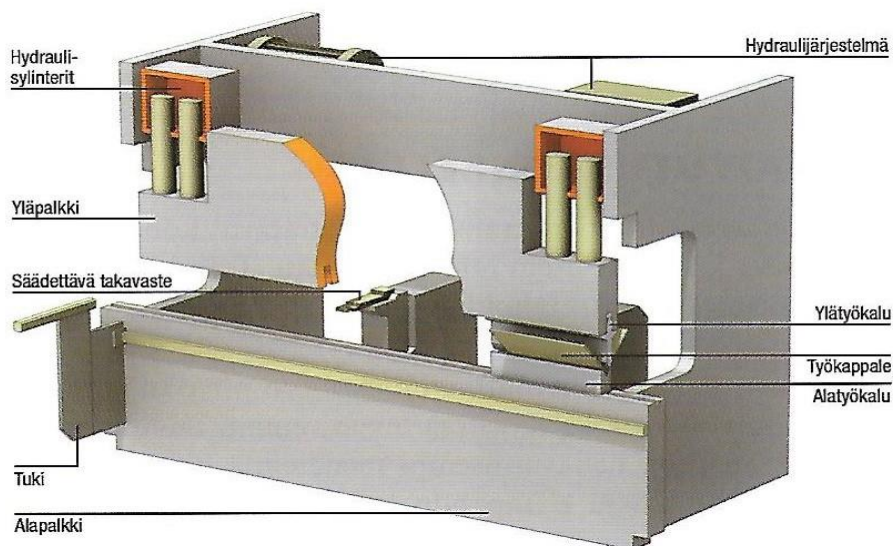
Yleensä laserleikattavat kappaleet voivat sisältää paljon erilaisia muotoja, reikiä ja pyöristyksiä, sillä laserleikattavia kappaleita suunniteltaessa voidaan osien muotoilussa olla vapaampia kuin mekaanisesti leikattavissa kappaleissa. Tämä muodon vapaus voidaan hyödyntää esimerkiksi lisäämällä hitsattaviin ja kokoonpantaviin osiin asemointia helpottavia muotoja, kuten olakkeita, ulokkeita ja koloja. Paikoitusta helpottamalla voidaan vähentää asennustyön määrää sekä parantaa mittatarkkuutta. Maalattavissa osissa kannattaa taas käyttää pyöristyksiä nurkissa, jotta maali pysyy kappaleissa paremmin. Osissa tulisi kuitenkin pyrkiä välttämään ohuita ja pitkiä ulokkeita, koska lämpö voi vääntää niitä leikkauksen aikana. (Parviainen & Havas 2011, 164–169.)

Paljon reikiä ja sisäpuoleisia muotoja sisältävien kappaleiden leikkaaminen on hidasta laserleikkauksella, koska uuden leikkausradan aloittaminen vaatii aina ensin levyn lävistämisen laserilla. Myös tarkkojen kulmien ja pienten reikien leikkaus paksuihin levyihin aiheuttaa ongelmia laserleikkauksessa sekä myös sulan

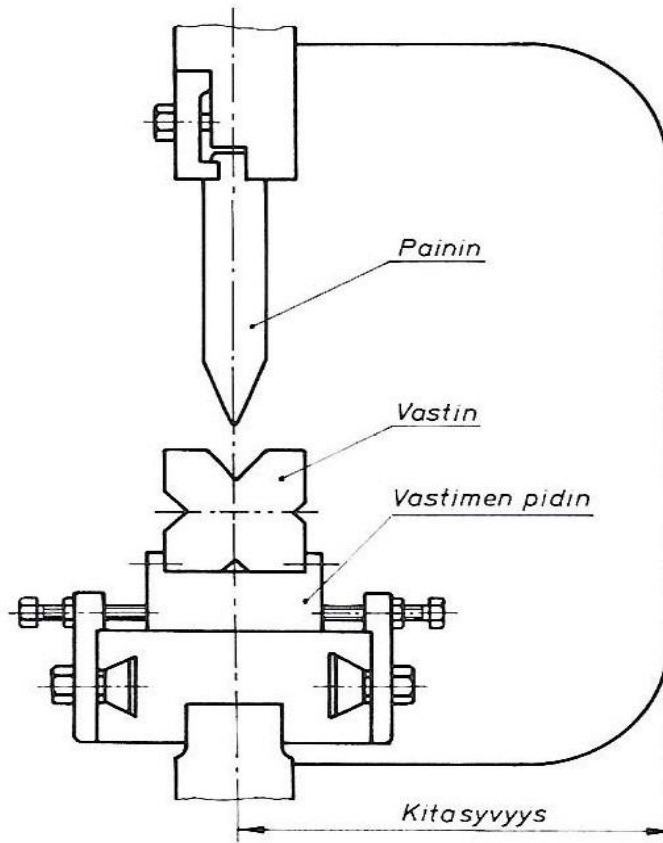
poistaminen railosta voi olla hankalaa paksuilla materiaaleilla. Laserleikkauksessa materiaalipaksuuden kasvattaminen aiheuttaa yleensä enemmän ongelmia, joten yleensä kannattaa valita lujempi materiaali suuremman materiaalipaksuuden sijaan. (Parviainen & Havas 2011, 164–169.)

6.2 Särmäys

Särmäyksellä tarkoitetaan metalliteollisuudessa levyn taivuttamista siihen tarkoitettulla laitteella (Hietikko & Suhonen 2010, 11). Särmäykseen käytettävää laitetta kutsutaan särmäyspuristimeksi (kuvio 8). Särmäyspuristimia on olemassa erikoisia- ja tehoisia eri käyttötarkoitusten mukaan ja työleveydeltään ne ovat yleisimmin 2–4 metriä. (Parviainen & Havas 2011, 240.) Levyn taivutukseen särmäyspuristimissa käytetään ylä- ja alatyökalua sekä takavasteita (kuvio 9). Ylätyökalusta voidaan käyttää myös nimeä painin ja alatyökalusta nimeä vastin. Alatyökalu kiinnitetään särmäyspuristimen alapalkkiin ja ylätyökalu kiinnitetään yläpalkkiin. Takavasteet säädetään halutun särmän mukaisesti oikean etäisyyden päähän taivutuskohdasta. Taivutettava kappale asetetaan alaterän päälle ja se työnnetään kiinni takavasteisiin. Särmäysliike tapahtuu siten, että puristin painaa ylätyökalun alas, alatyökalun pysyessä paikallaan. Näin särmättävä kappale muotoutuu haluttuun kulmaan ylä- ja alatyökalun välissä. (Laakko 2016, 11.)



Kuvio 8. Särmäyspuristimen rakenne (Parviainen & Havas 2011, 240).



Kuvio 9. Särmäyspuristimen työkaluasetelma (Aromäki 2002, 269).

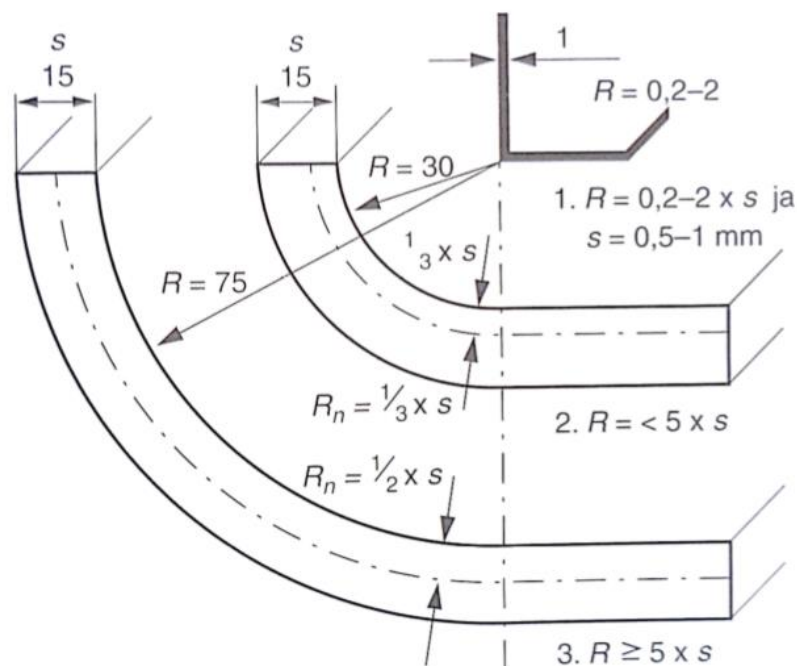
Särmäyksen onnistumiseen vaikuttaa useita eri tekijöitä, joista monet koskevat kaikkia taivutusmenetelmiä. Taivutuksia tehtäessä kappaleessa esiintyy aina muodonmuutoksia, jotka kappaleen suunnittelussa tulee huomioida. Tässä osi-ossa näistä tekijöistä perehdytään taivutussäteeseen, k-kertoimeen, taivutuksen mittoihin sekä muotojen etäisyyteen taivutuksesta.

Yksi tärkeimmistä tekijöistä särmäystä suunniteltaessa on taivutussäde. Useimmin taivutussäteellä ei ole suurta merkitystä tuotteen toiminnan kannalta, mutta pienemmät taivutussäteet aiheuttavat aina suuremman murtumisvaaran levyn taivutuskohdassa. Tämän vuoksi liian pieniä taivutussäteitä on syytä välttää. (Hietikko 2015b, 8.) Useimmille materiaaleille suositeltuna minimi taivutuksen sisäsäteenä voidaan pitää materiaalipaksuutta. Särmättäviä tuotteita suunniteltaessa tulisi taivutussäde pyrkiä pitämään samana kaikille osan taivutuksille, jotta välttyään turhalta asetusten teolta ja työkalujen vaihtamiselta (Hietikko & Suho-
nen 2010, 11.)

Taivutussäteen lisäksi k-kerroin on toinen tärkeä asia, joka särmättävissä kappaleissa on huomioitava. Levyä taivutettaessa sen sisäreuna puristuu ja ulkoreuna venyy. Näin ollen jossain kohti levyn sisällä sijaitsee neutraalitaso, joka ei veny eikä puristu. K-kerroin kertoo tämän neutraalitasoin sijainnin levyssä. K-kertoimen avulla voidaan määrittää levitetyn kappaleen mitat leikkaamista varten, jotta särmätystä kappaleesta tulee oikean mittainen. Aikaisemmin kappaleen levyarkista leikkaamista varten tarvittavat mitat tuli laskea k-kertoimen avulla, mutta nykypäivänä levitetyn kappaleen mitat saadaan tuotua suoraan mallinnusohjelmistosta. (Hietikko 2015b, 8.)

Piironen (2013, 26) mukaan nyrkkisääntöinä neutraalitasoin sijaintiin voidaan pitää seuraavia huomioita (kuvio 10):

- Levynpaksuus 0,1–1 mm: Neutraalitasoin sijainti on lähes taivutuksen sisäpinnassa, kun taivutussäde R on pieni.
- Levynpaksuus 1 mm \rightarrow : Levyyvahvuuden kasvaessa neutraalitaso siirtyy kohti $1/3$ taivutuksen sisäpinnasta, kun taivutussäde R on $< 5 \times s$.
- Levynpaksuus 1 mm \rightarrow : Neutraalitaso on $1/2$ taivutuksen sisäpinnasta, kun taivutussäde R on $> 5 \times s$.



Kuvio 10. Neutraalitasoin sijaintiin vaikuttaa ainevahvuus ja taivutussäde (Piironen 2013, 26).

Taivutettavan laipan korkeus ja taivutusten välit on myös tärkeää suunnitella tarpeeksi suuriksi, jotta taivutusten tekeminen onnistuu ilman erikoistyökaluja ja asetuksia. Lisäksi tulisi kuitenkin huomioida särmäyspuristimen asettamat rajoitteet maksimi laipanpituuden suhteen. Tämän lisäksi särmättävät päädyt tulisi pyrkiä mahdollisuuksien mukaan suunnittelemaan avoimiksi, jotta särmäyspuristimen yläterä mahtuisi tulemaan osan ohitse. Suljetut rakenteet yleensä kasvattavat läpimenoaikaa, koska ne aiheuttavat ylimääräistä asetusten vaihtamista. Jos tuotteeseen kuitenkin joudutaan suunnittelemaan suljettuja rakenteita, tulisi niiden mitat pyrkiä vakioimaan asetusaikojen pienentämiseksi. (Piironen 2013, 25–39.)

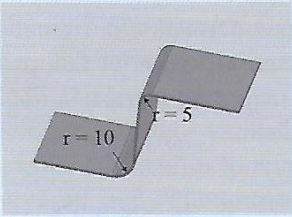
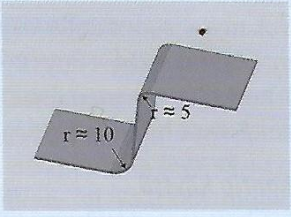




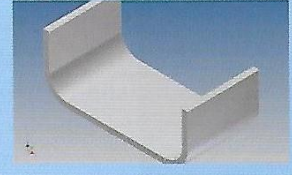
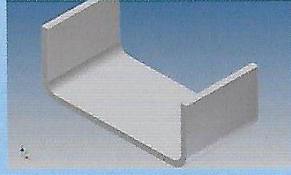
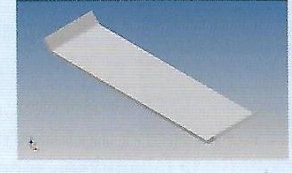

Parviaisen ja Havaksen (2011, 249) mukaan pienimmän suositellun laippakorkeuden likiarvon laskemiseen voidaan käyttää kaavaa 1:

$$l = r_s + 2s \quad (1)$$

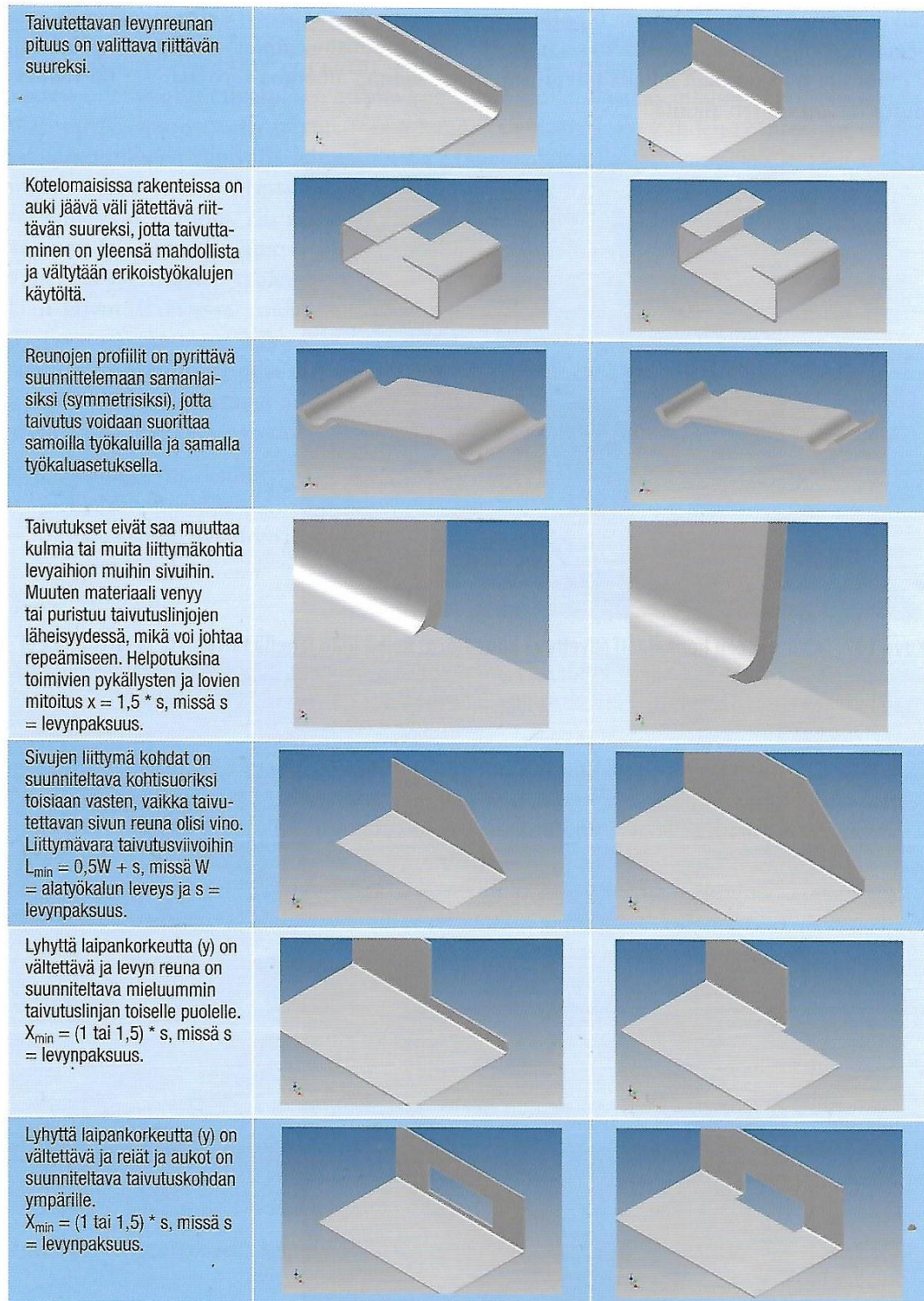
Jossa l on suositeltu laipan minimikorkeus, r_s on taivutuksen sisäsäde ja s on levypaksuus.

