

Kierteityskoneen kehittäminen

Tero Majoinen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Majoinen, Tero	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 136	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kierteituskoneen kehittäminen		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Matilainen Jorma, Kivistö Hannu		
Toimeksiantaja(t) PDR Engineering, Soronen Pertti		
<p>Tiivistelmä</p> <p>PDR Engineering yrityksessä havaittiin tarve säädettävällä pyörimisnopeudella varustetulle kierteituskoneelle oman tuotannon käyttöön. Alustavasti oli myös pohdittu laitteen tuoteistamismahdollisuuksia. Toimeksiantaja, PDR Engineering, on suunnittelutoimisto, joka tekee pääasiassa alihankintasuunnittelua ja jolla on omaa pientuotantoa ja prototyyppivalmistusta Jyväskylän seudulla.</p> <p>Tavoitteena oli kehittää toimeksiannon mukaisen laitteen mekaaninen osuus. Päätehtävä jaettiin neljään eri kehittämistehtävään, joiden avulla tavoite saavutettiin. Kehittämistehtävät olivat: kartoittaa markkinoilla olevat laitteet, tutkia niissä käytettyjä rakenneratkaisuja, kartoittaa ja tutustua alumiiniprofiilijärjestelmiin ja kehittää laitteen prototyyppi.</p> <p>Suunnittelutyössä käytettiin systemaattisen suunnittelun menetelmää. Menetelmässä suunnittelutyö pilkottiin pienempiin osakokonaisuuksiin ja työlle asetettiin osa- ja kokonaistavoitteet. Työ eteni neljän eri päävaiheen kautta ja jokaisen vaiheen välillä tapahtui arviointi, jossa tuloksia verrattiin tavoitteisiin. Arviointia seurasi päätöksenteko, jossa päätettiin tuloksien siirtämisestä seuraavaan vaiheeseen, lopettamisesta tai palauttamisesta aikaisempaan vaiheeseen. Suunnittelutyötä ohjasi koneturvallisuuden osalta vallitseva lainsäädäntö, konedirektiivi ja yhdenmukaistetut standardit.</p> <p>Tuloksena kehitettiin, mekaanisen suunnittelun osalta, toimeksiannon vaatimuksia vastaava kierteituskoneen prototyyppi. Prototyypin suunnittelu on toteutettu konedirektiivin sekä yhdenmukaistettujen standardien mukaisesti. Suunnittelulle laitteelle tehtiin riskinarviointi, mutta käyttöohjeiden valmistaminen oli rajattu tehtävän ulkopuolelle.</p>		
<p>Avainsanat (asiasanat) Kierteitys, tuotekehitys, systemaattinen suunnittelu, koneturvallisuus</p>		
<p>Muut tiedot Liitteissä 2 ja 5-11 on esitetty yrityksen liikesalaisuuksiin liittyviä tietoja sekä teknologista tai muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia (kohta 21). Nämä liitteet ovat sen vuoksi jouduttu poistamaan perustuen lakiin (621/1999) 24§ kohdat 20 ja 21.</p>		

Author(s) Majoinen, Tero	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 136	Permission for web publication: x
Title of publication Developing a tapping machine		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Matilainen Jorma, Kivistö Hannu		
Assigned by PDR Engineering, Pertti Soronen		
Abstract <p>The assignor PDR Engineering, had discovered a need for a tapping machine with adjustable speed of rotation. In addition, the potential possibility of producing this type of equipment was considered. PDR Engineering provides engineering services, small scale production and prototype manufacturing.</p> <p>The aim of the work was to develop the mechanical structure of the equipment based on the assignor's assignment. The main task was divided into four different development task which assisted achieving the main goal of the work. The development tasks were: researching the availability of the same type of equipment on the markets, studying their structural variations, researching the availability of aluminium profile systems and developing prototype.</p> <p>Systematic engineering method was used in engineering the design. In this method, the designing process was separated into smaller parts and partial and general goals were set for work. The work progressed through four different main phases and between every phase the results of the work were evaluated. Based on the evaluation, the decisions between proceeding to the next step, returning to the previous step or canceling the current direction of design was made. The engineering design was guided by the national laws, EU machinery directive and harmonised standards concerning machine safety.</p> <p>A prototype of a tapping machine which fulfilled the requirements of the assignment on mechanical engineering was developed as a result of this work. The prototype was designed according to EU machinery directive and harmonised standards. A risk assessment for the developed equipment was made but a producing instruction manual was not included in the assignment.</p>		
Keywords/tags (subjects) Tapping, product development, systematic engineering, machine safety		
Miscellaneous The attachments 2 and 5-11 has been set confidential as those include company's business secrets as well technological and other development work (section 21). These attachments has been removed based on the legal clauses (621/1999) 24§ sections 20 and 21.		

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Kehittämistutkimuksen lähtökohdat.....	5
	2.1 Aihe ja aiheen rajausta	7
	2.2 Tavoitteet	7
	2.3 Kehittämistehtävät.....	7
	2.4 Toimeksiantaja - PDR engineering	8
3	Tuotekehitystoiminta	8
4	Systemaattinen suunnittelu	10
	4.1 Tehtävänannon selkeyttäminen.....	12
	4.2 Luonnostelu	13
	4.3 Kehittely.....	13
	4.4 Viimeistely	14
5	Koneturvallisuus.....	14
	5.1 Standardit	15
	5.2 Riskin arviointi ja pienentäminen.....	17
	5.3 Ergonomia	23
	5.4 Informaatioergonomia	24
6	Katsaus markkinoilla oleviin laitteisiin	25
7	Suunnittelutyö.....	28
	7.1 Vaatimusmäärittely	28
	7.2 Luonnostelu	29
	7.3 Alumiiniprofiilijärjestelmä	31
	7.4 Rakenteen suunnittelu	32
	7.5 Riskinarviointi	37
	7.6 Viimeistely	39
	7.7 Käyttöliittymäsuunnittelu	40
	Työn tulosten esittely.....	41

8	Pohdinta ja jatkotoimenpiteet	43
	Lähteet.....	46
	Liitteet	48
	Liite 1. Vaatimuslista	48
	Liite 2. Tuoterakenne	49
	Liite 3. Työssä käytetyt standardit	50
	Liite 4. Riskinarviointi	51
	Liite 5. Valmistuskuvat	56
	Liite 6. Alumiiniprofilirungon tuotetiedot	57
	Liite 7. Rakenteen lujuustarkastelu	58
	Liite 8. Komponenttien valinta	59
	Liite 9. Käyttöliittymän ensimmäinen luonnos	60
	Liite 10. Lopullinen käyttöliittymä	61
	Liite 11. Lastuamisparametritaulukot.....	62

Kuviot

Kuvio 1. Tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2012, 14, muokattu)	9
Kuvio 2. Suunnitteluprosessi (Pahl & Beitz 1990, 48, muokattu)	11
Kuvio 3. VDI-2221 suunnitteluohjeistuksen mukainen vaiheistus (Jänsch & Birkhofer 2006, 49, muokattu)	12
Kuvio 4. Standardityyppien hierarkia (Siirilä & Tytykoski 2016, 91, muokattu)	15
Kuvio 5. Standardien rooli konedirektiiviä sovellettaessa (SFS ry. n.d, 4)	16
Kuvio 6. Riskin pienentämispöytäselityksen kolmen askeleen menetelmä. (SFS-EN ISO 12100:2010, 30)	18
Kuvio 7. Standardien käytön vaikutukset riskinarviointiprosessiin. (Siirilä 2008b, 84)21	
Kuvio 8. Riskin pienentämispöytäselitys suunnittelijan näkökulmasta. (SFS-EN ISO 12100, 32).....	22
Kuvio 9. Powertools SL1200 (http://www.linnatrade.fi)	26
Kuvio 10. Powertools Junior (http://www.linnatrade.fi)	26
Kuvio 11. D-BD sarjan kierteityskone (http://www.rencol-automation.co.uk).....	27
Kuvio 12. EMT 32 Kierteityskone. (http://www.tapping-arm.eu)	28
Kuvio 13. Ratkaisuehdotus vaakapuomilla	29
Kuvio 14. Ratkaisuehdotus suoravientimekanismilla	30
Kuvio 15. Ratkaisuehdotus vinolla kääntövarrella	31
Kuvio 16. Runkorakenne	33
Kuvio 17. Rakenne ilman alennusvaihdetta	33
Kuvio 18. Ruuviliitoksilla toteutettu rakenne.....	34
Kuvio 19. Hitsattu ohutlevyrakenne.....	35
Kuvio 20. Saranan lukitus	36
Kuvio 21. Ohjainkahva.....	36
Kuvio 22. Mekanismi	37
Kuvio 23. Karasuoja	38
Kuvio 24. Saranan liikeradan rajoitin	39
Kuvio 25. Käyttöliittymän hierarkia.....	40
Kuvio 26. Valmis laite	42
Kuvio 27. Valmis laite säilytysjärjestelmällä varustettuna.....	42

Taulukot

Taulukko 1. Riskimatriisi (Siirilä 2008b, 108)	19
Taulukko 2. Riskitasot (Siirilä 2008b, 109)	20
Taulukko 3. Riskin aiheuttamat toimenpiteet (Siirilä 2008b, 109)	20

1 Johdanto

Opinnäytetyö toteutettiin PDR Engineering suunnittelutoimiston toimeksiannosta. Yrityksessä oli havaittu tarve säädettävällä kierrosnopeudella varustetulle kierteitys-koneelle, jota ei markkinoilta ollut saatavissa. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää yrityksen toimeksiantoa vastaava laite, mekaanisen suunnittelun osalta. Työssä tähdättiin suunnittelun osalta laitteen prototyypin valmistuskuviin asti. Työssä huomioitiin vallitseva lainsäädäntö ja koneturvallisuutta säätelevät asetukset ja konedirektiivi. Toimeksiantajan toiveesta laitteen rakenteen suunnittelussa käytettiin alumiini-profiilia, josta työn tekijällä ei ollut aikaisempaa suunnittelukokemusta. Tämä toi osaltaan lisähaasteita suunnittelutyöhön.

2 Kehittämistutkimuksen lähtökohdat

Opinnäytetyössä sovellettiin kehittämistutkimuksen menetelmää, joka on tutkimuksen tekemisessä suhteellisen vähän tunnettu ja nuori tutkimusmenetelmä. Kehittämistutkimusta alettiin kehittää 1990-luvun alkupuolella ja 2000 luvulle tultaessa tietoisuus alkoi levitä ja menetelmäosaaminen kasvaa. Kehittämistutkimusta on käytetty enemmän opetuksen ja oppimisen tutkimuksessa, mutta sitä voidaan hyödyntää minkä tahansa kehittämis- ja innovaatioprojektin tutkimusmenetelmänä. Kehittämistutkimusta pidetään hyvin joustavana ja monipuolisena tutkimusmenetelmänä. Menetelmän vahvuutena on, että tutkimuksessa syntyy käytännön tarpeeseen kehitetty konkreettinen tuotos ja myös teoriaa kehittämisprosessin ja kehitetyn tuotoksen olemuksesta. (Pernaa, 2013,7-8.)

Kehittämistutkimuksen tarkoituksena on kehittää toimivia käytäntöjä sekä työelämää edistävää luotettavaa tietoutta, joka pohjautuu tutkimukseen. Kehittämistutkimusta voidaan käyttää työelämässä palveluiden, tuotteiden, toimintojen tai prosessien kehittämisessä. Kohteena voidaan pitää mitä tahansa tilannetta, johon voidaan vaikuttaa. (Kananen, 2012, 20-21.)

Kehittämistutkimusta voidaan pitää syklisenä prosessina, jossa kehittäminen ja tutkimus yhdistyvät. Kehittämistutkimus ei ole itsenäinen tutkimusmenetelmä, vaan se on

joukko erilaisia tutkimusmenetelmiä, joita voidaan käyttää kehittämiskohteen ja tilanteen mukaan. Kehittämistutkimuksessa keskeistä on, että kehittäminen pohjautuu teoriaan ja tutkimuksella tuotetaan uutta tietoa käytännön työelämää varten. (Kananen 2012,19.)

Kehittämistutkimuksen menetelmän todettiin soveltuvan kehittämisenkohteena olevaan aihealueeseen, koska tarkoituksena oli parantaa työelämän konkreettisia toimintoja ratkaisemalla esiin nousseet ongelmat kehittämällä toimeksiantajan tarpeita vastaava tuote, joilla voidaan vastata paremmin asiakaskunnan tarpeisiin. Tarkoituksena ei ollut pyrkiä yleistämään vaan saamaan aikaan muutoksia ainoastaan kehittämisen kohteena olevaan ilmiöön. (Kananen 2012, 43.)

Kananen mukaan kehittämistutkimuksella pyritään muutokseen, ongelman poistamiseen tai parantumiseen eikä vain toteamaan ongelman syitä tai tuomalla esiin ratkaisuehdotusta. Ongelman poistamista ei voi pitää pelkkänä teknisenä toimenpiteenä, vaan kehittämisen kohteena oleva yritys on nähtävä kokonaisuutena, jossa kaikki vaikuttaa kaikkeen. Muutoksen onnistumisen edellytys on muutoksen johtamisen sekä muutoksessa olevien ihmisten huomioiminen. Kehittämistyön aikana toimitettiin tiiviissä yhteistyössä käytännön toimijoiden kanssa eli toimeksiantajan edustajien kanssa kehittämistutkimuksen eri vaiheissa, jonka avulla työelämän toimijoita pystyttiin osallistamaan muutokseen prosessin alusta loppuun saakka. (Kananen 2015, 13.)

Kehittämistutkimus lähti liikkeelle toimeksiantajan käytännön työssä havaitusta ongelmasta, johon pyrittiin kehittämistutkimuksen avulla löytämään ratkaisu. Kehittämistutkimuksessa tarve kehittämiselle alkaa aina käytäntöön tai teoriaan pohjautuvasta ongelmasta. Ongelma-analyysin tarkoituksena on selvittää kehittämisen tarpeet, haasteet sekä mahdollisuudet, joiden määrittämisen avulla kehittämisen tavoitteet selkiytyvät ja tutkimusta ohjaavan kehittämissuunnitelman laatiminen onnistuu. (Pernaa 2013, 17.)

Kehittämistutkimus rajattiin tarkoin, koska se haluttiin toteuttaa rajallisesta ajasta huolimatta laadukkaasti ja luotettavasti toimeksiantajan toiveita ja koneturvallisuutta noudattaen. Kehittämistutkimuksessa kohteen tarkka rajaaminen, aikataulutus ja käytettävissä olevien resurssien määrittäminen ovat eräänlaista projektisuunnitel-

man tekemistä, jolla muutos toteutetaan. Ajallinen rajaaminen helpottaa kehittämiss-prosessin läpiviemistä, mitä pitemmäksi aika pitenee ulkoisten tekijöiden vaikutus kasvaa. (Kananen 2012, 63.)

2.1 Aihe ja aiheen rajaus

Opinnäytetyön aiheena oli kierteityskoneen kehittäminen. Työ rajattiin sisältämään laitteen mekaanisen suunnittelun osalta laitteen rungon ja kevennin mekanismin suunnittelun. Työhön kuului lisäksi servomoottorin valinta ja käyttöliittymän suunnittelu. Laitteen kehitystyö toteutettiin CE-hyväksyntä huomioiden, mutta työssä tähdättiin aikataulullisista syistä vain prototyypin suunnitteluun. Laitteen käyttöohjeet rajattiin tämän työn ulkopuolelle. Kehittämistyöllä tuotettiin prototyypin valmistukseen tarvittavat työkuvat, mutta tuotantoon valmiiseen tuotteeseen ei pyritty opinnäytetyön rajallisen ajan takia.

2.2 Tavoitteet

Kehittämistyön tavoitteena oli kehittää toimeksiantajan vaatimuksia vastaava kierteityskoneen prototyyppi. Olennaisena osana työhön kuului koneturvallisuus, riskinarviointi ja konedirektiivin noudattaminen suunnittelutyössä.

