



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)

Mittausjigien suunnitteluohje

Pekka Pitkänen

Opinnäytetyö, huhtikuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2022
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Pekka Pitkänen

Nimeke
Mittausjigien suunnitteluohje

Toimeksiantaja
Medisize Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin jigisuunnittelun ja jigien toiminnan peruseriaatteita sekä perehdyttiin ohjeen tekemiseen. Kerätyn aineiston pohjalta luotiin mittausjigien suunnitteluohje toimeksiantajayrityksen Medisize Oy:n käyttöön. Ohjeen on tarkoitus toimia suunnittelijoiden perehdytyksen apuna ja suunnittelutyön tukena. Ohjetta apuna käyttäen suunnittelijan olisi voitava suunnitella mitattavien kappaleiden muoto- ja dimensio- vaihtelut huomioon ottavia jigejä, jotka eivät muokkaisi kappaletta.

Toteutettu ohje pohjautuu pääosin kirjallisiin lähteisiin jigisuunnittelusta. Ohjeen tekemisessä on myös hyödynnetty toimeksiantajayrityksen sisällä tehtyjä haastatteluita.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin mittausjigien suunnitteluohje. Toteutettu ohje täyttää pääosin sille asetetut vaatimukset esimerkiksi jigien toiminnasta mitattavan kappaleen dimensioiden ja muodon vaihdellessa. Suunnitteluohje tulee toimeksiantajan käyttöön viralliseksi ohjeeksi. Ohje tullaan tulevaisuudessa kääntämään englanniksi laajempaa käyttöä varten. Tulevaisuudessa mittausautomaation kasvattaminen robotisaation avulla voi tulla ajankohtaiseksi toimeksiantajayrityksessä. Mittausjigien suunnitteluohjeesta on tällöin hyötyä suunniteltaessa robottien operoimia jigejä.

Kieli
suomi

Sivuja 45
Liitteet 3
Liitesivumäärä 23

Asiasanat
mittausjigi, jigi, mittaus, ohje



THESIS
April 2022
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Pekka Pitkänen

Title
Design Guide for Metrology Fixtures

Commissioned by
Medisize Oy

Abstract

This thesis studies the basic principles of jigs and fixtures and their design. In addition, the thesis describes how to make a guide. Based on the gathered material, the design guide was made for the client, Medisize Oy. The purpose of this guide is to act as a help for introduction of the job for new engineers and support the design of jigs. With the help of this guide, it should be possible to design jigs that take the variations in shape and dimensions of the measured parts into account without deforming the parts.

The guide is mainly based on literary sources about jig and fixture design. Interviews with the client company's employees were also exploited in the making of the guide.

The outcome of the thesis was the design guide for metrology fixtures. The guide fulfills mainly its requirements, for example, it manages to take into account varying of the dimensions and shape of the part to be measured. The design guide will be used by the client as an official guideline. The guide is going to be translated into English for wider use. In the future, increasing measurement automation through robotization may become topical in the client company. In that case, the metrology fixture design guide will be useful when designing fixtures operated by robots.

Language
Finnish

Pages 45
Appendices 3
Pages of Appendices 23

Keywords
measuring fixture, fixture, jig, metrology, guide

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Toimeksiantaja.....	5
3	Opinnäytetyön tietoperusta	7
3.1	Jigisuunnittelun peruseriaatteen	7
3.2	Mittalaitteen	15
3.2.1	Mittalaitteen yleisesti.....	15
3.2.2	Dimensiomittauksen peruseriaatteen koskettavalla mittalaitteella ...	16
3.2.3	Dimensiomittauksen peruseriaatteen optisella mittalaitteella.....	19
3.3	Mittausepävarmuus	20
3.4	Ohjeet	23
3.4.1	Ohjeet yleisesti	23
3.4.2	Käyttöohjeet.....	24
4	Suunnitteluohjeen toteutus	27
4.1	Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät	27
4.2	Lähtötilanne ja syyt ohjeen toteutukselle	28
4.3	Aineiston hankinta	30
4.4	Ohjeen kirjoittaminen	30
4.5	Ohjeen testaus ja arviointi	34
5	Tulokset	41
6	Pohdinta.....	42
	Lähteet.....	45

Liitteet

- Liite 1 Prototyyppivaiheen ongelmanratkaisutaulukko
- Liite 2 Prosessikaavio mittausjigin hankinta- ja suunnitteluprosessista
- Liite 3 Mittausjigin suunnitteluohje

1 Johdanto

Jigisuunnitteluun on luotu ohjeistusta, mutta olemassa olevat ohjeet käsittelevät lähinnä työstöä avustavia jigijä ja kiinnittimiä. Olemassa olevan kirjallisuuden pohjalta loin ohjeistuksen pääsääntöisesti muovituotteiden mittaamiseen sopivien jigien ja kiinnittimien suunnittelulle. Ohjeen tekemisessä käytin hyväksi myös yrityksessä olemassa olevaa tietämystä jigisuunnittelusta ja oman työni, jigisuunnittelun, parissa saamiani kokemuksia.

Ohjeen tarkoituksena on opastaa ja perehdyttää suunnittelijoita yrityksen sisäisesti mittausjigien suunnitteluun. Se kertoo suuntaviivoja ja antaa vinkkejä suunnitteluun, muttei vaadi toteuttamaan kaikkia siinä määriteltyjä periaatteita. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa toimeksiantajayritykselle, Medisize Oy:lle, mittausjigisuunnitteluohjeistus, jota käytetään pääasiassa ruiskuvalettujen muovituotteiden mittaamiseen käytettävien jigien suunnittelun apuna.

Toimeksiantajan toimesta asetettiin tutkimuskysymykseksi: ”Kuinka saavutetaan muovikappaleita riittävästi tukeva, mutta muokkaamaton kiinnitysratkaisu, joka ei ole riippuvainen valmistuksesta johtuvista mittakappaleen muotovaihteluista?” Lisäksi opinnäytetyössä pohditaan, millä saavutetaan jigien toimivuus mitattavan kappaleen valmistustoleranssialueella ja sen ulkopuolella.

2 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Medisize Oy, joka on osa Phillips-Medisizea, joka puolestaan kuuluu suurempaan Molex-työyhtiöön (Medisize Oy 2022a). Molex-konserni on osa Koch industries -konsernia (Phillips Medisize 2022). Medisize Oy:n tehdas toimii Lehmassa, Kontiolahdella kahdessa yksikössä (Medisize 2022b). Phillips-Medisizella on toimipisteitä ympäri maailmaa 26 sijainnissa 10 maassa. Phillips-Medisize työllistää 5000 henkilöä. (Phillips-Medisize 2022.) Näistä henkilöistä yli 600 työskentelee Medisize Oy:ssä

Kontiolahdella (Medisize Oy 2022a). Medisize Oy:n liikevaihto vuonna 2020 oli 106 437 000 € ja tulos oli 14 708 000 € (Kauppalehti 2022). Phillips-Medisize tuottaa valmistus- ja suunnittelupalvelua terveydenhuoltoalan ja terveysteknologian sovellutuksiin (Medisize Oy 2022a). Suomen tehtaalla tapahtuu pääasiassa tuotteiden teollistamista ja massatuotantoa (Medisize Oy 2022c). Tuotteet ja komponentit valmistetaan lähinnä muovista ruiskuvalamalla, koska materiaali sopii parhaiten lääketieteellisiin sovelluksiin teknisten ominaisuuksiensa, kustannustehokkuutensa sekä hygieenisyytensä ansiosta (Medisize Oy 2022d).

Laadunvarmistus kuuluu tärkeänä osana toimeksiantajan tuotantoprosessiin. Tuotannon laatu varmistetaan käyttämällä koordinaattimittauskoneita ja optisia mittauskoneita.

Toimeksiantajan käyttämien koordinaattimittauskoneiden tarkkuus on 0,004–0,008 mm yleensä tarkasteltavien komponenttien kokoisia kappaleita mitattaessa. Toimeksiantajan koordinaattimittauskoneiden mittauspääät ovat mittaavia, mikä mahdollistaa skannaamalla mitaamisen. Käytössä olevat optiset mittalaitteet perustuvat videomittaukseen. (Soininen 2021.)

Toimeksiantaja käyttämien pallomaisten mittauskärkien koko vaihtelee pääosin 0,3–5 mm välillä. Myös käytettyjen lieriömäisten kärkien pituus vaihtelee. Käytettävien kärkien kokoa ei ole toimeksiantajayrityksessä standardoitu, sillä tuotteen mitattavat ominaisuudet ja asiakas määrittävät käytettävät mittauskärjet. Tämän vuoksi kärkiä tilataan tarpeen mukaan eri kokoisia ja muotoisia. (Soininen 2021.)

3 Opinnäytetyön tietoperusta

3.1 Jigisuunnittelun peruseräatteen

Jigillä tarkoitetaan itsenäistä laitetta, johon työstettävä, hitsattava tai mitattava kappale kiinnitetään tiettyyn asentoon. Jigi pitää kappaleen paikallaan suoritettavan toimenpiteen, esimerkiksi mittauksen, aikana. Jigin tarkoituksena on asemoida kappaleet aina samalla ennalta määrättyllä tavalla. Jigejä käytetään kappaleiden asemoinnin ja kiinnittämisen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi. (Venkataraman 2015, 1.4–1.5.)

Jigien tarkoitus on esimerkiksi parantaa tuottavuutta prosesseissa ja alentaa kappaleiden yksikköhintaa. Tämä voidaan saavuttaa jigien avulla, koska niitä käyttämällä saadaan lyhennettyä jaksoaikaa. Jaksoaika lyhenee, sillä jigin käyttäminen vähentää kappaleen asetukseen ja poistoon kuluvaä aikaa. (Nee, Tao & Kumar 2004, 3.) Osakohtaisten jigien suunnittelu ja valmistaminen on kannattavaa, kun mitataan suuria kappalemääriä. Yksittäisille kappaleille ei yleensä ole järkevää valmistaa kalliita kiinnittimiä. (Esala, Lehto & Tikka 2003, 46.)

Jotta kappale saadaan mitattua, täytyy se kiinnittää. Kiinnittämällä kappale saadaan pysymään paikallaan. Kappaleen kiinnittäminen ei saa muovata kappaletta ja sitä kautta vaikuttaa kappaleen dimensioihin. Kiinnitin ei saa muokata kappaletta myöskään lämmön kautta. Kappaleen kiinnittimet eivät saa myöskään haitata kappaleen mittausta. (Esala ym. 2003, 44, 46, 58.) Esala ym. (2003, 44) toteavatkin: "Voisi ajatella, että mikäli kappale saadaan pysymään muotoansa muuttamatta ja liikkumattomana niin, että halutut kohdat on mitattu, kiinnitys on onnistunut." Kappaleen ollessa tarpeeksi pehmeä se saattaa muuttaa muotoaan painovoiman vaikutuksesta oman massansa alla. Tällöin voidaan tarvita kappaletta tukeva jigi, mikä pitää kappaleen halutun muotoisena. Myöskään kiinnitin ei saa liikkua mittaamisen aikana, vaan sen on oltava vakaasti kiinnitettynä mittauskoneen pöytätasoon. Mittauksen aikana jigi tai kiinnitin ei saa joustaa aiheuttaen kappaleen liikkumisen. Mittausjigin tulee taata riittävä tila mittaamiselle, koska mittauskoneen kärjet ja mittauspää tarvitsevat aina tilaa

liikkuakseen. (Esala ym. 2003, 44–46, 58.) Optisesta mittausta varten suunniteltavassa jigissä pitää huomioida mittauspään liikkeiden lisäksi, että jigtiin tarvitaan kappaleen valaisua varten valoaukot.

Jigi on laite, joka pitää työkappaleen paikoillaan valmistusprosessin aikana. Jigin avulla kappale sijoittuu aina oikeaan asentoon ja paikkaan. Jigissä olevan kappaleen asennon ja sijainnin tulee pysyä muuttumattomina prosessin aikana. Jigit koostuvat osakokonaisuuksista, joita ovat vasteet, kiinnittimet, tuet ja jigin runko. (Nee ym. 2004, 1–2.)

Vasteet pidättävät kappaleen paikoilleen ja rajoittavat sen liikkeitä. Vasteet ovat kiinteä osa jigistä, eivätkä ne eivät liiku. Tosin ne voivat olla säädettävissä, mikäli kappaleiden muoto ja laatu vaihtelevat paljon. (Nee ym. 2004, 1.)

Kiinnittimien avulla kappale lukitaan vasteita vasten. Vasteet pitävät työkappaleen paikoillaan siihen kohdistamiensa voimien avulla, muita ulkoisia voimia vastaan. (Nee ym. 2004, 2.)

Tuet ovat vaihtoehtoinen osa jigistä. Niitä voidaan lisätä, mikäli kappale ei pysy paikoillaan tai vääristyy ulkoisten voimien, esimerkiksi puristimien, työstön tai painovoiman, vaikutuksesta. Tuet voivat olla tarpeen mukaan joko kiinteitä tai säädettäviä. (Nee ym. 2004, 2.)

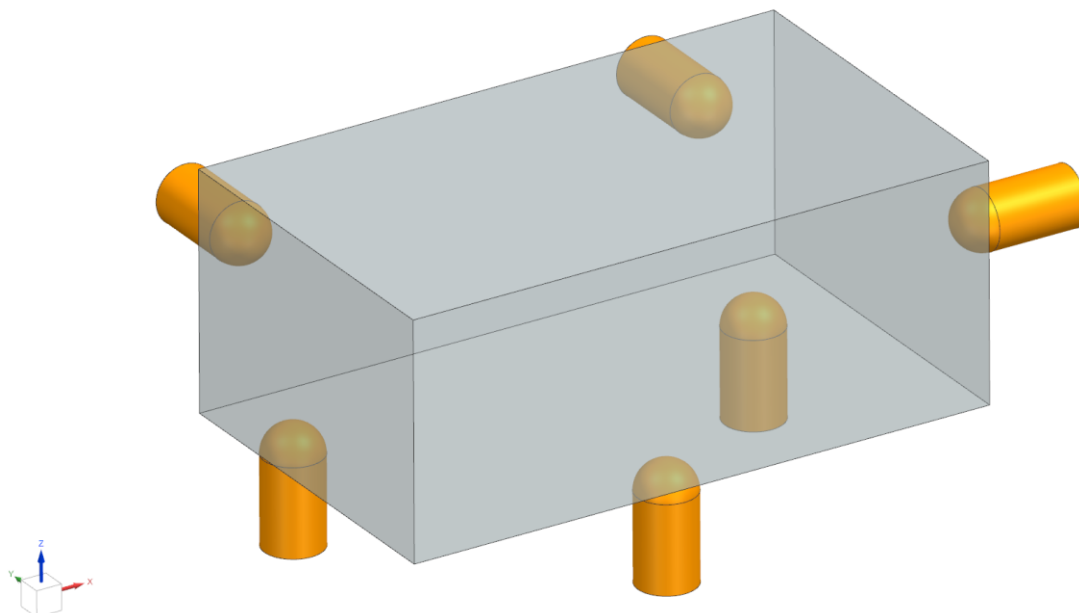
Jigin runko yhdistää muut osat kokonaisuudeksi, lisäksi sen avulla jigi yhdistetään mittaus- tai työstökoneeseen (Nee ym. 2004, 2). Jigin kiinteät osat voivat olla koneistettu samasta kappaleesta rungon kanssa ja olla täten kiinteä osa runkoa.

Helpoimmin kiinnitettävät kappaleet ovat suorakulmaisia särmiöitä, eli kappaleen pinnat ovat toisiinsa nähden kohtisuorassa. Helposti kiinnitettävän kappaleen pinnat ovat myös virheettömiä ja jäykkiä, eivätkä ne ole alttiita muodonmuutoksille. Nämä ominaisuudet takaavat parhaimman kiinnityksen. Huonoimmin kiinnitettävissä ovat kappaleet, joissa on kaksoiskaarevia pintoja. Näistä ääriesimerkkinä toimii pallo. Pallo voidaan melko helposti kiinnittää paikalleen,

mutta sen asennon ja suunnan määrittäminen on mahdotonta. Lisäksi pallomainen pinta lisää kiinnittämisen haastavuutta, koska kappale täytyy pitää paikoillaan rotaation suhteen kitkan avulla, koska muotolukitusta ei pysty toteuttamaan. (Esala ym. 2003, 45.)

Kappaleella on yleensä kuusi vapausastetta. Kappale voi liikkua koordinaatiston x-, y- ja z-akselien suunnissa ja niiden ympäri. Joskus vapausasteita merkitään olevan 12 eli jokaisen akselin positiiviseen ja negatiiviseen suuntaan sekä myötä- ja vastapäivään akselien ympäri. (Nee ym. 2004, 9–10; Venkataraman 2015, 2.1–2.2.) Puhun tässä tekstissä kuitenkin kuudesta vapausasteesta asian yksinkertaistamiseksi.

Kappaleen liike saadaan rajattua kaikkien vapausasteiden suhteen käyttämällä 3-2-1-periaatetta kuvan 1 mukaisesti. Periaatteen mukaan kappale tuetaan kuutta vastetta vasten. Tarkastellaan kappaleen tuentaa x-y-z-koordinaatistossa. Ensimmäinen sivu tuetaan kolmella vastepisteellä x-y-tasossa, mikä estää kappaleen liikkeen z-suunnassa sekä estää kappaleen pyörimisen x- ja y-akselien ympäri, muttei estä kappaleen pyörimistä z-akselin ympäri. Toiselle sivulle, x-z-tasolle, asetetaan kaksi vastetta, mitkä estävät kappaleen liikkeen y-akselin suunnassa sekä kappaleen kääntymisen z-akselin ympäri. Viimeinen yksi vaste asetetaan kolmannelle sivulle y-z-tasolle. Se estää liikkeen y-akselin suunnassa. Näiden kuuden tukipisteen avulla kappaleen vapausasteet saadaan lukittua. Kappale tuetaan näitä vasteita vasten erillisillä kiinnittimillä, jotka varmistavat kappaleen paikallaan pysymisen. (Rong, Huang & Hou 2005, 120; Venkataraman 2015, 2.1–2.2.)

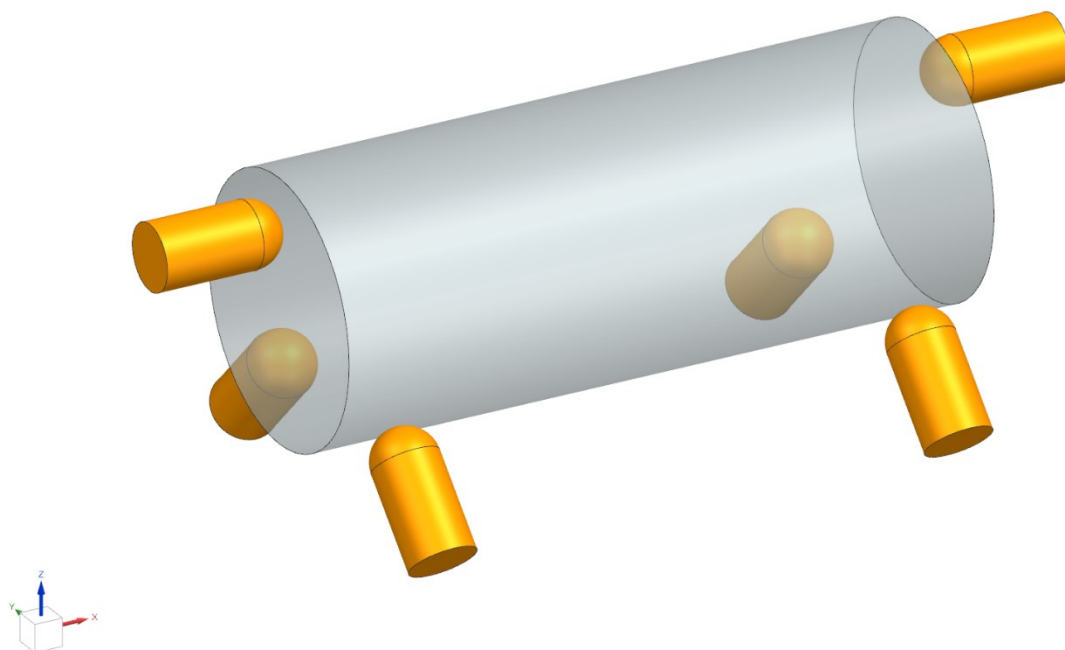


Kuva 1. Vasteiden sijoittelu suorakulmaisen kappaleen tuennassa 3-2-1-periaatteen mukaan (Kuva: Pekka Pitkänen).