Taivutettavien muotojen lisäksi tulisi myös huomioida reikien ja muiden muotojen sijoitus ja mitoitus taivutettavissa osissa. Reiät ja lovet tulisi sijoittaa tarpeeksi kauas taivutuksesta, jos niiden mittojen halutaan pysyvän tarkkoina. Reiät ovat suositeltavaa sijoittaa vähintään 2 kertaa materiaalinpaksuuden päähän taivutuksesta. Jos ne sijoitetaan tätä lähemmäksi taivutusta, saattaa se johtaa reikien ja aukkojen mittojen vääristymiseen. (Parviainen & Havas 2011, 255–258). Kuvi-
oissa 11 ja 12 on esitetty ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirjasta poimittuja ohjeita taivutusten suunnitteluun liittyen.

Taulukko 36. Suunnittelussa usein esiintyvät virheet sekä paremmin taivutukseen soveltuvat vaihtoehdot. Käytetyt symbolit: s = levyn paksuus, W = alatyökalun leveys. (MET 23/1986, Trumpf 2006b)

Huomio	Epäedullinen muoto	Edullinen muoto
Yleensä konstruktiot on mahdollista suunnitella siten, että taivutussäteiden ei tarvitse olla tarkkoja. Useissa levyosissa toiminnalliset ehdot täyttyvät likimääräisillä pyöristyksillä. Tällöin voidaan käyttää vapaata taivutusta ja erikoistyökaluja ei tarvita.		
Liian terävien kulmien taivuttaminen aiheuttaa murtumisvaaran. Terävän kulman taivuttaminen on tehtävä pohjaaniskutyökalulla.		
Murtumisvaara on ilmeinen, kun levyn kyljet painetaan yhteen 180° taivutuksessa. Taive on hyvä jättää hieman avoimeksi, jolloin taivutussäde jää suuremmaksi.		
Takaisinjousto on voimakkaampaa yli 90° kulmilla. Liian suuret säteet lisäävät takaisinjousto.		
Suurille taivutussäteille taivutettavat ohuet levyosat jäävät lerpuiiksi. Suoriksi jäävät tasot voidaan jäykistää vako- ja ura muodoilla.		

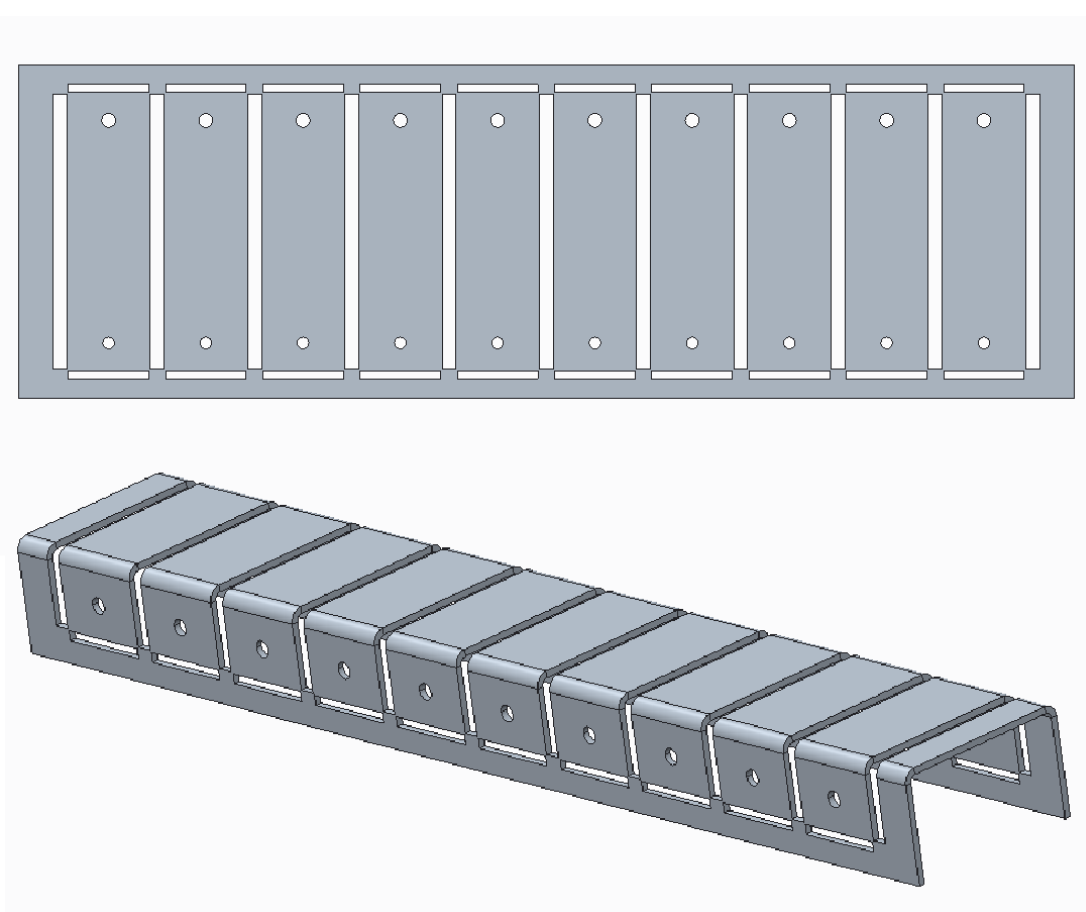
Kuvio 11. Yleisimmät suunnitteluvirheet taivutuksissa ja paremmin taivutukseen soveltuva vaihtoehto (Parviainen & Havas 2011, 264).



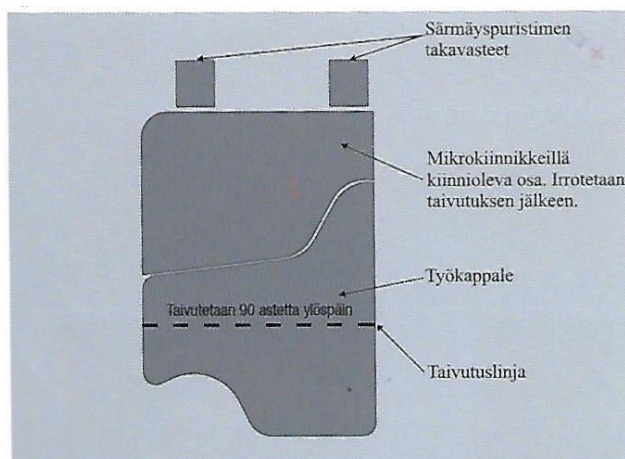
Kuvio 12. Yleisimmät suunnitteluvirheet taivutuksissa ja paremmin taivutukseen soveltuva vaihtoehto (Parviainen & Havas 2011, 265).

Joskus taivutusvaiheessa on kannattavaa käyttää apuna kampataivutusta (kuvio 13) tai apukanttia (kuvio 14). Kampataivutuksessa pienet osat jätetään kiinni toisiinsa mikrokiinnikkeillä ja näin ne saadaan taivutettua kerralla ajan säästämiseksi. Kappaleet irrotetaan toisistaan tai kammasta vasta niiden taivuttamisen

jälkeen. Apukanttia taas voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun taivutettavan kappaleen reuna on muodoiltaan jouheva ja täten vaikea paikoittaa särmäyspuristimen takavasteiden avulla. Apukantti jätetään yleensä osaan kiinni mikroinnikkeillä ja taivutetaan irti särmäyksen jälkeen. (Parviainen & Havas 2011, 263).



Kuvio 13. Kampataivutuksen hyödyntäminen.

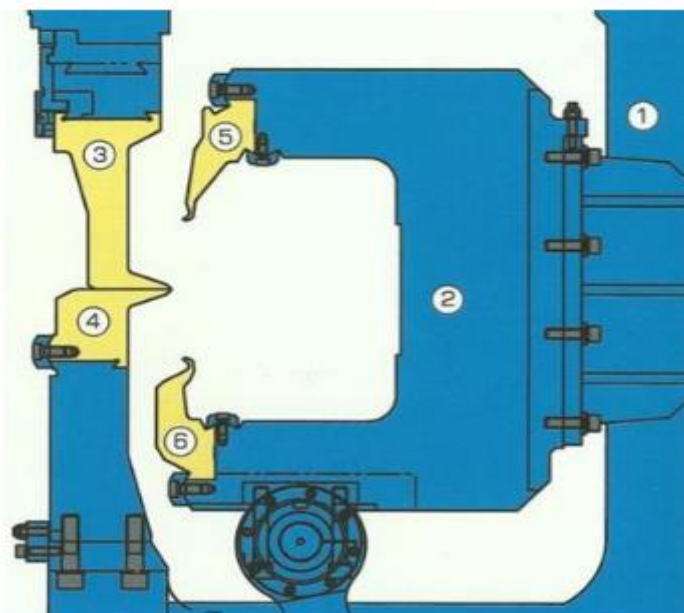


Kuvio 14. Esimerkki apukantnin käytöstä taivutettavan kappaleen paikoittamiseksi (Parviainen & Havas 2011, 263).

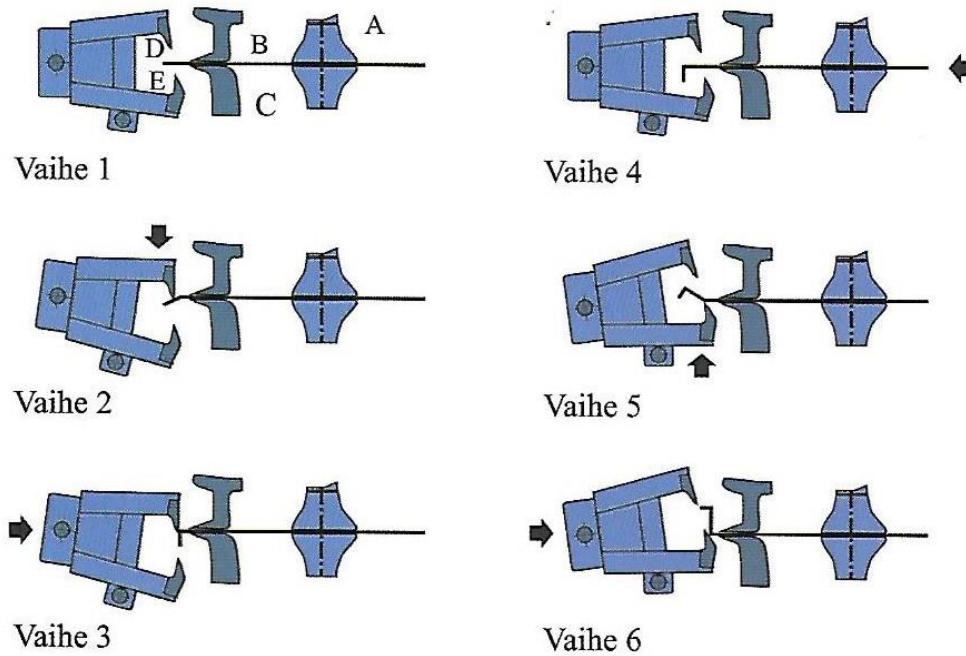
Yllä mainittujen seikkojen lisäksi liitteessä 2 on esitetty suunnittelusäännöstöön koottu tiivistelmä ohjeista, jotka kannattaa huomioida särmäystä vaativien tuotteiden suunnittelussa.

6.3 Taivutusautomaatit

Taivutusautomaatilla levyn taivutus tapahtuu taivutustyökalun sijasta liikkuvalla taivutuspalkilla, jonka avulla voidaan taivuttaa levyä sekä ylös- että alaspäin. Taivutusautomaatti mahdollistaa monien sellaisten muotojen valmistuksen, joita ei muilla taivutusmenetelmillä voida valmistaa. Vaikka taivutusautomaatti tuo paljon uusia mahdollisuuksia kappaleen muotojen suhteen, asettaa se myös joitain rajoituksia tuotteiden suunnitteluun. Tärkeimpiä rajoituksia jotka suunnittelussa tulisi huomioida ovat levyn maksimipaksuus, laipan maksimikorkeus sekä pienin ja suurin mahdollinen ahiokoko. Nämä ovat yleensä konekohtaisia arvoja, joihin suunnittelijan tulisi perehtyä ennen tuotteen suunnittelua. Tämän lisäksi tulisi huomioida, että taivutusautomaatilla taivutettavan levynreunan viimeinen taivutus on yleensä tehtävä ylöspäin, jotta levy voidaan vetää takaisin pöydälle taivutustyökalujen välistä. Kuviossa 15 ja 16 on esitelty taivutusautomaatin työkaluasetelma sekä toimintaperiaate. (Parviainen & Havas 2011, 244–245, 267–272.)

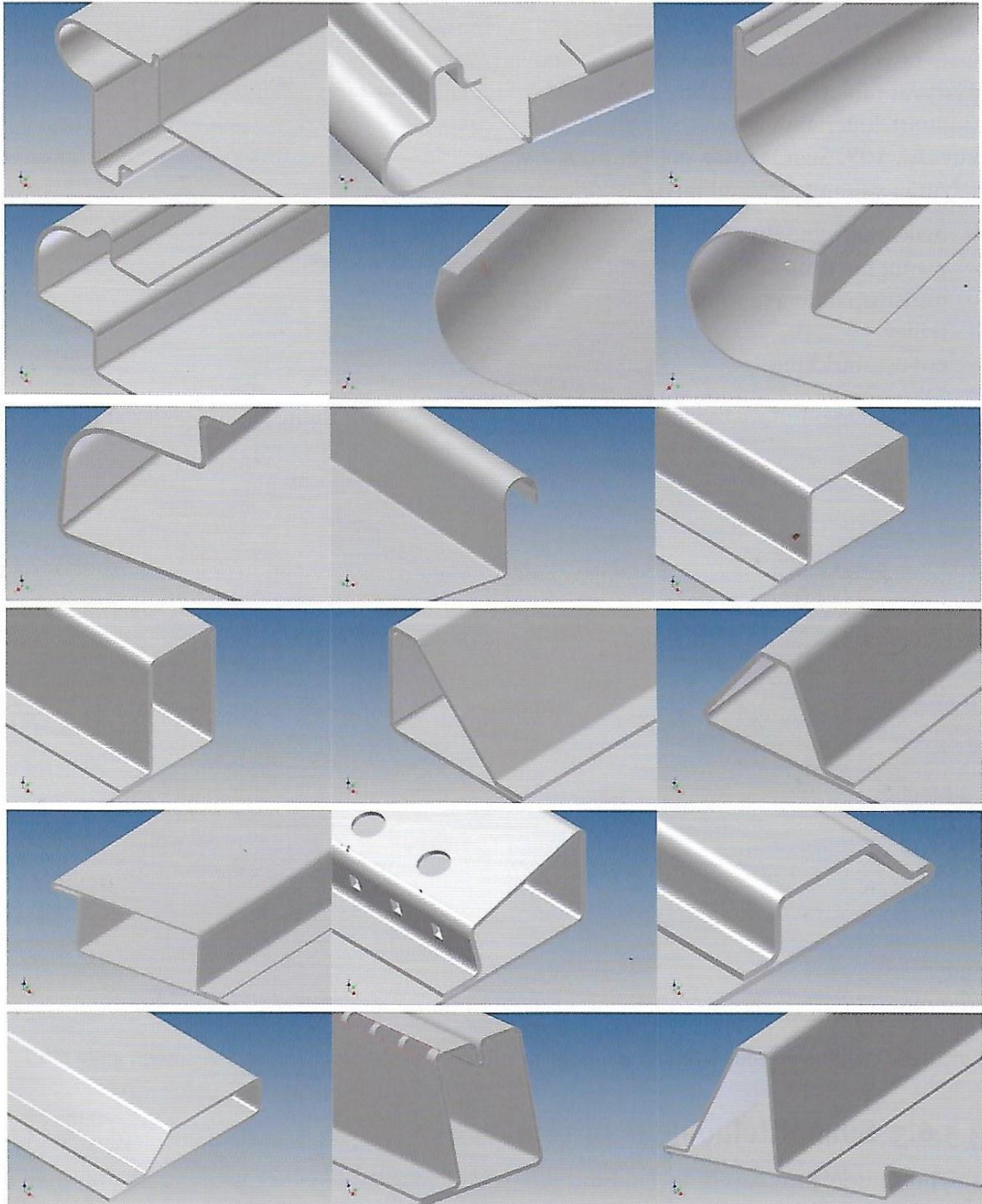


Kuvio 15. Taivutusautomaatin taivutusterät ja -työkalut (Häkkinen 2013, 47).



Kuvio 16. Taivutusautomaatin toimintaperiaate. A = Kappaleenkäsittelijä, B = ylempi levynpidin, C = Alempi levynpidin, D = Ylempi taivutustyökalu, E = Alempi taivutustyökalu (Parviainen & Havas 2011, 244).

Suunnittelemalla kappale nimenomaan taivutusautomaatilla valmistettavaksi, voidaan monesti yhdistää ja korvata eri valmistusmenetelmiä ja vaiheita. Taivutusautomaateilla saavutetaan parempi mittatarkkuus kuin särmäyspuristimilla sekä esimerkiksi laatikkomaisten osien kulmat voidaan tehdä niin laadukkaasti, että kiinnihitsausta ei välttämättä tarvita. Kaikkien taivutusautomaatin tarjoamien ominaisuuksien hyödyntäminen vaatii suunnittelijalta perehtymistä taivutusautomaatin konekohtaisiin ominaisuuksiin ja mahdollisuuksiin. Kuviossa 17 on esitetty joitakin esimerkkejä muodoista, joita taivutusautomaateilla voidaan toteuttaa. (Parviainen & Havas 2011, 267–272.)



