

LUT Yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

HAMMASLÄÄKÄRITUOLIN NOSTOMEKANISMIN VERHOILUPELTIEN OPTIMOINTI

OPTIMIZATION OF SHEET METAL COVER PARTS OF DENTAL CHAIR LIFT MECHANISM

Lappeenrannassa 7.2.2019

Olli Oinonen

Tarkastaja TkT Kimmo Kerkkänen

Ohjaaja TkT Kimmo Kerkkänen

TIIVISTELMÄ

LUT Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Olli Oinonen

HammaslääkärITUOLIN nostomekanismin verhoilupeltien optimointi

Kandidaatintyö

2019

45 sivua, 26 kuvaa ja 3 taulukkoa

Tarkastaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Ohjaaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: Ohutlevy, valmistus, suunnittelu, särmäys, hitsaus

Todella monet nykyajan rakenteet sisältävät ohutlevyosia. Tässä työssä tarkasteltavassakin hammaslääkärintuolissa on lukuisia ohutlevykomponentteja. Ohutlevytuotteen valmistamiseen kuuluu useita työvaiheita. Terveystuotteen laadun lisäksi on myös, että tuotteen ulkonäkö täyttää visuaaliset vaatimukset. Siksi onkin tärkeää suunnitella koko osien valmistusprosessi huolellisesti. Tässä työssä selvitetäänkin, miten tarkastellussa mekaniikassa käytettäviä ohutlevyosia voidaan parantaa. Parannuksilla pyritään nostamaan valmistusystävällisyyttä ja laatua sekä laskemaan kustannuksia. Työssä kartoitetaan eri valmistusmenetelmien tarjoamia mahdollisuuksia. Työssä käydään läpi myös ohutlevyjen suunnitteluun liittyviä asioita. Läpi käydyn kirjallisuuden ja kirjoittajan aiemman kokemuksen perusteella rakenteisiin tehdään muutoksia. Tehdyt muutokset ovat pääosin pieniä rakenteellisia yksityiskohtia eri puolilla rakennetta.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Olli Oinonen

Optimization of sheet metal cover parts of dental chair lift mechanism

Bachelor's thesis

2019

45 pages, 26 figures and 3 tables

Examiner: D. Sc. Kimmo Kerkkänen

Supervisor: D. Sc. Kimmo Kerkkänen

Keywords: sheetmetal, manufacturing, design, edging, welding

Sheet metal parts are widely used in different applications. The dental chair that is being observed at this study includes many sheet metal components. Manufacturing process of sheet metal product has many work stages. High quality, performance and fulfillment of visual requirements are important when medical equipment is the case. Thus, it is necessary to pay attention to the manufacturing process. In this work, possible improvements for sheet metal parts of the lift mechanism are being traced. The goal of these improvements is to increase quality and producibility and to decrease costs. At this work different possibilities provided by different manufacturing processes are being studied. Design aspects are also observed. Sheet metal structures are modified based on literature research and on previous knowledge. Executed modifications are mostly small structural details.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	6
1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelman asettaminen	6
1.2 Yrityksen esittely	7
1.3 Rajaukset	7
2 VALMISTUSMENETELMÄT JA SUUNNITTELU	8
2.1 Laserleikkaus	8
2.2 Särmäys	9
2.3 Ohutlevyjen hitsausliitokset	12
2.3.1 MIG/MAG	13
2.3.2 TIG	14
2.3.3 Vastushitsaus.....	15
2.4 Puristusliittäminen	18
2.5 Puristekiinnikkeet	19
2.6 Niittaus	22
2.7 Suunnittelu.....	23
2.7.1 Reiät, lovet, nurkkamuodot ja laipat	23
2.7.2 Laserleikkauksen hyödyntäminen suunnittelussa	26
2.8 Yhteenvedo.....	27
3 RAKENTEEN VALMISTETTAVUUDEN ANALYYSI JA OPTIMOINTI	29
3.1 Nostomekanismi	29
3.1.1 Liike.....	30
3.1.2 Turvallisuus.....	30
3.1.3 Nykyisen rakenteen ongelmat	30
3.1.4 Tarkasteltavat ohutlevyrakenteet	31
3.2 Valmistettavuuden analysointi	32
3.3 Rakenteiden optimointi	36
4 TULOSTEN ANALYSOINTI	40
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	42
LÄHTEET	44

SYMBOLILUETTELO

b	Loveuksen leveys [mm]
D	Hitsin halkaisija [mm]
d	Reiän halkaisija [mm]
h	Laippakorkeus [mm]
r_s	Sisäpuolen taivutussäde [mm]
R_m	Materiaalin murtolujuus [MPa]
t	Työkappaleen paksuus [mm]
X_1, X_2	Minimietäisyys taivutuskohdasta [mm] Pistehitsin leikkauslujuus [MPa]

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan hammaslääkärin hoitokoneen nostomekanismin verhoiluosia. Työssä käsiteltävän mekanismin verhoiluosat ovat ohutlevyistä valmistettuja kotelo- ja kuorirakenteita, joiden valmistusprosessi koostuu useista työvaiheista.

Kirjallisuuskatsauksessa kartoitetaan ohutlevytuotteen suunnittelun ja valmistuksen eri työvaiheissa huomioitavia ilmiöitä. Tarkastelussa huomioidaan eri materiaalivaihtoehtojen ja valmistusalalla yleisesti käytettyjen valmistusmenetelmien asettamat rajoitukset. Työssä kartoitetaan myös ohutlevytuotteen johdonmukaisen suunnitteluprosessin periaatteita. Työssä keskitytään erityisesti suunnittelun ja valmistuksen näkökulmista tuotteen laatua ja valmistettavuutta parantaviin ratkaisuihin. Työssä esitellään kirjallisuuskatsauksen löydösten perusteella erilaisia laitteen tuotanto- ja suunnitteluprosessissa merkillepantavia asioita. Löydösten pohjalta parannellaan työssä tarkasteltavan nostomekanismin ohutlevyosia.

Tarkasteltava mekanismi on potilastuolin nivelsuunniksmekanismilla toimiva jalka, jonka asentoa hammaslääkäri voi säädellä hoitoyksikön käyttöliittymän kautta. Voimansiirron mekaniikka mahdollistaa potilastuolin korkeuden portaattoman säädön potilaan ollessa kyydissä.

1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelman asettaminen

Työn tavoitteena on parantaa tarkasteltavan mekanismin valmistettavuutta ja laatua kartoittamalla erilaisia ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmiä ja ohutlevyjen tuotanto- ja suunnitteluprosessissa huomioitavia ilmiöitä. Toivottavaa kohdeyrityksen puolelta on, että tulosten ja johtopäätösten perusteella laitteeseen voitaisiin tehdä valmistus- sekä käyttäjäystävällisyyttä parantavia muutoksia ja että nämä muutokset voitaisiin ottaa yleisesti käyttöön kyseisen laitteen osien tuotannossa.

Tutkimusongelmana on selvittää, mitä kohderakenteen laatua, toiminnallisuutta ja valmistettavuutta parantavia toimenpiteitä ohutlevyosille voidaan suorittaa ja mitkä löydetyistä vaihtoehdoista tukevat mahdollisimman montaa eri osa-aluetta. Tästä johdettuna tutkimuskysymykset ovat:

- 1) Mitä parannettavaa rakenteissa on?
- 2) Mitä laatua, toiminnallisuutta ja valmistettavuutta parantavia toimenpiteitä voidaan suorittaa?
- 3) Mikä on sopivin valmistusmenetelmä kuhunkin työvaiheeseen?

1.2 Yrityksen esittely

Työn aihe on peräisin Finndent Oy:ltä, kotimaiselta hammaslääkärinlaitteita valmistavalta yritykseltä. Suuri osa 1970-luvulta alalla vaikuttaneen Finndentin tuotteista viedään ulkomaille. Kohdeyritys tekee yhteistyötä monien eri alojen alihankkijoiden kanssa. Laitteiden tuotantoprosessista suunnittelu ja kokoonpano tapahtuvat yrityksen tiloissa.

1.3 Rajaukset

Työssä keskitytään ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmiin. Koska osa tarkasteltavista rakenteista voi olla melko haastavia leikattavaksi perinteisillä menetelmillä ja koska kohdeyrityksen päätoiminen alihankkija käyttää pääsääntöisesti laserleikkausta, tarkastellaan kirjallisuuskatsauksessa leikkausmenetelmistä pelkkää laserleikkausta. Liittämismenetelmien tarkastelusta jätetään ulos liimaaminen, juotto sekä kiinnikkeettömät liitokset puristusliitosta lukuun ottamatta. Hitsausmenetelmistä tarkastellaan usein ohutlevyille sovellettavaa vastushitsausta sekä MIG/MAG- ja TIG -hitsausmenetelmiä. Tutkittaviin ohutlevyosiin ei normaalitilanteessa kohdistu merkittäviä voimia, joten lujoustarkastelu on jätetty tämän työn ulkopuolelle. Rakenteiden muodoista johtuen tarkastelun pääpaino on kohdistettu särmäyksen ja suunnittelun näkökulmiin.

2 VALMISTUSMENETELMÄT JA SUUNNITTELU

2.1 Laserleikkaus

Laserleikkaamalla saadaan tuotettua mittatarkkoja kappaleita hyvällä leikkausjäljen laadulla. Laserilla saadaan leikattua ohutlevytuotteita nopeasti ja kustannustehokkaasti. Laserleikkaus mahdollistaa monimutkaisten ja yksityiskohtaisten muotojen leikkaamisen. Myös tuotteen rakenteeseen ja muotoon tehtävät muutokset on helppo toteuttaa laserleikkauksella. Laserleikkaus on kustannustehokas vaihtoehto myös silloin, kun tuotetta valmistetaan pienemmissä sarjakoissa. (Laserkeskus, 2018)

Laserleikkauksessa poistettava materiaali sulatetaan tai höyrystetään lasersäteen avulla leikkauskaasun puhaltaessa ylimääräisen materiaalin pois leikkausrailosta. Laserleikkausmenetelmiä ovat laserpolttoleikkaus, sulattava laserleikkaus, höyrystävä laserleikkaus sekä näiden yhdistelmät. Yleisin laserleikkauksessa käytetty lasertyyppi on CO²-laser; noin 70 % leikkaukseen käytetyistä lasereista on CO²-tasoleikkaukselasereita. (Matilainen et al. 2010. s. 158-159)

Laserleikkaus muuttaa materiaalin mikrorakennetta railon läheisyydessä, mikä voi alentaa kappaleen väsymiskestävyyttä. Suurin mahdollinen leikattava levynpaksuus riippuu käytettävän laserin tehosta ja leikkausnopeudesta. Taulukosta 1 nähdään eri materiaalien maksimipaksuuksia laserleikkaukselle. Niukkaseosteisilla teräksillä maksimipaksuus voi olla jopa 20-25 mm, joten levynpaksuus ei teräsohutlevyjen leikkaamista tarkastellessa todennäköisesti ole rajoittava tekijä. Laserpolttoleikkauksessa ongelmia tuottavat terävät kulmat, pienet reiät sekä muut kapeat muodot, jotka voivat olla vaarassa sulaa. (Matilainen et al. 2010. s. 159, 162-164)

Taulukko 1. Maksimipaksuuksia laserleikkaukselle (Mukaiillen Matilainen et al. 2010, s. 164).

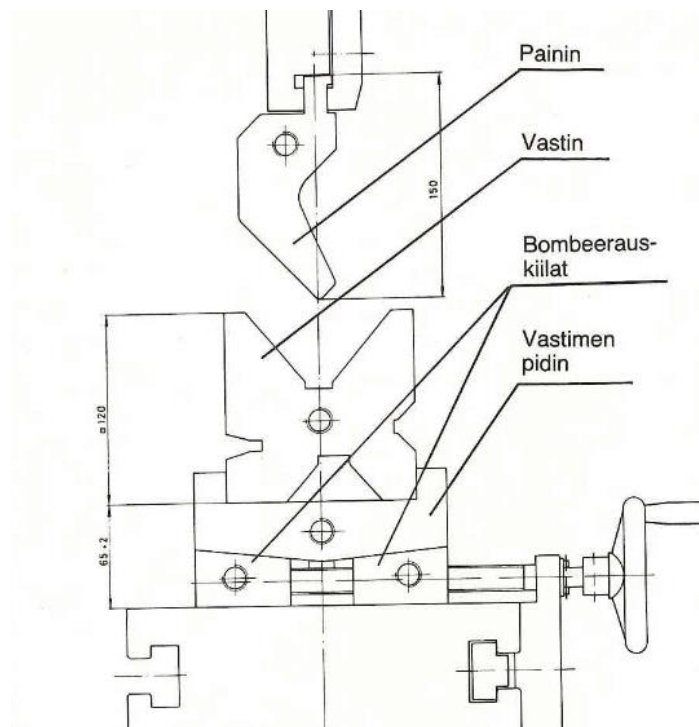
Materiaali	Max. paksuus [mm]
Teräs	12-25
Ruostumaton teräs	12-20
Alumiini	6-10

2.2 Särmäys

Ohutlevy tuotteet saavat kolmiulotteisen muotonsa särmäyksessä. Särmäessä ohutlevykappale asetetaan kiinni takavasteelle, joka paikoittaa kappaleen ja varmistaa että taivutus tulee oikeaan kohtaan. Levyn paikoittamisen jälkeen ala- ja ylätyökalut taivuttavat levyn haluttuun kulmaan. Ala- ja ylätyökalut sekä taivuttamiseen käytetty voima valitaan halutun taivutussäteen mukaan. Taivutussäteellä tarkoitetaan taivutetun levyn sisäreunan sädettä. Kun levyyn tehdään useita särmäyksiä, suunnittelee yleensä särmäyskoneen käyttäjä työjärjestyksen, jossa särmäykset suoritetaan. Useimmat konepajojen käyttämät särmäyskoneet sisältävät valmiita ohjelmia eri materiaaleille ja materiaali-paksuuksille.

Taivuttaminen särmäyspuristimella

Särmäyspuristin on yleisin metallien taivuttamiseen käytetty laite. Se on käytännöllinen erityisesti levytöitä tekevillä konepajoilla, koska sillä voidaan suorittaa myös levyjen lävistäminen. Särmäyspuristimella voidaan suorittaa useita erilaisia taivutuksia ja lävistyksiä erilaisten siihen tarjolla olevien työkalujen ansiosta. Särmäyspuristimen yleisimmät taivutustyökalut on esitetty kuvassa 1.



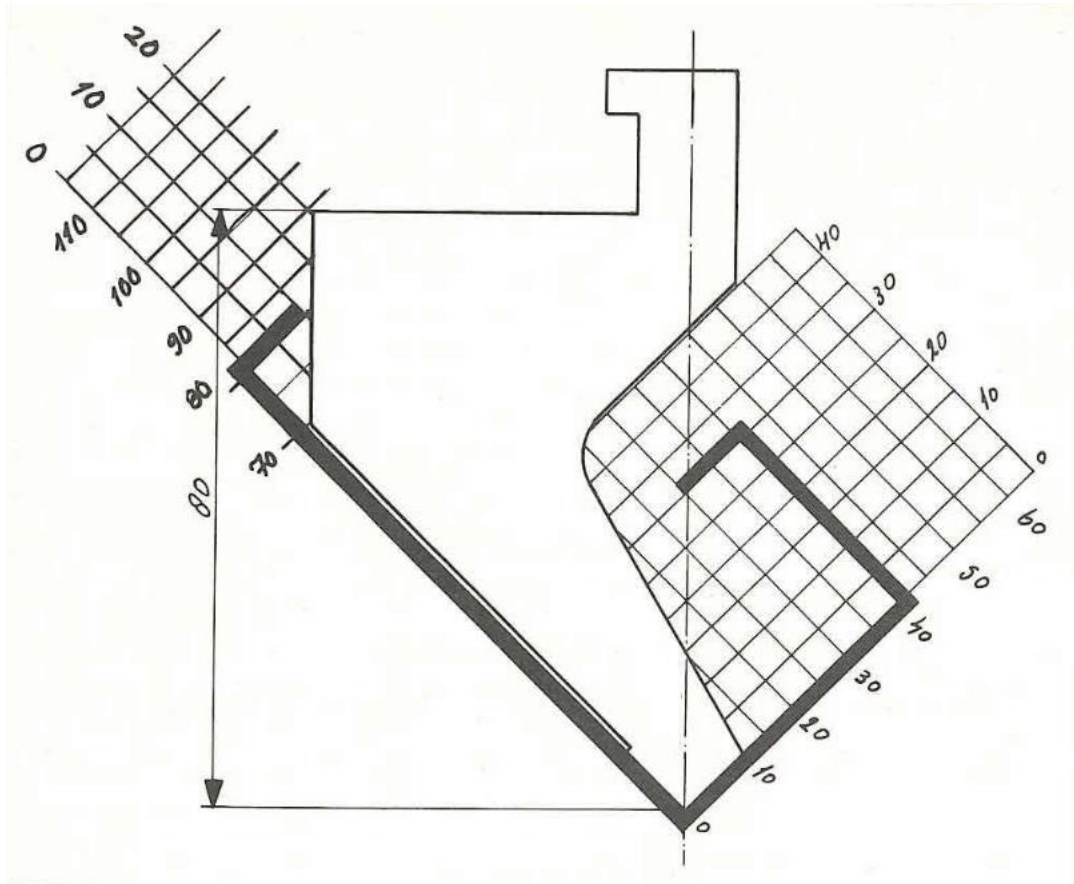
Kuva 1. Särmäyspuristimen taivutustyökaluja (Karppinen 1986 s. 19).

