



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Janne Juutilainen

Automaattisen pneumatiikkaletkuleik- kurin mekaniikkasuunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.8.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Janne Juutilainen Automaattisen pneumatiikkaletkuleikkurin mekaniikkasuunnittelu 27 sivua + 25 liitettä 30.8.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	lehtori Kristian Junno tuotannon päällikkö Arttu Eerikäinen
<p>Tässä insinööriyössä tehtiin automaattisen pneumatiikkaletkuleikkurin mekaniikkasuunnittelu. Työ oli osa laajempaa Festo Oy:n tilaamaa suunnittelukokonaisuutta, jonka toisesta osasta vastasi Tomi Kotila insinööriyöllään Automaattisen pneumatiikkaletkuleikkurin sähkö- ja automaatiosuunnittelu. Tavoitteena oli, että sähkö-, automaatio- ja mekaniikkasuunnittelun valmistuttua Festo Oy:llä olisi valmis dokumentaatio, jolla automaattinen pneumatiikkaletkuleikkuri voitaisiin toteuttaa. Automaattinen pneumatiikkaletkuleikkuri lisäisi Vantaan tuotantoyksikön tuotantoprosessien tehokkuutta, joissa letkun käsin leikkaamiseen menee asentajien aikaa.</p> <p>Insinööriyön ensimmäisessä vaiheessa tehtiin sähkö- ja automaatiokomponenttien mitoitukset ja konfiguraatiot. Näiden jälkeen tehtiin standardin SFS-EN ISO 12100 mukainen riskianalyysi, jonka pohjalta lisättiin turvallisuutta lisääviä komponentteja ja mekaanisia ratkaisuja.</p> <p>Mekaniikka suunnittelussa otettiin huomioon standardissa SFS-EN ISO 13857 määrautet turvallisuuttaparantavat toimenpiteet kyseessä olevan laitteen riskit huomioiden. Suunnittelussa täytyi ottaa huomioon myös asiakkaan esittämä toive liikuteltavissa olevasta laitteesta.</p> <p>Työn tuloksena syntyi Festo Oy:n toiveiden mukainen kokonais dokumentaatio, jonka avulla he voivat valmistaa letkuleikkurin Vantaan tuotantoyksikön-asentajien avuksi.</p>	
Avainsanat	letkuleikkuri, pneumaattinen, automaatio, suunnittelu, Festo

Author Title	Janne Juutilainen Mechanical Desing of Automatic Pneumatic Tube Cutter
Number of Pages Date	27 pages + 25 appendices 30 August 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical- and automation engineering
Professional Major	Automation engineering
Instructors	Senior Lecturer, Kristian Junno Head of production, Arttu Eerikäinen
<p>Subject of this thesis is mechanical design of an automatic pneumatic tube cutter. The work was part of a larger design package commissioned by Festo Oy. The other part of design was electrical and automation design and it was done by Tomi Kotila. The goal was that after the electrical, automation and mechanical design was completed, Festo Oy would have a complete documentation, with which the automatic pneumatic tube cutter could be implemented. An automatic pneumatic tube cutter would increase the efficiency of the production processes at the Vantaa production unit.</p> <p>In the first phase of this thesis work, scaling and configurations of the electrical and automation components were made. These were followed by a risk analysis in accordance with SFS-EN ISO 12100 standard, which pointed out the need for safety-enhancing components as well as mechanical solutions.</p> <p>The mechanical designing took into account the safety improvement measures specified in the standard SFS-EN ISO 13857, also taking into account the risks of the device found in risk analysis. The design also had to take into account the customer's desire for a portable device.</p> <p>As a result of the work, complete documentation was created in accordance with Festo Oy's wishes. With this documentation, Festo will be able to manufacture a tube cutter to assist the production of the Vantaa production unit.</p>	
Keywords	tube cutter, pneumatic, automation, design, Festo

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Komponenttien mitoitus ja valinta	2
2.1	Projektissa tarvittavat komponentit	3
2.2	Sylinterin valinta	4
2.3	Servomoottorin valinta	5
2.4	Servovahvistimen valinta	8
2.5	Logiikan valinta	9
3	Leikkurin riskianalyysi	10
4	Mekaniikkasuunnittelu	13
4.1	Hihna, akseli ja hihnapyörä	15
4.2	Laakerointi	16
4.3	Kehikko	17
4.4	Kehikoiden korkeus säätö	20
4.5	Leikkurin vastakappale	22
4.6	Letkuohjain	24
5	Yhteenveto	24
	Lähteet	27

Liitteet

Liite 1. Festo PositioningDrives mitoitukset

Liite 2. Riskianalyysi

1 Johdanto

Insinööriyön ensisijaisena tavoitteena oli toteuttaa Festo Oy:lle automaattisesti pneumaattikkaletkua leikkaavan laitteen mekaniikkasuunnittelu. Festo Oy:n tuotannossa Vantaalla tehdään asiakastyönä erilaisia kokoonpanoja, joihin asennetaan pneumaattikka-komponentteja ja -letkuja. Tällä hetkellä tuotannon työntekijät leikkaavat letkut käsileikkureilla. Joihinkin kokoonpanoihin tulee useita samanmittaisia letkuja ja niiden leikkaaminen käsin vie paljon aikaa. Tuotannon henkilökunta on toivonut laitetta, joka tekisi tämän työn automaattisesti. Koska insinööriyön tavoitteena on luoda ratkaisu Festo Oy:n tuotannon pneumaattikkaletkujen käsittelyyn, suunnittelussa otetaan huomioon vain tuotannossa käytössä olevat yleisimmät letkut.

Festo Oy:n toiveena on, että laite on sähkökäyttöinen. Markkinoilla olevat vastaavat laitteet ovat pääasiassa pneumaattisia, mikä rajoittaa niiden käyttöpaikkoja ja liikuteltavuutta. Tavoitteena on tehdä liikutettavissa oleva letkuleikkuri, jolloin sen käyttö on helppoa. Tämän takia laitevalinnoissa täytyy huolehtia siitä, että laite on riittävän pieni ja mahdollisimman kevyt.

Festo tarjoaa pneumaattikkaletkuja useisiin eri käyttö tarkoituksiin. Letkut eroavat esimerkiksi käsiteltävyys-, paineenkesto-, lämmönkesto-, ja materiaaliominaisuuksiltaan toisistaan. Taulukossa 1 on esitelty Vantaan yksikön tuotannossa yleisimmin käytössä olevien pneumaattikkaletkujen tyypit, käyttötarkoitukset ja materiaalit.

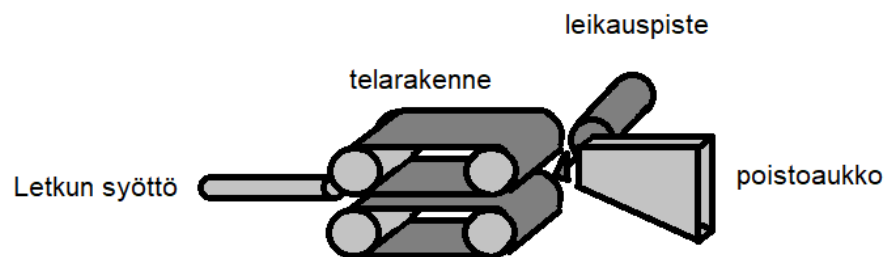
Taulukko 1. Festo Oy:n tuotannon yleisimmät letkutyyppit.

