



# MOBILIKOMPRESSORIN PINTAPELTISUUNNITTELU

Mikko Männistö

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tuotekehityksen suuntautumisohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehityksen suuntautumisohjelma

MÄNNISTÖ, MIKKO:  
Mobiilikompressorin pintapeltisuunnittelu

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 16 sivua  
Huhtikuu 2020

---

Opinnäytetyössä tutustuttiin erilaisiin ohutlevyjen työstö- ja valmistusmenetelmiin suunnittelijan näkökulmasta. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Riikon Group Oy:lle paineilmakompressorikontin pintapellitys, josta valmiiksi saatiin piirustukset ja leikkausgeometriat. Pintapellityksen ensisijaisena tehtävänä on suojata kompressorin toimilaitteita sään vaikutuksilta. Pintapelteihin on myöhemmässä vaiheessa tarkoitus kiinnittää myös työvalaisimia, käyttöpaneeli, ovia ja erilaisia huoltoluukkuja.

Työssä tarkasteltiin erilaisia leikkaus- ja taivutusmenetelmiä sekä nykyaikaisia valmistuslinjastoja. Lisäksi tutkittiin ohutlevyjen pituuden muutoksia taivutuksen aikana sekä esiteltiin perinteisiä ja moderneja tapoja laskea ohutlevyjen oikaisuja pituuksia. Laskentaesimerkkien perusteella voidaan havaita, että nykyaikaiset suunnitteluohjelmistot helpottavat suunnittelua merkittävästi. Kuitenkin samalla voidaan todeta, että ohjelmistojen tehokas käyttö vaatii suunnittelijalta vähintään perustietoja aiheesta.

Suunnitteluvaiheessa pintapeltisuunnittelun rajoitteena toimi aiemmin samassa projektissa valmistunut runko, johon peltien tuli sopia. Suunnitteluvaiheessa valittiin peltien kiinnitykseen pultti-mutterikiinnitys, joka mahdollisti peltien helpon irrottamisen. Prototyypivaiheeseen haluttiin yksinkertainen ja varma vaihtoehto, sillä muutokset tulisivat olemaan hyvin todennäköisiä. Materiaaliksi valittiin 1,5 millimetrin vahvuinen sinkitty peltilevy, joka kestää vaihtelevia sääolosuhteita suhteellisen hyvin ilman pintakäsittelyä.

Tämän opinnäytetyön aikataulussa tuotantovaiheeseen ei valitettavasti päästy, joten pintapeltien valmistus ja kokoonpano jää tuleviin projekteihin. Opinnäytetyön päätavoitteet kuitenkin saavutettiin ja puitteet jatkokehitykselle ovat olemassa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Product Development

MÄNNISTÖ, MIKKO  
Sheet Metal Casing Design for Portable Air Compressor

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 16 pages  
April 2020

---

The purpose of this bachelor's thesis was to study different sheet metal work and manufacturing methods from a designer's point of view. The scope of this bachelor's thesis was to design sheet metal casing for a portable air compressor. The main purpose of the sheet metal casing was to protect the main equipment from rain and snow. It was also supposed to serve as a mounting point for worklights, control panels, doors and access hatches.

In the theory section, different cutting and bending methods were reviewed as well as modern production lines. A study was done on how the length of a sheet metal changes during bending and how it was handled before modern design programs. For example, it was noted that modern design programs are a great help when designing sheet metal parts. However, efficient use of the programs requires a designer to have basic knowledge of the programs.

In the design section, the previously designed and manufactured compressor frame acted as a basis for the design. In the designing phase, nuts and bolts were chosen to attach sheet metal parts to the frame for easy and fast fastening, because changes and modifications were expected. 1.5mm zinc plated plate was chosen for the prototype.

As the result of this thesis, sheet metal design for portable air compressor was made. Unfortunately, the production phase within this bachelor's thesis was not reached, so manufacturing of the sheet metal parts will be left for the future. The main scope of this bachelor's thesis was covered, and the groundwork had been laid for the future.

---

Key words: sheet metal, sheet metal design, cutting, bending, compressor

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	RIIKONEN GROUP .....	8
2.1	Kompressoriprojekti .....	8
2.2	Kompressorikontti .....	8
3	OHUTLEVYTEORIAA JA OHJELMISTOT.....	10
3.1	Valmistettavuus.....	10
3.2	Leikkaaminen .....	10
3.2.1	Laserleikkaus.....	11
3.2.2	Nakertaminen .....	12
3.2.3	Vesileikkaus .....	12
3.2.4	Plasmaleikkaus.....	13
3.3	Taivuttaminen.....	14
3.3.1	Hydrauliset taivutuspuristimet.....	16
3.3.2	Taivutussäde .....	17
3.3.3	K-arvo .....	18
3.3.4	Oikaistun pituuden laskeminen kaavoilla.....	19
3.3.5	Esimerkkilaskelma käsinlaskentakaavoilla .....	20
3.3.6	Oikaistun pituuden laskeminen suunnitteluohjelmistolla.....	22
3.3.7	Taivutuksessa syntyviä virheitä .....	23
3.4	Levytyökeskukset.....	24
3.5	Liittäminen.....	25
3.6	3D-ohutlevysuunnittelu.....	27
3.7	Mitoittaminen.....	29
4	PINTAPELTISUUNNITTELU .....	31
4.1	Suunnittelu .....	31
4.2	Haasteet.....	32
4.3	Kiinnitysmenetelmän valinta.....	33
4.4	Materiaali, levynpaksuus ja pintakäsittely .....	34
4.5	Luukut, ovet ja ilmasäleiköt .....	36
4.6	Vesitiiviys .....	36
4.7	Ohutlevyt.....	37
4.8	Piirustukset .....	37
4.9	Kokoonpano .....	38
5	POHDINTA .....	39
5.1	Tavoitteiden saavuttaminen .....	39
5.2	Jatkokehitys .....	39
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET .....	43

Liite 1. Taivutussädetaulukko.....	43
Liite 2. Ohutlevyjen piirustukset .....	44

**LYHENTEET JA TERMIT**

$\alpha$	taivutuskulma asteissa
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu. Mahdollistaa esimerkiksi 3D-mallien luomisen ohutlevykappaleista ja laskee niiden oikaistut pituudet
DXF	vuonna 1982 käyttöön otettu tiedostomuoto, jolla voidaan siirtää tietoa eri cad-ohjelmien välillä. Käytetään esimerkiksi leikkausgeometrian siirtämiseen suunnittelusta nestaukseen.
$k$	$k$ -arvo, ilmoittaa neutraaliakselin sijainnin, jossa ei tapahdu muodonmuutoksia ohutlevyä taivuttaessa
nestaus	työvaihe, jossa suunnitellut leikkuukappaleet asetellaan levyarkille ja esimerkiksi laserleikkurin leikkuarvot valitaan
$L$	ohutlevykappaleen oikaistu pituus
ohutlevy	ohut metallilevy
$r$	taivutuksessa syntyvä sisäsäde
särmääminen	ohutlevyjen taivuttamista eri kulmiin erityisen puristimen avulla
$v$	taivutusvähennys, joka pitää huomioida levykappaleen oikaistua pituutta laskettaessa

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua ohutlevyjen erilaisiin työstömenetelmiin ja tutkia niiden merkitystä ja haasteita suunnittelijan näkökulmasta. Työ tehdään Tampereen Konepajat Oy:n omistamalle Riikonen Group Oy:lle. Tarve työlle syntyi oppilasprojektin yhteydessä, työ on siis osa isompaa kokonaisuutta.

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella rekan lavettiin kiinnitettävälle paineilmakompressorikontille ohutlevyistä pintapellitys, joka suojaa kompressorin toimilaitteita vallitsevalta säätilalta. Kompressoria tullaan käyttämään ulkotiloissa vuoden ympäri, joten esimerkiksi vedeneristykseen on kiinnitettävä huomiota. Lisäksi pintapellitykseen tulee varata paikat tarvittaville läpivienneille ja käyttöpaneelleille. Tavoitteena on myös välttää hitsattavien tai mankeloitujen levyrakenteiden käyttöä asiakkaan toivomuksesta. Kaikki ohutlevyosat tulisi siis voida valmistaa laserleikkurin ja särmäyspuristimen avulla.

Opinnäytetyön alussa käsitellään ohutlevyteoriaa suunnittelijan näkökulmasta sekä käydään läpi yleisempiä työstömenetelmiä ohutlevyille. Suunnitteluosiossa esitellään ohutlevyosuunnittelun tuloksia 3D-malleineen. Pohdintaosiossa tutkitaan, onnistuttiinko liittämismenetelmät pitämään työn tilaajan toiveiden mukaisina ja onnistuttiinko ohutlevyosien helppossa valmistettavuudessa.

## **2 RIIKONEN GROUP**

Riikonen Group on 1982 perustettu Ylöjärvellä toimiva konepaja, jonka liikevaihto koostuu pääasiallisesti erilaisista kokoonpanotoimeksiannoista. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2018 hieman yli 16 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli noin 115 (Asiakastieto, 2019). Riikonen Group on osa Tampereen Konepajat-konsernia.

### **2.1 Kompressoriprojekti**

Riikonen Group myy poralaitteita erilaisiin tarpeisiin, mutta sillä ei ole vielä tähän mennessä ollut omaa kompressorimallia. Yhtiön myyntiosaston kehotuksesta omaa kompressorimallia lähdettiin suunnittelemaan, että sitä voitaisiin myydä yhdessä paketissa poralaitteiden kanssa. Poralaitteita käytetään tyypillisesti esimerkiksi lämpökaivojen tekemiseen.

Projektiryhmä valittiin Tampereen ammattikorkeakoulusta, ja minun vastuullani on projektin yleinen mekaniikkasuunnittelu, josta tämän opinnäytetyön aiheena on ainoastaan pintapeltien osuus. Projektin tavoitteena on tuottaa kompressorikontin automaatio- ja yleinen mekaniikkasuunnittelu. Monimutkaisemmat laitteet, kuten kompressoriruuvi ja jäähdytinlaitteisto, ostetaan joko valmiina tai alihankkijoilta.

### **2.2 Kompressorikontti**

Kompressorikontti on rekan lavalle kiinnitettävä paineilmaa tuottava yksikkö, joka voidaan rekan avustuksella siirtää helposti paikasta toiseen. Paineilmaa tuottaa ruuvikompressor, jota pyörittää dieselmoottori. Tarvittaessa kontti voidaan nostaa pois rekan lavalta vaikkapa pidempiaikaista sijoitusta varten.

Markkinoilla on usean eri valmistajan vastaavia tuotteita, joista yksi tunnetuimpia valmistajia on ruotsalainen Atlas Copco. Kuvassa 1 Atlas Copcon valmistama kompressorikontti rekan lavalla.



KUVA 1. Atlas Copcon kompressorikontti (Dannfort.eu, 2019)

Kompressorin takaosassa voidaan nähdä säleikköjä ilmanvaihtoa varten ja upotus polttoainetankin täyttöputkea varten. Katon oikealla puolella on luukku, joka suojaa kuljetuksen aikana ilmanvaihtoa sateelta. Luukku avataan, kun kompressorikäynnistetään, jotta ilma kiertäisi sisällä paremmin. Riikonen Group Oy:n tekemien haastattelujen perusteella kompressorien ylikuumeneminen varsinkin kesällä on tavallista, joten hyvä ilmanvaihto on kompressorin toiminnan kannalta erittäin oleellista.

### 3 OHUTLEVYTEORIAA JA OHJELMISTOT

Tässä luvussa tutustutaan erilaisiin ohutlevyjen leikkaus- ja työstömenetelmiin, joiden tunteminen on avuksi suunniteltaessa ohutlevyosia. Lisäksi perehdytään teoriaan, jota ilman ohutlevyjä suunnitteleva henkilö ei tule työssään toimeen.

Lopussa käydään läpi 3D-suunnitteluohjelmistojen käyttöä nykyaikaisessa konepajasuunnittelussa. Suunnitteluohjelmistot auttavat suunnittelemaan mittatarkkoja helposti valmistettavia tuotteita, kunhan ohutlevyjen taivutusparametrit ovat kohdallaan.

#### 3.1 Valmistettavuus

Valmistettavien osien ei tulisi olla yhtään monimutkaisempia kuin on tarve. Särmäykset kannattaa ilman hyvää syytä jättää suoriin kulmiin, jotta virheiden mahdollisuus valmistuksessa pienenee ja taivutus pysyy yksinkertaisena. Jos vielä mahdollista, taivutuspituudet varsinkin reunojen osalta olisi hyvä pitää samanmittaisina. (Piironen, 2013.)

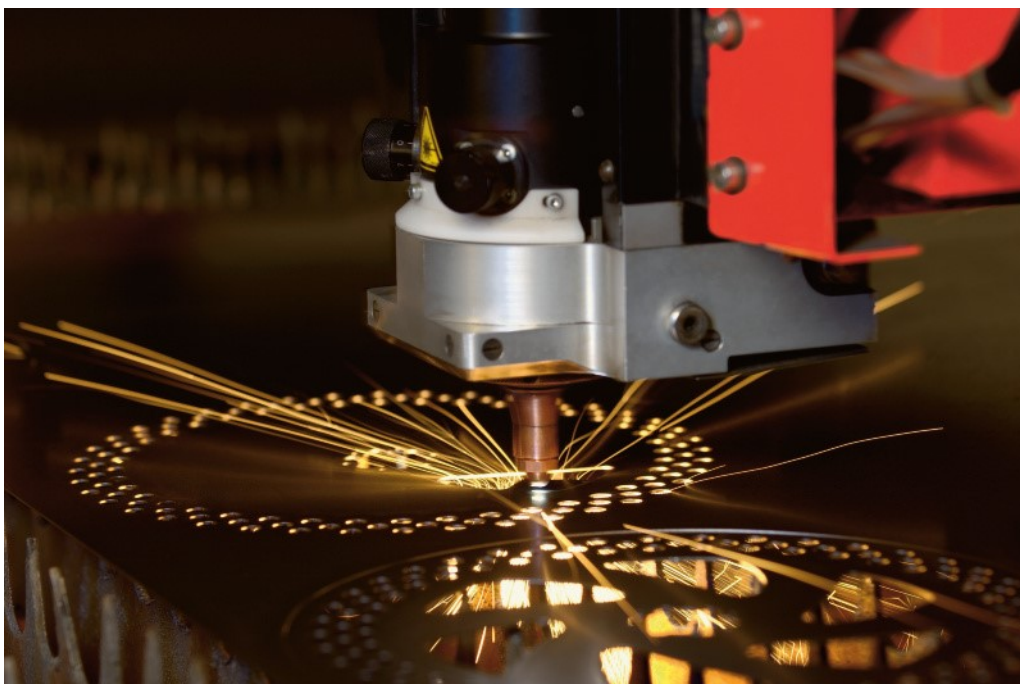
Yleensä valmistettavuuden kannalta joudutaan tekemään kompromisseja hinnan, käytettävän konekannan ja kiireellisyyden suhteen. Hyvin optimoitu ja toimiva valmistusprosessi on yrityksen kannalta merkittävä kilpailuetu.

#### 3.2 Leikkaaminen

Nykyaikaiset tietokoneohjatut leikkausjärjestelmät mahdollistavat sen, että ohutlevyjä voidaan leikata nopeasti ja erittäin tarkasti. Tietokoneella suunniteltujen kappaleiden geometriat voidaan siirtää lähes sellaisenaan esimerkiksi laserleikkauskoneen ymmärtämään muotoon, joten monimutkaistenkin geometrioiden leikkaaminen onnistuu suhteellisen helposti.

### 3.2.1 Laserleikkaus

Laserleikkaus on tällä hetkellä suosituin ohutlevyn leikkaamisen menetelmä. Laserleikkaamisen etuja ovat nopeus ja edullisuus. Käytännössä voidaan puhua jopa standardimenetelmästä, jolla voidaan leikata lähes kaikkia metallilaatuja (ProLaser, 2016). Laserin avulla voidaan myös leikata esimerkiksi paperia, puuta, kumia ja muitakin orgaanisia aineita. Menetelmä ei käytännössä aseta rajoituksia geometrian monimutkaisuudelle. Kuvassa esitellään 2 laserleikkuuta käytännössä.



KUVA 2. Laserleikkausta (Bystronic Laserschneiden, 2006)

Laserleikkausta käytetään yleisesti alle kymmenen millimetrin teräslevyjen leikkaamiseen, mutta happimenetelmän avulla voidaan leikata jopa yli 20 mm:n paksuisia teräslaatuja. Happileikkauksessa terässulaan johdetaan puhdasta happea, jolloin eksoterminen reaktio tuo lisäenergiaa prosessiin. Ruostumattomiin ja haponkestäviin teräksiin voidaan käyttää tyypileikkausta, jossa leikkausrailoon puhalletaan typpeä suurella paineella, joka puhaltaa sulan pois. Tämä jättää leikkauspinnan oksidivapaaksi ja kiiltäväksi (ProLaser, 2016).

Laserleikkauksessa lasersäde kohdistetaan erityisen linssin avulla noin 0,2-millimetriseksi polttopisteeksi, joka sulattaa leikattavan metallin. Verrattuna polt-

to- tai plasmaleikkaukseen laserilla saavutetaan noin kymmenkertainen mekaaninen tarkkuus (ProLaser, 2016).

Laserleikkauksen huonoja puolia ovat lämmöntuonti kappaleeseen, mikä voi aiheuttaa tarpeettomia jännityksiä tai epätasaista reunajälkeä. Tämä voi vaatia leikkauskappaleiden jälkikäsitteilyä. Jos leikattavassa kappaleessa on kymmeniä tai jopa satoja samankokoisia reikiä, nämä on järkevämpää tehdä lävistämällä. Nykyaikaiset työstökoneet voivat sisältää sekä laserleikkuupään että mahdollisuuden käyttää lävistystyökaluja. Eräs esimerkki tällaisesta koneesta on Prima Powerin LPef-sarja.

