

Opinnäytetyö AMK

Tekniikka ja liiketoiminta / Teknologiateollisuus

2021

Pasi Vähämäki

CNC-JYRSIMEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Numeerisesti ohjatun 3-akselisen jyrsimen toteutus

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikka ja liiketoiminta / Teknologiateollisuus

2021 | 43 sivua, 1 liitesivu

Pasi Vähämäki

CNC-JYRSIMEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa konepajan käyttöön kolmen liikesuunnan jyrsin. Laitetta käytetään 3D-mallien pohjalta luotujen kappaleiden koneistamiseen muovista ja alumiinista. Työssä käsitellään numeerisesti ohjattuja jyrsinkoneita yleisellä tasolla ja esitellään komponenttivalintoja.

Rakennettu jyrsin on omalla rungollaan rakennettu kokonaisuus, jonka liikkeitä ohjataan tietokoneen avulla. Tietokoneohjelma, jolla liikkeitä ohjataan, käsittelee numeerista dataa ja ohjaa sen avulla laitteen ohjauskorttia. Ohjauskortti säätelee akselien liikkeitä. Jyrsimen runko on terästä, jolla on hitsattu rakenne.

Toteutettu jyrsin vastaa sille asetettuja tavoitteita ja siitä tuli haluttu kokonaisuus. Osa suunnitelluista toimenpiteistä jää myöhempään vaiheeseen. Tämä opinnäytetyö antaa hyvät perusteet numeerisesti ohjatuista työstökoneista ja kuvaa jyrsimen toteutukseen liittyviä seikkoja.

ASIASANAT:

CNC, numeerinen ohjaus, jyrsin, riskienhallinta

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Engineering and Business / Technology Industry

2021 | number of pages 43, number of pages in appendices 1

Pasi Vähämäki

PLANNING AND IMPLEMENTATION OF A CNC MILL

The purpose of the thesis was to introduce the design and manufacturing of a numerically controlled 3 axis mill. The mill would be used in a industrial workshop. The purpose of the machine was to be used milling pieces of plastic and aluminium based on a 3D-model. The thesis introduces numerically controlled machines on a general level and introduces the selection of components.

The designed machine is an entity built with its own frame. All of the movements are controlled by a computer. The computer program processes numerical data and uses it to control movements of the machine via a control card. The body of the machine is made of steel with a welded structure.

The completed milling machine meets the goals set for it and became the desired entity. Some of the planned measures will remain at a later stage. This thesis provides a good basis for numerically controlled machines, and describes aspects related to the implementation of the machine.

KEYWORDS:

CNC, numerical control, milling machine, risk management

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 ASKON GROUP	9
3 NUMEERISESTI OHJATUT TYÖSTÖKONEET	10
3.1 Numeerinen ohjaus	10
3.2 Historiaa	10
3.3 Lastuava työstö	12
4 KONEEN TAVOITTEIDEN MÄÄRITTELY	13
5 LAINSÄÄDÄNTÖ	14
5.1 Valmistaja	14
5.2 Koneen valmistajan tehtävät	15
6 RISKIEN JA VAAROJEN HALLINTA	16
6.1 Koneasetus	16
6.2 Koneen riskin arviointi	16
6.3 Vaarojen tunnistaminen	17
7 RISKIEN JA VAAROJEN HALLINNAN TOTEUTUS	19
7.1 Riskien arviointi	19
7.2 Riskien suuruuden arviointi	20
7.3 Riskien pienentäminen	22
7.4 Riskien pienentämisen johtopäätökset	23
8 PERUSKOMPONENTIT	24
8.1 Akselit	24
8.2 Johdejärjestelmä	24
8.2.1 Profiilijohde	25
8.2.2 Pyöröjohde	26
8.2.3 Lineaariyksikkö	26
8.2.4 Kuularuuvimutteri	27
8.2.5 Rullaruuvi	28

8.2.6 Hammashihna	29
8.2.7 Hammastanko	30
9 MEKANIKKASUUNNITTELU	31
9.1 Siemens NX	31
9.2 Runkovaihtoehot	31
9.3 Rungon suunnittelu	33
9.4 Linearijohteet ja kuularuuvit	34
9.5 Sakarakytkimet ja hihnavälitys	34
9.6 Akselit	35
9.7 Pöytä	35
9.8 Karan vastapaino	36
10 JYRSIMEN SÄHKÖKOMPONENTIT	37
10.1 Askelmoottorit	37
10.2 Jyrsinkara ja taajuusmuuttaja	37
11 JYRSIMEN OHJAUS JA TOIMINTA	38
11.1 Jyrsimen toiminta	38
11.2 Mach3-ohjausohjelma	38
12 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1. Riskin suuruuden arviointikaavio.

KUVAT

Kuva 1. Ensimmäisiä tietokoneohjattuja jyrsinkoneita vuodelta 1952 (Medium 2019).	11
Kuva 2. Profiilijohteen ja kelkan rakenne (Schaeffler 2021).	25
Kuva 3. Pyöröjohde (BoschRexroth 2021).	26
Kuva 4. Lineeariyksikkö (Movetec 2021).	27
Kuva 5. Kuularuuvimutteri (Movetec 2021).	28
Kuva 6. Rullaruuvi (Linearmotiontips 2017).	29
Kuva 7. Hammashihna- ja pyörä (Mekanex 2021).	29

Kuva 8. Hammastanko ja pyörä (SKS 2021).	30
Kuva 9. Portaalimallinen jyrsinkone (Felder Group 2021).	32
Kuva 10. Polvimallinen jyrsinkone (Sharp Industries 2021).	32
Kuva 11. Pöytämallinen runkorakenne (CNC Cookbook).	33
Kuva 12. Jyrsimen pöytä koneistettuna.	36
Kuva 13. Mallinnettu ja todellinen jyrsin.	39
Kuva 14. Muovikappaleen jyrsintätesti.	40

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

CNC	Computer Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
PLC	Programmable Logic Control, ohjelmoitava logiikka.
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavustettu suunnittelu.
CAM	Computer Aided Manufacturing, tietokoneavustettu valmistus.
PL	Performance level, suojaustaso.
PLr	Required Performance Level, vaadittu suojaustaso.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään numeerisesti ohjatun kolmen liikesuunnan jyrsimen suunnitteluun, komponenttivalintoihin, riskien arviointiin ja hallintaan. Tämä opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa konepajan käyttöön kolmen liikesuunnan jyrsin, jolla jyrsitään 3D-mallien pohjalta osia alumiinista ja muovista.

Ajatus jyrsimen toteutukselle lähti konepajan tarpeista laajentaa toimintaa manuaalisista työstökoneista kohti tietokoneohjattua työstökoneita. Säännöllisin väliajoin konepajalle tulee useiden kymmenien kappaleiden tilauksia, joiden koneistaminen voidaan automatisoida. Näin ollen tietokoneohjattu jyrsin tulee tarpeeseen yritystoiminnan tehostamiseksi. Jyrsin valmistetaan kokonaisuudessaan toimeksiantajan tiloissa, joissa sitä tullaan jatkossakin käyttämään.

Kappaleista luodaan 3D-malli, jonka mukaan työstöohjelma tehdään. Tällä työstöohjelmalla kone saa aikaan liikekäskyt, joilla toimielimiä liikutetaan. 3D-malleihin on helppoa ja nopeaa tehdä muutoksia jälkeenpäin.

Jyrsin mahdollistaa hyvin erilaisten monimuotoisten kappaleiden valmistamisen. Päätaavoitteena jyrsimen toiminnalle on, että sillä voidaan koneistaa muoveja, alumiinia ja tietyissä tapauksissa metalleja.

Työssä käsitellään aluksi numeerisesti ohjattujen työstökoneiden historiaa, sen jälkeen saatavilla olevien komponenttien esittelyä, runkorakenteita, mekaniikkasuunnittelua ja lopuksi riskien arviointia ja hallintaa.

2 ASKON GROUP

Askon Group, Kaarinan asennus- ja koneistuspalvelu Oy on pk-yritys, joka valmistaa teräsrakenteita, tarjoaa varaosavalmistusta ja levytöitä. Askon Group tarjoaa monipuolisia asennus-, koneistus- ja kunnossapitopalveluja eri teollisuuden aloille ja toimijoille Varsinais-Suomen alueella.

Askon Groupin päätoimiala on teollisuuden alihankintayritys, joka on erikoistunut koneistustöihin. Alihankinnalla suoritettua valmistusta on toiminta, jossa valmistuttajayritys ostaa alihankkijayritykseltä tuotteita tai palveluja, joiden suunnittelu ja markkinointi on valmistuttajayrityksen vastuulla, kuten myös materiaalin toimittaminen alihankkijalle. Alihankintayritys tuottaa palveluita tai tuotteita muille yrityksille tilausten perusteella. (Tilastokeskus 2021.)

Asiakkaiden tilaukset, jotka vaativat CNC-koneistusta, joudutaan ostamaan ulkopuolisilta toimijoilta. Tämä aiheuttaa viivettä ja kustannusten nousua tilausprosessissa, joten tarkoituksena on laajentaa omaa toimintaa CNC-koneistukseen ja kasvattaa omavaraisuusastetta. Näin mahdollistetaan laajempi varaosavalmistus.

3 NUMEERISESTI OHJATUT TYÖSTÖKONEET

3.1 Numeerinen ohjaus

Numeerista ohjausta, jota kutsutaan yleensä NC:ksi, käytetään hyvin laajalti työstökoneiden ohjauksessa. Numeerinen ohjaus käsitetään ohjelmoitavan automaation muodoksi, jossa määriteltyä prosessia ohjataan kirjaimilla, numeroilla ja eri symboleilla. Työstökoneissa tätä ohjelmoitavaa automaatiota käytetään koneiden ohjaamiseen. (Bright Hub Engineering 2009.)