2.3 Kehittämistehtävät

Päätavoite pyrittiin saavuttamaan kehittämistehtävien avulla. Kehittämistehtävien avulla pyrittiin löytämään vastauksia, joiden pohjalta päätavoite saavutetaan. Kehittämistehtävät olivat:

1. Kartoittaa onko olemassa vaatimuksia vastaavaa laitetta
2. Selvittää millaisia suunnitteluratkaisuja samankaltaisissa laitteissa on käytetty
3. Laitteen rakentamiseen soveltuvien alumiiniprofiilijärjestelmien kartoittaminen, vertailu ja valinta
4. Kierteityskoneen prototyypin suunnittelu, jolla vastataan toimeksiantajan vaatimuksiin ja joka on voimassa olevan lainsäädännön, konedirektiivin ja standardien mukainen

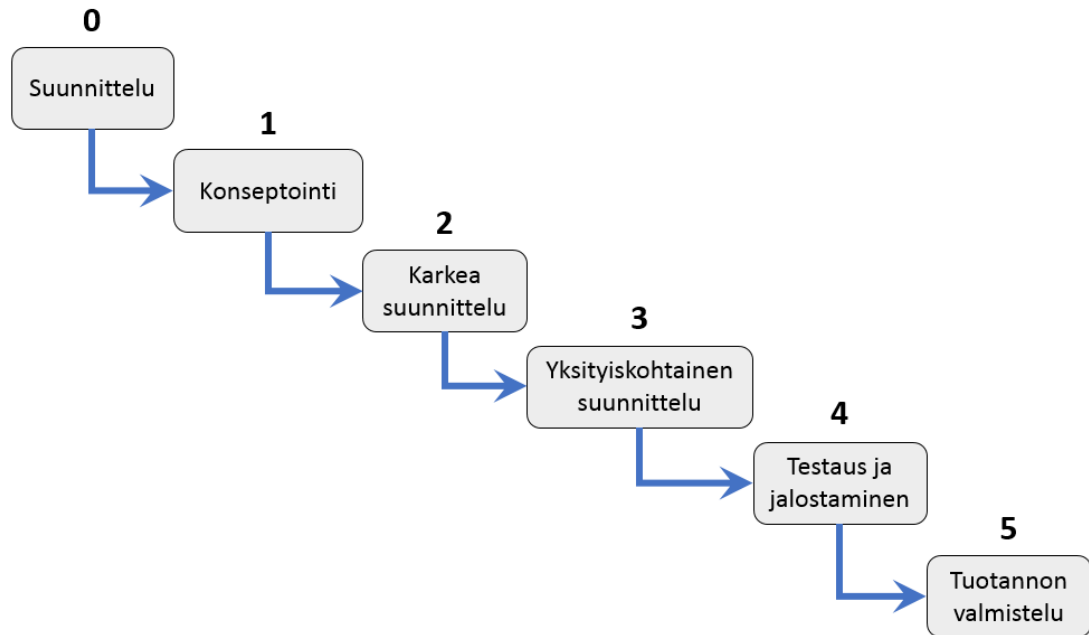
2.4 Toimeksiantaja - PDR engineering

Työn toimeksiantajana toimi PDR Engineering. Yritys on perustettu vuonna 2011 ja se toimii Jyväskylän seudulla. Yritys on pieni suunnittelutoimisto, joka on keskittynyt alihankintasuunnitteluun sisältäen muun muassa 3D-mekaniikkasuunnittelua, kone- ja laitesuunnittelua, teollisuusautomaatiota ja lujuustarkasteluja. Yritys myös kehittää omia prototyyppkejä ja tarjoaa pienessä mittakaavassa alihankintavalmistusta. Yritykselle on opinnäytetyön tekemisen aikaan valmistumassa uudet toimitilat, jotka mahdollistavat nykyisiä tiloja paremmin oman tuotannon, prototyyppien valmistuksen ja testaamisen.

3 Tuotekehitystoiminta

Tuotekehitys tähtää markkinoille uuden tai parannellun tuotteen kehittämiseen. Yrityksen menestymisen kannalta tuotekehitystoiminta on erittäin tärkeää ja siitä onkin jatkuvasti huolehdittava, koska tuotteella on aina rajallinen elinkaari. Kulutushyödykkeillä elinkaari on lyhyt verrattuna teollisuuden investointihyödykkeisiin. (Jokinen 2001, 9.)

Tuotekehitysprosessi on sarja toisiaan seuraavia toimintoja. Geneerisessä tuotekehitysprosessissa vaiheita on kuusi (ks. kuvio 1).



Kuvio 1. Tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2012, 14, muokattu)

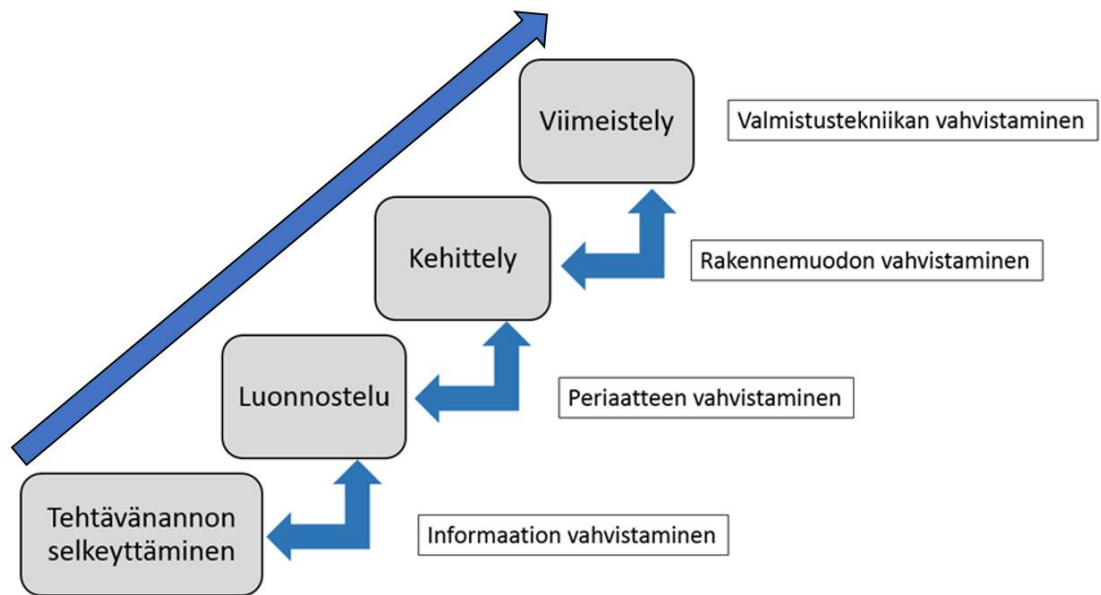
Prosessi alkaa nolla-vaiheella, jossa tunnistetaan markkinoilla ilmennyt tarve tai mahdollisuus. Vaiheessa yksi luodaan yksi tai useampi konsepti tuotteesta. Konsepti on määritelmä tuotteen muodosta, toiminnoista ja ominaisuuksista. Vaiheessa kaksi määritetään tuotteen kokoonpano, alijärjestelmät, komponentit ja avainkomponenttien alustavat suunnitelmat. Vaiheessa kolme määritetään lopulliset geometriat, käytettävät materiaalit ja toleranssit. Vaiheessa 4 testataan prototyyppjä ja arvioidaan niiden soveltuvuutta tuotantoon. Testausten ja arviointien pohjalta tehdään vielä viimeisiä muutoksia tuotteeseen. Viimeisessä vaiheessa valmistellaan tuotanto, joka sisältää tuotannon henkilökunnan harjaannuttamisen. Tuote tulisi suunnitella siten, että se on mahdollista ongelmitta valmistaa käytössä olevan tuotantojärjestelmän puitteissa ja mikäli valmistettavuuden suhteen on ongelmia, muutetaan tuotteen suunnittelua tai kehitetään tuotantojärjestelmää. Prosessi voidaan ajatella konseptin toteuttavan ratkaisukirjon tarkentamisena vaihe vaiheelta, kunnes tuotannon valmisteluvaiheeseen mentäessä ratkaisuvaihtoehtoja on enää yksi, tuote joka viedään markkinoille. (Ulrich & Eppinger 2012, 12-16.)

4 Systemaattinen suunnittelu

Systemaattinen suunnittelumenetelmä on kehitetty Saksassa 1970-luvulla. Menetelmän perustana on käytetty aikaisempia menetelmiä, joita on yhdistelty ja jatkokehitelty. Menetelmän tarkoituksena on ollut luoda systemaattinen työskentelymenetelmä puhtaasti intuitiivisen menetelmän rinnalle, sitä kuitenkin poissulkematta. Systemaattisessa suunnittelumenetelmässä ongelma pilkotaan osakokonaisuuksiin ja yksittäisten ongelmien ratkaisu intuitiivisesti on suotavaa. (Pahl & Beitz 1990, 17, 20, 34-35.)

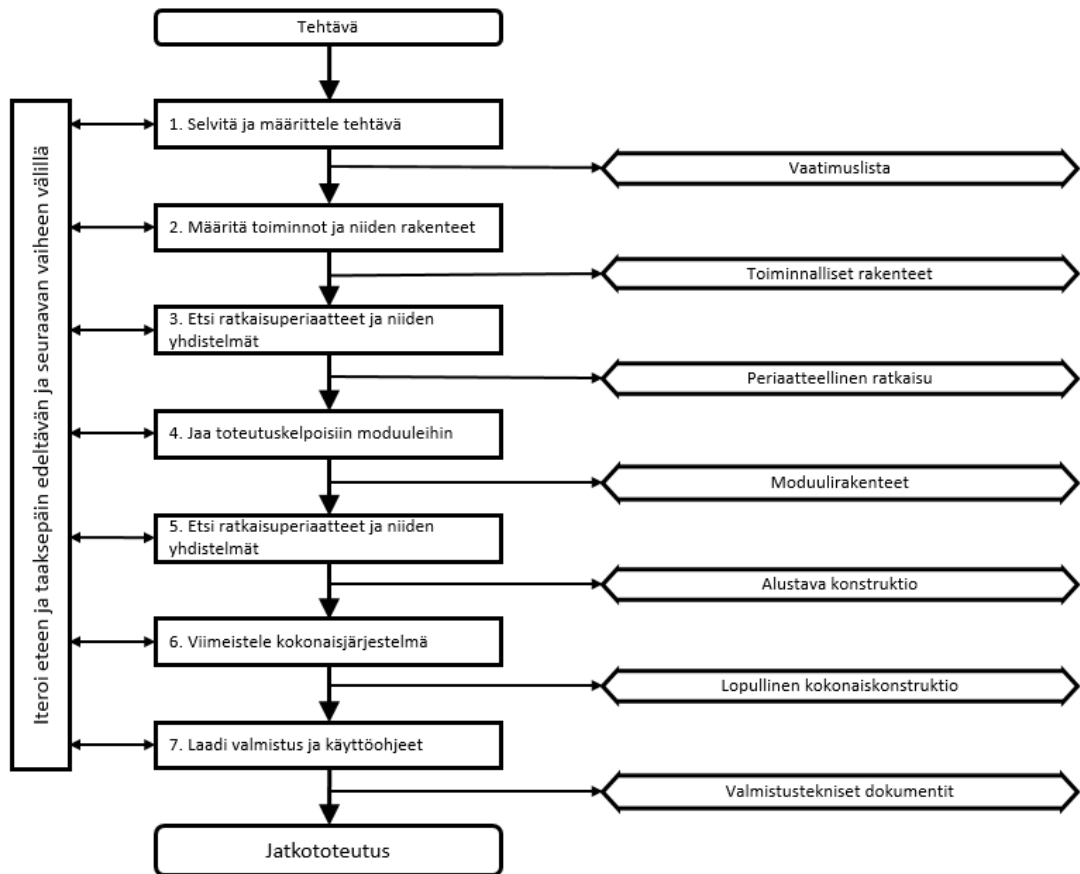
Systemaattisen suunnittelun yleinen työskentelymenetelmä edellyttää kokonais- ja osatavoitteiden sekä niiden merkityksellisyyden määrittämistä, alku- ja reunaehtojen selvittämistä, ratkaisuvaihtoehtojen ennakkoluulotonta etsimistä sekä niiden arviointia ja päätöksentekoa liittyen ratkaisuvaihtoehtojen jatkokäsittelyyn. (Mts. 34.)

Menetelmä etenee päävaiheiden (ks. kuvio 2) kautta ja jokaisen vaiheen välillä tapahtuu arviointi ja päätöksenteko. Työn tuloksia arvioidaan asetettujen tavoitteiden pohjalta ja tehdään päätös siirtää suunnittelu seuraavaan vaiheeseen, palauttaa se takaisin aikaisempaan vaiheeseen tai lopettaa koko kyseinen suunnittelulinja. Työn tuloksia arvioitaessa on myös tarkasteltava tehtävän tavoitteenasettelun oikeellisuutta. (Mts. 46-48.) Myös prosessin edetessä saadaan uutta tietoa ja suunniteltuja ratkaisuja on tarkasteltava uuden tiedon valossa ja palautettava takaisin aikaisempiin vaiheisiin, joten menetelmää voidaan kuvata iteratiiviseksi (mts. 44-45).



Kuvio 2. Suunnitteluprosessi (Pahl & Beitz 1990, 48, muokattu)

Yksinkertaiset mekanismit voidaan toteuttaa neliporaisella suunnitteluprosessilla mutta monimutkaisemmissa järjestelmissä on syytä käyttää tarkempaa, useampi portaista prosessia (Airila 2011, 13). Kuviossa 3 on esitetty suunnitteluprosessin tarkempi vaiheistus.



Kuvio 3. VDI-2221 suunnitteluohjeistuksen mukainen vaiheistus (Jänsch & Birkhofer 2006, 49, muokattu)

Suunniteltavan järjestelmän kaikkien osien vieminen jokaisen menetelmän portaan läpi on hyvin raskas prosessi, eikä se olekaan kaikissa tilanteissa tarkoituksenmukaista. Mikäli näin kuitenkin toimitaan, voidaan varmistua, ettei mitään oleellista ole unohtettu tai jätetty huomioimatta ja ratkaisu on laaja-alaisesti kartoitettu. Kaikkien askelten käyttö on suositeltavaa varsinkin täysin uutta järjestelmää suunniteltaessa. Vanhan rakenteen uudelleen suunnittelussa voidaan menetelmää ja käytettäviä portaita rajata. Suunnittelutoimen tulee itse arvioida käytettävä menetelmä tapauskohtaisesti. (Pahl & Beitz 1990, 52.)

4.1 Tehtävänannon selkeyttäminen

Tehtävänannon selkeyttämisen tarkoituksena on tiivistää asiakkaan haluaman lopputuloksen reunaehdot ja vaatimukset selkeästi mitattaviksi suureiksi. Tämän vaiheen lopputuloksena on vaatimuslista, johon vaatimukset ja toiveet on kirjattu. Tämä

vaihe tulee tehdä huolellisesti, koska vaatimusmäärittely määrittää koko suunnittelu-prosessin kulun. Vaatimuslistaa voidaan toki suunnittelun edetessä päivittää, mutta huolellisesti tehty vaatimuslista ohjaa suunnittelun oikeaan suuntaan heti työn alkumetreiltä. (Pahl & Beitz 1990, 48).

Suunnittelun tulisi myös pystyä aistimaan vaatimusten ohella asiakkaan odotukset lopputuotetta kohtaan ja hyvään lopputulokseen pyrittäessä asiakkaan odotukset tulisivat täyttämisen sijaan pyrkiä ylittämään (Airila 2011, 15).

4.2 Luonnostelu

Luonnosteluvaiheeseen siirrytään vaatimuslistan valmistuttua. Kehittelyyn vietävien ratkaisuehdotusten valinta toimintokaavioihin tai vaikutusperiaatteisiin perustuvista ratkaisuehdotuksista voi olla vaikeaa, koska erilaiset ratkaisut voivat näyttää näissä muodoissa samanarvoisilta. Ratkaisuehdotuksia olisivatkin hyvä konkretisoida alustavaan fyysiseen muotoon kehittelyyn vietävien ehdotusten valinnan helpottamiseksi. Luonnosteluvaihe on tärkeä lopputuloksen kannalta, koska kehittely ja viimeistelyvaiheet eivät juurikaan pysty korjaamaan luonnosteluvaiheessa tehtyjä virheitä ja mikäli virhe myöhemmissä vaiheissa havaitaan, joudutaan rakenne tai rakenneosat palauttamaan takaisin luonnosteluvaiheeseen. (Pahl & Beitz 1990, 49.)