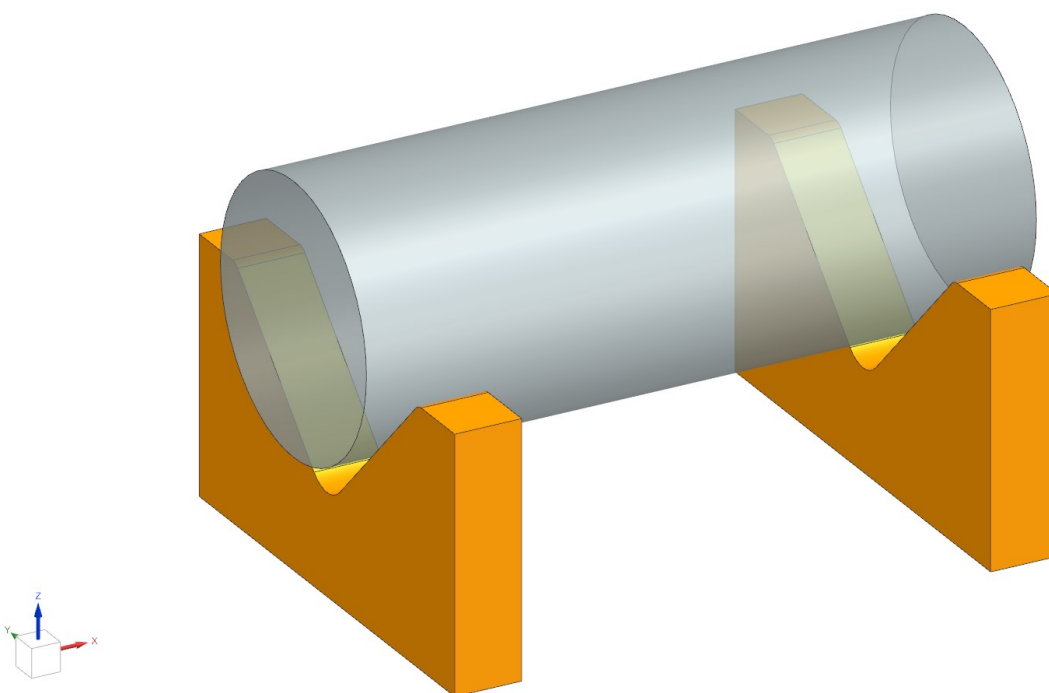
Jigisuunnittelussa pyritään käyttämään kuuden vasteen kiinnitystä. Näin menetelmällä jigin ja kappaleen välille ei tule ylimääräisiä vastepintoja tai pisteitä, ja kappaleen kaikki kuusi vapausastetta saadaan lukittua. Mikäli kappaleen tuentaan käytetään enemmän vasteita, kasvaa mahdollisten virheasentojen määrä, eikä kappale asetu samaan asentoon ja sijaintiin joka asetuskerralla. (Venkataraman 2015, 2.2.)

Pyörähdyskappaleiden tai sylinterimäisten kappaleiden tuennassa käytetään vastaavasti 4-1-1-periaatetta. Kappale tuetaan ensin neljän vasteen avulla sivultaan kahdella vasteparilla kuvan 2 mukaisesti. Näiden neljän vastinpuiteen avulla lukitaan kappaleen vapausasteet y- ja z-akselien suunnassa ja niiden ympäri. Viides vaste asetetaan kappaleen pätyyn estämään liike x-akselin suunnassa. Kuudennen vasteen täytyy kohdistaa puristusvoima kappaletta vasten, ja se sijoitetaan pyörähdyskappaleen vastakkaiseen päähän viidenteen vasteeseen nähden. Kuudes vaste lukitsee kappaleen pyörimisen x-akselin ympäri kitkan avulla. Eli myös lieriömäisten kappaleiden tuennassa tarvitaan kuusi vastinpuite kaikkien kuuden vapausasteen lukittamiseen. (Rong ym. 2005, 58.) Neen ym. (2004, 10–11) ja Venkataramanin (2015, 2.3 & 2.5–2.6) mukaan sylinterimäisten kappaleiden tuennassa voi käyttää myös v-kirjaimen muotoisia

vasteita, esimerkiksi kahta v-vastetta, jolloin tukipisteitä syntyyin vasteiden ja sylinterimäisen kappaleen välille neljä kappaletta (kuva 3).



Kuva 2. Vasteiden sijoittelu sylinterimäisen kappaleen tuennassa 4-1-1-periaatteen mukaan (Kuva: Pekka Pitkänen).



Kuva 3. V-vasteiden sijoittelu sylinterimäisen kappaleen tuennassa (Kuva: Pekka Pitkänen).

Samana sivun vasteiden välinen etäisyys tulee maksimoida, jotta saadaan lisättyä kappaleen kiinnityksen vakautta ja poistettua mahdollisia häiriöitä jigin toiminnassa (Nee ym. 2004, 9–10; Rong ym. 2005, 120–121). Ensimmäisen asemointipinnan kolmen pisteen muodostaman kolmion pinta-alan tulisi toisinaan olla mahdollisimman suuri (Nee ym. 2004, 9–10).

Varsinkin pitkien palkkimaisten kappaleiden tuennassa kannattaa hyödyntää Besselin pisteitä. Ne sijaitsevat $2/9 L$ eli noin 22 % päässä kappaleen päistä, missä L on kappaleen pituus. Käyttämällä Besselin pisteitä tuennassa minimoidaan kappaleeseen painovoiman vaikutuksesta aiheutuva taipuma, kun käytetään kahden pisteen tuentaa. (Andersson & Tikka 1997, 133.)

Vasteiden kannattaa olla pallomaisia kontaktipinnoiltaan. Pallopinnan avulla saavutetaan pistemäinen kosketus vasteen ja kappaleen välille. Kontaktipiste vaihtelee kappaleiden muotojen vaihdellessa, mutta kontakti säilytetään jokaiseen vasteeseen pistemäisenä. Tämä on hyödyllistä varsinkin vapaamuotoisilla kappaleilla. (Rong ym. 2005, 195–196.)

Jigiin voidaan lisätä tarvittaessa tukia vasteiden lisäksi, mikäli kappaleeseen syntyy ulkoisten voimien vaikutuksesta muodonmuutoksia. Tuet voivat olla kiinteitä vasteiden tavoin tai säädettäviä. Tukien suunnittelussa täytyy huomioida, että ne ovat kappaleen asemoinnin kannalta ylimääräinen komponentti, joten niiden tulee olla yhteensopivia vasteiden kanssa. (Nee ym. 2004, 2.)

Jigeihin kuuluu jonkinlainen kiinnitysmekanismi, jolla kiinnitettävä kappale lukitaan paikalleen vasteita vasten (Nee ym. 2004, 10–11; Venkataraman 2015, 1.4). Kiinnitysmekanismi on suunniteltava siten, että kiinnittimien aiheuttamat voimat eivät muokkaa kappaletta, mutta pitävät kappaleen paikallaan työstön tai mittauksen ajan. Kiinnittämiseen voidaan käyttää esimerkiksi ruuvi- tai jousitoimisia kiinnittimiä. (Venkataraman 2015, 1.4.)

Kiinnittimien on tarkoitus pitää kappale paikoillaan sille suoritettavien työvaiheiden, esimerkiksi koneistuksen ajan. Kiinnittimet kohdistavat puristusvoiman kappaleeseen, minkä avulla kappale pysyy liikkumattomana. Kiinnittimen

lukitseva vaikutus voi perustua joko sen fyysiseen sijaintiin, sen ja kappaleen väliseen kitkaan tai näiden kahden yhdistelmään. Kiinnittimien aiheuttamien kappaleen liikettä vastustavien voimien tulee olla niin suuria, että kappale kestää liikkumattomana kiinnityksestä aina irrotukseen asti. Kappaleeseen kohdistuvat voimat eivät saa kuitenkaan olla niin suuria, että ne aiheuttaisivat muodon vääristymiä kappaleeseen tai jälkiä sen pintaan. Kiinnittimien käyttö ei myöskään saa aiheuttaa työkappaleen paikaltaan siirtymistä, esimerkiksi pois kontaktista vasteita vasten. Kiinnittimien aiheuttamat voimat tulee kohdistaa vasteita kohden, jotta saadaan minimoitua kappaleeseen aiheutuvat vääristymät. Kappaleen asettamisen ja täten myös kiinnittimien käytön tulee olla nopeaa ja helppoa, jotta voidaan maksimoida jigien käyttöaste ja välttää joutoaikaa. (Nee ym. 2004, 10–11.)

Vasteiden, tukien ja tukien tulee yhdessä varmistaa kappaleen paikoillaan pysyminen siten, että huolimatta kappaleeseen kohdistuvan ulkoisen voiman suunnasta kokonaisvoima kohdistuu suoraan vasteisiin tai kiinnittimiin, tällöin *force closure* täyttyy. (Nee ym. 2004, 4.)

Jigeille asetetaan tiettyjä yleisiä vaatimuksia. Jotta työkappale kestää vakaana jigissä, täytyy suunnittelijan huomioida seuraavia asioita. Näistä ensimmäinen on hallittu sijainti, eli työkappaleen tulee olla lukittuna paikoilleen siten, että se ei voi liikkua ilman, että se menettää kosketuksen ainakin yhteen vasteeseen. (Nee ym. 2004, 4.)

Toinen huomioitava asia on, että kappaleen liikkeiden tulee olla kokonaan rajoitettuja. Tämä takia kiinnittimien voimien tulee olla niin suuria, että kappale kestää paikoillaan sen asettamisesta alkaen siihen asti, kunnes se halutaan irrottaa jigistä. Tällöin kappaleen kaikki vapausasteet ovat lukittuna koko ajan. (Nee ym. 2004, 4.)

Kolmas huomioitava asia on kappaleen vääristymät ja taipumat. Kappaleiden muodonmuutokselta ei voida täysin välttyä, koska kappaleet ovat aina jossain määrin elastisia ja plastisia sekä niihin kohdistuu aina ulkoisia voimia, esimerkiksi puristamista ja painovoima. Nämä voimat aiheuttavat kappaleisiin

vääristymiä. Neljäs asia on kappaleen liikkeen geometrinen rajoitus. Tämä varmistaa, että kappaleen peruselementit tukeutuvat tarvittavilta osin jigien osiin, eikä jigi tule tielle valmistus- tai mittausprosessia suorittaessa. (Nee ym. 2004, 6.)

Näiden neljän huomioitavan asian lisäksi, jigien tulisi olla helppo käyttää, hyvin saavutettavissa ja liikuteltavissa. Siinä tulisi olla mahdollisimman vähän komponentteja ja sen valmistuskustannukset tulisi olla mahdollisimman pienet. (Nee ym. 2004, 6.)

Jigien suunnittelussa on kriteerejä, jotka tulee huomioida suunnitteluprosessin aikana. Näitä ovat suunnittelun ja designin spesifikaatiot, tehtaan tai yrityksen standardit, jigien helppokäyttöisyyden ja turvallisuuden varmistaminen sekä taloudellisuus. (Nee ym. 2004, 8.)

Jigien suunnitteluun kuuluu useita erillisiä aihekokonaisuuksia, jotka toimivat perustana jigisuunnittelulle. Näistä toimii esimerkkinä suunnitelma, asettelun suunnittelu ja jigien osien suunnittelu. (Nee ym. 2004, 6.)

Jigisuunnitelmassa saadaan suunniteltu jigien perusrakenne saatavilla olevaan tietoon perustuen. Tarvittavia tietoja ovat työkappaleen muoto ja materiaali, tarvittavat työvaiheet, käytettävät laitteet ja laitteiden käyttäjät. Jigisuunnitelman ulosantina saadaan puolestaan jigien tyyppi ja monimutkaisuus, kappaleiden määrä per jigi, kappaleen orientaatio, asento sekä sijainti, peruselementit, kiinnittimien kosketuspinnat ja tarvittaessa tukipinnat. (Nee ym. 2004, 6–7.)

Jigien asettelu tuottaa vasteiden sijainnin, kiinnittimien sijainnin, tukien sijainnin tarvittaessa, vasteiden tyyppien, kiinnittimien tyyppien, tukien tyyppien tarvittaessa, kiinnitysvoimien suuruuden ja järjestyksen kiinnittimien käytölle. Jigien osien suunnittelu tuottaa puolestaan yksityiskohtaisen vasteiden suunnittelun, yksityiskohtaisen kiinnittimien suunnittelun ja mikäli tarvitaan tukia, yksityiskohtaisen tukien suunnittelun. (Nee ym. 2004, 7–8.)

Jigisuunnitelma pyrkii määrittämään peruselementit sekä vasteiden ja kiinnittimien paikat, jotta kappaleen kaikki vapausasteet saadaan lukittua ja taataan luotettava kiinnitys. Jigin suunnittelun tarkoituksena on tehdä valmistuspiirustukset. Jigin suunnittelun hyväksynnässä pyritään arvioimaan jigi sen toiminnan, valmistettavuuden, kappaleen asemoinnin virheettömyyden, toleranssien toimivuuden, saavutettavuuden, vakauden, toimintavarmuuden ja helppokäyttöisyyden kannalta. (Rong ym. 2005, 96–97.)

Jigisuunnittelu on yleensä kokemuspohjaista ja näin ollen vaatii onnistuakseen yli 10 vuoden kokemuksen, jotta saadaan tuotettua laadukkaita jigejä. Nykyään jigisuunnittelussa voidaan käyttää apuna tietokoneavustettua jigisuunnittelua (CAFD, Computer Aided Fixture Design), mutta mikäli käytetään ainoastaan CAD-toimintoja, eikä jigin suunnittelun työkaluja, on usein lopputuloksena suunnittelua yrityksen ja erehdyksen kautta. Tästä aiheutuu useita ongelmia, kuten ominaisuuksien ylisuunnittelu, joka heikentää suorituskykyä, ja lopputuloksena on monimutkaisia jigejä, kyvyttömyys osoittaa jigin toimivuutta ennen sen valmistamista, pitkä suunnittelun valmistuksen ja testauksen jaksoaika sekä jigisuunnittelun ja jigin teknisen arvioinnin puute. (Rong ym. 2005, 96.)

3.2 Mittalaitteet

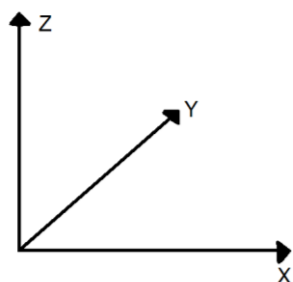
3.2.1 Mittalaitteet yleisesti

Nykyään mittaukseen käytetään yhä enenevin määrin koordinaattimittauskoneita, mittakäsivarsia, laserskannereita, kannettavia laserskannereita sekä optisia mittalaitteita. Kehittynyt mittausteknologia mahdollistaa entistä tarkemmat mittaukset ja on merkittävässä osassa tuotannon laadunvalvonnassa. (Keinänen & Järvinen 2014, 157.) Yksi merkittävä käyttöala koordinaattimittauskoneilla on valmistustoleranssien mittaus ja tarkastus. Mittakoneiden avulla on mahdollista tarkastella sellaisia mittatoleransseja, joiden mittaus ilman niitä olisi mahdotonta. (Andersson ym. 1997, 227.) Mittauskoneet jaetaan kahteen ryhmään: koskettaviin ja optisiin eli koskettamattomiin (Keinänen & Järvinen 2014, 164).

Opinnäytetyön toimeksiantaja käyttää kappaleiden mittauksessa lähinnä koskettavia koordinaattimittauslaitteita ja optisia mittauslaitteita. Suuri osa mittauksista tapahtuu portaalityyppisellä koskettavalla koordinaattimittauskoneella.

3.2.2 Dimensiomittauksen peruseriaatteet koskettavalla mittalaitteella

Koordinaattipiste on piste, jonka sijainti on määritetty xyz-koordinaatiston (kuva 4) jokaisen akselin suhteen. Sijainnin ilmoittamisen yksiköksi on Euroopassa standardoitu millimetri (mm). Koordinaattimittauskoneilla mittaus perustuu koordinaattipisteiden tallentamiseen. Näiden pisteiden avulla luodaan mittausohjelman avulla ohjelmallisesti 2- ja 3D-muotoja. (Keinänen & Järvinen 2014, 157–158.) Mittakoneen fyysinen koko ja liikeratojen rajat rajoittavat mittausalueen ja samalla mitattavien pisteiden sijainnin koordinaatistossa (Andersson ym. 1997, 226). Mitattavasta kappaleesta saadaan tarvittaessa luotua myös 3D-malli, joka voi olla joko pistepilvi, rautalankamalli, pintamalli tai solid-malli (Keinänen & Järvinen 2014, 157).



Kuva 4. Mitta- sekä työstökoneilla yleensä käytössä oleva xyz-koordinaatisto ja sen suunta katsottaessa konetta käyttäjän suunnasta (Kuva: Pekka Pitkänen).

Koordinaattipisteiden avulla muodostetaan mittausohjelmalla mitattavan kappaleen muotoja. Jokaisen muodon määrittämiseen tarvitsee tietyn määrän mittauspisteitä. Pisteiden minimimäärät voidaan määrittää matemaattisesti. Perusmuodoista esimerkiksi suora tarvitsee 2 mittapistettä, ympyrä taikka kaari 3 pistettä, taso 3 pistettä, pallo 4 pistettä, ympyrälieriö eli sylinteri 5 pistettä ja kartio 6 pistettä. Käytännössä mittaus tapahtuu ottamalla useampia mittapisteitä.

(Andersson ym. 1997, 227–228; Keinänen ym. 2014, 159.) Nyrkkisääntönä mitauspisteiden vähimmäismäärälle voidaan pitää kaksinkertaista pisteiden matemaattista minimimäärää, johon lisätään yksi mittapiste (Pitkänen 2022).

Mittapisteiden määrän lisääminen parantaa mittauksen tarkkuutta ja pienentää mittausepävarmuutta (Andersson ym. 1997, 227). Esimerkiksi tasoa mitatessa mitauspisteiden määrän kasvattaminen tarkentaa tason asentoa ja sijaintia, mikä puolestaan mahdollistaa tarkemman mittaerojen ja toleranssivaatimusten analysoinnin (Pitkänen 2022). Mittauspistemäärää ei kuitenkaan kannata kasvattaa liian suureksi, sillä se hidastaa mittausta, ja näin ollen tekee siitä kalliimpaa (Keinänen ym. 2014, 161–162). Mittakoneilla voidaan myös mitata erikoispintoja ja -muotoja, esimerkiksi kaksoiskaarevia pintoja (Andersson ym. 1997, 228; Keinänen ym. 2014, 159). Keinänen ym. (2014, 159) mukaan spline esimerkiksi on kaarimuoto, joka kulkee vähintään kolmen pisteen kautta noudattaen tiettyä matemaattista funktiota. Mitä monimutkaisempi muoto on, sitä enemmän sen mittaamien vaatii pisteitä. (Andersson ym. 1997, 227–228; Keinänen ym. 2014, 159–162).

Mittauskoneen toimintaan sekä mitauspisteiden yhdistämiseen ja analysointiin vaaditaan ohjelmisto. Ohjelmisto vaikuttaa mittaustuloksen tarkkuuteen ja mittausepävarmuuteen merkittävästi. Ohjelmiston avulla voidaan pienentää mittausepävarmuutta kompensoimalla mittakoneen virheitä ohjelmallisesti. Jotta mittakoneen ja sen ohjelmiston täysi potentiaali voidaan hyödyntää, tulee osata määrittää oikeat ja tarpeeksi tiheät mitauskohdat ja mittaustavat eri muodoille ja esimerkiksi oikeantyyppinen mittakärki. (Andersson ym. 1997, 227–228; Keinänen ym. 2014, 161–162.)

Koskettavat mittakoneet ovat tarkempia verratessa koskettavia ja optisia koneita keskenään (Keinänen ym. 2014, 164). Esimerkiksi opinnäytetyön toimeksiantajan koskettavat koordinaattimittauskoneet pystyvät jopa 0,004 mm tarkkuuteen, tähän toki lisätään mitattavaan pituuteen suhteessa oleva epätarkkuus (Soininen 2021). Toisaalta koskettavat mittakoneet ovat laserskannausta hitaampia suurissa pistemäärissä. Mittakonetta valitessa tuleekin kiinnittää huomiota siihen, kuinka suuri mittaustarkkuus vaaditaan, mitä materiaalia mitattavat

kappaleet ovat sekä kappaleiden pinnanlaatuun ja mitattaviin muotoihin (Keinänen ym. 2014, 164.)