Käytännössä katsoen numeerinen ohjauslaite määritellään prosessoitavaksi, jota ohjataan käskysarjalla nimeltä ohjelma. Numeerisessa ohjausmenetelmässä numerot muodostavat ohjelman perusohjeet erityyppisille töille. Siksi tämän kaltaista ohjelmointia kutsutaan numeeriseksi ohjelmoinniksi. Kun työn tyyppi muuttuu, myös perusohjeen käskyt muuttuvat. Uusia ohjeita on helpompi kirjoittaa jokaiselle työlle, johtuen NC:n joustavasta käytöstä. (Bright Hub Engineering 2009.)

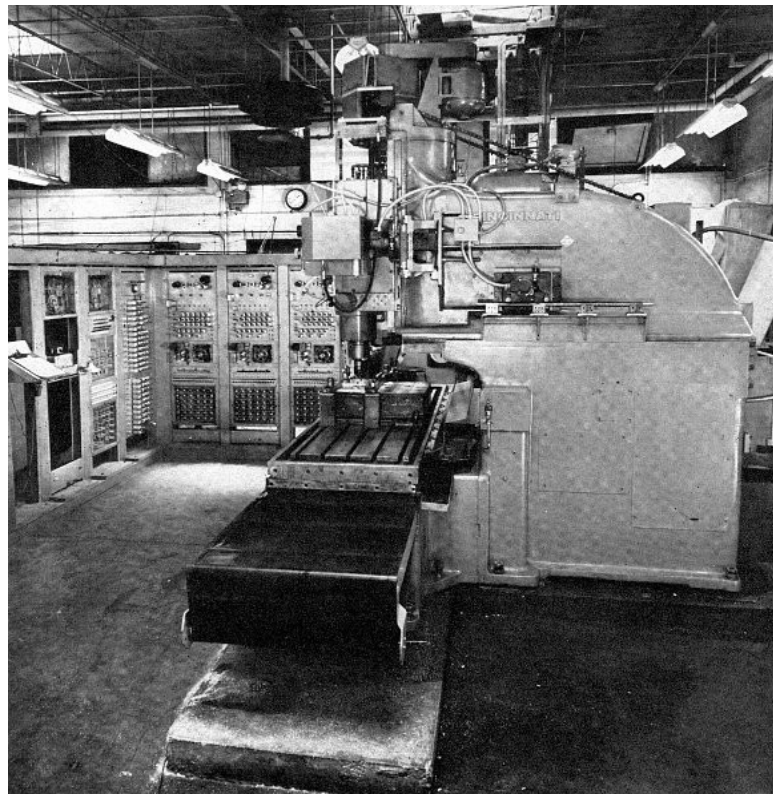
NC-tekniikkaa voidaan käyttää monissa eri toiminnoissa, kuten piirtämisessä, kokoonpanossa, testauksessa, peltitöissä ja kaikissa toiminnoissa, jotka voidaan automatisoida. Numeerista ohjausta käytetään kuitenkin laajalti erilaisissa metallintyöstöprosesseissa, kuten sorvaus, poraus, jrsintä, muovaus jne. NC:n ansiosta melkein kaikki työstöoperaatiot voidaan tehdä nopeasti, mikä tekee massatuotannosta halvempaa. Lisäksi se mahdollistaa erilaisten työstöratojen tekemisen, jotka ovat haastavia tehdä manuaalisesti ohjatuilla työstökoneilla, kuten pyöreät tai ovaalit liikkeet, joissa työstökoneen kahta tai useampaa akselia liikutetaan saman aikaisesti. (Bright Hub Engineering 2009.)

3.2 Historiaa

Ensimmäisiä CNC-koneita alettiin kehittämään 1940-luvulla lentokoneiteollisuuden tarpeisiin. Numeerista ohjausta alkoi kehittää John Parson, joka yritti luoda automaattisia liikeratoja helikopterin lapojen jrsintään. Parson onnistui laskemaan koordinaattipisteet, jotka hän syötti tarkkuusporakoneelle. Ensimmäinen ohjaus tapahtui syöttämällä koneelle reikäkortti, johon oli tallennettu numeerista tietoa rei'ittämällä reikiä pitkään nauhaan, jonka nauhanlukija luki ja käänsi koneisiin ohjattua työtä varten. Vuonna 1949 Par-

son sai rahoituksen moottoroiduilla akseleilla varustetun koneen luonnoksen suunnitteluun. Tätä konetta ohjattaisiin reikänauhalla. Tästä ei kulunut kauaa aikaa, kun Parson alkoi kehittämään Michigan Institute of Technology (MIT) kanssa ensimmäistä numeerisesti ohjattua jyrsinkonetta. (Get It Made.)

Vuoteen 1955 asti käytettiin reikänauhamenetelmää. Kuvassa 1 on esitellä reikänauhamenetelmää käyttävä jyrsinkone. Reikänauhametelmä kehittyi magneettinauhaan, joka mahdollisti monipuolisemmat toiminnot. Magneettinauha mahdollisti erilaisten muuttujien käytön ja näiden muuttamisen, kuten nopeuden, jäähdytyksen säädön ja syötön määrittämisen. Nauha syötettiin sitten digitaaliseen lukulaitteeseen, joka käänsi tiedot tietokoneelle, jolloin tietokone lähetti toimilaitteille ohjauskäskyt. (Get It Made.)



Kuva 1. Ensimmäisiä tietokoneohjattuja jyrsinkoneita vuodelta 1952 (Medium 2019).

Digitaalisen tekniikan käyttöönotto 1960- ja 1970-luvuilla edesauttoi CNC-tekniikan kehittymistä siihen malliin, joka on käytössä tänä päivänä. Tämä merkitsi kehitystä reikänauhasta digitaaliseen ohjelmistoon, jolla on enemmän kapasiteettia tekniseen kehitykseen ja enemmän suorituskykyä. (Get It Made.)

3.3 Lastuava työstö

Konepajoissa lastuavalla työstöllä valmistetaan metalliaihiosta koneiden osia ja muita kappaleita lastuavin työstömenetelmin. Työstössä käytetään lastuamiskeinoja voiteluun, jäähdytykseen, metallihiukkasten ja lastujen poistoon työstökohdasta. Lastuamiskeinojen koostumus vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Myös lastuamiskeinojen koostumus muuttuu käytettäessä. (Työturvallisuuskeskus 2018,1.)

Lastuavia työstömenetelmiin lasketaan sorvaus, jrsintä, hionta, poraus, sahaus, höyläys ja avartaminen. Käsi käyttöisellä koneella tehtävää työtä kutsutaan manuaaliseksi metallin työstöksi. Tietokone-ohjatuilla CNC-työstökoneilla valmistetaan yleensä suurempia sarjoja. Työstettävänä materiaalina voi olla komposiitit, muovit, teräs, valurauta, ruostumaton tai haponkestävä teräs, alumiini tai jokin muu metalliseos. (Työturvallisuuskeskus 2018,1.)

Metallin työstöstä ilmaan vapautuvien epäpuhtauksien määrään vaikuttavat lastuamiskeinojen ikä, laatu, koneistusolosuhteet ja koneistettava materiaali. Tämän lisäksi koneiden koteloinnilla, kohdepoistoilla, työstötavoilla, työstön kierrosnopeudella ja puhdistusmenetelmällä voidaan vaikuttaa ilmaan vapautuvien epäpuhtauksien määrään. (Työturvallisuuskeskus 2018, 1.)

4 KONEEN TAVOITTEIDEN MÄÄRITTELY

Ennen suunnittelutyön aloitusta määritellään koneen käyttötarkoitus ja liikealueet. Määrittelyssä otetaan huomioon koneeseen käytettävät komponentit. Näin saadaan tarvittavat alkutiedot suunnittelun toteutukseen.

Koneessa on kolme akselia, jotka liikkuvat toisiinsa nähden kohtisuoraan. Jyrsimellä tulee pystyä koneistamaan muoveja, alumiinia ja metalleja. Metalleja työstettäessä kyseen tulee myös lastuamisnesteen käyttö. Lastuamisnestesäiliö toteutetaan vielä myöhemmässä vaiheessa, kun kone on saatettu toimintakuntoon. Työstettävä kappale kiinnitetään työstöpöytään. Liikealueen tulee olla X-suunnassa 500 mm, Y-suunnassa 300 mm ja Z-suunnassa 300 mm. Jokaisen akselin lineaariliikkeet tullaan toteuttamaan lineaarijohteilla ja kuularuuveilla.

Koneesta pitää saada mahdollisimman tarkka, jotta sen toiminta täyttää konepajan laatuvaatimukset. Tarkkuuteen voidaan vaikuttaa suunnitteluvaiheessa rungon tukevuu-della, lineaarikiskojen ja kuularuuvien suuruudella. Rakennusvaiheessa tarkkuuteen voidaan vaikuttaa koneistuksen jäljellä, lähinnä lineaarijohteiden asennuspinnan tarkkuudella. Käytössä on asianmukaiset työstökoneet, joilla jokaisen akselin pinnat saadaan koneistettua kerralla ja osien koneistus saadaan suoritettua itsenäisesti.

5 LAINSÄÄDÄNTÖ

Konedirektiivin suppeassa merkityksessä koneeksi katsotaan sellainen kokonaisuus, joka koostuu toisiinsa yhdistetyistä osista tai mekanismeista, joista vähintään yhden on oltava liikkuva ja jotka ovat valmistettu tiettyä tarkoitusta varten. Kone on tarkoitettu käytettäväksi muulla kuin ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirrolla. (Euroopan komissio 2010, 31.)

