

KÄDENVÄÄNTÖLAITTEEN SUUNNITTELU

Huhtiniemi Toni
Komulainen Lauri

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri AMK

Tekijät	Toni Huhtiniemi Lauri Komulainen	Vuosi	2016
Ohjaaja	DI Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	Polar-Automaatio Oy DI Jarno Posti		
Työn nimi	Kädenvääntölaitteen suunnittelu		
Sivu- ja liitesivumäärä	54 + 2		

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Polar-Automaatio Oy. Työn tavoitteena oli suunnitella kädenvääntölaite, jossa vastuksena toimisi kone. Kone antaisi palautetta kädenvääntösuorituksesta käyttäjälle, jotta sitä voisi vertailla muiden käyttäjien kanssa.

Laitesuunnitteluun sisältyy kone- ja sähkösuunnittelun lisäksi myös tuotekehitystä ja koneturvallisuuden määräysten tuntemista. Teoriaosassa tutkitaan tuotekehitystä prosessina, kun taas koneturvallisuusosiossa perehdytään lain vaatimuksiin ja aiheeseen johdattaviin standardeihin.

Laitteen toiminnallisuus ja mitat määriteltiin yleisesti. Tähän sisältyivät muun muassa toimintaperiaate, luonnokset vipuvarresta ja näyttöpaneelistä sekä laskelmat koneen tuottaman voiman tarpeesta. Lopuksi tarkasteltiin eri vaihtoehtoja koneen voimansiirron osalta ja ne laitettiin paremmuusjärjestykseen eri kriteerien perusteella.

Lopputuloksena saatiin luonnos vipuvarresta ja toiminnallinen ja teknillinen määrittely laitteen toiminnasta. Työssä saatiin myös valikoitua eri voimansiirtotavoista yksi voimansiirtotapa. Työ jäi monelta osin keskeneräiseksi ajan puutteen ja suunnittelutyön laajuuden takia.

Industry and Natural Resources
Electrical engineering

Author	Toni Huhtiniemi	Year	2016
Supervisor	Lauri Komulainen		
Commissioned by	Mr. Jaakko Etto, M.Sc (Tech.) Polar-Automaatio Inc.		
Subject of thesis	Mr. Jarno Posti, M.Sc (Tech.) Design of Arm Wrestling Machine		
Number of pages	54 + 2		

The subject to the thesis was given by Polar-Automaatio Inc. The aim of the thesis was to design an arm wrestling machine, which would be powered by a machine. The machine would give feedback about the performance of the user. The statistics could then be compared between other users.

Other than machinery and electrical design, product design also includes product development and the standards of machinery safety. In the theoretical sections the process of product design and the introductory standards to machinery safety are explored including the legislative requirements.

The basic functionality and dimensions of the machine are determined. These included e.g. the principles of operation, concepts of the robot arm and the display panel, and the calculations of torque that is required by the machine. Finally, different concepts of power sources were explored and compared based on certain criteria.

The results of the thesis were concepts of the robot arm and the display panel, and the functional and technical specifications of the machine. One concept of power source was selected. The thesis was left incomplete due to time restraints and the large amount of work required for complete designs.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 TUOTEKEHITYS	9
2.1 Yleistä	9
2.2 Tuoteohjelman suunnittelu	10
2.3 Konseptisuunnittelu	10
2.4 Systemisuunnittelu	10
2.5 Detaljisuunnittelu	11
2.6 Testaus ja tuotanto	11
3 KONETURVALLISUUS	13
3.1 Koneasetus	13
3.2 Standardien hierarkia	13
3.3 Koneen riskin arviointi	15
3.3.1 Riskin arvioinnin vaiheet	16
3.3.2 Riskin merkityksen arviointi	18
3.3.3 Riskin pienentäminen	19
3.3.4 Dokumentointi	20
3.4 Ohjausjärjestelmä	21
3.5 CE-merkintä	23
4 LAITESUUNNITTELU	25
4.1 Lähtökohdat	25
4.2 Laitteen määrittely	25
4.2.1 Käynnistäminen	26
4.2.2 Vääntösuoritus	27
4.2.3 Vipugarren rakenne	28
4.2.4 Näyttöpaneeli	30
4.3 Voiman tarpeen määrittäminen	31
5 VOIMANSIIRTOTAVAT	36
5.1 Sähkömoottori-hammaspyörä-taajuusmuuttaja -systeemi	36
5.1.1 Oikosulkumoottori	36
5.1.2 Taajuusmuuttaja	38

5.1.3	Hammaspyörät.....	39
5.1.4	Ratkaisuluonnos.....	40
5.1.5	Voiman mittaaminen.....	42
5.1.6	Loppuanalyysi	43
5.2	Pneumatiikalla toimiva toteutus	43
5.2.1	Kompressori	43
5.2.2	Huoltoyksikkö	44
5.2.3	Proportionaaliventtiili	45
5.2.4	Suuntaventtiili	45
5.2.5	Ratkaisuluonnos.....	46
5.2.6	Voiman mittaaminen.....	48
5.2.7	Loppuanalyysi	49
5.3	Askelmoottori-hihnakäyttö –toteutus.....	49
5.3.1	Askelmoottori	49
5.3.2	Hammashihnapyörä ja -hihna	50
5.3.3	Ratkaisuluonnos.....	51
5.3.4	Voiman mittaaminen.....	51
5.3.5	Loppuanalyysi	52
5.4	Yhteenveto.....	52
6	POHDINTA.....	54
	LÄHTEET.....	55
	LIITTEET	57

ALKUSANAT

Haluamme sanoa kiitoksia Jarno Postille, joka antoi mielenkiintoisen aiheen opinnäytetyöksi. Haluamme myös kiittää Jaakko Ettoa ohjauksesta opinnäytetyön kulussa. Haluamme kiittää vielä myös Lauri Kantolaa piirustusteknisistä avuista.

Kemi 1.6.2016

Lauri Komulainen

Toni Huhtiniemi

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Tamu	Taajuusmuuttaja
EY	Euroopan yhteisö
VNa	Valtioneuvoston asetus
CEN	Eurooppalainen standardisoimisjärjestö
ISO	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö
CENELEC	Eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö
SFS	Suomen standardisoimisliitto
HMI	Human-Machine Interface, teollisuuden prosesseissa käytetty koneiden käyttöliittymä

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on suunnitella kädenvääntölaite Polar-Automaatio Oy:n toimeksiannosta. Laitteen tarkoitus on määrittää käyttäjän voima ja antaa palautetta käyttöliittymän avulla. Laite olisi tarkoitettu messukäyttöön ja siksi sen olisi täytettävä CE-merkinnän vaatimukset.

Työssä tarkastellaan ensin tuotekehityksen teoriaa ja konedirektiivin asettamia vaatimuksia koneturvallisuudelle. Laitteen toiminnalliset ja tekniset ominaisuudet määritellään. Sen jälkeen tutkitaan eri mahdollisuuksia laitteen voimansiirron toteutustapojen osalta ja pyritään löytämään kokonaisvaltaisesti toimiva ratkaisu. Voimansiirron vaihtoehtojen osalta esitellään niiden pääkomponentit sekä vääntäjän tuottaman voiman laskentapa.

Voimansiirron osalta tarkastellaan lähemmin sähkömoottori- ja paineilmaratkaisuja. Vaihtoehtoiset voimansiirtotavat eivät kuitenkaan rajoitu työssä esitettyihin malleihin, vaan melkein mikä tahansa voimaa tuottava mekanismi voisi soveltua työn voimanlähteeksi.

2 TUOTEKEHITYS

2.1 Yleistä

Tuotekehitysprosessi on sarja vaiheita ja toimintoja, joita yritys käyttää tuotteen suunnitteluun, kehitykseen ja markkinoille saattamiseen. Vaiheet ja toiminnot ovat luonteeltaan aatteellisia ja organisaatiollisia. Tuotekehitys on monialainen projekti, johon ottavat osaa suunnittelijoiden lisäksi yritysjohto, markkinointiosasto ja tuotanto-osasto. (Eppinger & Ulrich 2012, 12-13.)

Lähtökohtaisesti tuotekehitystä voidaan ajatella laajan vaihtoehtoisten konseptien valikoiman luomisella, joita vähitellen kavennetaan tuotteen vaatimusten tarkentuessa, kunnes lopullista tuotetta voidaan valmistaa tuotantolinjalla luotettavasti. (Eppinger & Ulrich 2012, 12-13.)

Tuotekehityksen järjestelmällisyydellä tähdätään laadunvarmistukseen, yhteistyön sujuvuuteen, suunnittelun vaiheistukseen sekä prosessin hallinnoimiseen. Prosessin dokumentointi voi jatkossa auttaa löytämään kehityksen kohteita tuotekehityksessä. Kuvio 1 on esitetty Eppinger & Ulrichin tuotekehityksen malli. (Eppinger & Ulrich 2012, 12-13.)



Kuvio 1. Tuotekehityksen kuusiportainen malli. (Eppinger & Ulrich 2012, 9)

Tuotekehitykseen sisältyy monenlaisia haasteita. Tuotteen ominaisuuksia voidaan parantaa, mutta usein tuotantohinnan kustannuksella, kun taas markkinat ja asiakkaiden tarpeet muoti-ilmiöineen muuttuvat jatkuvasti. Aikataululliset takarajat puolestaan rajoittavat tuotekehityksen päätöksentekokykyä. (Eppinger & Ulrich 2012, 7.)

2.2 Tuoteohjelman suunnittelu

Tuoteohjelman suunnitteluvaiheen on oltava yrityksen strategian mukainen, missä tuotekehitysprojektin tavoitteet määritellään. Tähän kuuluu tuotteen kohdeyleisö, liikevoittotavoitteet, avainolettamukset sekä rajaukset. (Eppinger & Ulrich 2012, 13-15.)

Tässä kohdassa tarvitaan jokin markkinaidea, missä asiakkaan tarpeelle löydetään ratkaisu. Asiakas voi olla tavallinen kuluttaja tai suuri yritys. Idea voi olla myös parannus tai lisäosa jo olemassa olevaan tuotteeseen. (Eppinger & Ulrich 2012, 57.)

2.3 Konseptisuunnittelu

Konseptisuunnitteluvaiheessa kohdeyleisön tarpeet kartoitetaan, tuotteen konseptivaihtoehdot suunnitellaan ja arvioidaan. Konseptivaihtoehdoista valitaan parhaat tarkempaan suunnitteluun. Konseptilla tarkoitetaan tuotteen muodon, toiminnan ja ominaisuuksien kuvausta. (Eppinger & Ulrich 2012, 15.)

Konseptien luomisprosessi alkaa lähtötilanteen selvittämisellä. Tämä voidaan tehdä ns. tarvelauseilla, jotka ilmaisevat tuotteen tarkoitusperän. Näiden perusteella voidaan edelleen tarkentaa tuotteelta haluttuja ominaisuuksia. Lopulta päästään ominaisuuksia yksityiskohtaisesti esittävien lauseiden muodostamiseen. (Eppinger & Ulrich 2012, 121.)

2.4 Systeemis suunnittelu

Systeemis suunnittelussa määritetään tuotteen arkkitehtuuri, puretaan se alajärjestelmiin ja osiin sekä valmistellaan pääkomponenttien suunnittelua. Vaiheen tuloksena on tuotteen geometrinen pohja, toiminnallinen selostus tuotteen alajärjestelmistä sekä alustava kokoonpanosuunnitelma. (Eppinger & Ulrich 2012, 15.)

Tuotteen arkkitehtuuria voidaan ajatella toiminnan ja fysiikan kannalta. Toiminnallisiin elementteihin kuuluvat tuotteen yksittäiset toiminnot ja muutokset,

joista muodostuu tuotteen kokonaiskuva. Fysikaalisiin elementteihin kuuluvat osat ja komponentit, joista tuote muodostuu. Tärkeä arkkitehtuurin osa on tuotteen modulaarisuus. Modulaarisessa rakenteessa tuotteen osat on jaettu osiin, joilla kaikilla on jokin oma toiminto. (Eppinger & Ulrich 2012, 184-185.)

2.5 Detaljisuunnittelu

Detaljisuunnittelussa jokainen osa ja materiaali on tarkasti määritelty ja dokumentoitu. Tuotantosunnitelma on valmisteltu ja tuotannon työvaiheet on suunniteltu. (Eppinger & Ulrich 2012, 15.)

Materiaalivalinnoissa huomionarvoista on ympäristölähtöinen suunnittelu. Tuotannon ympäristövaikutuksiin voi kuulua suuri energiankulutus, luonnonvarojen väheneminen, jätevesi- ja kaasupäästöt ja kiinteät jätteet. Näihin asioihin voidaan vaikuttaa parhaiten tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa. (Eppinger & Ulrich 2012, 231.)

Tuotantokustannus on avainasemassa tuotteen menestymisen kannalta. Menestyksekkään tuotteen luomiseksi on varmistuttava sen korkeasta laadusta samalla minimoiden sen tuotantokustannukset. Tehokkaalla yksityiskohtien suunnittelulla pyritään saavuttamaan edellä mainitut tavoitteet. (Eppinger & Ulrich 2012, 255.)

2.6 Testaus ja tuotanto

Testausvaiheessa ensimmäisten prototyyppien rakennus ja arviointi alkaa. Aikaiset prototyypit rakennetaan yleensä osilla, jotka ovat samankaltaisia kuin varsinaiset tuotanto-osat, mutta eivät samoja kuin tuotantolinjassa käytettävät osat. Prototyypeillä testataan, toimiiko laite suunnitellusti ja täyttääkö se kohdeyleisön tarpeet. Loppuvaiheen prototyyppejä voidaan antaa ennalta valituille asiakkaille kokeiltavaksi. Näin selvitetään tuotteen suorituskyky ja luotettavuus aidossa ympäristössä. (Eppinger & Ulrich 2012, 15.)

Tuotantovaiheessa tuotetta tehdään sille tarkoitetulla tuotantolinjalla. Tuotannon alkuvaiheessa tuotteet jaetaan valikoidulle yleisölle, minkä tarkoituksena on

löytää viimeiset tuotannolliset virheet. Lopuksi siirrytään alkuvaiheesta massatuotantoon. (Eppinger & Ulrich 2012, 15.)

