

# Oppilaitoksen ohutlevyharjoituksen suunnittelu



Opinnäytetyö

Konetekniikan koulutus

Kevät 2024

Moilanen Sami

Konetekniikka

Tekijä Sami Moilanen

Työn nimi Oppilaitoksen ohutlevyharjoituksen suunnittelu

Ohjaaja Timo Kärppä

Tiivistelmä

Vuosi 2024

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda työn toimeksiantajana toimivalle Hämeen ammattikorkeakoululle ohutlevykurssin oppimateriaalia. Tarve kursin lisämateriaalille juontaa juurensa omasta kokemuksestani materiaalin puutteista. Oppimateriaalin osiot ovat ohutlevyteoria, siihen liittyvät standardit, Hyrian konepajan valmistuslaitteiston kartoitus, ajankäytön ja työkuorman mitoitus sekä viikkotehtävät.

Ohutlevyteoriassa tutustutaan ohutlevyjen yleisimpiin valmistusmenetelmiin, joita ovat leikkaus, lävistys, muovaus, taivuttaminen, liittäminen ja pintakäsittelyt. Standardi osiossa tutustutaan standardiin SFS 5998, joka määrittelee valssatun teräsohutlevyn kylmätaivutusta. Valmistuskoneiston kartoitus on tapahtunut vierailulla Hyrian Riihimäen konepajalle, jonne myös viikkotehtävässä on tarkoitus vierailla.

Kurssin työkuorma suhteutetaan käyttämällä oppilaitoksen opintopistejärjestelmää. Käytettävien opintopisteiden määrä on kaksi, joka vastaa noin 54 työtuntia ja yhden opintojakson pituus on kahdeksan viikkoa.

Varsinaisia viikkotehtäviä on kolme, joista ensimmäisessä oppilas laskee särmätyn ohutlevykappaleen oikaistun pituuden, luo kappaleen 3D-suunnitteluohjelmalla, sekä konepaja päivänä valmistaa kappaleen särmäyspuristimella. Toisessa tehtävässä saadaan toimeksiannoksi kappaleen suunnittelun, jonka lähtökohtana on pelkästään kolme reikää ja muoto täysin vapaa. Kolmannessa tehtävässä valmista ohutlevytuotetta arvioidaan ja siitä etsitään virheitä. Oppimateriaalin pääasiallinen tarkoitus on tarjota mahdollisuus luovuuteen viikkotehtävissä sekä oman käden tekemistä, joka usein mielletään oppimista tukevaksi.

Avainsanat Ohutlevy, HAMK, konetekniikka, särmäys, creo

Sivut 61 sivua

Mechanical engineering

Abstract

Author Sami Moilanen

Year 2024

Subject Designing a sheet metal course for an educational institution.

Supervisors Timo Kärppä

---

The purpose of this thesis was to create learning material for the sheet metal course at Häme University of Applied Sciences, the client of this work. The need for additional course material arises from my own experience with the deficiencies in the existing material. The sections of the learning material include sheet metal theory, related standards, mapping of the manufacturing equipment at Hyria's machine shop, time and workload estimation, and weekly assignments.

In sheet metal theory, the common manufacturing methods for sheet metal are explored, including cutting, punching, forming, bending, joining, and surface treatments. In the standard section, the focus is on the SFS 5998 standard, which defines the cold bending of rolled steel sheet metal.

The workload for the course is adjusted using the university's credit point system. The number of credit points used is two, equivalent to approximately 54 working hours, and the duration of one study module is eight weeks.

In the first assignment, the student calculates the straightened length of a bent sheet metal piece, creates a 3D design of the piece, and manufactures it using a press brake. The second assignment involves designing a piece based on three holes with complete freedom of form. The third assignment focuses on error identification. The primary purpose of the learning material is to allow for creativity in the and hands-on learning, often perceived as supportive of the learning process.

Keywords Sheetmetal, HAMK, Mechanical engineering, Bending, Creo.

Pages 61 pages

## Sisällys

1	Johdanto .....	5
1.1	Toimeksiantajan esittely .....	6
1.2	Tutkimuksen aihe ja tavoitteet .....	6
2	Ohutlevyteoriaa.....	7
2.1	Ohutlevymateriaalit yleisesti .....	7
2.2	Yleisimmät valmistustavat .....	8
2.2.1	Leikkaus .....	9
2.2.2	Lävistys .....	13
2.2.3	Muovaus.....	15
2.2.4	Taivuttaminen .....	22
2.2.5	Liittäminen .....	26
2.2.6	Pintakäsittely.....	31
2.3	Standardi .....	34
2.4	Oleellisimmat valmistusparametrit .....	38
2.5	Valmistusystävällisyys .....	40
3	Ohutlevykurssin suunnittelu .....	41
3.1	Kurssin tavoitteet.....	41
3.2	Työkuorman määrittely .....	42
3.3	Ajankäytön suunnittelu.....	43
3.4	Käytettävissä olevien valmistusmenetelmien kartoitus .....	44
3.4.1	Leikkaus .....	44
3.4.2	Särmäyspuristin.....	46
3.4.3	Muotoilu.....	47
3.4.4	Lävistys .....	48
3.5	Viikkotehtävien suunnittelu.....	49
3.5.1	Oikaistun pituuden tehtävä .....	49
3.5.2	Nestaus tehtävä .....	52
3.5.3	Virheidenetsintä tehtävä.....	54

4 Tulokset .....	59
Lähteet.....	61

## 1 Johdanto

Hämeen ammattioppilaitoksella Riihimäellä on todettu ohutlevykurssin oppimateriaalin olevan päivityksen tarpeessa, joten toimeksiantona on tehdä selvitys sisällön lisäämiseksi. Työn sisältö ei keskity uuden ohutlevyteorian lisäämiseen vaan enemmän käytännön oppimateriaaliin.

Tutkimuskysymyksenä on, millainen on kattava ja osaamista tukeva levytöiden harjoituskokonaisuus. Oppitehtävät ovat opinnäytetyötä tekevän luomia ja toivomia lisäyksiä jo olemassa olevaan koulun oppimateriaaliin. Materiaali tulee sisältämään laskentaharjoituksen sekä tarpeeksi yksinkertaisen ohutlevyosan, joita oppilaat voivat mahdollisuuksien mukaan valmistaa itse Hyrian metallipajan tiloissa. Ohutlevytuotteiden on myös tarkoitus olla valmistettavissa yhden opintokurssin aikana ja opintoihin voidaan valita soveltavasti niistä osa tai kaikki. Suunniteltavat ohutlevyosat vastaavat opinnäytetyön tekijän omassa työelämässä kohtaamia tapauksia, joista voidaan johtaa harjoitustöitä.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä on suunnittelutyö, jossa jo olemassa olevaa teoriaa sovelletaan työn tarkoituksiin, mutta uutta ohutlevyteoriaa tai tiedettä ei varsinaisesti luoda. Soveltavassa osiossa valmistettavien kappaleiden suunnitteluun käytetään opinnäytetyön tekijän omaa työkokemusta. Soveltavan osuuden sisältönä ovat myös kurssin ajankäyttö, työkuormat ja vierailu Hyrian Riihimäen metallipajan tiloihin.

Tämän opinnäytetyön konkreettisena lopputuloksena syntyy oppimateriaalia, jolla opiskelija pääsee tutustumaan perustasolla ohutlevytuotteiden valmistukseen ja suunnitteluun. Opinnöt eivät kuitenkaan vastaa syventyvää opiskelua vaan toimivat enemmän johdatteluna ohutlevyjen maailmaan.

## 1.1 Toimeksiantajan esittely

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Riihimäen Hämeen ammattikorkeakoulu, joka on myös toiminut opinnäytetyön tekijän konetekniikan opintojen tarjoajana. Riihimäellä opiskelee noin 1300 oppilasta vuodessa, joista konetekniikkaa noin neljännes.

HAMKin juuret juontavat vuoteen 1840, jolloin Mustialassa aloitettiin maatalousopetus. Evon kampuksella on puolestaan Suomen vanhin vuonna 1862 alkanut ja edelleen toimiva metsäalan oppilaitos, jota ympäröi noin 1800 hehtaarin havaintometsä. 1800-luvun lopulla Fredrika Wetterhoffin perustamassa kotiteollisuuskoulussa Hämeenlinnassa opetettiin kudontaa ja ompelua sekä koulutettiin opettajaopiskelijoita. Puutarhakoulutus alkoi Lepaan kartanomiljöössä vuonna 1910. Teknillisen alan oppilaitokset, terveydenhoito-oppilaitokset ja kauppaoppilaitokset Forssassa, Hämeenlinnassa, Riihimäellä ja Valkeakoskella syntyivät puolestaan 1950-luvusta lähtien eri vuosikymmeninä vastaamaan alueen koulutustarpeisiin. Hämeenlinnan ammatillinen opettajakorkeakoulu syntyi niin ikään 1950-luvulla, ja se jatkoi ja laajensi aiempaa opettajankoulutuksen perinnettä. Ammattikorkeakokeilu alkoi vuonna 1992, ja siihen HAMK hyväksyttiin Suomessa ensimmäisten joukossa. HAMK toi yhteen alueen 17 oppilaitosta. Vakinainen ammattikorkeakoulu pääsi käyntiin neljä vuotta myöhemmin. (HAMK, 2023, Tietoa meistä)

## 1.2 Tutkimuksen aihe ja tavoitteet

Tutkimuksen aiheena on oppimateriaalin luominen ohutlevykurssille Hämeen ammattikorkeakoululle. Materiaali ei sisällä uutta ohutlevyteoriaa tai tiedettä, vaan keskittyy luomaan oppilaille yhden opintojakson aikana suoritettava materiaalia, jonka sisältö tukee oppimista olemassa olevan teorian, tehtävien ja ohutlevykappaleiden muodossa. Ohutlevykappaleita on mahdollista valmistaa Hyrian metallipajan tiloissa tuoden näin oppilaille käytännönläheistä oppimateriaalia. Tehtävien sisältö on tehtäviä, joita opinnäytetyön tekijä olisi toivonut käymälleen kurssille, näin ollen materiaali on enemmänkin olemassa olevaan lisäystä.

## 2 Ohutlevyteoriaa

### 2.1 Ohutlevymateriaalit yleisesti

Teräsohutlevyksi määritellään pinnoittamaton tai pinnoitettu teräslevy, jonka aineenvahvuus on korkeintaan 3 millimetriä. Kylmävalssauksessa saadaan levyille hyvä pinnanlaatu ja mittatarkkuus. Kuumavalssattuja levyjä käytetään tuotteissa, joissa pinnanlaatuvaatimukset ovat vähäisemmät. Kuumavalssatun levyn pinnanlaatua voidaan parantaa jälki- tai viimeistelyvalssauksella ja peittauksella. Ohutlevyteräkset voidaan jakaa muovattaviin, rakenne-, lujiin muovattaviin ja erittäin lujiin muovattaviin (monifaasisiin) teräksiin. Erityissovelluksissa käytettäviä ohutlevyteräksiä ovat säänkestävät teräkset, karkaistavat booriteräkset ja emaloitavat teräkset. (Mattilainen ym., 2011, s.7)

Säänkestävissä teräksissä yleisin on kauppanimellä COR-TEN<sup>®</sup> A, jonka voi tunnistaa pintaan muodostuvasta suojaavasta oksidikerroksesta. Ulkonäöllisesti tämä muistuttaa punaiseksi ruostunutta teräslevyä, joka voidaan nähdä kuvasta 1, jossa on Hyvinkäälle rakennettu jalankulkusilta.

Kuva 1. Teräs jalankulkusilloissa. (SSAB, 2023)





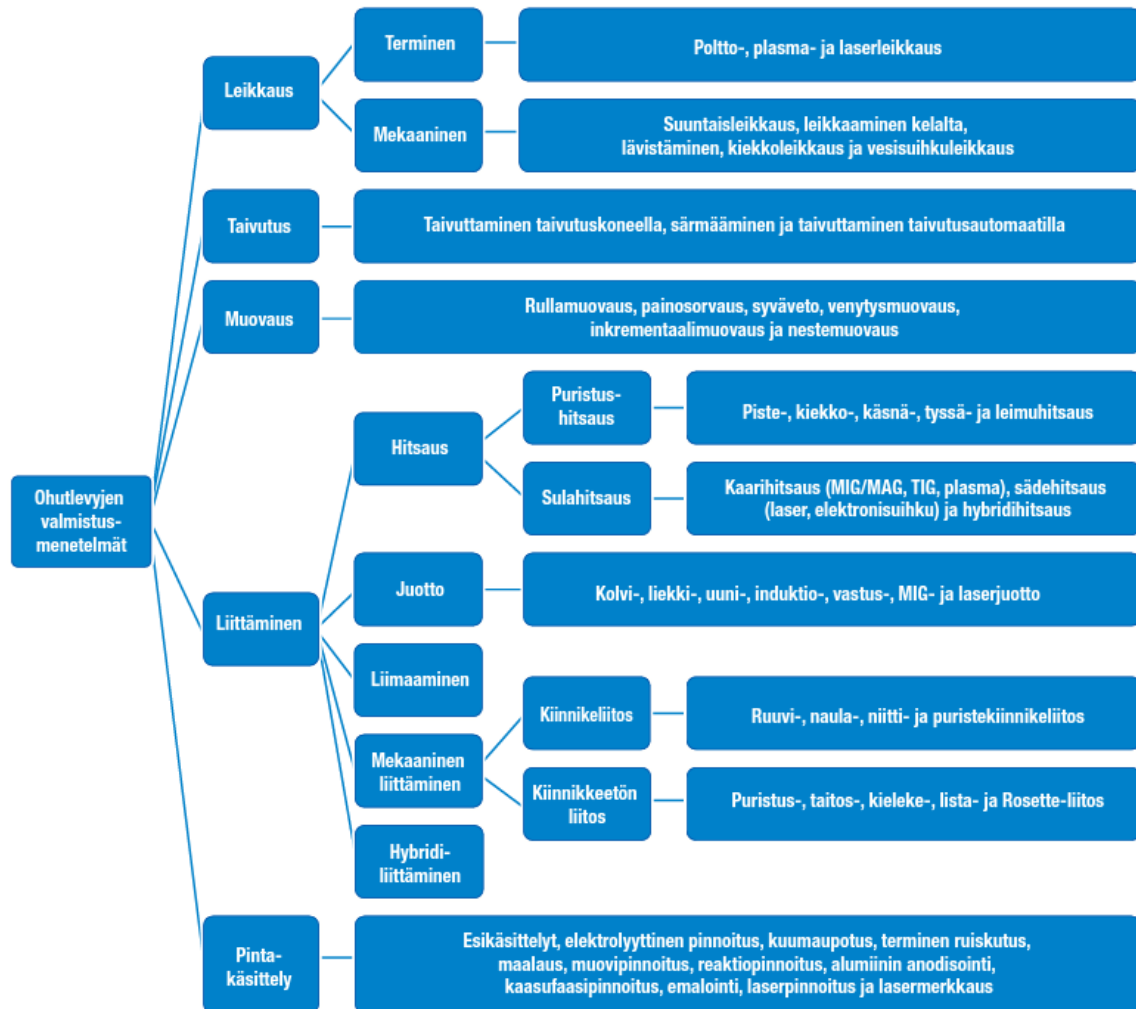
Karkaistavat booriteräkset tarkoittavat kylmävalssattuja ohutlevyteräksiä, jotka ennen karkaisua ovat hyvin muovattavissa ja karkaistuna omaavat suuren lujuuden ja kulutuskestävyyden.

Metallipinnoitetut ohutlevyteräkset pinnoitetaan sinkkiseoksilla kuumaupottamalla teräs altaaseen standardin SFS EN 10346 mukaan. Pinnoite voi olla täysin sinkkiä tai metalliseosta kuten sinkkirauta, sinkkialumiini ja sinkkipii. Yleistä on myös elektrolyyttinen sinkkipinnoitus.

## **2.2 Yleisimmät valmistustavat**

Ohutlevyn valmistustapoja on useita ja valmiin kappaleen valmistukseen käytetään usein kahta tai kolmea erilaista tapaa. Yleensä valmistus sisältää leikkauksen ja sen jälkeen valitun levy muovataan muotoonsa esimerkiksi syvävetämällä tai taivuttamalla. Ohutlevykappaleita voidaan myös hitsata, porata ja niihin voidaan kiinnittää nittejä, hitsaus- sekä puristusruuveja. Valmistus voi hyvin sisältää usean muotoiluvaiheen, joiden jaottelun voi nähdä kuvasta 2. Suositeltavaa olisi välttää liian monimutkaisia muotoja, jotka vaativat useita vaiheita ja työkalun vaihtoja tai saattavat esimerkiksi leikatessa luoda suuren määrän hukkamateriaalia.

Kuva 2 Ohutlevyjien valmistusmenetelmät (Mattilainen ym., 2011, s.4)



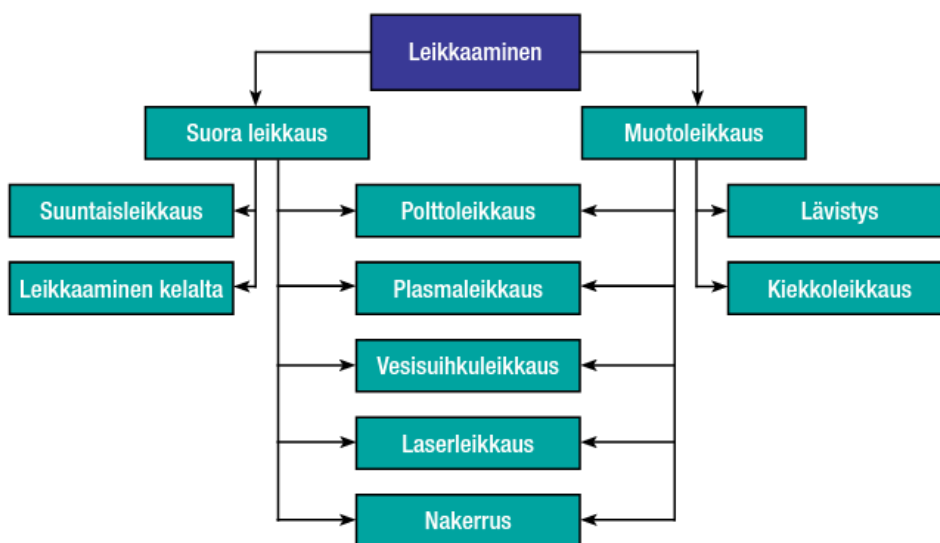
### 2.2.1 Leikkaus

Leikkaaminen on ensimmäinen työvaihe ohutlevyjien valmistuksessa, ja siihen on useita erilaisia menetelmiä. Nämä menetelmät voidaan jakaa karkeasti kolmeen pääluokkaan: muotoleikkaus, suuntaisleikkaus ja leikkaaminen kelalta. Leikkaustapa vaikuttaa siihen, onko leikkaus suora vai muotoiltu.

Leikkausmenetelmän valinnassa on otettava huomioon paitsi leikattavan muodon myös leikattavan materiaalin luonne. Kaikki leikkausmenetelmät eivät sovellu kaikkien materiaalien leikkaamiseen, ja niiden tarkkuus vaihtelee. Siksi valitun leikkausmenetelmän on oltava yhteensopiva työkappaleen kanssa. (Mattilainen ym., 2011, s.170–171)

Yleisiä ohutlevyjen leikkausmenetelmiä nähdään kuvasta 3, joita ovat suuntaisleikkaus, kelalta leikkaus, lävistys, kiekkeleikkaus, polttoleikkaus, plasmaleikkaus, vesisuihkuleikkaus, laserleikkaus ja nakerrus. Yleisin leikkaustapa näistä on suuntaisleikkaus, kun suoritetaan suoraviivaisia leikkauksia työstön nopeuden ja helppouden vuoksi. Tämän lisäksi yleisesti käytetään laserleikkausta, jolla voidaan samaan aikaan leikata kappale muotovapaasti, sekä luoda reikiä ja kaarevia muotoja. Leikkausmenetelmä on valittava huolellisesti ottaen huomioon sekä leikattava muoto että materiaali.