4.3 Kehittely

Kehittelyvaiheessa suunnitellaan tuotteen kokoonpanorakenne täydellisesti. Tässä vaiheessa pääpaino on teknisillä ja taloudellisilla näkökohdilla. Rakenteesta joudutaan usein tuottamaan useita mittakaavaisia luonnoksia etujen ja haittojen arvioimiseksi. Useat luonnokset tuottavat lisää informaatiota rakenteesta ja jonkin jo hylätyn kokonaisuuden osaratkaisu saatetaan nostaa teknis-taloudellisissa arvioinnissa lopulliseen kokoonpanoon. Lopullisen rakenteen on täytettävä kustannusvaatimukset ja rakenteelliset vaatimukset, esimerkiksi kestävyys osalta, ennen kuin kokoonpano siirretään viimeistelyvaiheeseen. (Mts. 49.)

4.4 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa tapahtuu tuotteen valmistustekninen määrittäminen. Tässä vaiheessa suunnitellun rakenteen lopulliset muodot lukitaan ja rakenteesta tuotetaan valmistusta varten kaikki tarvittavat dokumentit. Nämä käsittävät työ- ja kokoonpanokuvat. Viimeistelyvaiheessa rakennetta ensisijaisesti tarkastellaan ja arvioidaan valmistusteknisestä näkökulmasta ja tämä voi johtaa joidenkin ratkaisujen muuttamiseen tai ratkaisun palauttamiseen aiempaan prosessin vaiheeseen. Kun rakenne on saanut lopullisen muotonsa, valmistustekniset näkökohdat on saatu optimoituja ja valmistukseen ja kokoonpanoon liittyvät dokumentit on viimeistely, tuotetaan viimeistelyvaiheen loppuksi kaikki loppukäyttöön liittyvät dokumentit, kuten esimerkiksi käyttöohjeet. (Mts. 50.)

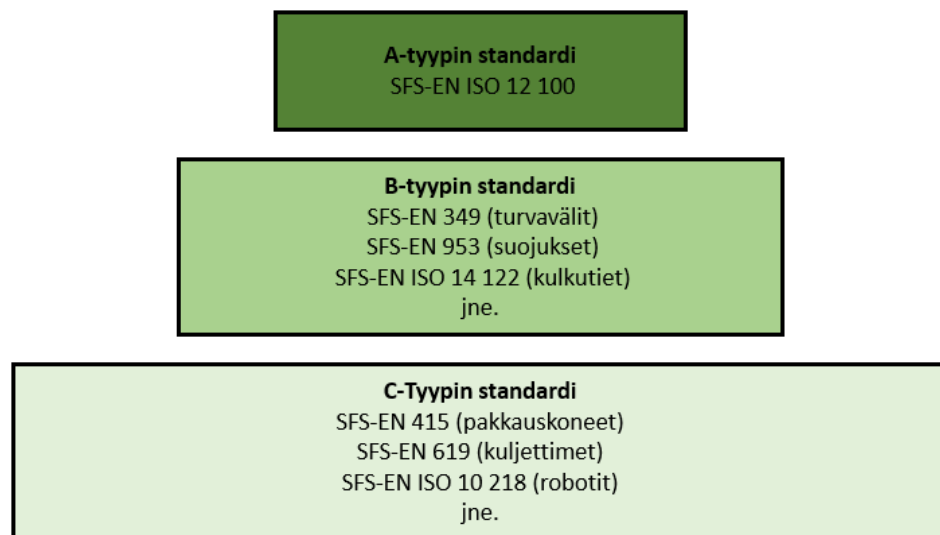
5 Koneturvallisuus

Koneturvallisuutta EU-alueella ohjaavat direktiivit. Direktiivillä ei ole suoranaista lainvoimaa vahvistettaessa, mutta käytännössä jokainen EU-maa on veloitettu ottamaan direktiivit osaksi omaa lainsäädäntöään direktiivissä määritellyn ajan puitteissa. Suomessa direktiivit saatetaan lainvoimaiseksi yleensä valtioneuvoston asetusten muodossa. Uusittu konedirektiivi, 2006/42/EY, on vuodelta 2006 ja otettu osaksi Suomen lainsäädäntöä valtioneuvoston asetuksella 400/2008 asetus koneiden turvallisuudesta. Asetus tuli voimaan 29.12.2009. Asetusta 400/2008 kutsutaan yleisesti koneasetukseksi. Koneturvallisuutta Suomessa säätelee myös niin kutsuttu konelaki, oikealta nimeltään laki eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta. (Siirilä & Tytykoski 2016, 29, 34.) Lain mukaan ”Valmistajan tulee suunnitella ja valmistaa tekninen laite rakenteiltaan, varusteiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan sellaiseksi, että se soveltuu tarkoitettuun käyttöön eikä tällaisessa käytössä aiheuta tapaturman vaaraa eikä terveyden haittaa ” (Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta 1016/2004, 4 §). Myös koneasetuksen liitteessä 1 annetaan yleiset tekniset turvallisuus ja terveysvaatimukset. Nämä vaatimukset koskevat kaikkia asetuksen piiriin kuuluvia koneen valmistajia ja koneturvallisuuden lähtökohdaksi määritetään vaarojen tunnistaminen ja niiden aiheuttamien riskien arviointi ja pienentäminen jo suunnitteluvaiheesta lähtien. (Siirilä & Tytykoski 2016, 42.)

Valmistajan laitteeseen kiinnittämä CE-merkintä osoittaa laitteen olevan vaatimusten mukainen. CE-merkki kertoo laitteen täyttävän konetyyppiä koskevien direktiivien vaatimukset. Laitteen mukana tulee myös toimittaa valmistajan allekirjoittama vaatimustenmukaisuusvakuutus, joka sisältää tiedot siitä mitkä direktiivit ja standardit laite täyttää. Käytännössä CE-merkintä ja vaatimuksenmukaisuusvakuutus eivät kuitenkaan takaa laitteen olevan turvallisuusvaatimusten mukainen, joten viimekädessä laitteen hankkijan on itse tarkistettava kone. (Siirilä 2008a, 29.)

5.1 Standardit

Direktiivit esittävät vain yleiset vaatimustasot, joita yhdenmukaistetuilla standardeilla täsmennetään. Standardien noudattamisella, vaikkakaan se ei muodollisesti ole pakollista, on suuri merkitys direktiivin noudattamista arvioitaessa. Kuviossa 4 on esitetty standardien hierarkia. Standardit jakaantuvat kolmiportaisesti A-, B- ja C-tyyppin standardeihin. (Siirilä 2008a, 58-59.)

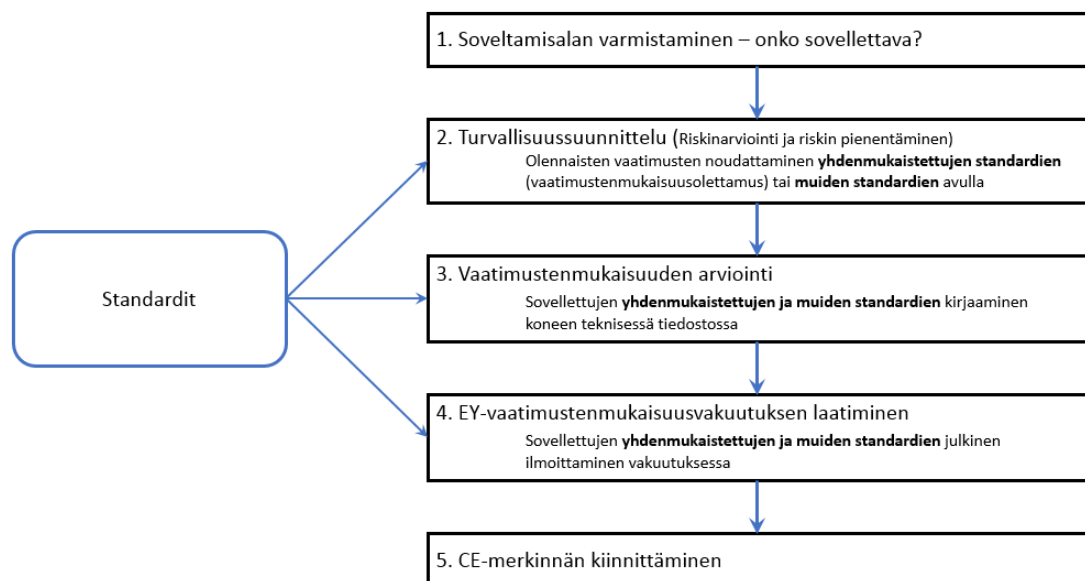


Kuvio 4. Standardityyppien hierarkia (Siirilä & Tytykoski 2016, 91, muokattu)

A-tyyppin standardit osoittavat yleisen turvallisuustason, koskevat kaikkia koneita ja ovat tarkoitettu yleiseksi ohjeeksi alemman tason standardien tekijöille. A-tyyppin

standardia käytetään, mikäli yksityiskohtaisempaa standardia ei ole. B-tyyppin standardit käsittelevät tietyntyyppisten ongelmien mittaamista ja poistamista sekä turvalaitteita ja turvatoimintoja. C-tyyppin standardit ovat koneryhmäkohtaisia ja sitä kannattaa suunnittelijan aina käyttää, mikäli sellainen on olemassa. C-tyyppin standardin noudattamisella varmistetaan, että suunniteltu laite täyttää myös koneasetuksen liitteen 1 olennaiset terveyst- ja turvallisuusvaatimukset. C-tyyppin standardin käyttäminen ei vapauta A- ja B-tyyppin standardien käytöstä, koska kaikkia vaaratekijöitä ei käsitellä C-tyyppissä ja standardin laadinnan yleisenä periaatteena on, että A- ja B-tyyppin standardeissa mainittuja asioita ei toisteta C-tyyppin standardeissa. (Siirilä 2008a, 59-62.) C-tyyppin standardit ohjaavat viittausten kautta tarvittaviin B-tyyppin standardeihin, mutta C-tyyppin standardeissa esitetyt vaatimukset ovat aina ensisijaisia B-tyyppiin nähden (SFS ry. n.d, 3).

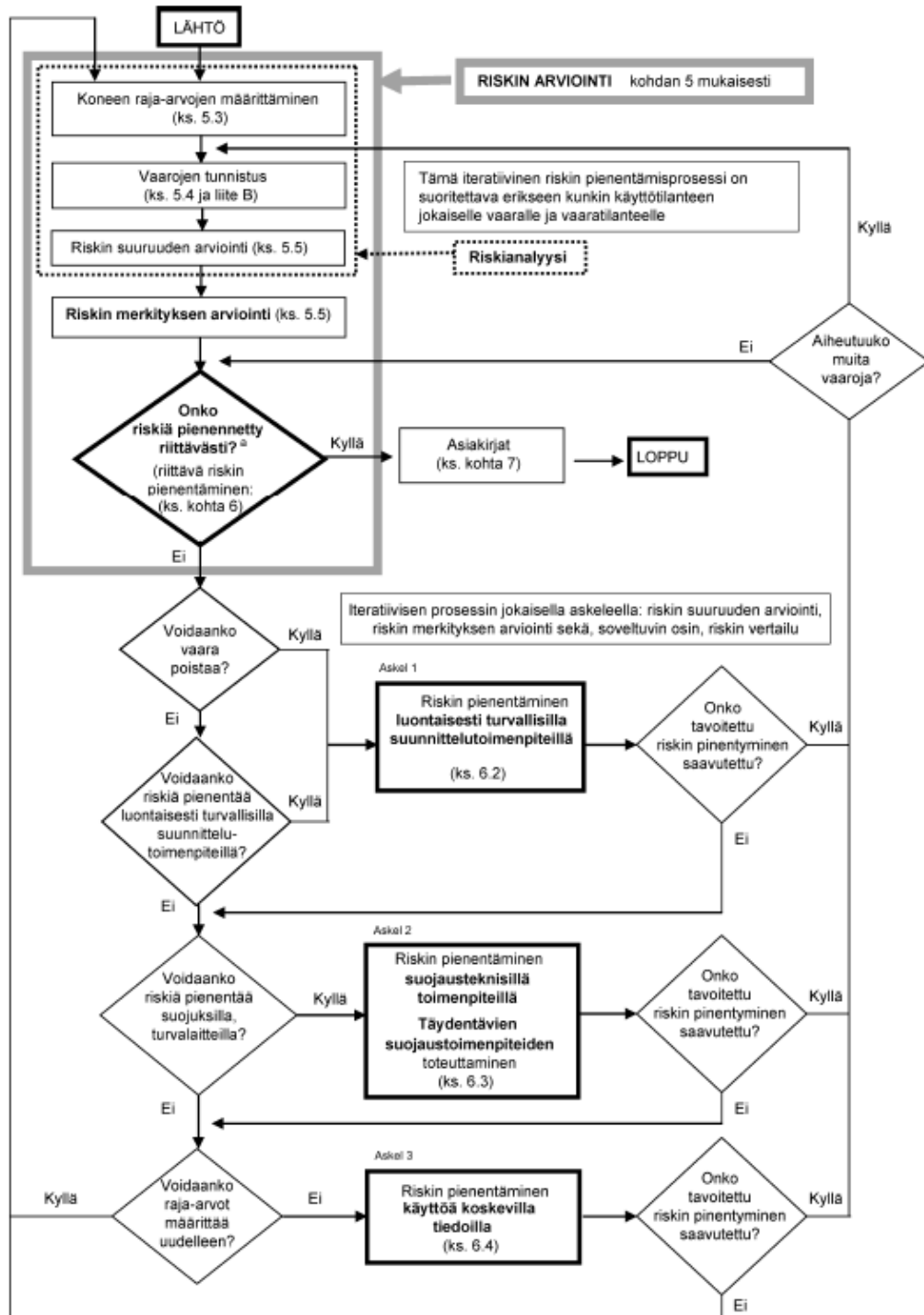
Standardien noudattaminen konesuunnittelussa tarjoaa automaattisesti vaatimustenmukaisuusolettamuksen, jolloin koneen katsotaan täyttävän konedirektiivin vaatimukset niiltä osin, jotka käytetty standardi kattaa. Standardit myös tarjoavat työkaluja suunnitteluprosessiin ja esittävät teknisiä yksityiskohtaisia ratkaisuja. Kuviossa 5 on esitetty standardien rooli konedirektiiviä sovellettaessa. (SFS ry. n.d, 4.)



Kuvio 5. Standardien rooli konedirektiiviä sovellettaessa (SFS ry. n.d, 4)

5.2 Riskin arviointi ja pienentäminen

Riskin arviointi ja pienentäminen kuuluvat konesuunnitteluun olennaisena osana. Riskin arvioinnin ja pienentämisen tavoitteena on suurin käytännössä mahdollinen riskin pienentäminen. Riskin arviointi ja pienentäminen ovat kuvattu yleisenä menetelmänä standardissa SFS-EN ISO 12100. Riskin arviointi jakaantuu riskianalyysiin ja riskin merkityksen arviointiin. Riskianalyysi sisältää koneen raja-arvojen määrittämisen, vaarojen tunnistamisen ja riskin suuruuden arvioinnin. (SFS-EN ISO 12100:2010, 28.) Riskin arvioinnin ja pienentämisen prosessi on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Riskin pienentämisprosessin kolmen askeleen menetelmä. (SFS-EN ISO 12100:2010, 30)

Riskin arvioinnin ensimmäisenä vaiheena on koneen raja-arvojen määrittäminen. Koneen raja-arvot sisältävät käyttörajat, tilarajat, aikarajat ja tarvittaessa muut raja-arvot. Käyttöraja-arvoissa määrillään koneen käyttötarkoitusta ja käyttäjiä. Tilaraja-ar-

vot koskevat koneen vaatimaa tilantarvetta sekä käyttäjä-kone rajapintaa ja kone-tehonsyöttö rajapintaa. Aikaraja-arvoissa määritetään koneen ennakoitu elinkaari ja huoltovälit ja muissa raja-arvoissa esimerkiksi koneella käsiteltävien materiaalien raja-arvot ja koneen ympäristön raja-arvot. (SFS-EN ISO 12100:2010, 36-38.)

