



Mekaniikkasuunnittelijan toimintaohje projekteille ja SOLIDWORKS- ohjelmistoon

Elvis Kauppinen

Opinnäytetyö, AMK

Maaliskuu 2024

Konetekniikka

Kauppinen, Elvis

Mekaniikkasuunnittelijan toimintaohje projekteille ja SOLIDWORKS-ohjelmistoon

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaliskuu 2024, 85 sivua.

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Etteplan Oy:n Jyväskylässä toimiva mekaniikkasuunnittelun osasto. Tavoitteena oli luoda suunnittelijoita varten omien projektien ohje. Ohje sisältäisi yleisien projektiohjeiden lisäksi mallinnusohjeet sekä teknisten piirustuksien laatimisohteet CAD-ohjelmistoon. Ohjeen avulla yhdenmukaistettiin mekaniikkasuunnittelijoiden työtapoja sekä luotiin pohja omien projektien jatkokehitykselle.

Työ oli luonteeltaan kehittämistutkimus, jossa hyödynnettiin toimintatutkimuksen periaatteita. Aineistoa laadittaessa hyödynnettiin olemassa olevia mekaniikkasuunnittelun ohjeita. Tietoa kerättiin myös toimeksiantajan ohjaajalta sekä muilta osaston vanhemmilta mekaniikkasuunnittelijoilta. Työ toteutettiin tiiviissä yhteistyössä toimeksiantajan kanssa ja työn aikana kerättiin jatkuvasti palautetta tuotetun aineiston laadusta ja sille tuotettujen tietojen oikeellisuudesta.

Tuloksena syntynyt ohje sisälsi mekaniikkasuunnittelijalle tärkeitä ohjeita omissa projekteissa työskennellessä. Ohje sisälsi myös SOLIDWORKS-ohjelmistolle ohjeet mallinnukseen sekä teknisten piirustusten laatimiseen. Mallinnus- ja piirustusohjeet koskivat yleisiä leikattavia ja taivutettavia levyosia, koneistettavia osia sekä erilaisia hitsauskokoontaloja ja kiinnitystarvikkeiden kokoontaloja. Ohjeen lisäksi opinnäytetyössä myös tarpeen mukaan luotiin uudet tai päivitettiin olemassa olevat osaston omat piirustusohjeet ja otsikko-aulat. Aineiston luomisessa kiinnitettiin huomiota selkeyteen, alakohtaisiin vaatimuksiin ja muokattavuuteen. Luodussa ohjeessa oli huomioitu kehityksen tarve uusien tietojen ja kokemusten kerääntyessä.

Kokoneiden suunnittelijoiden tiedon kerääminen yhteen ohjeeseen oli toimeksiantajalle tärkeää. Jatkossa tulevien projektien ohjaus ja suunnittelu helpottuu. Ohje myös mahdollisti sisäisen laadun kehittämisen helpomman suunnittelun ja seurannan.

Avainsanat (asiasanat)

3D-mallinnus, mallintaminen, mekaniikkasuunnittelu, solidworks, suunnittelija, suunnitteluohjeet, tietokoneavusteinen suunnittelu

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liite 1 (43 sivua) on salassa pidettävä ja poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohdat 17 ja 20.

Kauppinen, Elvis

Mechanical Engineering Instructions for Projects and SOLIDWORKS

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, March 2024, 85 pages.

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis was assigned by a mechanical engineering department of Etteplan Oy in Jyväskylä. The goal of the thesis was to create a set of instructions for projects which were led by Etteplan. In addition of general project instructions, the guide document also contained instructions for 3D-modelling and for the creation of technical drawings. This unified the work of engineers and created a base of development for these projects

Methods of development research as well as action research were both used for creating the thesis. Existing mechanical engineering instructions were used to create the material. Information was also gathered from senior engineers. The thesis was a result of deep collaboration with the assigner as feedback was continuously collected regarding the quality and factuality of the instructions made

The completed instructions contained vital project information for mechanical engineers, as well as instructions for SOLIDWORKS based 3D-modelling and creation of technical drawings. The modelling and drawing instructions included instructions for cut and bended sheet metal parts, machined parts, welding assemblies and assemblies by fixing parts. In addition, the work included creation of or updating drawing templates and BOM-tables. In the creation of the instructions special care was used to make the instructions as readable and professional as possible. The need for future modifications and updates to the material was also noted.

Arranging multiple instructions and the knowledge of senior designers into one document was important for the assigner of the thesis. Future projects led by Etteplan are easier to manage and plan with the help of the work done.

Keywords/tags (subjects)

3D-modelling, engineer, computer-aided design, instructions, mechanical engineering, modelling, solid-works

Miscellaneous (Confidential information)

Appendix 1 (43 pages) has been set as confidential. The basis of removal is the Act on the Openness of Government Activities 621/1999 §24 Sections 17 & 20

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Työn tavoite.....	3
1.2	Toimeksiantaja	4
2	Tutkimusote	5
2.1	Tutkimusmenetelmänä toimintatutkimus	7
2.2	Luotettavuusvarauma	9
2.3	Tutkimuksen eettisyys.....	9
2.4	Tiedonhaku ja lähdeaineisto	10
3	3D-mallinnus ja CAD	11
3.1	SOLIDWORKS-ohjelmisto	12
3.1.1	Parametrisuus SOLIDWORKSissa	13
3.1.2	Ohutlevyt SOLIDWORKSissa.....	14
3.1.3	Kokoonpanot SOLIDWORKSissa.....	15
3.1.4	Multibody-toiminnot	16
3.2	DXF-tiedostomuoto.....	17
4	Valmistusmenetelmät	18
4.1	Ohutlevyjen leikkaukset	18
4.2	Taivutukset	20
4.3	Hitsaus.....	22
4.4	Kokoonpanot.....	24
5	Standardit	25
6	Työn toteutus	26
7	Tuotettu aineisto	30
7.1	Piirustuspohjat	31
7.2	Mallinnusohjeet	32
7.3	Piirustusohjeet	33
7.4	Muut ohjeet	35
8	Suunnitellut jatkotoimenpiteet	35
9	Pohdinta	36
	Lähteet	38
	Liitteet	40
	Liite 1. Toimintaohje	Error! Bookmark not defined.

Kuviot

Kuvio 1. Primääri- ja sekundääriaineiston erot. (Kananen 2016, 76)	6
Kuvio 2. Opinnäytetyön ohessa syntynyttä primääriaineistoa.	7
Kuvio 3. Esimerkki toimintatutkimuksen reflektiivisestä syklisyydestä. (Heikkinen & Kaukko 2023, 27)	8
Kuvio 4. Siniset viivat tarkoittavat vapaata, irrallista ominaisuutta. Kun sketchiin lisätään sääntöjä, mustat eli kiinnitetyt ominaisuudet lisääntyvät. (Lombard 2018, 19-20)	14
Kuvio 5. Ensimmäisessä levyssä sketchin avulla on tuotu levyn muoto ja taivutukset. Toisessa on luotu sketchillä levyn reunat.....	15
Kuvio 6. Leikkausmenetelmä voidaan jakaa ja valita halutun leikkausjäljen mukaan (Havas ym. 2011, 142, muokattu).....	19
Kuvio 7. Tarkkuusvertailua eri leikkausmenetelmien välillä (Havas ym. 2011, 201, muokattu) ..	20
Kuvio 8. Särämäyspuristimen osat. (Vikman 2017, 11)	21
Kuvio 9. Veneilmiö pitkää ohutlevyä särämässä. (Häkkinen 2013, 16).....	22
Kuvio 10. Tarvittaessa numeroitiin valikoiden vaiheita epäselviltä tuntuneisiin kohtiin.	29
Kuvio 11. Esimerkki standardin viitteestä ja sen havainnollistamisesta kuvan avulla.	30
Kuvio 12. Ote Multibody-tekniikalla tehdystä hitsausohjeesta.....	33
Kuvio 13. Esimerkki työtapakohtaisesta ohjeistuksesta teknisiä piirustuksia laadittaessa.....	34

Taulukot.

Taulukko 1. Suositeltavia aineenpaksuuksia kun hitsausmenetelmänä on pienahitsi. (Havas ym. 2011, 318, muokattu).....	23
Taulukko 2. Loppuvaiheessa oleva sisällysluettelo.....	27
Taulukko 3. Ote tehdystä otsikkotaulusta. Osa otsikkotaulun tiedoista syntyy automaattisesti, kun kuvaa ensimmäisen kerran luodaan.	31

1 Johdanto

Kun työntekijöiden toimintatavat ovat samankaltaisia, ymmärrys toisen työstä kasvaa. Työnjohdon näkökulmasta projektin ymmärtäminen ja seuraaminen helpottuu, kun sekä johdolla että työntekijällä on sama käsitys työn kulusta, siihen liittyvistä tehtävistä sekä näiden ajan tarpeesta. Virheet ovat helpommin huomattavissa, samoin yrityksen sisälle syntyy joustavuutta poikkeustilanteisiin, kun jokainen vähintään tunnistaa työskentelyn yhteiset periaatteet tietyille tehtäville.

Toimeksiantajalla ei ole yhtä uusien projektien toimintaohjetta, jonka jokainen suunnittelija olisi käynyt läpi ja sisäistänyt. Normaalityössä tässä ei ole ongelmaa, sillä asiakkailla on omat ohjeet tai kokeneemmalta suunnittelijalta voi pyytää apua. Ongelma syntyy, jos asiakkuus on uusi ja yhteistä tapaa toimia ei ole. Erilaiset käytännöt ja toimintatavat vaikeuttavat ja hidastavat sisäistä tarkastusta. Suuresti poikkeava kädenjälki eri suunnittelijoiden välillä voi luoda epäammattimaisen kuvan.

Kehitettävänä oli siis aineisto, jonka uudet suunnittelijat kävisivät läpi ja josta kokeneemmat voisivat nopeasti kerrata yleisiä hyväksi todettuja toimintatapoja. Tiivistämällä alan yleiset standardit ja toimintatavat, kotimaiset konepajakäytännöt sekä mallinnuksen ammattilaisten hiljaista tietoa yksiin kansiin tuodaan paitsi toimeksiantajalle myös teollisuudelle ja suunnittelualan yrityksille yleisesti tilaisuus luoda prosessi, jolla tehostaa toimintaansa.

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteeksi muodostui luoda mekaniikkasuunnittelijan uusien projektien ohje ja samalla toimintaohje SOLIDWORKS-ohjelmistoon. Mallina käytettiin olemassa olevia suunnitteluohjeita, joiden pohjalta luotiin koottu ja ajanmukainen aineisto. Aineisto luodaan yhdeksi dokumentiksi, jossa on selkeästi jaoteltu eri valmistusmenetelmiin liittyen mallinnus- ja piirustusohjeet. Aineisto on käyttäjälähtöinen, eli ohjeita muokataan suunnittelijoiden näkemyksien ja työskentelyn mukaan ja heidän tarpeitaan palvellen. Lisäksi suunniteltiin menetelmä, jolla aineisto päivitetään ja pidetään ajan tasalla.

Mekaniikkasuunnittelijan tärkeimpiä työkaluja on CAD-ohjelmat. Ohjelmien käyttäminen on taitoa, missä missä muutenkin; alkuun eri ohjelmistojen opettelu vaatii aikaa ja vaivaa. Jos taitoa ei ylläpidä, se

heikkenee. Alalle uusien suunnittelijoiden lisäksi aineisto auttaisi kokeneitakin ammattilaisia, joko nopeasti vaihtamaan työtehtävää tai pikaisena kertauksena hatarammassa muistissa olevan ohjelman käyttöön.

Aineisto ei puutu tai yritä parantaa jo olemassa olevia asiakkuuksien suunnitteluprosesseja tai toimintatapoja, vaan keskittyy vähemmän yleiseen tilanteeseen, jossa kyseinen toiminta on Etteplanin vastuulla. Suunnittelutoimistojen yleisimmät asiakkaat ovat suuria tai keskisuuria yrityksiä, joilla on jo entuudestaan omat, erikoistuneet toimintatavat ja työohjeet kyseisen yrityksen erityisalalle. Pienemmillä yrityksillä ei välttämättä ole edes omaa suunnitteluosastoa.

Aineisto toimii projektiohjeena mekaniikkasuunnittelijan näkökulmasta. Tämä tarkoittaa ohjeita paitsi suunnittelulle ja teknisille työkuville, myös tiedostonhallinnalle. Ohjeessa pyritään kattamaan kaikki oleelliset vaatimukset, jotta suunnittelija voi tehdä työnsä hyvin. Aineistoa ei tulla luomaan kokonaisten projektien hallintaa tai ohjausta varten, sillä nämä eivät yleensä ole suoraan mekaniikkasuunnittelijan tehtäviä.

Joskus töitä voidaan tilata myös antamalla suunnittelutoimistolle vapaat kädet toteuttaa työ vapaasti valitulla ohjelmistolla. Tällöin voidaan esimerkiksi estää ulkopuolisten pääsy tietokantaan tai nopeuttaa työn aloitusta, kun ei tarvita erillisiä hakemuksia, jotka odottavat hyväksyntää. Vältetään myös luomasta uusia käyttäjätunnuksia erilaisiin ohjelmistolisensseihin tai VPN-yhteyksiin, mikä voi viedä paljonkin aikaa, erityisesti jos tilattava työ olisi muuten suhteellisen lyhyt.

1.2 Toimeksiantaja

Etteplan on suunnittelualan yritys, jonka palveluihin kuuluvat sulautetut järjestelmät, suunnitteluratkaisut, tuote-, kiinteistö ja laitostiedot, ohjelmistot ja digitalisointi sekä testaus ja testauslaboratorio (Palvelumme n.d.). Hollolasta lähtöisin, mutta nyt globaaleihin mittasuhteisiin kasvanut toiminta työllistää yli 4000 työntekijää, joista melkein puolet työskentelevät ulkomailla (Etteplanin historia n.d.).