Valtaosa nykyään käytettävistä särmäyspuristimista on hydraulisia parempien ohjausominaisuuksien vuoksi. Ylätoimisessa särmäyspuristimessa levyä taivuttavan iskun suorittaa koneen yläpalkki, alatoimisessa alapalkki. Hydraulisten särmäyspuristimien puristusvoimat vaihtelevat 100-30 000 kN ja työleveydet 1-6 m välillä. Lähes portaattomasti säädettävän työiskun ansiosta painin saadaan siirrettyä nopeasti lähelle levyä ja takaisin valmiusasemaan. Työiskua lukuun ottamatta hydraulisen särmäyspuristimen liikkeet voi siis suorittaa suhteellisen nopeasti. (Karppinen, 1986, s. 17-18)

Suurimmassa osassa nykyisistä särmäyspuristimista on NC-ohjaus, eli ne ovat numeerisesti ohjattuja. NC-ohjatun työstökoneen liikkeet perustuvat ohjelmaan, joka käsittelee välimatkoja numeromuodossa ja suorittaa liikkeensä automaattisesti. (Pikkarainen & Mustonen, 2010, s. 11)

NC-ohjaus mahdollistaa särmäyspuristimen käytön osittaisen automatisoinnin. Särmäyspuristimeen voidaan ohjelmoida erilaisten kappaleiden työvaiheita. Tämä mahdollistaa sen, että kappaleisiin saadaan tehtyä halutut särmäykset yhdellä työstökerralla ilman välivarastointia. Välivarastoinnin eliminointi särmäysprosessista nopeuttaa ohutlevy tuotteiden valmistusprosessia huomattavasti, kun puristin asemoi työkalut itsestään seuraavan iskun vaatimaan asentoon joka työiskun jälkeen. Numeerinen ohjaus yksinkertaistaa särmäysprosessia ja parantaa sekä pienien että keskisuurien sarjojen valmistusystävällisyyttä, sillä koneeseen tallennetun kappaleen työstöohjelman voi nopeasti ladata koneen muistista. NC-ohjatusta särmäyspuristimesta löytyy työkalutiedostoja, jotka kertovat koneelle työkalujen geometriset muodot. (Karppinen, 1986, s. 21-22)

Oikean työkalun valitseminen ja sen rajoitteiden tietäminen on tärkeää särmäyspuristinta käyttäessä ja valmistettavia osia suunniteltaessa. Painimen muodon tulee olla sellainen, että työisku ei aiheuta levyille muita muodonmuutoksia kuin halutun taivutuksen. Esimerkiksi silloin kun levyn laidoissa on jo aiempia taivutuksia, voidaan tarvita paininta, joka on muodoltaan sellainen, että sillä voidaan suorittaa särmääminen ilman että aiemmat taivutukset ovat tiellä. Erilaisista työkalu- ja taivutusluetteloista on hyvä varmistaa, sopiiko työkalu kyseisen tuotteen valmistamiseen. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki työkalun taivutusrajoituksista. (Karppinen, 1986, s. 18-19)



Kuva 2. Työkalun taivutusrajoitukset (Karppinen 1986. s. 20).

Särmäyspuristimella takaisinjousto voidaan eliminoida iskun pituutta säätelemällä, kun levy on vapaassa puristuksessa (Karppinen, 1986, s. 14).

Särmätessä levyn sisäpinnalla tapahtuu tyssäntymistä ja ulkopinnalla venymistä. Neutraalitaso on alue levyn poikkileikkauksessa, jolla ei tapahdu venymistä tai puristumista. Neutraalitasen sijoittumiselle eri paksuisille ohutlevyille pätee seuraava nyrkkisääntö: Pienellä taivutussäteellä neutraalitaso on lähellä sisäpintaa levyn paksuuden ollessa 0,1-1 mm. Yli 1 mm paksuisilla levyillä neutraalitaso on 1/3 levyvahvuuden päästä sisäpinnasta, kun taivutussäde on pienempi kuin 5 x levyvahvuus s . Kun levyvahvuus on yli 1 mm ja taivutussäde suurempi kuin 5 x s , sijoittuu neutraalitaso puoliväliin levyn poikkileikkausta. (Piiroinen 2013, s. 26)

2.3 Ohutlevyjen hitsausliitokset

Tässä osiossa esitellään hitsausprosessit pääpiirteittäin ja käydään läpi, miten ne soveltuvat ohutlevytuotteiden valmistamiseen ja mitä rajoitteita ne asettavat. Hitsattavan rakenteen käyttötarkoitus ja siihen kohdistuvat kuormitukset määrittävät hitsiliitokselle asetettavat mitoitus- ja laatuksiteerit.

Hitsausliitokset jaetaan ryhmiin niihin kohdistuvan kuormituksen perusteella:

Voimaliitos

Voimaliitos kantaa olennaisia rakenteeseen kohdistuvia kuormituksia ja estää rakenteen hajoamisen. Voimaliitokset mitoitetaan yleensä primaarisen staattisen maksimikuorman mukaan ympäröivän rakenteen lujuutta myötäillen. Voimaliitoksessa yhteen liitettävät kappaleet liitetään sarjaan. (Matilainen et al. 2010. s. 110)

Kiinnitysliitos

Kiinnitysliitoksia käytetään yleensä valmistettaessa erilaisia poikkileikkausprofiileja, joissa hitsit ovat suhteellisen pitkiä ja niihin kohdistuu pituussuuntaisia leikkausjännityksiä. Kiinnitysliitokset estävät rakenteen osien liukumista toistensa suhteen. Koska hitsit ovat useimmiten pitkiä, ei hitsejä kannata mitoittaa yhtä lujaksi kuin ympäröivää rakennetta. (Matilainen et al. 2010. s. 110)

Sideliitos

Sideliitokseen kohdistuu sekundaarisia rasituksia esimerkiksi rakenteen muuttaessa muotoa kuormitustilanteessa. Kun tarkkaa liitokseen kohdistuvan voiman suuruutta ei tiedetä, voidaan sideliitoksen mitoittamisessa käyttää 2 % aksiaalivoimasta. (Matilainen et al. 2010. s. 110-111)

Varusteluliitos

Varusteluliitoksia ovat rakenteeseen lisättävien varusteiden kiinnittämiseen käytettävät liitokset. Varusteluliitoksilla ei ole suurta merkitystä rakenteen koossapysymisen kannalta, mutta on huomioitava, ettei hitsiä ole sijoitettu niin että se aiheuttaisi rakenteen vaurioitumisen väsyttävässä kuormitustilanteessa. (Matilainen et al. 2010. s. 111)

2.3.1 MIG/MAG

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausmenetelmä, jossa hitsattavan kappaleen ja lisäainelangan välille syntyvä valokaari saa lisäainelangan sulamaan. Valokaaren synnyttämiseen vaadittava sähkövirta tuodaan virtalähteestä hitsauspistoolin kosketinsuuttimeen, jonka kautta se siirtyy lisäainelankaan. Suojakaasulla suojataan hitsialuetta ympäröivältä ilmalta. MIG/MAG-hitsausprosessi on useimmiten osittain mekanisoitua, ja se on helppo myös automatisoida

MIG-hitsauksessa käytetään inerttiä suojakaasua, joka ei reagoi sulan metallin sisältämien aineiden kanssa. Inerttejä suojakaasuja ovat esimerkiksi argon ja helium. MAG-hitsauksessa käytetään sulan metallin kanssa reagoivaa kaasua, esimerkiksi hiilidioksidia tai hiilidioksidin ja argonin seosta. Jalommat ja seostetut materiaalit vaativat inerttisempiä suojakaasuja. Molemmat prosessit ovat käytettävän suojakaasun koostumusta lukuun ottamatta pääpiirteittäin samat. MAG-hitsaus soveltuu paremmin teräksien hitsaamiseen, MIG-hitsaus taas toimii paremmin ei-rautametalleille - esimerkiksi alumiinille. (Lukkari, 2002. s. 159, 173, 175)

Edut ja Rajoitteet

Suuri osa MIG/MAG-hitsauksen hyvistä puolista liittyy sen lisäaineeseen ja hitsausparametrien säädettävyyteen. Jatkuva lisäainelangan syöttö vähentää hitsausprosessin katkoksia, tekee prosessin mekanisoinnista helppoa ja lisää tuottavuutta. Lisäksi lisäaine ei muodosta kuonaa ja on edullista. Hitsausparametrien säätömahdollisuuden ansiosta yhtä lankakokoa voidaan käyttää laajalla virta-alueella, ja tunkeuman suuruuteen pystytään vaikuttamaan virran säädön avulla. Hitsausarvojen säätäminen mahdollistaa myös eri asennoissa hitsaamisen. MIG/MAG-hitsauksen haittapuolet liittyvät sen monimutkaisuuteen. Esimerkiksi puikkohitsauslaitteistoon verrattuna MIG/MAG-laitteistoa on vaikeampi säätää, se vaatii enemmän huoltoa ja on hankalampi liikuteltava. MIG/MAG-prosessi on myös arka vetoisille olosuhteille. (Lukkari, 2002. s. 176-177)

Hitsausasento

Hitsausasento vaikuttaa hitsin muotoutumiseen ja tunkeumaan, sillä hitsisulaan kohdistuu lisäainelangan suuntainen kaaripaine. (Lukkari, 2002. s. 222) Pystyhitsauksessa ohutlevyille suositeltu hitsaustekniikka on ylhäältä alaspäin, koska silloin lämmöntuonti kappaleeseen on hillittyä ja saadaan aikaan hyvän näköinen sauma. Kun ohutlevyille tehdään jalko- ja

vaakahitsejä, on suositeltavaa, että hitsauspistoolia kuljetetaan työntämällä levyn puhkipalamisen riskin minimoimiseksi. Työntävä liike ja pystyasento tuottavat pienemmän tunkeuman ja matalamman hitsikuvun, joista on hyötyä erityisesti ohutlevytuotteita hitsatessa. (AGA, 2014, s. 16 & 20)

2.3.2 TIG

TIG- eli volframi-inerttikaasukaarihitsaus toteutetaan synnyttämällä valokaari volframielektrodin ja hitsattavan kappaleen välille suojakaasun ympäröidessä prosessia. Prosessissa käytetään inerttiä eli reagoimatonta suojakaasua. TIG-hitsaus suoritetaan usein käsin niin, että toisella kädellä kuljetetaan elektrodia ja toisella syötetään lisäainelankaa. Prosessi on myös helppo mekanisoida syöttämällä lisäaineen kelalta ja kiinnittämällä elektrodin kuljettimeen. Hitsata voi lisäaineella tai ilman. (Nuutinen et Al. 1999, s. 81)

Käyttämällä sopivaa suojakaasua ja parametreja TIG-hitsauksella saadaan pinnanlaadultaan hyviä, korkealaatuisia liitoksia. Hitsisulaa ja tunkeuman määrää on helppo hallita TIG-hitsauksessa, koska lämmön ja lisäaineen tuonnit ovat erillään. Pulssittamalla TIG-hitsaamalla voidaan ohuita levyjä liittää paksumpiin kappaleisiin. Matalan hitsausvirran ansiosta TIG-hitsaus soveltuu hyvin erityisesti ohuiden kappaleiden liittämiseen. Toisaalta TIG-hitsaus ei sovi suurille ainepaksuuksille sen pienen energiatihedden ja termisen hyötysuhteen vuoksi. (Nuutinen et Al. 1999, s. 82)

Eri materiaalien enimmäispaksuudet TIG-hitsaukselle on esitetty taulukossa 2. TIG-hitsaus sopii parhaiten alle 4 millimetrin paksuisille työkappaleille, sillä paksumpia kappaleita liittäessä suojakaasua kuluu enemmän ja prosessin tuottavuus laskee työnopeuden hidastuessa (MTS 2014.). Työkappale ja lisäainelanka on puhdistettava hyvin ennen hitsaamista, sillä epäpuhtaudet haittaavat TIG-hitsausta. (Nuutinen et Al. 1999, s. 82)

Taulukko 2. Eri materiaalien maksimipaksuudet TIG-hitsaukselle (Mukaiillen MTS 2014).

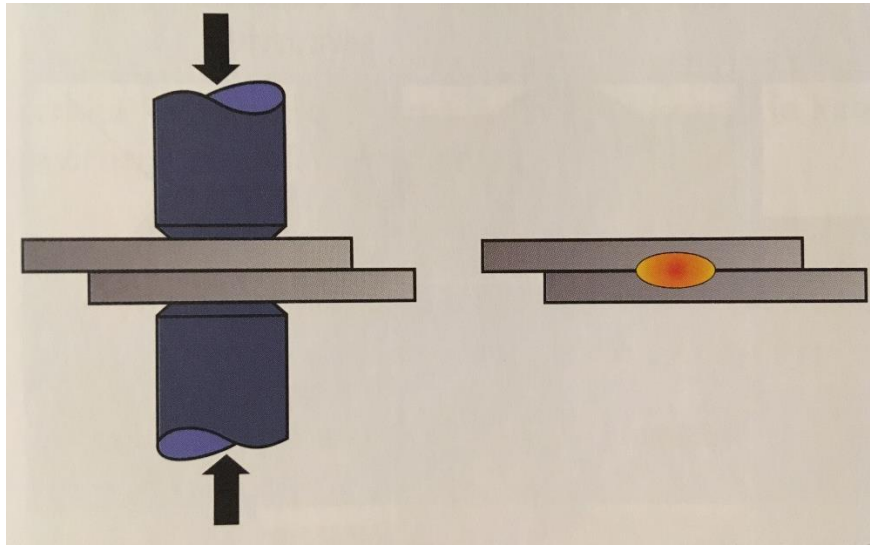
<i>Materiaali</i>	<i>Max. paksuus [mm]</i>
Kupariseokset ja tulenkestävät materiaalit	3
Niukkaseosteiset, ruostumattomat ja hiiliteräkset sekä magnesium ja nikkelseokset	6
Alumiini ja titaaniseokset	15

2.3.3 Vastushitsaus

Yleisimmin ohutlevyjen liittämiseen käytetty vastushitsaus on tuotannollisesti tehokas hitsausmenetelmä. Menetelmässä liitettävien työkappaleiden lävitse johdettu korkea sähkövirta tuottaa hitsisulan yhteen puristettujen työkappaleiden toimiessa vastuksena. Virta tuodaan yhteen liitettävien kappaleiden pinnoille elektrodeilla, jotka suorittavat myös työkappaleiden yhteen puristamisen. Hitsien syntymisen jälkeen elektrodit suorittavat vielä jälkipuristuksen, jonka aikana hitsi jäähtyy. Hitsausvirran suuruus ja vaikutusaika riippuvat hitsattavan materiaalin lämmönjohtokyvystä. Hitsausvirran vaikutusaikaa nostettaessa hitsiin syntyvän painuman syvyys kasvaa, elektrodit kuluvat nopeammin ja jäähtyminen tapahtuu hitaammin. Jäähtymisen hidastuminen vaatii pidemmän jälkipuristusajan. Hankalasti hitsattavat materiaalit ja suuret ainepaksuudet voivat edellyttää hitsauksen pulssitusta. Matalalla virralla toteutetut liitokset saattavat vaatia esi- sekä jälkilämpökäsittelyjä. Hitsausvirran pulssituksella prosessiin tuotava energia saadaan keskitettyä tehokkaammin liitoskohtaan. (Nuutinen et al., 1999, s. 67, 69)

Pistehitsaus

Pistehitsauksessa tuotetaan nimensä mukaisesti pistemäisiä liitoksia. Molemmilla puolilla liitettäviä kappaleita olevat elektrodit tekevät puristusliikkeen ja tuottavat hitsin 4-20 kA virralla. Kun yhdellä työiskulla tuotetaan useita pistehitsejä, puhutaan sarjapistehitsauksesta. Pistehitsaus on nopea, taloudellinen ja mittatarkka liitosmenetelmä. Pistehitsin toteuttaminen on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Pistehitsin toteutus (Matilainen et al. 2010. s. 284).