Konedirektiivissä perusmääritelmän mukaan koneeksi ei lasketa tuotteita, joiden osia tai komponentteja ei ole liitetty toisiinsa yhdistelmäksi. Tämä ei kuitenkaan sulje pois mahdollisuutta valmistajalta toimittaa konetta niin, että jotkin osat tai komponentit ovat irrallaan kuljetuksen tai varastoinnin aikana. Tässä tapauksessa kone on suunniteltava ja rakennettava niin, että asennusvirheitä ei pääse tapahtumaan erillisiä osia asennettaessa. Tämä korostuu erityisesti, jos kone on tarkoitettu muun kuin ammattikäyttäjän käyttöön. Valmistajan on toimitettava myös asianmukaiset kokoonpano-ohjeet ja otettava tarpeen mukaan huomioon yleisesti koulutustaso ja harkintakyky, jota voidaan kohtuudella odottaa muulta käyttäjältä kuin ammattikäyttäjältä. (Euroopan komissio 2010, 31.)

5.1 Valmistaja

Valmistaja voi olla luonnollinen henkilö tai oikeushenkilö eli ihminen taikka yritys tai yhdistys. Koneen tai osittaisesti valmiin koneen suunnitteluun ja rakentamiseen voi olla osallisena useita henkilöitä tai yrityksiä, mutta yhden niistä on kuitenkin otettava valmistajan vastuu siitä, että kone tai osittain valmis kone on direktiivin mukainen. (Euroopan komissio 2010, 62–63.)

Johtuen direktiivissä säädettyjen olennaisten terveys - ja turvallisuusvaatimusten koskemmista lähinnä koneen suunnittelua ja rakentamista, konetta suunnitteleva ja rakentava taikka vähintäänkin suunnittelua ja rakentamista valvova henkilö on selkeästi parhaassa asemassa vaatimusten täyttämisen suhteen. Joissain tapauksissa valmistaja itse voi suunnitella ja rakentaa koneen. Joissakin tapauksissa muut henkilöt, kuten tavarantoimittajat tai alihankkijat, voivat ottaa tehtäväkseen koneen suunnittelun tai rakentamisen kokonaan tai osittain. Sen henkilön, joka ottaa oikeudellisen vastuun koneen tai osittain valmiin koneen vaatimustenmukaisuudesta ja joka aikoo saattaa koneen tai osittain valmiin koneen markkinoille omaa nimeään tai tavaramerkkiä käyttäen, on varmistettava

tavarantoimittajien ja alihankkijoiden riittävä valvonta. Tämän lisäksi henkilöllä on oltava riittävät tiedot, jotta voidaan varmistua siitä, että hän pystyy täyttämään kaikki säädetyt velvoitteensa. (Euroopan komissio 2010, 62–63.)

5.2 Koneen valmistajan tehtävät

Koneen valmistajan vastuulla on, Työsuojeluhallinnon (2008, 6) mukaan:

- *Arvioida riskit.*
- *Selvittää konetta koskevat turvallisuusvaatimukset.*
- *Suunnitella ja rakentaa kone olennaisten turvallisuusvaatimusten mukaisesti.*
- *Laatia käyttöohjeet ja tehdä koneeseen tarvittavat merkinnät.*
- *laatia tekniset tiedostot.*

6 RISKIEN JA VAAROJEN HALLINTA

6.1 Koneasetus

Työsuojeluhallinnon (2008,6) mukaan *Euroopan talousalueella koneita koskevia teknisiä vaatimuksia ja vaatimustenmukaisuuksien osoittamismenettelyt määritellään konedirektiivissä, joka on uusittu vuonna 2006. Valmistajan on noudatettava konedirektiivin kansallisia säädöksiä 29.12.2009 alkaen.*

Valtioneuvoksen asetus koneiden turvallisuudesta vastaa uutta konedirektiiviä (400/2008) eli niin sanottu koneasetus, joka perustuu EY:n konedirektiiviin 2006/42/EY. Asetus sisältää koneita koskevat vaatimukset. Koneasetusta sovelletaan jokaiseen uuteen koneeseen. Asetus koskee Euroopan talousalueelle vietäviä, kotimaan markkinoille ja omaan käyttöön valmistettuja koneita. (Työsuojeluhallinto 2008, 6.)

Rakennettaessa konelinja erillisistä koneista, koneenosista tai osittain valmiista koneista konelinjan toimittajan on vastattava siitä, että konelinja vastaa sille asetettuja vaatimuksia. Kokonaisvastuun ottamisesta on sovittava erikseen, kun konelinjalla on useita toimittajia. Koneen käyttäjä ottaa kokonaisvastuun rakennettaessa konelinja eri valmistajien koneista tai koneiden osista. (Työsuojeluhallinto 2008, 6.)

6.2 Koneen riskin arviointi

Työsuojeluhallinnon (2008,7) mukaan *koneen suunnitteluun liittyvä riskien arviointi aloitetaan tunnistamalla koneen*

- *raja-arvot*
- *vaarat ja vaaratilanteet*
- *riskien suuruudet*
- *riskien merkitykset.*

Koneen vaaratekijät tulee tunnistaa ja poistaa. Jos poistaminen on mahdotonta, riskiä pienennetään mahdollisimman paljon. Riskien pienentämisessä tulee ottaa huomioon koneasetuksessa määritellyt turvallisuusvaatimukset. SFS-ISO EN 12100 -standardin avulla voidaan tunnistaa vaaratekijät ja arvioida riskit. (Työsuojeluhallinto 2008, 7.)

Riskien arvioinnissa otetaan huomioon vamman tai terveyshaitan esiintymistodennäköisyys ja ennakoitavissa oleva vamma ja sen vakavuus. Tekniset ja inhimilliset tekijät, jotka vaikuttavat riskeihin ja vaaroihin tunnistetaan, jonka jälkeen analysoidaan. Turvallisuus-toimenpiteet suunnitellaan ja toteutetaan riskinarvioinnin perusteella. Koneen ennakoitu käyttö sen koko elinkaaren aikana on otettava huomioon suunniteltaessa ja rakentaessa, jotta kone saadaan turvalliseksi. (Työsuojeluhallinto 2008, 7.)

6.3 Vaarojen tunnistaminen

Kun koneelle on määritetty raja-arvot, koneen kokonaisriskien arviointiin sisältyy kohtuudella ennakoitavien vaarojen (jatkuvasti esiintyvät ja sellaiset vaarat, jotka saattavat esiintyä odottamattomasti), vaaratilanteiden ja vaarallisten tapahtumien tunnistaminen koneen kaikissa elinkaaren vaiheissa, toisin sanoen (SFS-EN ISO 12100);

- kuljetus
- kokoonpano
- asennus
- käyttöönotto
- käyttö
- käytöstä poisto.

Vaarojen tunnistamisen jälkeen voidaan suorittaa toimenpiteitä niiden poistamiseksi tai esiintyvien riskien pienentämiseksi. Jotta vaarojen tunnistaminen voidaan saattaa päätökseen, on välttämätöntä tunnistaa koneella suoritettavat toiminnot, joita koneen käyttäjä suorittaa. (SFS-EN ISO 12100.)

Suunnittelijan on vaaroja tunnistettaessa huomioitava seuraavat seikat standardin SFS-EN ISO 12100 mukaan:

1. Ihmisten vuorovaikutus koneen elinkaaren aikana

Tehtäviä tunnistettaessa tulisi huomioida tehtävät, jotka liittyvät edellä lueteltaviin elinkaaren eri vaiheisiin. Näiden tehtävien tunnistamisessa tulisi ottaa huomioon seuraavat tehtäväluokat:

- asetusten luonti
- testaus
- ohjelmointi
- työkalun muuttaminen

- käynnistys
- kaikki toimintatavat
- koneeseen syöttäminen
- tuotteen poistaminen koneesta
- koneen pysäytys
- koneen pysäytys hätätilanteessa
- toiminnan palautus vikatilanteen jälkeen
- uudelleenkäynnistys odottamattoman pysähdyksen jälkeen
- vianetsintä
- kunnossapito. (SFS-EN ISO 12100.)

2. Koneen mahdolliset toimintatilat

Kone suorittaa sille tarkoitetun toiminnon, eli tällöin kone on normaalitilassa. Jos kone ei suorita tätä toimintoa, koneessa on toimintahäiriö. Tällöin vika voi johtua useista eri syistä:

- työstettävän kappaleen materiaalin tai mittojen vaihtelu
- yhden tai useamman rakenneosan vioittuminen
- ulkopuoliset häiriöt (iskut, värähtely)
- suunnitteluvirhe
- tehonsyötön häiriö
- ympäröivät olosuhteet. (SFS-EN ISO 12100.)

3. Kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö

Esimerkiksi:

- käyttäjä menettää koneen hallinnan (erityisesti käsin ohjatut koneet)
- käyttäjän refleksinomaisen käytös toimintahäiriön aikana
- keskittymisen puutteesta tai huolimattomuudesta johtuva käytös
- käyttäytyminen, joka johtuu käyttäjän tehtävän suorittamisesta ”helpoimman kautta” (SFS-EN ISO 12100).

7 RISKIEN JA VAAROJEN HALLINNAN TOTEUTUS

Riskiä ja vaarojen hallinnan toteutus aloitettiin tutustumalla koneasetukseen ja SFS-EN ISO 12100 -standardiin. Näistä saatiin käsitys asioista, jotka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa ja konetta käytettäessä. Erilaisia vaaratilanteita, joita saattaa esiintyä jyrsin-konetta käytettäessä, kartoitettiin vastaaville koneille sattuneita vaaratilanteita.