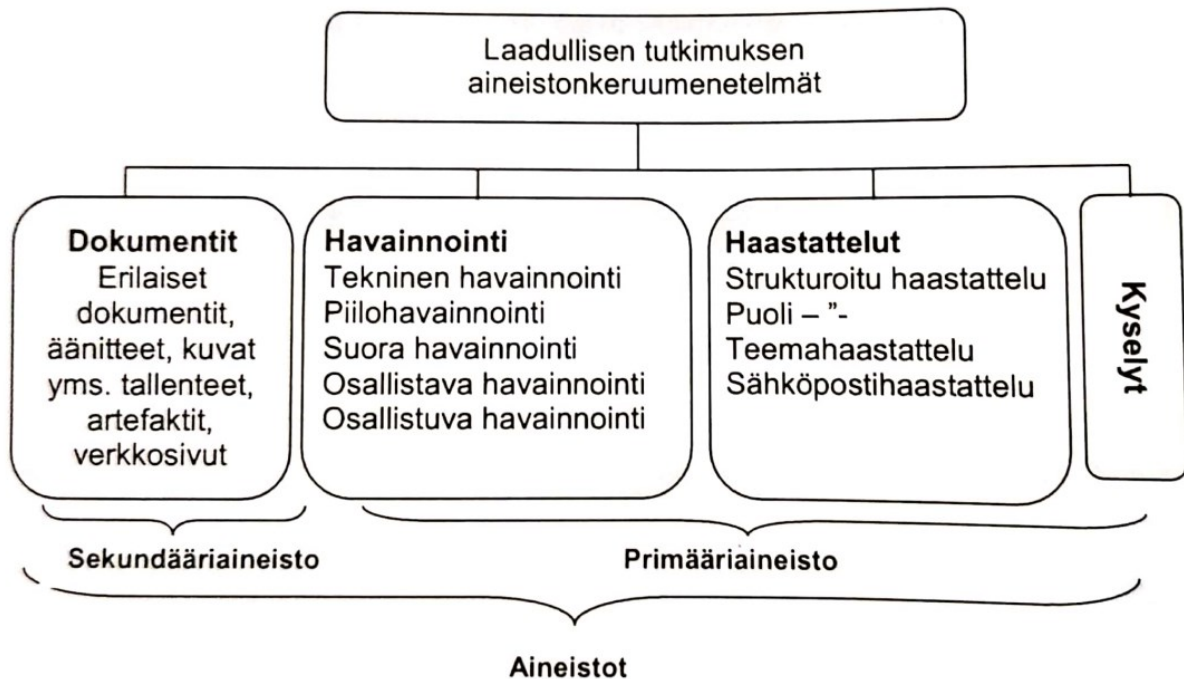
Mekaniikkasuunnittelu kuuluu Etteplanin tarjoamiin suunnitteluratkaisuihin. Käytössä ovat viimeisimmät suunnittelun työkalut ja teknologiat, globaali monisatapäinen joukko mekaniikkasuunnit-

telijoita sekä modernit mekaniikkasuunnittelun menetelmät. Osaamisalueeseen kuuluvat mm. teräsrakenteet, ohutlevytyöt, kone-elementit, pintakäsittelyt, toleranssianalyysit. Etteplanin mekaniikkasuunnittelu tarjoaa osaamistaan lukuisille erityyppisille projekteille, kuten tuotekehitykseen, toimitussuunnitteluun, tuotteen uudelleensuunnitteluun, lujuuslaskentaan sekä ainetta lisäävän valmistuksen suunnittelumenetelmiin. (Mekaniikkasuunnittelu n.d.)

Etteplanin toimistot jakautuvat usein osastoiksi. Vaajakosken toimistolla toimii mekaniikka- ja sähkösuunnittelun lisäksi teknisen dokumentaation osastoja. Toimistot ja osastot toimivat itsenäisinä yksikköinä. Opinnäytetyö toteutettiin yhden Vaajakosken mekaniikkasuunnitteluosaston tarpeisiin, jolla työskentelee 10–20 suunnittelijaa. Asiakkuuksia on monia ja erilaisia CAD-ohjelmistoja on käytössä. Näistä SOLIDWORKS on yksi yleisimmistä, jonka takia jokaisen osaston suunnittelijan olisi hyvä tietää edes perusteet kyseisen ohjelman toiminnasta. Tällaista ohjetta ei ole Etteplan tai osasto aiemmin tehnyt, vaan ohjeet ovat olleet kohdennettuja eri asiakkuuksille tai projekteille.

2 Tutkimusote

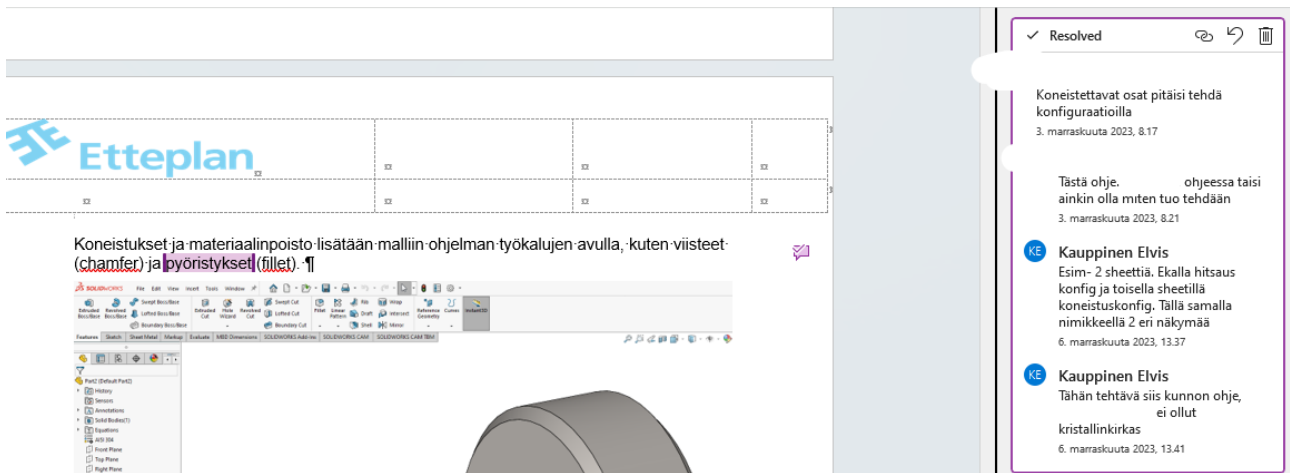
Kehittämistutkimuksille lähestymistapoja on pääasiassa kahta tyyppiä: laadullisia (kvalitatiivisia) ja määrällisiä (kvantitatiivisia) (Kananen 2015, 24). Tutkimukseen kerättävän aineiston voi laadullisessa tutkimuksessa jakaa kahteen osioon: primääri- ja sekundääriaineistoon (Kananen 2015, 76). Aineistot on havainnoitu kuviossa 1. Sekundääriaineisto on siis jo olemassa olevaa tietoa, kun taas primääriaineisto on tutkijan kyseisen tutkimuksen aikana kerättyä tutkimukseen liittyvää aineistoa.



Kuvio 1. Primääri- ja sekundääriaineiston erot. (Kananen 2016, 76)

Sekundääriaineistoa on tutkimuksessa kattavasti: ohjeet eri asiakkuuksista, yrityksen omia ohjeita tai muistiinpanoja, alan standardeja sekä oppimateriaaleja. Haasteeksi muodostui aineiston arvioiminen, sillä laadultaan aineisto oli hyvin erilaista. Sekundääriaineistoissa oli tarkasteltava mihin tarkoitukseen kyseinen materiaali oli luotu ja missä oli aineistoa luodessa onnistuttu, keskityttävä siihen ja ohitettava vanhentuneet tai puutteelliset kohdat.

Primääriaineistoa syntyi laajasti, tosin pääasiassa pienissä erissä. Tyypillinen keräystapa olivat nopeat kysymykset ja näkemykset kesken työpäivän. Näistä tehtiin lyhyet muistiinpanot tai sitten ne dokumentoitiin suoraan ohjeisiin. Aineistoa ei vielä tässä vaiheessa arvioitu, sillä sen jatkuva tarkistaminen keräyshetkelle olisi ollut hyvin työlästä ja aikaa vievää, eli tehotonta. Aineisto lisättiin ohjeeseen, ja lähetettiin määräajoin tarkastettavaksi työn toimeksiantajalla. Toimeksiantajan vastuhenkilö merkitsi arvioitavaan rajattuun alueeseen korjausehdotuksia tai puutteita. Myös palaute käytiin läpi määräajoin, jotta työn yhdenmukaisuuden tavoite säilyisi katkeamattomana läpi prosessin. Tarvittaessa kirjoitettiin muistiinpanoja ja selvennyksiä jatkeeksi (kuvio 2).



Kuvio 2. Opinnäytetyön ohessa syntyneitä primääriaineistoa.

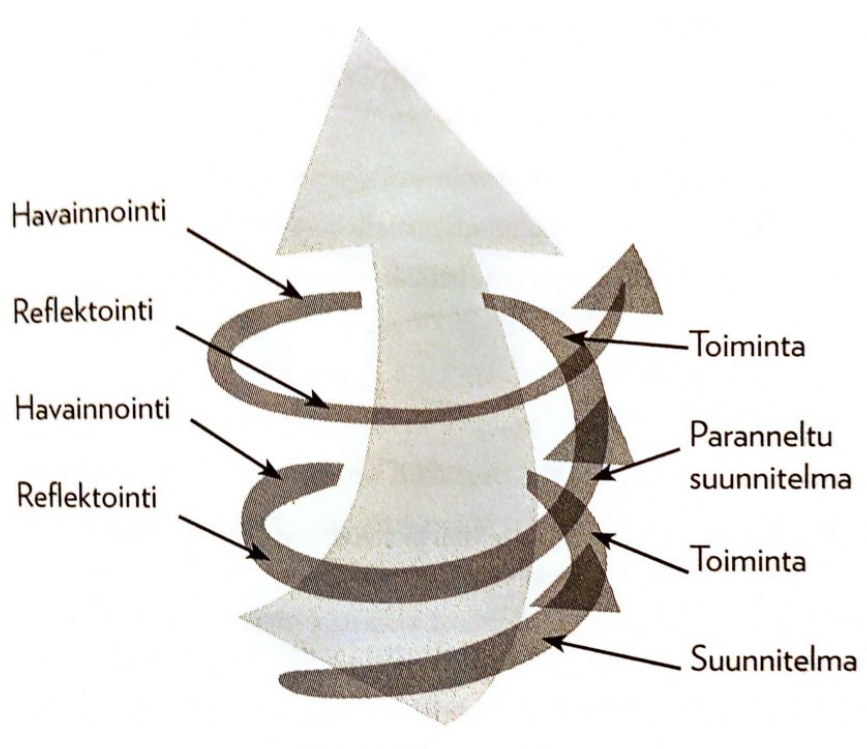
Opinnäytetyössä käytetään pääasiassa laadullisen tutkimuksen menetelmiä, sillä tavoite on syväliemmin ymmärtää tutkimusongelma ja kehityskohteet, sekä ratkaisuihin syntyvät seuraukset.

2.1 Tutkimusmenetelmänä toimintatutkimus

Toimintatutkimuksen tavoite on tuottaa tutkimusta, josta on käytännön hyötyä. Arvoa tutkimukselle tulee selvästä kohteen kehityksestä ja toiminnan parantamisesta, sen sijaan että keskityttäisiin vain tiedon itsensä tuottamiseen. Toimintatutkimus poikkeaa muista menetelmistä siinä, miten tutkija osallistuu ja puuttuu tutkittavaan kohteeseen. Luonteeltaan toimintatutkimus on siis osallistava ja jopa sosiaalinen. Syntynyt muutos ei ole vain tutkijan aikaansaannosta, vaan kaikkien prosessiin osallistuneiden tahojen yhteisen työn tulos. (Heikkinen & Kaukko 2023, 17–19.)

Yksi tapa havainnoida toimintatutkimuksen luonnetta on itsensä toistava syklinen kehä. Sykli alkaa suunnitteluvaiheesta, jota seuraa toteutusvaihe ja tätä vuorostaan havainnointi- ja aineistonkeruuvaihe. Viimeinen vaihe on arviointi- ja reflektointivaihe, jossa pyritään hahmottamaan syklin luonne ja näkemään tämä uusista näkökulmista ja asiayhteyksistä. Näin toiminta voidaan nähdä uudesta näkökulmasta, ilman ennakkokäsityksiä. Tarkoituksena ei ole kuitenkaan selvästi erotella vaiheita; seuraava vaihe voi alkaa jo ennen kuin edellinen on loppu. Esimerkiksi kehittämisideoita (reflektointi) ja suunnitelmia voi aloittaa muodostamaan jo ennen toiminnan päättymistä. Syklit voivat olla lyhyitä, jopa vain yhden kierroksen pituisia. Toimintatutkimukselle on tyyppillisempää

kuitenkin useammat syklit ja toistaan seuraavat kehitysjaksot, tällöin puhutaan jo toimintatutkimuksen spiraalista kuten kuviossa 3. (Heikkinen & Kaukko 2023, 24-26.)



Kuvio 3. Esimerkki toimintatutkimuksen reflektiivisestä syklisyydestä. (Heikkinen & Kaukko 2023, 27)

Muutospyrkimys eli interventio pyrkii paitsi muuttamaan käytäntöä, niin myös tuomaan tutkimukseen uutta tietoa muutettujen käytäntöjen avulla. Muutos itsessään ei ole tavoite, vaan toiminnan ja menettelytapojen kehitys parempaan suuntaan valittujen mittareiden ja arvioinnin perusteella. Oleellista on oikeasti arvioida saavutettuja tuloksia ja sivuvaikutuksia kokonaisuutena eikä pelkää sitä, miten muutokset ovat auttaneet saavuttamaan tavoitteet. Toimintatutkimuksessa tutkijan on muistettava olevansa subjektiivinen tekijä tutkimuksessa, joka pyrkii toiminnallaan vaikuttamaan lopputulokseen sen objektiivisen tarkkailun sijaan (Heikkinen & Kaukko 2023, 29–33.)

Opinnäytetyössä pyritään toimintatutkimuksen syklien ja intervention avulla rikkomaan suunnittelutyölle tyypillisesti ajan kanssa itsestään muodostuvat käytännöt, työtavat ja rutiinit, jotka eivät palvele tavoitteita ja aiheuttavat sekaannusta. Interventiot auttavat hahmottamaan, ovatko ratkaisut oikeasti avuksi ja tarpeen.

Toimintatutkimuksen keinoin luodaan hyvä itseään toistava syklinen kehitys, jonka avulla suunnittelun materiaalit paitsi päivitetään ajan tasalle, niin myös ylläpidetään niitä jatkuvasti.

2.2 Luotettavuusvarauma

Syntyneiden ohjeiden luotettavuus ja oikeellisuus varmistetaan erillisillä katsauksilla tiettyjen ajanjaksojen välein toimeksiantajan kanssa, jolloin työ pysyy sille asetetun tavoitteen sisällä ja laatu tasaisena. Tämän lisäksi työtä arvioidaan laajemmin useamman suunnittelijan toimesta ennen viimeistelyvaihetta. Samalla varmistetaan yksiselitteisyys.

Vaikka yritykset noudattaisivat alan standardeja, jättävät nekin liikkumavaraa teknisten piirustusten laatimiseen sekä erityisesti mallinnuskäytännöissä. Opinnäytetyössä huomioitiin tämä vertailemalla eri asiakkaiden ohjeita ja standardeja keskenään ja ristiriitatilanteissa pyrittiin konsensusseen kokoneiden osaajien mielipiteiden avulla.