Letkutyyppi	Materiaali	Käyttötarkoitus
PEN	Polyeteeni	Yleisletku
PUN	Polyuretaani	Joustava yleisletku
PUN-H	Polyuretaani	Korroosio ja hydrolyysiresistentti letku
PAN	Polyamidi	Korkeammat paine- ja lämpötilat

Suunnittelua ohjaa kuvassa 1 esitetty suunnitelma siitä, miten letkuleikkuri voisi käytännössä toimia. Laite tullaan toteuttamaan Rittal Oy:n asennuskaappiin. Kaappiin tulee

kahdesta telaketjumallisesta hihnakuljettimesta muodostuva letkun siirtomekanismi. Hihnojen väliin muodostuvan telanielun etäisyys mukautuu automaattisesti mekaanisen säätöratkaisun avulla käsiteltävän letkun halkaisijakokoon. Hammastetuilla hihnapyörillä varmistetaan hihnan luotettava liikkuminen.

Hihnapyörät ja hihna saavat voimansa kahdesta servomoottorista. Servomoottorit saavat käyttövoimansa virtalähteestä, ohjauksen servovahvistimien ja logiikan kautta. Asennuskaapin kanteen asennetaan kosketusnäytöllinen käyttöliittymä, jonka kautta käyttäjä voi määrittää haluamansa pituudet ja määrät letkuille.



Kuva 1. Suunnitelma letkuleikkurin toiminta periaatteesta.

Letkun leikkaus toteutetaan sähkösylinterillä, jonka voiman lähteenä toimii servomoottori. Sylinterin männänvarren päähän asennetaan leikkausterä. Leikattavien letkujen pituudet lasketaan servomoottorin enkooderin antamien tilatietojen mukaan. Tietty servomoottorin akselin pyöräisy vastaa tiettyä letkun etenemää hihnojen välissä.

2 Komponenttien mitoitus ja valinta

Työ tehtiin Festo Oy:lle, joten tämän takia komponenteissa pyritään käyttämään yrityksen omia tuotteita niin pitkälle kuin mahdollista. Projektissa tarvittavat pääkomponentit ovat letkun leikkaukseen käytettävä sylinteri, letkun siirtämiseen käytettävä mekanismi, sekä logiikka ja sen IO kortit.

Laitevalinnoissa Festo oy:n puolesta toivottiin käytettäväksi uutta EMMT-servomoottorisarjaa sekä CMMT-servovahvistin sarjaa. Näin ollen insinööriyötä tehtäessä päästiin

tutustumaan näiden toimintaperiaatteisiin ja tarvittaviin konfiguraatioihin. Festo Oy:llä on käytössä PARTdataManager ohjelma, jolla laite valinnat ja mitoitukset tehtiin.

2.1 Projektissa tarvittavat komponentit

Tarvittavat komponentit valittiin ja mitoitoitettiin PARTdataManager-ohjelmaa käyttämällä. Taulukossa 2 on esitetty mekaniikkasuunnitteluun liittyvät komponentit ja niiden käyttötarkoitukset. Osa näistä komponenttien valinnoista asettavat ehtoja, jotka täytyy ottaa huomioon mekaniikkasuunnittelussa. Taulukossa ei ole huomioitu asennuskaappia ja sen komponentteja, johon laite kokoonpannaan.

Taulukko 2. Projektissa tarvittavat komponentit ja niiden käyttötarkoitus.

Laite tai komponentti	Kappalemäärä	Käyttötarkoitus
Sähkösylinteri	1	Letkun leikkaamiseen.
Servomoottori	3	Sylinterin sekä telapyörien voimanlähteeksi ja letkupituuden mittaukseen enkooderin avulla.
Servovahvistin	3	Servojen ohjaamiseen ja turvatoimien suorittamiseen.
Logiikka	1	Toimilaitteiden logiikkaohjausta varten.
U-päätysarja	1	Siirtää servomoottorin voima sähkösylinterille.
Sylinterin profiilikiinnikket	1	Kiinnittää sylinteri tukevasti kaapin rakenteisiin.
Letkun kuljetin mekanismi	1	Kuljettaa letku leikkauspisteelle niin ettei letku pääse luistamaan ja mittaus voidaan suorittaa luotettavasti.
Letkun leikkausmekanismi	1	Leikata letku suoraan niin että leikattu letku kiinnittyy tiiviisti liittimiin.

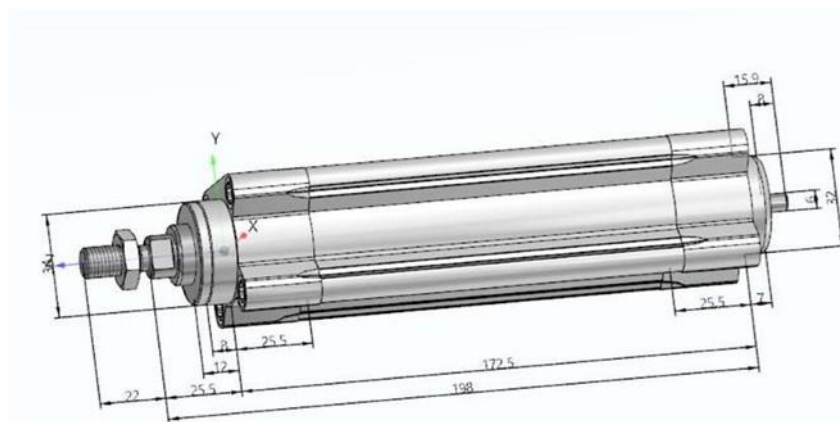
Riskianalyysin jälkeen tarkistetaan, tarvitaanko muita komponentteja lisäämään turvallisuutta.

2.2 Sylinterin valinta

Sylinterin valintaan vaikuttaneet tekijät ovat sähkökäyttöisyys, sen koko ja iskun pituus. Sähkökäyttöinen sylinteri saa käyttövoimansa sähkömoottorista. Tässä projektissa käytettiin servomoottoria. Sähkösylinterin männänvarren liike saadaan aikaiseksi kuularuuvilla, joka siirtää männänvarren ulos sylinteristä pyöriessään. Kuularuuvin nousu vaikuttaa männänvarren liikenopeuteen. Mitä suurempi kuularuuvin nousu on, sitä nopeampi liike saadaan aikaiseksi. Samalla kuitenkin tarkkuus ja vääntö heikkenevät. Koska projektissa tarvittiin enemmän tarkkuutta ja vääntöä, valittiin ruuvin nousuksi mahdollisimman pieni. PartDataManager-ohjelmassa voidaan mitoittaa sylinterin ruuvin nousuksi pienimmillään 5 mm.

