

Hitsaus- ja levytyösuunnittelun periaatteet

Ohjeistus suunnitteluun

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2025

Saku Lindroos

Tiivistelmä

Tekijä	Julkaisun laji	Valmistumisaika
Saku Lindroos	Opinnäytetyö, AMK	2025
	Sivumäärä	
	37	
Työn nimi		
Hitsaus- ja levytyösuunnittelun periaatteet		
Ohjeistus suunnitteluun		
Tutkinto ja koulutusala		
Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio		
LAB - Ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyö tehtiin LAB-Ammattikorkeakoululle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda hitsaus- ja levytyösuunnitteluun ohjeistus aloittelevalle suunnittelijalle. Opinnäytetyössä kerrotaan hitsaus ja levytöiden valmistusmenetelmistä sekä niiden suunnittelusta. Ohjeessa kerrotaan yleisimpiä suunnitteluvirheitä ja kuinka niitä voidaan välttää.</p> <p>Opinnäytetyössä etsittiin tietoa kirjoista ja internetistä yritysten sivuilta. Valmistusmenetelmien kuvat piirrettiin itse, joista suurin osa mukaili kirjoista löytyviä kuvia. Suunnittelu osion kuvat piirrettiin Solidworks ohjelmalla.</p> <p>Ohjeen avulla suunnittelijan tulisi pystyä parempaan valmistettavuuteen.</p>		
Asiasanat		
Hitsaus, Levytyö, Suunnittelu		

Abstract

Author	Type of Publication	Published
Saku Lindroos	Thesis, UAS	2025
	Number of Pages	
	37	
Title of Publication		
Principles of welding and sheet metal design		
Guidance for design		
Degree, Field of Study		
Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client		
LAB - Ammattikorkeakoulu		
Abstract		
<p>The thesis was made for LAB-Ammattikorkeakoulu. The purpose of the thesis was to create guidelines for a novice designer in welding and sheet metal design. The thesis describes the methods of welding and sheet metal fabrication and their design. The guide describes the most common design mistakes and how to avoid them.</p> <p>In the thesis, information was sought from books and the internet on company websites. The pictures of the manufacturing processes were drawn by the writer, most of which were based on pictures found in books. The pictures for the design section were drawn using Solidworks software.</p> <p>The instructions should enable the designer to achieve better manufacturability.</p>		
Keywords		
Design, Sheet metal, Welding		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Hitsaus ja levytyö valmistusmenetelmiä.....	2
2.1	Yleistä hitsauksesta.....	2
2.2	MIG/MAG-hitsaus.....	2
2.3	Puikkohitsaus.....	3
2.4	TIG-hitsaus.....	4
2.5	Robottihitsaus.....	5
3	Leikkausmenetelmiä.....	6
3.1	Yleistä levytöistä.....	6
3.2	Terminen leikkaus.....	6
3.2.1	Polttoleikkaus.....	7
3.2.2	Plasmaleikkaus.....	8
3.2.3	Laserleikkaus.....	10
3.3	Mekaaninen leikkaus.....	11
3.3.1	Vesisuihkuleikkaus.....	11
3.3.2	Suuntaisleikkaus.....	12
3.3.3	Lävistäminen.....	13
4	Taivutus ja särmäys.....	15
5	Suunnittelu.....	17
5.1	Suunnittelusta yleistä.....	17
5.2	Materiaalin valinta.....	17
5.3	Valmistusmenetelmien valinta.....	17
5.4	Hitsausten suunnittelu.....	18
5.5	Leikkausten suunnittelu.....	22
5.6	Taivutusten suunnittelu.....	24
5.7	Solidworks.....	28
5.8	Piirustukset.....	30
6	Yhteenveto ja pohdinta.....	36
	Lähteet.....	37

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty LAB-Ammattikorkeakoululle. Opinnäytetyön aiheena on luoda ohje hitsaus- ja levytyösuunnitteluun. Opinnäytetyössä pyritään tuomaan esille yleisimpiä suunnittelussa tapahtuvia virheitä sekä antaa vinkkejä parempaan suunnitteluun. Ohjeella pyritään opettaa suunnittelijaa suunnittelemaan paremmin ja nopeammin.

Työn tarkoituksena on opettaa aloittelevaa tai jo kokenutta suunnittelijaa parantamaan hitsaus- ja levytyöiden valmistettavuutta. Opinnäytetyössä kerrotaan hitsaus- ja levytyöissä käytettävien valmistusmenetelmien perusteet ja niiden yleisimpiä käyttökohteita.

Hitsaus- ja levytyösuunnittelussa on niille ominaisia suunnittelu- ja valmistusmenetelmiä, joista yleisimpiä käydään läpi. Hyvällä suunnittelulla pystytään karsimaan kustannuksia, välttämään turhilta osilta ja työvaiheilta sekä nopeutetaan tuotantoa.

Opinnäytetyö on rajattu käsittelemällä yleisimpiä valmistusmenetelmiä ja suunnitteluun liittyviä ratkaisuja. Yleisimmät hitsaus ja levytyö valmistusmenetelmät tuodaan esille, koska ne vaikuttavat tuotteen suunnitteluun.

2 Hitsaus ja levytyö valmistusmenetelmiä

2.1 Yleistä hitsauksesta

Hitsauksessa kappaleita liitetään toisiinsa, tuomalla sulaan liitospintaan lisäainetta. Kun sula perusaine ja siihen tuotu lisäaine jäähtyvät, ne muodostavat kiinteän liitoksen (Lepola & Ylikangas 2016, 13). Hitsauksen aikana liitoskohta ylittää perusaineen ja lisäaineen sulamispisteen, jolloin hitsin kiderakenne on muodostunut valumaiseksi. Hitsin keskialueella on lisäaineen muodostama vyöhyke. Keskialueelta siirryttäessä perusaineelle päin on seostunut vyöhyke, joka muodostuu perusaineesta ja lisäaineesta. Seostunut vyöhyke jatkuu sulamattomalle perusaineelle asti. (Lepola & Ylikangas 2016, 21.)

Perusaineen ja lisäaineen sekoittumista voidaan mitata sekoittumisasteella. Sekoittumisaste ilmoittaa kuinka paljon lisäainetta sekoittuu perusaineeseen. Tyypillisesti MIG/MAG-hitsauksessa sekoittumisaste on pienempi kuin puikko- tai TIG-hitsauksessa, (Ovako, 33). Hitsin sekoittumisaste riippuu useasta tekijästä, kuten hitsausmenetelmästä, hitsausparametreista, railomuodosta ja hitsauspalkojen määrästä. Suurilla hitsaustehoilla sekoittumisaste on suurempi, koska perusainetta sulaa enemmän. Kapealla hitsausrailolla ei tarvitse käyttää niin paljoa lisäainetta, jolloin sekoittumisaste pienenee ja perusaineen osuus kasvaa. Monipalkohitsauksessa seostuminen jää pienemmäksi, johtuen pienemmästä lämmöntuonnista. (Lepola & Ylikangas 2016, 21.)

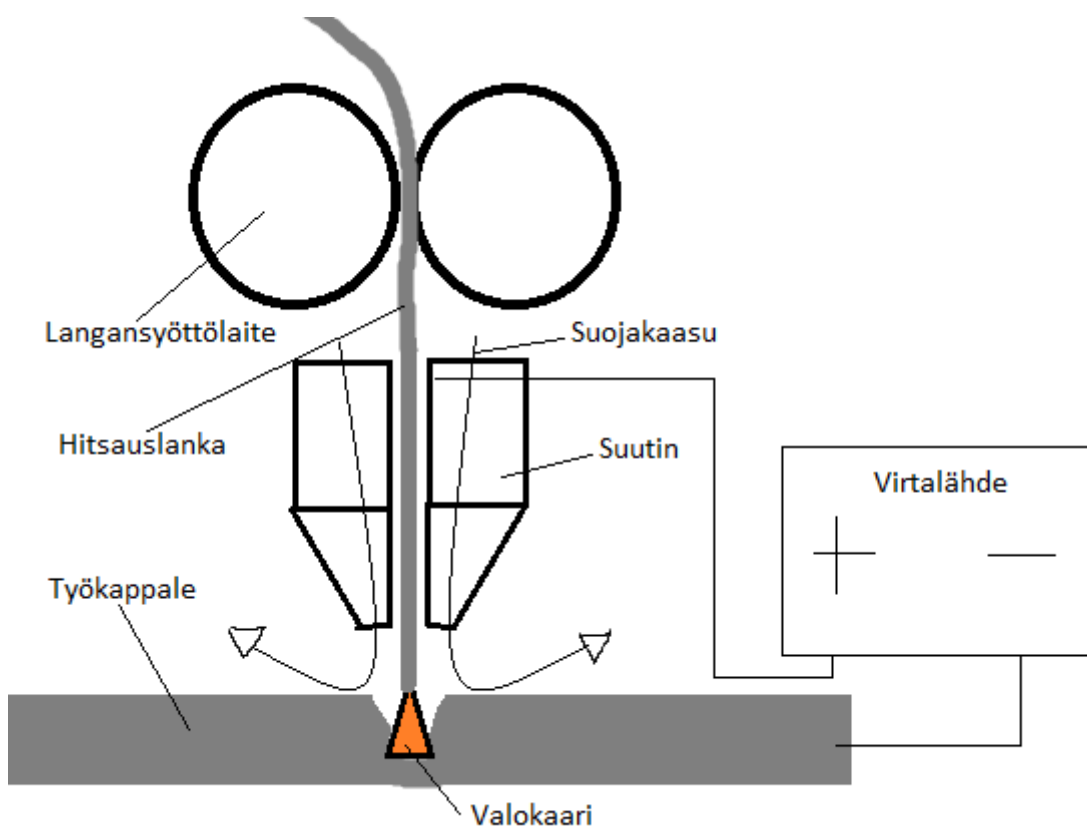
Kaarihitsauksessa tarvittava lämpö saadaan muuttamalla sähköenergia valokaareksi. Valokaaren avulla saadaan riittävän korkeita lämpötiloja ja -määriä metallien sulattamiseen ja siten myös hitsaamiseen. Valokaari on kaasussa tapahtuva purkaus, joka edellyttää sähköisesti varautuvia hiukkasia. Valokaari syntyy, kun positiivinen elektrodi eli anodi siirtyy negatiiviseen elektrodiin eli katodiin. Kun elektronit törmäävät metallin pintaan, muuttuu niiden liike-energia lämmöksi. Valokaaren lämpötila on noin 4500–6000 °C. (Lepola & Ylikangas 2016, 24.)

2.2 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on puoliautomaattinen hitsausmenetelmä. Lisäaineena käytettävää lancaa syötetään automaattisesti vakionopeudella suojakaasulla suojattuun hitsauskohtaan. Lisäainelangan osuessa perusaineeseen syntyy oikosulku pienellä alueella, jolla virtatiheys on suuri, jolloin tapahtuu lisäaineen ja perusaineen nopea sulaminen ja valokaaren syttyminen. (Lepola & Ylikangas 2016, 24, 71, 206.) MIG/MAG-hitsaus on nopea ja helppo valmistusmenetelmä. MIG/MAG-hitsausta käytetään sisätiloissa, koska suojakaasu ei suojaahitsiä tuulisissa paikoissa. (Rice 2023.) Kuvassa 1 esitetty MIG/MAG-hitsauksen periaate.

MIG-hitsauksen lyhenne muodostuu sanoista Metal-arc, Inert Gas. MIG-hitsauksessa käytetään inerttistä suojakaasua, joka on reagoimaton eli passiivinen kaasu. Yleisiä inerttisiä suojakaasuja ovat argon tai argonin ja heliumin kaasuseos. MIG-hitsausta käytetään ei-rautametallien hitsaukseen, joita ovat esimerkiksi alumiini, kupari ja titaani. MIG-hitsaukseen soveltuvat ainepaksuudet alkavat noin 1 mm ylöspäin. (Lepola & Ylikangas 2016, 24, 71, 206.)

MAG-hitsauksen lyhenne muodostuu sanoista Metal-arc, Activ Gas. Aktiivisina kaasuina MAG-hitsauksessa käytetään hiilidioksidin ja argonin kaasuseosta tai argonin ja hapen kaasuseosta. MAG-hitsausta käytetään terästen hitsaamiseen. MAG-hitsaukseen soveltuvat ainepaksuudet alkavat noin 0,8 mm ylöspäin. (Lepola & Ylikangas 2016, 24, 71, 206.)

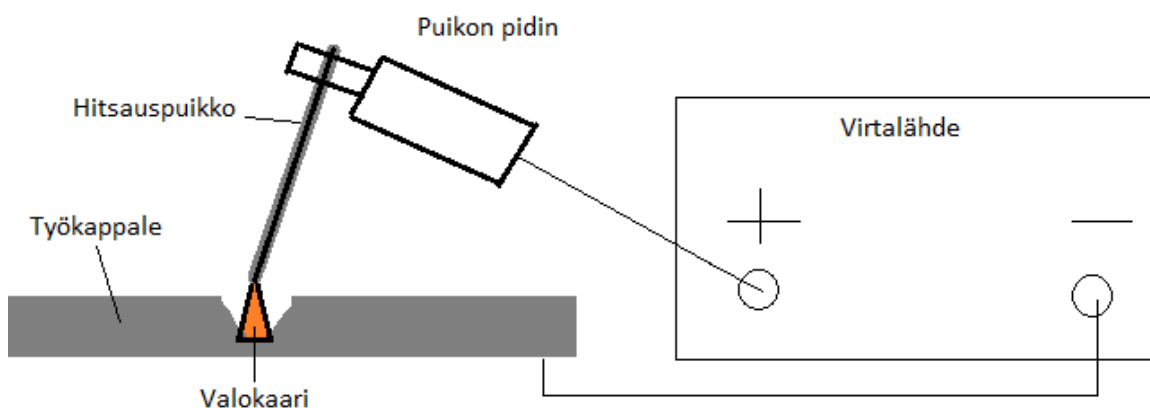


Kuva 1. MIG/MAG- hitsauksen periaate esitetty kuvallisesti. (Mukaillen Matilainen ym. 2011, 292.)

2.3 Puikkohitsaus

Puikkohitsaus on sulahitsausprosessi, jossa lämpö tuotetaan perusaineen ja elektrodin välille valokaaren avulla. Elektrodina toimii päällystetty sulava hitsauspuikko. Hitsauspuikon päällyste sulaa ja suojaa sulana siirtyvää lisäainetta myös perusaineen puolella kaasuna ja kuonana. (Lepola & Ylikangas 2016, 48–49.)

Hitsauspuikko sisältää sydänlangan, joka on yleensä samaa materiaalia kuin hitsattava aine. Sydänlangan ympärillä on päällyste, jonka tehtävinä ovat esimerkiksi suojata sulana olevaa hitsiä, seostaa hitsiä ja parantaa sen lujuutta. (Lepola & Ylikangas 2016, 48–49.) Kuvassa 2 on esitetty puikkohitsauksen periaate.