Itse opinnäytetyö suunniteltiin ja toimeenpantiin sen jälkeen, kun valittuihin ja myös vaihtoehtoihin tutkimusmenetelmiin oli kattavasti perehdytty alan kirjallisuuden avulla.

2.3 Tutkimuksen eettisyys

Tutkimuseettiset säännöt ovat jaettavissa kolmeen ryhmään: tutkimukseen osallistuvien ihmisarvoihin liittyviin sääntöihin, totuuden etsimistä ja tiedon luotettavuutta koskeviin sääntöihin sekä tutkijoiden keskinäisiä suhteita koskeviin sääntöihin (Heikkinen & Kaukko 2023, 144). Tutkijoiden lukumäärän ollessa yksi, voidaan viimeinen sääntö tässä tapauksessa jättää huomiotta.

Vaikka opinnäytetyössä ei varsinaisesti tutkita tai arvioida ihmistä, tulee ihmisarvoon liittyen huomioida, että kehityksen kohteena on ihmisten työn tulokset, sekä näissä esiintyvät mahdolliset virheet ja poikkeavuudet. Toisten työn arvostelu ja muutosten ehdottaminen voi ymmärrettävästi herättää mielipahaa. Tarvittaessa on siis oltava hienovarainen, ja keskustella tuotosten korjauksista yksityisesti ennen julkistamista. Opinnäytetyöhön osallistuminen ja siinä auttaminen perustuu vapaaehtoisuuteen, eikä Etteplanin työntekijöitä ole painostettu kehitystyön aikana.

Opinnäytetyössä pyritään vastuulliseen tiedon etsintään ja viittaamiseen. Erityistä huomiota on kiinnitetty siihen, ettei olemassa olevia ohjeita tai muuta eri yritysten materiaaleja plagioida tai jaeta. Suoraa lainaamista on vältetty ja kaikki sovellettu tieto on esitetty tavalla, jonka alkuperää ei pystytä jäljittämään. Huolimattomuus voi aiheuttaa tietoturvariskin ja vaarantaa Etteplanin asiakkuuksia.

2.4 Tiedonhaku ja lähdeaineisto

Lähteitä haettiin yleisimmillä aiheeseen liittyvillä hakusanoilla JAMKin Janet Finna -tietokannoista. Tutkimusotteeseen, -menetelmään, valmistustekniikkaan ja valmistavan teollisuuden menetelmiin kirjallisuutta löytyi kiitettävästi. Tutkimusotteen aineisto oli pääasiassa kotimaista, tosin lähdeaineiston alkulähteet olivat usein kansainvälisiä. Valmistavan tekniikan ja teollisuuden lähdeaineisto löytyi kaikki JAMKin kirjastosta. Teknisen piirustuksen ohjeistukseen käytetty lähteenä alan standardeja sekä näihin pohjautuvaa tekniikan taulukkokirjaa.

Mallinnukseen liittyviä ohjeita haettiin hakusanojen avulla kansainvälisten artikkeleiden hausta, näissä kielenä aina englanti. Kansainvälisten artikkeleiden haku aloitettiin hakusanalla solidworks, mutta tämä synnytti aivan liikaa vaihtoehtoja. Täsmennystä kokeiltiin tämän jälkeen lisäämällä AND ja yleinen alan termi, kuten engineer* tai desig*. Hakutuloksia syntyi yhä liikaa. Sopivia lähteitä löytyi kun haussa käytettiin solidworks sanan lisäksi tiettyjä erikoistuneita solidworks työkaluja, mitä löytyy vain kehittyneemmissä ohjeissa. Toimiva yhdistelmä oli esimerkiksi solidworks AND multibody.

Yksi valmistustekniikkaan liittyvät lähde oli jo kohtalaisen vanha: Aaltosen, Aromäen, Ihalaisen & Sihvosen kirja Valmistustekniikka, jonka ensimmäinen painos oli vuodelta 1985. Kirjasta oli käytössä uudempi vuoden 2011 painos, mutta riski osittain vanhentuneesta aineistosta on yhä olemassa. Kirja on yhä opetuskäytössä, mikä tukee lähteen oikeellisuutta. Tämän lisäksi tueksi on etsitty myös uudempia lähteitä, joiden avulla on tarkistettu vanhemman kirjan tietojen paikkansapitävyys. Tällainen oli Lepolan ja Ylikankaan teos Hitsaustekniikka ja Teräsrakenteet (Lepola & Ylikangas 2019).

3 3D-mallinnus ja CAD

Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer-Aided Design) tai CAD on yleisnimitys tietokoneella tehtävää tuotteiden valmistukseen, ympäristön hahmottamiseen tai muuhun mallintamiseen käytetylle teknologialle (Ball 2013, 4).

3D-mallinnuksessa luodaan esitys halutusta kappaleesta käyttämällä siihen suunniteltua ohjelmistoa. Tätä kolmiulotteista esitystä kutsutaan luonnollisesti 3D-malliksi. Mallista voi muodon lisäksi hahmottaa kokoa tai pinnan tekstuuria. Olemassa olevien kappaleiden lisäksi voidaan mallintaa täysin uusia luomuksia. (Guide to 3D Modeling n.d.)

Piirustuksiin verrattuna 3D-mallit ilmaisevat ja havainnollistavat kohdettaan paremmin, etenkin suurissa tai monimutkaisissa kokonaisuuksissa. Malleja on mahdollista suurentaa, pienentää, kääntää ja pyörittää lukuisista eri kulmista. Tämä ei piirustuksissa ole mahdollista. 3D-mallien luominen, muokkaaminen ja jakaminen on myös huomattavasti nopeampaa kuin fyysisten esittelykappaleiden teko. (3D Modeling for Engineering: A Priceless Tool 2022.)

3D-mallinnuksella tuotettuja malleja ja tuotekuvia voidaan käyttää markkinoinnissa ja asiakasneuvotteluissa heti kun malli on valmis. Tuotteista saadaan jo varhaisessa vaiheessa paljon dataa irti, mikä puolestaan nopeuttaa suunnittelun prosessia. 3D-ohjelman avulla voidaan simuloida tuotantoprosesseja, asettaa toiminnallisia ja laatuvaatimuksia sekä optimoida materiaalinkäyttöä ennen kuin materiaalia tai vakio-osio on edes tilattu. Koska tuotantoprosessin eri toimintoja voidaan tehdä rinnakkain, saadaan tuotannon elinkaarta lyhyemmäksi. (Aaltonen, Ekman, Kamppari, Kauppinen, Kivivuori, Paro, & Vuorinen 2011, 54-56.)

3D-suunnittelu mahdollistaa myös rinnakkaisia malleja kappaleista. Muutosten teko on helppoa, kun muutokset voidaan tehdä suoraan malliin tai sen kopioon. Samoin ennalta sovittujen standardikomponenttien käyttö nopeuttaa prosessia, sillä oletuksella että komponentit löytyvät CAD-kirjastosta. (Aaltonen ym. 2011, 55-56.)

Toisin kuin kaksiulotteisille valmistuspiirustuksille, 3D -tiedostojen laatimisella tai käytöllä ei ole luotu yleisiä alan standardeja. Kaikkea CAD mallinnuksessa syntyvää tietoa voidaan hyödyntää uudelleen ja sillä voi olla arvoa useille eri käyttäjille. On siis syytä kiinnittää huomiota jo ennen varsinaista mallinnuksen aloittamista, millä säännöillä ja käytännöillä CAD-ympäristössä toimitaan. Paljon riippuu myös käytössä olevasta CAD-ohjelmasta (Lombard 2022.)

CAD-ohjelmien käytöstä voidaan yrityksissä laatia sääntöjä. Sääntöjen tavoitteena on varmistaa, että kaikki tarvittava tieto on saatavissa, luettavissa tai muuten käytettävissä tarvittavissa kohteissa. Esimerkkinä data on oltavissa tiedostomuodoissa, jossa se voidaan lähettää eri osastoille, tai sen on oltava sellaisessa muodossa, joka kestää usean vuoden verran ohjelmistopäivityksiä. Säännöillä voidaan tehdä myös selviä rajoituksia: suunnittelun on kappaleita mallinnettaessa varmistettava, että valmistus on konepajan olemassa olevilla työkaluilla mahdollista. Sääntöjen avulla luodaan myös harjoittelun ja perehdytyksen tavoitteet ja näiden onkin vastattava toisiaan. (Lombard 2022.)

Hyvät käytännöt eivät ole kiveen kirjoitettuja sääntöjä, vaan keinoja ja menetelmiä, joiden on tarkoitus helpottaa yhteistä työntekoa. Ne ovat käytännön ehdotuksia, joiden avulla voidaan asettaa tavoitteet ja lähtökohdat ja joista voidaan tarpeen tullen joustaa. Kun eri CAD-käyttäjien prosessit ovat samoja tai samantapaisia on tiedonhallinta huomattavasti hallitumpaa ja selvempää. Hyviin käytäntöihin liittyvät paitsi mallinnuskäytännöt myös mm. dokumenttien, revisioiden ja kirjastojen hallinta. Tarkoitus on säästää aikaa, ei väkisin asettaa rajoitteita ja hidasteita. (Lombard 2022.)

3.1 SOLIDWORKS-ohjelmisto

1993 Yhdysvaltojen Massachusettsissa perustettu SOLIDWORKS on yksi maailman käytetyimmistä CAD-ohjelmistoista. SOLIDWORKS tarjoaa palveluita 3D-suunnittelun lisäksi mm. sähkösuunnittelussa, tuotehallinnassa ja simuloinnissa. Käyttöä esiintyy lukuisilla eri teollisuuden aloilla, mukaan lukien ilmailu, rakentaminen ja valmistava teollisuus. (Bethany 2023.)

Alussa SOLIDWORKSin tavoitteena oli tuoda mahdollisuus 3D-mallintamiseen jokaisen insinöörin työkoneelle. 1995 julkaistu ensimmäinen SOLIDWORKS mullisti markkinat; laite vaihtui Unixista PC:lle, käyttöjärjestelmänä Windows. Hinta tippui alle neljännekseen kilpailijoiden vastaavista ja ohjelmiston opettelu ja käyttö oli huomattavasti helpompaa. 1997 ranskalainen suunnittelualan

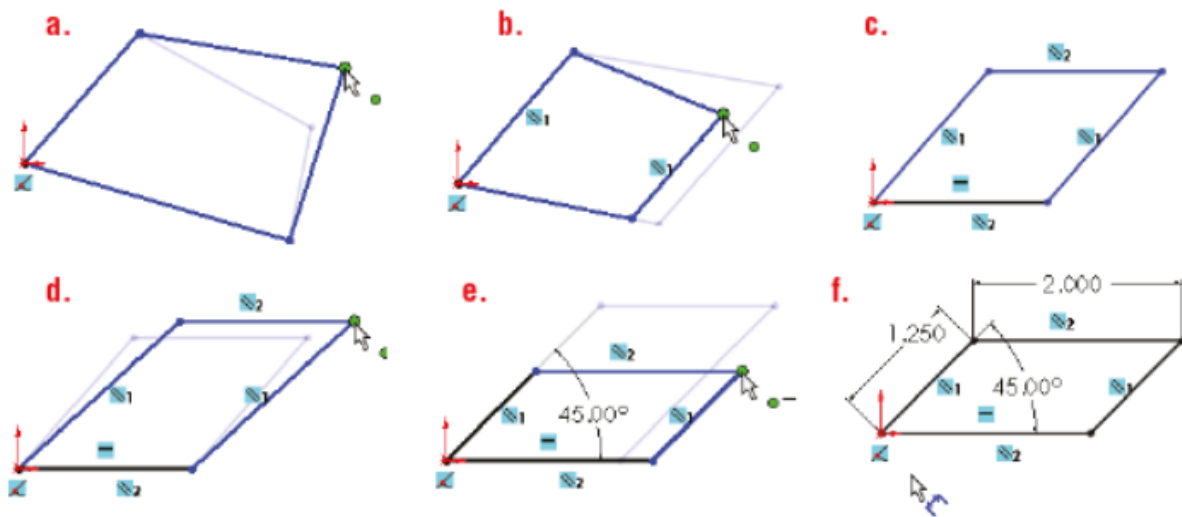
jätti Dassault Systèmes ostikin yrityksen. (SolidWorks 1995 to 2012 - The Evolution of a 3D CAD System 2011.)

SOLIDWORKS ista on julkaistu joka vuosi vähintään yksi uusi versio. Ideologiana on alusta asti ollut palvella käyttäjää ja joka versio onkin tuonut mukanaan uusia ominaisuuksia tai parannuksia vanhoihin. SOLIDWORKS on ensimmäisten joukossa tuonut monia 3D-ominaisuuksia, joita nykyään pidetään itsestään selvyyksinä. Esimerkkeinä työkalut ohutlevyille (1997), 3D-sketchit (1999), Hole Wizard (2000) ja peilikomponentit (2001). (SolidWorks 1995 to 2012 - The Evolution of a 3D CAD System 2011.) SOLIDWORKS on Suomessakin yleisesti käytetty CAD-ohjelmisto, jota päivitetään jatkuvasti. Luonnollisesti ohjeiden teko ja ylläpito näin tärkeälle työkalulle on tärkeää.

3.1.1 Parametrisuus SOLIDWORKSissa

Sketch-sana on englantia ja tarkoittaa suoraan käännettynä luonnosta, mutta 3D-suunnittelun yhteydessä virallista käännöstä tai omaa termiä ei ole sanalle tehty. Tässä raportissa käytetään sketch-sanaa, kun puhutaan 3D-mallinnusohjelmistojen ominaisuudesta.

SOLIDWORKS on parametrinen CAD-ohjelmisto, jossa mallinnuksen perustana toimivat sketchit. Parametrisuudella tarkoitetaan, että ohjelmistolla luodaan toisistaan riippuvaisia sketchejä ja jotka noudattavat niille asetettuja sääntöjä (kuvio 4). Sketchit koostuvat erilaisista ominaisuuksista, kuten pisteistä tai viivoista. Ominaisuuksiin ja niiden välille voidaan lisätä rajoitteita, kuten pituusmittoja, kulmia, yhteensattuma, samankeskisyys tai samansuuntaisuus. Kun sketchiin on lisätty tarpeeksi rajoitteita, on SOLIDWORKS saanut tarpeeksi tietoja tarkan mallin luomista varten. (Lombard 2018, 19.)