Koskettavat koordinaattimittauskoneet ovat yleensä portaalityyppisiä, mikä tarkoittaa, että koneen mittauspää on kiinni kaarimaisessa rungossa mittaustason yläpuolella. Joko kaarimainen runko tai mittapöytä liikkuvat, joista liikkuva pöytä mahdollistaa tarkemman mittauksen. Koneiden pöytätasot ovat usein graniittia, valurautaa tai diabaasia. Koneissa on kolme lineaariakselia, joilla olevien mittausauvojen avulla muodostetaan xyz-koordinaatisto ja luodaan mittakärjen paikkatieto. Lisäksi mittakärki voi kääntyä kahteen suuntaan mahdollistaen monipuolisemmat lähestymis- ja mittaussuunnat. (Andersson ym. 1997, 231–233; Keinänen ym. 2014, 165–166.)

Mittauskärkien kärjet valmistetaan useimmiten synteettisestä rubiinista, jota on helppo muokata. Helpon muokattavuuden lisäksi se on kulutuskestävää. Muodoltaan ne ovat yleensä pallomaisia, halkaisijaltaan 0,3–25 mm, tai lieriöitä. Mittauskärkien varsiosat ovat puolestaan yleensä alumiinia, titaania tai keraamia. (Andersson ym. 1997, 236.) Varret voidaan valmistaa myös hiilikuitukomposiitista (Pitkänen 2022). Mittauskärjet tulee kalibroida, jolloin mittaohjelma osaa huomioida kärjen päässä olevan pallon tai lieriön halkaisijan sekä kärjen poikkeaman z-akselin suhteen koordinaattipistettä määrittäessään (Andersson ym. 1997, 237).

Mittauspää yhdistää mittakoneen ja mittauskärjen (Andersson ym. 1997, 234). Mittauspää lähettää signaalin mittauskärjen koskettaessa mitattavaa kappaletta. Mittaava mittauspää mahdollistaa kappaleen skannauksen. Skannauksessa mittakärjellä pyyhitään kappaleen pintaa, samalla mittapään tallentaessa koordinaattipisteitä tietyin välimatkoin. (Andersson ym. 1997, 233–236; Keinänen ym. 2014, 161.)

Mittauslaitteet tarvitsevat tilaa mittaustapahtuman suorittamiseen. Koordinaattikoneiden tarkkuuden ollessa suuri tarvittava tila kärjen liikkumiselle on pieni. Esimerkiksi koordinaattimittauskoneelle, johon on kiinnitetty 0,5 mm pallopäinen

mittauspää, riittää väistökseksi noin 0,8 mm reikä, esimerkiksi jigiin, jotta voidaan saavuttaa kappaleen mitattava piste. (Soininen 2021.)

3.2.3 Dimensiomittauksen peruseriaatteen optisella mittalaitteella

Optisten koordinaattimittauskoneiden perusrakenne on pääosin samanlainen, kuin koskettavaa mittaustapaa hyödyntävissä koneissa. Optiset koordinaattimittauskoneet ovat yleensä rakenteeltaan portaali- tai puomityyppisiä. Koskettavan mittauspään tilalla on optinen mittauspää, eli yleensä kamera. Videomittauskoneet toimivat NC-ohjauksella koskettavien mittauskoneiden lailla. (Tikka 2007, 25, 54, 56, 67, 126.)

Videomittaus perustuu yleensä kappaleen elementtien reunojen tunnistamiseen kontrastierojen avulla. Kontrastierojen avulla pystytään mittaamaan kappaletta 2D:nä xy-tasossa. Kappaleet valaistaan ylhäältä tulevan valon lisäksi alhaalta-päin, jotta kappaleen mitattaviin reunoihin saadaan tarvittava kontrastiero mitausta varten. Alhaalta tapahtuvaa valaisua varten on mittauskoneen mittauspöytä lasia, mikä sulkee pois raskaiden kappaleiden mittaamisen kyseisillä menetelmillä. Mittaukseen tarvittava työkappaleohjelma sisältää informaation mittaohjelman lisäksi tarvittavasta valaistuksesta ja säädöistä. (Tikka 2007, 25, 54–55.)

Kappaleita pystytään yleensä mittaamaan vain yhdestä suunnasta, eli ylhäältä-päin. Voidaankin sanoa, että kaikki mitä nähdään kameralla, voidaan mitata. Työkappaleen useamman puolen mittaaminen voidaan toteuttaa kääntämällä kappale manuaalisesti tai käyttämällä lisälaitteita, joilla saadaan käännettyä ja kallisteltua kappaletta. Kappaleita on myös mahdollista mitata niitä kääntämättä useammasta suunnasta pelien avulla, jotka on sijoitettu 45 asteen kulmaan mittauspöytään nähden. Peilien avulla kameralla voidaan nähdä ja siten mitata kappaleiden sivut. (Tikka 2007, 54–55, 131.)

Kameran 2D-luonteesta johtuen paras mittaustulos saadaan xy-tasossa kappaleen reunoista, vaikka mittaaminen z-akselin suunnassakin on mahdollista

hyödyntäen kameran fokusta. Tosin syvien reikien mittaus ei ole mahdollista vaaditun fokusetäisyyden takia, joka on yleensä 50–70 mm, mutta joka voi olla jopa 200 mm. Syvempienkin reikien mittaaminen mahdollistuu kasvattamalla fokusetäisyyttä zoom-linssin suurennussuhdetta muuttamalla. (Tikka 2007, 25, 54, 67.)

Videomittauskoneilla mitattavat kappaleet ovat yleensä pieniä muovikappaleita tai piirilevyjä. Tämän vuoksi koneiden ei tarvitse olla suuria. Videomittaus mahdollistaa pehmeiden ja joustavien, esimerkiksi muovikappaleiden mittaamisen, sillä mittaustapahtuma ei kohdistu mitattavaan kappaleeseen ulkoisia voimia, koska kosketusta ei tapahdu. Mikäli mitataan epämääräisiä muovituotteita, voivat mittausten toistuvuus ja mittaustarkkuus olla huonoja, sillä kappaleen tai reunan löytäminen voi osoittautua vaikeaksi sen ollessa epämääräinen. (Tikka 2007, 54–55.) Reunan löytäminen voi olla vaikeaa esimerkiksi ruiskuvalussa syntyneiden kalvojen vuoksi.

Optinen mittauspää voi olla koskettavan lisänä samassa koordinaattimittauskoneessa, tällöin on kyseessä monianturikoordinaattimittauskone (MSCMM – MultiSensor Coordinate Measuring Machine). Lisäksi koneessa voi olla laseretäisyysmittapää ja esimerkiksi pinnankarheuden mittausmahdollisuus. Monianturikoordinaattimittauskone mahdollistaa kappaleen eri piirteiden mittaamisen yhdellä suuntauksella ja asetuksella, mikä luo ajansäästöä ja lisää mittauksen tarkkuutta. (Tikka 2007, 33, 55.)

3.3 Mittausepävarmuus

Mittaamiseen liittyy aina mittausepävarmuus (Vitikainen 1993, 11; Esala ym. 2003, 56). Mikäli mittauksen perusteella arvioidaan hyväksyttävät ja hylättävät tuotteet, on mittausepävarmuuden tunteminen välttämätöntä (Esala ym. 2003, 56).

Toleranssialueen suuruuteen vaikuttaa suorittaako valmistaja tai myyjä vai ostaja tai vastaanottaja mittauksen. Valmistajan suorittaessa mittauksen

vähennetään mittausepävarmuus toleranssialueesta, eli toleranssialue pienee. Valmistaja varmistaa näin menetellessään, että kappale vastaa sille asetettuja vaatimuksia toleranssien osalta. Vastaanottajan suorittaessa mittauksen toleranssialue suurenee mittausepävarmuuden takia. Vastaanottajan täytyy varmuudella tietää, onko kappale vaaditun mukainen vai ei ennen, kuin voi reklamoida asiasta. Mittausepävarmuus voidaan määritellä tietyille mittalaitteelle tietyille mittaajalle tietyissä olosuhteissa, tai se voi olla hyvinkin laaja-alainen, kaikki yrityksen mittaukset kattava, esimerkiksi mitattavaan pituuteen suhteutettu lukuarvo. (Esala ym. 2003, 56.)

Jotta mittausepävarmuus pystytään selvittämään, täytyy tietää, mistä mittausepävarmuus aiheutuu (Esala ym. 2003, 56). Mittausepävarmuuteen vaikuttavat ainakin seuraavat asiat: mittauslaite, mittalaitteen kalibrointi ja sen epävarmuus, käytettävä mittausmenetelmä, ympäristötekijät, mittauskohde, laskentaohjelmat ja mittaaja (Vitikainen 1993, 11). Syiden lisäksi täytyy ymmärtää tilastomatematiikkaa, jotta mittausepävarmuudelle saadaan numeerinen vertailtavissa oleva arvo. Yksi välttämätön termi mittausepävarmuuden määrittämisen osalta on kattavuuskerroin, jonka lyhenne on k. (Esala ym. 2003, 56.) Esalan ym. (2003, 56) mukaan kattavuuskertoimen avulla ilmoitetaan, ”kuinka suurella todennäköisyydellä mittaustulos on mittausepävarmuuden puitteissa totta.” Yleisimmin käytetyt kattavuuskertoimet ovat 1, 2 ja 3, jotka vastaavat pyöristetysti todennäköisyyksiä 68,3 %, 95,5 % ja 99,7 %. (Esala ym. 2003, 56.) Mittaustulosta ilmoitettaessa ilmoitetaan myös mittausepävarmuus ja käytetty kattavuuskerroin (Hiltunen ym. 2011, 47). Mittaustulos voidaan esimerkiksi ilmoittaa seuraavasti: ”Pituus = $(100 \pm 0,2)$ mm (k = 2).”

Mittausepävarmuus täytyy tietää, jos halutaan säätää prosessia. Prosessia ei voida säätää mittausta ja mittausepävarmuutta tarkemmin, mutta valmistusprosessin lopputuotos voi olla tarkempi kuin mittaus. (Esala ym. 2003, 56.)

Esalan ym. mukaan (2003, 56–57) mittaukset oletetaan tapahtuvan 20°C:n lämpötilassa ja samoin mitat on ilmoitettu samassa lämpötilassa. Koska tämä harvoin on todellinen mittausympäristön, mittalaitteen ja kappaleen lämpötila, hyödynnetään mittauksissa materiaalien lämpölaajenemiskertoimia. Lämpötilan

kasvu aiheuttaa kappaleissa pituusmittojen kasvun. Kappaleen sisäiset lämpötilaerot aiheuttavat vääristymiä kappaleen muotoon. Esimerkiksi teräksien lämpölaajenemiskertoimen epävarmuutena voidaan käyttää 10 %, mutta muovimateriaaleilla tämä ei välttämättä riitä. Suurin ongelma mittauksen kannalta lämpötilaeroista muodostuu kappaleille, joissa on useampia eri lämpölaajenemiskertoimia omaavia materiaaleja, jolloin kappaleen muoto- ja mittavääristymiä voi esiintyä, vaikka kappaleen sisäinen lämpötila on tasainen, jos sen lämpötila poikkeaa vakioidusta 20°C:n mittaustilasta. Ruiskuvalettujen muovikappaleiden lämpötilaeroihin vaikuttavat esimerkiksi ruiskuvalun seurauksena kappaleeseen tullut lämpö, mittaajan käsistä siirtyvä lämpö sekä mahdolliset kohdevalaisimet. Jotta voidaan välttää lämpötilaeroja kappaleen sisäisesti ja ympäristön kanssa tulee noudattaa riittävän pitkiä tasoittumisaikoja materiaalista, kappaleen koosta ja lämpötiloista riippuen. (Esala ym. 2003, 56–57.)

Voimat lisäävät mittausepävarmuutta aiheuttamalla virheitä mittauksessa. Mitattavat kappaleet voivat vääristyä mittauskoneen kärjen kosketusvoimien takia. Kappale voi joko taipua tai mittauskärki voi painua kappaleen sisään. (Anderson ym. 1997, 135; Esala ym. 2003, 58.) Kappaleet muokkautuvat myös oman painonsa vaikutuksesta (Esala ym. 2003, 58). Kappaleen painon aiheuttamat muodonmuutokset voivat olla ongelma varsinkin ohuilla muovikappaleilla. Andersonin ym. (1997, 134–135) ja Esalan ym. (2003, 58) mukaan mitä jäykempi kappaleen rakenne on, sitä vähemmän se muuttaa muotoaan oman painonsa alla. Oikeanlainen tukeminen on tärkeässä roolissa voimista aiheutuvien kappaleiden muodonmuutosten ehkäisemissä. Sen lisäksi, että mittauslaitteen mittausvoiman takia kappaleeseen voi aiheutua muodonmuutoksia, voi mittalaite itse muuttaa muotoaan samaisen voiman vaikutuksesta, esimerkiksi työntömitan mittauspää voi alkaa kallistumaan mitattaessa tai mittauskärki voi muuttaa muotoaan. (Esala ym. 2003, 58–59.)

Käsimitalaitteilla tapahtuvassa mittauksessa on suuri riski asento- ja suuntavirheille. Kun esimerkiksi akselin ulkohalkaisijaa mitataan, mikrometri voi herkästi olla hieman kallellaan, mikä aiheuttaa liian suuren mittaustuloksen.

3.4 Ohjeet

3.4.1 Ohjeet yleisesti

Yleisellä tasolla kirjoittamisen päämääränä ei yleensä ole itse kirjoittaminen vaan välittää sanomaa ja saada aikaan vaikutusta. Onnistuessaan teksti kykenee saavuttamaan tämän päämäärän mahdollisimman hyvin. (Nykänen 2002, 9.)

Tekniikan tekstien tulee noudattaa merkintätapojen, suureiden ja yksiköiden osalta standardeja tai alan yleisiä käytänteitä. Tekstin sisällön pitää olla asiasisällöltään täsmällistä, tarkkaa ja johdonmukaista. (Nykänen 2002, 9.)

Ohje tai teksti pitää suunnata kohderyhmälle huomioiden lukijoiden aiempi tietotaso käsiteltävästä asiasta (Nykänen 2002, 9). Kauppisen ym. (2010, 134) mukaan ohjeiden lukijat ovat kaikkein vaikein lukijakunta. Yleensä ihmiset eivät malta lukea ohjeita, vaan käyvät suoraan toimeen ja lukevat ohjeen vasta ongelmien ilmaantuessa (Kauppinen ym. 2010, 134).

Nykäsen (2002, 9) mukaan tekstin sisältö välittyy lukijalle sitä tehokkaammin, mitä paremmin se noudattaa seuraavia periaatteita:

- Lähtökohtana on selkeä ajatus, jota kirjoituksen juoni ja jäsentely loogisesti noudattavat.
- Asiasisältö on riittävä, monipuolinen ja lukijan kannalta sopivasti rajattu.
- Kirjoitus on yksiselitteinen ja sisäisesti johdonmukainen.
- Teksti on selkeää, helppotajuista ja havainnollista.
- Teksti on kielellisesti moitteetonta: ainakaan siinä ei ole räikeitä kieli- virheitä.
- Kirjoituksen ulkoasu on helppolukuinen ja antaa mahdollisuuden myös silmäilyyn.
- Kirjoituksen rakenne ja tyyli ovat sopusoinnussa viestintään valitun välineen (esimerkiksi kirjan, monisteen, verkkosivun tai sähköpostiviestin) kanssa. (Nykänen 2009, 9.)

3.4.2 Käyttöohjeet

Käyttöohje ohjaa lukijan tuotteen, laitteen, laitejärjestelmän tai palvelun asianmukaiseen ja oikeaan käyttöön (Nykänen 2002, 50; Kauppinen ym. 2010, 134). Ohjeita ja oppaita tarvitaan myös uusien toimintatapojen ja tuotantomenetelmien kehittämiseen (Kauppinen ym. 2010, 134). Toimiessaan tarkoituksenmukaisesti ohje auttaa käyttäjää ymmärtämään tuotteen toimintaperiaatteen, mikä mahdollistaa ohjeen ulkopuolelle jäävien ongelmien ratkaisun. Samalla ohje myös mahdollistaa turvallisen, tehokkaan ja taloudellisen käytön tuotteelle. (Nykänen 2002, 50.)

Ohjeen rakenteen tulee olla selkeä ja hyvin suunniteltu, varsinkin väliotsikoiden ja sisällysluettelon osalta. Hyvä ohje on looginen ja selkeästi etenevä. Ohjeen olisi myös hyvä sisältää perusteellinen asiahakemisto, lyhyitä ohjeita lukuun ottamatta. Näiden ominaisuuksien avulla lukijan on helppo löytää tarvitsemansa asiat ohjeesta nopeasti ja vaivattomasti. (Nykänen 2002, 50.)

Yleensä ohjeet sisältävät vianmääritysosan, jossa on listattuna tai taulukoituna yleisimmät tuotteen kanssa tapahtuvat ongelmatilanteet tai tuotteen vikatilat. Lyhyitä ohjeita lukuun ottamatta ohjeen olisi hyvä sisältää myös pikaohje tuotteen tavallista käyttöä varten, josta käyttäjä voi tarvittaessa nopeasti tarkastaa tuotteen perustoimintaperiaatteen. (Nykänen 2002, 50.)

Nykäsen (2002, 51) mukaan ohjeessa käytettävän kielen tulee olla selkeää ja yksiselitteistä, esimerkiksi tietystä osasta tai toiminnosta on käytettävä samaa nimitystä läpi koko ohjeen. Mikäli tekstissä esiintyy sanoja ja termejä, joiden merkitys ei välttämättä ole selvä ohjeen lukijalle, lisätään mukaan liitteenä sanojen selitykset. Ohjeissa kuvitus on tärkeässä roolissa asian sisäistämisessä ja oikein ymmärtämisessä. (Nykänen 2002, 51.)

Ohje täytyy testata ennen käyttöönottoa. Testaus tapahtuu tuotteen lopullisilla käyttäjillä. Näin menetellen saadaan mahdollisimman tarkkaa ja totuudenmukaista tietoa ohjeen toimivuudesta todellisuudessa. (Nykänen 2002, 50.)

Nykänen (2002, 51–52) on listannut seuraavia ohjeita, joita ohjeen kirjoittajan tulee huomioida ohjetta tehdessä:

- Huomioi lukijan tietotaso asiasta.
- Kirjoita selkeää ja yksiselitteistä tekstiä.
- Puhuttele lukijaa ja käytä suoria käskymuotoja.
- Kirjoita verbit aktiivimuodossa, ja vältä niiden korvaamista substantiiveilla.
- Pyri ohjeissa ja ohjeistuksissa, myönteiseen sävyyn ja vältä kieltoja, kuitenkin mahdolliset vaaratilanteita aiheuttavat toiminnot voidaan kieltää.
- Käytä selkeäsisältöisiä kuvia ja älä esitä niissä ylimääräistä sisältöä.
- Ota huomioon kirjoittaessasi, että ohje saatetaan kääntää myöhemmin toisille kielille.

Ohjeen tulisi pitää yllä lukijan mielenkiintoa, jotta se tulisi ylipäättään luetuksi. Asiat täytyy kuitenkin esittää ohjeessa mahdollisimman yksinkertaisesti. Ohjetta kirjoittaessa täytyy huolehtia, että ohjeessa selitetään kaikki seikat, joita ohjeen lukija tarvitsee edetäkseen vaiheesta toiseen. Ohjeeseen kannattaa lisätä vain tarpeellista informaatiota, jolloin lukija pääsee nopeasti oikean asian äärelle. (Kauppinen ym. 2010, 134.)

Ohjeen laatimisessa ja käyttöönotossa täytyy huomioida useita näkökulmia. Ohjeen täytyy motivoida lukijaa. Ohje ei voi koostua pelkästään toiminnallisesta puolesta. Ohjeita kannattaa kuvittaa runsaasti, sillä hyvät kuvat ovat viestinnässä tehokkaampia kuin sanat. Ohjeesta tulisi tehdä helppolukuinen, ja tähän auttaa hyvin jäsenelty ja otsikoitu teksti. (Kauppinen ym.2010, 135.) Kauppisen ym. (2010, 136) mukaan hyvässä ohjeessa yhdistyvät asiantuntemus ja täsmällinen kieli. Esimerkiksi ohjeen alussa kerrotaan, mitä se koskee ja kenelle se on tarkoitettu. Nämä auttavat lukijaa löytämään tarvitsemansa asian ohjeesta. Testauksen avulla varmistetaan ohjeen toimivuus, ja samalla löytyvät mahdolliset puutteet ohjeen informaatiosta. Ohjeen testaus on tärkeää, sillä myös kirjoittajalle itsestään selviltä vaikuttavat asiat tulee ohjeessa kertoa, mikäli on mahdollista, ettei lukija niitä tiedä. (Kauppinen ym.2010, 135.)

