



Opas aloittelevalle ohutlevyosuunnittelijalle

Valmistustekniikkana levytyökeskus ja särmäys

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK)

syksy 2025

Ulrika Koskela

Koulutus Konetekniikka, insinööri (AMK)
Tekijä Ulrika Koskela
Työn nimi Opas aloittelevalle ohutlevyosuunnittelijalle
Ohjaaja Antti Hänninen

Vuosi 2025

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda aloitteleville ohutlevyosuunnittelijoille suunnattu opas, johon on kerätty yhteen keskeisimpiä valmistusteknisiä rajoitteita, joita suunnittelussa tulee huomioida. Työssä keskitytään kahteen yleisimmin käytettyyn valmistusmenetelmään: levytyökeskukseen ja särmäykseen.

Teoriaosuuteen on koottu tietoa ohutlevyosuunnittelussa huomioitavista geometrisista rajoitteista, kuten reikien sijoittamisesta, taivutusten mitoittamisesta, oikaistun pituuden laskemisesta, sekä tietoa erilaisista nurkkahelpotustyypeistä. Lisäksi oppaassa on tietoa erilaisista liittämismenetelmistä, kuten ruuviliitoksista, kierre-elementeistä, hitsauksesta, niittauksesta sekä puristusliitoksista.

Opas toteutettiin SolidWorks-koneenpiirustusmuodossa, jolloin sitä voi käyttää suunnitteluohjelman taustalla. Oppaasta on helppo tehdä PDF-versio, jonka käyttö on yksinkertaista ja sujuvaa. Oppaan sisältö on visuaalinen, ja tietoa on havainnollistettu mallinnettujen esimerkkikappaleiden avulla.

Lopputuloksena syntynyt opas tarjoaa selkeän ja käytännönläheisen työkalun ohutlevytuotteiden suunnitteluun. Sen avulla voidaan vähentää suunnitteluvirheitä, parantaa tuotteen valmistettavuutta ja tukea suunnittelijan oppimista.

Avainsanat Ohutlevyosuunnittelu, levytyökeskus, särmäys, oikaistu pituus, Solidworks
Sivut 22 sivua

DP Mechanical Engineering
Author Ulrika Koskela
Subject A Guide for Beginner Sheet Metal Designers
Supervisors Antti Hänninen

Year 2025

The aim of this thesis was to create a guide for novice sheet metal designers, compiling the key manufacturing constraints that must be considered during the design process. The thesis focuses on two of the most commonly used manufacturing methods: turret punching and bending.

The theoretical section provides an overview of the essential geometrical limitations in sheet metal design, including hole placement, bend dimensioning, flat length calculation, and various types of bend reliefs. In addition, the guide introduces different joining methods such as screw joints, self-clinching fasteners, welding, riveting, and clinching.

The guide was created in Solidworks drawing format, allowing it to be used directly alongside the design software. A PDF version can also be easily generated, making the guide practical and straightforward to use. The content is highly visual and supported with modelled example parts and illustrative figures to clarify the concepts.

As a result, the thesis produced a clear and practical guide that supports novice sheet metal designers in their daily work. The guide helps reduce design errors, improve product manufacturability, and facilitate learning by providing essential information in a readily accessible form.

Keywords Sheet metal design, turret punching, bending, flat length, Solidworks
Pages 22 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmät	2
2.1	Ohutlevy.....	2
2.2	Leikkaus.....	2
2.3	Levytyökeskus	3
2.4	Särmäys.....	4
3	Ohutlevytuotteiden suunnittelu	5
3.1	Reiät ja lovet	6
3.2	Taivutukset ja oikaistu pituus	7
3.3	Nurkkahelpotukset	11
3.4	Liittämismenetelmät	12
4	Oppaan suunnittelu, toteutus ja rakenne	14
5	Yhteenveto.....	21
	Lähteet.....	22

Kuvat

Kuva 1.	Lävistys tapahtumasarjana (Mate Precision Technologies, 2023).	4
Kuva 2.	Reikien sijoittaminen lähelle taivutuskohtaa.	6
Kuva 3	Reikäryhmän lävistysmenetelmä levyn muodonmuutoksen vähentämiseksi	7
Kuva 4.	Mallinnettu särmäysterä, jolla varmistettu kappaleen särmättävyys.....	8
Kuva 5.	Kertoimen k graafinen esitys (SFS 5998, 2018).	10
Kuva 7.	Neutraalikaaren ja K-arvon laskentaan liittyvät suureet.	11
Kuva 8.	Erilaisia nurkkahelpotuksia (Matilainen ym., 2011).	12
Kuva 9.	Oppaan etusivu, oikealla sisällysluettelo	15
Kuva 10.	Ensimmäinen sivu.	16
Kuva 11.	Toinen sivu.	16
Kuva 12.	Kolmas sivu.	17
Kuva 13.	Neljäs sivu.	17
Kuva 14.	Viides sivu.....	18
Kuva 15.	Kuudes sivu.	19
Kuva 16.	Seitsemäs sivu.....	19

Kuva 17. Kahdeksas sivu.....	20
Kuva 18. Yhdeksäs sivu.....	20

Taulukot

Taulukko 1. Pyöristettyjä k-arvoja (SFS-5998, 2018)	10
---	----

Kaavat

Kaava 1. Minimilaippakorkeuden laskeminen.....	8
Kaava 2. Oikaistun pituuden laskeminen SFS-5998 mukaan	9
Kaava 3. Korjaavan tekijän v laskeminen, kun avautumiskulma $0^\circ < \beta \leq 90^\circ$	9
Kaava 4. Korjaavan tekijän v laskeminen, kun avautumiskulma $90^\circ < \beta \leq 165^\circ$:	9
Kaava 5. K-kertoimen laskukaava	9
Kaava 6. Neutraaliakselin laskemiseen tarvittava kaava	11
Kaava 7. K-arvon laskeminen, kun venymä on tiedossa	11

1 Johdanto

Ohutlevyrakenteita käytetään laajasti useilla teollisuudenaloilla, kuten koneenrakennuksessa, ajoneuvoteollisuudessa, elektroniikkateollisuudessa sekä rakennusalalla. Ohutlevyrakenteiden etuja ovat niiden keveys, muovattavuus, kustannustehokkuus ja soveltuvuus monipuolisiin valmistusmenetelmiin, kuten laserleikkaukseen, stanssaukseen ja särmäykseen. Ohutlevyrakenteiden ansiosta voidaan valmistaa rakenteita, jotka ovat kevyitä, mutta silti jäykkiä, sekä mekaanisesti kestäviä.

Aloitteleville suunnittelijoille ohutlevyjen suunnittelu voi olla kuitenkin haastavaa, sillä suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon mitoitusrajoitteita, valmistusteknisiä vaatimuksia, sekä standardien mukaisia mittoja. Yleisimmät ongelmat liittyvät esimerkiksi reikien liian pieniin etäisyyksiin, liian pieniin taivutussäteisiin tai siihen, että suunniteltu osa ei ole valmistettavissa ilman lisätyövaiheita. (SFS 5998:2018, ISO 2768) Lisäksi eri valmistusmenetelmien, kuten levytyökeskuksen ja särmäyksen asettamat rajoitteet vaikuttavat siihen, millaisia muotoja ja mittoja rakenteelle voi tehdä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä havainnollistava ja helposti käytettävä työkalu, josta aloitteleva ohutlevyysuunnittelija voi tarkastaa suunnittelussa huomioon otettavia asioita ilman, että tietoa tarvitsee etsiä erillisistä oppaista tai standardeista. Työ on toteutettu Solidworks-ohjelmalla koneenpiirustusmuodossa, jolloin sitä voi käyttää toisella välilehdellä työskennellessä. Lisäksi työ tallennetaan PDF-muotoon, jolloin sen käyttö on hyvin yksinkertaista.

Oppaassa keskitytään levytyökeskuksen ja särmäyksen kannalta huomioon otettaviin suunnittelurajoitteisiin, jotka vaikuttavat osien valmistettavuuteen ja mitoittamisen tarkkuuteen. Tavoitteena on parantaa suunnittelun laatua, vähentää virheitä ja helpottaa ohutlevytuotteiden suunnitteluprosessia niin aloittelevien kuin kokeneempienkin ammattilaisten käytössä.

2 Ohutlevy tuotteiden valmistusmenetelmät

Ohutlevyjen valmistuksessa päävaiheet ovat kappaleen leikkaaminen aihioista ja sen muokkaaminen haluttuun muotoon. Nämä voidaan toteuttaa useammilla erilaisilla menetelmillä. Ohutlevy tuotteiden valmistuksessa on näiden lisäksi muitakin työvaiheita, kuten kierteytys ja jäysteen poisto, mutta leikkaaminen ja haluttuun muotoon saattaminen ovat erityisen tärkeitä tuotteen valmistuksessa. Ohutlevyjen valmistuksessa käytetään yleistoleranssistandardia ISO 2768. (SFS-EN 22768-1:1993)

2.1 Ohutlevy

Ohutlevyt ovat tavallisesti ohuita kuuma- tai kylmävalssattuja teräslevyjä, joita on helppo muovata ja käsitellä. Yleisesti ohutlevyiksi voidaan kutsua 0.5–6 mm levyjä, mutta ohutlevyjen määrittely vaihtelee hyvin paljon lähteen mukaan. Ohutlevyn paksuus vaihtelee sen käyttötarkoituksen ja materiaalin mukaan. Yleensä kylmävalssatut kylmämuovattavat ohutlevyteräkset ovat DC01-nimikkeellä, joka soveltuu hyvin esimerkiksi särmäykseen. (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä & Hultin, 2011)

Vaikka kyse on hyvin ohuesta levystä, sen käyttö on yleistynyt myös raskaassa koneenrakennusteollisuudessa, koska esimerkiksi kennorakenteet ja kotelomaiset ratkaisut mahdollistavat kevyet rakenteet ilman, että jäykkyys kärsii. Eniten käytetyt materiaalit ovat teräs ja alumiini, joita voidaan seostaa monilla eri tavoilla käyttötarkoituksen mukaan. Materiaalivalinta tehdään käyttöympäristön, muovattavuuden, pintavaatimusten ja kustannusten perusteella. (Matilainen ym., 2011)

2.2 Leikkaus

Ohutlevy tuotteiden valmistus alkaa yleensä aihion leikkaamisella. Aihioista leikataan halutun kokoinen ja muotoinen kappale. Leikkaaminen jakautuu termiseen ja mekaaniseen leikkaamiseen. Laserleikkaamisen myötä termisen leikkaaminen on yleistynyt. Laserleikkaamisella saadaan enemmän mahdollisuuksia kappaleen muotoiluun verrattuna mekaaniseen leikkaamiseen.