Riskin arvioinnin toinen vaihe sisältää vaarojen tunnistamisen. Vaarojen tunnistaminen sisältää kaikkien kohtuudella ennakoitavissa olevien vaarojen ja vaaratilanteiden järjestelmällisen tunnistamisen koko koneen elinkaaren aikana. Elinkaari käsittää kuljetuksen, kokoonpanon ja asennuksen, käyttöönoton, käytön, purkamisen, käytöstä poiston ja romuttamisen. Suunnittelijan tulee vaaroja tunnistessaan ottaa huomioon seuraavat seikat; ihmisten vuorovaikutus koko koneen elinkaaren aikana, koneen mahdolliset toimintatilat ja käyttäjän tarkoittamaton käyttäytyminen ja mahdollinen väärinkäyttö. (SFS-EN ISO 12100:2010, 38-40.)

Vaarojen tunnistamisen jälkeen on arvioitava jokaisen tunnistetun vaaran riskin suuruus. Riskin suuruus on riskin vakavuuden ja esiintymistodennäköisyyden funktio. (SFS-EN ISO 12100:2010, 42.) Riskin suuruutta arvioitaessa voidaan käyttää apuna useita eri työkaluja, kuten riskimatriisia, riskigraafia tai numeerista pisteytystä (SFS-ISO/TR 14121-2:2013, 22). Taulukossa 1 on esitetty standardiin BS 8800 pohjautuva riskimatriisi.

Taulukko 1. Riskimatriisi (Siirilä 2008b, 108)

Todennäköisyys

1	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
0,9	0,9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	
0,8	0,8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	
0,7	0,7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	
0,6	0,6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
0,5	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
0,4	0,4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	
0,3	0,3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
0,2	0,2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
0,1	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Seurausten vakavuus

Riskimatriisista saatava riskin pisteytys luokitellaan viiteen eri riskitasoon, jotka on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Riskitasot (Siirilä 2008b, 109)

Vähäinen riski	0,1...5
Siedettävä riski	6...15
Kohtalainen riski	16...28
Merkittävä riski	29...48
Sietämätön riski	49...100

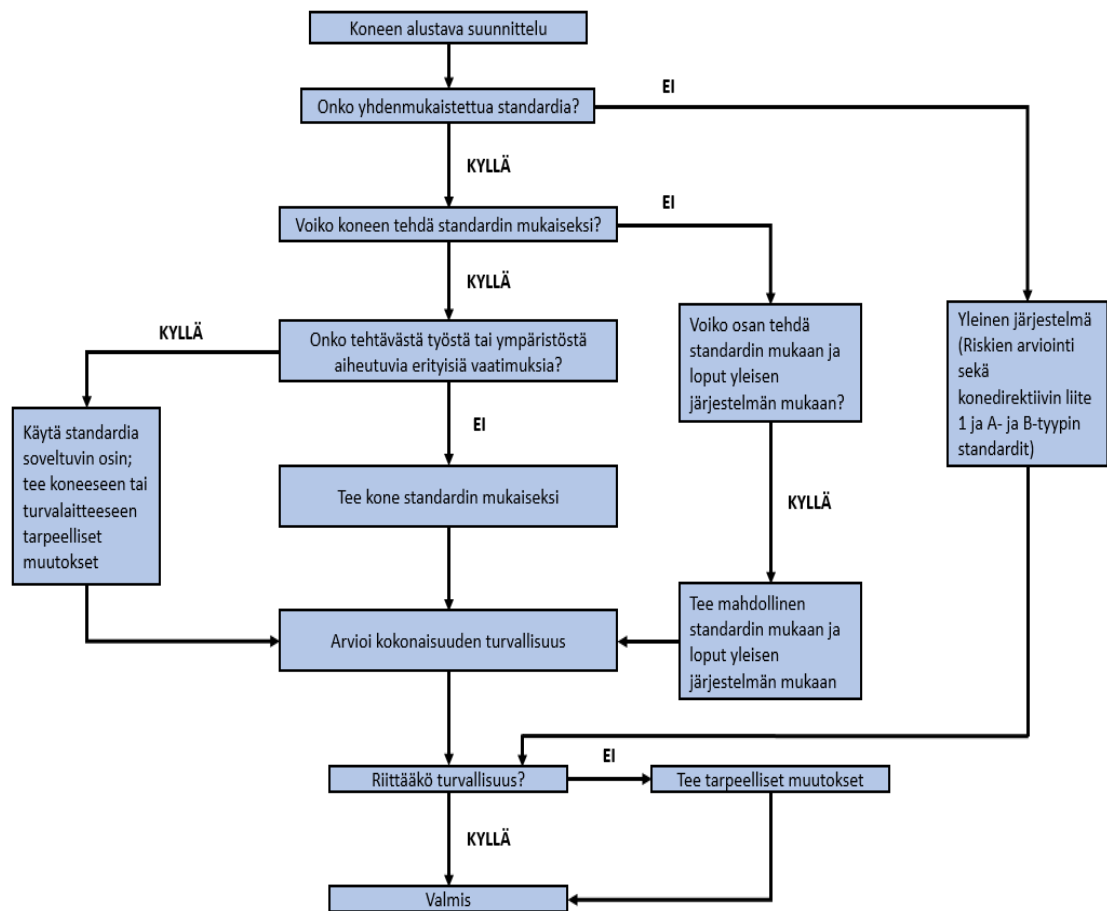
Eri riskitasoja vastaavat toimenpiteet on esitetty taulukossa 3. Käytössä olevan koneen toimenpiteet pohjautuvat standardiin BS 8800, mutta koska kyseinen standardi ei ota kantaa suunnitteluvaiheessa tehtävän riskinarvioinnin toimenpiteisiin, on Siirilä (2008b,109) lisännyt ne.

Taulukko 3. Riskin aiheuttamat toimenpiteet (Siirilä 2008b, 109)

Riski	Tarvittavat toimenpiteet	
	Käytössä oleva kone	Koneen suunnittelu
Vähäinen	Ei tarvita toimenpiteitä	Valmis
Siedettävä	Seuranta ja valvonta ja myöhemmin tehtävä uudelleen arviointi ovat tarpeen.	Seuranta ja valvonta ja myöhemmin tehtävä uudelleen arviointi ovat tarpeen.
Kohtalainen	On ryhdyttävä toimenpiteisiin riskin pienentämiseksi. Toimenpiteille laadittava aikataulu.	Suunnittelua on jatkettava ja riskiä pienennettävä.
Merkittävä	Työtä ei saa aloittaa ennen kuin riski on vähennetty ainakin kohtalaiseksi. Jos meneillään olevassa työssä havaitaan merkittävä riski, on harkittava työn teon keskeyttämistä. Jos työtä jatketaan, riskien poistamiseen on varattava riittävästi resursseja ja toteutettava riskien vähennys kiireellisesti.	Suunnittelua on jatkettava ja riskiä pienennettävä.
Sietämätön	Työtä ei saa aloittaa ja mahdollisesti käynnissä oleva työ on keskeytettävä. Ellei riskiä saada riittävästi vähennettyä, työn teon on pysyttävä keskeytettynä.	Suunnittelua on jatkettava ja riskiä pienennettävä.

Kuten taulukossa 3 todetaan, on suunnitteluvaiheessa siedättävä riski korkein hyväksyttävissä oleva. Riskin ollessa korkeampi on suunnittelua jatkettava riskin pienentämiseksi. Riskin pienentämisen ollessa mahdotonta suunnittelutoimenpiteillä, tulee suojaustoimenpiteiden käyttöä harkita. (Siirilä 2008b, 109.)

Riskin arviointiprosessiin vaikuttaa käytettävät standardit. Mikäli suunniteltavalle koneelle on olemassa yhdenmukaistettu C-tyyppin standardi, sen noudattaminen ohjaa luonnollisesti koneturvallisempaan lopputulokseen ja riskinarviointi prosessina kevenee. Mikäli käytävissä ei ole C-tyyppin standardia on riskien arviointiprosessi suoritettava käyttäen konedirektiivin liitettä 1 sekä A ja B-tyyppin standardeja soveltaen. (Siirilä, 2008b, 84.) Standardien käytön vaikutukset riskinarviointiprosessin kulkuun on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Standardien käytön vaikutukset riskinarviointiprosessiin. (Siirilä 2008b, 84)

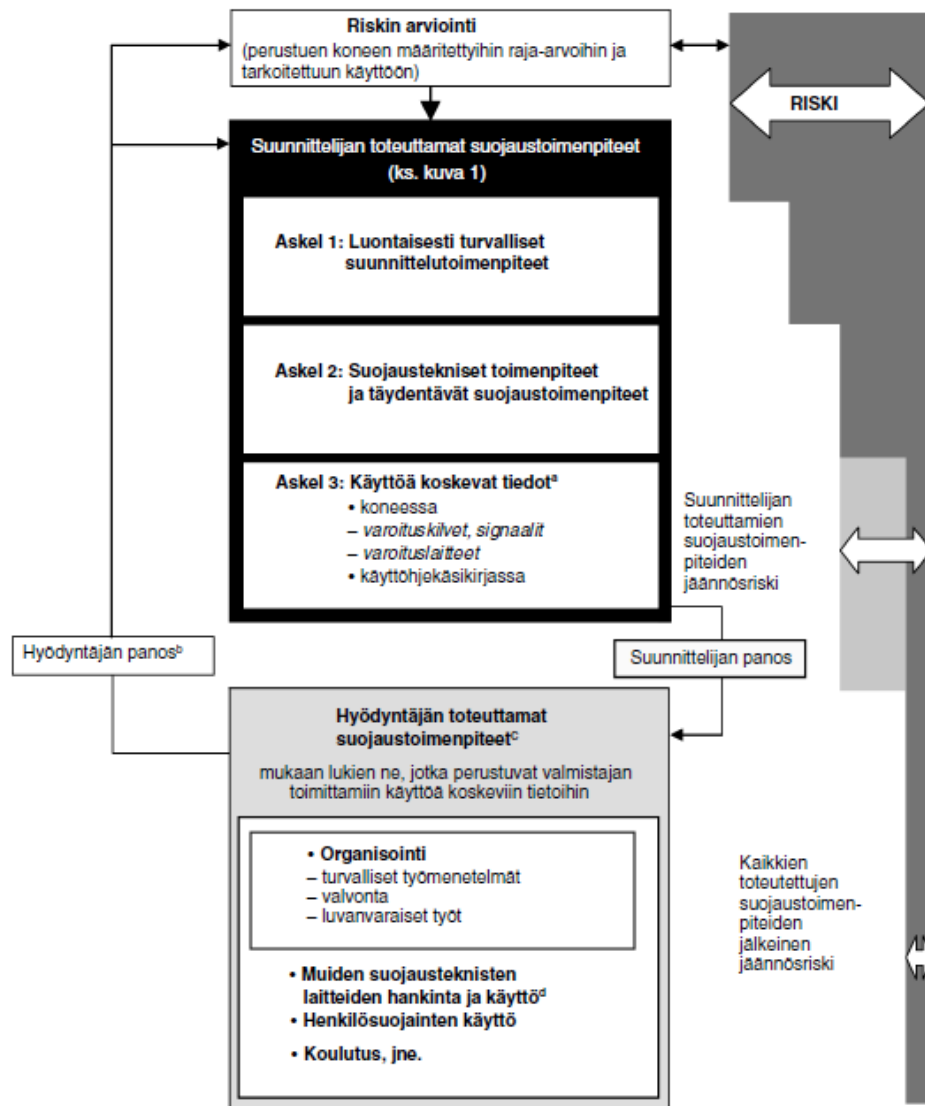
Riskien pienentäminen jaetaan kolmeen periaatteeseen, joita noudatetaan seuraavassa järjestyksessä.

1. Ensisijaisesti riskit pyritään poistamaan suunnittelun avulla.
2. Riskit poistetaan suojuksilla tai turvalaitteilla.

3. Siedettävät jäännösriskit kirjataan käyttöohjeisiin ja opastetaan henkilösuojainten tai koulutuksen tarpeesta.

Koska suunnittelijan tekemät toimenpiteet riskin pienentämiseksi ovat huomattavasti tehokkaampia kuin käyttäjän tekemät, tulisi riskin alustava arviointi tehdä jo suunnittelun alkuvaiheessa ja päivittää arviointia suunnittelun edetessä. (Siirilä & Tyykoski 2016,42-43 ja SFS-EN ISO 12100:2010, 28.)

Riskin pienentämisprosessi ja sen vaikutukset alkuperäiseen riskiin on esitetty kuviossa 8.



Kuvio 8. Riskin pienentämisprosessi suunnittelijan näkökulmasta. (SFS-EN ISO 12100, 32)

Riskin arviointi ja riskin pienentäminen tulee dokumentoida standardin mukaisesti. Asiakirjojen ulkoasua ei ole määritelty, mutta vähimmäisvaatimuksena asiakirjoista tulee ilmetä menettelytapa ja tulokset. Asiakirjoihin tulee sisällyttää asiaankuuluvien osin seuraavat tiedot:

- a) Koneen tiedot, kuten käyttötarkoitus ja raja-arvot.
- b) Tunnistetut vaarat ja vaaratilanteet.
- c) Tiedot, joihin arviointi pohjautuu ja tietoihin liittyvä epävarmuus.
- d) Tavoite, johon riskinarvioinnilla pyritään.
- e) Turvallisuustoimenpiteet, joilla riskejä vähennetään tai poistetaan.
- f) Jäännösriskit
- g) Kaikki riskinarvioinnin aikana täytetyt lomakkeet.
- h) Tulos lopullisesta riskinmerkityksen arvioinnista.

Riskin arviointi voidaan esittää taulukkomuotoisena yhteenvetona. (Siirilä 2008b, 112.)

5.3 Ergonomia

Ergonomia voidaan määritellä useilla eri tavoilla. Ergonomia voidaan ymmärtää ajattelutapana, käytännön toimintana tai soveltavana tutkimusalueena. Kiteytettynä ergonomia on ihmisen toimintaympäristön muokkaamista vastaamaan ihmisen rajoitteita. (Launis & Lehtelä 2011, 19.)

Ergonomian juuret ovat jo 1800-luvulla mutta siihen alettiin varsinaisesti kiinnittää huomiota toisen maailmansodan jälkeen. Monimutkaisen sotateknologian käytössä oli havaittu vaikeuksia ja toimintahäiriöitä. Ongelmat johtuivat pohjimmiltaan siitä, etteivät laitteen vaatimukset ja ihmisen kyvyt enää kohdanneet. Näiden ongelmien takia Pohjois-Amerikassa syntyi uusi ala, inhimilliset tekijät huomioon ottava suunnittelu (Human factors engineering), joka oli psykologiaan painottunutta soveltavaa tutkimusta. (Mts. 26.) Human factors engineering keskittyy ihmisen käyttämien asioiden ja ympäristön muokkaamiseen vastaamaan ihmisen kykyjä, rajoitteita ja tarpeita. Tavoitteena on työn ja muiden aktiviteettien tehokkuuden parantaminen. (McCormick & Sanders 1993, 4.)

Euroopassa ergonomia-nimi otettiin käyttöön 1960-luvulla, kansainvälisen tutkimusyhteistyön käynnistyttyä käyttäen kyseistä nimeä ja 1970-luvulla alettiin luoda kansainvälisiä ergonomiastandardeja. Vaikka ergonomia ja human factors mielletään samaksi asiaksi, niillä on painotuseroja. Human factors keskittyy tehokkuuteen ja näkee ihmisen rajoitteineen toimintajärjestelmän heikkona lenkinä, kun taas ergonomia pyrkii kehittämään toimintajärjestelmän mahdollisimman hyvin kaikille ihmisille sopivaksi ja luomaan kokonaistehokkuutta laadun, häiriöttömyyden, hyvinvoinnin ja turvallisuuden kautta. (Launis & Lehtelä 2011, 20, 26-27.)

Eräänä ergonomian tavoitteena on mahdollistaa laitteen tai ympäristön käyttö kaikille haitatta ja tehokkaasti. Työvälineiden ominaisuudet tulisi pyrkiä suunnittelemaan siten, että työntekijöiden valintaa eivät rajoita fyysiset ominaisuudet, esimerkiksi voiman tuotto. Tämä ei tietenkään aivan kaikissa kohteissa ole mahdollista, mutta eurooppalaisten ergonomiastandardien mukaan fyysinen voima, jonka suurin osa naisista pystyy tuottamaan, tulisi riittää yksittäisen laitteen käyttämiseen. (Launis & Lehtelä 2011, 21.)