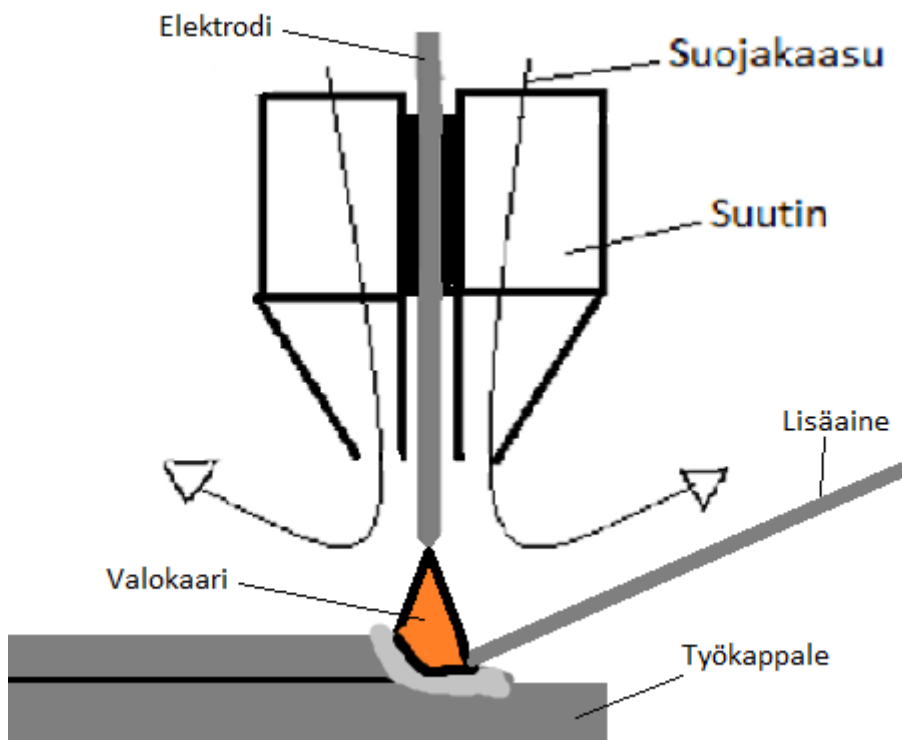


Kuva 2. Puikkohitsauksen periaate esitetty kuvallisesti

Puikkohitsauksen käyttökohteita ovat esimerkiksi rakennustyömailla teräsrakenteiden hitsaukset, putkistojen hitsaukset sekä konepajoissa erikoislisäainetta tarvitsevat kuten valuraudan hitsaaminen. Puikkohitsaus toimii erinomaisesti ulkona hitsattavissa kohteissa, koska puikkohitsauksessa ei käytetä kaasua. Puikkohitsaukseen soveltuvat ainepaksuudet alkavat noin 1 mm ylöspäin. (Lepola & Ylikangas 2016, 206.)

2.4 TIG-hitsaus

TIG-hitsauksen lyhenne muodostuu sanoista Tungsten, Inert Gas eli volframi, inerttinen kaasu. TIG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaaripalaa sulamattoman volframielektrodin ja perusaineen välillä. Valokaaren lämpö sulattaa perusainetta ja suoja-kaasu suojaa hitsaus tapahtumaa. TIG-hitsauksen tärkein ero edellä mainittuihin hitsausmenetelmiin on elektrodin sulamattomuus. Elektrodin sulamattomuus mahdollistaa hitsaamisen ilman lisäainetta. TIG-hitsaus sopii kaikille hitsattaville materiaaleille. (Lepola & Ylikangas 2016, 121.) Kuvassa 3 on esitetty TIG-hitsauksen periaate.



Kuva 3. TIG- hitsauksen periaate esitetty kuvallisesti. (Mukaillen Matilainen Ym. 2011, 293.)

TIG-hitsauksen käyttökohteita ovat esimerkiksi prosessiputkistojen pohjapalkojen hitsaus, koska TIG-hitsauksella saadaan sisäpuoli pysymään puhtaana roiskeista ja kuonasta. TIG-hitsaukseen soveltuva ainepaksuusalue on noin 0,1–6 mm. Suurempien ainepaksuuksien hitsaamisen TIG-hitsaus on hidas verrattuna puikko- tai MIG/MAG-hitsaukseen. (Lepola & Ylikangas 2016, 207.)

2.5 Robottihitsaus

Robottihitsaus on roboteilla automatisoitu hitsausprosessi. Robotit hoitavat hitsauksen ohjelmoinnin perusteella. Robottihitsauksessa koneet tekevät hitsausprosessin ja hitsaajat ohjelmoivat ja valvoo prosessia. Robottihitsaus on nopea, tarkka ja turvallinen prosessi, varsinkin useiden samanlaisten kappaleiden tuotannossa. Robottihitsauksessa yleensä käytetään MIG/MAG- tai TIG-hitsausta. (Kemppi 2024.)

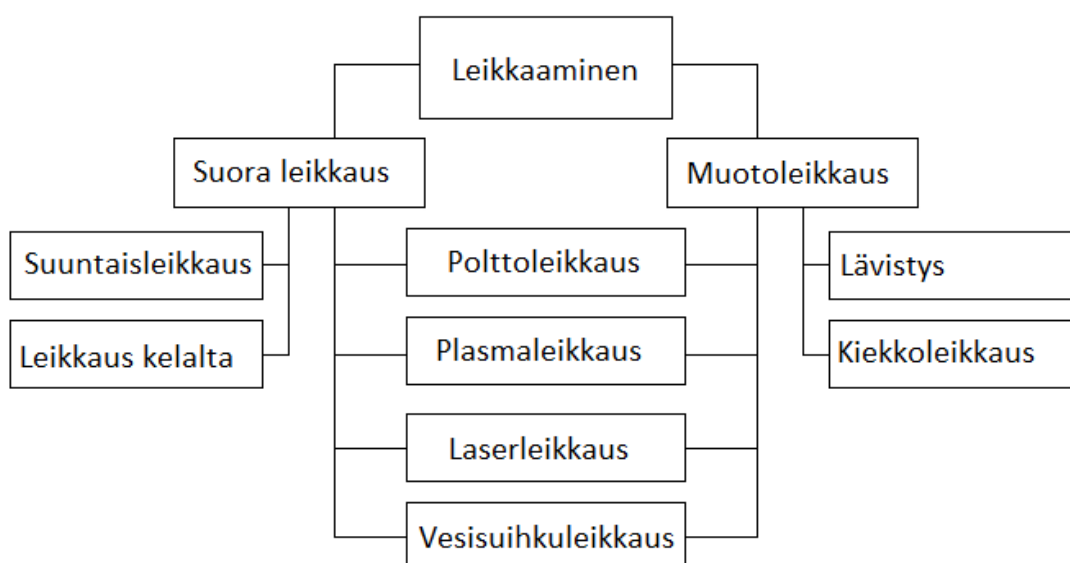
Robottihitsauksella saadaan siistiä ja tasalaatuista jälkeä. Robottihitsaus soveltuu parhaiten lyhyille hitseille, joissa on kaarevia pintoja, ennakoitaville toiminnoille, joissa hitsausprosessi ei edellytä jatkuvia vaihtoja ja muutoksia. Robottihitsausta käytetään eniten massa-tuotannossa, mutta robotiikkaa voidaan hyödyntää myös pienemmissä erissä tai jopa yksittäiskappaleille. (Kemppi 2024.)

3 Leikkausmenetelmiä

3.1 Yleistä levytöistä

Levyjä on eri paksuuksia ja valmistusmenetelmät vaihtelevat usein levyn paksuuden mukaan. Ohutlevyistä puhuttaessa levyn paksuus on yleensä 3 mm tai alle.

Leikkaus on usein ensimmäisiä menetelmä, jota levytuotteelle tehdään. Leikkaus voi olla suora- tai muotoleikkausta. Leikkausmenetelmän valinnassa täytyy huomioida muodon lisäksi leikattava materiaali, koska kaikilla menetelmillä ei voida leikata kaikkia materiaaleja. Kuvassa 4 on esitelty leikkausmenetelmien jaottelu. (Matilainen ym. 2011, 142.)



Kuva 4. Leikkausmenetelmien jaottelu (Mukaillen Matilainen ym. 2011, 142.)

Leikkauksessa käytettävät menetelmät ovat jaoteltu suoran - ja muotoleikkauksen lisäksi kahteen ryhmään, jotka ovat terminen - ja mekaaninen leikkaus. Termisessä leikkauksessa materiaali kuumennetaan paikallisesti korkeaan lämpötilaan ja leikkaa materiaalia. Mekaaninen leikkaus tapahtuu mekaanisin keinoin, kuten suuren paineen avulla.

Lähes kaikki leikkausmenetelmät ovat automatisoituja. Joitain menetelmiä kuten poltto-, plasma- ja suuntaisleikkaus voidaan suorittaa myös käsikäyttöisesti.

3.2 Terminen leikkaus

Terminen leikkaus tapahtuu korkean lämpötilan takia palamalla, sulamalla ja höyrystymällä. Leikkaurailoon puhallettava kaasu poistaa leikkajätteet railosta. Termistä leikkausta voidaan suorittaa polttoleikkauksella, plasmaleikkauksella ja laserleikkauksella. Taulukko 1.

kertoo mitä materiaaleja pystyy leikkaamaan termisillä menetelmillä. (Matilainen ym. 2011, 142.)

Materiaali	Polttoleikkaus	Plasmaleikkaus	Laserleikkaus
Seostamattomat teräkset	Leikattavissa	Leikattavissa	Leikattavissa
Seostetut teräkset	Leikattavissa	Leikattavissa	Leikattavissa
Ruostumattomat teräkset	Vaatii esikuumennuksen	Leikattavissa	Leikattavissa
Alumiini	Ei leikattavissa	Leikattavissa	Leikattavissa
Kupari	Ei leikattavissa	Leikattavissa	Leikattavissa

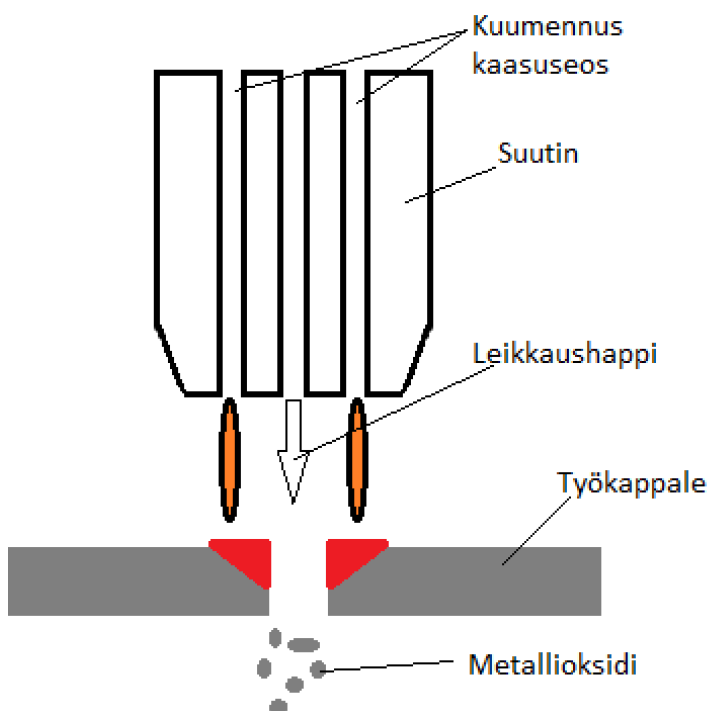
Taulukko 1. Eri materiaalien leikattavuus termisesti (Matilainen ym. 2011, 143.)

Termiseen leikattavuuteen vaikuttaa materiaalin lisäksi myös materiaalin paksuus. Materiaalien leikattavuudesta on kerrottu tarkemmin leikkausmenetelmien perusteiden yhteydessä.

Termiset leikkausmenetelmät ovat yleisesti mekaanisia leikkausmenetelmiä edullisempia ja noin 10 mm ja sitä paksummilla lähes yksinomaan käytettyjä. Termiset leikkausmenetelmät ovat joustavia muotoleikkauksessa ja niiden leikkausjälki on yleisesti hyvää. (Matilainen ym. 2011, 142.)

3.2.1 Polttoleikkaus

Polttoleikkaus on palamisprosessi, jossa metallia kuumennetaan paikallisesti polttokaasun ja kuumennushapen synnyttämällä liekillä syttymislämpötilaan asti. Kun metalli on saatu syttymislämpötilaan, puhalletaan sitä happisuihkulla, joka suorittaa varsinaisen leikkauksen. Polttoleikkauksessa metalli hapettuu ja sulassa tilassa oleva metallioksidi poistuu rai-
lostosta happisuihkusta aiheutuvan kineettisen energian avulla. (Matilainen ym. 2011, 143, 144.) Kuvassa 5 on esitetty polttoleikkauksen periaate.



Kuva 5. Polttoleikkauksen periaate esitetty kuvallisesti. (Mukaihen Matilainen ym. 2011, 144.)

Polttoleikkaus soveltuu parhaiten paksujen seostamattomien ja niukkasekoisten teräslevyjen leikkaamiseen (5–250 mm). Polttoleikkaus voidaan suorittaa käsikäyttöisesti tai koneellisesti. Parhaiten polttoleikkaus soveltuu silloin, kun ei vaadita leikkausjäljeltä suurta tarkkuutta. Polttoleikkauksen tarkkuuden voidaan arvioida olevan 0,5–1 mm välillä. (Matilainen ym. 2011, 143–144.)

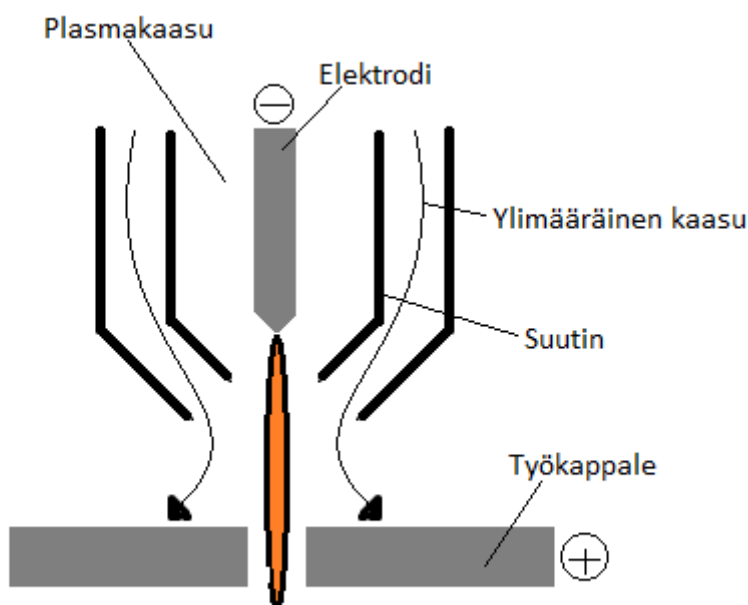
Polttoleikkauksessa railon leveys ja leikkauskaasun suihkun epätarkkuus tekevät leikkauksen teräville kulmille hankalaksi. Tyypillinen leikkaurailon leveys 12 mm seostamattoman teräksen levyssä on noin 1,1 mm (Esab 2022). Tämän takia polttoleikkauksen suunnittelussa tulisi välttää teräviä kulmia. Polttoleikkauksessa suunnittelijan tulisi pyrkiä suosimaan jouhevia muotoja. (Matilainen ym. 2011, 146.)

3.2.2 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on sulaleikkausmenetelmä, jolla sulatetaan levyyn railo kuumen plasman lämpöenergian avulla. Sulanut metalli poistuu railosta plasman liike-energian avulla. Plasmaleikkaus eroaa polttoleikkauksesta siten, että plasmaleikkauksessa metalli sulaa eikä pala. Plasmaleikkauksella pystyy leikkaamaan kaikkia metalleja, mutta suurimmat käyttökohteet ovat ruostumattoman teräksen, alumiinin ja kuparin leikkauksessa. (Matilainen ym. 2011, 148–149.)

Plasmaleikkaus voidaan suorittaa usealla eri tavalla, kuten Dual-flow-, vesistabiloitu -, happi-, paineilma-, happistabiloitu-, vedenalainen-, hienosädeplasmaleikkaus. Kaikkien menetelmien peruseriaatteena metalli sulatetaan plasman avulla. Leikkauskohtaan puhalletaan suojakaasua, joka suojaa ilman epäpuhtauksilta. Suojakaasuna toimii yleensä typpi, hiilidioksidi tai paineilma. (Matilainen ym. 2011, 148–154.)