3 KONETURVALLISUUS

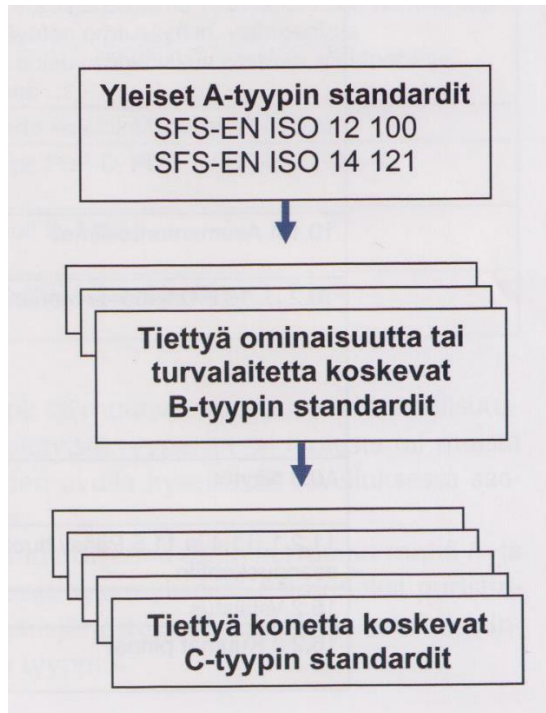
3.1 Koneasetus

Koneasetus perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston asettamaan konedirektiiviin 2006/42/EY, jonka Suomessa on sellaisenaan hyväksynyt valtioneuvosto asetuksessa VNa 400/2008. Asetuksessa säädetään koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvistä olennaisista terveys- ja turvallisuusvaatimuksista sekä niiden vaatimuksenmukaisuuden osoittamisesta, markkinoille saattamisesta ja käyttöönotosta. (SFS-käsikirja 93-1 2014, 6.)

Konedirektiivi sekä kansallinen koneasetus sisältävät koneita koskevat terveys- ja turvallisuusvaatimukset, jotka ovat pääasiassa yleisiä turvallisuustavoitteita. Tekniset ratkaisut esitetään CENin ja CENELECin laatimissa eurooppalaisissa yhdenmukaistetuissa koneturvallisuuden standardeissa. Näiden standardien seuraaminen ei kuitenkaan ole koneasetuksen 4. artiklan 12. kohdan mukaan pakollista, mutta niitä soveltamalla voidaan varmistua turvallisuuskriteerien täyttymisestä. (SFS-käsikirja 93-1 2014, 6.)

3.2 Standardien hierarkia

Koneturvallisuuden standardeilla on kolmiportainen hierarkia: A-, B- ja C-tyypin standardit. Hierarkian tarkoituksena on varmistaa, että tietyt turvallisuusnäkökohdat standardisoidaan vain kerran ja että nämä periaatteet ovat suoraan viitattavissa erilaisissa konekohtaisissa C-tyypin standardeissa. Hierarkiaa on havainnollistettu Kuvio 2. (SFS-käsikirja 93-1 2014, 7.)



Kuvio 2. Standardien hierarkia (Siirilä 2008, 31)

A-tyyppin standardeja ovat riskien arviointia koskeva SFS-EN ISO 14121 ja koneturvallisuuden perusstandardi SFS-EN ISO 12100, joka kattaa kaikkien koneiden perusteet, suunnitteluperiaatteet ja yleiset näkökohdat. (SFS-käsikirja 93-1 2014, 25.)

B-tyyppin standardeissa käsitellään tiettyä turvallisuusnäkökulmaa tai sellaista suojausteknistä laitetta, jota voidaan käyttää useassa eri koneessa. B1-tyyppin standardit kattavat yksittäiset turvallisuusnäkökohdat esimerkiksi turvaetäisyydet, pintalämpötilat ja melun. B2-standardit kattavat vastaavasti suojaustekniset laitteet, kuten erilaiset hallintalaitteet ja suojukset. Kuvio 3 on esitetty B-tyyppin standardit sisältöineen. (SFS-käsikirja 93-1 2014, 19.)

A-TYYPIN STANDARDI SFS-EN ISO 12100		
B-TYYPIN STANDARDIT	MATERIAALIT JA PÄÄSTÖT	Tulipalo ja räjähdys, hygienia
	PÄÄSTÖJEN HALLINTA JA MITTAUS	Melu, värinä, säteily, aineet
	SUOJAUSTEKNISET LAITTEET	Suojukset, turvalaitteet
	TEHONSYÖTTÖJÄRJESTELMÄT	Sähkö, hydraulikka ja pneumatiikka
	OHJAUSJÄRJESTELMÄT	Rakenneperiaatteet, odottamattoman käynnistyksen estäminen, hätäpysäytys
	IHMISEN JA KONEEN VÄLINEN VUOROVAIKUTUS	Ohjaus- ja näyttölaitteet, signaalit, merkinnät, ohjeet
	ERGONOMIA	Ihmisen henkiset kyvyt, fyysinen ympäristö, antropometria ja biomekaniikka
	ETÄISYYSSUOJAUS	Turvaetäisyydet, puristumissuojaetäisyydet
	KULKUTIET	Tasot, kaiteet, portaat, tikkaat

Kuvio 3. B-tyypin standardeja (SFS-käsikirja 93-1 2014)

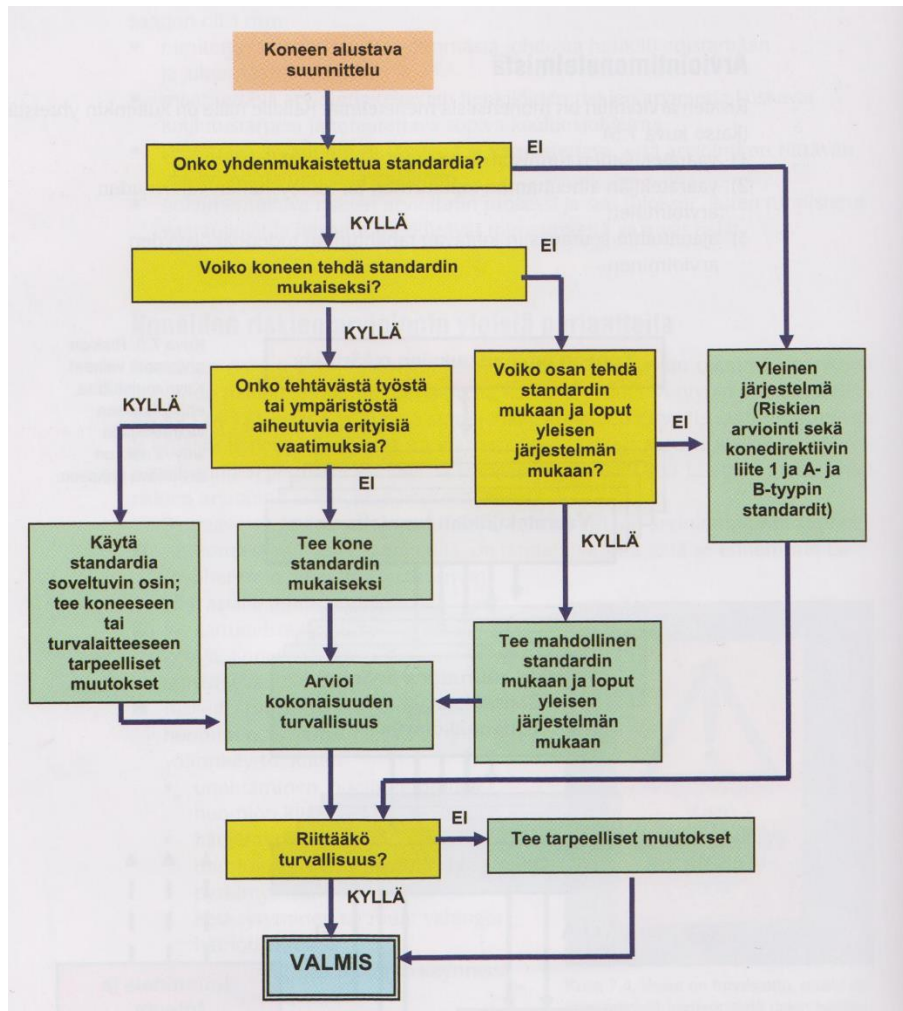
C-tyypin standardi on konekohtainen turvallisuusstandardi, jossa käsitellään tietyn koneen tai koneryhmän yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia. Koneryhmällä tarkoitetaan koneita, joiden käyttö, vaaratilanteet ja riskit ovat samankaltaisia. C-tyypin standardissa yleensä määritellään, mitä A- ja B-tyypin standardien vaihtoehtoisista menetelmistä konesuunnittelussa tulee käyttää. C-tyypin standardi on ensisijainen konesuunnittelussa, mikäli sellainen on koneelle tai koneryhmälle olemassa. (SFS-Käsikirja 93-1 2014, 19-20.)

3.3 Koneen riskin arviointi

Kaikille koneille on tehtävä riskin arviointi, jolla kartoitetaan koneeseen liittyvät vaarat ja olennaiset turvallisuusvaatimukset. Riskin arviointi on iteratiivinen prosessi, jossa analysoidaan koneisiin liittyvien riskien merkitystä järjestelmällisesti. Riskin arviointia seuraa tarvittaessa riskin pienentäminen, jolla vaaroja pienennetään mahdollisuuksien mukaan. (SFS-EN ISO 12100:2010, 28.)

Jos konetyypille on olemassa C-tyypin standardi, on riskin arvioinnissa selvítettävä, onko koneessa vaaroja tai toimintoja, joita standardi ei kata. Muussa

tapauksessa koneen turvallisuussuunnittelussa tulee käyttää A- ja B-tyyppien standardeja. Tällöin koneen valmistajan on itse oman arvioinnin perusteella sovellettava em. standardeja. Prosessia on havainnollistettu Kuvio 4. (SFS-Käsikirja 93-1 2014, 20.)



Kuvio 4. Standardien soveltamiskaavio (Siirilä 2008, 84)

3.3.1 Riskin arvioinnin vaiheet

Riskin arviointiin kuuluvat riskianalyysi sekä riskin merkityksen arviointi. Riskianalyysin perusteella määritellään riskien suuruus, jonka perusteella päätetään riskin pienentämisen tarpeesta. (SFS-EN ISO 12100:2010, 34)

Riskianalyysi sisältää tiedot koneen raja-arvoista, vaarojen tunnistamisesta ja riskin suuruuden arvioinnista. (SFS-EN ISO 12100:2010, 34)

Raja-arvoilla määritellään koneen ominaisuudet, suoritusarvot sekä käyttäjät:

- käyttörajat, joihin sisältyy koneen tarkoitettu käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö
- tilarajat, joissa huomioidaan käyttäjän vaatimat tilat, koneen liikkeen laajuus, käyttäjä-kone -rajapinta sekä kone-tehonsyöttö –rajapinta
- aikarajat, joissa huomioidaan koneen tai koneen osien elinkaari ottaen huomioon tarkoituksenmukainen käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö ja suositeltavat huoltovälit
- muut raja-arvot, esimerkiksi materiaalien ominaisuudet ja käyttöolosuhteet. (SFS-EN ISO 12100:2010, 36-38.)

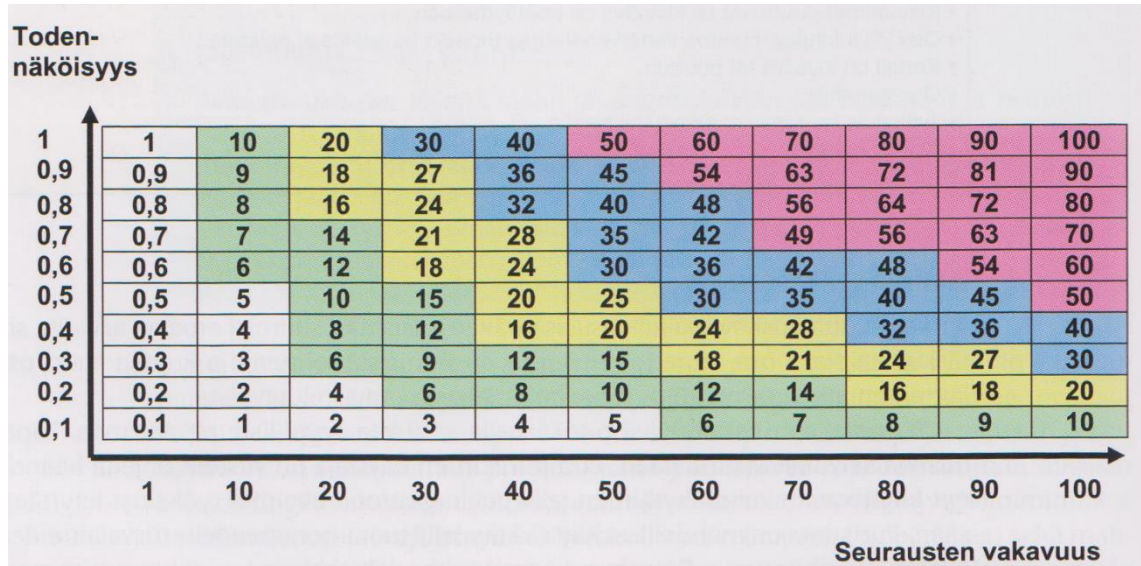
Vaarojen tunnistamisessa on järjestelmällisesti listattava koneen koko elinkaaren aikana tapahtuvat ennakoitavissa olevat vaarat. Ensisijaisesti vaaratilanteita aiheuttavat ihmisen vuorovaikutus koneen kanssa mukaan lukien väärinkäyttö sekä koneen toimintahäiriöt. Myös koneen normaalin toiminnan aikaisia vaaratilanteita on tarkasteltava. Kun vaarat on tunnistettu, voidaan suorittaa toimenpiteitä niiden poistamiseksi tai riskien pienentämiseksi. (SFS-EN ISO 12100:2010, 38.)

Jokaiselle vaaratilanteelle on tehtävä riskin suuruuden arviointi. Vaaratilanne koostuu kahdesta osatekijästä: vahingon vakavuudesta ja esiintymistodennäköisyydestä. Vakavuutta voidaan mitata vaaratilanteen synnyttämällä henkilövahingolla: ovatko vammat tai terveyshaitat lieviä, vaikeita vai voivatko ne johtaa kuolemaan sekä koskeeko vahinko laajuudeltaan useita henkilöitä. (SFS-EN ISO 12100:2010, 42-44.)