Kuva 3. Ohutlevyjen leikkausmenetelmät (Mattilainen ym., 2011, s.142)

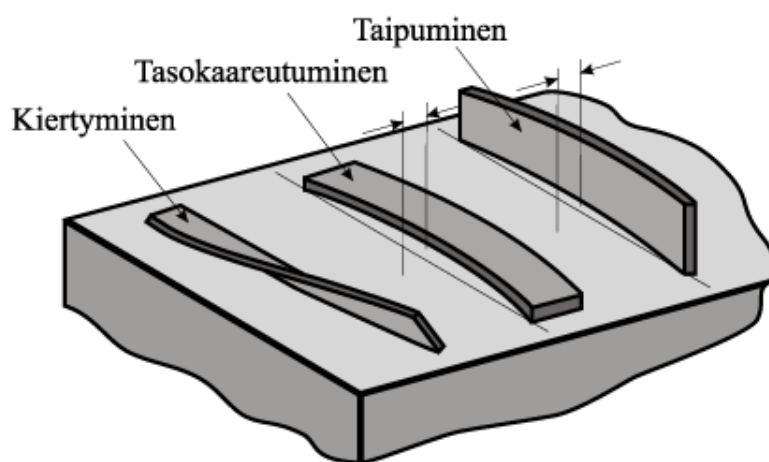


Mekaanisessa leikkaamisessa käytetään voimaa ja työkaluja, kuten teriä tai vesisuihkua. Leikkaus voidaan tehdä erilaisilla terillä, ja se voi vaihdella yksinkertaisesta erottamisesta monimutkaisempiin muotoihin, kuten viiltämiseen tai muovaamiseen. Jotkut kappaleet voidaan myös jättää kiinni alkuperäiseen materiaaliin. (Mattilainen ym., 2011, s.170–171)

Mekaaniset leikkausmenetelmät soveltuvat periaatteessa kaikille materiaaleille, mutta valittu leikkausvoima ja työkalut on sovittava materiaalin paksuuden mukaan varmistaakseen onnistuneen leikkauksen. Leikkuslaitteistojen ominaisuudet, kuten leikkausväli ja koneen maksimivoima, vaikuttavat siihen, mitä materiaaleja ja paksuuksia voidaan käsitellä. Lisäksi levyn paikoitustapa vaikuttaa lopputuotteen tarkkuuteen. (Mattilainen ym., 2011, s.170–171)

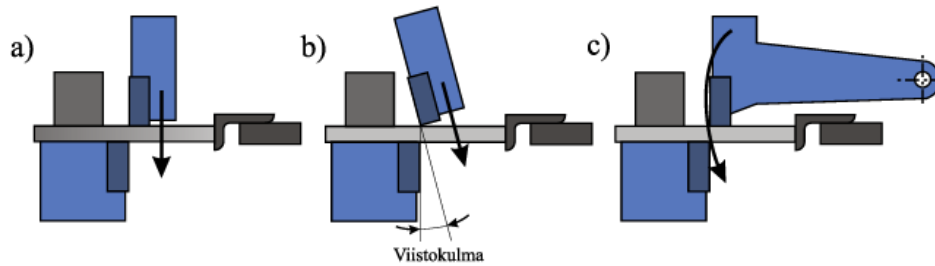
Suuntaisleikkauksessa käytetään usein mekaanisia leikkureita, jotka voivat olla joko hydraulisia tai mekaanisia. Suuntaisleikkauksessa ohutlevyjen suoraviivaisessa leikkauksessa on tärkeää valita oikeanlainen leikkausväli, jotta saadaan hyvälaatuinen leikkauspinta. Suuntaisleikkaus voi aiheuttaa leikkausvirheitä, kuten kiertymistä, tasokaareutumista ja taipumista, joita voidaan hallita valitsemalla oikeat leikkausparametrit. Nämä virheet voidaan havainnollistaa kuvalla neljä. (Mattilainen ym., 2011, s.170–171)

Kuva 4. Yleiset leikkausvirheet suuntaisleikkauksessa (Mattilainen ym., 2011, s.172)



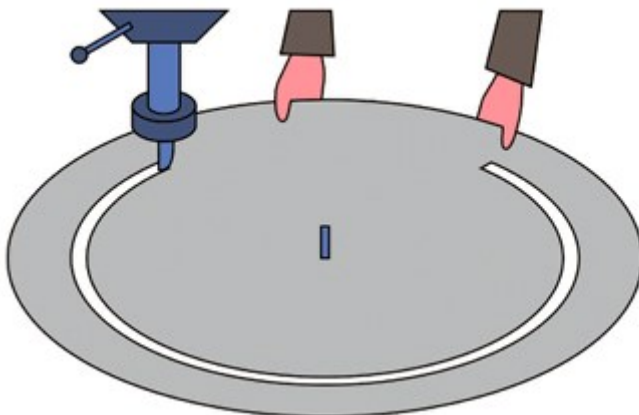
Leikkausväli tulee valita huolellisesti materiaalin ominaisuuksien ja paksuuden perusteella, ja viistokulman valinta voi vaikuttaa leikkauspinnan suoruuteen, erityisesti paksuilla levyillä. Oikeanlaisen leikkausvälin ja viistokulman valinta on tärkeää saavuttaakseen halutun leikkauspinnan laadun. Mekaaniset leikkurit ovat nopeampia, mutta niiden käyttöä rajoittaa iskunpituuden säätymättömyys, kun taas hydraulisissa leikkureissa iskunpituutta voidaan säätää. Lisäksi kulmaleikkurit voivat leikata kahdella 90 asteen kulmassa olevalla terällä, jolloin levyosat voidaan leikata kerralla irti levyarkista. Tätä muuttuvaa leikkauksen viistokulmaa havainnollistetaan kuvassa viisi. (Mattilainen ym., 2011, s.170–171)

Kuva 5. Yhdensuuntainen leikkaus (Mattilainen ym., 2011, s.171)



Kiekkoleikkaus, kuvassa kuusi, on tarkoitettu pyöreiden muotojen leikkaamiseen. Kappaleet ovat pääasiassa tasaisia kiekkoja, joita voidaan jatko työstää esimerkiksi syvävetämällä. Tämä leikkaustapa on hyvä tuottamaan paljon leikattuja aihioita suhteellisen edullisesti hyvällä reunanlaadulla. Leikattavan aihion levynpaksuus voi olla yleisesti 0,5–8 mm, mutta joillakin koneilla voi maksimipaksuus olla jopa 25 mm (Mattilainen ym., 2011, s.192–193)

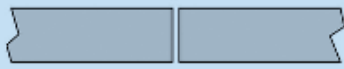



Kuva 6. Kiekkoleikkauksen periaate (Mattilainen ym., 2011, s.193)



Termistä leikkausta voidaan suorittaa polttoleikkauksella, plasmaleikkauksella ja laserleikkauksella. Polttoleikkaus on epätarkka ja reunanlaadultaan heikko leikkaustapa, jolla yleisesti leikataan seostamattomia teräksiä. Näiden leikattavien materiaalien levynpaksuudet voivat olla jopa 300 mm. Plasmaleikkaus puolestaan soveltuu kaikille sähköä johtaville rautamalleille ja yleisesti suositellaan käytettäväksi ruostumattomille ja haponkestäville teräksille sekä alumiiniseoksille. Yleinen käsitys on vieläkin, että plasmaleikkauksen jälki on todella epätarkkaa, mutta nykyisillä hienosädeplasmaleikkureilla saavutetaan 0,25–0,5 mm tarkat toleranssit. Laserleikkaus puolestaan on vakiinnuttanut

paikkansa yhtenä eniten käytettynä ja merkittävänä leikkausmenetelmänä. Etuina laserleikkauksella on erinomainen tarkkuus, vapaa leikkauksen muoto, kapea lämpövaikutusalue ja kattava levyn paksuus, korkeintaan noin 30 mm. Tarkkuuden toleranssi on vanhemmilla laitteilla noin 0,1 mm ja uudemmilla jopa 0,025–0,075 mm, joka vähentää tai poistaa jälkityöstön tarpeen leikatuilta kappaleilta. Eri leikkaustyyppien vaikutusta leikkausrailon leveyteen voidaan tarkastella kuvasta seitsemän. (Mattilainen ym., 2011, s.200–204)

Kuva 7. Termiset leikkausmenetelmät (Mattilainen ym., 2011, s.204)

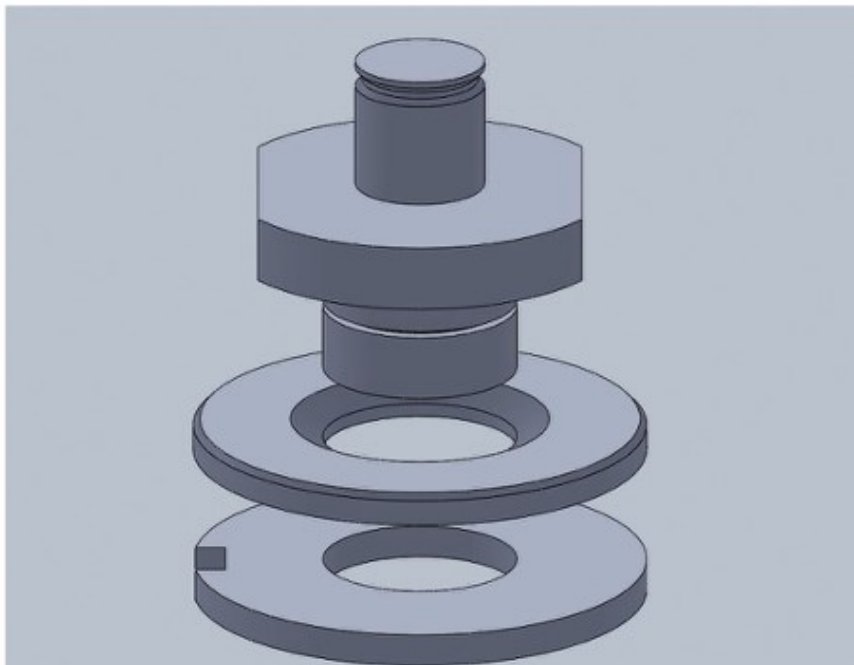
Leikkausmenetelmät		
	Suhteellinen lämmöntuonti	Lämpövyöhykkeen ja railon leveys, [mm]
Vesisuihkuleikkaus	0	<p>Railon leveys 0,5 mm</p> 
Polttoleikkaus	100	<p>Railon leveys 3,0 mm</p> <p>Lämpövaikutusvyöhyke 2,0 mm</p> 
Plasmaleikkaus	10	<p>Railon leveys 1,0 mm</p> <p>Lämpövaikutusvyöhyke 0,5 mm</p> 
Laserleikkaus	1	<p>Railon leveys 0,2 mm</p> <p>Lämpövaikutusvyöhyke 0,1 mm</p> 

## 2.2.2 Lävistys

Lävistäminen on menetelmä, jolla voidaan leikata materiaaliin suljettuja muotoja ja se soveltuu myös ulkoreunojen leikkaamiseen, kun useita lävistyksiä tehdään peräkkäin. Tässä prosessissa on olennaista valita oikeat työkalut, jotta leikattu reuna olisi laadukas ja työkalut kestäisivät kulumatta liikaa.

Mekaanisessa lävistämisessä, kuva kahdeksan, materiaaliin leikataan muoto käyttäen leikkainta, joka sisältää tyynyn ja materiaalin lävistävän pistimen. Levy asetetaan tyynyn päälle, ja pistin suorittaa työntöiskun. Lävistämisprosessi alkaa, kun pistin koskettaa leikattavan levyn pintaa ja alkaa leikata materiaalia. Lopuksi materiaalin alaosa murtuu, ja jätepala irtoaa. Lävistettävä materiaali taipuu aluksi kimmoisesti ylittäen myötölujuuden ja siirtyy sitten plastisen muodonmuutoksen vaiheeseen. Kun materiaalin muodonmuutoskyky ylittyy, se alkaa murtua. Lopullinen leikkaantumisen tapahtuu, kun pistimen ja tyynyn aiheuttamat murtohalkeamat kohtaavat. (Mattilainen ym., 2011, s.182–183)

Kuva 8. Levytyökeskuksen lävistystyökalun kolme pääosaa (Mattilainen ym., 2011, s.182)



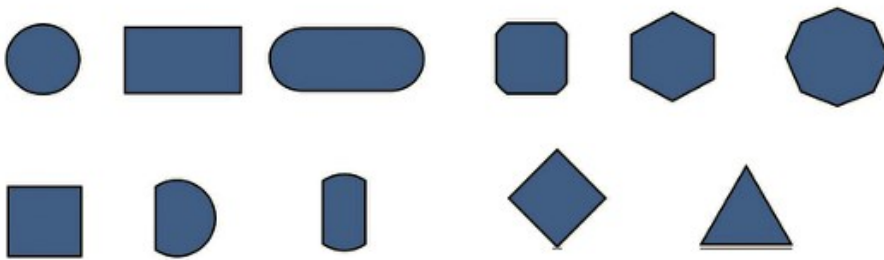
Perinteisesti lävistävään työhön on käytetty epäkeskopuristimia, mutta nykypäivänä ohutlevyjen lävistämiseen käytetään usein hydraulisia tai servotoimisia levytyökeskuksia. Nämä koneet voivat tarjota erilaisia lävistysvoimia ja soveltua erikokoisille levyille materiaalin mukaan. Levytyökeskukset eivät keskity pelkästään leikkaamiseen vaan voivat myös muovata ja merkitä kappaleita, ja niitä ohjataan usein numeerisesti, mikä mahdollistaa tehokkaan ja monipuolisen tuotannon. (Mattilainen ym., 2011, s.182)

Levytyökeskukset ovat tärkeitä ohutlevyosien valmistuksessa, ja niiden avulla voidaan yhdistää erilaisia työvaiheita yhdeksi kokonaisuudeksi. Lisävarusteet, kuten kulmaleikkuri ja

termiset leikkauslaitteet (kuten laser- ja plasmaleikkurit), voivat lisätä muodon vapautta ja valmistuksen nopeutta. Monissa koneissa on myös automaattiset järjestelmät levyarkkien lastaukseen ja valmiiden osien purkamiseen, mikä tekee valmistuksesta sujuvaa ja tehokasta.

Myös ohutlevy tuotteiden valmistuksessa standardisoinnilla on suuri merkitys. Tuotteen valmistaminen on nopeampaa, jos käytetään samoja työkaluja ja toimitaan vakio työkaluasetuksella. Lävistettävät reiät kannattaa siis mahdollisuuksien mukaan suunnitella samankokoisiksi ja -muotoisiksi, jotta ne voidaan lävistää samaa työkalua käyttäen. Toisaalta taas tuotteista saadaan monipuolisempia hyödyntämällä kattavasti käytettävissä olevia työkaluja. Tämä edellyttää, että suunnittelijalla on tiedossa käytettävissä oleva työkalukirjasto. (Mattilainen ym., 2011, s.187)

Kuva 9. Lävistystyökalujen standardimuotoja (Mattilainen ym., 2011, s.183)



Lävistettävien reikien sijaintia täytyy harkita suunnitteluvaiheessa tarkkaan, sillä reiät eivät saa olla liian lähellä taivutuskohtia, jotta ne eivät repeä tai muuta muotoaan taivutettaessa. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että reiän ulkoreunan ja taivutuksen sisäsäteiden välillä tulisi olla vähintään 2 kertaa materiaalin paksuinen kaistale ehjää levyä. Taivutuksen ulkoreunasta mitoitettaessa reiän ja taivutuksen etäisyys tulisi olla vähintään 3 kertaa materiaalin paksuus. (Mattilainen ym., 2011, s.187)

### 2.2.3 Muovaus

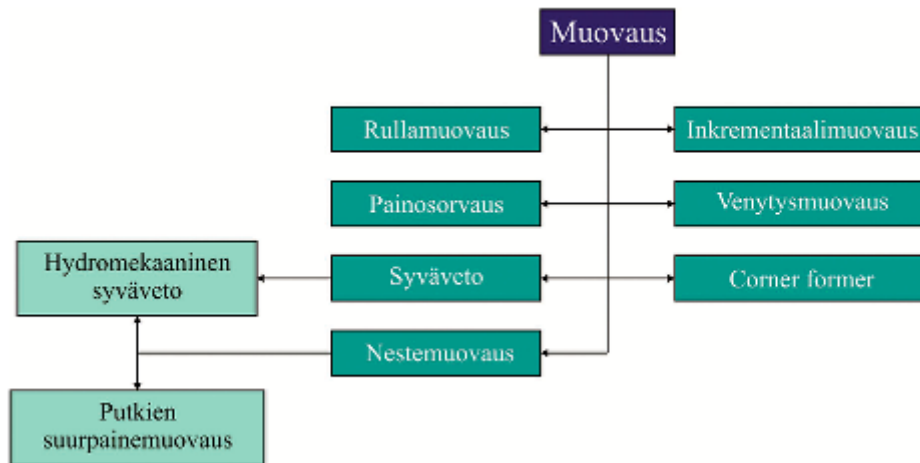
Muovaamalla voidaan saada aikaiseksi hyvinkin erilaisia muotoja ja lisäksi muovaamalla voidaan sisällyttää tuotteisiin toiminnallisia ominaisuuksia, jotka helpottavat kokoonpanoa sekä käyttöä. Ohutlevyjen muovaus tapahtuu useimmiten kylmämuovaamalla.



Kylmämuovattujen tuotteiden etuja ovat suurempi lujuus, hyvä pinnanlaatu, hyvä mittatarkkuus ja suuri valmistusnopeus. Kylmämuovausmenetelmissä esiintyvät vaikeudet voidaan välttää suunnittelemalla tuotteet oikein. (Mattilainen ym., 2011, s.215)

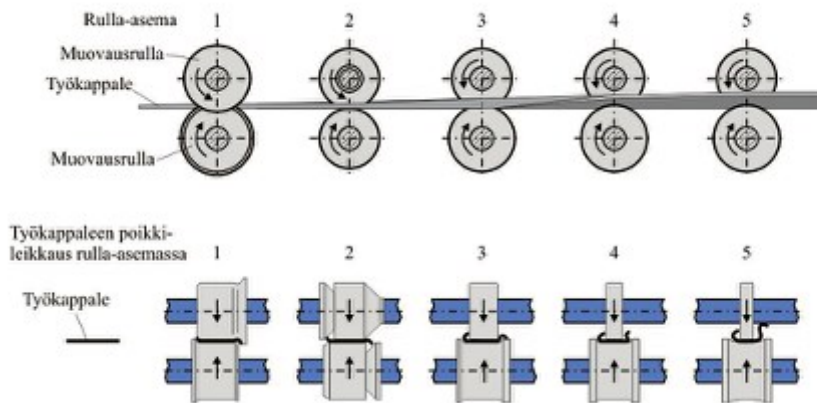
Muovausmenetelmiä on useita, joiden jaottelua esitetään alla olevassa kuvassa 10.

Kuva 10. Erilaisia muovausmenetelmiä (Mattilainen ym., 2011, s.215)



Rullamuovaus on kylmämuovausmenetelmä, joka soveltuu metallilevyjen, metallilangan tai nauhan muovaamiseen. Prosessissa raaka-aine kulkee peräkkäisten muotorullien läpi, kuten kuvassa 11, muovautuen samalla vaiheittain halutuksi profiiliksi. Rullamuovauksen aikana metallilevyn seinämäpaksuudessa ei yleensä havaita merkittäviä muutoksia. Tämä mahdollistaa erilaisten profiilien valmistuksen, ja menetelmällä on vain vähän rajoituksia muotojen suhteen. Rullamuovauksella voidaan valmistaa monipuolisia muotoja, ja prosessi tarjoaa mahdollisuuden tuottaa monimutkaisiakin profiileja sen monivaiheisuuden ansiosta. On kuitenkin syytä huomata, että monivaiheisuus voi johtaa muotovirheisiin tuotoksessa. (Mattilainen ym., 2011, s.216)

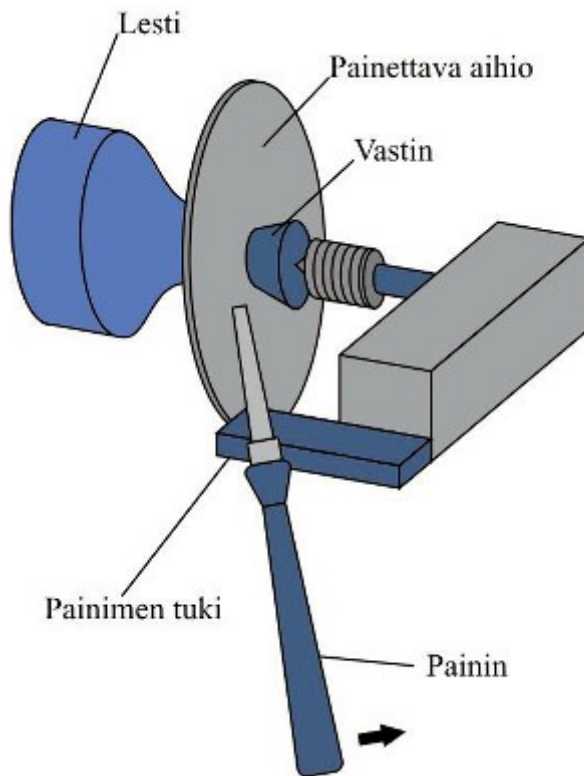
Kuva 11. Rullamuovauksen periaate (Mattilainen ym., 2011, s.216)



Painosorvaus on menetelmä, joka mahdollistaa hyvin erikokoisten ja muotoisten onttojen pyörähdyskappaleiden valmistamisen ohutlevyihioista, olipa kyse sitten manuaalisesta tai automatisoidusta tuotantoprosessista. Tämä tapahtuu ilman, että materiaalin paksuus merkittävästi muuttuu. Painosorvaus soveltuu myös valmiiksi esivedettyjen kappaleiden muokkaamiseen. Eräs painosorvauksen erityismuoto on venytysorvaus, joka suoritetaan aina koneellisesti suurten voimien vuoksi. (Mattilainen ym., 2011, s.218–219)

Painosorvaus muistuttaa perinteistä sorvausta, mutta siinä ei irroteta lastua aihion pinnalta. Sen sijaan aihio painetaan lestin muotoon aihion pyöriessä lestin ja vastin kappaleen välissä, kuten kuvassa 12. Lesti, jolle aihio painetaan, on valmistettavan kappaleen sisäpuolen muotoinen ja kokoinen. Automaattisissa painosorveissa voidaan käyttää lestin sijaan sisä- ja ulkopuolella olevaa paininrullaa, jolloin aihio muotoutuu näiden kahden paininrullan välissä.

