



Konepajapiirustusten laadinta

Käsikirja

Samuli Halme

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2019

Konetekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotekehitys

HALME, SAMULI:
Konepajapiirustusten laadinta
Käsikirja

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Kesäkuu 2019

Opinnäytetyö tehtiin ALTEN Finlandin (ALTE Oy) toimeksiannosta. ALTEN Finland on suunnittelutoimisto, joka tarjoaa suunnittelupalveluita useilla eri aloilla. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa ALTENin koneosastolle käsikirja tueksi konepajapiirustusten laadintaan. Työn tärkeimpinä tavoitteina oli säästää suunnittelijoiden aikaa tiedonhaussa ja vähentää piirustusten virheitä. Käsikirjan vaatimukset sovittiin yhdessä toimeksiantajan kanssa työn alkuvaiheessa.

Opinnäytetyössä koottiin yhteen tärkeimmät piirustuksiin liittyvät tiedot. Tiedot koottiin pääasiassa soveltuvista standardeista. Kootut tiedot kirjoitettiin selkeään ja ymmärrettävään muotoon ja niistä koottiin toimeksiantajalle käsikirja. Käsikirjan tärkeimpinä vaatimuksina oli myöhempi muokattavuus ja käsikirjan yleinen selkeys.

Työn tuloksena syntyi toimeksiantajan käyttöön käsikirja, jossa on kaikki oleellinen tieto piirustusten laatimisesta. Valmis käsikirja hyväksyttiin toimeksiantajalla ja luovutettiin toimeksiantajan käyttöön opinnäytetyön valmistumisen yhteydessä.

Toimeksiantajalle tehtyä käsikirjaa ei sisällytetä julkiseen raporttiin ja myös muu toimeksiantajan toimesta määritelty luottamuksellinen aineisto on poistettu julkisesta raportista.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

HALME, SAMULI:
Making of Technical Drawings
Handbook

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 0 pages
June 2019

This thesis was done as an assignment for ALTEN Finland (ALTE Oy). ALTEN Finland is an engineering company offering various types of engineering services. The background for this thesis was the lack of guidelines for making technical drawings resulting in drawing errors and loss of time.

The purpose of this thesis was to create a handbook to aid designers in making drawings. The main objectives were to reduce the time spent searching for information and to reduce drawing errors. The requirements and wishes for the handbook were agreed on with the client at the beginning of the work. The need for the handbook to be easily updated later and the general clarity of the handbook were agreed to be the main requirements.

The handbook was constructed by collecting all the relevant and up to date data from various standards and publications. The data was then organized in a logical manner. The handbook was designed to focus on the most commonly used elements. Relevant standards were listed under every section to aid the designer find more information if needed. The contents of the handbook were reviewed together with the client.

As a result of this thesis, a handbook covering all the important aspects of making technical drawings was handed to the client.

The handbook and other confidential material defined by the client were omitted from the public report.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KONEENPIIRUSTUS.....	8
2.1	Koneenpiirustus yleisesti.....	8
2.2	Aiemmat työtavat	9
2.3	Uudet työtavat ja tulevaisuus	10
3	KONEPAJAPIIRUSTUSTEN LAATIMINEN	11
3.1	Piirustusohjeet.....	11
3.2	Viivat ja tekstit	12
3.3	Projektiot	13
3.4	Leikkaukset	17
3.5	Kierteiden esittäminen.....	20
3.6	Mittojen ilmoittaminen	21
3.7	Merkinnät	25
3.7.1	Toleranssit.....	26
3.7.2	Hitsausmerkinnät.....	30
3.7.3	Pinnanlaatumerkinnät.....	34
3.8	Kokoonpanopiirustukset.....	36
3.9	Ohutlevypiirustukset.....	38
3.10	PDM, muutoshallinta ja revisiointi	39
3.11	Esimerkkejä ja yleisiä virheitä	40
4	KÄSIKIRJA KONEPAJAPIIRUSTUSTEN LAADINTAAN.....	43
4.1	Käsikirjan vaatimukset	43
4.2	Käsikirjan laatiminen	44
5	POHDINTA	46
	LÄHTEET.....	48

ERITYISSANASTO

BOM	bill of materials, osaluettelo
CAD	computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
GPS	geometric product specifications, ISO:n laatima geometristen toleranssien standardi
ISO	International Organisation for Standardization, Kansainvälinen standardoimisjärjestö
PDM	product data management, tuotetiedon hallinta
SFS	Suomen standardoimisliitto

1 JOHDANTO

Konepajapiirustusten laatiminen voi olla suunnittelijalle joskus hankalaa. Muistettavia ja huomioon otettavia asioita on paljon. Tämä korostuu varsinkin nuorilla suunnittelijoilla, joille ei vielä ole kertynyt kokemusta ja niin sanottua näppituntumaa. Omakohtaiseen kokemukseen nojaten konetekniikan koulutuksessa ei anneta erityisen suurta painoarvoa piirustusten laadinnalle, joten paljon tietoa jää pimentoon. Alan kirjallisuutta on hyvin löydettävissä, mutta tieto on hyvin hajautunut esimerkiksi useisiin eri standardeihin ja julkaisuihin.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa ALTEN Finlandin suunnittelijoille käsikirja tueksi konepajapiirustusten laadintaan. ALTEN Finland on suomalainen insinööritoimisto, joka tarjoaa suunnittelupalveluita useilla eri tekniikan aloilla. Se työllistää noin 600 henkilöä, joista suurin osa on insinöörejä, 11 toimipisteellä.

ALTEN Finland on viime aikoina palkannut paljon nuoria suunnittelijoita ja tämän seurauksena on tehty joitakin havaintoja vastavalmistuneiden insinöörien puutteellisista piirustusten laadintataidoista, sillä koulutuksessa piirustukset eivät saa suurta painoarvoa. Tähän saakka tilanne on ollut, että jokainen suunnittelija tekee piirustukset oman tietonsa mukaan. Toimistolla on toki saatavilla alan kirjallisuutta, mutta kirjoista tiedon haku vie paljon arvokasta aikaa. Opinnäytetyön tavoitteena on suunnittelijoiden ajan säästämiseksi koota kaikki tärkeimmät piirustuksiin liittyvät tiedot yksien kansien väliin nopeasti saataville.

Tavoitteen saavuttamiseksi opinnäytetyössä käsitellään ja avataan piirustuksiin liittyviä standardeja ja hyviä käytänteitä. Piirustusten perusasioiden lisäksi käsitellään erilaisia merkintöjä, kuten hitsausmerkintöjä ja ohutlevypiirustuksia erikseen. Piirustusten mitoittamiseen liittyy monia asioita, joita käydään työssä läpi. Lisäksi sivutaan hieman muutoshallintaa ja revisiointia. Opinnäytetyössä ei käsitellä muovi- tai komposiittimateriaaleja, putkisto- tai laitossuunnitteluun eikä teräsrakenteisiin liittyviä piirustuksia. Työssä keskitytään piirustusten laatimiseen eikä niinkään varsinaiseen suunnitteluun, esimerkiksi hitsausmenetelmän tai soveltuvan toleranssin valintaan.

Työn tuotoksena koostetaan työn tilaajan käyttöön käsikirja. Käsikirja on opinnäytetyön erillinen salassa pidettävä liiteosio, jota ei julkaista. Materiaalin laatiminen ja siihen liittyviä asioita on kuitenkin kuvattu raportissa lyhyesti.

2 KONEENPIIRUSTUS

2.1 Koneenpiirustus yleisesti

Teknisellä piirustuksella tarkoitetaan tekniikan alan vakiintunutta käytäntöä ilmaista teknisiä tietoja ja ominaisuuksia, esimerkiksi kappaleen mittoja. Piirustukset ovat tekniikan alan ”kieli”. (Pere 2012, 1-1.)

Teknisiä piirustuksia on hyvin monenlaisia. Koneenpiirustus on teknisen piirtämisen alalaji, joka käsittelee koneenrakennuksen teknisiä piirustuksia (Pere 2012, 1-1). Koneenpiirustus eroaa vaatimuksiltaan esimerkiksi sähköpiirustuksista. Koneenpiirustuksen tärkeimmät perusvaatimukset ovat yksikäsitteisyys ja selvyys (Pere 2012, 1-2). Tämä tarkoittaa yksinkertaisuudessaan sitä, että suunnittelijan on laadittava piirustukset niin selkeiksi, ettei väärintulkitseminen ole mahdollista.

Koneenpiirustuksia on hyvin monenlaisia erilaisiin tarkoituksiin, esimerkiksi työpiirustuksia, kokoonpanopiirustuksia ja käyttöohjepiirustuksia. Suurin osa koneenpiirustuksista on osien piirustuksia. (Pere 2012, 1-2.) Näitä piirustuksia kutsutaan myös konepajapiirustuksiksi, vaikka niitä voidaan käyttää useissa muissakin ympäristöissä. Eri käyttötarkoitukset asettavat erilaisia, lähinnä merkintöihin liittyviä, vaatimuksia piirustuksille, jotka tulee ottaa huomioon. Koneenpiirustus on suunnittelijan tärkein tehtävä, sillä ilman piirustuksia esimerkiksi suuren työkonen kokoonpano on hyvin vaikeaa, ellei jopa mahdotonta. Kuvassa 1 on esimerkki konepajapiirustuksesta.

2.3 Uudet työtavat ja tulevaisuus

Nykyisin tietokoneavusteinen suunnittelu on käytännössä täysin syrjäyttänyt käsin piirtämisen. Myös 2D-mallinnus on jäämässä hyvää vauhtia 3D-mallinnuksen jalkoihin. Pelkän 3D-mallinnuksen lisäksi tietokoneilla voidaan tehdä esimerkiksi erilaisia analyysejä ja simulaatioita. CAD:n yleistyttyä muun muassa piirustuksiin tehtävien muutoksien teko on muuttunut helpommaksi ja niin sanottu luonnosteluvaihe on jäänyt kokonaan pois. (Pere 2012, 2-11.) 3D-mallinnusta ollaan joissain yrityksissä levittämässä myös vielä hyvin 2D-voittoiseen sähkösuunnitteluun.

Nykyisin piirustukset tehdään 3D-mallien pohjalta, jolloin esimerkiksi leikkauksien ja eri projektoiden tekeminen on helppoa ja nopeaa. CAD-ohjelmiin on sisäänrakennettu standardinmukaiset merkinnät, joten piirustuksiin tulee automaattisesti oikeanlaiset merkinnät. Esimerkiksi viivanpaksuudet eri tarkoituksiin ja kokoonpanokuvien merkinnät tulevat oikeanlaisina ilman erityisiä toimenpiteitä. Joissain käyttötarkoituksissa jo pelkkä 3D-malli riittää dokumentoinniksi ja tulevaisuudessa tämä lienee kasvava suuntaus (Pere 2012, 2-11). Tulevaisuudessa tultaneen tilanteeseen, jossa varsinaisia piirustuksia ei enää käytetä, vaan kaikki tarvittava tieto on 3D-mallissa tai sen metadatatassa (Pere 2012, 2-31). Tietokoneiden tehon kasvaessa voidaan käsitellä yhä suurempia ja monimutkaisempia kokonaisuuksia. Virtual reality -tekniikan avulla voidaan jo nykyään päästä katselemaan 3D-mallia ”todellisuudessa”, poissa tietokoneen ruudulta. Myöhemmin voi jopa olla mahdollista, että virtuaalitodellisuus korvaa kokonaan perinteisen näytöpääätetyön. Kuten kaikessa tekniikan kehityksessä, myös suunnittelussa ohjelmistojen ja työtapojen kehitys on niin nopeaa, että sen mukana pysyminen vaatii jatkuvaa uuden opettelua.

3 KONEPAJAPIIRUSTUSTEN LAATIMINEN

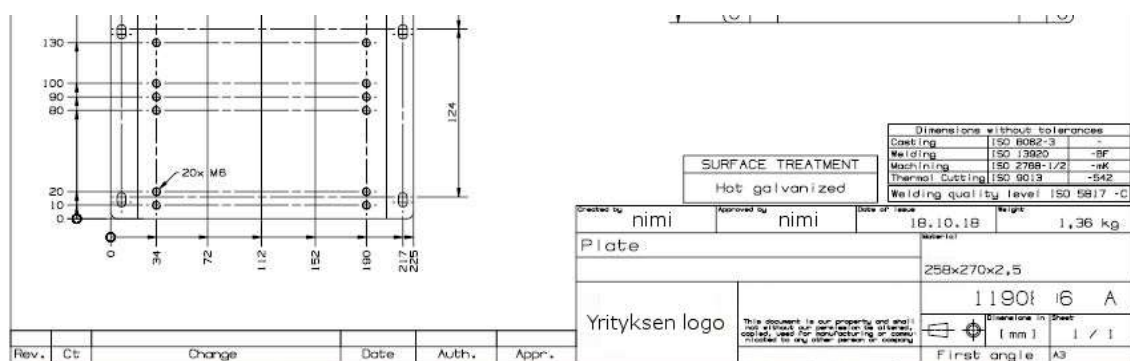
3.1 Piirustusohjat

Nykyisellä tietokoneaikakaudella suunnittelijan ei tarvitse käyttää juurikaan aikaa piirustusohjiin. Piirustusohjien koosta ja rakenteesta on olemassa oma standardinsa ISO 5457, jossa määritellään muun muassa piirustuksiin merkittävät tiedot ja merkinnät (ISO 5457 2009, 8). Suunnitteluohjelmat luovat piirustusohjan valmiiksi ja suunnittelijan tehtävä on ainoastaan täyttää tarvittavat tiedot oikeisiin kenttiin (Pere 2012, 16-2). Monesti tiedot täyttyvät automaattisesti, kun pohja laaditaan yrityksen PDM-järjestelmän kautta, esimerkiksi Siemensin NX/Teamcenter-yhdistelmää käytettäessä. Piirustusohjat vaihtelevat hieman käytetystä ohjelmasta riippuen ja yleensä yrityksillä on käytössä omat valmiit piirustusohjat. Merkittävät tiedot ovat kuitenkin yleensä lähes täysin samat.

Aluksi täytyy valita oikeankokoinen piirustusohja. Tämä valinta tehdään suunnitteluohjelmassa. Yleensä tulisi valita pienin tarvittava koko väliltä A0-A4 (ISO 5457 2009, 8). Oikean kokoiselle pohjalle mahtuvat tarvittavat kuvannot mitoitusineen ja kaikkine merkintöineen siten, että piirustus on selkeä ja siisti. Liian pienellä arkilla kuvasta tulee vaikeaselkoinen ja liian suurella arkilla piirustukseen tulee liikaa tyhjää tilaa. Liian pienellä mittakaavalla ei kannata yrittää kompensoida liian pientä arkia. Tällöin piirustuksen yksityiskohdat eivät ole selkeästi tulkittavissa. Hyvä lähtökohta on pyrkiä mahdollisuuksien mukaan mittakaavaan 1:1.

Kuvassa 2 on esimerkkinä kuvakaappaus erään suomalaisen liikkuvia työkoneita valmistavan yrityksen piirustusohjan otsikkoalueesta, josta on poistettu yritykseen viittaavat tunnisteet. Otsikkoalueelle merkitään piirustuksen tunnistetiedot eli piirustuksen nimi, tunnistenumero revisiotunnuksineen ja piirustuksen omistajan nimi (Pere 2012, 16-6). Lisäksi voidaan merkitä muitakin tietoja, jotka vaihtelevat yrityksittäin. Esimerkkipohjaan on perustietojen lisäksi dokumentoitu lista sovellettavista standardeista, pintakäsittely, hyväksyjän nimi, laadintapäivämäärä ja kappaleen paino.

Otsikkokentän vasemmalla puolella on muutoskenttä. Tässä tapauksessa muutoskenttä on tyhjä, sillä muutoksia ei ole vielä ensimmäiseen revisioon tehty. Muutosten yhteydessä muutoskenttään merkitään revisiotunnus käytössä olevan järjestelmän mukaan sekä tehty muutos, muutoksen päivämäärä ja muutoksen tekijä ja hyväksyjä (Pere 2012, 16-10). Merkinnot voivat vaihdella hieman yrityskohtaisesti.