Näiden lisäksi muita leikkausmenetelmiä ovat poltto-, plasma-, ja vesisuihkuleikkaus, mutta ne toimivat paremmin suurilla ainevahvuuksilla. Mekaaninen leikkaaminen on usein edullisin ja nopein menetelmä, kun halutaan leikata ja lävistää perusmuotoja etenkin, kun käytössä on ohutta materiaalivahvuutta. Kun laserleikkaamisen ja mekaanisen

leikkaamisen yhdistää, saadaan leikkausprosessista todella nopea ja joustava. (Matilainen ym., 2011)

2.3 Levytyökeskus

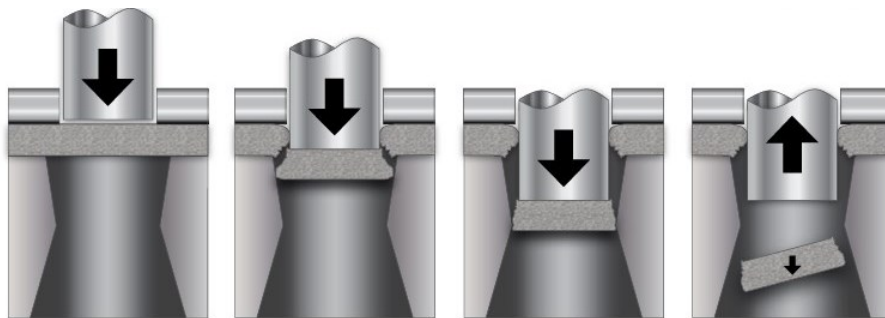
Levytyökeskus on yleisin leikkaustyökalu teollisuudessa. Peruslevytyökeskuksella voidaan nakertaa, lävistää ja matalia muovauksia ja taivutuksia. Leikattavat ja lävistettävät muodot ovat hyvin riippuvaisia siitä, mitä työkaluja on käytettävissä. Työkalujen valmistus on oma erikoisalansa, joten työkalut levytyökeskukseen tilataan yleensä eri yritykseltä kuin keskus. Leikkaaminen tapahtuu siten, että levy kiinnitetään keskuksessa oleviin kynsiin, ja levy liikkuu vaakatasossa. Työkalu tekee halutut lävistävät tai muovaavat iskut, joita voi olla 500–1000 minuutissa. Nopeuteen vaikuttavat levyn siirtonopeus ja siirtojen pituus. Levyn nopeus on 40–80 m/min ja paikoitustarkkuudessa päästään $\pm 0,1$ - $\pm 0,15$ mm:n tarkkuuksiin. Leikattu kappale jätetään mikrokiinnikkeillä kiinni levyyn, jos levytyökeskuksessa ei ole materiaalin purkua automaattisesti. Näistä kiinnikkeistä kappaleet saadaan helposti ravisteltua irti ilman erillisiä työkaluja. (Matilainen ym., 2011)

Levytyökeskuksella lävistäminen on erittäin kustannustehokas tapa tuottaa aihiota ja 0,5–3 mm paksuusalueella usein myös se kustannustehokkain työtapa. Levytyökeskus lävistää levystä haluttuja kappaleita mekaanisesti lyömällä valittujen työkalujen avulla. Levytyökeskus tekee lävistyksen lisäksi kierteet, muovaukset, kupit, jäykisteet ja senkkaukset samassa työvaiheessa. (Stermet Oy, n.d.)

Levytyökeskukset ovat loistavia silloin, kun puhutaan suurien sarjojen tuotannoista, mutta sopivat myös hyvin pienten sarjakokojen ja prototyypin tekemiseen. Hitain vaihe levytyökeskuksen käyttämisessä on tällin teko, eli se kun kone valmistellaan uutta työkorttia varten. Tähän kuuluvat esimerkiksi työkalujen vaihtamiset, ohjelman lataaminen ja valmistelu, sekä testauksen tekeminen. (Matilainen ym., 2011)

Levytyökeskus käyttää lävistävää työstömenetelmää. Tämä tarkoittaa, että ensin lävistävä työkalu painetaan levyn pintaan niin, että irrottaja koskettaa levyä, jonka jälkeen pistinosa alkaa painaa levyä vastinkappaleena olevan tyynyn aukosta läpi. Materiaalin murtolujuuden ylittyessä, ylijäävä pala murtuu irti levystä. Tämän jälkeen palautinjousi palauttaa pistinosan takaisin ylös (Kuva 1) Yksi iskutapahtuma on nopea tapahtuma, parhaimmillaan kone voi lyödä yli 1000 iskua minuutissa. Käytettävä voima vaihtelee tavallisesti 300kN molemmilla puolilla. Työkaluissa on erilaisia muotoja, jotka vaihtelevat työkaluvalmistajien mukaan. Yleisimmät muodot ovat suorakulmioita, neliöitä ja ympyröitä. (Matilainen ym., 2011, Mate Precision Technologies, 2023)

Kuva 1. Lävistys tapahtumasarjana (Mate Precision Technologies, 2023).



2.4 Särmäys

Särmäyksestä puhuttaessa metalliteollisuudessa tarkoitetaan levyn taivuttamista siihen tarkoitettulla laitteella (Hietikko & Suhonen, 2010,11). Laitetta kutsutaan särmäyspuristimeksi. Särmäyspuristimia on olemassa erikokoisia ja -tehoisia käyttötarkoitusten mukaan. Työlevydelteään ne ovat yleisimmin 2–4 m (Matilainen ym., 2011, 240). Särmäyspuristimissa on ylä- ja alatyökalu, sekä takavasteet. Ylätyökalua kutsutaan painimeksi ja alatyökalua vastimeksi. Alatyökalu kiinnitetään särmäyspuristimessa olevaan alapalkkiin ja ylätyökalu yläpalkkiin. Takavasteet säädetään oikean etäisyyden päähän taivutuskohdasta halutun särmän mukaisesti. Taivutettava kappale laitetaan alaterän päälle ja kappale työnnetään takavasteisiin kiinni. Särmäysliike tapahtuu niin, että puristin painaa ylätyökalun alas, kun alatyökalu pysyy paikallaan. Särmättävä kappale muotoutuu juuri haluttuun kulmaan ylä- ja alatyökalun välissä. (Laakko 2016, 11.)

Särmäystä suunniteltaessa yksi tärkeimmistä tekijöistä on taivutussäde. Taivutussäteellä ei useimmiten ole kovin suurta merkitystä tuotteen toiminnan kannalta, mutta pienemmät taivutussäteet aiheuttavat aina murtumisvaaran levyn taivutuskohdassa. Suurin venymä ja murtumisriski on levyn ulkopinnalla. Tämän vuoksi liian pieniä taivutussäteitä tulee välttää. (Matilainen ym. 2011, 248–249).

Standardi SFS 5998 esittää pienimmät taivutussäteet eri materiaalien ja levynpaksuuksien mukaan. Sen perusteella S235JR-, S275JR- ja S355J2 -laadut ovat erityisen hyvin soveltuvia ohutlevyjen taivutukseen. Useimmille materiaaleille minimitaivutuksen sisäsäteenä voidaan pitää aineenvahvuutta. Särmättäviä tuotteita suunniteltaessa taivutussäde olisi hyvä pitää samana kaikille osassa oleville taivutuksille, jotta välttyttäisiin turhilta työkalujen vaihtamisilta ja asetuksien teolta. (SFS 5998:

K-kerroin on toinen todella tärkeä asia, joka on huomioitava, kun kyseessä on särmättävä kappale. Tämä johtuu siitä, että kun levyä taivutetaan, sisäreuna puristuu ja ulkoreuna venyy. Tämän takia jossain kohti levyä on neutraalitaso, joka ei veny eikä puristu. K-kerroin kertoo neutraalitasoin sijainnin levyssä. Jotta särmätystä kappaleesta tulee juuri oikean mittainen, K-kertoimen avulla voidaan määrittää kappaleen tarkat mitat leikkaamista varten. Jotta saadaan oikeasti tarkka k-arvo, täytyy suorittaa taivutuskokeita oikean tuloksen saamiseksi. (Matilainen ym., 2011)

3 Ohutlevytuotteiden suunnittelu

Ohutlevytuotteiden valmistamisessa jo suunnitteluvaiheessa on suunnittelijan osattava ottaa huomioon valmistusteknisiä rajoitteita. Hyvä suunnittelija osaa ottaa huomioon myös valmistusta helpottavia asioita. Ohutlevysuunnittelussa yhdistyykin materiaali- ja valmistustekninen ymmärrys. Esimerkiksi valmistuksessa tarvittavat työkalut ja vaiheet tulisi minimoida niin, että kaikkien taivutusten säteet olisivat samoja. Yleisesti olisi hyvä, jos sisäpuolinen säde vastaisi vähintään materiaalin paksuutta. Eri säteitä käytettäessä samassa tuotteessa, vaatii enemmän työkaluja, jonka vuoksi prosessi vaikeutuu ja tuotteen kokonaishinta kasvaa huomattavasti.