Kuvio 17. Esimerkkejä taivutusautomaatilla mahdollisista muodoista (Parviainen & Havas 2011, 268).

6.4 Hitsaus

Hitsauksessa kappaleet yhdistetään toisiinsa lisäainetta käyttäen tai ilman, siten että liitos saadaan aikaan joko sulattamalla liitospinnat, voimakkaalla plastisella

muokkauksella tai diffuusion avulla (Vanninen & Ihalainen 2002, 281). Hitsausliitoksien määrä tuotteessa tulisi pyrkiä pitämään mahdollisimman pienenä, sillä jokainen liitos on kustannus ja riski. Hitsausliitoksien sijaan tulisi ohutlevytuotteissa pyrkiä hyödyntämään taivutettuja osia ja profiileita (Piironen 2013, 41).

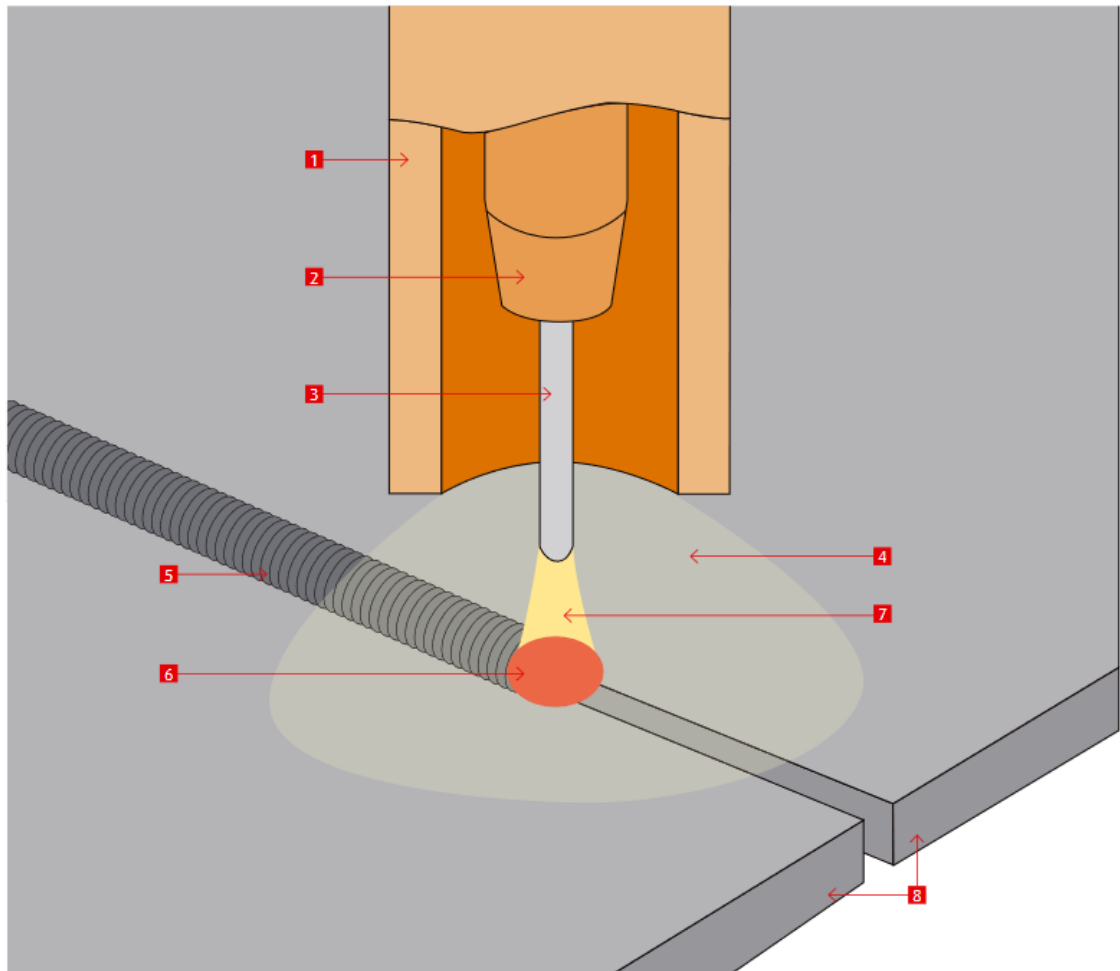
Tässä osiossa käydään hitsausmenetelmistä läpi Finelcompilla yleisimmin käytetyt MIG/MAG-hitsaus ja pistehitsaus, sekä suunnitteluohjeita näihin hitsausmenetelmiin.

6.4.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsauksessa ohutta lisäainelankaa syötetään langansyöttölaitteen avulla kelalta tasaisesti hitsisulaan. Syötettävä lisäainelanka sekä perusmateriaali sulavat näiden välillä palavan valokaaren ansiosta. Hitsauksen aikana hitsisula ja valokaari suojataan hitsauskohtaan johdettavalla suojakaasulla. MIG/MAG-hitsaus toimii nykyään yleishitsausmenetelmänä, jota voidaan käyttää suureen osaan suoritettavista hitsaustöistä. Tämä menetelmä soveltuu hyvin sekä ohutlevy- että sarjatuotantoon. Kuviossa 18 on havainnollistettu MIG/MAG-hitsausprosessia. (Vanninen & Ihalainen 2002, 297–302.)

MIG/MAG-hitsaus

1 Kaasusuutin 2 Kontaktisuutin 3 Lisäainelanka 4 Suojakaasu 5 Valmis hitsi 6 Valokaari 7 Valokaari 8 Perusmateriaali (työkappale)



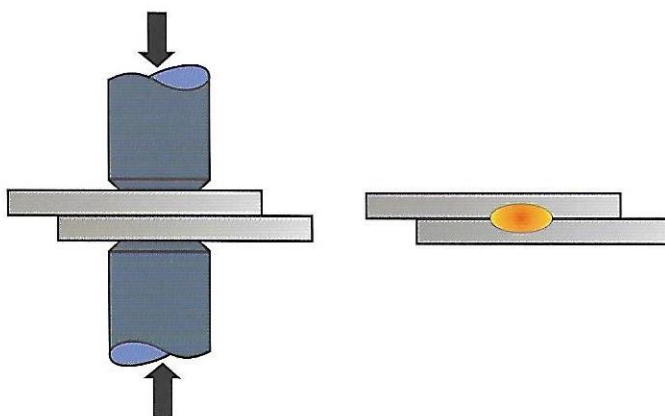
Kuvio 18. MIG/MAG-hitsauksen periaate (AGA 2014, 4).

Kuten aikaisemmin on mainittu, tulisi tuotteita suunniteltaessa minimoida hitsiliitosten määrä. Silloin kun hitsiliitoksia kuitenkin tarvitaan, tulisi pyrkiä siihen, että eri hitsausasentojen määrä pysyy mahdollisimman pienenä. Hitsiliitokset kannattaa sijoittaa kohtiin, jotka ovat helposti tavoitettavissa. Näin voidaan helpottaa hitsauksen suorittamista sekä parantaa hitsauksen lopputuloksen laatua. Esimerkiksi hitsien sijoittamista syviin taskuihin ja onkaloihin tulisi välttää. Näkyville jäävissä hitseissä tulisi huomioida, että niiden hyvä ulkonäkö tulisi olla helposti saavutettavissa. Hitsien turhaa hiomista tulisi välttää, sillä se kasvattaa työhön kuluvaan aikaan sekä yleensä siististi hitsattu hitsi on paremman näköinen, kuin kohtuullisesti hiottu hitsiliitos. (Piironen 2013, 40–47.)

Hitsausliitoksia suunniteltaessa tulisi myös huomioida hitsin aiheuttamat muodonmuutokset rakenteessa. Ylisuuri lämmöntuonti aiheuttaa materiaaliin mikrorakennemuutoksia, joten a-mitan ylimitoitusta tulisi välttää. Ylisuuren a-mitan käyttö voi aiheuttaa esimerkiksi taipumaa tai kaareutumista hitsiliitoksissa. Jos tarvittava hitsin lujuus voidaan saavuttaa ilman jatkuvaa hitsiä, voidaan lämmöntuontia vähentää käyttämällä katkohitsausta. Katkohitsaus auttaa etenkin pituussuuntaisten muodonmuutosten vähentämisessä. (Parviainen & Havas 2011, 319–320.) Liitteenä 3 on nähtävillä suunnittelusäännöstöstä löytyvä tiivistetty versio oleellisimmista asioista, jotka hitsausliitoksia suunniteltaessa tulisi huomioida.

6.4.2 Pistehitsaus

Pistehitsaus on yleinen ohutlevytuotannossa käytetty vastushitsausmenetelmä. Siinä esimerkiksi kaksi limittäin asetettua ohutlevyä hitsataan toisiinsa kiinni. Hitsaus tapahtuu puristamalla levyt seoskuparia olevien elektrodien väliin, joiden kautta hitsausvirta johdetaan hitsattaviin levyihin (kuvio 19). Hitsausvirta pidetään kytkettynä, kunnes saavutetaan riittävä lämpötila. Puristus pidetään päällä koko prosessin ajan ja poistetaan vasta kun hitsi on jäähtynyt riittävästi lujuuden kannalta. Pistehitsien käyttökohteena ovat yleensä sellaiset kohteet, joihin katkohittattu limisauma soveltuu. (Vanninen & Ihalainen 2002, 311.) Hyvä esimerkki pistehitsauksen käyttökohteesta voi olla esimerkiksi pitkän ohutlevytuotteen jäykistämiseen käytettävän vahvistusprofiilin liittämistä tuotteeseen.



Kuvio 19. Pistehitsauksen periaate (Parviainen & Havas 2011, 284).

Pistehitsejä suunniteltaessa tärkeitä huomioitavia asioita ovat pienin sallittu limitys, hitsien välinen etäisyys, hitsien etäisyys levyn laidasta sekä elektrodien ja elektrodivarsien vaatima tila hitsauksessa. Pienimpään suositeltuun limitykseen vaikuttava tekijä on pääasiassa levyn paksuus. Mitä paksumpia levyjä hitsataan, sitä enemmän limitystä ne vaativat. Hitsin etäisyyteen levynreunasta vaikuttavat pääasiassa hitsattava materiaali, elektrodien muoto sekä hitsausparametrit. Jos elektrodit joudutaan kohdistamaan liian lähelle levyn reunaa, saattaa hitsauksessa aiheutua roiskeita. Suositeltuja arvoja pienimmille etäisyyksille ja limityksille kylmävalssatuilla levyillä on esitetty taulukossa 1. (Parviainen & Havas 2011, 283–291.)

Taulukko 1. Ohjeita pistehitsien etäisyyksiin ja limityksiin kylmävalssatuilla levyillä (Parviainen & Havas 2011, 290).

Levynpaksuus s [mm]	Hitsien välinen pienin etäisyys t [mm]	Pienin sallittu limitys t [mm]
0,6	20	12
0,8	20	12
0,9	25	14
1,0	25	14
1,2	35	15
1,5	35	16
2,0	40	18
2,5	45	20
3,0	50	22

6.5 Kokoonpano

Kokoonpano on tehtaan eri valmistusvaiheissa valmistettujen, muilta hankittujen osien sekä standardikomponenttien ja -tarvikkeiden liittämistä toisiinsa toimivaksi koneeksi, laitteeksi tai sellaisen osiksi. Tuotteen suunnittelulla on suuri vaikutus sen valmistettavuuteen ja näin ollen myös kokoonpantavuuteen. (Kauppinen 2002, 478.)

Tuotteen rakenne tulisi pyrkiä suunnittelemaan siten, että kokoonpano voidaan suorittaa ilman että tuotteen asentoa tarvitsee muuttaa kokoonpanotyön aikana.

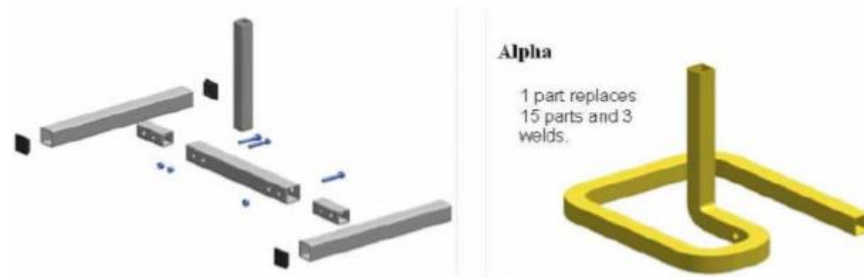
Kokoonpanovaiheessa, kuten muissakin työvaiheissa tulisi pyrkiä toistoihin ja samojen työkalujen käyttöön. (Piironen 2013, 16.) Liitoksia suunniteltaessa tulisi aina tarkistaa, että liitoksen tekemiseen tarvittavat työkalut mahtuvat väliin, josta liitos tehdään. Tämä on tärkeää etenkin ahtaissa kokoonpanoissa.

Piironen (2013, 49) mukaan hyvän kokoonpantavuuden takaamiseksi voidaan suunnittelussa noudattaa seuraavia periaatteita sekä ohjeita:

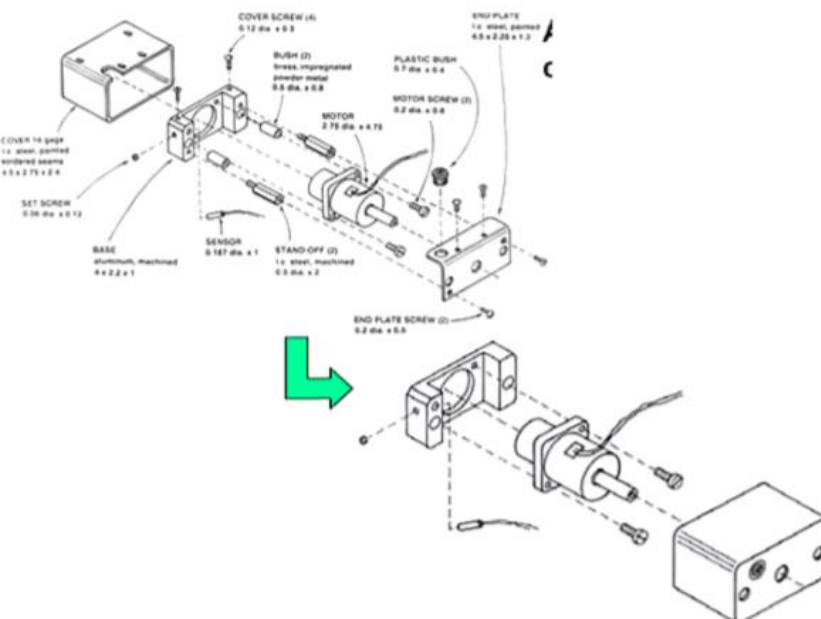
- Tuote on hyvä kokoonpantavuudeltaan, kun siinä on minimimäärä osia, jotka liittyvät keskenään nopeasti ja tiettyyn paikkaan ja asentoon.
- Tuote suunnitellaan kokoonpantavaksi siten, että siinä on selkeä runko-osa, joka toimii alustana muille osille. Tätä sääntöä voi soveltaa myös hitsauskokoonpanolle.
- Alustan tulisi olla kokoonpanossa määrättyssä luonnollisessa asennossa.
- Osat tuodaan kokoonpanoon ylhäältä alas suoraviivaisella liikkeellä.
- Osat asemoituvat määrättyyn asentoon ja paikkaan. Osaa ei tulisi voida asentaa väärään paikkaan tai asentoon.
- Osissa on helpottavat viisteet.
- Osa on itsepakoittuva, esim. paikotusnastojen avulla. Tätä periaatetta kannattaa soveltaa myös hitsauskokoonpanoissa.
- Osissa on muotoon perustuva paikotus, joka pakottaa asemoinnin määrättyyn paikkaan.
- Osien mitoituksen lähtökohtana on asemointiin käytettävät pinnat.
- Osia tulisi käsitellä samoilla tarraimilla ja nostovälineillä.
- Nostokoukulle tai tarraimelle on selkeä visuaalisesti havaittava paikka.
- Osa on noston aikana painopisteessä.
- Osien tulisi olla muodoiltaan sellaisia, että ne eivät takerru toisiinsa.
- Osissa on hyödynnetty symmetriaa, jotta osa ei asennoidu väärin päin.
- Osat ovat joko symmetrisiä tai selkeästi epäsymmetrisiä, jotta asento ei sekoittuisi.
- Osat ovat hyvä olla pinottavissa.
- Kokoonpanot olisi hyvä olla testattavissa erillisinä, jotta pääkokoonpanopaikalla muodostuisi mahdollisimman vähän riskejä.

- Osien tolerointiin on kiinnitettävä huomiota, sillä toleranssien kertautuminen aiheuttaa uusia ongelmia.

Kuviossa 20 on esitetty esimerkkejä tuotteen yksinkertaistamisesta kokoonpantavuuden parantamiseksi.



Kuva 5. Osien lukumäärää on pudotettu 15:sta 1:een. Tässä on huomioitava, että taivutukset onnistuvat ja mitatarkkuus on riittävä.



Kuva 6. Osien lukumäärää on vähennetty ja kokoonpantavuutta nopeutettu uudelleen suunnittelun yhteydessä.

Kuvio 20. Kokoonpantavuuden parantaminen tuotesuunnittelulla (Piironen 2013, 13).

Edellä mainittujen ja muiden saatavilla olevien tietojen ja ohjeistusten pohjalta, laadittiin suunnittelusäännöstöä varten yksinkertaistettu versio kokoonpantavien tuotteiden suunnittelussa huomioitavista asioista. Osio tästä ohjeistuksesta on nähtävillä liitteessä 4.