Vaaratilanteiden esiintymistodennäköisyyteen vaikuttavia tekijöitä on monia. Vaarallisen tapahtuman esiintyminen voi johtua teknisestä tai inhimillisestä syystä. Henkilön pääsy niin kutsutulle vaaravyöhykkeelle ja oleskelu siellä lisäävät todennäköisyyttä. Lisäksi koneen luotettavuus ja toiminnan (liikkeen) tunnettuus ja ennalta-arvattavuus ovat vaaran todennäköisyyteen vaikuttavia tekijöitä. (SFS-EN ISO 12100:2010, 44.)

3.3.2 Riskin merkityksen arviointi

Riskin merkityksen arvioinnilla päätetään, onko tarvetta riskin pienentämiselle. Kuvio 5 on Tapio Siirilän esittämä malli riskiluokituksesta.



Kuvio 5. Riskiluokitus todennäköisyyden ja vakavuuden funktiona. (Siirilä 2008, 108)

Todennäköisyysasteikossa 0,1 tarkoittaa äärimmäisen epätodennäköistä, kun taas luvun 1 tapahtuma on varma. Vakavuusasteikossa 1 tarkoittaa, että seurauksia ei ole ja 100 tarkoittaa kuolemaa tai erittäin vakavia vammoja. (Siirilä 2008, 87, 92.)

Tuloksena on luokittelu viiteen riskitasoon:

- vähäinen riski 0,1-5
- siedettävä riski 6-15
- kohtalainen riski 16-28
- merkittävä riski 29-48
- sietämätön riski 49-100. (Siirilä 2008, 109)

Konesuunnittelun näkökulmasta riskitaso saa olla korkeintaan siedettävällä tasolla ollakseen hyväksyttävä. Jos riski on kohtalainen tai suurempi, on

suunnittelua jatkettava kunnes päästään siedettävän tai vähäisen riskin alueelle. (Siirilä 2008, 109.)

3.3.3 Riskin pienentäminen

Riskin pienentämisellä pyritään vaikuttamaan edellisessä luvussa käsiteltyihin riskin osatekijöihin eli vahingon vakavuuteen ja esiintymistodennäköisyyteen. Standardin SFS-EN ISO 12100 mukaan on sovellettava seuraavaa kolmen askeleen menetelmää tässä järjestyksessä:

- luontaisesti turvalliset suunnittelutoimenpiteet:

Vaarat pyritään poistamaan koneen ominaisuuksiin ja henkilö-kone-rajapintaan liittyvällä ennakoivalla konesuunnittelulla.

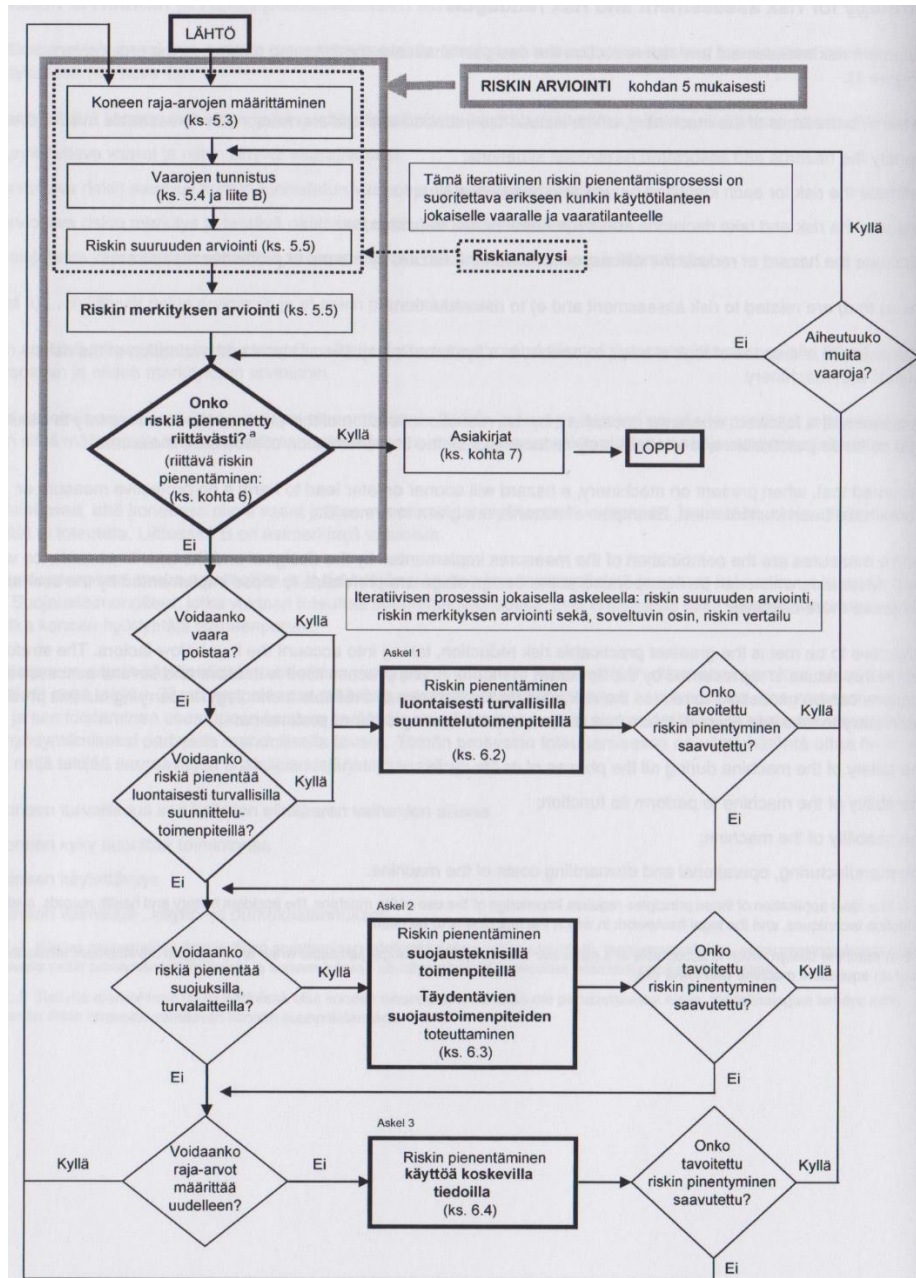
- suojaustekniset toimenpiteet:

Jos edellä oleva vaaran poisto ei ole kokonaan mahdollista, on riskin pienentämiseksi käytettävä sopivia suojauksia ja suojaustoimenpiteitä. Näitä voivat olla esim. henkilösuojat, hätäpysäytyslaitteet tai koneen käynnin estävät laitteet.

- käyttöä koskevat tiedot:

Jäljelle jääneet jäännösriskit ovat yksilöitävä käyttöä koskevissa tiedoissa. Näitä tietoja ovat esim. koneen toimintamenettelyt, suositeltavat työmenetelmät, koulutusvaatimukset ja niin edelleen. (SFS-EN ISO 12100:2010, 52.)

Menetelmää on havainnollistettu Kuvio 6.



Kuvio 6. Riskin pienentämisprosessi (SFS-EN ISO 12100:2010, 30)

3.3.4 Dokumentointi

Riskin arviointi ja pienentäminen on dokumentoitava. Asiakirjoista on käytävä ilmi noudatetut menettelyt sekä saavutetut tulokset. Asiakirjoihin on sisällytettävä:

- koneen tiedot
- tiedot tehdyistä olettamuksista (kuormat, voimat)
- tiedot tunnistetuista vaaroista sekä riskin arvioinnissa huomioon otetuista vaarallisista tapahtumista

- tiedot, joihin riskin arviointi perustui
- riskin pienentämistavoitteet, jotka on saavutettava suojaustoimenpiteillä
- toteutettujen suojaustoimenpiteiden tiedot sekä sovelletut standardit
- koneen jäännösriskit
- riskin arvioinnin lopputulos
- riskin arvioinnin kuluessa täytetyt lomakkeet. (SFS-EN ISO 12100:2010, 102.)

3.4 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmät on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että ne estävät vaaratilanteiden syntymisen. Ennen kaikkea ne on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että:

- ne kestävät tarkoitetut käyttörasitukset ja ulkoiset vaikutukset
- ohjausjärjestelmän laitteisto- tai ohjelmistovika ei aiheuta vaaratilanteita
- virheet ohjausjärjestelmän logiikassa eivät aiheuta vaaratilanteita
- kohtuudella ennakoitavissa oleva inhimillinen erehdys käytön aikana ei aiheuta vaaratilanteita. (VNa 400/2008 liite 1 kohta 1.2.1.)

Erityistä huomiota on kiinnitettävä seuraaviin seikkoihin:

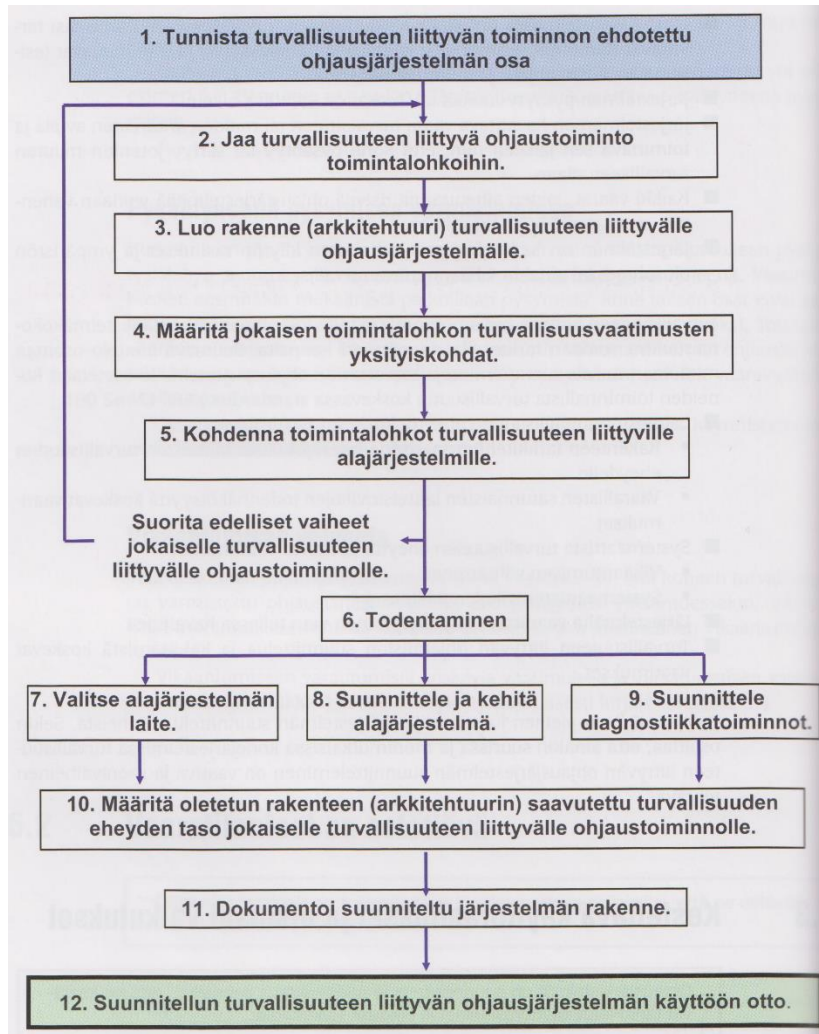
- Kone ei saa käynnistyä odottamattomasti.
- Koneen ominaisarvot eivät saa muuttua hallitsemattomasti, jos tällainen muutos saattaa aiheuttaa vaaratilanteita.
- Koneen pysähtymistä ei saa estää, jos pysäytyskäsky on jo annettu.
- Mikään koneen liikkuva osa tai koneen kiinni pitämä kappale ei saa pudota tai sinkoutua.
- Minkään liikkuvan osan automaattinen tai käsikäyttöinen pysäyttäminen ei saa estyä.
- Turvalaitteiden on pysyttävä täysin toimintakykyisinä tai annettava pysäytyskäsky.

- Turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän osia on käytettävä yhtenäisellä tavalla koneiden tai osittain valmiiden koneiden muodostamaan koko kokoonpanoon. (VNa 400/2008 liite 1 kohta 1.2.1.)

Langattomassa ohjauksessa on aikaansaatava automaattinen pysäytys, jos oikeita ohjaussignaaleja ei saada tai jos yhteys menetetään. (VNa 400/2008 liite 1 kohta 1.2.1.)

Ohjausjärjestelmällä tarkoitetaan kaikkia laitteen ohjaukseen liittyviä komponentteja antureista tiedonsiirtoon ja toimilaitteisiin. Ohjausjärjestelmässä on oltava kaikki koneen turvalliseen käyttämiseen tarvittavat toiminnot ja toimintatavat. Siinä ei saa olla suunnitteluvirheitä tai vikoja, joista voi aiheutua vaaratilanteita. (Siirilä 2009, 92-93.)

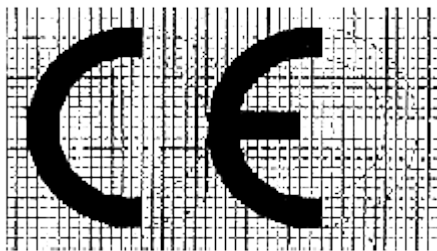
Ohjausjärjestelmän suunnittelulla on oleellinen rooli riskin suojausmenetelmänä silloin, kun riskejä ei luontaisen suunnittelun menetelmin pystytä poistamaan. Standardin SFS-EN 62061 mukaisen ohjausjärjestelmän suunnittelun prosessikaavio on esitetty Kuvio 7.



Kuvio 7. Ohjausjärjestelmän suunnittelukaavio (Siirilä 2009, 98)

3.5 CE-merkintä

CE-merkintä (Kuvio 8) on vaatimustenmukaisuusmerkintä, jonka valmistaja kiinnittää koneeseen. Merkintä on vakuutus siitä, että kone täyttää direktiivin 2006/42/EY vaatimukset. (2006/42/EY liite 3)



Kuvio 8. CE-merkintä (2006/42/EY liite 3)

CE-merkinnän kiinnitys edellyttää, että laitteelle on tehty koneiden EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus, jossa valmistaja erittelee kirjallisesti laitteen

toiminnan, käytetyt standardit ja niiden täyttymisen ym. Lista kokonaisuudessaan liitteessä 1. (2006/42/EY liite 3)

4 LAITESUUNNITTELU

4.1 Lähtökohdat

Tässä luvussa määritellään ensin mitä ollaan varsinaisesti tekemässä. Laitteen ominaisuudet ja toiminta kuvataan. Tämän jälkeen tarkastellaan minkälaisen suuruusluokan momentista puhutaan kädenväännöstä, jotta osataan lähteä hakemaan tarpeeksi kestäviä komponentteja. Seuraavana tarkastellaan laitteen mekaanista toimintaa yleisellä tasolla, jotta osataan hakea sopivat liikeradat laitteen säädettävyyden ja yksilöllisen ergonomian kannalta.