Plasma synnytetään elektrodin plasmaleikkauspolttimen elektrodin ja leikattavan levyn välillä palavaan valokaareen johtamalla siihen plasmatilan muodostavaa kaasua. Valokaari syntyy sähkövirran tuomasta energiasta. Sähkövirta tuodaan elektrodiin tasavirta virtalähteen avulla. Itse fyysikaalinen plasma koostuu dissosioituneesta ja osin ionisoituneesta kaasusta. Plasmakaasuina käytetään mm. paineilmaa, typpeä, vetyä, argonia, happea ja eri kaasuseoksia. (Matilainen Ym. 2011, 148–149.) Kuvassa 6 on esitetty plasmaleikkauksen periaate.

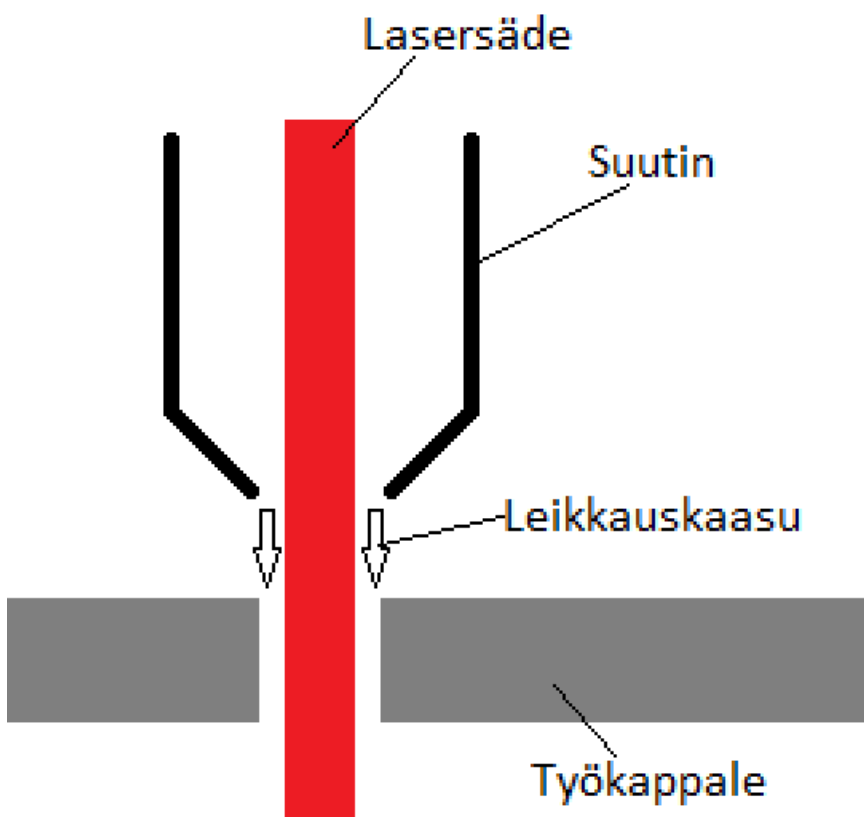


Kuva 6. Dual-Flow- menetelmä on yleisin plasmaleikkausmenetelmä. Kuvassa Dual-Flow-plasmaleikkauksen periaate esitetty kuvallisesti. (Mukaiillen Matilainen ym. 2011, 150.)

Plasmaleikkaukseen soveltuvat materiaalivahvuudet saattavat vaihdella paljon riippuen leikattavasta materiaalista ja plasmaleikkauksilaitteiston tehosta. Esimerkiksi leikkausvirta-alueella 20–1000 A voidaan leikata 0,5–160 mm paksuja levyjä. Seostamattomilla teräksillä voidaan leikata 40 mm asti ja siitä paksummat levyt suositellaan leikkaamaan polttoleikkauksena. Ruostumatonta terästä ja alumiinia pystytään leikkaamaan 200 mm asti. (ionix.) Plasmaleikkauksen leikkausrailon koko 12 mm paksussa seostamattomassa teräslevyssä on noin 4 mm (Esab 2022).

3.2.3 Laserleikkaus

Laserleikkaus voidaan tehdä polttoleikkauksena, sulattavana leikkauksena, höyrystävänä leikkauksena tai näiden yhdistelmänä. Lasersädettä käytetään sulattamaan tai höyrystämään leikattava materiaali. Lasersäteen kanssa on samankeskinen leikkauskaasu poistamassa ylimääräisen materiaalin leikkauksrailosta. Laserleikkaus on tarkka ja nopea prosessi. Laserleikatut tuotteet tarvitsevat harvoin jälkityöstöä. Suosituin laserleikkausmenetelmä on laserpolttoleikkaus. (Matilainen ym. 2011, 158–159.) Kuvassa 7 on esitetty laserleikkauksen periaate.



Kuva 7. Laserleikkauksen periaate esitetty kuvallisesti. (Mukaillen Matilainen ym. 2011, 158.)

Laserleikkauksella tarkkuudella päästään on noin $\pm 0,1$ mm. Laserleikkaus soveltuu enintään 30 mm paksuille levyille, mutta maksimi paksuus vaihtelee käytettävän laserleikkaukselaitteiston tehosta. Yleisesti laserleikkaus toimii hyvin 8–10 mm levyn paksuuteen saakka, jonka jälkeen leikkaaminen hidastuu ja hankaloituu. Heijastavat materiaalit, kuten kupari ja alumiini ovat hankalampia leikata laserilla verrattuna mattapintaisiin materiaaleihin.

(Levadal 2023.) Laserleikkauksen leikkausrailon koko 12 mm paksussa seostamattomassa teräslevyssä on noin 0,6 mm (Esab 2022).

3.3 Mekaaninen leikkaus

Mekaaninen leikkaus tapahtuu käyttäen hyväksi mekaanisesti tuotettua voimaa. Leikkaukseen tarvittava mekaaninen voima tuotetaan suurella puristusvoimalla tai paineella.

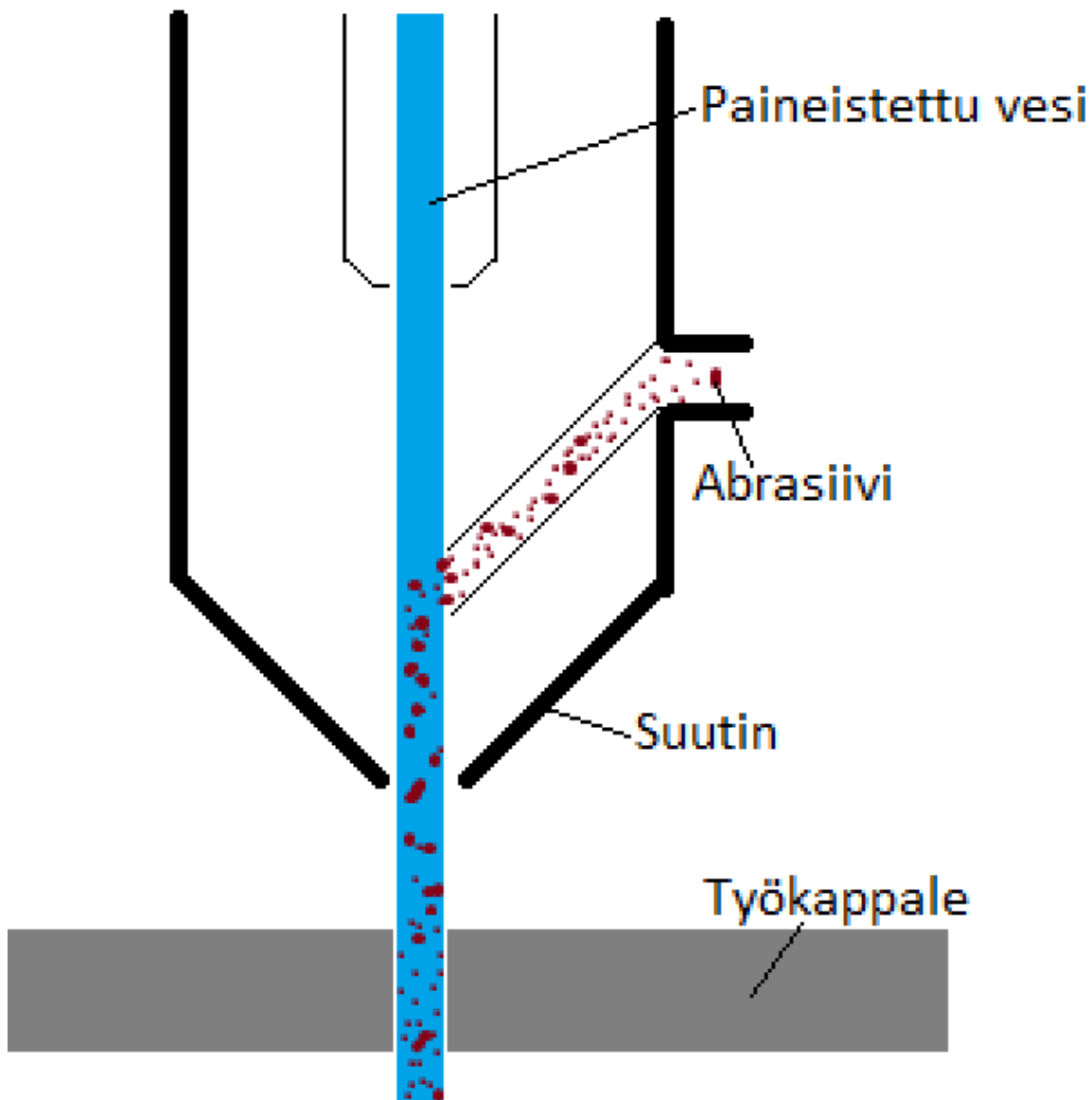
Mekaanisessa leikkauksessa ei synny lämpöä samalla tavalla kuin termisessä leikkauksessa, joten mekaaninen leikkaus sopii kaikille materiaaleille. Materiaalin leikattavuuteen vaikuttaa materiaalin paksuus samalla tavalla kuin muilla menetelmillä.

3.3.1 Vesisuihkuleikkaus

Vesisuihkuleikkaus tapahtuu korkeapaineisella vesisuihkulla, joka irrottaa materiaalia kapaleesta poistaen irronneet hiukkaset leikattavasta kohdasta veden mukana. Vesisuihkuleikkaus voidaan tehdä pelkän veden avulla tai veteen sekoitettujen abrasiivien avulla. Abrasiivit ovat veden seassa olevia hiovia partikkeleja, joka on yleensä abrasiivihiekkaa. (Matilainen ym. 2011, 193–194.)

Abrasiivien avulla vesisuihkulla pystytään leikkaamaan lähes mitä vain, kunhan materiaalin kastuminen ei ole ongelma. Erityisen hyvin vesisuihkuleikkaus toimii lämpöherkille materiaaleille, koska vesisuihkuleikkauksessa ei synny lämpöä. Tällaisia metalleja ovat esimerkiksi titaani, kupari ja seostetut teräkset. (Matilainen ym. 2011, 196.)

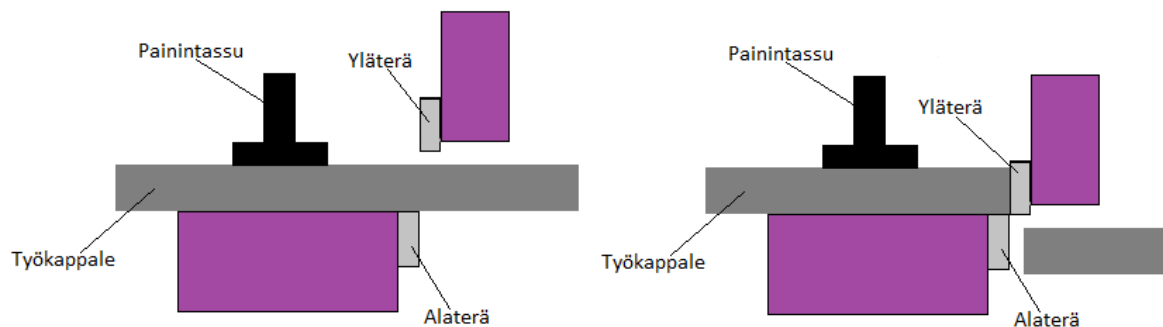
Vesisuihkuleikkaus on tarkka ja tehokas menetelmä 8–100 mm paksuisille levyille. Ohuemmille levyille laser- ja plasmaleikkaus ovat taloudellisimpia ja tehokkaampia menetelmiä. Vesisuihkuleikkaus voi joskus vaikuttaa kalliimmalta vaihtoehdolta, mutta vesisuihkun tekemä siisti ja tarkka leikkausjälki voi säästää kuluja jälkityöstössä. Vesisuihkuleikkauksen päästään yleisesti noin $\pm 0,2$ mm tarkkuuteen. (Matilainen ym. 2011, 195, 200.) Vesisuihkuleikkaus leikkausrailon koko 12 mm paksussa seostamattomassa teräslevyssä on noin 0,9 mm (Esab, 2022). Kuvassa 8 on esitetty vesisuihkuleikkauksen periaate.



Kuva 8. Vesisuihkuleikkauksen periaate esitetty kuvallisesti.

3.3.2 Suuntaisleikkaus

Suuntaisleikkauksessa levy puristetaan kahden terän välissä, jolloin se leikkaantuu. Suuntaisleikkauksella tehdään suoria leikkauksia. Suuntaisleikkauksen tarkkuutena voidaan pitää keskimääräisesti arvoa 0,1 mm. Riippuen suuntaisleikkauksen laitteistosta, pystytään leikkaamaan levyjä jopa 40 mm paksuuteen saakka. Pehmeät materiaalit kuten alumiini, saattaa vaatia enemmän leikkausvoimaa, koska pehmeät materiaalit eivät murru yhtä helposti kuin kovat materiaalit. Suuntaisleikkaus on suhteellisen halpa ja yksinkertainen menetelmä (Matilainen ym. 2011, 171.) Kuvassa 9 on esitetty suuntaisleikkauksen periaate.



Kuva 9. Suuntaisleikkauksen periaate esitetty kuvallisesti. (Mukaillen Matilainen ym. 2011, 171.)

Suuntaisleikkauksessa esiintyy kolme voimaa, jotka ovat päävoima, sivuttaisvoima ja poikkittaisvoima. Tärkeimpänä on päävoima, joka suorittaa leikkauksen, mutta sivuttais- ja poikkittaisvoimat saattavat vaikuttaa leikkaustapahtumaan varsinkin, jos leikkausterä on tylsä. (Matilainen ym. 2011, 175.)

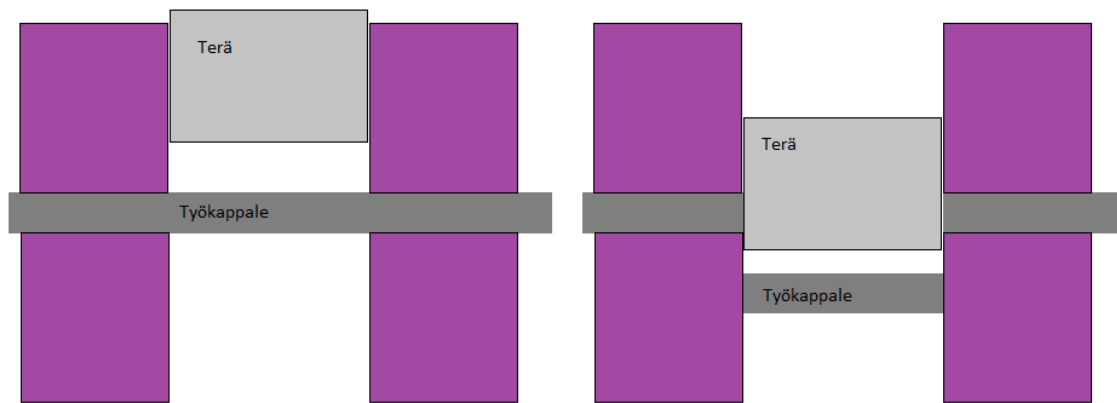
Suuntaisleikkauksessa tarvittava päävoima voidaan laskea (kaava 1).

$$P_1 = \frac{s^2}{2} * \cot\alpha * 0,8R_m \quad (1)$$

Kaavassa P_1 on päävoima, s on levyn paksuus, α on leikkauskulma ja R_m on leikattavan levyn murtolujuus. Pääleikkausvoiman avulla voidaan arvioida suuntaisleikkaukseen riittävyyttä kappaleen leikkaamiseen. Kaavaa suositellaan käytettäväksi vain voiman karkeaan arviointiin, koska siinä ei huomioida terän tylsytymistä eikä käytettyä leikkausväliä. (Matilainen ym. 2011, 175.)