KUVA 2. Kuvakaappaus erään suomalaisen yrityksen piirustuspohjasta

3.2 Viivat ja tekstit

Kuten piirustuspohjat, myös koneenpiirustuksessa käytettävät viivat ja tekstit tulevat nykyisillä suunnitteluohjelmilla automaattisesti standardin mukaan. Suunnittelijan on kuitenkin hyvä tietää erilaisten viivojen käytöstä, jotta piirustuksista tulee selkeämpiä ilman turhia viivoja. Viivojen käytössä on tärkeää, että erilaisia viivoja käytetään yhdenmukaisella tavalla (Pere 2012, 3-1). Koneenpiirustuksessa käytettävät viivat löytyvät standardista ISO 128 (ISO 128 2009, 6).

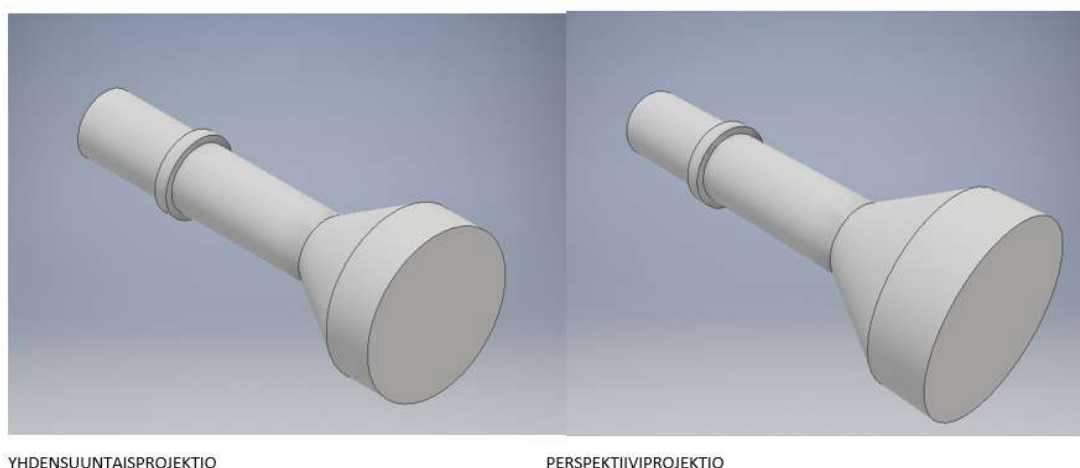
Kun piirustuksia tehdään tietokoneella, muoto-, leikkaus- ja mittaviivat tulevat automaattisesti ilman eri piirtämistä, joten näihin ei suunnittelija joudu käyttämään aikaa. Joissakin tapauksissa täytyy kuviin piirtää esimerkiksi keskiviivoja, joita käytetään mm. symmetrian osoittamiseksi ja mitoituksen apuna. Näissäkin tapauksissa suunnitteluohjelma osaa yleensä muuttaa viivatyyppin oikeanlaiseksi ja suunnittelijan täytyy vain sijoittaa keskiviiva oikein.

Piirustuksissa käytettävät tekstit tulevat myös suunnitteluohjelmista automaattisesti standardien mukaisina, eikä niiden muotoiluun juuri tarvitse kiinnittää huomiota. Teksteissä on huomioitava niiden selkeä sijoittelu ja riittävän suuri koko, jotta luettavuus säilyy. Liian monia ylimääräisiä huomautustekstejä kannattaa välttää.

3.3 Projektiot

Piirustuksia laadittaessa on kolmiulotteiset kappaleet pystyttävä esittämään kaksikulotteisten tasokuvien eli projektioden avulla. Piirustuksia luettaessa taas on osattava hahmottaa kaksikulotteisten kuvien perusteella kolmiulotteinen mielikuva kappaleesta. Tämä on yksi koneenpiirustuksen kulmakivistä. (Pere 2012, 4-1.)

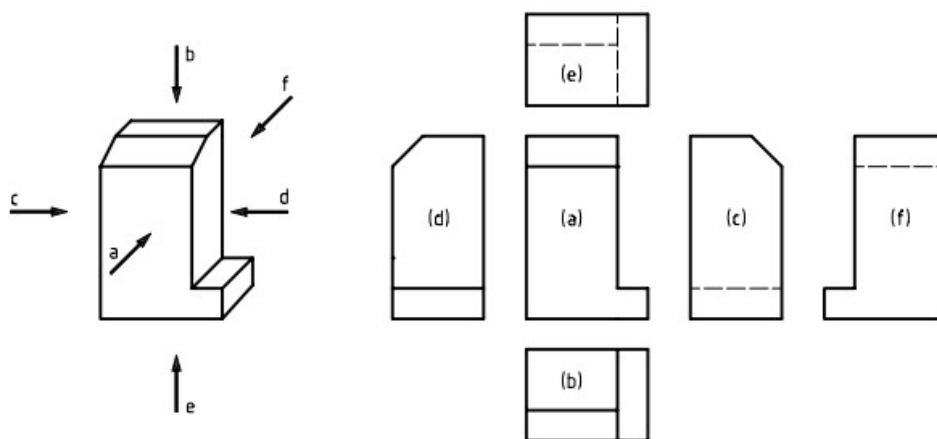
Koneenpiirustuksessa käytetään niin sanottua kohtisuoraa yhdensuuntaisprojektiota. Tämän tyylinen projektio ei vääristä kappaleen mittasuhteita tai muotoja kuten perspektiivikuvissa. Kohtisuorassa projektiossa ei siis ole nähtävissä perspektiivin vaikutusta. Perspektiivikuviin on myös hankalaa suorittaa mitoitusta. (Pere 2012, 4-1 – 4-2.) Perspektiivin mittasuhteita vääristävä vaikutus on nähtävissä kuvassa 3.



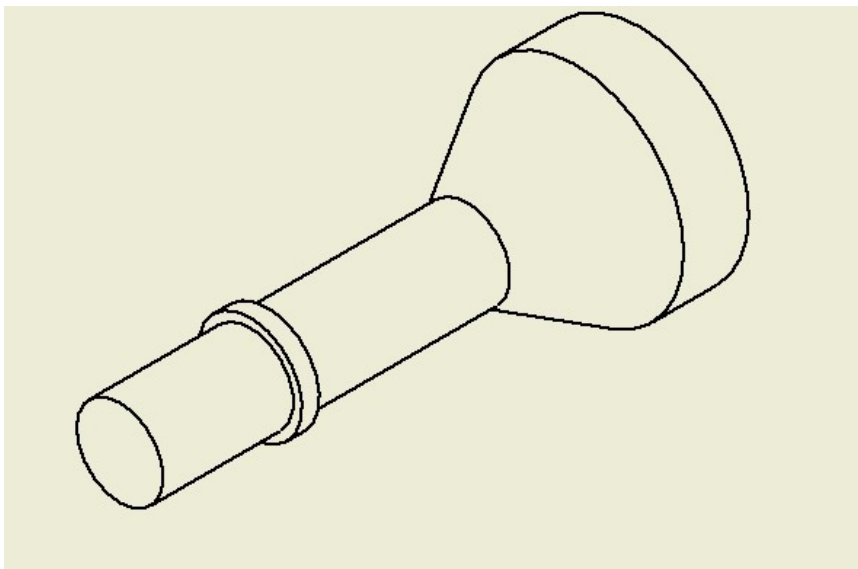
KUVA 3. Yhdensuuntais- ja perspektiiviprojektioden ero

Pääprojektiksi valitaan se projektio, josta käy kaikista parhaiten selville kappaleen muoto ja muut ominaisuudet. Muiden projektioden sijoittamisessa käytetään yleensä niin sanottua yhden käännön menetelmää, ellei muuta ole sovittu. Yhden käännön menetelmässä projektiot saadaan ajattelemalla kappale käännetyksi 90

astetta kerrallaan kuvan 4 osoittamalla tavalla. Jokaista projektiota ei tarvitse ottaa, vaan vain kappaleen hahmottamisen kannalta välttämättömät projektiot piirretään. (Pere 2012, 4-3 – 4-6.) Projektioiden ottaminen ja sijoittelu on suunnitteluhjelmilla helppoa. Yleensä kannattaa selvyyden vuoksi ottaa myös niin sanottu isometrinen projektio, jos vain tila arkilla sen sallii. Isometrisessä projektiossa kappale esitetään kolmiulotteisena. Isometrinen projektio on esitetty kuvassa 5. Projektioiden väliin tulee jättää riittävästi tilaa mitoitusta ja muita merkintöjä varten, mutta niitä ei kuitenkaan tule sijoittaa tarpeettoman kauas toisistaan (Pere 2012, 4-15). Paras tulos syntyy, kun projektioiden sijoittelu näyttää järkevältä suunnittelijan omaan silmään.



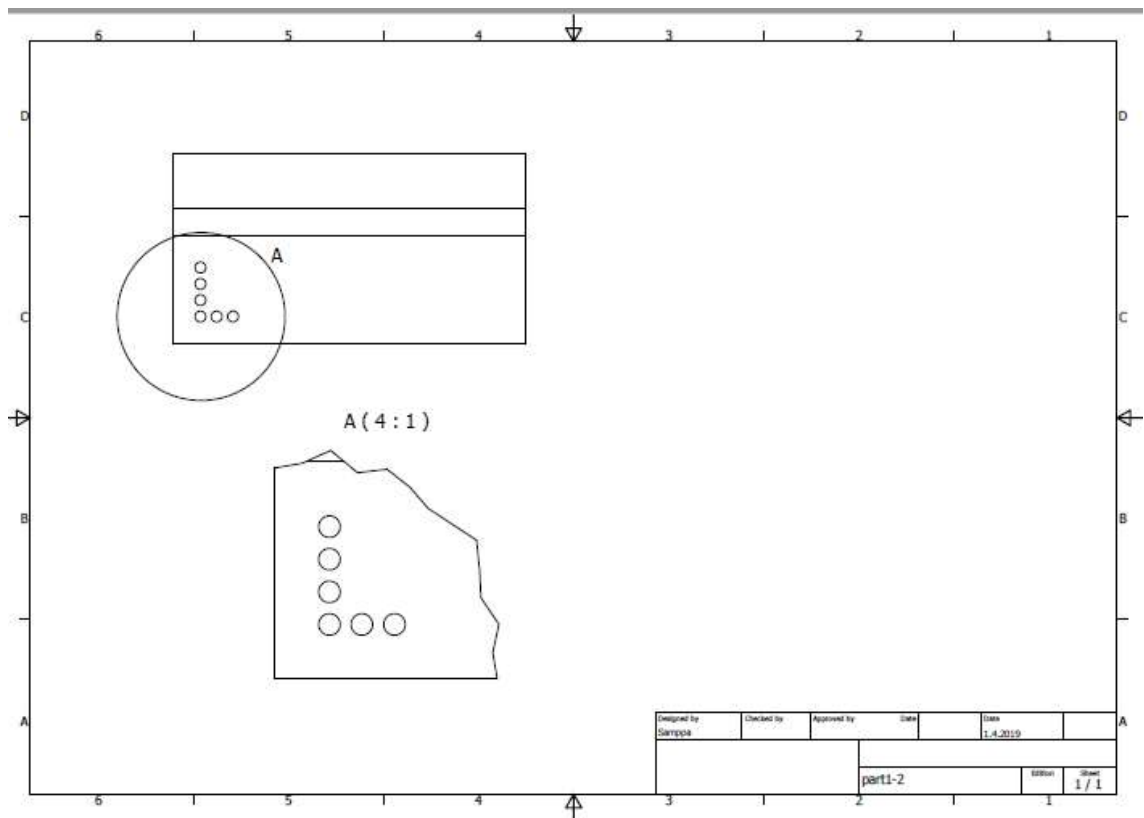
KUVA 4. Yhden käännön menetelmä (SFS 5456-2 mukaan) (Kuva: SFS 2009, 14)



KUVA 5. Isometrinen projektio

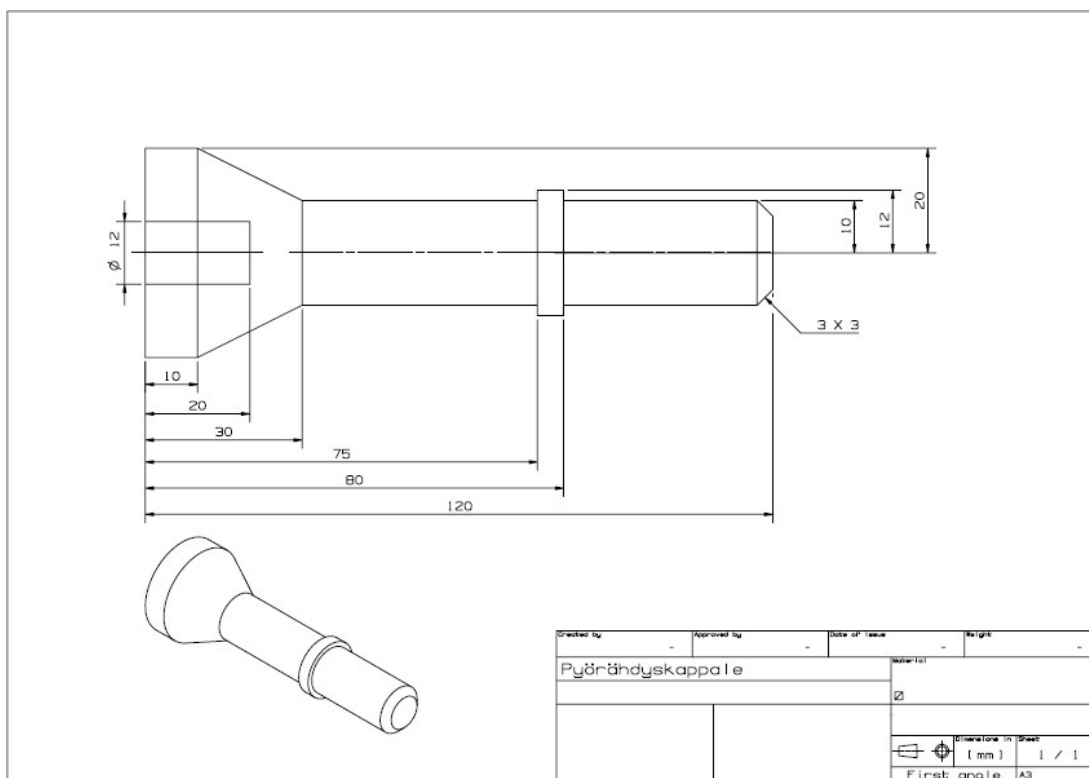
Pääprojektio sijoitetaan yleensä siten, että kappaleen päämuotoviivat ovat piirustustason ja arkin reunojen suuntaiset. Kappaleiden työpiirustuksissa pääprojektio piirretään asentoon, jossa kappale on pääasiallisimman valmistustavan mukaisessa asennossa. Esimerkiksi sorvattavat kappaleet piirretään vaakasuoraan. Näin työntekijän on helpompi lukea piirustusta, kun kappale on kuvassa samassa asennossa kuin työkoneessa. (Pere 2012, 4-6.)

Joissakin tapauksissa on tarpeen käyttää niin sanottuja osaprojektioita. Osaprojektiossa kappale murretaan halutuista kohdista ja vain tarkoitetut kohdat projisoidaan. Osaprojektoiden ottaminen on tarpeellista esimerkiksi silloin, kun kappaleessa on tasoja, jotka eivät ole kuvatason suuntaisia, jolloin näiden tasojen mittasuhteet voivat näkyä vääristyneinä. Osaprojektioista puhutaan myös, kun halutaan kuvata jotain kappaleen yksityiskohtaa tarkemmin. (Pere 2012, 4-8.) Kuvassa 6 on esitetty osaprojektio. Osaprojektion raja merkitään varsinaiseen projektiioon ja osaprojektio sijoitetaan vastaavalla kirjaintunnuksella varustettuna lähelle varsinaista projektiota.