Kauppinen ym. (2010, 136) mukaan ohjeen kirjoittaminen koostuu karkeasti seuraavista vaiheista:

- Esivalmistelut ennen kirjoittamista: Tähän kuuluu selvittää itselleen tuotteen toimintaperiaate, ohjeen käyttäjäryhmä sekä tyypillinen käyttötilanne.
- Ohjeen jäsentäminen: Tässä vaiheessa selitetään tuotteen normaali-käyttö, käytön rajoitukset ja perustelut näille. Ohjeesta muodostetaan johdonmukainen kokonaisuus noudattamalla toimintojen aikajärjestyksestä. Tässä käsitellään myös tavallisimmat ongelmat.
- Kirjoittaminen: Kirjoittaessa kiinnitetään huomiota selkeään ja helppoon kieleen. Asiat toistetaan tarvittaessa, ja samoista asioista käytetään aina samaa nimitystä koko ohjeen läpi.
- Viestin perillemenon varmistaminen: Jotta varmistetaan ohjeen toimivuus, ohjeesta pyydetään palautetta jo sen luonnosvaiheessa. Valmis ohje testataan tuotteen loppukäyttäjän tai loppukäyttäjään verrattavan henkilön toimesta.

Käyttöohjeen rakenne koostuu tavallisesti viidestä osasta. Nämä osat ovat johdanto, laitteiston kuvaus, luettelo materiaaleista ja työkaluista, vaiheittainen opastus ja ongelmien etsiminen. (Kauppinen ym. 2010, 137.)

Johdannon tarkoituksena on saattaa lukija lukemaan käyttöohje. Informaation määrä johdannossa pitäisi saada sopivalle tasolle, jotta se ei kyllästyttäisi lukijaa, mutta antaisi riittävästi informaatiota ohjeen ymmärtämistä varten. Johdantoon tulee sisällyttää yleiset turvallisuusohjeet tuotteeseen liittyen. (Kauppinen ym. 2010, 137.)

Laitteiston kuvauksen avulla käyttäjä tutustutetaan laitteeseen. Kuvauksessa kerrotaan laitteen osat ja yleisimmät toiminnot, jotta laitteen käyttäminen on mahdollista. (Kauppinen ym. 2010, 138.)

Luettelo työkaluista ja laitteista esitetään ennen varsinaista opastusta. Se sisältää luettelon laitteista ja työkaluista, joita lukija tarvitsee käyttääkseen tuotetta. (Kauppinen ym. 2010, 138.)

Vaiheittain etenevä opastus on nimensä mukaisesti vaiheittainen kronologisessa järjestyksessä etenevä opastus tuotteen käytöstä. Vaiheet kannattaa esittää luettelona, jotta ohjetta on helppo seurata, ja lukija tietää missä kohden on menossa. Teksti pitää muodostaa niin, että jokainen vaihe on ymmärrettävissä yhdellä lukemalla ja toteutettavissa heti. Vasta varsinaisen toiminnan jälkeen voidaan kertoa toiminnon vaikutuksista ja seurauksista. Toimintaohjeet tulee esittää erottuvasti, esimerkiksi erilaisella tekstin muotoilulla, muusta tekstistä. Kokoamalla toisiinsa liittyvät vaiheet otsikkojen alle, saadaan jäsenneltyä tekstiä selvemmäksi. Avainsanat kannattaa korostaa esimerkiksi lihavoinnilla. Kuvien ja piirrosten avulla voi helposti kertoa lukijalle asioiden sijainteja, toimintaohjeita, asioiden syy-seuraussuhteita ja tapahtumia. (Kauppinen ym. 2010, 138.)

Ongelman etsintä -osiossa esitetään tavallisimmat ongelmat, niiden syyt ja tarvittavat toimenpiteet niiden korjaamiseksi. Osion sisältö on yleensä esitetty taulukkomuodossa. (Kauppinen ym. 2010, 139.)

4 Suunnitteluohjeen toteutus

4.1 Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät

Toimeksiantajan antamaa tehtävää lähdettiin ratkaisemaan etsimällä mittausjigisuunnittelua käsittelevää aineistoa. Kirjallisuutta jigien suunnitteluun liittyen löytyy melko runsaasti, suurimpana ongelmana oli, että aineisto käsittelee jigisuunnittelua lähinnä valmistuksellisiin prosesseihin käytettävien jigien osalta, esimerkiksi koneistusjigien suunnittelua. Koska kirjallista aineistoa mittausjigien suunnittelusta ei ollut saatavilla, aineiston perustana käytettiin yleistä

jigisuunnittelua käsittelevää kirjallisuutta. Tämä menettely oli toimiva sillä samat peruseriaatteet pätevät jigeissä kappaleisiin kohdistuvasta prosessista huolimatta.

Suunnittelussa, joka pohjautuu yleisiin jigien suunnitteluperiaatteisiin, oltiin turvallisella puolella siitä näkökulmasta, että mittaamisen kohdistamat ulkoiset voimat kappaleeseen on huomattavasti pienemmät, kuin normaalien työstötapojen aiheuttamat. Toisaalta jiginsuunnitteluohjeissa käsiteltiin yleensä nimenomaan koneistettavien kappaleiden kiinnittämistä, jotka ovat yleensä terästä, alumiinia tai muuta metallia tai metalliseosta, joihin verrattua muovikappaleet ovat paljon herkempiä mittaustulokseen vaikuttavien ulkoisten voimien, esimerkiksi kiinnittämien voimien, tai painovoiman, aiheuttamille muutoksille. Lisäksi muovikappaleiden kitkaominaisuudet ja lämpölaajenemiskerroin sekä muut materiaaliominaisuudet eroavat suuresti metallien sekä metalliseosten ominaisuuksista.

4.2 Lähtötilanne ja syyt ohjeen toteutukselle

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa mittausjigien suunnitteluohje toimeksiantajalle. Ohjeen on tarkoitus toimia jigisuunnittelun apuna niin uusien suunnittelijoiden perehdytyksessä kuin jo kokeneempien suunnittelijoiden muistilistana. Ohjeen tekemistä varten on tutkittu kirjallisia aineistoja jigien suunnittelusta, sekä kirjattu olemassa olevaa kokemukseen pohjautuvaa tietoa mittausjigien suunnittelusta kokeneen suunnittelijan kertoman mukaan.

Ohjeen luonnille loi oman haasteen se, että mitattavien kappaleiden muoto ja materiaali voivat olla lähes mitä tahansa, vaikkakin yleisimmin kappaleet ovat valmistettu muovista ruiskuvalamalla. Monesti kappaleiden geometria on epämääräinen, mikä luo haasteita jigien suunnittelulle ja samoin toimivan suunnitteluohjeen luomiselle. Tämän vuoksi ohje pohjautuu hyvin vahvasti yleisiin jigien suunnitteluperiaatteisiin, eikä jigi suunnitteluun voi antaa yhtä ainoaa toimivaa vaihtoehtoa. Ohjeen on tarkoitus toimia pikemminkin suuntaviivoina ja muistilistana huomioitaville asioille, kuin ehdottomana ohjeena, sillä kappaleiden vaihtuvuuden takia suunnittelussa ei tule vastaan kahta täysin samanlaista tilannetta.

Ohjeesta on mahdollista poimia tilanteeseen sopivia vinkkejä sekä periaatteita ja soveltaa niitä tarvittavin osin. Vaiheittaisen opastuksen tekeminen osoittautui haastavaksi, koska jiginsuunnitteluprosessi harvoin etenee vaihe ja komponentti kerrallaan eteenpäin, sillä usein joudutaan palaamaan takaisin edellisiin suunnittelun vaiheisiin ja muuttamaan jotain. Usein jigien eri osien toimintoja täytyy myös suunnitella samaan aikaan, jotta saadaan aikaiseksi toimiva lopputulos. Lisäksi suunnittelu ei ala välttämättä aina samasta kohdasta, kiinnitettävien kappaleiden ollessa erilaisia.

Yrityksen valmistamat tuotteet vaihtuvat, ja valmistukseen tulee uusia tuotteita. Näiden tuotteiden laatu varmistetaan mittaamalla erilaisilla menetelmillä. Tuotteiden tehokas mittaaminen vaatii toimivia mittausjigejä. Medisize Oy:n laadunhallinnassa mitataan suuria määriä kappaleita vuosittain. Yhdestä näytteestä otetaan yleensä 1–4 mittaa. Mittaustuloksia kertyy vuodessa jopa 4 miljoonaa, mikä tarkoittaa, että mittauskoneiden pitää mitata mahdollisimman suuri osa käytettävissä olevasta ajasta, eikä aikaa saa kulua liikaa kappaleiden asettamiseen ja poistamiseen. Kappaleiden kiinnittämisen mittaamista varten on oltava järkevää, nopeaa ja helppoa. Lisäksi jigien tulee olla käyttäjäystävällisiä, jotta työskentely niiden parissa on miellyttävää, turvallista ja nopeaa. Jotta pystytään täyttämään nämä laadunhallinnan asettamat vaatimukset, yrityksessä tarvitaan mittausjigejä. Ohjeen avulla pyritään takaamaan varmemmin toimivia jigejä mittaukseen, ja siten varmistamaan korkea laadunvarmistuksen taso.

Ohjeelle koettiin tarvetta yrityksessä, jotta mittauksen jigien suunnittelua ja toimintaperiaatteita saataisiin yhtenäistettyä, ja jigien toimintaperiaatteita ja tarkkuutta parannettua. Välillä suunnitteluprosessin ongelmaksi on muodostunut, että tehdään ”vanhalla hyvällä tavalla”, mikä on aiheuttanut sen, että on toteutettu jigejä samoilla periaatteella kuin ennenkin, vaikkeivat ne olisi olleet parhaita mahdollisia ratkaisuja. Ohjeen avulla pyritään ottamaan käyttöön yleiset jigien suunnitteluperiaatteet mittausjigien suunnitteluun yrityksen sisällä ja näin yhtenäistämään suunnitteluprosessia.

4.3 Aineiston hankinta

Mittausjigien suunnitteluohjeen tekeminen alkoi hankkimalla tietoa aiheeseen liittyen. Aineisto koostuu aihetta käsittelevästä kirjallisuudesta, jigisuunnittelijan haastattelusta ja omista kokemuksista jigisuunnittelutyön parista. Jigien suunnitteluperiaatteisiin perehtyminen tapahtui suurelta osin opinnäytetyön kirjallisuuskatsausta kirjoittaessa. Kirjallisuuskatsauksen aineiston pohjalta selvisivät jigisuunnittelun peruseriaatteet. Haastattelun pohjalta sain lisätietoa jigisuunnittelusta, josta suuri osa on kokemuspohjaista. Lisäksi työskentelin kesän ajan jigisuunnittelijan tehtävissä, minä aikana kerkesin keräämään omaa kokemusta suunnittelusta, ja sain hyvän näkemyksen jigisuunnitteluprosessista. Ohjeen tekeminen jatkui aineiston muuttamisella kirjalliseen muotoon.

Aluksi kirjoitin muistiin jigisuunnittelun peruseriaatteet. Tämän jälkeen aloin syventää tietämystäni periaatteista, jotta ymmärtäisin, miksi periaatteiden noudattaminen on tärkeää ja pystyisin muokkaamaan lukemani tiedon toimivan ohjeen muotoon. Kirjoitin muistiinpanoja myös näistä tarkemmista yksityiskohdista koskien peruseriaatteita.

Haastattelin toimeksiantajayrityksessä työskentelevää mittausjigisuunnittelijaa kysyäkseni hänen näkemyksiään jigien suunnitteluun ja vaadittavan ohjeen sisältöön liittyen. Suunnittelijan kanssa käydyssä keskustelussa tuli ilmi, että jousimaisten osien suunnitteluun olisi hyvä olla jonkinlainen laskuri, jonka avulla voisi arvioida jousen kappaleeseen kohdistamia voimia ja jousen taipumaa. Ohjeeseen päätettiin tehdä liitteeksi Excel-pohjainen laskentakaava tappimaisten jigien jousimaisuuden mitoitusta varten.

4.4 Ohjeen kirjoittaminen

Kokoamani aineiston pohjalta aloin hahmottelemaan suunnitteluohjeen rakennetta. Suunnittelin, että ohjeen alkuun tulee sisällysluettelo, jota seuraa johdanto. Johdannon jälkeen on itse ohjeistusosio. Seuraavana ohjeessa on liitettyinä pikaohje asioiden tarkistusta varten. Ohjeen loppuun tarkoituksena oli

lisätä myös taulukko yleisimmistä ongelmista jigien designin ja toiminnan kanssa sekä syistä ja ratkaisuista näihin ongelmiin. Suunnittelin lisääväni ohjeeseen liitteeksi Excel-tilukko-pohjaisen laskurin tappijigien laskentaa varten.

Aloitin ohjeen kirjoittamisen kirjoittamalla johdanto-osan. Johdannossa käsitellään ohjeen sisältö, tarkoitus sekä kenelle se on tarkoitettu. Johdannon lopussa on kerrottu, mitä taitoja ja tietoja suunnittelija tarvitsee suunnitellakseen mittausjigejä ohjeen avulla. Johdannon jälkeen aloin kehittämään ohjeistuksen rakennetta. Aluksi ajattelin, että tekisin vaiheittaisen ohjeistuksen, joka ohjeistaisi vaihe vaiheelta jigien suunnittelun. Huomasin kuitenkin, että pelkän vaiheittaisen ohjeistuksen kirjoittaminen on vaikeaa, koska suunnittelutyö on hyvin teoreettista ja kerrottavaa jigisuunnittelun teoriapuolesta on paljon. Tarkasteltuani ja vertailtuani mahdollisia toteutustapoja päädyin kirjoittamaan jigien rakenneosia ja niihin liittyviä suunnitteluperiaatteita käsittelevän teoriaosuuden omaksi luvukseen. Kyseisessä luvussa kuvataan erikseen jigien rakenneosakokonaisuuksien suunnitteluperiaatteet. Luvussa on kappaleet vasteista, tuista, kiinnittimistä, rungosta ja pohjalevystä.

Teoriaosuuden jälkeen aloin kirjoittamaan varsinaista suunnitteluohjetta. Ohje kuvaa vaiheittain jigisuunnittelun, siinä käytettävät periaatteet huomioiden, osakokonaisuus kerrallaan. Osakokonaisuudet on eritelty eri kappaleiksi, jotta ohjetta olisi selkeämpi lukea. Lisäksi jigisuunnittelu ei aina tapahdu samassa järjestyksessä mitattavien kappaleiden erilaisuuden takia, jolloin on helpompi etsiä ohjeesta suunniteltavaa osaa koskeva oma kappale.

Vaiheittaisen opastuksen jälkeen tein ohjeessa käsiteltyjen asioiden pohjalta pikaohjeen, joka toimii myös tarkastuslistana jigisuunnittelijalle. Pikaohjeen avulla kokeneempi suunnittelija voi välttää koko ohjeen lukemisen mittausjigien suunnittelun yhteydessä ja helposti tarkistaa, että on muistanut huomioida kaikki tarpeelliset seikat.

Tappimaisten jigien jousiominaisuuksien arviointia varten tutkin Esko Valtasen (2016) Tekniikan taulukkokirjasta palkkien taivutuksen sekä neliömomenttien kaavoja. Kaavojen avulla johdin laskentakaavan yrityksessä käytettyjen

tappijigien geometrian pohjalta niiden jousto-ominaisuuksien laskemista ja arviointia varten. Laskenta perustuu toisesta päästä tuetun palkin taivutuksen laskentaan. Tappijigissä taivutettava jousto-osa on kevennetty tyvestä ja taivutuksen kokonaismäärä on sen verran pieni, että taipuman voidaan olettaa tapahtuvan suurimmalta osalta ohuella kevennetyllä osalla. Tämä tarkoittaa, että laskennassa on oletettu taivutettavan osan lopun osuuden pysyvän muotoa muuttamattomana. Tämä yksinkertaistus tehtiin helpottamaan laskentaa. Johdettuani kaavoista laskentakaavan tein Excel-taulukon (taulukko 1). Taulukkoon loin laskentakaavan pohjalta laskennan, joka lähtöarvot syöttämällä antaa vastaukseksi tappimaisen jigin jousto-osan liikematkan. Excelistä löytyvän ratkaisin-työkalun avulla voi ratkaista haluamaansa laskentataulukon soluun halutun suuruisen arvon jotain muuta tai muita soluja muuttamalla. Excel-taulukon avulla suunnittelija pystyy arvioimaan jigitapin osien jousimaisuuteen vaikuttavia mittoja. Salassapitosopimuksen vuoksi käytettyjä kaavoja ei ole käsitelty tässä tarkemmin.

Lähtötiedot	
Kärjen kokonaisliike f_{kok} (mm)	0,09991
F1	10
Tapin vastepinnan pituus l ₁ (mm)	35
Kevennyksen pituus l (mm)	30
Kimmokerroin E (Mpa)	210000
h (mm)	6
b (mm)	2,5
neliömomentti I (mm ⁴)	7,8125
h (mm)	6
b (mm)	2,5
kulma a (aste)	0,0064
f (mm)	0,096
Momentti M (Nmm)	350
Kevennyksen pituus l (mm)	30
Kimmokerroin E (Mpa)	210000
neliömomentti I (mm ⁴)	7,8125
Momentti M (Nmm)	350
Voima F1 (N)	10
Tapin vastepinnan pituus l ₁ (mm)	35
f ₁ (mm)	0,00391
Tapin vastepinnan pituus l ₁ (mm)	35
Kärjen kokonaisliike f _{kok} (mm)	0,09991

Taulukko 1. Ote tappimaisten jigien jouston laskentataulukosta (Taulukko: Pekka Pitkänen).

Samalla kun kirjoitin muuta ohjetta työstin vianmääritysosan taulukkoa (liite 1), jossa käsitellään yleisimmät ongelmat, joita jigeissä voi esiintyä. Taulukossa on omat sarakkeet ongelmille, niiden syille ja ratkaisuille. Taulukon tein Microsoft Excel -ohjelmistoa käyttäen.

Oma kokemus suunnittelusta auttoi arviomaan suunnitteluohjeeseen tarvittavia tietoja. Työkokemukseni suunnittelun parista oli vähäistä, ja jigisuunnittelusta ei kokemusta löytynyt ennen kyseistä työtä. Kokemuksen vähäisyys aihealueesta

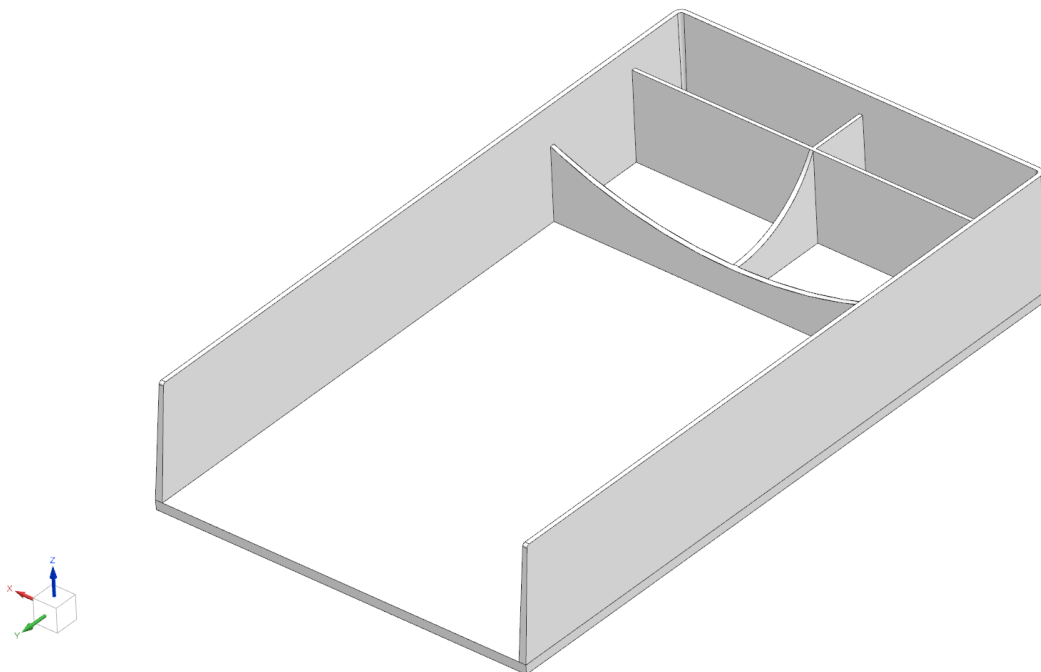
helpotti uuden tiedon omaksumista luetuista lähteistä, koska valmiita käsityksiä aiheista ei ollut vielä syntynyt.