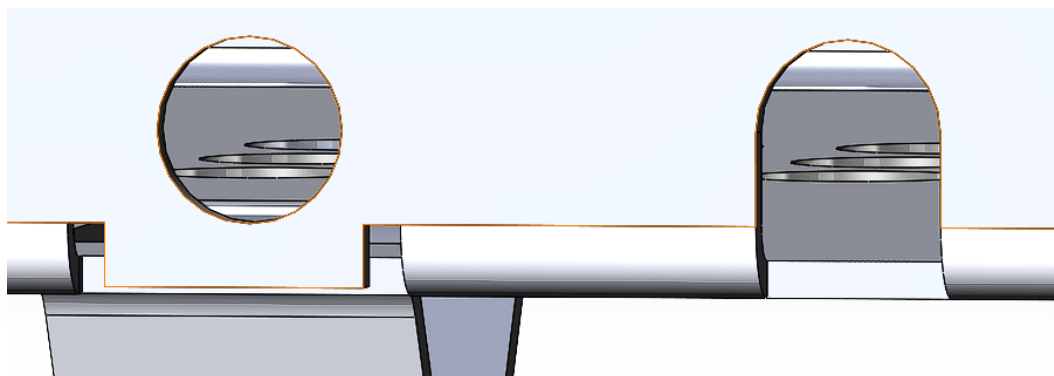
Ohutlevytuotteiden suunnittelu koostuu monista eri osa-alueista, jotka suunnittelijan täytyy hallita. Materiaalin ominaisuuksiin, valmistusmenetelmiin, toleranssivaatimuksiin sekä standardeihin. Jotta lopputuotteeksi saataisiin toimiva, kustannustehokas, sekä helposti valmistettava tuote, täytyy suunnittelijan ymmärtää, millaisiin geometrisiin ja valmistusteknisiin asioihin täytyy kiinnittää huomiota. Esimerkiksi taivutuksessa, leikkauksessa ja rei'ityksessä on vähimmäismittoja sekä etäisyyksiä, jotka rajoittavat muotojen vapaata suunnittelua. (Matilainen ym., 2011)

Standardien avulla varmistetaan, että eri valmistajien tekemät osat olisivat yhteensopivia keskenään, ja tuotannon laatu täyttää sekä viranomaismääräysten, että asiakkaiden vaatimukset. Ohutlevyteollisuudessa käytetyimpiä standardeja ovat mm. SFS-, EN-, ja ISO-standardit, jotka määrittävät toleranssit, taivutussäteet, materiaalien ominaisuudet, sekä vaatimukset laadulle. Standardi SFS-EN-22768 määrittelee yleiset mitta- ja muototoleranssit, kun taas SFS-EN 5998 sovelletaan teräsohutlevystä taivutetuille kappaleille. Suunnittelurajoitteiden ja standardien tunteminen on olennainen osa suunnittelijan tietotaitoa, ja ne muodostavat perustan toimivalle ja kestäväälle ohutlevytuotteelle. Suunnittelusta valmistukseen ja lopulliseen käyttöön.

3.1 Reiät ja lovet

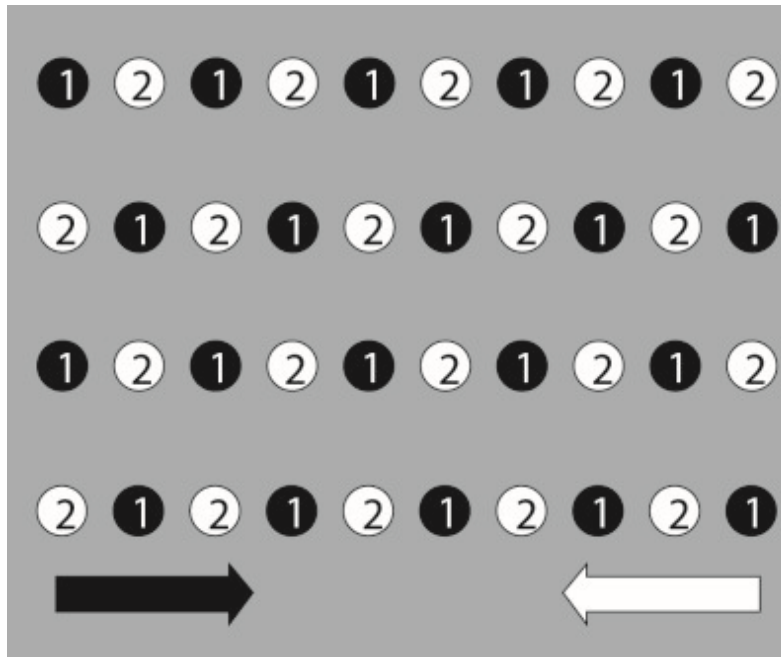
Yleensä reiitys tapahtuu leikkaamalla (laserleikkaus, plasmaleikkaus) tai lävistämällä levytyökeskuksella. Suunnitteluvaiheessa suunnittelijan täytyy miettiä tarkkaa, mihin kohtaan reikiä sijoittaa, sillä reiät eivät saa olla liian lähellä taivutuskohtaa, jotta reiät eivät repeä tai muuta muotoaan, kun ne taivutetaan. Yleissääntönä voidaan pitää, että reiän ulkoreunan ja taivutuksen sisäsäteen välissä tulisi olla vähintään 2 kertaa aineenvahvuuden verran ehjää levyä. Kun reikää mitoitetaan taivutuksen ulkoreunasta, reiän ja taivutuksen etäisyys tulisi olla vähintään 3 kertaa aineenvahvuuden verran. (Matilainen ym.2011) Jos reikä on saatava hyvin lähelle särmää, on silloin mahdollista ”katkaista” ja tehdä lovilleikkaus. (Kuva 2.)

Kuva 2. Reikien sijoittaminen lähelle taivutuskohtaa.



Reikäryhmän välillä tulee myös olla vähintään 2 kertaa aineenvahvuuden verran reikien ulkoreunojen välillä. Kun suunnittelija päätyy tekemään osaan usean reiän reikäryhmän, on hyvä tietää, että reiän ympärillä oleva materiaali venyy alaspäin. Muutaman reiän kohdalla vaikutus on hyvin vähäistä, mutta reikien määrän kasvaessa vetojännitys ja puristus alkavat kasautua, joka voi yhdessä aiheuttaa levyn näkyvää muodonmuutosta. Yksi tapa tällaisen ilmiön vähentämiseen on lävistämismuotoon lävistää ensin joka toinen reikä, ja sen jälkeen palata tekemään loput reiät (Kuva.3). Tällä menetelmällä katkaistaan jännityksen ja puristuksen kertyminen, jota syntyy silloin, kun peräkkäiset lävistykset tehdään lähekkäin sekä samaan suuntaan. Tämän lisäksi ensimmäinen sarja reikiä vaimentaa toisessa vaiheessa syntyvästä muodonmuutoksesta, mikä taas pienentää levyn kokonaisvääristymää. (Mate Precision Technologies)

Kuva 3 Reikäryhmän lävistysmenetelmä levyn muodonmuutoksen vähentämiseksi (Mate Precision Technologies, 2023).



Mallinnusvaiheessa reikien mitoituksessa kannattaa huomioida mahdolliset tulevat muutokset kappaleeseen. Reikä kannattaa mitoittaa sen mukaan, mikä sen toimivuuden kannalta on oleellista. Kun tämä huomioidaan suunnittelussa, geometriaa muuttaessa vältetään mahdollisilta huolimattomuusvirheiltä. (Matilainen ym., 2011)

3.2 Taivutukset ja oikaistu pituus

Taivutukset ovat keskeinen osa ohutlevytekniikkaa, ja suunnittelussa on paljon huomioitavia asioita, jotka vaikuttavat suoraan osan tarkkuuteen ja kokoonpantavuuteen. Kun levyä taivutetaan, sen ulkopinta venyy ja sisäpinta puristuu, minkä seurauksena levyn todellinen pituusmitta muuttuu. Jo suunnitteluvaiheessa taivutettavaa kappaletta, pitää huomioida tärkeät tekijät, kuten taivutussäde, laippojen korkeudet sekä kappaleen oikaistu pituus. Tästä syystä suunnittelijan on tärkeää osata laskea oikaistu pituus, joka kertoo levyn alkuperäisen mitan ennen taivutusta.

Taivutussäde ohutlevytuotteen valmistuksessa määritetään levymateriaalin, työtavan, sekä tuotteelta vaadittujen ominaisuuksien mukaan. Taivutussäteen koolla on väliä ulkopuolen

venymään. Mitä pienempi, sitä suurempi venymä ulkopuolella ja tämä aiheuttaa murtumisen vaaran. Taivutuksen sisäsäteeksi tulisi suunnitteluvaiheessa valita sellainen arvo, joka löytyy tuotteen valmistajan särmäyskoneen ylätökaluvalikoimasta. (Matilainen ym., 2011, Syrjäaho, T., 2021)

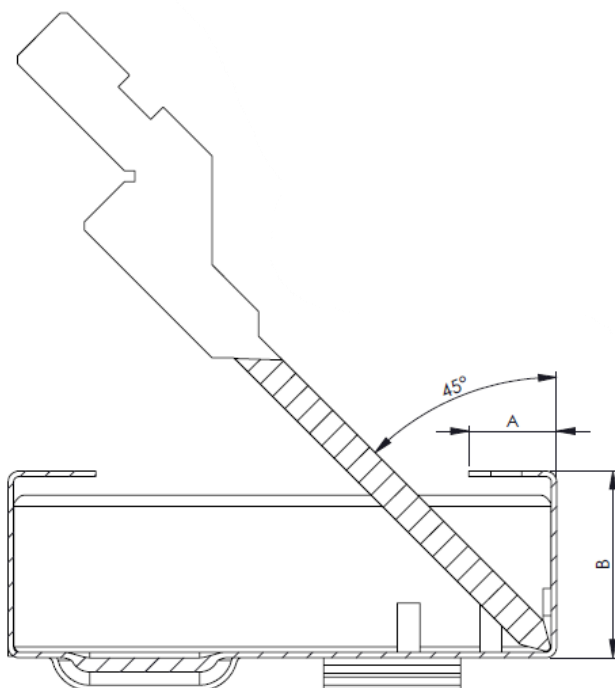
Minimilaippakorkeus, eli pienimmän mahdollisen taivutettavan reunan korkeus voidaan laskea käyttämällä kaavaa:

Kaava 1. Minimilaippakorkeuden laskeminen

$$b = r_s + 2s.$$

missä r_s on sisäsäde ja s on aineen vahvuus. Särmän mittoihin vaikuttaa myös konekohtaiset rajoitukset (Kuva 4.). Sen vuoksi suunnitteluvaiheessa olisi hyvä tietää, millä konekannalla tuote valmistetaan. (Matilainen ym. 2011)

Kuva 4. Mallinnettu särmäysterä, jolla varmistettu kappaleen särmättävyys.