KUVA 6. Osaprojektio

Symmetrisiä kappaleita piirrettäessä voidaan hyödyntää kappaleen symmetriaa. Suuritoisten piirustusten työmäärää voidaan vähentää symmetriaa hyväksikäyttämällä. Kappale voi olla symmetrinen esimerkiksi jonkin viivan tai pyörähdysakselin suhteen. Symmetria osoitetaan piirtämällä symmetria-akselille keskiviiva. (Pere 2012, 4-10.) Kuvassa 7 on esimerkkinä eräs pyörähdysymmetrinen kappale. Kuvan 7 projektio voitaisiin myös halkaista symmetriaviivaa pitkin ja jättää toinen puoli piirtämättä.



KUVA 7. Pyörähdyssymmetrinen kappale

3.4 Leikkaukset

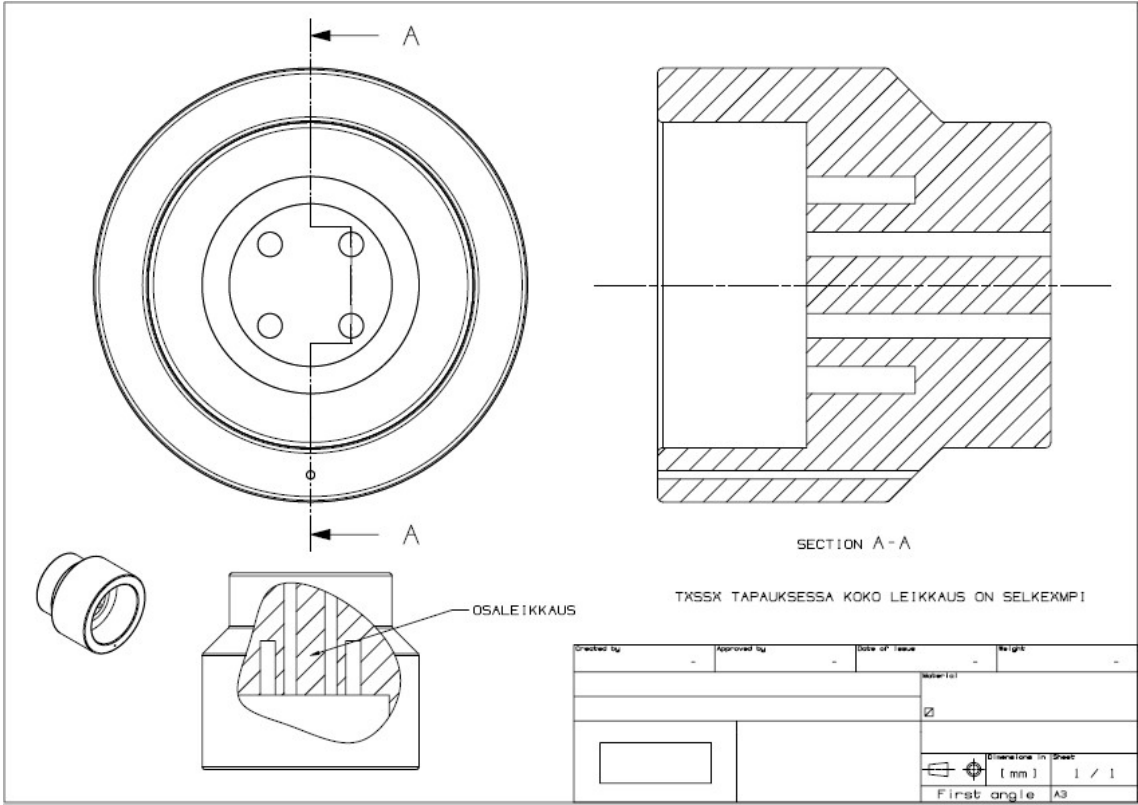
Koneenrakennuksessa kappaleissa on usein muotoja, jotka ovat kappaleen sisällä. Ilman leikkauksia nämä muodot pitäisi piirtää katkoviivoilla, jolloin piirustuksen luettavuus ja ymmärrettävyys kärsisi. Leikkauksien käyttö on huomattavasti havainnollisempaa ja selkeämpää. Leikkausprojektiio syntyy, kun kappale leikataan leikkaustasolla. (Pere 2012, 5-1.; Simmons, Phelps & Maguire 2012, 77-78) Nykyisistä suunnitteluohjelmista löytyy valmiit työkalut leikkausten tekemiseen. Yleensä valitaan vain leikkaustaso ja leikkauksen suunta, minkä jälkeen leikkausprojektiio syntyy. Leikkaustaso voi tarpeen mukaan olla yhdessä tai useammassa tasossa (Pere 2012, 5-5). Leikkaustaso ja leikkauksen suunta merkitään piirustukseen. Liian mutkikkaita leikkauksia on kuitenkin syytä välttää (Pere 2012, 5-11). Kuvassa 8 on esimerkkejä leikkauksista.

Symmetriset osat voidaan piirtää niin sanottua puolileikkausta hyväksi käyttäen siten, että puolet kappaleesta on leikattu ja puolet esitetään leikkaamattomana (Simmons ym. 2012, 79). Tätä esitystapaa käyttäen voidaan samassa projekti-

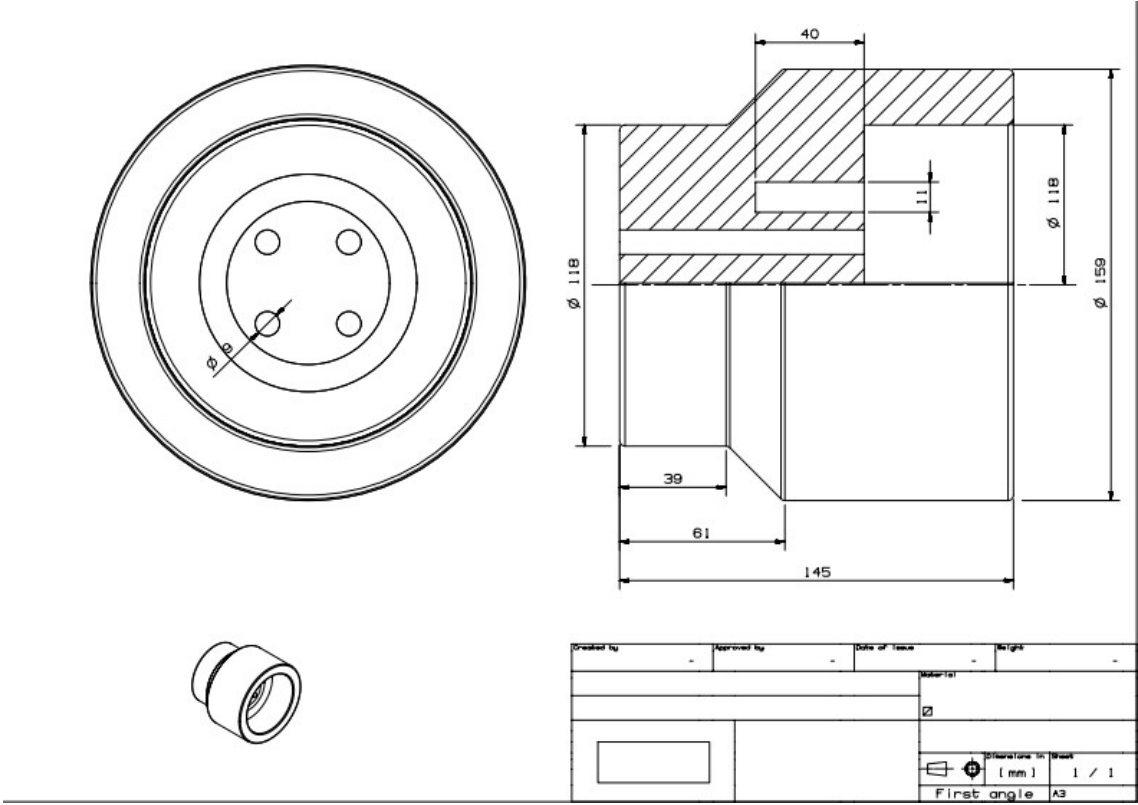
ossa esittää kappale sisä- ja ulkopuolelta (Pere 2012, 5-2). Puolileikkaus on esitetty kuvassa 9. Aina ei ole tarpeen piirtää koko- tai puolileikkausta. Tällöin voidaan käyttää niin sanottua osaleikkausta, jonka avulla voidaan esittää hyvin yksityiskohtia muuten leikkaamattomasta projektioista (Pere 2012, 5-2; Simmons ym. 2012. 80). Osaleikkaus on esitetty kuvassa 8.

On tärkeää huomioida, että koneenrakennuksessa on paljon osia, joista ei leikattuna käy ilmi enempää kuin leikkaamattomana, kuten esimerkiksi akseleita, ruuveja ja muttereita. Näitä osia ei leikatuissa projektioissa esitetä leikattuna, vaikka leikkaustaso leikkaisikin osan. (Pere 2012, 5-13; Simmons ym. 2012, 80.) Näin menetellen kuvista tulee selkeämpiä ja kyseiset komponentit näkyvät selkeämmin.

Leikkausprojektiot tulee sijoittaa asentonsa säilyttäen yleisiä projektioden sijoitusohjeita noudattaen. Erityisesti kiertämistä tulee välttää tulkintavirheiden välttämiseksi. (Pere 2012, 5-9 – 5-10.) Piirustusohjelmistojen leikkaustoiminnoissa projektion sijoittaminen on tehty usein helpoksi ja esimerkiksi projektion asento tulee automaattisesti oikein, jolloin virheen tekeminen edellyttää jo erityisiä toimenpiteitä. Kuvassa 8 on sijoitettu leikkausprojektiot hyvän tavan mukaisesti eli ilman tulkinnanvaraisuutta sekä riittävän väljästi mitoituksia ja merkintöjä varten. Huomioitavaa on myös, että kokoleikkaus ei voi olla piirustuksen ainoa projektiio. Tämä tosin ei nykyisillä suunnitteluohjelmilla onnistuisikaan.



KUVA 8. Leikkaus ja osaleikkaus

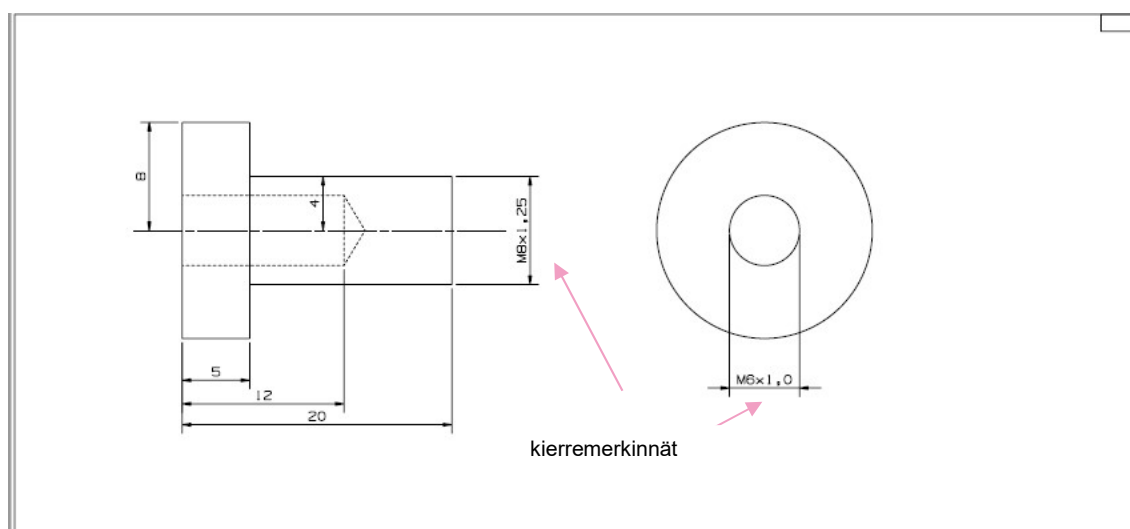


KUVA 9. Puolileikkaus

3.5 Kierteiden esittäminen

Koneenrakennuksen osissa on usein kierteitä. Kierteitä ei kuitenkaan yleensä piirretä yksityiskohtaisesti vaan standardissa SFS-EN ISO 6410 määritetään kierreiden esitystapa (SFS 2010, 218-219, viitaten standardeihin SFS-EN ISO 6410-1 ja 6410-3). Vaikka kierteitä on pyritty voimakkaasti standardisoimaan, on edelleen käytössä useita eri kierrejärjestelmiä. Eri järjestelmien pääominaisuudet ja -eroavaisuudet ovat kierteen profiili, nousu ja halkaisija. (Pere 2012, 8-1.)

Standardin SFS-EN ISO 6410 mukaan kierre esitetään piirustuksissa suorilla viivoilla ja yksityiskohtaista esitystä on käytettävä vain, kun se on aivan välttämätöntä (SFS 2010, 218-220, viitaten standardeihin SFS-EN ISO 6410-1 ja 6410-3). Kuvassa 10 on esitetty standardinmukainen yksinkertaistettu kierteen esitystapa. Kierremerkinnät on korostettu nuolilla. Standardinmukainen esitystapa onnistuu yleensä helposti suunnitteluohjelmilla, koska ruuvit ja mutterit yms. löytyvät yleensä ohjelmiston standardiosakirjastosta. Kierteen merkintä tehdään sovelletavan kierrejärjestelmän mukaan.



KUVA 10. Kierteen yksinkertaistettu esittäminen

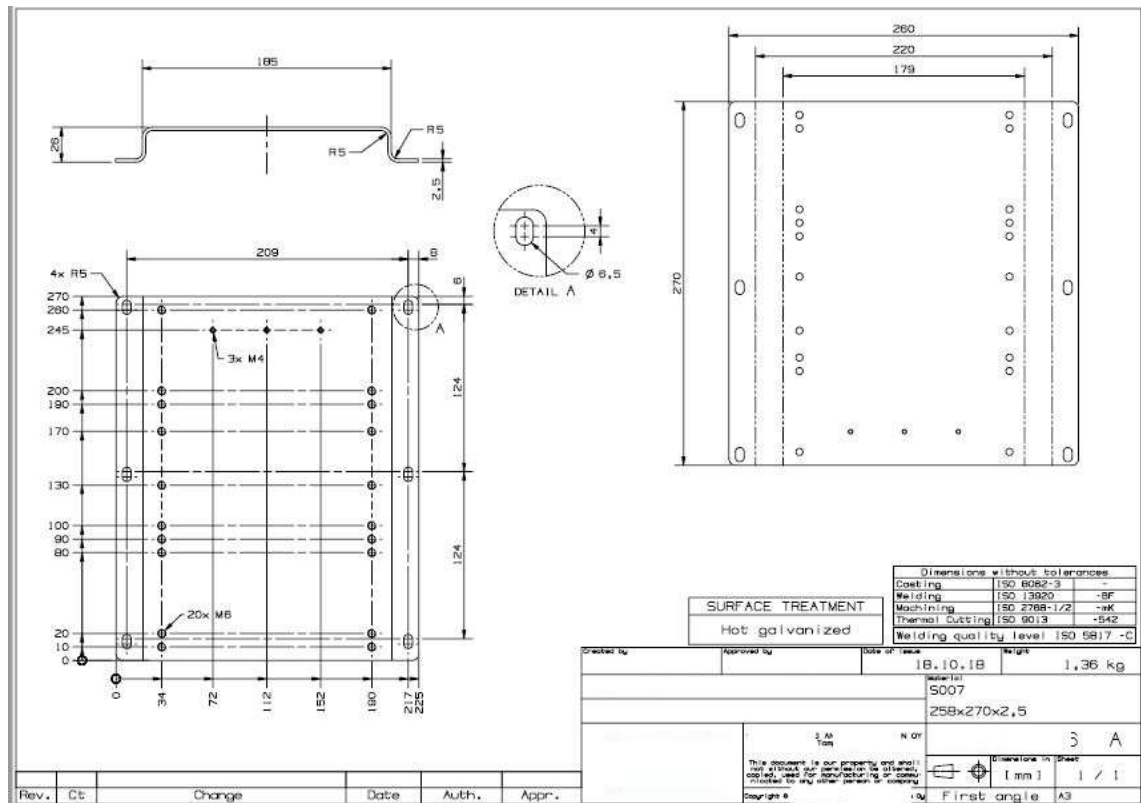
Kierteiden merkinnässä voi olla kierretyyppiä kuvaava lyhenne, nimellishalkaisija, nousu, jako ja vasenkätisen kierteen merkintä sekä lisämerkintöjä, kuten toleranssiluokka. Merkinnässä ei aina ole kaikkia tietoja kierreestä, vaan piirustukseen merkitään vain tarpeelliset tiedot. (Pere 2012, 8-6; SFS 2010, 224.)