### **3.2.2 Nakertaminen**

Nakertamisella tarkoitetaan leikkaamista, jossa lävistystyökalulla isketään kappaleen reunaviivojen mukaisesti valitulla työkalulla. Tällä menetelmällä reuna jää huomattavan epätasaiseksi verrattuna esimerkiksi laserleikkaukseen. Nakerrusta käytetäänkin siis työstettäessä sellaisia kappaleita, joiden leikkausreunan pinnanlaadulla ei ole suurempaa merkitystä.

Nakertamisen etuna on, että se ei vaadi suurta parametrisointia nestausvaiheessa, mutta se on laseriin verrattuna suhteellisen tehoton. Nakerrus ei myöskään sovellu kovin paksuille ohutlevyille. Eräänä rajana pidetään 12 millimetrin levynpaksuutta (Järvilä, 2008, s. 6).

### **3.2.3 Vesileikkaus**

Vesileikkaus, tai vesisuihkuleikkaus, on menetelmä, jossa leikkaus suoritetaan korkeapaineisen vesisuihkun avulla. Vesisuihkun paine voi olla jopa 400 MPa. Vesileikkauksen avulla voidaan leikata lähes mitä tahansa materiaaleja. Varsinkin metalleja tai muita kovia aineita leikatessa käytetään veden joukossa abrasiiivia, jonka avulla leikkaaminen tehostuu tai on ylipäättään mahdollista. Abrasiiivi voi olla esimerkiksi hiekkaa tai timanttijauhetta riippuen leikattavasta kohteesta (Watercut.fi, 2016).

Vesileikkauksen etuna on, että sillä voidaan leikata hyvinkin paksuja kappaleita tai esimerkiksi levynippuja, jolloin kerralla voidaan leikata useita samanlaisia kappaleita. Lisäksi vesileikkauksessa leikattavaan kappaleeseen ei siirry käytännössä yhtään lämpöä, jolloin haitallisia jännityksiä tai karmenemista leikkauspinoilla ei tapahdu. Suurilla leikkausnopeuksilla saattaa levyn reunaan kuitenkin jäädä aaltomainen jälki varsinkin paksummilla levyillä (Watercut.fi, 2019).

Vesileikkauksen tarkkuus on noin 0,3 millimetriä ja mittatarkkuus paranee, jos leikkausnopeus on pieni. Vesileikkausta ei kuitenkaan käytetä ohuiden, alle 15-millimetristen levyjen leikkaamiseen, ellei siihen ole jotain hyvää syytä (Watercut.fi, 2019).

### **3.2.4 Plasmaleikkaus**

Plasmaleikkauksen periaatteena on, että leikkuupäässä oleva elektrodi toimii katodina, eli on negatiivisesti varautunut, ja itse leikattava kappale toimii anodina. Kun anodin ja katodin välille muodostetaan sähkövirta, muodostuu valokaari, ja leikkaussuuttimen läpi puhalletaan suurella nopeudella plasmakaasua, joka saadaan ionisoitua valokaareissa. Plasmaleikkauksen avulla voidaan siis leikata materiaaleja, jotka johtavat sähköä. Plasmaleikkauksella voidaan leikata hyvin eri paksuisia hiiliteräslevyjä aina 0,5 millimetristä noin 40 millimetriin. Ruostumattomilla teräksillä ja alumiinilla voidaan päästä jopa 200 mm:n ainevahvuuksiin (lonix.fi, 2019).

Plasmakaaren muodostaman korkean lämpötilan johdosta leikattavaan materiaaliin syntyy reikä, jonka jälkeen plasmasuutinta voidaan liikuttaa kappaleen vaatiman geometrian mukaisesti. Lopuksi paineella puhallettava plasmakaasu puhalttaa sulaneen aineen pois leikkaurailosta. Plasmaleikkauksessa käytetään myös muita menetelmiä, jotka eroavat edellä kuvatusta perinteisestä plasmaleikkauksesta, mutta niitä ei tässä yhteydessä käsitellä (lonix.fi, 2019).

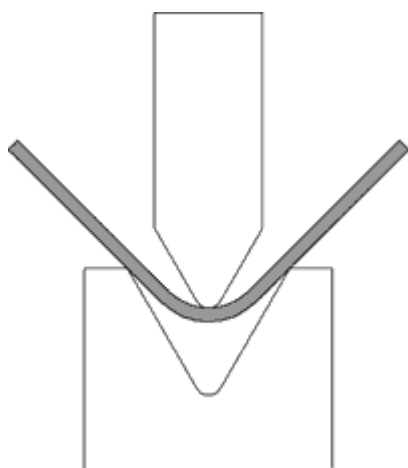
Plasmaleikkaus aiheuttaa polttoleikkausta pienemmän lämpövyöhykkeen eikä vaadi erityistä esilämmitystä reiäntekovaiheessa. Lisäksi leikattavien materiaa-

lien kirjo on laajempi ja leikkausnopeus ohuilla levyillä on parempi. Plasmaleikkauksen leikkausrailo on kuitenkin suhteellisen leveä, 1,5–4 millimetriä, ja yläosaan kohdistuvan lämmöntonin vaikutuksesta leikkausrailo muistuttaa yleensä v-kirjainta. Lämmöntuonti on myös suurempaa kuin laserleikkauksessa ja prosessi on noin kymmenen kertaa epätarkempi (Ionix.fi, 2019).

### 3.3 Taivuttaminen

Taivuttaminen, tai särmäys, on ohutlevyn taivuttamista tiettyyn kulmaan erityisen puristimen avulla. Taivuttamisen tarkoituksena on luoda ohutlevyyn pysyvä muodonmuutos erityisen puristimen avulla. Pysyvän muodonmuutoksen edellytyksenä on, että aineen myötöraja ylittyy taivutuksen aikana. Teollisuudessa käytetään yleensä kahta päämenetelmää särmäyksen suorittamiseen: vapaataivutusta tai pohjaaniskutaivutusta.

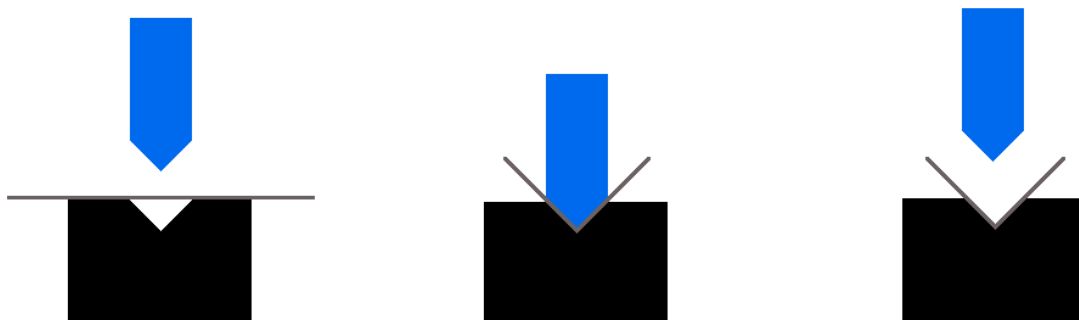
Vapaataivutuksessa paininta ei paineta pohjaan asti, vaan tarvittava taivutus-kulma saadaan säätämällä painimen iskunpituutta. Kuvassa 3 on esitettyä vapaataivutuksen periaatekuva.



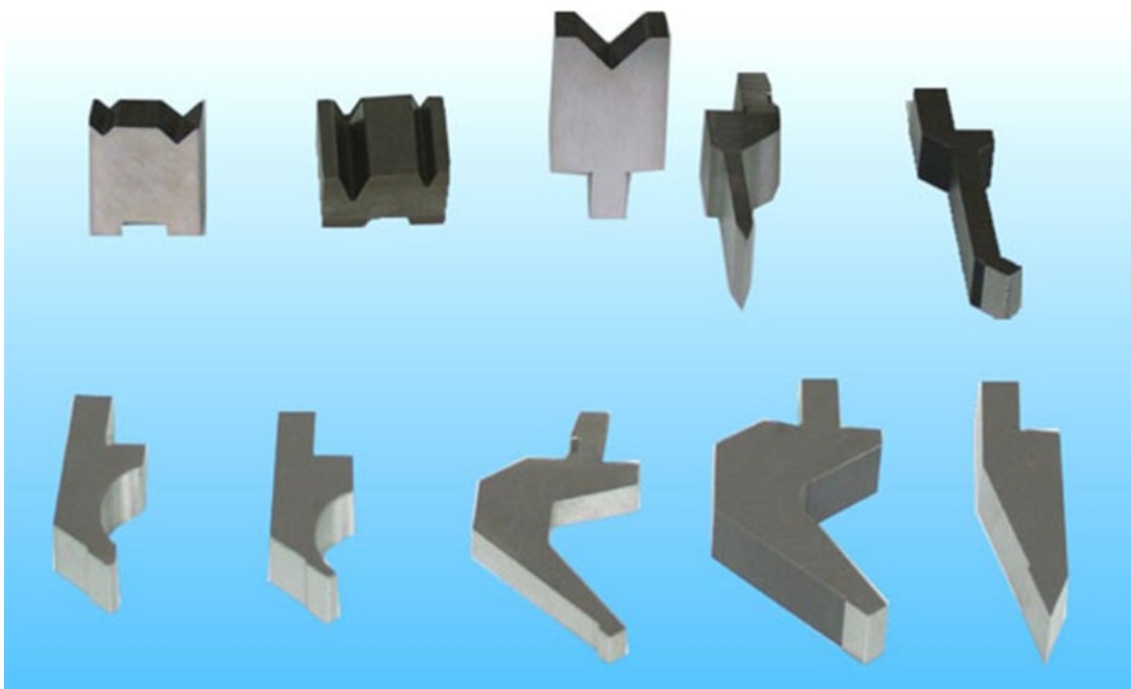
KUVA 3. Vapaataivutus (Sheetmetal.me, 2015)

Pohjaaniskutaivutuksessa nimensä mukaisesti painin painetaan pohjaan asti päin alaterää eli vastetta. Kuvassa 4 periaatekuva pohjaaniskutaivutuksesta. Pohjaaniskutaivutuksessa yläterällä on suuri merkitys varsinkin monimutkaisemmissa taivutuksissa. Erilaisia teriä onkin käytännössä loputtomasti, ja työka-

luvalmistajilta on mahdollista tilata teriä juuri omiin tarpeisiin. Kuvassa 5 esiteltynä muutamia Amadan särmäimiin sopivia ylä- ja alateriä.



KUVA 4. Pohjaaniskutaivutus (Docplayer.fi, 2017)



KUVA 5. Taivutukseen käytettäviä teriä (Alibaba.com, 2017)

Särmäämisen tavoitteena on, että valmistettavia osia olisi vähemmän eikä ohutlevyjä tarvitsisi liittää toisiinsa esimerkiksi hitsaamalla, mikä osaltaan siis pienentäisi valmistuksen kuluja. Tyypillisimpiä särmäämällä valmistettuja tuotteita ovat esimerkiksi tietokoneen kotelot tai vaikkapa metalliset postilaatikot.

### 3.3.1 Hydrauliset taivutuspuristimet

Taivutus suoritetaan yleensä hydraulisen puristimen eli niin sanotun särmäin avustuksella ja niin sanottuna kylmätaivutuksena. Kuvassa 6 Amadan valmistama nykyaikainen taivutuskone, johon voidaan kiinnittää usean työvaiheen terät valmiiksi. Erittäin paksujen levyjen tapauksessa voidaan taivutettavaa kappaletta lämmittää, mutta tähän ei yleensä konepajaolosuhteissa ole tarvetta.



KUVA 6. Nykyaikainen taivutuskone (Amada.com, 2019)

Kuvasta 6 näkyy myös hyvin yläterien pikaliittimet kidan yläpuolella punaisine kahvoineen. Lisäksi vasemmassa alakulmassa on näkyvissä erilaisia puristimen turvaratkaisuja vahinkokäynnistämisen estämiseksi. Puristimet voivat puristaa ohutlevyjä helposti kymmenien tonnien massan edestä. Jos raaja joutuisi puristimen kitaan puristimen ollessa toiminnassa, tarkoittaisi se vakavaa loukkaantumista.

Taivutuspituutta särmäyspuristimissa ohjaavat takavasteet, joita päin levy painetaan ennen taivutusta. Takavasteet voidaan ohjelmoida siten, että niiden sijainti muuttuu aina särmäyksen jälkeen seuraavan työvaiheen mukaiseen asentoon, jolloin työskentely on nopeaa ja tarkkaa. Koneen käyttäjä voi siis ohjelmoida kaikki kappaleen taivutukset valmiiksi koneelle ja suorittaa itse taivutukset ilman, että koneen ohjelmaan tarvitsee välillä koskea. Jos taivutettava kappale on pieni ja sisältää useamman työvaiheen, koneeseen voidaan asettaa

kerralla kaikki tarvittavat ylä- ja aläterät. Toki edullisinta on, jos koko kappale voidaan taivuttaa samoilla terillä.

Nykyaikaisiin koneisiin voidaan myös tallentaa ohjelmia, jolloin yleisimpien tuotteiden asetusajaksi koneelle jää käytännössä taivutusterien vaihto. Näin tuotantoa saadaan tehokkaammaksi. Nykyaikaisiin koneisiin voidaan syöttää myös paljon parametreja, joilla hallitaan ohutlevyjen takaisinjoustoja ja bombeerausta. Tämä vähentää suunnittelijan työtaakkaa, sillä ylitaivutusta ei tarvitse enää lisätä piirustuksiin mittatarkan tuotteen saamiseksi.

### **3.3.2 Taivutussäde**

Pienet taivutussäteet vaativat särmäyspuristimelta enemmän voimaa kuin isommat, ja liian pienet taivutussäteet saattavat myös aiheuttaa murtumista ohutlevyissä. Liian pieneksi piirustuksessa merkitty sisäsäde voi aiheuttaa mittatarkkuusongelmia, tai on mahdollisesti mahdoton valmistaa. Vaikka taulukkoarvot ovatkin viitteellisiä, ne auttavat valitsemaan sisäsäteelle mielekkään arvon, joka ei aiheuta ongelmia valmistuksessa. Liitteessä 1 on esitetty eräs taulukko, josta suunnittelija voi varmistaa eri levyvahvuuksille järkevän sisäsäteen.

Paljon särmäystä tekevillä yrityksillä onkin omiin kokemuksiinsa perustuvia arvoja ja käytäntöjä särmäyksen osalta, kuten esimerkiksi tietyillä sisäsäteillä varustettuja yläteriä, joista suunnittelijan on helppo valita omaan tarkoitukseensa sopiva työkalu. Myös levyn valssaussuunta vaikuttaa siihen, kuinka hyvin levy kestää pieniä taivutussäteitä. Valssaussuunnassa tehty taivutus kestää pieniä säteitä huonommin kuin poikittaisiin suuntaan nähden tehty taivutus. (Häkkinen, 2013, s. 14.)

Vapaataivutuksessa sisäsäde muodostuu vastimen leveyden, materiaalin ja materiaaliipaksuuden perusteella. Pohjaaniskutaivutuksessa sisäsäde syntyy käytetyn yläterän mukaan. (Ihalainen ym., 2003, s. 271.)

### 3.3.3 K-arvo

K-arvo kuvaa taivutuksen neutraaliakselin paikkaa. Se on siis taso, jolla levy ei puristu tai veny taivutuksen vaikutuksesta. Neutraaliakselilla ei tapahdu muodonmuutoksia. DIN-standardin mukaan k-arvolla 1 neutraaliakseli on taivutuksen keskellä ja taas ANSI-standardin mukaan arvolla 0,5. Tämä vaatii suunnitteluvaiheessa tiettyä tarkkuutta, jottei virheitä pääse syntymään. K-arvo on taivutuksen sisäsäteen ohella tärkeimpiä arvoja ohutlevyjen suunnitteluvaiheessa (Piironen, 2013).

Neutraalitaso sijaitsee aina taivutuksen keskilinjan sisäsäteiden puolella tai taivutuksen keskellä, koska ohutlevy venyy helpommin kuin painuu kasaan. Ohuilla levyillä ja pienillä taivutussäteillä neutraalitaso sijaitsee käytännössä levyn sisäpinnassa, jolloin k-arvoksi tulee nolla.

Jos k-arvoa ei tiedetä, sille voidaan laskea seuraavilla kaavoilla karkeat arvot:

Jos  $\frac{r}{s} > 5$ , niin  $k = 1$ .

Jos  $\frac{r}{s} \leq 5$ , niin:

$$k = 0,65 + 0,5 \cdot \log_{10} \frac{r}{s} \quad (1)$$

joissa  $k$  on k-arvo,  $r$  on taivutussäde ja  $s$  levynpaksuus. (Penttinen, 2012, s. 21.)

K-arvoille voidaan käyttää edellä kuvattuja karkeita arvoja tai ne voidaan laskea tarkasti koetaivuttamalla ohutlevyjä. Paljon ohutlevyjä suunnittelevat tai valmistavat konepajat käyttävät tähän tarkoitukseen erityisiä taulukoita, jolloin suunnittelu on nopeampaa ja ennen kaikkea tarkempaa.