Lopulta tarkastellaan erilaisia toteuttamismalleja miten laitteen voisi rakentaa. Jokaisesta eri ratkaisumallista tehdään mittaustavan selvitys, rakentamisen vaikeustaso ja käytännöllisyys. Konseptipohjaisen suunnittelun takia työssä ei esitetä sähkö- tai automaattioratkaisuita, koska ne ovat riippuvaisia kappaleen lopussa valitusta voimansiirtotavasta.

4.2 Laitteen määrittely

Tavoitteena on suunnitella kädenvääntölaite Polar-Automaatiolle. Laitteen suunnittelun tulee sisältää erilaisten toteuttamistapojen tarkastelua käytännöllisyyseikat ja turvallisuus mukaan lukien. Laitteen tulee olla käytännöllinen sekä helposti kuljetettava.

Laite on tarkoitettu ensisijaisesti yli 18-vuotiaille. Uuden laitteen käyttöönotossa voi tulla esiin vaaroja, joita ei ole osattu ottaa huomioon. Siksi ainakin käytön alkuvaiheessa laite olisi tarkoitettu vain aikuisille. Kun laitteen käyttö ja ominaisuudet ovat tulleet tutuksi ja turvallisuudesta on varmistuttu, ikärajaa voidaan laskea.

Koko laite rakennetaan omalle siirrettävälle alustalle, jossa on pehmuste vääntäjän kyynärpäälle ja tilaa voiman tuottavalle laitteistolle. Alustan koko määräytyy voimansiirtotavan mukaan. Alustaa ei tarvitse kiinnittää pöytään, sillä vääntäjän kyynärpää ja tukikahvan käsi pitävät alustan paikallaan. Tarvittaessa laitteen alustan voisi varmistaa kiinnittämällä pöytään kiinni ruuvipuristimilla

alustan laidoista. Laite on kaksisuuntainen, eli vipuvartta voi vääntää oikealle tai vasemmalle. Tukikahvat ovat molemmin puolin 35 cm:n etäisyydellä vipuvarren akselista. Alustan leveydeksi tulisi siis noin 80 cm.

Penkiksi riittää tavallinen tuoli, jossa ei ole rullia ja josta vääntäjä yltää hyvin asettamaan kätensä alustalle. Vääntö tehdään siis lähtökohtaisesti istuma-asennosta, mutta se voi suorituksen aikana muuttua etupainoiseksi kyykkyasennoksi.

4.2.1 Käynnistäminen

Laite suunnitellaan siten, että sitä voi syöttää pistorasiasta. Tämä helpottaa käyttöpaikan valintaa. Kolmivaiheisia sähkömoottoreita voidaan taajuusmuuttajan avulla käyttää tavallisen yksivaiheisella verkkovirralla. Samalla saadaan syöttö ohjausjärjestelmälle.

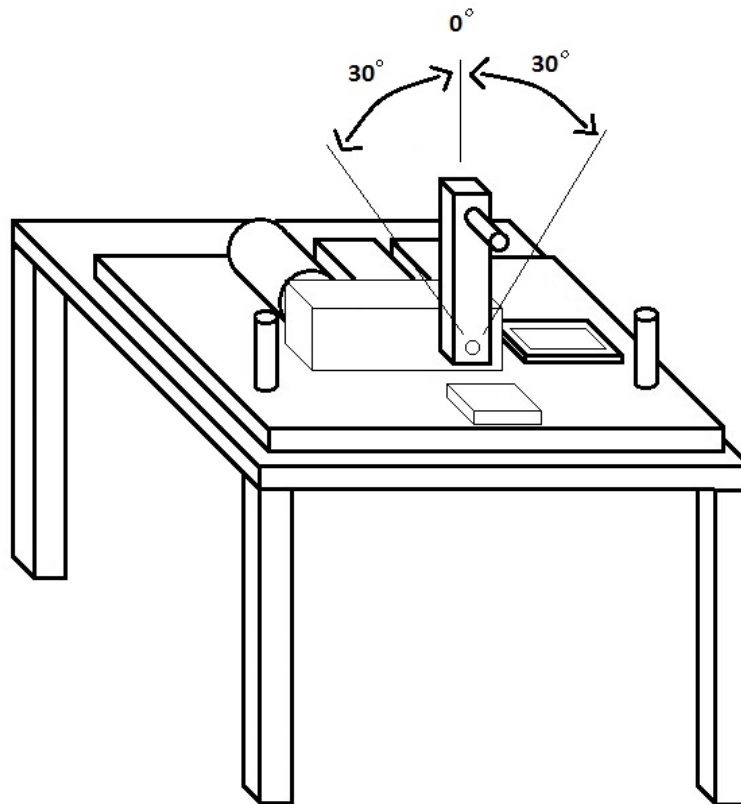
Käynnistämisen jälkeen määritellään uusi käyttäjä näyttöpaneelin avulla. Näyttöpaneeliin avautuu uusi ikkuna, jossa on virtuaalinen näppäimistö. Käyttäjä kirjoittaa oman nimensä ja valitsee vääntösuunnan. Tämän jälkeen kone ajaa itsensä alkuasentoon, eli vipuvarsi on 30 asteen kulmassa pystyasentoon nähden käyttäjän valitseman vääntösuunnan mukaisesti. Seuraavaksi vipuvarsi pitää säätää käyttäjän käden pituudelle sopivaksi.

Käyttäjä asettuu laitteen eteen istumaan ja tarttuu kämmenellä vipuvarren kahvasta kiinni. Vipuvarren säätöruuvia löysätään, jotta säätövara vapautuu. Käyttäjä asettaa kynänpään pedille vipuvarren liukuessa mukana sopivalle korkeudelle, jonka jälkeen ruuvi kiristetään. Varren pituus syötetään paneelille. Jos vipuvarren sisälle asennetaan välimatkaa mittaava anturi, vältytään varren pituuden käsin syöttämiseltä. Toisella kädellä otetaan kiinni tukikahvasta.

4.2.2 Vääntösuoritus

Kun vääntäjä on valmis, hän painaa napista, joka on vääntökahvan päädyssä kiinni siten, että sitä voi pitää peukalolla pohjassa vääntösuorituksen ajan. Kolmen sekunnin viiveellä laite alkaa tuottamaan momenttia hallitusti robottikäteen jota vastaan vääntäjä vääntää. Lähtökulma on noin 30 astetta, mistä vipuvarsi lähtee vääntämään itseään kohtisuoraan pöytään nähden. Laite lähtee vääntämään ilman käynnistysramppia ja pyrkii pitämään nopeuden vakiona koko suorituksen ajan.

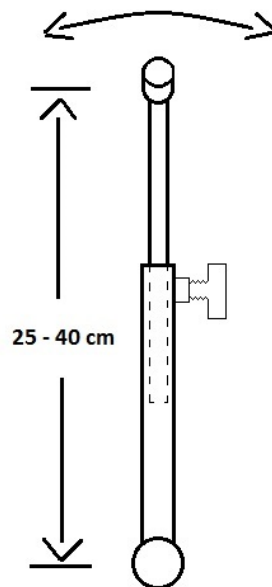
Kun robottikäsi on vääntänyt itsensä kohtisuoraan (Kuvio 9) pöytään nähden, laite katkaisee momentin tuoton turvallisesti, minkä jälkeen tulos momentista siirtyy logiikalle. Tulos tulee tämän jälkeen näkymään helposti luettavassa muodossa näyttöpäätteelle. Tuloksia voidaan vertailla siten, että vääntäjät saadaan paremmuusjärjestykseen. Näin saadaan vääntämiseen kilpailutyylinen teema.



Kuvio 9. Väännön lopputilanne – robottikäsi on nyt kohtisuorassa pöytään nähden.

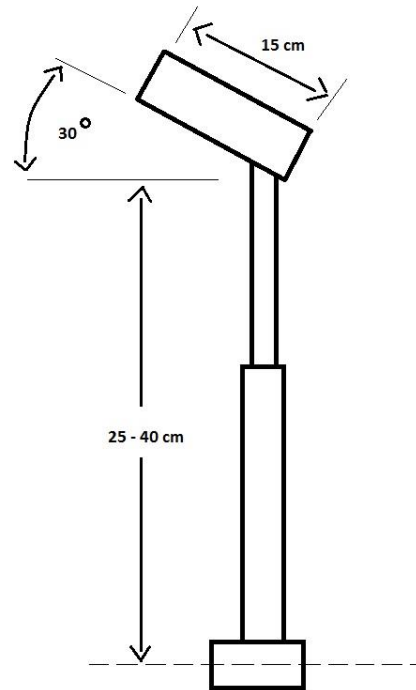
4.2.3 Vipuvarren rakenne

Vipuvarsi on teräksinen kanttiputki, jossa on kädelle sopiva tartuntakahva. Varsi on kohtisuorassa alustaan nähden. Se on pituudeltaan säädettävä, esimerkiksi 25-40 cm. Säädettävyys toteutetaan kahdella sisäkkäin menevällä putkella, joista ulomman voi kiristää ruuvilla sisäputkeen (Kuvio 10).



Kuvio 10. Vipuvarsi ja säätöruuvi

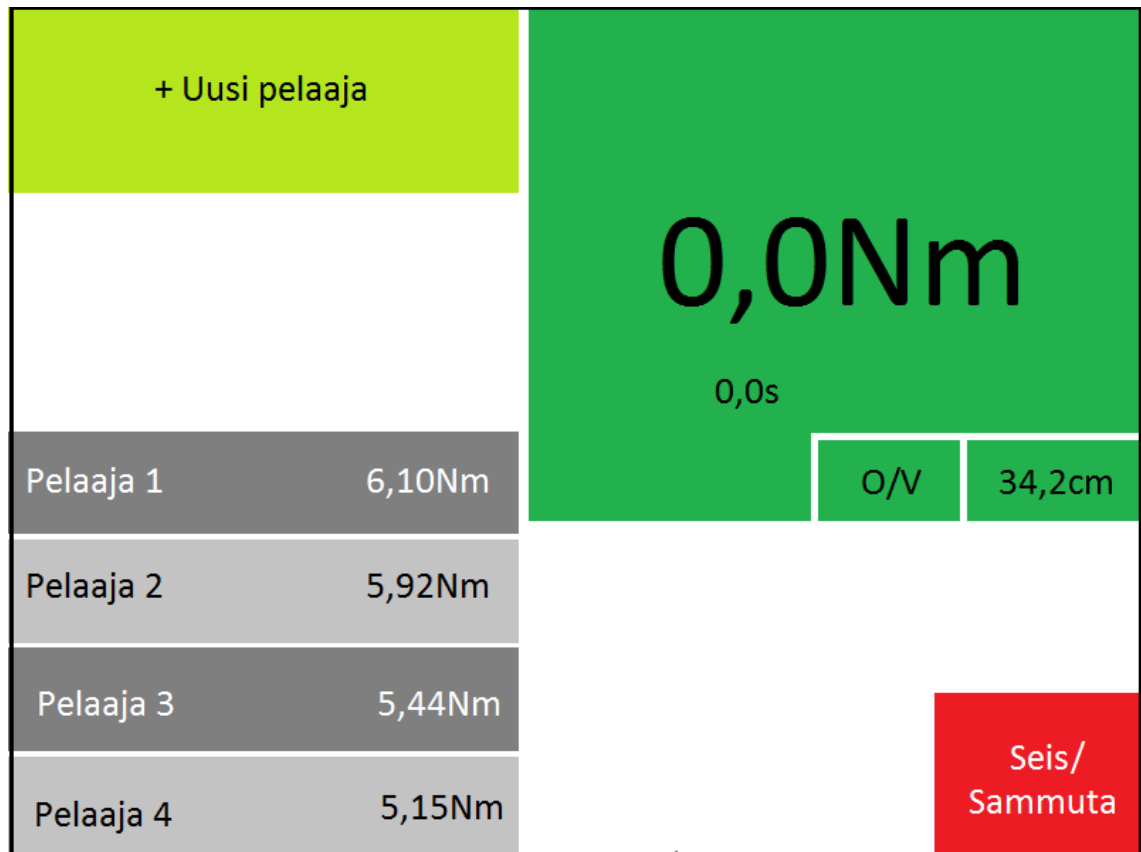
Varren kahva on kädelle sopivassa kulmassa vipuvarren yläosassa Kuvio 11 mukaisesti siten, että käsivarsi ja ranne ovat luonnollisessa asennossa. Kuviossa esitetty 30 asteen kulma varren ja kahvan välillä on arvioitu kuvitellun kädenväännön lähtötilanteen mukaan.



Kuvio 11. Vipuvarsi ja kahva

4.2.4 Näyttöpaneeli

Laite antaa palautetta vääntäjän suorituksesta näyttöpaneelin kautta. Näytöstä näkee vääntäjän voiman tai vääntömomentin, vipuvarren pituuden, nimen, vääntösuunnan, suorituksen päivämäärän sekä muiden tulokset. Lisäksi siitä voi palauttaa käsivarren lähtöasentoon. Näyttö voisi olla HMI-kosketusnäyttö, jolloin erillistä näppäimistöä ei tarvittaisi nimien kirjaamiseen. Kuvio 12. Näyttöpaneelin ehdotettu layouton esitetty 800 x 600-resoluution HMI-näytölle suunniteltu layout-kaavio. Kuvio 12



Kuvio 12. Näyttöpaneelin ehdotettu layout

Kuviosta näkyy oikealla ylhäällä saavutettu maksimi vääntömomentti ja suoritusketo. O/V tarkoittaa vääntösuuntaa, eli oikealle tai vasemmalle. Sen vieressä on vipuvarren pituus. Vasemmalla alhaalla on aikaisempien käyttäjien tuloslista.

4.3 Voiman tarpeen määrittäminen

Ennen kuin itse laitteistoa voi alkaa mitoittamaan, tulee määrittää koneen momentintuoton suuruusluokka. Tämä vaikuttaa suoraan laitteen voimansiirron kokoluokkaan ja tätä kautta myös kustannuksiin.

Koska kädenväännön synnyttämistä voimista ei juurikaan löydy tutkimustietoa, joudutaan turvautumaan voimien määrittämiseen empiirisesti. Voimia lähdettiin mittaamaan siten, että rakennettiin kuvan 1 mukainen laitteisto, joka muistuttaa jokseenkin tilannetta oikeassa elämässä.