6.6 Maalaus

Metallialustan maalausta kutsutaan korroosionestomaalaukseksi. Maalaamalla muodostetaan pinnoitettavan kappaleen pinnalle kalvo, joka suojaa tuotetta ympäristön vaikutuksilta eli korroosiolta. Maalikerroksen avulla voidaan myös saavuttaa tuotteelle haluttuja ominaisuuksia, esimerkiksi tietynlainen ulkonäkö, väri, kiilto ja liukkaus. Maalaus ja korroosionesto on tärkeää huomioida jo tuotteen suunnitteluvaiheessa, sillä tuotteen ja sen osien muoto vaikuttaa pintakäsittelyn onnistumiseen. (Teknos Oy 2013, 5; Parviainen & Havas 2011, 359–262.)

Pintakäsittelymenetelmistä tässä opinnäytetyössä keskitytään vain maalaukseen ja kuinka se tulee huomioida tuotteen suunnitteluvaiheessa. Finelcomp käyttää tuotteiden maalaukseen pulverimaalausta, johon tässä osiossa mainittavat ohjeet pätevät. Alla esitettävien ohjeiden pohjalta laadittiin suunnittelusäännöstöön tiivistelmä asioista, jotka tuotesuunnittelussa tulisi huomioida maalauksen kannalta. Ote tästä listasta on nähtävillä liitteenä 5.

Maalattavien tuotteiden suunnittelussa tulisi suosia korroosionkestävyyttä ja maalattavuutta parantavia muotoja. Kappaleen pinnat tulisi suunnitella sileiksi, sekä terävät nurkat ja kulmat tulisi pyrkiä pyöristämään. Maali vetäytyy terävien kulmien ja särmien kohdalta, jonka takia maalikerros voi jäädä näissä kohdissa helposti liian ohueksi. Myös vaikeasti maalattavissa olevia rakoja ja muotoja tulisi välttää. Esimerkiksi niitti- ja pultiliitoksia tulisi pyrkiä välttämään korroosiosuojattavissa rakenteissa. Hitsausliitoksissa taas katkohitsit ovat epäedullisia korroosiosuojattavissa rakenteissa. Näissä rakenteissa tulisi siis suosia jatkuvaa hitsiä katkohitsien sijaan. (Teknos Oy 2013, 16; Piironen 2013, 51–53.)

Tuotteen suunnitteluvaiheessa tulisi myös huomioida asiaankuuluva vedenpoisto maalattavissa kappaleissa. Vettä kerääviä muotoja tulisi välttää ja suunnittelussa tulisi huomioida mahdolliset vesireiät, veden poisjohtaminen ja vesitiiviys. Kappaleen nurkkakohdat kannattaa jättää avoimiksi, jos niille ei ole hyvää syytä olla umpinaisia. Myös maalattavien kappaleiden ripustus maalauslinjaan tulisi huomioida tuotesuunnittelua tehtäessä. Tätä varten kappaleeseen tulisi suunnitella kohdat, joista kappale voidaan ripustaa maalauslinjaan maalausta varten. Näillä

ripustuskohdilla vaikutetaan kappaleen asentoon maalauksen aikana, joten koh- tien valinnassa kannattaa miettiä missä asennossa kappaleen tulisi maalauksen aikana olla. (Piironen 2013, 51–53.)

Maalauksessa kappaleen pintaan kiinnittyvä maalikerros kasvattaa kappaleen mittoja, joka on taas tärkeää huomioida välyksiä suunniteltaessa. Esimerkiksi niit- tiliitokselle suunnitellut reiät voivat olla liian ahtaita, jos niittaus tehdään vasta maalauksen jälkeen. Vetoniittiliitoksissa esimerkkinä voidaan käyttää 4,0 mm niit- tiä. Tälle niitille suositeltu reiän koko on 4,2 mm, mutta tämä reikä voi olla maa- lauksen jälkeen liian ahdas kyseiselle niitille. Sen sijaan maalauksen jälkeen nii- tattavissa liitoksissa on suositeltavaa käyttää 4,5 mm reikää. (Kontkanen 2017.) Näiden lisäksi tulee myös huomioida kohdat, joihin ei haluta maalia. Näitä voivat olla esimerkiksi kierteet, saranat tai liitoskohdat. Suojaus näille kohdille, joihin maalikerrosta ei haluta, tulisi miettiä jo tuotetta suunniteltaessa. Suojauksessa voidaan käyttää esimerkiksi siihen tarkoitettuja tulppia tai teippiä. Suojattavat kohdat ja suojaustapa tulisi merkitä selkeästi valmistuspiirustuksiin maalausta varten.

7 Tuotetiedonhallinta

Tuotetiedonhallinnalla on keskeinen merkitys tuotekehityksessä. Osien uudel- leenkäytön ja rakenteiden hallinnan kannalta on tärkeää, että tuotetiedonhallin- nassa käytettävät periaatteet mietitään tarkasti ja että niistä pidetään kiinni. Tuo- tetiedonhallinnasta käytetään yleensä lyhennettä PDM, joka tulee sanoista Product Data Management. (Hietikko 2012, 103.) Tässä osiossa käsitellään teo- riaa sekä yleisiä ohjeita tuotetiedonhallintaa liittyen, joihin suunnittelusäännösten tuotetiedonhallinta osio pohjautuu.

PDM-järjestelmää käytetään tuotteeseen liittyvän informaation hallintaan. Näitä tähän tuoteinformaation sisältyviä asioita voivat olla mm. 3D-geometriat, piirus- tukset, projektisuunnitelmat, kokoonpano-ohjeet, NC-ohjelmat, FEM-analyysien tulokset ja osaluettelot. PDM-järjestelmä on vahvasti tuotekehitysorientoitunut,

kun taas muihin yrityksen toimintojen hallintaan käytetään ERP-järjestelmää (Enterprise Resource Planning). Näiden järjestelmien välillä on yleensä päällekkäisiä toimintoja, mikä aiheuttaa yleensä integrointipaineita. (Hietikko 2012, 103.)

Hietikon (2012, 103) mukaan PDM-järjestelmään kuuluu yleensä viisi perustoimintoa, joita ovat

- tietovarasto, johon kaikki dokumentit tallennetaan ja jonka välityksellä niitä hallitaan. Tietovarasto pitää huolen myös mm. siitä, että dokumenttia voi muokata vain yksi henkilö kerrallaan ja että dokumentit tallennetaan versio- ja revisiohallinnan sääntöjen mukaisina.
- työnkulun ja prosessin hallinta, mikä huolehtii siitä, että dokumentit ja suunnitelmat siirtyvät järjestelmässä eteenpäin oikeassa järjestyksessä ja että muutokset toteutetaan hallitusti ja sääntöjen mukaan.
- tuoterakenteen hallinta, joka huolehtii mm. osaluetteloista, tuotteiden konfiguraatioista ja asiakaskohtaisista räätälöinneistä.
- osien hallinta, joka huolehtii standardiosien etsimisestä, käytöstä sekä valmistettävien osien uudelleen käytöstä.
- projektin hallinta, joka sisältää eri prosessien välisen koordinoinnin, resurssien aikatauluttamisen ja projektien seurannan.

7.1 Attribuuttitieto

Tuotetiedoilla tarkoitetaan yleensä sellaista ei geometrinen tietoa, jota tuotteen suunnittelun aikana syntyy tai jota kytketään siihen sen elinkaaren aikana. Tuotetietoja voidaan tallentaa CAD-dokumentteihin attribuuttitietojen muodossa. Nämä attribuuttitiedot tallentuvat dokumenttien mukana ja niitä voidaan muokata ja tarkastella dokumentin kaikissa elinkaaren vaiheissa. Tiedot voidaan myös kytkeä yrityksen PDM- ja ERP-järjestelmiin, jotta niitä voidaan hyödyntää erilaisissa nimiketiedoissa, raporteissa ja hauissa. (Hietikko 2015a, 108.)

Attribuuttitietoja voidaan hallita joko piirustus- tai osakohtaisesti. Yleensä kokoonpanopiirustusten osaluettelossa olevat tiedot haetaan suoraan osan tiedoista. Tämän takia osaluetteloon haluttavat tiedot tulisi tallentaa suoraan osan tietoihin. Tätä samaa informaatiota voidaan hyödyntää myös piirustusten otsikkoalueissa. (Hietikko 2015a, 108.)

Mallin yhteyteen tallennettavat attribuuttitiedot vaihtelevat yrityksestä yritykseen, mutta näitä tietoja voivat olla esimerkiksi tuotenumero, asiakasnumero, nimike, piirtäjä, päivämäärä, materiaali, ainevahvuus, massa, osan tyyppi, pintakäsittely, konfiguraatio, jne.

7.2 CustomTools

CustomTools on täysin SolidWorksiin integroitu lisäsovellus, joka sisältää mm. tuotetietojenhallinnan, automatisoidun tiedostojen kääntö- ja tulostustoiminnon, raportoinnin sekä tietojen integroinnin yrityksen muihin järjestelmiin. Lisäksi CustomTools myös automatisoi tiedostojen tallennus- ja nimeämiskäytännön. (ART Soft Oy 2015.)

CustomTools toimii Finelcompin tuotteiden malli- ja piirustustietokantana. Se sisältää eri numeroavaruuksia, joihin eri tuotemalleja sijoitetaan niiden tuotesarjojen perusteella. CustomTools-ohjelmiston avulla pyritään helpottamaan suunnitteluprosessia ja automatisoimaan suunnittelijoiden rutiineja. CustomToolsiin tallennetut tiedot siirtyvä mm. automaattisesti piirustus pohjiin piirustuksia laadittaessa, joten työntekijä välttää tämän ohjelman avulla rutiininomaiset tehtävät, kuten tuotetietojen täydentämisen piirustuksiin. (Kontkanen 2017.)

CustomTools sisältää myös joitain käteviä aputoimintoja, joilla yrityksen sisäistä tiedonhallintaa ja -etsintää helpotetaan. CustomTools sisältää mm. hakutoiminnon, jolla voidaan helposti hakea haluttuja dokumentteja. Tämä mahdollistaa esimerkiksi tietyn dokumentin, kuten 3D-mallin tai piirustuksen hakemista hakusanan perusteella tai dokumenttien etsimisen tietyn projektin perusteella. CustomToolsista löytyy myös toiminto, jolla malliin liittyvien piirustusten etsintä ja

avaus helpottuu. Tämä toiminto näyttää kaikki malliin ja sen konfiguraatioihin liittyvät piirustukset luettelona, josta kaikki avattavaksi haluttavat piirustukset voidaan valita. Myös tuotteiden kopiointia varten on olemassa helpottava toiminto. Tällä CustomCopy toiminnolla halutun tiedoston, kuten mallin, kokoonpanon tai piirustuksen kopiointi onnistuu yksinkertaisesti. Kopioitavaksi haluttavat tiedostot vain valitaan luettelosta ja niille syötetään uudet alkuperäisten mallien tiedoista poikkeavat tuotetiedot. Tätä toimintoa käyttäessä on kuitenkin tärkeää, että listasta valitaan kopioitavaksi vain halutut tiedostot, eikä ylimääräisiä tiedostoja kopioida. (Kontkanen 2017.)

8 3D-mallinnus

Tärkeimpiin apuvälineisiin nykyaikaisessa tuotesuunnittelussa kuuluu 3D-mallintaminen. 3D-mallinnuksessa tuotteista luodaan kolmiulotteinen malli tietokoneavusteisella suunnitteluohjelmistolla. Kolmiulotteinen mallintaminen mahdollistaa tuotteiden osien ja kokonaisuuden näkemisen jo suunnitteluvaiheessa sellaisena, kuin ne tulevat valmiissa tuotteessa näyttämään. (Kesälahti 2015, 27.) Mallinnukseen Finelcomp Oy:ssä käytetään SolidWorks-suunnitteluohjelmistoa. Tässä osiossa käydään läpi tähän ohjelmistoon liittyvää teoriaa sekä ohjeita, joiden mukaan suunnittelusäännöstöön laadittiin 3D-mallinnusta koskeva ohjeistus.

Kolmiulotteisten tuotemallien avulla saadaan helposti selvitettyä kokoonpanoissa olevat virheet jo ennen tuotteen fyysistä valmistamista. Mallinnusohjelmistossa kolmiulotteisten mallien avulla voidaan myös tarkastaa mekaanisten laitteiden toimintaa ennen niiden varsinaista valmistamista, sekä selvittää esimerkiksi osien mahdolliset törmäykset toisiinsa. (Hietikko 2012, 23.)

Mallinnukseen kuuluu yleensä kolme erilaista mallityyppiä, joita ovat osat, kokoonpanot ja piirustukset. Osat kuvaavat jonkun kohteen yksittäistä osaa, joka voi olla esimerkiksi valmistettava osa tai standardikomponentti. Kokoonpano on taas muodostettu osista ja osakokoonpanoista ne yhteen liittämällä. Piirustuk-

sisä taas esitetään tarvittava määrä projektioita ja yksityiskohtia osista ja kokoonpanoista niiden valmistamiseksi. (Hietikko 2012, 27.) Tässä osiossa ei käsitellä ollenkaan piirustuksia, koska ne käsitellään omassa piirustustekniikka osiossa.

8.1 Ohutlevytuotteiden mallinnus

Koska Finelcomp Oy valmistaa ohutlevytuotteita, keskittyy mallintaminen pääosin ohutlevymallintamiseen. Suurin etu mikä ohutlevymallintamisella saadaan perinteiseen mallintamiseen verrattuna on se, että mallinnettu kappale voidaan levittää. Levitys näyttää miltä ohutlevyosa näyttää suoristettuna. Tämän avulla kappaleen leikkaus suorasta levystä onnistuu parhaiten ja sen tiedot voidaan siirtää leikkauksen tekeväälle laitteelle suoraan sähköisessä muodossa. (Hietikko 2012, 191.)

Hietikon (2012, 191) mukaan keskeisiä piirteitä, joita ohutlevytuotteiden mallintamiseen SolidWorks-ohjelmistolla käytetään ovat peruspiirre, kulmataivutus, reunataivutus ja liuska. Alla esitetään eri piirteet Hietikon määritelmien mukaan.

- Peruspiirre on ohutlevykappaleen ensimmäinen piirre. Peruspiirre toimii samalla tavalla kuin pursotuspiirre, mutta siihen lisätään automaattisesti nurkkapyöritykset oletuspyörityksen arvoa käyttäen.
- Kulmataivutusta käytetään luodessa reunoja, jotka ovat tietyssä kulmassa muuhun kappaleeseen nähden. Sitä voidaan käyttää myös seuraamaan muitakin kuin suoraviivaisia reunoja, jolloin se osaa automaattisesti lisätä tarvittavat nurkkaleikkaukset.
- Reunataivutuspiirteellä voidaan lisätä taivutus olemassa olevaan reunaan. Taivutus voi olla mielivaltaisessa kulmassa ja sen pituus ja asema voidaan määrittää.
- Liuska on piirre, joka lisää materiaalia samalla levypaksuudella muun mallin kanssa. Liuska edellyttää muodon määrittelevää sketsiä.

8.2 Kokoonpanojen luomismenetelmät

Kokoonpanojen muodostaminen 3D-mallinnuksessa voidaan tehdä kolmella eri tavalla. Yleensä näistä tavoista käytettyjä nimiä ovat Bottom-Up, Top-Down ja Hybrid (Hietikko 2012, 135).

Bottom-Up tavalla kokoonpanoja tehtäessä, etukäteen suunnitellut osat sijoitetaan paikoilleen kokoonpanoon. Tässä menetelmässä osat ovat siis mallinnettu jo etukäteen, joten se soveltuu kokoonpanoihin, joissa käytetään standardiosia tai kun kokoonpanoa suunnitellaan ryhmätyönä. (Hietikko 2012, 135.)

Top-Down tavassa osat mallinnetaan suoraan kokoonpanosta käsin oikeille paikoille ilman, että niitä tarvitsee enää sijoitella erikseen. Suurin etu tässä menetelmässä on se, että kokoonpanon muut osat ovat näkyvillä, joten niiden geometriaa voidaan käyttää apuna mallinnuksessa. (Hietikko 2012, 135.)

Hybrid tapa on näiden edellä mainittujen tapojen yhdistelmä ja siten eniten käytetty. Tässä menetelmässä osa osista voidaan tuoda kokoonpanoon valmiiksi mallinnettuna kuten Bottom-Up menetelmässä. Tämän lisäksi osia voidaan myös mallintaa suoraan kokoonpanoon jo kokoonpanossa aikaisemmin olevia osia hyödyntäen, kuten Top-Down menetelmässä tehdään. (Hietikko 2012, 135.)

8.3 Ohjeita ohutlevytuotteiden mallinnukseen

Joka yrityksessä voi olla mallinnukseen liittyen käytössä erilaisia menettelytapoja ja ohjeita. Tässä osiossa esitetään joitain yleisiä ohjeita, joita ohutlevytuotteiden mallinnuksessa käytetään Finelcomp Oy:ssä. Nämä tavat ovat muodostuneen vuosien saatossa työntekijöiden rutiineiksi, jotka tässä opinnäytetyössä kirjattiin ylös kaikkien saataville.

Mallintaminen voidaan aloittaa miltä tahansa tasolta. Sketsissä kaikkien mittojen tulisi olla täysin määritettyjä, eli kaikkien viivojen tulisi olla mustia. Mallinnettava kappale kannattaa kiinnittää origoon jostain kohti kappaletta, mutta origon kohta

kappaleessa voidaan määrittää vapaasti, vaikka esimerkiksi johonkin kappaleen nurkista. Materiaalin valinta mallille tehdään CustomToolsin materials kohdasta. (Kontkanen 2017.)