Pienin hyväksytty pistehitsin halkaisija määritellään yhtälön 1 mukaan. Sekä piste- että kiekkohitsauksessa käytetyn tasakärkisen elektrodin halkaisija taas määräytyy yhtälön 2 mukaan. Pistehitsit kestävät niihin kohdistuvia leikkausvoimia paremmin kuin suoraa vetoa. Pistehitsin leikkauslujuus voidaan laskea yhtälöllä 3. (Nuutinen et al., 1999, s. 69, 71, 75-76)

$$D = 3,5 * t^{0,5} \quad (1)$$

$$D = 5 * t^{0,5} \quad (2)$$

$$= 2,6 * DR_m \quad (3)$$

Joissa t = työkappaleen paksuus [mm], D = hitsin halkaisija [mm], R_m = pistehitsin leikkauslujuus [MPa] ja

R_m = materiaalin murtolujuus [MPa].

Kiekkohitsaus

Kiekkohitsaus muistuttaa elektrodeja lukuun ottamatta paljon pistehitsausta; laitteistot ovat samankaltaiset. Kiekkohitsauksessa elektrodeina toimivat kiekot, jotka puristavat työkappaletta sen molemmilta puolilta. Kiekkohitsaus tuottaa tiivistä, jatkuvaa hitsiä, mutta sillä voidaan tuottaa myös pistehitsejä vakioetäisyyden päähän toisistaan. Käytetyn

elektrodikiekkon otsapinnan halkaisija riippuu halutusta hitsin leveydestä, ja on yleensä noin 1,25-kertainen hitsin leveyteen verrattuna. Kuten pistehitsauksessakin, tasaisen kiekon otsapinnan leveys määrittyy liitettävien kappaleiden mukaan. (Nuutinen et al., 1999, s. 70)

Käsnähitsaus

Hyvin eripaksuisien ja pinnoitettujen ohutlevyjen yhteen liittämiseen soveltuu hyvin käsnähitsaus. Käsnähitsaus vaatii, että kappaleeseen on tehty käsnät, joihin virta kohdistetaan. Elektrodi on kosketuksissa työkappaleeseen laajalla pinta-alalla, mikä vähentää kappaleen lämpenemistä ja aiheuttaa vain vähän muutoksia työkappaleen pinnalle. Käsnähitsausta on suositeltavaa käyttää vain erikoissovelluksissa, sillä käsnien valmistaminen on oma työvaiheensa ja käytetyt elektrodit täytyy usein valmistaa erikseen haluttua liitosta varten riippuen käsnien määrästä ja muodosta. (Nuutinen et al., 1999, s. 69-70)

Vastushitsauksen Edut ja Rajoitteet

Vastushitsaus on tuotannollisesti hyvin tehokas ohutlevyjen hitsausmenetelmä; yhden hitsin työvaiheet kestävät yhteensä noin sekunnin. Laitteisto on yksinkertainen ja hitsaustapahtuma helposti hallittava. Suuri vastushitsauksen etu on myös, että se soveltuu monien eri materiaalien ja yleisimpien metallipinnoitettujen levyjen hitsaukseen. Hitsattava pinta ei yleensä vaadi myöskään esikäsitteilyä. Lämpö vaikuttaa lyhyen ajan pienellä vaikutusalueella, joten lämpölaajeneminen ja muut lämmöntuontiin liittyvät ongelmat ovat vastushitsauksessa vähäisiä muihin hitsausmenetelmiin verrattuna. Koska liitoksilla on hyvä lämpötasapaino ja hitsi ei aiheuta suuria muodonmuutoksia pinnalle, myös jälkikäsitteilyn tarve on usein pieni. Hitsattu pinta on usein suoraan valmis maalattavaksi. Vastushitsaus ei vaadi lisäainetta. (Nuutinen et al., 1999, s. 67, 71)

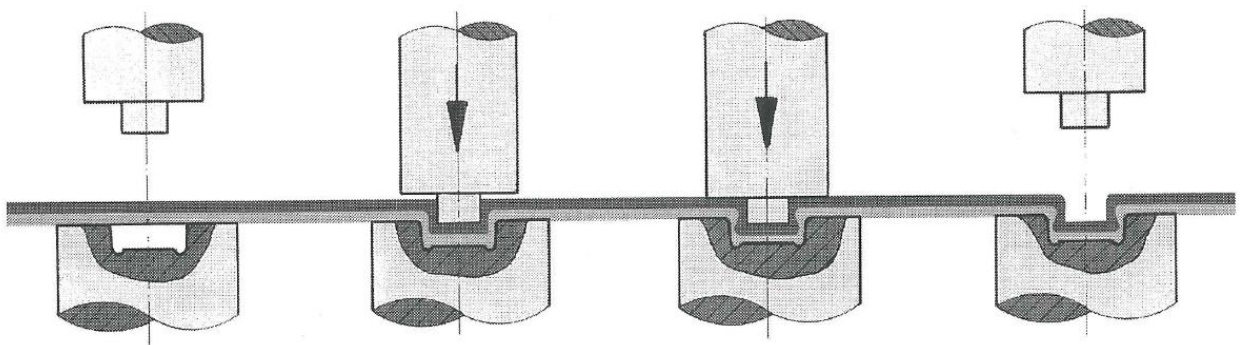
Vastushitsauksessa ongelmana ovat usein hajavirrat. Hajavirtoja syntyy, kun sähkövirta elektrodien välissä kulkee helpointa reittiä, esimerkiksi leikkausreunaan jäänyttä pursetta tai viereistä pistehitsiä, pitkin. Hajavirroista voi olla suurtakin haittaa, sillä ne voivat olla kymmeniä prosentteja hitsausvirran kokonaissuuruudesta. Hajavirtojen vaikutusta voidaan vähentää sijoittamalla pistehitsit tarpeeksi etäälle toisistaan. Alumiini ja kupari ovat terästä haastavampia vastushitsattavia. Mitä matalampi resistiivisyys eli aineen kyky vastustaa sähkövirran kulkua materiaalilla on, sen suuremman sähkövirran hitsaaminen vaatii.

Esimerkiksi ruostumattoman 304 teräksen resistiivisyys on $68,97 \times 10^{-8}$ m, kun taas puhtaan alumiinin $2,826 \times 10^{-8}$ m. (EDTI, 2013).

Myös materiaali, jolla on hyvä lämmönjohtokyky, vaatii suurempaa hitsausvirtaa, koska lämpöä johtuu liitosalueelta pois nopeammin. Alumiinin ja kuparin hyvät lämmönjohtokyvytkin tuovat siis haasteensa vastushitsaamiseen. Sinkkipinnoitteen kappaleen vastushitsaaminen vaatii enemmän parametrien säätämistä ja sillä on kapeampi hitsausalue. Myös oksidikalvo kappaleen pinnalla vaikeuttaa hitsaamista. Jos hitsattava materiaali vaatii suurempaa hitsausvirtaa, voi hitsatessa syntyvien roiskeiden määrä lisääntyä virran kasvaessa. Lujat materiaalit vaativat elektrodeilta suurempaa puristusvoimaa kontaktin saavuttamiseksi, mikä lisää elektrodien kulumista. Materiaaleihin, joilla on alhainen kovuus, jää helposti painaumuksia elektrodeista. (Nuutinen et al., 1999, s. 71, 72, 75)

2.4 Puristusliittäminen

Ohutlevyjen puristusliittämisessä liitettävät levyt puristetaan yhteen pistin- ja tyynytyökaluilla. Levyt puristetaan yhteen ja ne lukittuvat toisiinsa puristustyökalun synnyttämän muodonmuutoksen avulla. Kuvasta 4 nähdään, että työkappaleeseen jää pistimen puolelle painauma ja tyynyn puolelle kumpu. Puristintyökalut ovat yleensä joko pyöreitä tai suorakaiteen muotoisia. (Varis, 1997, s. 3, 9)



Kuva 4. Puristusliitoksen toteuttaminen (Varis 1997, s. 9).

Edut ja rajoitteet

Puristusliittäminen on nopea ja yksinkertainen prosessi, joka ei vaadi lisäainetta tai esivalmisteluja. Puristusliittäminen sopii yleisesti kaikille kylmämuovattaville

materiaaleille. Menetelmä on meluton, eikä se synnytä pölyä tai terveydelle haitallisia kaasuja. Menetelmän lämmöntuonti on pieni, minkä ansiosta työkappaleeseen ei synny lämmön aiheuttamia muodonmuutoksia eivätkä perusmateriaalin ominaisuudet muokkauslujittumista lukuun ottamatta muutu liitosalueella. Puristusliitoksen väsymislujuus on pistehitsiä parempi sen elastisemmän rakenteen ansiosta. Puristusliittämällä voidaan liittää yhteen eripaksuisia levyjä. Myös kolmen tai useamman levyn yhteen liittäminen on mahdollista. Oikein suoritettuna puristusliittämällä voidaan pinnoitettuja levyjä liittää yhteen pinnoitetta rikkomatta, jolloin levy säilyttää korroosiosuojansa. Puristusliitettävien levyjen väliin voi sijoittaa paperia, muovia tai kangasta ja myös metalli-muovi-metalli -liitokset ovat mahdollisia, koska lämpö ei vahingoita matalissa lämpötiloissa sulavia materiaaleja. (Varis, 1997, s. 3, 9-12)

Puristusliitoksen toteuttamista rajoittaa tietyissä tapauksissa kappaleen muoto, sillä liitoskohtaan on päästävä käsiksi molemmilta puolilta. Levyjen yhteispaksuus puristusliittämällä voi olla 0,4-8 mm. Puristusliittäminen ei sovi niin hyvin sovelluksille, joissa tuotteelta edellytetään tasaista pintaa liitokseen syntyvien painaumien ja kumpujen vuoksi. Myös materiaaliominaisuudet asettavat menetelmälle rajoituksia. Suorakaiteen muotoisella työkalulla voidaan liittää materiaaleja, joiden murtovenymä on vähintään 10 % ja myötölujuus maksimissaan 550 N/mm². Pyöreät työkalut vaativat suurempaa murtovenymän arvoa ja alhaisempaa myötölujuutta. Yksi määritelmä on, että jos materiaalia voidaan taivuttaa nollasäteellä 180°, sopii se puristusliitettäväksi. (Varis, 1997, s. 3, 9-12)

2.5 Puristekiinnikkeet

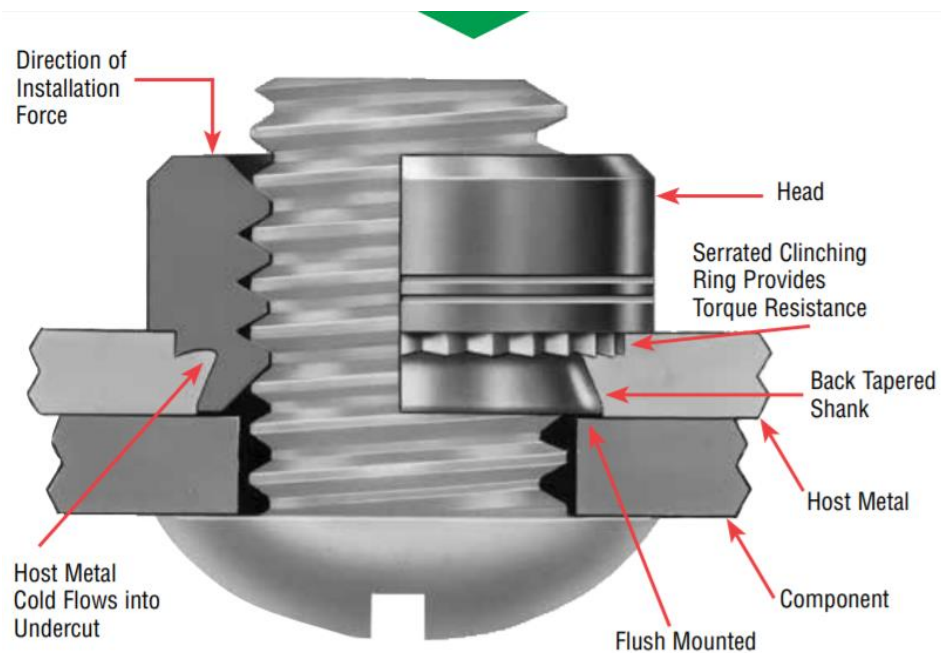
Vuonna 1942 K.A. Swanstrom toi markkinoille uudenlaisen kiinniketyypin, joka oli helppo asentaa ja jolla saatiin tuotettua kierteet sellaisiin metallilevyihin, jotka olivat liian ohuita vetokierteen tekemistä varten. Swanstromin perustaman yrityksen Penn Engineering & Manufacturing valmistamat puristekiinnikkeet alkoivat yleistyä nopeasti, kun teollisuus tarvitsi uusia tapoja erityisen ohuille ja kevyille metallilevyjen kiinnittämiseen. (PEM A, 2018, s. 3)

Nykyään monissa ohutlevytuotteissa käytetäänkin usein erilaisia perusmateriaaliin puristettavia kiinnitystarvikkeita. Yleisimmin käytettyjä tällaisia kiinnitystarvikkeita ovat puristeruuvit ja -mutterit. Puristekiinnikkeiden käyttäminen ohutlevytuotteessa nopeuttaa

lopullisen tuotteen kokoonpanemisprosessia, kun irtonaisia osia on vähemmän. Puristekiinnikkeistä on hyötyä myös osien paikoittamisessa tuotetta kasatessa. Korvaamalla ohutlevytuotteen tavallinen kierre puristemutterilla saadaan enemmän pinta-alaa, johon ruuvi voi tarttua.

Puristekiinnikkeillä saadaan luotua vahvat kierteet jopa 0,20 mm ohuelle levyille ja ne vastustavat hyvin kiinnityskohtaan kohdistuvaa vetoa ja vääntöä. Metallilevyn kääntöpuolella ei tapahdu suurta muodonmuutosta ja se jää asennuksen jälkeen pinnan tasoon. Puristekiinnikkeillä on myös matalat asennuskustannukset ja niiden asentamistyö voidaan automatisoida. (PEM B, 2018)

Asennettavat puristekiinnikkeet vaativat itselleen esireiän. Puristekiinnikkeen esireikä ei vaadi erityistä työstöä ennen asentamista, esimerkiksi viistämistä tai purseenpoistoa (PEM B, 2018). Puristekiinnikkeet asennetaan ohutlevyyn puristamalla esireikään asetettua puristekiinnikettä niin, että kohta, johon kiinnike asennetaan, on tukevasti tuettu levyn takapuolelta. Puristuksessa puristekiinnike syrjäyttää levyn perusmateriaalin esireiän ympärillä. Tämä saa levyn perusmateriaalin kylmämyötämään ja pakottaa perusmateriaalin siirtymään puristekiinnikkeen syvennykseen (PEM A, 2018, s. 4). Puristemutterin asettuminen ohutlevyyn on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Puristemutterin sijoittuminen ohutlevyyn (PEM A, 2018, s. 6).

Puristekiinnikkeessä on sahalaitainen lukitusrengas, joka pureutuu perusmateriaaliin kiinnityskohdan väännönvastutuskykyä lisäten. Jotta perusmateriaali liikkuisi puristekiinnikkeen syvennykseen ja puristusliitos saataisiin luoduksi, on levyn kovuuden oltava puristekiinnikkeen materiaalin kovuuden arvoa matalampi. Puristekiinnikkeiden eri laadullisten osa-alueiden vaatimuksia on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Puristekiinnikkeiden tarkasteltavat laadulliset osa-alueet ja huomioitavia asioita (Mukaiillen PEM A, 2018, s. 8).