3.3.3 Lävistäminen

Lävistämällä voidaan leikata levyyn suljettuja muotoja. Lävistämisessä levyyn leikataan mekaanisesti muoto käyttäen leikkainta, johon kuuluu tyyny ja pistin. Levy asetetaan tyynyn päälle ja pistin tekee työiskun, joka lävistää kappaleeseen halutun muodon. Leikattava materiaali ensin myötää ensin kimmoisesti, jonka jälkeen alkaa plastinen muodonmuutos. Materiaalin menetettyä muodonmuutoskykynsä se murtuu ja leikkaantuu. Yleisesti lävistäminen soveltuu 0,5–8 mm paksuille levyille materiaalista ja koneesta riippuen. Lävistämällä päästään $\pm 0,15$ mm tarkkuuteen. (Matilainen ym. 2011, 179–181.) Kuvassa 10 esitetty lävistämisen periaate.



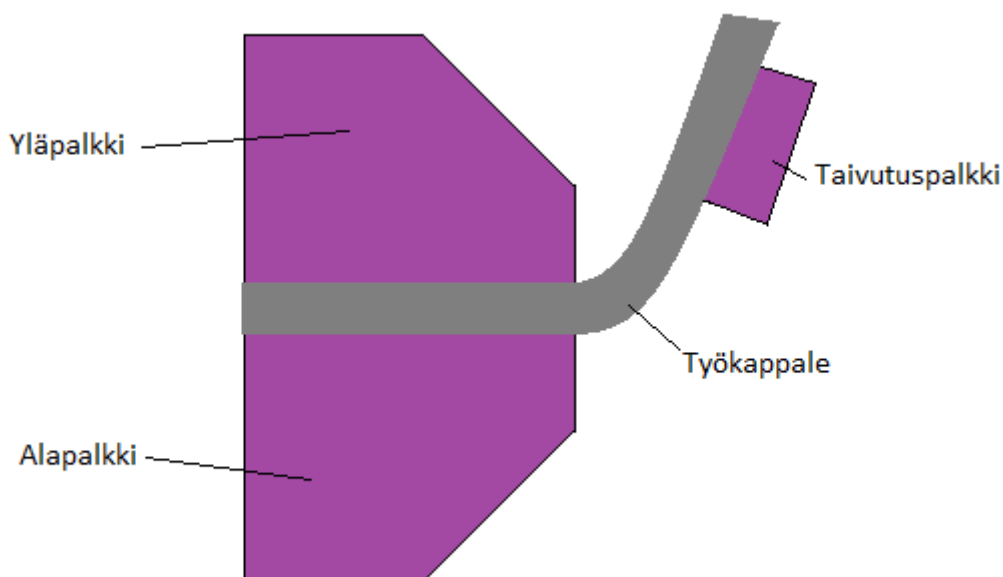
Kuva 10. Lävistämisen periaate esitetty kuvallisesti. (Mukaillen Matilainen ym. 2011, 180.)

Lävistämässä käytettäviä työkaluja on standardisoitu ja yleisimpiä muotoja ovat mm. pyöreä sekä neliömäinen reikä. Tarpeen tullen voidaan valmistaa erikoistyökalu, mutta se on hintavaa eikä kannattavaa pienelle tuotantoerälle. (Matilainen ym. 2011, 182–183.)

4 Taivutus ja särmäys

Taivutuksella tarkoitetaan levyn taivutusta tiettyyn kulmaan tai muotoon. Kuvassa 6 on esitelty taivutuksen periaate. Taivutuksen suunnittelussa on huomioitava kaksi tärkeää tekijää, jotka ovat ulkopinnan murtuminen ja taivutetun osuuden takaisinjousto. Takaisinjousto ja murtuminen vaikuttaa kappaleen toleransseihin. (Ihalainen, E. ym. 2025, 236.)

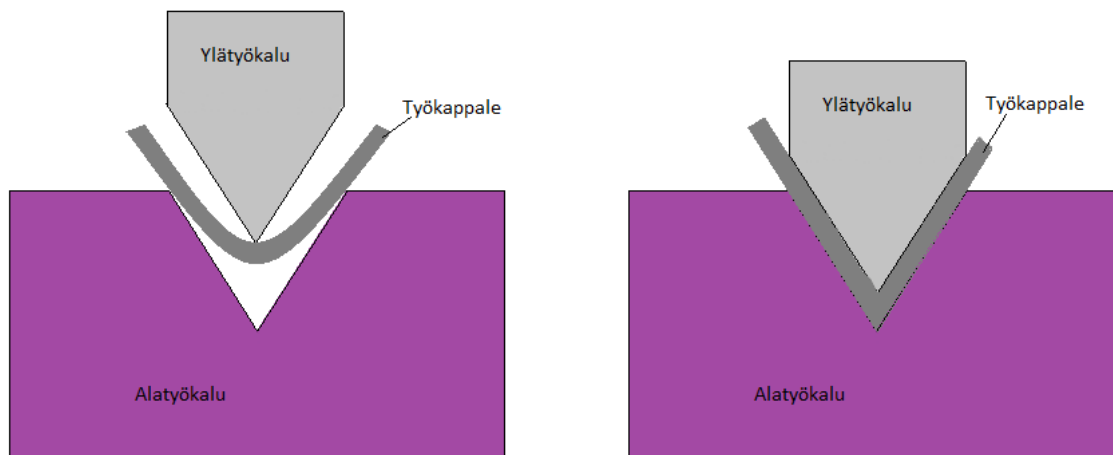
Kun levyä taivutetaan, levyn sisäpuoli tyssäntyy ja ulkopuoli venyy. Takaisinjousto tapahtuu silloin, kun levyssä ei tapahdu pysyvää muodonmuutosta, vaan levy joustaa takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Takaisinjousto voidaan minimoida kiinnittämällä huomiota taivutussäteeseen, levyn paksuuteen ja materiaalin myötölujuuteen. (Matilainen ym. 2011, 245–246.) Kuvassa 11 levy kiinnitetään ala- ja yläpalkin väliin, jossa se ei pääse liikkumaan. Taivutus palkki tekee taivutuksen levyyn.



Kuva 11. Taivutuksen periaate esitetty kuvallisesti. (Mukaillen Matilainen Ym. 2011, 239.)

Särmäys on metallin taivuttamista painamalla levy ylätyökalan ja alatyökalan väliin. Särmäys tapahtuu vapaataivutuksena tai pohjaaniskutaivutuksena. Vapaaiskutaivutuksessa levyä taivutetaan kolmipistetaivutuksena v-aukon kulmien ja ylätyökalan suhteen. Vapaaiskutaivutuksessa ylätyökalan isku lopetetaan ennen kuin ylätyökalu pohjaa levyn alatyökaluun. Haluttua kulmaa säädetään ylätyökalan iskun pituudella, koska isku ei mene täysin pohjaan vapaataivutuksessa käytetään yleensä alle 90° kulmia. Pohjaaniskutaivutuksen periaate on sama kuin vapaaiskutaivutuksen, mutta ylätyökalan isku painuu kokonaan alatyökaluun vasten, jolloin levy muotoutuu tarkasti ylä- ja alatyökalan muotojen mukaan. Pohjaaniskutaivutus on harvinaisempi menetelmä ja sitä käytetään, kun vaaditaan tarkkoja

taivutuksia. Kuvassa 12 esitetään vapaaiskutaivutuksen ja pohjaaniskutaivutuksen periaate. (Matilainen ym. 2011, 241, 257.)



Kuva 12. Vapaaiskutaivutus (vasemmalla), Pohjaaniskutaivutus (oikealla).

Taivutus sopii hyvin varsinkin ohutlevyille. Pienemmillä taivutussäteillä ja tiukoilla kulmilla murtuminen on yleisempää. Lisäksi eri materiaaleilla taivuttaminen on helpompaa kuin toisilla. Särmäyksellä päästään $\pm 0,5$ mm tarkkuuteen ohutlevyillä. (Matilainen ym. 2011, 254.)

Valittaessa alatyökalun V-aukkoa tulisi tietää taivutettavan materiaalin paksuus, myötölujuus ja sisäpuolinen taivutussäde. V-aukko valitaan yleisesti kuitenkin pelkän materiaalin paksuuden mukaan. Taivutettavan levyn paksuutta ja V-aukon välistä suhdetta voidaan kuvata väljyysluvulla. Väljyysluku kertoo ylätyökalun ja vastimen väliin jääneen tilan suuruutta tietyn paksuisten levyjen taivutuksessa. Väljyysluku ottaa huomioon V-aukon leveyden, ylätyökalussa käytettävän säteen ja materiaalin paksuuden. (Matilainen ym. 2011, 243.)

Väljyysluku voidaan laskea käyttämällä (kaava 2).

$$w = \frac{V}{2*(r_p + s_0)} - 1 \quad (2)$$

Kaavassa V on V-aukon leveys, r_p on ylätyökalunsäde, s_0 on materiaalin paksuus ja w on väljyysluku. Väljyysluvun ollessa lähellä arvoa 0 on väli liian ahdas materiaalin paksuuteen nähden. Arvo 1 vastaa tyypillistä rakenneteräksen särmäyksessä käytettävää geometriaa. (Matilainen ym. 2011, 243.)

5 Suunnittelu

5.1 Suunnittelusta yleistä

Tässä osiossa käydään läpi tärkeimpiä asioita hitsaus- ja levytöiden suunnittelusta. Tavoitteena on tuoda esille yleisiä virheitä ja kuinka niitä voidaan välttää. Tarkoituksena on opettaa suunnittelijaa parempaan valmistettavuuteen.

Suunnittelussa kaikista tehokkainta on pitää kappale mahdollisimman yksinkertaisena ja välttää valmistuksessa ylimääräisiä välivaiheita. Turhia toleransseja tulisi välttää, ellei niitä ole pakko käyttää, koska toleranssit tuovat lisää hintaa sekä kuluttavat aikaa suunnittelu- ja valmistusvaiheessa.

5.2 Materiaalin valinta

Materiaalin valinta on suunnittelijan tärkein osuus. Se on yleensä ensimmäinen suunnittelun vaihe ja se määrittelee kohteen valmistusmenetelmän. Materiaalin valinnassa suunnittelijan tulee miettiä kohteen olosuhteita, siihen kohdistuvia voimia, materiaalien kustannuksia ja materiaalille sopivia valmistusmenetelmiä.

Materiaalin valinnassa tulee huomioida materiaalin kustannukset, paino, kestävyys, saataavuus, korroosion kesto, hitsattavuus ja muovattavuus. Yleisimpiä materiaaleja levytyösuunnittelussa ovat seostamaton teräs, ruostumaton teräs ja alumiini, koska ne ovat helposti työstettäviä ja halpoja.

Erilaisten materiaalien muovattavuudesta:

- Alumiinia on vaikea hitsata, mutta helppo taivuttaa
- Seostamatonta terästä on helppo muovata, mutta on korroosio altis
- Ruostumatonta terästä on helppo taivuttaa, mutta hitsaus saattaa heikentää korroosion kestoa. Lisäksi esimerkiksi polttoleikkaus vaikuttaa ruostumattoman teräksen korroosion keston, koska leikkaus tapahtuu hapen avulla.

5.3 Valmistusmenetelmien valinta

Valmistusmenetelmien valinta on materiaalin valinnan jälkeen seuraava vaihe. Valmistusmenetelmän valintaan vaikuttaa materiaali, levyn vahvuus, kappaleen muoto ja kappaleessa tarvittavat toleranssit. Valmistusmenetelmän valinnassa kannattaa suosia mahdollisuuksien mukaan samaa menetelmää valmistettavalle osalle.

Leikkaus on yleisesti ensimmäinen vaihe, jota valitulle kappaleelle suoritetaan. Yleisesti suunnittelijan tulisi valita valmistusmenetelmäksi halvin vaihtoehto, jottei tulisi turhia kustannuksia. Halvin vaihtoehto ei kuitenkaan aina ole paras vaihtoehto. Leikkausmenetelmän valinnassa tulee huomioida kappaleessa tarvittava pinnanlaatu, koska oikealla leikkausmenetelmän valinnalla voidaan välttää jatkojalostus.

Leikkausvaiheessa on syytä miettiä, mitä muita valmistusmenetelmiä kappaleen valmistukseen tarvitaan. Leikkauksen avulla voidaan helpottaa ja nopeuttaa muiden käytettävien valmistusmenetelmien valmistusta. Esimerkiksi levyjen taivutusta voidaan parantaa leikkamalla helpotus taitoksen nurkkaan.

Leikkausmenetelmän voi karkeasti valita näin:

- Laserleikkaus: Yleispätevä ja tarkka valmistusmenetelmä varsinkin ohutlevyjen leikkaukseen, mutta parhaiten soveltuu 10 mm saakka, jonka jälkeen plasmaleikkaus voi olla parempi vaihtoehto.
- Plasmaleikkaus: Sopii paksummille levyille kuin laserleikkaus. Voidaan käyttää myös laserleikkauksen sijaan, jos laserleikkauksen tarkkuudesta ei ole hyötyä.
- Polttoleikkaus: Soveltuu hyvin paksuille levyille ja on edullinen vaihtoehto, mutta ei ole kovin tarkka leikkausjälki.
- Vesisuihkuleikkaus: Sopii kaikille materiaaleille ja saadaan tarkkaa jälkeä, jopa hyvin paksuille levyille.

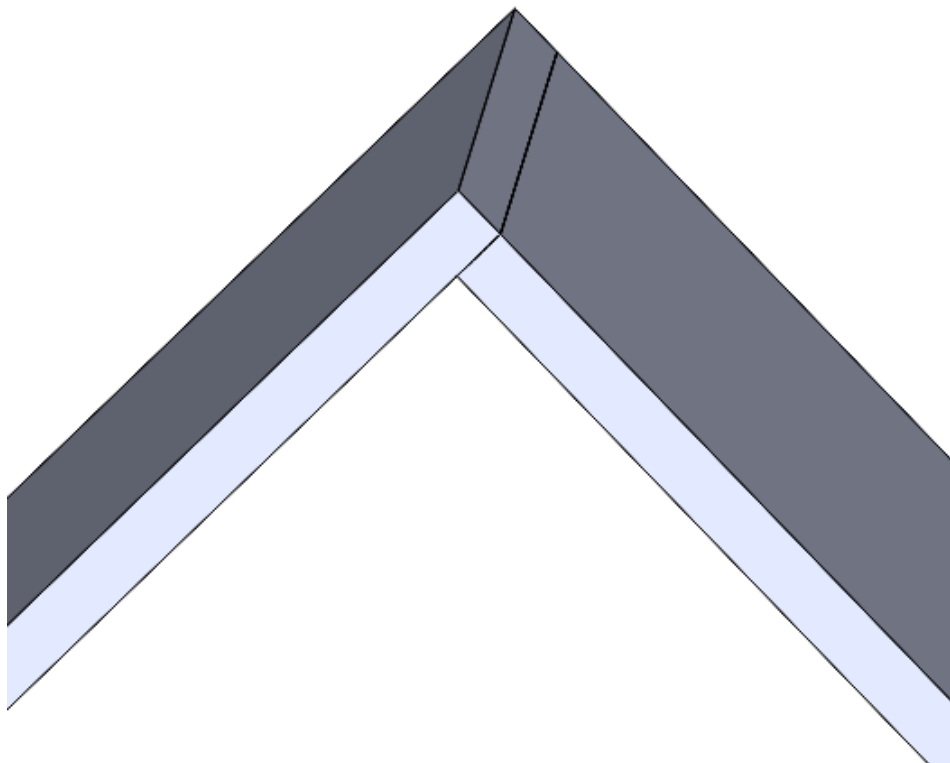
5.4 Hitsausten suunnittelu

Hitsausliitoksia tulisi välttää mahdollisuuksien mukaan, koska hitsaukset lisäävät osia ja välivaiheita valmistuksessa, mikä johtaa pidempään valmistusaikaan ja kalliimpaan hintaan. Jos kappaletta pystyy taivuttamaan ja päästään haluttuun muotoon sillä, kannattaa suosia taivutusta hitsauksen sijaan.