3.6 Mittojen ilmoittaminen

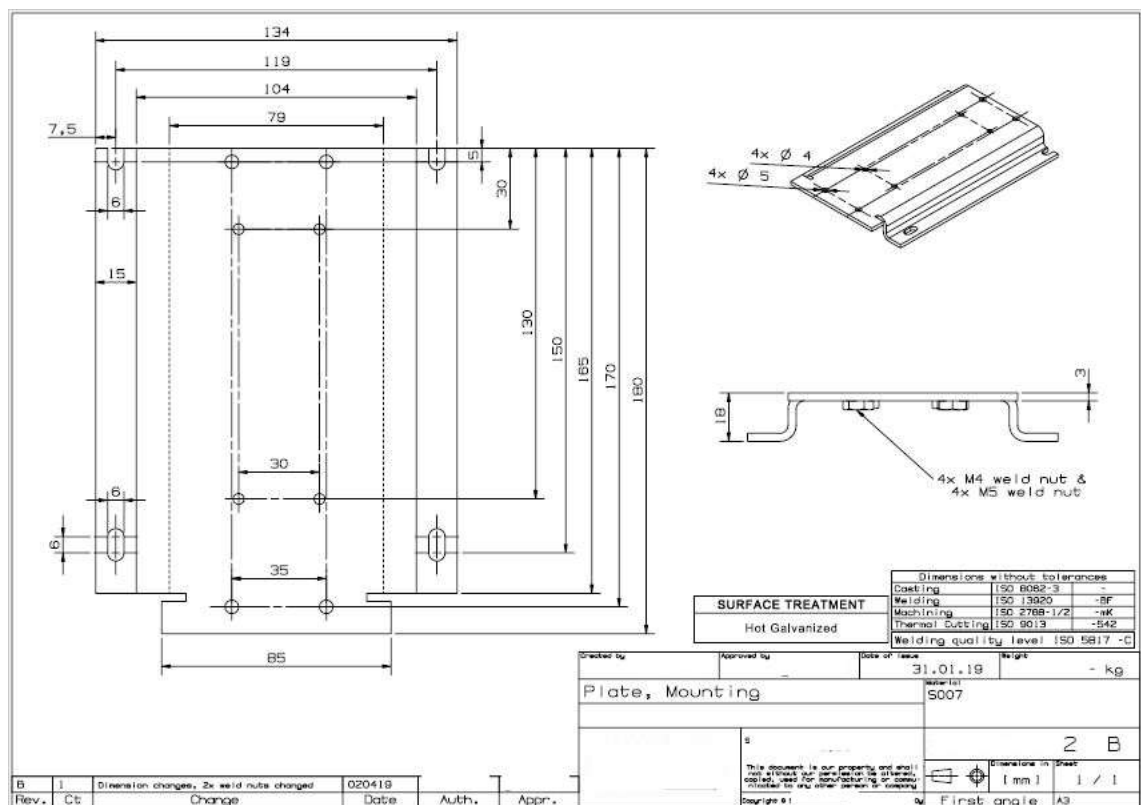
Projektioiden lisäksi piirustuksiin merkittävät mitat ovat tärkeitä kappaleen hahmottamiseksi. Piirustuksiin merkittävät mitat ovat valmiin osan tai tuotteen lopullisia mittoja, ellei toisin nimenomaan ilmoiteta (Pere 2012, 7-1). Mitat tulee ilmoittaa siten, että epäselvyyttä kappaleen ominaisuuksista ei synny missään vaiheessa. Esimerkiksi sorvaajan ei tulisi joutua laskemaan tarvitsemaansa mittaa. (Simmons ym 2012, 121.)

Mitoitusmerkinnät tulevat helposti suunnitteluohjelmasta, mutta niiden sijoittelusta vastaa kuitenkin edelleen suunnittelija. Mitat sijoitetaan projektiioon, jossa ne ovat selvimmin ymmärrettävissä (Pere 2012, 7-13; Simmons ym. 122). Tietty mitta esitetään piirustuksessa vain kerran ja turhia ylimääräisiä mittoja tulee välttää (Pere 2012, 7-13; Simmons ym. 122). Toistuvien elementtien mitoituksia voidaan yksinkertaistaa, jolloin jokaista ei tarvitse mitoittaa erikseen (Pere 2012, 7-38). Kuvissa 11 ja 12 on mitoitettu piirustus, joissa edellä mainitut asiat ovat nähtävissä.

Mittoja kannattaa piirustuksissa ryhmitellä lukemisen helpottamiseksi. Ryhmitteilyperusteita on useita, esimerkiksi samaan työvaiheeseen kuuluvat mitat tai samalla akselilla olevat mitat. (Pere 2012, 7-22.) Mittoja ryhmiteltäessä sijoitetaan lyhin mitta kuvien 9 ja 10 tapaan lähimmäksi projektiota, jolloin vältytään mittaviivojen risteämisiltä (Simmons ym. 2012, 122). Mittojen sijoittamista itse projektiioon pyritään välttämään, mutta myös liian pitkiä mitta-apuviivoja tulee välttää (Pere 2012, 7-100). Mitat sijoitetaan siten, että ne ovat luettavissa joko alhaalta tai oikealta katsottuna (Simmons ym. 2012, 122). Monimutkaisissa, paljon mittoja sisältävissä piirustuksissa kaikkia mittoja ei kannata yrittää maahduttaa samaan projektiioon, vaan piirustukseen voi laatia toisenkin projektion. Mitoitukset on tehtävä mitattavissa oleviin kohtiin valmistusmenetelmä huomioiden. Reiät mitoitetaan niiden keskipisteistä (Pere 2012, 7-61). Kuvissa 11 ja 12 mitat on ryhmitelty ja sijoiteltu hyvin, jolloin ne ovat selkeästi luettavissa.



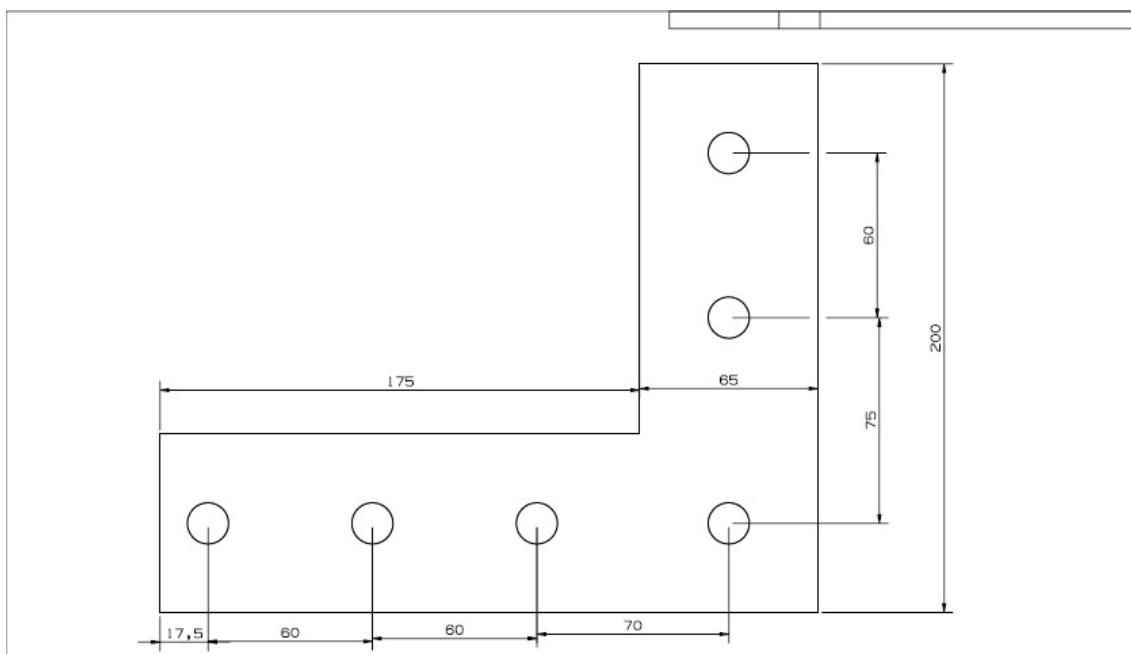
KUVA 11. Mitoitettu piirustus



KUVA 12. Mitoitettu piirustus

Mitoitus riippuu kappaleen valmistusmenetelmästä ja siinä käytetään yksittäisiä mittoja sekä ketju-, perusviiva- tai koordinaatistomitoitusta (Pere 2012, 7-14 – 7-15). Näitä voidaan yhdistellä tarpeen mukaan (Pere 2012, 7-15). Tärkeintä on saada aikaan selkeästi ymmärrettävä piirustus. Mitoituksessa voidaan käyttää tarvittaessa apumittoja, jotka merkitään sulkein (Simmons ym. 2012, 123). Apumitat ovat esimerkiksi vain hahmottamisen helpotukseksi annettuja mittoja, joiden perusteella ei varsinaisesti valmisteta mitään (Simmons ym. 2012, 123). Mitoituslähtökohdaksi valitaan kappaleen toiminnallisesti tärkeä pinta ja lisäksi on pyrittävä valitsemaan tarkasti valmistettuja pintoja lopputuotteen epätarkkuuksien vähentämiseksi (Pere 2012, 7-17).

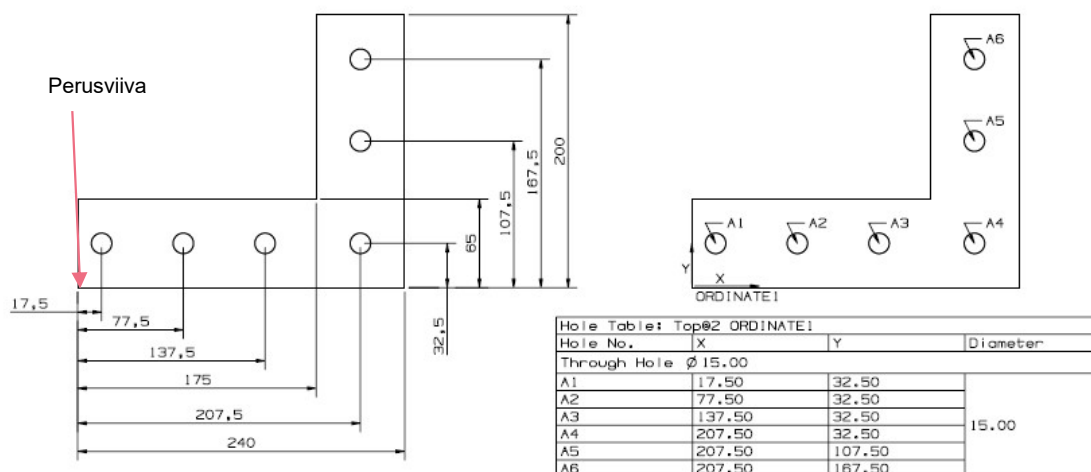
Ketjumitoituksessa mitat nimensä mukaan ketjutetaan. Avoimessa ketjumitoituksessa jokaista mahdollista mittaväliä ei ole mitoitettu. Suljetussa ketjumitoituksessa jokainen mittaväli on mitoitettu. Suljettua ketjumitoitusta on lähtökohtaisesti vältettävä, koska kappaleen valmistusepätarkkuudet kasaantuvat sattumanvaraisesti (Pere 2012, 7-14). Avoimessa ketjumitoituksessa puolestaan on nähtävissä, mihin epätarkkuudet kasaantuvat (Pere 2012, 7-14). Ketjumitoitusta tulee käyttää tästä syystä vain niissä tapauksissa, joissa epätarkkuudet eivät vaikuta osan toimintaan (Simmons ym. 2012, 123). Ketjumitoitus toimii esimerkiksi reikien paikkojen mitoituksessa, kun reikien sijainti ei ole erityisen kriittinen tai tarkkaan toleroitu. Ketjumitoituksella voidaan välttää useiden samalle alueelle kohdistuvien mittojen ilmoittaminen päällekkäisiä mittaviivoja käyttäen, joten kun tilaa on säästettävä, voi ketjumitoitus tulla kysymykseen. Ketjumitoituksen periaate on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Ketjumitoitus

Perusviiva- tai koordinaatistomitoitus sopii hyvin NC-koneilla valmistettaviin osiin (Pere 2012, 7-14 – 7-15). Perusviivamitoituksessa mittoja ei ketjuteta, vaan kappaleen mitat annetaan yhteisen perusviivan tai -pisteen mukaan kuvan 14 tapaan. Perusviiva on merkitty kuvaan nuolella.

Joissain tapauksissa voi olla selkeämpää esittää mitat koordinaattimuodossa (Pere 2012, 7-15). Esimerkiksi useiden reikien paikoitus onnistuu tällä tekniikalla selkeästi. Projektioon piirretään koordinaatisto näkyviin ja mitoitettavien ominaisuuksien koordinaatit ilmoitetaan taulukossa. Ominaisuudet merkitään kuvaan numerotunnuksella. Kuvassa 14 on esitetty myös koordinaattimitoituksen periaate.



KUVA 14. Perusviiva- ja koordinaattimitoitus

Edellä mainittujen perusohjeiden lisäksi tiettyjen ominaisuuksien mitoitukseen on lukuisia erityisohjeita. Perusmitoitus onnistuu maalaisjärjellä ja tässä työssä esitetyillä ohjeilla, mutta erikoistapauksissa kannattaa perehtyä kyseessä olevan tapauksen tarkempiin mitoitushjeisiin virheiden välttämiseksi. Kun mitoitus on tehty, on vielä hyvä tarkistaa piirustus esimerkiksi unohtuneiden tai virheellisten mittojen varalta. Hyvä tapa on miettiä, ovatko mitoitettut mitat todellisuudessa mitattavissa ja pystyisikö osan valmistaja annettujen mittojen perusteella valmistamaan osan (Simmons ym. 2012, 122).

3.7 Merkinnot

Mittojen lisäksi piirustuksissa annetaan muitakin tärkeitä tietoja. Nämä vaihtelevat piirrettävän osan käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi tarkkaa mitoitusta ja sovitusta vaativissa toimintakriittisissä osissa on useammin esimerkiksi pinnanlaatu- ja toleranssimerkintöjä, kun taas puolestaan esimerkiksi yksinkertaisen suojaepälin piirustuksessa ei välttämättä ole mitään lisämerkintöjä mittojen lisäksi.

Seuraavissa luvuissa käydään läpi eri ominaisuuksien merkitsemistä piirustuksiin, mutta varsinainen suunnittelu, esimerkiksi vaadittavan toleranssin tai hitsausmenetelmän määrittäminen, on rajattu laajuutensa takia käsittelyn ulkopuolelle.