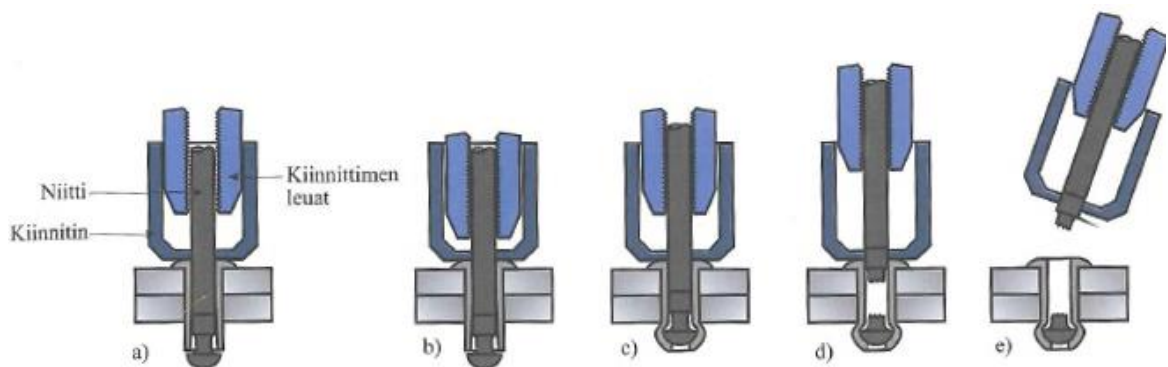
Tarkasteltava muuttuja	Vaatimukset
Mittatoleranssit	<ul style="list-style-type: none"> • Puristekiinnike vaatii tiukat toleranssit suorituskyvyn maksimoimiseksi. • Pieni heitto toleransseissa voi vaikuttaa suuresti kiinnikkeen suorituskykyyn.
Kierteen sopivuus	<ul style="list-style-type: none"> • Kierteen ominaisuudet on eriteltävä tarkasti, mikäli kierretoleranssit vaihtelevat.
Vallitseva vääntömomentti	<ul style="list-style-type: none"> • Osien on täytettävä vaadittavan lukitusmomentin asettamat vaatimukset.
Lämpökäsittely	<ul style="list-style-type: none"> • Sopimaton lämpökäsittely voi tehdä kiinnikkeestä hauraan ja johtaa kiinnikkeen halkeamiseen. • Riittämätön lämpökäsittely voi jättää kiinnikkeet pehmeiksi, jolloin ne tuhoutuvat asennustilanteessa.
Pintakäsittely	<ul style="list-style-type: none"> • Pinnankäsittelyä koskevat standardit määrittävät rajat pinnan esikäsittelylle, pinnoitekerrosten paksuuksille, korroosiosuojaukselle ja muille pintakäsittelyyn liittyville toimenpiteille. • Heikko tai vääränlainen pintakäsittely heikentää lopputuotteen laatua
Suorituskyky	<ul style="list-style-type: none"> • On testattava, vastaavatko kiinnikkeet valmistajan ilmoittamaa suorituskykyä käytetyssä sovelluksessa. • Perus suorituskyvyn testaamisen lisäksi on varmistettava myös, sopivatko kiinnikkeet sovellukseen värinänkestoltaan, kierteiltään ja lämmön- sekä sähkönjohtavuusominaisuuksiltaan.
Laadunvalvonta	<ul style="list-style-type: none"> • On varmistettava, että kiinnikevalmistaja noudattaa ISO 9001 -standardia osissaan.

2.6 Niittaus

Niittiliitos sopii hyvin rakenteisiin, joihin ei voi tehdä hitsiliitosta hitsauksen tuottaman lämmön vuoksi. Niitata voi myös rakenteita, joihin ei voida tehdä puristusliitosta. Vaikka niittaus on yleisintä alumiinirakenteissa, soveltuu se myös muille ohutlevyille. Niitti on parhaimmillaan leikkauskuormitetussa liitoksessa. (Nuutinen, J. et al. 1999, s. 32)

Sokkoniitit

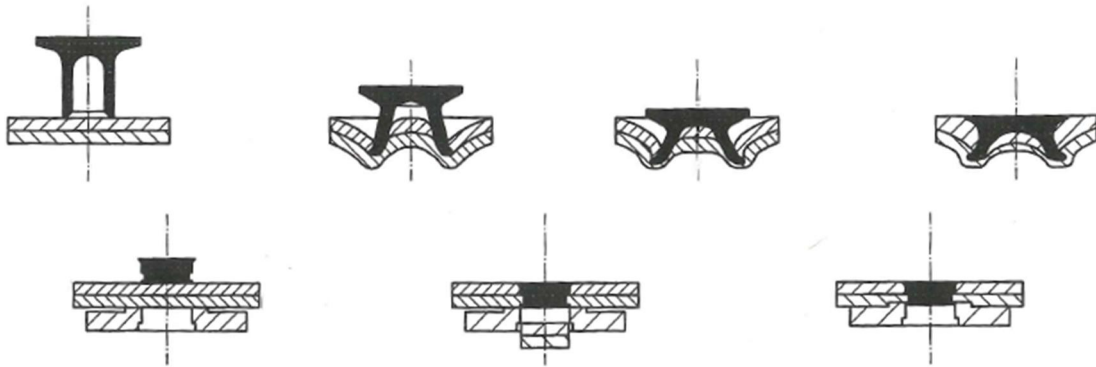
Sokkoniittiliitoksen suuri etu on se, että riittää kun liitoskohtaan päästään käsiksi vain toiselta puolelta. Sokkoniitit soveltuvat 0,5-15 mm ainepaksuuksille. Yleensä sokkoniitti asetetaan sille tehtyyn esireikään, mutta on olemassa myös itseporautuvia sokkoniittejä, jotka eivät vaadi alkureikää. Sokkoniittienliitosten huono puoli on, ettei liitosta voi purkaa sitä hajottamatta. Sokkoniittiliitoksen toteutus esitetty kuvassa 6. (Matilainen et al. 2010. s. 336-337)



Kuva 6. Sokkoniittiliitoksen toteutus (Matilainen et al. 2010. s. 337).

Itselävistävät niitit

Toisin kuin tavalliset sokkoniitit, itselävistävät niitit eivät vaadi alkureikää. Itselävistäviä niittejä on putkimaisia ja levymäisiä. Putkimainen itselävistävä niitti ei tee liitettävään materiaaliin reikää ja sillä on hyvät lujuusominaisuudet, joten se voi olla vaihtoehto pistehitsille. Levymäiset itselävistävät niitit taas tekevät reiän liitettävään materiaaliin. Ontto- ja lävistysniittien asentaminen on esitetty kuvassa 7. (Nuutinen, J. et al. 1999, s. 34)



Kuva 7. Ontto- ja lävistysniitin asennus. (Nuutinen, J. et al. 1999, s. 34).

2.7 Suunnittelu

Ohutlevytuotetta valmistessa ohutlevyn poikkileikkaus, materiaaliominaisuudet ja ainepaksuus muuttuvat paikoittain. Ohutlevyyn syntyy usein muovauksen seurauksena myös jännityksiä. Nämä asiat on huomioitava suunnitteluvaiheessa, sillä niillä voi olla suuri vaikutus lopputuotteen ulkonäköön ja toiminnallisuuteen.

2.7.1 Reiät, lovet, nurkkamuodot ja laipat

Särmättävän ohutlevytuotteen suunnittelussa on otettava huomioon erityisesti reikien ja lovien sijainnit, nurkkamuodot sekä laippojen minimikorkeudet. Reikien ja lovien täytyy sijaita tarpeeksi kaukana taivutuskohdasta, jottei niiden muoto muuttuisi. Vähimmäisetäisyys taivutuskohdasta voidaan määrittää rei'ille yhtälön 4 ja loville yhtälön 5 mukaan. Myös laippakorkeudelle on asetettu minimiarvo, ettei taivutus muovaa liian lähellä sijaitsevan reunan muotoa.

$$X_1 = (d * s)^{0,5} + 0,8r_s(1/d)^{0,5} \quad (4)$$

$$X_2 = (b * s)^{0,5} + 0,8r_s(1/d)^{0,5} \quad (5)$$

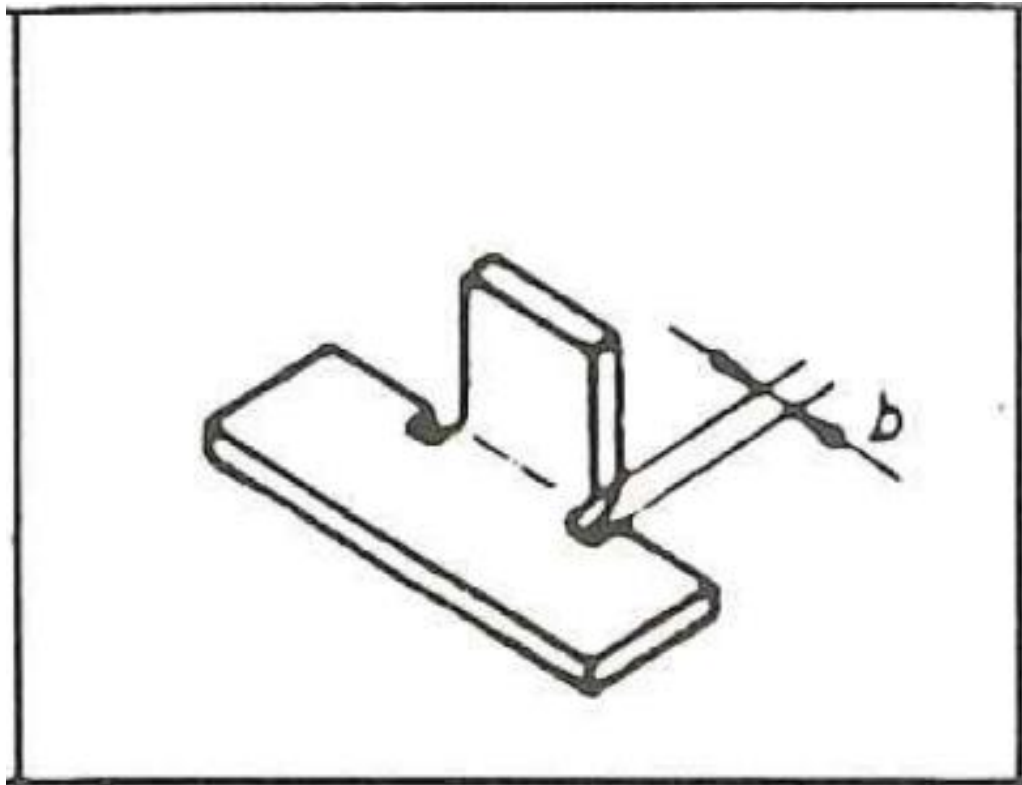
Joissa X_1 , X_2 = minimietäisyys taivutuskohdasta [mm], b = loveuksen leveys [mm], d = reiän halkaisija [mm], r_s = sisäpuolen taivutussäde [mm] ja s = levypaksuus [mm]. Yhtälöt pätevät, kun $s = 0,4-2,5$ mm ja kun d tai $b = 1,5-7,0$ mm.

Myös laippakorkeudelle on asetettu minimiarvo, ettei taivutus muovaa liian lähellä sijaitsevan reunan muotoa. Pienimmän laipan korkeuden likiarvon voi laskea yhtälöllä 6. Särmätessä on vältettävä matalaa taivutusreunaa sekä vinojen reunojen taivuttamista. (Karppinen 1986, s. 42-44)

$$H = r_s + 2s \quad (6)$$

Missä H = laippakorkeus [mm], r_s = sisäpuolen taivutussäde [mm] ja s = levypaksuus [mm].

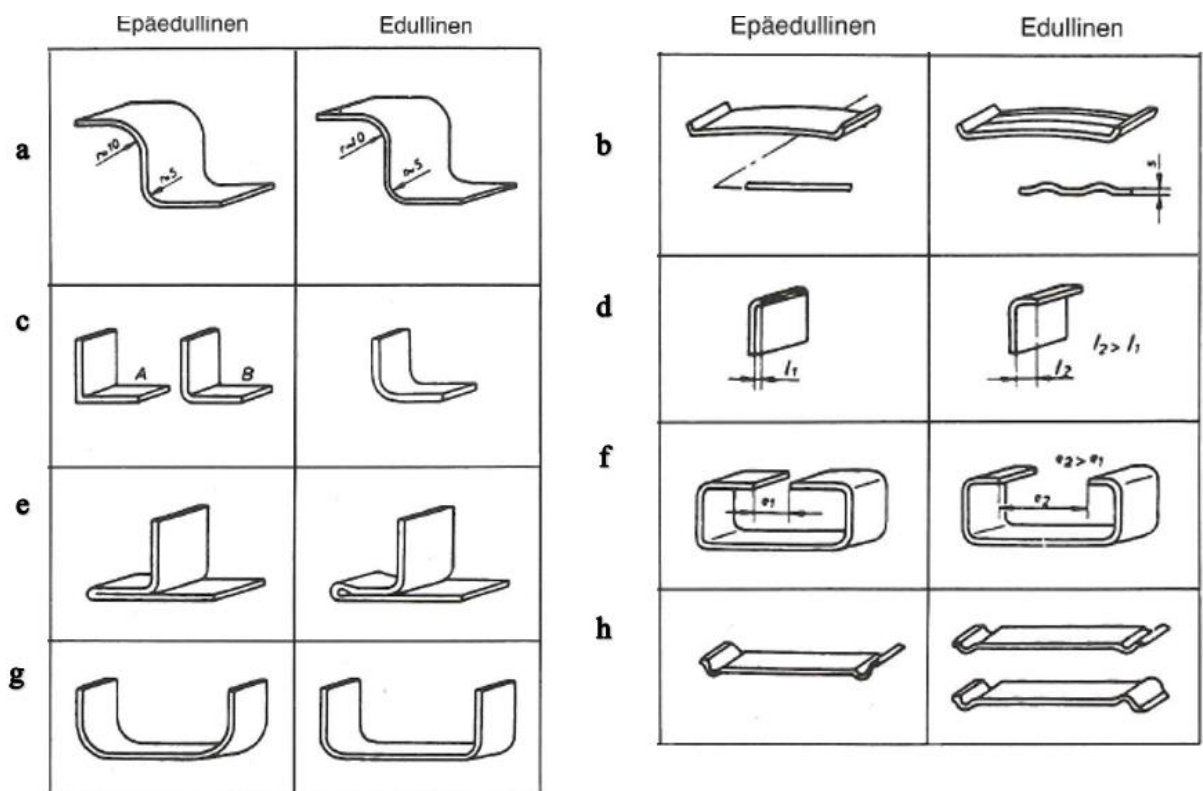
Jos laipan taivutuslinja on samassa linjassa levyn reunan kanssa, on linja katkaistava kuvan 8 mukaisesti, ettei tyssäntymistä ja venymistä taivutusvyöhykkeessä estetä ja ettei synny murtumaa.



Kuva 8. Taitoksen laidoilta poistetaan materiaalia, jottei taivutus vaikuta reunaan. $b = 1,5t$. (Karppinen 1986, s. 43)

Nurkkia taivuttaessa helpoin ratkaisu on valmistaa avonainen nurkka, jota ei tarvitse hitsata. Suljetun nurkan tuottaminen vaatii terävämpiä työkaluja, mutta mahdollistaa kulman

umpeen hitsaamisen. Nurkan rakenteellista kestävyyttä voidaan tarvittaessa lisätä nurkan laippojen muotoilulla, mutta on hyvä pitää mielessä, että jokainen taitos nostaa taivutusten lukumäärää ja sitä kautta kustannuksia. Jos mahdollista, kannattaa taivutussäteet mitoittaa likimääräisesti liian teräviä kulmia välttämällä, sillä tällöin taivutustyö helpottuu ja murtumisvaara pienenee (kuvat 9a & 9c). Liian suurilla taivutussäteillä tulee myös välttää, sillä ne voivat aiheuttaa takaisinjoustoja taivuttaessa (kuva 9g). 180°:n taivutuksissa taivetta ei tule puristaa täysin litteäksi, vaan jättää hieman avoimeksi murtumisen ehkäisemiseksi (kuva 9e). Kotelomaisissa, suljetuissa muodoissa työkalulle on jätettävä tarpeeksi iso aukko, kuten kuvassa 9f on osoitettu. On suositeltavaa suunnitella taivutettavien reunojen profiilit niin, että ne voidaan valmistaa samoilla työkaluilla (kuva 9h). (Karppinen 1986, s.44-45)



Kuva 9. Suositeltuja ja ei-suositeltuja taivutusratkaisuja (Karppinen 1986, s. 45).