### 3.3.4 Oikaistun pituuden laskeminen kaavoilla

Kun ohutlevyjä taivutetaan erityisesti pienillä sisäsäteillä, materiaaliominaisuuksien johdosta kappaleen sisäpinta puristuu vähemmän kuin ulkopinta venyy. Tällöin ohutlevyn pituus kasvaa (Penttinen, 2012, s. 20). Ennen nykyisenkaltaisia 3D-suunnitteluohjelmistoja suunnittelijoiden piti laskea tarvittavan levyaihion mitta käyttämällä tarkoitukseen luotuja kaavoja. Menetelmä vaatii kuitenkin monimutkaisemmissa kappaleissa tarkkuutta ja virheet tarkoittavat yleensä lisäku-luja ja ajanhukkaa.

Kaava oikaistun pituuden laskemiseksi on:

$$L = a + b + v \quad (2)$$

jossa  $L$  on oikaistu pituus,  $a$  ja  $b$  sivun pituudet ja  $v$  vähennys, joka saadaan selville seuraavista kaavoista. Kun taivutuskulma on  $0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ , käytetään kaavaa:

$$v = \pi \left( \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} k \right) - 2(r + s) \quad (3)$$

Jos taivutuskulma on  $90^\circ < \alpha \leq 165^\circ$ , käytetään kaavaa:

$$v = \pi \left( \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} k \right) - 2(r + s) \cdot \left( \tan \left( \frac{180^\circ - \alpha}{2} \right) \right) \quad (4)$$

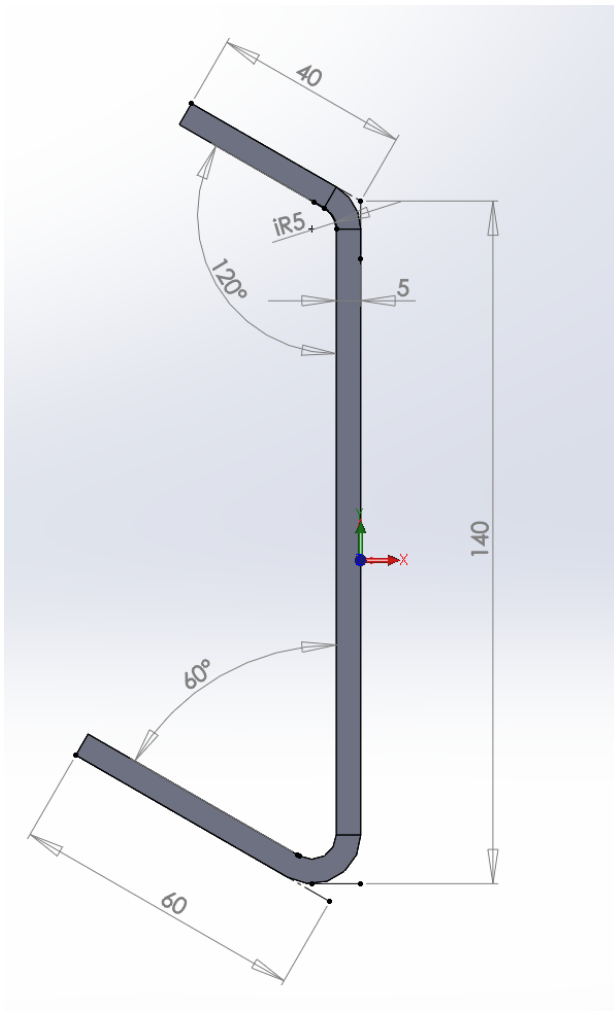
joissa  $\alpha$  on taivutuskulma,  $r$  on taivutussäde,  $s$  on levynpaksuus ja  $k$  on k-arvo (Penttinen, 2012, s. 20).

Vähennykset pitää laskea joka taivutukselle erikseen, joten selvästi huomataan, että varsinkin ilman tietokoneita ja taulukkolaskentaohjelmia kyseessä on työläs menetelmä oikaistujen pituuksien laskemiseen.

### 3.3.5 Esimerkkilaskelma käsinlaskentakaavoilla

Tässä osiossa käydään läpi laskentaesimerkki edellisessä kappaleessa esiteltyjen kaavojen avulla. Näin saadaan käsitys siitä, kuinka työläs menetelmä on verrattuna suunnitteluohjelmaan.

Kuvassa 7 on yksinkertainen Solidworks-ohjelmalla mallinnettu ohutlevykappale. Tarkastellaan, minkälaisia tuloksia saadaan kaavojen 1, 2, 3 ja 4 avulla.



KUVA 7. Yksinkertainen taivutettu ohutlevykappale

Kappaleen sivujen pituudet ovat  $a = 60 \text{ mm}$ ,  $b = 140 \text{ mm}$ ,  $c = 40 \text{ mm}$ . Kulmat ovat  $\alpha_1 = 60^\circ$  ja  $\alpha_2 = 120^\circ$  ja levynpaksuus  $= 5 \text{ mm}$

Liitteen 1 taulukon mukaan viiden millin ohutlevylle suositeltava taivutussäde voisi alimmillaan olla noin viisi millimetriä, jolloin kaavan (1) perusteella K-arvoksi saadaan:

$$k = 0,65 + 0,5 \cdot \log_{10} \frac{r}{s}$$

$$k = 0,65 + 0,5 \cdot \log_{10} \frac{5}{5}$$

$$k = 0,65 + 0,5 \cdot 0$$

$$k = 0,65$$

Taivutussäde,  $r$ , on siis taulukon 1 mukaan viisi millimetriä ja levynpaksuus,  $t$ , myös viisi millimetriä. Lasketaan ensin alle  $90^\circ$  taivutusvähennys kaavan 3 perusteella. Kulma  $\alpha_1 = 60^\circ$ .

$$v_1 = \pi \left( \frac{180^\circ - \alpha_1}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} k \right) - 2(r + s)$$

$$v_1 = \pi \left( \frac{180^\circ - 60^\circ}{180^\circ} \right) \cdot \left( 5 + \frac{5}{2} \cdot 0,65 \right) - 2(5 + 5)$$

$$v_1 = \left( \frac{3}{3} \right) \pi \cdot (6,625) - 20$$

$$v_1 = -6,1246 \dots$$

$$v_1 \approx -6,12 \text{ (mm)}$$

Vastaavasti kaavan 4 perusteella saadaan kulman  $\alpha_2 = 120^\circ$  taivutusvähennykseksi:

$$v_2 = \pi \left( \frac{180^\circ - \alpha_2}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} k \right) - 2(r + s) \cdot \left( \tan \left( \frac{180^\circ - \alpha}{2} \right) \right)$$

$$v_2 = \pi \left( \frac{180^\circ - 120^\circ}{180^\circ} \right) \cdot \left( 5 + \frac{5}{2} 0,65 \right) - 2(5 + 5) \cdot \left( \tan \left( \frac{180^\circ - 120^\circ}{2} \right) \right)$$

$$v_2 = \left( \frac{1}{3} \right) \pi \cdot (6,625) - 20 \cdot (\tan(30^\circ))$$

$$v_2 = -4,609$$

$$v_2 = -4,61 \text{ (mm)}$$

Sijoitetaan sivun pituudet ja taivutusvähennykset kaavaan 2:

$$L = a + b + c - v_2 - v_2$$

$$L = 60 + 140 + 40 - 6,1246 \dots - 4,609$$

$$L = 229,266 \dots$$

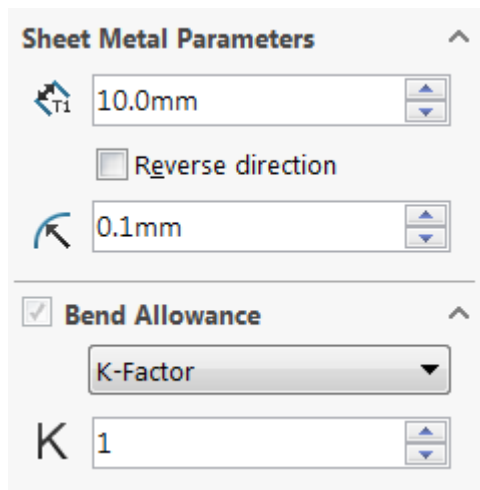
$$L \approx 229,30 \text{ (mm)}$$

Kuvassa 7 näkyvän kappaleen oikaistuksi pituudeksi saadaan siis 229,30 mm.

### 3.3.6 Oikaistun pituuden laskeminen suunnitteluohjelmistolla

3D-suunnitteluohjelmistot laskevat oikaistun pituuden käytännössä automaattisesti, mutta suunnittelijan pitää varmistaa, että ohjelmaan on syötetty oikeat arvot. Muussa tapauksessa monimutkaiset tai suurta mittatarkkuutta vaativat kappaleet voivat epäonnistua.

Kuvassa 8 ohutlevykappaleen oletusarvot Solidworks-ohjelmistossa. Levyn paksuus on viisi millimetriä, mutta taivutussäteen oletusarvo on 0,1 millimetriä ja k-arvo on yksi.



KUVA 8. Solidworks-suunnitteluohjelmiston oletusarvoja ohutlevyille

Edellisessä kappaleessa valittujen ja laskettujen arvojen pohjalta arvot ovat erittäin paljon pielessä. Näillä oletusarvoilla Solidworks antaa kappaleen oikaistuksi pituudeksi *243,50 mm*, jonka ei pitäisi teorian mukaan olla mahdollista.

Edellisessä kohdassa valittujen oikeansuuntaisempien arvojen perusteella Solidworks-ohjelma antaa oikaistuksi pituudeksi *234,35 mm*, joka on noin viisi millimetriä pidempi kuin käsinlaskemalla saatu arvo. Valitettavasti opinnäytetyön puitteissa varsinaisia koekappaleita ei päästy valmistamaan. Tulosten perusteella tarvetta koetaivutuksille on hyvinkin selkeästi, sillä tulokset eroavat merkittävästi toisistaan.

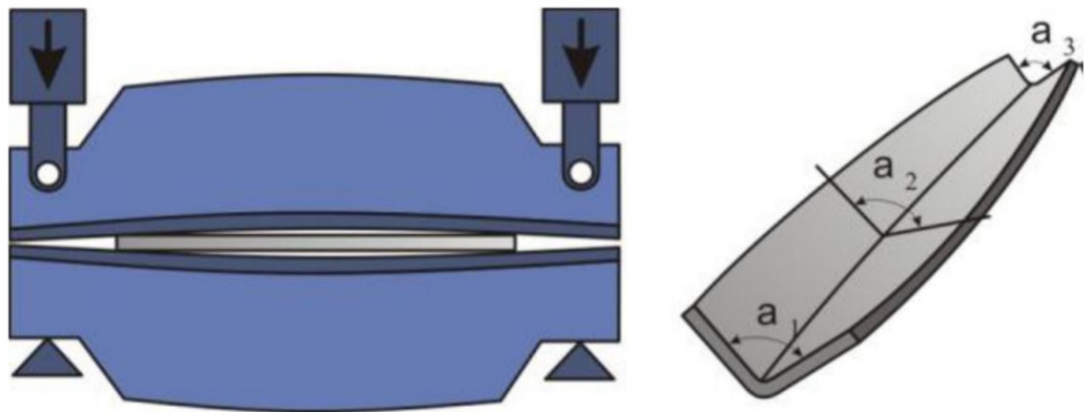
Tulokset osoittavat myös sen, että suunnitteluohjelmat helpottavat suuresti suunnittelijan työtä ohutlevyjen valmistusprosessissa. Kuitenkin täytyy pitää mielessä, että ilman perustietämystä on olemassa suuri vaara, että suunnitellut kappaleet eivät ole lähellekään halutussa mittatarkkuudessa.

### 3.3.7 Taivutuksessa syntyviä virheitä

Kun ohutlevyä taitetaan, tapahtuu sekä venymistä että puristumista. Tämä tarkoittaa sitä, että neutraaliakselin läheisyydessä ei tapahdu plastisia muodonmuutoksia ja kappale pyrkii palautumaan takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Tätä kutsutaan takaisinjoustoksi. Takaisinjousto aiheuttaa ongelmia varsinkin, jos halutaan mittatarkkoja kappaleita (Penttinen, 2012, s. 15-19).

Vapaataivutuksessa takaisinjousto voidaan kompensoida ylitaivutuksella, mutta nykyaikaiset särmäyspuristimet osaavat tarvittaessa kompensoida takaisinjousto materiaaliarvojen perusteella. Tämä vähentää jossain määrin suunnittelijan vastuuta taivutuskappaleiden suunnittelussa, sillä ylitaivutusta ei tarvitse huomioida piirustuksissa.

Veneilmiö syntyy, kun taivutettava kappale on hyvin pitkä ja voima jakaantuu epätasaisesti. Tällöin kappaleen muoto alkaa muistuttaa venettä, eli taivutuskulmat eivät ole samoja koko kappaleen matkalta. Kuvassa 9 nähdään ilmiön syntyminen ja sen vaikutukset kappaleeseen. (Häkkinen, 2013, s. 15.)



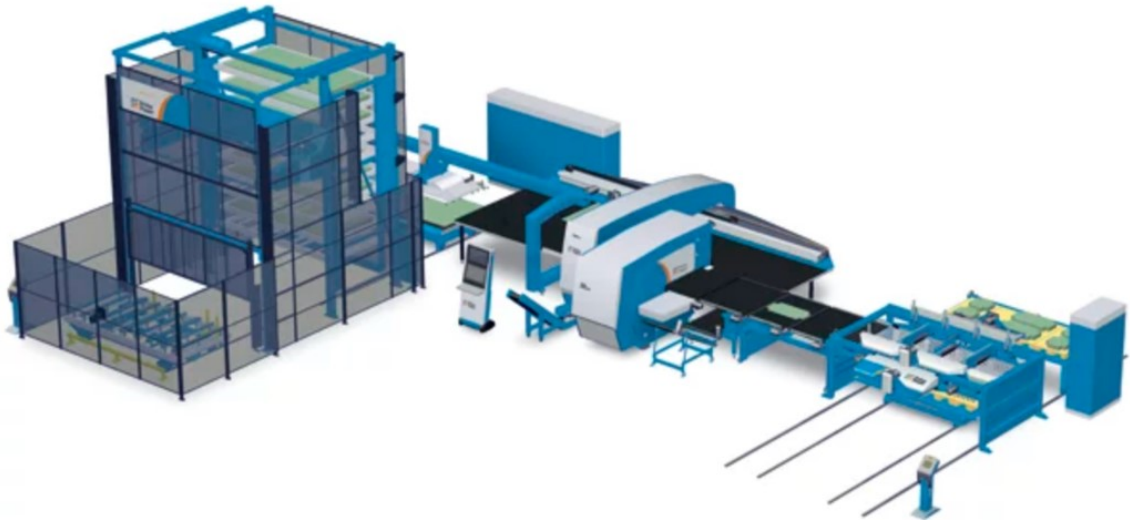
KUVA 9. Veneilmiö taivutuskappaleessa (Häkkinen, 2013)

Kuvassa 9 nähtäviä taivutusvirheitä voidaan kompensoida esimerkiksi esitaivuttamalla, eli bombeeramalla, puristimen alateriä. Tavoitteena on tasoittaa puristimen koko iskunpituus. (Häkkinen, 2013, s.15.)

### 3.4 Levytyökeskukset

Levytyökeskukset ovat pitkälle automatisoituja monesta koneesta koostuvia järjestelmiä, joilla voidaan valmistaa tietyin rajoituksin suhteellisen monimutkaisiakin kappaleita. Levytyökeskuksessa ohutlevy voidaan laserleikata tai nakerata haluttuun muotoon ja siihen voidaan iskeä reikiä haluttuihin kohtiin. Lopuksi levy voidaan taivuttaa lopulliseksi kappaleeksi ja lisävarusteista riippuen jopa varastoida. (Vikman, 2017, s. 5.)

Kuvassa 10 esitettynä levytyökeskus, jossa on automaattiset syöttö- ja lajitte-  
luominaisuudet. Koneella voidaan suorittaa sekä nakerrusta, iskentää että la-  
serleikkausta.



KUVA 10. Prima Power SBe6 Combi -levytyökeskus (Stremet.fi, 2019)

Levytyökeskuksen avulla valmistettavat kappaleet riippuvat pitkälti käytettävissä olevista työkaluista, joita voidaan vaihtaa valmistettavien kappaleiden mukaan. Erilaisia työkaluja on käytännössä rajattomasti, ja niitä voidaan tilata työkalujen valmistukseen erikoistuneilta yrityksiltä. Esimerkiksi mielivaltaisen muotoinen reikä, joita iskettäisiin suurissa määrin yrityksen kappaleisiin, olisi järkevintä tehdä asiaankuuluvalla erikoistyökalulla.

### 3.5 Liittäminen

Yleensä ohutlevytuotteet koostuvat useammasta kuin yhdestä osasta, joten hyvin usein ohutlevyissä ilmenee tarvetta jonkinlaisiin liitoksiin. Perinteisesti ohutlevyjä on liitetty toisiinsa esimerkiksi hitsaamalla, pultti-mutteriliitoksin, ruuvamalla, saumaamalla ja jossain tapauksissa puristustyökaluin. Nykyään myös

liimaus on yleistynyt liittämismenetelmänä ja on varsinkin autoteollisuuden käytössä. (Kiuru, 2013, s. 9–10.)

Peruseriaatteena on, että jokainen liitos mietittäisiin tapauskohtaisesti sen mukaan, millaisia rasituksia liitoksen on kestävä. Lisäksi tulee ottaa huomioon, joudutaanko liitos avaamaan huoltojen tai korjausten yhteydessä. Lähtökohtaisesti hitsausliitos on huomattavasti edullisempi kuin ruuvi- tai tappiliitos (Piironen, 2013, s. 47). Taulukossa 1 esitellään muutaman liittämismenetelmän soveltuvuutta erilaisten vaatimusten perusteella.