Suunnittelijan tulisi myös ottaa antropometriset mitat huomioon laitteita ja niiden säädettävyyttä suunnitellessa. Suunnittelussa käytetään tilastollisia mittoja ja jakauman pienin ja suurin viiden prosentin osuus jätetään huomioimatta. Mikäli sovelmus on turvallisuuden ja terveyden kannalta kriittinen, tulee suunnittelun olla entistä tarkempaa ja vain pienin ja suurin yksi prosentti saadaan jättää huomioimatta. (Siirilä & Tytykoski 2016, 256-257.)

Tärkeimmät koneensuunnittelussa käytettävät ergonomiastandardit ovat antropometrisia mittoja käsittelevä standardisarja SFS-EN 547 ja ihmisen fyysistä suorituskykyä käsittelevä standardisarja SFS-EN 1005. Ergonomiastandardit ovat B-tyyppin standardeja. (SFS ry. 2017, 4-5.)

5.4 Informaatioergonomia

Näyttölaitteet ovat tärkein tiedonvälitystapa, yli 85 % kaikesta työssä käytettävästä informaatioista välitetään näyttölaitteiden kautta. Informaation esitystapa on merkityksellisessä asemassa laitteen käytettävyyden kannalta. Näyttölaitteen välittämän informaation tulisi sisältää kaikki päätökseen tarvittava tieto ja samalla informaation

tulisi olla mahdollisimman selkeästi ja yksinkertaisesti esitettyä. Näin varmistutaan, että käyttökynnys ja käyttäjän henkinen kuormitus pysyvät alhaisena. Näyttölaitteiden suunnittelun aluksi tulisi selvittää neljä asiaa; mitä tietoa laitteen käytössä tarvitaan, milloin tietoa tarvitaan, miten tarkasti tiedot tulee esittää ja missä muodossa tiedot esitetään. (Launis & Lehtelä 2011, 240-241.)

Näyttölaitteiden käyttöliittymiä suunniteltaessa voidaan apuna käyttää hahmolakeja, jotka ovat säännönmukaisuuksia aistihavainnon muodostamisessa. Ihminen tekee aistihavaintoa muodostaessaan oletuksen samankaltaisten tai lähellä toisiaan olevien objektien kuulumisesta samaan ryhmään. Kyseiset lait olisi huomioitava, että näyttölaitteen välittämä informaatio vastaa luontaista hahmottamista ja käytettävyyttä paranee. (Sinkkonen, Kuoppala, Parkkinen & Vastamäki 2006, 89-91.)

Informaation välittämiseen voidaan käyttää graafisia symboleja. Symbolien käyttöä tukee niiden informaation välityskyky yli kielimuurien ja ne toimivat periaatteessa kaikkialla. Käytettyjen symbolien tulisi kuitenkin olla standardisoituja tai muuten yleisesti käytettyjä, muuten niiden tulkinta aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta ja väärinymmärryksiä. (Launis & Lehtelä 2011, 249.)

6 Katsaus markkinoilla oleviin laitteisiin

Markkinoilla olevien laitteiden katsaus tehtiin kahdesta syystä. Ensimmäisenä syynä oli tarve varmistua, ettei toimeksiantajan vaatimuksia täyttävää laitetta todella ole markkinoilla ja toisena syynä tarve tutustua olemassa olevien laitteiden teknisiin ja rakenteellisiin ratkaisuihin. Katsaus jouduttiin tekemään melko pintapuolisesti lähinnä visuaalisesti arvioimalla, koska konekohtaisia tarkempia tietoja ei ollut saatavilla.

Suomen markkinoilla säädettävällä kierrosluvulla varustettuja kierteityskoneita ei ole, vaan kaikki tarjolla olevat koneet ovat kiinteällä kierrosluvulla. Suomen markkinoilla olevat koneet ovat pääasiassa työpöytään kiinnitettäviä keventimellä varustettuja paineilmatoimisia laitteita.

Kuviossa 9 on esitetty Powertools SL 1200 paineilmakäyttöinen kone, jolla voidaan kierteittää M16 kierrekokoon asti.



Kuvio 9. Powertools SL1200 (<http://www.linnatrade.fi>)

Erilaisella varsimekanismilla varustettu, saman valmistajan ja saman kokoluokan laite esitettynä kuviossa 10.



Kuvio 10. Powertools Junior (<http://www.linnatrade.fi>)

Tarkastelua laajennettiin koskemaan koko EU-aluetta, jolloin muutamia servokäyttöisiä laitteita löytyikin. Kuviossa 11 on esitetty englantilaisen valmistajan servokäyttöinen kierteityskone, joka tosin on toimeksiantajan vaatimuksiin nähden aivan liian järeä. Kyseisellä koneella pystytään kierteittämään kierrekokoon M42 asti.



Kuvio 11. D-BD sarjan kierteityskone (<http://www.rencol-automation.co.uk>)

Toinen EU-alueelta saatavilla oleva laite on Wiemers Ag:n valmistama kierteityskone, mallimerkinnältään EMT 32 (ks. kuvio 12). Tämä laite oli myös liian tehokas vaatimukseen nähden. Suurin laitteella valmistettavissa oleva kierre on M32.



Kuvio 12. EMT 32 Kierteityskone. (<http://www.tapping-arm.eu>)

7 Suunnittelutyö

7.1 Vaatimusmäärittely

Vaatimuslista (ks. liite 1.) luotiin toimeksiantajan kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta. Vaatimusmäärittelyyn koottiin suunnittelijan näkemys laitteelle asetetuista suoritusvaatimuksista ja toiveista. Vaatimuslistaa laadittaessa mietittiin myös tulevan käyttäjän tarpeita ja mahdollisuuksia ylittää tämän hetken tarpeet. Vaatimuslistaa päivitettiin suunnittelun edetessä saadun uuden tiedon valossa muutamia kertoja. Nämä päivitykset käsittivät pieniä muutoksia ja tarkennuksia.

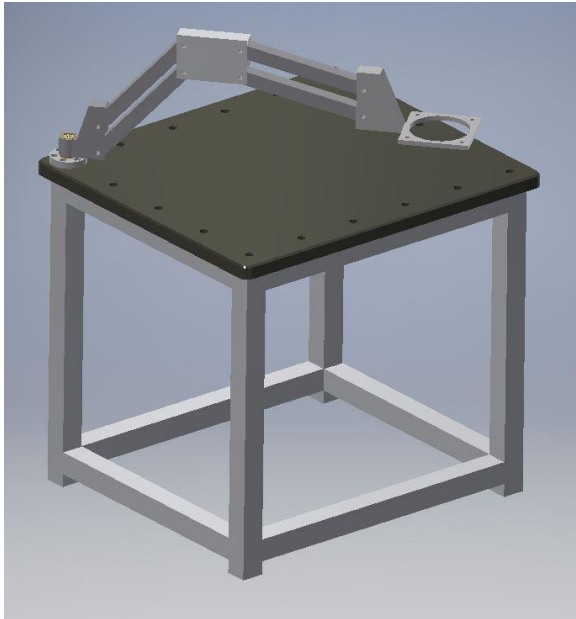
7.2 Luonnostelu

Luonnosteluvaiheessa ei tehty varsinaisia toiminto- tai vaikutusperiaatekaavioita, vaan ratkaisukonseptit mallinnettiin. Kokonaiskuvan luominen ja ratkaisuehdotusten paremmuuden arviointi oli huomattavasti helpompaa konkretisoidusta konseptista. Rakenteen ratkaisuehdotuksia luonnosteltiin kolme erilaista. Luonnostelussa käytettiin vaatimuslistaa ohjaavana tekijänä ja vaikka toimintokaavioita ei tehtykään, ratkaisuehdotusten luonnostelussa mietittiin lopullisen rakenteen vaatimat toiminnot, jotka ratkaisuehdotuksen tulisi täyttää. Ratkaisuehdotukset pohjautuvat markkinoilla olevien laitteiden rakenteellisiin ratkaisuihin. Esitetyt ratkaisuehdotukset kehitettiin karkeaa luonnosta pidemmälle ja niissä oli jo esimerkiksi laakerointivaihtoehtoja mietitty ja kehitelty. Kuviossa 13 on esitetty ensimmäinen vaihtoehto. Tämä ratkaisuehdotus pohjautui kohtalaisen korkeaan sarana-akseliin ja siihen kiinnitettyyn vaakapuomiin. Kahden saranan mekanismi mahdollisti hyvän ulottuvuuden ja suuren työkentelyalan mutta aiheutti myös haasteita rakenteeseen kierteityksessä kohdistuvan vääntömomentin takia. Mekanismin vapausasteita tulisikin rajoittaa esimerkiksi mahdollisuudella lukita saranat.



Kuvio 13. Ratkaisuehdotus vaakapuomilla

Kuviossa 14 on esitetty ratkaisuehdotus, joka taas perustuu eräänlaiseen suoravientimekanismiin. Tämän vaihtoehdon hyvänä puolena oli kierteityksen aiheuttaman vääntömomentin suora johtuminen pöytälevyyn kiinnitettyyn sarana-akseliin, jolloin käyttäjää ei kuormiteta. Huonona puolena oli mekanismin rajallinen ulottuvuus, jolloin pöydän alasta suuri osa jäi kierteityspään ulottumattomiin.



Kuvio 14. Ratkaisuehdotus suoravientimekanismilla

Viimeinen vaihtoehto, joka on esitetty kuviossa 15, oli melkein samanlainen kuin kuviossa 12 esitetty vaihtoehto. Erona on sarana-akselin lyhentymisen ja vaakapuomin muuttuminen vinoksi kääntövarreksi. Tämä vaihtoehto oli oikeastaan jatkokehitelemä kuvion 12 vaihtoehdosta.



Kuvio 15. Ratkaisuehdotus vinolla kääntövarrella

Jatkokehittelyyn näistä valittiin kuviossa 15 esitetty ratkaisuehdotus. Valintaperusteena oli yksinkertainen ja esitetyistä vaihtoehdoista todennäköisesti halvin rakenne. Myös osien lukumäärä oli valitussa ratkaisuehdotuksessa alhaisin. Valintaperusteena käytettiin myös vaatimuslistassa määritettyä työskentelyalueen kattavuutta.

7.3 Alumiiniprofiilijärjestelmä

Työn toimeksiantajan vahvana toiveena oli, että laitteen rakenteessa käytetään alumiiniprofiilia mahdollisimman paljon. Alumiinin käyttöä tietyntyyppisessä koneenrakentamisessa puoltaa useampi seikka. Vaikka alumiini on materiaalina kalliimpi teräseen verrattuna, alumiini ei välttämättä tarvitse pintakäsittelyjä ja rakenteesta saadaan kevyempi. Alumiinin käyttö toki tuo lisähaasteita kiinnitysten takia, mutta teräksen käyttö tässä työssä olisi aiheuttanut samat lisähaasteet, koska kokonaan yhteen hitsattua runkorakennetta pyrittiin välttämään.

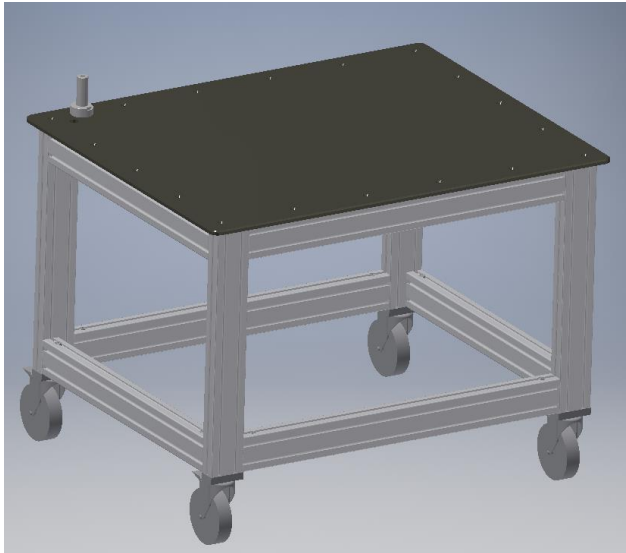
Työn tekijällä ei ollut syvempää kokemusta alumiiniprofiilien käytöstä koneenrakentamisessa, joten oli syytä kartoittaa alumiiniprofiilijärjestelmiä uuden tiedon saamiseksi ja tähän kyseiseen konstruktion sopivimman järjestelmän valitsemiseksi. Vertailuun valittiin kolme Suomessa helposti saatavissa olevaa järjestelmää; MayTec, Item ja Norcan.

Jokainen järjestelmä on helposti saatavissa ja toimitettavissa metritavarana, mittaan katkottuna ja kiinnitysreiät porattuna ja jopa valmiiksi koottuna. Profiilien mitat ja mallit ovat jokaisella toimittajalla hyvin samankaltaiset, lujuuksissa ei ole eroja ja jokainen toimittaja tarjoaa myös cad-mallit tuotteistaan. Edellä mainittujen ominaisuuksien samankaltaisuudesta johtuen vertailussa keskityttiin kiinnitysmahdollisuuksien monipuolisuuteen, kestävyys ja soveltuvuuteen tähän kyseiseen konstruktion.

Vertailluista alumiiniprofiilijärjestelmistä tähän konstruktion valikoitui MayTec. Valitun valmistajan kiinnitysjärjestelmä mahdollistaa monipuoliset rakenneratkaisut ja se nähtiin soveltuvaksi myös dynaamisesti kuormitettuihin rakenteisiin. Luotettavuutta lisääväksi tekijäksi verrattuna muihin järjestelmiin, laskettiin peruskiinnityksen toteuttaminen ilman alumiini-teräs kierrelitosta. MayTec tarjoaa myös oman suunnitteluohjelman, josta löytyvät kaikki valmistajan profiilit, lisävarusteet ja kiinnitysmahdollisuudet. Ohjelma laskee myös hinnan suunnitelluille rakenteille ja suunniteltu malli voidaan siirtää STEP-tiedostona mihin tahansa muuhun suunnitteluohjelmistoon. Valintaan johti myös toimeksiantajan aikaisempi kokemus MayTec tuotteista.

7.4 Rakenteen suunnittelu

Valittua ratkaisuehdotusta jatkokehiteltiin suunnittelemalla pöytärakenteen runko alumiiniprofiilista. Suunnittelu tehtiin Maycad-ohjelmalla. Vaatimuslistassa määritetyt dimensioita käytettiin rakenteen suunnittelussa ohjaavana tekijänä. Pöytälevy suunniteltiin teräksestä, joka käyttötarkoitus huomioon ottaen oli ainoa käytettävissä oleva vaihtoehto. Pöytälevyn tuli olla riittävän paksu kappaleiden ja esimerkiksi puristimen kiinnityksessä tarvittavien kierrereikien takia. Näin ollen pöytälevystä tuli raskas, joka taas asetti vaatimuksia kantavalle rakenteelle. Alumiinirungon ja pöytälevyn kokoonpano on esitetty kuviossa 16.



Kuvio 16. Runkorakenne

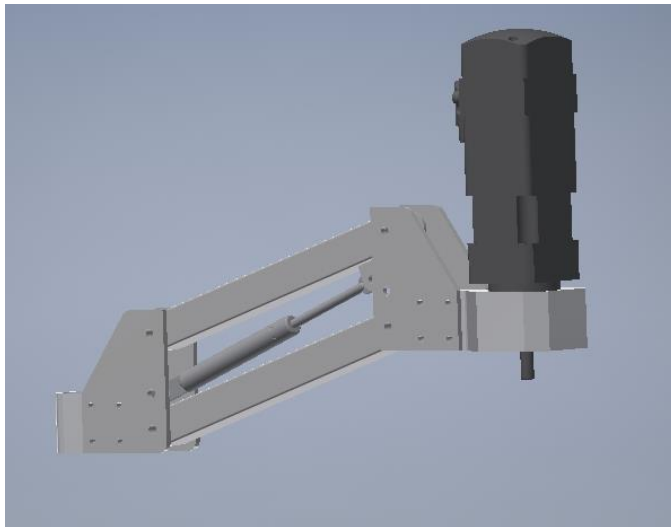
Alkuperäisenä ajatuksena oli käyttää servomootoria ilman vaihteistoa, mutta vääntömomenttiltaan riittävä servomoottori olisi nostanut kustannukset liian korkeaksi. Servomoottorin fyysinen koko ja paino olisi myös noussut liian suureksi. Kuviossa 17 on esitetty ilman vaihdetta toteutettu rakenne, josta on selkeästi nähtävissä servomoottorin suuri koko suhteessa muuhun rakenteeseen.