Oikaistu pituus

Pienillä taivutussäteillä taivuttaessa on huomioitava levyn pituuden muuttuminen. Pituus muuttuu, kun taivutuskohdan ulkopinnalle kohdistuu vetoa ja sisäpinnalle puristusta. Tämän seurauksena neutraaliakselin paikka siirtyy lähemmäksi sisäpintaa. Ulkopinta ohentuu ja

levyn pituus muuttuu. Yli 50 x t suuruksilla taivutussäteillä neutraaliakselin siirtymistä ei tapahdu. Levyn pituuden muutos huomioidaan laskemalla työstettävälle kappaleelle oikaistu pituus. Oikaistu pituus voidaan laskea yhtälöllä 7. (Karppinen, 1986, s. 14-15)

$$L = a + b \cdot v \quad (7)$$

Missä L = oikaistu pituus, a , b = laippojen pituudet ja v = v -tekijä.

Oikaistun pituuden selvittämiseen tarvittava v -tekijä voidaan laskea taivutuskulmasta riippuen joko yhtälöllä 8 tai 9.

Kun $0^\circ < \alpha < 90^\circ$:

$$v = (1 - \alpha / 180^\circ) \cdot (r + s/2 \cdot k) \cdot 2(r + s) \quad (8)$$

Kun $90^\circ < \alpha < 165^\circ$:

$$v = (1 - \alpha / 180^\circ) \cdot (r + s/2 \cdot k) \cdot 2 \tan(90^\circ - \alpha / 2)(r + s) \quad (9)$$

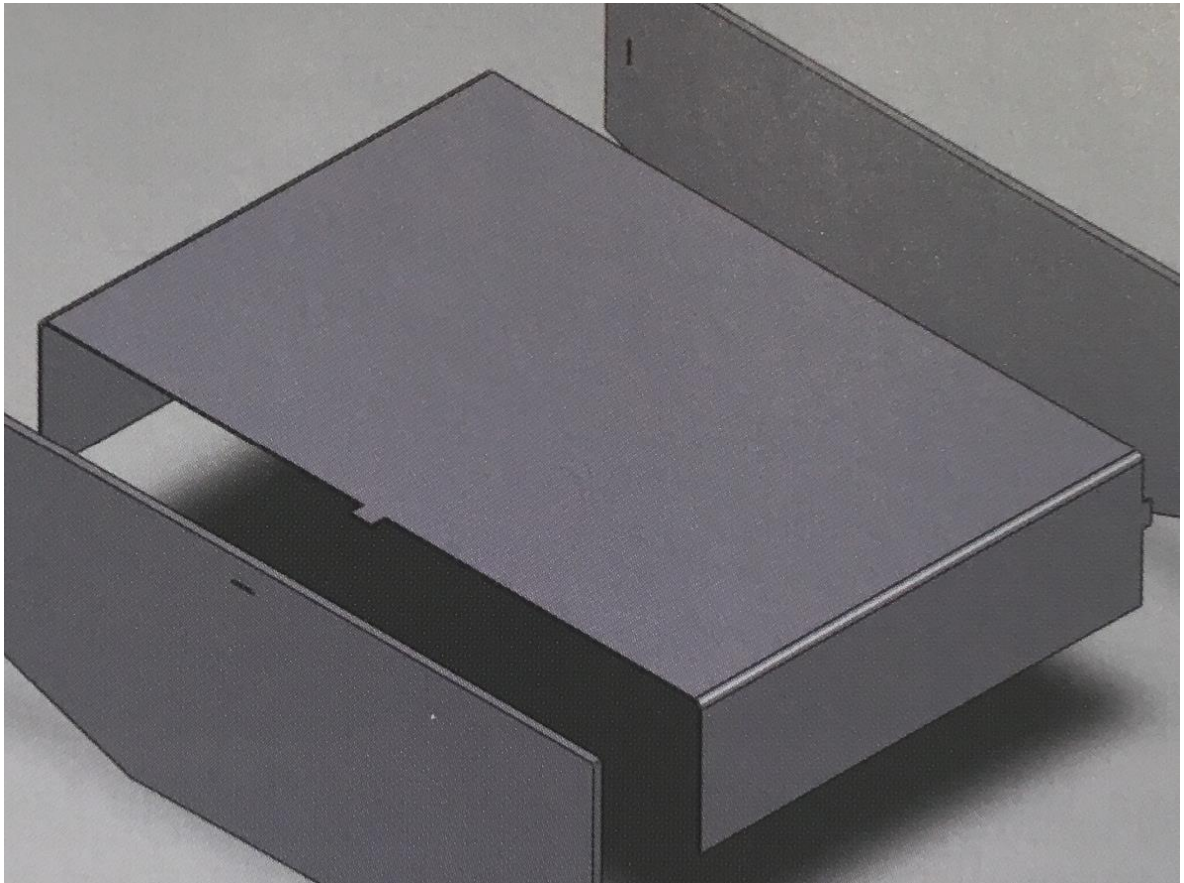
Joissa α = taivutuskulma [$^\circ$], r = taivutussäde [mm], s = levyn paksuus [mm] ja k = k -kerroin.

Oikaistun pituuden selvittämiseen tarvittava v -tekijän arvoja voidaan taulukoida valmiiksi eri taivutuskulmille, taivutussäteille ja levynpaksuuksille. Kaavoissa esiintyvä k -kerroin määritetään r/s -suhteen avulla. Jos tuotteelta vaaditaan erityisen korkea mittatarkkuutta, on taivutuskoe paras tapa tarkan oikaistun pituuden ratkaisemiseksi. (Karppinen, 1986, s. 15)

2.7.2 Laserleikkauksen hyödyntäminen suunnittelussa

Laserleikkaus antaa suunnittelijalle vapaammat kädet erilaisten muotojen piirtämiseen. Laserleikkaus on erilaisten muotojen ja mittojen suhteen muita leikkausmenetelmiä vapaampi menetelmä. Leikkausradalla ei ole merkitystä. Laserilla kaksi samasta aiheesta erilleen leikattua levynpuoliskoa ovat molemmat käyttökelpoisia, mikä ei ole itsestäänselvyys kaikilla leikkausmenetelmillä. Laserilla on helppo tehdä kappaleeseen

erilaisia kohdistusta helpottavia olakkeita ja lovia esimerkiksi kokoonpano- tai hitsausvaihetta helpottamaan (kuva 10). Laserilla voidaan tehdä osiin myös kokoonpanoa helpottavia merkintöjä. (Matilainen et al. 2010. s. 164)



Kuva 10. Levyihin on leikattu muodot paikoittamista helpottamaan (Matilainen et al. 2010. s. 165).

2.8 Yhteenveto

Taulukossa 4 on esitetty kirjallisuuskatsauksessa käsiteltyjen valmistusmenetelmien hyviä ja huonoja puolia. Tutkituista valmistusmenetelmistä osaa sovelletaan rakenteiden optimoinnissa. Rakenteiden analysoinnissa huomioidaan lisäksi myös sellaiset eri menetelmien tarjoamat mahdollisuudet, joita ei taulukkoon ole sisällytetty.

Taulukko 4. Valmistusmenetelmien hyviä ja huonoja puolia.

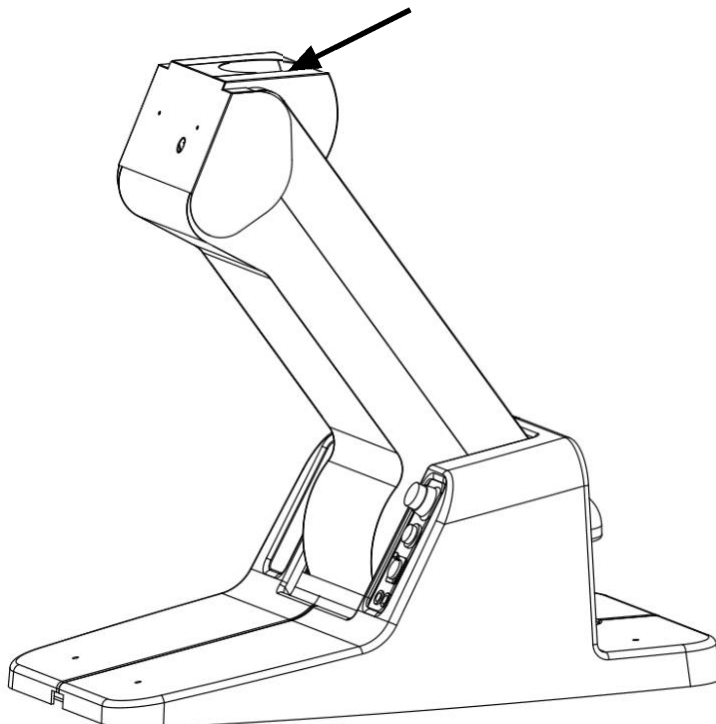
Menetelmä	Hyvät puolet	Huonot puolet
Laserleikkaus	<ul style="list-style-type: none"> • Suhteellisen nopea menetelmä • Monimutkaiset muodot • Kustannustehokas eri sarjakoilla • Keskitetty lämmöntuonti 	<ul style="list-style-type: none"> • Heijastavat materiaalit haastavia • Laitteisto suhteellisen kallis
Taivuttaminen särmäyspuristimella	<ul style="list-style-type: none"> • Työvaiheiden ohjelmoiminen eliminoi välivarastoinnin tarpeen • Pinnoite säilyy usein ehjänä • Ei huomattavaa lämmöntuontia 	<ul style="list-style-type: none"> • Taivutusrajoitukset voivat tulla vastaan ahtaissa muodoissa • Jännityskeskittymät voivat aiheuttaa vaurioita taivuttaessa
MIG/MAG	<ul style="list-style-type: none"> • Suhteellisen halpa laitteisto • Jatkuva lisäaineen syöttö tekee mekanisoinnista helppoa ja lisää tuottavuutta • Parametrien laaja säätöalue 	<ul style="list-style-type: none"> • Arka vetoisille olosuhteille • Vaatii suhteellisen paljon huoltamista • Parametrien säätäminen haastavampaa kuin esimerkiksi puikkolaitteistolla
TIG	<ul style="list-style-type: none"> • Hyviä, pinnanlaadultaan korkeita liitoksia • Hitsisulaa ja tunkeuman määrää helppo hallita • Soveltuu hyvin ohuiden kappaleiden liittämiseen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei sovi suurille ainepaksuuksille (Taulukko 2) • Herkkä epäpuhtauksille • Tuottavuus matala erityisesti suurilla ainepaksuuksilla
Vastushitsaus	<ul style="list-style-type: none"> • Korkea tuottavuus • Taloudellinen • Yksinkertainen laitteisto • Soveltuu monille eri materiaaleille ja metallipinnoitetuille levyille • Pinta ei yleensä vaadi esikäsittelyä, ja jälkikäsittelynkin tarve on pieni • Suhteellisen pieni lämmöntuonti • Ei lisäainetta 	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrodien kuluminen. • Työkappaleeseen on päästävä käsiksi molemmilta puolilta. • Jos materiaali vaatii suurempaa hitsausvirtaa ja vaikutusaikaa, painuman syvyys kasvaa, elektrodit kuluvat nopeammin ja jäähtyminen kestää pidempään.
Puristusliittäminen	<ul style="list-style-type: none"> • Nopea ja yksinkertainen • Sopii monille materiaaleille • Meluton, pölytön ja kaasuvapaa menetelmä • Pieni lämmöntuonti • Pistehitsiä parempi väsymislujuus • Pinnoite ei rikkoudu • Eripaksuisten levyjen liittäminen • Usean päällekkäisen levyn yhteen liittäminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Jättää kappaleeseen painauman ja kuvun • Työkappaleeseen on päästävä käsiksi molemmilta puolilta • Yhteispaksuus max. 8 mm
Puristeikiinnikkeet	<ul style="list-style-type: none"> • Vahvat kierteet ohuille levyille • Vastustavat hyvin vetoa ja vääntöä • Levyn kääntöpuolella ei tapahdu muodonmuutosta • Matalat asentamiskustannukset • Matala lämmöntuonti 	<ul style="list-style-type: none"> • Vaatii esireiän • Ei erittäin koville materiaaleille • Vaatii tiukat toleranssit suorituskyvyn maksimoimiseksi • Työkappaleeseen on päästävä käsiksi molemmilta puolilta
Niittäus	<ul style="list-style-type: none"> • Matala lämmöntuonti • Kestää hyvin leikkauskuormitusta 	<ul style="list-style-type: none"> • Liitosta ei voi purkaa hajottamatta

3 RAKENTEEN VALMISTETTAVUUDEN ANALYYSI JA OPTIMOINTI

Tässä kappaleessa tarkastellaan mekanismin kate rakenteita kirjallisuuskatsauksesta saatujen tietojen avulla. Valmistettavuuden analysoimisen päätarkoitus on rakennetta tarkastelemalla määrittää suuntaa antavat periaatteet ja rajat ohutlevyrakenteiden optimoimista varten. Analysoimisen toinen tarkoitus on valita valmistusmenetelmät, joiden asettamien rajoitusten mukaan osiin tehdään muutoksia. Koska laserleikkaus ja särmäys on asetettu valmistusmenetelmiksi, näitä ei vertailla muihin menetelmiin, ellei jokin erikoistapaus sitä vaadi. Ennen ohutlevyrakenteisiin siirtymistä tarkastellaan itse käyttökohdetta ó nostomekanismia.

3.1 Nostomekanismi

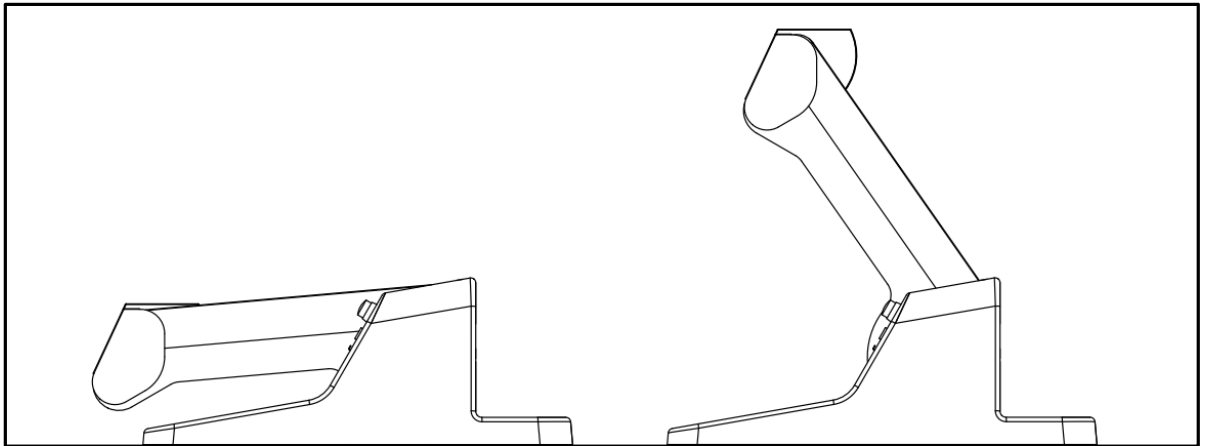
Nostomekanismi kiinnittää potilastuolin hoitotilan lattiaan ja tuo hoitotuolille suuren osan sen rakenteellisesta lujuudesta. Jotta graafiset esitykset olisivat mahdollisimman yksiselitteisiä, esitetään kuvissa vain mekanismin uloimmat kuorirakenteet. Istuinosa sekä osa nostomekanismin komponenteista on jätetty pois kuvista. Riisuttu mekanismi on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Potilastuolin nostomekanismi. Potilastuolin kiinnityskohta on osoitettu nuolella.