Oikaistun pituuden laskemiseksi olisi hyvä tehdä taivutuskokeita, mutta aina tämä ei ole mahdollista tuotekehitysvaiheessa. Tällöin standardin SFS 5998 mukaan määritetty oikaistu pituus on paras arvio, jonka kappaleen oikaistusta pituudesta voidaan tehdä. SFS

5998 sisältää laskentakaavat oikaistun pituuden määrittämiseen (Kaava 2., 3., 4.). (HAMK Unlimited Professional, Syrjäaho, T., 2021)

Kaava 2. Oikaistun pituuden laskeminen SFS-5998 mukaan

Oikaistu pituus = $a + b + v$, missä a ja b ovat särmät, ja v on korjaava tekijä

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

Kaava 3. Korjaavan tekijän v laskeminen, kun avautumiskulma $0^\circ < \beta \leq 90^\circ$

$$v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left(r + \frac{5}{2} \cdot k \right) - 2(r + s)$$

Kaava 4. Korjaavan tekijän v laskeminen, kun avautumiskulma $90^\circ < \beta \leq 165^\circ$:

$$v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left(r + \frac{5}{2} \cdot k \right) - 2(r + s) \cdot \tan \frac{180^\circ - \beta}{2}$$

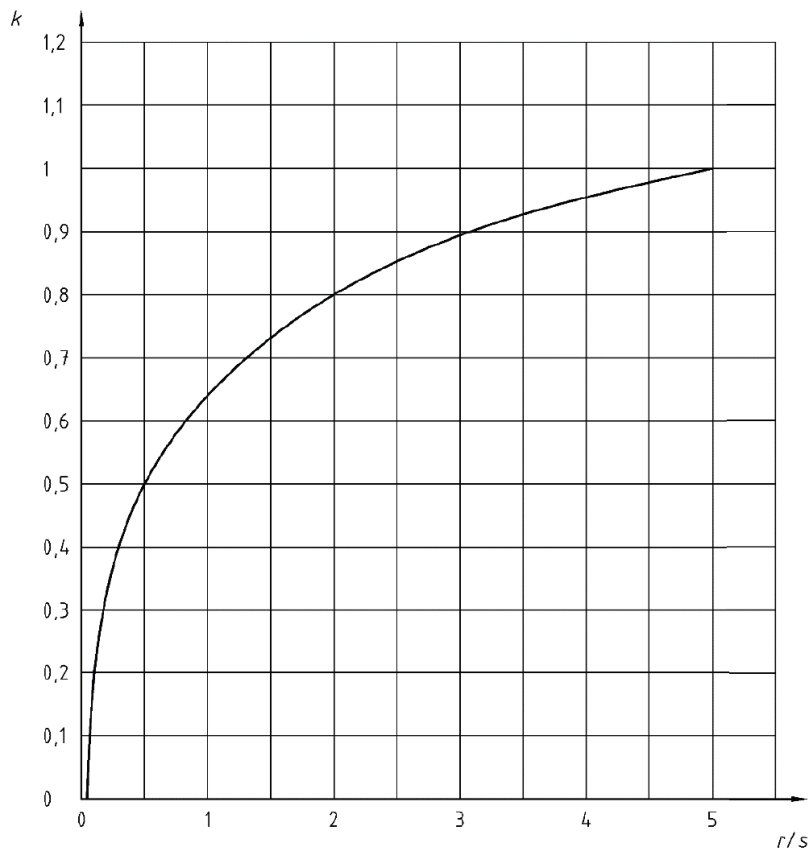
Jotta korjaava tekijä voidaan laskea, tarvitaan k -kerroin, joka ilmoittaa neutraaliakselin paikan poikkeaman. (Kaava 5.)

Kaava 5. k -kertoimen laskukaava

$$k = 0,65 + \frac{1}{2} \lg \frac{r}{s}$$

k -kerroin voidaan valita myös graafisesta esityksestä (Kuva 5), joka tulee edellä mainitusta kaavasta.

Kuva 5. Kertoimen k graafinen esitys (SFS 5998, 2018).



Jos kappaleella ei ole erityisiä tarkkuusvaatimuksia, voidaan kertoimen arvoina käyttää taulukon 1 mukaisia pyöristettyjä arvoja.

Taulukko 1. Pyöristettyjä k -arvoja (SFS-5998, 2018)

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

Silloin, kun on mahdollista suorittaa taivutuskoe, saadaan mitattua tarkat venymät ja tämän avulla voidaan laskea tarkka k -arvo. Taivutuskokeen voi tehdä esimerkkikappaleella, esimerkiksi pieni levy kokoa 50x50 ja eri ainevahvuuksilla. Särmäyksen jälkeen voidaan mitata venymä.

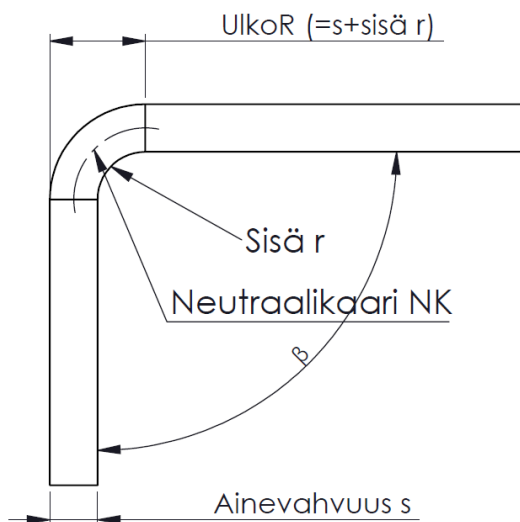
Seuraavia kaavoja voi käyttää, kun taivutuskokein laskettu venymä on tiedossa:

Kaava 6. Neutraaliakselin laskemiseen tarvittava kaava

$$Nk = (2 \cdot UlkoR) - V, \text{ jossa } (V=\text{venymä})$$

Kaava 7. K-arvon laskeminen, kun venymä on tiedossa

$$K - \text{arvo } k = \frac{-r + \left(\frac{Nk}{\pi \cdot \frac{\beta}{180}} \right)}{s}$$



Kuva 6. Neutraalikaaren ja K-arvon laskentaan liittyvät suureet.

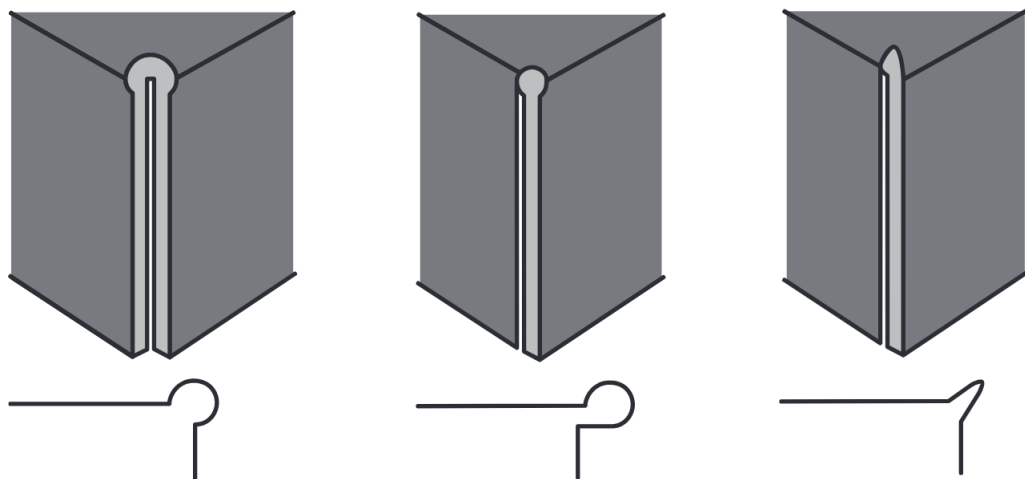
3.3 Nurkkahelpotukset

Jos levyaihion reuna taivutetaan ilman nurkkahelpotusta, taivuttaminen vetää materiaalia myös taivutuksen viereisiltä alueilta, mikä aiheuttaa epämiellyttävää muodonmuutosta, ja voi jopa tehdä repeämiä levyyn. Tästä syystä nurkkahelpotusten tekeminen on tärkeä osa ohutlevy suunnittelussa.

Helpotus on erityisen tärkeä osissa, jotka altistuvat tärinälle tai toistuvalla rasituksella, sillä ilman helpotusta taivutettujen osien pienet repeämät voivat kasvaa ajan myötä ja johtaa murtumiseen. Pyöristettyjen helpotusten käyttö kulmikkaiden sijaan, vähentää repeämien ja halkeamien leviämiskäyttä. Hyvin suunniteltu taivutushelpotus tekee osasta myös mekaanisesti vahvemman ja mittatarkemman.