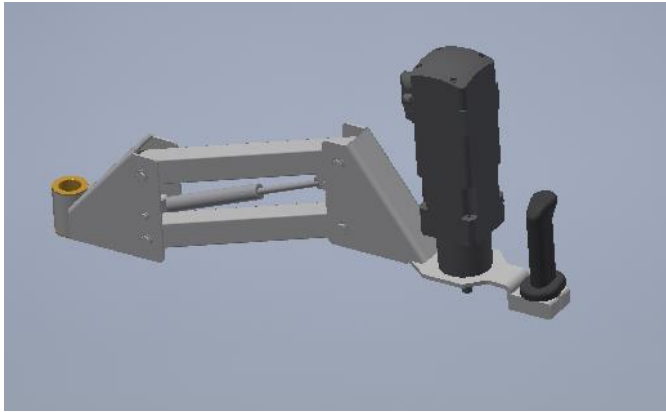
Kuvio 17. Rakenne ilman alennusvaihdetta

Servomoottorin osalta päädyttiin kehittämään vaihtoehtoa, jossa käytetään alennusvaihdetta, jolloin tarvittavan servomoottorin koko alenisi merkittävästi. Alennusvaihteen käyttöä puolsi myös se seikka, että työkalun pyörintänopeuden ylärajaksi oli kaavailtu noin 1000 kierrosta minuutissa.

Moottorikoon pienentyessä myös servomoottorin kannake tuli suunnitella uudelleen. Moottori-vaihdeyhdistelmän kiinnityspinta asetti vaatimuksia uuden kannakkeen jäykkyydelle. Aikaisemmassa rakenteessa iso servomoottori oli toiminut rakennetta jäykistävänä tekijänä. Rakenteesta suunniteltiin kaksi eri vaihtoehtoa, alumiininen ruuviliitoksilla toteutettu kannatinrakenne (ks. kuvio 18) ja hitsaamalla valmistettu ohutlevyrakenne (ks. kuvio 19). Molemmat rakenteet suunniteltiin kannateltavaksi kaasujousen avulla.



Kuvio 18. Ruuviliitoksilla toteutettu rakenne

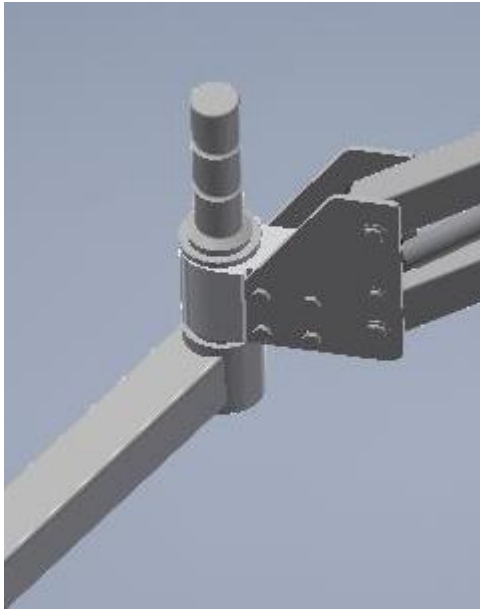


Kuvio 19. Hitsattu ohutlevyrakenne

Näitä kahta vaihtoehtoa kehitettiin rinnakkain viimeistelyvaiheen alkamiseen asti, jolloin päätettiin alumiinikannakkeilla toteutetun vaihtoehdon siirtämisestä viimeistelyvaiheeseen ja ohutlevy vaihtoehdon kehittäminen päätettiin. Valitun vaihtoehdon koneistustarve oli suurempi, mutta koneistukset eivät olleet vaativia, sekä osien ja valmistuksen työvaiheiden lukumäärä jäi valitussa ratkaisussa alhaisemmaksi, jolloin myös valmistuksen läpimenoaika muodostui lyhyemmäksi.

Kaasujousen sijoituksesta tehtiin useita vaihtoehtoisia suunnitelmia ja suunnittelun loppuvaiheessa jouduttiinkin rakenne vielä kerran palauttamaan uudelleen suunniteltavaksi kaasujousen sijoituksen osalta, koska kaasujouselta tarvittava voima olisi noussut kohtuuttoman suureksi.

Kahden saranan mekanismin ongelmana oli kierteityksessä aiheutuvan vääntömomentin vastaanottaminen. Vapaat saranat mahdollistivat laitteen liikkumisen kierteityksen aikana, jonka seurauksena olisi ollut kierretapin katkeaminen. Toiseen saranoista kehitettiin lukitus (ks. kuvio 20), jolloin käyttäjä tarpeen vaatiessa pystyi lukitsemaan saranan. Lukitus toimii ruuviliitosperiaatteella.



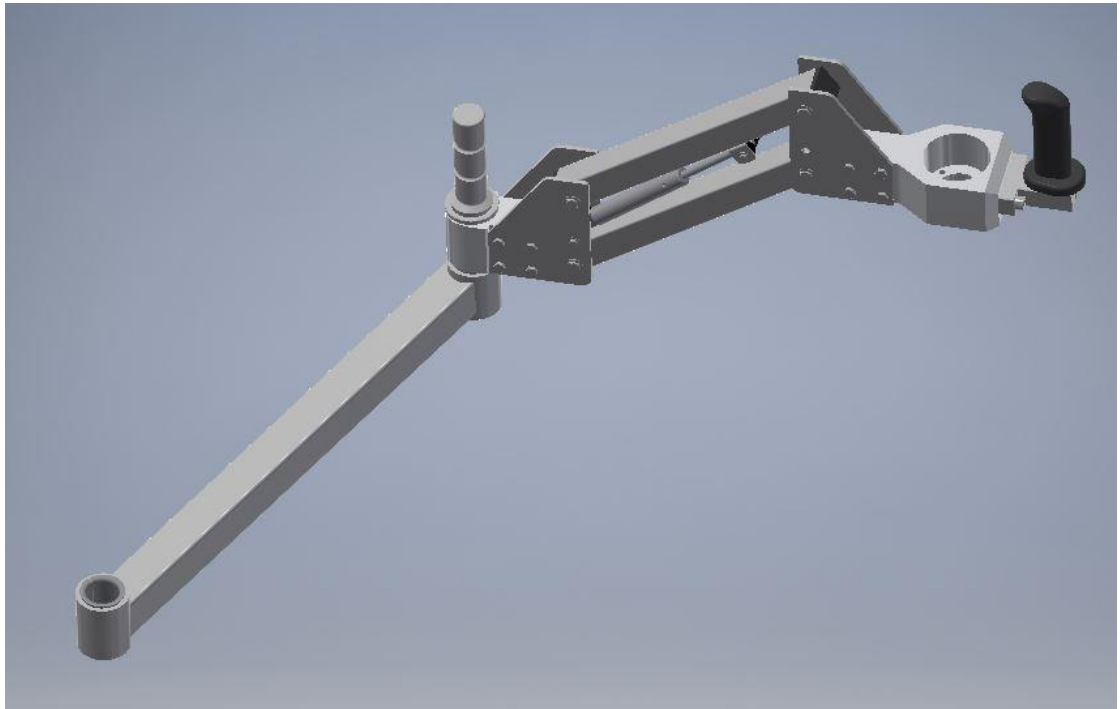
Kuvio 20. Saranan lukitus

Laitteen hallinta suunniteltiin tapahtuvaksi ohjainkahvalla (ks. kuvio 21), jossa olisi etusormella käytettävät painokytkimet. Tämän tyyppistä ohjainkahvaa ei ollut saatavilla, joten se päätettiin toimeksiantajan ehdotuksesta suunnitella valmistettavaksi itse. Kahva koostui metallisesta rungosta, johon suunniteltiin liitettäväksi muovinen, materiaalia lisäävällä valmistusmenetelmällä tuotettu kahva. Toimeksiantajalla oli kokemusta ja mahdollisuus käyttää kyseistä valmistusmenetelmää.



Kuvio 21. Ohjainkahva

Ohjainkahvaan on suunniteltu alustavasti paikat painokytkimille, mutta lopullisen valinnan painokytkimien osalta tekee sähkösuunnittelu ja tästä johtuen ohjainkahvan mitat ja muotoilu saattavat vielä muuttua. Kuviossa 22 on vielä esitetty koko mekanismi ennen viimeistelyvaihetta.



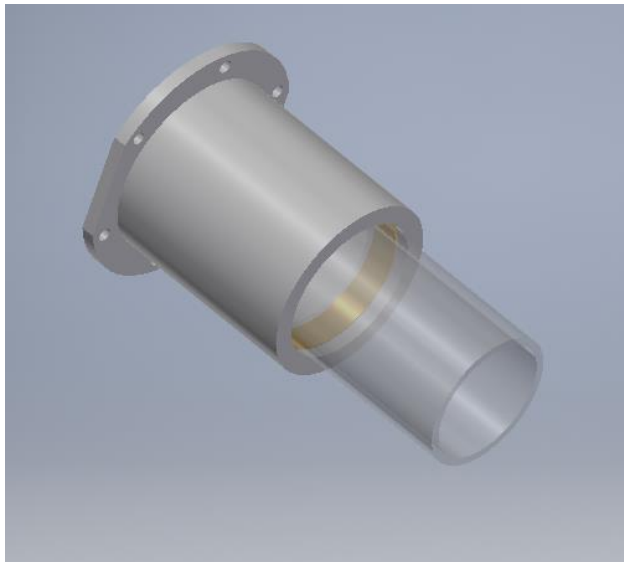
Kuvio 22. Mekanismi

Suunnittelutyön tässä vaiheessa tehtiin myös tuoterakenne (ks. liite 2). Tuoterakenteen tarkoituksena oli määrittää kokoonpanotasot, jotka määrittivät viimeistelyvaiheessa tehtävät kokoonpanokuvat.

7.5 Riskinarviointi

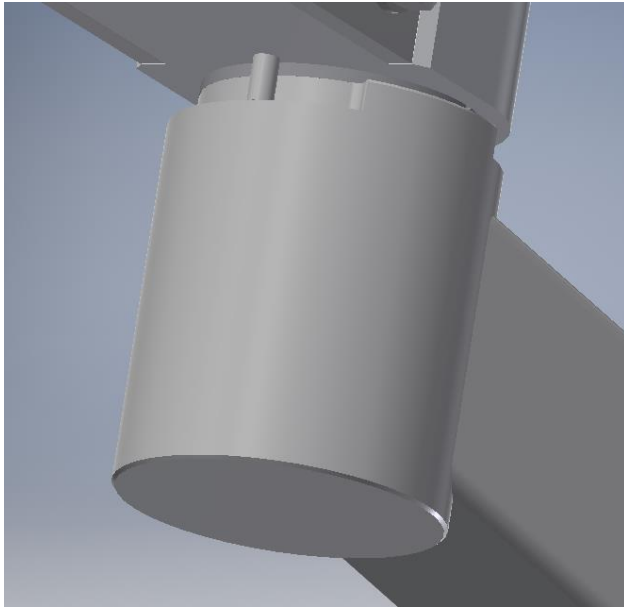
Riskiarviointi tehtiin ennen viimeistelyvaihetta suunnittelun ollessa vielä kesken, jolloin mahdolliset muutokset pystyttiin toteuttamaan hyvissä ajoin ja ne eivät aiheuttaneet lisätyötä työkuvioiden päivityksen muodossa. Riskiarviointi aloitettiin koneen tietojen ja raja-arvojen määrittämisellä. Vaarojen tunnistamiseen käytettiin standar-

dissa SFS-EN 12717 + A1 tunnistettuja vaaroja ja vaaratilanteita, koska laite oli suunniteltu tämän standardin mukaisesti. Liitteessä 3 on listattu kaikki työssä käytetyt standardit. Riskin arviointi on iteratiivinen prosessi ja tässä työssä riskinarviointi tehtiin kaksi kertaa. Lopullinen riskinarviointi toimenpiteineen on esitetty liitteessä 4. Riskinarvioinnin seurauksena huomattuja riskejä, jotka voitiin suunnittelun avulla poistaa, löytyi muutama kappale. Koneenkäyttäjä suojattiin karan pyörivien kone-eliemien ja työkalun aiheuttamilta riskeiltä kuviossa 23 esitetyllä karasuojalla. Suojaa ei löytynyt valmiina osto-osana, vaan se suunniteltiin itse valmistettavaksi. Suojan peruseriaate pohjautuu standardissa SFS-EN 12717 + A1 esitettyyn esimerkkiin.



Kuvio 23. Karasuojaja

Molempien saranoiden hallitsematon liike havaittiin riskinarvioinnissa vaaraa aiheuttavaksi käytön aikana ja konetta siirreltäessä. Riskin pienentämiseksi suunniteltiin saranoihin rajoittimet (ks. kuvio 24), jotka eivät rajoita työskentelyaluetta, mutta rajoittavat saranan liikeradan alle 360 asteeseen. Servomoottoriin tuleva johdotus vaatii myös saranoiden liikeradan rajoittamista.



Kuvio 24. Saranan liikeradan rajoitin

7.6 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa tuotettiin suunnitelluista osista ja tuoterakenteen mukaisista kokoonpanoista työ kuvat ja osaluettelot (ks. liite 5). Osien nimeäminen oli jo suunnitteluvaiheessa tehty toimeksiantajan nimikejärjestelmää vastaavaksi, joten viimeistelyvaiheessa osien ja kokoonpanojen nimikkeet vain tarkastettiin. Kokoonpanorakenteen vastaavuus tuoterakenteen kanssa tarkastettiin ennen valmistuskuvien tekemistä kokoonpantavuuden näkökulmasta. Alumiiniprofiilirakenteiden osalta, jotka olivat suunniteltu MayCad-ohjelmistolla, ei tehty yksittäisten osien työkuvia, koska tiedot tilausta ja kokoonpanoa varten saatiin suoraan valmistajan ohjelmistosta (ks. liite 6).

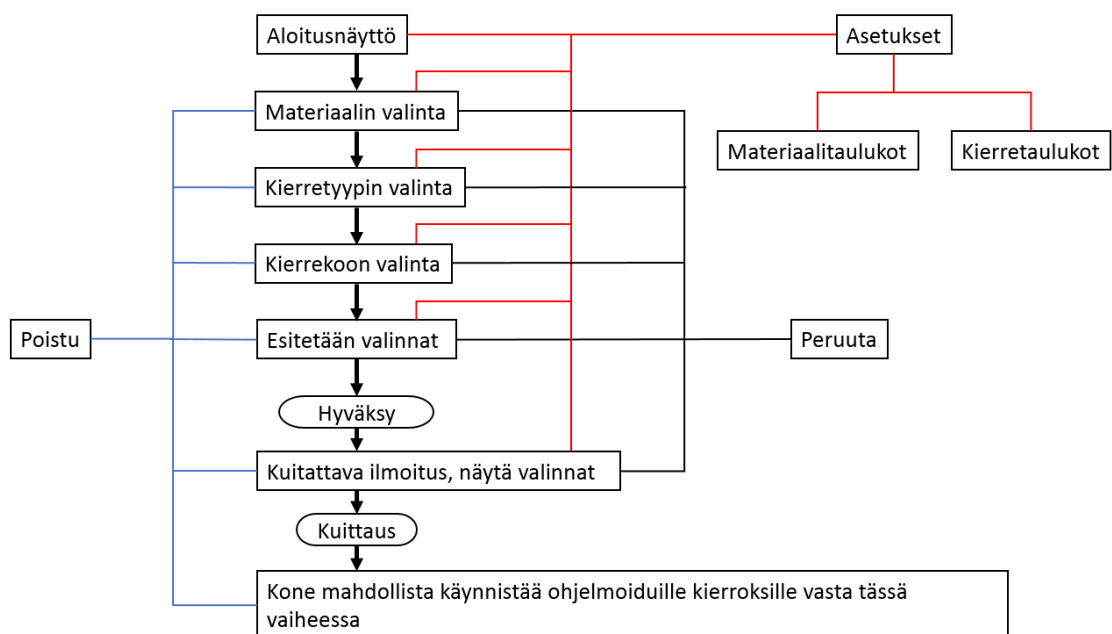
Tässä vaiheessa myös määritettiin osien valmistustekniikka. Valmistustekniikka ja materiaalit olivat suunnitteluvaiheessa mietitty, mutta viimeistelyvaiheessa ne tarkastettiin vielä kerran ja työkuviin myötä ratkaisut lukittiin. Myös kaikkien osto-osien tarkat dimensiot ja saatavuus tarkastettiin, koska oli mahdollista, että suunnittelussa oli käytetty väärä mittoja tai osia ei olekaan enää saatavilla. Osto-osista tarkastettiin myös tilausnimikkeet osaluetteloita varten.