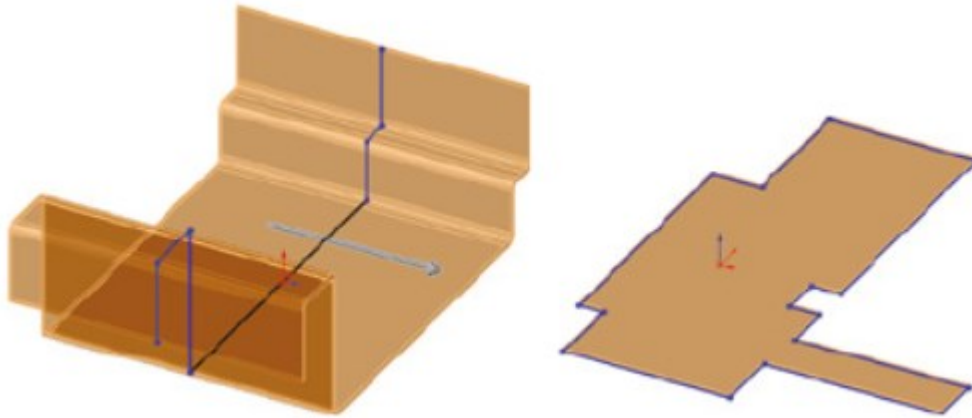
Kuvio 4. Siniset viivat tarkoittavat vapaata, irrallista ominaisuutta. Kun sketchiin lisätään sääntöjä, mustat eli kiinnitetty ominaisuudet lisääntyvät. (Lombard 2018, 19-20)

Valmiista 2D-sketchistä voidaan rakentaa 3D-muotoja. Yksinkertaisin ja yleisin prosessi on pursotus (extrude), jossa sketchin muodon avulla tehdään kolmiulotteinen osa lisäämällä siihen syvyys. Toinen yleinen komento on pyörytys (revolve), jossa sketchin muoto pyöräytetään akselin ympäri. Näiden ja monien muiden työkalujen avulla voidaan samasta muodosta tehdä monta erilaista kappaletta. Esimerkiksi suorakulmiosta tulee pursottamalla laatikko ja pyöräyttämällä sylinteri. (Lombard 2018, 15.)

SOLIDWORKS:n parametrisuuden tietoperustaa hyödynnettiin ohjeen ”Mallinnuksen yleiset sääntöt”-luvussa. Tietoperustan mukaisesti ohjeistetaan, että sketchit ovat toisistaan riippuvaisia ja niiden oltava kunnolla kiinnitetty rajoitteiden avulla.

3.1.2 Ohutlevyt SOLIDWORKSissa

Ohutlevytuotteita varten SOLIDWORKSILLA on tähän liittyvät Sheet Metal-komennot. Ohutlevyissä ensimmäinen lisättävä ominaisuus on peruslevy (Base Flange). Tämän avulla voidaan tehdä sketchiä käyttäen valmiin taivutetun levyn muoto, johonlevyn paksuus ja taivutussäde muodostetaan pohjalevyn parametrien avulla (kuvio 5). Vaihtehtoisesti voidaan tehdä sketchi yksinkertaisesta levystä, johon taivutukset lisätään jälkikäteen muita komentoja käyttäen. (Lombard 2018, 950.)



Kuvio 5. Ensimmäisessä levyssä sketchin avulla on tuotu levyn muoto ja taivutukset. Toisessa on luotu sketchillä levyn reunat.

Peruslevyn ominaisuudet periyvät suoraan muihin mallin ohutlevykomentoihin. Näitä ominaisuuksia ovat mm. taivutussäde, k-arvo ja levynpaksuus. Tarvittaessa on myös mahdollista muuttaa yksittäisten taivutusten ominaisuuksia suoraan. (Lombard 2018, 953).

Ohutlevyjien mallinnukseen liittyvää tietoperustaa hyödynnettiin ohjeen luvussa ”3D-mallinnuskäytännöt”, alaluvussa ”Särmätty levyosa”. Tietoperustan avulla luotiin selkeät ohjeet sheet metal osien parametrien toiminnallisuuteen ja oikeanlaisen peruslevyn rakentamiseen.

3.1.3 Kokoonpanot SOLIDWORKSissa

Kun monta 3D-mallia tuodaan yhteen tiedostoon, kutsutaan tätä kokoonpanoksi. Niin kuin sketchit ja niiden ominaisuudet ovat parametrisia, niin myös kokoonpanojen eri osien suhteet toisiinsa ovat. Yhden osan liikuttaminen tai muokkaaminen vaikuttaa niihin muihin osiin, jotka ovat tässä osassa kiinni tai muuten saavat siitä viitteen. (Lombard 2018, 125.)

Kokoonpanot alkavat ensimmäisestä osasta, mikä sijaistaa kokoonpanossa alkupisteessä eli origossa. Kokoonpanoon ensimmäisen osan valintaan on täten kiinnitettävä tarkasti huomiota. Kun kokoonpanoon tuodaan osia, ne kiinnitetään toisiin osiin tai muihin geometrisiin kappaleisiin, kuten kokoonpanoon avuksi tehtyihin tyhjiin tasoihin, pisteisiin tai akselistoihin. Kiinnitykset perustuvat geometrisiin ominaisuuksiin ja ovat muodoltaan sellaisia kuin yhteensattuma (coincident) tai

samankeskinen (concentric). Parin muodostaminen mate-komennolla on lähtökohdiltaan yksinkertaista: valitaan ensimmäinen osa, tähän kiinnitettävä osa ja lopuksi kiinnitystapa. Näihin pareihin on myös mahdollista lisätä etäisyysmittoja tai astekulmia. (Lombard 2018, 125–126, 450.)

Jos osat kokoonpanossa vaihtuvat tai muuttuvat, voi tämä sotkea olemassa olevia osien pareja. Yksi tapa välttää kokoonpanon sotkeutumista kokoonpanon muuttuessa on kiinnittää osat suoraan toistensa sijaan näitä vakaampiin kohteisiin. Eri osien geometrisiä ominaisuuksia vakaampia kohteita kokoonpanoissa ovat itse kokoonpanon alkupisteet ja -tasot. Tarvittaessa itse kokoonpanoon voidaan myös piirtää sketchejä osien kiinnityksen viitteeksi, erityisesti jos kokoonpanossa on paljon hankalia muotoja, jolloin hyvän yhteisen pinnan tai tason löytäminen voi olla haastavaa. Kohteen vakaudesta kertoo se, miten paljon kokoonpanon muiden kohteiden muokkaus vaikuttaa kiinnityksen vakauteen. (Lombard 2018, 418.)

Ohjeessa on hyödynnetty kokoonpanojen tietoperustaa SOLIDWORKSissa luvussa ”3D-mallinnuskäytännöt”, alaluvuissa ”Kokoonpanot” ja ”Hitsauskokoonpanot”. Tämän lisäksi tietoperustaa hyödynnettiin luvussa ”yleiset mallinnuskäytännöt”, liittyen kokoonpanon tasoihin. Tietoperustaa käytettiin erityisesti apuna, kun ohjeistettiin vakaiden mallien luomista.

3.1.4 Multibody-toiminnot

Tavallinen SOLIDWORKS-osa muodostuu yhdestä kiinteästä yhtäjaksoisesta kappaleesta, jota kutsutaan nimellä body. Multibody on nimensä mukaisesti osa, jossa tällaisia bodyja on useampi kuin yksi. Multibody-mallintaminen ei kuitenkaan ole sama asia kuin kokoonpanojen mallintaminen, sillä vaikka multibody-mallin tekeminen voi aluksi tuntua helpommalta kuin perinteisen kokoonpanon, jotkin kokoonpanojen toiminnot eivät toimi samalla tavalla tai lakkaavat kokonaan toimimasta multibody-mallissa. Tällaisia ominaisuuksia ovat mm. osien väliset liikeradat ja dynaaminen liike, massan ja massakeskipisteen laskenta yksittäisille osille, sekä yksittäisten osien tuotetiedot ja konfiguraatiot. Lisäksi multibody-malleissa virheiden löytäminen ja korjaus on työläämpää kuin kokoonpanoissa, jossa yksittäinen muista riippumaton osa on helposti eristettävissä ja korjattavissa. (Lombard 2018, 873–874.)

Multibody-mallinnuksella ei ole siis tarkoitus korvata kokoonpanoja, vaan mahdollistaa uusia mallinnustapoja tai kehittää tehokkaammiksi jo olemassa olevia. Multibody-kappaleiden ei tarvitse

edes päätyä lopulliseen osaan, vaan niitä voidaan käyttää hyväksi yksittäistä osaa suunnitellessa. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi valumallien havainnollistaminen tai tyhjien kohtien tilavuuden mittaaminen mallin avulla. Perinteisellä mallinnuksella on myös huomattavasti haastavampaa tai mahdotonta luoda yksittäisiä tasaisia pintoja muodokkaille kaareville kappaleille kuin multibody-mallinnuksessa. Samoin erilaisten toistuvien ominaisuuksien (pattern) luominen osan sisään on tehokkaampaa multibody-tekniikoilla. Tämä voi selkeyttää myös itse mallinnuspuun rakennetta ja tehdä siitä helpommin seurattavan. Myös erikseen lisättävät ja toistettavat materiaali profiilit eli weldmentit rakentuvat multibody-mallintamisen varaan. (Lombard 875–877.)

Multibodyn tietoperustaa hyödynnettiin luvussa ”3D-mallinnuskäytännöt”, alaluvussa ”multibody-hitsaukset”. Tietoperustan avulla kerrottiin multibody-tekniikkaan soveltuvat kohteet ja rajattiin käyttö näihin.

3.2 DXF-tiedostomuoto

NC on lyhenne sanoista numerical control eli numeerinen ohjaus. NC-ohjelmilla luodaan työstökoneille automaattinen yhtäjaksoinen komentosarja. Tämän avulla voidaan automatisoida työstövaiheet, työkalunvaihdot ja muut osan valmistamiseen tarvittavat tiedot yhdeksi komentojonoksi. (Aaltonen ym. 2011, 120.)

DXF (Drawing Exchange Format) on yksi yleisimmistä 2D-tiedostoformaateista, jonka avulla tuodaan CAD-ohjelmassa tehdyn kappaleen tiedot suoraan NC-ohjelmalle. Ohjelma osaa lukea tiedoston ja valmistaa kappaleen suoraan saamiensa geometriatietojen perusteella. Oletuksena tietysti on, että kappale on oikein mallinnettu. Näin voidaan tehdä nopeasti virheettömiä NC-ohjelmia. Tavoitteena on, ettei testiajoja tai -kappaleita tarvittaisi. (Havas, Hiitelä, Hultin, Matilainen & Parviainen 2011, 210-211.)

DXF-tiedosto on levyosan piirustus, joka toimii leikkausradan ohjelmoinnin pohjana. Leikattavien osien leikkausmenetelmällä ei ole merkitystä. Piirustuksessa on oltava yhtenäiset muotoviivat sekä 1:1 mittakaava. Ylimääräisiä tai päällekkäisiä muotoviivoja ei saa olla, työstökone saattaa huomioida päällekkäisiäkin tietoja ja tehdä työvaiheet kahdesti. Virheettömien DXF-kuvien laatiminen ja tarkastaminen on suunnittelijan vastuulla. Yksittäisen osan valmistaja tarkastaa lähinnä pystyykö ohjelma aloittamaan valmistuksen saamallaan tiedoilla, sillä tiedostoa siirrettäessä CAD-ohjelmasta

DXF-formaattiin ja tämän jälkeen NC-ohjelmalle syntyy mahdollisesti virheitä. (Havas ym. 2011, 210-211.)

Taivutettavista levyosista tehdään myös levityskuvat, jossa valmistettava osa näytetään ennen taivutusta. Levityskuvasta saatavien geometriatietojen avulla voidaan leikata taivutettava ohutlevy. Tämän lisäksi on mahdollista lisätä taivutusviivat suoraan DXF-kuvaan, jolloin myös taivutuksen tiedot siirtyvä automaattisesti NC-ohjelmaan. (Havas ym. 2011, 261.)

DXF-tiedostoformaattien tietoperustaa hyödynnettiin ohjeen luvussa ”Piiirustusohjeet”, alalukujen ”Levyosat” ja ”Multibody-hitsauspiirustus” alta. Ohjeessa on selvennetty DXF-tiedostomuodon toimintaperiaate ja vaatimukset, sekä tämän käytännön vaatimus teknisiin piirustuksiin.

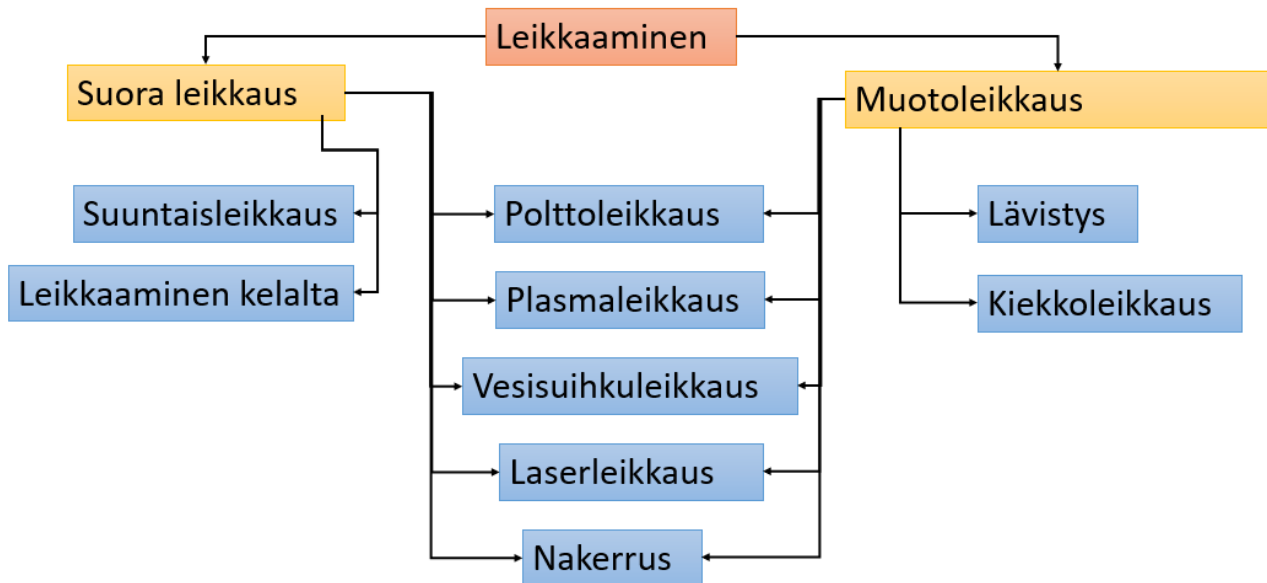
4 Valmistusmenetelmät

Seuraavissa alaluvuissa on esitelty yleisiä valmistusmenetelmiä, joista jokaisen mekaanisen suunnittelijan olisi tunnettava erityispiirteet ennen osien mallinnukseen ryhtymistä. Suomessa yleisesti käytettyjä materiaaleja konepajoissa ovat teräkset, erityisesti ohutlevyt. Näin menetelmiä keskitytään tarkkailemaan erityisesti näiden työstämisen kannalta, vaikka säännöt ja lainalaisuudet ovat päteviä muissakin materiaaleissa.