Nurkkahelpotuksen lisääminen kappaleeseen estää repeämiä ja muodonmuutoksia, mitä syntyy taivuttaessa kappaletta. Tämä helpottaa valmistusta ja tekee tuotteesta kestävämmän, mutta myös visuaalisesti siistimmän. Nurkkahelpotuksilla saadaan parannettua muodon tarkkuutta ja sillä helpotetaan särmäyspuristimen käyttöä. Helpotus antaa valmistajalle liikkumavaraa, mikä helpottaa asetuksia ja vähentää virheitä. Tällaiset on erityisen hyödyllisiä sarjatuotannossa, jossa ajansäästö on merkittävä esimerkiksi kustannusten valossa. (Protolabs, 2022)

Kuva 7. Erilaisia nurkkahelpotuksia (Matilainen ym., 2011).



3.4 Liittämismenetelmät

Ohutlevyjen yhteen liittämiseen on monenlaisia menetelmiä riippuen materiaalista, levyn paksuudesta, rakenteen vaatimuksista sekä kuormituksesta. Liitoksen tulee olla mekaanisesti luja ja mittatarkka sekä sen tulee mahdollistaa osien huollattavuus ja kokoonpantavuus. Liittämismenetelmän valintaan vaikuttavat lisäksi kustannukset, tuotettavien kappaleiden määrä, liitoksen sijainti sekä käytössä olevat valmistusmenetelmät. Koska ohutlevyt ovat nimensä mukaan ohuita, ovat ne alttiita

muodonmuutoksille, joten liitostapoina suositaan sellaisia, jotka eivät vaadi merkittävää lämpövaikutusta tai paksuja liitospintoja.

Oppaassa on esitetty muutamia erityyppisiä liittämismenetelmiä, joita ovat ruuviliitos, hitsaus, niittaus, puristusliitos (toksaus), ja tappiliitos. Ruuviliitos on yleinen ja hyvin purettavissa oleva liitosmenetelmä. Ohutlevyissä ruuviliitos toteutetaan usein puristettavilla kierre-elementeillä, kuten puristemuttereiden, niittimuttereiden tai puristettavien kierreholkkien avulla. Silloin kun levyn paksuus ei riitä perinteiseen kierteyttämiseen, puristeruuvit ovat hyvä ratkaisu. Toinen vaihtoehto on käyttää vetokierrettä, jossa reiän ympärillä olevaa materiaalia venytetään siten, että vedettyyn materiaaliin syntyy paksumpi kierrepinta, kuin levyn oma paksuus. Tällä tavalla on mahdollista saada kierre ilman lisäosia. (PEM, 2022.)

Jos rakenteelta vaaditaan erityistä lujuutta tai toistuvaa purkamista, käytetään ruuvi-mutteriliitosta. Tässä menetelmässä osat kiinnitetään toisiinsa ruuvin ja mutterin avulla, jolloin kuormitus jakaantuu tasaisemmin ja liitos kestää sekä veto- että leikkausvoimia. Ruuvi-mutteriliitos vaatii pääsyn molemmille puolille rakennetta, joten se tulee huomioida suunnittelussa. (Böllhoff,(n.d); PEM, 2022)

Hitsaus on pysyvä liitosmenetelmä, jolla saavutetaan luja ja tiivis rakenne. Ohutlevytekniikassa käytetyimpiä menetelmiä ovat MIG/MAG-hitsaus ja TIG-hitsaus. 5 mm paksuisilla levyillä, MIG/MAG-hitsaus on kaikkein sopivin hitsausprosessi. Alle 3 mm levyillä, joudutaan rajoittamaan lämmöntuontia, jotta muodonmuutoksia saadaan pienennettyä. Pistehitsaus on myös laajasti käytetty hitsausmenetelmä. Pistehitsausta tehtäessä on hankalaa saada kappaleet pysymään paikoillaan sitä tehdessä, joten suunnittelijan on hyvä mallintaa esimerkiksi paikoitusnastat, jotta osat pysyvät oikeilla paikoilla pistehitsausta tehdessä. (Matilainen ym., 2011)

Puristusliitos, eli arkikielellä toksaus, on menetelmä, jossa puristetaan levyjä yhteen käyttäen pistintä ja tyynyä, jolloin levyt muovautuvat synnyttäen lukittavan liitoksen. Tällä menetelmällä voidaan saada lujuudeltaan 35–100 % pistehitsaamalla tehdyn liitoksen lujuudesta. Materiaalinpaksuuden tulee olla väliltä 0,2–4 mm riippuen käytössä olevasta laitteistosta. Puristusliitos on kustannustehokas ja siinä on siisti työnjälki, sillä se ei vaadi liitettäviltä materiaaleilta esivalmisteluja tai jälkityöstöä, eikä liittämisen synny likaa, jätteitä tai metallilastuja. (Matilainen ym., 2011)

Yleisin niittiliitostyyppi on sokkoniittaus, eli pop-niittaus. Niittaus sopii hyvin käytettäväksi esimerkiksi silloin, kun rakenne ei kestä hitsausta tai liitos tehdään metallin ja epämetallin välille. Niittiliitos on pysyvä, eikä sitä voida purkaa esimerkiksi huoltotöitä varten. Sokkoniittit

vaativat liitettäviin materiaaleihin esiporatut reiät. Sokkoliitosten hyvä puoli on se, että ne voidaan asentaa yhdeltä puolelta liitosta, joten sitä voidaan käyttää hankalammissakin paikoissa. (Matilainen ym., 2011)

Silloin, kun kappaleella ei ole erityisiä lujusvaatimuksia, voidaan käyttää ns. tappiliitosta. Liitettäviin osiin tehdään tappireikä liitos, jolloin osat voidaan liittää toisiinsa ilman erillisiä lisäosia tai aineita.

4 Oppaan suunnittelu, toteutus ja rakenne

Idea oppaan tekemiseen lähti siitä, kun olin ensimmäisessä harjoittelussa. Harjoittelussa olin tekemisissä ohutlevysuunnittelun parissa ja huomasin, että suunnitteluun liittyi paljon erilaisia rajoitteita, jotka pitäisi muistaa. Ohjaajan kanssa mallinsimme muistikappaleen, mihin teimme esimerkiksi reikien mittoja, sekä muita hyödyllisiä tietoja. Tämä helpotti kovasti, kun oli helposti saatavilla oleva työkalu, eikä tarvinnut alkaa lukemaan erillisistä materiaaleista tietoa. Siitä sain idean, että tällainen laajempi opas voisi olla hyödyllinen aloitteleville ohutlevysuunnittelijoille.

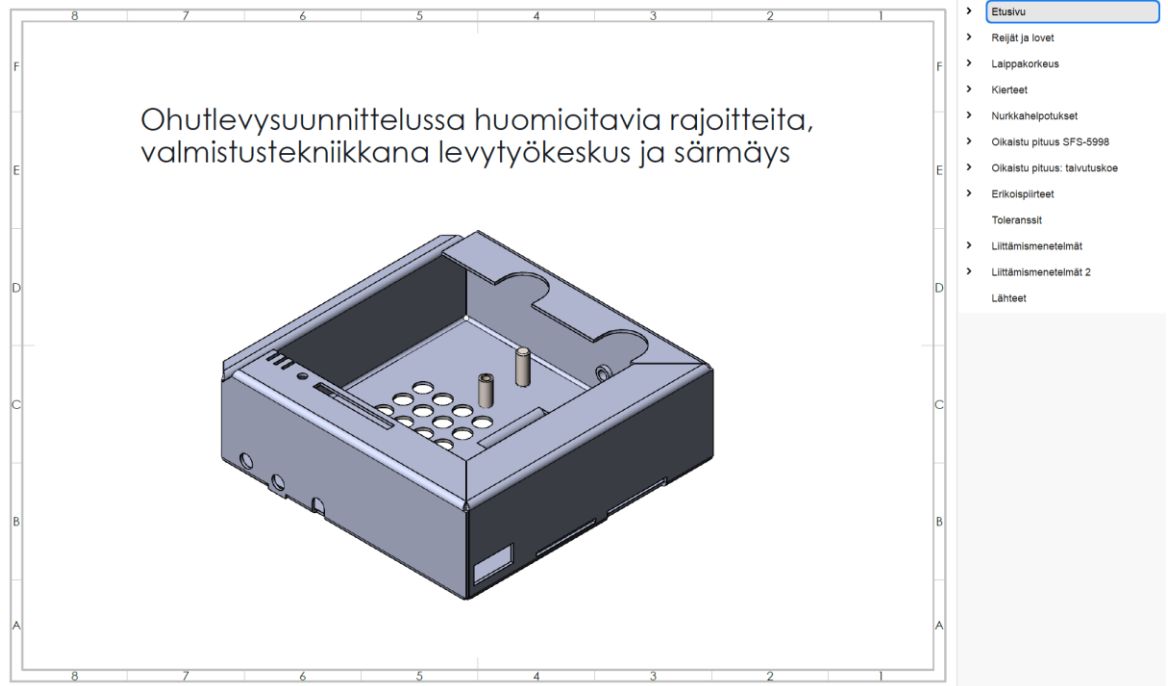
Tavoitteena oli saada tehtyä helposti käytettävä ja havainnollistava työkalu, johon on kerätty yhteen keskeisiä ohutlevysuunnitteluun sisältyviä rajoitteita, standardeja sekä valmistusteknisiä vaatimuksia. Oppaan sisältö pohjautuu opinnäytetyön teoriaosuudessa kerättyyn tietoon, sekä kokeneen ohutlevysuunnittelija Valto Hekkanan kokemuseräiseen tietoon.

Oppaan toteutus lähti liikkeelle tiedon keräämisestä, mitä kaikkea suunnittelijan on hyvä tietää. Hyvin äkkiä kävi selväksi, että oppaan aihepiiriä on syytä rajata, sillä ohutlevyjen valmistustekniikoita on valtavasti ja jokaisesta niistä voisi laatia samanlaisen oppaan. Tämän vuoksi päätin keskittyä oppaassa kahteen yleisimmin käytettyyn valmistusmenetelmään: Levytyökeskukseen ja särmäykseen.