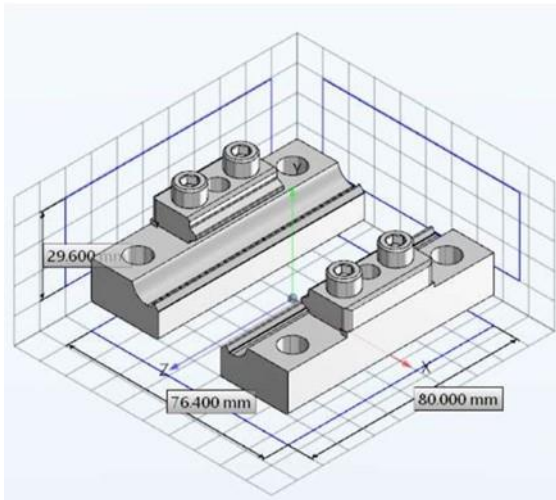
Koska sylinterillä on tarkoitus leikata letkua, täytyy männänvarreen saada leikkaava terä kiinni. Kiinnitystapana käytetään kierrettä männänvarren päässä. Laitteesta pyritään saamaan mahdollisimman pieni, joten sylinterin tulisi olla mahdollisimman lyhyt. Tämä vaikuttaa sylinterin iskun pituuteen. Festo oy:n tuotannossa isoimmillaan käytössä oleva letku, jota leikkurilla leikataan, on ulkohalkaisijaltaan 16 mm. PartDataManager-ohjelmasta saadaan konfiguroitua 50 mm:n iskulla oleva sähkösylinteri.

Sylinteriksi valittiin kuvassa 2 esitetty ESBF-BS-32-50-5P-sähkösylinteri. ESBF on Feston konfiguroitava sähkösylinteri, josta saa paljon työntövoimaa pieneen kokoonsa suhteutettuna. Sylinteri on ISO 15552-standardin mukainen standardisylinteri, jonka kokoa, iskun pituutta ja ruuvin nousua voidaan konfiguroida. Valitussa sylinterissä on vakiona männänvarressa ulkokierre, johon voidaan kiertää leikkurin kiinnike.



Kuva 2. Festo PARTdataManager 3D-kuva sylinteristä ESBF-BS-32-50-5P.

Sylinterin kiinnitykseen asennuslevyyn käytettiin EAHF-sarjan sylinteri kiinnityssarjaa. Kiinnikkeiden tarkoitus on stabiloida sylinteri niin, ettei se pääse työkiertojensa aikana liikkumaan. Sylinterin kiinnikkeet asennetaan sylinterin rungon profiilissa niille tarkoitettuihin kohtiin. Kiinnikkeet saadaan sylinterin lisätarvikkeina PartDataManager-ohjelmasta. Näin voidaan olla varmoja, että kiinnikkeet käyvät sylinterin runkoon. Kiinnikkeiksi valittiin kuvan 3 mukainen kiinnityssarja.



Kuva 3. Festo PARTdataManager 3D-kuva profiilikiinnityssarjasta EAHF-V2-32/40-P.

2.3 Servomootorin valinta

Servomoottori on sähkömoottori, jolla voidaan saavuttaa suuri toimintatarkkuus. Toimintatarkkuus saadaan aikaiseksi takaisinkytkennällä ja säädettävyydellä. Normaalisti servomootorit ovat tyypiltään vaihtovirtamoottoreita, jotka kytketään osaksi ohjaus- ja säätöjärjestelmää käyttökohteessa. Servomootorin ohjausjärjestelmissä käytetään yleensä virta- ja/tai nopeustakaisinkytkentöjä ja -säätöjä. (1, s. 5.)

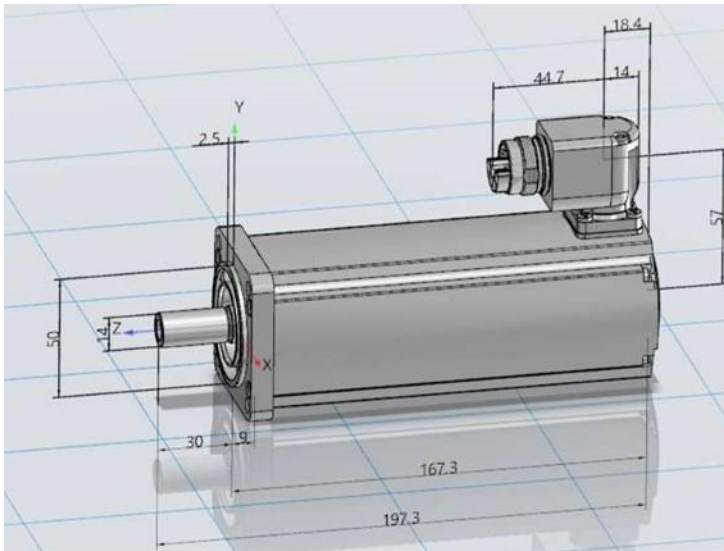
Projektissa tarvitaan kolme servomoottoria, jotta kaikki suunnitelman mukaiset toiminnot saadaan toteutettua. Edellä esitelty sylinteri tarvitsee yhden servomootorin, joten valittava servomoottori täytyy olla yhteensopiva sen kanssa. Letkun siirtoon tarvitaan kaksi

servomoottoria. Letkun siirtoon käytettävien moottoreiden on oltava synkronoitavissa yhteen, jotta siirto on luotettava, koska servomoottoreiden avulla mitataan letkun pituus.

Letkun pituus saatiin laskettua logiikasta enkooderin avulla servomoottorin akselin pyörimästä. Enkooderi tarkkailee moottorin akselin asentoa. Sen tehtävä on pitää huoli, että servo-ohjain tietää tarkalleen, kuinka paljon servomoottorin akseli on kiertynyt. Enkooderissa on takaisin kytkentä servovahvistimelle, jonka avulla kiertymästä voidaan laskea logiikan avulla letkun etenemä hihnojen välissä. Näin erillistä letkun pituuden mittausta ei tarvita. Käytettävän enkooderin täytyy olla monikerroksinen, jotta se pystyy määrittämään asemansa akseliin nähden joka tilassa, eikä vain kierroksen välein. (2, s. 1.)

Sylinterin ajoon käytettävän moottorin täytyy kyetä tuottamaan riittävästi voimaa letkun katkaisuun. Koska tällä hetkellä letkut leikataan käsileikkureilla, täytyy sylinterin tuottama voima olla vähintään yhtä suuri kuin keskimäärin ihmisen puristusvoima. THL:n vuonna 2017 tekemässä tutkimuksessa 18–64-vuotiaiden miesten keskiverto puristusvoima on 52,6 kilogrammaa (3.). Kilogrammat saadaan newtoneiksi kertomalla ne putoamiskiihtyvyydellä ja tässä tapauksessa puristusvoimaksi saadaan 516 newtonia. Paksuinta letkua käsin leikatessa maksimi puristusvoimaa ei kuitenkaan tarvitse käyttää. 516 newtonia on siis yli mitoitettu, mutta sillä saadaan kompensoitua letkusaksien rakenteen antama vipuvoima.