Ohutlevyjen ainevahvuuden rajana on pidetty 4 mm. Tästä huolimatta ohutlevyjen valmistusmenetelmät sopivat tätäkin huomattavasti paksummille ainevahvuuksille. Ohutlevymateriaaleja ovat ohutlevyteräkset, ruostumattomat teräkset sekä alumiiniseokset. Ohutlevyjen avulla on mahdollista keventää rakenteita ja säästää valmistuskustannuksissa ilman, että rakenteiden jäykkyys kärsii. (Havas ym. 2011, 3-5.)

4.1 Ohutlevyjen leikkaukset

Ohutlevyvalmistuksessa tyypillinen ensimmäinen työvaihe on leikkaus. Menetelmiä on useita, mutta valittu materiaali voi rajoittaa vaihtoehtoja. Valittu leikkausmenetelmä vaikuttaa leikkauksen tarkkuuksiin ja tätä kautta valmistuksen toleransseihin. Yksi tapa eritellä leikkausmenetelmiä on jakaa ne leikattavan muodon perusteella, kuten kuviossa 6. (Havas ym. 2011, 142.)



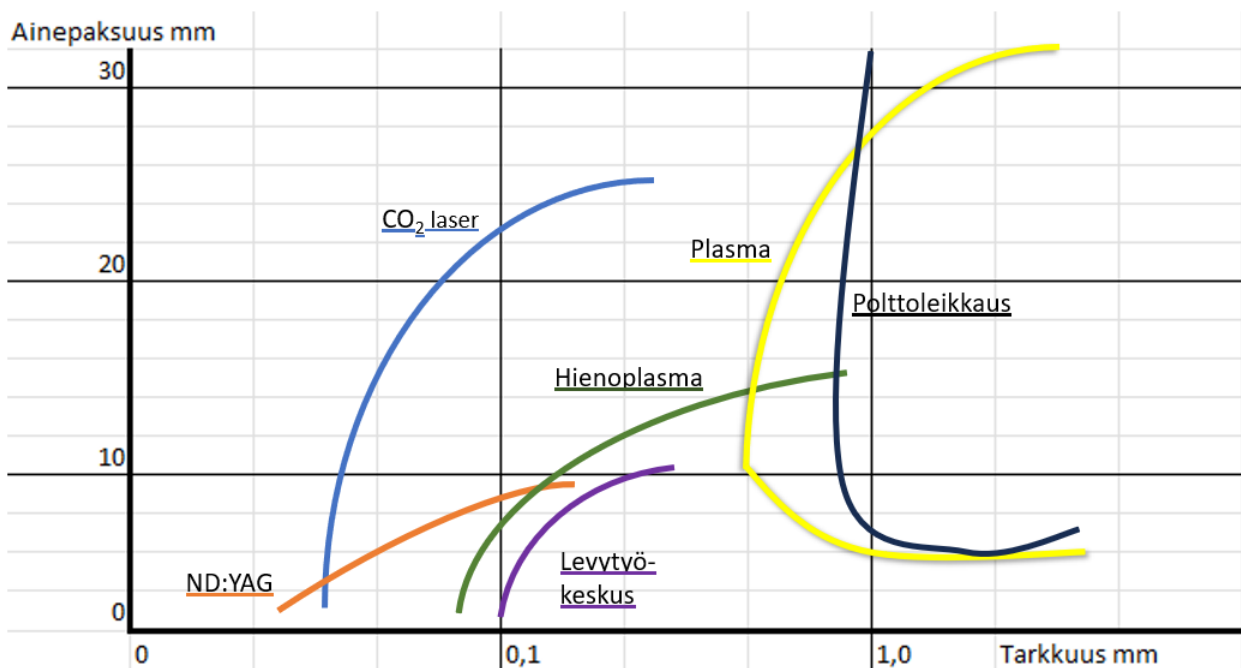
Kuvio 6. Leikkausmenetelmä voidaan jakaa ja valita halutun leikkausjäljen mukaan (Havas ym. 2011, 142, muokattu)

Menetelmät voidaan myös jakaa termiseen sekä mekaaniseen leikkaamiseen. Termisessä leikkauksessa hyödynnetään nimensä mukaisesti korkeaa lämpötilaa. Leikkaus tapahtuu, kun haluttu kohta korkean lämmöntuonnin seurauksena tai yhteisvaikutuksena palaa, sulaa tai höyrystyy. Termisiä leikkausmenetelmiä ovat poltto-, plasma sekä laserleikkaus. Leikattaessa karkeita tai 10 mm ja sitä paksumpia materiaaleja termiset menetelmät ovat edullisempia ja nopeampia kuin mekaaniset leikkausmenetelmät. Ohutlevyjä leikatessa termisten menetelmien vahvuuksia ovat joustavuus muotoleikkauksessa sekä mahdollisuus tuottaa hyvälaatuinen leikkausjälki. (Havas ym. 2011, 142.)

Mekaanisessa leikkauksessa leikkaus tapahtuu erilaisilla terillä tai vesisuihkun avulla mekaanisesti tuotetun voiman avulla. Menetelmä sopii kaikille materiaaleille. Huomioitavaa tosin on, että paksumpia materiaaleja leikatessa vaaditaan laitteistolta suurempaa mekaanista voimaa. Työkalu on usein suoralinjainen terä tai lävistin. Lävistin on työkalu, joka on muotoiltu siten, että leikkausjälki on muodoltaan suljettu, useimmiten reikä. (Havas ym. 2011, 169-170.)

Suunnittelijan on tiedettävä valmistettavia ohutlevyosia mallintaessaan, mitä leikkausmenetelmää käytetään tai on mahdollista käyttää. Kun menetelmä tunnetaan, on mahdollista suunnitella osa,

joka vastaa tarkkuudeltaan tavoiteltua. Kuviosta 7 voidaan huomata miten paksuus vaikuttaa leikkausmenetelmästä riippuen hyvinkin nopeasti leikkauksen tarkkuuteen. Materiaalin paksuus on pystyakselilla ja tarkkuus vaaka-akselilla, molemmissa yksikkönä mm. Huomiona vaaka-akselin skaalaus on logaritminen. Menetelmien sisäisesti käytetyllä tekniikallakin on eroja, esimerkkinä: CO₂ laserilla kyetään leikkaamaan huomattavasti paksumpaa materiaalia kuin ND:YAG laserilla, joka taas on tarkempi leikkausmenetelmä ohuimmilla aineenvahvuuksilla.



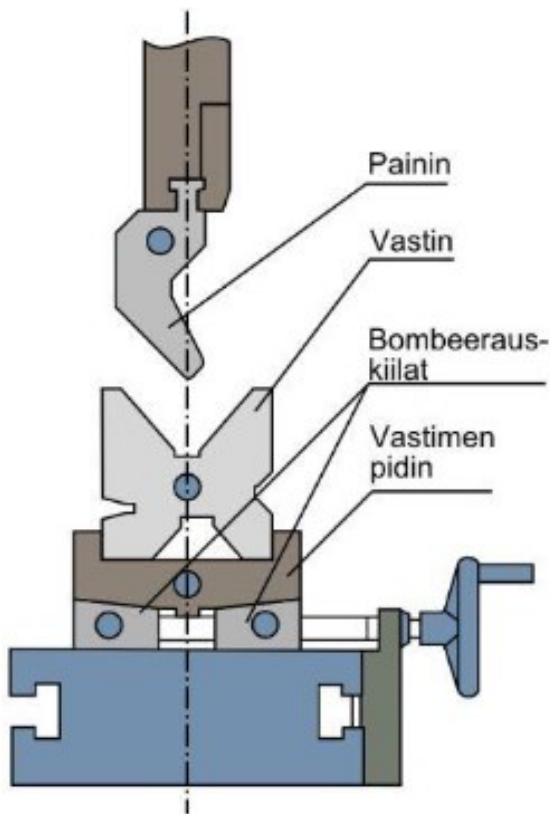
Kuvio 7. Tarkkuusvertailua eri leikkausmenetelmien välillä (Havas ym. 2011, 201, muokattu)

Ohutlevyjien valmistusmenetelmän tietoperustaa on käytetty hyväksi ohjeen luvuissa ”3D-mallinuskäytännöt” alaluvussa ”Särmätty levyosa” sekä ”Piiustusohjeet” luvun alaluvussa ”Levyosat”.

4.2 Taivutukset

Taivutus on yleisesti käytetty ohutlevyjien valmistusmenetelmä. Yleisin taivutusmenetelmä on suora-akselinen särmäys. Suora-akselisessa taivutuksessa taivutetaan vain yhteen suuntaan kerrallaan. (Havas ym. 2011, 239.)

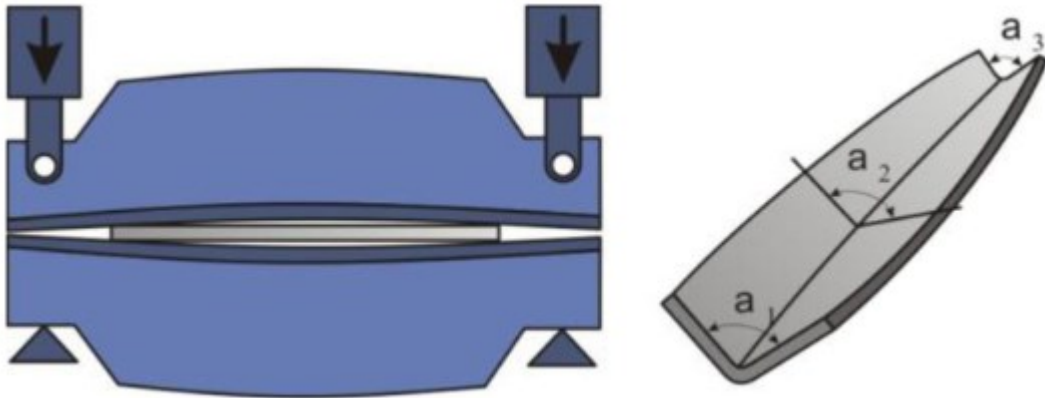
Särmäys suoritetaan särmäyspuristimella ja eri särmäysmenetelmiä ovat vapaataivutus, pohjaaniskutaivutus ja taivuttaminen elastinta vastinta käyttämällä. Taivutettava levy tulee painimen ja vastimen väliin (kuvio 8). Vapaassa taivutuksessa painimen eli ylätyökalun isku lopetetaan ennen kuin levy osuu vastimeen eli alatyökaluun. Pohjaaniskutaivutuksessa taas painin painuu loppuun asti vastinta vasten. Elastinta vastinta käytettäessä ylä- ja alatyökalun väliin sijoitetaan elastomeerityyny, jolloin levy muotoutuu paininta vasten. (Havas ym. 2011, 240-242.)



Kuvio 8. Särmäyspuristimen osat. (Vikman 2017, 11)

Veneilmiöksi kutsutaan särmäyksessä särmäyskoneen joustosta ja takaisinjoustosta johtuva kylkien pullistuminen taivutettavassa osassa. Kuviossa 9 ovat särmäyskulmat α_1 ja α_3 samansuuruiset, mutta levyn keskellä oleva kulma α_2 on suurempi. Pitkissä kappaleissa esiintyvä ongelma johtuu voiman epätasaisesta jakaantumisesta taivuttamisen aikana. Ongelma voidaan ratkaista

työkalujen esitaivutuksella eli bombeerauksella. Toisin sanoen alatyökalua voidaan taivuttaa keskikohdasta kompensoimaan eroa, jolloin ylätyökalu koskettaa särmättävää levyosaa tasaisesti läpi aihion pituuden. (Havas ym. 2011, 244.)



Kuvio 9. Veneilmiö pitkää ohutlevyä särmätessä. (Häkkinen 2013, 16)

Taivutettavaa kappaletta suunniteltaessa ja menetelmää valittaessa on huomioitava taivutukseen vaikuttavia tekijöitä. Materiaalin vahvuus ja paksuus vaikuttavat taivutuksessa tarvittavaan voimaan, sekä taivutettavan osan takaisinjousto (Aaltonen ym. 2011, 237). Taivutussäteen on oltava riittävä, jotta taivutettu muoto pysyy (Havas ym. 2011, 248). Pinnan laadun, pintakäsittelyjen ja -muotojen vaikutus taivutukseen on huomioitava, kuten myös taivutusmenetelmän aiheuttama vaikutus levyosan pintaan tai vahvuuteen (Aaltonen ym. 2011, 237). Reiät ja lovet on syytä sijoittaa tarpeeksi kauaksi taivutettavasta kohdasta tarkkuuden ylläpitämiseksi, sillä taivutuksesta syntyvät voimat voivat siirtää tai muokata reikiä ja aukkoja (Havas ym. 2011, 257-258).

Taivutuksen tietoperustaa on hyödynnetty ohjeen "Piirustusohjeet"-luvun alaluvussa "Levyosat", sekä "3D-mallinnuskäytännöt" luvun alaluvussa "Särmätty levyosa" lopussa, huomioitavaa-osiossa.

4.3 Hitsaus

Hitsaus on kappaleiden yhdistämistä toisiinsa voimakkaan plastisen muokkauksen, liitospintojen sulattamisen tai diffuusion avulla. Apuna voidaan käyttää tai olla käyttämättä lisäainetta. Hitsaaminen on yleisin tapa liittää luoda teräslitoksia, mutta myös muiden materiaalien hitsaukseen, kuten: alumiini, magnesium, titaani, kupari ja nikkeli. (Aaltonen ym. 2011, 281.)