7.1 Riskien arviointi

Riskiä arvioinnin toteuttamiseksi valittiin jyrsinkoneelle sopiva ja tarkoituksenmukainen menetelmä. Riskien arviointiin valittiin kaavio, jota käytettiin riskienarvioinnin aikana. Riskin suuruuden arviointikaaviossa (Liite 1) on riskien osatekijät jaettu seuraavasti:

A) Vahingon vakavuus, jonka asteikko on jaettu seuraavalla tavalla:

1 Lievä (parantuva) vamma tai terveyshaitta

2 Vakava (tavallisesti palautumaton) vamma tai terveyshaitta

3 Kuolema

B) Toistuvuus ja kesto, jonka asteikko on jaettu seuraavalla tavalla:

1 Harvoin...melko usein

2 Säännöllisesti...jatkuvasti

C) Esiintymistodennäköisyys, jonka asteikko on jaettu seuraavalla tavalla:

1 Pieni

2 Keskinkertainen

3 Suuri

D) Vältettävyyden ja rajoitettavuuden, jonka asteikko on jaettu seuraavalla tavalla:

1 Mahdollista tietyissä olosuhteissa

2 Harvoin mahdollista

Riskin suuruus:

1...4 Vähäinen riski

5...7 Kohtalainen riski

8...10 Suuri riski

11...14 Erittäin suuri riski

Riskin tekijöissä A-kohta tarkoittaa vahingon vakavuutta, kohdat B-D tarkoittavat vahingon esiintymisen todennäköisyyttä. B-kohdan riskin toistuvuudella ja kestolla tarkoitetaan aikaa, jolloin vaaralle altistutaan. C-kohdan esiintymistodennäköisyys voidaan arvioida koneen käyttäjän kokemuksen perusteella. D-kohdassa arvioidaan eri tekijöitä.

7.2 Riskien suuruuden arviointi

Tässä kohdassa kuvataan erilaisia riskien arvioinnin havaintoja, jotka pohjautuvat vastaavien koneiden ja manuaalijyrsinkoneiden käyttökokemuksiin. Kohdissa kuvaillaan riskin luonne, vaaratilanteen perusteet, arvioidaan riskin osatekijät yksittäin ja niiden pohjalta kokonaisriskin suuruus.

- Jyrsinterärikko ja pirstaloituminen

A, vahingon vakavuus: 1. Aiheuttaa lievän vamman tai terveyshaitan. Koneessa ei tulla käyttämään huonolaatuisia teriä, joilla on suurempi mahdollisuus hajoamiseen.

B, toistuvuus ja kesto: 0. Toistuvuudelle ja kestolle ei tarvitse antaa arvoa, jos kohdan A arvo on 1.

C, esiintymisen todennäköisyys: 2. Keskinkertainen, sillä vastaavia tapauksia on käynyt, mutta terän kuntoa silmällä pitäen mahdollinen vaaratilanne voidaan välttää.

D, vältettävyyden ja rajoitettavuuden arvo: 1. Riski voidaan välttää tarkastamalla terät aina ennen käyttöä ja asettamalla työkalupitimeen oikein.

Riskin kokonaissuuruudeksi saadaan 3, vähäinen riski.

- Puristuminen

A, vahingon vakavuus: 2. Voi aiheuttaa vakavan vamman tai terveystaitan. Esimerkiksi puristuminen koneen liikkuvien osien väliin voi aiheuttaa luiden murtumisen.

B, toistuvuus ja kesto: 2. Jyrsinkoneen läheisyydessä työskennellään melkein jatkuvasti.

C, esiintymisen todennäköisyys: 1. Aiempia vastaavia tapauksia ei ole käynyt.

D, vältettävyyden ja rajoitettavuus: 1. Käyttäjien ammattimaisella käytöksellä ja välttämällä turha oleskelu koneen läheisyydessä voidaan minimoida riskit.

Riskin kokonaissuurudeksi saadaan 3, kohtalainen riski.

- Kompastuminen kaapeleihin ja johtoihin

A, vahingon vakavuus: 2. Voi aiheuttaa vakavan vamman tai terveystaitan. Käyttäjän kompastuminen lattialla sijaitseviin johtoihin voi aiheuttaa horjahduksen liikkuvaa konetta kohden.

B, toistuvuus ja kesto: 2. Jyrsinkoneen läheisyydessä työskennellään melkein jatkuvasti.

C, esiintymisen todennäköisyys: 2. Vastaavia tapauksia on tapahtunut aiemmin, kohtalaisen harvoin.

D, vältettävyyden ja rajoitettavuus: 1. Käyttäjien ammattimaisella käytöksellä ja välttämällä turha oleskelu koneen läheisyydessä voidaan minimoida riskit.

Riskin kokonaissuurudeksi saadaan 7, kohtalainen riski.

- Inhimillisen virheen aiheuttama riskitilanne. Virheellistä käytöstä tai toimintaa on mahdoton ennustaa, jolloin se on otettava myös huomioon riskiarvioinnissa.

A, vahingon vakavuus: 2. Voi aiheuttaa vakavan vamman tai haitan. Lopputuloksena voi olla raajan menetys.

B, toistuvuus ja kesto: 2. Koneen läheisyydessä työskennellään usein. Koneita käytettäessä riski on olemassa.

C, esiintymisen todennäköisyys: 1. Vastaavia tapauksia tapahtunut harvoin.

D, vältettävyyden ja rajoitettavuus: 1. Vältettävissä. Työntekijöiden ammattitaito ja perehdytys.

Riskin kokonaissuurudeksi saadaan 3, kohtalainen riski.

7.3 Riskien pienentäminen

Tässä luvussa käsitellään aiemman kappaleen riskien arviointiin liittyvien kohtien toimenpiteitä riskien pienentämiseen.

- Jyrsinterärikko ja pirstaloituminen
Jyrsimen terän hajotessa kappaleita saattaa lentää lähiympäristöön. Toimenpiteiksi vaaratilanteen pienentämiseen esitetään jatkuva suojalasiensa käyttö koneen lähialueella. Vältetään myös turhaa oleskelua koneen ympäristössä. Koneenkäyttäjän on varmistuttava siitä, että työstettävä kappale on tukevasti kiinni ja että terä on oikein asennettu. Ilmoitetaan vaarasta koneen käyttäjille perehdytyksen merkeissä ja varoituskyltein. Turvaseinämät ja teräsuoja antavat suojaa, etteivät lastut tai terän osat pääse lentämään käyttäjää kohti.
- Puristuminen
Koneen liikkuvien osien väliin jääminen. Toimenpiteiksi esitetään varoitusteipit koneen ympäristöön ja vältetään asiattonta oleskelua lähialueella. Turvaseinämät antavat suojaa, ettei koneen liikkuviin osiin pääse käsiksi kesken työstön.
- Kompastuminen kaapeleihin ja johtoihin
Lattialla lojuvat johdot saattavat takertua käyttäjän jalkoihin ja aiheuttaa horjattamisen liikkuvaa konetta kohden. Toimenpiteiksi esitetään johtojen huolellinen paikoitus esimerkiksi koneen taakse, jossa niistä ei ole haittaa. Johdot ja kaapelit voidaan koteloida, jolloin kompastumisen vaara on pieni ja johdot ovat suojassa.

- Inhimillisen virheen aiheuttama riskitilanne
Ihmisten tekemiä virheitä ei voida ennustaa, joten riskinarviointi on haastavaa. Toimenpiteiksi näiden ehkäisemiseen esitetään henkilöstön huolellinen perehdytys ja koulutus koneen käyttöön. Koneen toimintaperiaate on hyvä tiedostaa, jotta vaaratilanteilta voitaisiin välttyä parhaan mukaan.

7.4 Riskien pienentämisen johtopäätökset

Riskien suuruuden arvioinnissa ja hallinnassa huomattiin henkilöstön koulutuksen ja perehdytyksen merkitys. Koneeseen luodaan myöhemmin käyttöopas, jotta uuden käyttäjän perehdytys on helpompaa. Opas toimii myös hyvänä muistin virkistäjänä vanhemmille käyttäjille.

Koneen liikkuviin osiin asennetaan huomioteipit, jotta liikkuvat osat visuaalisesti helpompi havaita. Varoituskyltit asennetaan koneen välittömään läheisyyteen.

Suurimpana riskien pienentäjänä esiin tuli suojaseinämän tarve. Tämä estää muun muassa lastujen ja terärikosta aiheutuvien kappaleiden lentämisen koneen käyttäjää kohti. Suojaseinämä estää koneelle pääsyn kesken työstön, jolloin riski puristumiseen on mitätön. Suojaseinämä asennetaan jyrsimen ympärille, kun se on saatettu käyttökuntoon.

8 PERUSKOMPONENTIT

8.1 Akselit

NC-akselilla tarkoitetaan sellaista numeerisesti ohjatun koneen liikemahdollisuutta, vapausastetta, jolla on johteet, matkanmittauselimet ja käyttömoottori. NC-kone pystyy liikuttamaan akseliaan itsenäisesti toisista akseleista riippumatta. Niin sanotulta puoliakselilta puuttuu matkanmittausjärjestelmä, ja liikkeen pituus on ohjattu rajakatkaisimin. Liikenopeutta hallitaan kuitenkin koko matkan ajan numeerisesti. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 45.)