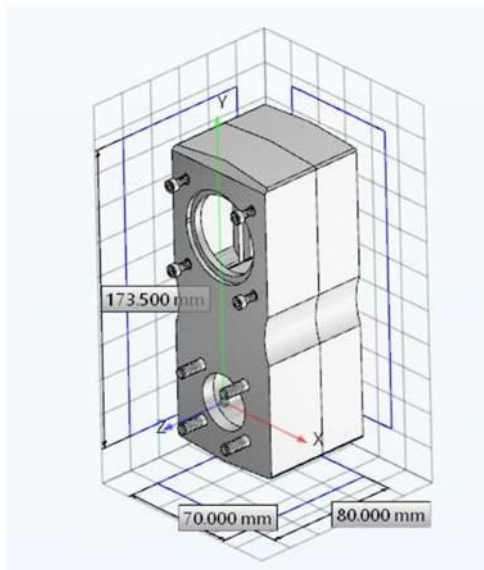
Festolla käytössä olevalla PositioningDrives-ohjelmistolla pystyttiin mitoittamaan servomoottorit. Servomoottoriksi valittiin kuvassa 4 esitetty EMMT-AS-60-M-LS-RMB, joka kykenee suorittamaan vaaditut toiminnot (liite 1). Tarvittava 516 newtonin voima on asetettu letkun vastustavaksi voimaksi, kuten liitteen 1 sivun 11 kuvaajasta huomataan, valitulla servomoottorilla pystyttäisiin tuottamaan huomattavasti enemmänkin leikkausvoimaa. Servomoottorin valinta perusteissa kuitenkin haluttiin käytettäväksi EMMT-sarjaa.



Kuva 4. Festo PARTdataManager 3D-kuva servomootorista EMMT-AS-60-M-LS-RM.

Letkun siirtoon käytettävän hihnan servomootoreiden vääntövoiman tarve saadaan vetovaa'alla. Siirto tehdään kahden hihnan välissä jousivoimaisen puristuksen avulla. Hihnojen kehikoiden täytyy olla vapaasti liikkuvia toisistaan poispäin, mutta muu liike on estettävä. Tällä voidaan varmistaa, että hihnojen väliin syötetty letku pysyy hihnalla paikallaan. Vetovaakaan kiinnitetään hihnojen väliin laitettu letku ja mitataan kuinka suurella voimalla rakenne vastustaa vetoa. Saadusta mittaustuloksesta tiedetään, että valittu servomoottori pystyy siirtämään letkun ongelmitta. Mitoitusohjelmasta saadusta datasta nähtiin, ettei moottori joudu missään vaiheessa suorituskykynsä rajoille ja näin voidaan varmistaa laitteiden pitkäikäisyys.

Letkun leikkaukseen käytettävä sähkösylinteri saa voimansa sen perässä olevan ruuvi-mekanismiin kytkettävän moottorin avulla. Moottori voidaan kytkeä suoraan sylinterin perään, mutta tilan säästämiseksi projektissa, tarvitsee servomoottori saada sylinterin päälle. Tähän Festolla on käytössä U-päätysarja, jolla servomootorin tuottama voima saadaan siirrettyä sylinterille. Valitun servomootorin ja sylinterin väliin sopiva U-pääty on kuvassa 5 oleva EAMM-U70-D32-60P-9. U-päädyn yhteensopivuus sylinterin ja servomootorin kanssa varmistettiin ESBF-sylinterisarjan dokumentaatiosta valitsemalla EMMT-AS-60-tyyppin servomootoreille suositeltu U-pääty.



Kuva 5. PARTdataManager kuva U-päätysarjasta EAMM-U-70-D32-60P-96.

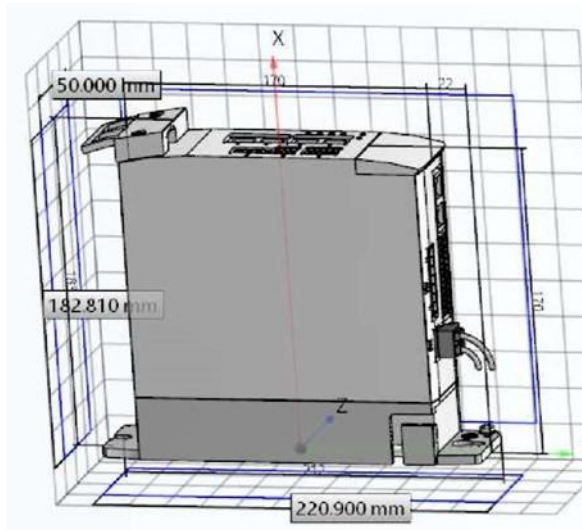
Hihnojen ajoon käytettävien servomoottoreiden ja telapyörien akselin väliin tarvitaan kytkin. Kytkimen tarkoitus on estää servomoottorin rikkoontuminen liikesuunnan muutoksissa. Kytkimen valintaan vaikuttaa servomoottorin akselin sekä telapyörän akselin halkaisija.

2.4 Servovahvistimen valinta

Servovahvistin on yleensä ohjattava tasajännitelähde, jonka tehtävänä on ohjata moottoria säätämällä ankkurivirtaa ja pyörimisnopeutta ohjearvojen mukaisesti. Servovahvistin voi hoitaa myös erilaisia suojaus- ja valvontatehtäviä, jotka suojaavat laitevaurioilta ja joilla varmistetaan servojärjestelmän moitteeton toiminta. (4, s. 7.)

Suunnitelman mukaan letkuleikkuriin tulee kolme servomoottoria, joten myös servovahvistimia tarvitaan kolme kappaletta. Valitulle EMMT-AS-sarjan servomoottorille yhteensopiva servovahvistinmalli on Positioning Drives-ohjelman antaman suosituksen mukaan esimerkiksi CMMT-AS-servovahvistin. Konfiguraatiossa on huomioitava kuitenkin se, että laitteen nimellisvirta saa olla 3 A:n luokkaa ja käyttöjännite 230 V, jotta valittu servomoottori on yhteensopiva vahvistimen kanssa.

Projektissa valitaan käytettäväksi kuvan 6 mukainen servovahvistin CMMT-AS-C2-3A-ECS1. Valittu servovahvistin tarvitsee käyttöjännitteeksi 24 V jännitteen ja 230 V servomootorin syöttöön. Logiikan ja vahvistimen välinen kommunikaatio käydään Ethercat-väylän välityksellä. Servovahvistimen ja -mootorin väliin tulee moottorikaapeli, jonka tehtävänä on antaa servovahvistimen ohjaukset ja käyttövoima servomootorille.



Kuva 6. PARTdataManager 3D-kuva Servovahvistimesta CMMT-AS-C2-3A-EC-S1.

2.5 Logiikan valinta

Festo Oy:llä on laaja valikoima logiikoita. Tavoitteena oli löytää sellainen logiikka, jolla saadaan toteutettua projektissa tarvittavat toimenpiteet. Logiikassa täytyi olla riittävä määrä IO kortteja, sen täytyi tukea Ethercat- ja Ethernet-väyläprotokollaa sekä Codesys Softmotion-ohjelmointiympäristöä. Ethercat-tuki on välttämätön, sillä valittu servovahvistin ja -mootori käyttävät Ethercat-väyläprotokollaa. Koska Feston ohjelmointityökalut ja logiikat on suunniteltu Codesys-ohjelmointiin, on se pakollinen vaatimus logiikan ohjelmointiympäristöä valittaessa.