4.5 Ohjeen testaus ja arviointi

Ohjeen toimivuutta testattiin suunnitteleamalla mittausjigejä sen avulla. Suunnittelijana toimin itse, kokeneen suunnittelijan avustaessa. Aikataulullisista syistä ohjetta ei testattu useammilla suunnittelijoilla.

Seuraavaksi käydään läpi jigin suunnittelua pohjautuen ohjeeseen. Suunnittelin jigin mittausjigien suunnitteluohjeen periaatteiden mukaan yrityksen käyttöön. Tuotteen muoto ja jigin geometria ovat kuvitteellisia salassapitosopimuksen vuoksi, mutta suunnitellun jigin toimintaperiaate on kuitenkin pääosin samanlainen oikean jigin kanssa.

Mitattava tuote on ohutseinämäinen muovista ruiskuvalamalla valmistettu laatikomainen kappale (kuva 5). Tuotteelle oli jo olemassa mittausjigi, mutta se vaati päivitystä hankalakäyttöisyytensä vuoksi. Jigin käyttö edellytti tuotteen muovaimista fyysisesti ennen kuin se pystyttiin asettamaan jigiin. Tämä oli yksi ylimääräinen työvaihe, mikä hidasti mittauksapahtumaa ja kuormitti henkilökuntaa. Lisäksi asettaakseen kappaleen jigiin täytyi työntekijän irrottaa erillinen kiinnitin, asettaa tuote jigin pesään ja tämän jälkeen asettaa kiinnitin paikoilleen.

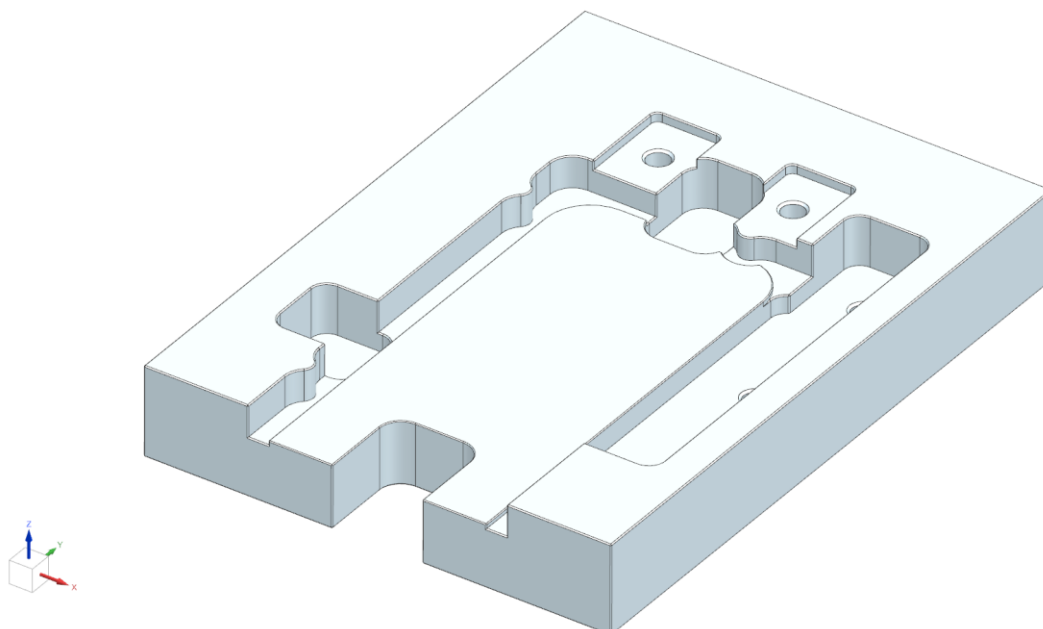


Kuva 5. Kuvitteellinen tuote (Kuva: Pekka Pitkänen).

Ratkaisuvaihtoehtoja kappaleen mittauksen kehittämiseksi ideoitiin ja käsiteltiin mittauksen henkilöstön kanssa. Ratkaisuksi ehdotettiin erilaisia työkaluja olemassa olevan jigin käyttämiseksi sekä uutta jigiä. Uuden jigin suunnitteluun päädyttiin, jotta saataisiin ratkaistua ongelman juurisyy, eli heikosti toimiva jigi.

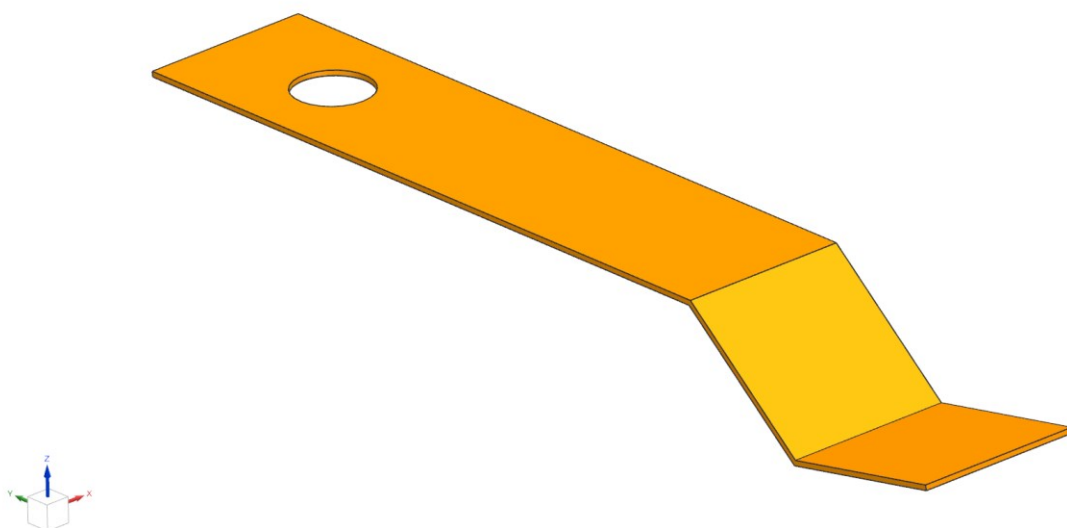
Lähtökohtana oli suunnitella helppokäyttöinen jigi vanhan tilalle. Uuden jigin suunnittelun aloitin tutkimalla käytössä olevaa jigiä. Jigistä löytyi joitakin valmiita ratkaisuja, mitä päädyin käyttämään keskusteltua asiasta mittauksen asiantuntijan kanssa. Suunnitteluprosessi jatkui hahmottelemalla ideoita paperille.

Aluksi ideoin kappaleen tukemisen paikoilleen. Tukemisen osalta päädyttiin noudattamaan 3-2-1-periaatetta vain osittain kappaleen joustavuuden takia. Kappaleen pohjaa ei ole tuettu pistemäisillä tuilla vaan se tukeutuu tasaiseen jigin pintaan joustavuutensa vuoksi (kuva 6). Kappaleen pitkä sivu tukeutuu kahta ja pääty yhtä viivamaista vastinpintaa vasten. Tällöin kappale asettuu koordinaatiston x- ja y-suunnassa sekä z-akselin ympäri kiertymän suhteen aina samaan asentoon (kuva 6).

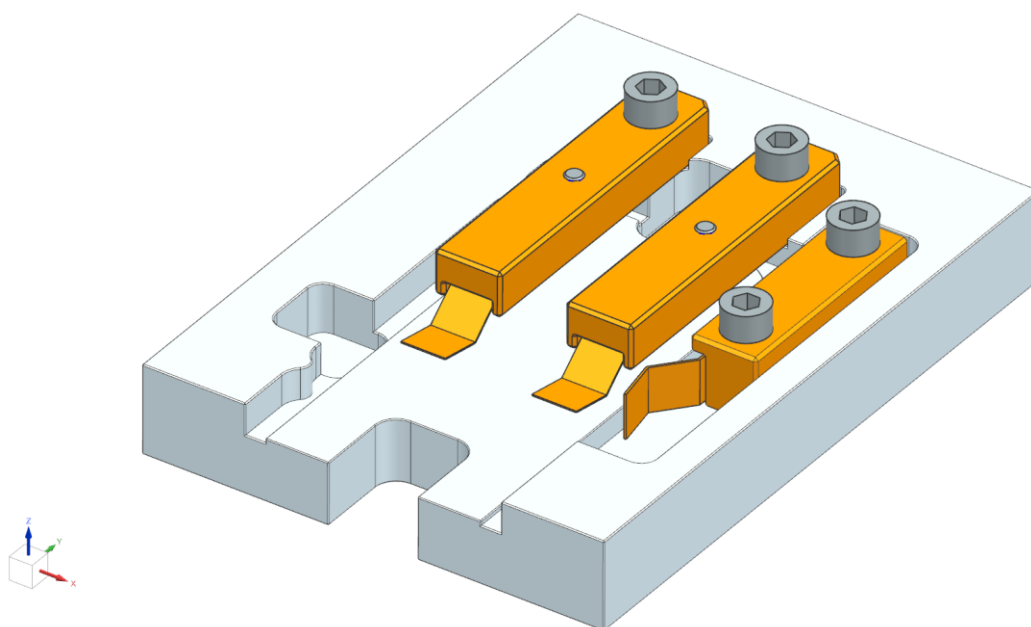


Kuva 6. Jigin runko, jossa näkyy vasteiden asettelu (Kuva: Pekka Pitkänen).

Koska työkappaleen asetuksen ja pois ottamisen tulisi olla helppoa ja nopeaa kiinnittimien tulisi toimia itsestään, jolloin niitä ei tarvitsisi erikseen operoida. Tämän vuoksi jousikuormitteinen kiinnittäminen tuli ensimmäiseksi vaihtoehdoksi. Jousikuormitteisen kiinnityksen käyttö on ohjeen mukaan perusteltua kappaleen dimensioiden vaihtelun takia, sillä jousen avulla kiinnitin tukee kappaletta, vaikka sen dimensiot, tässä tapauksessa paksuus, vaihtelisi toleranssialueen sisällä, ja jopa ulkopuolella. Jigin rakenteen yleisesti ottaen kannattaa olla mahdollisimman yksinkertainen, ja siinä tulisi käyttää mahdollisuuksien mukaan valmiita standardi- ja osto-osia valmistuksen helpottamiseksi ja halventamiseksi. Tämän vuoksi päädyin ajatukseen taivutetuista lattajousista (kuva 7), jotka painavat kappaletta jigin pohjaa vasten. Jouset ovat kaksi kertaa taivutettuja, jotta kappale liikkuu helposti jousen alle. Jousille löytyi jälleenmyyjä, joka toimittaa lattajousia mittojen mukaan. Jousille suunnittelin palkkimaiset kiinnittimet (kuva 8), jotka pultataan jigin runkoon kiinni, ja joihin jouset liitetään suoraan pulttamalla. Arvioituamme jigin toimivuutta 3D-mallin pohjalta työryhmän kanssa, ja päädyimme ajatukseen samanlaisesta lattajousesta, joka tukee kappaletta sivusuunnasta. Kun suunnitelma oli hyväksytty, tilattiin alihankkijalta kahden paksuisia jousia. Suunnitelmana oli käyttää paksumpia niistä päällä ja ohuempia sivuilla. 3D-mallin ja piirustusten mukaan koneistettiin prototyyppi jigin testausta varten.



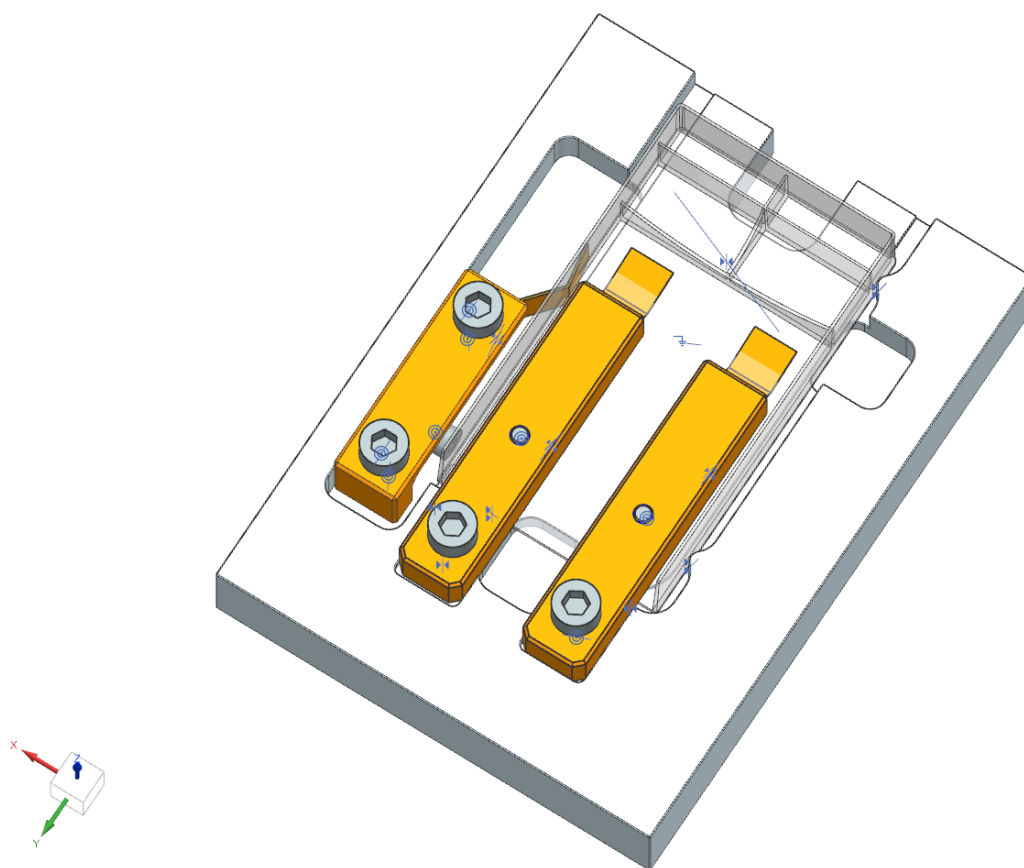
Kuva 7. Jousen malli, kaikki jouset ovat samanlaisia lukuun ottamatta niiden paksuutta (Kuva: Pekka Pitkänen).



Kuva 8. Jouset ja jousien kiinnittimet liitettynä jigien runkoon (Kuva: Pekka Pitkänen).

Prototyyppi testattiin mittauksen kehittämisosaston toimesta, ja todettiin toimivaksi pienin muutoksin. Muutokset koskivat tuotteen asettamista varten suunnitellun tuen pituutta jigien pohjassa ja väistöjä mittauskärkeä varten. Lisäksi tutkittiin jousivoimia ja kappaleen asemoitumista paikoilleen. Tutkimisen pohjalta ehdotin eri paksuisten jousien paikkojen vaihtamista keskenään, sillä tällä tavoin kappale asettui jigisiin samalle kohdalle jokaisella asetuskerralla, kun jousien

ollessa alkuperäisessä asennossa sivuttainen jousi ei jaksanut painaa kappaletta vasteita vasten. Muutosehdotusten mukaan suunniteltiin väistöt mittauspisteisiin mittauskärkeä varten, lyhennettiin jigiiä poistamalla turhaa materiaalia 3D-mallinnusohjelmassa ja vaihdettiin jousten paikat. Näiden muutosten lisäksi siistittiin ja kevennettiin jigien perusrakennetta, lisättiin jigiiin kiinnityspisteet mittauskonetta varten ja mallinnettiin malliin tarvittava määrä jigipesiä useamman kappaleen samanaikaista asettamista ja mittaamista varten. Muutosten hyväksymisen jälkeen jigii (kuva 9) valmistettiin alihankkijan toimesta. Tarkastamisen ja validointiprosessin jälkeen jigii otettiin käyttöön tuotannon mittaukseen.



Kuva 9. Tuote asetettuna jigiiin, kuvassa vain yksi jigipaikka (Kuva: Pekka Pitkänen).

Jigiiä voisi vasteiden osalta kehittää. Kappaleen pohja vastaa tasaiseksi koneistettuun pintaan, jolloin on vaarana kappaleiden ollessa kieroja, että ne eivät asetu kunnolla paikoilleen ja jäävät keikkumaan. Jigiiin toimivuus voisi parantua vasteiden osalta, jos käytettäisiin tasaisen vastinpinnan sijasta kahta viivamaista tukea jousien kohdalla kappaleen alla. Kappaleen asetus onnistuisi

samoin kuin tasaisella pohjalla, liu'uttamalla kappale paikoilleen vasteita pitkin. Mikäli vasteiden kapeus tuottaisi ongelmia esimerkiksi kappaleen joustavuuden tai jousien melko karkeiden valmistustoleranssien takia voitaisiin niitä leventää, jolloin tukipintaa syntyisi enemmän. Tarvittaessa voitaisiin lisätä myös toisiin tukiin nähden poikittainen tuki sivuttain puristavan jousen kohdalle, jos kappaleen joustaisi liikaa ilman alhaalta tulevaa tukea jousen puristusvaikutuksen takia. Joka tapauksessa viivamaisten tukien avulla päästäisiin lähemmäs 3-2-1-periaatetta, ja kosketuspinta-alan minimointia.

Ohjeen perusteella suunniteltu mittausjigi hyväksyttiin ja validoitiin tuotannon mittauksen käyttöön. Jigiä olisi vielä mahdollista kehittää kuten aiemmin todettiin, ja ideat ja periaatteet kehittämistä varten löytyvät ohjeesta.

Toimeksiantajayrityksen puolesta ohjetta arvioivat mittauksen ja laadun asiantuntijat. Molemmat olivat pääosin tyytyväisiä ohjeeseen ja sen sisältöön. Suunnitteluohjeen rakennetta pidettiin hyvänä. Mittauksen asiantuntija koki, että erillinen teoriaosuus ennen vaiheittaista opastusta olisi hyödyllinen ja selkeyttäisi ohjetta. Muutama ohjeen sisällölliseen asiaan he halusivat tarkennusta, ja päätimme lisätä vielä mittausjigien prosessikaavion kuvamaan mittausjigien hankinnan ja suunnittelun prosessia ohjeen alkupuolelle.

Mittauksen asiantuntija mielestä ongelmanratkaisutaulukko käsitteli lähinnä prototyypivaiheessa esiintyviä ongelmia, joita ei pitäisi valmiiseen jigiin asti päätyä. Tämän vuoksi sen otsikointia päätettiin muuttaa siten, että siinä viitataan nimenomaan prototyypivaiheen ongelmiin. Ongelmanratkaisutaulukko liitettiin suunnitteluohjeen loppuun, mistä se on helppo löytää.

Kun suunnitteluohjeen sisältö ja rakenne oli hyväksytty tein sisällysluettelon, johon listasin ohjeessa käsiteltävien asioiden otsikot järjestyksessä. Lisäsin myös alaotsikot tarvittavien otsikoiden alle.

Kaavion toteutusta varten kävimme mittauksen asiantuntijan kanssa läpi koko jigien hankinta- ja suunnitteluprosessin. Kirjasin keskustelun aikana karkeat muistiinpanot prosessista, joiden avulla loin prosessikaavion käyttäen Microsoft

Visio -ohjelmistoa. Prosessikaavio (liite 2) käy läpi prosessin mittausjigien tarpeesta suunnittelun ja valmistamisen kautta jigien validointiin ja hyväksymiseen asti. Kaavio alkaa mittausjigien tarpeesta ja etenee ideointiin, suunnitteluun ja prototyypin valmistukseen, näitä seuraa jigien testaaminen ja hyväksyminen varsinaisen jigien valmistukseen. Lopuksi kaavio käsittelee lyhyesti validointiprosessin ja hyväksymisen. Kaaviosta suunnittelija voi seurata missä vaiheessa koko prosessia ollaan menossa ja mitä pitäisi tehdä seuraavaksi. Prosessikaavio liitettiin ohjeen alkupuolelle heti johdannon jälkeen.