Kuva 1. Kädenväännössä syntyvien voimien haarukointi

Kuten yllä olevassa kuvassa näkyy, käsi on tuettu - tässä tapauksessa polvea vasten - ja käsi pääsee vipuvarsimaisesti tuottamaan momenttia, joka välittyy vihreää kappaletta vasten puntarille, josta otetaan muutaman mittauksen jälkeen tulokset ylös. Kahden eri vääntäjän paras tulos oli tasan 25 kg, joka otetaan tässä tapauksessa nyt vertailutulokseksi.

Tavanomaisessa kädenväännössä voimaa tuottaa käden lisäksi myös ylävartalo. Tämä seikka voi olla ongelmallinen, jos käyttäjän kädenvääntötapa poikkeaa laitteen suunnitellusta käyttötavasta. Ongelma tuli esille työn loppuvaiheessa. Seuraavissa kappaleissa on esitetty voimantarve kuvan 1 mukaisella tavalla, joka ei todennäköisesti tule riittämään laitteen mitoituskeinoon. Laitetta vastaan vääntäessä ylävartaloa apuna käyttäen ei voida estää, joten se tulisi ottaa huomioon myös tässä vaiheessa.

25 kg:n tulos oli kohtisuoraan vaikuttava voima, joka piti seuraavaksi muuttaa newtoneiksi. Tulos saatiin Newtonin toisen lain perusteella newtoneiksi seuraavan kaavan (1) mukaisesti:

$$F = ma \quad (1)$$

$$F = 25 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 245,25 \text{ N}$$

missä

F	on	voima newtoneina [N]
m	on	massa kilogrammoina [kg]
a	on	maan gravitaatiokiihtyvyys [m/s^2]

Tämä oli puntariin kohdistuvaa kohtisuoraa voimaa, joka piti edelleen muuttaa vääntömomentiksi seuraavan kaavan (2) mukaisesti:

$$T = r * F \quad (2)$$

$$T = 0,35 \text{ m} * 245,25 \text{ N}$$

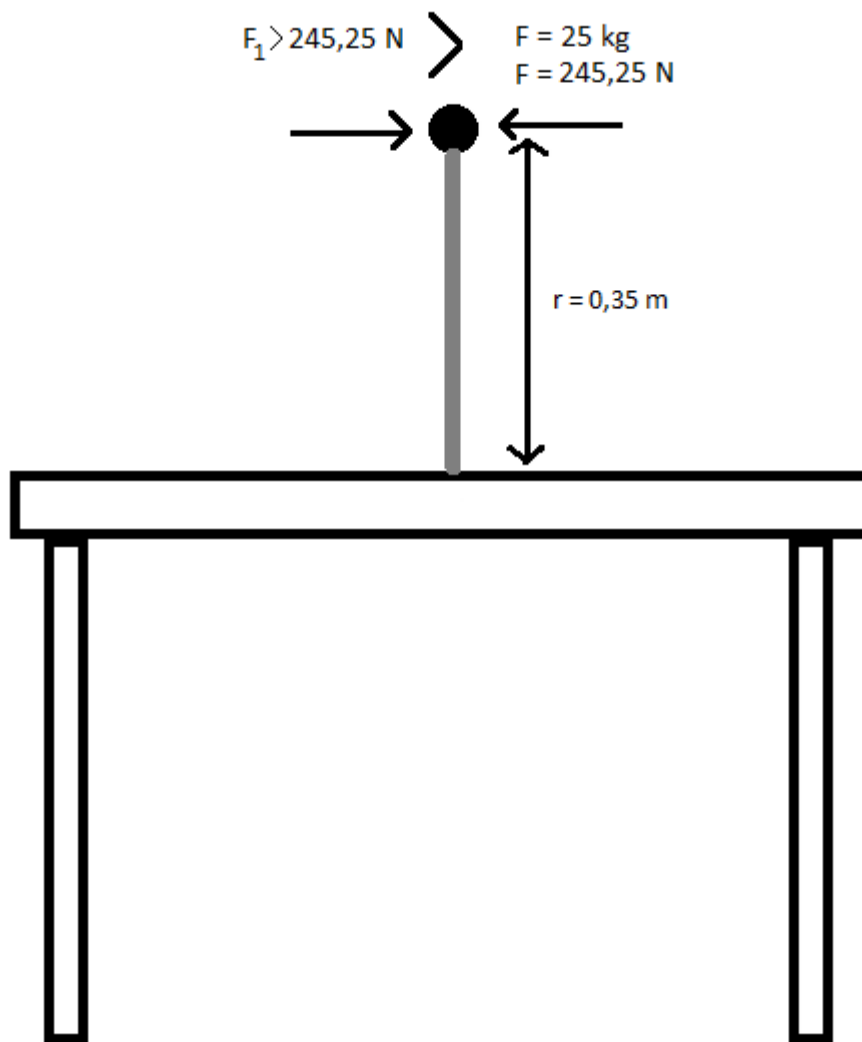
$$T = 85,838 \text{ Nm}$$

$$T \sim 86 \text{ Nm}$$

missä

T	on	vääntömomentti newtonmetreinä [Nm]
r	on	vipuvarren pituus metreinä [m]
F	on	edellä mainittu voima [N]

Tämä edellä saatu voima on vastavoimaa, jota vääntäjä synnyttää laitetta vastaan, joten moottorin ja mekaniikan tulee synnyttää vähintään yhtä suuri voima toimiakseen oikein. Tilannetta piirrettiin vielä havainnollistamaan kuvio 7, jossa käy ilmi vaikuttavat voimat.



Kuvio 13. Väännössä vaikuttavat voimat ja vastavoimat

Nyt edellä saadusta vääntömomentista T saatiin vertailupohjaa sille, mitä voimia oikeassa vääntötilanteessa tapahtuu. Koska oikeassa vääntötilanteessa on eri tasosia vääntäjiä, joudutaan lisäämään varmuusvaraa kyseiseen tulokseen sen varalta, että tulee voimakkaampi vääntäjä. Tässäkään tapauksessa ei ole lähdemateriaalia, josta voisi saada arvioita ihmisten voimista kyseisessä tilanteessa, joten valitaan mielivaltaisesti varmuuskertoimeksi 1,5 kaavan (3) mukaisesti:

$$T_1 = T * 1,5 \quad (3)$$

$$T_1 = 86 \text{ Nm} * 1,5$$

$$T_1 = 129 \text{ Nm}$$

jossa T_1 on uusi laskettu ”pelivaraisempi” vääntömomentti. Pyöristetään edellä saatu lukema 150 Nm:iin varmuuden takia. Nyt tämä edellä mainittu lukema toimii laskentapohjana tulevia tarvittavia lujuuslaskentoja varten.

5 VOIMANSIIRTOTAVAT

Edellä olevassa kohdassa on nyt laskettu arvio momentista, jota laitteen tulee ainakin tuottaa vääntäjää vastaan, ja varsinkin mekaniikan täytyy kestää se. Koska voima eli momentti on kuitenkin mahdollista siirtää useammalla tavalla robottikäteen, tarkastellaan seuraavaksi sen eri toteuttamistapoja.

Alla olevassa ideamatriisissa (Taulukko 1) on esitetty voimansiirtotavan vaihtoehdot sekä voiman mittauksen periaate.

Taulukko 1. Ideamatriisi

Voiman siirtotapa	Sähkömoottori	Askelmoottori	Pneumatiikka
Voiman mittaaminen	Taajuusmuuttaja	Venymäliuska	Paine
Vipuvarren kulman mittaaminen	Absoluuttianturi	Mekaaninen rajakytkin	Rajakytkin
Rungon rakenne	Pöydälle asennettava levy	Putkirunko	Pleksilasi-runko

5.1 Sähkömoottori-hammaspyörä-taajuusmuuttaja -systeemi

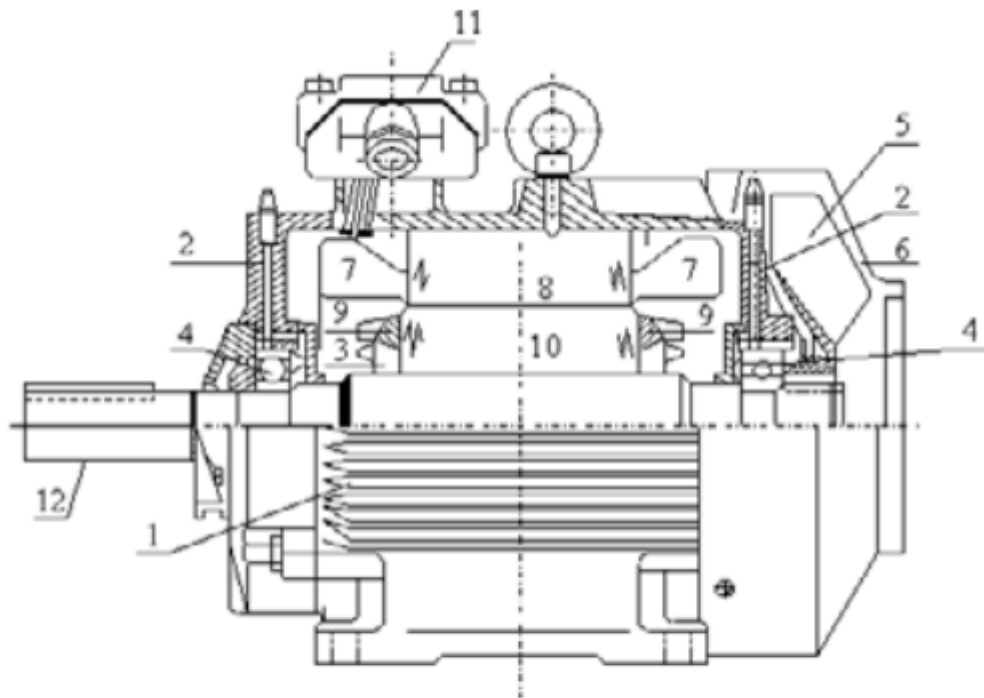
Ensimmäiseksi tutkitaan sähkömoottori-hammasratas-taajuusmuuttaja – ratkaisua. Siinä on periaatteena, että sähkömoottori pyörittää itse rakennetun hammasratasvaihteiston kautta robottikättä logiikan ja taajuusmuuttajan avustuksella. Seuraavaksi esitellään tarkemmin eri komponentteja.

5.1.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori (Kuvio 14) on yksinkertaisen rakenteensa takia todella suosittu moottorityyppi. Muihin yleisiin moottorityyppeihin verrattuna oikosulkumoottoreissa ei ole erillisiä magnetointikämmityksiä, vaan suhteellisen yksinkertaiset staattori- ja roottorikämmitykset. Moottorin toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat staattorin kämmitykset levypaketteineen ja roottorin

käämitys levypaketteineen. Periaatteessa ainoat kuluvat osat ovat laakerit. (Korpinen 1998)

Oikosulkumoottori toimii siten, että vaihtosähkön taajuudella staattorin navoissa oleva magneettikenttä siirtää napaparin kerrallaan eteenpäin. Samaan aikaan staattorin magneettikenttä indusoi roottorin häkkikäämitykseen virran. Sen muodostamat magneettiset navat pyrkivät seuraamaan staattorin magneettikentän kiertymistä, jolloin moottori alkaa pyöriä. (Korpinen 1998)



Oikosulkumoottorin rakenne. 1 staattorin runko, 2 laakerikilvet, 3 roottori, 4 laakerit, 5 tuuletin, 6 tuulettimen suojus, 7 staattorikäämitys, 8 staattorin levypaketti, 9 roottorin käämitys, 10 roottorin levypaketti, 11 liitäntäkotelo, 12 akseli.

Kuvio 14. Oikosulkumoottorin rakenne (Korpinen 1998)

Suomen vaihtosähkötaajuudella (50 Hz) 1 napaparin moottori pyörii normaalisti 3000 kierrosta minuutissa, 2 napaparin moottori taas 1500 kierrosta minuutissa jne. Koska tässä tapauksessa moottoria käytetään taajuusmuuttajalla, tällä ei enää ole niin suurta merkitystä.

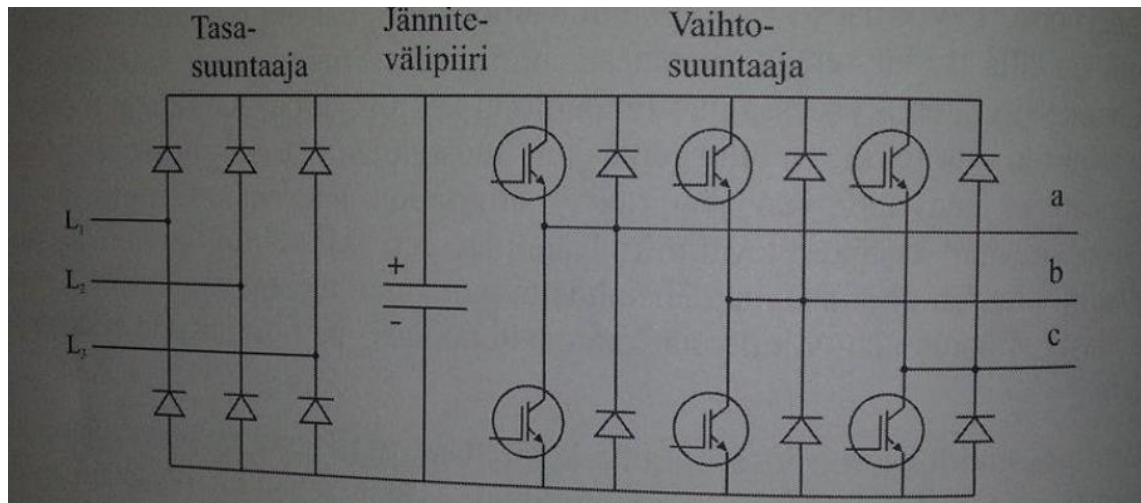
5.1.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja (Kuva 2) on tehoelektroniikkalaite, jolla säädetään oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta portaattomasti moottorin syöttöjännitteen taajuutta muuttamalla. Taajuusmuuttajalla voidaan jarruttaa sähkömoottoria sekä lisäksi suojata moottoria erilaisilta vikatilanteilta kuten ylikuormitukselta tai jumitilanteelta. (Hietalahti 2013, 196.)