Viimeistelyvaiheessa tehtiin myös lopulliset laskelmat rakenteen kestävydestä (ks. liite 7) sekä tekniset laskelmat komponenttien valinnasta (ks. liite 8).

7.7 Käyttöliittymäsuunnittelu

Eräänä osa-alueena työssä oli laitetta ohjaavan kosketusnäytön käyttöliittymän suunnittelu. Käyttöliittymällä ohjataan valintojen kautta laitteen pyörimisnopeutta ja sen ei tulisi hidastaa työskentelyä, joten käyttöliittymästä haluttiin mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Kosketusnäytön valinta oli rajattu työn ulkopuolelle, mutta toimeksiantajan taholta esitettiin toive, että värinäyttöä ei käytettäisi kustannusten takia. Tämä asetti omia haasteita käyttöliittymäsuunnitteluun, koska värejä ei voitu käyttää korostamaan haluttuja asioita.

Käyttöliittymän suunnittelu aloitettiin tarvittavien näyttötoimintojen määrittämisellä ja hierarkian kehittämällä. (ks. kuvio 25).



Kuvio 25. Käyttöliittymän hierarkia

Käyttöliittymässä suoritettiin sarja toisiaan seuraavia valintoja, jotka olivat materiaalin valinta, kierretyyppi ja kierrekoko. Asetusvalikossa määritettiin materiaalitalu-

koissa materiaalikohtainen lastuamisnopeus ja kierretaulukoissa kierteen tiedot ja nimellishalkaisija. Näiden tietojen pohjalta voitiin määrittää pyörimisnopeus ja aseteltavalla vääntömomentin rajoituksella estää kierretappien katkeaminen.

Hierarkian kehittämisen jälkeen hahmoteltiin ensimmäinen käyttöliittymäluonnos, joka oli vielä puurakenteen muodossa, mutta valinnat oli laajennettu käsittämään tarvittavat osa-alueet. (ks. liite 9). Tästä jatkojalostamalla kehitettiin lopullinen käyttöliittymä (ks. liite 10). Käyttöliittymäsuunnittelussa ulkoasu pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena ja yksiselitteisenä. Valinnat etenivät selkeänä polkuna, joten käyttäjän kuormitus ja käyttökynnys pysyvät alhaisena ja käyttäjien perehdyttäminen laitteen käyttöön ei vaatinut suuria resursseja.

Tämän jälkeen kehitettiin parametritaulukot, (ks. liite 11), jotka sisälsivät materiaalikohtaisen lastuamisnopeuden, sekä kierretyypin ja kierrekoon mukaan määritetyn nimellishalkaisijan. Näiden tietojen avulla pystyttiin laskemaan pyörimisnopeus. Laskennan tuli myös tehdä vertailu suurimpaan sallittuun kierrosnopeuteen ja rajoittaa tarvittaessa kierrosnopeutta.

Työn tulosten esittely

Työn tuloksena kehitettiin toimeksiantajan vaatimuksia vastaava kierteityskoneen prototyyppi (ks. kuvio 26). Lopuksi laitteen runkoon päädyttiin lisäämään säilytysjärjestelmä (ks. kuvio 27) työkaluja varten. Vaatimuslistan ensimmäisessä versiossa säilytysjärjestelmä oli mainittu, mutta toimeksiantaja kehotti jättämään sen pois suunnittelutyöstä. Toimeksiantajalta löytyi valmiiksi suunniteltu modulaarinen järjestelmä, joka mahdollisesti oli muokattavissa tähän rakenteeseen sopivaksi. Sähkösuunnittelun osalta malliin oli tarkoitus tehdä suunnitelmat tai ainakin tilavaraus sähkökaappia varten. Toimeksiantajan säilytysjärjestelmä mahdollistaa myös sähkökomponenttien sijoituksen, joten erillistä sähkökaappia ei tarvita.



Kuvio 26. Valmis laite



Kuvio 27. Valmis laite säilytysjärjestelmällä varustettuna

8 Pohdinta ja jatkotoimenpiteet

Työn tavoitteena oli kehittää toimeksiantajan vaatimuksia vastaava, koneturvallisuusstandardeja noudattava kierteituskoneen prototyyppi. Työssä ei ollut tarkoitus valmistaa prototyyppiä, vaan työssä tähdättiin suunnittelun osalta prototyypin valmistuskuviin asti. Työ eteni hyvässä yhteistyössä toimeksiantajan kanssa ja työn tavoitteet saavutettiin. Laitteen kehittämisessä käytettiin systemaattista suunnittelua työkaluna. Työ eteni systemaattisen suunnittelun päävaiheita mukailleen, pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta. Menetelmästä poikettiin kehittämissä vaiheissa, jolloin toimintokaavioiden sijasta päädyttiin suoraan mallintamaan ratkaisuehdotukset. Tämä nähtiin siinä vaiheessa parhaana toimintatapana, koska ratkaisuehdotuksien vertailu oli näin helpompaa. Työmäärällisesti käytetty menettelytapa oli todennäköisesti rasaskaampi.

Työn rajaaminen oli onnistunut hyvin. Työssä itse laitteen kehittäminen oli vain yksi osatehtävä, mutta siihen liiaksi keskittyminen voi viedä huomion kaikilta muilta osa-alueilta, joten työn tarkka rajaaminen helpotti myös tältä osin koko prosessin läpiviennin. Muita työmäärällisesti mittavia osa-alueita oli standardeihin perehtyminen ja riskinarviointi.

Työn tuloksia arvioitaessa, luonnosteluvaiheen merkitys työn lopputuloksen kannalta korostuu. Luonnosteluvaiheessa määritetään hyvin pitkälle lopputulos, joten tälle vaiheelle olisi kannattanut antaa enemmän aikaa ja pohtia ratkaisuehdotuksia laajemmin. Lopputulosta tämä ei välttämättä olisi muuttanut, mutta näin toimien varmuutta olisi voitu lisätä.

Työn yhtenä osa-alueena oli alumiiniprofiilien käyttäminen rakenteen toteutuksessa. Tuloksia arvioitaessa voidaan todeta alumiiniprofiilien olevan helppoja käyttää rakenteiden suunnittelussa. Alumiiniprofiilien käyttö myös osaltaan helpottaa valmistus- ja kokoonpanovaihetta, koska pintakäsittelyä ei välttämättä tarvita ja osat voidaan tilata kokoonpanovalmiina tai jopa valmiiksi koottuna. Haittapuolena voidaan todeta

alumiiniprofiilien kallis hinta teräsrakenteisiin verrattuna ja tästä johtuen alumiiniprofiilien käytön kannattavuus joudutaan tapauskohtaisesti arvioimaan. Alumiinin käyttöä voi puoltaa myös jokin erityisyys, esimerkiksi painon säästö.

Kehittämistyössä vietiin kahta, lähinnä valmistustekniikaltaan eroavaa mekanismia vaihtoehtoa aivan viimeistelyvaiheen kynnykselle asti, jolloin vasta tehtiin päätös toisen vaihtoehdon kehittämisen lopettamisesta. Päätös olisi pitänyt tehdä aikaisemmin resurssien vapauttamiseksi. Ei tietenkään voida sanoa, että toiseen vaihtoehtoon käytetty aika olisi ollut täysin pois lopputuloksesta, koska ratkaisuvaihtoehdot kehittivät toinen toisiaan, mutta yhteen vaihtoehtoon keskittyminen kyseisessä suunnitteluvaiheessa olisi vähentänyt yleisesti työtaakkaa.

Riskinarviointi olisi kannattanut aloittaa vieläkin aikaisemmin, vaikka se nytkin ajoitettiin suurin piirtein suunnittelutyön puoliväliin, olisi alustava riskinarviointi ollut hyvä tehdä heti konseptoinnin jälkeen. Tämä olisi ohjannut alusta lähtien turvalliseen suunnitteluun, eikä riskinarviointi olisi aiheuttanut merkittäviä muutoksia laitteen rakenteeseen. Riskinarviointi oli työnä melko mittava ja työtä olisi ollut hyvä jakaa pidemmälle aikavälille.

Tutkimuksen laadun ja luotettavuuden arvioinnissa on käytettävä työssä käytettyjen menetelmien omia luotettavuusmittareita, koska kehittämistutkimus ei ole oma itsenäinen tutkimusote, vaan kooste useammasta menetelmästä. Työn tuloksia tulee verrata systemaattisen suunnitteluprosessin alussa määritettyyn vaatimuslistaan. Työn tulokset vastaavat vaatimuslistaa, joten tutkimus on luotettava, mutta työssä kehitetty lopputulos ei kuitenkaan ole ainoa mahdollinen lopputulema. Systemaattinen suunnitteluprosessi ei itsessään määrittele lopputulosta, vaan antaa työkalut systemaattiseen etenemiseen. Käytettäessä systemaattista suunnittelua menetelmänä määritetään työn lopputulos hyvin pitkälle luonnosteluvaiheessa, joka tässä tapauksessa sai paljon vaikutteita olemassa olevista laitteista. Työn lähtökohtien ollessa muunlaiset myös lopputulos muuttuu, vaikka vaatimuslistaan määritetyt vaatimukset olisivat samat. Tulos ei tämän johdosta ole yleistettävissä laajemmin.

Työssä kehitettiin kierteityskoneen prototyyppi valmistuskuviiin asti, joten seuraava vaihe on valmistaa prototyyppi. Koska tässä työssä tehty laitteen kehittäminen sisälsi vain mekaanisen suunnittelun tulisi ennen prototyypin valmistusta tehdä laitteen

sähkösuunnittelu, servomoottorin ohjaimien valinta ja ohjelmointi sekä kosketusnäytön valinta ja ohjelmointi. Työn aikana ei toimeksiantajalta saatu täyttä varmuutta käytettävästä istukasta, joten suunnittelutyössä ei ollut käytettävissä tarkkoja istukan mittoja. Ennen prototyypin valmistamista tulisi valita istukka ja tarkistaa karasuojan mitoitus ja laitteen korkeuden asemointi. Tämä voi johtaa kääntövarren mitoituksen muuttamiseen. Prototyyppi tulisi testata valmistettavuuden ja käytettävyyden osalta. Nämä testaukset voivat johtaa rakenteen osalta muutoksiin, jolloin riskinarviointi tulisi tehdä uudelleen. Prototyypille tulisi myös suorittaa melumittaukset. Melutasoista ei vaihteen ja servomoottorin osalta saatu tietoja suunnitteluvaiheessa, joten melun suuruuden arvioiminen ja huomioonottaminen suunnittelussa oli hankalaa. Melun johtuminen päätettiin jättää suunnitteluvaiheessa huomioimatta, koska laitteeseen valitut pyörivät kone-elimet eivät aiheuta kovin suuria herätteitä.

Koska työssä tähdättiin vasta prototyyppiin, laitteen käyttöohjeita ei tämän työn puitteissa laadittu. Mikäli toimeksiantaja päättää tuotteistaa laitteen, laitteelle tulee laatia käyttöohjeet ja hankkia CE-hyväksyntä.

Lähteet

Airila, M. 2011. Mekatroniikka. Helsinki: Hakapaino.

D-BD sarjan kierteityskone. Viitattu 6.4.2017. <http://www.rencol-automation.co.uk/products/thread-tapping-machines/d-bd-series-electric-thread-tapping-machine/>.

EMT 32 kierteityskone. Viitattu 10.4.2017. http://www.tapping-arm.eu/gewinde-schneidmaschine_elektrisch_emt32.php.

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. 6. korj. p. Helsinki: Hakapaino.

Jänsch, J. & Birkhofer, H. 2006. The development of the guideline VDI 2221 – The change of direction. International design conference – Design 2006, Dubrovnik - Croatia, 2006. Viitattu 7.4.2017. <http://docentes.uto.edu.bo/mruizo/wp-content/uploads/VDI2221.pdf>.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 134.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihevaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja.

Launis, M. & Lehtelä, J. 2011. Ergonomia. Tampere: Tammerprint.

McCormick, E. & Sanders, M. 1993. Human factors in engineering and design. 7. p. Singapore: McGraw-Hill.

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: WSOY.

Pernaa, J. 2013. Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Julkaisussa kehittämiss tutkimus opetuslalla. Toim. J. Pernaa. Juva: PS-kustannus. 9-26.

SFS ry. n.d. Koneturvallisuus. Viitattu 23.3.2017. <http://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuuseseite2015web.pdf>.

SFS ry. 2017. Koneturvallisuuden standardit 2017. Viitattu 4.5.2017. https://www.sfs.fi/files/1478/koneturvallisuusstandardit2017_web.pdf.

SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen.

SFS-ISO/TR 14121-2:2013. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.

Siirilä, T. 2008a. Koneturvallisuus. EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. 2. uud. p. Keuruu: Otavan Kirjapaino.

Siirilä, T. 2008b. Koneturvallisuus. EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 2. uud. p. Keuruu: Otavan Kirjapaino.

Siirilä, T. & Tytykoski, K. 2016. Koneturvallisuuden käsikirja. 2. p. Keuruu: Otavan Kirjapaino.

Sinkkonen, I., Kuoppala, H., Parkkinen, J. & Vastamäki, R. 2006. Käytettävyyden psykologia. Helsinki: Edita Prima.

SL 1200 kierteityskone. Viitattu 6.4.2017. http://www.linnatrade.fi/pneumaattiset_kierteityskoneet.php.

SL Junior kierteityskone. Viitattu. 6.4.2017. http://www.linnatrade.fi/pneumaattiset_kierteityskoneet.php.

Ulrich, K. & Eppinger, S. 2012. Product design and development. New York: McGraw-Hill.

26.11.2004/1016. Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta. Viitattu 24.3.2017. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041016>.

Liitteet

Liite 1. Vaatimuslista

Vaatimusmäärittely, Kierteytyskone			
Vaatimus laji	Vaatimukset kuvaus	Lukuarvo	Huomautukset
	Geometria		
KV	Pöydän dimensiot L,P	800x1000	
KV	Pöytätaason korkeus	750-800	
	Voimat		
VV	Maksimi kierrekoko	M12	
VV	Pöytärakenteen kestävä 200 kg ulkoinen kuorma		
	Energia		
KV	Pyörimisliike servomootorilla		
	Kinematiikka		
KV	Pyörimisnopeus säädettävä	50-1000 r/min	
VV	Pystyttävä kierteyttämään melkein pöydän kaikissa pisteissä	90 %	
VV	Kierteytyspää liikuteltavissa kohtuullisella voimalla	100 N	
KV	Kierteytyskone liikuteltavissa ja lukittavissa paikoilleen		
KV	Koko laitteen oltava liikuteltavissa käsivoimin		
	Materiaalit		
KV	Laitteella pystyttävä käsittelemään metalleja ja muoveja		
	Turvallisuus ja ergonomia		
KV	Noudatettava konedirektiiviä ja standardeja		
T	Mahdollisimman ergonominen		
	Valmistus		
KV	Pöytätaaso terästä		
T	Runko alumiiniprofiilia		
KV	Valmistusmateriaalit yleisesti saatavissa olevia		
KV	Oltava valmistettavissa normaaleilla konepajamenetelmillä		
KV	Yksittäisen osan pituus	max. 1000 mm	
T	Yksinkertainen rakenne		
T	Vältetään hitsattua runkorakennetta		
	Käyttö		
T	Mahdollisimman hiljainen		
T	Yksinkertainen ja helppokäyttöinen		
KV	Käyttöikä	22000 h	
KV	Markkina-alue EU		
	Huolto		
KV	Huoltovapaa suunnitellulla käyttöiällä		
T	Huollettavissa		
	Aikataulu		
	Tuotesuunnittelu päätty 31.4.2017		

Liite 2. Tuoterakenne

Liite 3. Työssä käytetyt standardit

Työssä käytetyt standardit

SFS-EN ISO 12100:2010 Kone turvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen.