3.1.1 Liike

On hammaslääkärin ergonomian kannalta tärkeää, että tuolin korkeudella on laaja säätöalue ja että liikerata on tuolin käyttäjälle edullinen. Tärkeää mekaniikassa on myös tukevuus. Voimansiirron tulee aiheuttaa mahdollisimman vähän tärinää rakenteessa. Mekanismi- ja nivelpisteiden väliä verhoilevien ohutlevyrakenteiden täytyy liikkua sulavasti muun rakenteen mukana. Osien välisten sovitteiden ja kiinnitysratkaisujen on oltava sopivat. Liian suurilla välyksillä osat pääsisivät tärisevästi keskenään, liian pienillä välyksillä osien välille taas muodostuisi kitkavoimia. Ylimääräiset kitkavoimat saattaisivat tehdä mekaniikan liikkeestä katkonaisempaa, aiheuttaa osiin adhesiivista kulumista sekä aiheuttaa kolinaa potilastuolin korkeutta säädettäessä. Mekanismi- ja liikerataa on esitelty kuvassa 12.



Kuva 12. Mekanismi Ala- ja yläasennossa.

3.1.2 Turvallisuus

Sekä potilaan että hoitohenkilökunnan turvallisuus on huomioitava mekaniikan suunnitteluvaiheessa. On erilaisia varomekanismeja varmistettava, ettei potilaalle tai tuolin ympärillä työskenteleville koidu vaaraa missään tilanteessa. Rakenteen verhoilu erottaa mekaniikan toimilaitteet ja voimansiirron rakenteen osat hoitotilasta. Ohutlevy- ja valurakenteet eristävät myös laitteiston ääntä. Kotelarakenteiden sisäpuolella on tunnistimia, joiden avulla potilastuoli tunnistaa mahdolliset vaaratilanteet tuolin korkeutta säädettäessä.

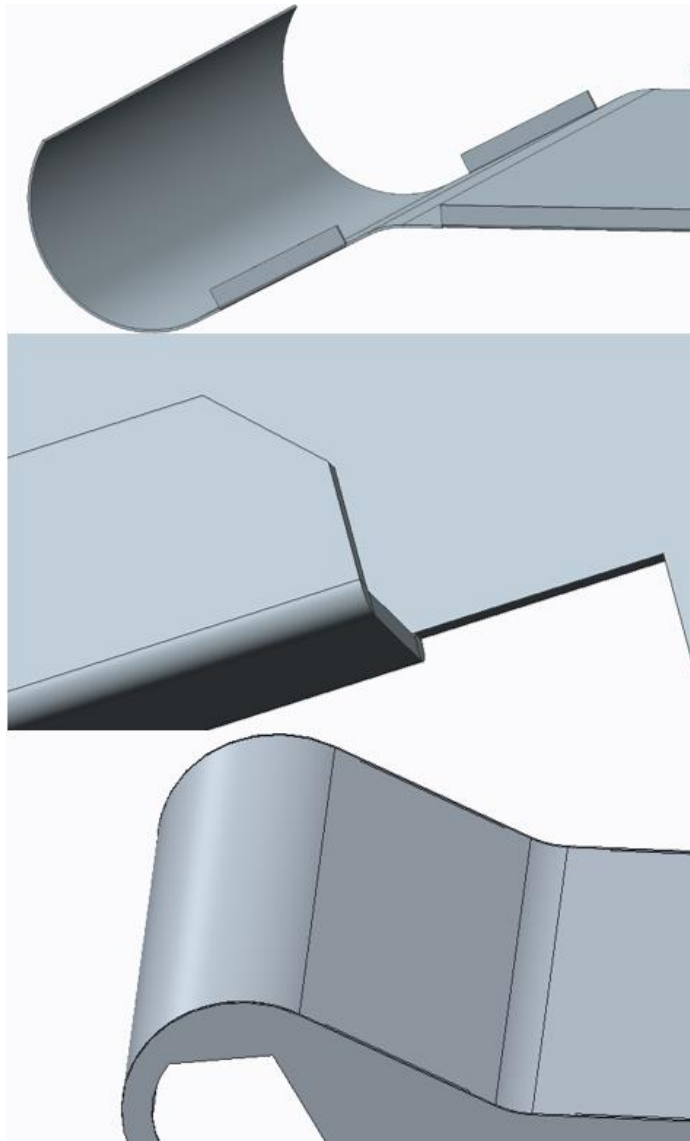
3.1.3 Nykyisen rakenteen ongelmat

Tarkasteltava rakenne on vielä kehitysvaiheessa, joten se ei ole ollut laaja-alaisessa käytössä tai tuotannossa. Näin ollen mahdollisia rakenteeseen liittyviä toiminnallisia ja tuotannollisia

ongelmia ei ole ilmennyt. Rakenne analysoidaan kirjallisuuskatsauksessa tehtyjen löytöjen perusteella nostomekanismin ohutlevyosiin liittyvien ongelmien ennaltaehkäisemiseksi. Havaittuihin ongelmiin pyritään löytämään ratkaisut optimointiosioissa.

3.1.4 Tarkasteltavat ohutlevyrakenteet

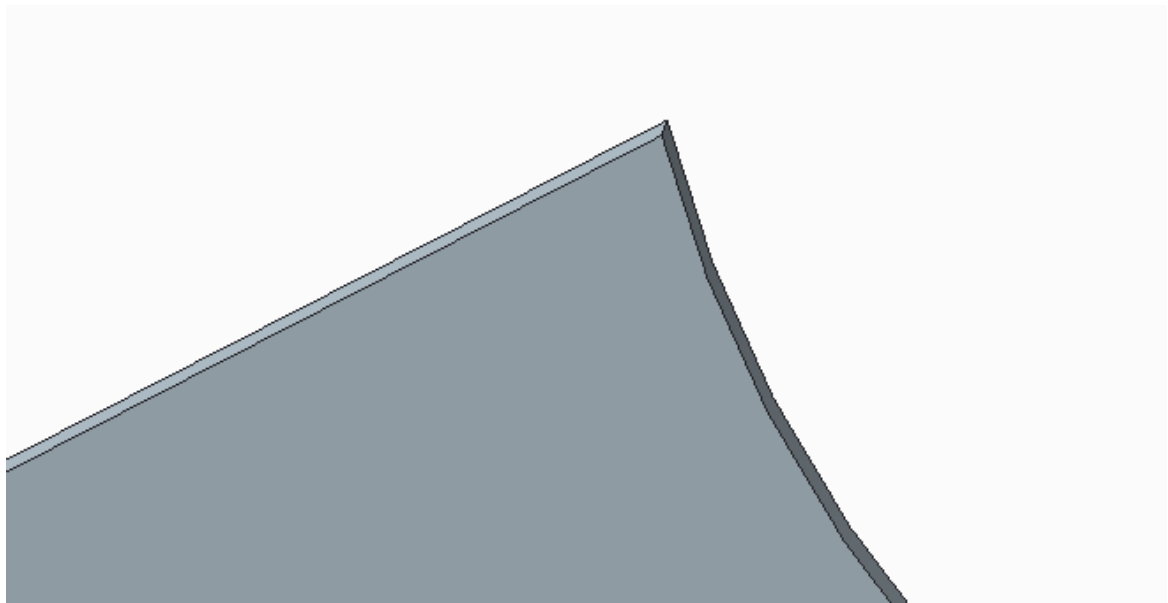
Työssä tarkasteltavat ohutlevyrakenteet ovat mekanismin verhoilupeltejä. Kun ohutlevytuotteet ovat saaneet lopullisen muotonsa, voidaan niille materiaalista, aihion päällysteestä ja osan vaatimuksista riippuen tehdä pintakäsittely, esimerkiksi sinkitys tai maalaus. Koska tarkasteltavat rakenteet ovat näkyvällä alueella, maalipinnan laadun tulee olla erityisen hyvä. Esimerkkejä tarkasteltavista ohutlevytuotteista on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Esimerkkejä katteiden muodoista.

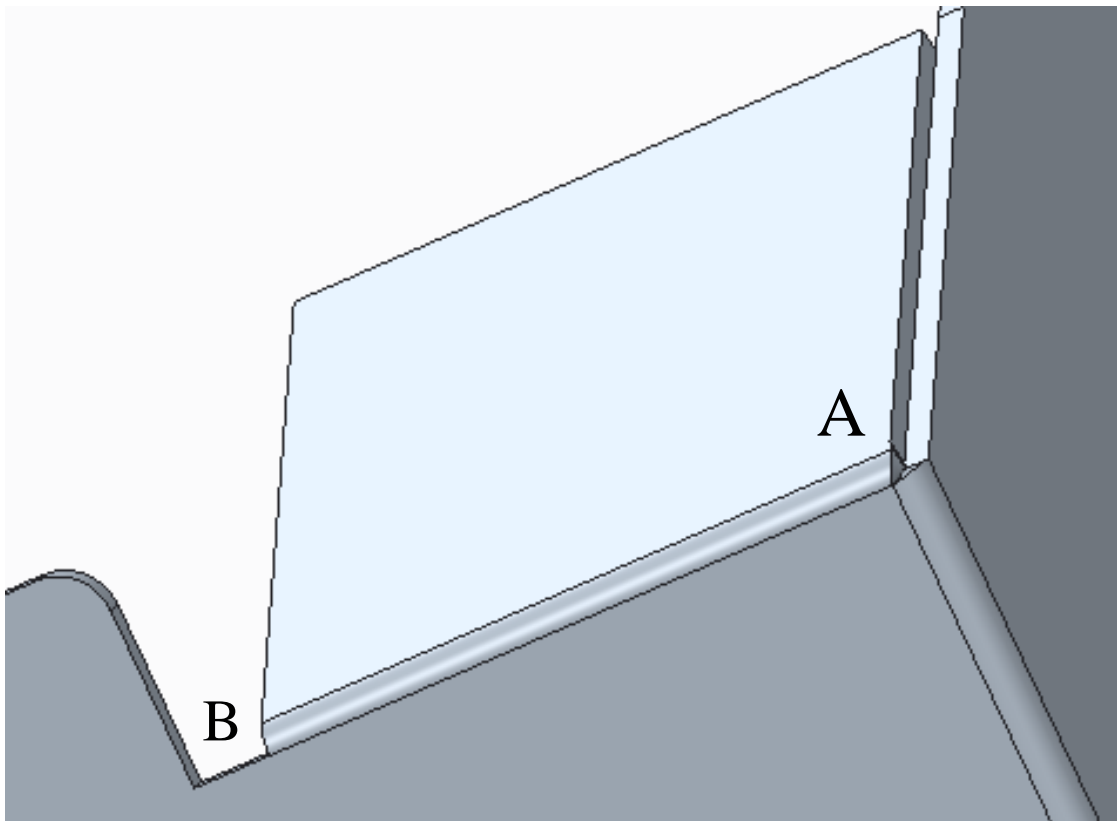
3.2 Valmistettavuuden analysointi

Rakenne sisältää teräviä kulmia. Kuvassa 14 on terävä kulma ohutlevyosassa, joka on suhteellisen ohut: levyepaksuus on 1 mm. Tällä ainepaksuudella terävähkö kulma voi kärsiä pienistä muodonmuutoksista, jos laserin parametrit eivät ole kohdillaan. Kapeiden muotojen sulamisen vaara on läsnä erityisesti laserpolttoleikkauksessa. Terävistä kulmista päästään eroon kulmapyöristyksillä



Kuva 14. Terävä kulma rakenteessa.

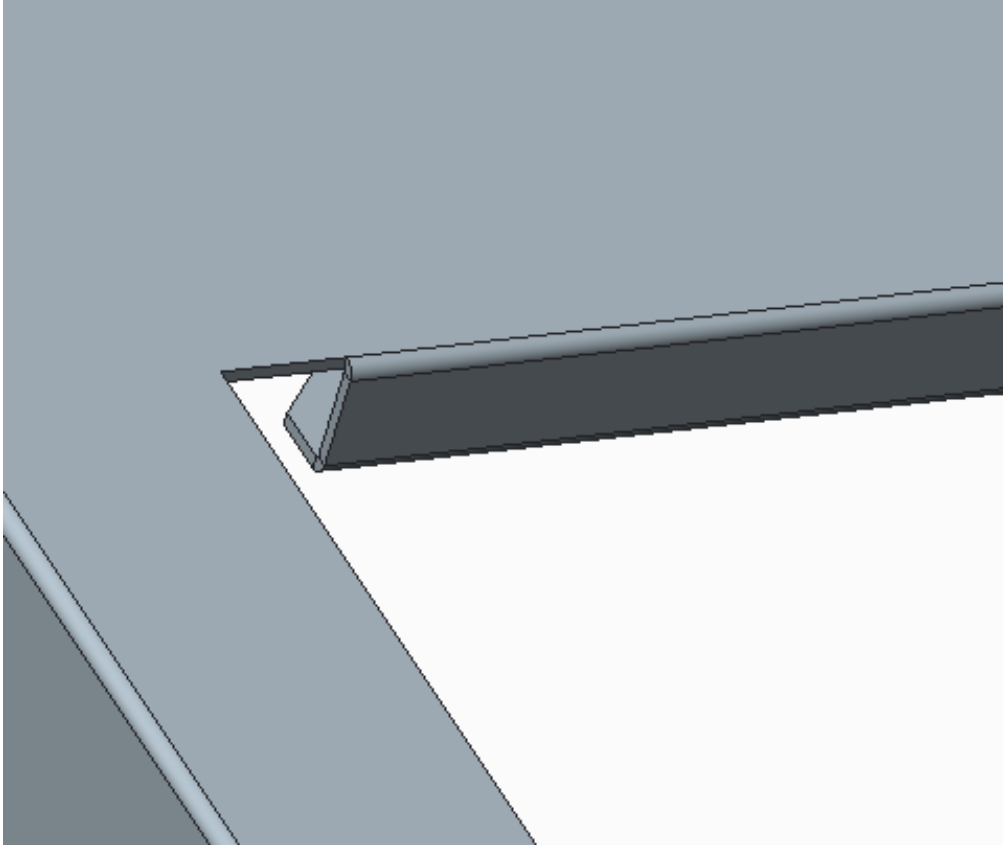
Tarkasteltavat rakenteet sisältävät useita särmyksiä ja suljettuja nurkkia. Kuvan 15 kulman kaltaisten suljettujen nurkkien muuttaminen avoimiksi olisi valmistusystävällisin ratkaisu, mutta iso osa rakenteista on näkyvällä alueella, jolloin nurkkien avoimeksi jättäminen ei ole mahdollista visuaalisten vaatimusten takia. Suljettuja nurkkia särätessä kulma vaurioituu tai muuttaa muotoaan helposti. Tämän riskiä voidaan vähentää lisäämällä kulmaan nurkkahelpotus.



Kuva 15. Suljettu nurkka (A) ja laippa, jonka taivutuslinja on samassa linjassa levyn reunan (B) kanssa.

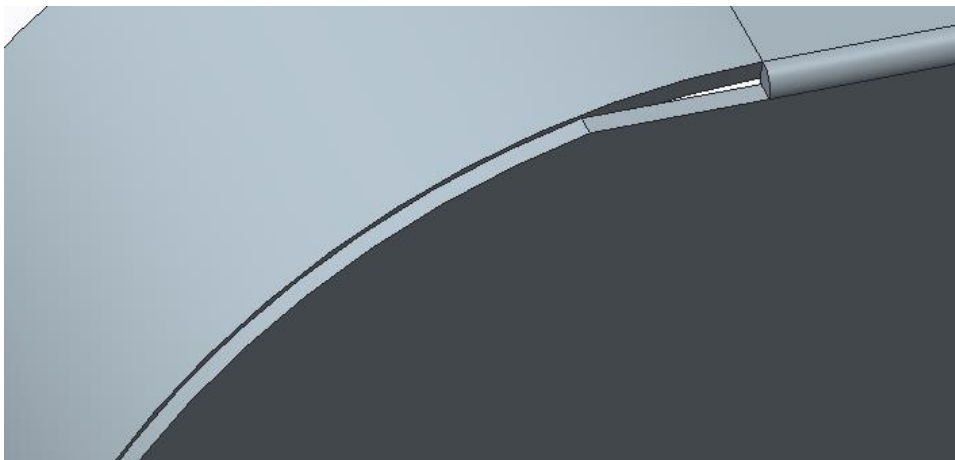
Taivutuslinjan kanssa samassa linjassa olevat levyn reunat voivat myös repeytyä tai mennä kuprulle. Tämä voidaan välttää lisäämällä taivutetun kaistaleen reunoille 1,5t mittaiset helpotukset.