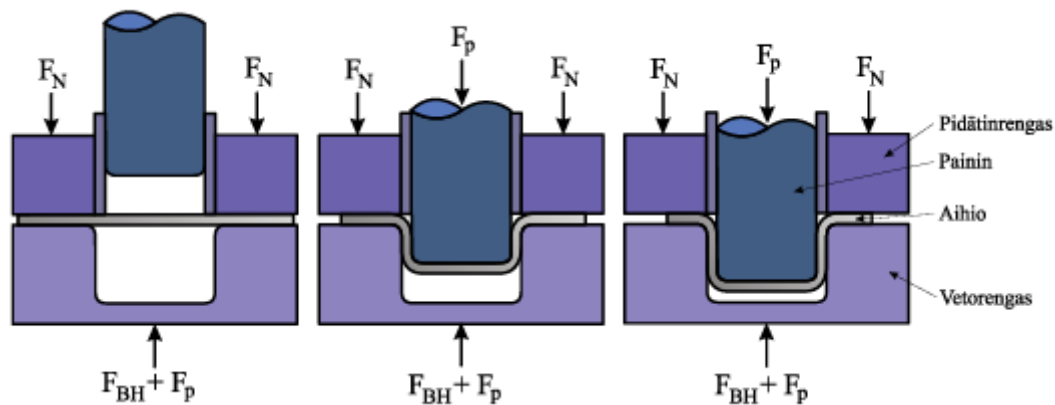
Kuva 12. Painosorvauksen periaate (Mattilainen ym., 2011, s.219)



Syvävetomenetelmässä aihioita muovataan puristimeen asennettujen syvävetotyökalujen avulla. Kuvassa 13 nähdään syvävetimen työkalut, jotka ovat vetorengas, pidätinrenkas ja vetopainin. Syvävedon aikana levyaiho työnnetään painimen avulla vetorengaan läpi, ja tuloksena saadaan kuppimainen tuote. Materiaalin paksuus ei oleellisesti muutu syvävedon aikana, koska materiaalia virtaa koko ajan pidätinrenkaan alta ja muotoutuu vetorengaan sekä painimen muotojen mukaan. Yleensä syvävedossa ei pyritä muuttamaan vedettävän aihion seinämän paksuutta. (Mattilainen ym., 2011, s.220)

Syvävetomenetelmällä voidaan valmistaa astiamaisia tuotteita, joiden valmistaminen muilla menetelmillä voi olla haastavaa. Prosessia voidaan myös jatkaa jatkovedolla tai kääntövedolla, mikä mahdollistaa entistä syvempien tai eri suuntiin vedettyjen kappaleiden valmistamisen. Tämä lisää syvävedon monipuolisuutta ja soveltuvuutta erilaisten muotojen tuottamiseen. (Mattilainen ym., 2011, s.220)

Kuva 13. Syvävedon periaate (Mattilainen ym., 2011, s.220)



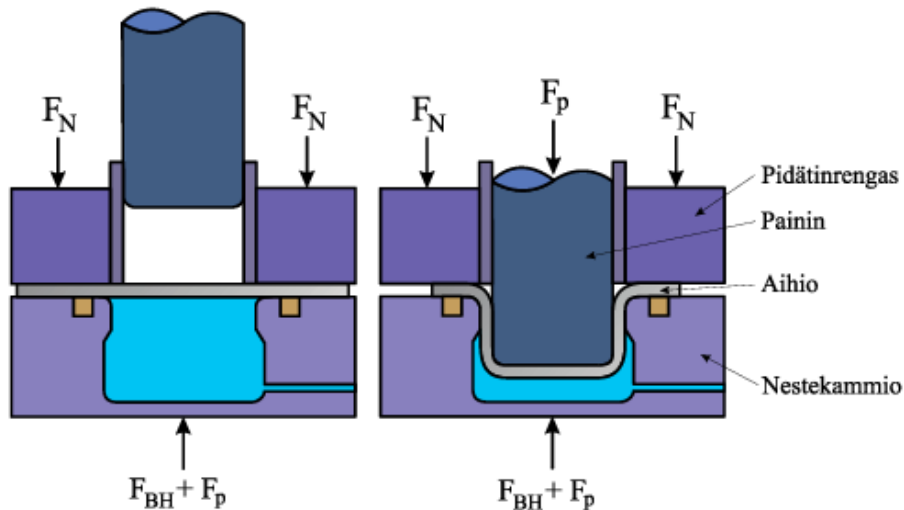
Yhdellä syvävetokerralla voidaan vetää vain rajallisen syvyinen kuppi. Kupin syvyyden määrää syvävedossa ns. rajavetosuhde, joka tarkoittaa levyaihion ja painimen halkaisijoiden suhdetta. Jos rajavetosuhde ylitetään, materiaalissa voi tapahtua murtuminen. Kuitenkin syvävetomenetelmää voidaan jatkaa yhdellä tai useammalla jatkovedolla tai kääntövedolla, mikä parantaa materiaalin kestävyyttä muovausvoimia vastaan. (Mattilainen ym., 2011, s.220)

Jatkovedon ideana on, että edellisessä vetovaiheessa tehty kuppi vedetään pienempihalkaisijaiseksi ja syvemmäksi. Kääntövedossa puolestaan vedetään materiaalia sekä ylä- että alasuunnasta samassa työvaiheessa. Tämän seurauksena ensimmäisen vedon jälkeen vedettävän kappaleen sisäpinta muuttuu ulkopinnaksi ja ulkopinta sisäpinnaksi. Nämä jatkotoimenpiteet mahdollistavat syvempien ja monimutkaisempien muotojen valmistamisen syvävetomenetelmällä. (Mattilainen ym., 2011, s.220)

Hydromekaaninen syväveto on kehitetty perinteisestä syvävedosta eroavaksi prosessiksi. Tässä menetelmässä hyödynnetään nesteen painetta, mikä yksinkertaistaa työkaluja ja vähentää työvaiheiden määrää verrattuna perinteiseen syvävetoon. Tämä tapa eroaa perinteisestä syvävedosta siinä, että vetorengas alla on nestekammio, johon muodostuu paine, kun paininta lasketaan alaspäin, kuva 14. Nesteen paine saa levyaihion muotoutumaan tarkasti painimen muotoon, jolloin vetorengasta ei tarvitse erikseen muotoilla. Tämä menetelmä vaatii huomattavasti vähemmän työvaiheita

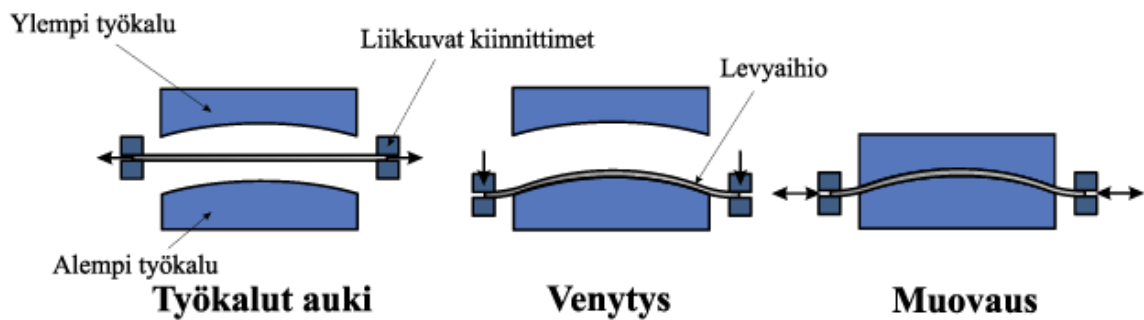
verrattuna mekaaniseen syvävetoon erityisesti kartiomaisia tai pallomaisia tuotteita valmistettaessa. (Mattilainen ym., 2011, s.233)

Kuva 14. Hydromekaanisen syvävedon periaate (Mattilainen ym., 2011, s.233)



Venytysmuovaus ja syväveto ovat joissain määrin samantapaiset prosessit. Suurin ero on siinä, että venytysmuovauksessa materiaali venyy ja täten materiaalinpaksuus ohenee. Venytysmuovauksessa aihion reunan liukuminen estetään vetorenkaan ja levynpidättimen avulla, jolloin materiaali ei syvävedon tapaan virtaa, vaan levy venyy haluttuun muotoon. Levyn venyessä materiaali ohenee ja levyn pinta ala kasvaa. Puhdasta venytys muovausta ei usein käytetä sellaisenaan, vaan yleensä venytysmuovaus yhdistetään syvävetoon, jolloin esimerkiksi kuperapohjaisten tuotteiden valmistus onnistuu. Venytysmuovaukseen on kehitetty omanlainen vetolaitteistonsa, joten venytysmuovaus ei ole mahdollista kaikilla levytöihin käytettävillä puristimilla. (Mattilainen ym., 2011, s.226)

Kuva 15. Venytysmuovauksen periaate (Mattilainen ym., 2011, s.227)

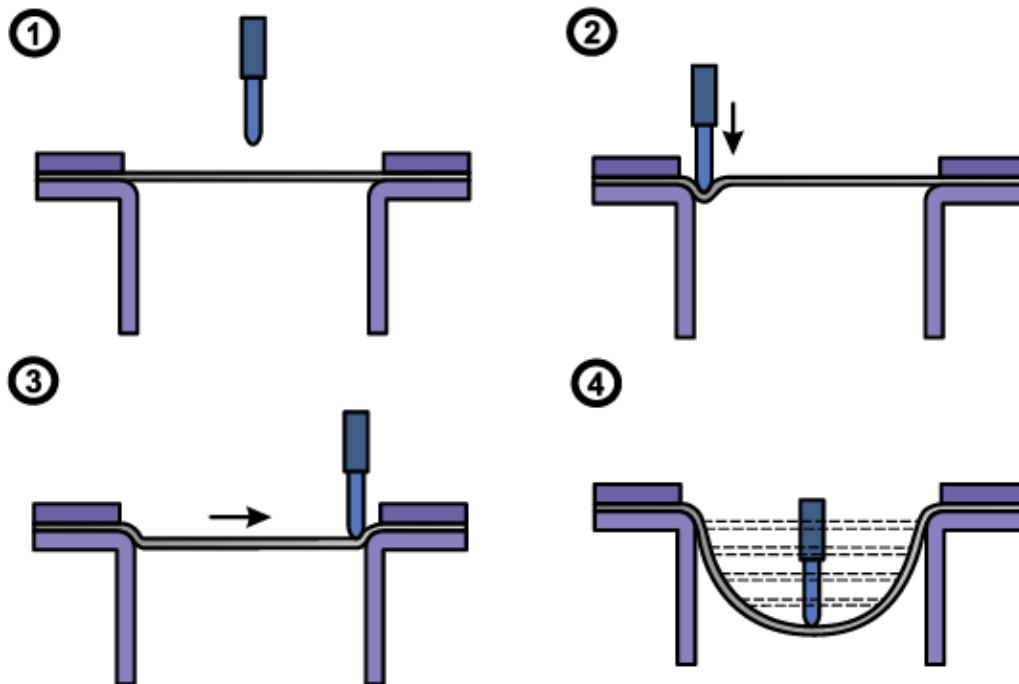


Venytysmuovaus etenee siten, että alatyökalu venyttää levyä ja levy muotoutuu työkalua vasten. Lopullinen muoto kappaleeseen saadaan, kun ylätyökalu vielä painetaan alatyökalua vasten ja levy muovautuu työkalujen välissä. Venytysmuovaus laitteistosta riippuen aihio voi olla kiinnitettynä joko erillisiin leukoihin tai ylä- ja alatyökalun väliin. Prosessi soveltuu hyvin suurien kappaleiden yksittäis- ja piensarjatuotantoon sekä prototyypin valmistukseen. (Mattilainen ym., 2011, s.227)

Inkrementaalimuovaus on prosessi, jossa levyaihiota muovataan pienin vaihein valmiiksi tuotteeksi. Tässä menetelmässä levy on kiinnitetty levynpitimeen, ja tietokoneohjattu muovaustyökalu liikkuu levyn ja pitimen välissä. Levy venyy ja taipuu ohjelman mukaisesti, ja tarvittaessa käytetään kiinteitä tukia apuna. Muovauksen voimakkuus sovitetaan siten, että materiaaliin jää pysyvä muodonmuutos. Tällä menetelmällä voidaan saavuttaa monimutkaisia muotoja ja rakenteita, mutta prosessi on hitaampi verrattuna esimerkiksi syvävetoon. Tämä tekniikka tarjoaa suunnittelijoille lisää vapautta monimutkaisten tuotteiden valmistuksessa, erityisesti varaosien ja prototyyppien tuotannossa. (Mattilainen ym., 2011, s.230)

Inkrementaalimuovaus tunnetaan myös nimillä numeerinen painomuovaus ja muotiton muovaus. Prosessi on kylmämuovausmenetelmä ja se soveltuu hyvin yksittäisten kappaleiden, sekä pienten sarjojen valmistukseen. Työkalun liikeradat muodostetaan suoraan CAD piirustuksen perusteella, joten erilaisten muutosten tekeminen aikaisemmin suunniteltuun tuotteeseen on erittäin helppoa. (Mattilainen ym., 2011, s.230)

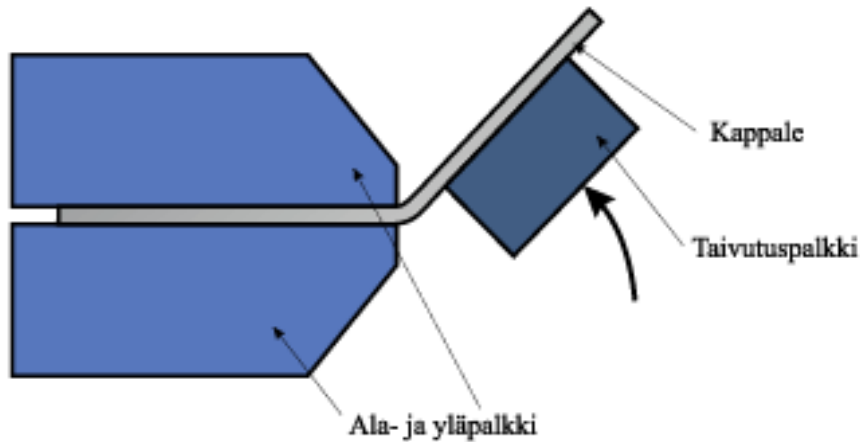
Kuva 16. Inkrementaalimuovauksen periaate (Mattilainen ym., 2011, s.231)



#### 2.2.4 Taivuttaminen

Taivutuskone on tekniikaltaan yksinkertaisin taivutuksessa käytettävä kone, ja se voi sisältää niin pieniä käsikäyttöisiä koneita kuin tehokkaampiakin, hydraulisesti toimivia malleja. Taivutuskoneen toimintaperiaate pysyy kuitenkin samana, oli voimantuotto sitten manuaalista tai hydraulista. Toimintaperiaatteen ydin on, että levyn reunaa taivutetaan erillisen, kääntyvän taivutuspaikkin avulla. Taivutuskoneella työstettäessä levy kiinnitetään taivutuskoneen pöydän ja puristuspaikkin väliin. Kääntyvä taivutuspaikki suorittaa levyn reunan taivuttamisen. Taivutuskone on särmäyspuristinta hellävaraisempi menetelmä pinnoitettujen levyjen taivuttamiseen, sillä taivutustapahtumassa ei tapahdu levyn liukumista työkalua vasten. Sen sijaan taivutuspaikki vierii särmän ulkopinnalla, kuten voimme havaita kuvasta 17. (Mattilainen ym., 2011, s.239)

Kuva 17. Taivutuskoneen osat ja toiminnan peruseriaate (Mattilainen ym., 2011, s.239)

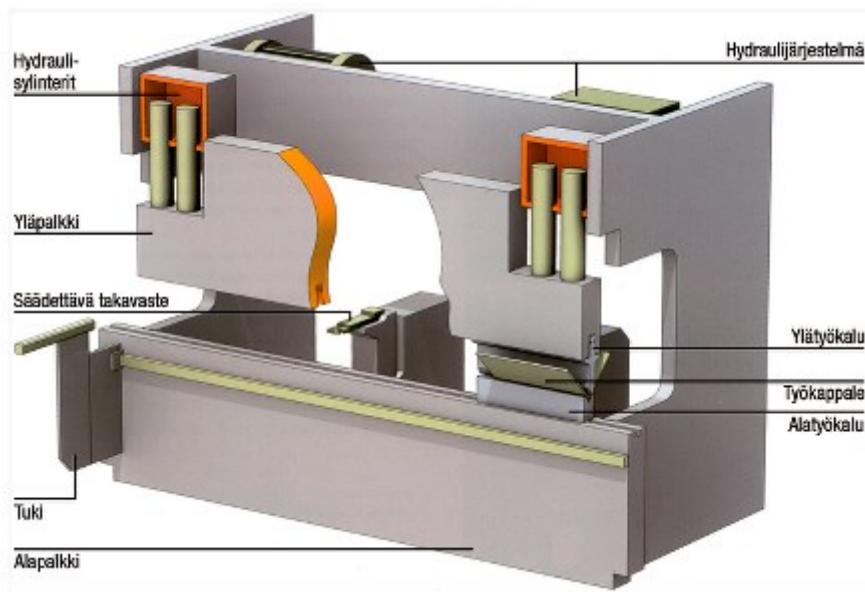


Syntyvän taivutuksen muotoon voidaan vaikuttaa puristuspalkkiin kiinnitettävällä taivutustyökalulla, jonka muoto voi olla tarkasti määritelty. Työkalun pyöristyksellä on merkitystä, ja jos se on suurempi kuin levyn taivutussäde vapaassa taivutuksessa, levy muotoutuu työkalun mukaan. Toisaalta, jos taivutustyökalu on pyöristykseltään pienempi tai sitä ei ole pyöristetty lainkaan, levy muotoutuu vapaasti.