Codesys on standardin IEC-61131-3 mukainen automaatioteknologian ohjelmointiympäristö. Ohjelmointialustan ydin on Codesys Development System-ohjelmointityökalu. Se tarjoaa käyttäjille käytännöllisiä, integroitua ratkaisuja automaatio-sovellusten kokoonpa-

noon. Codesys-ohjelmointialusta on avoimen rajapinnan järjestelmä, jolla saadaan joustavuutta järjestelmään liitettäviin laitteiden valintaan. Codesys softmotionissa on yhdistetty liikkeenohjaus ja ohjelmointi yhdeksi kokonaisuudeksi ja se sisältää kattavat open source-pohjaiset ohjelmakirjastot. Nämä kirjastot sisältävät funktion blokit, jotka ovat kaikkien Codesysiä käyttävien laitteistovalmistajien välillä samat. (5.)

3 Leikkurin riskianalyysi

Riskianalyysi oli olennainen osa projektia, sillä laitteessa on terä ja telanielu, jotka voivat aiheuttaa tapaturmia. Riskianalyysiin osallistui leikkurin tulevia käyttäjiä ja Festo oy:n muuta henkilökuntaa, jotta saatiin mahdollisimman kattava analyysi tehtyä.

Riskianalyysi on kaksiosainen. Ensimmäinen osa on alustava riskianalyysi ja mikäli laitteeseen liittyviä standardimuutoksia tulee, tai sitä muutetaan, tulee tehdä uusi riskianalyysi näiden tietojen perusteella (6, s. 2, 8).

Riskianalyysin peruste on työturvallisuus- ja konelaki, jotka perustuvat EU:n konedirektiivin 2006/42/EY sisältäviin määräyksiin. Analyysin avulla voidaan varmistaa, että laite ja sen käyttö on mahdollisimman turvallista. Mahdollinen laitteen tuotteistaminen myös edellyttää analyysiä, sillä laitetta ei voi myydä ilman CE-merkintää. Valmistaja ei voi laittaa CE-merkintää, jollei laite ole konedirektiivin mukainen.

Riskianalyysin tavoitteena on löytää letkuleikkurin turvallisuuteen liittyviä tilanteita, joissa leikkuria käyttävät henkilöt voivat loukata itsensä. Analyysiin osallistuvat henkilöt miettivät, mitä voi sattua laitetta käytettäessä oikein ja mitä väärinkäytöksiä laitteella voi käydä, jotka vaarantavat turvallisuutta. Riskianalyysin ajattelua taustalla ohjaavat kysymykset, mikä voi mennä pieleen, miten todennäköinen riski on ja mitkä ovat seuraukset vahingon sattuessa. (7, s. 108–124)

Analyysissä huomattun riskin todennäköisyys arvioidaan asteikolla 0,1–7 ja sen jälkeen riskin seuraus pisteytetään asteikolla 0–100. Näiden kahden arvon perusteella saadaan kokonaisriski, jota kuvataan A–E (liite 2, s. 2-3). Riskin seurausta ei juuri koskaan pystytä

pienentämään, näin ollen kokonaisriskiä pyrittiin pienentämään miettimällä työryhmän kanssa keinoja, joilla riskien todennäköisyyttä voidaan välttää tai pienentää.

Riskianalyysin tulokset

Riskianalyysin (liite 2) tuloksena syntyi taulukossa 3 esitetty listaus riskeistä, joita voi ilmetä leikkuria käytettäessä.

Taulukko 3. Tunnistetut riskit. (liite 2, s. 3–4)

Tunnistettu riski	Seuraus S	Todennäköisyys T	Kokonaisriski R
1) Sormien päätyminen telaneluun	50 (Sormen puristuminen ja sijoiltaan meno)	6 (Hyvin todennäköinen)	E (Vakava riski)
2) Sormen päätyminen leikkausprosessiin	50 (Sormien irti leikkaantumien)	6 (Hyvin todennäköinen)	E (Vakava riski)
3) Laitteen tippuminen varpaille	20 (Varpaiden / jalan vaurioituminen)	4 (Todennäköinen)	C (Mahdollinen riski)
4) Sähköjohtojen irtoaminen ja kaapin jännitteistyminen	100 (Sähköisku ja vammautuminen / kuolema)	5 (Melko todennäköinen)	E (Vakava riski)
5) Kaapin kannen avaaminen kesken prosessin	100 (Leikkausvammat, sähköisku, raajojen puristuminen)	6 (Hyvin todennäköinen)	E (Vakava riski)
6) Nesteen, kuten kahvin päätyminen sähkökomponentteihin	100 (Sähköisku)	2 (Mahdollinen)	B (Mitätön riski)
7) Vieraan materiaalin päätyminen leikkuriin (esim. sähköjohto)	1 (Laitteen vaurioituminen)	6 (Hyvin todennäköinen)	B (Mitätön riski)
8) Leikkurin terän vaihtamisessa syntyvät vaara tilanteet	20 (Esimerkiksi pienet haavat)	6 (Hyvin todennäköinen)	D (Merkittävä riski)
9) Virheellinen käyttöjännite / virtapiikit ja niistä seuraavat komponenttien vioittumiset ja tulipalovaara	100 (Materiaali vahingot, jopa tulipalokuolemat)	1 (Epätodennäköinen)	D (Merkittävä riski)
10) Kaapin ja sen laitteiden ylikuumeneminen	100 (Laitteiston hajoaminen, mutta jopa tulipalosta seuraavat)	1 (Epätodennäköinen)	D (Merkittävä riski)

nen servovahvistimien tuottamasta lämmöstä	materiaali vahingot ja kuolemat)		
--	----------------------------------	--	--

Havaittujen riskien jälkeen suunniteltiin ratkaisuja kokonaisriskin pienentämiseksi. Jäännösriskin tulokset parannusten jälkeen on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Ratkaisut riskien pienentämiseksi. (liite 2, s. 4–5)

Toimenpide	Jäännösseuraus S	Jäännöstodennäköisyys T	Jäännösriski R
1) Estetään pääsy telaneluun mekaanisesti	50 (Sormen puristuminen ja sijoiltaan meno)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
2) Estetään sormien pääsy leikkaukseen rakenteellisesti	50 (Sormien irti leikkaantumien)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
3) Suunnitellaan kaapin kannakkeet ja sijoitetaan se kiinteästi pöydälle. Tuotannon työntekijöiden suojavausteet (turvakengät) ja koulutus	20 (Varpaiden / jalan vaurioituminen)	1 (Epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
4) Vedonpoistot johtoihin, sekä maadoitus (sähkö suunnittelu)	100 (Sähköisku ja vammautuminen / kuolema)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
5) Sijoitetaan kaapin kanteen magneettinen etäisyysanturi, joka katkaisee sähköt laitteesta, kun kaappi avataan kesken prosessin. Lisäksi kaapin ovi pidetään lukittuna (automaatio-suunnittelu)	100 (Leikkausvammat, sähköisku, raajojen puristuminen)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
6) Kaapiksi valitaan IP-luokituksestaan sellainen kaappi, ettei nesteet pääse sen sisään. Mekaanisten ratkaisuiden suunnittelussa tämä on myös huomioitava	100 (Sähköisku)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
7) Syöttökanavaan sijoitetaan induktiivinen anturi, jonka avulla tämä voidaan luotettavasti estää	1 (Laitteen vaurioituminen)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	A (Olematon riski)