Seuraavaksi mallinsin laatikkomaisen esimerkkikappaleen, johon tein erilaisia piirteitä, joita pystyin käyttämään esimerkkinä oppaassa. Oppaan edetessä, tein vielä toisen esimerkkikappaleen, sillä muuten yhteen kappaleeseen olisi tullut liian paljon tavaraa. Tämän jälkeen lähdin rakentamaan oppaan sisältöä, ja kerätyn tiedon avulla opas alkoi rakentumaan loogiseksi ja visuaalisesti mukavaksi kokonaisuudeksi.

Opas on toteutettu Solidworksilla koneenpiirustusmuodossa, jotta se vastaisi mahdollisimman hyvin ohutlevyosuunnittelijan työympäristöä. Koneenpiirustusmuoto mahdollistaa tiedon esittämisen visuaalisesti, käyttämällä mallinnettua esimerkkikappaletta hyväksi. Opasta voidaan käyttää esimerkiksi Solidworksin taustalla tai PDF- muodossa, jolloin sitä on helppo selata pääotsikoita klikkaamalla.

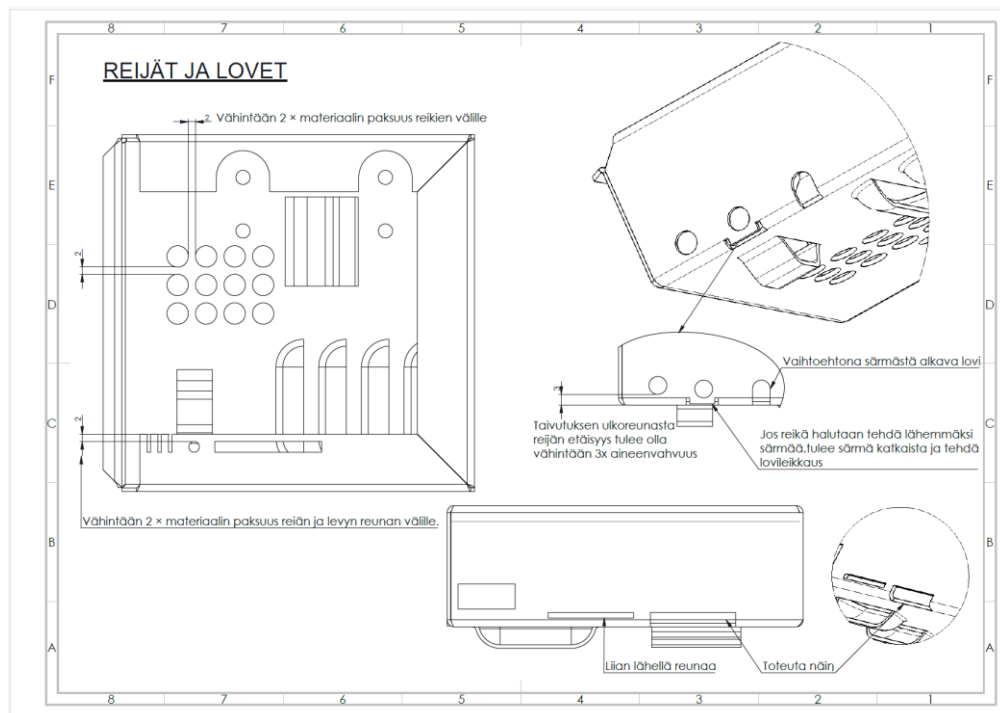
Kuva 8. Oppaan etusivu, oikealla sisällysluettelo



Opas on rakennettu loogiseksi kokonaisuudeksi, josta suunnittelijan on helppo katsoa ohutlevyosuunnitteluun liittyvää tietoa. Sisältö on jaettu useaan pääosaan, joista kukin käsittelee ohutlevyosuunnittelun kannalta olennaista aihealuetta. Sisällysluettelo kuvassa 9. Jokainen osio esitetään omalla piirustuslehdellään eli sheetillä.

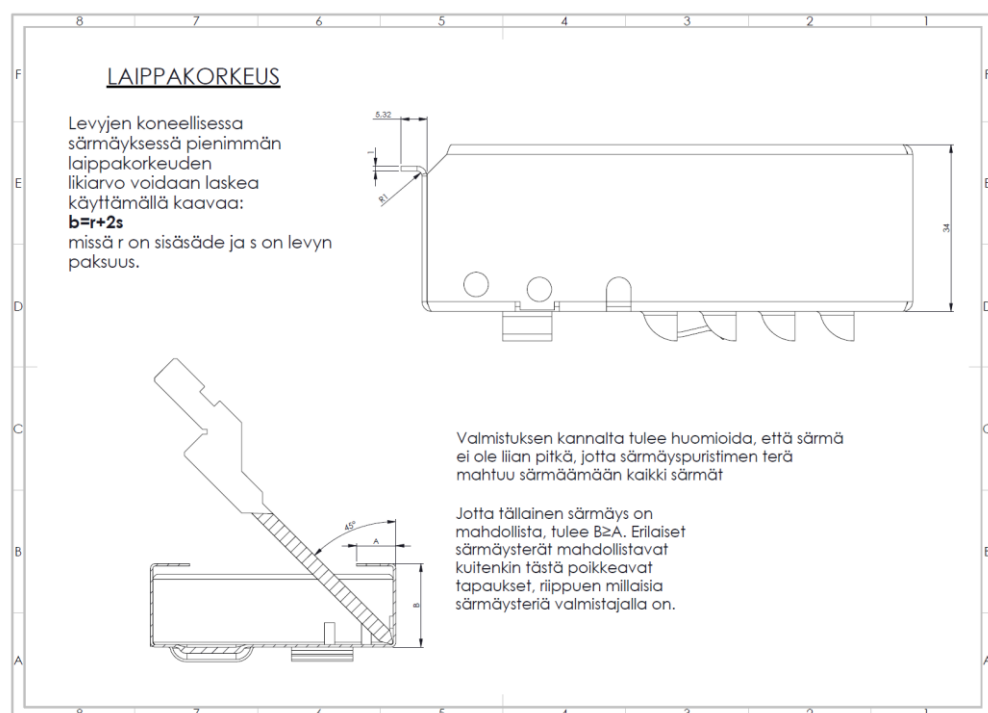
Ensimmäinen osio (Kuva 10.) käsittelee reikiä ja lovia, jotka ovat olennainen osa ohutlevyosien piirteistä. Osiossa on esitetty reikien vähimmäisetäisyyksiä suhteessa reunaan ja taivutukseen, sekä vaihtoehtoisia esimerkkejä reikien toteuttamiseksi, jos ne on jostain syystä saatava suositeltua etäisyyttä lähemmäksi.

Kuva 9. Ensimmäinen sivu.



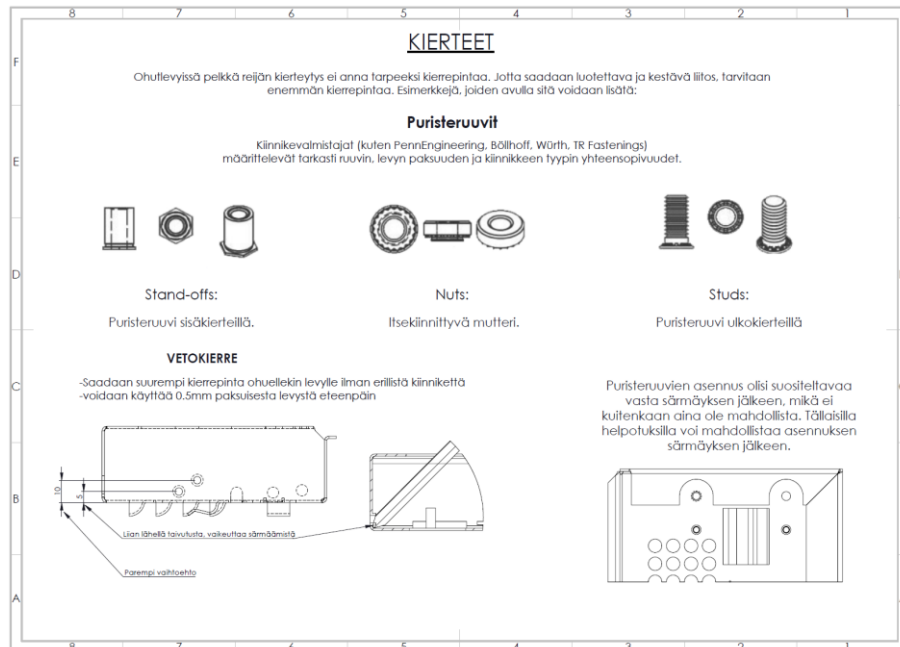
Toisessa osiossa (Kuva 11.) on ohjeita laippakorkeuden määrittämiseen. Ohjeessa on pienimmän laippakorkeuden määrittämiseen tarvittava kaava, sekä huomioita siitä, että särmä ei saa olla liian pitkä, jotta särmäyspuristin mahtuu särmäämään kaikki särmät. Tällaisia huomioita ei välttämättä aloitteleva suunnittelija tule ajatelleeksi.

Kuva 10. Toinen sivu.