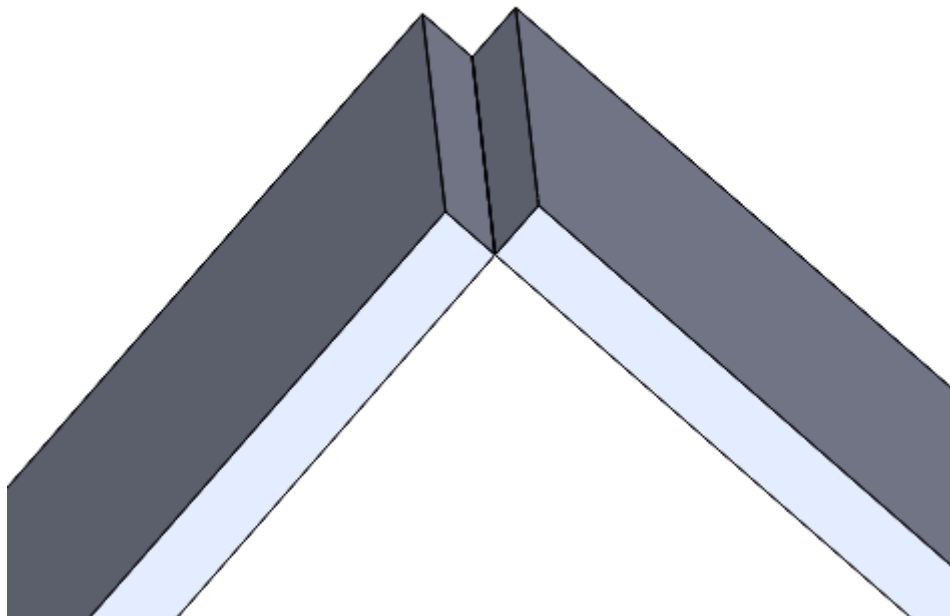
Hitsausta suunniteltaessa tulisi välttää pitkiä saumoja. Pitkät saumat tuovat lisähintaa, kuluttavat aikaa ja saattavat olla tarpeettomia, mutta jos kappaleen täytyy olla tiivis kuten esimerkiksi painekattila, hitsaussaamaa ei voida katkoa. Pitkät hitsit saattavat aiheuttaa muodonmuutoksia kappaleeseen, koska siinä syntyy suuri lämpöenergia. Katkomalla hitsiä voidaan pienentää kappaleeseen kohdistuvaa lämpöenergiaa ja voidaan välttyä muodonmuutoksilta.

Hitsausta suunniteltaessa tulisi miettiä hitsaajan tilaa työskennellä. Kuva 13 esittää levyjen asettelun, jos pystytään hitsaamaan kappaleen sisäpuolelta ja levy ei ole kovin paksu.

Kuvan 14 asettelu toimii paremmin, jos levy on paksua tai hitsaajalla on hankala päästä käsiksi sisäpuolelle. Ohuilla levyillä saavutetaan riittävän kestävä liitos helpommin kuvan 13 avulla. Paksuilla levyillä saadaan tehtyä kestävä liitos kuvan 14 asettelulla, koska sekoittumisaste on suurempi. Kaikista paras vaihtoehto olisi poistaa hitsausliitos ja korvata se taivutuksella, jos se on mahdollista.

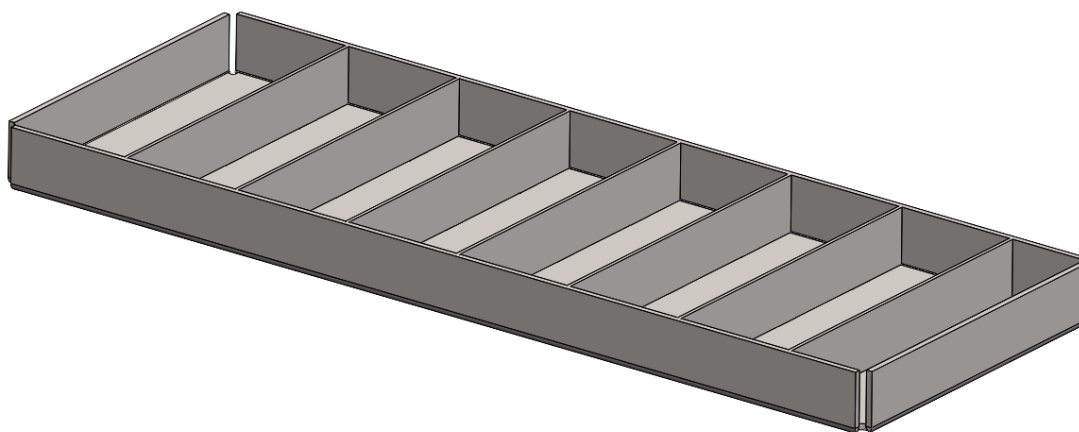


Kuva 13. Sijoittelu ohutlevyille ja avoimille paikoille.

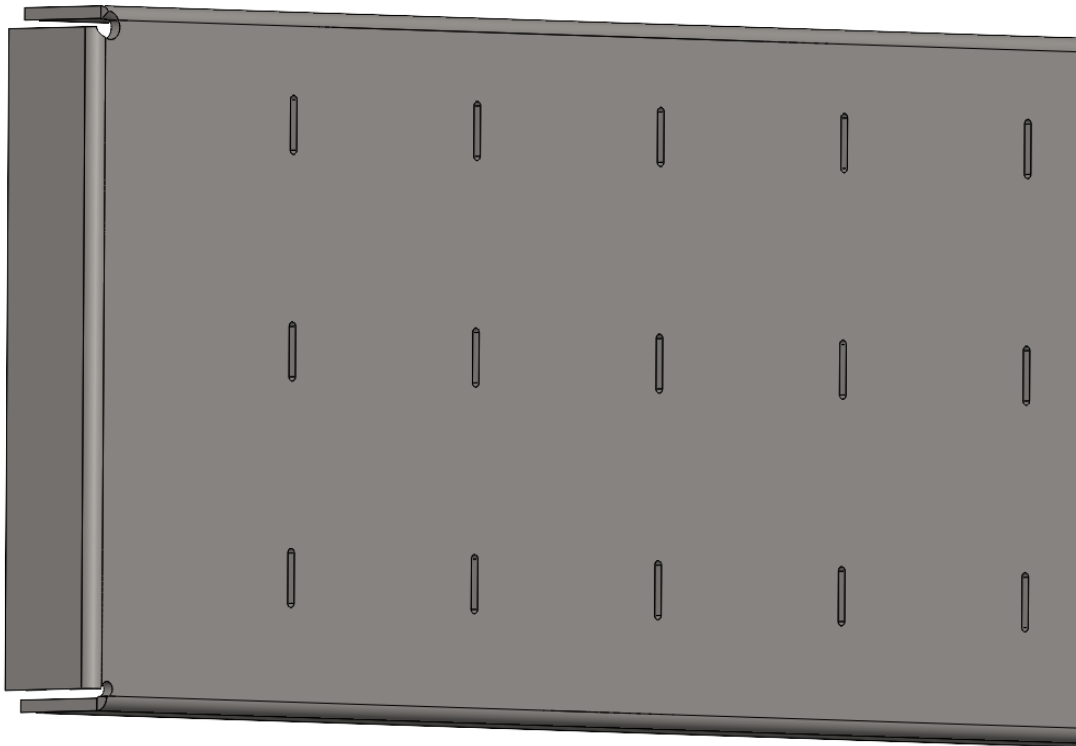


Kuva 14. Sijoittelu paksuille levyille ja ahtaisiin paikkoihin.

Hitsaus voi olla hankalaa ahtaissa paikoissa. Suunnittelija voi tehdä hitsauksen helpommaksi tekemällä levyyn reikiä, jonka avulla tuote pystytään hitsaamaan. Kuvassa 15 on ahdas rakenne, johon ei välttämättä pääse hitsaamaan. Kuva 16 esittää vaihtoehtoisen rakenteen laatikon lokeroiden hitsaamiseen. Takana olevat reiät auttavat paikoittamaan levyn oikean kohdan ja helpottavat hitsausta.

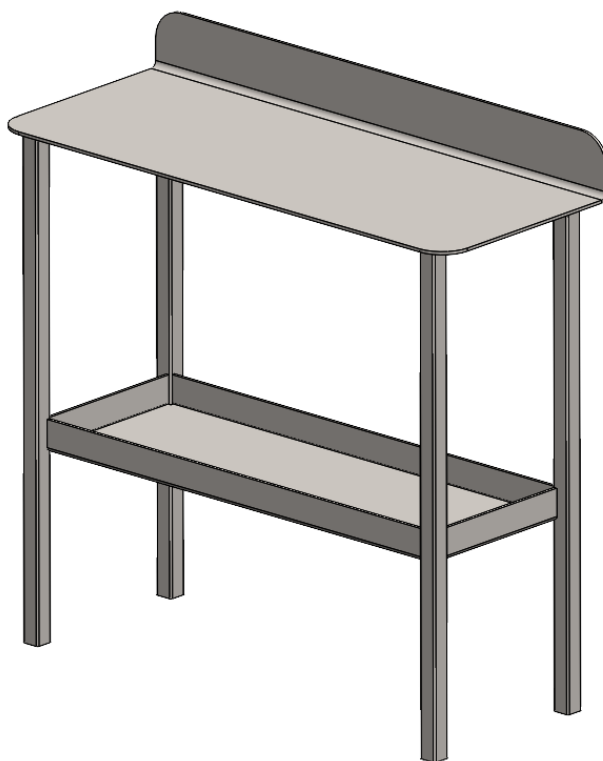


Kuva 15 Laatikon lokerot yläpuolelta



Kuva 16 Laatikon alapuoli

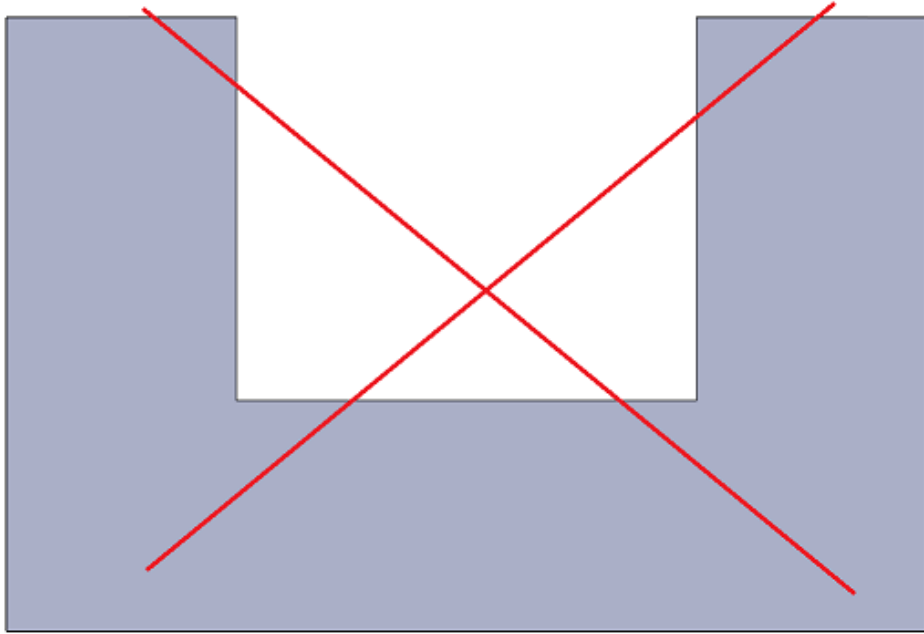
Hitsatuissa kohteissa ensin mallinnetaan hitsattavat osat erikseen, jonka jälkeen tehdään hitsattu kokoonpano. Tämä ei aina pidä paikkaansa, koska Solidworks-ohjelmassa voidaan käyttää weldments työkalua, joka sopii täydellisesti esimerkiksi putkirunkoihin. Erikseen mallinnetuista levy osista voidaan helposti luoda valmistuspiirustukset. Hitsattuun kokoonpanoon tuodaan kaikki hitsausta vaativat osat ja liitetään ne niille kuuluville paikoille. Kuvassa 17 on esitetty hitsattukokoonpano.



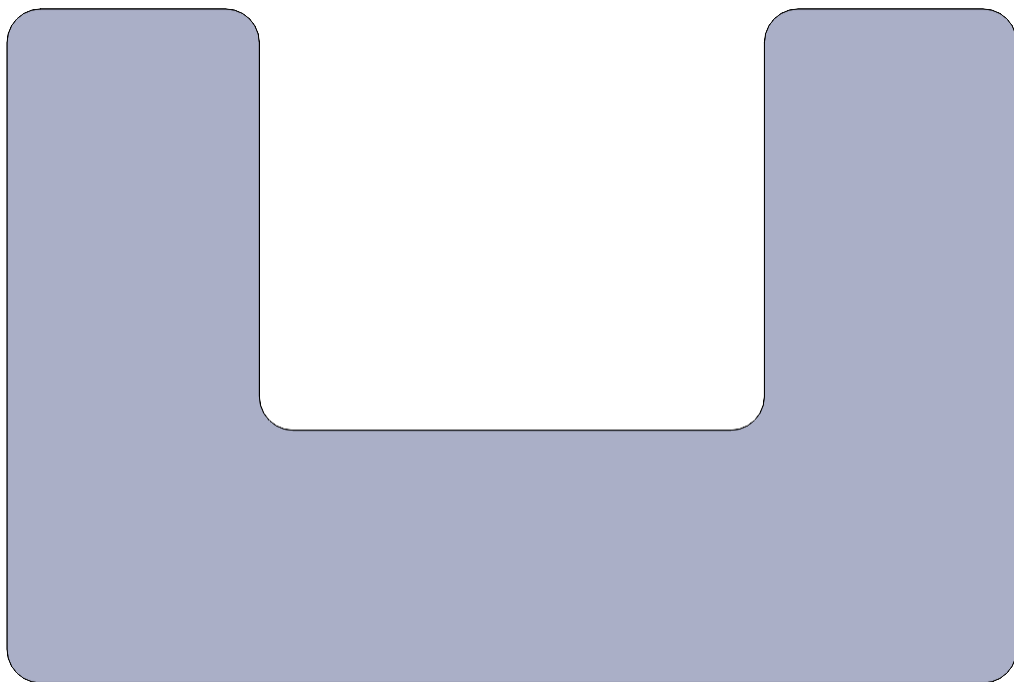
Kuva 17. Hitsattu kokoonpano

5.5 Leikkausten suunnittelu

Leikatuissa muodoissa tulisi yleisesti suosia jouhevia muotoja ja välttää teräviä kulmia. Jos osassa ei ole pakollista olla teräviä kulmia kannattaa aina pyöristää kulmat. Pyöreät kulmat nopeuttavat leikkausta ja tekevät osan ulkoreunoista turvallisemman käsitellä. Etenkin termitsesti leikattavat tuotteet tulisi olla pyöreitä. Alla olevissa kuvissa 18 ja 19 ovat esimerkkejä leikkausten suunnittelusta, joita tulisi välttää ja suosia.