Jokaisella liikeakselilla on oma käyttöelimensä, jonka on kyettävä paikoittamaan tai ohjaamaan liikeakseleita suurella tarkkuudella. Liikkeen tasaisuudelle, meluttomuudelle ja dynaamisille ominaisuuksille asetetaan erityisiä vaatimuksia. Liikenopeus, kuormitus tai lastuamisvoimat eivät saa vaikuttaa kunkin aseman saavuttamiseen. Paikoitustarkkuuden tulee olla mahdollisimman suuri isoillakin nopeuksilla. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 45.)

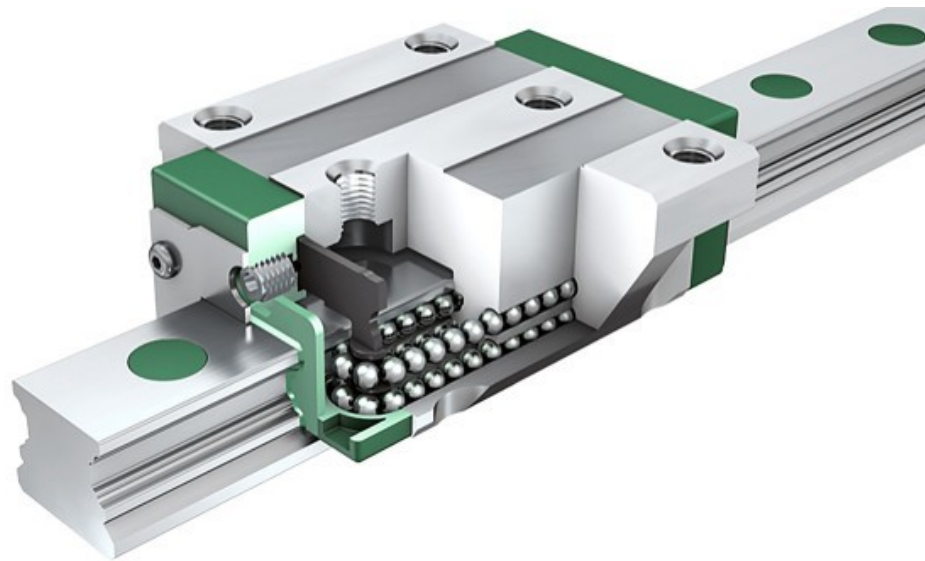
8.2 Johdejärjestelmä

Johteet ovat työstökoneiden tärkeimpiä osia. Pikkaraisen & Mustosen (2010,55) mukaan *johteilta vaaditaan hyvää geometrista tarkkuutta, jäykkyyttä, välyksettömyyttä, kulumisen kestoa, vaimennusominaisuuksia ja pientä vakiona pysyvää kitkaa.*

NC-koneilla on pystyttävä liikuttamaan akseleita myös pienellä nopeudella lyhyitä liikematkoja. Tämän vuoksi liikkeissä usein esiintyvä nykivä liike, stick-slip, pitää saada poistettua. Sitä esiintyy varsinkin liukujohteilla. Vierintäjohteilla on pieni, käytännössä vakiona pysyvä kitkakerroin. Vierintäjohteissa ei esiinny stick-slip-ongelmaa ja ne voidaan tehdä välyksettömiksi. Vierintäjohteet ovat pitkäikäisiä, mutta niillä on huono vaimennuskyky. Vierintäjohteet ovat myös herkkiä iskuille ja likaantumiselle. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 55.)

8.2.1 Profiilijohde

Profiilijohteille on ominaista niiden kuormankantokyky, tarkkuus sekä pieni kitkakerroin. Ne voidaan asentaa runkoon kiinni koko matkalta, jolloin koko rakenteen jäykkyys paranee. Profiilijohteiden avulla voidaan toteuttaa pitkiäkin liikematkoja profiileja jatkamalla. Laakerikelkka sisältää pieniä kuulia, jotka vierivät kuulakourua pitkin ja palautuvat kierroksen loputtua alkuun. (Hiwin 2019.) Kuvassa 2 on havainnollistettu laakerikelkan rakenne.



Kuva 2. Profiilijohteen ja kelkan rakenne (Schaeffler 2021).

8.2.2 Pyöröjohde

Pyöröjohteille ominaista on pitkä käyttöikä, tarkkuus ja tehokkuus. Ne sietävät hyvin liikaa, erilaisia nesteitä ja kuumuutta jopa 200 asteeseen asti. Profiilijohteisiin verrattuna pyöröjohteet ovat hyvin kustannustehokkaita, ja ne sopivat erittäin vaikeisiin olosuhteisiin. Saatavilla on myös valmiiksi koneistetut akselit, joita pitkin kuulaholkit ohjautuvat. Yleisesti käytössä on karkaistuja tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja akseleita. Saatavilla on kromipinnoitettuja akseleita. Pinnoituksien avulla saadaan kestävyttä syövyttäviin ympäristöihin. (BoschRexroth 2021.) Kuva 3 havainnollistaa pyöröjohteen ja kuulaholkin rakenteen.



Kuva 3. Pyöröjohde (BoschRexroth 2021).

8.2.3 Lineaariyksikkö

Lineaariyksiköt ovat useamman komponentin kokonaisuus, jossa runkona toimii alumiiniprofiili ja liikkeenohjaus tapahtuu lineaarijohteilla. Lineaariliike voidaan toteuttaa joko hammashihnakäytöllä, kuularuuvilla tai trapetsiruuvilla. Lineaariyksiköt ovat hyvin muokattavissa käyttötärpeen mukaan ja tulevat asennusvalmiina. Lineaariyksiköiden etuina ovat tarkkuus, poikkeuksellisen suuri nopeus ja käyttöikä. (Wexon 2021.) Kuvassa 4 on kolme erilaista lineaariyksikköä, joissa kaikissa on askelmoottorilla toteutettu lineaariliike.



Kuva 4. Lineaariyksikkö (Movetec 2021).

8.2.4 Kuularuuvimutteri

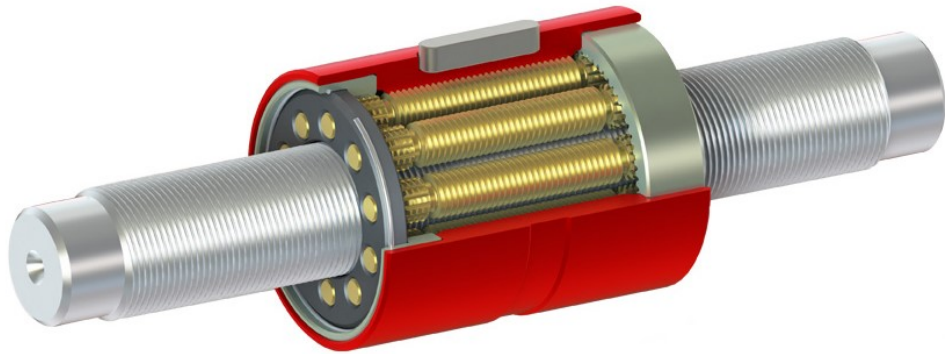
Kuularuuvimutterilla saadaan muutettua moottorin tuottama pyörivä liike suoraviivaiseksi liikkeeksi luistille. Kuulamutterin avulla ruuvin ja mutterin välinen liukukitka muutetaan vierintäkitkäksi. Näin järjestelmällä saadaan hyvä hyötysuhde (noin 90 %), ja se lämpeää vähän. Kuularuuvimutteri on säädettävissä lähes välyksettömäksi joko vaihtamalla tai hiomalla välilevyä. Välyksettömyyden lisäksi sen etuina ovat pitkäikäisyys sekä hyvä nousutarkkuus koko liikematkalla. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 51.) Kuva 5 havainnollistaa kuularuuvimutterin rakennetta.



Kuva 5. Kuularuuvimutteri (Movetec 2021).

8.2.5 Rullaruuvi

Rullaruuvien etuina ovat likaisten olosuhteiden kesto, suuri liikevoiman tuotto, tarkkuus ja hyvä hyötysuhde. Rullaruuveja on saatavilla kahdella toimintaperiaatteella, joilla saadaan aikaan laaja liikenopeus- ja tarkkuusalue. Planeettarullaruuvi pitää sisällään planeettarullat, jotka on laakeroitu päistään. Planeettarullissa on kierre, jossa nousu on sama kuin mutterilla. Mutterin pyörimisliike pakottaa ruovin liikkumaan rullien välityksellä itseensä nähden. Pieninousuisien rullaruuvien rullissa ei ole itsessään nousua, joten ne liikkuvat kierteen mukana. Rullan liikkeessa päätyasentoon palautusjärjestelmä nostaa rullan kierteiltä ja palauttaa alkuun. (Globalscrew 2019.) Kuva 6 havainnollistaa rullaruuvin rakennetta.



Kuva 6. Rullaruuvi (Linearmotiontips 2017).

8.2.6 Hammashihna

Hammashihnakäytöllä saadaan muutettua moottorin pyörimisliike pitkittäisliikkeeksi. Se on monipuolinen väline lineaariliikkeitä toteutettaessa hyvän hyötysuhteensa ansiosta (noin 98 %). Hammashihnakäytön etuina ovat keveys, tarkkuus, kestävyys, pitkien liikkeiden toteutus, suuri tehonsiirtokyky, suuret liikenopeudet ja kiihtyvyydet. Hammashihna on myös huoltovapaa ja äänetön. Hammashihnan välityssuhdetta voidaan muuttaa vaikuttamalla hammashihnapyörän hammaslukuun. Hihnan sisällä olevat vetolangat ottavat vastaan vetokuormituksen ja estävät hihnaa venymästä. (Movetec 2021.) Kuvassa 7 on esillä hammashihna- ja pyörä.



Kuva 7. Hammashihna- ja pyörä (Mekanex 2021).