Rakenteessa on esimerkiksi kuvan 16 kaltaisia laippoja, joiden minilaipankorkeudet voidaan laskea yhtälöllä 6. Lovet tai reiät eivät saa olla liian lähellä taivutuskohtia, tai niiden muodot voivat muuttua. Jos jokin reikä tai lovi on liian lähellä taivutuslinjaa, eikä sitä voida toiminnallisista syistä siirtää, voidaan se koneistaa vasta särmäyksen jälkeen. Tämä on kuitenkin huono vaihtoehto, sillä se toisi yhden työvaiheen lisää. Taivutusten lähellä olevien lovien ja reikien minimietäisyydet lasketaan kaavoilla 4 ja 5.



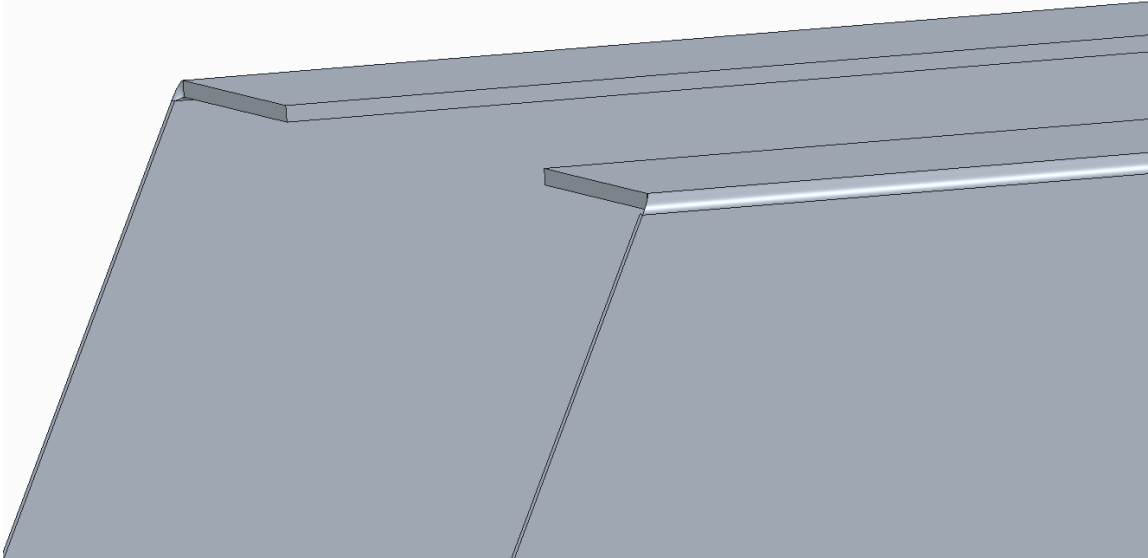
Kuva 16. Särmätty laippa rakenteessa.

Kuvassa 17 on esitetty hitsattava kohta, jonka railon muoto on hieman epäsäännöllinen. Hitsausmenetelmästä riippumatta tämä railo olisi hyvä saada poikkileikkaukseltaan säännöllisemmän muotoiseksi



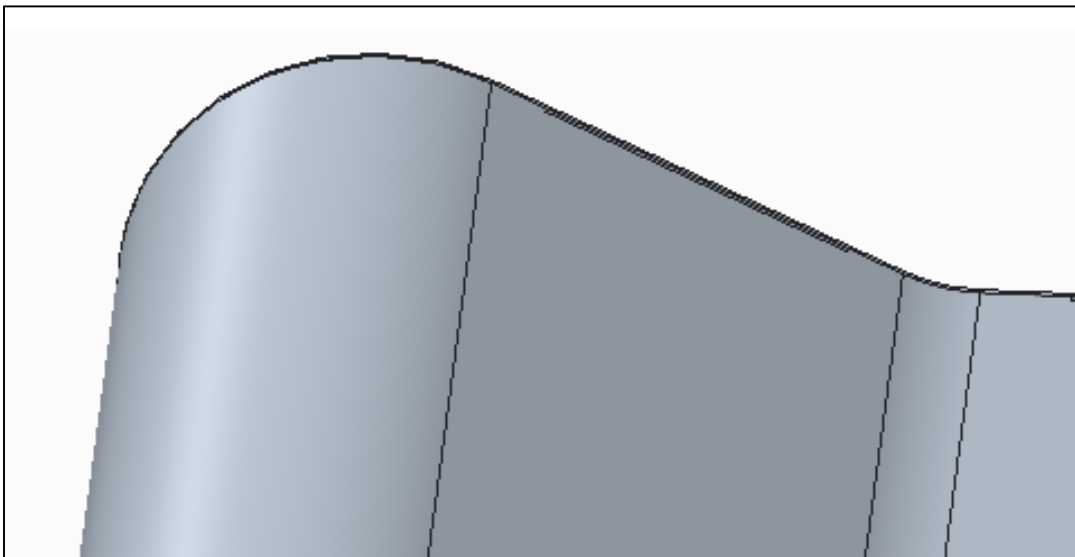
Kuva 17. Rakenteessa esiintyvä hitsattava kulma.

Rakenteesta löytyi myös taivutettu kulma (kuva 18), jossa sivut kohtaavat taivutuslinjalla vinosti. Sivujen tulisi kohdata toisensa suoraan, jotta levy käyttäytyisi taivutuksessa ihanteellisesti.



Kuva 18. Vinosti taivutuskohdassa kohtaavat sivut.

Suurella säteellä taivutetutkin muodot tuovat oman haasteensa muun muassa takaisinjoustopuun ja paikoituksen takia (kuva 19).



Kuva 19. Rakenteessa esiintyy myös suurempisäteisiä taivutuksia.

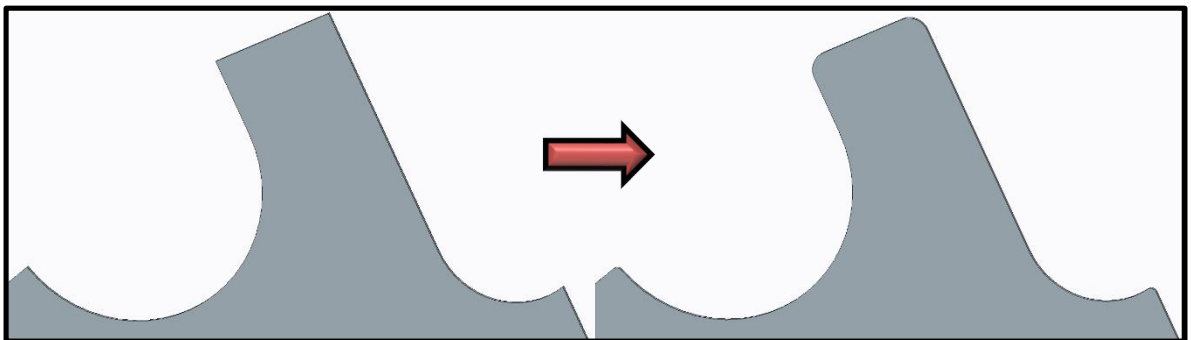
3.3 Rakenteiden optimointi

Tässä esitellään kirjallisuuskatsauksesta opitun perusteella tehtyjä muutoksia valmistettavuusanalysissa löydettyihin ongelmakohtiin.

Kulmapyöristykset

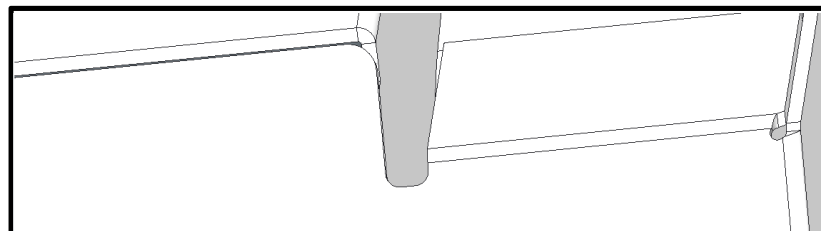
Koska käytettynä leikkausmenetelmänä on laser, ei erilaisten pienten kaarevien muotojen lisääminen kappaleisiin kuormita valmistuspuolta. Tästä syystä kaikkiin teräviin kulmiin lisättiin pienet kulmapyöristykset, joiden säteet vaihtelivat välillä 0,5-5 mm. Kuvassa 20 näytetään, miten kulmapyöristyksiä lisättiin rakenteeseen.

Leikatun ohutlevyn kulma on usein terävä, ja levyn käsittelijä voi saada siitä haavan käteensä. Näin ollen kulmapyöristykset lisäävät rakenteiden valmistus- ja asennusmukavuutta sekä turvallisuutta. Kapeita kulmia pyöristämällä ehkäistään myös kulman kärjen sulamista leikkauksivaiheessa.



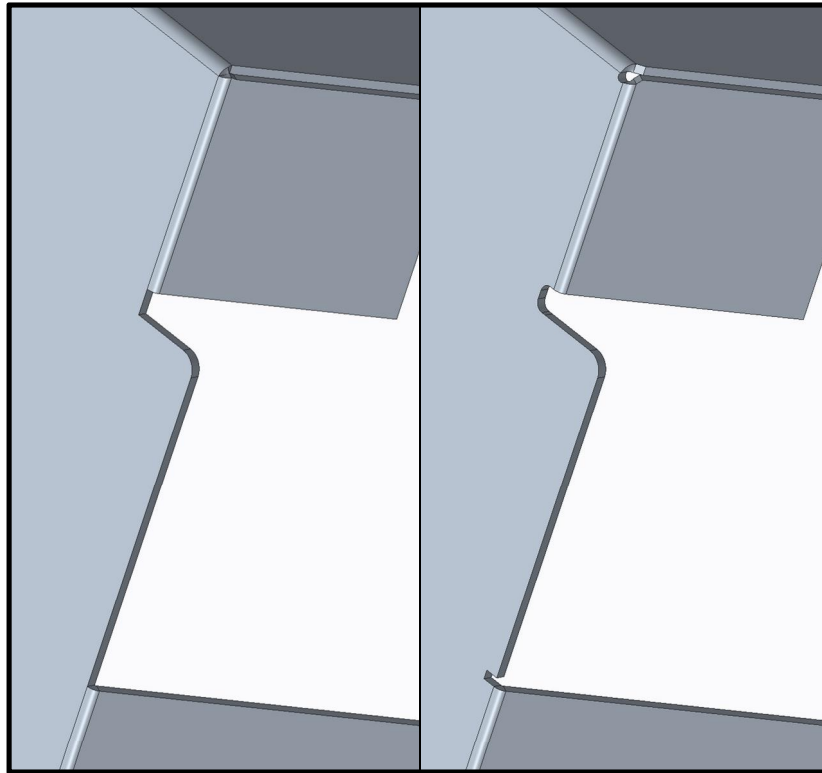
Kuva 20. Kulmiin lisättiin pyöristykset.

Myös sisäkulmiin lisättiin pyöristyksiä, esimerkiksi kuvassa 21 helpotuksen nurkat on pyöristetty. Terävien sisäkulmien pyöristykset helpottavat esimerkiksi lian pyyhkimistä hoitolaitteesta.



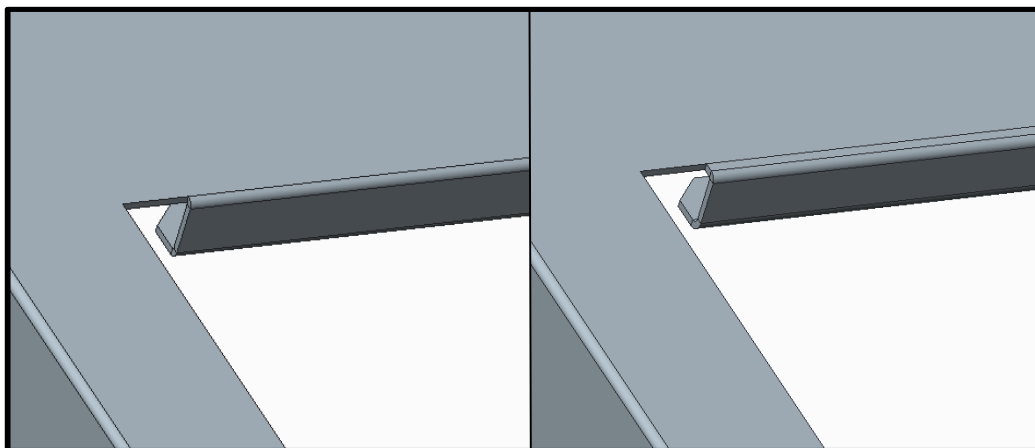
Kuva 21. Helpotuksen pyöristetyt sisänurkat.

Rakenteisiin tehtiin nurkkahelpotuksia kulmien repeämisen ehkäisemiseksi. Tehdyt kulmahelpotukset olivat pyöreään ja kyyneleen muotoisia. Myös taivutuslinjojen lähellä oleviin reunoihin tehtiin helpotuksia, joista suurin osa oli suorakulmion muotoisia. Kuvassa 22 on esitetty kolme erilaista rakenteeseen lisättyä helpotusta.



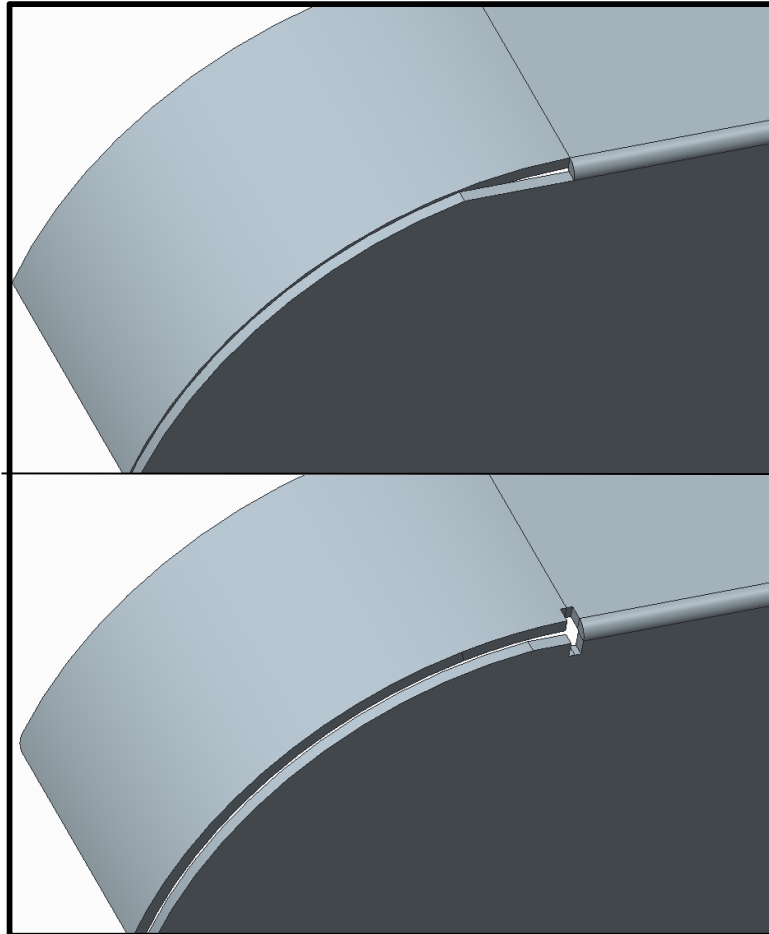
Kuva 22. Erilaisia kappaleeseen tehtyjä helpotuksia. Oikealla paranneltu rakenne.

Kaikissa tapauksissa taivutuslinjaa ei katkaistu helpotuksilla, vaan esimerkiksi kuvan 23 tapauksessa levyä jatkettiin niin, ettei taivutus vaikuta reunan muotoon.



Kuva 23. Jäykisteeseen lisättiin lyhyt laippa, ettei taivutus muovaisi levyn reunaa.