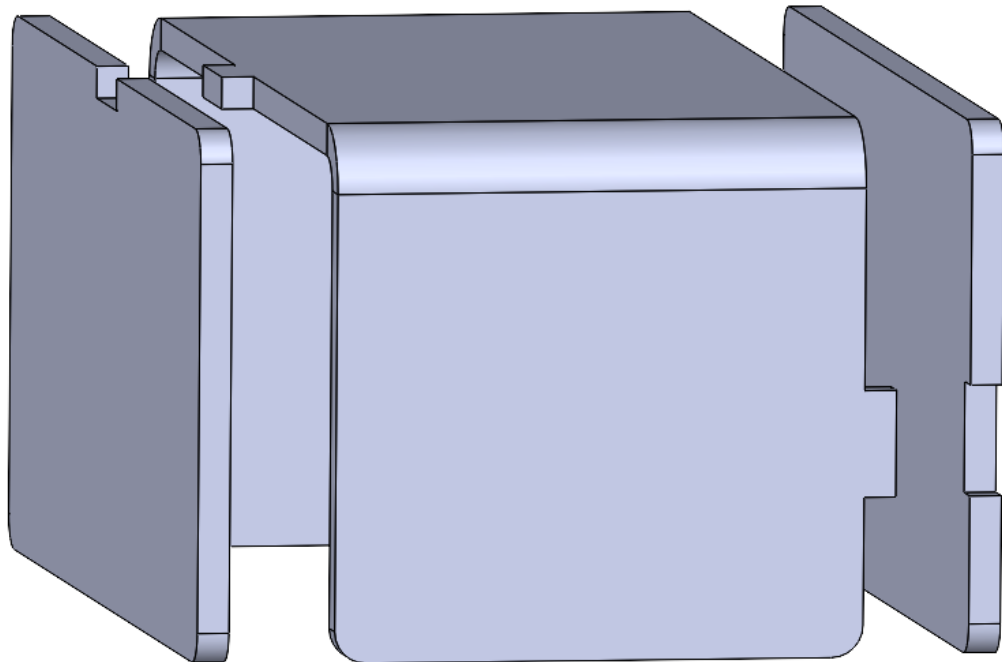
Kuva 18. Huonosti suunniteltu kappale.



Kuva 19. Paremmin suunniteltu kappale

Kappaleen kokoonpantavuutta voidaan helpottaa leikkaamalla levyyn paikoitusnastoja. Paikoitusnastoilla nopeutetaan kokoonpantavuutta ja varmistetaan, että tuote kasataan

varmasti oikein. Paikoitusnastojen käyttö soveltuu tuotteelle, jossa on lähes symmetrisiä osia. Paikoitusnastojen käyttöä voidaan soveltaa myös muille hankalasti kasattaville tuotteille. Kuvassa 20 esitellään paikoitusnastojen hyödyn kokoonpanossa.

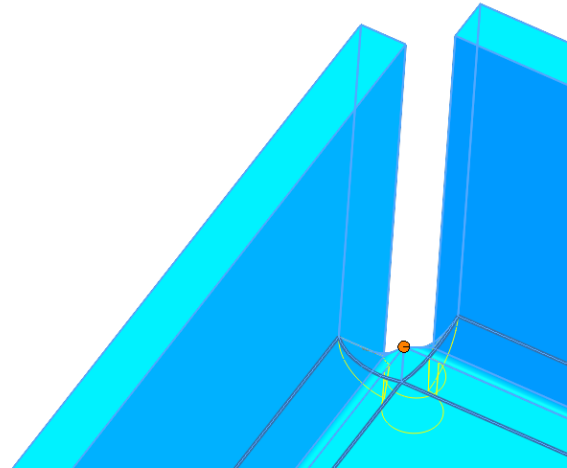
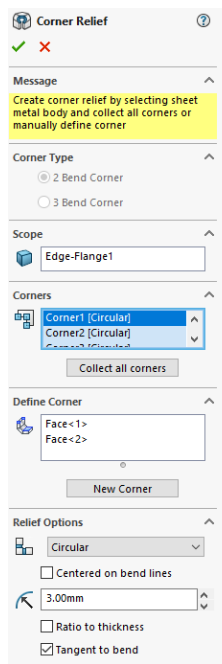


Kuva 20. Paikoitusnastojen hyödyntäminen kokoonpanossa

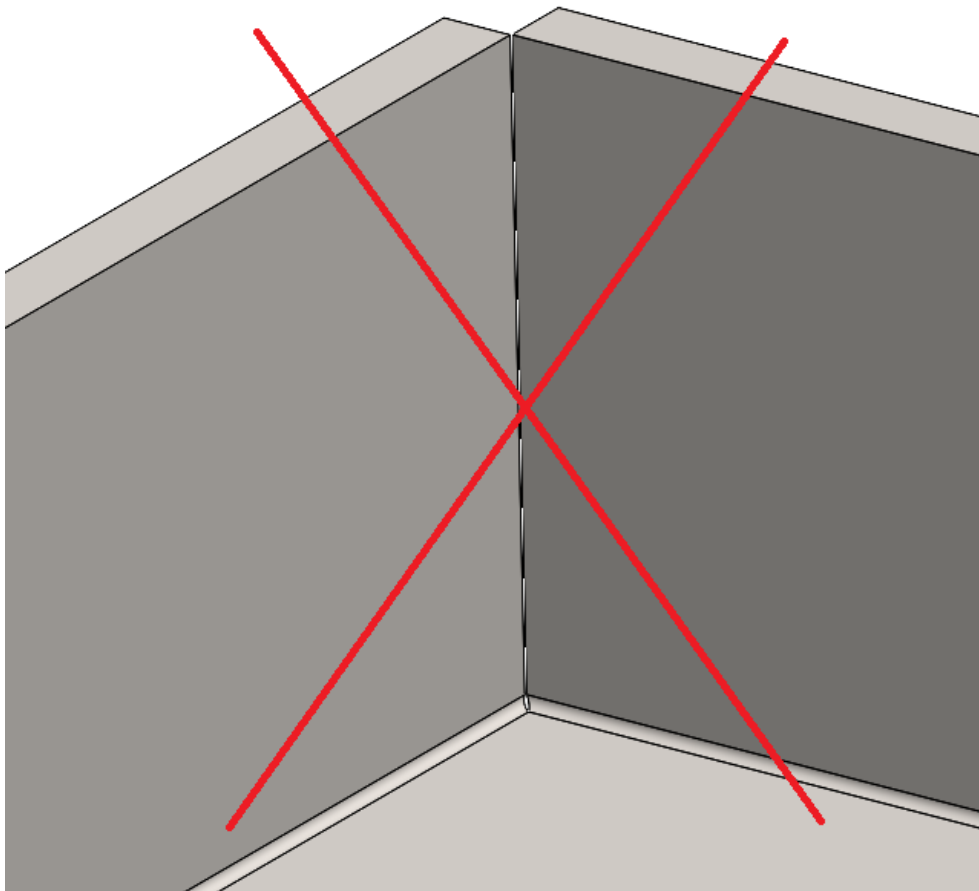
Paikoitusnastojen ja paikoituskolojen tulisi jättää hieman väljää, jotta varmistetaan, että ne mahtuvat varmasti toisiinsa. Paikoituskolojen tulisi olla vähintään suurempi kuin käytetyn leikkausmenetelmän tarkkuus. Yleisesti paikoitusnastat soveltuvat laserleikatuille tuotteille, koska sillä saadaan tehtyä tarkka leikkausjälki.

5.6 Taivutusten suunnittelu

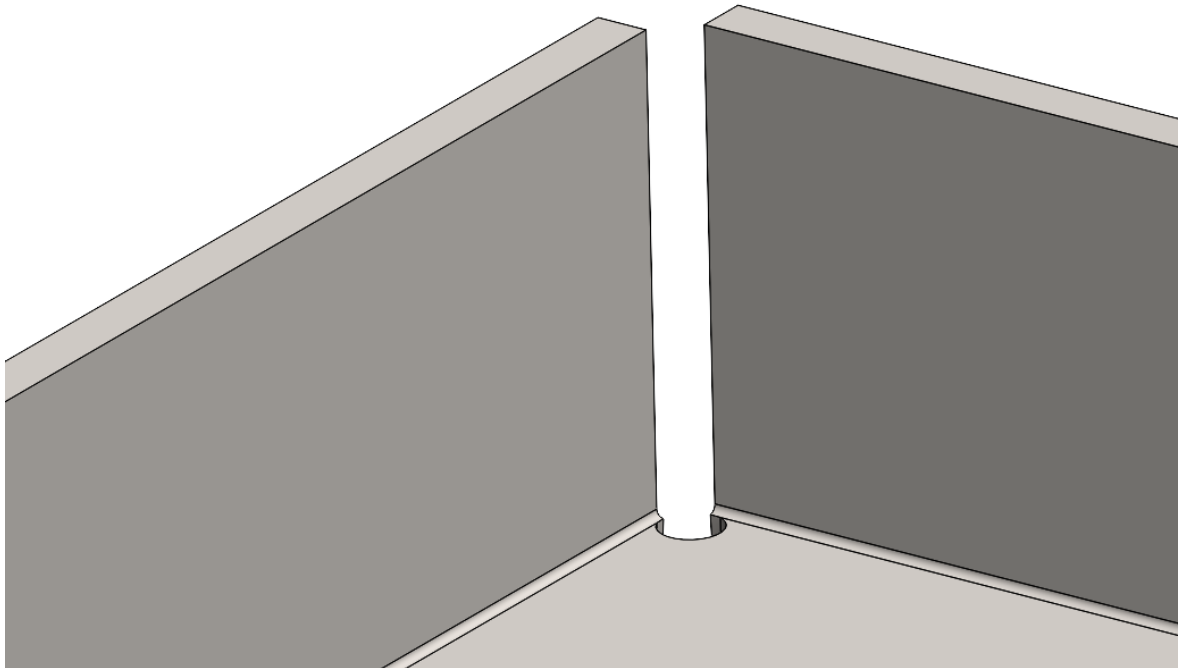
Taivutusten nurkkiin tehdään helpotuksia, jotka helpottavat kappaleen taivutusta ja estävät kulmia repeämästä. Helpotusten ansiosta rakenne pysyy kestäväenä. (Matilainen Ym. 2011, 259). Nurkkaan on hyvä jättää väljyyttä helpottamaan taivutusta ja estää taivutuksia törmäämästä toisiinsa. Helpotukset ovat helppo tehdä Solidworks-ohjelmalla käyttäen corner relief työkalua, joka tekee automaattisesti valittuihin nurkkiin helpotukset. Helpotuksien kooka ja muotoa pystyy helposti muokkaamaan tällä toiminnolla. Kuvassa 21 on esitetty corner relief toiminto. Kuvassa 22 levy on taivutettu ilman helpotusta. Kuvassa 23 levy on taivutettu helpotuksen avulla, jolloin on paljon tilaa taivuttaa eikä levy pääse repeämään.



Kuva 21. Corner relief toiminto kuvallisena.



Kuva 22. Huonosti suunniteltu taivutus.



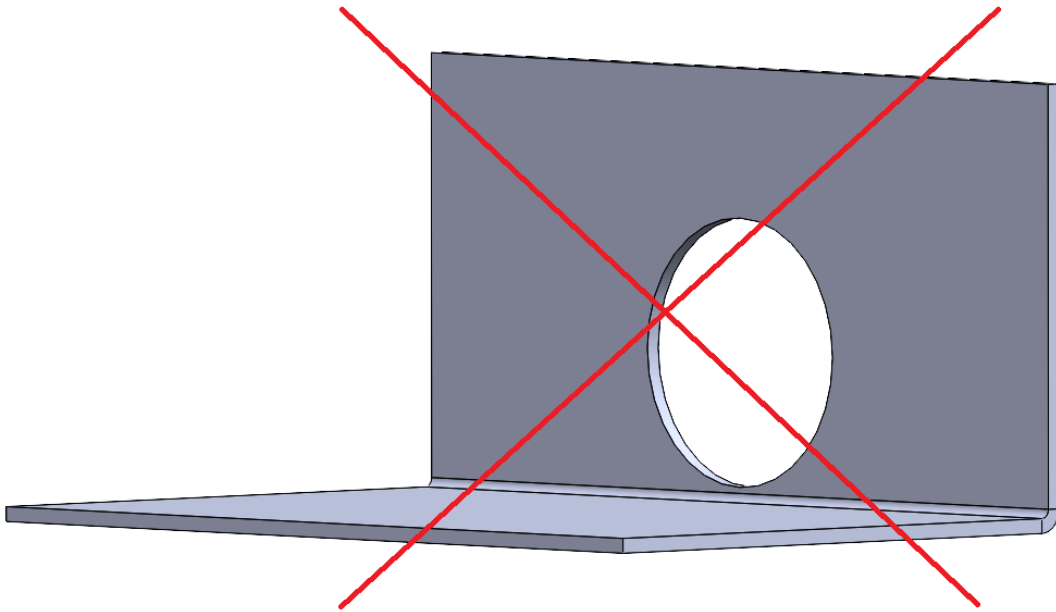
Kuva 23. Hyvin suunniteltu taivutus

Levyn taivutus kohtaa ei kannata pyöristellä liikaa tai liian vähän. Liian suuri pöyristys saattaa aiheuttaa suurempaa takaisinjoustoaa tai vuorostaan liian pieni taivutussäde aiheuttaa murtumisia taivutukseen.

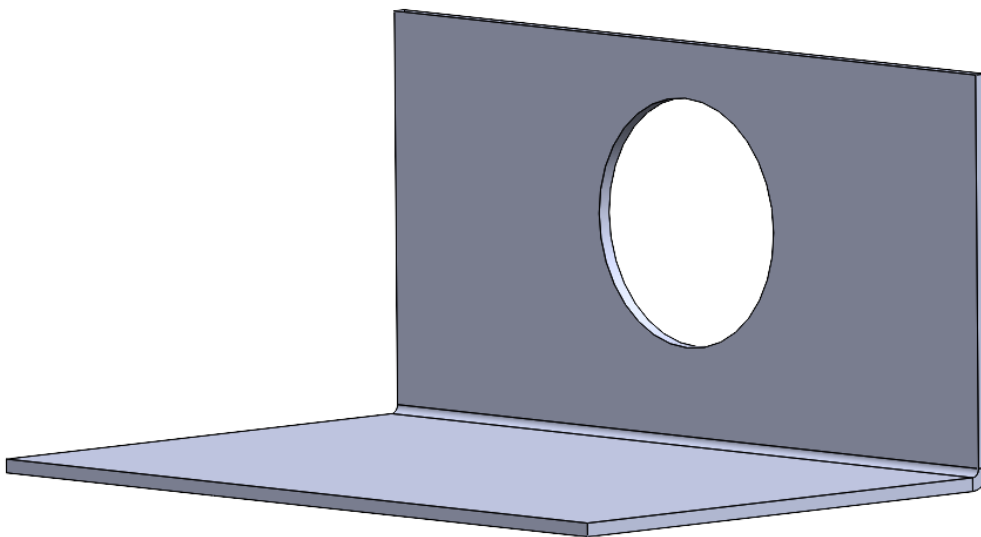
Yleisimpiä taivutuksessa tapahtuvia suunnittelu virheitä:

- Levy törmää särmäyspuristimen yläpalkkiin taivutettaessa
- Taivutus tapahtuu liian lähellä levyn reunaa ja levy lipsahtaa alatyökalan V-aukolta
- Reiät ovat liian lähellä taivutusta ja reikien muoto saattaa muuttua taivutettaessa (Matilainen Ym. 2011, 264.)

Virheitä voidaan välttää tekemällä taivutuksia kauempana reunasta ja sijoittamalla reiät kauemmas taivutuksesta. Kuvassa 24 reikä on sijoitettu liian lähelle taivutusta. Kuvassa 25 Reikä on sijoitettu paremmin kauemmas taivutuksesta.