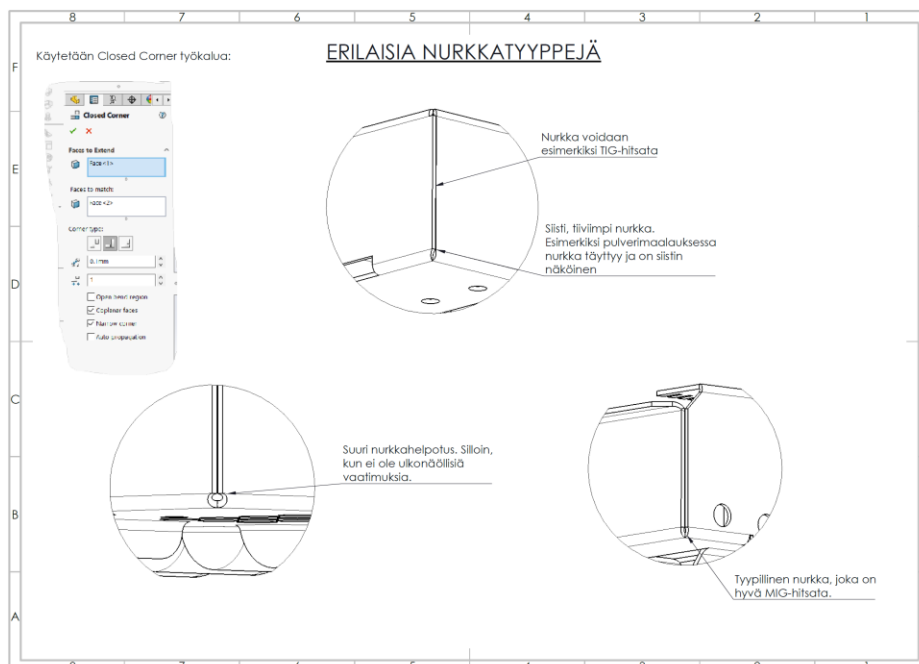
Kolmannessa osiossa (Kuva 12.) käsitellään kierteitä. Sivulla on esitetty erilaisia puristettavia kierre-elementtejä, kuten studit, nutsit ja stand-offsit, sekä vetokierteen mahdollisuudesta. Lisäksi sivulla on pieni knoppitieto ruuvien asennuksesta ja kuinka sitä voi huomioida suunnittelussa.

Kuva 11. Kolmas sivu.



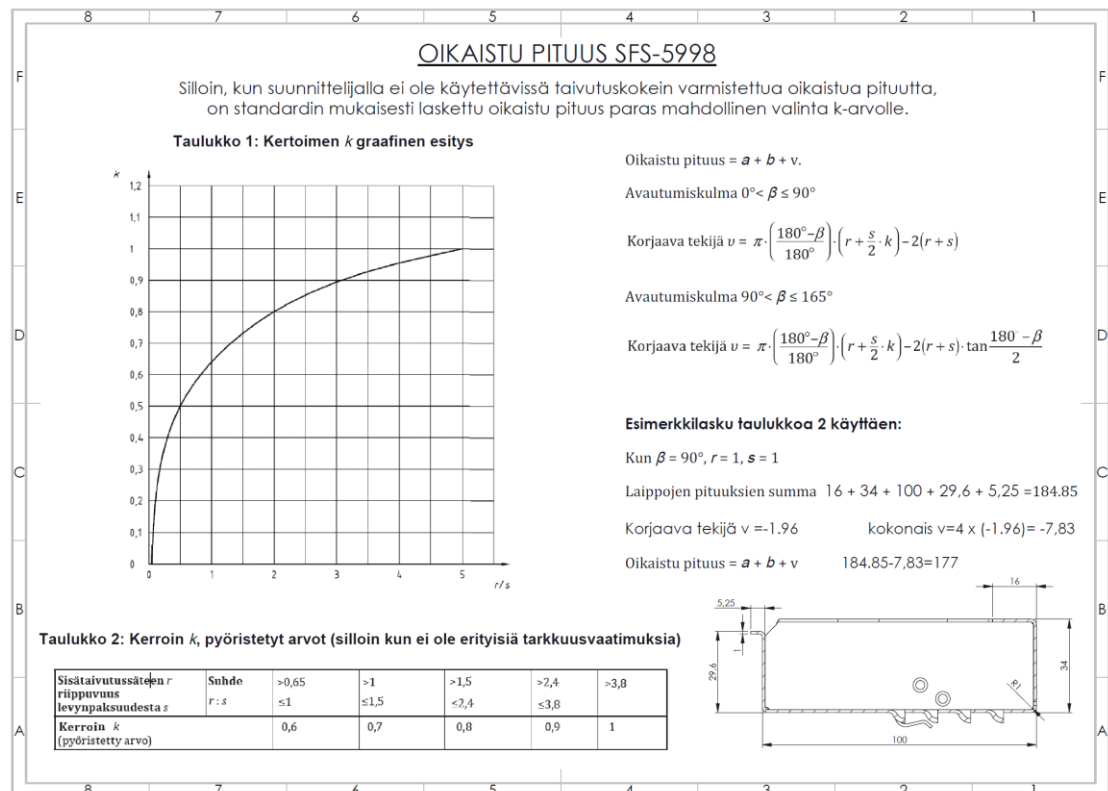
Sivulle neljä (Kuva 13.) on kerätty erilaisia nurkkatyyppejä, ja niiden käyttötarkoituksia. Sivulla on myös kuva työkalusta, jolla nurkkia voidaan työstää erilaisiksi.

Kuva 12. Neljäs sivu.



Oikaistu pituus on monelle punainen vaate, ja se tuntuu usein monimutkaiselta ja vaikealta. Halusin tehdä oppaaseen mahdollisimman laajan ja helposti ymmärrettävän tietopaketin oikaistun pituuden laskemiseen. Jaoin tämän kahteen osaan, sillä tarkan oikaistun pituuden laskemiseen tarvitaan taivutuskoe, mutta aina suunnittelijalla ei ole tällaista mahdollisuutta. Viidennessä osiossa (Kuva 14.) olen tehnyt esimerkin oikaistun pituuden laskemiseksi standardin SFS-5998 mukaan.

Kuva 13. Viides sivu.



Kuudennella sivulla (Kuva 15.) olen tehnyt ohjeistuksen siihen, miten oikaistu pituus voidaan laskea, kun tiedossa on taivutuskokein saatu venymä tiedossa. Esimerkilaskussa minulla oli käytössä ohutlevytuotteita valmistavan yrityksen venymätaulukko, koska minulla ei ollut mahdollista päästä tekemään taivutuksia. Koska CAD-ohjelmien oletus k-arvo on 0.5, ja tässä esimerkissä laskettuna k-arvo on 0,36873, halusin havainnollistaa sitä, miten tärkeää on laskea oikea k-arvo, jos pitää lähettää esimerkiksi levityskuvia valmistukseen.

Kuva 14. Kuudes sivu.

OIKAISTU PITUUS TAIVUTUSKOE

Silloin kun kappaleella on suuria tarkkuusvaatimuksia, tulisi suorittaa taivutuskoje, jolla saadaan mitattua tarkka venymä. Venymä saadaan selville, kun tehdään esimerkkikappale. Tehdään esimerkiksi pieni levy kokoa 50x50 ainevahvuudella 1mm ja särmätään puoleen väliin yksi särmä taivutusäteellä 1.

Särmäyksen jälkeen särmän pituudet kasvavat ja ovat todennäköisesti 25,9mm. Tällöin kappaleen venymä on 1,8.

Esimerkkilasku*:

$$NK = (2 * \text{UlkoR}) - V$$

$$K\text{-arvo} = \left(\frac{NK}{\pi * r} / 180 \right) / s$$

Venymä eli $V = 1,85$

$$NK = (2 * 2) - 1,85 = 2,15$$

$$K\text{-arvo} = \left(-1 + \frac{2,15}{(\pi * 90 / 180)} \right) / 1 = \mathbf{0,36873}$$

Näitä kaavoja voi käyttää, kun testattu venymä on tiedossa

Oikaistu pituus CAD-ohjelmien oletus k-arvolla 0.5

Oikaistu pituus K-arvolla 0,36873

Oikaistu pituus: $(5,25 + 29,6 + 100 + 34 + 16) \cdot (4 * 1,85) = 177,45$

*Esimerkkilaskussa on käytetty ohutlevysoitetta valmistavan yrityksen venymätulokkoja, jossa venymät on testamalla laskettu yllämainitulla tavalla.

Seitsemännellä sivulla on tietoa yleistoleransseista, sekä koottu yleisimmät standardit, joita ohutlevysoitteen suunnittelussa käytetään. On myös näytetty yksittäisten mittojen tolerointia, sekä ohje toleranssiblockin lisäämiseen.

Kuva 15. Seitsemäs sivu.

TOLERANSSIT JA STANDARDIT

Koneenpiirustukseen lisätään tarvittava yleistoleranssiblockki

Käytetään yleistoleranssisstandardia ISO 2768

SFS-EN 22768-1					
Pituusmittojen sallitut poikkeamat					
Perusmitat		Eromitat			
>	<	Hieno	Keski	Karkea	Erittäin karkea
0,5	3	+0,05	+0,1	+0,2	-
3	6	+0,05	+0,1	+0,3	+0,5
6	30	+0,1	+0,2	+0,5	+1
30	120	+0,15	+0,3	+0,8	+1,5
120	400	+0,2	+0,5	+1,2	+2,5
400	1000	+0,3	+0,8	+2	+4
1000	2000	+0,5	+1,2	+3	+6
2000	4000	-	+2	+4	+8

Tolerances of linear dimensions Fine ISO 2768-f		
Dimension	>	Tolerance
0,5	3	+0,05
3	6	+0,05
6	30	+0,1
30	120	+0,15
120	400	+0,2
400	1000	+0,3
1000	2000	+0,5
2000	4000	-
4000	8000	-
8000	12000	-
12000	-	-

Tolerances of linear dimensions Medium ISO 2768-m		
Dimension	>	Tolerance
0,5	3	+0,1
3	6	+0,1
6	30	+0,2
30	120	+0,3
120	400	+0,5
400	1000	+0,8
1000	2000	+1,2
2000	4000	+2

Tolerances of linear dimensions Coarse ISO 2768-c		
Dimension	>	Tolerance
0,5	3	+0,2
3	6	+0,3
6	30	+0,5
30	120	+0,8
120	400	+1,2
400	1000	+2
1000	2000	+3
2000	4000	+4

Yleistoleranssiblockki sisältää:

- ISO2768-c
- ISO2768-f
- ISO2768-m
- linear dl...