Taivutuksia mallinnettaessa tulisi varmistua, että käytössä on materiaalille oikea taivutustaulukko tai k-factorin arvo. Taivutusarvoja valittaessa on tärkeää huomioida osan materiaali ja valmistusmenetelmä, sillä esimerkiksi kun alumiinia taivutetaan taivutusautomaatilla, voidaan käyttää eri taivutusasetuksia kuin manuaalisärmäyksessä. (Kontkanen 2017.)

Yleisesti käytettäviä muotoja ja piirteitä voidaan tuoda malliin suoraan SolidWorksin design libraryn ”omat” osiosta. SolidWorksin design library sisältää myös laajan valikoiman valmiiksi määritettyjä komponentteja, joita kokoonpanoissa voidaan käyttää. Kokoonpanoissa käytettävät ruuvit, mutterit, niitit ja muut yleisimmät standardikomponentit tulisi valita design libraryn ”Omat ruuvit ym” kohdasta. Kokoonpanoja luotaessa on tärkeää, että siihen sijoitetaan kaikki lopulliseen tuotteeseen kuuluvat komponentit. Näiden kokoonpanoon sijoitettujen komponenttien mallin ja määrän on myös tärkeää olla oikea, sillä nämä tiedot linkittyvät suoraan valmistuspiirustusten osaluetteloon. Tämä myös helpottaa tuoterakenteen luomista, sekä auttaa pitämään varaston saldot ajan tasalla. (Kontkanen 2017.)

Valmiissa kokoonpanoissa tulisi pyrkiä tarkistamaan tuotteen oikeanlainen toiminta jo mallinnusvaiheessa. Kokoonpanoissa tulisi ainakin tarkistaa, ettei niissä esiinny törmäyksiä ja että kaikki komponentit mahtuvat liikkumaan halutusti. Tästä esimerkkinä voidaan ottaa ovien kanttien ja ruuvien kantojen törmäminen ylä- ja alasaranoihin. Myös komponenttien oikea sijoitus kannattaa tarkastaa. Esimerkiksi DIN-aukkojen oikea sijainti sekä DIN-kiskoasenteisten komponenttien oikea asennussyvyys on hyvä tarkastaa. (Kontkanen 2017.)

Tuotteista uusia revisioita tehtäessä tulisi huomioida, että uuden revision on sovitettava yhteen vanhan revision kanssa. Revisoidun osan on siis aina oltava vaihtokelpoinen aiempien revisioiden kanssa. Jos näin ei ole, tulee osa tallentaa revision sijaan kokonaan uutena osana. (Vertex Systems Oy 2018.) Uusia revisioita

ja parannettuja SolidWorks-malleja tehtäessä tulisi varmistua, että vanhan SolidWorks-mallin CustomTools-tiedot eriävät uudelleen mallinnetusta ja käytössä olevasta tuotteesta. CustomTools ei saisi antaa yhdellä tuotehakunumerolla kahta tuotetta, joista toinen on väärä. Vanha malli tulisi nimetä selvästi poikkeavasti käytössä olevasta mallista. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi lisäämällä mallin nimen alkuun tai loppuun merkintä, josta selviää, että kyseessä on tuotannosta poistunut malli. (Kontkanen 2017.)

Ohutlevyosien valmistamista varten tarvitaan mallista tuotu DXF-tiedosto, jonka avulla tehdään osan leikkausta varten tarvittava ohjelma. DXF-tiedostoa käytetään myös taivutusohjelman tekemiseen, jos osa taivutetaan automaattilinjalla. Tämä DXF-tiedosto tulisi tuoda niille varattuun kansioon, josta ohjelmointi voi käyttää sitä valmistukseen tarvittavien ohjelmien tekemiseen.

Parviaisen ja Havaksen (2011, 211) mukaan työstöratojen generointia varten tulisi piirustuksissa olla kunnossa seuraavat asiat:

- Muotoviivojen täytyy olla yhtenäisiä.
- Kaksoisviivat ja pisteet tulee olla poistettu.
- Merkityksettömien muotoviivojen tulee olla poistettu.
- Kokonaisuuteen kuulumattomien osien tulee olla poistettu.

9 Piirustustekniikka

Kone- ja metallitekniikan piirustuksia kutsutaan koneenpiirustuksiksi. Näillä teknisillä piirustuksilla esitetään täsmällisesti ne asiat, jotka suunnittelija haluaa ilmaista piirustuksella. Piirustuksille asetettavia perusvaatimuksia ovat niiden yksiselitteisyys ja selvyys. Piirustusten tarkoituksena on, että esitettävät kappaleet voidaan valmistaa samanlaisena ja samoilla laatuvaatimuksilla missä tahansa konepajassa. Koneenpiirustukset ovat syytä toteuttaa hyvin, koska huonosti laa-

ditut piirustukset saattavat aiheuttaa huomattavia kustannuksia tuotteen valmistukseen, pääosin valmistuksessa tapahtuvien virheiden ja hitaamman työn suunnittelun johdosta. (Heinonen, Keinänen & Kärkkäinen 2016, 22.)

Koneenpiirustukset jaetaan tavallisesti kolmeen eri ryhmään. Näitä ryhmiä ovat osapiirustukset, kokoonpanopiirustukset ja toimintakaaviot (Pere 2001, 1). Näistä tässä osiossa käsitellään vain osa- ja kokoonpanopiirustuksia.

9.1 Osapiirustukset

Osapiirustukset sisältävät yhdestä tai useammasta osasta tarvittavat projektiot ja mitoituksen tämän valmistamista varten. Näissä piirustuksissa täytyy olla yksityiskohtaiset tiedot valmistettavasta kappaleesta, jotta valmistuksesta vastaava työntekijä pystyy valmistamaan kappaleen juuri sellaisena kuin suunnittelija on tarkoittanut. (Pere 2001, 1.)

9.2 Kokoonpanopiirustukset

Kokoonpanopiirustus on piirustus, jossa esitetään joko kokonainen valmiste, laite tai kokoonpanoryhmä valmistettuna. Nämä piirustukset sisältävät kaikki osat, joita tuotteen kokoamiseen tarvitaan. Kokoonpanopiirustukset voidaan jaotella pääkokoonpanopiirustuksiksi, kokoonpanopiirustuksiksi ja osakokoonpanopiirustuksiksi. (Pere 2009, 1–1, 16–1.)

Pääkokoonpanopiirustus tehdään tuotteista, joissa on osakokoonpanoja sekä erillisiä osia. Pääkokoonpanopiirustus sisältää tuotteen kaikki osat sekä mahdolliset kokoonpanoryhmät. (Pere 2009, 16–1.)

Kokoonpanopiirustuksesta puhutaan silloin, kun tuotteeseen kuuluu vain yksi kokoonpanoryhmä. Kokoonpanopiirustus laaditaan silloin, kun tuote voidaan esittää riittävän selvästi yhdessä kokoonpanopiirustuksessa. (Pere 2009, 16–2.)

Osakokoonpanopiirustus esittää tietyn kokoonpanoryhmän osat ja siihen mahdollisesti kuuluvat alemman asteen kokoonpanoryhmät. Osakokoonpanopiirustuksia tehdään silloin, kun tuote sisältää paljon tai geometrisesti niin monimutkaisia osia, että on tehtävä sekä pääkokoonpanopiirustus sekä riittävä määrä osakokoonpanopiirustuksia. (Pere 2009, 16–2.)

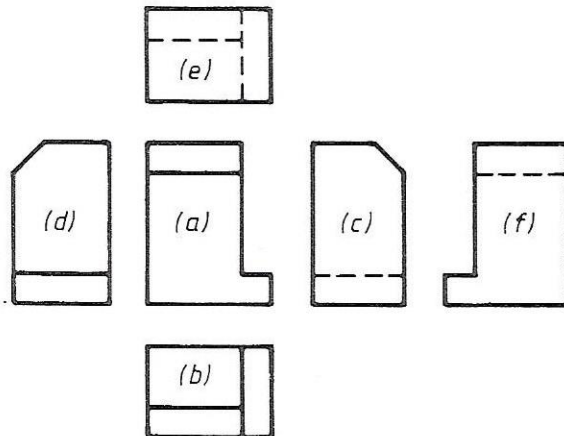
9.3 Ohjeita valmistuspiirustusten laatimiseen

Tässä osiossa perehdytään ohjeisiin, joiden mukaan suunnittelusäännösten piirustustekniikkaa koskeva ohjeistus laadittiin. Nämä ohjeet pohjautuvat osittain alla esitettyyn piirustustekniseen teoriaan ja osittain yrityksen omiin menettelytapoihin, jotka ovat todettu hyviksi ja yksinkertaisiksi tavoiksi piirustusten laatimisessa.

9.3.1 Valmistuspiirustukset

Projektioiden esittäminen Finelcompin piirustuksissa tehdään yhden käännön menetelmällä. Tämä on yleisesti käytössä suomessa sekä laajalti muuallakin Euroopassa. Yhden käännön menetelmässä projektiot sijoitetaan alla olevien, kuviossa 21 havainnollistettujen periaatteiden mukaan. (Pere 2009, 4–3, 4–4.)

- Projektiio ylhäältä (b) sijoitetaan alapuolelle.
- Projektiio alhaalta (e) sijoitetaan yläpuolelle.
- Projektiio vasemmalta (c) sijoitetaan oikealle puolelle.
- Projektiio oikealta (d) sijoitetaan vasemmalle puolelle.
- Projektiio takaa (f) voidaan sijoittaa joko oikealle tai vasemmalle puolelle tilanteesta riippuen.



Kuvio 21. Projektoiden esitys yhden käännön menetelmällä (Pere 2009, 4–4).

Kuvantoja piirustuksiin tulisi sijoittaa vain tarvittu määrä. Pääkuvannon tulisi kertoa tärkeimmät muodot ja apukuvantojen se mitä pääkuvanto ei kerro. Piirustuksissa on myös tarvittaessa suositeltavaa käyttää havainnollistavia osasuurennoksia ja leikkauksia. (Piironen 2013, 51–53.)

Mittakaavoina piirustuksissa tulisi käyttää tarpeeksi isoa ja sellaista mittakaavaa, jossa kaikki projektiot mahtuvat valitulle piirustusarkille.

SFS-EN ISO 5455 standardi antaa suosituksia käytettäviksi mittakaavoiksi, joita tulisi mahdollisuuksien mukaan pyrkiä käyttämään (taulukko 2).

Taulukko 2. Standardin SFS-EN ISO 5455 mukaiset suositeltavat mittakaavat (Pere 2009, 6–1).

	Suosittelut mittakaavat		
Suurentavat mittakaavat	50 : 1 5 : 1	20 : 1 2 : 1	10 : 1
Todellinen koko	1 : 1		
Pienentävät mittakaavat	1 : 2 1 : 20 1 : 200 1 : 2 000	1 : 5 1 : 50 1 : 500 1 : 5 000	1 : 10 1 : 100 1 : 1 000 1 : 10 000

Valmistuspiirustusten mitoituksessa jokainen mitta tulisi esittää samassa piirustuksessa vain kerran. Mitta tulisi esittää siinä projektiossa, jossa mitan tarkoitama ulottuvuus tai muoto käy selvimmin ilmi. Jos tuotteessa on mitta, jonka suuruus vaihtelee käytössä, ei sitä yleensä ilmoiteta. (Tampereen kaupunki 2001.)

Höökkin (2017, 17), Kontkasen (2017) ja Tampereen kaupungin (2001) mukaan hyviä ohjeita piirustuksia ja niihin tulevaa mitoitusta laadittaessa ovat mm. seuraavat asiat:

- Mitoitus tulisi tehdä projektioon, jossa kyseinen kohta näkyy selvimmin.
 - o Tarvittaessa kohdasta tulisi ottaa suurennus tai leikkaus.
 - o Yhteenkuuluvat kohteet tulisi mitoittaa samaan projektioon.
- Piirustuksiin tulisi merkitä vain tarvittava määrä mittoja kappaleen kuvaamiseksi.
 - o Kukin mitta tulisi merkitä piirustukseen vain kerran.
 - o Jos piirustukseen on merkitty jokin mitta tai toleranssi, valmistajan täytyy noudattaa sitä. Mittoja ja toleransseja ei siis tulisi merkitä ”varmuuden vuoksi”.
 - Tarkkoja toleransseja tulisi pyrkiä välttämään, koska ne aiheuttavat lisäkustannuksia.
- Valmistajan tulisi saada piirustuksesta kaikki mitat ilman laskutoimituksia.
- Kaikkien piirustuksessa olevien mittojen tulisi olla tarkastettavissa. Jos mittaa ei voida tarkastaa normaalein mittavälinein, tulisi sopia mittaamiseen väline tai mittaustapa.
- Mikäli mahdollista, mitoitus tulisi tehdä projektoiden ulkopuolelle. Pitkiä mitta-apuviivoja tulisi kuitenkin välttää.
- Yhdensuuntaisista mitoista pisimmät mittaviivat tulisi merkitä uloimmiksi.
- Mitat olisi hyvä ryhmitellä lukemisen helpottamiseksi.
- Kokoonpanopiirustuksiin ei yleensä mitoiteta muuta, kuin itse kokoonpanotyön ja asennuksen vaatimat mitat.
- Mittojen lisäksi piirustuksiin voidaan liittää tekstimuotoisia ohjeita ja määryksiä.

- Kappaleen jokaiseen valmistusvaiheeseen on selkeintä laatia oma piirustus. Esimerkiksi erilliset piirustukset särmäystä, hitsausta ja kokoonpanoa varten.

Valmistuspiirustuksissa tulisi myös olla näkyvillä kaikki tarvittavat tuotetiedot. Näitä ovat Pirosen (2013, 57) mukaan

- nimitykset, päänimitys ja apunimitykset
- yrityksen tunnus
- piirustusnumero eli koodi
- suunnittelija
- päivämäärät
- massa
- toleranssi
- revisiotunnus, jos on revisioitu
- revisiokuvaus ja päivämäärä.

Kokoonpanopiirustuksen osaluettelossa tulisi taas näkyä kaikki tuotteeseen kuuluvat osat sekä niiden määrä. Myös siitä, että tuotteen osaluettelo on samanlainen sekä toiminnanohjausjärjestelmässä että kokoonpanopiirustuksessa tulisi huolehtia. (Kontkanen 2017).

Kontkasen (2017) mukaan kokoonpanopiirustuksen osaluettelossa tulisi näkyä

- osien numerot/indeksit
- CustomTools koodit
- nimikkeet
- lukumäärät.

9.3.2 Mitoitus- ja merkintäohjeita eri valmistusvaiheisiin

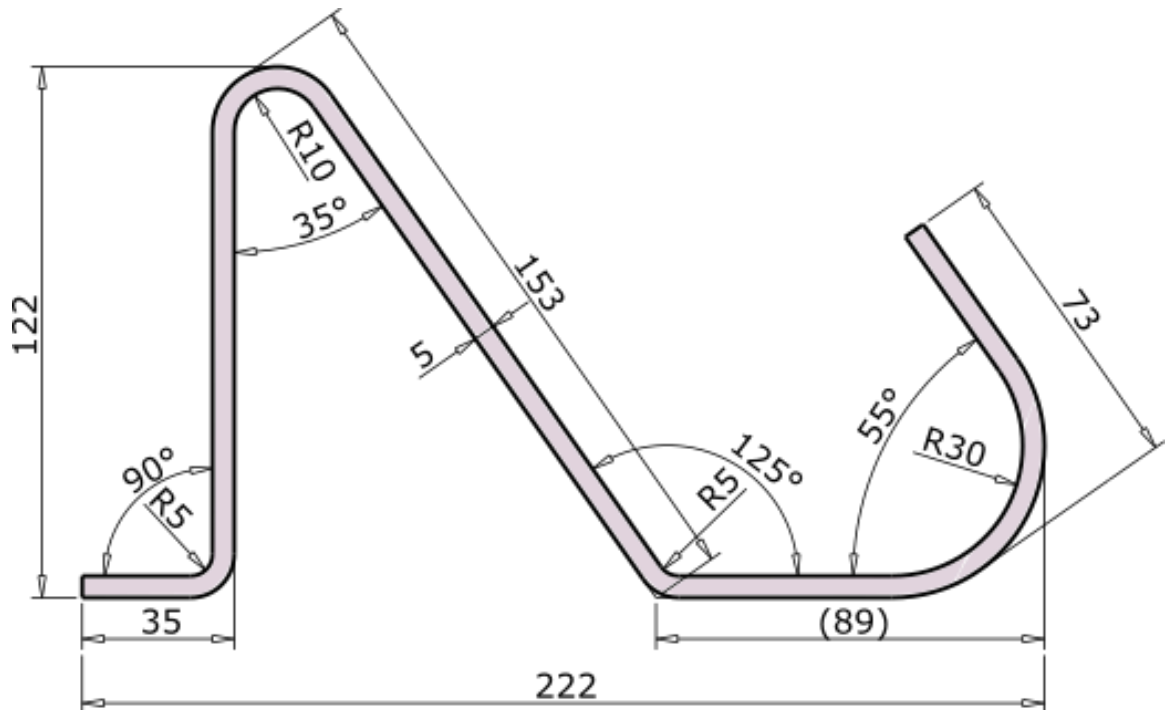
Tässä osiossa on esitetty standardien mukaisia sekä Finelcompin käytössä olevia mitoitus- ja merkintäohjeita eri valmistusvaiheiden piirustuksiin liittyen. Taivutettavien muotojen mitoituksessa sekä hitsausmerkinnöissä perehdytään enemmän standardien mukaisiin merkintätapoihin. Muiden osa-alueiden osalta perehdytään pääosin Finelcompin käytössä oleviin hyväksi todettuihin merkintätapoihin.