Särmääminen suoritetaan särmäyspuristimeksi kutsutulla koneella. Koneen rakennetta voi tarkastella kuvasta 18, josta näemme, että se koostuu yläpalkista, alapalkista, säädettävästä takavasteesta, tuesta, sekä ylä- ja alatyökaluista. Nämä puristimet vaihtelevat kooltaan ja teholtaan eri käyttötarkoituksiin sopiviksi. Puristimien työleveydet voivat olla välillä 1 ja 10 metriä, mutta yleisimmin ne ovat 2–4 metriä. Työleveys ilmoitetaan useimmiten työkalupalkin mukaan, ja nimellisleveys on yleensä muutamia kymmeniä millimetrejä yli tasaluvun, kuten 2040 mm, jolloin voidaan päätellä maksimileveyden olevan noin 2000 mm. Tarvittaessa koneita voidaan liittää sarjaan, jolloin pitempien kappaleiden särmääminen on mahdollista. Särmäyspuristinten puristusvoimat vaihtelevat 100–25 000 kN välillä, ja tarvittava puristusvoima riippuu särmättävän levyn materiaalista ja paksuudesta. Särmäyspuristimet ovat yleisimpiä ohutleveyteollisuuden koneita, ja niiden toiminta voi olla mekaanista, hydraulista tai harvinaisemmin pneumaattista. (Mattilainen ym., 2011, s.240)



Kuva 18. Särmäyspuristimen rakenne (Mattilainen ym., 2011, s.240)



Hydraulisessa särmäyspuristimessa hydraulisylinterit sijaitsevat yleensä yläpalkin päissä, minkä ansiosta yläpalkin työiskun syvyyttä voidaan säätää, ja voima jakaantuu suhteellisen tasaisesti koko palkin pituudelle. Tarkkaliikkeiset särmäyspuristimet voivat olla varustettuina servomoottoreilla. Nykyaikaisissa särmäyspuristimissa vasteet ja puristussyvyys ovat numeerisesti ohjattuja. Etu- ja takavasteet helpottavat kappaleen paikoitusta sekä sen paikallaan pysymistä taivutuksen aikana. Ohjelmoitavat vasteet mahdollistavat särmäyksen toistettavuuden. (Mattilainen ym., 2011, s.240)

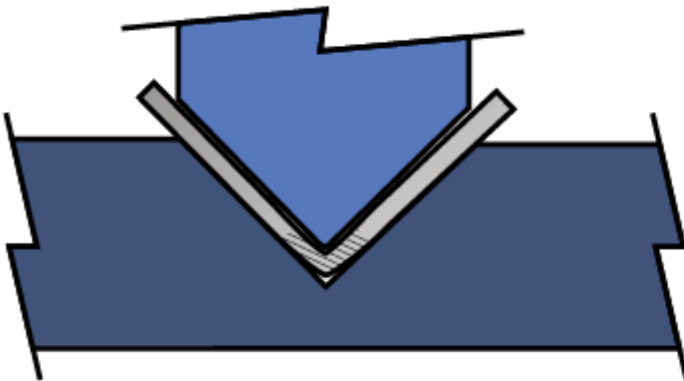
Yksinkertaisimmillaan särmäyspuristimessa ohutlevy pakotetaan muotoon yläpuristimen ja alapuristimen yhteistyöllä ja yleisimpinä tyyleinä ovat vapaataivutus, pohjaaniskutaivutus ja taivuttaminen elastista vastinta käyttämällä. Vapaataivutuksessa levyä taivutetaan kolmipistetaivutuksena alatyökalun v-aukon kulmien ja ylätyökalun suhteen, mutta ylätyökalun isku lopetetaan ennen kuin levy osuu alatyökalun pohjaan, kuten kuvassa 19 näemme. Työkaluja, joiden kulmat ovat alle 90°, käytetään yleensä vapaataivutuksessa. Tämän menetelmän etuna on, että työkalun muoto ei vaikuta levyyn syntyvään muotoon, vaan levyn geometria riippuu työkalujen keskinäisestä etäisyydestä, materiaalin lujuusominaisuuksista ja levyn paksuudesta. Työkalujen muodot ovat yleensä yksinkertaisia, ja prosessi on helppo automatisoida. (Mattilainen ym., 2011, s.241)

Kuva 19. Vapaataivutus (Mattilainen ym., 2011, s.241)



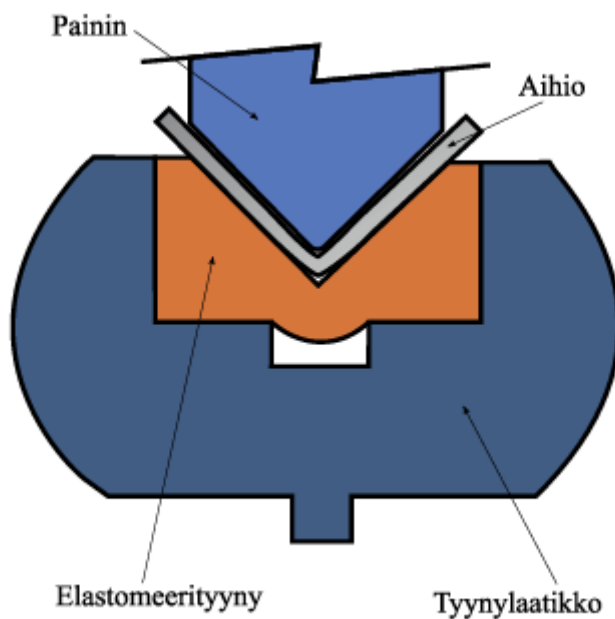
Pohjaaniskutaivutuksessa, jonka toimintaperiaatteen näemme kuvasta 20. Iskun pituus on säädetty niin, että ylätyökalu painuu kokonaan alatyökalua vasten, ja välissä oleva levy muotoutuu tarkasti ala- ja ylätyökalun muotojen mukaan. Tämä vaatii enemmän puristusvoimaa kuin vapaataivutus, mutta mahdollistaa pysyvän muodonmuutoksen, joka voi eliminoida takaisinjouston lähes kokonaan. Tällä tavalla pyritään erittäin tarkkaan ja jäykkään muotoon ja menetelmää suositellaan yleensä käytettäväksi alle 2 millimetrin levynpaksuuksille johtuen tarvittavasta suuresta voimasta ja työkalujen mittatarkkuuden merkityksestä. Takaisinjouston kulma saattaa olla negatiivinen, joten oikeanlevyisen v-aukon valinta on tässä tapauksessa erittäin tärkeää. (Mattilainen ym., 2011, s.241)

Kuva 20. Pohjaaniskutaivutus (Mattilainen ym., 2011, s.241)



Elastista vastinta käytettäessä taivutettava särmä muotoutuu ylätyökalun mukaan. Tämä menetelmä mahdollistaa vaikeidenkin muotojen valmistuksen, ja valmistettavan kappaleen pinta pysyy naarmuttomana. Kuvassa (**xx kuvenumero viittaus**) voidaan tarkastella elastomeerityynyn ja tyynylaatikon toimintaperiaatetta. Kuitenkin elastisen vastimen kovuuden valinnassa on oltava tarkkana; liian pehmeä vastin saattaa vaatia liian suurta iskunpituutta, kun taas liian kova vastin voi vaatia liian suurta voimaa.

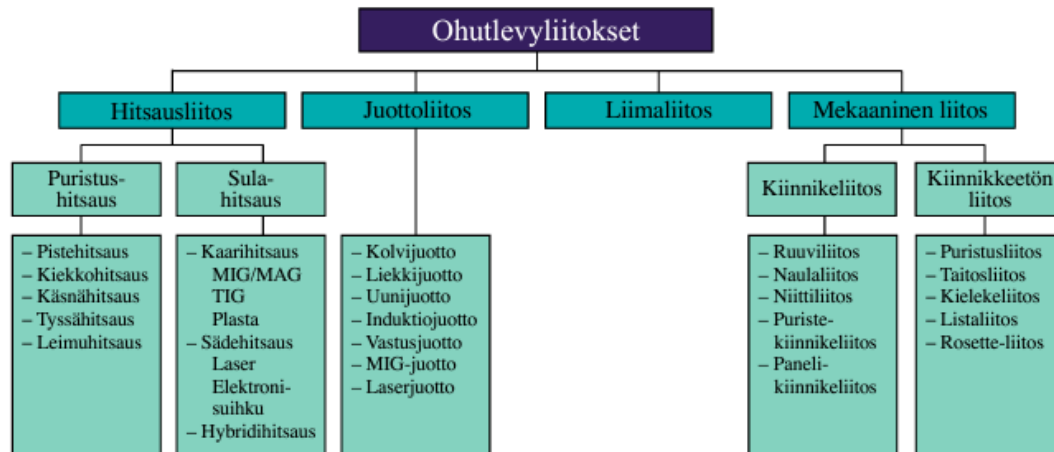
Kuva 21. Särmäys käyttäen elastista vastinta (Mattilainen ym., 2011, s.242)



### 2.2.5 Liittäminen

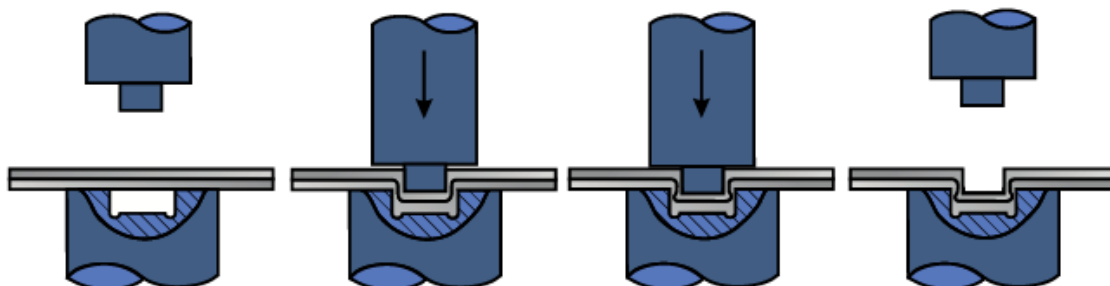
Ohutlevyjä voidaan liittää monipuolisesti, jonka vuoksi suurimmaksi määrääväksi tekijäksi muodostuu kappaleeseen kohdistuvat kuormitukset, huollon tarve, käyttötarkoitus ja olosuhteet sekä tuotannon valmistusmenetelmien saatavuus. Liittämismenetelmät ohutlevyille jaotellaan hitsaus-, juotos-, liima- ja mekaanisiin liitoksiin sekä liitostapojen yhdistelmiin eli hybridiliitoksiin. Mekaaninen kiinnikkeetön liittäminen sopii erinomaisesti austeniittisten ja ferriittisten ruostumattomien teräksien liittämiseen, ja nämä menetelmät voidaan luokitella puristus-, taitos-, kieleke-, lista-, sekä Rosette-liitoksiksi.

Kuva 22. Ohutlevyliitoksiin soveltuvia liittämismenetelmiä (Mattilainen ym., 2011, s.274)



Puristusliitoksessa levyjä puristetaan yhteen käyttäen pistintä ja tyynyä, jolloin levyt muovautuvat paikallisesti ja syntyy levyt yhteen lukitseva liitos. Puristusliittämällä voidaan saada aikaiseksi liitos, jonka lujuus on 35–100 % pistehitsaamalla tehdyn liitoksen lujuudesta. Puristusliittämällä liitettävät materiaalinpaksuudet voivat olla väliltä 0,2–4 mm riippuen käytettävästä laitteistosta. Erityyppiset puristusliitokset tunnetaan monesti konevalmistajien mukaan, joita ovat esimerkiksi Tox, Eckold, Trumpf ja Spot Clinch. (Mattilainen ym., 2011, s.231)

Kuva 23. Puristusliittäminen (Mattilainen ym., 2011, s.341)



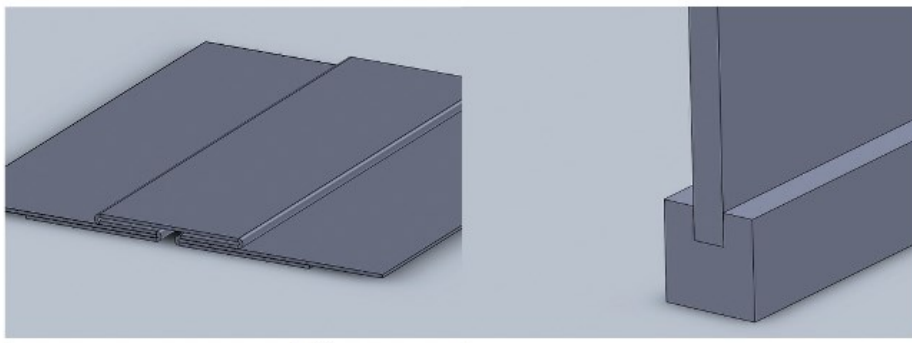
Taitosliitos voidaan tehdä joko liitoksen sisä- tai ulkopinnalle, vaaka- ja pystysuunnissa ja liitos on aina vähintään 3 kertaa liitettävän materiaalin paksuinen. Taitosliitoksista saadaan tiiviitä, jos liitokseen lisätään erillinen tiiviste tai menetelmään yhdistetään jokin toinen liittämismenetelmä, kuten juotto tai liimaus. Liitosten pituussuuntaiset saumat tehdään

yleensä rullamuovaamalla ja muiden taitosliitosten tekemiseen voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia painosorveja ja puristimia. (Mattilainen ym., 2011, s.342)

Kielekeliitoksessa toiseen levyyn tehdään reiät ja toiseen kielekkeet, jotka pujotetaan rei'istä läpi ja taivutetaan, jolloin saadaan aikaan liitos. Kielekeliitokset voivat sijaita levyn keskellä tai reunassa ja menetelmä on edullinen ja joustava toteuttaa. Kielekeliitokset eivät kuitenkaan kestä kovinkaan paljon rasitusta, mutta rasitukselle alttiiksi joutuviissa kohteissa niitä voidaan käyttää hyväksi esikokoonpanovaiheessa. Kielekeliitoksia käytetään yleensä esimerkiksi kodinkoneissa ja kevyissä sähkölaitteissa. (Mattilainen ym., 2011, s.344)

Listaliitoksissa käytetään hyväksi erilaisia alumiini-, teräs-, puu-, muovi- ja jousilistoja. Listojen lisäksi erillisiä kiinnikkeitä ei yleensä tarvita. Lukitus tapahtuu muotosidonnaisesti. Listaliitosten hyvänä puolenä on niiden irrotettavuus esimerkiksi huoltotoimenpiteitä varten. Usein voidaan valita, tehdäänkö liitos kiinteäksi vai irrottavaksi. Muodoltaan listaliitos voi olla suora tai ympyrämainen. Listaliitoksia voidaan käyttää hyvin muovipinnoitettujen levyjen liittämiseen, koska menetelmällä liitettäessä pinnoite säilyy ehjänä. Listaliitoksissa käytettävät listat ovat suhteellisen kalliita, joten tätä menetelmää kannattaa käyttää vain sellaisissa kohteissa, joihin muut liitosmenetelmät eivät jostain syystä sovellu. (Mattilainen ym., 2011, s.344–355)

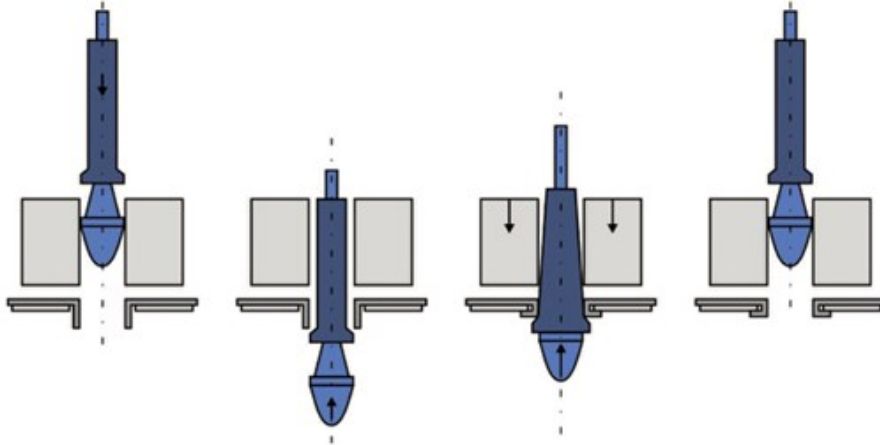
Kuva 24. Erilaisia listaliitoksia (Mattilainen ym., 2011, s.345)



Rosette- eli kaulustusliitos muodostetaan käyttämällä liitettävien osien omaa materiaalia liitoksen sitomiseen. Rosette-liitos vaatii toiseen levyyn reiän ja toiseen levyyn kauluksellisen reiän. Kauluksellinen levy napsautetaan toisen levyn reikään ja kaulus puristetaan reiän ympärille käyttämällä Rosette-työkalua. Puristamiseen tarvittava Rosette-työkalu

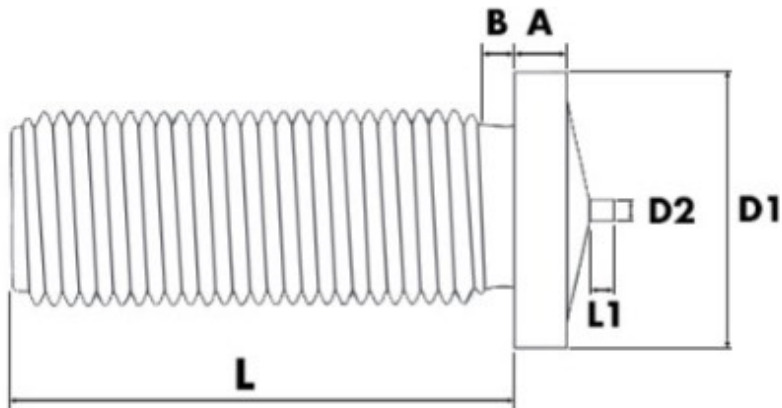
työnnetään ensin reiästä läpi ja sen jälkeen vedetään ylös. Vedettäessä työkalun pää laajenee ja puristaa kauluksen reiän reunojen alle. (Mattilainen ym., 2011, s.345)

Kuva 25. Rosette-liitoksen muodostaminen (Mattilainen ym., 2011, s.346)



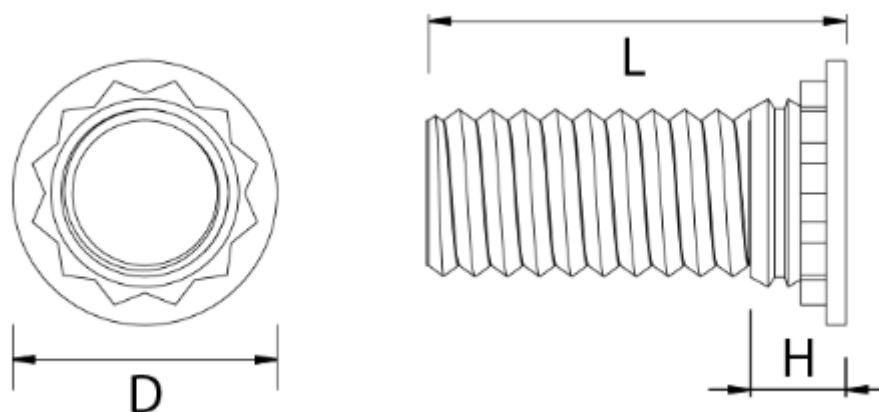
Mekaaniseksi kiinnikeliitokseksi voidaan laskea erilaisten niittien, ruuvien, muttereiden hitsauspulttien ja puristeruuvien asentamista ohutlevytuotteeseen. Hitsauspultissa kiinnitetään sähkövirtaa käyttämällä teräsruuvi ohutlevyn pintaan. Ruuvin kannan ja levyn välissä on pieni kontaktialue, jonka ympärillä oleva tyhjä tila täyttyy sula-aineella luoden kiinteän liitoksen. Tämän kannan ja kontaktipisteen muotoa voi tarkastella kuvassa 26. Käytettäessä hitsipultteja on muistettava hitsauslämmön aiheuttamat muutokset teräksessä, jotka voivat vaikuttaa ulkonäköön, jos ohutlevy toimii näkyvänä pintana.

Kuva 26. Hitsausruuvi (Wurth, n.d.)



Puristeruuviissa ruuvien kannan tähtimäinen kohomuoto, joka näkyy kuvassa 27, painautuu ohutlevyyn reiän ympärillä muodostaen kiinteän liitoksen. Liitoksessa ruuvi asettuu kohtisuoraan asennusreiän mukaisesti ja kannan puolella ruuvi on tasainen levyn kanssa. Puristeruuvin ehdoton etu hitsipulttiin verrattuna on nopea ja joustava asennus ilman hitsauskustannuksia sekä lämpövaikutuksia ohutlevyissä.

Kuva 27. Puristeruuvi (Tappex, n.d.)



Liimaus soveltuu hyvin ohutlevyjen liittämismenetelmäksi ruostumattomille teräksille. Siihen voidaan myös yhdistää mekaaninen liitos, jolloin on kyseessä hybridiliitos. Liimoina

käytetään yleisimmin epoksi- ja polyuretaaniliimoja. Lentokoneteollisuus käyttää korkean lämpötilan liimoja. (Mattilainen ym., 2011, s.56)

Liimaukseksi voidaan myös luokitella teippaus, jossa kaksipuoleinen teippi sisältää tehokasta liimaa, jolla voidaan yhdistää tasaiset ohutlevyt yhteen. Tätä tapaa käytetään ainakin kevyissä rakenteissa melko yleisesti, kuten esimerkiksi pienten kiinnikelevyjen liittäminen toisiinsa, kun kiinnityskohtaan ei kohdistu paljoa voimia eikä liittämiskohta ole tarkka. Liimauksessa etuna voidaan pitää kahden levyn väliin muodostuva kerros, joka poistaa metallipintojen kontaktiominaisuuksia, kuten värinän siirtyminen, mahdolliset lämmön ja sähköön johtuminen, sekä korroosion välittymisen estäminen materiaalien kesken.