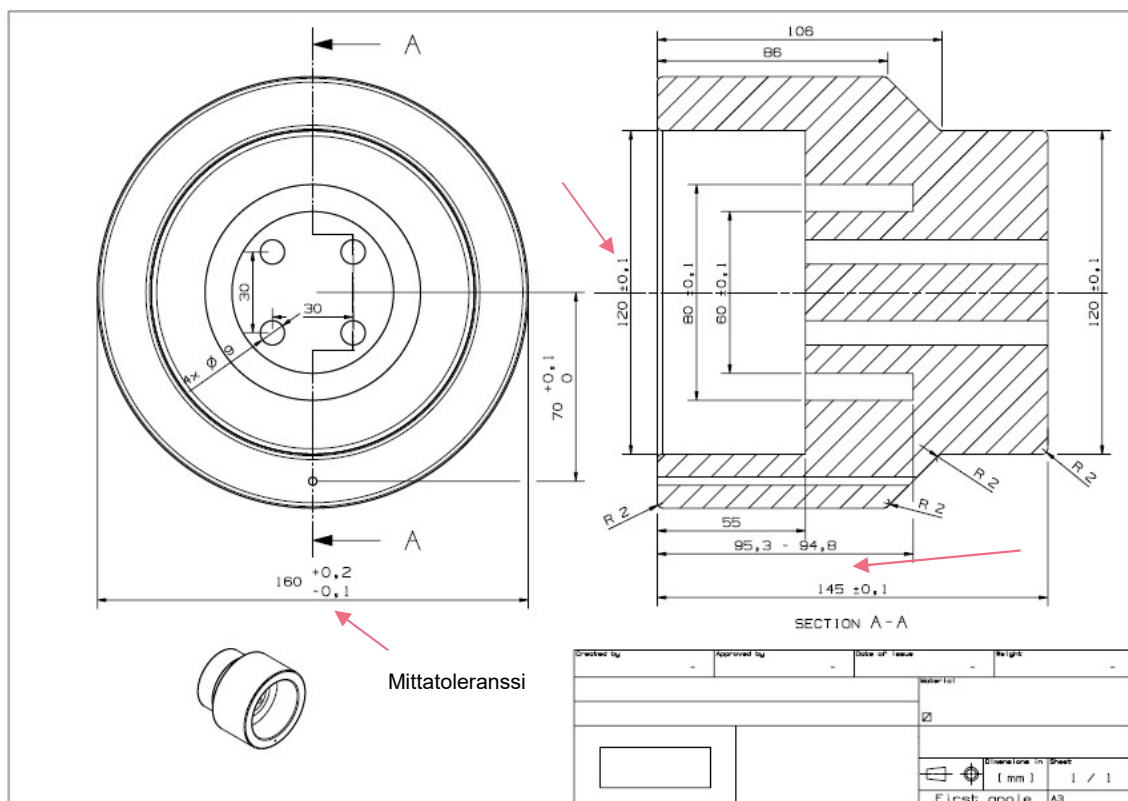
3.7.1 Toleranssit

Toleransseilla ohjataan tuotteen geometrisia ominaisuuksia. Tolerointia varten ISO on kehittänyt oman globaalin järjestelmän nimeltä GPS. GPS määrittää geometriaa ilmaisevan yksiselitteisen symbolikielen ja lisäksi asettaa vaatimuksia tuotteen geometriaa koskeville mittavälineille, -menetelmille, kalibroinnille sekä mittausepätkkuuksien ilmoittamiselle. (Pere 2012, 20-1.) Mikäli piirustukseen ei ole merkitty sovellettavaa vaatimusta, ei tätä vaatimusta voida olettaa noudatettavan. Lähtökohtaisesti yleiset GPS-standardit ovat voimassa, ellei muuta ilmoiteta. (Pere 2012, 20-5.)

Toleranssit voidaan jakaa mittatoleransseihin ja geometrisiin toleransseihin. Mittatoleranssit ovat toleroinnin eniten käytettyjä osa-alueita. Mittatoleranssit eivät yksinään kuitenkaan riitä kuvaamaan lopputuotteen geometriaa. (Pere 2012, 20-9.) Mittatoleransseilla määritetään kappaleen mittojen sallitut rajat ja geometrisilla toleransseilla tiettyjen elementtien tarkemmat geometriset ominaisuudet (Green 2005, 12). Toleranssien määrittämiseen on olemassa omat ohjeensa ja standardinsa, joita ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

Mittatoleranssit merkitään nimensä mukaisesti mittojen yhteyteen. Yksinkertaisimmillaan ilmoitetaan kyseisen mitan sallittu vaihteluväli. Esimerkiksi merkintä 20 ± 0.1 tarkoittaa, että mitan tulee olla välillä 19,9 - 20,1mm. Tästä on myös muunnelmia, joissa merkitään erikseen sallitut raja- tai eromitat. (Pere 2012, 20-9 – 20-42.) Mittatoleransseista on muutamia esimerkkejä kuvassa 15. Mittatoleransseille on myös olemassa ISO-standardeissa määritettyjä toleranssiluokituksia, joita käytetään esimerkiksi ahdistussoviteissa. (Pere 2012, 20-9 – 20-42.) Näitä luokkia käytettäessä toleranssiluokka merkitään mittaluvun perään. Mittatoleranssien merkinnät ovat yleensä hyvin selkeitä ja helposti ymmärrettäviä. Vähemmän kriittisissä kohteissa mittatoleranssien käyttö säästää suunnittelijan työtä ja saattaa myös selventää piirustuksia, verrattuna geometrinen toleranssien käyttöön (Pere 2012, 20-10). Yksittäiselle mitalle on olemassa myös sen määrittästä kuvaavia merkintöjä, joilla voidaan vaikuttaa mitan luonteeseen (Pere

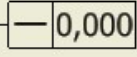
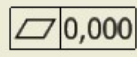
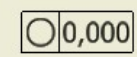
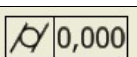
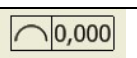
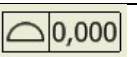
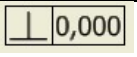
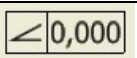
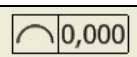
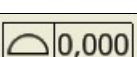
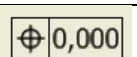
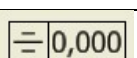
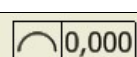
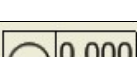
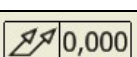
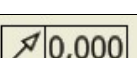
2012, 20-34 – 20-35). Nämä ovat kuitenkin hieman harvinaisempia, sillä usein geometrisillä toleransseilla saadaan ilmoitettua sama vaatimus selkeämmin.



KUVA 15. Mittatoleransseja käytössä (huomautus: toleranssit on esitetty vain esi-merkin vuoksi, eikä niiden todellista toimintaa tai yhteensopivuutta ole suunniteltu)

Geometriset toleranssimerkinnät ovat huomattavasti monimutkaisempia ja niiden tulkinta ei onnistu asiaan perehtymättömältä. Tärkein geometrisiin toleransseihin liittyvä standardi on SFS-EN ISO 1101, joka määrittää muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit (SFS 1101 2017, 5). Geometrisillä toleransseilla määritellään kappaleen tarkat geometriset ominaisuudet. Aiemmin tämä on saatettu hoitaa hyvin epämääräisillä huomautuksilla, joita on merkitty piirustuksiin (Simmons ym. 2012, 183). Geometriset toleranssit kohdistetaan kappaleen elementteihin, kuten esimerkiksi pintoihin tai akseleihin. Geometrinen toleranssi määrää alueen, jolla kappaleen elementin on oltava. (Pere 2012, 20-66.) Toleroitavia ominaisuuksia on useita, esimerkiksi samankeskeytyys, yhdensuuntaisuus ja tasomaisuus. Toleranssit on jaettu muoto-, suunta-, sijainti- ja heittotoleransseihin. Suunta-, sijainti- ja heittotoleranssit vaativat aina verrokkikohteen. (Pere 2012,

20-67.) Jokaiselle toleranssille on oma merkintänsä ja nämä on esitetty taulukossa 1. Taulukossa esitettyjen merkintöjen lisäksi on olemassa tarkentavia erikoismerkintöjä.

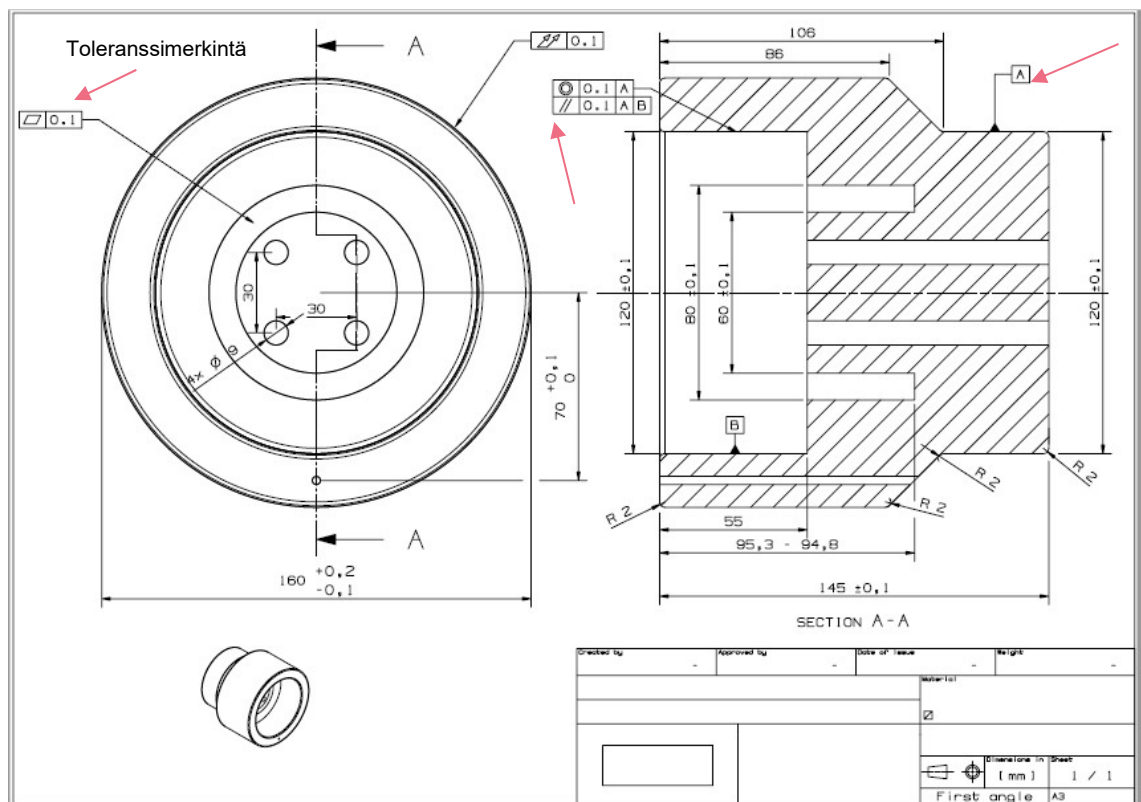
Muoto	Suoruus	 0,000
	Tasomaisuus	 0,000
	Ympyrämaisyys	 0,000
	Lieriömaisyys	 0,000
	Tasoviivan muoto	 0,000
	Pinnan muoto	 0,000
Suunta	Yhdensuuntaisuus	 0,000
	Kohtisuoruus	 0,000
	Kulma-asento	 0,000
	Tasoviivan muoto	 0,000
	Pinnan muoto	 0,000
Sijainti	Paikka	 0,000
	Samankeskisyys	 0,000
	Symmetrisyys	 0,000
	Tasoviivan muoto	 0,000
	Pinnan muoto	 0,000
Heitto	Kokonaisheitto	 0,000
	Heitto	 0,000

TAULUKKO 1. Geometristen toleranssien perusmerkinnät (SFS 1101)

Geometriset toleranssit merkitään piirustuksiin suorakulmaiseen toleranssikehykseen. Kehyksessä ilmoitetaan seuraavat tiedot järjestyksessä:

- toleroidun ominaisuuden tunnus
- toleranssin lukuarvo
- tarvittaessa lisämääreitä
- verrokkikohteet (nämä merkittävä myös piirustukseen) (Pere 2012, 20-69).

Toleranssikehys liitetään toleroitavaan elementtiin viiteviivalla. Viiteviivan päättämisessä tulee olla huolellinen, sillä pieni ero johtaa eri tulkintoihin. (Pere 2012, 20-71.) Tästä syystä piirustusten laadinnassa ja tulkinnassa tulee olla tarkka. Kuvassa 16 on esitetty geometristen toleranssien merkintää. Kuvassa on esitetty myös verrokkikohteen merkintä. Tämän tyyllisen merkinnän lisäksi joitakin geometrisiä toleransseja voidaan merkitä piirustuksiin myös geometrisina yleistoleransseina. Tällöin ne merkitään piirustus pohjaan ja pätevät koko piirustukseen. (Pere 2012, 20-114.) Lisäksi on olemassa työtapakohtaisia yleistoleransseja, jotka merkitään samaan tapaan.



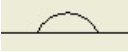
KUVA 16. Geometrisiä toleransseja (huomautus: toleranssit on esitetty vain esi-merkin vuoksi, eikä niiden todellista toimintaa tai yhteensopivuutta ole suunniteltu)

3.7.2 Hitsausmerkinnät

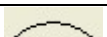
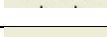
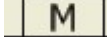
Hitsaus on koneenrakennuksessa yleinen liitostapa ja erilaisia hitsausmenetelmiä on useita. Tästä johtuen hitsejä sisältävien kappaleiden piirustuksiin tehdään hitsausmerkintöjä, joiden perusteella hitsari osaa hitsata sauman oikeaa menetelmää käyttäen. Piirustuksiin voidaan merkintöjen lisäksi kirjata hitsausmenetelmän numerotunnus (Pere 2012, 19-1). Tunnukset on määritetty standardissa SFS-EN ISO 4063 (SFS 2553 2014, 10 viitaten standardiin ISO 4063). Koska hitsausmenetelmiä, ja täten merkintöjä, on todella paljon, kannattaa tapauskohtaisesti merkintä- ja mitoitusohjeisiin tutustua erikseen. Näitä ohjeita löytyy esimerkiksi standardista SFS-EN 2553. Tässä luvussa ei käsitellä erilaisia hitsausmenetelmiä tai oikean menetelmän valintaa, vaan käydään läpi piirustuksissa käytettäviä merkintöjä ja merkintätapoja.

Hitsausmerkinnät määritellään standardissa SFS-EN 2553 (SFS 2553 2014, 8). Merkintöihin saattaa sisältyä myös valmistukseen tai tarkastukseen liittyviä tietoja. (Pere 2012, 19-13.) Standardinmukaista merkintää käytettäessä hitsejä ei yleensä piirretä erikseen näkyviin. Näin voidaan kuitenkin joissain tilanteissa tehdä, mikäli selvyiden vuoksi se on tarpeen (SFS 2553 2014, 20). Hitsausmerkintä sisältää perusmerkin, jota täydennetään tarvittaessa lisämerkeillä, mitoituksella tai muilla merkinnöillä esimerkiksi hitsisauman pintakäsittelystä (SFS 2553 2014, 20).

Hitsausmerkinnän tulee esittää kaikki tarpeellinen tieto ilman ylimääräisiä huomautuksia tai lisäprojektioita. Joissain tapauksissa voidaan menetellä siten, että jokaisen osan työpiirustukseen mitoitetaan ja piirretään näkyviin hitsausrailo ja hitsausmerkinnät esitetään kokoonpanopiirustuksessa. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi levyistä hitsaamalla koottavan rakenteen piirustuksissa. (Pere 2012, 19-13 – 19-14.) Taulukossa 2 on esitetty standardinmukaiset perushitsausmerkit ja taulukossa 3 perusmerkkien yhteydessä käytettävät lisämerkit. Merkkejä voidaan yhdistellä, jotta hitsisauma voidaan kuvata yhdellä merkillä. Kun hitsin pinnalle ei aseteta muotovaatimuksia, ei käytetä lisämerkintöjä (Pere 2012, 19-18).