8.2.7 Hammastanko

Lineaari- tai pyörivä liike voidaan välittää akseleiden välillä hammaspyörien ja tankojen avulla. Voiman ja liikkeen välitys tapahtuu yhdistämällä hammaspyörän tai hammastangon hampaat yhteen. (SKS 2021).

Hammastangon rakenne on yksinkertainen, ja sillä on hyvä hyötysuhde. Vinolla hammastuksella saadaan aikaan tasainen ja hiljainen käynti. Yleisesti hammastankoa käytetään tapauksissa, joissa toteutetaan pitkiä liikematkoja ja välitetään suuria voimia. (SKS 2021.) Kuvassa 8 on useita erilaisia hammastankoja ja pyöriä.



Kuva 8. Hammastanko ja pyörä (SKS 2021).

9 MEKANIKKASUUNNITTELU

9.1 Siemens NX

Siemens NX on CAD-suunnitteluohjelma, jolla on mahdollista suunnitella 3D-kappaleita pursotusmenetelmällä. Tämän lisäksi ohjelmasta löytyvät työkalupaketit ohutlevy-, sähkömekaniikka- ja putkistosuunnittelu. NX:llä voidaan suorittaa kappaleiden kokoonpanoja, ja näille voidaan suorittaa erilaisia simulaatioita, kuten mekaanisia liikkeitä, virtauksia, lämpötiloja, lujuuksia ja muita ongelmanratkaisutilanteita. CAD-suunnittelun lisäksi siitä löytyy CAM eli työkalut tietokoneavusteiseen valmistukseen.

9.2 Runkovaihtoehot

Tarkkuuden saavuttamiseksi NC-koneiden rungot tehdään massiivisiksi. Staattinen jäykkyys ei yksin riitä, vaan työstökoneelta vaaditaan myös riittävää dynaamista jäykkyyttä ja värähtelyiden vaimennuskykyä. Runkorakenne voi olla joko hitsattu tai valettu. Hitsatulla on parempi jäykkyys, kun taas valetulla on parempi vaimennuskyky. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 53.)

Erilaisia runkovaihtoehtoja, joita jyrsimelle harkittiin, oli portaali-, polvi- tai runkomallinen. Runkovaihtoehtojen rajaus tehtiin sen mukaan, mitä on yleisimmin käytössä. Runkorakenteeksi valitaan hitsattu rakenne, sillä se on mahdollista toteuttaa yrityksen tiloissa.

Portaalimallissa akselit koostuvat kahdesta pysty- ja yhdestä vaakapalkista, jotka muodostavat portaalin. Portaalimallissa pöytä pysyy paikoillaan, joka mahdollistaa suuren liikealueen X-, Y- ja Z-akselin liikkeessä. Samalla akselien mekaaninen jäykkyys on hankalampi toteuttaa, joten portaalityyppiä käytetään enemmänkin kevyessä työstössä, kuten puuosissa. (Bralla 2007, 271.) Kuvassa 9 on esillä portaalimallinen jyrsinkone.



Kuva 9. Portaalimallinen jyrsinkone (Felder Group 2021).

Polvimallisessa jyrsinkoneessa X-, Y- ja Z-akselin työstöliike tapahtuu liikuttamalla pöytää, jolloin kara pysyy paikoillaan koko ajan. Polvimalli on yleisimmin käytössä oleva tyyppi pienissä ja keskisuurissa manuaalikoneissa. Näillä koneistetaan pienehköjä työkalukappaleita. (Maaranen 2012, 244.) Kuvassa 10 on esillä polvimallinen jyrsinkone.



Kuva 10. Polvimallinen jyrsinkone (Sharp Industries 2021).

Runkomallisessa työstökoneessa työkalukara liikkuu vain Z-suunnassa, jolloin pöytä liikkuu X- ja Y-suunnassa. Näin ollen Z-akseli ja liikkuva pöytä on helpompi valmistaa jäykemmäksi, mutta liikkuvan pöydän johdosta Y-suuntainen liike on yleensä pienempi kuin portaalimallissa. Tämä runkomallia käytetään koneistuskeskuksissa, joissa työstetään metallia ja koneistettavat kappaleet ovat painavia. (Maaranen 2012, 245.) Kuvassa 11 on esillä runkomallinen jyrsinkone.



Kuva 11. Pöytämallinen runkorakenne (CNC Cookbook).

9.3 Rungon suunnittelu

Suunniteltu jyrsin on kolmiakselinen runkomallinen jyrsin, jossa liikkeet välittyvät kuularuuvien avulla johteille. Liikesuuntien ohjaukseen käytetään 10 Nm:n Nema34-askelmootoreita. Liikealue jyrsimellä on X-suunnassa 300 mm, Y-suunnassa 500 mm ja Z-suunnassa 500 mm. Jyrsinkarana toimii 3 kW sähkömoottori, jonka kierrosnopeutta säädetään taajuusmuuttajalla. Karassa on ER20-kiinnitys työkaluille.

Jyrsimen rungon pääraaka-aineeksi valikoitui rakenneteräs S355 sen hyvän saatavuuden ja koneistettavuuden ansioista. Hitsatulla rakenteella saavutetaan hyvä jäykkyys, mutta värähtelykyky on huonompi kuin valetulla. Tästä syystä rungon ontot kohdat, kuten

putket voidaan täyttää joko hiekalla tai betonivalulla, jos se koetaan tarpeelliseksi. Samalla myös rungon kokonaisuudessa kasvaa. Värähtelyjen kompensoimiseksi runko ja akselit suunnitellaan massiivisiksi.

Ennen rungon mekaniikkasuunnittelua tehtiin kartoitus, mitä materiaaleja on käytössä. Toimeksiantajan varastosta löytyi 150 x 150 teräsputkea 8 mm seinämävahvuudella, josta saadaan valmistettua jyrsimen runko. Akseleiden aluslevyksi tilattiin polttoleikatuna 40 mm paksua teräslevyä, jonka ulkomitoille on jätetty 10 mm työstövara.

Jyrsimen pöytänä tulee olemaan valurautapöytä, joka tilataan mittojen mukaan, johtuen valmiin pöydän huonosta saatavuudesta. Pöydän koko on 340 x 500 x 60 mm, johon jyrsitään kolme kappaletta T-uria kappaleiden kiinnitystä varten. Ennen pöydän koneistamista valuraudalle tehdään jännityksenpoistohehkutus, jossa kappale kuumennetaan sisäisten jännityksien poistamiseksi (ValuAtlas, 11).

9.4 Lineaarijohteet ja kuularuuvit

Lineaarijohteiksi valikoitui HGR20-tyyppiset profiilijohteet näiden hyvän saatavuuden vuoksi ja nämä ovat yleisesti käytössä vastaavissa käyttökohteissa. Johteet ovat kaikilla kolmella akselilla 800 mm pitkät ja jokaisella akselilla on neljä kelkkaa riittävän tukevuuden takaamiseksi. Lineaarijohteiden kosketuspinta rungossa koneistetaan manuaalijyrsimen vaakakaralla, jolloin jyrsimen luonnollinen taipuma ei vaikuta mittatarkkuuteen, sillä suurempia kappaleita koneistettaessa jyrsimen pöytä taipuu hieman. Vaakakaralla koneistettaessa tämä ei haittaa.

Kuularuuvit ovat myös 800 mm pitkiä jokaisella akselilla. Kuularuuvit ovat tyyppiltään SFU1605, jossa 16 on ruuvien halkaisija ja 05 on nousu, jolloin yhden kierroksen aikana nousu on 5 mm.

9.5 Sakarakytkimet ja hihnavälitys

X- ja Z-liikkeiden kuularuuvit on kytketty askelmoottoriin sakarakytkimien välityksellä. Kytkimien tehtävä on välittää momenttia, estää värähtelyjä ja momenttipiikkejä. Elementin kovuudeksi valittiin 92° Shore A. Sakarakytkimien keskireiät ovat esiporattuja, joten kytkimet koneistettiin sopimaan kuularuuville ja askelmoottorin akselille. Sakarakytkimet

yhdistyvät keskenään suoralla puristusliitoksella ja kykenevät siirtämään halutut momentit. Kytkimet antavat pienet asentovirheet anteeksi, jolloin asennus akseleiden väillä helpottuu.

Y-akselilla liike on toteutettu hammashihnavälityksellä, jolloin askelmoottori voidaan sijoittaa akselin alle suojaan. Hammashihnapyörät yhdistyvät askelmoottorin akseliin ja kuularuuvien päähän. Hihnapyörävälitys on toteutettu hammashihnapyörillä, joiden hammasluku on 24, joten välityssuhde on 1:1.

9.6 Akselit

Akselien runkona tulee toimimaan 40 mm paksu kuumavalssattu teräslevy, jonka mitat ovat 400 x 800 mm. X-, Y- ja Z-akselien rungot tulevat olemaan samanlaisia, joskin Y- ja Z-akselit tullaan hitsaamaan runkoon kiinni. Teräslevyn päälle hitsataan 20 x 50 mm lattaraudat lineaarikiskojen korotukselle. Lattaraudat hitsataan 30 mm pienahitseillä 100 mm välein.

9.7 Pöytä

Jyrsimen pöydäksi suunniteltiin valuraudasta valettu pöytä. Johtuen valimon puutteellisista muoteista, valurautaista pöytää ei saatu tilattua. Tästä johtuen päädyttiin vaihtoehtoiseen ratkaisuun, jossa jyrsimen pöytänä tulee olemaan kuumavalssattu teräslevy mitoiltaan 50 x 340 x 600 mm.