Juotosta voidaan myös käyttää ruostumattomien terästen liittämismenetelmänä. Se sopii käytettäväksi silloin, kun tarvitaan mekaanisesti luja liitos, mutta materiaaleja ei voida hitsata yhteen, kuten ruostumattoman teräksen liitokset alumiinin, kullan tai kuparin kanssa. (Mattilainen ym., 2011, s.56)

Hitsattujen rakenteiden ja hitsien tulisi olla riittävän lujia, jotta ne kestävät niihin kohdistuvat kuormitukset. Hitsauksessa tapahtuvat lämpötilojen muutokset aiheuttavat rakenteisiin helposti muodonmuutoksia ja myös materiaalin ominaisuudet saattavat muuttua. Hitsi on aina epäjatkuvuuskohta kappaleen geometriassa, joten hitsien kohdalle syntyy usein myös jännityshuippuja. Tällöin dynaamisesti kuormitetun rakenteen väsymiskestävyys heikkenee. Oikein suoritettuna hitsauksen tuloksena syntyy kuitenkin käyttörasituksia kestävä rakenne niin lujuus- kuin sitkeysominaisuuksiltaan. (Mattilainen ym., 2011, s.275)

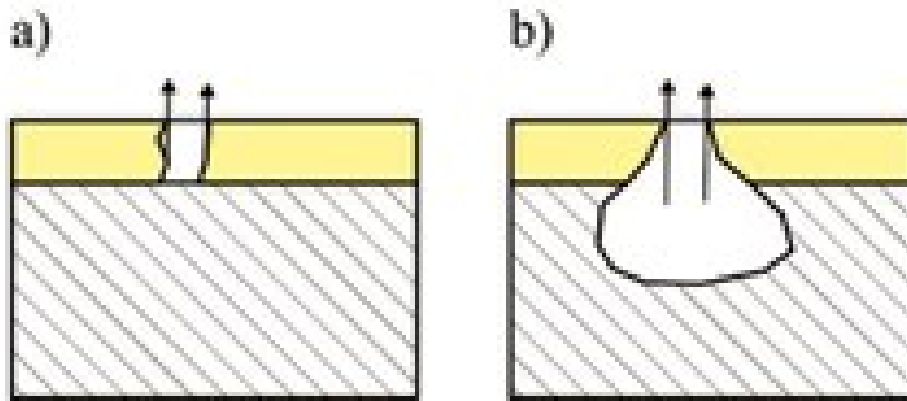
### **2.2.6 Pintakäsittely**

Ohutlevyn pintakäsittelyllä pyritään parantamaan levyn ominaisuuksia tai suojaamaan sitä ympäristötekijöiltä. Pintakäsittelyllä voidaan saavuttaa esimerkiksi parempi korroosionkestävyys, lisätä visuaalista houkuttelevuutta, tai vaikuttaa muihin mekaanisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Yleisiä pintakäsittelymenetelmiä ovat reaktiopinnoitus, anodisointi, maalaus, polymeeripinnoitus ja pinnan teksturointi. Jokainen pintakäsittelymenetelmä valitaan sen perusteella, millaisia suorituskykyvaatimuksia levyille asetetaan, ja millaisessa ympäristössä tai sovelluksessa se tulee olemaan.



Pinnoitetta valittaessa on huomioitava se, onko pinnoitemateriaali perusaineeseen nähden jalompi vai epäjalompi. Kemiallinen koostumus vaikuttaa pinnoitteen käyttäytymiseen korroosiotilanteessa: pinnoitteen ollessa epäjalo uhrautuu pinnoite korroosiotilanteessa ja pinnoitteen ollessa jalo joutuu perusaine uhrautumaan korroosiotilanteessa. (Mattilainen ym., 2011, s.353)

Kuva 28. Kun pinnoitettu materiaali on pinnoitetta jalompi, epäjalo pinnoite syöpyy (Mattilainen ym., 2011, s.353)



Esikäsitteilyllä voidaan puhdistaa pinnoitettava pinta joko kemiallisesti tai mekaanisesti. Oikean puhdistusmenetelmän valintaan vaikuttavat käytetty pinnoitusmenetelmä, tuotteen koko ja muoto sekä tuotteen tulevat käyttöolosuhteet. Eri pinnoitusmenetelmillä on eri puhtausvaatimukset, joten tuotteen valmistuskustannuksiin voidaan vaikuttaa myös valitsemalla tarkkuudeltaan sopiva puhdistusmenetelmä liian tarkan menetelmän sijaan. (Mattilainen ym., 2011, s.353)

Mekaaninen pinnanpuhdistus poistaa levyn pinnasta ruostetta, oksidikerrosta ja erilaisia kerrostumia, kuten vanhat maalaukset. Yksinkertaisimmillaan mekaaninen puhdistus on teräsharjalla pinnan hankaamista tai kaapimista. Ennen puhdistuksen aloittamista on levy kuitenkin puhdistettava irtoliasta, öljyistä ja rasvasta. Puhdistus on vaiheena todella tärkeä sillä pinnan epäpuhtaudet voivat heikentää pinnoitusmenetelmän tarttumista ja sen suojavaikutuksen toimintaa. Alla olevassa kaaviossa esitellään mekaanisten puhdistusmenetelmien asteita. (Mattilainen ym., 2011, s.353)

Kuva 29. Mekaanisten esikäsittelymenetelmien puhdistusasteet (Mattilainen ym., 2011, s.353)

Puhdistusaste	Kuvaus
St 2	Huolellinen kaavinta ja teräsharjaus
St 3	Hyvin huolellinen kaavinta ja teräsharjaus
Sa 1	Kevyt suihkupuhdistus
Sa 2	Huolellinen suihkupuhdistus
Sa 2½	Hyvin huolellinen suihkupuhdistus
Sa 3	Suihkupuhdistus metallinpuhtaaksi

Kemiallisessa puhdistuksessa puhutaan pääasiassa peittauksesta, vesipuhdistuksesta, emulsiopuhdistuksesta ja liuotinpuhdistuksesta. Vesipuhdistuksessa ohutlevyn pinnasta poistetaan ensisijaisesti rasvanpoistoon pesuaineen kanssa. Riippuen levyn materiaalista ja puhdistuksen käyttötarkoituksesta pesuaine voi olla joko emäksistä, neutraalia tai hapanta. Emulsiopuhdistuksessa yhdistyy vesi, orgaaniset liuottimet ja pinta-aktiiviset aineet, joiden yhdistelmä sopii varsinkin orgaanisen lian poistoon. (Mattilainen ym., 2011, s.354)

Liuotinpuhdistuksessa taasen poistetaan tehokkaasti öljyä ja rasvaa metallin pinnasta petrokemiallisilla tai klooratuilla yhdisteillä. Liuottimien kanssa on tärkeää huomioida niiden paloherkkyys ja höyrystymisestä mahdollisesti aiheutuvat haitat. (Mattilainen ym., 2011, s.355)

Kuva 30. Liuotintyyppit ja niiden käyttötavat (Mattilainen ym., 2011, s.355)

Liuotintyyppi	Puhdistustapa	Huomioitavaa
Palava liuotin	Pyyhkiminen Valelu Upottaminen	– Suuri paloriski – Terveyshaitat – Liuottimen suuri kulutus
Kloorattu liuotin	Höyrytys	– Palamattomuus – Tehokkuus rasvanpoistossa – Käyttö voi olla kiellettyä tai voimakkaasti rajoitettua

Peittaus on pintakäsittelymenetelmä, joka on suunniteltu poistamaan ruostetta ja valssihilsettä metallipinnoilta. Menetelmä hyödyntää happoja, kuten rikkihappoa, suolahappoa tai fosforihappoa, jotka liuottavat metallin pinnalta epäpuhtaudet.

Peittauksessa käytetään myös inhibiittejä, jotka hidastavat hapon vaikutusta muualla kuin metallin pintakerroksessa. Kostutusaineita lisätään peittausliuokseen helpottamaan happojen tunkeutumista pieniin rakoihin ja koloihin. (Mattilainen ym., 2011, s.355)

Elektrolyyttinen pinnoitus on menetelmä, jossa kappale upotetaan liuokseen, joka sisältää metallisuoloja, happoja, kompleksinmuodostajia ja lisäaineita. Tämän avulla voidaan pinnoittaa metallisia materiaaleja erilaisilla metalleilla. Pinnoituksessa kiinnitetään erityistä huomiota pinnoitettavan kappaleen pinnan laatuun, kuten sulkeumiin, murtumiin ja karheuteen. Menetelmä soveltuu erityisen hyvin pienille ja suurille sekä monimutkaisille kappaleille. (Mattilainen ym., 2011, s.356)

Pinnoitusprosessiin kuuluvat yleensä esikäsitteily, pinnoitus ja mahdollinen jälkikäsitteily. Esikäsitteilyssä metallin pinta puhdistetaan epäpuhtauksista. Pinnoitus toteutetaan sähköpinnoitusliuoksen avulla. Jälkikäsitteilyä voidaan suorittaa esimerkiksi tiiviyskäsitteily tai passivointi.

Yleisimpiä käytettyjä pinnoitemateriaaleja ovat sinkki, nikkeli, kromi, kupari, alumiini, tina, messinki, hopea, kulta ja rodium. Kromia käytettäessä on huomioitava, että sen levittäminen on haastavampaa kuin muilla materiaaleilla, erityisesti monimutkaisten kappaleiden osalta. Pinnoitus tarjoaa monipuolisen tavan suojata metallipintoja sekä saavuttaa halutut visuaaliset ja toiminnalliset ominaisuudet.

### **2.3 Standardi**

Kurssille oleellisin standardi on Valssatun teräsohutlevyn kylmätaivutus SFS 5998, jonka löytää osoitteesta SFS Online. Tämä sivu on Suomen Standardoimisliiton SFS ry:n ylläpitämä maksullinen verkkosivu.

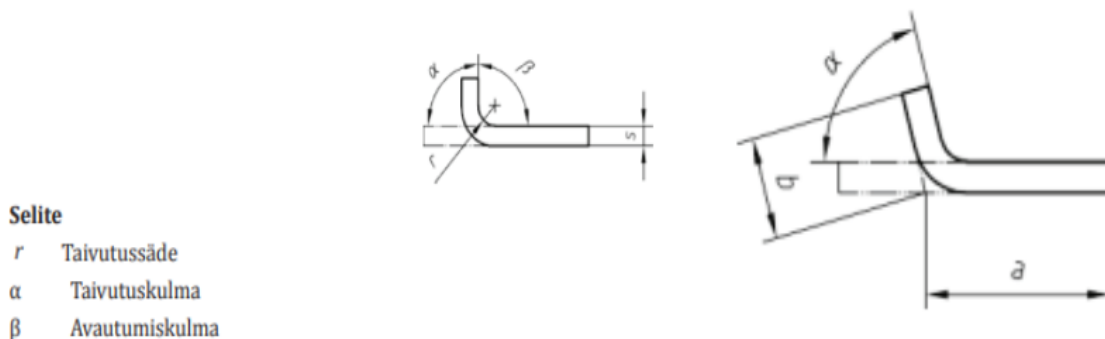
Standardi SFS 5998 erikoistuu nimenomaan ohutlevyjen kylmätaivutusparametreihin ja niihin liittyviin säännöksiin. Standardi on suomennos alkuperäisestä standardista DIN 6935:2011, sekä sen lisäosiin Beiplatt 1 ja 2.

Teräksisten ohutlevytuotteiden kuten levyjen, rainojen, nauhojen jne. taivutuksessa on otettava huomioon valssaussuunta, koska valssaussuuntaa vastaan kohtisuora suunta

soveltuu paremmin taivutukseen. Valssatun teräksen soveltuvuus taivutuksiin on tarkastettava tilauksen yhteydessä. Soveltuvuuden varmistamiseksi valssatun pinnan on oltava virheetön ja leikattujen reunojen sileitä. Taivutuksen ulkoreunalla olevien leikkausreunojen on teräsohutlevyillä oltava lisäksi taivutuskohdassa jäysteettäviä, jolla estetään leikkausreunoista alkavat murtumat. (SFS 5998, 2015, s.4)

Taivutuskulman termistöä voidaan tarkastella alla olevasta kuvasta 31, jossa  $\alpha$  on taivutuskulma,  $\beta$  on avautumiskulma,  $r$  on taivutussäde ja  $s$  on levynpaksuus.

Kuva 31. Taivutuskulmien sallitut poikkeamat (SFS 5998, 2015, s.4–6)



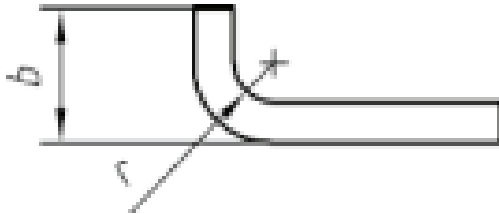
Seuraavassa taulukossa voimme tarkastella yleisien ohutlevymateriaalien pienimpiä sallittuja taivutussäteitä. Kun taivutussäde on alle 120-astetta. Määrävinä tekijänä ovat levynpaksuus ja materiaali.

Kuva 32. Pienin sallittu taivutussäde (SFS 5998, 2015, s.5)

Teräslaadut	Taivutussuunta valssaussuunnan suhteen	Pienin sallittu taivutussäde $r$ levynpaksuuksille $s$														
		$\leq 1$	$> 1$	$> 1,5$	$> 2,5$	$> 3$	$> 4$	$> 5$	$> 6$	$> 7$	$> 8$	$> 10$	$> 12$	$> 14$	$> 16$	$> 18$
S 235 JR	Kohtisuoraan	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40
S 235 J0 S 235 J2	Samansuuntaisesti	1	1,6	2,5	3	6	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45
S 275 JR	Kohtisuoraan	1,2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45
S 275 J0 S 275 J2	Samansuuntaisesti	1,2	2	3	4	6	10	12	16	20	25	32	36	40	45	50
S 355 JR	Kohtisuoraan	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50
S 355 J0 S 355 J2	Samansuuntaisesti	1,6	2,5	4	5	8	10	12	16	20	25	32	36	40	50	63

Tärkeä tekijä on myös alla olevassa kuvassa 33 näytetty taivutuksen pienin laipanpituus  $b$ , joka koneellisessa taivutuksessa on  $4 \cdot r$ . Jos laipanpituus on alle tämän arvon, voi taivutus epäonnistua tai olla mahdoton.

Kuva 33. Laipan pienin pituus (SFS 5998, 2015, s.6)



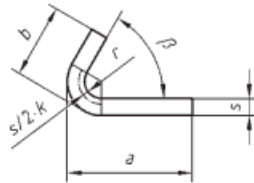
Standardissa SFS 5998 sivulla seitsemän myös kerrotaan oikaistusta pituudesta seuraavasti; Oikaistu pituus =  $a + b + u$ . Taivutuskulman arvosta riippuen korjaavan tekijän  $u$  suuruus vaihtelee ja sen arvo voi olla negatiivinen tai positiivinen, kun avautumiskulma  $0^\circ < \beta \leq 65^\circ$  (laskennallinen arvo  $65^\circ 24' 30''$ ), ja se on aina negatiivinen, kun avautumiskulma  $\beta > 65^\circ$ . Oikaistut pituudet on pyöristettävä lähimpään täyteen millimetriin.

Kaava korvaavalle tekijälle  $u$  on  $\pi * \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ}\right) * \left(r + \frac{s}{2} * k\right) - 2(r + s)$ , kun avauskulma on  $0^\circ < \beta \leq 90^\circ$ , ja  $\pi * \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ}\right) * \left(r + \frac{s}{2} * k\right) - 2(r + s) * \tan * \left(\frac{180 - \beta}{2}\right)$ , kun avauskulma on  $90^\circ < \beta \leq 165^\circ$ . Taivutuskulman ollessa yli  $165^\circ$  on korvaava tekijä 0. Tätä havainnollistaa vielä alla oleva kuva 34.

Kuva 34. Oikaistun pituuden laskenta (SFS 5998, 2015, s.7)

Avautumiskulma  $0^\circ < \beta \leq 90^\circ$

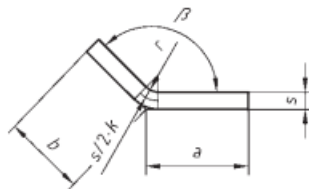
$$\text{Korjaava tekijä } v = \pi \cdot \left( \frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2(r + s) \quad (1)$$



Kuva 4 Avautumiskulma  $0^\circ < \beta \leq 90^\circ$

Avautumiskulma  $90^\circ < \beta \leq 165^\circ$

$$\text{Korjaava tekijä } v = \pi \cdot \left( \frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2(r + s) \cdot \tan \frac{180^\circ - \beta}{2} \quad (2)$$

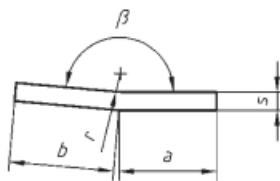


Kuva 5 Avautumiskulma  $90^\circ < \beta \leq 165^\circ$

Avautumiskulma  $165^\circ < \beta \leq 180^\circ$

Korjaava tekijä  $v = 0$

Tekijän  $v$  arvot ovat tässä tapauksessa merkityksettömän pieniä, tarkkuus on käytännön sovellutuksissa riittävä.



Kuva 6 Avautumiskulma  $165^\circ < \beta \leq 180^\circ$

Tämän lisäksi laskukaavassa esiintyy työkappaleiden leikkauspituuden määrittämiseen tarvittava  $k$ -kerroin. Tämä kerroin ilmoittaa neutraaliakselin  $s/2$  paikan poikkeaman ja laskukaava sille on  $k = 0,65 + \frac{1}{2} * \lg * \frac{r}{s}$ . Tälle arvolle on olemassa jo valmiita käytettäviä pyöristettyjä arvoja, joita voi tarkastella seuraavasta kuvaajasta.

Kuva 35. Taivutussäteen kertoimen  $k$  pyöristetyt arvot (SFS 5998, 2015, s.8)

Sisätaivutussäteen $r$ riippuvuus levynpaksuudesta $s$	Suhde $r:s$	>0,65 $\leq 1$	>1 $\leq 1,5$	>1,5 $\leq 2,4$	>2,4 $\leq 3,8$	>3,8
Kerroin $k$ (pyöristetty arvo)		0,6	0,7	0,8	0,9	1

## 2.4 Oleelliset valmistusparametrit

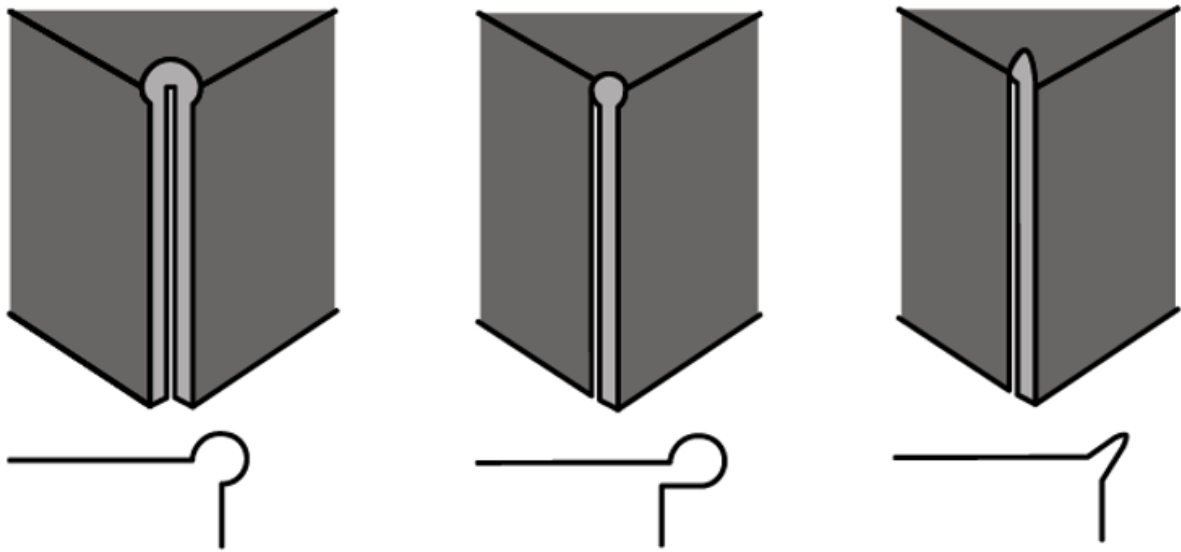
Ohutlevyjien suunnittelussa on hyvä muistaa, että ohjelmalla voidaan luoda lähes kaikenmoisia muotoja, mutta varsinaisessa valmistusvaiheessa kappale saattaa epämuodostua tai jopa vaurioitua, ellei kappale sisällä oikeanlaisia valmistusparametrejä. Näihin parametreihin voidaan laskea yleisimmät taivutuskulma-asteet, seinämien maksimipituudet, kulmahelpotukset, reikien etäisyydet kulmista ja taivutuksista ja taivutussäteet, joita aiemmin jo käsiteltiin. (Mattilainen ym., 2011, s.258)

Käytännössä kaikkien muiden kuin 135, 90 tai 45 asteen kulmien käyttö täytyy olla aina perusteltua (toiminnallinen tai ulkonäöllinen peruste), koska terävien kulmien  $< 45^\circ$  taivuttaminen vaatii usein ns. vakiotyökaluasetuksen muuttamista. Konepajoissa käytetään yleisimmin vapaataivutusta ja vapaataivutuksessa lähes saman paksuisilla levyillä kulmat  $45^\circ - 179^\circ$  tehdään samalla työkaluparilla tai vaihtamalla vain ylätökalua. Vapaataivutuksessa alatökalun V-aukon leveys määrää ensisijaisesti pienimmän mahdollisen taivutuskulman. Yli  $90^\circ$  kulmissa taas takaisinjoustop ongelma on suurempi ja tarkkojen taivutusten tekeminen vaatii aina parametrien säätöä. Muut kuin  $45^\circ$  jaolla olevat kulmat toistuvat särmästyössä harvemmin. (Mattilainen ym., 2011, s.258)