Kuva 24. Reikä on sijoitettu liian lähelle taivutusta



Kuva 25. Reikä on sijoitettu kauemmas taivutuksesta

Reikien paikka taivutuslinjasta voidaan laskea (kaava 3)

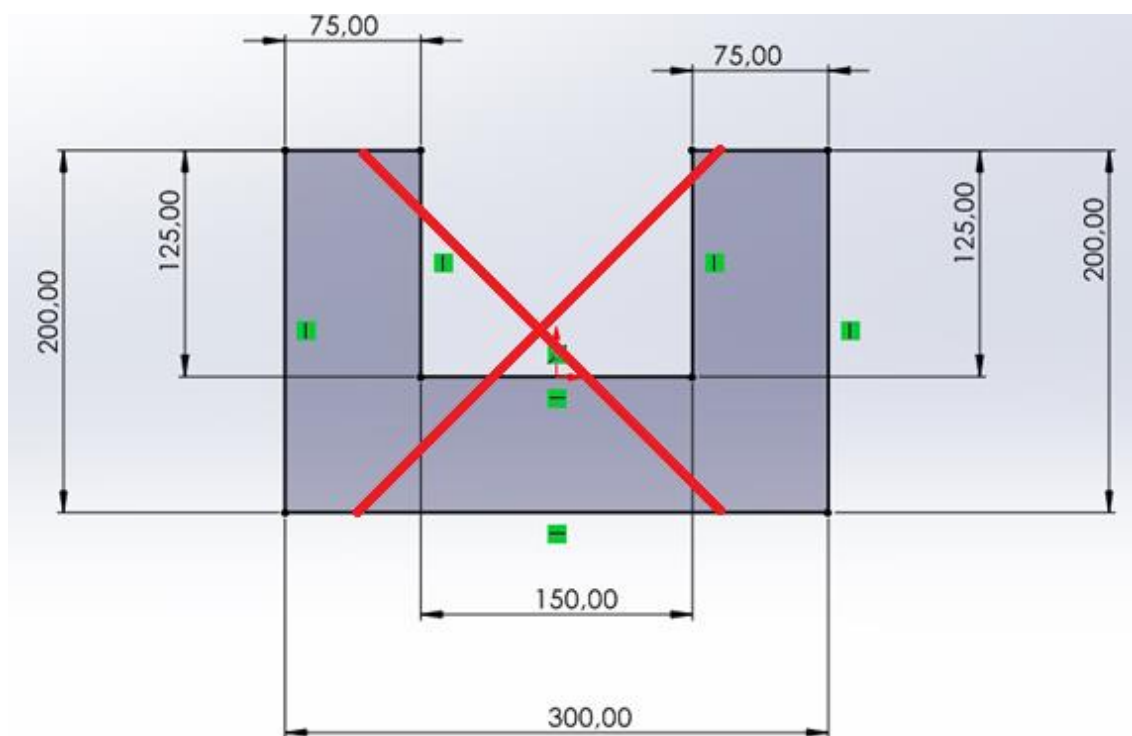
$$x = \sqrt{d * s} + 0.8R * \sqrt{\frac{b}{a}} \quad (3)$$

Kaavan x on reiän alin piste taituvutuslinjasta, d on reiän halkaisija, s on levyn paksuus, R on taivutuksen sisäsäde ja b on sivunpituus. (Matilainen Ym. 2011, 258)

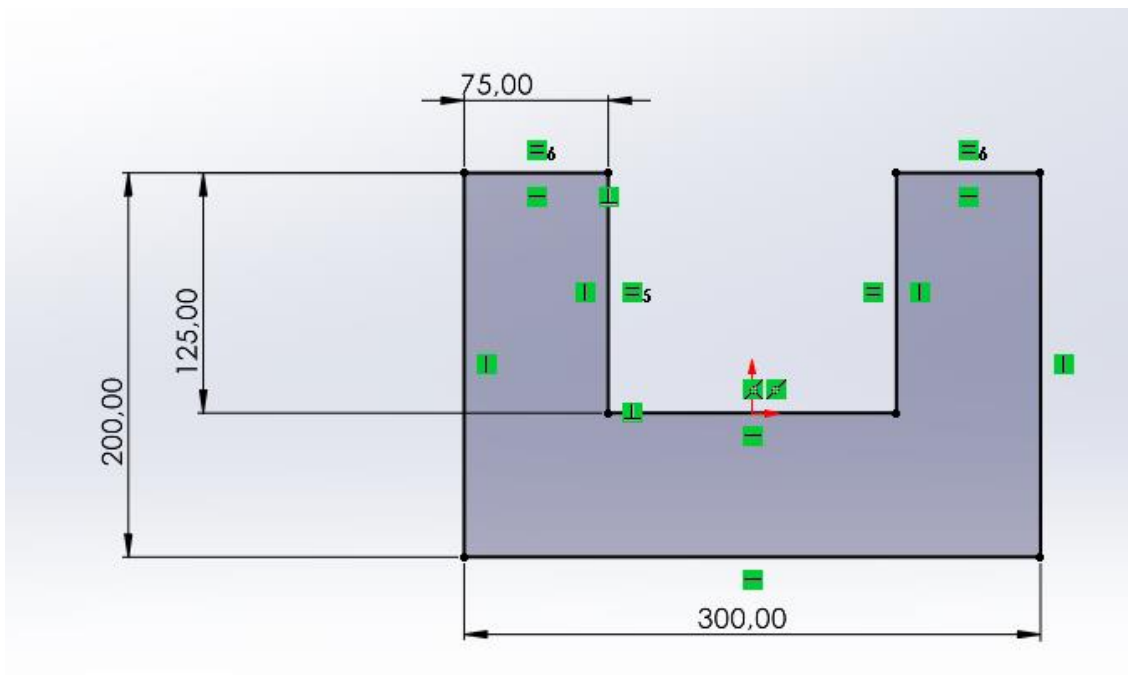
5.7 Solidworks

Solidworks on ohjelma, jota käytetään osien mallintamiseen, kokoonpanojen luomiseen, simulaatioon ja piirustuksien tekemiseen. Solidworks on yleisesti käytetty ohjelma varsinkin mekaanisten osien suunnitteluun.

Suunniteltaessa osia on syytä pitää mielessä yksinkertaisuus. Käyttämällä samaa mittaa symmetrisissä osissa nopeuttaa mallinnusta ja helpottaa osan muokkaamista, jos sellaiselle on tarvetta. Käyttämällä samoja mittoja pienennetään riskiä tehdä virheitä. Ylempi kuva on selkeämpi ja helpompi muokata. Kuvassa 26 on paljon ylimääräisiä mittoja, joita on hankala muokata tarvittaessa. Kuvassa 27 samoja mittoja on käytetty hyväksi, jolloin niiden muokkaaminen helpottuu.

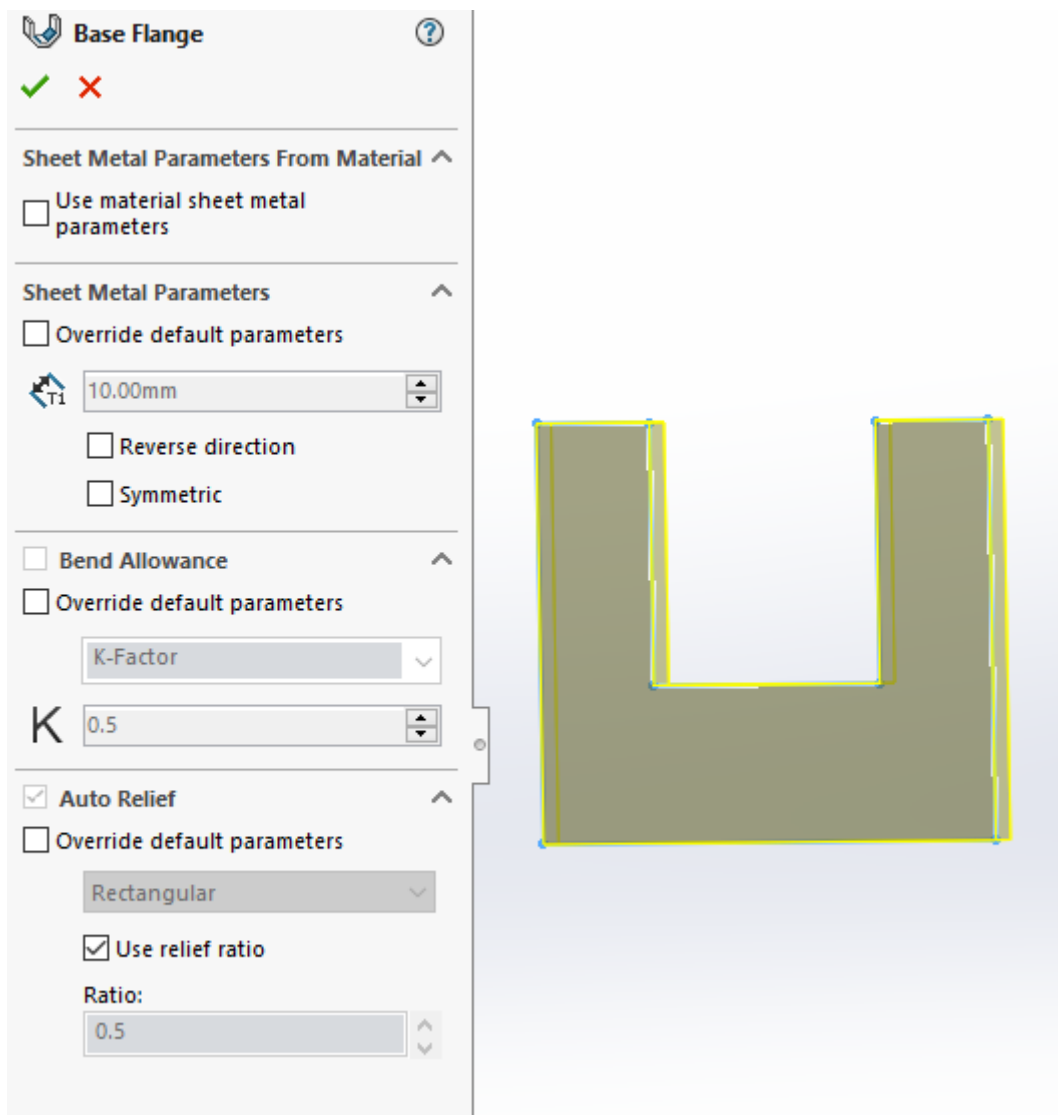


Kuva 26. Hankalasti toteutettu mitoitus.



Kuva 27. Paremmin toteutettu mitoitus.

Yleisesti kaikki levyt kannattaa mallintaa base flange työkalulla, koska se lisää sheet-metal ominaisuuden, joka muodostaa osalle flat-patternin. Flat-patternilla tarkoitetaan levityskuvaa, mikä suoristaa taitokset ja tekee kappaleesta litteän. Flat-patternia tarvitaan, kun tehdään piirustuksia taivutetuille osille. Sheet-metal työkalu avaa uusia ominaisuuksia kappaleen mallintamisessa, mikä helpottaa esimerkiksi taivutusten tai helpotusten tekemistä. Kuvassa 28 on esitetty base flange työkalu.



Kuva 28. Base flange työkalu

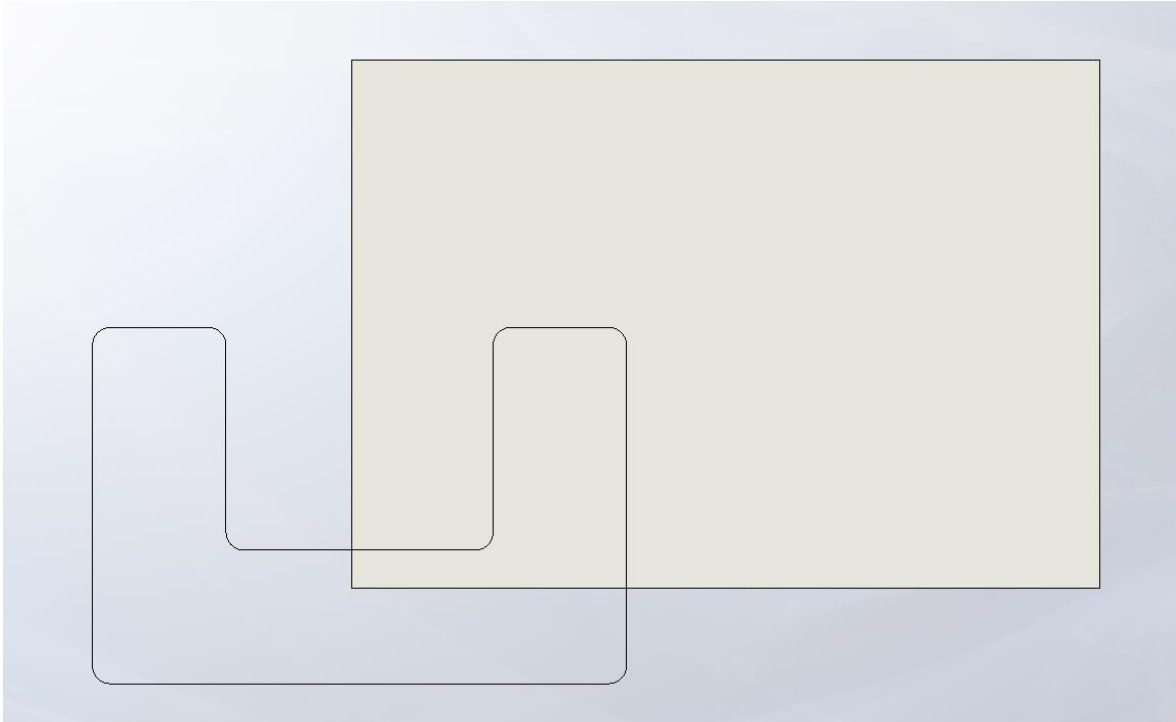
5.8 Piirustukset

Mallinnetuista osista ja kokoonpanoista tehdään valmistuspiirustukset. Piirustuksissa tulisi olla kaikki tarvittava tieto, jotta kappale tai kokoonpano pystytään valmistamaan. Yleensä piirustukset tehdään A3 kokoiselle paperille.

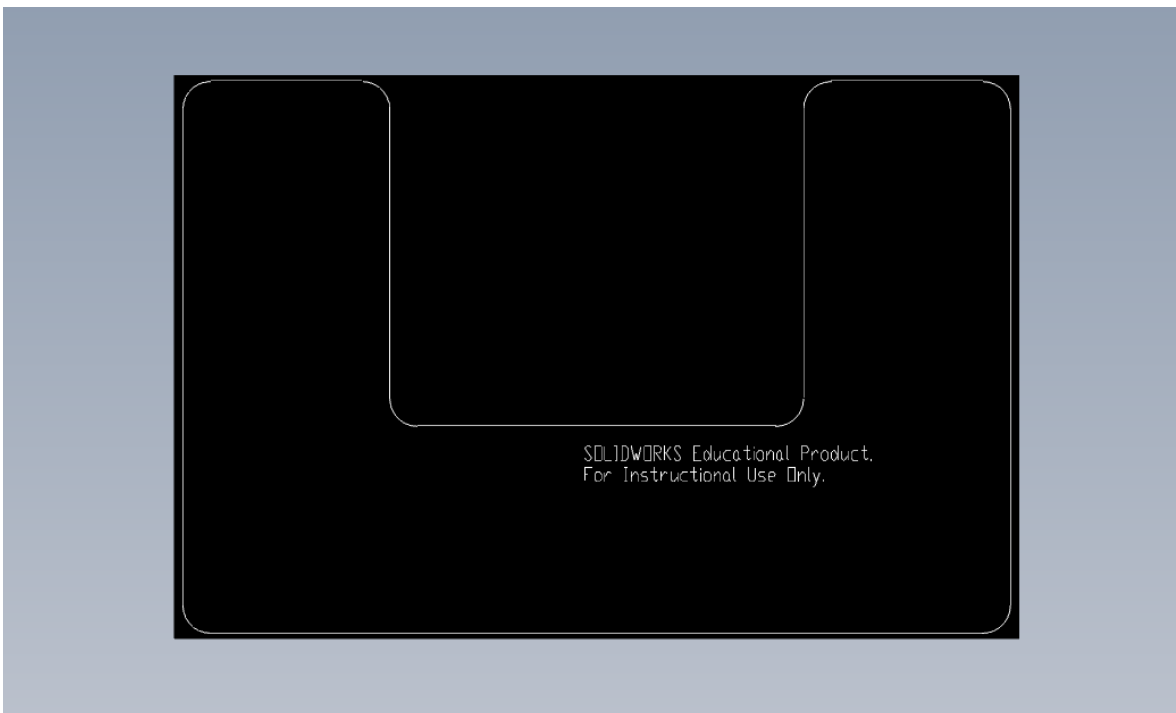
Levy osista tulisi tehdä DXF-tiedosto. DXF tulee sanoista Drawing eXchange Format ja sitä käytetään, jotta voidaan vaihtaa tiedostoja toisten ohjelmistojen välillä, (fpvectorial). DXF-tiedosto toimii pohjana leikkausradan ohjelmoinnille, (Matilainen ym. 2011, 211). DXF-tiedostossa on tärkeintä, että osa on 1:1 mittakaavassa, jotta vältetään väärän kokoisilta osilta.