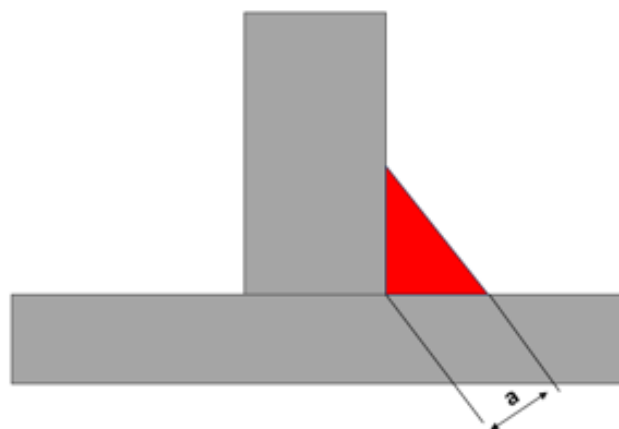
Hitsattava kappaleen ominaisuuksiin vaikuttaa suuresti hitsauksen aikana kappaleeseen tuotu lämpöenergia. Tämä näkyy hitsattavan aineen rakenteen mikrotason muutoksissa, mikä tarkoittaa lujuusominaisuuksien muuttumista. Hitsatut kohdat ovat myös muuhun osaan nähden geometrialtaan poikkeavia ja muodostavat epäjatkuvuuskohdan. Ulkoiset jännitykset kerääntyvät muuhun yhtenäiseen rakenteeseen verrattuna helpommin näihin epäjatkuvuuskohtiin, mikä ilmenee erityisesti väsymiskestävyyden heikkenemisenä. (Havas ym. 2011, 275.)

Lämmöntuonti tuo myös itsessään jännityksiä hitsattavan aineen mikrorakenteen muutosten takia. Näitä kutsutaan sisäisiksi jännityksiksi tai hitsausjännityksiksi. Ilmenemismuoto on taipumista ja vetelyä, mikä on helposti havaittavissa etenkin pitkissä ja ohuissa kappaleissa. Tästä huolimatta lämmöntuontia ei saa myöskään olla liian vähän. Riittävä lämmöntuonti takaa hitsauksen tunkeumalle syvyyden, mikä puolestaan takaa hitsatun rakenteen lujuuden suunnitelluille kuormituksille. Yleisiä suosituksia voidaan asettaa hitsattavien osien ohuemman aineenpaksuuden perusteella. (Havas ym. 2011, 318.)

Taulukosta 1 havainnollistetaan, miten suuremmat aineenvahvuudet vaativat suurempia hitsejä. Tämä johtaa luonnollisesti suuremman lämmöntuonnin tarpeeseen.

Taulukko 1. Suositeltavia aineenpaksuuksia kun hitsausmenelmä on pienahitsi. (Havas ym. 2011, 318, muokattu)

Suositeltava hitsin mitoitus	
Paksuus s (mm)	a -mitta (mm)
3-4	3
5-6	4
8-12	6



Hitsausta suunniteltaessa on tunnettava hitsattava materiaali, sillä eri materiaaleilla ja teräsladuilla on omat rajoitteet ja vaatimukset lämmöntuonnille. Hitsattavuudesta puhuttaessa tarkoitetaan

aineen soveltuvuutta hitsattavaksi. Perusaineella, jolla on hyvä hitsattavuus, riittää pienempi lämmöntuonti ja hitsaus prosessina on ennakoitavissa ja hitsausvirheiden keskimäärä on vähäinen. (Aaltonen ym. 2011, 285.)

Muita hitsausprosessiin vaikuttavia tekijöitä ovat konepajakohtaisia tai asiakaskohtaisia; käytettävissä olevat hitsauslaitteisto ja tätä kautta mahdolliset hitsausmenetelmät. Laatuvaatimukset, hitsaajien ammattitaito ja tarkkuus ovat tekijöitä paitsi itsessään, myös suoraa seurausta työympäristö ja hitsausasunnoista (Lepola & Ylikangas 2019, 208). Suunnittelijan on hitsattavia kappaleita ja kokoonpanoja suunnitellessaan tunnettava paitsi hitsattavan materiaalin rajoitukset ja vaatimukset, myös hitsauksen suorittavan tahon mahdolliset ja suosimat työtavat ja hitsausprosessit.

Hitsauksen tietoperustaa on käytetty ohjeessa "Hitsauskokoonpanot" osiossa, joka on "3D-mallinuskäytännöt"-luvun alaluku. Tämän lisäksi näkemystä on hyödynnetty myös "Piiustusohjeet"-luvun alaluvussa "Hitsauskokoonpanot" yleistä huomioitavaa osiossa.

4.4 Kokoonpanot

Kokoonpanossa eri valmistusvaiheissa valmistetut osat, ostettavat tai muualta hankittavat osat sekä standardiosat ja -komponentit liitetään kokoonpanoksi tai alikokoonpanoksi. Kokoonpanoja voidaan suorittaa manuaalisesti tai automaattisesti, tosin kokoonpanojen automaatioaste on muuhun valmistukseen nähden vielä alhaisemmalla tasolla. (Aaltonen ym. 2011, 478–480.)

Syitä käyttää kokoonpanoja on monia. Kokoonpanojen avulla on mahdollista käyttää useita erityyppisiä materiaaleja samassa yksikössä. Tällöin kriittisiin kohteisiin voidaan käyttää niiden erityisvaatimukset täyttäviä kappaleita, sen sijaan että rakennettaisiin koko laite samasta kalliista materiaalista. Materiaalintarve vähenee ja käytettävien valmistustekniikoiden määrä kasvaa kokoonpanojen avulla voidaan myös mahdollistaa liikettä eri osien välillä. Kokoonpano on myös mahdollista purkaa, mikä tarkoittaa helpompaa korjausta tai varaosien vaihtoa. (Lombard 2018, 415.)

Kun kokoonpanoissa käytetään ruuveja, nittejä tai muita kiinnitystarvikkeita, puhutaan mekaanisista liittämistekniikoista. Mekaanisissa liitoksissa kiinnitettäviin ei osiin ei tuoda lämpöä, eli raken-

teiden mikrorakenteessa ei tapahdu muutoksia, jotka vaikuttaisivat materiaalin lujuus- ja kestävyysominaisuuksiin. Liittäminen voidaan tehdä myös ilman kiinnikettä muuttamalla kiinnityksessä jonkun osan muotoa. (Havas ym. 2011, 331.)

Ruuvit ovat yleinen kokoonpanoissa käytetty kiinnike. Yleinen tapa on luoda ruuviliitos ruuvin ja mutterin avulla. Liitos voidaan tehdä myös itseporautuvalla ruuvilla. Ruuvin voi olla mahdollista irrottaa rikkomatta ruuvia. (Havas ym. 2011, 332.)

Niittiliitokset luodaan niitin avulla sijoittamalla niitti liitososissa olevaan reikään ja muotoilemalla niittiin vastakanta, joka estää irtoamisen. Vastakanta voidaan muotoilla, mikäli niitin päätä päästään muokkaamaan. Muussa tapauksessa on käytettävä erilaisia niittityyppejä, jotka muotoilevat vastakannan kiinnityksen yhteydessä. Niitti on rikottava, mikäli niittiliitos halutaan purkaa. (Aaltonen ym. 2011, 330.)

Tietoperustaa kokoonpanoista on käytetty ohjeessa pääasiassa ”Piiirustusohjeet”-luvun alaluvussa ”Kokoonpanot”. Tietoperusta avulla on hahmotettu yleisiä kokoonpanojen yleisiä huomioita ja vaatimuksia.

5 Standardit

Standardit ovat eri alojen asiantuntijoiden laatimia kirjallisia julkaisuja. Standardit voivat olla ohjeita, suosituksia tai vaatimuksia eri tuotteiden, prosessien ja palveluiden valmistamista, ylläpitoa tai käyttöä koskien. Standardeja luodaan käytännössä kaikille aloille. Standardien mittakaava voi vaihdella maakohtaisesta aina maailmanlaajuiseksi (Mikä on standardi? n.d.). Standardeja laatimassa on laaja joukko eri asiantuntijoita; valmistajat, myyjät, ostajat, asiakkaat, käyttäjät ja valvojat osallistuvat kaikki standardien laatimiseen (Standards n.d.).

Jokaisella standardilla on tunnuksensa. Tunnus on jaettu kolmeen osaan: johdanto-osaan, pääosaan sekä sivuosaan (Mikä on standardi? n.d.). Esimerkiksi opinnäytetyössä käytetty piiirustus-pohjien kokoa käsittelevä standardi SFS-EN ISO 5457:1999 on jaettu osiin. SFS kertoo, että standardille on tehty Suomessa kansallisen standardin vahvistus. EN on hyväksyntä eurooppalaiselta standardoimisorganisaatiolta CENiltä. ISO puolestaan merkitsee maailmanlaajuisia standardia.

5457 on standardikohtainen numero. Standardit voidaan edelleen jakaa pienempiin osiin lisäämällä numeron jälkeen väliviiva ja osan numero. Vuosiluvut standardin perässä tarkoittavat vahvistamisvuotta. Opinnäytetyössä on käytetty seuraavia standardeja:

- SFS-EN ISO 5457:1999 Tekninen tuotedokumentointi. Piirustusohjeiden koot ja rakenne
- SFS-EN ISO 5455:1979 Tekniset piirustukset. Mittakaavat
- SFS-EN ISO 5456-2:1996 Tekniset piirustukset. Projisointimenetelmät. Osa 2: Kohtisuorat yhdensuuntaisuusprojektiot
- SFS-EN ISO 129-1:2019 Tekninen tuotedokumentointi. Mittojen ja toleranssien esittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet
- SFS-EN ISO 2553:2019 Hitsaus ja sen lähiprosessit. Piirustusmerkinnät. Hitsausliitokset.

Standardeja on tarvittu laadittaessa materiaalia piirustusohjeista, luvussa ”Piirustusohjeet”. Luvun alussa on esitelty käytettävät standardit sekä näiden tärkeimmät vaatimukset.

6 Työn toteutus

Materiaalin luomiselle havaittiin tarve, kun kokemuksia aiemmista erityyppisistä asiakasprojekteista käytiin läpi. Ennen aloituspalaveria kerättiin jo olemassa olevat aiheeseen liittyvät ohjeet yhteen tiedostosijaintiin, johon on osaston sisällä vapaa pääsy verkkoyhteyden kanssa. Tämä tuli tarpeeseen, sillä opinnäytetyötä tehtiin eri työpäätteiltä. Myös toimeksiantajalla tuli olla sujuva pääsy vertaamaan luotua materiaalia olemassa oleviin ohjeisiin. Samalla aloitettiin jo alkuvaiheessa tutkimaan, millaisia vaatimuksia yhteisessä käytössä olevien tiedostojen samanaikainen jako ja muokaus eri toimijoiden käsittelyssä aiheuttaa.

Ennen aloituspalaveria olemassa olevaan materiaaliin oli perehdytty. Aloituspalaverissa määritettiin työn tavoitteet ja tavoiteaikataulu. Sovittiin myös käytännöt ja toimintatavat projektin seuraukselle. Vielä aloituspalaverissa suunnitelmassa oli luoda aineistot kahdelle eri CAD-ohjelmistolle, SOLIDWORKSille ja Inventorille. Pian kuitenkin päätettiin aikataulullisista ja käytännön syistä, että mallinnusohjeet sekä piirustusohjeet ja -pohjat tehdään vain SOLIDWORKSille. Aineisto tosin rakennetaan tavalla, johon on myöhemmin helppo lisätä tarvittaessa eri CAD-ohjelmiston ohjeita.

Aineiston rakenteen suunnittelu aloitettiin otsikkotasolla (taulukko 2). 3D-mallinnuskäytännöt muodostaa ensimmäisen otsikon, joka jaetaan menetelmäkohtaisiin alaotsikoihin. Seuraavan pääotsikon muodostaa piirustusohjeet, joka on jaettu mitoitusohjeisiin ja muihin teknisiin kuviin liittyviin ohjeistuksiin. Tarvittaessa muodostettiin lisää alaotsikoita, esimerkkinä multibody -hitsaukset hitsauksien mallinnusohjeen jatkoksi.

Taulukko 2. Loppuvaiheessa oleva sisällysluettelo.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	3D-mallinnuskäytännöt	3
2.1	Mallinnuksen yleiset säännöt	3
2.2	Särmätty levyosa	6
2.3	Koneistettavat osat	13
2.4	Kokoonpanot	17
2.5	Hitsauskokoonpanot	22
2.5.1	Multibody- hitsaukset	22
3	Piirustusohjeet	27
3.1	Osien mitoitus	29
3.1.1	Levyosat	29
3.1.2	Koneistettavat osat	31
3.1.3	Hitsauskokoonpanot	32
3.1.4	Kokoonpanot	35
3.2	BOM, otsikkotaulut ym.	36
3.2.1	Revisiokäytäntö	39
4	Tiedostojen kansiorakenne	39
5	Pikanäppäinkirjasto	39
6	Standardit	40
7	Ohjeen versiot ja revisiot	40

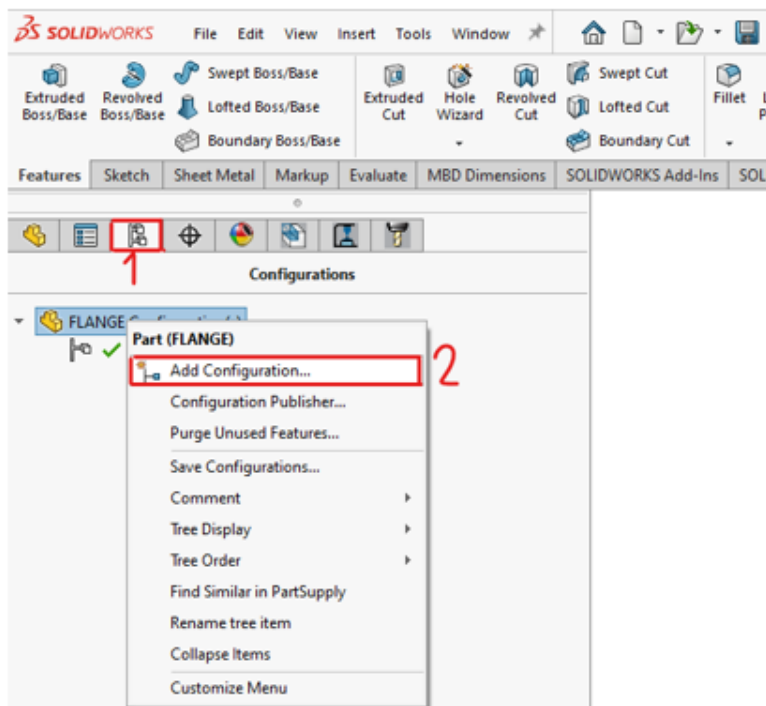
Erillisiksi otsikoiksi muodostui myös maininnat mm. käytettävistä suunnittelun standardeista ja kansiorakenteen hallinnasta. Nämä keskittyvät tukemaan aineiston pääsisältöä. Lisäksi tulevaisuudessa ohjeiden päivitys ja ylläpito helpottuu, kun tiedolle on valmiiksi suunniteltu sijainti. Aineiston rakennetta suunnitellessa on pidetty mielessä, että aineistoa on tarkoituksena päivittää ja miten sen luonteeseen liittyy jatkuva ylläpidon tarve uusien projektien ja tiedon tullessa esiin.