Kappaleiden suunnittelussa on huomioitava myös, että taivutettavat seinämät eivät saa olla liian korkeita, sillä tällöin taivuttamisprosessi hankaloituu huomattavasti. Seinämien maksimikorkeudet riippuvat suuresti käytettävästä taivutuslaitteistosta ja käytetyistä työkaluista, mutta särmäykseen on olemassa joitakin ohjeistuksia seinämän korkeuden määrittämiseen. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että kun kappaletta katsotaan ulkopuolelta noin 45 asteen kulmassa, täytyy vielä kappaleen sisäpuolen pohjassa oleva taivutus pystyä näkemään. (Mattilainen ym., 2011, s.258)

Kappaleen nurkkiin täytyy tehdä helpotuksia, jotta taivuttaminen nurkkakohdissa on mahdollista eri suuntiin. Pyöreiden helpotusten käyttö estää kulmia repeämästä, jolloin rakenteesta tulee kestävämpi ja luotettavampi. Helpotukset voivat olla muodoltaan pyöreään lisäksi esimerkiksi neliömäisiä tai kyöneleen muotoisia ja niiden koko voi vaihdella tarpeen mukaan. (Mattilainen ym., 2011, s.259)

Kuva 36. Nurkkiin tehtäviä helpotuksia (Mattilainen ym., 2011, s.259)



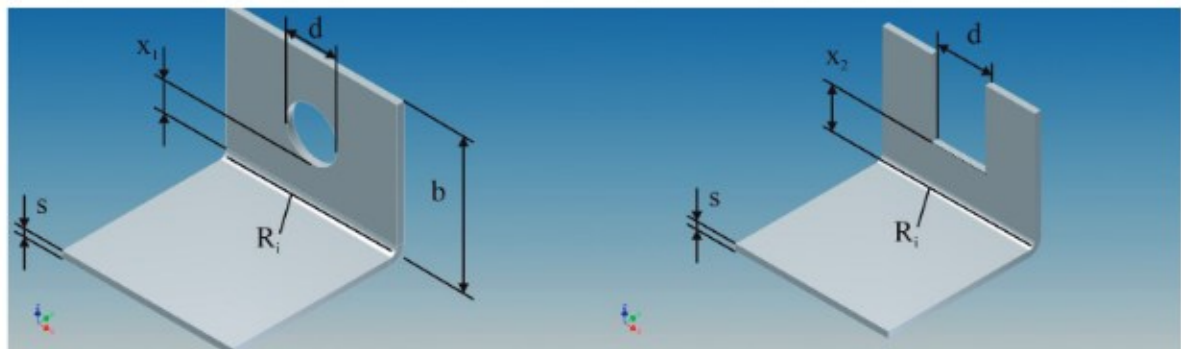
Taivutettavat levyosat sisältävät usein reikiä ja lovia. Näitä muotoja ei voida sijoittaa liian lähelle taivutuslinjoja, mikäli niiden mittojen halutaan säilyvän tarkkoina. Materiaali taivutussäteen ulkoreunalla venyy ja vastaavasti sisäreunalla puristuu. Tästä syystä liian lähellä sijaitsevien reikien sijainti ja muoto muuttuvat taivutuksessa. Välimatka taivutuslinjoihin kannattaa jättää tarpeeksi suureksi. (Mattilainen ym., 2011, s.258)

Reikien minimietäisyydet voidaan laskea kaavasta  $x = \sqrt{d \times s} + 0,8R \times \sqrt{\frac{b}{d}}$  ja lovien minimietäisyydet puolestaan kaavalla  $x = 1,1 \times \sqrt{d \times s} + 0,8R \times \sqrt{\frac{b}{d}}$ , joissa  $d$  on reiän halkaisija tai loven leveys,  $s$  on levyn paksuus,  $R$  on taivutuksen säde ja  $b$  on sivun pituus. Näitä mittoja voi olla helpompi sisäistää katsomalla alla olevaa kuvaa 32. Kirjassaan Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja, Mattilainen kertoo, että nopeana nyrkisääntönä voidaan pitää, että reiät ja lovet kannattaa sijoittaa kauemmaksi taivutuslinjasta kuin mitä oin lyhimmän mahdollisen taivutettavan sivun pituus. Lyhin



mahdollinen sivun pituus määräytyy alatyökalan v-aukon leveyden perusteella. Reikien sijainti jää tällöin varmasti alatyökalan v-aukon ulkopuolelle. Lyhin mahdollinen sivun pituus  $90^\circ$  alatyökalulle voidaan laskea kaavalla:  $b = \frac{\sqrt{2}}{2} \times W$ , missä  $b$  on lyhin sivun pituus ja  $W$  on alatyökalan leveys. Lyhin mahdollinen taivutetun sivun pituus voidaan myös katsoa valmistajien taulukoista. (Mattilainen ym., 2011, s.258)

Kuva 37. Reikiä ja lovia sisältävä työkappale (Mattilainen ym., 2011, s.258)

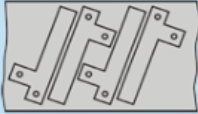
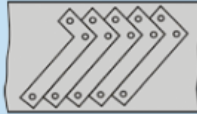
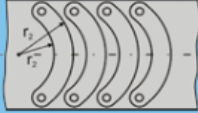
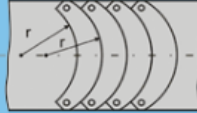
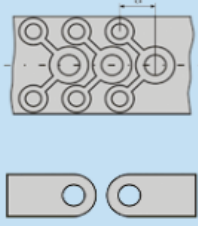
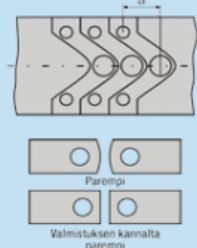


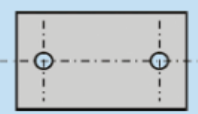
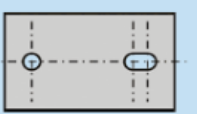
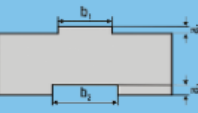
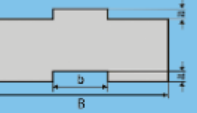
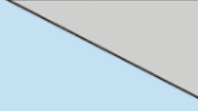



## 2.5 Valmistusystävällisyys

Ohutlevyn valmistusystävällisyys on tärkeä tekijä, joka kuvastaa ohutlevyn soveltuvuutta ja helppoutta valmistusprosessissa. Usein ohutlevyjen kohdalla puhutaan massatuotannosta, koska samaa ohutlevykappaletta valmistetaan valtavia määriä ja tästä syystä kappaleen muotoa kannattaa miettiä myös siltä kannalta, että saadaanko muotoa valmistettua mahdollisimman paljon ilman useita työvaiheita ja materiaalihukkaa.

Suunnittelussa on helppoa luoda turhan monimutkaisia kappaleita, joiden lopullinen käyttötarkoitus olisi tehtävissä yksinkertaisellakin muodolla. Aina kun on mahdollista, olisi kappaleet suunniteltava niin, että niitä voidaan valmistaa useita mahdollisimman yhtenevin ja niin sanotusti edullisin muodoin, kuten kuvassa voidaan nähdä. Liian monimutkaiset kappaleet lisäävät kuluja ja materiaalihukkaa ja joissakin tapauksissa voivat olla erittäin aikaa vieviä valmistaa. On hyvä miettiä valmiin tuotteen muotoa, niin että niitä voidaan asetella vierekkäin mahdollisimman monta ja välttää moniulokkeisia ja teräviä muotoja.

Kuva 38. Nauhalta leikattavien levyosien suunnitteluohjeita (Mattilainen ym., 2011, s.178–179)

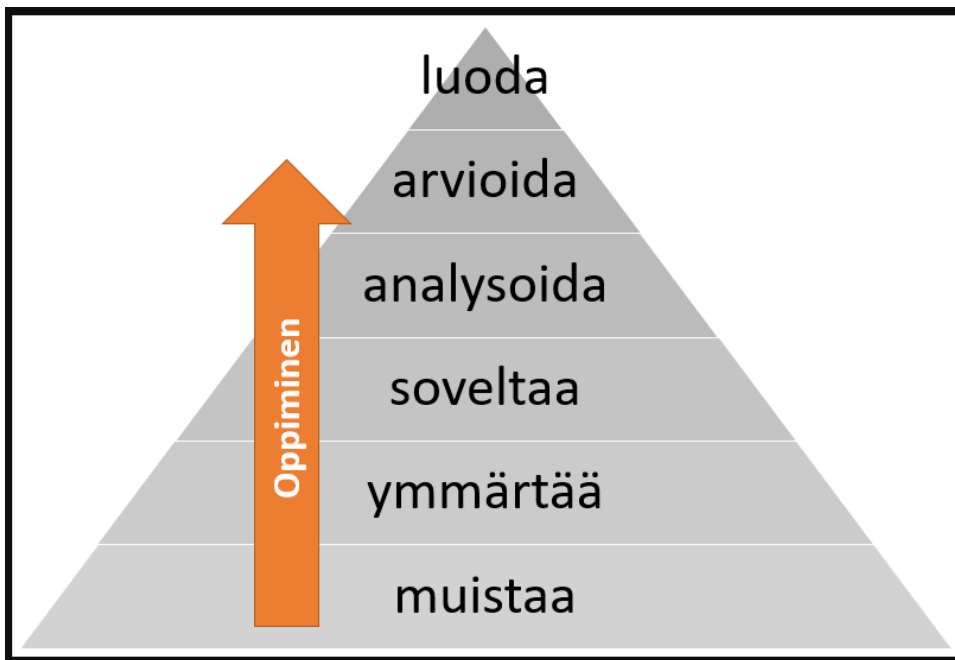
Tekijä	Epädullinen muoto	Edullinen muoto
Pienillä muutoksilla ja yhdenmu- kaistuksilla saavutetaan huomattava materiaalin säästö. Myös työkalu yksinkertaistuu.		
Pyöritykset voivat olla samansuurui- sia, jolloin säästetään materiaalia.		
Tarpeettomia pyörityksiä kannattaa välttää. Ne lisäävät työkalun hintaa ja materiaalihukkaa.		
Yksinkertaista muotoa varten voidaan tehdä yksinkertainen työkalu.		
Tarkoituksenmukaiset toleranssit. Liian ahtaita muotoja on vältettävä.		
Pyrittävä kerralla lävistettävään muo- toon jos mahdollista. Mitoittamalla $a = a_1 + a_2$ ja $b = b_1 + b_2$ vältetään esilävistykseiltä. Myös materiaali tulee tehokkaammin käytettyä.		
Teräviä ulkomuotoja on vältettävä.		

### 3 Ohutlevykurssin suunnittelu

#### 3.1 Kurssin tavoitteet

Kurssin suunnittelun päämääränä on tarjota johdattelevaa materiaalia ohutlevyjen maailmaan, luoda viikkotehtäviä ja nostaa pinnalle oppilaan omia ajatuksia. Yhtenä opiskelua tukevana rakenteellisena tekijänä sovelletaan karkeasti Bloomin taksonomiaa eli niin sanottua oppimispyramidia. Kokonaisuus koostuu tiivistetystä ohutlevyteoriasta ja varsinaisista viikkotehtävistä.

Kuva 39. Bloomin taksonomia (Peda, n.d.)



Ohutlevyteorian tarkoituksena on tarjota tiivistettyä perustietoa ohutlevyjen eri valmistustavoista ja käyttökohteista, kun taas viikkotehtävillä luodaan mahdollisuus soveltaa perustietoa käytännössä.

Viikkotehtävät koostuvat ohutlevyosista, joiden oikaistu mitta tarvitsisi laskea, ja jotka ovat tarpeeksi yksinkertaisia, jotta ne voitaisiin valmistuskuvien perusteella valmistaa Riihimäen Hyrian metallipajan tiloissa. Opiskelijat saisivat näistä tehtävistä oman käden kosketuksen ohutlevytuotteiden valmistuksen ja pystyisivät vertaamaan valmistamaansa kappaletta kurssin päämateriaaliin. Näiden lisäksi olisi oltava pieniä lisätehtäviä, joita on mahdollista ripotella opintojaksolle tehtäväksi, ja joiden tarkoitus olisi tuoda täytettä opintoviikolle, tai luoda mahdollisuuden lisäoppimiselle.

### 3.2 Työkuorman määrittely

Kurssin ajankäyttö tulee perustumaan valitun kurssin pituuden mukaan, joka puolestaan määräytyy jaettavien opintopisteiden kautta. Suositeltava opintopisteiden määrä olisi kaksi, joka vastaa noin 54 työtuntia, ja yksi opintojakso olisi noin kahdeksan viikkoa, joten viikkokohtaiseksi käytettäväksi tuntimääräiseksi ajaksi tulisi 6,75 tuntia, joka sopii hyvin pidettäväksi yhtenä päivänä viikossa esimerkiksi monimuoto-opiskelun tapauksessa.

### 3.3 Ajankäytön suunnittelu

Opintojaksolla yhdistettäisiin luentoja, kotitehtäviä ja paikan päällä kampuksella tapahtuvaa työskentelyä. Kurssin alkuun pidettäisiin johdantoa tarjoava luento, ja teoriaa sisältävä luento, joiden molempien pituus voidaan valita, mutta viikkotasolla käytettävissä olevat alle seitsemän tuntia eivät ole pakollista täyttää. Voidaan siis valita kahden tunnin teorialuennot. Kotitehtäviksi tulee ensimmäisen viikon jälkeen ohutlevyosien oikaistun pituuden laskeminen. Työt voi tehdä ryhmissä, joiden koko riippuu opiskelijoiden määrästä.

Kolmantena viikkona olisi tarkoitus tutustua HAMK ja Hyrian konepajojen laitteistoon ja kun neljäs viikko alkaa, tarkastetaan kotitehtävien tulokset sekä varmistetaan että kaikki ovat saaneet oikeanlaiset mitat. Vaihtoehtoinen kotitehtävä viikoille neljä ja viisi olisi luoda kyseiset osat itse CREO-ohjelmalla, mukaan lukien valmistuskuva pdf-muodossa sekä laserleikkurille sopiva levitetty ohutlevykuva dxf-muodossa. Viikon viisi luentoon mennessä tulee dxf tiedostojen olla palautettuna, jotta ne voidaan luennolla tarkistaa ja lähettää eteenpäin Hyrialle laserleikkausta varten. Osat tulisi olla leikattuna viikkoon kuusi mennessä. Näiden viikkojen sisältöön on myös mahdollista sisällyttää lisätehtävät, joko osana työkuormaa tai mahdollisena lisätehtävänä.

Viikko kuusi käytettäisiin Hyrian tiloissa, aikaa olisi varattu koko päivä, jolloin laserleikatut ohutlevyt muovattaisiin muotoonsa särmäämällä. Oppilaat voisivat itse osallistua särmäystyöhön, ja lopullista valmista tuotetta voidaan verrata kurssin materiaaleista löytyvään kuvaa, jossa on valmis särmätty osa tulostettavassa muodossa kuvasuhteessa 1/1. Viikoille seitsemän ja kahdeksan voidaan varata aikaa tulevalle teoriakokeelle. Koe itse tapahtuu viikolla kahdeksan ja viikko seitsemän käytetään itseopiskeluun sekä rästissä olevien viikkotehtävien palauttamiseen.

### 3.4 Käytävissä olevien valmistusmenetelmien kartoitus

#### 3.4.1 Leikkaus

Hyrialla on käytössä vanha vesileikkuri, hydraulileikkuri sekä hyvin harvoin käytössä oleva manuaalileikkuri. Suunnitelmat ovat sisältäneet käytetyn laserleikkurin hankinnan, mutta toistaiseksi budjetit eivät ole mahdollistanut laitteiston hankintaa.

Vesileikkurin rakenne sisältää suojakehikon, laitteistorungon, suuttimen ja ohjainyksikön. Leikkuriin voidaan ohjelmoida itse haluttava leikkausmuoto, tai siihen voidaan ladata valmis muoto dxf-muodossa.

Kuva 40. Oppilaitoksen vesileikkuri (Moilanen, 2023)



Vesileikkurissa kompressori tuottaa vedensyöttöön erittäin korkean paineen, noin 3500–6000 Bar. Veden lisäksi järjestelmä syöttää karkeata ainetta, hiekkaa, tai muuta abrasiivista ainetta, joiden yhteistehoa kutsutaan abrasiivileikkaukseksi. Tällä tavalla laite leikkaa teräslevyä, kun suutin liikkuu leikattavan kappaleen muotoa pitkin. Leikkurin kanssa on

muistettava, että suojakehikon seinät on oltava kiinni käytön aikana, ja että hyvin pieniä osia leikatessa putoavat palat helposti vesialtaaseen, joka voidaan estää jättämällä kappaleen muoto leikkaamatta täysin loppuun. Kappale sitten irrotetaan teräslevystä ja leikkaamattomat kohdat työstetään esimerkiksi hiomalla.

Koulun hydraulileikkuri on Aliko Automation Oy:n AK 3012. Tämä tunnetaan myös niin sanottuna levyleikkurina. Tässä koneessa suoraa ohutlevyä syötetään leikkurin sisään, ja leikkuri leikkaa koko terän ja laitteen mitalta levyn poikki. Tämän kaltaisella leikkurilla voidaan luoda nopeasti suuri määrä kappaleita, jotka vaativat pelkästään kohtisuoria leikkauksia. Leikkurin maksimilevyn paksuus on 12 mm, leveys noin 3000 mm ja iskukorkeus 160 mm. Laitetta käytettäessä syötetään ensin leikattavan levyn mitat ohjainlaitteeseen ja itse hydraulista leikkausliikettä ohjataan painamalla jalkakytkintä.

Kuva 41. Oppilaitoksen hydraulileikkuri (Moilanen, 2023)





### 3.4.2 Särmäyspuristin

Ohutlevyn särmäystä voidaan suorittaa Safan Technolgy'n FINN-POWER hydraulisella särmäyspuristimella. Tämän koneen taivutusvoima on 800 kN, maksimityöstöpituus 2550 mm ja iskun pituus 300 mm.

Kuva 42. Oppilaitoksen särmäyspuristin (Moilanen, 2023)



Kone koostuu itse särmäyspuristimesta ja sen ohjauksyksiköstä. Ohjauksyksikössä syötetään tarvittavat terän voimat, liikeradat ja terämallin tiedot ennen käyttöä. Itse konetta ajetaan käytön aikana jalkapolkimella.

Kuva 43. Oppilaitoksen särmäyspuristimen terät (Moilanen, 2023)



### 3.4.3 Muotoilu

Ohutlevyjä voidaan muotoilla Akyapak metallin valmistamalla AKBEND sähköhydraulisella mankelilla. Mankeliin syötetään ohutlevyarkki, jonka sallittu paksuus on enintään 5 mm, ja jonka kolme rullaa muotoilevat ohutlevyyn pyöreän rumpumaisen muodon. Konetta käytetään erilliseltä ohjainyksiköltä, joka sisältää käynnistys, pysäytys ja hätäseis napit sekä polkimet, jolla mankelia ajetaan.



Kuva 44. Oppilaitoksen ohutlevymankeli (Moilanen, 2023)



#### 3.4.4 Lävistys

Ohutlevyjä, teräslevyjä, neliöputkia sekä pyöröputkia on mahdollista lävistää GEKA AMO minicorp-laitteella. Kone mahdollistaa jopa 13 mm levyn lävistämisen maksimivoimalla 45 kg/mm<sup>2</sup>. Levyjen suurimmat sallitut leveydet ovat 300 mm 10 mm paksuudella ja 200 mm 13 mm paksuudella. Lävistäjällä voidaan työstää korkeintaan 30 mm halkaisijan pyörö- sekä neliötankoa ja suurin sallittu reiän halkaisija on 28 mm 13 mm levyyn.