TAULUKKO 1. Liitosmenetelmien soveltuvuuksia. 1 = paras 4 = huonoin. (Piironen, 2013, s. 47)

Vertailuperuste	Niittäus	Hitsaus	Juotto
Soveltuvuus ohutlevyille	1	1	2
Soveltuvuus sekaliioksille	3	4	4
Tarve pintojen esikäsitteilylle	4	4	3
Tarve liitoksen luoksepäästävyydelle	1	1	4
Tarve lämmöntuonnille liittämisen aikana	4	1	1
Tarve jälkityöstölle	3–4	2	4
Tarve jälkilämpökäsittelyille	4	3	3
Odotusaika liitoksen käsittelylujuuden saavuttamiseksi	4	4	4
Jännitysten jakautuminen	4	1–2	1
Liitoksen tiiveys	4	2	1
Vetelyiden ja muodonmuutosten määrä	2	1	2
Liutinkestävyys	1	1	1
Lämmönkesto	1	1	1
Liitoksen korjattavuus	2	3	3

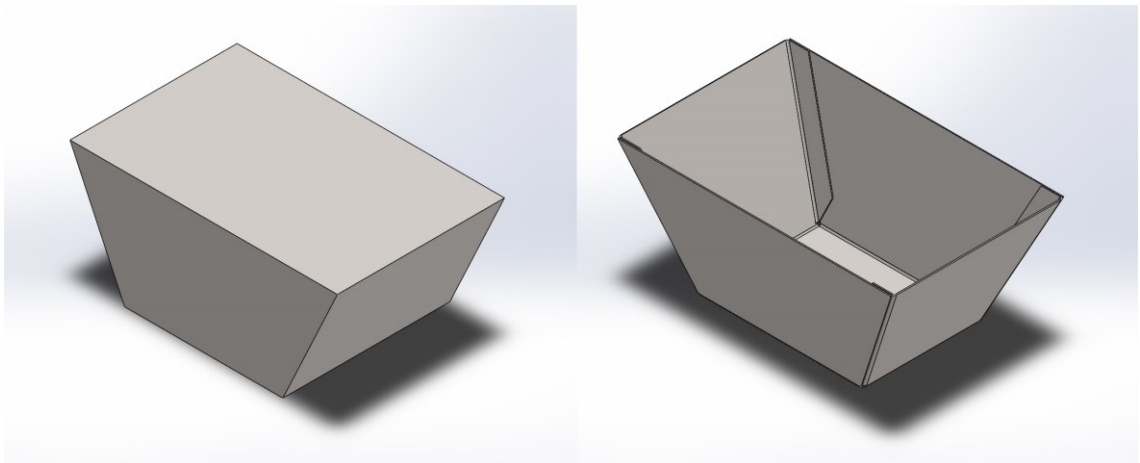
Hitsausliitoksen huonoja puolia on, että se ei ole purettavissa ja helposti varsinkin eri paksuisilla levyillä lämmöntuonti ohuempaan levyyn on voimakkaampaa, jolloin muodonmuutoksia, tai niin sanottua vetämistä, voi ilmetä (Piironen, 2013, s. 46). Liimaliitoksen huonoja puolia on lähinnä se, että se vaatii liitospinnoilta ehdotonta puhtautta, joten kenttäolosuhteissa tällainen liitostapa harvemmin tulee kyseeseen, vaikka se muutoin olisikin houkutteleva vaihtoehto. (Kiuru, 2013, s. 9.)

Ruuviliitokset ovat suhteellisen työläitä asentaa, mutta ne eivät vaadi ympäristöltä juurikaan vaatimuksia ja onnistuvat hankalissakin asennoissa. Jos liitok-

seen kohdistuu suurehkoja voimia, on varmistuttava siitä, että kiristysmomentti on oikea. Tärisevissä kohteissa lukitus on yleensä varmistettava erilaisin jousialuslaatoin, nyloc-mutterein tai mahdollisesti asiaankuuluvalla ruuvilukitteella.

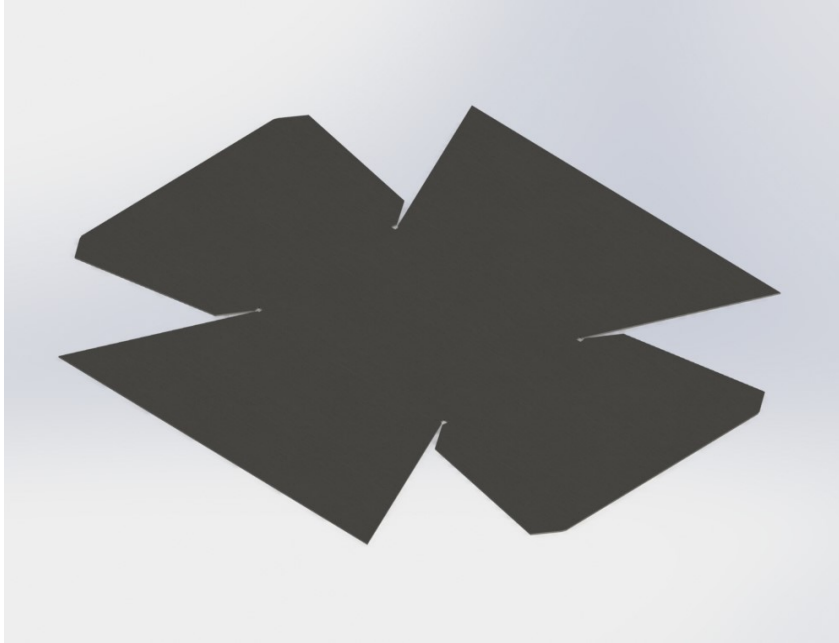
### 3.6 3D-ohutlevysuunnittelu

Nykyään kehittyneet cad-ohjelmistot mahdollistavat sen, että suunnittelu voidaan aloittaa mallintamalla kappale ensin lopulliseen muotoon, jonka jälkeen tietokone osaa tuottaa ohutlevykappaleesta levityskuvan ja ottaa huomioon materiaalihukat eri paksuisille levymateriaaleille. Yritys voi myös halutessaan luoda omat kirjastot, joita suunnittelijat voivat ohjelmistoissaan käyttää. Cad-ohjelmistosta voidaan myös suoraan tuottaa geometriat nestaukseen, eli halutessaan yritys voi toimia tuotannossa täysin sähköisin dokumentein.



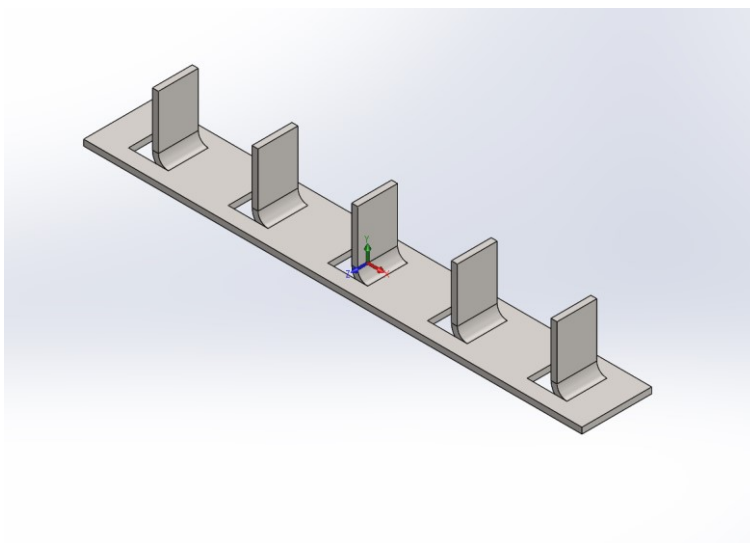
KUVA 11. Ohutlevykappaleen mallintamista nyky menetelmin

Kuvassa 11 esitettynä yksi tapa mallintaa ohutlevykappale, joka perinteisin menetelmin olisi hankalahko suunnitella. Kappaleesta on ensin luotu umpinainen malli, jonka jälkeen ohutlevytyökalujen avulla ohjelmalle on kerrottu kiinteä pinta ja reunat, joista taivutus halutaan tehdä, sekä halutaanko joitain pintoja poistaa lopullisesta mallista. Viimeiseksi on luotu reunat, joista kappale voidaan esimerkiksi pistehitsata kasaan. Tämän jälkeen ohjelma osaa automaattisesti luoda kappaleesta ohutlevymallin. Ohutlevymallia on mahdollista muokata lisää esimerkiksi reikien tai reunojen osalta. Kulmat voisivat olla mielivaltaisia ja epäsymmetrisiä. Kuvassa 12 esitellään saman kappaleen levityskuva.



KUVA 12. Kuvassa 8 näkyvän kappaleen levityskuva

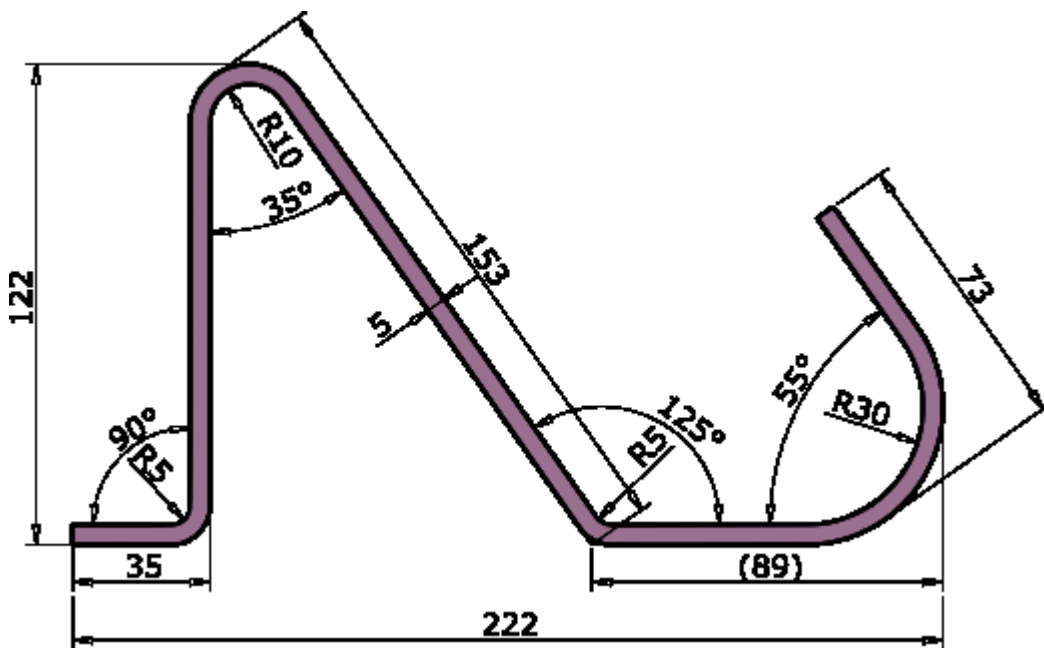
Vaikka ohutlevykappaleiden mallintaminen ja levityskuvien luominen on tietokoneella helppoa, tulee kuitenkin aina lopuksi varmistua siitä, että levyn levitysmallissa levy ei mene päällekkäin itsensä kanssa. Kuvassa 13 esitettynä tilanne, joka on helposti mallinnettavissa tietokoneella, mutta jonka valmistaminen yhdestä levystä on mahdotonta, vaikka sen mallintaminen suunnitteluohjelmistolla onnistuukin helposti.



KUVA 13. Kappale, jota ei voida valmistaa yhdestä levystä

### 3.7 Mitoittaminen

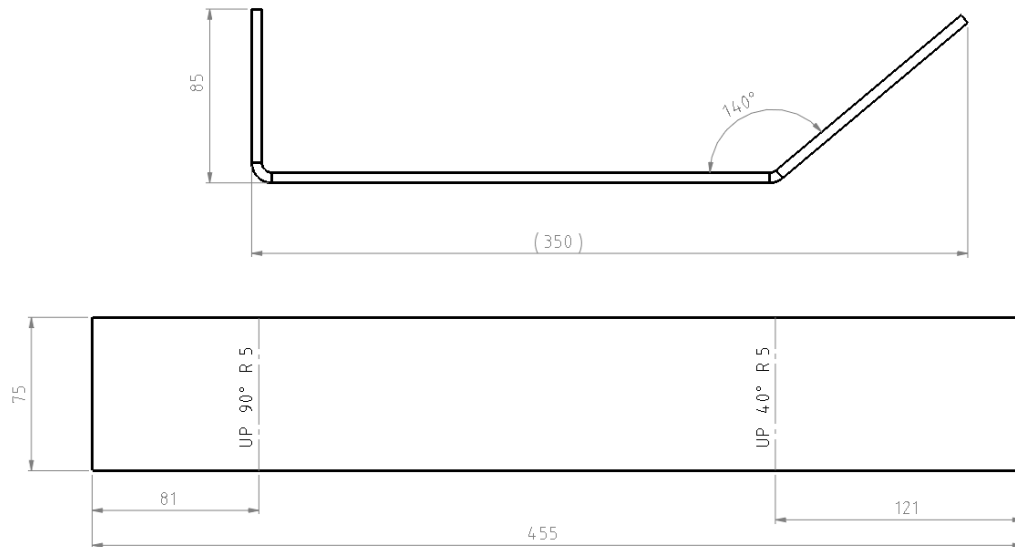
Ohutlevykappaleet tulee mitoittaa siten, että työskentely on mahdollisimman helppoa ja tehokasta särmäysvaiheessa. Standardi SFS 5998 määrittelee, miten erilaiset taivutukset tulee esittää piirustuksissa. Tällöin nykyaikainen särmäyspuristin on helppo ohjelmoida ja virheiden mahdollisuus pienenee. Kuvassa 14 on esitetty tällainen taivutuspiirustus.



KUVA 14. SFS 5998:n mukaisesti mitoitettu taivutuskuva (Jetsteel Oy, 2019)

Kuvassa 14 oleva 90° taivutus on yleensä helppo tehdä eikä yleensä vaadi isompaa huomiota. Terävän kulman mitoitus tehdään kaaren tangeerauspisteeseen. Tylpän kulman mitoitus tehdään pisteeseen, jossa tasot näennäisesti leikkaavat toisensa. Näin tehdyssä piirustuksessa taivutussäteet eivät vaikuta mitoitukseen. Taivutus on kuitenkin suhteellisen epätarkka valmistusmenetelmä, joten mittojen suhteen on hyvä jättää pelivaraa. Tässä tapauksessa mitta 89 ei ole toiminnan kannalta tärkeä, joten se on jätetty sulkeisiin ja jättää näin särmäajälle pelivaraa. (Jetsteel Oy, 2019.)

Toinen vaihtoehto on mitoittaa taivutuskohtien paikat ja ilmoittaa taivutettavan kulman määrä. Kuvassa 15 on esimerkki tällaisesta piirustuksesta.



KUVA 15. Esimerkki piirustus taivutuskohtamitoituksesta

Kuvassa on myös esitetty aihion päämitat, jolloin särmääjä voi varmistua kappaleen oikeellisuudesta, sekä kappaleen lopullinen muoto, johon tulisi pyrkiä. Kappaleen taivutusmitat on ilmoitettu kappaleen päädyistä, sillä näin särmääjän ei tarvitse särmäysvaiheessa suorittaa yhteen- ja vähennyslaskuja takavasteiden paikasta.

## 4 PINTAPELTISUUNNITTELU

Suunnittelun lähtökohtia Riikonen Groupin puolelta olivat erityisesti helppo valmistettavuus, eli mahdollisimman vähän mankeloitavia tai muutoin hankalia muotoja. Lisäksi ovia ja luokkuja piti olla riittävästi mahdollistamaan helppoa huollettavuutta ja saavutettavuutta. Muutoin suunnittelun lähtökohdat olivat lähes kokonaan vapaat.

Tavoitteena oli siis saada aikaan helposti valmistettava ohutlevyverhoilu, joka olisi riittävän vesitiivis ja kestäisi myös muita sään vaihteluita, koska konetta tulnaisiin käyttämään niin säässä kuin säässä. Lisäksi ovia ja luokkuja piti sijoitella tarvittaviin kohtiin. Myös vesi- ja paineilmaliitännöille tuli saada omat läpivientinsä.

Alkuvaiheessa runkoa ja ohutlevyverhoilua suunniteltiin ja luonnosteltiin samanaikaisesti, joten yhteensopivuuden kanssa voitiin välttää ainakin joitain ongelmia. Rungon valmistuttua siitä saatiin tarvittavat rajoitukset ohutlevysuunnittelulle, ja suunnittelu voitiin aloittaa toden teolla.

### 4.1 Suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin luonnostelemalla kynän ja paperin avulla karkeat ohutlevyosat, jonka jälkeen suunnittelua jatkettiin Solidworks-ohjelman ohutlevytyökälulla. Suunnittelun edetessä luonnostelu kynän ja paperin avulla jäi vähemmälle huomiolle ja suunnittelua ja kokeilua tehtiin käytännössä pelkästään Solidworksin avulla. Kuvassa 16 runko, jonka päälle ohutlevyt suunniteltiin.



KUVA. 16 Kompressorikontin runko

Suunnittelun tukena käytettiin ohutlevysuunnittelijoille suunnattua kirjallisuutta, josta saatiin tarvittavat taulukkoarvot taivutussäteille ja vinkkejä esimerkiksi reikien sijoitteluun sekä vältettäviin muotoihin. Ohutlevyt mallinnettiin aluksi kokoonpanotiedostoon rungon 3D-mallin päälle, jolloin yhteensopivuudesta voitiin varmistua saman tien. Tällöin ohutlevyosat saatiin parametrisoitua rungon mukaan, ja mahdolliset runkoon tehdyt muutokset näkyivät heti myös ohutlevyissä eikä niitä tarvinnut muokata aina erikseen, mikä olisi ollut tarpeettoman työlästä. Kun suunnittelun loppuvaihe läheni ja rungon kokoonpano oli saatu määrättyä, ohutlevyosat erotettiin omiksi tiedostoikseen ja niistä tehtiin piirustukset.