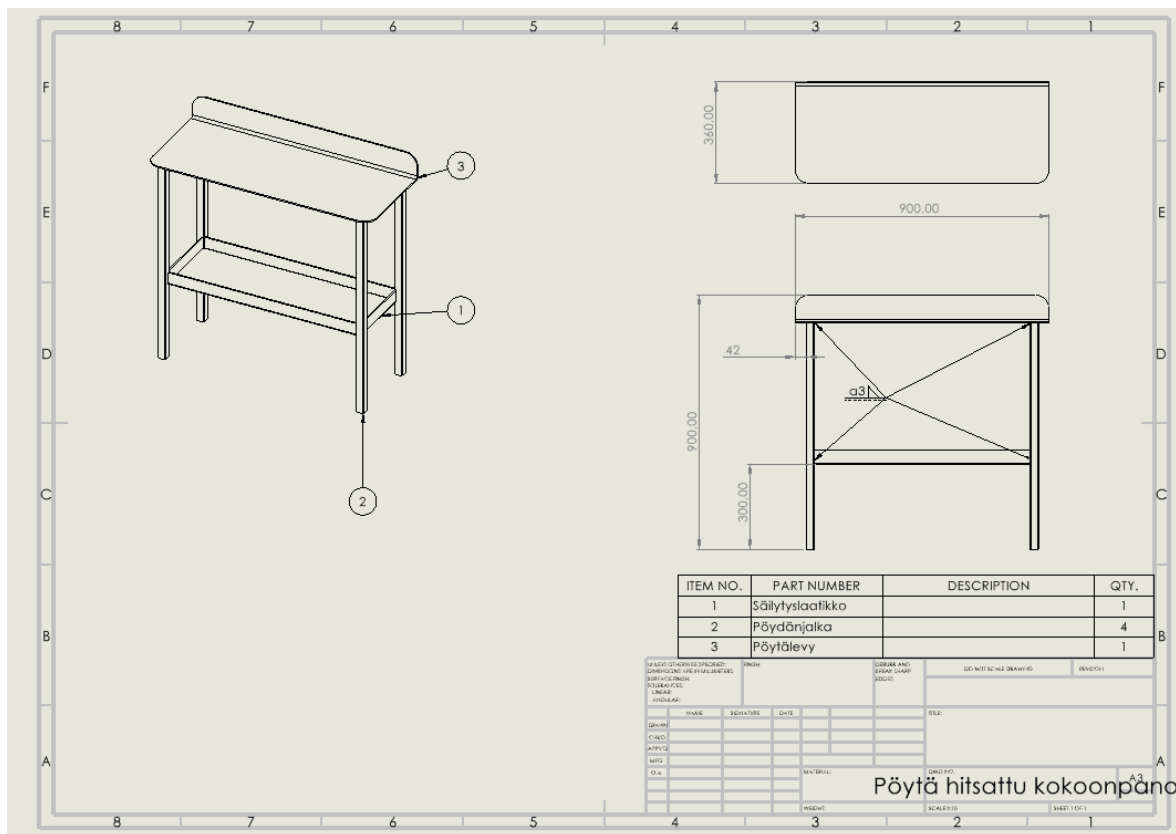
DXF-tiedosto voidaan tehdä osasta jo mallinnusvaiheessa, mutta siinä saattaa esiintyä huomattavia virheitä. Piirustusvaiheessa tehtyä DXF-tiedostoa on helpompi muokata ja nähdään miltä DXF-tiedosto tulee näyttämään. Osa tulisi sijoittaa piirustuksen vasempaan

alakuulmaan, koska se on keskipiste DXF-tiedostoille. Tällä varmistetaan, että osa tulee varmasti 1:1 mittakaavaan ja vältetään turhilta viivoilta, joita tulisi välttää DXF-tiedostossa. Turhat mitat ja viivat DXF-tiedostossa ovat haitaksi osaa valmistettaessa. Alla oleva kuva 29 on esimerkki oikein tehdystä asettelusta piirustuksessa DXF-tiedostoa varten. Kuva 30 on DXF-tiedosto avattuna.



Kuva 29. Solidworks piirustus osasta, joka muutetaan DXF-muotoon





Kuva 32. Hitsattu kokoonpanopiirustus

Hitsausta vaativat kohdat merkitään nuolella haluttuun kohtaan. Hitsauspiirustuksissa voidaan määrittää, esimerkiksi kummalta puolelta kappaletta hitsaus suoritetaan, tehdäänkö hitsaus kohdan ympäri kokonaan tai hitsataanko kappale vasta paikan päällä. Erilaisia hitsausmerkkejä on paljon, mutta yleisimmät hitsausmerkit ovat kuvassa 34. Yleensä piirustukseen riittää pelkästään hitsausmerkki ja a-mitta, ellei ole tarvetta erikseen merkata lisätietoja. Yleensä pienahitsin a-mitta määräytyy levyn paksuuden mukaan. Taulukkoon 2 on merkitty yleisiä eri levyjen paksuuksissa käytettäviä a-mittoja. Kuvassa 33 on esitetty mitä a-mitalla tarkoitetaan.

Levyn paksuus S (mm)	a-mitta (mm)
3–4	3
5–6	4
8–12	6

Taulukko 2. Eri levyjen paksuuksille sopivia a-mittoja (Matilainen Ym. 2011, 318)

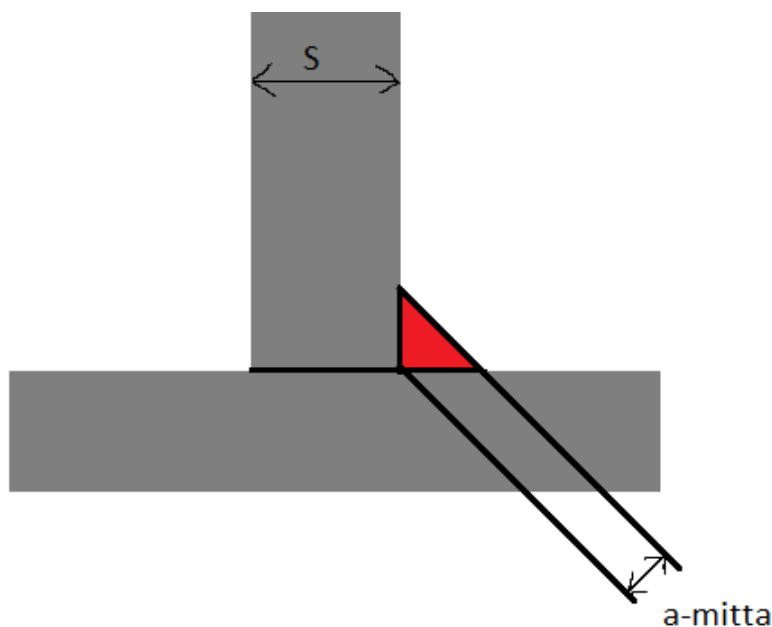
Lämpömäärä on myös tärkeä tekijä valittaessa sopivaa a-mittaa. Lämpömäärän avulla voidaan laskea hitsin a-mitta käyttäen (kaava 4).

$$a \approx \sqrt{\frac{k \cdot U \cdot I}{50 \cdot 10^3 \cdot v}} \quad (4)$$

Kaavassa a on a-mitta (mm), k on termien hyötysuhde, U on jännite (V), I on virta (A), v on hitsausnopeus (mm/min). Termien hyötysuhde on annettu eri hitsausmenetelmille standardina arvona. (Matilainen ym. 2011, 318–319)

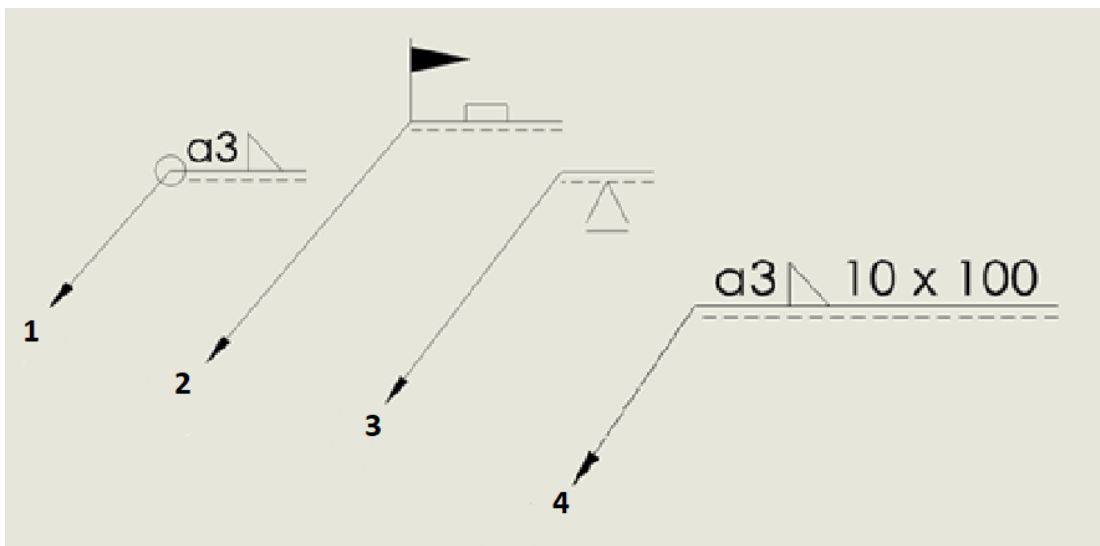
Termisen hyötysuhteen arvo (k) eri hitsausmenetelmille

- MIG/MAG-hitsaus: 0,8
- Puikkohitsaus: 0,8
- TIG-hitsaus: 0,8



Kuva 33. Hitsin a-mitta esitetty kuvallisesti

Muunlaisia hitsejä kuin pienahitsiä mitoittaessa nyrkkisääntönä voidaan pitää, että hitsi on yhtä paksu kuin levy. Näin saavutetaan varmasti riittävän kestävä liitos ja siisti jälki.



Kuva 34. Erilaisia ja yleisimpiä hitsausmerkintöjä

1. Tarkoittaa pienahitsiä, mikä hitsataan kokonaan kohdan ympäri nuolen osoittamasta suunnasta. Hitsin a-mitta on kolme millimetriä.
2. Tarkoittaa asennuspaikalla suoritettavaa tulppahitsiä.
3. Tarkoittaa tasaista V-hitsiä, joka suoritetaan nuolen toiselta puolelta.
4. Tarkoittaa pienahitsiä, joka suoritetaan katkohitsauksena jossa 10 on hitsien lukumäärä ja 100 on hitsin pituus. Jos on tarve merkitä hitsien välinen etäisyys, tulee se viimeisimmäksi sulkumerkkien sisään.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda esimerkkejä oikein ja väärin tehdystä suunnittelusta sekä luoda siitä ohje suunnittelijalle. Tavoitteeseen päästiin piirtämällä kuvia ja kertomalla vinkkejä. Lopputuloksena syntyi yleispätevä ohje suunnittelijalle, jossa käydään läpi myös yleisimmät valmistusmenetelmät.

Suunnittelussa luodaan uusia kappaleita, joten yleispätevät ohjeet ovat hankalia. Pysin ohjeessa näyttämään yleisimmät vinkit, joita pystytään soveltamaan suunnittelussa ja koitin välttää yksittäistapauksia. Suunnittelun esimerkkejä voidaan käyttää hyödyksi opetuksessa.

Suunnittelijan tulisi tietää mahdollisimman paljon valmistusmenetelmistä, jotta osataan tehdä kustannustehokkaita ja toimivia ratkaisuja. Valitulla valmistusmenetelmällä on suuri rooli kappaleen suunnittelussa. Opinnäytetyössä pyrittiin esittämään suunnittelulle tyypillisimpiä ratkaisuja eri valmistusmenetelmille.

Opinnäytetyön aloitus oli hidasta ja tiedonhakuun kului paljon aikaa. Tiedon etsinnässä oli työtä tehdessä hieman hankaluuksia. Varsinkin jossain valmistusmenetelmissä on hieman puutteita. Tämä vaikuttaa myös suunnitteluvaiheessa esimerkkien puutteeseen. Olisi ollut hyvä esittää kaikille mainituille valmistusmenetelmille vähintään yksi suunnittelu esimerkki.

Opinnäytetyö oli täysin itsenäistä työskentelyä ja tiedonhakua. Kaikki kuvat ovat piirretty käsin, joko mukaillen kirjan kuvaa tai itse kehitelty. Työ on onnistunut melko hyvin ja suunnittelussa esitetyt kohdat ovat selkeitä. Esitetyille esimerkeille olisi voinut olla enemmän perusteluja, miksi on tärkeää suunnitella kappale tietyllä tavalla.

Lähteet

Esab. 2022. Mikä on leikkausrako ja miksi se on tärkeä?. Viitattu 16.4.2025 Saatavissa https://esab.com/fi/eur_fi/esab-university/blogs/what-is-cutting-kerf-and-why-is-it-important/

fpvectorial, Viitattu 10.4.2025 Saatavissa: <https://wiki.lazarus.freepascal.org/fpvectorial#DXF>

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2025. Valmistustekniikka. 14. painos. Espoo: Otatieto. Viitattu 3.3.2025 Saatavissa https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN_LUT/b5aq28/alma992189682106254

ionix, Plasmaleikkaus, Viitattu 16.4.2025 Saatavissa: <https://www.ionix.fi/teknologiat/plasmatyosto/plasmaleikkaus/>

Kemppi. 2024. Kemppi robottihitsaus. Viitattu 3.4.2025 Saatavissa <https://www.kemppi.com/fi/blogit/robottihitsaus>

Lepola, P. & Ylikangas, R. 2016. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. Viitattu 2.2.2025 Saatavissa: https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN_LUT/b5aq28/alma991583593906254

Levadal, F. 2023. Levyjen laserleikkaus: Tyypit, edut ja materiaalit. Viitattu 3.4.2025. Saatavissa <https://levstal.com/fi/blog/metallin-laserleikkaus-teras/>

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E., Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: [Teknologiainfo Teknova Oy], Viitattu 3.2.2025 Saatavissa https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN_LUT/b5aq28/alma992036919306254

Ovako, Ovakon terästen hitsaus, Viitattu 17.3.2025. Saatavissa https://www.ovako.com/globalassets/metals/ovakon_terasten_hitsaus_15724.pdf

Rice, M. 2023. MIG Welding Basics (and Then Some), The Welder. Viitattu 17.3.2025. Saatavissa <https://www.thefabricator.com/thewelder/article/arcwelding/mig-welding-basics-and-then-some>