Prosessikaavion lisäämisen jälkeen ohje alkoi olla valmis, lukuun ottamatta kieliasun tarkastusta sekä asettelua ja viimeistelyä. Tarkastelin ohjeen yleisilmettä ja totesin sen vaikuttavan hyvältä. Seuraavaksi tarkistin tekstin kieliasun, lisäsin sivunumerot ja viimeistelin asettelun.

Opinnäytetyön tulos oli alun perin tarkoitus siirtää opinnäytetyön tekemisen osana toimeksiantajan SAP-järjestelmään viralliseksi ohjeeksi, mutta ohjeen siirtäminen jää myöhemmäksi aikataulun tiukkuuden vuoksi. Ohje tullaan kuitenkin siirtämään järjestelmään ja siitä tehdään toimeksiantajalle virallinen mittausjigien suunnitteluohje. Opinnäytetyön liitteenä olevan ohjeen (liite 3) ulkoasu ja asettelu tulevat muuttumaan, kun ohje muokataan järjestelmään siirtämistä varten yrityksen dokumenttiohjeistuksen mukaiseksi.

Toteutettu ohje (liite 3) sisältää tietoperustan jigien suunnitteluun perusperiaatteiden osalta ja kappaleen tappimaisten jigien suunnittelusta ja periaatteista, lisäksi ohjeeseen on sisällytetty vaiheittainen opastus jigien suunnittelusta, pikaohje, prosessikaavio mittausjigien hankinta- ja suunnitteluprosessista sekä taulukko yleisimmistä ongelmista prototyypivaiheessa.

5 Tulokset

Tavoitteena oli tehdä ohje mittausjigisuunnittelua varten, joka toimii perehdytys- ja tukimateriaalina suunnittelijoille. Ohjeen avulla suunniteltavien jigien tulisi olla toimivia mitattavien kappaleiden dimensioiden ja muotojen vaihdellessa ja pysyttävä toimimaan kappaleen dimensioiden ollessa sen valmistustoleranssin sallimien rajojen sisässä sekä myös ulkopuolella.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli tyytyväinen lopputulokseen, samoin minä. Opinnäytetyön tuloksena syntyi mittausjigien suunnittelua varten ohje, joka siirretään toimeksiantajan SAP-järjestelmään ja siitä tehdään virallinen mittausjigien suunnitteluohje. Ohje on tarkoitus myös kääntää englanniksi laajempaa käyttöä ja tutkimista varten.

Ohje voidaan todeta toimivaksi sen avulla suunniteltujen mittausjigien vuoksi. Suunnitteluohjetta voidaan pitää toimivana toimivan jigien takia. Testauksen uskottavuutta syö toisaalta se, että testaus tapahtui ohjeen suunnittelijan toimesta. Vaikka ohjetta ei varsinaisesti kukaan muu testannutkaan, huomion arvoisena voidaan kuitenkin pitää sitä, että ohjeen tekijän kokemus jigisuunnittelusta on kuitenkin melko vähäinen, ja silti ohjeen avulla pystytään luomaan toimivia tehtaan laatuvaatimukset täyttäviä mittausjigejä.

Hyödyntämällä yleisiä jigisuunnittelu periaatteita, kuten 3-2-1-periaatetta, voidaan uusien jigien toimivuutta saada parannettua verrattuna vanhoihin. Kun kappaleet asettuvat samaan asentoon ja sijaintiin joka kerralla, mittauks tuloksetkin ovat tarkempia ja luotettavampia. Esimerkiksi jousivoimien arviointi on ollut lähinnä kokemuspohjaista joustavia elementtejä suunnitellessa. Kun ohjeeseen liitetyn laskentakaavan avulla voidaan tarkastella tarkemmin jousimaisen osan aiheuttamia voimia, on mahdollista suunnitella osia vähäisemmällä kokemuspohjaisella tiedolla.

Tavoitteena oli, että ohjeen avulla suunnitellut jigit toimisivat mitattavien kappaleiden muoto- ja dimensiovaihteluista huolimatta. Ohjeessa otettiin kantaa tähän

ongelmaan kertomalla 3-2-1-periaatteen toiminnasta ja vasteiden pinta-alojen minimoinnista. Periaatetta noudattaessa kappaleet asettuvat kukin aina samalla tavalla jigiin, jos mittausprosessi toistetaan uudelleen. Periaate sallii kappaleiden erimuotoisuuden hyödyntämällä vain tarvittavaa määrää tukipisteitä. Vasteiden pistemäiset kontaktipinnat parantavat jigien toimivuutta periaatteen mukaan. Ohjeessa ohjeistetaan käyttämään myös jousikuormitteisia kiinnittimiä. Jousikuormitteiset kiinnittimet pystyvät tukemaan kappaleen paikoilleen vasteita vasten, vaikka tämän mitat kasvaisivat tai pienenisivät nimellismittoihin nähden.

Tavoitteisiin kuului myös saavuttaa jigeillä muovituotteita riittävästi tukeva mutta muokkaamaton kiinnitys. Kappaleen riittävän tuen määrä on hyvin tapauskohtainen riippuen kappaleen geometriasta ja materiaalista sekä mitattavista dimensioista. Tuen riittävyys täytyy tämän vuoksi joka kappaleelle arvioida erikseen. Muokkaamattomaan kiinnitykseen otetaan ohjeessa kantaa ohjeistamalla käyttämään 3-2-1-periaatetta ja minimoituja vastinpintojen pinta-aloja, mutta kuitenkin ohjeistamalla tarvittaessa lisätukien tai pistemäistä suurempien vastinpintojen käyttöön. Myös ohjeessa käsitelty kiinnitysvoimien optimointi ehkäisee kappaleen vääristymistä. Ohje ei kuitenkaan välttämättä anna tarkkaa ohjeistusta siitä, mikä on riittävä tuki kappaleelle ja jättää sen arvioinnin suunnittelijan vastuulle.

6 Pohdinta

Ohjeessa käsiteltyjen jiginsuunnitteluperiaatteiden avulla suunniteltujen jigien toiminta on varmempaa kuin ennen ohjetta suunniteltujen. Tämä puolestaan pienentää riskiä, että jigi, joka ei toimi virheettömästi, läpäisisi validointiprosessin, ja aiheuttaisi ongelmia myöhemmin, ja vähintäänkin johtaisi selvitystyöhön siitä, mistä suuri mittausepävarmuus johtuu.

Ohjetta tehdessä olemassa olevaa materiaalia jouduttiin soveltamaan muovituotteille sopivien jigien suunnitteluohjeen aikaansaamiseksi, koska se käsittelee lähinnä koneistukseen ja työstöön tarkoitettujen jigien ja kiinnittimien

suunnittelua. Koska suunnitteluperiaatteet ovat yleispäteviä, tämä ei tuottanut ongelmia.

Haasteena suunnitteluohjeen luomisessa oli mitattavien osien monimuotoisuus. Vaihtuvien ja uusien tuotteiden takia mitattavien komponenttien geometria, mitat, materiaalit ja valmistuksen vaatimukset vaihtelevat laidasta laitaan, mikä vaikeutti yksityiskohtaisen ohjeen luomista. Tämän takia ohjeen päätettiin käsittelevän mittausjigien suunnittelua jigisuunnittelun peruseriaatteiden pohjalta, jotta kaikki mahdolliset tapaukset saatiin otettua huomioon.

Ohje tullaan tulevaisuudessa kääntämään myös englanniksi, mikä helpottaa sen jakamista yrityksen sisällä. Kääntämistyöhön ei vielä ryhdytty aikataulun vuoksi.

Jigisuunnittelua voisi yrityksessä kehittää tulevaisuudessa hyödyntämään enemmän olemassa olevia jigisuunnittelusovelluksia. Suunnittelutyössä voisi myös hyödyntää mallinnussovelluksissa olevia analyysityökaluja. Näiden työkalujen avulla voitaisiin ennakoita ja tutkia jigien kappaleeseen kohdistamia voimia ja voimista aiheutuvia vääristymiä, jolloin vääristymät olisi helpompi minimoida. Analyysien avulla voitaisiin näin parantaa jigien toimintaa ja edelleen mittaustuloksen tarkkuutta ja pienentää mittausepävarmuutta. Lisäksi jigien analysoiminen 3D-mallivaiheessa vähentäisi prototyyppien valmistamisen tarvetta ja näin nopeuttaisi ja halventaisi jigien suunnittelu ja hankkimisprosessia.

Valmiiden modulaaristen jigisarjojen hyödyntämistä jigien suunnittelussa ja valmistuksessa voitaisiin tutkia. Valmiiden ratkaisujen hyödyntäminen voisi säästää aikaa ja kustannuksia. Suurin ongelma valmiissa jigiratkaisuissa on, että ainakin suurin osa olemassa olevista sarjoista on tarkoitettu yleensä suuremmille tuotteille, esimerkiksi teräksestä valmistetuille komponenteille. Jigisarjan komponenttien koko ja kiinnittimien kiinnitysvoimat eivät usein sovi pienten ja mahdollisesti joustavien muovikomponenttien kiinnittämiseen.

Mittausjigien suunnitteluohjetta voidaan tarvittaessa kehittää tulevaisuudessa. Ohjeeseen voidaan lisätä esimerkiksi kappaleet valmiiden jigisarjojen käytöstä sekä jigien suunnittelun ja valmistuksen kustannuksista.

Tulevaisuudessa mittausautomaation kasvattaminen voi tulla ajankohtaiseksi toimeksiantajayritykselle, mikäli vuosittaiset mittausmäärät vielä kasvavat. Tämän vuoksi mittausautomaation kasvattaminen robotisaation avulla on ajankohdainen tutkimuskohde yrityksen sisällä. Automaation tasoa kasvattamalla voidaan pienentää kappaleiden asetus- ja poistoajoja, mikä lisää mittauksen mahdollista kapasiteettia, kasvattamatta koordinaattimittauskoneiden määrää. Mitä enemmän robotisaatio luo lisää haasteita mittausjigisuunnitteluun. Robotteja tullessaan hyödyntämään todennäköisesti lähinnä mitattavien kappaleiden asettamiseen mittausjigeihin ja myös niiden pois siirtämiseen. Tämä tarkoittaa, että mittausjigien suunnittelussa on huomioitava se, että robotin tulee kyetä käyttämään mittausjigiä. Mittausjigien toimintaperiaatteiden on tällöin oltava melko yksinkertaisia. Kappaleiden asetuksen jigeihin tulee olla mahdollisimman suoraviivaista, ilman monimutkaisia liikeratoja, jotta robottien käytöstä saatava hyöty saavutettaisiin mahdollisimman hyvin. Kaikki yrityksessä käytössä olevat mittausjigit eivät välttämättä ole suoraan sopivia roboteilla operoitaviksi, joten vanhoja jigejä täytyisi suunnitella uudestaan robotisaatiota varten.

Lähteet

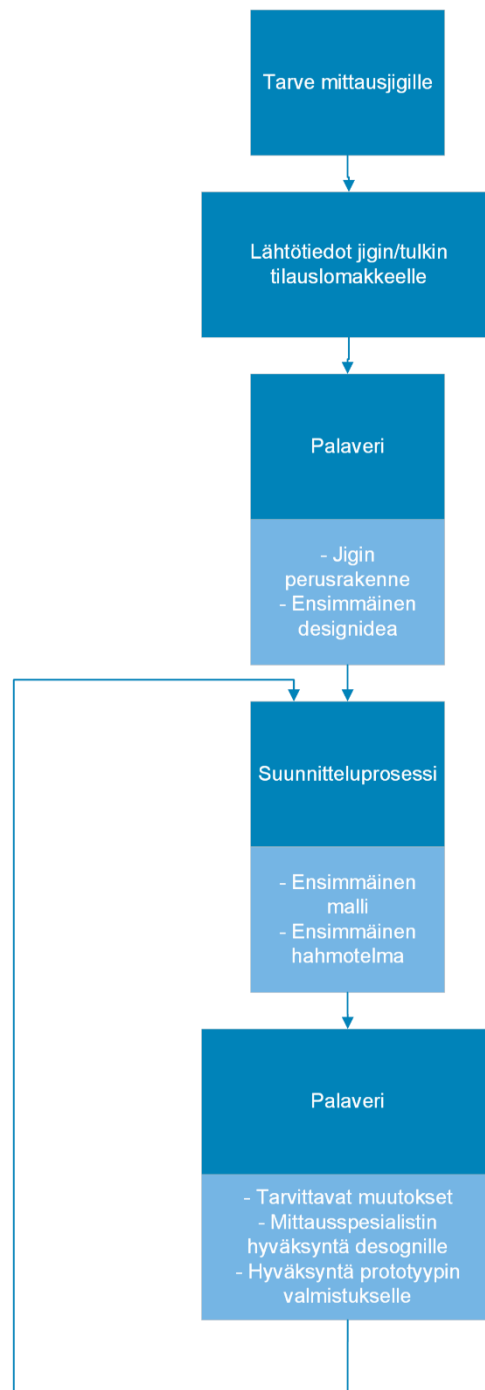
- Andersson, P. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat: konepajan tuotantotekniikka. Helsinki: WSOY.
- Esala, V., Lehto, H. & Tikka, H. 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.
- Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, E., Saarinen, P., Simonen, S. & Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Espoo: Mittatekniikan keskus MIKES & Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö TEM.
- Kauppalehti. 2022. Medisize Oy. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/medisize+oy/2046714-2>. 24.3.2022.
- Kauppinen, A., Nummi, J. & Savola, T. 2010. Tekniikan viestintä: kirjoittamisen ja puhumisen käsikirja. Helsinki: Edita publishing.
- Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. Helsinki: Sanoma pro.
- Medisize Oy. 2022a. <https://www.phillipsmedisize.fi/>. 24.3.2022.
- Medisize Oy. 2022b. Meistä. <https://www.phillipsmedisize.fi/meista/>. 24.3.2022.
- Medisize Oy. 2022c. Palvelumme. <https://www.phillipsmedisize.fi/palvelumme/>. 24.3.2022.
- Medisize Oy. 2022d. Toimialasta yleisesti. <https://www.phillipsmedisize.fi/toimialasta-yleisesti/>. 24.3.2022.
- Nee, A., Tao, Z. & Kumar, A. 2004. An Advanced Treatise on Fixture Design and Planning. Singapore: World Scientific Publishing.
- Nykänen, O. 2002. Toimivaa tekstiä: opas tekniikasta kirjoittaville. Helsinki: Tekniikan Akateemisten Liitto TEK.
- Phillips-Medisize. 2022. About us. <https://www.phillipsmedisize.com/about/>. 24.3.2022.
- Rong, Y., Huang, S., & Hou, Z. 2005. Advanced computer-aided fixture design. Amsterdam: Elsevier.
- Soininen, R. 2021. Mittauksen asiantuntija. Medisize Oy. 16.12.2021.
- Tikka, H. 2007. Koordinaattimittaus. Tampere: Tampereen yliopistopaino.
- Venkataraman, K. 2015. Design of Jigs, Fixtures and Press Tools. Chichester: John Wiley & Sons.
- Vitikainen, E. 1993. Mittauslaitteiden kalibrointi: ohjeita järjestelmän rakentamiseen. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

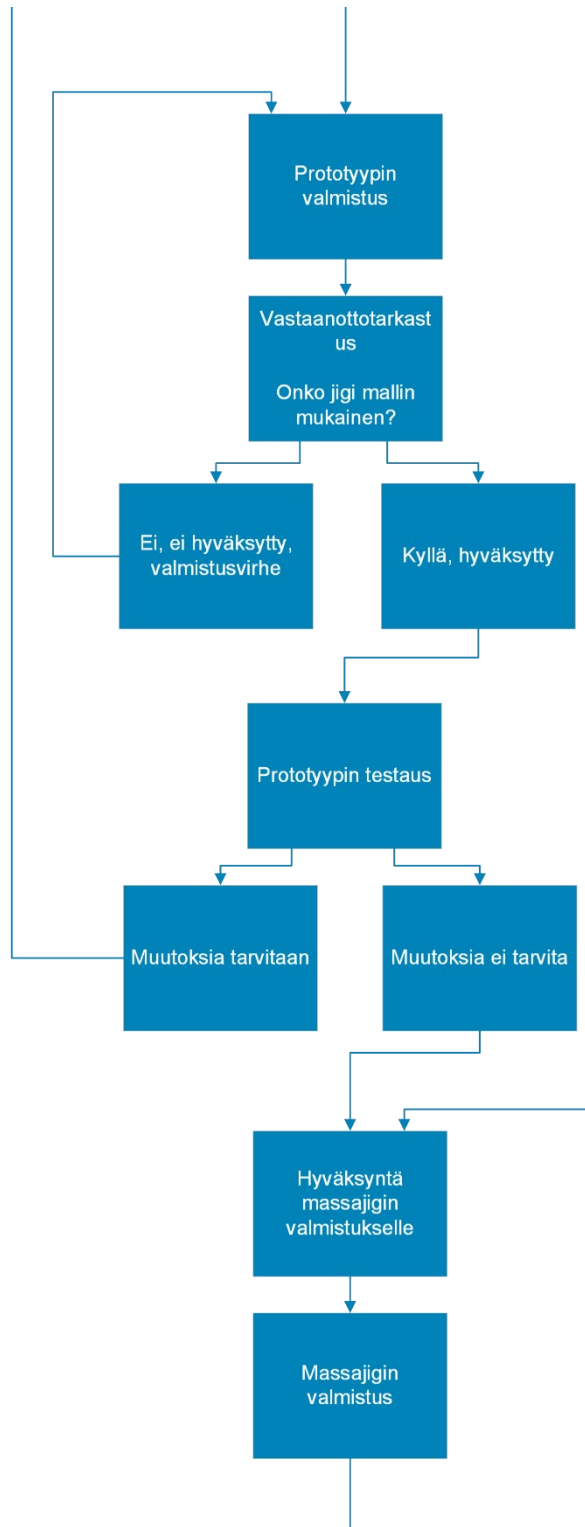
Prototyypivaiheen ongelmaratkaisutaulukko