Taivutettujen muotojen mitoitus

Taivutettavien kappaleiden mitoitukseen on olemassa standardi SFS 5998. Alla on esitetty esimerkki (kuvio 22), sekä siitä esille tulevat pääkohdat taivutettavan kappaleen mitoituksesta tämän standardin mukaan. Esimerkki on yksinkertainen, mutta sisältää kaikki tarvittavat esimerkit oikeinmitoitusta varten. Esimerkin mitoitustyyliä voidaan soveltaa kaikkiin taivutettavaan kappaleisiin. (Korhonen 2016.)

Korhosen (2016) mukaan 5 pääkohtaa, jotka kuviosta voidaan poimia ovat:

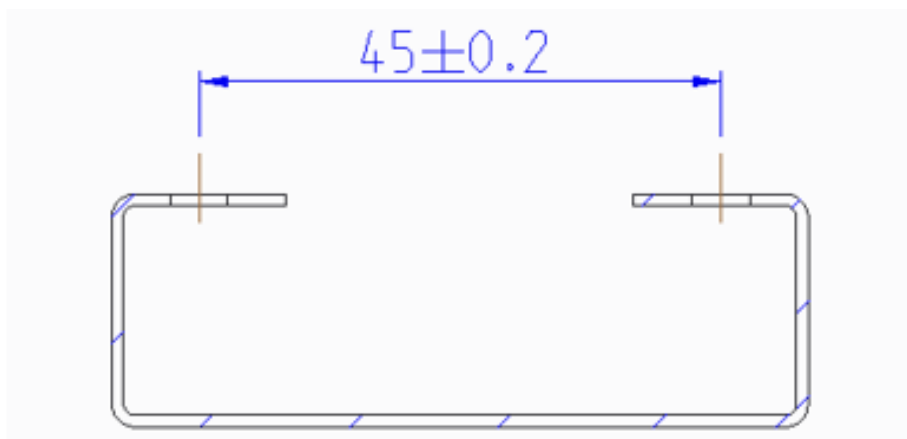
- 90° kulma on yleensä selvä tapaus, eikä se aiheuta mitään ongelmia.
- Terävässä kulmassa mitoitus tehdään taittuvan kaaren tangeerauspiisteeseen.
- Tylpässä kulmassa mitoitus tehdään näennäiseen tasopintojen leikkauspisteeseen.
- Taivutusmitoitus on riippumaton säteen suuruudesta.
- Taivutus on loppujen lopuksi melko epätarkka valmistusmenetelmä. Tämän takia kannattaa jättää sulkeiden sisälle yksi mitta, johon valmistuksen epätarkkuudet voivat jäädä.



Kuvio 22. Taivutettavan kappaleen mitoitusesimerkki (Korhonen 2016).

Reikien ja niiden sijainnin mitoitus

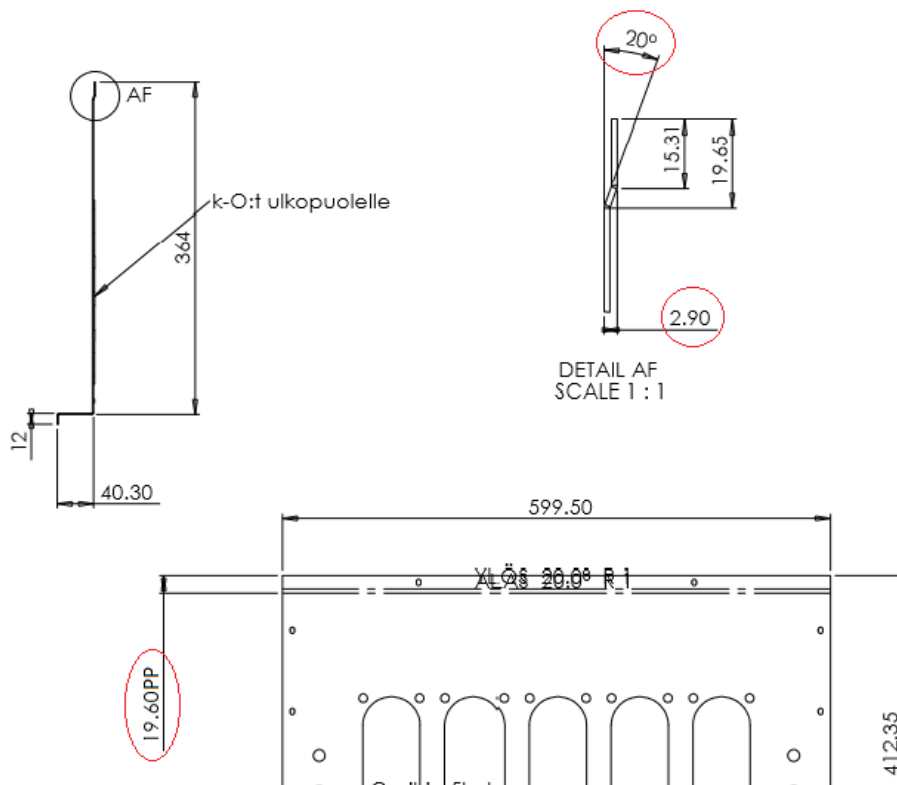
Jos osassa olevat reiät ja niiden sijainti toisiinsa nähden ovat toiminnallisesti tärkeitä, on toimintamitat (esim. reikäväli) merkittävä piirustuksiin ja toleroitava (kuvio 23).



Kuvio 23. Toleroitu reikäväli taivutettavassa kappaleessa.

Painopistemittoitus

Joskus särmäystä varten joudutaan ilmoittamaan piirustuksiin ns. painopistemitta. Tämän mitan avulla särmääjä pystyy tekemään tarvittavat asetukset särmäyspuristimeen kyseisen taivutuksen suorittamista varten. Yleisiä kohteita joihin painopistemittaa käytetään voivat olla esimerkiksi vajaiden kanttien taivutus sekä aineensiirrot. Painopistemittoituksesta tulisi selvittää painopisteen etäisyys, taivutuskulma sekä aineensiirtomitta. (Kontkanen 2017.) Kuviossa 24 on esitetty esimerkki painopistemittoituksesta, jossa kaikki yllä mainitut mitat ovat ympyröity punaisella. Kuvassa painopistemitan perään on merkitty PP.



Kuvio 24. Painopistemittoitus (Finelcomp Oy 2017).

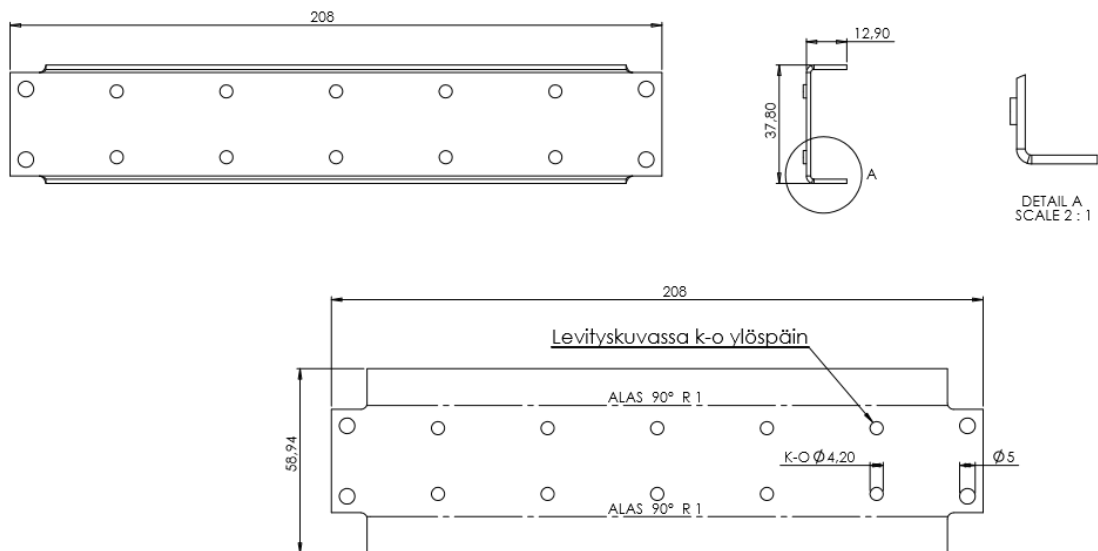
Levityskuvat

Finelcomp Oy:llä on käytössä yksinkertaistettu malli levityskuvien esittämisestä. Tässä levityskuviin ei merkitä täyttä jonomittoitusta, vaan levityksiin merkitään yleensä vain osan ja muotojen äärimitat, taivutukset sekä erikoismuodot (kuvio

25). Näin ollen siis tuotesuunnittelu ja ohjelmointi vastaavat siitä, että valmistettava tuote on oikeanlainen. Pääasiallinen syy tähän esitystapaan on piirustusten selkeyttäminen, sillä jos monimutkaisiin ohutlevykappaleisiin ruvetaan tekemään jononimitusta, voi piirustuksessa esiintyvien mittojen määrä kasvaa hyvinkin suureksi.

Tämän yksinkertaistetun periaatteen mukaan levityskuvissa tulisi olla esillä

- kappaleen ja muotojen äärimat.
- erikoismuodot, kuten Knock-Outit jne.
- taivutettavien kanttien taivutussuunnat, -kulmat ja -säde.
- Knock-Out muotojen suunta.
 - Knock-Outit lävistetään levyaihion yläpuolelle.
 - Knock-Out muotojen suunta voidaan merkitä myös johonkin projektiioon.
- kummalla puolella kappaletta muovin tulee olla, jos kyseessä on muovitettu levy.
 - puoli jolle muovin tulee jäädä, voidaan ilmaista sanallisesti tai nuolella osoitettuna, samalla tavalla kuin Knock-Out muodoissa.
 - lävistyksessä muovi on yleensä levyn yläpuolella.



Kuvio 25. Levityskuvan mitoitusesimerkki (Finelcomp Oy 2017).

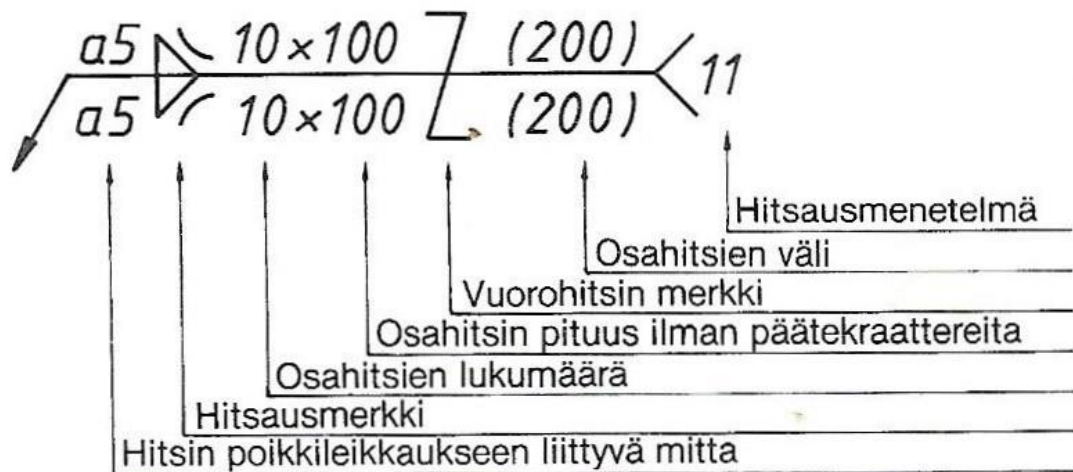
Hitsausmerkinnät

Hitsausmerkintöjen esittäminen koneenpiirustuksissa perustuu standardiin SFS-ISO 2553. Tämän standardin mukaan hitsausmerkinnän tulee ilmaista selvästi kaikki tarpeellinen tieto hitsistä ilman turhia huomautuksia ja lisäprojektioita piirustuksessa. (Pere 2009. 19–11.) Alla on esitetty Finelcomp Oy:lle laatimani erittäin tiivistetty ohjeistus hitsausmerkintöjen tekemiseen. Tässä ohjeistuksessa sovelletaan sekä standardin mukaisia esitystapoja että yrityksen itse hyväksi toteamia merkintätapoja.

Hitsausmerkinnän tulisi sisältää

- perusmerkki, jota voidaan täydentää lisämerkeillä.
 - nuolen puolelta hitsattaessa perusmerkki merkitään ehyen viivan puolelle.
 - nuolen vastapuolelta hitsattaessa perusmerkki merkitään katkoviivan puolelle.
 - vastuspistehitseissä merkintä tehdään yleensä merkintäviivan päälle.
- tarvittava mitoitus.
 - poikkileikkaukseen liittyvät mitat tulisi kirjoittaa perusmerkin vasemmalle puolelle ja pituusmitat perusmerkin oikealle puolelle.
 - jos poikkileikkaukseen liittyvät mitat puuttuvat, hitsi on läpihitsattu.
 - jos pituusmitta puuttuu, hitsataan liitos koko matkalta.
 - katkohitsauksessa tulisi ilmoittaa osahitsien pituus ja niiden välinen etäisyys, osahitsien määrä voidaan myös ilmoittaa.
- lisämerkintöjä tarvittaessa.
 - lisämerkinnöillä voidaan kertoa lisäohjeita ja huomioita hitsaustyön suorittamista varten.
 - jos hitsiä työstetään, tulisi se ilmoittaa piirustuksessa.
 - esim. hitsi hiotaan.

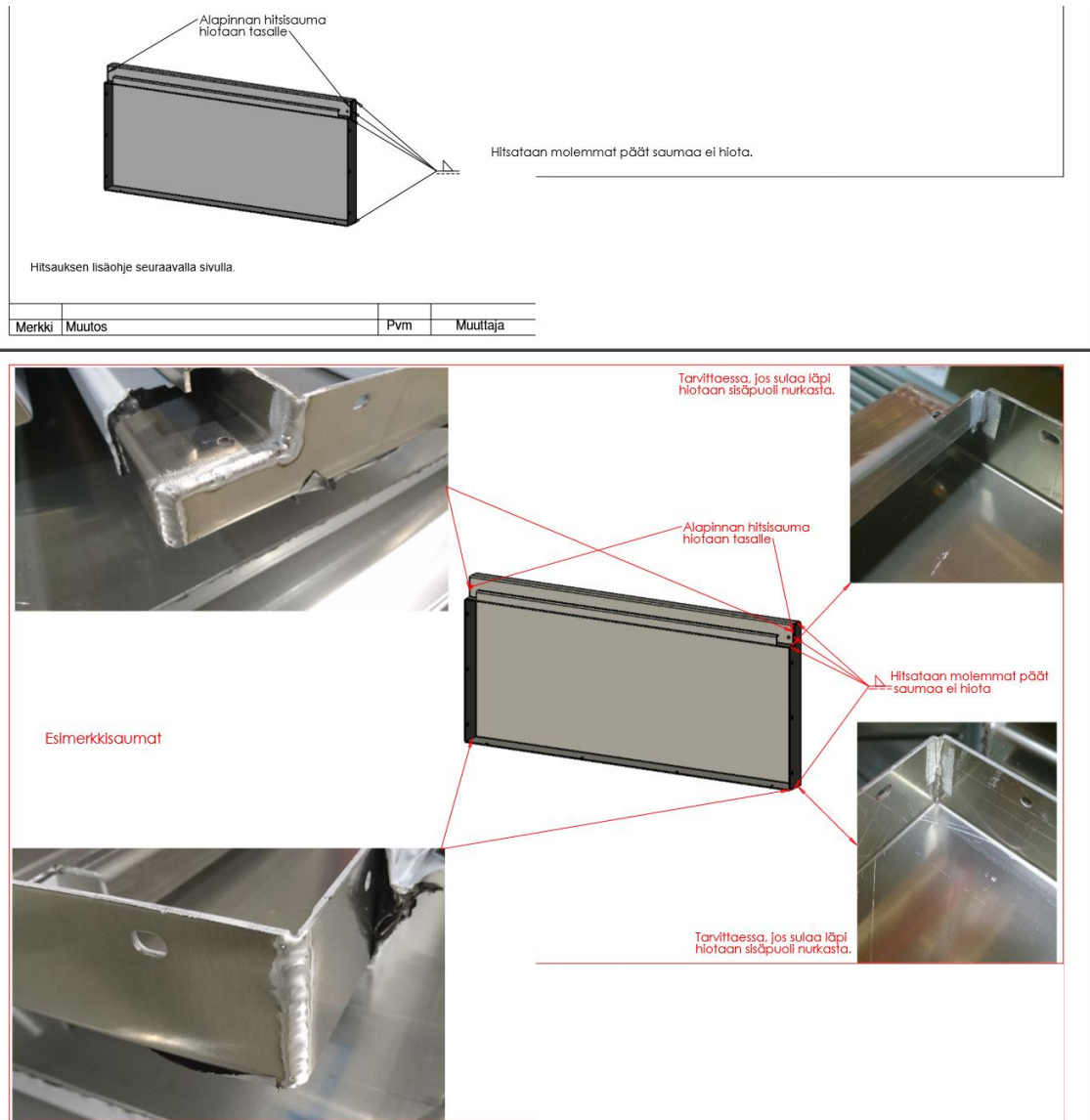
Kuviossa 26 on esitetty Koneenpiirustus 1 & 2 kirjasta (Pere 2009, 19–30) poimittu standardin SFS-ISO 2553 mukainen vuorokourupienahitsin merkintä.