## 4.2 Haasteet

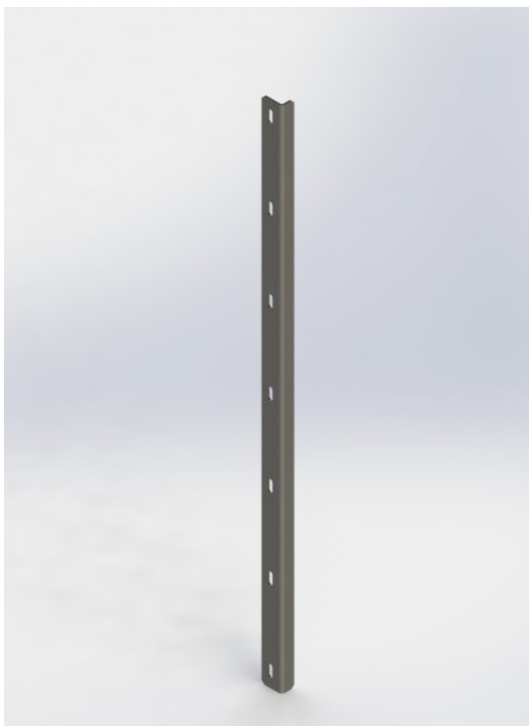
Suurimmat haasteet suunnittelun osalta olivat työkoneen säänkesto, tehokkaan dieselmoottorin aiheuttama voimakas värinä, melu sekä ovien ja luukkujen sijoittelu. Lisäksi omat haasteensa toi moottorin, ruuvien ja jäähdyttimen vaatima suuressä korvausilmamäärä, noin 16 kuutiometriä minuutissa. Liian suuret virtausnopeudet ulkosäleiköissä olisivat aiheuttaneet voimakasta ääntä ja mahdollisen sadeveden tempautumista sisälle koneeseen.

### 4.3 Kiinnitysmenetelmän valinta

Koska lopullinen kokoonpano suoritettaisiin hallissa, jossa hitsaamiselle oli erittäin huonot edellytykset, ja koska rakenne haluttiin pitää purettavana, kiinnitystavaksi runkoon ja muihin ohutlevyihin valittiin perinteinen pultti-mutterikiinnitys. Seinien ohutlevyt eivät olleet kantavia rakenteita eikä niihin kiinnitetty raskaita taakkoja, joten kiristysmomenttien kanssa ei tarvinnut olla kovin tarkkana.

Suurimmat huolet kohdistuivat voimakkaaseen tärinään, joka saattaisi tietyissä olosuhteissa löysyttää kiinnityksiä. Ruuvilukitteita ei haluttu, sillä peltejä tulitaisiin poistamaan ja muokkaamaan lähes varmasti. Kiinnitykset päätettiin lopulta varmistaa nyloc-mutterein. Pelteihin asennettavan eristysmateriaalin arveltiin jossain määrin vaimentavan tärinää, mutta tästä saataisiin varmuus vasta kenttäkokeiden jälkeen.

Kuvassa 17 esitellään runkoon katkopienahitsillä kiinnitetty kiinnitysrauta ohutlevyille. Rauta päätettiin suunnitella itse, sillä markkinoilta ei löytynyt vastaavia tuotteita helposti. Kiinnitysrautoja oli useita erilaisia riippuen siitä, mihin kohtaan runkoa ne hitsattiin kiinni.



KUVA 17. Runkoon hitsattava kiinnitysrauta

Kiinnitysraudan malli parametrisoitiin siten, että pelkästään pituutta muuttamalla se saatiin sopimaan tarvittavaan paikkaan. Reiät tehtiin niin sanotusti pitkiksi, että mahdolliset virheet rungossa tai ohutlevyissä saataisiin kompensoitua ja ohutlevy asettumaan sopivaan kohtaan. Lisäksi terävät kulmat leikattiin pois työturvallisuuden lisäämiseksi.

Pulttikooksi valittiin M8, joka tuntui olevan sopivassa välimaastossa. Sen suurempia lujuustarkasteluja kiinnittimille ei tehty. SFS 3898 -standardin mukaan M8-pultin vapaareikä keskisarjalle on *9 mm*, joka päätettiin valita pintapeltien kiinnitykseen.

#### **4.4 Materiaali, levynpaksuus ja pintakäsittely**

Levynpaksuuden suhteen jouduttiin tekemään kompromisseja, sillä rakenteen tiedettiin joutuvan kestävämpään mekaanista rasitusta erilaisten iskujen muodossa sekä vaihtelevia sääolosuhteita ympärivuotisen ulkokäytön takia. Kompessoria tulitaisiin mahdollisesti ainakin paikkamaalaamaan huoltojen yhteydessä, joten mahdolliset ruosteet jouduttaisiin hiomaan pois ennen uutta maalikerrosta.

Nämä seikat estivät ohuiden, alle yhden millimetrin peltiosien käyttämisen, sillä asiakastyytyväisyys nähtiin tärkeämpänä seikkana kuin varaosamyynnistä saatavat tulot. Toisaalta paksut ohutlevyosat lisäisivät kompressorin painoa merkittävästi ja tulisivat kalliimmaksi ostaa ja valmistaa.

Näillä lähtötiedoilla alustavaksi levynpaksuudeksi valittiin 1,5 mm, jonka koettiin olevan nollasarjaan hyvä lähtöpaksuus. Tulevaisuudessa koeajojen ja kenttätestien perusteella pintapeltien paksuuksia voidaan tarkastaa ja muuttaa ohuemmaksi, jos sellaiseen ilmenee tarvetta.

Materiaaliksi valittiin kylmävalssattu sinkitty pelti. Vaikka sinkityn ohutlevyn maalaamisessa on tiettyjä haasteita pohjakäsittelyn suhteen, nähtiin se silti järkevimpänä ratkaisuna erittäin vaihtelevia olosuhteita ajatellen. Kenttätestien

jälkeen on taas mahdollista pohtia, riittäisikö tulevaisuudessa pintakäsittelyyn pelkkä maalaus. Alustava kokoonpano ja kenttätestit voitaisiin suorittaa ilman maalattuja pintapeltejä.

Riikonen Group Oy:n tekemien haastattelujen perusteella kompressorikontin näyttävä ulkonäkö koettiin merkittäväksi asiaksi. Tässä opinnäytetyössä ei keskitytty juurikaan koneen esteettiseen puoleen, vaan suunnittelun lähtökohta oli puhtaasti käytännönläheinen. Tällöin näyttäviä maalauksia tai muotoja ei suunnitelluissa levyissä näy.

Sinkityn ohutlevyn hitsaaminen aiheuttaa myös omat haasteensa, sillä sinkittyä levyä hitsatessa ilmaan joutuu sinkkidioksidihiukkasia. Nämä hiukkaset aiheuttavat hengitettäessä niin kutsutun sinkkikuumeen, joka voi aiheuttaa muuan muassa kuumetta, päänsärkyä ja pahoinvointia. Sinkkikuume ei kuitenkaan tietävästi aiheuta merkittävää terveyshaittaa. Jos tulevaisuudessa pintapelteihin aiotaan lisätä hitsattavia osia, tulisi materiaalivalintaa miettiä uudelleen. (Sinkki.com, 2019.)

Sisäsäteen arvo saadaan liitteen 1 taulukosta. Levynpaksuuden ollessa 1,5 millimetriä eräs suositeltava sisäsäde on 2 millimetriä, joten valitaan se suunnitteluarvoksi. Samasta taulukosta nähdään myös, että alle 12 millimetrin mittaisia päätytaivutuksia ei suositella tehtäväksi.

Kun levynpaksuus ja taivutussäde on valittu, voidaan kaavan 1 perusteella laskea karkea k-arvo. Kun varsinainen materiaalitoimittaja ja materiaali on valittu, voidaan suunnitteluarvot vaihtaa vastaavasti. Kaavan 1 mukaan, kun  $r = 2 \text{ mm}$  ja  $s = 1,5 \text{ mm}$ :

$$k = 0,65 + 0,5 \cdot \log_{10} \frac{r}{s}$$

$$k = 0,65 + 0,5 \cdot \log_{10} \frac{2}{1,5}$$

$$k = 0,65 + 0,0625 \dots$$

$$k = 0,7125 \dots$$

$$k \approx 0,71$$

Valitaan k-arvoksi siis  $0,71$  ja käytetään tätä ohutlevyjä suunniteltaessa.

#### 4.5 Luukut, ovet ja ilmasäleiköt

Erilaisten ovien, luukkujen ja ilmasäleikköjen valmistajia löydettiin pienellä etsimisellä useita, joten parhaaksi ratkaisuksi katsottiin tilata nämä osat ulkopuolisilta valmistajilta sen sijaan, että ne olisi tehty itse. Näin voitiin välttää muutamia mahdollisesti ilmeneviä sudenkuoppia ja arvokasta suunnittelu-aikaa ei tarvinnut käyttää osiin, jotka voitiin helposti tilata muualta.

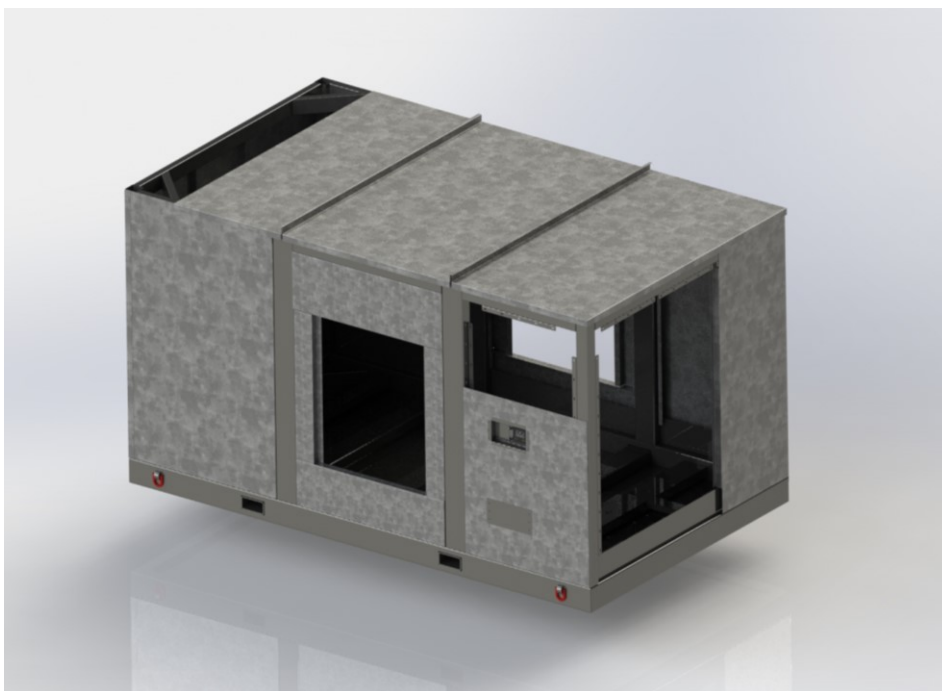
#### 4.6 Vesitiiviys

Kompressorin vesitiiviys oli keskeinen prioriteetti alusta asti. Varsinkin kompressoriruuvi oli tärkeää suojella ylimääräiseltä vesialtistukselta, mutta myös muut sähkö- ja toimilaitteet nähtiin hyväksi suojella vedeltä. Tavoitteena oli, ettei alle  $45^\circ$  kulmassa satava vesi pääsisi missään olosuhteissa kompressorin sisätiloihin. Eräässä kilpailevan valmistajan kuvaamassa videossa kompressorin päälle paiskautui jopa suuria vesimassoja. Tällaiseen ääritilanteeseen varautumiseen ei tässä projektissa nähty varsinaista tarvetta.

Vesitiiviyttä ajateltiin olevan mahdollista parantaa sijoittamalla tiivistenauhaa kiinnitysrautojen ja pintapeltien väliin. Teippipintaista tiivistenauhaa olisi helposti saatavilla, se olisi helppo asentaa ja hinnaltaan edullinen. Jos testien perusteella nähdään olevan tarvetta vielä paremmalle veden eristykselle, voidaan jatkossa käyttää lisäksi myös tiivistemassoja tai miettiä suunnittelua uudelleen.

## 4.7 Ohutlevyt

Lopulliset ohutlevyt tuotiin Solidworksissa jo valmiiksi mallinnetun rungon päälle, ja sopivuudesta varmistuttiin suorittamalla ensin silmämääräinen arviointi. Kun tyydyttävään lopputulokseen oli päästy, aloitettiin lopullisten piirustusten luominen. Kuvassa 18 näkyy suhteellisen lopullinen tuotos pintapeltien osalta.



KUVA 18. Pintapellit sovitettuna runkoon

Kuvan 18 vasemmassa yläkulmassa ja oikealla sivustalla näkyvät aukot on varattu kompressorin sisätilojen ilmanvaihtoa varten. Etuseinän oikea yläkulma on myös varattu tätä tarkoitusta varten. Aukot keskellä molemmin puolin on varattu huolto-oville, joiden kautta on kulku kompressorin sisälle. Etuseinän oikeassa reunassa näkyy paikka kompressorin ohjauspaneelia varten.

## 4.8 Piirustukset

Kaikki piirustukset tuotettiin Solidworksin avulla. Aluksi kappaleista luotiin levityskuvat ja samalla tarkastettiin, että kappaleet ovat ylipäättään mahdollisia levittää, jonka jälkeen piirustuksiin laitettiin päämitat ja taivutusten paikat. Tämän jälkeen kuva tallennettiin pdf-muotoon ja lopuksi luotiin pelkästään levityskuvast-

ta dxf-tiedosto, josta ilmeni kappaleen geometria ja kappale voitiin lähettää leikkavaksi. Kaikkien ohutlevykappaleiden piirustukset sekä ohjeellinen asennuspiirustus löytyvät liitteestä 2.

Täydellisesti mitoitetuille piirustuksille ei nähty tarvetta, sillä laserleikkuun geometriat saadaan kokonaisuudessaan dxf-tiedostoista, joista myös mittaaminen onnistuu tarvittaessa. Nestaaaja pystyy piirustukseen merkittyjen päämittojen avulla varmistumaan siitä, että kappale on tuotu järjestelmään oikein. Mitoittamalla piirustuksista vain tarvittavat osat säästetään aikaa ja piirustukset pysyvät luettavampina. Taivutusvaiheessa särmäyskoneen käyttäjä on kiinnostunut lähinnä taivutusten sijainneista ja pituuksista, joten senkään suhteen piirustukseen ei tarvitse lisätä ylimääräisiä mittoja.

Pintapeltien asennuksesta tehtiin kokoonpanopiirustus, josta selvisivät peltien paikat kokoonpanossa. Asennusjärjestykseen ei otettu kokoonpanopiirustuksissa kantaa, sillä prototyypivaiheessa yllättävät ongelmat, ja jopa pienet muutokset, ovat mahdollisia, joten asiaan ei kannattanut uhrata liikaa aikaa.

#### **4.9 Kokoonpano**

Valitettavasti varsinaiseen kokoonpanovaiheeseen ei päästy ennen tämän opinnäytetyön valmistumista, mutta esimerkiksi runko saatiin kokonaisuudessaan kasaan. Jo rungonhitsausvaiheessa saatiin kokoonpanotyöntekijöiltä arvokkaita vinkkejä, joiden avulla seuraavat mallit voitaisiin valmistaa helpommin ja kustannustehokkaammin. Näistä kehitysehdotuksista koostettiin lista, joka jätettiin projektin käyttöön tulevaisuutta ajatellen.

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella paineilmakompressorinkontin pintapelitys, joka suojaisi tärkeimmät toimilaitteet sään vaikutuksilta. Lisäksi kompressorin toiminnan kannalta tärkeät läpiviennit ja käyttöpaneelit piti huomioida.

Asiakkaan toiveesta valmistus haluttiin pitää erittäin yksinkertaisena, eli valmistuksen tulisi onnistua laserleikkurilla ja särmäyskoneella. Lisäksi pintapelteihin ei haluttu enää kokoonpanovaiheessa joutua hitsaamaan mitään.

### 5.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Alkuperäiset tavoitteet saavutettiin pääosin. Kaikki levyosat voidaan valmistaa asiakkaan toivomalla tavalla ja levyosat kiinnitetään runkoon pulteilla ja mutteilla. Kaikki taivutukset ovat 90° kulmassa, joten tämä helpottaa valmistusta huomattavasti.

Valitettavasti layout-suunnittelua ei saatu valmiiksi ennen opinnäytetyön saatamista loppuun. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kaikille läpivienneille ja huoltoluukuille ei voitu merkitä paikkoja piirustuksiin. Jos projekti olisi viety loppuun suunnitellussa aikataulussa, pintapeltejä tuskin olisi suunniteltu näin pitkälle muiden vaiheiden ollessa vielä pahasti kesken.

Resurssiongelmien vuoksi kompressoriprojektista saatiin valmiiksi vain runko, jonka jälkeen projekti ei ole edennyt. Projektin loppuunsaattaminen jää siis tulevaisuuteen, mutta hyvät lähtökohdat ovat kuitenkin olemassa.