Useimmilla yrityksillä on omat preferenssit ja käytännöt CAD-ohjelmien esiasetuksiin sekä teknisten piirustusten piirustusohjeisiin. Näiden vaikutusten välttämiseksi opinnäytetyössä tehtiin työ pääasiassa työpöytäällä, jolla ei tehty asiakkuuksille SOLIDWORKS-projekteja. Tällä tavalla voidaan varmistaa ohjeiden oikeellisuus ja ajantasaisuus tilanteessa, jossa mallinnus ja piirustukset tehdään vain Etteplanin omien oletusasetusten ja piirustusohjeiden ollessa käytössä.

Aineistossa käytettävät mallit ja kuvat luotiin alusta alkaen CAD-ohjelmistolla. Vaikka olemassa olevia suunnitteluohjeita oli saatavilla, niissä olevia tietoja ei voinut suoraan sellaisenaan kopioida vaan näitä käytettiin suuntaa antavana ohjeena tarvittaville tiedoille ja aineiston rakenteelle. Ohjeet olivat joko eri yritysten tekemiä tai Etteplanin niille tekemiä. Suora kopiointi ei tällöin takaisi ohjeiden toimivuutta, kun jo mallinnuksen aloituksessa voidaan asettaa tuotteelle parametrejä, joita ei yleisellä SOLIDWORKS:n versiolla ole edes mahdollista asettaa. Kopiointi olisi myös eettisesti väärin sekä tietoturvan ja lainsäädännön kannalta hyvin kyseenalaista. Aineistoa laadittaessa kiinnitettiin erityistä huomiota, ettei yksityistä ja herkkää tietoa päädy aineistoon tai opinnäytetyön raporttiin.

Aineiston laatiminen suoritettiin pääasiassa otsikoiden asettamassa järjestyksessä. Aineistoa varten luotiin esimerkkimallit ja piirustukset, joista otettiin kuvakaappauksia täydentämään kirjoitettuja ohjeita. Ohjelman käytön jokaisessa vaiheessa pohdittiin, kuuluisiko tästä toimenpiteestä laatia kuvallista ja kirjallista täsmennystä ohjeisiin (kuvio 10). Riskiksi muodostui liian tarkkojen ohjeiden laatiminen, mikä olisi vienyt liikaa aikaa ja ollut lisäksi tarpeetonta, sillä ohje on tarkoitettu jo ammattitaitoa omaaville mekaniikkasuunnittelijoille. Tässä työn vaiheessa olikin oleellista kuulla kokeneita suunnittelijoita ja heidän näkemyksiään.

Koneistettaviin osiin lisätään Prefrom (aihio) -konfiguraatio. Painetaan ConfigurationManagerin alta rakennepuusta ylimmän kohteen kohdalta hiiren oikealla ja klikataan "Add Configuration".



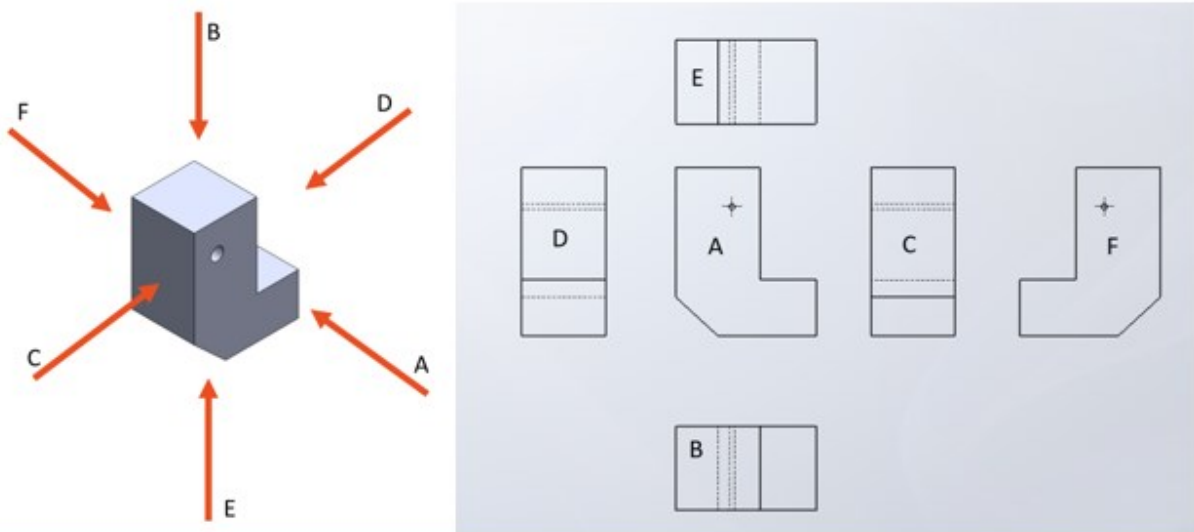
Kuvio 10. Tarvittaessa numeroitiin valikoiden vaiheita epäselviltä tuntuneisiin kohtiin.

Kun aineisto laatiminen oli edennyt sopivasti, lähetettiin siihen mennessä luotu materiaali toimeksiantajan ohjaajalle, jonka kanssa sovittiin yhteinen palaveri. Ennen palaveria ohjaaja tutustui aineistoon ja kommentoi puutteet tai korjaustarpeet kirjallisesti joko ennen palaveria tai suullisesti sen aikana. Korjauksista tehtiin kirjalliset muistiinpanot ja muutokset tehtiin itsenäisesti. Jokaisessa palaverissa esiteltiin uusia tuotoksia. Korjauksille ei varattu erillistä tarkastelua ja aikataulua vaan ne tehtiin työn ohessa.

Aineiston laatiminen edistyi suoraviivaisesti opinnäytetyön ajan. Suurin haaste oli alussa määrittää tarkkuus, millä aineistossa ohjeistetaan suunnittelijaa. Hyödylliset mutta harvemmin käytössä olevat toiminnot olivat syytä käydä läpi perusteellisesti, mutta yleisiin suunnittelun ohjeisiin saattoi helposti kulua liikaa aikaa ja vaivaa. Tätä vaihetta ei kestänyt kauan ja ohjeiden sopiva tarkkuus saavutettiin pian aloituksen jälkeen.

Materiaalin laatimisessa käytettiin apuna yleisiä suunnittelun standardeja, joihin oli suora pääsy toimeksiantajan lisenssillä. Standardeja hyödynnettiin erityisesti teknisiä piirustusohjeita laatiessa, sillä toisin kuin mallinnuksessa, piirustuksien laatimisesta on hyvin tarkat ja alalla yleisesti käytössä olevat standardit. Käytetyistä standardeista luotiin tekstiviite aineiston sen mainitsemassa kohdassa. Tämän lisäksi standardeista luotiin erillinen lähdeluettelo materiaalin päätteeksi (kuvio 11).

Osien projisointi noudattaa standardia SFS-EN ISO 5456-2 ja käännöt tehdään yhden käännön | menetelmällä.



Kuvio 11. Esimerkki standardin viitteestä ja sen havainnollistamisesta kuvan avulla.

Kun aineistosta saatiin ensimmäinen kokonainen luonnos, lähetettiin se toimeksiantajan kommentoitavaksi. Tämän jälkeen pidettiin lopetuspalaveri, jossa viimeiset korjaukset käytiin läpi. Samassa palaverissa kerrattiin tulokset, pohdittiin projektin laatua, aineiston sijainnin julkistamisesta päätettiin ja sovittiin myös jatkotoimenpiteistä.

7 Tuotettu aineisto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa suunnitellut aineistot. Jo alusta alkaen suunnitelmissa oli luoda mallinnus- ja piirustusohjeet projektiohjeen lisäksi. Lisäksi aineiston laatimisen edetessä tuli

esille, että osa olemassa olevista SOLIDWORKS-piirustus pohjista eivät olleet ajan tasalla. Näiden korjaus ja päivittäminen sisällytettiin opinnäytetyöhön. Piirustus pohjia ja osaluetteloita lukuun ottamatta kaikki tehty aineisto sijaitsee samassa tekstitiedostossa.


Aluksi pohdittiin ohjeiden luomista kahdelle eri CAD-ohjelmalle: SOLIDWORKSille ja Inventorille, mutta pian aloituksen jälkeen päädyttiin luomaan vain SOLIDWORKS-materiaalit. SOLIDWORKS oli kahdesta ohjelmasta yleisemmin käytössä, lisenssin aktivointi siihen oli helpompaa ja olemassa olevat ohjeet olivat yleisempiä SOLIDWORKSille. Tästä huolimatta ohjeissa oli myös puutteita tai ne eivät olleet yleispäteviä, vaan kuvasivat tiettyjen asiakkuuksien erityisvaatimuksia, mikä saattoi synnyttää ristiriitoja ohjeiden välille. Samoin piirustus pohjat vaativat päivitystä, mikä puolestaan kohotti työmäärää alkuperäistä arviota suuremmaksi.

7.1 Piirustus pohjat

CAD-ohjelmistoissa on oltava piirustus pohjat, ennen kuin teknisten valmistuskuvien teko voidaan aloittaa. Ohjelmisto saa pohjasta piirustuksen asetukset ja grafiikat suoraan, jolloin kuvien teko on suoraviivaista ja nopeaa.

Työssä päivitettiin SOLIDWORKS otsikkotaulun pohjat kaikille käytettävissä oleville arkikoille (taulukko 3). Korjauksiin sisältyi mm. oikeinkirjoituksen ja kielisyyden tarkistamista. Lisäksi joissakin pohjissa oli standardeista poikkeavia valintoja, jotka myös korjattiin. Yleisesti tarkastettiin, että kaikki pohjat noudattavat alan standardeja. Kaikkien piirustus pohjien päivityksen lisäksi ohjeeseen tehtiin selvä esitys siitä, mitkä pohjat ovat käytössä ja missä niiden tiedostosijainti on. Toisin kuin muu aineisto, nämä tiedostot eivät ole suoraan samassa tekstitiedostossa kuin loput ohjeet.

Taulukko 3. Ote tehdystä otsikkotaulusta. Osa otsikkotaulun tiedoista syntyy automaattisesti, kun kuvaa ensimmäisen kerran luodaan.

	Weight	kg	A4	Document type
	Page	1/1	Scale	Reference
			1:10	

BOM (Bill of Materials) tarkoittaa osaluetteloa. SOLIDWORKS-ohjelmistossa kuviin voidaan tuoda osaluettelo valmiin pohjan avulla. Kuten piirustusohjelmassa, myös osaluetteloissa oli päivittämisen varaa. Päivitykset olivat pieniä ja koskivat lähinnä kielisyyttä tai tiedon esittämisen johdonmukaisuutta. Tämän lisäksi osaluetteloita oli saatavilla monia erilaisia, mikä puolestaan tuo sekavuutta, kun suunnittelija ei tiedä, mitä osaluetteloa tulisi käyttää. Eri luetteloista valittiin kootusti tärkeimmät ominaisuudet ja nämä yhdistettiin yhdeksi pohjaksi. BOM-listat luotiin kahteen erilaiseen tarpeeseen: yksittäisille osille ja kokoonpanoille. Nämä suositellut osaluettelot nimettiin erottuvasti ja lisäksi niiden käytöstä ja tiedostosijainnista mainitaan ohjeessa.

7.2 Mallinnusohjeet

Tuotetussa mallinnusohjeessa ohjeistetaan yleisiä mallinnukseen ja suunnitteluun liittyviä asioita. Lisäksi mallinnusohjeet sisältävät SOLIDWORKS-ohjelmistokohtaisia komentoja ja toimintoja.

Ohjeen ei ole tarkoitus kouluttaa uusia mekaniikkasuunnittelijoita, vaan toimia jo osaamista omaksuman suunnittelijan apuna. Tästä huolimatta tietyt mallinnusohjeet ohjeistettiin hyvinkin alhaiselta lähtötasolta. Tarkoituksena on kiinnittää käyttäjän huomio jo alkuvaiheessa oikeaoppiseen työskentelytapaan. Tällöin perusta pysyy samana, vaikka tekijä vaihtuisi. Tämä puolestaan helpottaa projektien hallintaa ja vähentää sekaantumisten riskiä. Samoin itse suunnittelutyön tekeminen voidaan aloittaa vaivatta, kun ylimääräistä aikaa mallinnustekniikoiden selvittämiseen ei kulu.

Ohjeen alussa on erilliset mallinnuksen yleiset käytännöt ja säännöt, mitkä pätevät lähtökohtaisesti kaikissa projekteissa. Erilliset ja tarkemmat mallinnusohjeet on luotu valmistustekniikasta riippuen erityyppisiä valmistettavia osia ja kokoonpanoja varten, esimerkki tällaisen kokoonpanon alusta on kuviossa 12. Näitä ovat levyosat, koneistettavat osat ja erilaiset kokoonpanot. Jokaisessa luvussa on käsitelty kyseiseen valmistustekniikkaan liittyen huomioitavia asioita hyvän mallinnuksen toteuttamiseksi.

2.5.1 Multibody- hitsaukset

Multibody hitsausten avulla voidaan luoda täysi hitsauskokoontyö osaan. Multibodyssa on useita kiinteitä bodyja yhden yksittäisen osan sisällä- Multibody-rakennetta käytetään, kun:

- Kokoontyön valmistus on kertaluonteista tai pienissä erissä
- Hitsataan yhteen monia samankaltaisia standardiprofiileja
- Leikkaukset tai poraukset ovat selkeitä tehdä massana

Ennen kuin voidaan käyttää multibodya täytyy tietää miten weldment -profiili tuodaan rakenteeseen. Aluksi piirretään viiva uuteen tyhjään osaan.

Weldment tuodaan osaan "Structural Member" -komennolla:

Kuvio 12. Ote Multibody-tekniikalla tehdystä hitsausohjeesta.

Mallinnusohjeet etenevät vaihe vaiheelta kronologisessa järjestyksessä. Mallinnusohjeen tarkkuuden takaamiseksi ohjeessa esiintyvät mallit ja komennot on tehty samanaikaisesti ohjetta kirjoitettaessa. Mikäli jo tuotettuun ohjeeseen tuli tehdä muutoksia tai korjauksia toimeksiantajan palautteen perusteella, tehtiin korjaustoimenpiteet samoille osille saman prosessin läpi.

Mallinnusohjeiden rakenteessa on otettu huomioon aineiston muutostarve. Eri tekniikkoja on helppoa ja luontevaa lisätä omiksi luvuikseen tai alaluvuikseen, mikä tulee vääjäämättä eteen, kun aineisto otetaan käyttöön. Myös eri CAD-ohjelmistojen ohjeet voidaan helposti lisätä nykyisten rinnalle, ilman että näille olisi tehtävä erillistä dokumenttia.