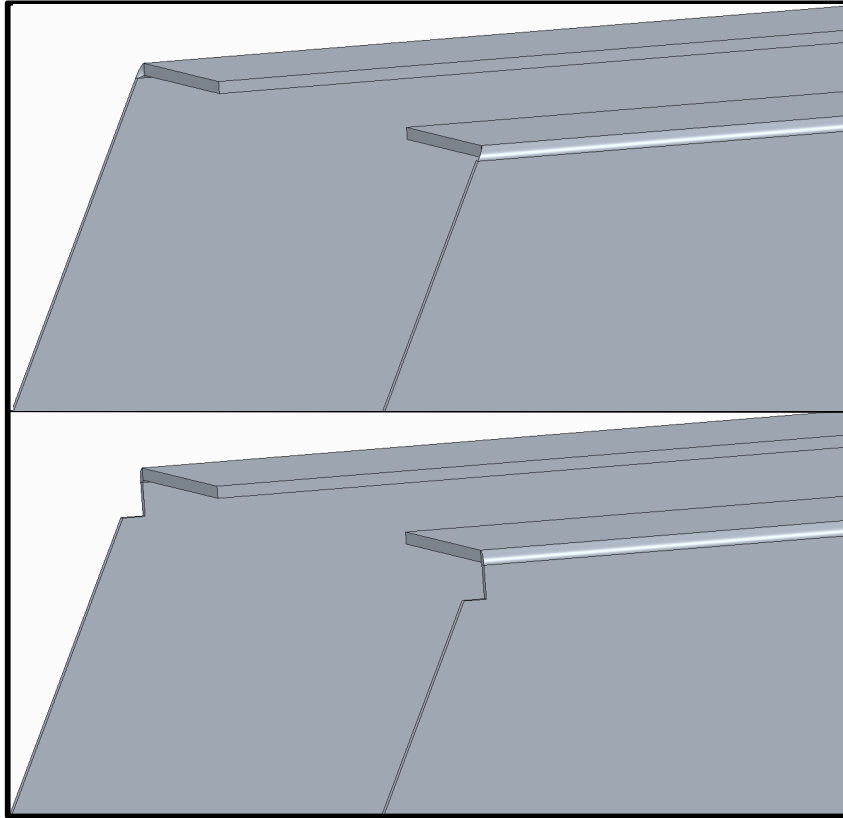
Rakennetarkastelussa optimoitiin myös hitsattavia osia. Kuvassa 24 on esitetty umpeen hitsattava kulma, jossa pienaliitoksen toteuttamista on pyritty helpottamaan muuttamalla levyn reunan muotoa. Samalla kuvan kappaleeseen lisättiin helpotukset molemmille puolille taivutusta.



Kuva 24. Hitsattava kulma. Muokattu ratkaisu alla.

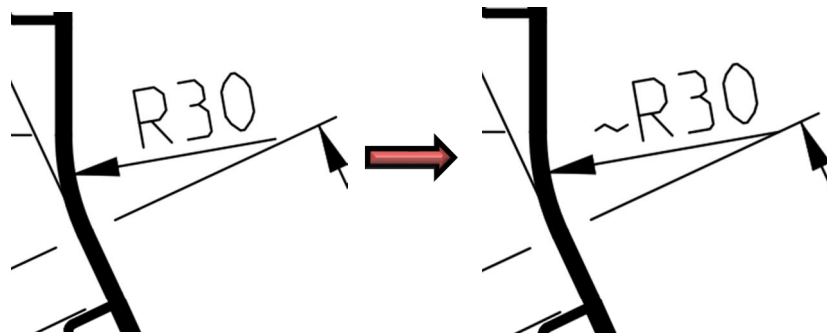
Eräiden rakenneosien liittämismenetelmäksi harkittiin vastushitsausta, mutta liitoskohta oli niin lähellä kulmaa ja syvällä suljetussa rakenteessa, ettei liitosta olisi ollut mahdollista toteuttaa ilman erikoisvalmisteisiä elektrodivarsia.

Kuvassa 25 on esitetty, kuinka vinosti toisensa kohdanneiden sivujen reunat katkaistiin, jotta ne olisivat liittymäkohdassa toisiinsa nähden kohtisuorassa.



Kuva 25. Sivut muokattiin toisiinsa nähden kohtisuoriksi.

Osa suurista taivutussäteistä muutettiin piirustuksiin likimääräisiksi valmistamisen joustavoittamiseksi (kuva 26).



Kuva 26. Osa pyöristyssäteistä muutettiin likimääräisiksi.

Lopuksi tarkistettiin vielä, ettei levityskuvissa ilmennyt päällekkäin meneviä levitettyjä muotoja.

4 TULOSTEN ANALYSOINTI

Ensimmäinen tutkimuskysymys oli, mitä parannettavaa rakenteissa oli. Ensimmäinen, helposti havaittava parannuksen kohde oli terävät reunat. Terävät reunat aiheuttavat helposti viiltohaavoja osan käsittelijälle. Terävät reunat voivat myös sulaa laserleikkauksessa. Teräviin kulmiin lisättiin kulmapyöristykset. Kulmapyöristysten lisääminen ei tuota lisätyötä, koska leikkaus toteutetaan laserilla. Parantelua vaativat myös taivutuslinjojen läheisyydessä olevat levyjen reunat. Monet reunoista olivat vaarassa kokea muodonmuutoksia särmätessä. Lisäämällä helpotukset taivutusten laidoille muodonmuutoksia saatiin ehkäistyä. Myös särmäämällä valmistettavissa suljetuissa kulmissa oli parannettavaa. Suljetuissa kulmissa kaksi risteävää taivutuslinjaa ovat lähellä toisiaan ja kulma saattaa revetä. Tätä ehkäistiin lisäämällä suljettuihin kulmiin nurkkahelpotukset. Tässä työssä käytetyt kulmahelpotukset olivat pyöreän ja kyöneleen muotoisia. Eräästä ohutlevyosasta löytyi jäykisteeksi taivutettu laippa, joka vaati muokkausta. Laippa lähti taipumaan heti levyn reunalta 90 asteen kulmassa. Tässäkin tapauksessa taivutuslinjan olisi voinut katkaista helpotuksilla, mutta laippaa päätettiin jatkaa muun levyn reunan yli reilun minimilaipankorkeuden verran. Myös hitsaukseen liittyvää parannettavaa löytyi; eräs pienahitsattava kulma oli railoltaan epäsäännöllisen muotoinen. Jotta hitsistä saataisiin tasalaatuinen ja jotta hitsisauma olisi ulkonäöltään mahdollisimman vähän jälkityöstöä vaativa, muutettiin railon poikkileikkaus vakioksi koko matkalta. Rakenteesta löydettiin myös vinosti taivutuksen yli kulkeva levyn reuna, joka muutettiin kulkemaan taivutuksen yli kohtisuorasti levyn reunan muodonmuutoksen ehkäisemiseksi. Lisäksi rakenteessa oli suuria taivutussäteitä, joita voi olla vaikea toteuttaa takaisinjouston ja paikoittamisen vuoksi. Helpottamaan suurien taivutussäteiden toteuttamista osa näistä merkittiin piirustuksiin likimääräisiksi.

Toisessa tutkimuskysymyksessä tiedusteltiin, mitä laatua, toiminnallisuutta ja valmistettavuutta parantavia toimenpiteitä rakenteille voidaan suorittaa. Edellä mainittujen muutosten lisäksi valmistettavuutta voidaan parantaa tekemällä yhteen liitettäviin osiin kohdistamista helpottavia olakkeita ja lovia, jotka asemoivat kappaleet toisiinsa nähden.

Huomattavan tärkeää rakenteiden suunnitteluun liittyvä asia on, että suunnittelija tuntee valmistuspuolella käytössä olevat työkalut, niiden tarjoamat mahdollisuudet sekä asettamat rajoitteet. Kun suunnittelija on perehtynyt konepajalla käytettäviin laitteisiin, osaa hän sekä suunnitella valmistusystävällisempiä tuotteita, että myös välttää kohtuuttoman vaikeasti saavutettavia muotoja. Toinen näkökulma lähestyä konepajojen työkalureserviä on suunnitella omia työkaluja erikoismuotojen toteuttamiseen. Näin esimerkiksi vastushitsaus tulee mahdolliseksi, mikä saattaisi mahdollistaa tuottavuuden nostamisen.

Kolmas tutkimuskysymys käsitteli sopivimpia valmistusmenetelmiä. Osa valmistusmenetelmistä, kuten laserleikkaus ja särmäys oli valittu jo ennen työn suorittamista. Kirjallisuuskatsauksen perusteella ei vielä pysty antamaan yleispätevää linjausta, kaikille mekanismin osille sopivista valmistusmenetelmistä.

Kaikki ohutlevyosat irroitetaan aihioista laserleikkaamalla. Taivutukset toteutetaan särmäyspuristimella. Laadun kannalta ihanteellisin vaihtoehto rakenteessa esiintyvän pienahitsin toteuttamiseen olisi TIG-hitsaus käyttökohteen levynpaksuuksien ollessa keskimäärin 1-2 mm. On kuitenkin arvioitava, voidaanko kelvollinen sauma toteuttaa myös MAG-hitsauksella ja miten paljon MAG:n soveltaminen vaikuttaisi tuottavuuteen. TIG-hitsauksen jälkeen jälkityöstön tarve olisi pieni verrattuna MAGiin.

Muiden rakenteen liitosten toteuttamistapa riippuu pitkälti mekanismin lopullisesta kokoonpanosta. Usein esimerkiksi huollon kannalta on käytännöllistä, että osat voi tarvittaessa irroittaa toisistaan. Tämän vuoksi on todennäköistä, että puristekiinnikkeet sopivat tähän käyttökohteeseen niittejä, pistehitsausta ja puristusliitosta paremmin. Myös tavalliset kierteytettyt reiät vedettyinä tai ilman voivat tarjota riittävän kiinnityksen. Toisiinsa muotojensa avulla lukkiutuvat osat olisivat todennäköisesti paras ratkaisu niin valmistuksen kuin kokoonpanonkin kannalta; tällaisia liitoksia ei kuitenkaan hyödynnetty rakenteen optimoinnissa tässä työssä. Koska suuri osa liitoskohdista sijaitsee näkyvällä pinnalla, on liitosalueen pinnan tasaisuus erityisen tärkeä. Jotta jälkityöstön määrä saataisiin minimoitua, on liitosten sijoittelua harkittava tarkasti. Yksi tapa karsia liitosten määrää, on pyrkiä yhdistämään kaksi erillistä osaa yhdeksi suunnitteluvaiheessa. Lopulliset päätökset valmistusmenetelmistä tehdään, kun lopulliset osien materiaalit, levynpaksuudet ja rakenteen varustelut ovat selvillä. Valmistusmenetelmiin voivat vaikuttaa myös alihankkijoiden konekannat.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä perehdyttiin erilaisiin ohutlevyille sovellettaviin valmistusmenetelmiin ja ohutlevytuotteiden suunnitteluaspekteihin. Kirjallisuuskatsauksen ja aikaisemman kokemuksen perusteella rakenteisiin tehtiin muutoksia, joiden tarkoituksena oli tuotteen valmistettavuuden ja laadun parantaminen. Suurin osa tehdyistä muutoksista kohdistui rakenteellisiin yksityiskohtiin.

Osille ei valittu valmistusmenetelmien etujen ja rajoitusten kartoittamisen perusteella tiettyjä valmistusmenetelmiä, mutta kirjallisuuskatsauksen lopputulemaa voidaan mahdollisesti hyödyntää tulevaisuudessa, mikäli valmistusmenetelmien vertaileminen nousee ajankohtaiseksi. Joka tapauksessa kirjallisuuskatsaus antoi arvokasta taustatietoa osien optimointityön suorittamiseen.

On hyvin mahdollista, että rakenteisiin tulee vielä muutoksia, sillä tuotekehitys kohdeyrityksessä on jatkuvaa. Myös tuotteiden rakenteelliset vaatimukset voivat muuttua esimerkiksi valmistuspuolen ja asiakkaiden muuttuvien tarpeiden mukaan. Tässä työssä läpi käyty valmistusystävällisten ja laadukkaiden ohutlevyrakenteiden suunnittelussa huomioitavat asiat saattavat helpottaa tai antaa näkökulmia tulevaisuudessa tapahtuviin ohutlevyrakenteiden optimointia koskeviin toimenpiteisiin.

Työtä tehdessä huomattiin, että yhden tuotteen valmistamisen työvaiheeseen voi sopia useampikin eri valmistusmenetelmä. Tarkastelluista menetelmistä on mahdollista luoda useita erilaisia työvaiheita sisältäviä kokonaisuuksia. Jos jonkin ohutlevytuotteen erilaisia mahdollisia valmistusmenetelmäyhdistelmiä alettaisiin vertailemaan, saattaisi esimerkiksi jonkinlainen matriisi olla sopiva työkalu parhaiden vaihtoehtojen löytämiseen. Valmistusmenetelmän sopivuus riippuu esimerkiksi tuotteen käyttötarkoituksesta, kuormituksesta, pinnanlaadun vaatimuksista ja valmistuserän koosta.

Kaiken kaikkiaan työssä saavutettiin tavoite: rakenteesta löydettiin parannettavaa ja siihen tehtiin muutoksia. Toisaalta, kirjallisuuskatsauksen anti valmistusmenetelmien osalta ei

antanut työlle niin paljon kuin aluksi odotti; eri ohutlevyrakenteille ei osoitettu tiettyjä valmistusmenetelmiä tutkimuksen pohjalta.

Osiin tehtyjen muutosten toimivuuden voi todeta viime kädessä sitten, kun muokkaukset päätyvät piirustuksina konepajan pöydälle ja sieltä itse fyysiseen tuotteeseen. Samalla alihankkijalta voi saada palautetta tuotteiden valmistettavuudesta. Myös asiakkaiden palaute ja ympäristön asettamat olosuhteet voivat johtaa muutoksiin tuotteessa. Tämä on kuitenkin normaalia ja kuuluu mahdollisimman luotettavan ja toiminnallisen tuotteen kehityskulkuun.

LÄHTEET

AGA. 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG-hitsaukseen. 4. painos. Pdf-dokumentti. Viitattu 20.3.2018. Saatavilla:

http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI634_122347.pdf

Eddy Current Technology Incorporated. 2013. Conductivity Of Metals Sorted By Resistivity. Verkkosivusto. Saatavilla:

<http://eddy-current.com/conductivity-of-metals-sorted-by-resistivity/>
[EDTI, 2013]

Karppinen, A. 1986. Ohutlevyjen taivutus. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 48 s.

Kauppinen, V. 1991. Levytyöt pieneräutuotannossa. 2. Painos. Helsinki: Hakapaino Oy. 160 s.

Laserkeskus. 2018. Laserleikkaus. Viitattu 2.3.2018. Saatavilla:
<http://www.laserkeskus.fi/palvelut/laserleikkaus/>

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Edita Prima Oy. 292 s.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E., Hutlin, S. 2010. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy. 387 s. Teknologiaateollisuuden julkaisu 6/2010.

Mechanica Technical Solutions. 2014. Tungsten Inert-Gas Welding (TIG). Verkkosivu. Viitattu 24.4.2018. Saatavilla: <http://www.mechanicatech.com/Joining/tig.htm>

Niemi, E. 2003. Levyrakenteiden suunnittelu. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy. 134 s.

Nuutinen, J. et al. 1999. Ohutlevyjen liittäminen. Jyväskylä: Metalliteollisuuden Keskusliitto. 107 s. (MET, Tekninen tiedotus 7/1999.)

PEM A. 2018. The self-clinching fastener handbook. Pdf-dokumentti. 16 s. Viitattu: 13.3.2018 Saatavilla: https://www.pemnet.com/fastening_products/pdf/Handbook.pdf

PEM B. 2018. How, Why & Where To Use Self-Clinching Fasteners. Verkkosivu. Viitattu 15.3.2018. Saatavilla: <https://www.pemnet.com/fastening-products/about-self-clinching-fasteners/>

Piiroinen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Savonia-ammattikorkeakoulu, HitNet. Julkaisusarja D4/2/2013. Viitattu 5.3.2018. Saatavissa: <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>

Pikkarainen, E. & Mustonen, M. 2010. 2. painos. Numeerisesti ohjatut työstökoneet. Helsinki: Opetushallitus. 260 s.

Varis, J. 1997. Ohutlevyjen puristusliittäminen. Helsinki: Yleisjäljennös Oy. MET-julkaisuja 2/1997. 55s.