Laippahitsi	
I-hitsi	
V-hitsi	
Puoli-V-hitsi	
V-hitsi osaviistettyyn V-railoon	
Puoli-V-hitsi osaviistettyyn puoli-V-railoon	
U-hitsi	
J-hitsi	
Juurihitsi	
Pienahitsi	
Tulppahitsi	
Pistehitsi	
Saumakehitsi	
Jyrkkäkylkinen V-hitsi	
Jyrkkäkylkinen puoli-V-hitsi	
Reunahitsi	
Päällehitsaus	
Pintaliitos	
Viisto päittäisliitos	
Hakaliitos	

TAULUKKO 2. Hitsien perusmerkit (SFS-EN 2553 mukaan)

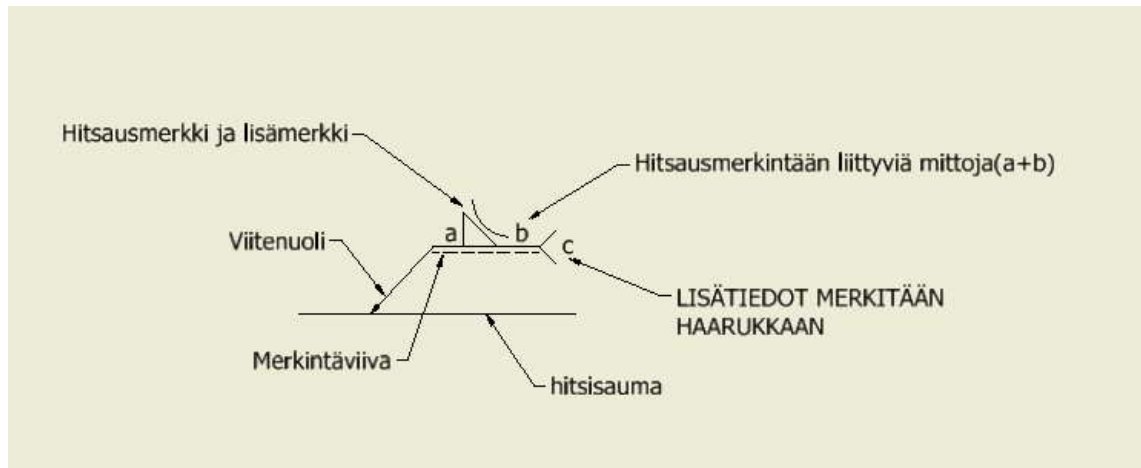
Tasahitsi	
Kupuhitsi	
Kouruhitsi	
Jouheva ylimeno	
Kiinteän juurituen käyttö	
Irrallisen juurituen käyttö	
Asennuspaikalla tehtävä hitsi	
Ympärihitsi	

TAULUKKO 3. Hitsien lisämerkit (SFS-EN 2553 mukaan)

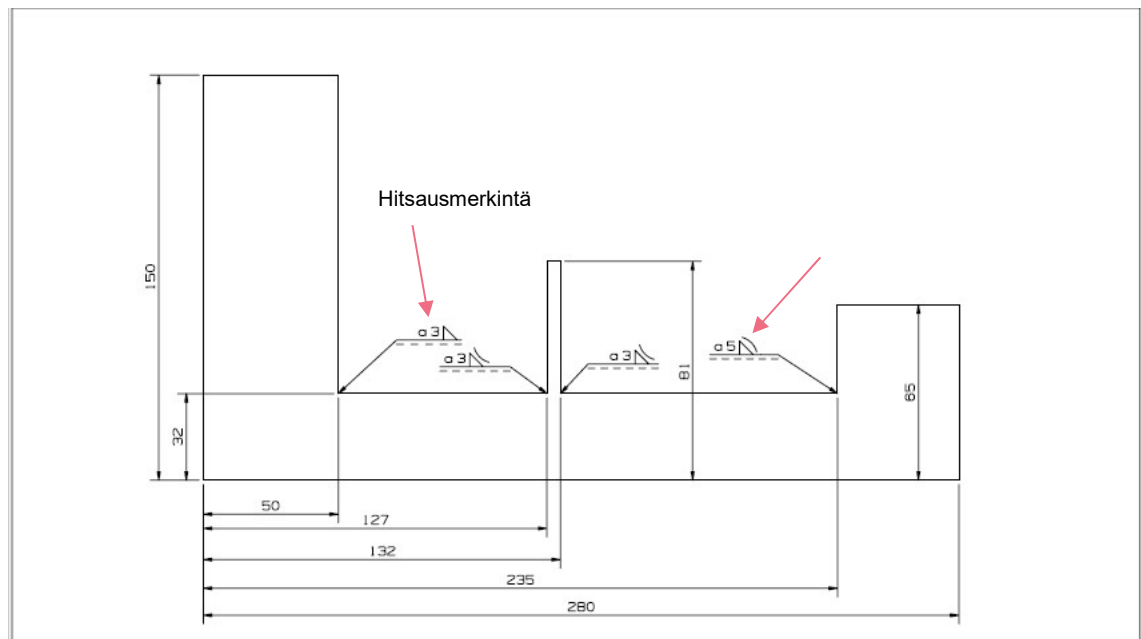
Hitsausmerkintä koostuu viitenuolesta, merkintäviivasta ja hitsausmerkinnästä kuvan 17 osoittamalla tavalla. Viitenuoli osoittaa hitsattavaan liitokseen. Merkintäviivalle tehdään hitsausmerkintä ja merkintäviivasta ilmenee myös kummalle puolelle liitosta hitsisauma tulee (Pere 2012, 19-21 – 19-22). Merkintäviivan alapuolelle merkitty merkintä koskee liitoksen vastapuolta viitenuoleen nähden ja merkintäviivan yläpuolelle tehty merkintä viitenuolen puolta (SFS 2553 2014, 42). Mikäli hitsiä koskevia erityisiä vaatimuksia ei ole, merkintäviiva piirretään yksinkertaisena (SFS 2553 2014, 18). Hitsausmerkintään voi sisältyä lisäksi hitsiin liittyviä mittoja. Poikkileikkaukseen liittyvät mitat, esimerkiksi pienahitsin paksuus, merkitään hitsausmerkin vasemmalle puolelle ja pituussuuntaiset mitat oikealle puolelle. Mikäli pituusmittaa ei ole merkitty, hitsi jatkuu koko liitoksen pituudelta. (Pere 2012, 19-32.)

Ympärihitsattavat saumat merkitään pienellä ympyrällä viitenuolen ja merkintäviivan kulmaan. Asennuspaikalla tehtävät hitsit merkitään lipputunnuksella. (SFS 2553 2014, 32, 36.) Hitsausmerkintään merkitään tarvittaessa myös hitsausmenetelmän tunnus (Pere 2012, 19-40). Kuvassa 18 on joitakin esimerkkejä hitsausmerkinnöistä. Mikäli hitsattava kappale vaatii lämpökäsittelyä ennen tai jälkeen hitsauksen, tulee vaadittava lämpökäsittely merkitä piirustukseen. Merkintä tehdään kyseisen projektion viereen tai yleisohjeen tapauksessa piirustuksen otsik-

koalteen läheisyyteen. (Pere 2012, 19-40 – 19-41.) Edellä mainittujen lisäksi voidaan hitsausmerkinnän yhteydessä ilmoittaa myös muita lisätietoja, kuten hitsien työstämiseen, hitsausjärjestykseen yms. liittyviä merkintöjä (Pere 2012, 19-42). Nämä merkinnät ilmoitetaan hitsausmerkintään tehtävässä haarukassa kuvan 17 osoittamalla tavalla (SFS 2553 2014, 46). Erityismerkinnät ovat kuitenkin yleensä käytössä vain erityistapauksissa. Tarkempia tapauskohtaisia merkintä- ja mitoitusohjeita löytyy standardista SFS 2553.



KUVA 17. Hitsausmerkintä (SFS 2553 mukaan)



KUVA 18. Hitsausmerkintöjä (huomautus: merkinnät on esitetty vain esimerkin vuoksi, eikä niiden todellista toimintaa tai yhteensopivuutta ole suunniteltu)

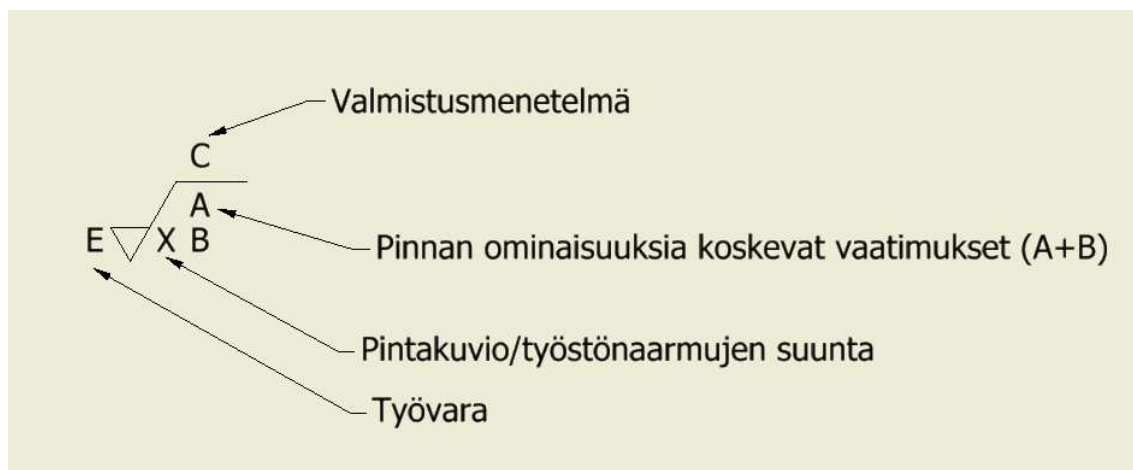
3.7.3 Pinnanlaatumerkinnät

Erityisiin käyttökohteisiin suunnitellut kappaleet saattavat tarvita tietynlaisen pinnanlaadun. Yleisemmin koneensuunnittelussa puhutaan pinnankarheudesta. Käytettävät valmistusmenetelmät asettavat myös omat vaatimuksensa saavutettavalle pinnankarheudelle (Pere 2012, 21-15 – 21-18). Pinnan ominaisuuksien ilmoittamista määrittää standardi SFS-EN ISO 1302 liitteineen (SFS 1302 2003, 8). Pinnankarheus koostuu pinnan pienistä, esimerkiksi valmistusmenetelmistä aiheutuvista epätasaisuuksista (Pere 2012, 21-2). Pintamerkeillä asetetaan pinnankarheudelle sallitut rajat ja halutut ominaisuudet, esimerkiksi työstönaarmujen suunta.

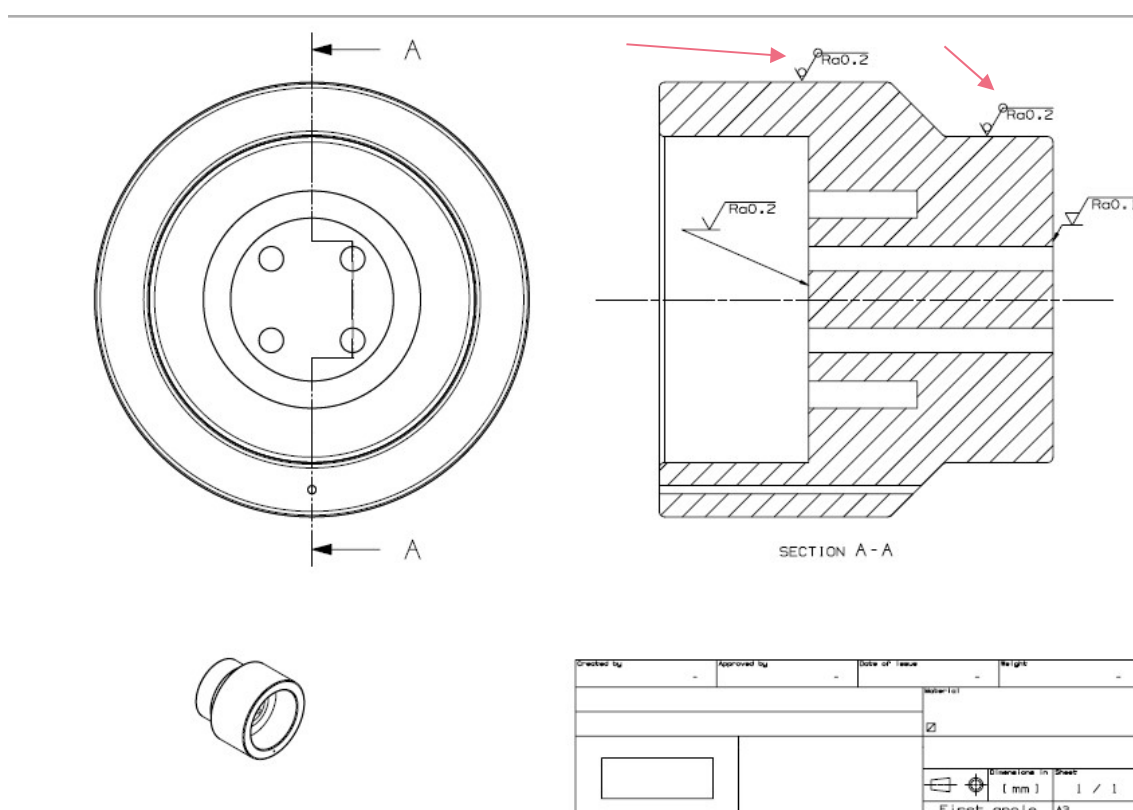
Pinnankarheus ilmoitetaan piirustukseen merkittävällä merkillä, joka näkyy kuvassa 19. Merkkejä on kolmenlaisia: yksi sallii kaikki valmistusmenetelmät, toinen vaatii aineen poistoa ja kolmas kieltää aineen poiston. Merkintää täydennetään tarvittaessa lisävaatimuksia osoittavilla merkinnöillä kuvan 19 osoittamalla tavalla. Lisävaatimuksia voivat olla esimerkiksi valmistusmenetelmä, pintakuvio tai työvara. (Pere 2012, 21-23.) Näille kaikille on merkinnässä oma paikkansa (SFS 1302 2003, 18). Pinnan ominaisuuksia koskeva vaatimus ilmoitetaan standardin mukaisesti, esimerkiksi Ra 0,8 tai Rz 1,2. Kirjaintunnus ilmoittaa tavan, jolla pinnankarheus on määritetty ja lukuarvo sen sallitun arvon. (Pere 2012 21-5 – 21-14.) Merkintä sisältää seuraavat tiedot:

- mikä pintaprofiili on kyseessä
- profiilin tunnusluku
- mittausjakson tiedot
- määrittelyrajan tulkinta (SFS 1302 2003, 20).

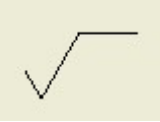
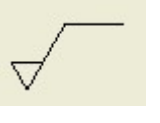
Pintasuureet on standardissa ryhmitelty kolmeen pääryhmään, R-, W-, ja P-profiileihin (SFS 1302 2003, 20). Kuvassa 20 on esimerkkejä pintamerkintöjen käytöstä ja taulukossa 4 on esitetty pinnankarheuden piirustusmerkit.



KUVA 19. Pintamerkintä (SFS 1302 mukaan)



KUVA 20. Pintamerkkejä (huomautus: merkinnät on esitetty vain esimerkin vuoksi, eikä niiden todellista toimintaa tai yhteensopivuutta ole suunniteltu)

Kaikki valmistusmenetelmät sallittu	
Aineen poisto pakollista	
Aineen poisto kielletty	

TAULUKKO 4. Pinnankarheuden suureita ja piirustusmerkit (SFS 1302 mukaan)

3.8 Kokoonpanopiirustukset

Kokoonpanopiirustus on piirustus, jossa tuote esitetään koottuna. Suurempia kokoonpanoja jaetaan usein niin sanotuiksi osakokoonpanoiksi. Kokoonpanopiirustuksen perusteella tuote pystytään kokoamaan. Pääkokoonpanopiirustukseen merkitään osakokoonpanot, joista puolestaan on laadittu omat kokoonpanopiirustukset. Mikäli tuotteen osien määrä on sen verran pieni, että kaikki osat voidaan selkeästi esittää yhdessä kokoonpanossa, ei osakokoonpanoja ole tarpeen laatia. Osakokoonpanoja voidaan tarvittaessa tehdä useita eri tasoisia. (Pere 2012, 16-1 – 16-2.) Kuvassa 21 on erään suomalaisen yrityksen käytössä oleva kokoonpanopiirustus.