### 5.2 Jatkokehitys

Jatkokehityksen ensimmäinen vaihe olisi valmistaa levyosat, suorittaa kokoonpano ja tämän jälkeen tehdä mahdolliset muutokset suunnitteluun. Lisäksi mahdollisuuksien mukaan olisi hyvä tehdä muutamia kenttätestejä erityisesti sateel-

la ja talviolosuhteissa, sillä kompressorin sisälle ei saa päätyä vettä suurina määrinä missään olosuhteissa.

Kompressorikontista halutaan myös näyttävä kokonaisuus, joten erityisesti pintakäsittelyssä ja pintapeltien muotoilussa on paljon kehittämiskohteita. Tässä olisi esimerkiksi oiva tilaisuus monialaiselle yhteistyöprojektille eri koulutussuuntausten välillä.

## LÄHTEET

- Alibaba.com. Luettu 5.6.2017. [https://www.alibaba.com/product-detail/Amada-press-brake-tooling-amada-press\\_60350361709.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Amada-press-brake-tooling-amada-press_60350361709.html).
- Amada.com. Luettu 9.11.2019. <https://www.amada.com/america/hm-2204>.
- Asiakastieto, Riikonen Group Oy. Luettu 1.11.2019. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/riikonen-group-oy/04938872/taloustiedot>.
- Bystronic Laserschneiden, 2006, Bystronic. Luettu 19.5.2017. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Bystronic\\_Laserschneiden.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Bystronic_Laserschneiden.jpg).
- Dannfort.eu. Luettu 9.11.2019. <http://dannfort.eu/en/equipment/air-and-gas-transportation/item/oil-injected-high-pressure-air-compressor>.
- Docplayer.fi. Pohjaaniskutaivutus. Luettu 19.5.2017. [http://docplayer.fi/docs-images/47/19830992/images/page\\_11.jpg](http://docplayer.fi/docs-images/47/19830992/images/page_11.jpg).
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2003. Valmistustekniikka. Otatieto Oy.
- Häkkinen, J. 2013. Taivutusautomaatin ominaisuuksien hyödyntäminen ohutlevy tuotteiden suunnittelussa. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Ionix.fi. Plasmaleikkaus. Luettu 7.12.2019. <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/plasmatyosto/plasmaleikkaus/>.
- Jetsteel Oy. Taivutettavien osavalmisteiden mitoitus. Luettu 9.11.2019. <http://jetsteeloy.blogspot.com/2016/01/taivutettavien-osavalmisteiden-mitoitus.html>.
- Järvilä, N. 2008. Ohutlevyosien valmistuksen analysointi Junkkari Oy:ssä. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Kiuru, E. 2013. Pinnoitettujen ohutlevyjen liittäminen uusilla menetelmillä. Turun Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Penttinen, T. 2012. Särmäyksen simulointi ja käytäntö. Savonia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Savonia-ammattikorkeakoulu. Luettu 19.5.2017. <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>.
- ProLaser, Laserleikkaus: Periaate. Luettu 19.5.2017. <http://www.prolaser.fi/laserleikkaus.html>.
- Sheetmetal.me. Air-bending. Luettu 26.5.2017. <http://sheetmetal.me/wp-content/uploads/2011/04/Air-Bending.gif>.

Sinkki.com. Luettu 11.11.2019. <http://www.sinkki.com/sinkkikuume>.

Stremet.fi. Luettu 9.11.2019 <https://stremet.fi/blogs/ajankohtaista/uusi-kulmaleikkuri-levytyokeskus>.

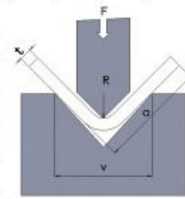
Vikman, A. 2017. Ohutlevyosien suunnittelun ja tuotannon välisen rajapinnan kehittäminen. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Watercut.fi. Vesileikkaus. Luettu 7.12.2019.  
<http://www.watercut.fi/vesileikkaus.html>.

## LIITTEET

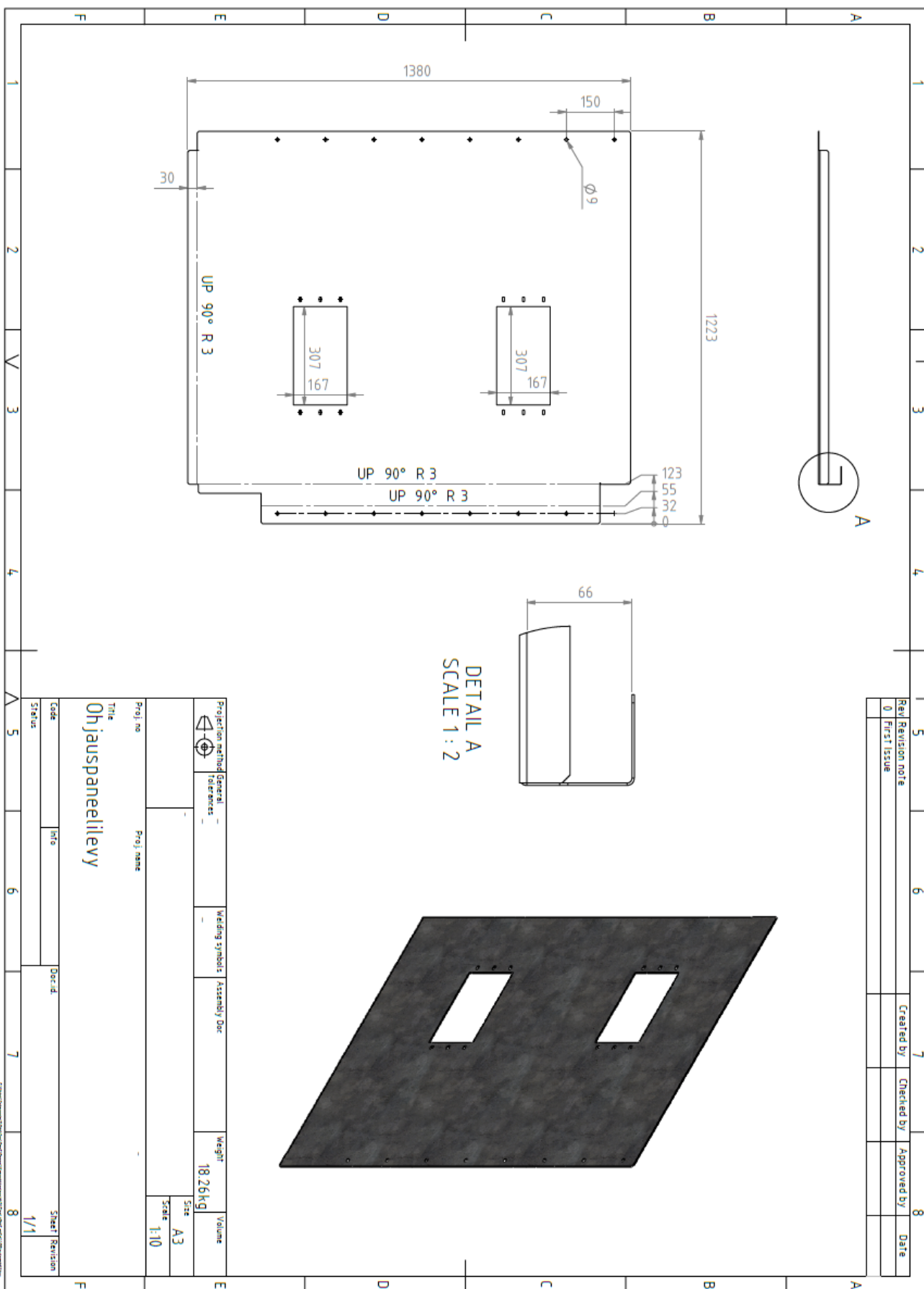
## Liite 1. Taivutussädetaulukko

V	6	8	10	12	16	18	20	24	32	35	40	50	60	63	80	100	120	130	140	150	160	180	190	200	230	260		
b	4.5	5	7	8.5	12	13	15	17	23	25	28	35	43	45	57	71	85	92	100	105	115	130	135	140	160	180		
r	1	1.2	1.6	2	2.5	2.8	3	3.5	5	5.5	6	8	9.5	10	12	15.5	19	21	23	24.5	26	28	30	32	36	40		
0.5	2.5																											
0.8	7	4.8																										
1.0	11	8	6																									
1.2		12	9	7																								
1.5			15	12	8																							
2.0				23	16	13	12	9.5																				
2.5					26	22	20	15	11																			
3.0							30	24	16	14	12																	
4.0								44	31	28	23	18																
5.0									53	47	43	31	25															
6.0											61	45	36	34														
8.0												88	69	65	47	36												
10														110	80	60	47	43	39									
12															120	90	71	65	58	55	50							
16																	140	125	115	105	95	81	80	71				
18																			148	135	125	110	100	95	80			
20																						140	130	120	110	90		



Lähde: <https://www.artizono.com/press-brake-tonnage-calculator/>, luettu  
10.11.2019

Liite 2. Ohutlevyjien piirustukset

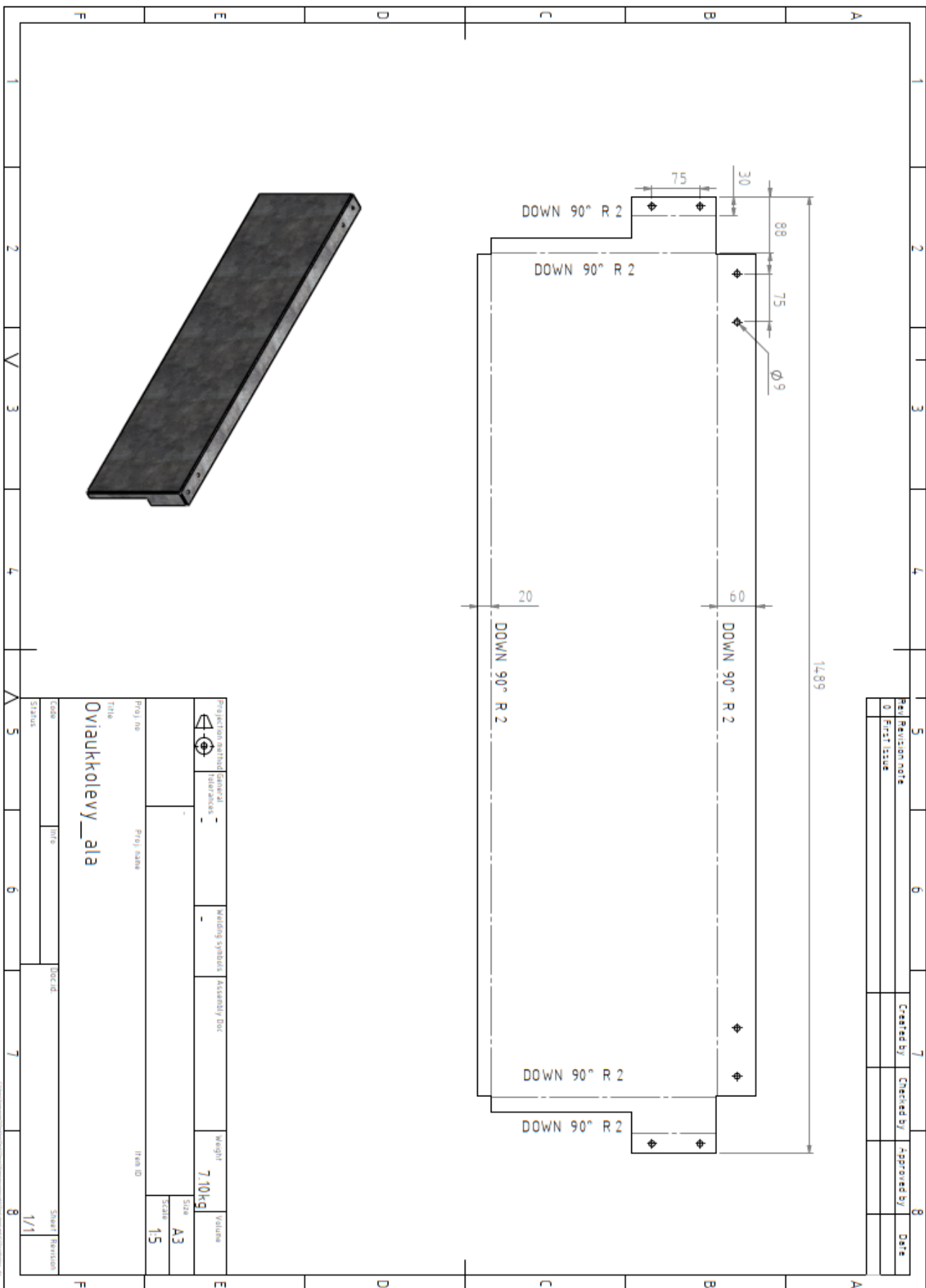


Rev	Revision note	Created by	Checked by	Approved by	Date
0	First issue				

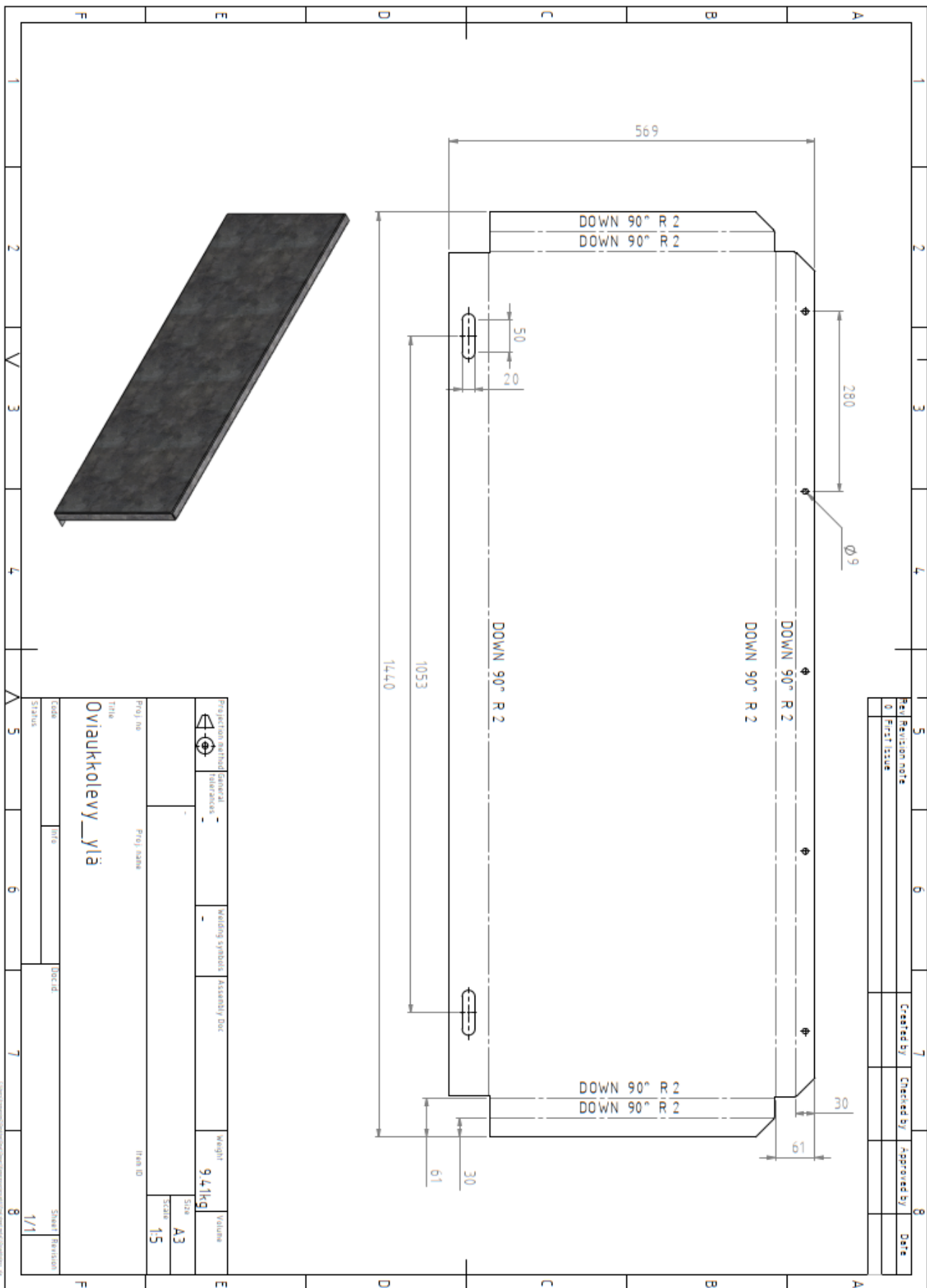
DETAIL A  
SCALE 1 : 2

Projection method		General		Tolerances		Welding symbols		Assembly Doc		Weight		Volume	
Code		Info		Doc.id		Weight		Volume		Size		Scale	
Status		Title		Project name		18.26kg		A3		1:10		Sheet/Revision	
		Ohjauspaneelilevy										1/1	

Copyright reserved by the author. All rights reserved. The author disclaims any liability for the use of the information contained herein.