Pöydän koneistaminen aloitettiin ensin jyrsimällä sivut jyrsinkoneen vaakakaralla, jonka jälkeen se kiinnitettiin pystyasentoon pöydän tasopintojen jyrsimiseksi. Tämän jälkeen pöytään jyrsittiin kolme kappaletta 16 mm leveitä kiilauria, joiden avulla saadaan paikoitettua työstettävä kappale kiinni pöytään. Kiilaurien lisäksi pöytään tehtiin M12-kierteitä, joista työstettävät kappaleet kiinnitetään. Kuvassa 12 on koneistettu pöytä valmiina.



Kuva 12. Jyrsimen pöytä koneistettuna.

9.8 Karan vastapaino

Suunnitteluvaiheessa huomattiin, että Z-akselilla olevalle karalle tarvittaisiin vastapaino. Vastapainolla saadaan jaettua karan painokuorma muualle, sillä muuten paino on kuularuuvien varassa. Tämä saattaa johtaa kuularuuvien vaurioitumiseen ja askelmoottorin kuumenemiseen. Karan kokonaispaino on laskennallisesti 56 kg. Vastapaino on noin 50 kg, joten kuularuuvien varaan jää noin 6 kg.

10 JYRSIMEN SÄHKÖKOMPONENTIT

10.1 Askelmoottorit

Jyrsimen moottoreiksi kuularuuvikäytölle valikoitui askelmoottorit malliltaan Nema 34. Moottorin akseli on halkaisijaltaan 14 mm, jossa 5 mm leveä kiilaura. Pitomomentti on 10.5 Nm. Askeleet ovat 1,8° välein, jolloin yhdellä täydellä kierroksella askelia on 200 kpl. Mikroaskelien avulla askeleet jaettua vielä pienempiin osiin askelmoottorien ajurilla. Jyrsimelle asetettiin arvoksi 3200 askelta per kierros.

10.2 Jyrsinkara ja taajuusmuuttaja

Jyrsinkara ja taajuusmuuttaja tilattiin samalta toimittajalta, jolloin varmistetaan näiden yhteensopivuudesta. Moottorin teho on 3 kW, kierrosnopeus 0–18 000 rpm. Karassa on ER20-kartioholkkikiinnitys työkaluille. ER20 kartioholkkiin voidaan kiinnittää työkalut halkaisijaltaan 13 mm asti. Taajuusmuuttajan toimintaa voidaan ohjata jyrsimen ohjainkortin kautta automaattisesti.

11 JYRSIMEN OHJAUS JA TOIMINTA

11.1 Jyrsimen toiminta

Työstettävän kappaleen aihio kiinnitetään pöytään koneen ollessa jännitteetön. Kappaleen kiinnittämisen jälkeen jyrsinkaran taajuusmuuttajan, askelmoottorien ajureiden ja ohjainkortin virrat kytketään päälle. Virtojen päälle kytkeminen ei vielä aiheuta karan pyörimistä, vaan se tapahtuu ohjatusti. Ohjausohjelma käynnistetään tietokoneelta ja digitaalinen hätäseis kuitataan. Seuraavaksi terä paikoitetaan manuaalisesti lähtöpisteeseen ja työstön voi aloittaa.

Työstön jälkeen terän pyöriminen lopetetaan ja taajuusmuuttajan virrat kytketään pois päältä. Ohjausohjelmasta voidaan painaa digitaalista hätäseis-painiketta tai vastaavasti koneeseen kiinnitetystä painikkeesta. Tämä estää ennalta odottamattoman käynnistymisen. Nyt lastut voidaan siivota pois ja kappale irrottaa pöydästä.

11.2 Mach3-ohjausohjelma

Mach3 on Microsoft Windows -järjestelmälle suunniteltu ohjausohjelma, joka muuttaa G-koodin moottoreiden ohjaussignaaliiksi. G-koodi tehdään CAM-ohjelmalla 3D-mallin pohjalta. Mach3 tukee myös muitakin tiedostotyyppisiä, kuten DXF, JPG ja BMP. Mach3 pystyy luomaan näistä tiedostotyypeistä suoraan NC-koodia.

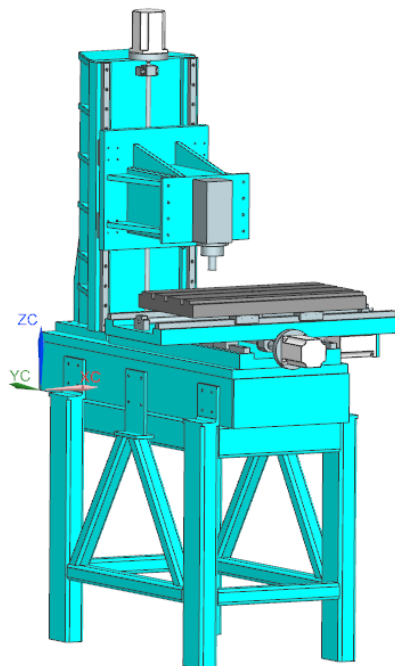
Ohjelmaa konfiguroidessa määritellään ohjainkortin tuloihin liitetyt laitteet, kuten rajakytkimet ja hätäseis-painike. Lisäksi syötetään tiedot askelmoottoreiden nopeudelle, kiihtyvyydelle ja vaaditut askelmäärät yhden millimetrin liikkeeseen.

Mach3 sisältää myös avustajia, joiden avulla voidaan koneistaa yksinkertaisia muotoja, ilman että tarvitaan aiemmin luotua G-koodia. Avustajilla voidaan toteuttaa esimerkiksi rei'itystä, rattaiden koneistusta, tasoajyrsintää ja pyöreiden reikien koneistusta.

12 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa konepajan käyttöön kolmen liikesuunnan, tietokoneohjattu jyrsinkone. Työ aloitettiin tutustumalla aiheeseen ja etsimällä tietoa vastaavantilaisista koneista. Projekti eteni selvittämällä saatavilla olevat materiaalit, jonka jälkeen aloitettiin mekaniikkasuunnittelu, edettiin samalla turvallisuusnäkökohtiin ja lopuksi kokoonpanoon. Työ kokonaisuudessaan on ollut monipuolinen, tekijää haastava, kuitenkin samalla opettavainen.

Opinnäytetyön mekaniikkasuunnittelussa kokemus mallintamisesta lisääntyi. Olikin mielenkiintoista nähdä, miten hyvin suunniteltu kone vastasi todellista kokonaisuutta, kuten kuvasta 13 voidaan todeta. Kaikkea ei ollut mahdollista tai kannattavaa suunnittelun kohdalla mallintaa, vaan osa komponenteista ja niiden sijoituksesta toteutettiin paikan päällä, esimerkiksi johtokourujen ja sähkökaapin sijoitus kuten myös karan vastapaino.



Kuva 13. Mallinnettu ja todellinen jyrsin.

Mallinnuksen ja valmiin jyrsimen välillä ei ole juurikaan eroa. Suunnittelu helpotti hahmottamaan jyrsimen liikeratoja ja liikealuetta.

Jyrsinkonetta testattiin yksinkertaisella ohjelmalla alkuun, jotta varmistetaan oikeanlaisista asetuksista. Samalla myös opeteltiin koneen käyttöä, sillä aiempaa kokemusta CNC-tekniikasta ei ollut. Testiohjelmaksi valikoitui pyöreän kappaleen jyrsintä muovista, jonka ulkohalkaisija on 50 mm. Kuva 14 havainnollistaa jyrsinkoneen mittatarkkuutta.



Kuva 14. Muovikappaleen jyrsintätesti.

Jyrsinkoneen mittatarkkuus vastasi koneelle asetettuja tavoitteita. Jatkossa tullaan vastaavia testejä suorittamaan myös muille materiaaleille edeten aina teräksiin asti. Ohjausohjelmaan voidaan syöttää kappaleen todelliset mitat, jolloin ohjelma kompensoi mittavirheet ja tarkkuus paranee.

Jyrsinkoneen testauksessa eteen tuli kotiasemaan ajon este. Koneeseen ei vielä tätä opinnäytetyötä kirjoittaessa ole asennettu rajakytkimiä, joilla akselit voidaan ajaa referenssipisteeseen. Käynnistettäessä kone ei tiedä varsinaisia koordinaatteja johtuen askelmoottoritekniikasta. Referenssipisteen avulla koneen koordinaatisto saadaan nollattua. Kotiaseman puute ei estä kuitenkaan ajamasta varsinaista työkiertoa. Kun laitettiin taajuusmuuttaja ja jyrsinkara päälle, huomattiin tietokoneen ottavan häiriötä. Tämä ei

vaikuttanut jyrsinkoneen toimintaan mutta tullaan korjaamaan jatkossa paremmin häiriösuojatulla kaapelilla taajuusmuuttajan ja karan välillä. Tulevaisuuden kehityskohtia ovat lastuamismestajärjestelmän toteutus ja suojaseinämä.

Turvallisuuskohdat oli hyvä ottaa huomioon, jotta osataan välttyä vaaratilanteilta. Riskien arviointi on oleellinen osa vastaavanlaisia koneita suunniteltaessa, joten tästä opinnäytetyöstä on tulevaisuudessa hyötyä koneiden rakentajille.

Tämän työn tekeminen oli kokonaisuudessaan kiinnostava, monipuolinen ja opettavainen prosessi. Kirjallisessa osuudessa suunnittelu- ja toteutusvaiheiden etenemiseen ei keskitytä, vaan kuvataan tärkeimmiksi asioiksi esille tulleita seikkoja. Kirjallisessa osuudessa esitetään ne ratkaisut, jotka ovat valikoituneet työtä tehdessä. Toivon, että tämä opinnäytetyö antaa hyvän peruskuvan niille, jotka ovat rakentamassa vastaavaa konetta, ja niille, jotka tarvitsevat koneen riskienarviointiin apua. Hyvin suunnitelluilla ratkaisuilla vältetään tulevaisuuden ongelmatilanteet, ja laitteen lopullinen rakennus on vaivatonta.