Kuvio 26. Esimerkki standardin mukaisesta hitsausmerkinnästä (Pere 2009, 19–30).

Hitsausmerkinnöissä tulisi myös huomioida että, jos hitsin etäisyys levyn laidasta mitoitetaan, tulisi se mitoittaa valmistuspiirustukseen hitsausmerkinnän sijaan. (Pere 2009, 19–28.)

Kuviossa 27 on esitetty esimerkki Finelcomp Oy:n valmistuspiirustuksen yhteyteen laaditusta lisäohjeesta hitsausta varten.



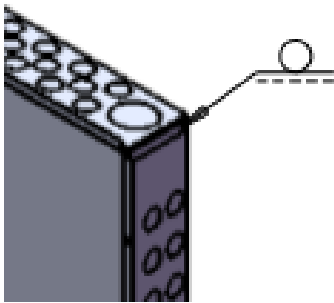
Kuvio 27. Lisäohje hitsausta varten (Finelcomp Oy 2017).

Pistehitsit

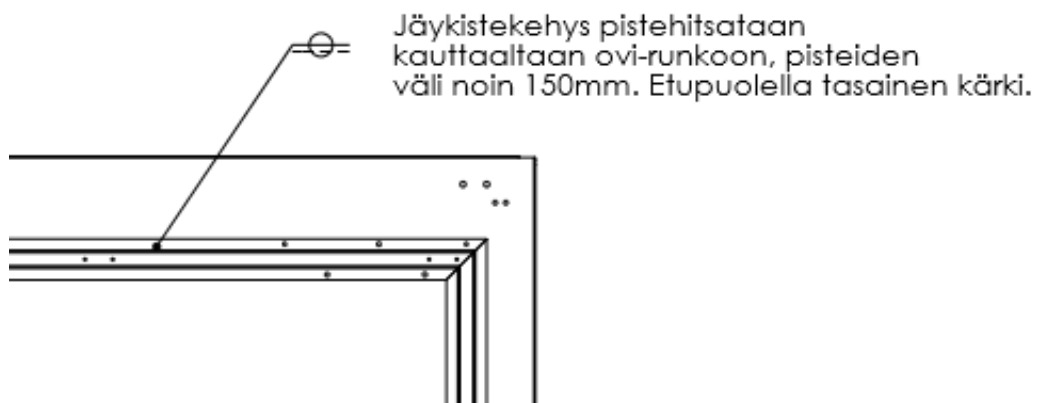
Pistehitsausmerkintöjen tekeminen Finelcompin piirustuksissa poikkeaa standardin mukaisista esitystavoista siten, että piirustuksiin ei merkitä kaikissa tapauksissa pisteiden määrää eikä mitoiteta tarkkaa hitsien välimatkaa. Pisteiden välimatka kuitenkin kannattaa ilmoittaa suuntaa antavasti piirustuksissa. Vaikka merkinnät eivät ole täysin standardin mukaisia, tulisi niihin merkitä ainakin tarvittavat ohjeet liitoksen tekemiseen. Näitä ohjeita voi olla esimerkiksi erikoiskärjen

käyttö pistehitsauksessa. Erikoiskärkeä voidaan käyttää mm., kun piste tulee näkyvälle paikalle kuten esimerkiksi oven etupuolelle. Työn helpottamista varten voidaan valmistuspiirustukseen lisätä myös kuva käytettävästä kärjestä.

Kuvioissa 28, 29 ja 30 esitetään muutamia esimerkkejä pistehitsauksen merkinnöistä Finelcompin valmistuspiirustuksissa.



Kuvio 28. Pistehitsausmerkintä kaukalon nurkassa (Finelcomp Oy 2017).



Kuvio 29. Jäykistekehyyksen hitsausmerkintä. Pisteiden väli ilmoitettu suuntaantavasti, sekä mainittu että oven etupuolella tulee käyttää tasaista kärkeä (Finelcomp Oy 2017).



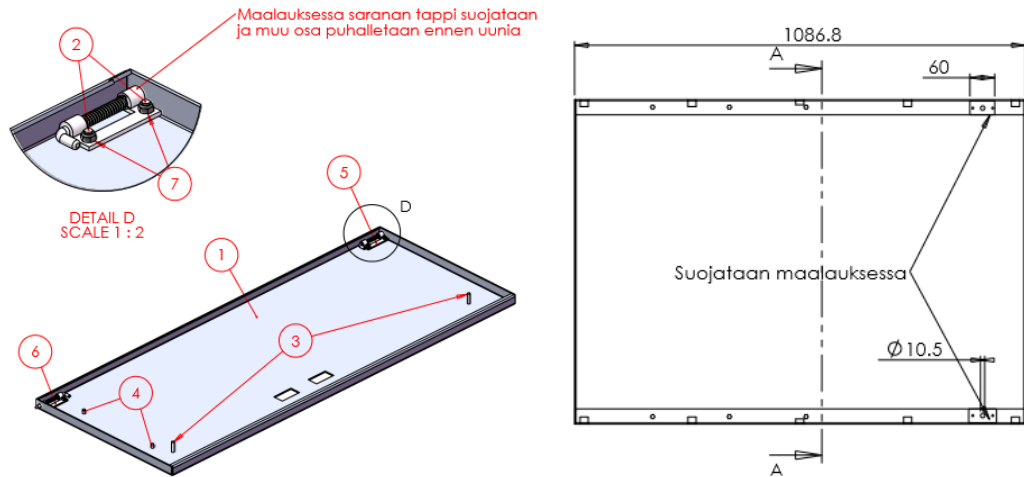
Oven etupuoolella käytettävä kärki.

Kuvio 30. Pistehitsauksessa käytettävä erikoiskärki (Finelcomp Oy 2017).

Maalaus

Maalausvaihe ei vaadi yleensä monia merkintöjä tuotteen valmistuspiirustuksissa. Maalaus olisi kuitenkin hyvä huomioida valmistuspiirustuksissa, merkittävällä niihin ainakin

- käytettävä maali
- maalattava puoli, jos kappale maalataan vain toiselta puolelta
- maalauksen ajaksi suojattavat kohdat ja muut maalauksessa huomioitavat kohdat.
 - o Maalilta suojattavat kohdat tulisi osoittaa piirustuksissa selkeästi (kuvio 31). Näitä kohtia voivat olla kierteet, sarana-aukot, liitoskohdat jne.
 - o Jos kappaleessa olevat kierteet suojataan, ei niitä tarvitse ilmoittaa erikseen, vaan valmistuspiirustukseen voidaan kirjoittaa esim. kaikki kierteet suojattava maalauksen ajaksi.



Kuvio 31. Esimerkkejä suojausmerkinnöistä kahdessa eri kappaleessa. (Finelcomp Oy 2017).

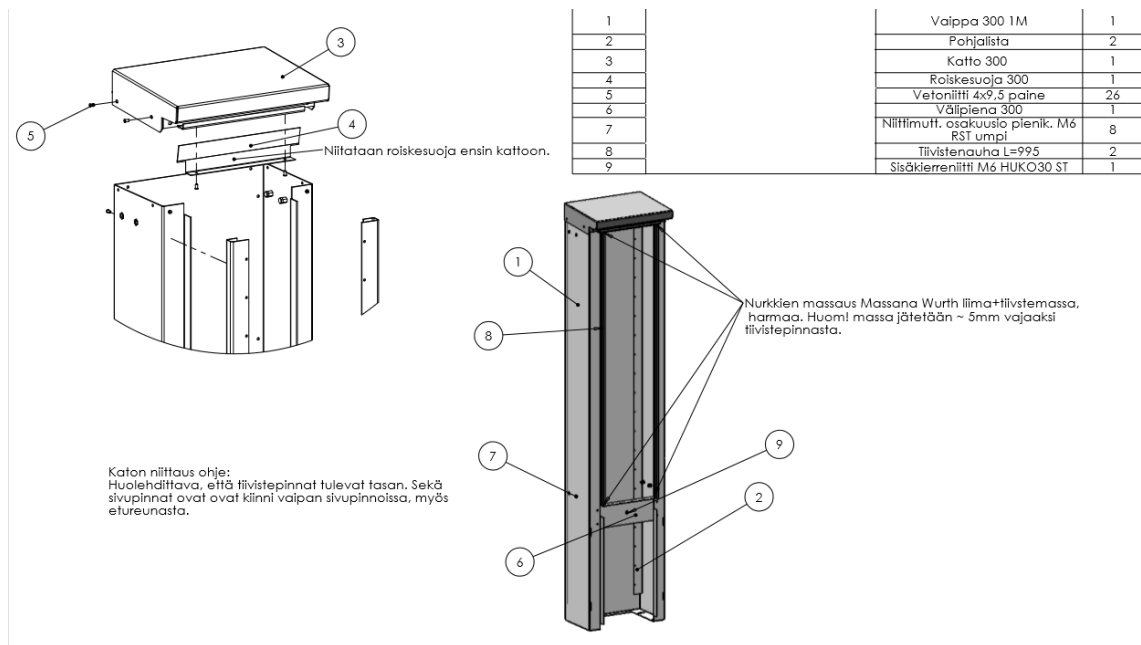
Kokoonpano

Kokoonpanopiirustukseen tulisi sisältää kaikki tuotteen kokoonpanoon tarvittavat tiedot ja ohjeet. Piirustuksen pohjalta tulisi voida koota tuote ilman, että työntekijän tarvitsee kysyä lisäneuvoja työn suorittamiseen.

Näitä kokoonpanopiirustukseen tulevia tietoja ja ohjeita voivat olla mm.

- millä liitos tehdään, esimerkiksi ruuvi, vetoniitti, pultti, jne.
- puoli jolta liitos tehdään, jos liitoksen tekeminen väärältä puolelta on mahdollista
 - esim. jos tuote kootaan vetoniiteillä tai siihen kiinnitetään niittimutteri, tulee piirustuksesta selvittää, kummalta puolelta niitti niitataan
- muut mahdolliset lisäohjeet ja huomiot kokoonpanotyön suorittamiseen
- täydellinen osaluettelo, josta kaikki kokoonpanon komponentit sekä niiden määrä ja koodi selviävät.

Kokoonpanon ollessa suurempi kokonaisuus, kannattaa se yleensä jakaa useampaan osakokoonpanoon ja tehdä niistä omat piirustukset. Kuviossa 32 on esitetty esimerkki yhdestä mittarikaapin osakokoonpanopiirustuksesta ja kokoonpano-ohjeista.



Kuvio 32. Esimerkki osakokoonpanopiirustuksen kokoonpano-ohjeista (Finelcomp Oy 2017).

10 Pohdinta

Suunnittelusäännöstön laatiminen osoittautui opinnäytetyön aiheena erittäin laajaksi, vaikka säännöstön sisällöstä rajattiin pois kokonaan tuotekehitysprosessin alkuvaiheet. Sisältöä olisi voinut rajata paljon enemmänkin, esimerkiksi pelkästään valmistustekniikkaan tai piirustustekniikkaan. Tämä olisi mahdollistanut sen, että valittuun suunnittelun osa-alueeseen olisi voitu perehtyä tarkasti ja laatia siihen yksityiskohtainen ohjeistus. Alueen laajuuden takia kaikkiin osa-alueisiin ei voitu mitenkään laatia tarkkaa ohjeistusta käytettävissä olevassa aikataulussa, vaan ohjeistuksesta jouduttiin tekemään enemmänkin suuntaa antava joidenkin osa-alueiden osalta.

Vaikka opinnäytetyö oli toiminnallinen, sillä lopputulokseksi muodostui suunnittelusäännöstö, muistutti se hyvin pitkälti tutkimuksellista opinnäytetyötä. Tämä johtui valitun aiheen ja sen eri osa-alueiden laajuudesta, sillä säännöstön laatimista

varten oli perehdyttävä hyvin pitkälti ohutlevytuotteiden suunnitteluun sekä piirustustekniikan teoriaan. Näiden lisäksi myös tuotetiedonhallinta ja ohutlevymallinnus vaativat perehtymistä ja yleisten toimintatapojen selvittämistä näihin aiheisiin liittyen.

Ohutlevytuotteiden suunnittelun sekä siihen kuuluvan valmistustekniikan ollessa pienemmässä osuudessa opintojeni aikana käymissäni kursseissa, vaati tämän oppinnäytetyön totuttaminen paljon itsenäistä opiskelua aiheeseen liittyen. Näiden aihealueiden opiskelua helpotti se, että aiheesta oli laadittu useita oppaita, joista tietoa keräämällä sain hahmotettua hyvän kuvan ohutlevytuotteiden suunnittelusta sekä tärkeimmistä siinä huomioitavista ohjeista. Säännöstön luomista helpotti myös toimeksiantajayrityksen tarjoama tuki säännöstön laatimiseen. Aina kun tarvitsin jonkun toisen mielipidettä johonkin asiaan liittyen, sain asiaan aina vastauksen kohtuullisessa ajassa yrityksen vastuuhenkilöltä. Tämän lisäksi yrityksen tarjoama työpiste toimipaikassa mahdollisti yhteistyön suunnitteluosaston kanssa säännöstöä laatiessani.

Valmistusteknisten asioiden osalta laadin säännöstöön kaikille eri valmistusvaiheille oman listan asioista, jotka tulisi huomioida tuotesuunnittelussa. Valmistustekniikka osio osoittautui kohtuullisen suureksi urakaksi, koska keräsin aiheeseen liittyvän tiedon useiden eri lähteiden pohjalta. Näistä lähteistä kerätyn tiedon kokosin listaksi, joka sisälsi mielestäni oleellisimmat tiedot eri valmistusvaiheisiin liittyen. Joihinkin suunnittelun osa-alueisiin liittyen oli eri lähteissä esitetty erilaisia ohjeistuksia ja nyrkkisääntöjä, joista säännöstöön valitsin mielestäni parhaimmat sekä helpoiten muistettavissa olevat säännöt.

Mallinnuksen ja piirustustekniikan osalta säännöstön luominen muodostui enemmän nykyisten toimintatapojen dokumentoimiseksi, kuin ohjeistuksen luomiseksi. Näiltä osa-alueilta aikaisempia toimintatapoja ei haluttu lähteä muuttamaan suuresti, sillä työntekijöiden mielestä aikaisemmat menettelytavat toimivat hyvin yrityksen omissa tuotteissa. Aikaisempien toimintatapojen pohjalta laadin ohjeistuksen näihin osa-alueisiin, johon lisäsin standardien mukaisia ohjeita aiheisiin,

joihin yrityksessä ei ollut olemassa aikaisempaa menettelytapaa. Omasta mielestäni piirustustekniikka osioon jäi vielä joitain asioita, joissa olisi parantamisen varaa, mutta nämä parannukset jäävät mahdollisesti tulevaisuudessa tehtäviksi.

Lopputulokseksi tässä opinnäytetyössä saatiin kaksi versiota suunnittelusäännöstöstä, jotka laadittiin suunnitteluosaston toiveiden mukaisiksi. Näitä olivat itse suunnittelusäännöstö, sekä tiivistetty niin sanottu pöytäversio suunnittelusäännöstöstä. Suunnittelusäännöstön ollessa sisällöltään laaja, haluttiin säännöstöstä luoda lyhennetty version, joka voitaisiin pitää paperisena aina työpisteen pöydällä. Tähän lyhennettyyn versioon sisällytettiin vain tärkeimmät ohjeet, nyrkki-säännöt ja taulukot, joita päivittäisissä suunnittelutehtävissä yleisimmin tarvitaan. Nämä opinnäytetyön lopputulokseksi saadut suunnittelusäännöstöt jäävät vain toimeksiantajayrityksen käyttöön, eikä säännöstöjen sisällöstä liitetty kuin muutama kohta tämän opinnäytetyöraportin liitteeksi.

Laatimani suunnittelusäännöstö toimii hyvänä pohjana suunnittelun ohjeistukseksi, jota voidaan tulevaisuudessa laajentaa, muokata ja parantaa kuvaamaan paremmin yrityksen sen hetkisiä periaatteita ja uusia standardeja. Kehitysideoita säännöstöön liittyen olisi vielä sen laajentaminen koko suunnitteluprosessiin, ideointi mukaan luettuna. Tämän lisäksi säännöstöä voitaisiin vielä laajentaa luomalla parempi taulukointi käytössä olevista työkaluista, sisältäen kaikki erikoistyökalut ja niiden suoja-alueet. Nämä kehitysideat jäävät kuitenkin tehtäväksi tulevaisuuteen.

Kun perehdyin tämän opinnäytetyön toteutuksen aikana tarkemmin ohutlevy tuotteiden suunnitteluun, muodostui minulle kuva siitä, että ohutlevyistä valmistettavien tuotteiden valmistus ja suunnittelu on varsin kiinnostava mutta monimutkainen prosessi. Koska valmistusprosessiin kuuluu yleensä useita eri työvaiheita, vaatii se suunnittelijalta tarkkaa perehtymistä valmistustekniikkaan sekä yrityksen käytössä olevan konekannan tarjoamiin mahdollisuuksiin. Koin että opin paljon uutta ohutlevy tuotteiden suunnitteluun liittyen tämän opinnäytetyön johdosta, mistä on varmasti hyötyä tulevaisuudessa työelämään siirtyessäni.