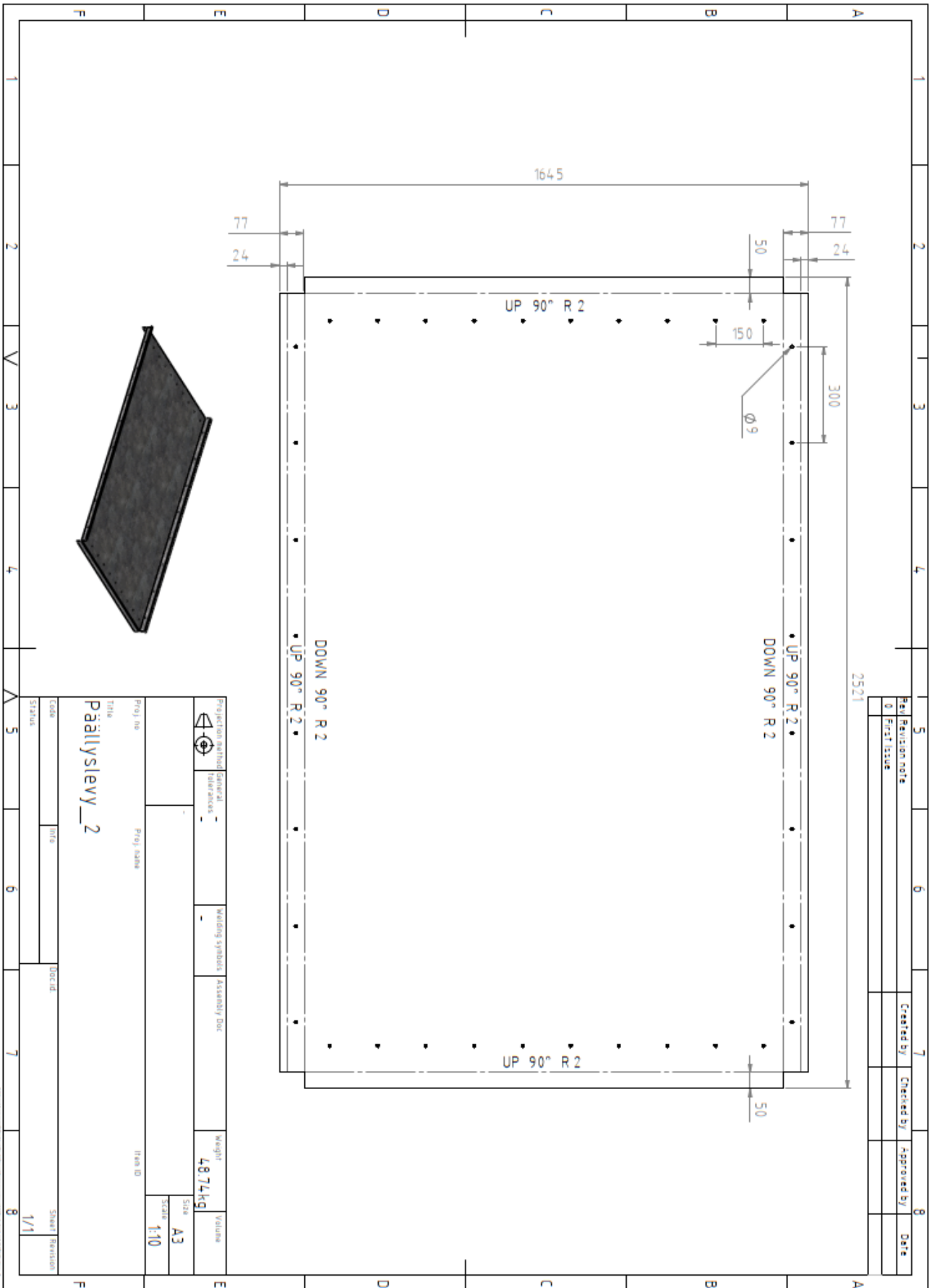


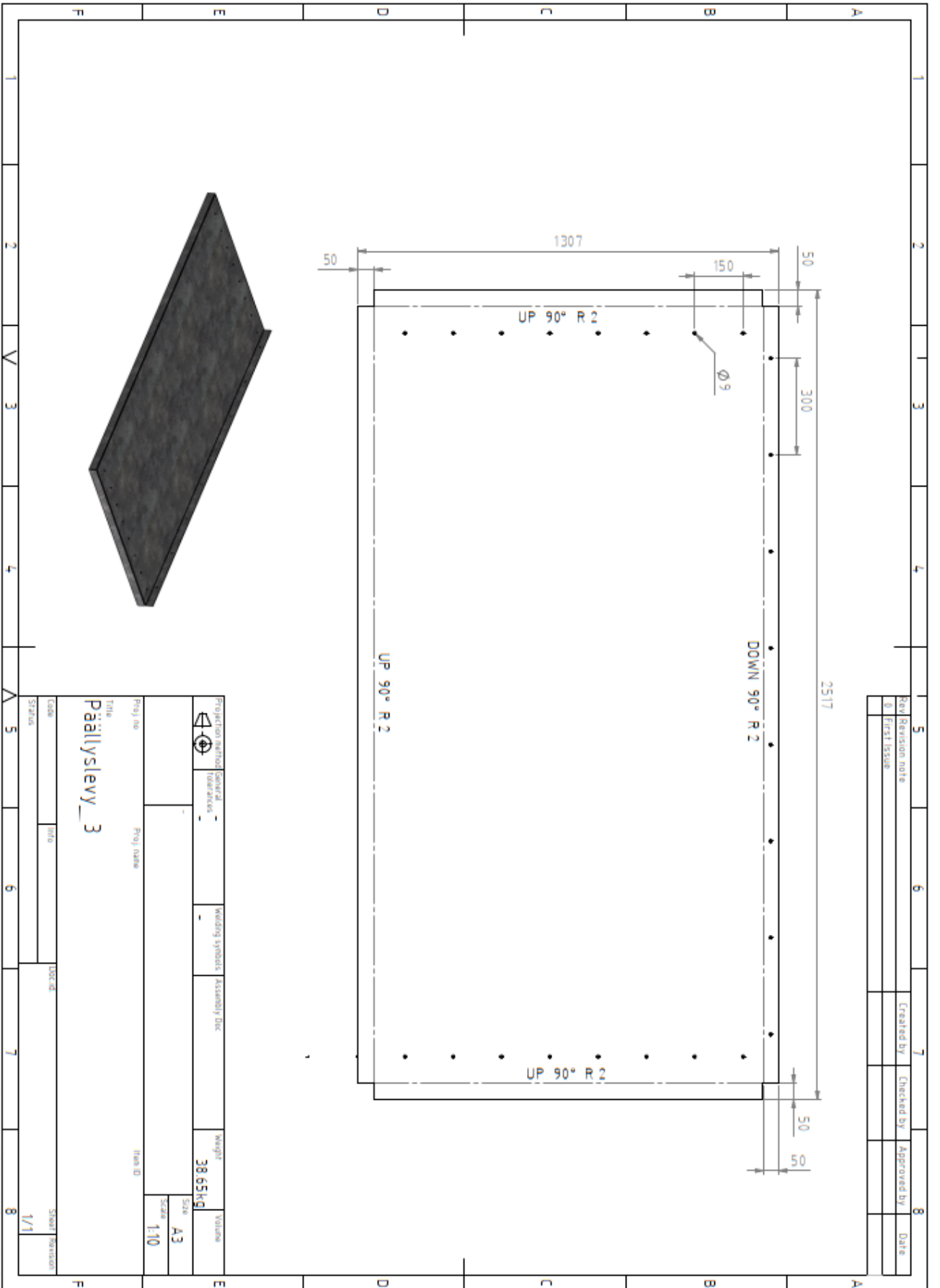


Proj. Revision note	Created by	Checked by	Approved by	Date
0 First Issue				

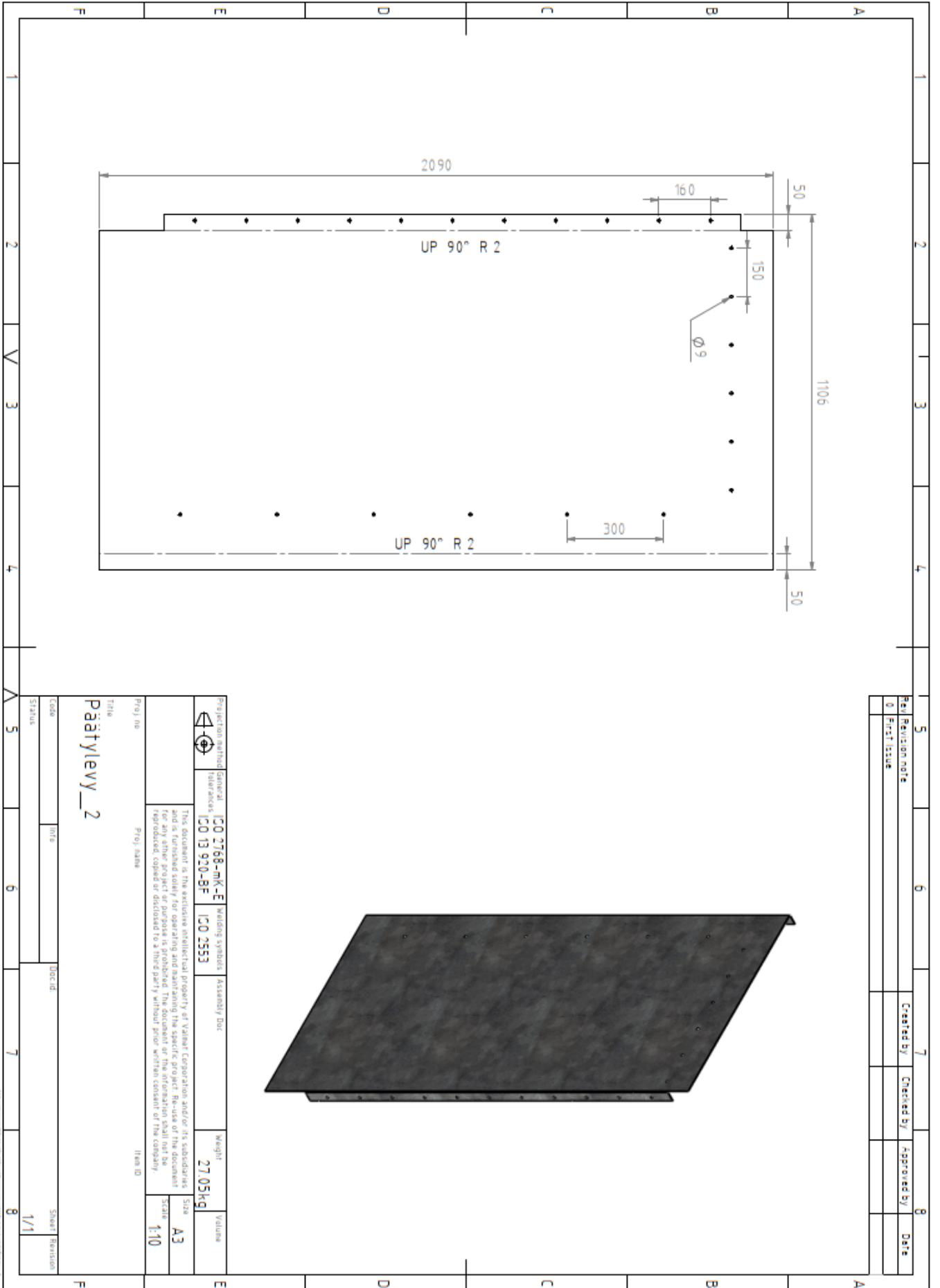
Projection method	General	Welding symbols	Assembly Doc	Weight	9.41kg	Volume
Tolerances	-					
Title	Oviaukkolevy_yliä			Size	A3	
Proj. no.	Proj. name			Scale	1:5	
Code	Info	DocId	Draw ID	Sheet	Revision	
Status				1/1		









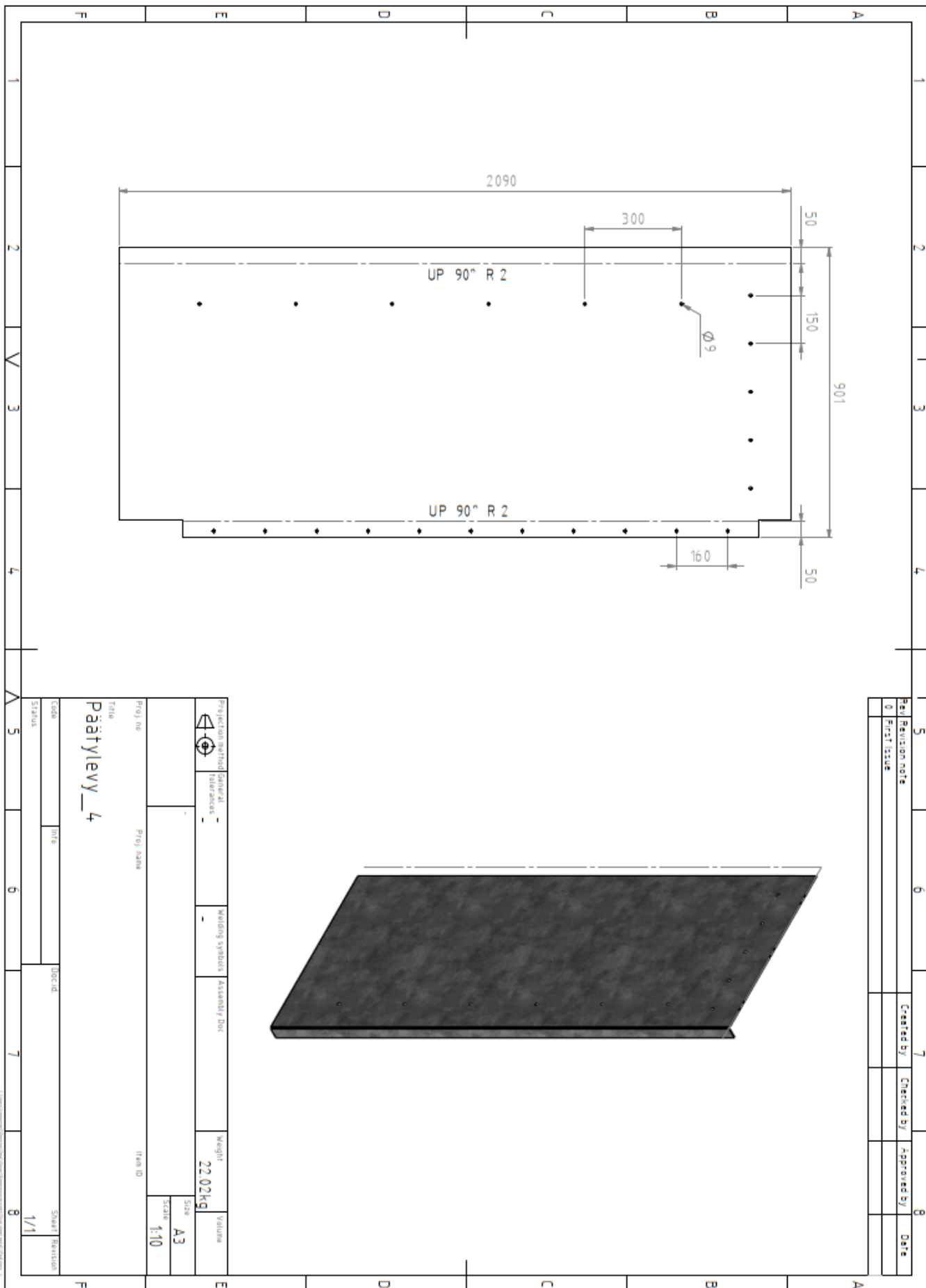


Rev.	Revision note	Created by	Checked by	Approved by	Date
0	First issue				

Projection method	Standard	ISO 2768-mK-E	Welding symbols	Assembly Doc	Weight	27.05 kg	Volume
Standard	ISO 13 920-BF	ISO 2553					
<p>This document is the exclusive intellectual property of Valmet Corporation and/or its subsidiaries, and is furnished solely for operating and maintaining the specific project. Re-use of the document for any other project or purpose is prohibited. The document or the information contained therein may be reproduced, copied or distributed to a third party without prior written consent of the company.</p>							
Proj. name	Proj. name			Task ID	Scale	1:10	Size
Title	Päätylevy_2						
Code	Info	Doc. id	SMART REVISION				
Status	1/1						

© 2014 Valmet Corporation. All rights reserved. Valmet is a registered trademark of Valmet Corporation.