Kuva 45. Oppilaitoksen lävistäjä (Moilanen, 2023)



### 3.5 Viikkotehtävien suunnittelu

#### 3.5.1 Oikaistun pituuden tehtävä

Erään särmättävän kappaleen mitat ovat näytetty kuvassa 46, tehtävänä on laskea kappaleen oikaistu pituus tuotantoa varten. Mitta lasketaan laskemalla ensin yhteen kaikki kohtisuorat mitat kappaleesta, tässä tapauksessa ne ovat; 84 mm + 29 mm + 54 mm + 24 mm, joiden yhteistulos on 191 mm. Tämän jälkeen taivutuksien korvaavat tekijät  $u$ , lasketaan käyttämällä kaavaa  $\pi * \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ}\right) * \left(r + \frac{s}{2} * k\right) - 2(r + s)$ , koska taivutuksien kulma on  $0^\circ < \beta \leq 90^\circ$ . Kaavassa  $\beta$  on avautumiskulma,  $r$  on taivutussäde,  $s$  on levynpaksuus ja  $k$ -arvo on apukerroin, joka saadaan kaavasta  $k = 0,65 + \frac{1}{2} * lg * \frac{r}{s}$ , mutta standardissa SFS 5998 löytyy jo valmiiksi laskettuja pyöristettyjä arvoja, joista tässä tapauksessa voidaan käyttää 0,6. Näillä tiedoilla saadaan selville, että valmis kaava yhdelle taivutukselle on  $\pi *$

$\left(\frac{180^\circ - 90^\circ}{180^\circ}\right) * \left(1 + \frac{1}{2} * 0,6\right) - 2(1 + 1) = -1,95796$ , ja taivutuksia on yhteensä kolme, näin ollen tulos kerrotaan kolme kertaa ja vähennetään alun perin saadusta kokonaismitasta. Kappaleen oikaistupituus on siis  $191 \text{ mm} - 5,874 \text{ mm} = 185,126 \text{ mm}$ , kuitenkin standardi SFS 5998 määrittää, että oikaistut pituudet on pyöristettävä lähimpään täyteen millimetriin, joten oikea laskukaava on pyöristettynä  $191 \text{ mm} - 6 \text{ mm} = 185 \text{ mm}$ .

Kuva 46. Oikaistun pituuden tehtävänanto (Moilanen, 2023)

100	101	102	103	104	105	106	107
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Task:  
 1. Calculate the flat state length of this sheetmetal part.  
 This part will also be used later during visit to the sheetmetal workshop.  
 2. Create this part in Creo or other program  
 3. Create a DXF file of this part so that it can be cut with a laser-, or similar cutter.

Tehtävä:  
 1. Laske tämän kappaleen oikaistu pituus  
 Tämä osaa käytetään myöhemmin konepajaan tutustumisen aikana  
 2. Luo tämä kappale Creo:lla tai vastaavalla suunnitteluohjelmalla  
 3. Luo tästä kappaleesta DXF tiedosto, jota voidaan käyttää valmistukseen laser-, tai vastaavalla leikkurilla

Isometric view for illustration purposes only  
 Not for manufacturing

Isometrinen kuva tehtävän kuvantoa varten  
 Ei saa käyttää valmistuskuvana

Manufacturing drawing on pg. 2  
 Valmistuskuva sivulla 2.

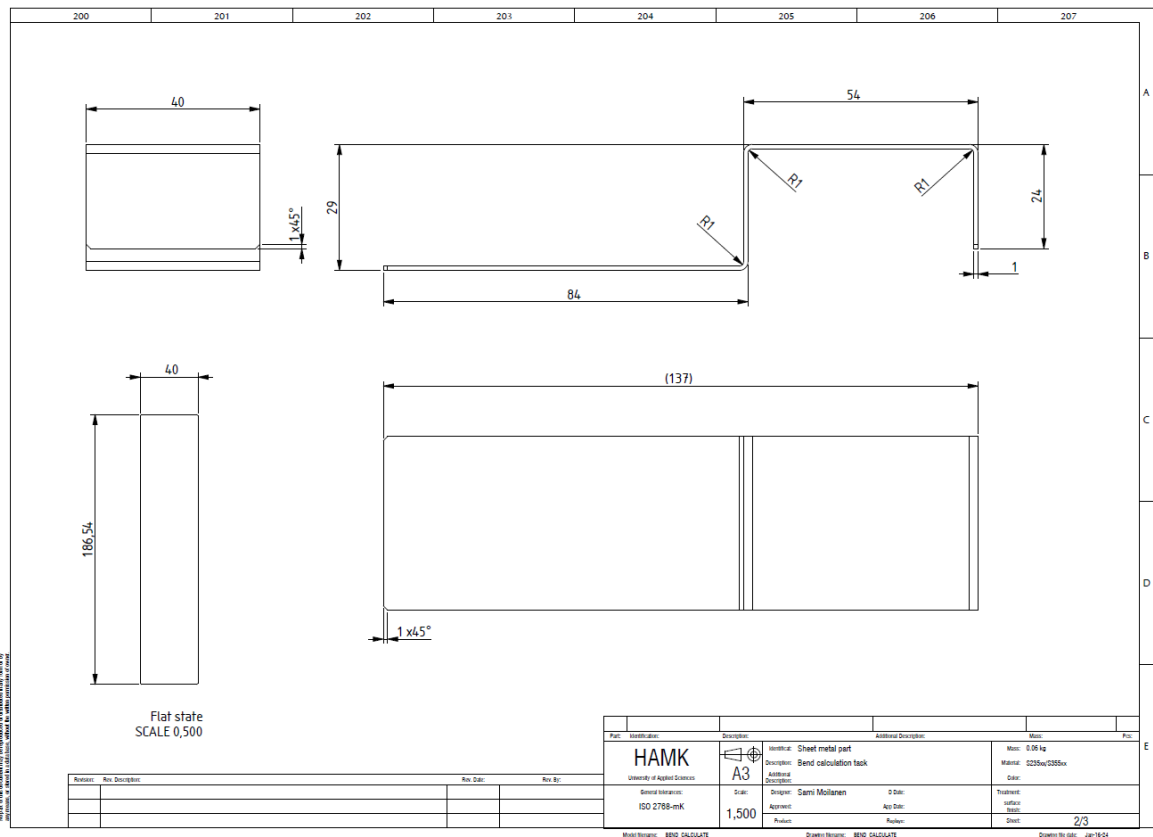
DXF on pg. 3  
 DXF sivulla 3

Part:	Identification:	Description:	Material:	Mass:
HAMK	University of Applied Sciences	Sheet metal part Bend calculation task	Material: 0356u2355u	Mass: 0,06 kg
Scale:	2,000	Designer: Sami Moilanen	Appr: [Signature]	Sheet: 1/3

Maker Name: BEND\_CALCULATE Drawing Name: BEND\_CALCULATE Drawing No. date: Jan-16-24

Nyt laskettuna saatua tulosta voidaan verrata suunnitteluohjelman CREO tekemään laskutoimitukseen kappaleen oikaistusta mitasta, joka näkyy seuraavassa kuvassa 47, ja jonka pituus on 186,54 mm. Voidaan todeta sen poikkeavan hieman laskennallisesta mitasta 185 mm, ja syy tähän saattaa löytyä ohjelman sisäisestä laskentakaavasta ja sen käyttämistä arvojen pyöristyksistä tai niiden puutteesta.

Kuva 47. Oikaistun pituuden tehtävän mitoitus (Moilanen, 2023)



Seuraava vaihe oppilaille on tämän saman kappaleen suunnittelu valitsemallaan ohjelmalla, ja dxf-formaattisen piirustuksen luominen. Kuvan teko alkaa luomalla kappaleelle suoristettu muoto, niin sanottu flat state. Sen jälkeen luodaan normaali piirustus kappaleesta, johon suoristettu muoto asetetaan kuvasuhteella 1:1. dxf-kuvan voi tallentaa suoraan ohjelman sisältä valitsemalla yleensä tallenna nimellä komento, ja valitsemalla tallennettavaksi formaatiksi dxf. Huomioitavaa on myös, että yleensä piirustuksella on niin sanottu piirustus pohja, joka pitää piilottaa, sillä muuten kuvapohja on osa leikattavaa muotoa.

Tämän tehtävän seuraava vaihe on vierailu Hyrian konepajalle, jota varten tarvitaan dxf-formaattiset kappaleet. Kappaleet leikataan joko vesileikkurilla, tai laserleikkurilla jos kurssin ajankohdan aikaan on leikkurin hankinta valmista. Käynnin tarkoituksena on tutustua konepajan toimintaan, sekä saada mahdollisuus käyttää taivutuspuristinta kappaleen valmistukseen.

### 3.5.2 Nestaus tehtävä

Nestaus on lainatermi englannin kielestä ja viittaa materiaalin tehokkaaseen leikkaukseen ohutlevytyöissä. Sillä tarkoitetaan useiden osien sijoittamista ja yhteensovittamista mahdollisimman tehokkaasti käytettävälle ohutlevyarkille. Nestauksella siis vähennetään materiaalihukkaa ja optimoidaan valmistusaikaa.

Tämän osion toimeksiantona on ohutlevy kappaleen suunnittelu, kun lähtötietoina on pelkästään tarvittavien reikien mitoitus. Oppilas saa vapaasti suunnitella kappaleen muodon, kunhan reikien paikat ovat täysin samat. Varsinaisen kappaleen ja tehtävän toimeksiannon voi nähdä seuraavasta kuvasta 48.

Kuva 48. Nestaus tehtävänanto (Moilanen, 2024)

100	101	102	103	104	105	106	107
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

You work in a company that manufactures sheet metal parts.  
An order for a bracket is given with these fixing points for screws.

**Task:**  
Design a sheetmetal part that employs these holes.  
Shape of the part is up to you to decide.

The company uses sheetmetal sheets with dimensions of 100mm width and 1000mm length  
The idea is to create a part, that you could then fit as many as possible onto each full sheet

-----

Työskentelet yrityksessä joka valmistaa ohutlevyosia.  
Saat tilauksen kannakelevylle kuvassa annettujen kiinnityspisteiden kanssa.

**Tehtävä:**  
Suunnittele ohutlevyosa joka sisältää kyseiset reiät.  
Muoto on vapaavalinnainen.

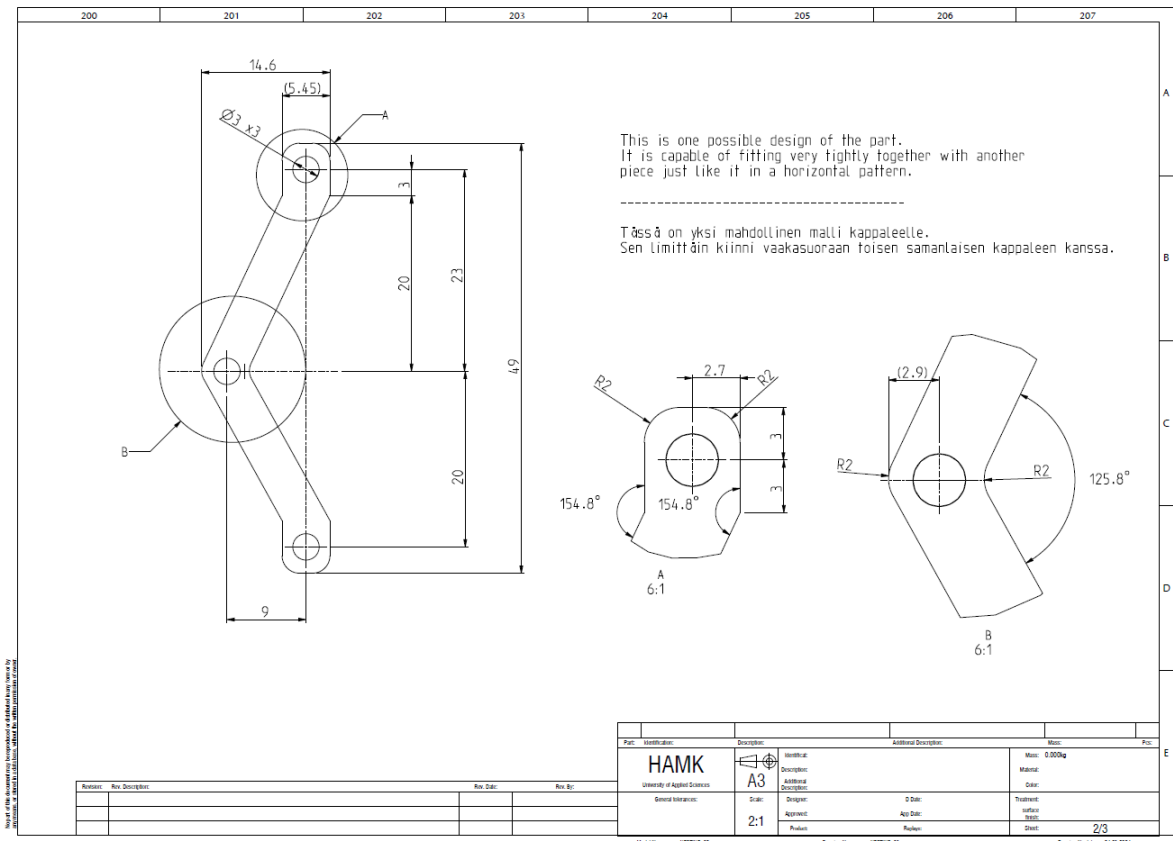
Yritys käyttää levyjä joiden mitat ovat 100mm leveys ja 1000mm pituus.  
Ajatuksena on luoda kappale, jota voidaan mahdollistaa mahdollisimman monta kappaletta jokaiselle levyille.

<b>HAMK</b> University of Applied Sciences	A3	Scale: 2:1	Weight: 0.002kg
General tolerances:	Designer:	App Date:	Treatment:
Product:	Material:	Color:	Surface finish:
Model Name: NESTING_01	Drawing Name: NESTING_01	Drawing No: 1/3	Drawing Date: 24.01.2024

Seuraava vaihe on suunnitellun kappaleen sovittelu ohutlevy arkille, jonka leveys on 100 mm ja pituus 1000 mm. Arkin koko on tarkoituksella poikkeava standardi mitoista, jotta tehtävä ei kokoluokaltaan paisu liikaa. Oppilaan tehtävä on sovittaa ja tarvittaessa optimoida suunnittelemaansa osaa, jotta mahdollisimman monta voidaan valmistaa arkista samalla

kertaa. Tätä tehtävää varten on jo luotu yksi mahdollinen kappaleen muoto, jonka voi nähdä kuvasta 49.

Kuva 49. Nestaus tehtävän mahdollinen ratkaisu (Moilanen, 2024)

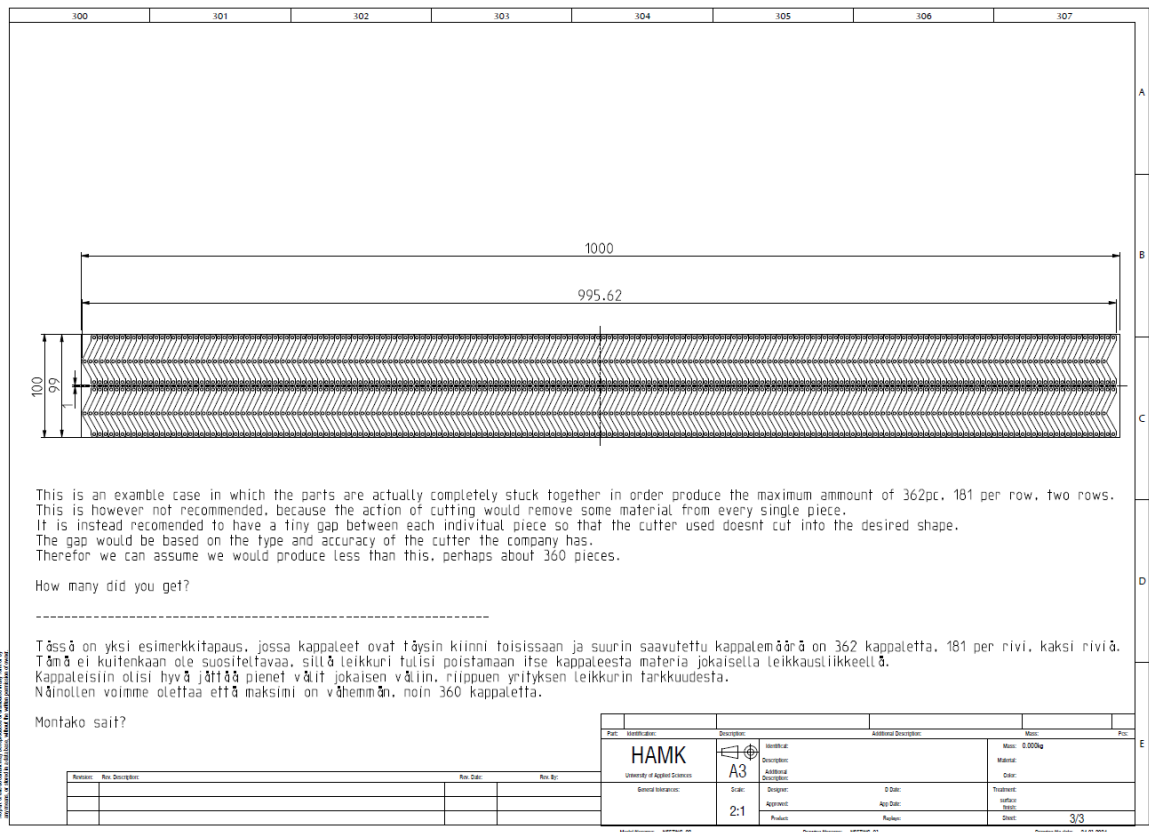


Lopullinen sovitus esimerkkikappaleella on nähtävissä kuvassa 50, jossa ohutlevyarkille mahtui parhaimmillaan 362 kappaletta, kun kappaleet ovat kiinni toisissaan.

Valmistusteknisessä mielessä kappaleissa pitää olla pienet välit ja lopullinen määrä on noin 360 kappaletta arkille jakaumalla 180 kappaletta peräkkäin kahteen riviin päällekkäin.



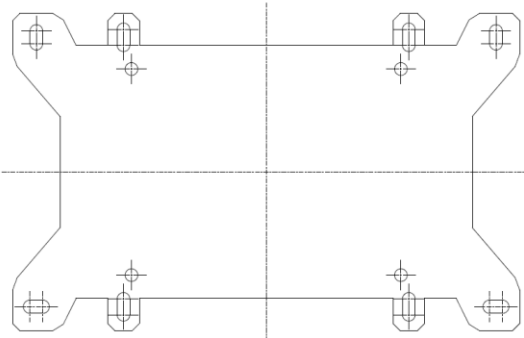
Kuva 50. Suunniteltu kappale sovitettuna ohutlevyarkille (Moilanen, 2024)



### 3.5.3 Virheidenetsintä tehtävä

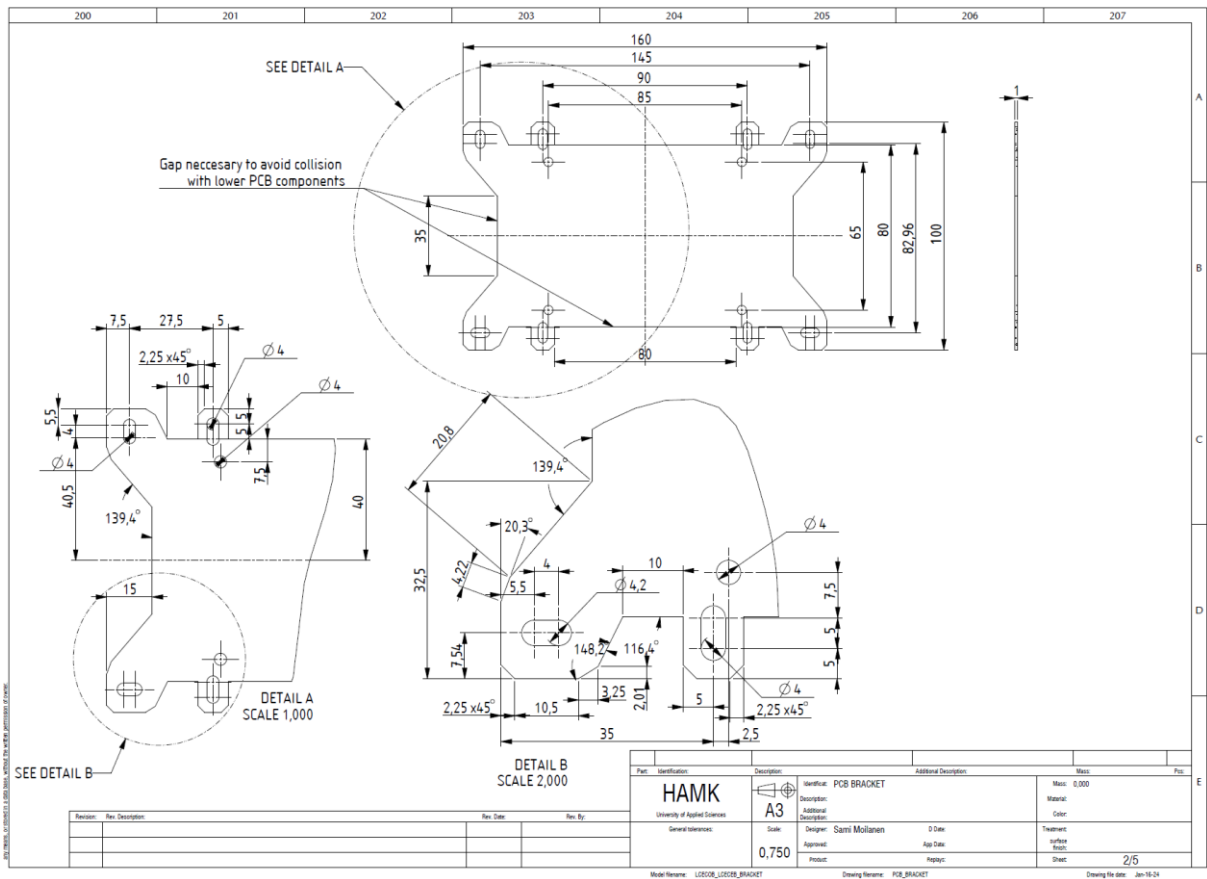
Työelämässä usein käytetään erilaisia tarkistustapoja ja yksi yleisimmistä on kollegan tekemä valmistuskuvien tarkistus ennen kuvien hyväksyntää. On hyvin tyypillistä, että omille virheilleen tulee niin sanotusti sokeaksi, jonka vuoksi kollegan antama palaute ja muistiinpanot virheistä, sekä selkeistä puutteista on todella arvokasta. Tämän tehtävän tarkoitus onkin nimenomaan tehdä pienimuotoinen tarkistus työparin tekemälle ohutlevy kannakkeelle. Tehtävässä tutkitaan suunniteltua kappaletta ja oppilaan on tarkoitus merkitä haluamallaan tavalla kannakkeen mahdollisia virheitä, tai käytettyjä huonoja tapoja. Lisäpisteitä voi ansaita suunnittelemalla paranneltu tai yksinkertaistettu kappaleen muoto. Yksinkertaistettu tehtävän anto ja kappaleen muodon voi nähdä seuraavasta kuvasta 51.