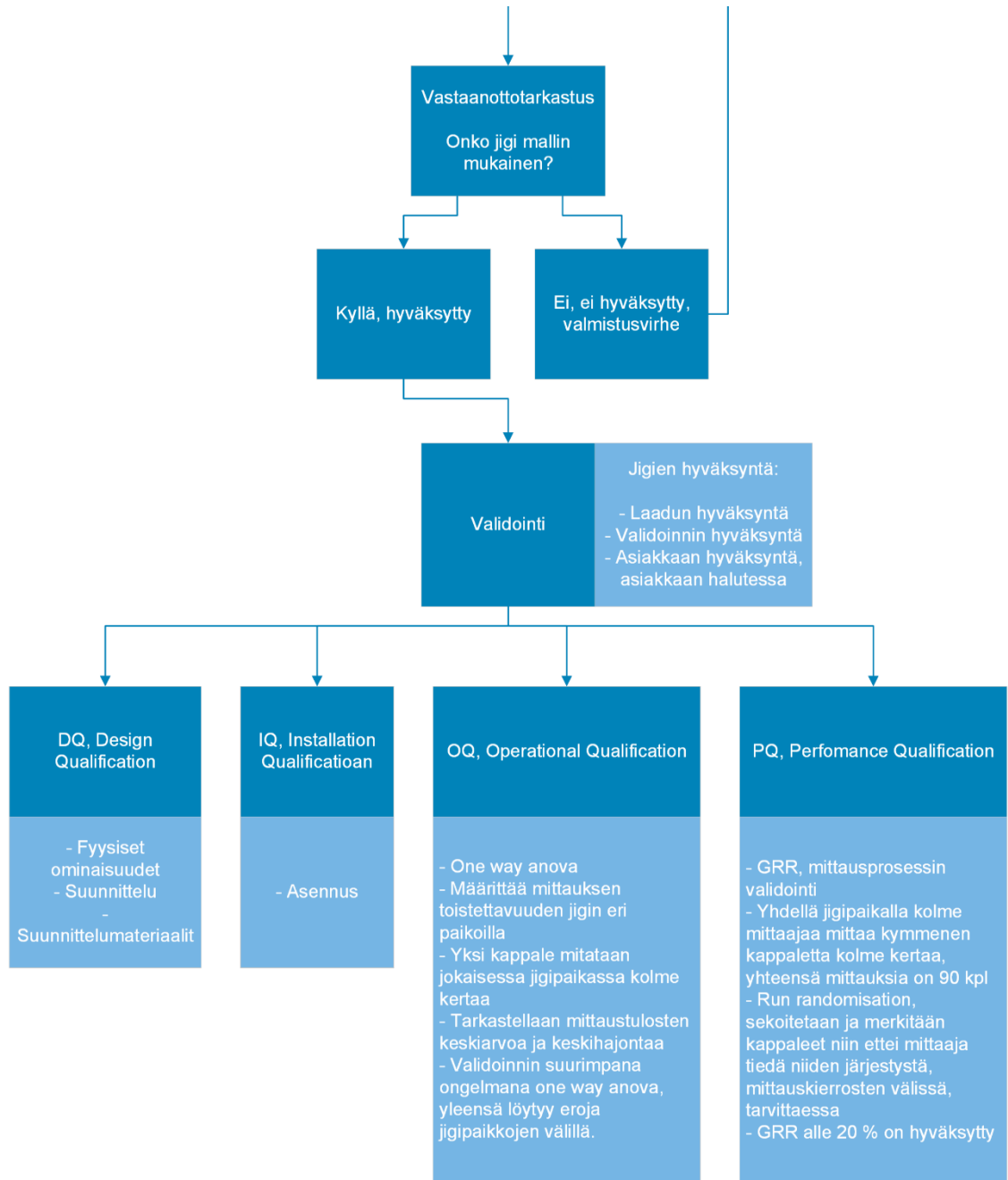
Yleisimpiä ongelmia prototyypivaiheessa		
Ongelma/virhe	Syy	Ratkaisuehdotus
Syntyy vuoluja	Teräviä kulmia ei ole pyöristetty tai viistetty. Kappale asetuu jigii liian tiukasti.	Pyöristä tai viistä kulmat. Pienennä jousivoimia tarvittaessa.
Kappale keikkuu ja heiluu	Tukipisteitä on liikaa tai liian vähän, tai vasteiden pinta-alaa ei ole minimoitu esim. tasoa käytetään tukipintana.	Tarkista tukipisteiden määrä, onko 3-2-1-periaatetta noudatettu. Ylimääräiset tai puuttuvat tukipisteet aiheuttavat yleensä kappaleen heilumisen ja vaihtoehtoiset asennot.
Kappale ei asetu aina samalla tavalla	Tukipisteitä on liikaa tai liian vähän, tai vasteiden pinta-alaa ei ole minimoitu.	Tarkista tukipisteiden määrä, onko 3-2-1-periaatetta noudatettu. Ylimääräiset tai puuttuvat tukipisteet aiheuttavat yleensä kappaleen heilumisen ja vaihtoehtoiset asennot.
Kappale liikkuu tai liukuu jigissä	Kiinnittimien voimat ovat liian pienet. Kiinnittimet on sijoitettu huonosti.	Optimoi kiinnittimien voimat, tämä on tärkeää varsinkin kitkavoimaan perustuissa jigeissä. Tarkista kiinnittimien sijainnit.
Kappale heiluu pystyssä olevassa tappijigissä vaaka-akselinsa ympäri	Jousiosien tyviin ei ole tehty kevennyksiä. Pystysuunnan vasteet puuttuvat tai niitä on vain yksi. Kappaleessa ei ole päästöä sisäpuolella tai se on hyvin pieni.	Tee kevennykset jousiosien tyveen. Lisää tarvittaessa pystysuunnan vasteita niin, kappale tukeentuu kahteen vasteeseen. Lisää jigitappiin negatiivinen viiste, siten että se levenee kärkeään kohden.
Kappale pyörii tappijigissä pituusakselinsa ympäri.	Jigin jousivoima ei ole tarpeeksi suuri.	Optimoi jousivoimaa muuttamalla jousiosien geometriaa.
Kappale ei asetu tappijigissä samaan asentoon pituussuuntaisen pyörimisakselin suhteen	Vaste pyörimisen suhteen puuttuu.	Lisää pyörimisen lukitseva vaste.
Kappale vääristyy kiinnittimien vaikutuksesta	Kiinnittimien sijainti ei ole kappaleen vastapuolella vasteiden kohdalla. Kiinnittimien voimat ovat liian suuret.	Säädä kiinnittimien sijaintia. Säädä kiinnittimien voimia.
Kappale ei asetu kunnolla tappijigiin	Tapin poikkileikkausgeometria ei ole sopiva.	Muuta poikkileikkausgeometriaa siten, että syntyy kolme tai neljä viivamaista vastetta.
Jigi on vaikeakäyttöinen	Jigin rakenne on monimutkainen. Siinä on käsin liikuteltavia osia.	Yksinkertaista jigii rakennetta. Käytä kappakeen kiinnityksessä jousikuormitteista kiinnitystä mahdollisuuksien mukaan.
Jigi on hidas käyttää	Jigin rakenne on monimutkainen. Siinä on käsin liikuteltavia osia.	Yksinkertaista jigii rakennetta. Käytä kappakeen kiinnityksessä jousikuormitteista kiinnitystä mahdollisuuksien mukaan.
Kappale on mahdollista asettaa väärinpäin		Suunnittele kappaleen väärin asettamisen estävät esteet tai anna selvä ohjeistus jigii käytöstä mikäli tämä ei ole mahdollista.
Jigi ei toimi. Jigi ei toimi kappaleen toleranssialueen eri ääripäissä ja niiden ulkopuolella.	Kappaleen dimensioiden vaihtelua ei ole huomioitu suunnittelussa. Valmistustoleranssit heittelevät suunnittelun tai valmistuksen puolella.	Tarkista vaaditut valmistustoleranssit ja täyttyvätkö ne. Säädä toleransseja tarvittaessa. Huomioi kappaleen dimensiövaihtelut, ja ota ne haltuun esimerkiksi jousitoimisilla kiinnittimillä.

Prosessikaavio mittausjigin hankinta- ja suunnitteluprosessista

Jigin hankinta- ja suunnitteluprosessi







Mittausjigien suunnitteluohje

Mittausjigien suunnitteluohje

Sisällys

1	Johdanto	2
2	Jigin valmistus ja suunnitteluprosessi.....	3
3	Mittausjigin perusrakenne	4
3.1	Vasteet	4
3.2	Tuet	7
3.3	Kiinnittimet	7
3.4	Runko	8
3.5	Pohjalevy	8
4	Suunnitteluprosessin alussa tarvittava informaatio	8
5	Jigisuunnittelu	9
5.1	Vasteet	9
5.2	Tuet	9
5.3	Kiinnittimet	10
5.4	Tappijigi	11
5.5	Runko	14
5.6	Pohjalevy	15
6	Muuta huomioitavaa.....	16
7	Pikaohje / muistilista.....	16
8	Prototyypivaiheen yleisimmät ongelmat	18
9	Liite.....	19

1 Johdanto

Tämän ohjeen tarkoituksen on toimia suunnittelijan apuna ja antaa suuntaviivoja ja informaatiota mittausjigien suunnitteluun. Ohjeesta ilmenevät jigisuunnittelun peruseriaatteet, joita suunnittelijan olisi hyvä noudattaa mahdollisuuksien mukaan.

Ohje keskittyy suurien kappalemäärien mittaamiseen tarkoitettujen mittausjigien suunnitteluun.

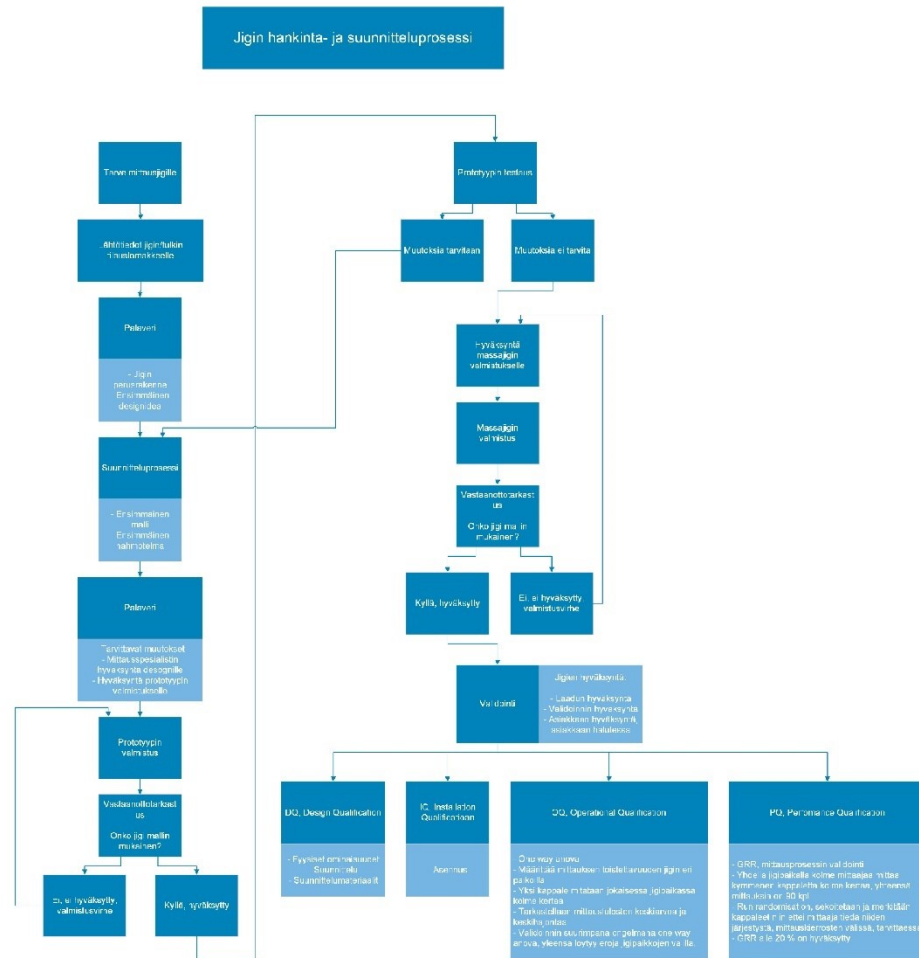
Suunnitteluohjetta voidaan käyttää jigisuunnittelun saralla uusien suunnittelijoiden perehdyttämisen apuna tai jo kokeneempien suunnittelijoiden suunnittelutyön tukena ja muistilistana.

Ohje sisältää vaiheittaisen opastuksen suunnittelusta pääpiirteittäin, jigin suunnittelu- ja käyttöönottoprosessin prosessikaavion sekä teoriaa jigisuunnittelusta. Ohje sisältää lisäksi pikaohjeen, jota voi käyttää suunnittelun muistilistana. Ohjeeseen kuulu myös taulukkomuotoinen listaus tavallisimmista ongelmista ja virheistä sekä niiden ratkaisuehdotuksista.

Jigisuunnittelu tämän ohjeen avustuksella edellyttää suunnittelijalta perusosaamista ja ymmärrystä mekaniikkasuunnittelusta, mallinnusohjelmista, mittauksesta, erilaisista materiaaleista ja valmistusmenetelmistä.

2 Jigin valmistus ja suunnitteluprosessi

Prosessikaaviossa on esitetty tyypillinen mittausjigin hankinta- ja suunnitteluprosessi (kuva 1).



Kuva 1. Mittausjigin hankinta- ja suunnitteluprosessin prosessikaavio

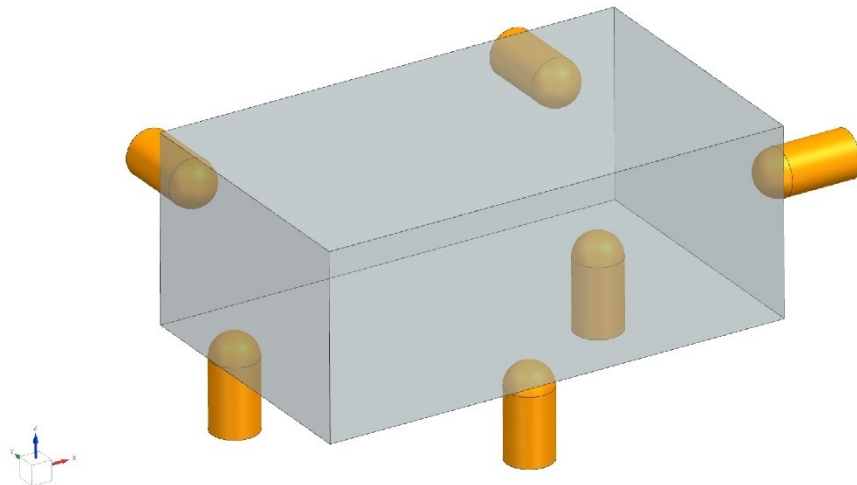
3 Mittausjigin perusrakenne

Mittausjigi koostuu neljästä osakokonaisuudesta:

- vasteet
- tuet, tarvittaessa
- kiinnittimet
- runko
- pohjalevy

3.1 Vasteet

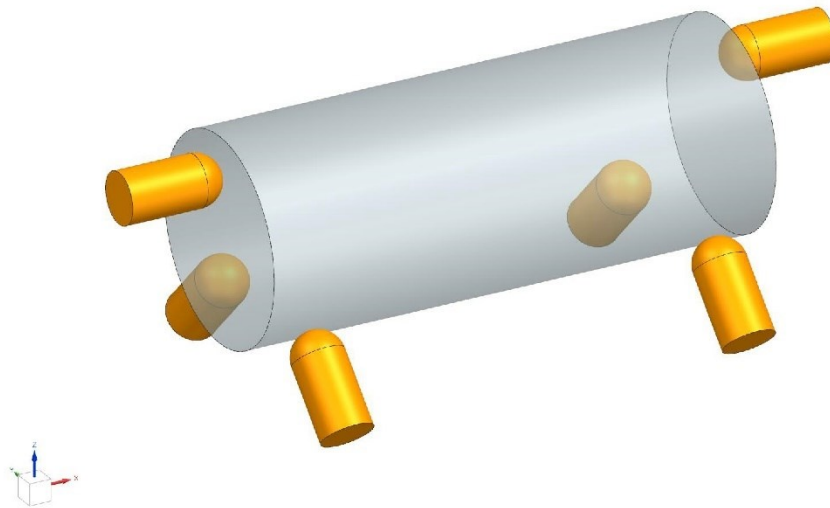
Vasteiden suunnittelussa pyritään 3-2-1-periaatteeseen (kuva 2). Paitsi sylinterimäisten kappaleiden osalta pyritään 4-1-1 periaatteeseen. 3-2-1-periaatteen mukaan kappale tuetaan kuuden, mielellään pistemäisen, vasteen avulla paikoilleen siten, että sen kaikki kuusi vapausastetta ovat lukittuina.



Kuva 2. Vasteet ovat sijoitettuna 3-2-1-periaatteen mukaisesti siten, että ensimmäisellä sivulla niitä on kolme, toisella kaksi, ja kolmannella yksi.

Näiden kuuden pistemäisen tuen ja niiden muodostamien kolmen peruselementin avulla saadaan lukittua kappaleen kaikki 6 vapausastetta x-, y-, ja z-akselien suunnassa ja niiden ympäri. Lyhyesti sanottuna vasteiden avulla lukitaan kappale paikoilleen ja saadaan asettumaan aina samaan asentoon.

Sylinterimäisten kappaleiden kiinnityksessä pyritään 4-1-1-periaatteeseen, minkä pääajatus on sama kuin 3-2-1-periaatteessa eli lukita kaikki kappaleen vapausasteet hallitusti. Vasteet sijoitetaan kuvan 3 mukaisesti. Toisen päätyvasteen tulee kohdistaa puristusvoima kappaleeseen, jolloin saadaan lukittua myös kappaleen pyöriminen kitkan avulla.



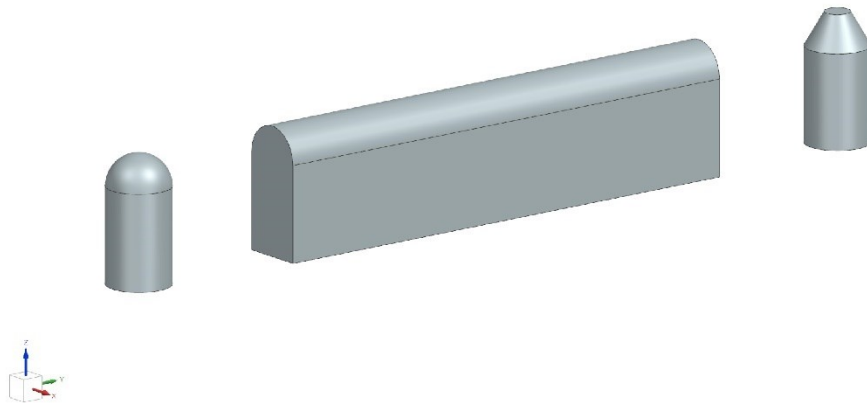
Kuva 3. Vasteet sijoitettuna 4-1-1-periaatteen mukaisesti.

3-2-1-periaatteen tarkoituksena on asemoida ja lukita kappale paikoilleen aina samaan asentoon helposti ja varmasti. Jos vasteiden määrää lisätään kuudesta, kappale voi asettua siinä väistämättömästi esiintyvien muoto- ja dimensiovaihteluiden takia eri asentoihin eri asetuskertojen välillä tai mahdollisesti liikkua mittauksen aikana tukeutuen eri vasteisiin mittauksen eri vaiheissa, siihen kohdistuvien voimien muuttumisen takia.

Mikäli vasteiden määrää vähennetään kuudesta, ei kappale enää tukeudu paikoilleen kaikkien vapausasteiden suhteen.

Vasteiden ja kappaleen välisten kontaktipintojen tulee olla mahdollisimman pienet (kuva 4). Paras tapa toteuttaa tämä on käyttää pallomaista vasteen kontaktipintaa, jolloin kontakti on pistemäinen. Pistemäiset vasteet varmistavat jiggin toiminnan parhaiten mitattavien kappaleiden dimensioiden ja muotojen vaihdellessa. Pistemäisten vasteiden jälkeen seuraavaksi suositelluin vaihtoehto on viivamaiset vasteet. Mahdollisimman pieni vasteen pinta-ala takaa paremman toimivuuden 3-2-1-periaatteelle. Minimoidulla vasteiden pinta-alan kappaleet tukeutuvat valmistuksellisista muoto- ja dimensiovaihteluista huolimatta mahdollisimman tarkasti vasteen samaan pisteeseen. Tämä puolestaan minimoi mitattavan kappaleen muoto ja -dimensiovaihtelusta aiheutuvan vaikutuksen jiggin tarkkuuteen.

Jos tarvitaan lisätukea esimerkiksi kappaleen ollessa pehmeä tai joustava voidaan harkita esimerkiksi katkaistun kartion muotoisia vasteita.



Kuva 4. Esimerkit pistemäisestä, viivamaisesta ja katkaistun kartion mallisesta vasteesta.

3.2 Tuet

Tukia voidaan tarvittaessa lisätä kappaleen geometrian ja materiaalin sitä vaatiessa tai mikäli mittausta varten on määritelty halutunlainen asento tai esijännitys kappaleen tietyille osalle.

Kappale voi olla ohutseinämäisyytensä ja pehmeän materiaali vuoksi joiltain osin niin joustava, että se vaatii lisätukea pysyäkseen muotoaan muuttamattomana ja tietyssä asennossa.

3.3 Kiinnittimet

Kiinnittimien avulla kappale saadaan pysymään vasteita vasten ja paikoillaan. Kiinnittimien kannattaa olla jousikuormitteisia tai joustavia, jotta mitattavan kappaleen dimensio- ja muotovaihtelut saadaan hallittua.

Kiinnittimet tulee pyrkiä sijoittamaan vasteiden kohdalle kappaleen vastapuolelle, jotta kappaleen muovautuminen olisi mahdollisimman vähäistä kiinnittimien voimien aiheuttaman kappaleen taipumisen takia.

Force closuren tulee täytyä eli: "Vasteet ja tuet yhdessä varmistavat kappaleen paikoillaan pysymisen siten, että huolimatta kappaleeseen kohdistuvan ulkoisen voiman suunnasta kokonaisvoima kohdistuu suoraan vasteisiin tai kiinnittimiin."