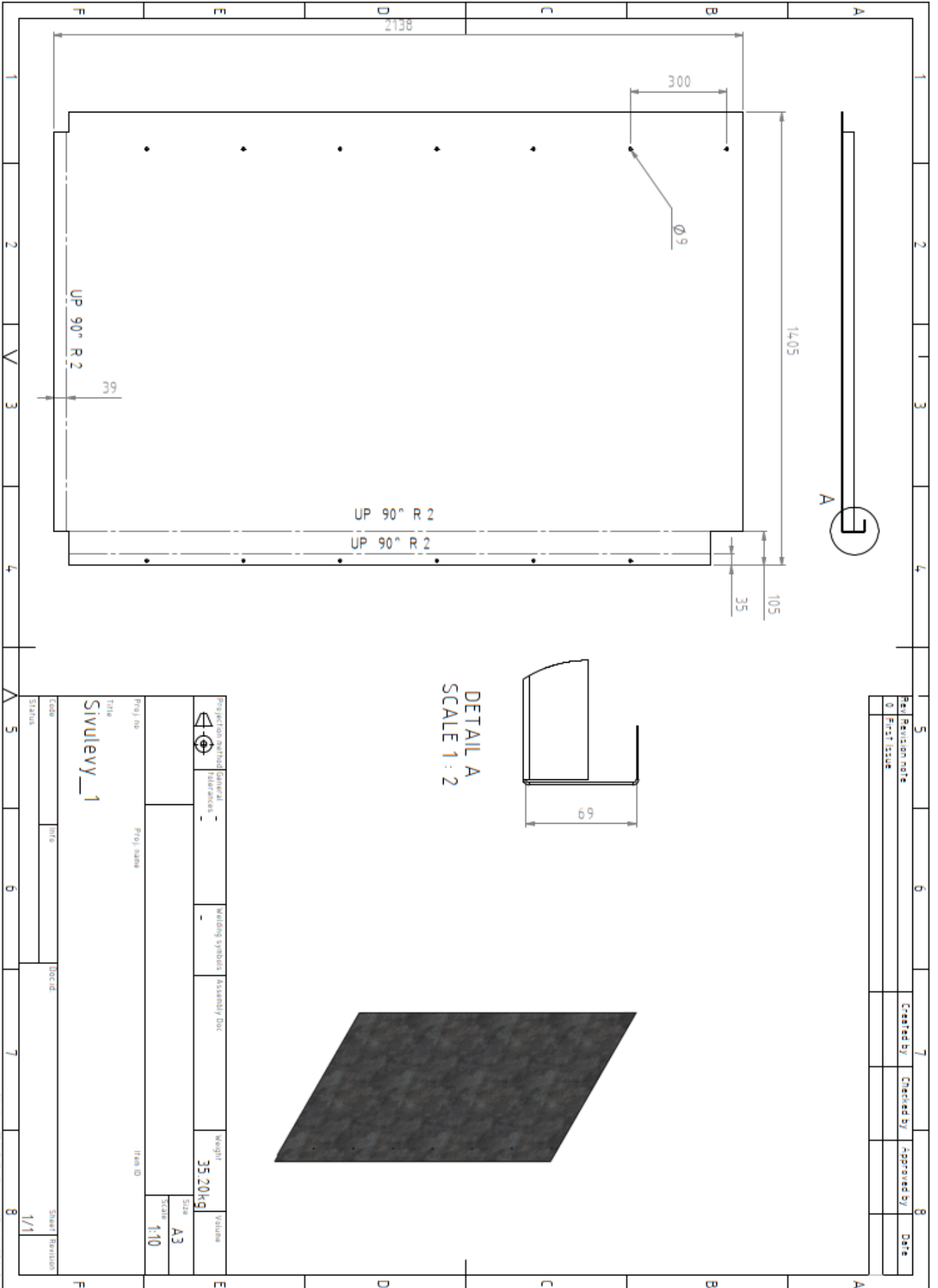




Rev	Revision note	Created by	Checked by	Approved by	Date
0	First issue				

Projection method	Standard	Welding symbols	Assembly Doc	Weight	22.02 kg	Volume	A3
Third angle	-	-	-	Scale	1:10	Size	A3
Title		Proj name		Item ID		Smart Revision	
Päätylevy_4						1/1	
Code	Site	Doc id					
STATUS							

© 2010 Autodesk, Inc. All rights reserved. Autodesk reserves the right to alter product offerings and specifications at any time without notice, and is not responsible for typographical or graphical errors that appear in this document.



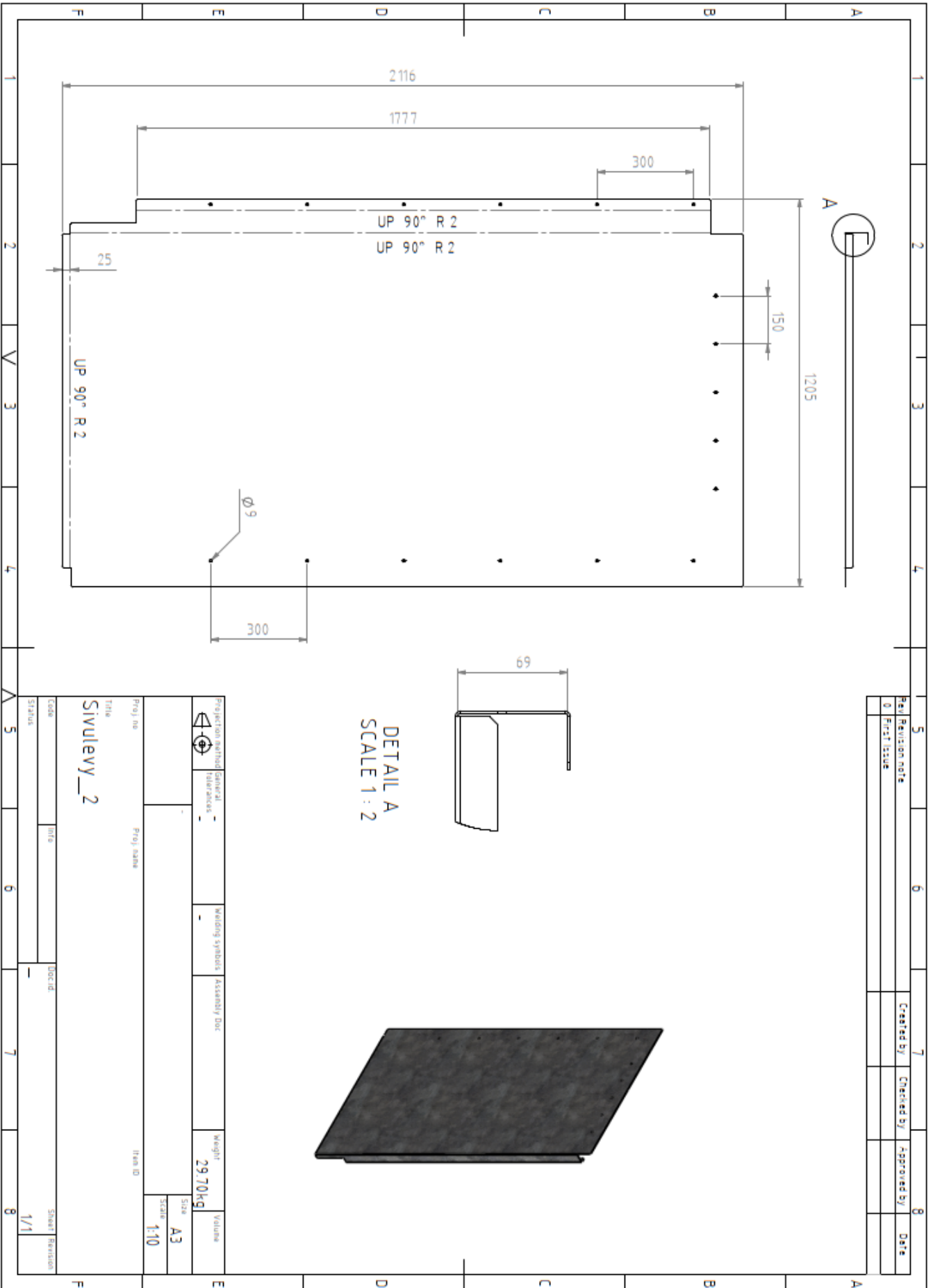
Rev	Revision note	Created by	Checked by	Approved by	Date
0	First Issue				

DETAIL A  
SCALE 1 : 2

Projection method	General	Welding symbols	Assembly Doc	Weight	35.20kg	Volume
Tolerances	-			Size	A3	Scale
				Scale	1:10	

Proj. no.	Proj. name	Item ID
Title	Sivulevy_1	
Code	Doc. id.	Sheet / Revision
STATUS		1/1

Copyright © 2010 Autodesk, Inc. All rights reserved. Autodesk reserves the right to alter product offerings and specifications at any time without notice, and is not responsible for typographical or graphical errors that appear in this document.



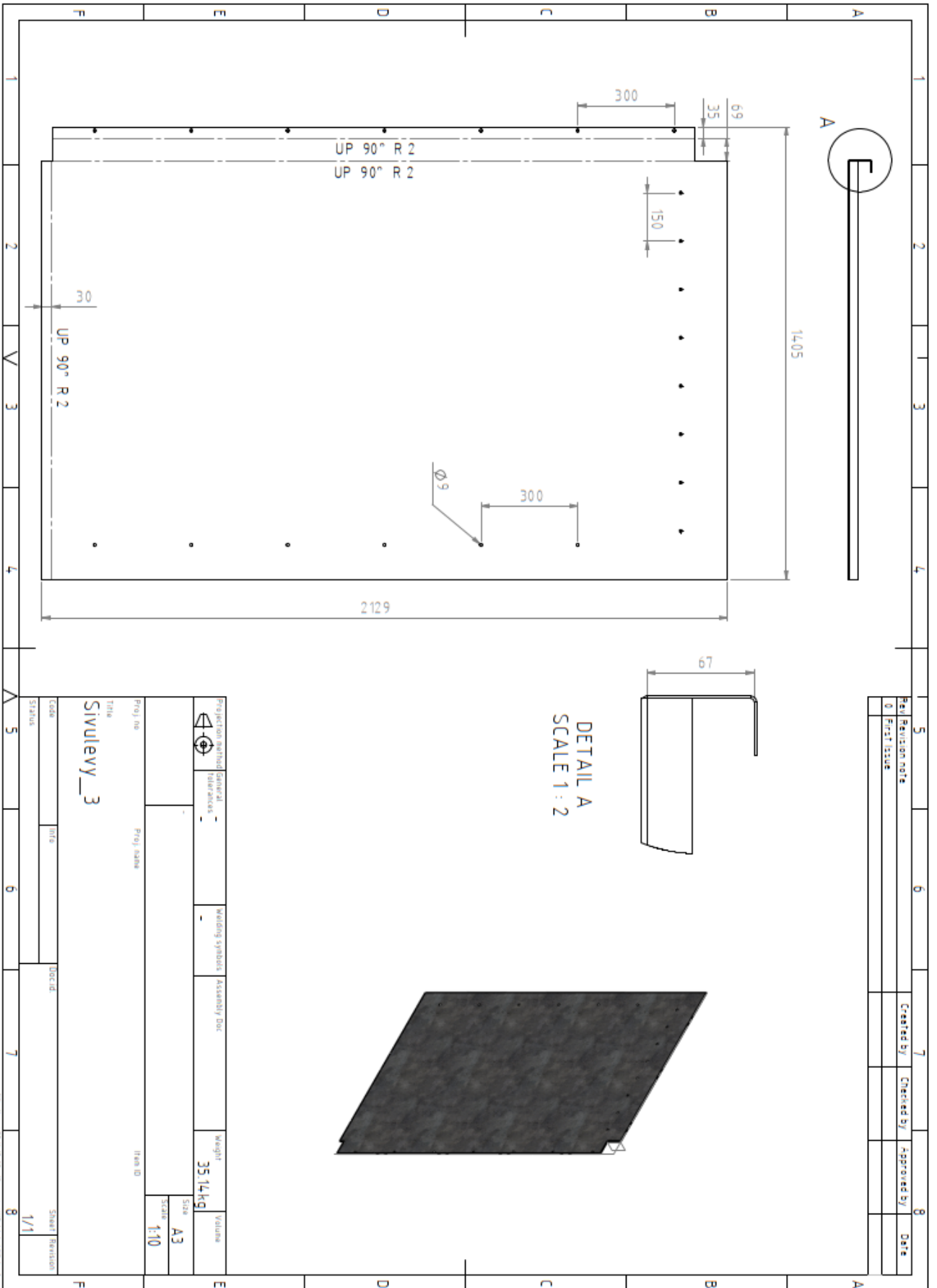
DETAIL A  
SCALE 1 : 2

Rev	Revision note	Created by	Checked by	Approved by	Date
0	First Issue				

Projection method	General	Welding symbols	Assembly Doc	Weight	29,70kg	Value
Formulas	-	-	-	Size	A3	Scale
Proj. name	Proj. name			Item ID	1:10	

Title		Sivulevy_2	
Code	Info	DocId	Sheet
Status	-	-	Revision
			1/1

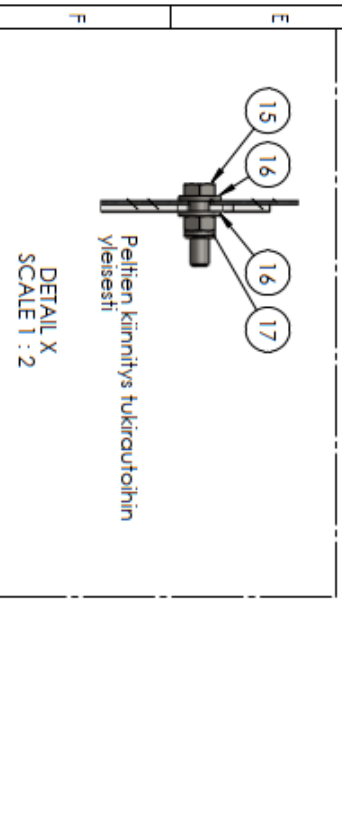
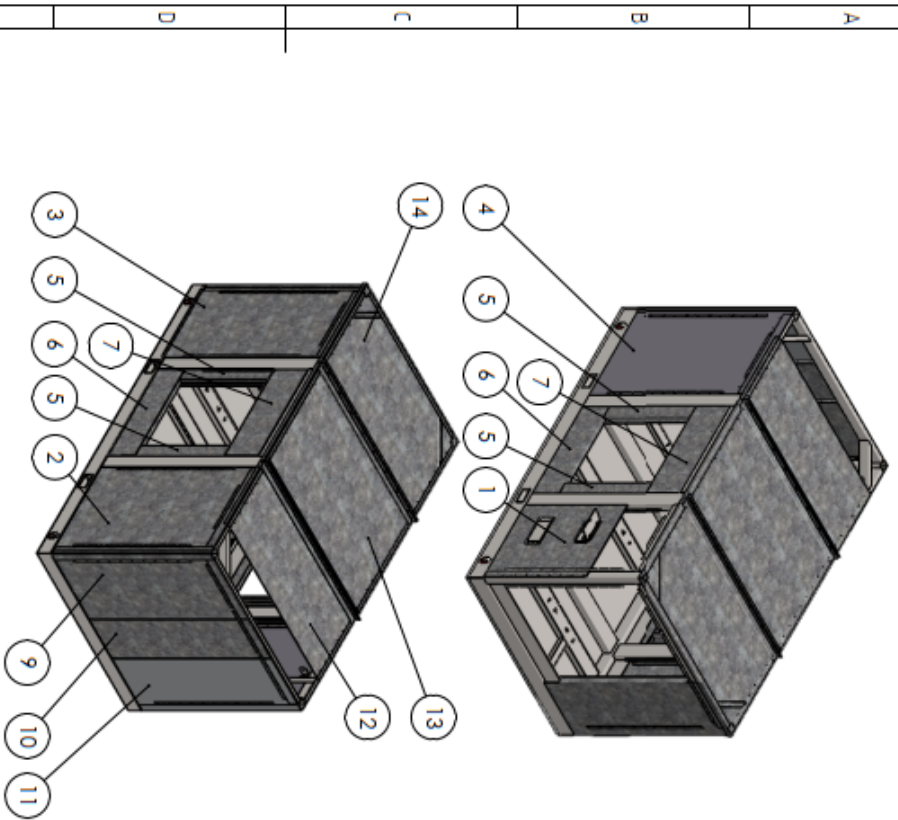
Copyright © 2010 Autodesk, Inc. All rights reserved. Autodesk reserves the right to alter product offerings and specifications at any time without notice, and is not responsible for typographical or graphical errors that appear in this document.



Rev	Revision note	Created by	Checked by	Approved by	Date
0	First issue				

Projection method: General		Welding symbols: -		Assembly Doc: -		Weight: 35.14kg		Volume: -	
Tolerances: -						Size: A3		Scale: 1:10	
Title: <b>Sivulevy_3</b>				Proj name: -				Sheet Revision: 1/1	
Code: -		Info: -		Doc id: -		Proj ID: -		Sheet Revision: 1/1	
Status: -									

Rev	Revision note	Created by	Checked by	Approved by	Date
0	First issue				



Peltien kiinnitys tukirautoihin yleisesti

No	Description	Doc. ID / STD	Welding symbols	Assembly Doc	Size	Weight	Qty	Unit	Value
17	Nyloc Nut M8				M8	4.6	x	x	
16	Washer M8				M8	4.6	x	x	
15	Hex Bolt M8 x 30				M8 x 30	4.6	x	x	
14	Paalilyeily_3				Galvanized Steel PL150x2517x1007	38.65	1		
13	Paalilyeily_2				Galvanized Steel PL150x251x18x5	4.874	1		
12	Paalilyeily_1				Galvanized Steel PL150x1001x2516	29.62	1		
11	Paalilyeily_4				Galvanized Steel PL150x901x2090	21.99	1		
10	Paalilyeily_3				Galvanized Steel PL150x697x2090	16.90	1		
9	Paalilyeily_2				Galvanized Steel PL150x1106x2090	27.05	1		
8	Paalilyeily_1				Galvanized Steel PL150x939x2090	22.78	1		
7	Ovaukkoely_11a				Galvanized Steel PL150x1440x569	9.41	2		
6	Ovaukkoely_10a				Galvanized Steel PL150x1489x435	7.10	2		
5	Ovaukkoely_sivu				Galvanized Steel PL150x300x1310	5.18	4		
4	Sivulevy_3				Galvanized Steel PL150x1405x129	35.11	1		
3	Sivulevy_2				Galvanized Steel PL150x1205x216	29.70	1		
2	Sivulevy_1				Galvanized Steel PL150x1405x2138	35.20	1		
1	Ohjuspörsälly				Galvanized Steel PL150x1223x1380	18.29	1		

Projection method: General  
Tolerances: -  
Welding symbols: -  
Assembly Doc: -  
Size: 2031,60kg  
Weight: 2031,60kg  
Scale: A3  
Scale: 1:50

Proj. no: \_\_\_\_\_ Proj. name: Pintapellitys  
Title: Pintapellitys  
Code: \_\_\_\_\_ Site: \_\_\_\_\_ Doc. ID: \_\_\_\_\_  
Status: \_\_\_\_\_  
Sheet: 1/1