Kuten kuvasta 21 nähdään, kokoonpanopiirustuksiin merkitään osat numeroilla. Näitä numeroita kutsutaan BOM-numeroiksi. Osat merkitään osaluetteloon samoilla numeroilla. Osien numeroinnista on olemassa standardi SFS-EN ISO 6433, joka määrittää käytössä olevat osanumeroinnin periaatteet (SFS 6433 2014, 8). Samanlaisten osien osanumerot merkitään lähtökohtaisesti vain kerran, jos sekaannuksen vaaraa ei ole (SFS 6433 2014, 12). Osakokoonpanot merkitään yhdellä numerolla. Numerointijärjestyksen tulisi olla johdonmukainen, esimerkiksi kokoonpanojärjestyksen tai osien tärkeyden mukaan. (SFS 6433 2014, 12.)

Osanumerot sijoitetaan yleensä ympyrän sisälle ja ympyrästä lähtevä viitenuoli osoittaa kyseiseen osaan piirustuksessa. Merkintä tehdään kappaleen ääriviivo-

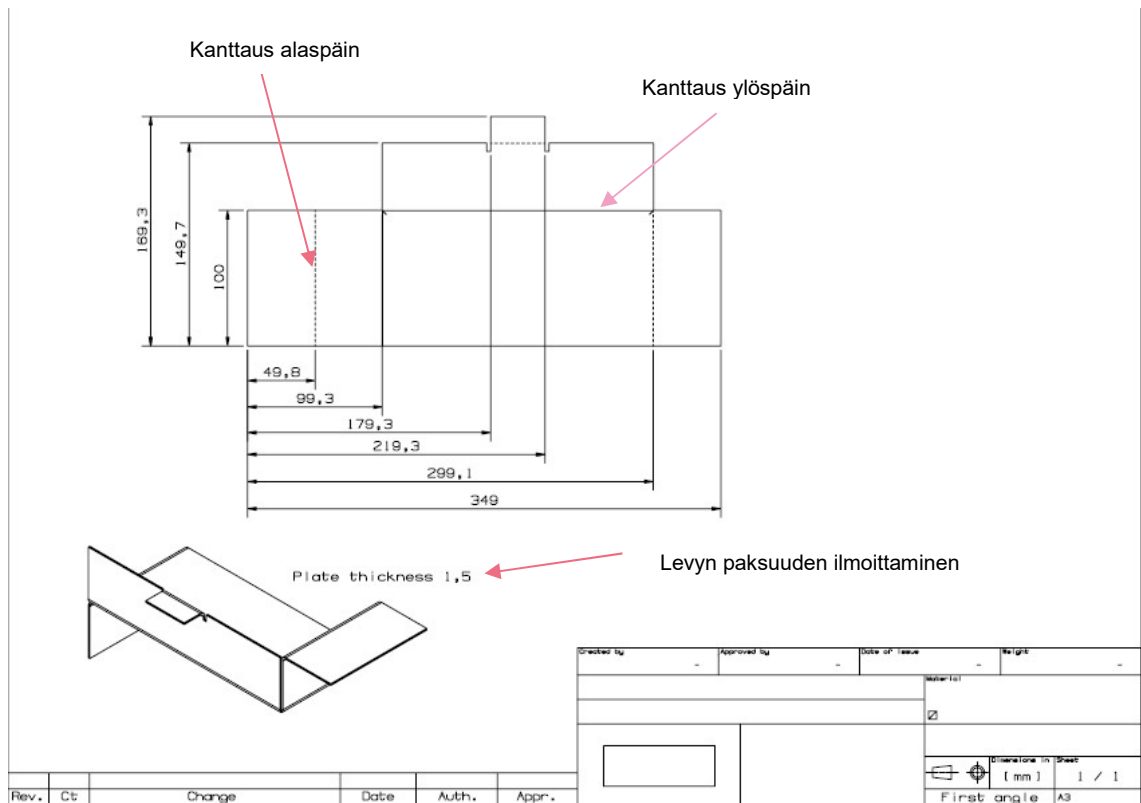
- osanumero (huom. ei BOM-numero, vaan esimerkiksi valmistajan ilmoittama osanumero)
- osan nimitys
- tekninen tieto/nimike
- mahdolliset huomautukset (SFS 7573 2009, 8).

Kaikkia edellä mainittuja tietoja ei ole pakko ilmoittaa, mutta ainakin yksi yksilöivä elementti vaaditaan (SFS 7573 2009, 10). Määrällä ja yksiköllä ilmaistaan materiaalin tarve, esimerkiksi kappale- tai metrimäärä. Mikäli määrää ei tunneta, käytetään merkintöjä "AR" (tarvittava määrä) tai "EST" (arvioitu määrä). Viitetunnuksella voidaan yksilöidä osat, joita on kokoonpanossa useita. (SFS 7573 2009, 10.)

3.9 Ohutlevypiiirustukset

Ohutlevypiiirustukset ovat yleisperiaatteiltaan samanlaisia kuin muutkin piiirustukset. Ohutlevypiiirustuksia käytetään nimensä mukaisesti, kun kyseessä oleva kappale on valmistettu ohutlevyistä. Piiirustuksen perusteella kappale leikataan ja kantataan levystä. Ohutlevypiiirustukseen piiirretään yleensä projektio, josta käy ilmi levyn muoto ennen taivutusta ja jonka perusteella levy leikataan. Tähän projektiin merkitään ja mitoitetaan taivutusten kohdat.

Kuvassa 22 on esimerkki ohutlevypiiirustuksesta. Piiirustukseen voidaan merkitä myös taulukkoon sekä viitenuolilla taivutusten järjestys ja suunnat, jos se ei muuten käy selvästi ilmi. Levyn paksuus voidaan ilmoittaa merkinnällä "t = x", jossa x ilmaisee levyn paksuuden (SFS 129-1 2018, 48). Kuvassa 22 käytetty levyn paksuuden merkintä on myös toimiva, vaikkakaan ei aivan täysin standardin mukainen.



KUVA 22. Ohutlevypiirustus

3.10 PDM, muutoshallinta ja revisiointi

Tuotetiedonhallinta, eli PDM, on tärkeässä roolissa nykysuunnittelijan tehtävissä. Aikaisemmin PDM hoidettiin täysin paperilla, jolloin kaikki data oli mapeissa. Nykyisin PDM:ää varten on olemassa juuri tähän tarkoitukseen suunniteltuja ohjelmistoja, esimerkiksi Siemensin Teamcenter. PDM:ää käyttämällä mahdollistetaan, että ajantasainen tieto on kaikkien tarvitsevien tahojen käytössä (Pere 2012, 2-37). Usein on käytössä niin sanottu nimikepohjainen tiedonhallinta, jossa tiedon perusyksikkö on nimike (Pere 2012, 2-38). Nimikkeen alle voidaan tallentaa mitä tahansa digitaalista tietoa (Pere 2012, 2-38). Standardissa SFS-EN ISO 11442 on määritetty tuotetiedon hallintaan liittyviä käytänteitä ja käsitteitä. Tässä työssä ei käsitellä dokumenttien käsittelyä suunnittelun eri vaiheissa, sillä jokaisessa yrityksessä on jo vakiintuneet käytänteet, joiden mukaan toimitaan. Prosessit ja dokumenttien elinkaaret on kuvattu edellä mainitussa standardissa, jonka mukaan yritysten toimintatavat on laadittu.

Tärkeä osa PDM:ää on muutoshallinta. Pereen (2012, 2-37) mukaan muutoshallinta on tärkeimpiä syitä PDM-järjestelmien käytölle. Muutokset voidaan jakaa kahteen ryhmään: muutoksiin, joissa on vaatimuksena vaihdettavuus vanhan ja uuden osan välillä ja muutoksiin, joissa ei ole vaihtokelpoisuusvaatimusta (ISO 11442 2006, 24). SFS 11442:ssa revisio on määritetty tunnisteelliseksi versioksi dokumentista.

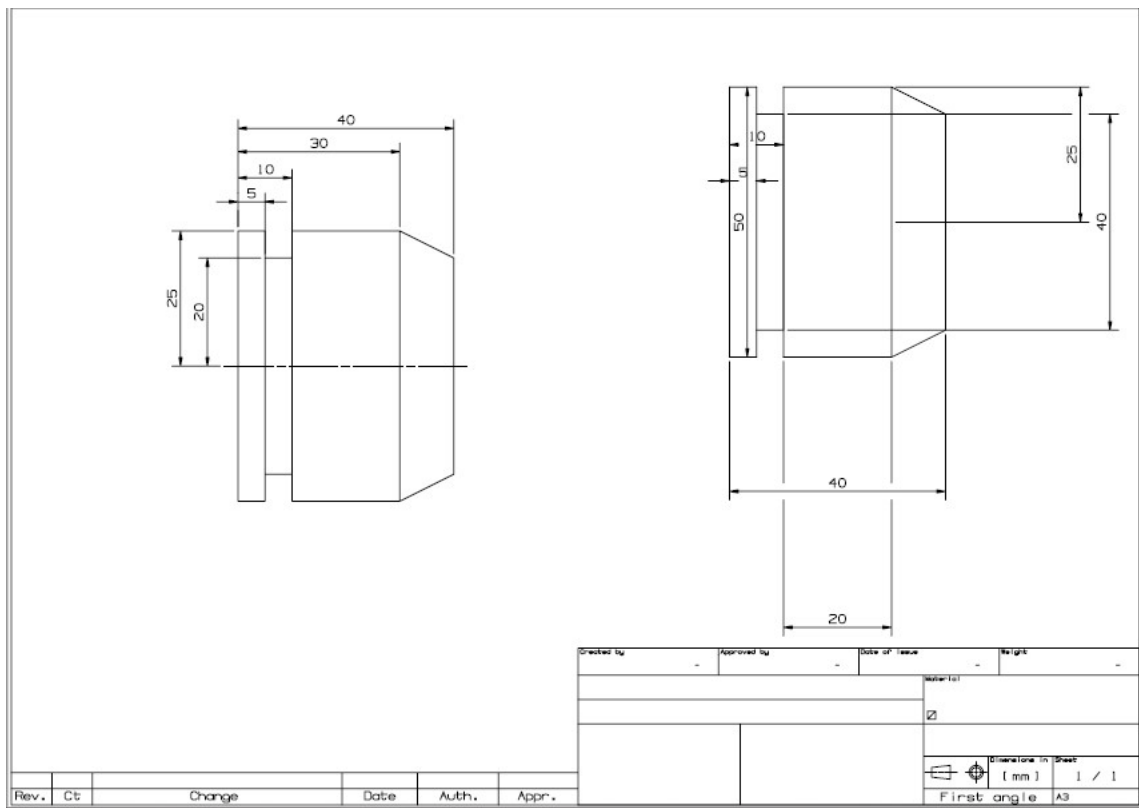
Standardin mukaan osan tunnistenumero tulee vaihtaa, mikäli osa ei ole enää vaihtokelpoinen vanhan kanssa. Mikäli osa on vaihtokelpoinen, tehdään siitä uusi revisio. (ISO 11442 2006, 24.) Revisiot merkitään juoksevasti esimerkiksi kirjaimin (A,B,C...) tai numeroin nimikkeen tunnisteeseen perään, esimerkiksi AB12345 A. Muutosten yhteydessä aiheutuu usein pohdintaa, pitäisikö avata uusi nimike vai tehdä vanhasta revisio. Tätä pohdintaa helpottamaan voidaan ajatella FFF-periaatetta. FFF tulee sanoista form, fit ja function (Pere 2012, 2-38). Tämän periaatteen mukaan komponentti on vaihtokelpoinen, eli tällöin tehdään revisio, kun se on samankokoinen ja -muotoinen, kiinnittyy samalla tavalla ja tekee samaa toimintoa kuin vanha (Pere 2012, 2-38). SFS 11442:ssa termit on käännetty suomeksi muoto, sovite ja toiminto. Mikäli tehdään revisio, tulee piirustuksiin merkitä muutoskenttään tehdyt muutokset, muutosten tekijä, hyväksyjä ja muutosten päivämäärä. (ISO 11442 2006, 24.) Muutoskentän lisäksi on olemassa yrityskohtaisia revisiosymboleita, joilla korostetaan muutos piirustuksessa.

3.11 Esimerkkejä ja yleisiä virheitä

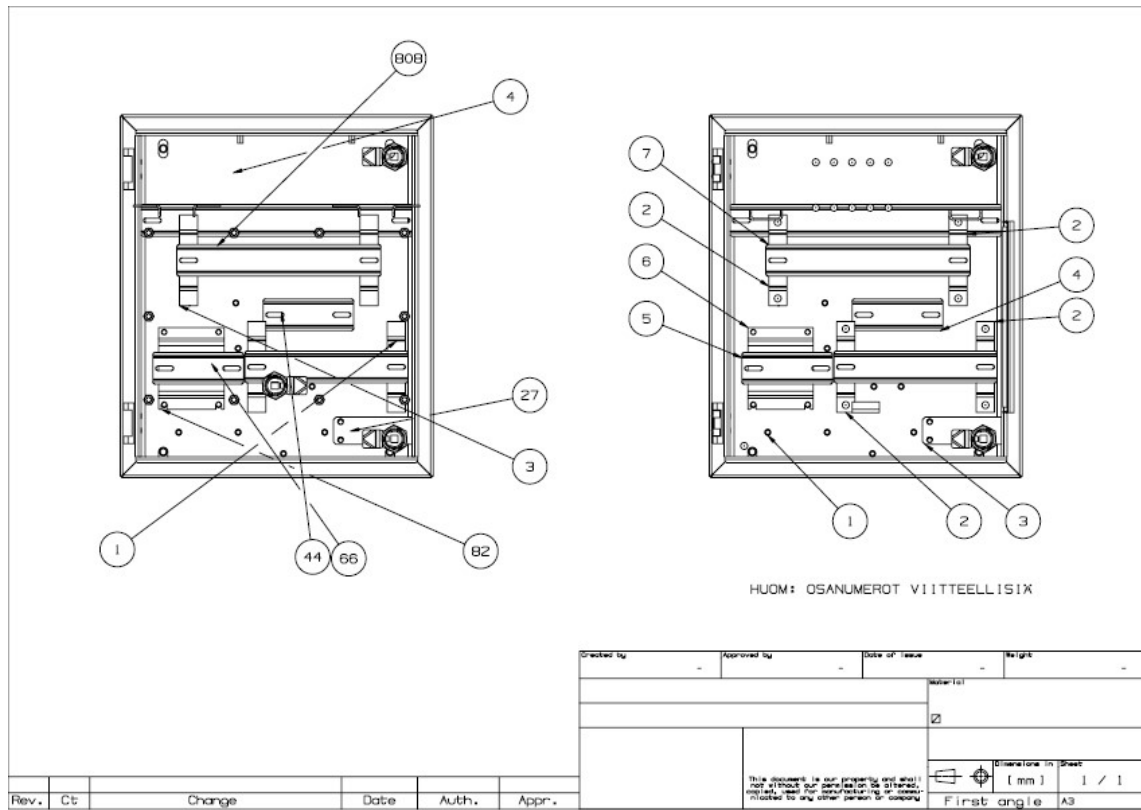
Piirustuksiin päätyy usein virheitä, osa on pienempiä ja osa suurempia, mutta virheen sattuessa syntyy aina kustannuksia (Hanifan 2010, 1). Tästä syystä piirustusta laadittaessa huolellisuus on tärkeää. Piirustuksessa annettavat tiedot on ilmoitettava ilman tulkinnanvaraa (Hanifan 2010, 2). Usein piirustuksissa saattaa olla ilmoitettuna turhia tai liian tulkinnanvaraisia tietoja esimerkiksi viimeistelystä tai pintakäsittelystä. Piirustuksiin merkittyjen tietojen tulisi olla jollain tavalla todennettavissa tai tarkastettavissa lopputuotteessa (Hanifan 2010, 7). Piirustuksiin voi, ja joskus pitääkin, merkitä vapaalla tekstillä ilmaistuja asioita, jos se on selkeyden kannalta välttämätöntä (Hanifan 2010, 13-14).