Kiinnittimiä ei tarvitse välttämättä olla jokaisella vasteiden vastasivulla, vaan kappaletta voidaan pitää paikoillaan myös kitkan avulla, esimerkkinä tappijigit, Cartridgebody ja Caplid -jigit.

3.4 Runko

Jigin runko yhdistää muut osakokonaisuudet yhdeksi kokonaisuudeksi, jigiksi. Kaikkien osien esimerkiksi vasteiden ja tukien ei tarvitse olla irrallisia osia, vaan ne voidaan valmistaa kiinteäksi osaksi runkoa tilateen salliessa.

3.5 Pohjalevy

Jigikokoonpanoon kuuluu yleensä pohjalevy, "jigiraina," johon yksittäiset jigit kiinnitetään ryhmäksi niiden liikuttelun ja asemoinnin helpottamiseksi.

4 Suunnitteluprosessin alussa tarvittava informaatio

Alle on listattu jigisuunnittelun alussa tarvittavaa informaatiota.

- Mitattavat dimensiot ja mittapositionit
- Käytettävät mittausmenetelmät
 - o Koskettava koordinaattimittaus
 - o Optinen koordinaattimittaus
- Kappaleen asento ja orientaatio mittausta varten
- Jigin tilaaja
- Tehdäänkö prototyyppi
- Jigin pesämäärä, kerralla mitattavien kappaleiden määrä
- Kiireellisyys ja aikataulu
- Budjetti
- Mitattavan kappaleen tuotepiirustukset
 - o Versionumero
- Mitattavan kappaleen 3D-malli
 - o Versionumero
- Fyysinen mitattava kappale, mikäli mahdollista

- Kappaleen materiaalitiedot
- Tarvitaanko samalle kappaleelle useampia erilaisia jigejä?

5 Jigisuunnittelu

Tässä osassa käydään läpi mittausjigisuunnittelu eri osakokonaisuuksien osalta.

5.1 Vasteet

Suunnittele ensimmäiseksi vasteet.

Käytä vasteiden suunnittelun perusajatuksena 3-2-1-periaatetta.

Vältä ylimääräisiä vasteita.

Sijoita tukipisteet kauas toisistaan lisätäksesi jigin vakautta.

Huomio Besselin pisteet varsinkin joustavilla ja pitkillä palkkimaisilla kappaleilla.

- Besselin pisteet ovat $0,22 \cdot L$ (L =kappaleen pituus) kappaleen molemmista päistä. Tukemalla kappale Besselin pisteistä minimoidaan painovoiman vaikutuksesta aiheutuva taipuma.

Minimoi vasteiden kosketuspinta-ala. Pyri pistemäiseen kosketukseen.

- Pallomainen vasteen pää
- Viivamainen vaste
- Mikäli tarvitaan lisätukea, voidaan käyttää myös katkaistun kartion muotoista vastetta, esimerkiksi jos kappale on pehmeää materiaalia.

5.2 Tuet

Mikäli kappale vaatii joustavuutensa tai pehmeytensä takia lisätukea vasteiden lisäksi, suunnittele seuraavaksi vasteet.

Pidä tukien lukumäärä ja pinta-ala mahdollisimman pienenä, jotta jigi noudattaisi mahdollisimman hyvin 3-2-1-periaatetta.

Huomioi tukia suunnitellessa Besselin pisteet.

Huomioi tukien heikentävä vaikutus 3-2-1-periaatteen toimintaan.

5.3 Kiinnittimet

Suunnittele seuraavaksi kiinnittimet.

Sijoita kiinnittimet mielellään kappaleen vastapuolelle vasteiden kohdalle minimoidaksesi kappaleen vääristymisen.

Tarvittavien kiinnittimien määrä riippuu kappaleen muodosta ja vasteiden sijainnista

Suunnittele kiinnittimet siten, että kappale kestää paikoillaan myös siihen kohdistuvien ulkoisten voimien vaikutuksesta huolimatta, ja niin että *force closure* toteutuu.

Huomioi vasteiden suunnittelussa kappaleen valmistustoleranssit.

Jigin tulisi toimia koko toleranssialueella ja vähintään +/-10 % toleranssialueesta sen ulkopuolella.

Validointia varten ei aina ole valmistusteknisistä syistä johtuen saatavilla mitattavia kappaleita, jotka edustaisivat koko toleranssialuetta +/- 10 %, joten jigin toimivuus mainitulla alueella tulee huomioida suunnitteluvaiheessa. Kappaleen dimensioiden aiheuttamia riskejä suhteessa mittausjigin toimintaan tulee arvioida.

Edellisten seikkojen takia kiinnittimien kannattaa olla jousitoimisia

Optimoi kiinnittimien puristusvoima siten, että kappale ei pääse liikkumaan, muttei myöskään vääristymään voiman vaikutuksesta.

Jousina voi käyttää esimerkiksi puristus- tai vetojousia, lattajousia, jousilankaa tai koneistettuja muotoja.

Esimerkkejä käytetyistä jousista:

Käytettyjen lattajousten paksuus vaihtelee paksuimpien ollessa 0,5 mm paksuja. Cartridge bodyn jigissä on käytetty *Misumilta* tilattuja taivutettuja lattajousia paksuudeltaan 0,3 mm ja 0,5 mm. Joista ohuimmat puristavat ylhäältä päin ja paksummat sivulta päin.

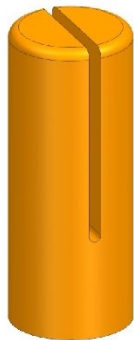
Jupiterin Cap Lidn jigissä on käytetty *Lesjöfors* 1304 puristusjousia. Langan paksuus on näissä 0,75 mm. Esijännitys/esipuristus on 2 mm, mikä aiheuttaa noin 8 N voiman. Jousen koko pituus on 15 mm ja jousivakio (k) $R=2$ N/mm.

Jupiterin Capin jigissä on käytetty *Lesjöfors* 1290 puristusjousia, joiden jousivakio on (k) $R=5$ N/mm. Jousien jousilangan paksuus on 0,75 mm ja pituus 10 mm.

Varmista, kappale on helppo asettaa paikoilleen jigiin, esimerkiksi jousien alle. Huomioi kiinnittimien muoto ja reunojen viisteet tai pyöristykset siten, kappale on helppo liu'uttaa tai asettaa kiinnittimien alle, kuten esimerkiksi Cartridgebodyn jigissä.

5.4 Tappijigi

Tapin mallinen jigi on toimiva vaihtoehto, kun kiinnitettävä kappale on lieriömäinen ja mahdollista kiinnittää sisäpuolelta. Tappijigin perusrakenne on tappi, joka on osalta matkalta halkaistu pituussuunnassa (kuva 5). Halkaisu tapahtuu usein lankasahalla.



Kuva 5. Tappijigin perusrakenne.

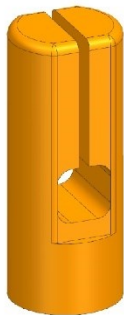
Halkaistu tappi toimii jousen tavoin puristuessaan kasaan, kun sen ympärille asetetaan lieriömäinen kappale. Jotta tapin käyttäytyminen saadaan hallitummaksi ja jousivoimat säädettyä sopiviksi, tehdään halkion pohjalle kevennykset joustaviin osiin (kuva 6). Kevennyks voidaan tehdä myös jigien ulkopintaan. Näin menetellessä suurin osa taipumasta

ja joustosta tapahtuu kevennetyllä osalla, ja voidaan laskennassa olettaa loppuosan joustavasta osasta pysyvän likimain suorana.



Kuva 6. Jousto-osan kevennys.

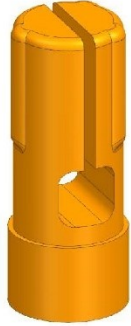
Tapin poikkileikkaus ei voi olla toiminnalliselta osaltaan pyöreä, sillä silloin tappi pyrkii leikkautumaan kappaleeseen, ja jotta jigi voisi toimia, jouston ja puristuman tulisi olla huomattavan suuria. Ongelmaa voidaan lieventää tekemällä kevennykset tapin sivuille kuvan mukaan (kuva 7).



Kuva 7. Kontaktipintojen kevennykset.

Parempi ratkaisu on tehdä tapin poikkileikkauksesta mitattavan kappaleen kanssa kontaktissa olevalta osalta kolmi- tai nelisakarainen (kuva 8) riippuen kappaleen geometriasta ja esimerkiksi rivoituksesta. Näistä vaihtoehdoista kolmisakarainen noudattaa paremmin 3-2-1-periaatetta tai 4-1-1-periaatetta. Sakarallisten tappien avulla

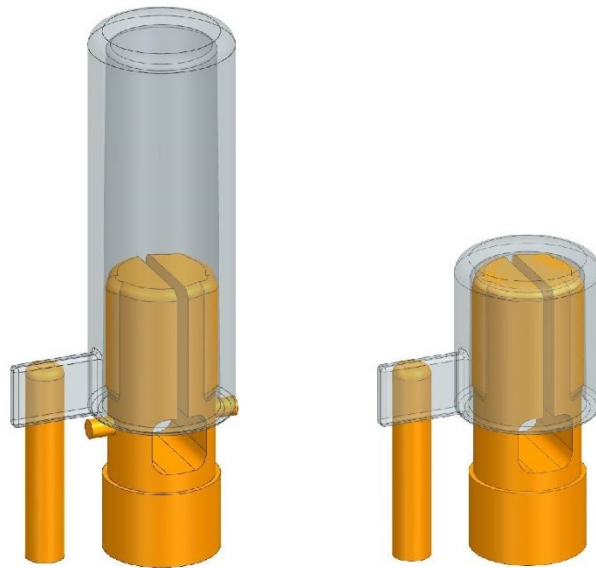
saadaan paremmin haltuun jigien ja kappaleen väliset kosketuspinnat sekä optimoitua tapin puristuminen ja jousto. Poikkileikkauksen muotoa muuttamalla saadaan kontaktikohtaa siirrettyä ympyrän kaarella.



Kuva 8. Kontaktipintojen hallinta tapin poikkileikkausta muuttamalla.

Mikäli kappaleen geometria vaatii, voidaan tappiin lisätä negatiivinen päästökulma, siten että tappi levenee halkaistua yläpäästä kohden. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi osan sisäpuolen päästön ollessa hyvin pieni tai, jos sisäpuolella ei ole päästöä ollenkaan.

Tappijigeissä tarvitaan kappaleen asemointiin lisäksi vasteet pituussuuntaisen liikkeen ja kiertoliikkeen hallitsemiseksi. Pituussuuntaisen liikkeen hallinta voidaan toteuttaa yleensä yhdellä tai kahdella vasteella (kuva 9), tai siten että kappale pohjaa jigien päähän (kuva 10). Kahden vasteen käyttö ehkäisee keikkumista. Kiertoliikkeen hallintaan riittää yleensä yksi vastinpinta kappaleen ulkopinnalla, jota vasten kappale kierretään (kuvat 9 ja 10).



Kuvat 9 ja 10. Kiertoliikkeen ja pituussuuntaisen liikkeen hallinta.

Hyväksi havaittu materiaali tappijien toteutukseen on Ramax HH (Uddeholm) tai vastaava. Ramaxin ominaisuudet sopivat käyttötarkoitukseen sen ollessa luja, sitkeä ja korroosion kestävä nuorrutusteräs. Korroosionkestävyyden takia se ei tarvitse pintakäsittelyä. Ramax on jousto-ominaisuuksiensa puolesta hyväksi havaittu materiaali.

5.5 Runko

Suunnittele seuraavaksi jigin runko.

Suunnittele jigin runko siten, että se yhdistää muut osakokonaisuudet yhdeksi kokonaisuudeksi.

-Esimerkiksi vasteet ja tuet voivat olla kiinteä osa runkoa.

Suunnittele runkoon kiinnitysolake, joka käy jigirainaan.

5.6 Pohjalevy

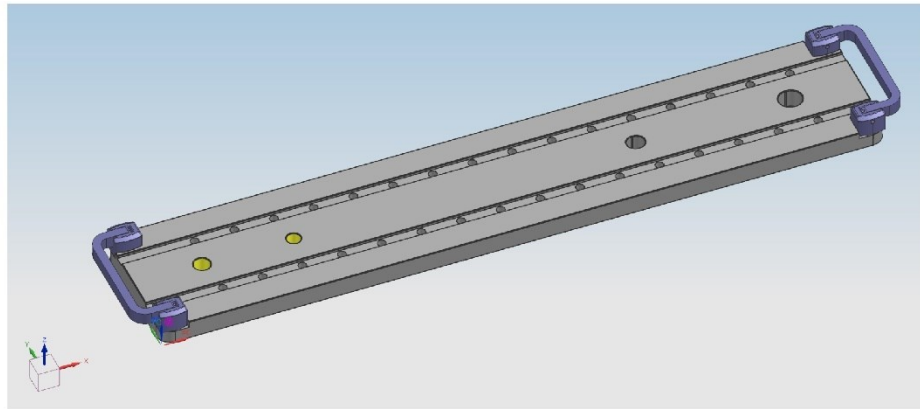
Pohjalevy on valmiiksi standardoitu.

Hyödynnä pohjalevyn suunnittelussa olemassa olevia pohjalevyjä (Kuva 11).

Pohjalevyt on toteutettu siten, että siinä on ura, johon jigissä oleva olake sopii. Jigi kiinnitetään paikoilleen kuusiokoloruuvilla alhaaltapäin.

Mittauskoneen pöydässä on kaksi erikoisista tapeista koostuvaa tappiriviä, ja pohjalevyissä niitä vastaavat reiät. Toinen rei'istä on ovaalin mallinen olemassa olevien piirustusten mukaan.

Pohjalevyyn lisätään kahvat tarpeen mukaan. Kahvojen malli voi vaihdella pohjalevyn käytön mukaan.



Kuva 11. Pohjalevy kahvoineen.

6 Muuta huomioitavaa

Varmista, että mittaaminen on mahdollista eikä jigien geometria estä sitä.

Suunnittele tarvittaessa väistöt mittauskärjen liikkeitä varten.

-jo mittakärkeä 0,2 mm suurempi väistö voi riittää.

Tarkista jigien ulkomitat, jigien tulee mahtua niille varatulle tilaan.

7 Pikaohje / muistilista

Toiminnallisuus

- Toimivuus kappaleen toleranssialueella ja +/- 10 % myös sen ulkopuolella, jotta myös huonot kappaleet pystytään mittaamaan luotettavasti.
- Riskien tunnistus jigien toiminnan ja toimintavarmuuden suhteen
- Kiinnittimien toiminta
- Säädettävyyden, tarvittaessa
- Huollettavuus

Rakenne

- Vasteet
- 3-2-1-periaate
- Vasteiden kosketuspinta-ala minimoitu, pistemäinen tai viivamainen kosketus
- Tuet, tarvittaessa
- Kiinnittimet
- Kiinnittimet jousikuormitteisia
- Kiinnitysvoimat optimoitu
- Runko
- Väistöt mittakärkeä varten
- Jousivoimat
- Materiaalit
- Pintakäsittely

- Lämpökäsittely, tarvittaessa
- Viisteet tarvittavissa paikoissa
- Pyöritykset tarvittavissa paikoissa
- Valmistettavuus
- Mittauksen suunnat, kappaleen tulisi olla kiinnitetty mittaussuuntaa vastaan
- Pesien lukumäärä
- Pohjalevy
- Kahvat pohjalevyyn

Käyttö

- Käyttäjäturvallisuus
- Liikuteltavuus
- Helppokäyttöisyys
- Nopeakäyttöisyys
- Jigin oikea käyttötapa kirjattu

Dokumentointi

- Jiginumero, kalibroinnista
- Osapiirustukset
- Osaluettelo
- Kokoonpanopiirustus
- Huomautukset
- Ovaalimitat, tarkastettavat mitat
- Toleranssit, mitattavan kappaleen ja jigin valmistukselle määrätyt toleranssit ja näiden yhteisvaikutus
- Materiaalit
- Pesien lukumäärä

Mittauskone

- Jigin kiinnitys mittauskoneeseen
- Jigin koko sopiva mittauskoneeseen
- Mitattavat osat mittausalueella
- Pohjalevy (jigiraina)
- Kappale mittakärjen saavutettavissa

8 Prototyypivaiheen yleisimmät ongelmat

Yleisimpiä ongelmia prototyypivaiheessa		
Ongelma/virhe	Syy	Ratkaisuehdotus
Syntyy vuoluja	Teräviä kulmia ei ole pyöristetty tai viistetty. Kappale asetu jigiin liian tiukasti.	Pyöristä tai viistä kulmat. Pienennä jousivoimia tarvittaessa.
Kappale heikkuu ja heiluu	Tukipisteitä on liikaa tai liian vähän, tai vasteiden pinta-alaa ei ole minimoitu esim. tasoa käytetään tukipintana.	Tarkista tukipisteiden määrä, onko 3-2-1-periaatetta noudatettu. Ylimääräiset tai puuttuvat tukipisteet aiheuttavat yleensä kappaleen heilumisen ja vaihtoehtoiset asennot.
Kappale ei asetu aina samalla tavalla	Tukipisteitä on liikaa tai liian vähän, tai vasteiden pinta-alaa ei ole minimoitu.	Tarkista tukipisteiden määrä, onko 3-2-1-periaatetta noudatettu. Ylimääräiset tai puuttuvat tukipisteet aiheuttavat yleensä kappaleen heilumisen ja vaihtoehtoiset asennot.
Kappale liikkuu tai liukuu jigissä	Kiinnittimien voimat ovat liian pienet. Kiinnittimet on sijoitettu huonosti.	Optimoi kiinnittimien voimat, tämä on tärkeää varsinkin kitkavoimaan perustuvissa jigeissä. Tarkista kiinnittimien sijainnit.
Kappale heiluu pystyssä olevassa tappijigissä vaaka-akselinsa ympäri	Jousiosien tyviin ei ole tehty kevennyksiä. Pystysuunnan vasteet puuttuvat tai niitä on vain yksi. Kappaleessa ei ole päästöä sisäpuolella tai se on hyvin pieni.	Tee kevennykset jousiosien tyveen. Lisää tarvittaessa pystysuunnan vasteita niin, kappale tukeentuu kahteen vasteeseen. Lisää jigitappiin negatiivinen viiste, siten että se levenee kärkeään kohden.
Kappale pyörii tappijigissä pituusakselinsa ympäri.	Jigin jousivoima ei ole tarpeeksi suuri.	Optimoi jousivoimaa muuttamalla jousiosien geometriaa.
Kappale ei asetu tappijigissä samaan asentoon pituussuuntaisen pyörimisakselin suhteen	Vaste pyörimisen suhteen puuttuu.	Lisää pyörimisen lukitseva vaste.
Kappale vääristyy kiinnittimien vaikutuksesta	Kiinnittimien sijainti ei ole kappaleen vastapuolella vasteiden kohdalla. Kiinnittimien voimat ovat liian suuret.	Säädi kiinnittimien sijaintia. Säädi kiinnittimien voimia.
Kappale ei asetu kunnolla tappijigiin	Tapin poikkileikkauksen geometria ei ole sopiva.	Muuta poikkileikkauksen geometriaa siten, että syntyy kolme tai neljä viivamaista vastetta.
Jigi on vaikeakäyttöinen	Jigin rakenne on monimutkainen. Siinä on käsin liikuteltavia osia.	Yksinkertaista jigin rakennetta. Käytä kappaleen kiinnityksessä jousikuormitteista kiinnitystä mahdollisuuksien mukaan.
Jigi on hidas käyttää	Jigin rakenne on monimutkainen. Siinä on käsin liikuteltavia osia.	Yksinkertaista jigin rakennetta. Käytä kappaleen kiinnityksessä jousikuormitteista kiinnitystä mahdollisuuksien mukaan.
Kappale on mahdollista asettaa väärinpäin		Suunnittele kappaleen väärin asettamisen estävät esteet tai anna selvä ohjeistus jigin käytöstä mikäli tämä ei ole mahdollista.
Jigi ei toimi. Jigi ei toimi kappaleen toleranssialueen eri ääripäissä ja niiden ulkopuolella.	Kappaleen dimensioiden vaihtelua ei ole huomioitu suunnittelussa. Valmistustoleranssit heittelevät suunnittelun tai valmistuksen puolella.	Tarkista vaaditut valmistustoleranssit ja täytyvätkö ne. Säädi toleransseja tarvittaessa. Huomioi kappaleen dimensiovaihtelut, ja ota ne haltuun esimerkiksi jousitoimisilla kiinnittimillä.

9 Liite

Tappijigilaskuri