Kuva 2. Vaconin taajuusmuuttajia (Vacon 2016)

Taajuusmuuttaja muuttaa sähköverkon vaihtojännitteen välipiiriin tasajännitteeksi. Tasajännite muutetaan välipiiristä takaisin vaihtojännitteeksi yleensä IGBT-transistoreilla ja sopivalla PWM-tekniikalla. Alla olevassa kuviossa 15 on esitetty taajuusmuuttajan peruskytkentä. (Hietalahti 2013, 192.)



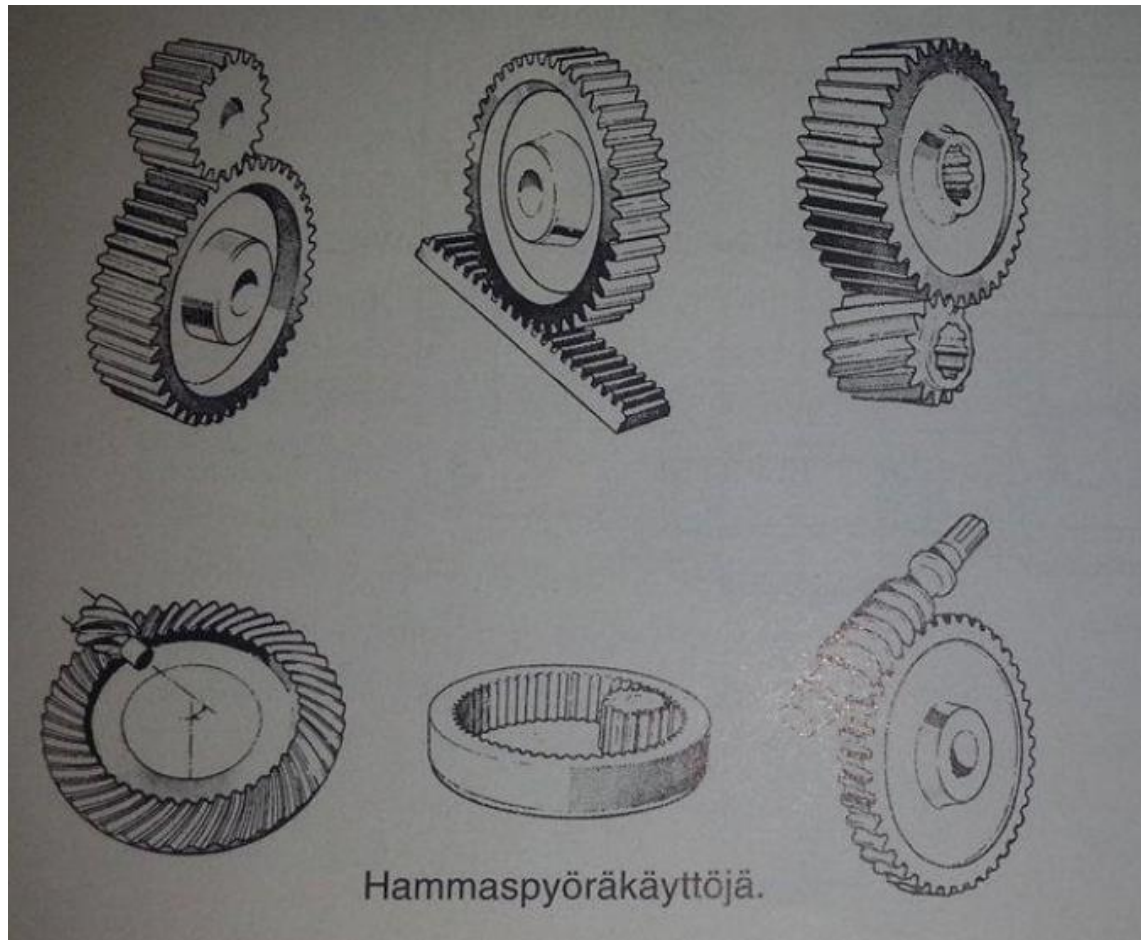
Kuvio 15. Taajuusmuuttajan peruskytkentä (Hietalahti 2013, 192)

5.1.3 Hammaspyörät

Hammaspyörä on mekaanisen voimansiirron osa, jolla pyörivä liike voidaan siirtää akselilta toiselle tai muuttaa suoraviivaiseksi liikkeeksi. Ne kuuluvat pyörimisnopeutta muuttaviin tehonsiirtoelimiin. Hammaspyörissä on tasavälein poikittaisia tai viistoja harjanteita, joita kutsutaan hampaiksi. Ne vastaavat toisen hammaspyörän hampaisiin ja näin välittävät voiman hampaasta toiseen. (Keinänen & Kärkkäinen 1999, 265.)

Hammaspyörillä muodostetaan vaihde, joka muuttaa välityssuhdetta tai vaihteisto, jossa on useita välityssuhteita. Vakionopeudella liikkuvat laitteet, kuten hissit, rullaportaat ja hihnakuljettimet toimivat sähkömoottorin pyörittämän hammasvaihteen välityksellä. Hammasvaihte alentaa nopeutta ja lisää vääntömomenttia. (Keinänen & Kärkkäinen 1999, 265.)

Hammaspyöriä on monia eri tyyppisiä, esimerkiksi suorahampaisia lieriöhammaspyöriä, vinohampaisia lieriöhammaspyöriä, kartiohammaspyöriä ja niin edelleen. Myös hammastuksia on monia eri tyyppisiä: suora hammastus, vino hammastus, nuolihammastus ja kaarihammastus. Alla olevassa kuviossa 16 on esitetty hammaspyöräkäyttöjä. (Keinänen & Kärkkäinen 1999, 266.)



Kuvio 16. Erilaisia hammaspyöräkäyttöjä (Keinänen & Kärkkäinen 1999, 266)

Edellä esitettyjen erillisten hammaspyörien lisäksi löytyy valmiiksi rakennettuja vaihteistoja, jotka koostuvat hammaspyörästä, esimerkiksi alennusvaihteesta. Niissä pudotetaan samaan tapaan kuin edellä akselin kierrosluku sopivaksi ja samalla vääntömomentti kasvaa samassa suhteessa. Nämä ratkaisut ovat monet tiiviisti suljettuja pölyltä ja muulta liialta ja ovat yleensä kompakteja paketteja käyttötarkoituksesta riippuen.

5.1.4 Ratkaisuluonnos

Edellä mainituista komponenteista on mahdollista rakentaa kokonaisuus, joilla saadaan aikaiseksi kädenvääntölaite. Laite tarvitsee alennusvaihteen, koska sähkömoottorin suhteellisen pieni koko ja momentti eivät riitä yksistään vääntämään robottikättä ja vastustamaan vääntäjää. Alennusvaihteen voi joko rakentaa erillisistä hammaspyörästä tai ostaa suoraan valmiin alennusvaihteiston. On kuitenkin selvää, että valmiiksi rakennetun alennusvaihteiston ostaminen

säästää paljon vaivalta. Periaatteessa riittää, että alennusvaihteistolla on tarpeeksi momentin kesto ja se on tarpeeksi tiheään välitetty.

Sopivan välityssuhteen etsiminen lähtee siitä, että kun taajuusmuuttajalla pyöritetään sähkömoottoria, robottikäsi ei väännä liian nopeasti ihmistä vastaan. Tähän ei löydy mitään yleispätevää kaavaa, vaan se täytyy loogisesti päätellä. Jos oletetaan, että sähkömoottorin nimellismoisuus on 1500 kierrosta minuutissa, niin esimerkiksi 100:1 alennussuhteella robottikäsi pyörii 15 kierrosta minuutissa. Tämä taas tarkoittaa sitä, että yksi kierros kestää 60s / 15 eli 4 sekuntia. Laitteen määrittelyosiossa annettiin lähtökulmaksi 30 astetta eli seuraavaksi pitää laskea, kuinka kauan tuon lähtökulman kiertyminen kestää, mikä saadaan seuraavan kaavan 4 mukaan:

$$\frac{30^\circ}{360^\circ} * 4s \sim 0,34s \quad (4)$$

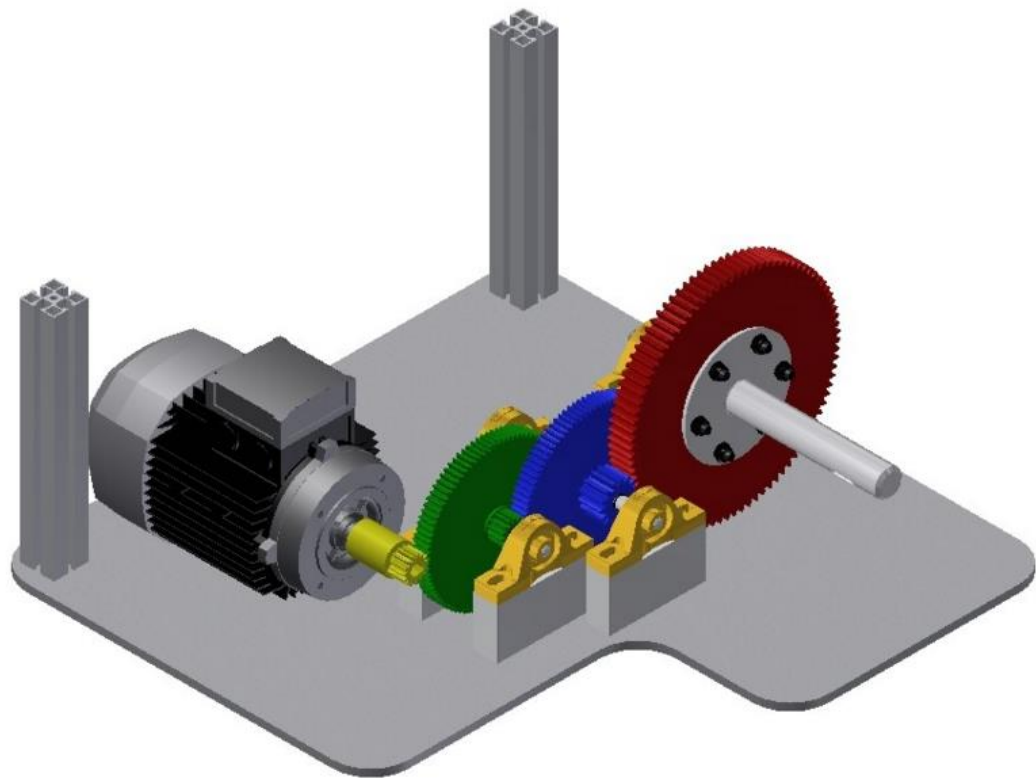
missä

30°	on	lähtökulma asteina [°]
360°	on	täysi kierros asteina [°]
4s	on	täyden kierroksen aika sekunteina [s]

Tuloksena saadaan 0,34 sekuntia, joka on vääntöajaksi turhan lyhyt, mutta nyt oletettiin, että kone pyörii täydellä nopeudella. Taajuusmuuttajakäytöllä saavutetaan koneen nimellismomentti kaikilla pyörimisnopeuksilla. (ABB 2011, 14)

Koska taajuusmuuttajalla ohjataan moottoria, aika saadaan helposti esimerkiksi kymmenen kertaa suuremmaksi eli 3,4 sekunniksi, mikä alkaa olla kohtuullinen suoritus aika. Lähdetään siitä oletuksesta liikkeelle, että alennusvaihteen alennussuhteen tulee olla vähintään 100:1.

Alla olevassa kuviossa 17 on hahmoteltu, miltä erillisistä hammaspyöristä rakennettu toteutus näyttäisi:



Kuvio 17. CADs-ohjelmalla piirretty keskeneräinen hahmotelma

Kuten yllä olevasta hahmotelmasta nähdään, on piirros keskeneräinen. Robottikäsi tulisi punaisesta hammasrattaasta tulevaan akseliin kiinni. Myös taajuusmuuttaja ja ohjelmoitava logiikka sijoittuisivat moottorin viereen kuvassa näkyvälle alustalle.

5.1.5 Voiman mittaaminen

Tässä ratkaisussa periaate on se, että sähkömoottori synnyttää momentin, joka hammasrattaiden kautta siirtää sen vääntäjää vastaan. Koska itse vääntökäteen on vaikea asentaa sopivaa mittaustapaa, tehdään momentin mittaus taajuusmuuttajalta. Nykyaikaisilla taajuusmuuttajilla saadaan suhteellisen tarkasti ulos momentti, joten kädenvääntäjän tulos saadaan luettua taajuusmuuttajalta, joka siirtyy logiikan kautta helposti ymmärrettävään muotoon näyttöpaneelille. Toinen tärkeä parametri momentin lisäksi on itse vipuvarren pituus, joka tulee syöttää näyttöpaneelin kautta logiikkaan, että saadaan vertailukelpoisia tuloksia.

Mittaustarkkuutta lisää sähkömoottorin N-päähän asennettava takometri, jolla saadaan ulos tarkempi pyörimisnopeus. Takometrin tarkoituksena on toimia taajuusmuuttajalle palautetta antavana anturina.

5.1.6 Loppuanalyysi

Tämä ratkaisu oli toimeksiantajan ensisijainen malli laitteen rakentamiseksi. Tarkoituksena oli tuoda laitteeseen lisää näytävyyttä. Se olisi kuitenkin käytännössä melko työläs toteuttaa, koska hammasrattaiden pesien sovittaminen suoraan linjaan alustalle on haastavaa työtä. Teknisesti se tarkoittaisi sitä, että laakeripesiä pitäisi pystyä säätämään alustalla portaattomasti, koska hammasrattaiden välille pitää asettaa sopivat välykset. Lisäksi haastavuutta tuo se, että hammasrattaita jouduttaisiin liittämään hitsaamalla ja sorvaamalla yhteen.

Myös mahdollinen mekaaninen jarru, joka asennettaisiin moottoriin kiinni siltä varalta, että sähkökäyttöön tulee häiriö, saattaisi olla tämän takometrin tiellä. Jarrun sijasta voidaan käyttää turvareleitä, jotka reagoivat vääntöalueen ylitykseen.