Yleisimmin virheet olisivat vältettävissä piirustuksen huolellisella tarkastuksella sen valmistumisen jälkeen. Esimerkiksi unohtuneet mitat tai muut merkinnät on tässä vaiheessa helppo korjata. Jos käytössä on hyväksymismenettely, nämä virheet tulevat myös siinä vaiheessa esille, eikä turhia kustannuksia juuri pääse syntymään. Pahimmillaan näennäisen pienetkin virheet voivat johtaa ylimääräisiin kustannuksiin, kun esimerkiksi osat eivät sovikaan paikalleen puutteellisten toleranssimerkintöjen takia.

Piirustuksien laadinnassa, kuten on aiemmin todettu, tärkeintä on selkeys ja yksiselitteisyys. Vaikka piirustuksessa ei suoranaisia virheitä olisikaan, voi se silti olla liian vaikeaselkoinen. Esimerkiksi liian monta mitta-alueella sekä viite- ja mittaviivojen useat risteykset aiheuttavat tulkinnanvaraa. Tätä havainnollistetaan kuvissa 23 ja 24, joista huomataan, että selkeästi laadittua piirustusta on helppo lukea ja tarvittu tieto löytyy nopeasti.



KUVA 23. Selkeä ja epäselvä mitoitus



KUVA 24. Kokoonpanopiirustus huonosti ja hyvin tehtynä (Huomautus: Kuva on vain esimerkinomainen)

Tiivistettynä suurin osa piirustusvirheistä vältetään maalaisjärjellä ja huolellisuudella. Jos suunnittelija ei itse ymmärrä laatimaansa piirustusta, ei sitä todennäköisesti ymmärrä myöskään piirustuksen lukija.

4 KÄSIKIRJA KONEPAJAPIIRUSTUSTEN LAADINTAAN

4.1 Käsikirjan vaatimukset

Tässä opinnäytetyössä tuotettavalle käsikirjalle oli luonnollisesti erilaisia vaatimuksia. Työn tilaajan kanssa pidettiin palaveri, jossa näistä vaatimuksista keskusteltiin ja sovittiin. Tilaajalla oli omat vaatimuksensa, joiden lisäksi työlle asetettiin joitakin vaatimuksia työn tekijän toimesta. Suurin osa tilaajan vaatimuksista liittyi työn käytettävyyteen tilaajalla eikä niinkään varsinaiseen asiasisältöön.

Opinnäytetyön tuloksena syntyneen käsikirjan tärkeimmäksi vaatimukseksi tilaaja nosti käsikirjan laajennettavuuden ja muokattavuuden. Tällä tarkoitettiin sitä, että samaan materiaaliin voidaan myöhemmin tehdä lisäyksiä uusia ohjeita eri aiheista. Tilaajalla ei ole tällä hetkellä olemassa varsinaista suunnitteluohjetta, joten tämän opinnäytetyön tuloksena syntynyttä käsikirjaa toivottiin olevan mahdollista laajentaa myöhemmin kattamaan muita suunnitteluohjeita. Laajennettavuuden lisäksi käsikirjan täytyy myös olla muokattavissa ja päivitettävissä myöhemminkin. Esimerkiksi standardit päivittyvät jatkuvasti. Tilaaja myös esitti mahdollisuutta liittää käsikirja osaksi uusien suunnittelijoiden perehdytysmateriaalia, mutta tätä ei kuitenkaan pidetty korkean prioriteetin tavoitteena opinnäytetyön kannalta. Tärkeimmät käsikirjalle asetetut vaatimukset olivat seuraavat:

- laajennettavuus, muokattavuus ja päivitettävyys
- sisältää kaiken oleellisen tiedon, joka tulee osata ottaa huomioon piirustuksia laadittaessa
- helppokäyttöisyys ja selkeys.

Koska aiheesta on olemassa kattavaa kirjallisuutta, ei käsikirjasta lähdetty tekemään raskasta, kaikenkattavaa eeposta. Suunnitelmana oli koota niin kutsuttu "quick reference handbook" eli käsikirja, josta on löydettävissä oleelliset tiedot nopeasti. Kantavana ajatuksena käsikirjan suunnittelussa oli tilanne, jossa suunnittelija haluaa tarkistaa jonkin tietyn asian nopeasti piirustusta laatiessaan. Työn sisällön puolesta vaatimukset määriteltiin siten, että aiheissa ei mennä pitkälle yksityiskohtiin eikä käsitellä harvinaisia tapauksia.

4.2 Käsikirjan laatiminen

Kuten edellä mainittiin, käsikirjaan ei lähdetty kokoamaan aivan jokaista asiaa pienintäkin yksityiskohtaa myöten. Tilaajan kanssa käytiin keskusteluja, joissa määritettiin asiat, jotka käsikirjaan tulisi ehdottomasti sisällyttää sekä erityistä huomiota vaativat asiat. Keskustelujen pohjalta tärkeiksi sisällöiksi nostettiin erityisesti hitsaus- ja pinnanlaatumerkinnät, koska kyseiset merkinnät ovat hieman erikoisempia, mutta myös usein käytössä, jolloin virheen mahdollisuus kasvaa. Myös osaluetteloista toivottiin erillistä mainintaa käsikirjaan, sillä niihin ei välttämättä aina kiinnitetä tarpeeksi huomiota. Muu käsikirjan sisältö perustettiin kirjoittajan omakohtaisiin kokemuksiin asioista, jotka voivat olla haasteellisia uudelle suunnittelijalle.

Lähtökohtana sisällytettävien asioiden valintaan oli, että insinöörikoulutuksen omaava henkilö voisi periaatteessa laatia piirustuksen vain käsikirjan pohjalta. Pääpaino otettiin tilaajan toivomille asioille, kun taas suunnitteluohjelmien automaattisesti tuottamia elementtejä tai monille suunnittelijoille itsestään selviä asioita, kuten viivatyypit ja fontit, jätettiin pienemmälle huomiolle tai kokonaan käsikirjan ulkopuolelle.

Käsikirja sisältää ohjeita piirustusten perusasioista, kuten piirustusohjista ja projektioista, koska näitä perusasioita tarvitaan aina piirustusta tehtäessä. Perusasiat ovat kuitenkin suurimmilta osin suunnittelijoilla hallussa, joten nämä koottiin käsikirjaan hieman suurpiirteisemmin keskittyen aiheisiin, jotka vaativat suunnittelijalta toimenpiteitä, eivätkä tule automaattisesti suunnitteluohjelmilla. Käsikirjan tärkeimmät sisällöt ovat ohjeet hitsaus- ja pinnanlaatumerkintöjen tekemiseen. Näiden tietojen kokoamiseen käytettiin enemmän aikaa ja niistä koottiin eniten yksityiskohtaisempiakin tietoja. Kirjoittajan omakohtaisten kokemusten perusteella käsikirjaan tehtiin myös kappale kokoonpanopiirustuksista, sillä niissä epäselvän piirustuksen tekeminen on helppoa ja se vaikeuttaa asennustyötä kokoonpanossa.

Käsikirjan helppoa päivitettävyyttä silmällä pitäen päädyttiin sen sisältö perustamaan pääasiassa standardeihin. Standardien päivittyessä ilmoitetaan selkeästi korvaavan standardin numero, joten käsikirjaan on helppo päivittää muutokset.

Standardeja käyttämällä löydettiin myös varmuudella ajantasaista ja voimassa olevaa tietoa. Sovellettavia standardeja etsittiin alan kirjallisuudesta sekä tilaajan kanssa yhteistyössä. Kirjallisuuslähteitä käytettiin myös tietojen varmistamiseen, kun etsittiin tietoa, jota ei lue standardeissa. Käsikirjan sisältö pohjautuu tämän työn lukuun 3. Joitakin sanamuotoja muutettiin sopimaan paremmin tilaajan käyttöön sekä lisäksi tehtiin joitakin pieniä yrityskohtaisia tarkennuksia ja lisäyksiä. Käsikirjassa voitiin käyttää myös joitakin kuvia, joita ei julkisessa raportissa voida esittää.

Käsikirjan rakenteessa pyrittiin noudattamaan yleistä suunnittelijan työn etenemisjärjestystä, kun hän laatii piirustusta, alkaen piirustus pohjista ja päättyen osaluetteloihin. Tällä saatiin käsikirjan sisällölle looginen järjestys ja myös tiedonhaku on helpompaa, kun suunnittelija osaa intuitiivisesti lähteä hakemaan tarvitsemaansa tietoa oikealta alueelta. Jos suunnittelija kohtaa ongelmatilanteen esimerkiksi pinnanlaatumerkinnässä, on hän siihen mennessä jo tehnyt piirustus pohjan, projektiot ynnä muut ennen pinnanlaatumerkintöjä tehtävät merkinnät ja osaa suoraan katsoa käsikirjan sisällysluettelon loppupäähän. Rakenteessa huomioitiin myös tilaajan asettama vaatimus käsikirjan päivitettävyydestä. Rakenne ja otsikointi rakennettiin siten, että käsikirja voidaan myöhemmin päivittää suunnitteluohjeeksi käytännössä lisäämällä aiheeseen liittyvät suunnitteluohjeet kyseisen otsikon alle.

Monet piirustuksiin liittyvät asiat ovat hankalia kirjoittaa auki. Käsikirjassa havainnollistetaan esitettyjä asioita kuvin ja taulukoin. Tilaajan avustuksella esimerkiksi saatiin oikeita, käytössä olevia piirustuksia. Kaikista aiheista esimerkkikuvia ei kuitenkaan saatu, joten havainnollistavia kuvia tehtiin myös itse. Kuviin merkittiin korostuksia havainnollisuuden parantamiseksi.

Käsikirjan loppuun tehtiin vielä kooste yleisimmistä tai helpoiten tehtävistä virheistä, mitä tilaaja piti hyvänä ratkaisuna. Koosteen ajatuksena oli korostaa piirustusten tarkastamisen merkitystä ja jättää käsikirjan lukijalle mieleen yleisimmät virheet, jotta niitä voitaisiin välttää, vaikkei suunnittelija käsikirjaa enää ensilukemisen jälkeen käyttäisikään.

5 POHDINTA

Työn tärkeimpänä tavoitteena oli vähentää piirustusten virheitä. Työn tuloksena syntyi tilaajalle käsikirja, jossa kaikki piirustusten tekemiseen liittyvät olennaiset asiat on koottu yksien kansien väliin helposti saataville.

Käsikirja täyttää sille asetetut tavoitteet ja vaatimukset hyvin ja sen kokoaminen oli melko helppo ja kivuton toimenpide hyvin tehdyn tiedonkeruun jälkeen. Tavoitteiden täyttymistä arvioitiin yhdessä tilaajan kanssa. Käsikirjan selkeä ulkoasu ja looginen rakenne mahdollistavat nopean tiedonhaun, joka oli yksi tärkeimmistä vaatimuksista ajansäästötavoitteen saavuttamiseksi. Sisällöltään käsikirja vastaa tilaajan odotuksia ja siihen saatiin koottua kattavasti relevanttia tietoa, mutta kuitenkin samaan aikaan onnistuttiin pitämään kokonaisuus riittävän kompaktina. Tiedonkeruussa keskityttiin löytämään uusinta mahdollista tietoa, sillä piirustusmenetelmissä on tapahtunut voimakasta kehitystä tietokoneiden yleistyttyä. Tästä johtuen vanhemmassa lähdemateriaalissa voi olla vanhentunutta tietoa tai asioita, joita ei enää nykyään tarvitse ottaa huomioon.

Käsikirjan päivitettävyyks oli myös tärkeä vaatimus ja se otettiin huomioon käsikirjan rakennetta mietittäessä. Käsikirjan rakenne on helposti muokattavissa, joten mahdolliset päivitykset ovat siinä mielessä helposti toteutettavissa. Tilaja toivoi myös, että käsikirja olisi laajennettavissa myöhemmin kattamaan myös suunnitteluohjeet. Tämä otettiin myös huomioon käsikirjan laadinnassa laatimalla otsikot siten, että niiden alle voidaan myöhemmin lisätä suunnitteluohjeet kyseisestä aiheesta. Edellä mainittujen asioiden onnistumista voidaan kuitenkin paremmin arvioida vasta, kun käsikirjaa aletaan myöhemmin päivittämään.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyössä onnistuttiin hyvin. Tilajalta saadun palautteen perusteella tavoitteisiin ja vaatimuksiin pystyttiin vastaamaan hyvin. Suurimmat haasteet työn suorittamisessa liittyivät aikatauluihin, esimerkiksi tapaamisia oli joskus hankala saada sovitettua kalentereihin. Tiedonhaku onnistui hyvin ja opinnäytetyön aiheesta oli paljon tietoa saatavilla. Suuresta tietomäärästä onnistuttiin poimimaan ajantasaiset tiedot ja muotoilemaan ne selkeästi käsikirjaan.

Tämän opinnäytetyön valmistumisen jälkeen tuloksena syntynyt käsikirja tullaan tarjoamaan saataville kaikille ALTENin suunnittelijoille. Jatkotoimenpiteenä voitaisiin suunnittelijoille järjestää kysely, jolla kartoitettaisiin käsikirjan toimivuutta ja yleistä vastaanottoa tämän kaltaiselle materiaalille. Kyselyllä voitaisiin esimerkiksi selvittää, kuinka suuri osa suunnittelijoista loppujen lopuksi käyttää käsikirjaa, kerätä parannusehdotuksia käsikirjan sisältöön tai asetteluun sekä kartoittaa yleinen mielipide käsikirjan tarpeellisuudesta. Kyselyn suorittaminen olisi ollut hyvä sisällyttää jo tähän opinnäytetyöhön, mutta sille ei ikävä kyllä jäänyt aikaa opinnäytetyön puitteissa.

LÄHTEET

Green, P. 2005. The Geometrical Tolerancing Desk Reference : Creating and Interpreting ISO Standard Technical Drawings. Amsterdam: Elsevier

Hanifan, R. 2010. Reduce your engineering drawing errors : preventing the most common mistakes. New York: Momentum Press

Lehtimäki, A. 2017. Suomalaista koneenpiirtämistä 1916-2016. 2. painos. Tampere: Aarre Lehtimäki

Pere, A. 2012. Koneenpiirustus 1&2. Espoo: Kirpe Oy

SFS. 2010. SFS-Käsikirja 22-2 Tekniset tuoteasiakirjat. Osa 2: Koneenpiirustus. Helsinki: SFS Ry

SFS-ISO 128. 2009. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Helsinki: SFS Ry. Luettu 12.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-ISO 129-1. 2018. Tekninen tuotedokumentointi. Mittojen ja toleranssien esittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet. Helsinki: SFS Ry. Luettu 1.5.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN ISO 1101. 2017. Geometrisen tuotemäärittely (GPS). Geometriset toleranssit. Muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit. Helsinki: SFS Ry. Luettu 2.4.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN ISO 11442. 2006. Tekninen tuotedokumentointi. Dokumentinhallinta. Helsinki: SFS Ry. Luettu 28.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN ISO 1302. 2003. Geometrisen tuotemäärittely (GPS). Pinnan ominaisuuksien ilmoittaminen teknisissä tuoteasiakirjoissa. Helsinki: SFS Ry. Luettu 1.4.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN ISO 2553. 2014. Hitsaus ja sen lähiprosessit. Merkinnät piirustuksiin. Helsinki: SFS Ry. Luettu 20.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN ISO 5456-2. 2010. Tekniset piirustukset. Projisointimenetelmät. Helsinki: SFS Ry. Luettu 12.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN ISO 5457. 2009. Tekninen tuotedokumentointi. Piirustus pohjien koot ja rakenne. Helsinki: SFS Ry. Luettu 11.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN ISO 6433. 2014. Tekninen tuotedokumentointi. Osanumerot. Helsinki: SFS Ry. Luettu 22.3.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-ISO 7573. 2009. Tekniset tuoteasiakirjat. Osaluettelot. Helsinki: SFS Ry.
Luettu 29.4.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Simmons, C.; Phelps, N. & Maguire, D. 2012. Manual of engineering drawings: technical product specification and documentation to British and international standards. 4. painos. Burlington: Butterworth Heinemann