LÄHTEET

BoschRexroth. Lineaaritekniikka. Viitattu 9.5.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.boschrexroth.com/fi/fi/tuotteet/tuoteryhmaet/lineaaritekniikka/topics/pyoeroejohteet/index>

Bralla, J. G. 2007. Handbook of Manufacturing Processes - How Products, Components and Materials are Made. Viitattu 22.2.2021. Connecticut: Industrial Press.

Bright Hub Engineering 2009. What are Numerical Control Machine? What are NC Machines? Viitattu 3.2.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/55670-what-is-numerical-control-machine/>

CNC Cookbook. CNC Milling Machine Frame. Viitattu 8.3.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.cnccookbook.com/cnc-milling-machine-frame-complete-diy-guide/>

Euroopan komissio 2010. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. Viitattu 3.2.2021. Saatavilla osoitteesta: <http://ec.europa.eu>

Felder Group 2021. CNC Portal Milling Machine. Viitattu 8.3.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.felder-group.com/en-gb/products/cnc-machining-centres-c1953/cnc-portal-milling-machine-hnc-47.82-p142995>

Get It Made. The history of CNC-machining. Viitattu 3.2.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://get-it-made.co.uk/blog/the-history-of-cnc-machining/>

Globalscrew 2019. Why roller screws are the fast becoming. Viitattu 9.5.2021. Saatavilla osoitteesta: <http://m.fi.globalscrew.com/news/why-roller-screws-are-fast-becoming-the-de-fac-28407132.html>

Hiwin. Linear Guideways. Viitattu 16.3.2021. Saatavilla osoitteesta: https://www.hiwin.com/pdf/linear_guideways.pdf

Linearmotiontips 2017. Roller screw actuators: Design and applications. Viitattu 9.5.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.linearmotiontips.com/roller-screw-actuators-design-and-applications/>

Maaranen, K. 2012. Koneistus. Viitattu 8.3.2021. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Medium 2019. History of CNC machining. Saatavilla osoitteesta: <https://medium.com/cnc-life/history-of-cnc-machining-part-1-2a4b290d994d>

Mekanex. Hammashihnat- ja pyörät. Viitattu 11.6.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.mekanex.fi/tuotteet/komponentit/hammashihnat-ja-pyorat/>

Movetec a. Liike- ja kuularuuvit. Viitattu 11.6.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.move-tec.fi/fi/tuotteet/lineaariliikkeen-mekaniikka/liikeruuvit/kuularuuvit/liike-ja-kuularuuvit-eichenberger-carry>

Movetec b. Lineaaritekniikka. Viitattu 9.5.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.move-tec.fi/fi/tuotteet/hammashihnakaytot/lineaariliiketekniikka>

Movetec c. Lineaariyksiköt. Viitattu 9.5.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.movetec.fi/images/tuotteet/lineaariliikkeen-mekaniikka/lineaariyksikot/lineaariyksikot-hiwin/hiwin-kk-lineaariyksikko-01.jpg>

Pikkarainen & Mustonen 2010. Numeerisesti ohjatut työstökoneet. Viitattu 9.5.2021. Tampere: Juvenesprint Oy.

Schaeffler 2021. Linear guidance systems. Viitattu 11.6.2021. Saatavilla osoitteesta: https://www.schaeffler.fi/remotemedien/media/shared_media_rwd/05_products_services_1/industrial_products_services/linear_guidance_systems/0001989D_16_9-schaeffler-products-four-row-linear-recirculating-ball-bearing-and-guideway-assemblies_rwd_600.jpg

SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 3.2.2021. <http://www.sfs.fi>

Sharp Industries 2021. 3-axis CNC knee mills. Viitattu 8.3.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://sharp-industries.com/product/lmv-mp-3-series/>

SKS 2021. Hammaspyörät ja tangot. Viitattu 9.5.2021. Saatavilla osoitteesta: https://www.sks.fi/tuotteet/ketju-ja-hihnakaytot/hammaspyorat-ja-tangot-sks?qclid=CjwKCAjwkN6EBhBNEiwADVfya9aAet6O3O_XPjtjxxY76xLvzGBirVFgtgkW-uKoJc4n5Pn4zcxPPRoChTsQAvD_BwE

Suvela, T 2021. Riskien suuruuden arviointitaulukko. Viitattu 6.6.2021. Henkilökohtainen tiedonanto.

Tilastokeskus 2021. Alihankinta. Viitattu 3.2.2021. Saatavilla osoitteesta: https://www.stat.fi/meta/kas/ali_hankinta.html#tab2

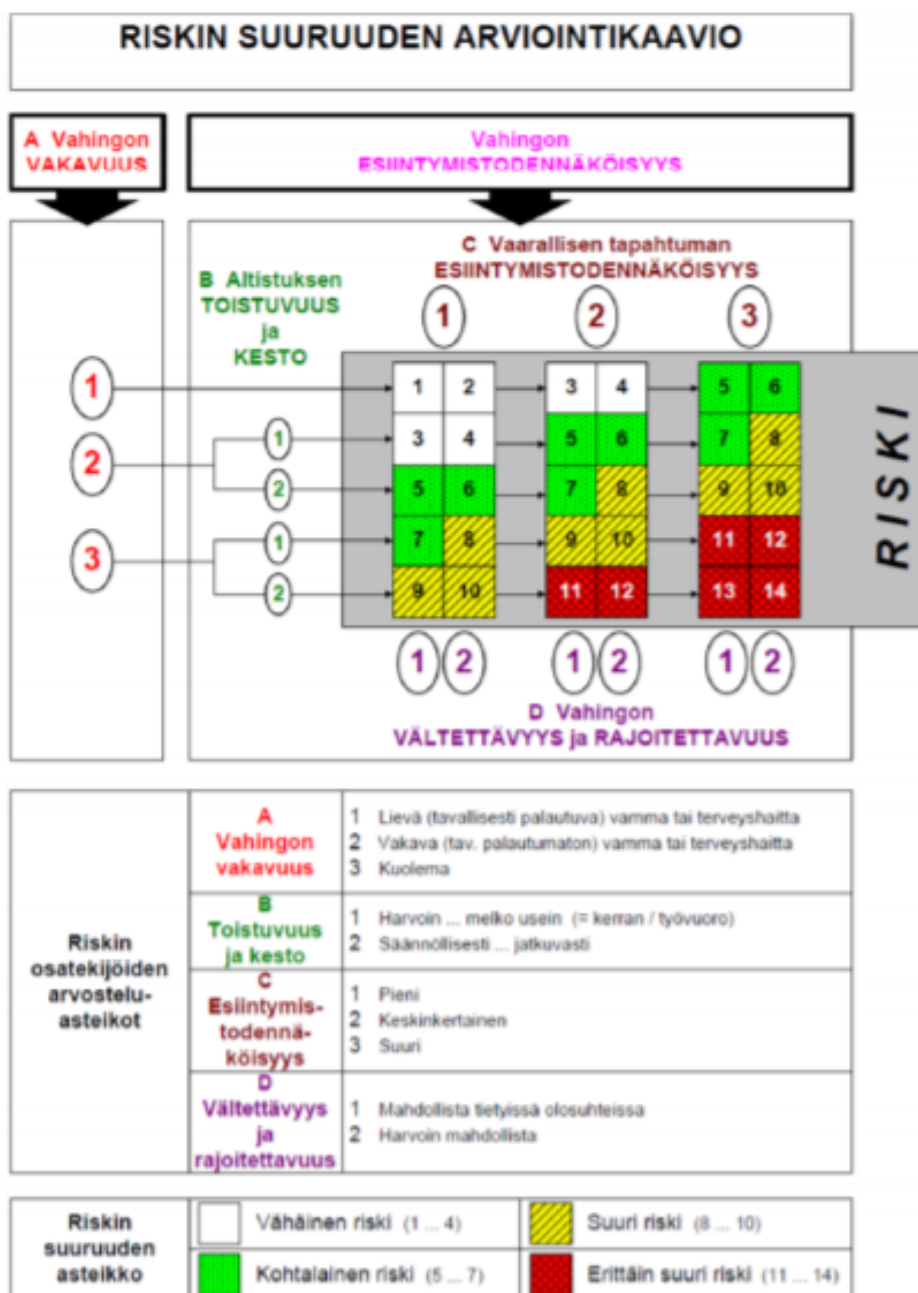
Työsuojeluhallinto 2008. Koneturvallisuus. Koneiden tekniset vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Viitattu 29.3.2021. Saatavilla osoitteesta: https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/2426906/Koneturvallisuus_tso_16-2009.pdf/6ae406a0-29fc-45fa-a4a6-19e38af399cc

Työturvallisuuskeskus 2018. Metallin työstö. Viitattu 10.2.2021. Saatavilla osoitteesta: https://ttk.fi/files/6499/Metallin_tyosto_1.4_01112018.pdf

ValuAtlas. Valimotekniikan perusteet. Viitattu 22.2.2021. Saatavilla osoitteesta: https://www.valu-atlas.fi/sites/default/files/docs/vtp_mat_valuraudat.pdf

Wexon. Lineaariyksiköt. Viitattu 9.5.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.wexon.fi/tuotteet/mekatronikka/kierratangot-ja-lineaarijohteet/lineaariyksikot/lineaariyksikot-rgs-ja-rgw/>

Riskin suuruuden arviointikaavio



(Suvela, 2021)