Kuva 51. Virheidenetsintä tehtävä (Moilanen, 2024)

100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
										
<p><b>Task:</b> Inspect this sheet metal bracket for circuit boards and evaluate its numerous problems. How many errors / faulty design solutions can you find?</p> <p>Additional points for creating a bracket with improved/fixed design.</p> <p><b>Tehtävä:</b> Tarkastele tätä ohutlevystä valmistettua piirilevykiinnikettä ja arvioi sen ongelmallista suunnittelua. Montako virhettä / epäsuotuisaa suunniteluratkaisua löydät?</p> <p>Lisäpisteitä jos luot parannetun/korjatun version.</p>										
										A
										B
										C
										D
										E
										F
										G
										H
										I
										J
										K
										L
										M
										N
										O
										P
										Q
										R
										S
										T
										U
										V
										W
										X
										Y
										Z
										AA
										AB
										AC
										AD
										AE
										AF
										AG
										AH
										AI
										AJ
										AK
										AL
										AM
										AN
										AO
										AP
										AQ
										AR
										AS
										AT
										AU
										AV
										AW
										AX
										AY
										AZ
										BA
										BB
										BC
										BD
										BE
										BF
										BG
										BH
										BI
										BJ
										BK
										BL
										BM
										BN
										BO
										BP
										BQ
										BR
										BS
										BT
										BU
										BV
										BW
										BX
										BY
										BZ
										CA
										CB
										CC
										CD
										CE
										CF
										CG
										CH
										CI
										CJ
										CK
										CL
										CM
										CN
										CO
										CP
										CQ
										CR
										CS
										CT
										CU
										CV
										CW
										CX
										CY
										CZ
										DA
										DB
										DC
										DD
										DE
										DF
										DG
										DH
										DI
										DJ
										DK
										DL
										DM
										DN
										DO
										DP
										DQ
										DR
										DS
										DT
										DU
										DV
										DW
										DX
										DY
										DZ
										EA
										EB
										EC
										ED
										EE
										EF
										EG
										EH
										EI
										EJ
										EK
										EL
										EM
										EN
										EO
										EP
										EQ
										ER
										ES
										ET
										EU
										EV
										EW
										EX
										EY
										EZ
										FA
										FB
										FC
										FD
										FE
										FF
										FG
										FH
										FI
										FJ
										FK
										FL
										FM
										FN
										FO
										FP
										FQ
										FR
										FS
										FT
										FU
										FV
										FW
										FX
										FY
										FZ
										GA
										GB
										GC
										GD
										GE
										GF
										GG
										GH
										GI
										GJ
										GK
										GL
										GM
										GN
										GO
										GP
										GQ
										GR
										GS
										GT
										GU
										GV
										GW
										GX
										GY
										GZ
										HA

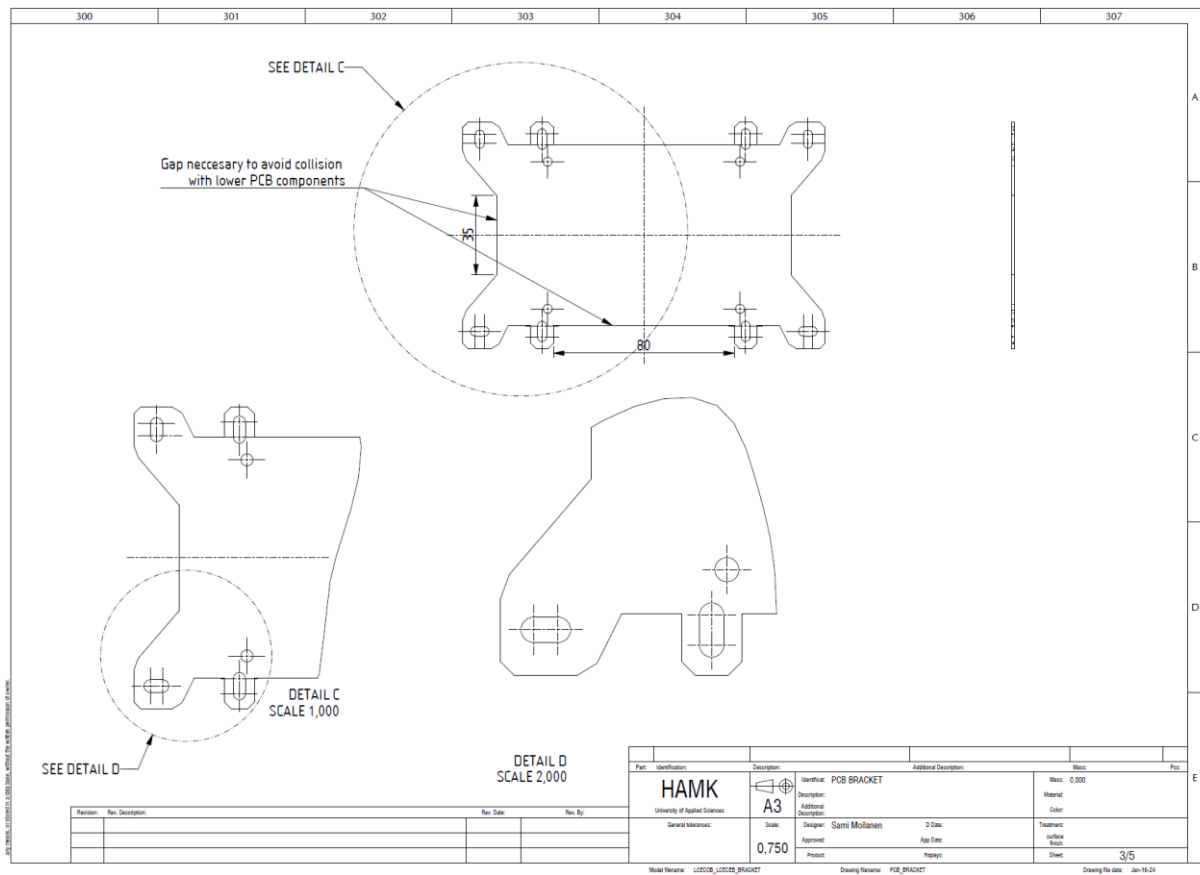


Kuva 52. Virheidenetsintä tehtävä mitoitettuna (Moilanen, 2024)



Seuraavaa kuvaa 53 on mahdollista käyttää oppilaan halutessa muistiinpanojen lisäämiseen mitoittamattomalle kuvalle.

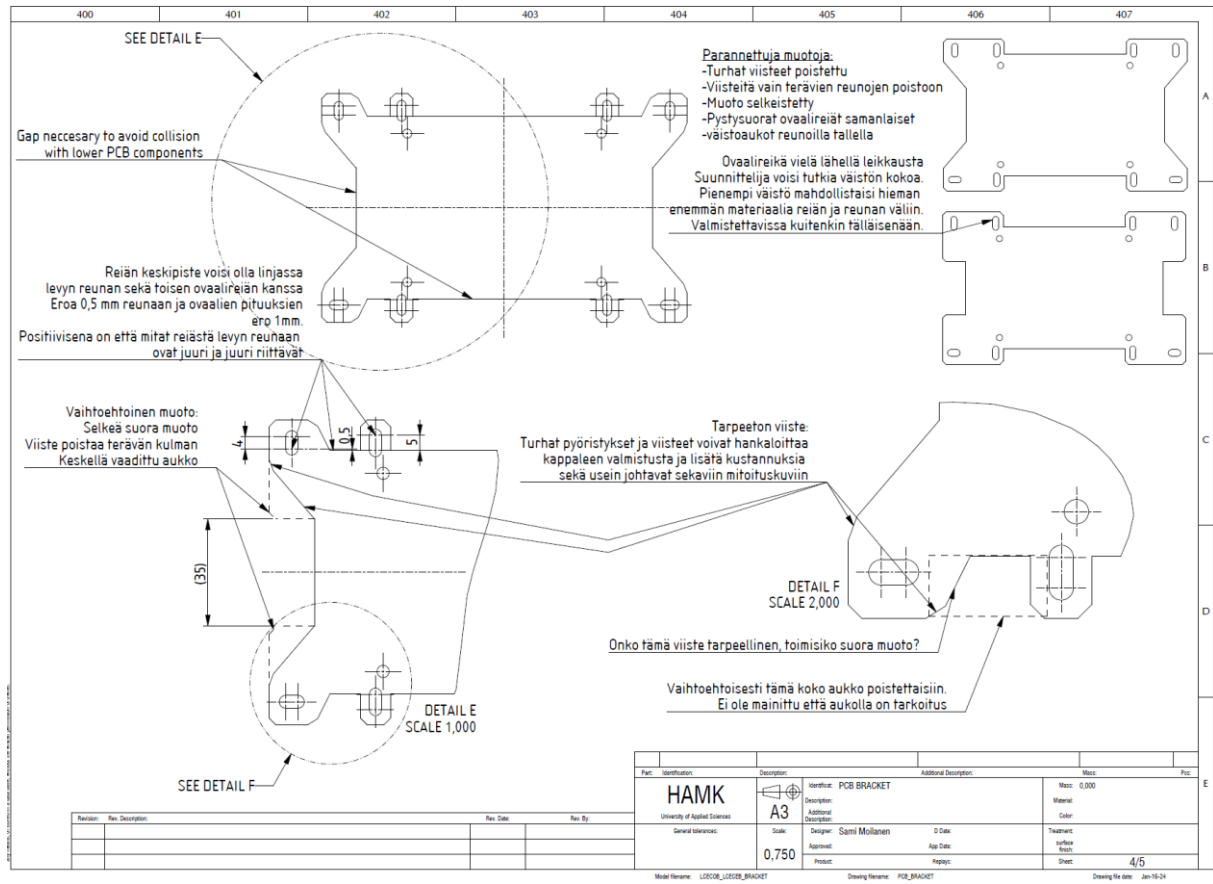
Kuva 53. Mitoittamaton kuva (Moilanen, 2024)



Seuraavaksi kuvassa 54 esitellään yhden tarkistajan löytämiä virheitä sekä kaksi kappaletta kannakkeen parannettuja muotoja. Selkeästi suurin ongelma muodostuu kappaleen päässä olevista täysin tarpeettomista viisteistä ja hieman hämähäkkimäisestä muodosta. Tämänlaisen kappaleen mitoitus on selkeästi hankalaa, ja jos yrityksellä valmistetaan ohutlevyä ilman laserleikkausta, ovat monet vaadituista leikkauksista haastavia tai mahdottomia valmistaa.

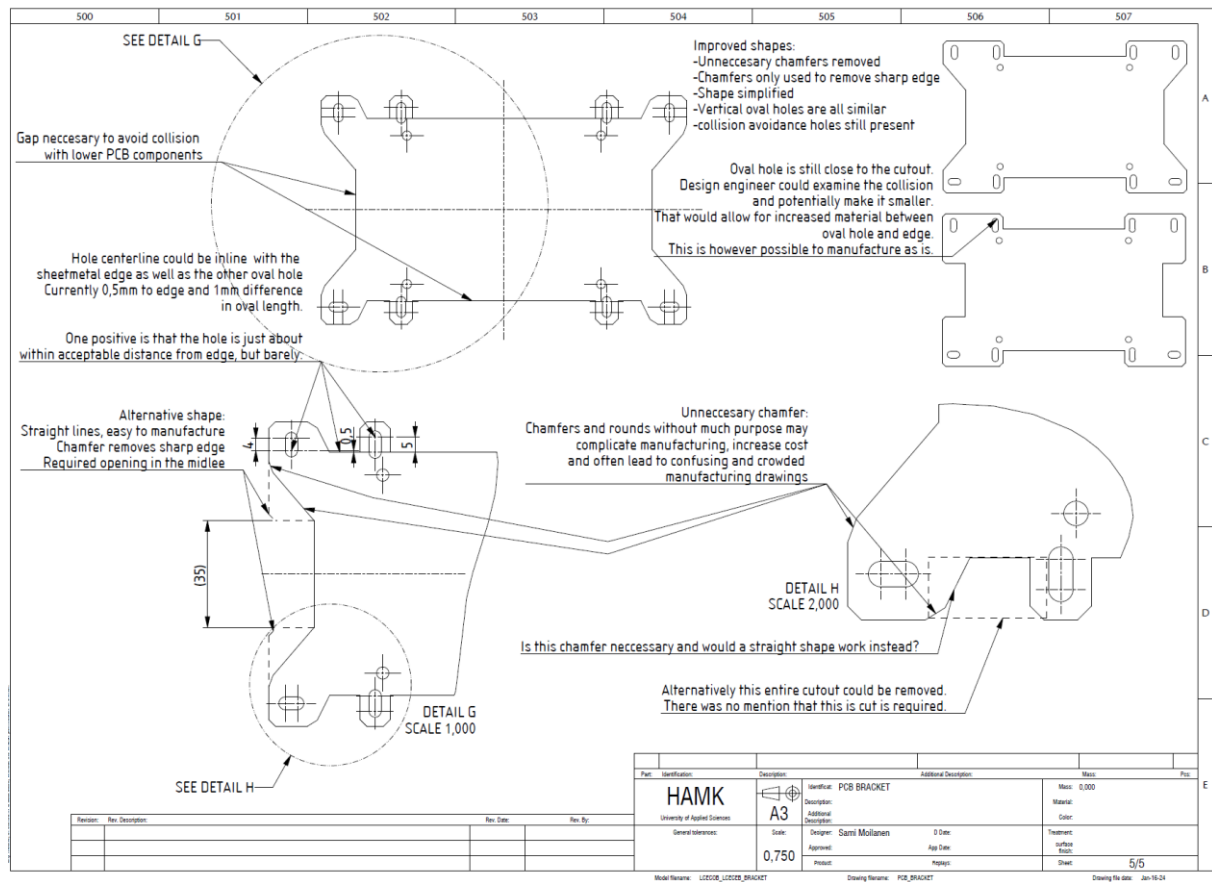
Muotoa on saatu selkeästi yksinkertaistettua käyttämällä enemmän suorakulmaisia muotoja ja laittamalla viisteitä ainoastaan terävien kulmien poistoon. Pystysuorien ovaalireikien mitoitus oli alun perin kyseenalainen, sillä vaikka ovaalien käyttötarkoitus näyttäisi olevan sama, oli niiden pituudessa yhden millin ero, ja levyn reunaan oli puolen millin ero ovaalin alemmasta keskipisteestä. Päivitetyssä mallissa ovat kaikki ovaalit kaikin puolin saman mittaiset.

Kuva 54. Tarkastajan löytämät virheet valmistuskuvasta (Moilanen, 2024)



Siinä tapauksessa, että materiaalia käytetään englanninkielisellä kurssilla, on kuvissa pääasiassa tehtävänanto suomeksi ja englanniksi, mutta tämän tehtävän suuren tilantarpeen vuoksi on vastauksesta tehty molemmille kielille oma sivu, joista englanninkielinen vastaus löytyy kuvasta 55.

Kuva 55. Tehtävän vastaus englanniksi (Moilanen, 2024)



## 4 Tulokset

Opinnäytetyössä on suunnattu olemassa olevan oppimateriaalin lisäämiseen, ja tämän lopputuloksen saavuttamiseksi on käytetty olemassa olevaa teoriakirjallisuutta, tutustumista Hyrian konepajan tiloihin sekä työntekijän omaa osaamista. Lopputuloksena ovat syntyneet osittain tiivistettyä ohutlevyn teoriaa, konepajan valmistusmahdollisuuksien kartoittamista sekä harjoitustöitä oppilaille. Tehtävien tarkoituksena on pääsääntöisesti ollut oppimista tukevien lisätehtävien luominen, jotka soveltuvat asiasta enemmän kiinnostuneille tai esimerkiksi kurssin arvosanan korottamista haluaville.

Näiden osalta varsinkin tehtävässä kaksi oppilaalla on mahdollisuus käyttää omaa luovuutta luodessaan tehtävässä vaadittava ohutlevyosa. Varsinaista oikeata vastausta ei tässä tapauksessa ole, vaan oppilaalle tarjotaan lähtökohta pelkkien reikien osalta, johon on tarkoitus luoda täysin vapaasti haluamansa muoto. Tämän jälkeen kappaletta sovitetaan ohutlevy arkille ja halutessaan voi oppilas vielä optimoida kappaletta. Lopullinen tehtävän

tarkoitus onkin luoda ajatuksia ja sitä kautta toteuttaa kappale tuotantoon niin kuin usein työelämässäkin on. Lähtötiedot saattavat olla kiinnityspisteiden varassa ja suunnittelija sitten tekee päätöksen kappaleen lopullisesta muodosta.

Vierailu Hyrian konepajalle on osa ensimmäistä tehtävää ja tarkoitus on tutustuttaa oppilaat ohutlevyjen valmistuskoneistoon. Tehtävässä itsessään on tarkoituksena ensimmäiseksi laskea valmiiksi suunnitellun ohutlevykappaleen oikaistu pituus, ja sen jälkeen luoda kappale 3D-suunniteluohjelmassa. Vierailun aikana itse kappale valmistetaan käyttämällä särmäyspuristinta. Tarkoitus on enemmänkin ohjastaa perinteiseen ohutlevyn suunnitteluun ja antaa oppilaalle mahdollisuus käyttää varsinaista valmistusmenetelmää. Tuotannossa varsinkin suurissa valmistuserissä kappaleiden oikaistun pituuden laskeminen voi olla tarpeellista, kun halutaan tietää materiaalimenekki sekä mahdollisuus määrien optimointiin. Oppilaalle tehtävä tarjoaa yhdistelmän suunnittelua ja valmistusta ja usein työt, joissa itse pääsee konkreettisesti tekemään työvaiheita, mielletään oppimista tukeviksi.

Itse opinnäytetyön tekijälle teoriaosuuden tekeminen on ollut selkeästi työläin vaihe, mutta myös arvokkain, sillä noin 400 sanan kirjan supistaminen käyttökelpoisiksi tietoisuuksi on vaatinut lähdemateriaalin kertausta ja pohdintaa. Lopputuloksena onkin syntynyt enemmän ohutlevyn valmistustekninen-, kuin tehtäväpohjainen teos ja tekijä on tähän erittäin tyytyväinen.

## Lähteet

Hämeen ammattikorkeakoulu. (2023). Tietoa meistä <https://www.hamk.fi/tietoa-hamkista/>

Mattilainen Jorma, Parviainen Miikka, Havas Taru, Hiitelä Erja, Hultin

Sami. (2011). *Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja*. Teknologiateollisuus, Jyväskylän ammattikorkeakoulu

PEDA. (n.d). <https://peda.net/jyu/okl/ainepeda/vil/laura-ketonen/pom1091/lajipeli/ohjeet/bt2>

SFS online. (2023). <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SSAB. (2023). SSAB Weathering – Teräs jalankulkusilloissa <https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/ssab-weathering/artikkelit/jalankulkusill>

Tappex. (n.d) <https://www.tappex.fi/tuotteet/puristekiinnikkeet/puristeruuvi-hcs>

Wurth Oy. (n.d) [https://eshop.wurthelektro.fi/WuerthElektroShop/Hitsauspultti-TYPE-PT-A2/3225CL11\\_0216020102.cgid/fi/FI/EUR/](https://eshop.wurthelektro.fi/WuerthElektroShop/Hitsauspultti-TYPE-PT-A2/3225CL11_0216020102.cgid/fi/FI/EUR/)