5.2 Pneumatiikalla toimiva toteutus

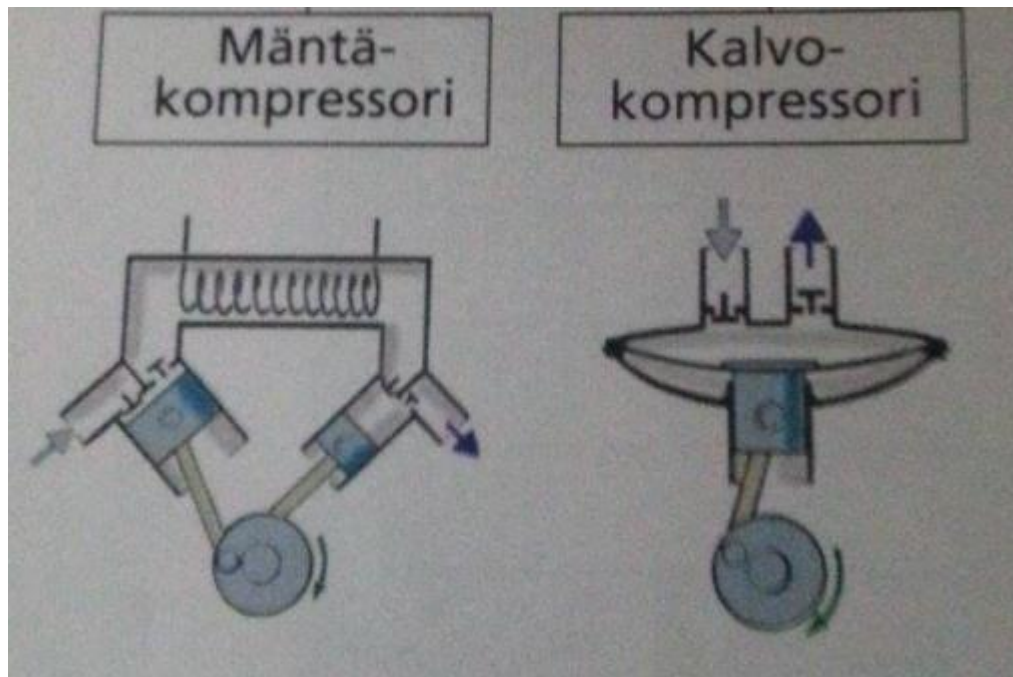
Tässä toteutustavassa käydään läpi teoreettisesti kädenvääntölaitteen toteutusta, joka on tehty pneumatiikalla. Perusidea on se, että paineilmakompressorin muodostaa tarvittavan paineen, joka syötetään regulaattorin ja muiden tarvittavien komponenttien kautta paineilmasyylinteriin. Se on yhteydessä robottikäteen ja liikuttaa sitä tarvittavalla voimalla. Tässäkin toteutuksessa on mukana logiikka, joka seuraa ilmanpainetta ja käden kulmatietoa. Seuraavaksi esitellään erilaisia komponentteja.

5.2.1 Kompressorin

Kompressorin on yleisnimi laitteille, joilla voidaan nostaa kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi verrattuna imupaineeseen. Kompressoreiden

tuottomäärät vaihtelevat suuresti, muutamista litroista tuhansiin kuutiometreihin minuutissa. Tuotto ilmoitetaan paineilman tilavuusvirtana. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

Tarkastellaan seuraavana mäntätyyppistä kompressoria, joka on yleisin ja vanhin kompressorityyppi (Kuvio 18).



Kuvio 18. Kaksi erilaista mäntätyyppistä kompressoria (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26)

Mäntäkompressor toimii yksinkertaisuudessaan siten, että kun imutahdin aikana mäntä lähtee liikkumaan alaspäin, muodostaa se alipaineen sylinteriin ja imee automaattisesti avautuvan imuventtiilin kautta ilmaa. Kun mäntä on alasennessa, imuventtiili sulkeutuu ja työtahti alkaa. Mäntä lähtee nousemaan ylöspäin puristaen ilmaa ja paine-erosta riippuen paineventtiili aukeaa ja näin kierros on valmis. Tämä toistuu sitten vain uudestaan kerta toisensa jälkeen. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

5.2.2 Huoltoyksikkö

Viimeinen komponentti ennen käyttäjää on huoltoyksikkö. Siinä on:

- suodin

- paineensäädin ja mittari
- jälkijäähdytin
- sulkuventtiili.

Kuitenkaan kaikkia komponentteja ei aina tarvita (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 33, 34.)

5.2.3 Proportionaaliventtiili

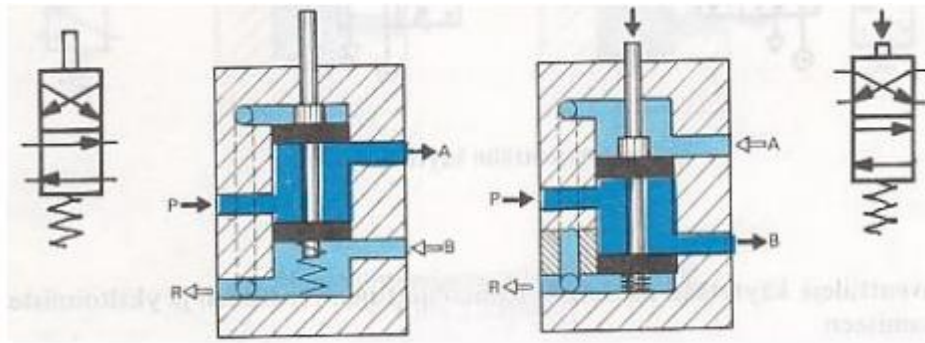
Proportionaaliventtiilillä voidaan ohjata ilmanpainetta portaattomasti. Sen tila voi olla täysin kiinni, auki tai mitä tahansa näiden väliltä. Proportionaaliventtiili mahdollistaa erittäin tarkan säädön esimerkiksi prosessissa, koska se on sähköisesti ohjattavissa (Kuva 6). (Miniweb 2016)



Kuva 3. Feston proportionaaliventtiili (Festo 2016)

5.2.4 Suuntaventtiili

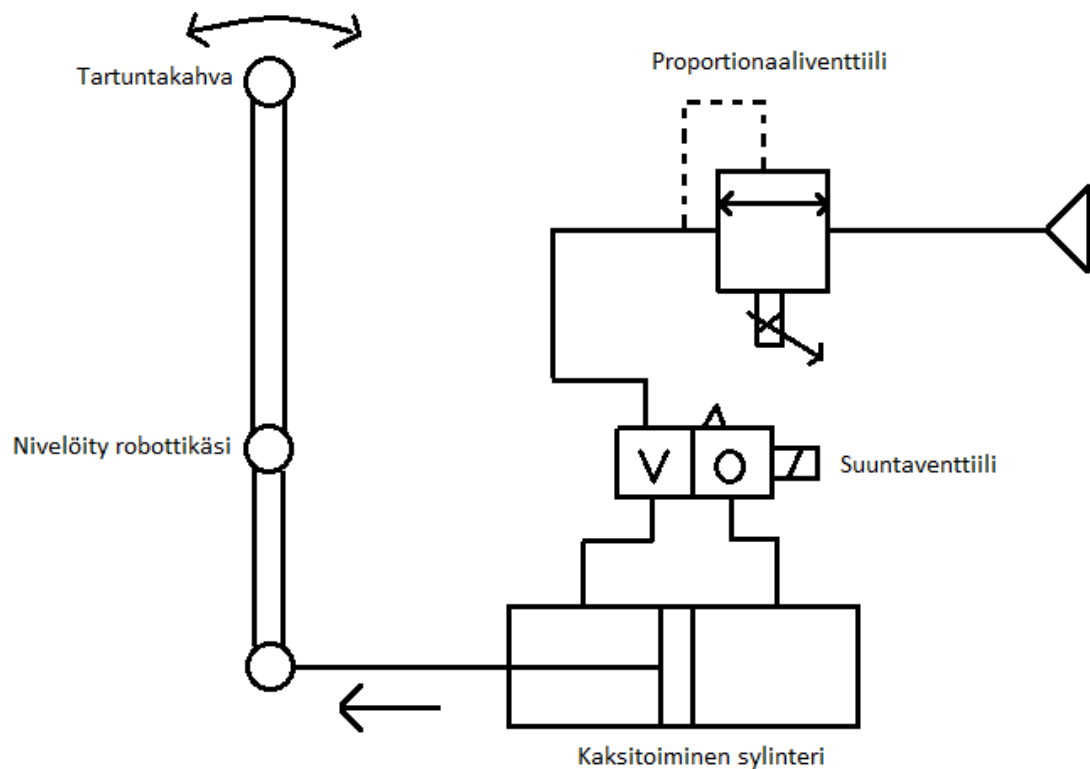
Suuntaventtiili on eräs pneumatiikan venttiilityypeistä. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi mekaanisesti tai sähköisellä ohjauksella, käyttötarkoituksesta ja sovelluksesta riippuen. Tässä kuitenkin käsitellään 4/2 –suuntaventtiiliä, koska sitä käytetään demossa (Kuvio 20). (Miniweb 2016)



Kuvio 19. 4/2- suuntaventtiili ja sen toiminta periaate (Miniweb 2016)

5.2.5 Ratkaisuluonnos

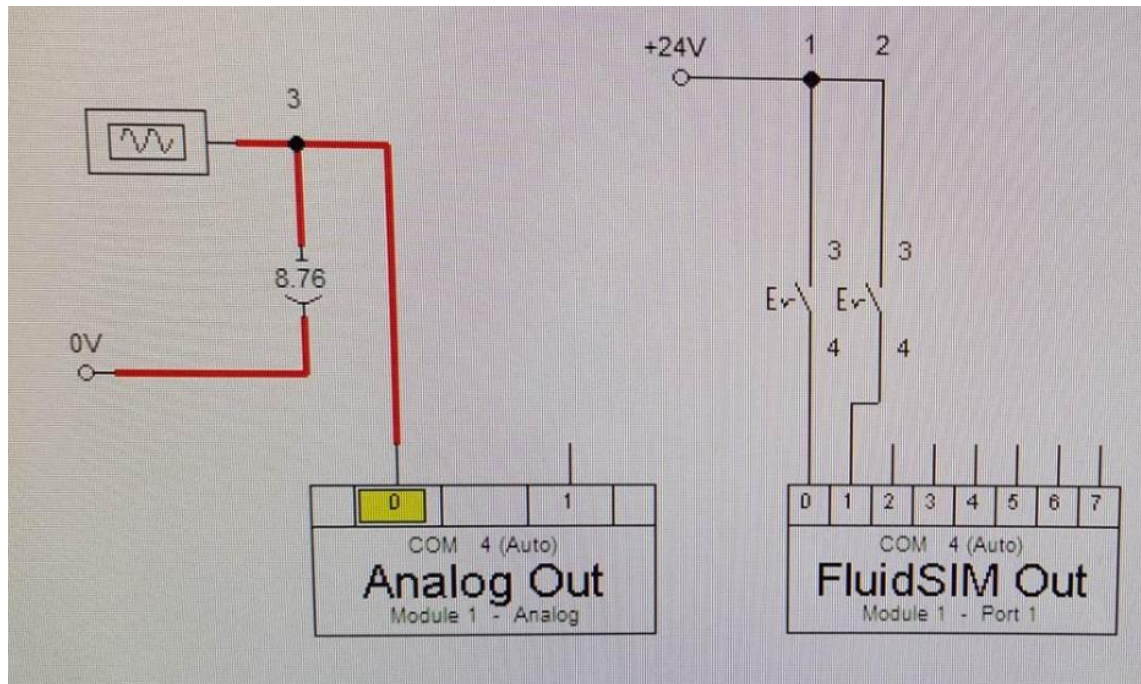
Edellä mainituista komponenteista lähdettiin hahmottelemaan ja kasaamaan prototyyppiä, jolla voitiin testata toimintaa käytännössä. Ideaa hahmoteltiin ensin taululle, josta se sitten piirrettiin puhtaaksi (Kuvio 21).



Kuvio 20. Pneumatiikalla toimiva kädenväjäntölaite

Kuten yllä olevasta kuviosta nähdään, elektroniikka ja muut vastaavat komponentit on jätetty piirustuksesta pois yksinkertaistuksen takia. Laite toimii

siten, että kun paineilma syöttö kytketään piiriin, se ensimmäiseksi tulee proportionaaliventtiilille. Venttiili on täysin sähköisesti ohjattu FluidSIM-nimisen ohjelman kautta (Kuva 7). Seuraavana paineilma menee suuntaventtiilille, joka on jälleen sähköisesti ohjattu ohjelman kautta. Suuntaventtiili säätelee, kumpaan osaan sylinteriä paineilma menee, ja näin liikuttaa mäntää joko sisään tai ulos.



Kuva 4. FluidSIM-ohjelmalla kytkennän simulointia

Seuraavana lähdettiin kasaamaan komponenteista konetekniikan laboratorion tiloihin prototyyppi, jossa testattiin sen toimintaa käytännössä (Kuva 8).



Kuva 5. Testipöydälle rakennettu prototyyppi

Liikkuvan robottikäden korvikkeena liikutettiin kaksitoimista sylinteriä ylös ja alas saadaksemme tuntumaa mekaniikasta. Tehtiin eräänlainen ramppi tietokoneella painearvolle, jotta tilanne muistuttaisi oikean elämän kädenvääntötilannetta.

5.2.6 Voiman mittaaminen

Tässä toteutustavassa painetta lähdetään lisäämään sylinteriin lineaarisesti, kun vääntäjä on valmis ja antanut starttikomennon esimerkiksi napin kautta logiikalle. Proportionaaliventtiili lisää painetta tasaisesti ja yrittää kumota vääntäjän vastamomenttia. Kun vääntäjä ei enää pysty vastavoimallaan kumoamaan laitteen voimaa, on vipuvarsi kohtisuorassa ja erä on päättynyt. Tuloksena tässä kohtaa toimii aika, jonka ajan vääntötapautuma kesti.

Toinen vaihtoehto on mitata painetta, joka toimii tuloksena. Se olisi toteutettavissa siten, että tarkka paineanturi liitetään käyttösylinteriin.

5.2.7 Loppuanalyysi

Tilanne vastasi mielestämme hyvin oikeaa tilannetta, mutta heti alkuun tuli yksi odotettu ongelma, ilman puristuvuus. Ongelma on ilman puristuvuuden aiheuttama turvallisuusseikka: jos vääntäjä kesken väännön löysää robottikädestä, se jousen tavoin liikahtaa loppuasentoon. Tämä olisi teoriassa estettävissä eräänlaisella iskunvaimentimella.

Toinen ongelma on painemittausratkaisussa: kun väännetään robottia vastaan hetkellisesti lujaa, painearvo voi helposti kohota nopeasti, mikä tavallaan vääristää mittaustulosta, koska itse lopputulos riippuu täysin paineesta.