8) Laitteiston koulutuksen yhteydessä teränvaihto kouluteitaan laitetta käyttäville ja terän vaihtamisesta pyritään tekemään helppoa suunnittelun avulla	20 (Esimerkiksi pienet haavat edelleen mahdollisia)	2 (Mahdollinen)	C (Mahdollinen riski)
9) Johdonsuojakatkaisijat ja sulakkeet (sähkösuunnittelu)	100 (Materiaali vahingot, jopa tulipalokuolemat)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
10) Suunniteltavan letkuleikkurin kaappiin lisätään tuuletin ja ilmanottoaukko	100 (Laitteiston hajoaminen, mutta jopa tulipalosta seuraavat materiaali vahingot ja kuolemat)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)

Riskianalyysin tuloksena syntyi sähkö- ja automaatio-suunnittelun ratkaisuja, jotka on esitetty Tomi Kotilan insinööriyössä Automaattisen pneumatiikkaletkuleikkurin automaatio-suunnittelu. Analyysissä huomatu mekaaniset riskit ovat sormien telaneluun ja leikkauspisteeseen joutuminen. Leikkauspistettä ja telanelua koskeviin riskeihin liittyi myös kannen avauksen kautta muodostuvat riskit, jotka huomioitiin sähkö- ja automaatio-suunnittelussa. Terän vaihtoon liittyvät ongelmat otettiin huomioon terän kannakkeen mekaanisessa suunnittelussa. Lisäksi käyttäjien kouluttaminen tulee pienentämään tätä riskiä.

Vaikka riskianalyysissä havaittiin puutteita ja ne tullaan huomioimaan suunnittelussa, riskien tarkkailu ja analyysien teko on prosessi. Tämä prosessi jatkuu koko laitteen elinkaaren ajan taaten laitteen turvallisen käytön ja kehityksen. Letkuleikkuria koskien on otettava käyttöön riskienhallintajärjestelmä, jolla varmistetaan, että laitteen käyttöturvallisuus on ajan tasalla koko sen elinkaaren ajan (6, s. 5, 8).

4 Mekaniikkasuunnittelu

Mekaniikkasuunnittelu projektissa keskittyi letkun siirtoa koskevien komponenttien suunnitteluun. Letkun siirtoon käytettävä telahihna ja sen tukirakenteet sekä letkun leikkaukseen liittyvät ratkaisut täytyi olla yhteensopivia valittujen laitteiden kanssa. Suunnittelussa otettiin huomioon riskianalyysissä esille tulleet riskit, jotka koskevat mekaniikkasuunnittelua.

Sormien telaneluun joutuminen estetään soveltuvan kokoisella letkun syöttöreiällä kaapin kyljessä. Tämä reikä on standardin SFS-EN ISO 13857 (8, s. 14) antropometristen mittojen mukaan mitoitettu niin, että riskin todennäköisyys saadaan käytännössä mitätöityä. Sama pätee myös leikkauspisteeseen liittyvän riskin kanssa. Koska laite tuli ensisijaisesti Festo Oy:n tuotannon käyttöön, niin isoimmillaan leikattava letku on 16 mm ulkohalkaisijaltaan. Näin ollen syöttöaukkoon asennetaan putki, jota pitkin letku syötetään telaneluun. Putken sisähalkaisijaksi valittiin 20 mm.

Standardin mukaan 20 mm halkaisijaltaan olevasta pyöreästä aukosta ihminen ei ulotu kaapin sisään yli 120 mm päähän. Putken ollessa sisähalkaisijaltaan 20 mm täytyy sen pituuden olla vähintään 120 mm (8, s. 14.). Sähkö- ja automaatio suunnittelussa otettiin huomioon leikkuriin sopimattoman materiaalin päätyminen leikkauspisteelle. Tunnistamiseen käytetään induktiivista anturia, joka tulee syöttävän muoviputken ympärille.

Raajan pääsy leikkauspisteeseen estetään poistoaukon koolla. Aikaisemmin todettiin, että leikattavan letkun suurin ulkohalkaisija on 16 mm, täytyy poistoaukon olla sitä suurempi. Aukon leveydeksi valittiin 20 mm, jotta letku ohjautuu siihen moitteetta. Pituutta poistoaukon ja leikkauspisteen välillä täytyy olla vähintään 120 mm, jolloin standardin antropometriin mittoihin perustuvat ehdot täyttyvät. Antropometrisillä mitoilla tarkoitetaan ihmisen eri ruumiinosien keskimääräisiä mittoja ja sitä, kuinka kauas tietyistä pisteistä esimerkiksi raaja voi yltää.

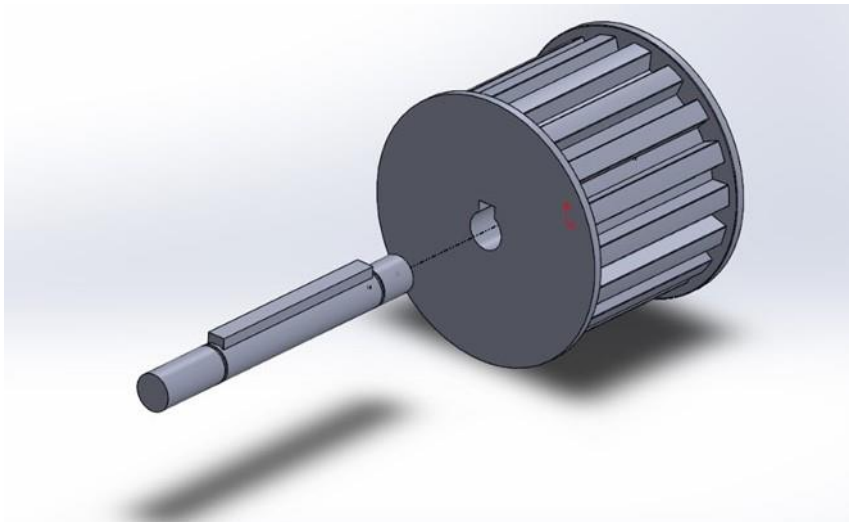
Poistoaukon ja leikkauspisteen väliin asennetaan kaukalo, jota pitkin leikatut letkut pääsevät tippumaan pois kotelon sisältä. Aukossa on huomioitava pitkät letkut, jotka tulevat kaapin ulkopuolelle ennen leikkausta kuin myös lyhyet, jotka jäävät kaapin sisään leikkauksen jälkeen. Leikattujen letkujen täytyy tulla itsestään kaapista ulos, jottei työntekijän tarvitse työntää laitteeseen sisään vieraita esineitä saadakseen leikattuja letkuja ulos. Näillä edellä mainituilla keinoilla voidaan estää laitteen mahdollinen vaurioituminen.