Yleistimmät standardit:

- SFS-EN 22768 - Yleiset mittatoleranssit
- SFS 5998 - Valssatun teräsohittelevyn kylmätaivutus
- ISO 2768 - Yleiset toleranssit koneenrakennuksessa

Tolerance/Precision

Symmetric

+ 0.3mm

Show parentheses

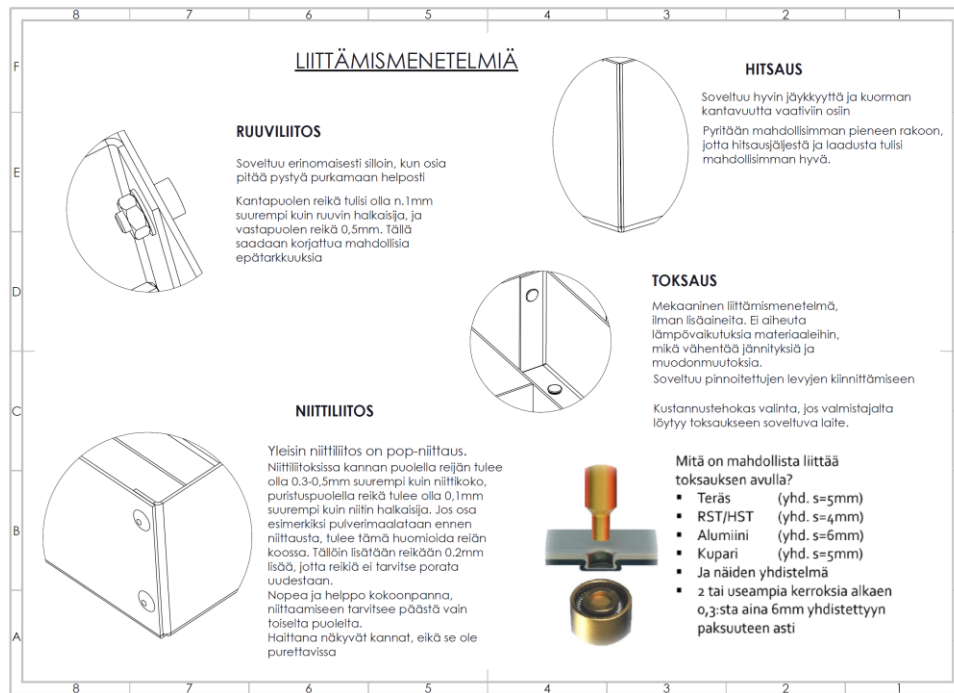
.12 (Document)

.1

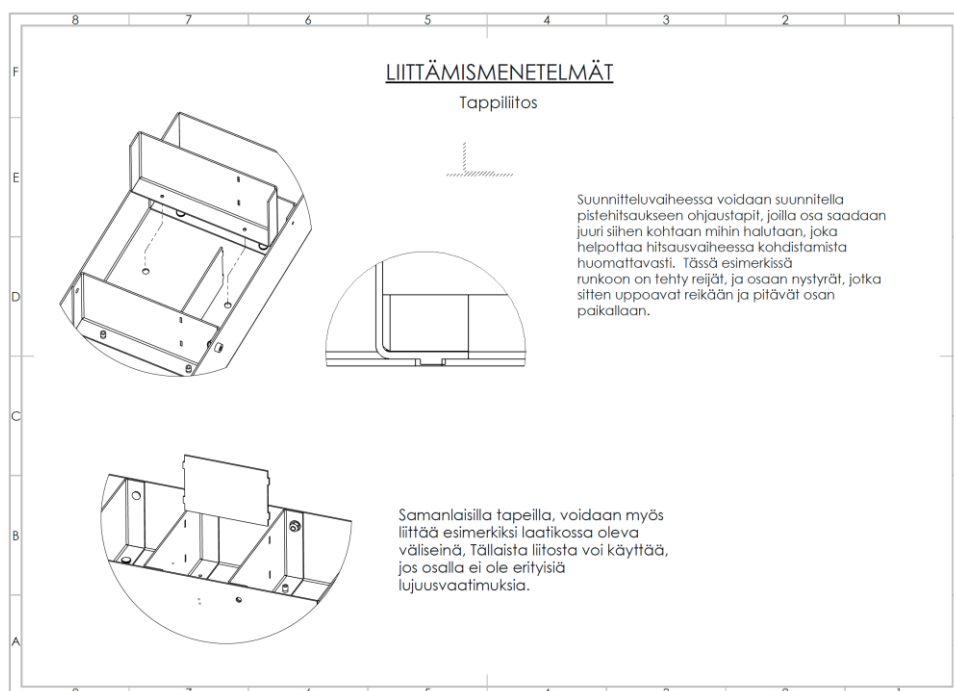
Yksittäisten mittojen tolerointi piirustukseen

Kahdella viimeisellä sivulla on erilaisia liittämismenetelmiä. Ajatuksena oli laittaa muutamia käytetyimpiä menetelmiä (Kuva 17.), joiden lisäksi halusin tuoda lisäaineettomia vaihtoehtoja esiin (Kuva 18.). Koska ohutlevy tuotteet ovat usein kokoonpanoja ja liittäminen on olennainen osa suunnittelua, halusin, että suunnittelija voisi oppaasta katsoa, millaista liittämismenetelmää hän voisi käyttää.

Kuva 16. Kahdeksas sivu.



Kuva 17. Yhdeksäs sivu.



5 Yhteenveto

Opinnäytetyössä toteutettiin aloittelevalle ohutlevy suunnittelijalle suunnattu opas, jonka tavoitteena oli helpottaa aloittelevien suunnittelijoiden työtä, sekä vähentää suunnitteluvirheitä. Oppaaseen koottiin keskeisiä valmistusteknisiä rajoitteita, standardien pohjalta tulevia vaatimuksia, sekä käytännön ohjeita levytyökeskuksen ja särmäyksen kannalta. Teoriaosuudessa käsiteltiin ohutlevyjen valmistusmenetelmiä, suunnittelun kannalta kriittisiä mitoitusperiaatteita, oikaistun pituuden laskentaa sekä liittämismenetelmiä.

Oppaan suunnittelu alkoi tiedon keräämisestä, jonka jälkeen kerätty tieto tuotiin paperille mallinnettujen kappaleiden avulla, luoden visuaalisen, loogisen ja havainnollistavan oppaan. Näin aloittelevalla suunnittelijalla on kaikki oleellinen tieto yhdessä paketissa.

Lopputuloksena syntyi havainnollistava ja käytännöllinen työkalu, jonka avulla ohutlevytuotteiden suunnittelua voidaan tehostaa ja virheiden määrää vähentää. Opas soveltuu sekä aloittelijoille oppaana, että kokeneemmille suunnittelijoille muistilistana.

Lähteet

Atlas Manufacturing. *Precision threading in sheet metal with extrude and tap.*

<https://atlasmg.com/blog/atlas-tech-talk-precision-threading-in-sheet-metal-with-extrude-and-tap>

Böllhoff GmbH. *The Manual of Fastening Technology (8th ed.).*

https://d3pvl60m7a4hcd.cloudfront.net/asset/948671838973/document_k2spc5f3gd5rlb4msimneo0v29/8100-Manual-of-Fastening-Technology-edition-8-EN.pdf?content-disposition=inline

Laakko, L. *Ohutlevy tuotteiden valmistus särmämällä*

<https://oulurepo oulu.fi/bitstream/handle/10024/6466/nbnfioulu-201604291576.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mate Precision Tooling. (2015). *Ultra® TTT Technical Guide (Rev I, 2023).*

https://www.mate.com/wp-content/uploads/2015/11/LIT00569_PN_UltraTTT_RevI_2023.pdf

Mate Precision Tooling. (2021). *Tech Solutions Guide (Rev E).*

https://www.mate.com/wp-content/uploads/2021/03/LIT00682_TechSolutionsGuide_RevE_LR.pdf

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. (2011). *Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja*. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

PEM® / PennEngineering. (2022). *Self-Clinching Fastener Handbook.*

<https://www.pemnet.com/wp-content/uploads/sites/2/2022/06/self-clinching-fastener-handbook.pdf>

Protolabs. *Bend Relief.*

<https://www.protolabs.com/resources/blog/bend-relief/>

SFS 5998:2018. *Taivutussäteet ja ohjeet ohutlevymateriaalien muovaukseen*. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 10130:2007. *Kylmävalssatut kylmämuovattavat ohutlevyteräkset*. Tekniset toimitusehdot. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Stremet Oy. *Lävistys levytyökeskuksilla.*

<https://stremet.fi/palvelut/lavistys-levytyokeskuksilla/>

Vilhunen, M. (2012). *Ohutlevytuotteen oikaistun pituuden määrittäminen.*

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40612/Vilhunen_Mikko.pdf?sequence=1

TR Fastenings. (n.d.). *Tap-Fix extruded hole sizes.*

<https://www.trfastenings.com/knowledge-base/threadforming-screws-for-metal/tap-fix-extruded-hole-sizes>

Syrjäaho, T. (2021) Universities of Applied Sciences Finland (HAMK).

Mobiilisovellus avuksi ohutlevyn oikaistun pituuden määrittämiseen.

<https://unlimited.hamk.fi/teknologia-ja-liikenne/mobiilisovellus-avuksi-ohutlevyn-oikaistun-pituuden-maaritykseen/>

Vilhunen, M. (2012). *Ohutlevytuotteen oikaistun pituuden määrittäminen.*

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40612/Vilhunen_Mikko.pdf?sequence=1

Yumpu. *Bendworks – The fine art of sheet metal bending.*

<https://www.yumpu.com/en/document/read/4747281/bendworks-the-fine-art-of-sheet-metal-bending>