7.3 Piirustusohjeet

Piirustusohjeen alussa annetaan yleiset ohjeet teknisten piirustusten laatimista varten. Samassa vaiheessa mainitaan mihin standardeihin ohjeet viittaavat. Toisin kuin mallinnusohjeissa, piirustuksissa käytettävistä SOLIDWORKS-komennoista ei ole tehty erillisiä ohjeita, sillä oletuksena on, että jokainen suunnittelija taitaa teknisten piirustuksen laatimisen. Erilaisia käytettäviä komentoja on huomattavasti vähemmän kuin mallinnuksen puolella ja toisin kuin mallinnuksessa nämä toiminnot eivät määrittele kohteen rakennetta tai ominaisuuksia.

Teknisten piirustusten ohjeille on tehty mallinnusohjeita vastaava jako. Jokaisen luvun alussa on myös suunnittelijan avuksi tarkoitettu lyhyt lista yleisesti huomioitavista asioista kyseisen luvun aiheeseen liittyen, esimerkkinä hitsauskokoontamiseen liittyen kuviossa 13. On siis kerrottu mitkä tiedot kyseisessä kuvassa tulee esittää, tai vaihtoehtoisesti perusteltava tiedon puute. Jokaisen luvun lopussa on esimerkkikuva. Esimerkit ovat tehty mallinnusohjeissa esiintyvissä malleissa. Tällöin on voitu varmistaa mallinnusohjeiden oikeellisuus, kun mallit esiintyvät teknisissä piirustuksissa oikealla tavalla. Samalla suunnittelijan on helppo vertailla mallinnusohjeita ja teknisten piirustusten ohjeita keskenään.

3.1.3 Hitsauskokoontamiset:

Yleisten vaatimuksen lisäksi koneistuskuvissa huomioitava:

- **Tavoitteena yksi sheet.**
 - **Tarvittaessa hitsausjärjestys ohjeistettava. Mikä hitsausjärjestys ohjeistetaan usealla sheetillä, on tästä selkeästi mainittava.**
 - **Hitsien paksuus määräytyy ohuemman hitsattavan kappaleen mukaan**
 - **Ympärihitsausmerkin huolellinen käyttö: vain siellä missä mahdollista hitsata samalla menetelmällä ja hitsinkoolla yhtäjaksoisesti ympäri.**
 - **Osat numeroitava selkeästi sekä lisätään tunnistamista auttavia mittoja.**
-

Kuvio 13. Esimerkki työtapaohjeistuksesta teknisissä piirustuksissa laadittaessa.

Erillisenä luvuksi piirustusohjeissa muodostui otsikkotaulujen ja osaluetteloiden muokkaaminen, joiden avulla esitetään kohteen metatietoja. Esimerkkikuvista voi tarkastella tietyn tyyppisen piirustuksen vaatimuksia, mutta yleisesti muokaus toimii kaikilla samalla tavalla. Koska tiedot ovat suunnitteluprosessin ja valmistuksen kannalta kriittisiä, on otsikkotaulujen ja osaluetteloiden muutokset ohjeistettu vaihe vaiheelta.

Kun aineisto otetaan käyttöön ja siihen tarvitsee tehdä muutoksia, onnistuu lisäyksien teko helposti lisäämällä uusia lukuja tai alalukuja. Tämän vuoksi oli myös tärkeää tehdä metatietoja varten oma lukunsa. Tarvittaessa on helppo eritellä tietojen käsittely erilaisilla CAD-ohjelmistoilla.

7.4 Muut ohjeet

Mallinnus- ja piirustusohjeet esiteltiin toimeksiantajan omien uusien projektien kontekstissa. Vaikka aineiston painotus ei ole projektinhallinnassa tai -ohjauksessa, on ohjeessa esitelty mekaniikkasuunnittelijan huomioitavia asioita tässä yhteydessä. Nämä liittyvät mm. tiedostojen hallintaan, nimeämiseen ja varastointiin.

8 Suunnitellut jatkotoimenpiteet

Ohje on luonteeltaan jatkuvasti päivitettävä ja sen kehitys ja täydentäminen jatkuu heti kun tarve vaatii. Tämän vuoksi toimeksiantajan kanssa sovittiin säännöt ja käytännöt, joiden avulla ohjeen päivitys tapahtuu hallitusti. Ohjetta päivitetään versio kerrallaan sekaantumisten välttämiseksi. Ei kuitenkaan ole todennäköistä, että ohjeen vanhassa versiossa olisi suoranaisesti virheellistä tietoa verrattuna uudempaan versioon.

Päivittäminen tapahtuu pääkäyttäjän toimesta tai kautta. Pääkäyttäjäksi valittiin ohjeen alkuperäinen tekijä. Lisäksi ennen muutoksia tai lisäyksiä on varmistettava toinen vanhemman suunnittelijan näkemys, jotta ohjeen muoto ja tarkoitus pysyy suunniteltuna. Näin taataan ohjeen laadun pysyvyys ja sisällön asiantuntemus. Tämän lisäksi pääkäyttäjän tehtäviin kuuluu varmistaa ohjeen käyttäjälähtöisyys: aineisto on luotu palvelemaan suunnittelijaa, joten myös suunnittelijoiden näkemyksiä on kuultava aineiston kehitysehdotuksissa tai puutteissa. Palautetta kerätään aina uuden sopivan projektin aikana. Projektin jälkeen tai loppuvaiheessa kerätty tieto jäsenellään ja lisätään aineistoon.

Muutamien ensimmäisten versioiden jälkeen on tarkoituksena luoda prosessi, jonka avulla aineistosta on helppo kerätä palautetta ja tehdä siihen halutut muutokset. Näin luodaan pitkän ja jatkuvan kehittämisen menetelmä, missä itse opinnäytetyö oli mukana vain alkuvaiheessa. Alkuvaiheessa keskityttiin saamaan valmis, helposti muokattava pohja.

Vaikka ohje ja luotu aineisto oli tarkoitettu pääasiassa yhden tietyn osaston käyttöön, voi ohjetta hyödyntää myös muiden osastojen toiminnassa. Erityisesti yleishyödyllistä osiota edustavat SOLIDWORKS-mallinnusohjeet, jotka ovat päteviä lähes joka tilanteessa asiakkuudesta tai käytännöistä riippumatta, kunhan itse ohjelmisto on sama. Ohjeen jakaminen muille osastoille tehdään

vain PDF-tiedostomuodossa. Itse tekstin muokkauspohjaa ei jaeta. Tällä keinolla pyritään rajoittamaan mahdollisia eri versioita, joita huolimaton ja asiaan perehtymätön käyttö saattaisi synnyttää.

Ohje otetaan käyttöön seuraavassa siihen soveltuvassa projektissa. Julkistaminen tapahtuu seuraavassa osaston sisäisessä kuukausi-infossa, jossa ohjeen toimintaperiaatteet käydään läpi koko osaston kesken. Samalla myös ohje vapautetaan osaston sisäiseen käyttöön, mutta päivitys- ja muokausvastuu pysyy yhä pääkäyttäjällä.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön lähtökohtaisena tavoitteena oli luoda toimeksiantajalle mekaniikkasuunnittelijoiden aineisto, jonka avulla uusien projektien aloitus onnistuu helposti. Tähän tavoitteeseen päästiin ja toimeksiantaja on lopputuloksena syntyneeseen ohjeeseen tyytyväinen. Ohje käsittelee projekteissa huomioitavia asioita ja sisältää perusteelliset ohjeet SOLIDWORKS-ohjelmiston käytössä ympäristössä. Selkeitä vaatimuksia olivat pohjat, mallinnus- ja piirustuskäytännöt erilaisille osille ja kokoonpanoille. Nämä vaatimukset täytettiin.

Tavoiteltu aikataulu venyi hieman. Tähän saattoi vaikuttaa se, että opinnäytetyötä tehtiin pääasiassa muiden töiden ohessa. Tämä ei toisaalta ole pelkästään huono asia vaan tuo opinnäytetyöhön jopa lisäarvoa. Tietoa, kokemuksia, palautetta ja muuta primääriaineistoa kerättiin pidempään, mikä parantaa ohjeen laatua. Näin saadaan jo ensimmäisestä versiosta oikea informatiivinen aineisto pelkistetyn pohjan sijaan, johon myöhemmin lisättäisiin itse asia. Laatu näkyi myös aineiston ulkoasussa: toimeksiantajan palautteen mukaan aineisto oli erityisesti selkeä ja siisti ulkoasultaan. Samoin ohjeessa käytetty kieli sisältää asianmukaisesti ammattisanastoa ja on mahdollisimman yksiselitteinen.

Vaikka opinnäytetyön lähtökohta pysyi samana läpi projektin, muutoksiakin tapahtui. Isoin muutos oli ohjeessa käsiteltävien CAD-ohjelmistojen määrän supistuminen kahdesta yhteen. Tähän vaikuttivat osittain käytännön syyt, kuten ohjelmiston saatavuus, sekä myös suoraan aikataululliset syyt. Toisaalta ohje on tehty kehitettäväksi ja päivitettäväksi, joten konkreettinen tieto yhden ohjelmiston ohjeiden lisästarpeista auttoi hahmottamaan vaatimuksia, joita tällainen tulevaisuudessa tapahtuva muokaus voi aiheuttaa. Tätä mielessä pitäen ohjeestakin on tehty joustava ja lisättävät ohjeet laaditaan samaan ohjeeseen sisälle, kun sopiva aika koittaa.

Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä oli toimintatutkimus. Valittu menetelmä soveltui hyvin, sillä toimintatutkimuksen erityispiirteinä voidaan pitää käytännönläheistä otetta, tutkimuksen sosiaalisuuden painottamista sekä tutkijan suoraa vaikuttamista tutkittavaan aiheeseen tai kohteeseen. Käytännönläheisyyttä tavoiteltiin luomalla ohjeet, jotka palvelisivat käyttäjää eli olisivat käyttäjälähtöisiä sen sijaan että kerrottaisiin ylhäältä alaspäin jäykässä komentoketjussa, miten asioiden tulisi edetä ennalta suunnitellun mukaisesti. Tässä korostuu myös sosiaalisuuden puoli, sillä ohjeen pitäisi antaa arvoa lukijalle ja hänen työlleen eikä olla tästä irrallinen kokonaisuus.

Toimintatutkimuksen yhtenä perusideana oli syklisyys: tutkimukselle tehdään suunnitelma, toimitaan suunnitelman mukaan ja tämän jälkeen havainnoidaan muutokset. Ennen seuraavaa sykliä on reflektointivaihe. Opinnäytetyö toimi tässä yhtenä kokonaisena syklinä ja päättyy reflektointivaiheeseen. Kun ohje otetaan käyttöön, on tarkoituksena noudattaa näitä toimintatutkimuksen periaatteita myös jatkossa, kun ohjetta päivitetään uusien tietojen ja kokemusten pohjalta.

Lähteet

3D Modeling for Engineering: A Priceless Tool. 2022. 3D Ace. 3D mallinnuksen hyödyistä. Viitattu 3.1.2024. <https://3d-ace.com/blog/3d-modeling-for-engineering/>

Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen E. & Sihvonen P. 2011. 14. p. Valmistustekniikka. Helsinki: Yliopistokustannus.

Aaltonen, K., Ekman, K., Kamppari, J., Kauppinen, J., Kivivuori, S., Paro, J. & Vuorinen J. J. 1991. Työvälinetekniikka. Hämeenlinna: Karisto.

Ball, A. 2013. Preserving Computer-Aided Design (CAD). Digital Preservation Coalition. Viitattu 22.1.2024. <https://www.dpconline.org/docs/technology-watch-reports/896-dpctw13-02-pdf/file>

Bethany. 2023. A Brief History of SolidWorks. Scan2cad-sivusto. Viitattu 4.1.2024. <https://www.scan2cad.com/blog/cad/solidworks-history/>

Etteplanin historia. N.d. Etteplanin kotisivusto. Viitattu 14.12.2023. <https://www.etteplan.com/fi/tietoa-meista/etteplanin-historia>

Guide to 3D Modeling. N.d. Take-Off Professionals. 3D-mallinnuksen perusteita. Viitattu 3.1.2024. <https://www.takeoffpros.com/2020/04/27/guide-to-3d-modeling/>

Havas, T., Hiitelä, E., Hultin, S., Matilainen J. & Parviainen M. 2011. Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint.

Heikkinen, H. & Kaukko, M. 2023. Toimintatutkimus. Tampere: Vastapaino.

Häkkinen, J. 2013. Taivutusautomaatin ominaisuuksien hyödyntäminen ohutlevy tuotteiden suunnittelussa. Opinnäytetyö. Tekniikan ja liikenteen ala. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 28.2.2024. <https://core.ac.uk/download/pdf/38090272.pdf>

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Lepola, P. & Ylikangas, R. 2019. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. 1.–2. p. Helsinki: Sanoma Pro.

Lombard, M. 2018. Mastering SolidWorks. John Wiley & Sons. Viitattu 29.2.2024. <https://ebook-central-proquest-com.ezproxy.jamk.fi:2443/lib/jypoly-ebooks/detail.action?docID=5568847>

Lombard, M. 2022. Why Do We Have 3D Standards and What Is Best Practice? Artikkelit standardeista ja käytännöistä CAD-ympäristössä Engineers Rule -sivustolla. Viitattu 3.1.2024. <https://www.engineersrule.com/why-do-we-have-3d-standards-and-whats-best-practice/>

Mikä on standardi? N.d. SFS. Suomen standardoimisliiton sivu. Viitattu 26.2.2024. <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>

Mekaniikkasuunnittelut. N.d. Tietoa Etteplanin tarjoamista mekaniikkasuunnittelupalveluista. Viitattu 14.12.2023. <https://www.etteplan.com/fi/palvelumme/suunnittelupalvelut/mekaniikkasuunnittelu>

Palvelumme. N.d. Etteplanin kotisivusto. Viitattu 14.12.2023. <https://www.etteplan.com/fi/palvelumme>

SolidWorks 1995 to 2012 - The Evolution of a 3D CAD System. 2011. Video. SOLIDWORKS -YouTube kanava. Viitattu 4.1.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=4vbY5arqxZA>

Standards. N.d. ISO. Kansainvälisen standardointisorganisaation sivu. Viitattu 26.2.2024. <https://www.iso.org/standards.html>

Vikman, A. 2017. Ohutlevyosien suunnittelun ja tuotannon välisen rajapinnan kehittäminen. Opinnäytetyö. Tekniikan ala. Lahden ammattikorkeakoulu. Viitattu 28.2.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/125536/Vikman_Ansi.pdf;jsessionid=F279498BA7DCE5B2FB0F8AF6350D1E65?sequence=1

Liitteet

Liite 1. Toimintaohje (salassa pidettävä)