4.1 Hihna, akseli ja hihnapyörä

Letkujen eri muoviseosten vuoksi hihnan materiaaliksi valittiin neopreeni, joka todettiin pitävimmäksi ja kestävimmäksi vaihtoehdoksi tarjolla olleista hihnamateriaaleista. Hihnan valmistaja toimittaa myös hihnapyörät, näin ollen niiden suunnittelu jää heidän vastuullensa.

Hihnapyörän ja hihnan olennaisin tehtävä on liikkua tarkoin servomootorin ohjauksen mukaan. Tällöin voidaan varmistaa, että letkun pituuden mittaaminen enkooderin avulla pysyy tarkkana ja luotettavana. Lisäksi hihnan ja pneumatiikkaletkujen välillä tulee olla riittävä kitka, jotta letku ei pääse luistamaan. Tätä ongelmaa pyritään ehkäisemään myös kehikoiden etäisyyden säädössä.

Akselin suunnittelussa täytyi ottaa huomioon laakerin sovitte ja akselin pito rullaan. Projektissa valittiin käytettäväksi kuvan 7 mukaista akselia, jossa on hihnapyörän uraa vastaava uloke. Ulokkeen tehtävänä on pitää hihnapyörän liike täysin servomootorin liikettä vastaavana. Servomootoriin kytkimen välityksellä kiinni tuleva akseli tulee olla servomootorin puolelta pidempi, jotta se tulee kehikon rakenteen läpi ja yltää kytkimeen kiinni.



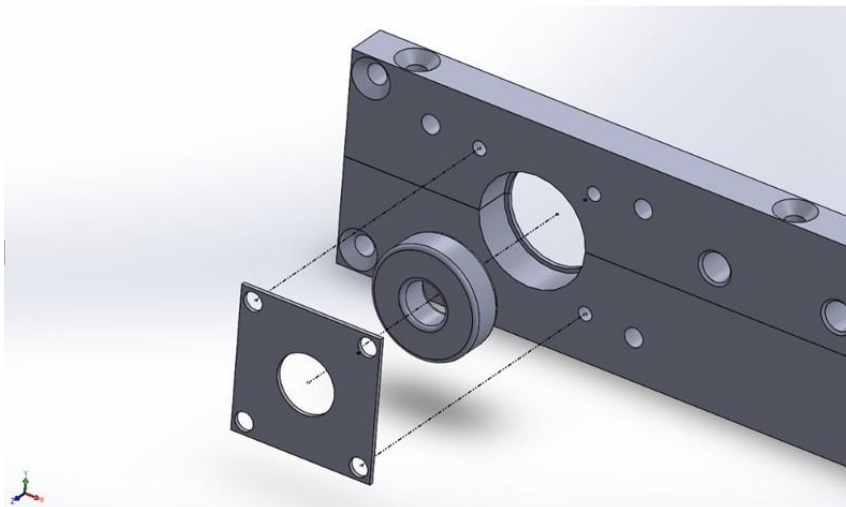
Kuva 7. SolidWorks 3D-kuva akselin ja hihnapyörän kokoonpanosta.

Hihnapyörän täytyy olla hammastettu kuten hihnankin, jotta pystytään varmistamaan hihnan liikkeen hallinta. Hihnan etenemästä lasketaan servo-ohjaimen enkooderin antamien akselin asentotietojen avulla letkun pituus.

4.2 Laakerointi

Laakeroinnin suhteen on tärkeää ottaa huomioon, että servomootorin akseli ei saa olla suoraan kiinni hihnarullassa, koska muuten hihnapyörän vaikuttama vääntö voi rikkoa servomootorin akselin.

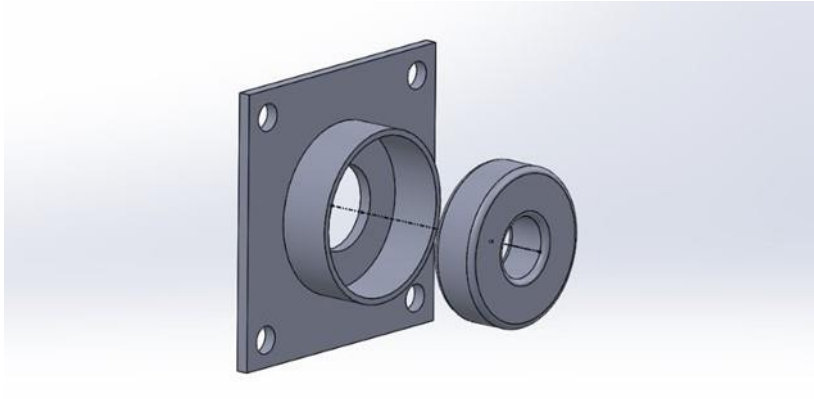
Laakeripesässä käytetään yleensä tiukkaa sovitetta, mutta kokoonpanon näkökulmasta projektiin valittiin normaali sovite, jotta kehikko voidaan kokoonpanna. Laakeripesä on hihnapyörän puolelta supistettu, jotta laakeri ei pääse liikkumaan ulos kehikosta. Kehikon komponenttien valmistuksen kannalta supistusta ei voi olla molemmin puolin. Laakerin liikkuminen kehikon ulkopuolta ulos estetään levyllä. Kuvassa 8 havainnollistetaan vetävän akselin laakeripesän rakenne ja laakerin kiinnitys kehikkoon.



Kuva 8. SolidWorks 3D-kuva vetävän pään laakerin kiinnityksestä.

Vapaasti pyörivän hihnapyörän laakeripesän suunnittelussa huomioitiin hihnan kiristys. Erona vetävän akselin laakerointiin, vapaana pyörivän akselin laakeri on kiinni kuvan 9

mukaisessa laakerikannakkeessa. Laakeripesän ulkohalkaisija on 2 mm laakeria suurempi, jotta laakerin kannake saadaan asennettua pesään. Laakeri kiinnitetään kannakkeeseen H8-sovitteella.

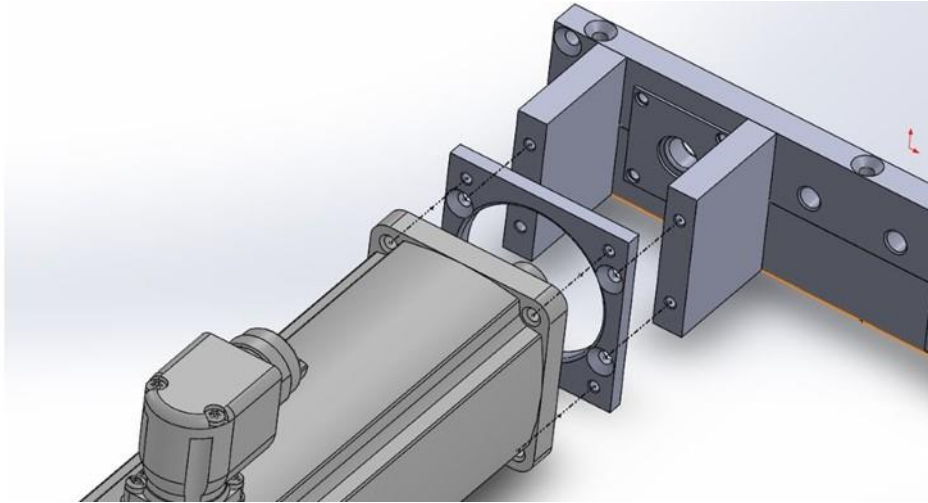


Kuva 9. SolidWorks 3D-kuva vapaana pyörivän akselin laakeri kannakkeesta.