Lähteet

- ATR Soft Oy. 2015. CustomTools. <http://www.amt.fi/static/tietovarasto/1253.pdf>. 17.3.2017.
- Finelcomp Oy. 2017. Yritys. <https://www.finelcomp.fi/fi/>. 17.3.2017.
- Havas, T. 2008. Rautaruukin erikoislujien terästen lävistäminen levytyökeskussella. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/43476/nbnfi-fe200901141025.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. 1.2.2018.
- Heinonen, M., Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2016. Konetekniikan perusteet. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Hietikko, E. 2012. SolidWorks tietokoneavusteinen suunnittelu 2012. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Hietikko, E. 2015a. Tietokoneavusteinen suunnittelu SolidWorks 2016. Helsinki: Books on Demand.
- Hietikko, E. 2015b. Valmistettavuus. Helsinki: Books on Demand. https://books.google.fi/books?id=RLLhBwAAQ-BAJ&pg=PT17&lpg=PT17&dq=valmistettavuus+suunnittelu&source=bl&ots=moiGepiWnF&sig=ni-Jdut5_xhO39fqDtAHw6Q115c&hl=fi&sa=X&ved=0ahU-KEwiR7cy62_jSAhXCdpoKHSW3AYIQ6AEISjAH#v=onepage&q&f=false. 28.3.2017.
- Hietikko, E & Suhonen, A. 2010. Digital Tools for Product Development. Savonia Ammattikorkeakoulu. Tutkimus ja kehitystyö. <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/dbraporttinet.pdf>. 28.3.2017.
- Häkkinen, J. 2013. Taivutusautomaatin ominaisuuksien hyödyntäminen ohutlevytuotteiden suunnittelussa. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59583/Hakkinen_Juha.pdf?sequence=1. 5.2.2018.
- Höök, T. 2017. Suunnittelijan perusopas. ValuAtlas. http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_20.pdf. 8.2.2018.
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2002. Valmistustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.
- Jokinen, T. 2010. Tuotekehitys. Aalto yliopisto. Elektroninen julkaisu. <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>. 3.6.2017.
- Kesälahti, P. 2015. Teräksinen tarkastuskuilu, Esisuunnittelu ja tarjouskyselypiirustukset. Lapin AMK. Konetekniikka. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94278/Kesalahti_Petri.pdf?sequence=1. 26.3.2017.
- Kontkanen, A. Tuotekehityspäällikkö. Finelcomp Oy. Suullinen tiedonanto. 9.3.2017.
- Korhonen, S. 2016. Taivutettavien osavalmisteiden mitoitus. ab Jet-steel Oy. <http://jetsteeloy.blogspot.fi/2016/01/taivutettavien-osavalmisteiden-mitoitus.html>. 8.2.2018.
- Laakko, L. 2016. Ohutlevytuotteiden valmistus särmäämällä. Oulun yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201604291576.pdf>. 2.2.2018.

- Laherto, A. 2010. Ohjeita ohutlevy tuotteiden valmistusystävälliseen suunnitteluun. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/59266/nbnfi-fe201002231402.pdf?sequence=3>. 22.2.2018.
- Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
- Mertanen, J. 2016. Tuotekehitys koneenrakentamisessa. Luentomuistiinpanot. Karelia-ammattikorkeakoulu.
- Oy AGA ab. 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG-hitsaukseen. http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/imag/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20F1634_122347.pdf. 5.2.2018.
- Pahl, G & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Pere, A. 2001. Koneenpiirustus ammattikorkeakouluja varten. Espoo: Kirpe Oy.
- Pere, A. 2009. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.
- Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Savonia ammattikorkeakoulu, HitNet. <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>. 30.3.2017.
- Quality Tool Inc. Sheet metal design handbook. <http://www.qualitytool.com/resources/Design-Handbook-Rev3.pdf>. 2.2.2018.
- Tampereen kaupunki. 2001. Konetekninen piirtäminen. Verkkokurssin oppimateriaali. <http://koulut.tampere.fi/materiaalit/kone1/6/teor6.html>. 8.2.2018.
- Teknos Oy. 2013. Korroosionestomaalauksen käsikirja. https://www.teknos.com/globalassets/teknos.fi/teollisuus/downloads/fi_korroosionestomaalauksen_kasikirja_2013.pdf. 31.1.2018.
- Vertex Systems Oy. 2018. Tuotedokumentaatio. Revisiointi. Flow-käyttöohjeet. <https://kb.vertex.fi/flow2018fi/flow-kaeyttoehjeet/revisiointi>. 20.2.2018.

2.1 Leikkaus

Yleisiä ohjeita leikattavien kappaleiden suunnitteluun:

- Lävistämällä leikkaaville koneille tulisi osat suunnitella kulmikkaiksi ja suoraviivaisiksi.
- Laserilla leikkaaville koneille voivat leikkausradat olla yhtä hyvin kaarevia ja ympyrämäisiä, sillä niiden leikkaaminen onnistuu yhtä helposti kuin suorareunaistenkin muotojen.
 - o Kaarevien muotojen leikkaaminen voi olla jopa nopeampaa, lyhyemmän leikkausradan takia.
- Pyöreiden muotojen leikkaus:
 - o Laserleikkauksella pyöreissä muodoissa saadaan aikaan hyvä reunan laatu.
 - o Lävistämällä leikattaessa reunaan jää aina pykälä, mikäli lävistystyökalun kaarevuussäde ei ole tarkalleen sama kuin leikkausviivalla.
- Paljon reikiä sisältävät kappaleet on yleensä parempi tehdä levytyökeskuksella, koska aloitusreikien lävistäminen vie aikaa laserilta.
- Äärimmäistä tarkkuuta vaativille osille laserleikkaus on yleensä parempi leikkausmenetelmä.
- Suunnittelussa tulisi huomioida mikroinnikkeiden käyttö.
 - o Mikroinnikkeet on helpoin lisätä suoriin sivuihin ja kulmiin.

2.1.1 Laserleikkaus

Laserleikattavia osia suunniteltaessa tulisi huomioida että:

- Heijastavat materiaalit ovat ongelmallisia leikata. Esim. puhdas alumiini ja kupari.
- Laserleikattavissa kappaleissa voidaan käyttää vapaampia muotoja kuin mekaanisesti leikattavissa kappaleissa.
 - o Muodonvapaus voidaan hyödyntää esimerkiksi:
 - Pyöristämällä nurkat, jotta maali pysyy niissä paremmin.
 - Lisäämällä hitsattaviin ja kokoonpantaviin osiin asemointia helpottavia olakkeita, ulokkeita ja koloja.

- Osissa tulisi välttää hoikkia, ohuita ja pitkiä ulokkeita, koska lämpö voi vääntää niitä leikkauksen aikana.
- Paljon reikiä ja sisäpuolisia muotoja sisältävien kappaleiden leikkaaminen on laserleikkauksella hidasta, koska uuden leikkausradan aloittaminen vaatii aina ensin levyn lävistämisen laserilla.
- Laserleikkauksella on ongelmallista leikata tarkkoja kulmia ja pieniä reikiä paksuihin materiaaleihin, sekä sulan poistaminen railosta on hankalaa.
 - o Laserleikkauksessa materiaalipaksuuden kasvattaminen aiheuttaa yleensä enemmän ongelmia, joten yleensä kannattaa valita lujempi materiaali suuremman materiaalipaksuuden sijaan.

2.1.2 Lävistys

Mekaanisesti lävistettävien osien suunnittelussa tulisi huomioida että:

- Kappaleet tulisi voida valmistaa käytettävissä olevilla työkaluilla, sekä työkaluvalikoimalla joka mahtuu levytyökeskuksen työkaluvarastoon.
 - o Lävistystyökalujen muodot on standardoitu.
 - Käytettävissä olevat työkalut voidaan selvittää työkalutaulukosta.
 - o Jos osien valmistusmäärä tiedetään suureksi, kannattaa erikoistyökalujen käyttömahdollisuus ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa.
- Leikattavien muotojen tulisi olla suoraviivaisia ja muutenkin työkaluihin sopivia.
- Leikattavissa kappaleissa tulisi välttää kapeita kannaksia, liian teräviä nurkkia ja tarpeettomia pyöristyksiä.
 - o Muotona sisäpuolinen pyöristys on helpompi valmistaa kuin ulkopuolinen pyöristys.
- Lävistettävät reiät kannattaa mahdollisuuksien mukaan suunnitella saman kokoisiksi, jotta ne voidaan lävistää samoilla työkalulla.
 - o Standardi reikäkoot.
 - o Pyöreät reiät ovat yleensä edullisempia valmistaa, kuin suorakaiteen muotoiset.
- Loveuksien suunnittelussa tulisi huomioida nurkkiin tuleva kiinnitysmenetelmä.
 - o Esim. kokoonpantaviin ja hitsattaviin tuotteisiin loveuksen tulee olla erilainen.
 - o Loveuksen suunta tulisi suunnitella siten, että jäyste jää taivutuksessa sisäpuolelle.
 - Mikäli näin ei tehdä, voi jäyste muodostaa lähtökohdan levyn murtumiselle.

2.2 Taivutus

Särmättävien osien suunnittelussa tulisi huomioida että:

- Osissa tulisi käyttää tunnettuja ja toimiviksi todettuja taivutuksia.
 - o Jos ei ole tiedossa onko suunnitellun taivutuksen tekeminen mahdollista, kannattaa varmistaa esimerkiksi särmäysosaston esimieheltä.
- Osassa olevien laippojen pituus sekä taivutusten väli tulisi suunnitella tarpeeksi suureksi. Vähimmäismitat voidaan katsoa särmäyspuristimesta.
 - o Alaterän leveyden valinta vaikuttaa laipan vähimmäismittoihin.
 - o Yläterän muoto vaikuttaa taskujen syvyyksiin.
- Osassa olevien särmäysten tulisi olla tehtävissä samoilla terillä ja asetuksilla.
- Särmättävät päädyt tulisi mahdollisuuksien mukaan suunnitella avoimiksi, jotta yläterä pääsisi tulemaan osan ohitse. Suljetut rakenteet aiheuttavat asetusten vaihtamista, joka lisää läpimenoaikaa.
 - o Aina ei voida välttyä suljetuilta särmäyksiltä, joten ainakin samassa kappaleessa olevien suljettujen särmäysten mitat tulisi pyrkiä vakioimaan.
- Reiät ja lovet tulee sijoittaa tarpeeksi kauas taivutuksista, jos niiden halutaan pysyvän tarkkoina.
- Eri suuntiin taivutettaviin nurkkakohtiin tulisi suunnitella tarpeelliset helpotukset taivuttamista varten.
- Kampataivutusta tulisi pyrkiä hyödyntämään osissa, joissa se on mahdollista ja kannattavaa.
 - o Kampataivutuksessa osat jätetään kiinni toisiinsa mikrokiinnikkeillä, jotta ne voidaan taivuttaa yhdellä kertaa ajan säästämiseksi.

Laippakorkeudet manuaalisärmäyksessä.

Taulukko 2. Suuntaa-antavia laipan minimikorkeuksia särmäyspuristimilla tehtäviin taivutuksiin.

Levynpaksuus (mm)	Suositteltu minimi laipankorkeus (mm)
0,5	5,0
0,75	5,0
1,0	5,0
1,25	6,0
1,4	6,0
2,0	8,6
2,5	10,0
3,0	13,0

Manuaalisärmäyksessä laippojen maksimipituuksiin, taivutusten väliin ja taskujen syvyyteen vaikuttavat useat tekijät, joten näille ei voida antaa selviä ohjearvoja, vaan tulee ne selvittää tapauskohtaisesti.

2.3 Hitsaus

Hitsattavia tuotteita suunniteltaessa tulisi pitää mielessä että:

- Tuotteisiin tulisi suunnitella mahdollisimman vähän hitsausliitoksia ja hitsausasentoja.
 - o Hitsausliitoksien määrää voidaan vähentää käyttämällä taivutettuja osia ja profileita, sekä vähentämällä osien määrää.
- Osien asemoinnin tulisi olla itsepaikoittuvaa. Näin vältetään mitta- ja paikoitusvirheitä.
- Hitsit tulisi pyrkiä sijoittamaan helposti tavoitettaviin paikkoihin.
 - o Hitsien sijoitusta syviin taskuihin ja onkaloihin tulisi välttää.
- Näkyville jäävää hitsi tulisi pyrkiä suunnittelemaan siten, että hitsin hyvä ulkonäkö on tehtävissä helposti.
- Hitsiliitosten hiomista tulisi välttää, ellei siihen ole hyviä perusteluja.
 - o Yleensä siisti hitsi on paremman näköinen, kuin kohtuullisesti hiottu hitsiliitos.
- Hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset tulisi huomioida suunnitteluvaiheessa.

Ylisuuri lämmöntuotto aiheuttaa materiaaliin mikrorakennemuutoksia, joten ylisuuren a-mitan käyttöä tulee välttää. Ylisuuri a-mitta aiheuttaa esimerkiksi taipumaa pienaliitoksissa.

- Jos riittävän lujuuden saavuttaminen hitsausliitoksessa ei vaadi koko hitsiä, voidaan lämmöntuontia vähentää käyttämällä katkohitsejä jatkuvien hitsien sijaan.
 - o Katkohitsauksen käytöllä pyritään pituussuuntaisten muodonmuutosten, pääasiassa kaareutumisen välttämiseen. Tämä on suositeltu tapa käytettäväksi pienillä alle 3 mm a-mitoilla.

Pistehitsaus

Limiliitosten suunnittelussa tulisi huomioida seuraavat asiat:

- Pienin sallittu limitys.
 - o Mitä paksumpia liitettävät levyt ovat, sitä enemmän limitystä tarvitaan.
- Hitsien välinen etäisyys.
- Hitsien etäisyys levynreunasta.
 - o Pienimpään sallittuun etäisyyteen reunasta vaikuttavat hitsausparametrit, hitsattava materiaalia ja elektrodien muoto.
- Elektrodien ja elektrodivarsien vaatima tila hitsauksessa.
- Jos elektrodi joudutaan kohdistamaan liian lähelle levyjen reunaa, saattaa hitsauksessa syntyä roiskeita.

2.4 Kokoonpano

Hyvän kokoonpantavuuden takaamiseksi tuotteet tulisi suunnitella siten että:

- Tuotteessa on minimimäärä osia, jotka liittyvät keskenään nopeasti ja tiettyyn paikkaan ja asentoon.
- Tuotteessa on selkeä runko-osa, joka toimii alustana muille osille.
 - o Tätä periaatetta voidaan soveltaa myös hitsauskokoonpanoissa.
- Osat voidaan tuoda kokoonpanoon esteettömästi.
- Liitosten tekeminen on mahdollista niihin tarvittavilla työkaluilla.
 - o Ahtaaseen paikkaan tehtävissä liitoksissa tulisi tarkistaa, että työkalu mahtuu väliin, josta liitos tehdään.
- Tuotteen kokoonpano voidaan suorittaa ilman, että tuotteen asentoa tarvitsee muuttaa useita kertoja kokoonpanotyön aikana.
- Kokoonpano on tarvittaessa jaettavissa osakokoonpanoihin siten, että kokoonpanotyö voidaan suorittaa kokoonpanolinjassa.
- Suunnittelussa on huomioitu osien tolerointi, sillä toleranssien kertautuminen voi aiheuttaa ongelmia.

Kokoonpantaviin tuotteisiin osat tulisi suunnitella siten että:

- Osat ovat itsepaikoittuvia, esimerkiksi paikoitusnastojen avulla.
- Osaa ei voida asentaa väärään paikkaan tai asentoon.
- Osissa on hyödynnetty symmetriaa.
 - o Osat tulisi suunnitella joko symmetrisiksi tai selkeästi epäsymmetrisiksi, jotta asento ei sekoittuisi.
- Osat eivät takerru toisiinsa.
- Osien mitoituksen lähtökohtana on käytetty asemointiin käytettäviä pintoja.

2.5 Maalaus

Maalattavien tuotteiden suunnittelussa tulisi huomioida että:

- Muotoilussa tulisi pyrkiä käyttämään korroosionkestävyyttä ja maalattavuutta parantavia muotoja.
 - o Terävät nurkat ja kulmat tulisi pyöristää mahdollisuuksien mukaan.
 - Maali pyrkii vetäytymään terävien kulmien ja särmiä kohdalta, jolloin pinnoite voi jäädä helposti liian ohueksi.
 - o Rakenteita joissa on vaikeasti maalattavia rakoja ja muotoja tulisi välttää.
 - Esim. Niitti- ja pulttiliitoksia tulisi pyrkiä välttämään korroosiosuojattavissa rakenteissa.
 - Hitsausliitoksissa tulisi välttää katkohitsejä. Yhtenäinen hitsipalko ei jätä hankalasti maalattavia rakoja kuten katkohitsi.
- Tuotteessa ei saisi olla vettä kerääviä muotoja.
 - o Suunnittelussa tulisi huomioida vesireiät, vesitiiveys ja veden poisjohtaminen.
- Nurkkakohdat tulisi pyrkiä jättämään avoimiksi silloin, kuin niiden ei ole muista syistä tarpeellista olla umpinaisia.
- Kappaleessa tulisi olla nosto- ja ripustelukohdat maalausta varten.
 - o Nostokohdan sijoittamisella vaikutetaan osan asentoon maalauksen aikana painopisteen avulla.
- Maalikerros kasvattaa kappaleen mittoja, joten se tulisi huomioida välyksien ja toleranssien suunnittelussa.
 - o Maalaus turvottaa kappaleen mittaa jopa kymmenesosamillejä.
 - o Niittien reiät saattavat käydä ahtaiksi maalauksen jälkeen.
 - Esim. 4,2 mm reikä voi olla liian ahdas maalauksen jälkeen.

Näiden lisäksi tulisi myös huomioida pinnat, joissa maalia ei saa olla. Pinnoille tulisi suunnitella suojaus maalauksen ajaksi ja merkitä se piirustuksiin.