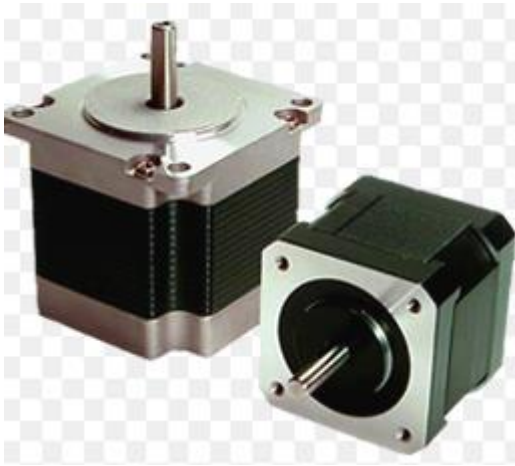
5.3 Askelmoottori-hihnakäyttö –toteutus

Tässä toteutuksessa käydään läpi samantyylistä ratkaisua kuin kohdassa 5.1, mutta hammaspyörien sijasta käytössä hammashihnat ja niille sopivat hammashihnapyörät.

5.3.1 Askelmoottori

Askelmoottori on harjaton DC-moottori, jossa täysi kierros on ikään kuin jaettu saman kokoiisiin ”askeliin”. Moottorin asentoa voidaan ohjata kertomalla sille, mihin suuntaan sen on pyörittävä ja minkä verran, eli se ei pyöri vapaasti. Tästä johtuen askelmoottorin ohjaukseen tarvitaan erillinen ohjauspiiri. Askelmoottorin toiminta perustuu sen sisällä oleviin sähkömagneetteihin, joten niiden magneettikenttää muuttelemalla saadaan moottori pyörimään. Kuhunkin sähkömagneettiin vuorotellen johtamalla sähköä saadaan sisällä oleva roottori pyörimään.

Tämän takia se muistuttaakin tavallaan normaalin DC-moottorin ja solenoidin risteytystä ja se soveltuu hyvin tarkkuuta vaativiin prosesseihin (Kuva 9). (Stinger 2016)



Kuva 6. Askelmoottoreita (Osmtec 2016)

5.3.2 Hammashihnapyörä ja -hihna

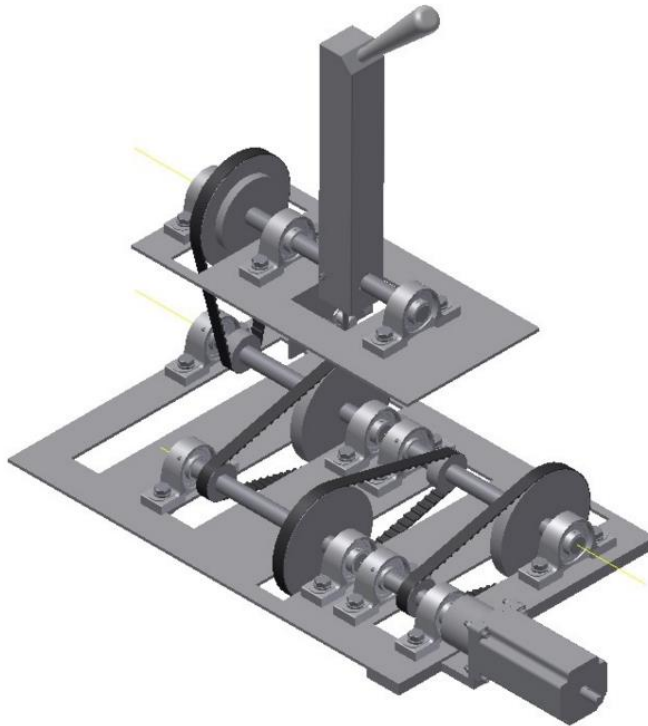
Hammashihna on sisäpuolelta hammastettu kuminen hihna, joka on usein vahvistettu nylon- tai kevlarkuidulla. Kun se on oikein kiristetty hammashihnapyörille, niin lipsumista eikä luisumista tapahdu, ja tämän takia sitä käytetään myös paljon autojen jakopäissä, joissa on tärkeää että ajoitus on kohdillaan kokoajan. Niitä käytetään myös paljon voimansiirrossa. (Kivioja 2003, 79) Alla olevassa kuvassa 10 näkyy hammashihnapyörä ja -hihna.



Kuva 7. Hammashihnapyörä ja -hihna (Mekanex 2016)

5.3.3 Ratkaisuluonnos

Edellä mainituista komponenteista saatiin hahmottelemalla kokonaisuus, jossa mekanismi on suunniteltu kahdelle eri tasolle (Kuvio 21).



Kuvio 21. Hammashihnakäytön hahmotelma

Yllä olevasta kuviosta nähdään että kokonaisuus voidaan rakentaa kätevästi tasoperiaatteella siten, että se saadaan koteloitua. Itse vääntökäsi ja ylempi hihnapyörä jäävät vain näkyville ja pääosa mekaniikasta on suljetussa tilassa. Ylemmän hihnapyörän päälle voidaan rakentaa suojaksi kotelo, joka on tehty esimerkiksi plexilasista, jolloin ratkaisusta tulisi visuaalisesti hieno.

5.3.4 Voiman mittaaminen

Tässä ratkaisussa on voima-anturi rakennettu suoraan vääntökaden akselointiin kiinni, mistä saadaan mittaustulos logiikalle ja siitä näyttöpaneelille ymmärrettävään muotoon.

5.3.5 Loppuanalyysi

Suurin ero tässä ratkaisussa ensimmäisen kohdan ratkaisuun on se, että siinä momentti mitataan taajuusmuuttajalla sähkömoottorilta, tässä suoraan vipuvarren akselilta sopivalla vääntymäanturilla. Askelmoottorin avulla saadaan tarkasti ohjattua vipuvarren kiertymää alusta loppuun saakka ja tämä helpottaa logiikan ohjelman tekoa.

5.4 Yhteenveto

Edellisissä luvuissa on esitetty kolme eri tyyppi-idea voimansiirron osalta. Oikosulkumoottoritoteutus on jaettu kahteen osaan, joissa vaihdelaatikko on valmis ratkaisu ja toinen taas itse suunniteltu.

Sähkömoottori olisi eniten linjassa toimeksiantajan toimialan kanssa. Ongelmia tällä ratkaisulla on lähinnä vaihteistosta johtuvien kustannusten takia. Taajuusmuuttajan käyttö voiman määrittämisessä on suhteellisen suoraviivaista, joskin tarkkuus vaatii nopeuden mittaamista takometrin avulla.

Pneumatiikan ongelmaksi muodostui ilman puristuminen. Tämä vaikuttaa alentavasti sekä käyttäjän turvallisuuteen, että mittaustarkkuuteen. Ratkaisu olisi kuitenkin suhteellisen halpa.

Askelmoottori-hihnakäyttö-järjestelmä on tarkka ohjausmielessä, mutta hyvin mutkikas toteuttaa. Toisaalta itse tehty hihnakäyttöinen vaihteisto olisi asiakkaan mielestä näyttävä.

Alla olevassa taulukossa Taulukko 2 on pisteytetty vaihtoehtoiset ratkaisut seitsemän kriteerin perusteella.

Taulukko 2 Konseptien pisteytysmatriisi (Eppinger & Ulrich 2012, 154)

		Idea							
		Sähkömoottori-hammasratas-taajuusmuuttaja -käyttö		Sähkömoottori-vaihdelaatikko-taajuusmuuttaja -käyttö		Pneumatiikalla toimiva toteutus		Askelmoottori-hihnakäyttö -toteutus	
Valintakriteeri	Painotus	Pisteytys	Painotettu pistemäärä	Pisteytys	Painotettu pistemäärä	Pisteytys	Painotettu pistemäärä	Pisteytys	Painotettu pistemäärä
Käytön helppous	15 %	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Kestävyys	15 %	4	0,6	5	0,75	3	0,45	3	0,45
Mittaustarkkuus	10 %	3	0,3	3	0,3	2	0,2	3	0,3
Kustannukset	20 %	1	0,2	2	0,4	3	0,6	2	0,4
Visuaalisuus	10 %	5	0,5	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Valmistuksen vaikeus	20 %	1	0,2	3	0,6	4	0,8	1	0,2
Kannettavuus	10 %	4	0,4	4	0,4	3	0,3	4	0,4
	Kokonaispisteet	2,65		3,3		3,2		2,6	
	Sijoitus	3		1		2		4	
	Jatkoon?	Ei		Kyllä		Ei		Ei	

Parhaaksi toteutustavaksi valikoitui taajuusmuuttajaohjattu sähkömoottori valmiilla vaihdelaatikolla. Tähän vaikutti erityisesti kestävyys, sillä komponentit ovat tehdasvalmisteisia ja ne oletettavasti täyttävät vaadittavat turvallisuusstandardit.

6 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli suunnitella Polar-Automaatiolle kädenvääntölaite. Tähän sisältyi vipuvarren suunnittelu, alustan ja vääntöasennon määrittely, laitteen tekninen ja toiminnallinen määrittely, sähkö- ja automaatiosuunnittelu sekä eri voimansiirtotapojen vertailu. Laitteen pitäisi olla mahdollisimman helppokäyttöinen ja siirrettävissä.

Lisäksi tutustuttiin tuotekehitysprosessiin sekä koneturvallisuuden standardeihin ja lainsäädäntöön. Konesuunnittelu on kokonaisuudessaan vaativa projekti dokumentoinnin ja standardien lukumäärän takia.

Työssä tutkittiin voimansiirron osalta kolmea eri vaihtoehtoa. Sähkömoottorikäyttö oli näistä toimivin ratkaisu, jolla saavutetaan riittävä mittaustarkkuus ja luotettavuus. Kokonaisvaltaisesti aihepiiri oli mielenkiintoinen ja vaativa.

Työn tavoitteita ei saavutettu. Tuotekehitysprosessikaavion mukaan työssä päästiin vasta konseptisuunnitteluvaiheeseen, jossa eri konseptivaihtoehtoista nyt yksi on valittu jatkokehitettäväksi. Tästä syystä tekemättä jäi sähkö- ja automaatiosuunnittelu sekä laitteen tarkka tekninen määrittely.

Toisaalta täysin valmis suunnittelutyö olisi ollut erittäin laaja. Alkuperäiset tavoitteet eivät välttämättä olleet kovin realistisia.

LÄHTEET

ABB 2011. Pehmökäynnistinopas. Viitattu 26.5.2016.

https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf

Eppinger, S. & Ulrich, K. 2012. Product Design and Development. 5. Painos. New York: McGraw-Hill.

Festo 2016. Yrityksen internet-sivu. Viitattu 20.3.2016

https://www.festo.com/cms/en-in_in/54014.htm

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY, annettu 17. päivänä toukokuuta 2006, koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu)

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Amk-kustannus Oy, Tammertekniikka.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P. 1999. Konetekniikan perusteet. 2. Painos. Porvoo: WSOY

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Porvoo: WSOY

Kivioja, S. 2003. Koneenosat. Helsinki: Otatieto Oy.

Korpinen, L. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus. Viitattu 22.5.2016.

http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf

Mekanex 2016. Yrityksen internet-sivu. Viitattu 23.4.2016.

<http://www.mekanex.se/wp-content/uploads/hammashihnapyorat-kuggrem-hjul.pdf>

Miniweb 2016. Lahden ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikka. Viitattu 22.3.2016.

http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Pneumatiikka.pdf

Osmtec 2016. Yrityksen internet-sivu. Viitattu 22.5.2016 <http://www.osmtec.com/>

SFS-Käsikirja 93-1. 2014. Koneiden turvallisuus. Osa 1: Suunnittelun perusteet ja riskin arviointi. Helsinki: SFS

SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 3. painos. Helsinki: SFS

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

Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus 2: EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 2. painos. Keuruu: Inspecta

Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus 3: Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. 2. painos
Keuruu: Inspecta

Stinger 2016. Internet-sivu. Viitattu 21.3.2016
<http://stinger.mbnet.fi/stepperi.php>

Vacon 2016. Vacon NXL. Viitattu 20.3.2016
<http://www.vacon.com/fi-FI/tuotteet/Taajuusmuuttajat/vacon-nxl/>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. 12.6.2008/400

LIITTEET

Liite 1. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus

KONEIDEN EY-VAATIMUSTENMUKAISUUSVAKUUTUS

Liite 1

Tämä vakuutus ja sen käännökset on laadittava samoin edellytyksin kuin ohjeet (ks. liite I, 1.7.4.1 kohdan a ja b alakohta) ja kirjoitettava koneella tai muussa tapauksessa käsin suuraakkosia käyttäen.

Tämä vakuutus koskee yksinomaan konetta sellaisena kuin se saatettiin markkinoille, eikä se kata loppukäyttäjän siihen jälkeenpäin lisäämiä osia ja/tai tämän koneella suorittamia operaatioita.

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen on sisällettävä seuraavat tiedot:

- 1) valmistajan toiminimi ja täydellinen osoite sekä tarvittaessa tämän valtuutettu edustaja;
- 2) sen henkilön nimi ja osoite, joka on valtuutettu kokoamaan teknisen eritelmän. Henkilön on oltava sijoittautunut yhteisöön;
- 3) koneen kuvaus ja tunniste, myös yleisnimike, toiminta, malli, tyyppi, sarjanumero ja kaupallinen nimi;
- 4) nimenomainen vakuutus siitä, että kone täyttää tämän direktiivin asiaankuuluvat säännökset, ja tarvittaessa vastaavanlainen vakuutus muiden direktiivien ja/tai sellaisten asiaankuuluvien säännösten mukaisuudesta, joiden mukainen kone on. Näiden viitteiden tai viitetietojen on oltava samat kuin *Euroopan unionin virallisessa lehdessä* näihin teksteihin julkaistut;
- 5) tarvittaessa sen ilmoitetun laitoksen nimi, osoite ja tunnistenumero, joka on suorittanut liitteessä IX tarkoitetun EY-tyyppitarkastuksen, sekä EY-tyyppitarkastustodistuksen numero;
- 6) tarvittaessa sen ilmoitetun laitoksen nimi, osoite ja tunnistenumero, joka on hyväksynyt liitteessä X tarkoitetun täydellisen laadunvarmistusmenettelyn;
- 7) tarvittaessa viittaus 7 artiklan 2 kohdassa mainittuihin yhdenmukaistettuihin standardeihin, joita on käytetty;
- 8) tarvittaessa viittaus muihin käytettyihin teknisiin standardeihin ja erittelyihin;

- 9) vakuutuksen aika ja paikka;
- 10) sen henkilön nimi ja allekirjoitus, joka on valtuutettu laatimaan tämä vakuutus valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan puolesta.