SFS-ISO/TR 14121-2:2013 Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.

SFS-EN 12717 + A1:2009 Metallintyöstökoneet. Porakoneet. Turvallisuus.

Standardin SFS-EN 12717+A1 velvoittavista viittauksista on käytetty:

SFS-EN 294:1993 Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet, joilla estetään yläraajojen ulottuminen vaaravyöhykkeelle.

SFS-EN 1050-1997 Koneturvallisuus. Riskin arvioinnin periaatteet.

SFS-EN 349 + A1:2008 Koneturvallisuus. Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi.

SFS-EN 614-1 + A1:2009 Koneturvallisuus. Ergonomiset suunnitteluperiaatteet. Osa 1: Terminologia ja yleiset periaatteet.

SFS-EN 614-2 + A1:2009 Koneturvallisuus. Ergonomiset suunnitteluperiaatteet. Osa 2: Työtehtävien ja koneen suunnittelun väliset vuorovaikutukset.

SFS-EN 894-3 + A1:2009 Koneturvallisuus. Merkinantolaitteiden ja ohjaimien suunnittelun ergonomiset vaatimukset. Osa 3: Ohjaimet.

SFS-EN 1005-1 + A1:2009 Koneturvallisuus. Ihmisen fyysinen suorituskyky. Osa 1: Termit ja määritelmät.

SFS-EN 1005-2 + A1:2009 Koneturvallisuus. Ihmisen fyysinen suorituskyky. Osa 2: Koneen ja sen osien manuaalinen käsittely.

SFS-EN 1005-3 + A1:2009 Koneturvallisuus. Ihmisen fyysinen suorituskyky. Osa 3: Koneen käytön suositellut voimarajat.

SFS-EN 1037 + A1:2008 Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistymisen estäminen.

SFS-EN 1837:1999 Koneturvallisuus. Koneiden valaistus.

Liite 4. Riskinarviointi

Yhteenveto, kiertely skone	
Riskinarvioinnin ohjaava standardi	SFS-EN ISO 12 100, SFS-ISO/TR 14121-2
Käytetty menetelmä	BS 8800
Vaaratekijät:	SFS-EN 12717 + A1 (Pölkönäet) Ks. vaaratekijät
Koneen tiedot:	Kone on tarkoitettu olemaan olivien räjien kiertelytämiseen
* tekniset tiedot, raja-arvot, tarkoitettu käyttö jne.	Ks. koneen raja-arvot
* tehdyt oletukset (luovutukset, lujudet, varmuuskertoimet jne.)	-
Tunnistettavat vaaratekijät	
* tunnistetut vaariallamet	Ks. riskiarvio
* arvioinnissa huomioon otetut vaariallamet tapahtumat	Ks. riskiarvio
Mihin tietoihin näihin arviointi perustuu	Suunnitelun 3D-mallit ja kokoonpanot
* käytetyt tiedot ja toteutukset	Riskin arviointia kattava vain laitteen mekaanisen osion. Sähkösuunnittelun valmistus on riskinarviointia päivittävä.
* käytettyihin tietoihin liittyvä epävarmuus	Käytettyihin tietoihin ei liity epävarmuutta
Mitkä tavoitteet on tarkoitettu saavuttaa turvallisuustoimenpiteillä	Koneen turvallinen käyttö
Vaihdut turvallisuustoimenpiteet	Katso riskiarvio ja toimenpiteet
Jäljelle jäävät riskit max arvo	6 Siedettävä
Lopulliseen riskin arvioinnin tulokset	Jäännösriski on siedettävä.
Merkittävimmät jäännösriskit	Merkittävimmät jäännösriskit ovat puristumisvaara mekaanisissa käytöksissä ja vilho ja lämpöenergiaa, jotka liittyvät pyörittäen karaan.

Jäännösriskin arvot:

0-1...5,0 Vahainen
6-19 Siedettävä
18...29 Käsitteltävä
28...48 Merkittävä
49...100 Sietämätön

Ei tarvita toimenpiteitä

Ennalta ehkäiseviä toimenpiteitä ei tarvita. Valvonta ja seuranta

Riskien pienentämiseksi on ryhdyttävä määräjällassa. Tarkka valvonta

Työtä ei pidä aloittaa tai jatkaa ennen kuin riskit on pienennetty. Nopea johtaus

Työtä ei pidä aloittaa eikä jatkua ennen kuin riskit on pienennetty. Pysyvä kieltä.

Koneen raja-arvot

Koneen tarkoitettu käyttö

Kone on tarkoitettu olemassa olevassa oven kierteyttämiseen.

Koneessa ei ole automaattisia syöttöliikkeitä, kaikki syöttöliikkeet toteutetaan käyttäjän lihavoimalla.

Pyörimisnopeus vaihtelee portaattomasti 0-950 1/min.

Tilarajat

Koneen tarvitsema tila on 2000x2000.

Koneen pöydän mitat ovat 1000x800 mm.

Pöydän korkeus 800 mm

Varren pyörimissäde 1000 mm.

Kone on varustettu pyönilä ja on liikutettävissä.

Korveta siirrettävässä on huomioitava tilavaraukset ja riittävä

tila pöydän ympärille, min. 1000 mm pöydän jokaiselle sivulle, työn suorittamiseen turvallisesti.

Muut raja-arvot

Kone on tarkoitettu sisäkäyttöön.

Käyttölämpötila alue +10° C ... 40° C

Aikarajat

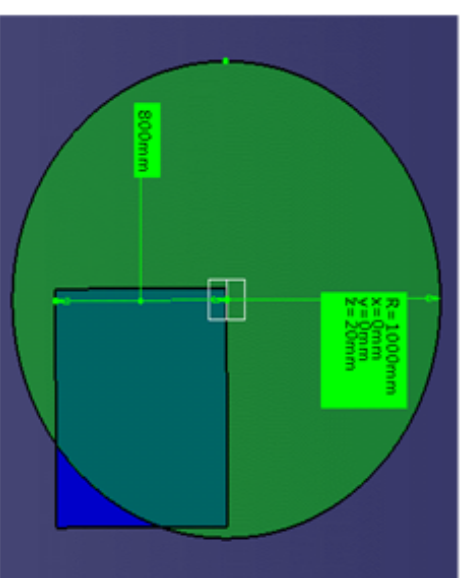
Koneen suunniteltu käyttöikä on 10 vuotta.

Suunnittelulla käyttöikä kone on huoltovapaa. Koneen käyttöiän jatkamiselle ei ole rakenteellista estettä, mutta huollon tarve lisääntyy.

Nivelien laakeroinnit tarkastettava päivittäin silmäämääräisesti.

Kone puhdistettava ja säuistään päivittäin.

Perusteellinen puhdistus 6 kuukauden välein, jolloin tarkistettava karan ja vaihteiston kiinnitys ja rungon pulttien kireys.



Merkittävät vaarat

Standardi SFS-EN 12717 + A1 (Porakoneet)

1 Mekaaniset vaaratekijät, joiden aiheuttajina ovat:

- 1.1 Puristumisvaara
- 1.2 Leikkautumisvaara
- 1.3 Viiltovaara
- 1.4 Takertumisvaara
- 1.5 Nieluunjoutumis- tai loukkuunjäämisvaara
- 1.6 Iskuvaara
- 1.7 Pisto- tai puhkaisuvaara

2 Sähköstä johtuvat vaaratekijät

- 2.1 Henkilöiden kosketuksesta jännitteellisiin osiin
- 2.2 Henkilöiden kosketuksesta vian seurauksena jännitteiksi tulleisiin osiin (epäsuora kosketus)

4 Melun aiheuttamat vaaratekijät

- 4.1 Kuulon heikkeneminen, muut fysiologiset häiriöt (esim. tasapainon menetykset, tarkkaa väisyyden heikkeneminen)
- 4.2 Häiriötä puheen ymmärtämisessä, äänimerkkien kuulemisessa

7 Käsiteltävistä tai käytettävistä materiaaleista ja aineista aiheutuvat vaaratekijät

- 7.1 Vaaratekijät, jotka ovat seurausta haitallisten nesteiden, kaasujen, sumujen, huuруjen tai pölyjen kosketuksesta tai hengittämisestä
- 7.2 Tulipalon tai räjähdysten vaara
- 7.3 Biologiset tai mikrobiologiset (virus- tai bakteeriperäiset) vaaratekijät

8 Ergonomisten periaatteiden huomiotta jättämisestä aiheutuvat vaaratekijät johtuen esim.

- 8.1 Epäterveellisistä asennoista tai liiallisesta ponnistelusta
- 8.2 Ihmisen käden tai jalan anatomian riittämättömästä huomioinnista
- 8.4 Riittämättömästä kohdevalaistuksesta
- 8.6 Inhimillisestä virheestä tai käyttäytymisestä
- 8.7 Hallintaelimien puutteellisesta suunnittelusta, sijoittelusta tai tunnistettavuudesta
- 8.8 Näyttölaitteiden puutteellinen suunnittelu tai sijoittelu

10 Odottamaton käynnistyminen, odottamaton toiminta-alueen tai nopeuden ylittäminen

- 10.1 Ohjausjärjestelmän vikaantumisen tai toimintahäiriöstä
- 10.2 Keskeytyksen jälkeen uudelleen kytkettävästä energian syötöstä
- 10.3 Ulkoisista vaikutuksista sähkölaitteisiin

13 Energiasyötön vika**14 Ohjauspiirin vika****15 A sennusvirheet****16 Rikkoutuminen käytön aikana****17 Putoavat tai sinkoutuvat osat, nesteet tai kaasut****18 Koneen vakavuuden menettäminen tai kaatuminen****19 Henkilöiden liukastuminen, kompastuminen tai putoaminen**

Vaaratekiä		Tilanne		Riskinarviointi			Riskinarviointi					
				Tunnistettu riski			Jäähdytysriski					
		Esilintymine	Seuraukset	Riski				Esilintymine	Seuraukset	Riski		
1	Purautuminen			0,5	20	10	6-15 Sädettä	0,3	20	6	6-15 Sädettä	1
2	Virtaus	Virtaus kaadon vaari Työkälu pölyminen		0,8	30	24	16-29 Korkeain	0,3	20	6	6-15 Sädettä	2
3	Taantumisaara	Työkälu pölyminen		0,7	40	28	Suola keräilymerkit, maksimimäärin rajoitus modotitit, oivastus	0,3	20	6	6-15 Sädettä	3
4	Isuuraa	Työkäluksen irtoaminen		0,9	30	27	Parantetaan suunnitellulla työkäluksen kennittymänoitollisuuksella	0,1	20	2	0,1..5 Vähäinen	4
5	Isuuraa	Mekaaninen häiriömuoto pölytyös		0,9	30	27	Suuren määrän sarranohin rajoitukset	0,2	20	4	0,1..5 Vähäinen	5
6	Haitallisten huujujen hajoittaminen	Tiivistäessä nousevat kaasut		0,2	20	4	Aiheutus vähäinen, mutta ohjestaetaan vähemmän kaadon hajoittamisella	0,2	20	4	0,1..5 Vähäinen	6
7	Riittämätön kondenssaatio	Työkälu lämpötilan hajoittaminen		0	0	0	Tarkastus oivastusprosessi			0		7
8	Muun aiheuttamat vaaratilanteet 4.1 ja 4.2			0	0	0	Mittattavia mitä prosotteja ja arvioitavia riskiä			0		8
9				0		0				0		9

Esimiehen/Todennäköisyys:

0,1 Arvioimallaan esitodennäköinen, lähes mahdoton

0,2 Hyvin esitodennäköinen, kuitenkin epätodennäköinen

0,3 Esitodennäköinen

0,4 Mahdollinen, mutta epätodennäköinen

0,5 Tapahtuminen ja tapahtumista jäminen ovat suuren määrän yhteisä todennäköisiä

0,6 Tapahtuminen ja tapahtumista jäminen ovat suuren määrän yhteisä todennäköisiä

0,7 Todennäköinen, tapahtuminen ei ole epätodennäköinen

0,8 Hyvin todennäköinen

0,9 Tapahtuu lähes varmasti; tapahtumista jäminen ei ole väistämätöntä

1,0 Tapahtuminen on varma

Seurauksen vaikutus:

1 Erittäin vakava

20 Vakava tai huomattava

30 Heikko, häiritsevä, huono olo

40 Suuren luon murto ma tai vakava vaikutus

50 Pieni luon murto ma tai merkittö vaikutus

60 Suuren luon murto ma tai vakava vaikutus (parantuu) teikka pölystä (vähäinen vaikutus) (osa pois soimasta,
näkösä toiminta-alueen rajoittaminen tms.

70 Kesk. Edellinen

80 Heikko, osittain tai kaudon merkitys teikka muuta vaarasta pölystä vammoja (mm. uusaaminen soimen menettämisen
tai niiden toiminta-alueen häiriöiden)

90 Kesk. Edellinen

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. pölystä aiheutuva vamma) (osa pois soimasta)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

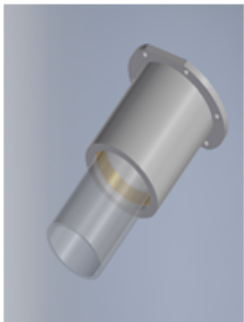

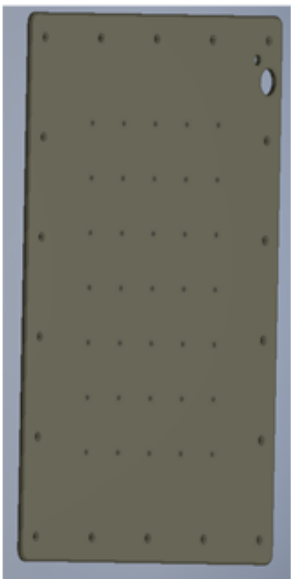
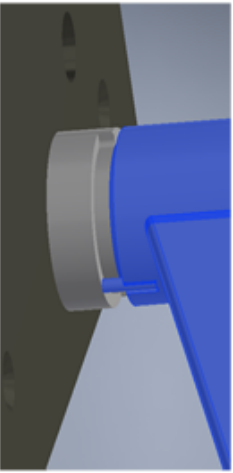
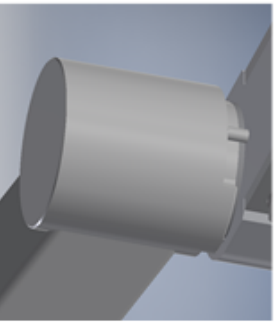
100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

100 Kaudon merkitys tai suuren määrän vaikutus (esim. häiriöiden)

Suunnittelun avulla toteutettavat toimenpiteet riskin pienentämiseksi			
Vaaratilanne	Toimenpide	Toteutus	Vaaratilanne
2,3	Suoja karan ympärille	<p>Suojan kiinteä osa peittää pyörävän kytkimen ja osan istukkaa ja läpinäkyvä kiinteän osan sisään liukkua, polyykarbonaattiputki kierretapin. Luukonlähisyys mahdollistaa kierretapin ja holkon vaihtamisen</p>  	2,3
4	Kiinnitysreijät pöytälevyn, kappaleen ja kappaleenkiinnitysvälineiden, kuten puristin, kiinnittämiseksi	<p>Pöytälevyn lisätään M10 kierrekia taaajolla</p> 	4
5	Rajoitetaan saranoiden liikerataa mekaanisilla rajoittimilla	<p>Konettaan toiseen saranakappaleeseen sallittu liikerata ja asennetaan toiseen kappaleeseen liikerataa seuraava tappi</p>  	5

Liite 5. Valmistuskuvat

Liite 6. Alumiiniprofilirungon tuotetiedot

Liite 7. Rakenteen lujoustarkastelu

Liite 8. Komponenttien valinta

Liite 9. Käyttöliittymän ensimmäinen luonnos

Liite 10. Lopullinen käyttöliittymä

Liite 11. Lastuamisparametritaulukot