4.3 Kehikko

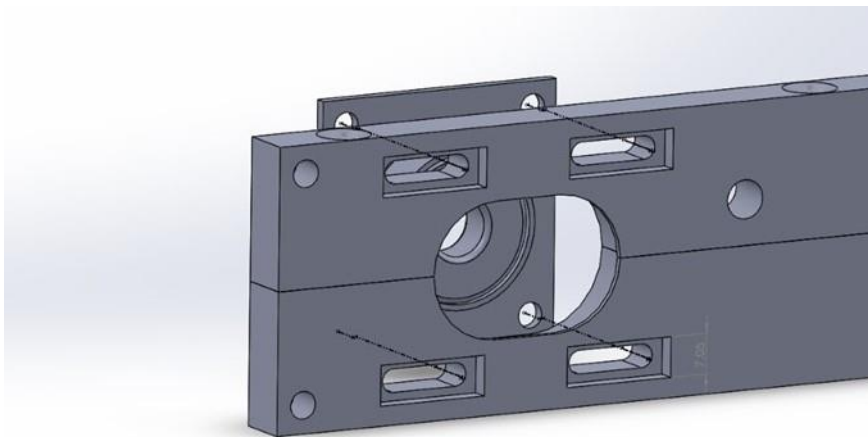
Hihnalle, hihnapyörille ja servomooottoreille tarvitaan tukeva kehikko. Suunnittelussa otettiin huomioon laakereiden asennettavuus, servomooottorin luotettava kiinnitettävyyys ja hihnan kiristys. Kehikon massa ei saa kasvaa kuitenkaan liian suureksi. Materiaaliksi valittiin alumiini, näin saadaan kestävä ja melko kevyt rakenne aikaiseksi.

Servomooottorin ja hihnapyörän akselin väliin tulee kytkin, joten moottoria ei voida kiinnittää suoraan kehikon kylkeen. Kytkimelle varattiin 40 mm tilaa. Servomooottori kiinnitetään kuvan 10 mukaisesti kiinnityslevyllä kehikon rakenteeseen. Levy kiinnitetään 40 mm leveisiin paloihin kiinni. Servomooottori asennetaan tämän jälkeen levyyn.



Kuva 10. SolidWorks 3D-kuva servomootorin kiinnityksestä kehikkoon.

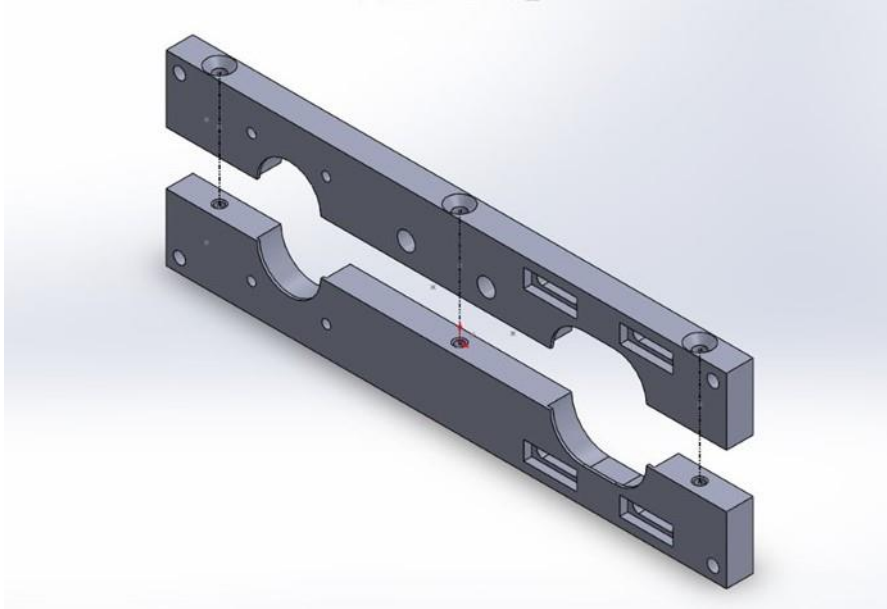
Vapaana pyörivän akselin laakerikannake liukuu kehikon sivuprofiilissa pitäen laakerin paikallaan, mutta samalla mahdollistaen hinnan kiristyksen. Laakeri kannakkeen siirrettävä kiinnitys mahdollistetaan rei'illä, joiden vastapuolella on kuvan 11 mukainen ura vastamutterille. Uran tarkoitus on myös pitää kehikon sisäprofiili tasaisena, ettei hihnapyörä voi vaurioitua.



Kuva 11. SolidWorks 3D-kuva laakeri kannakkeen kiinnityksestä.

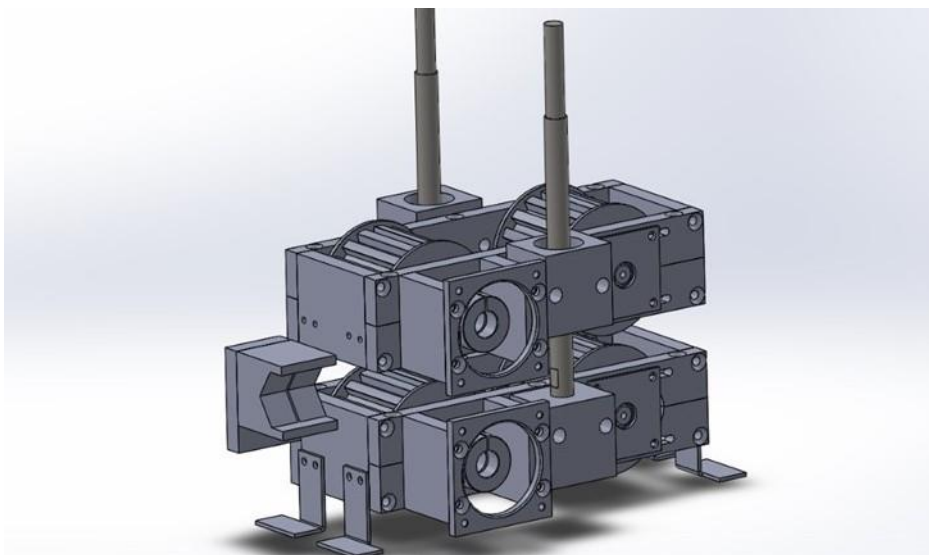
Kehikko koostuu kuudesta erillisestä kappaleesta. Kehikon sivukappaleet tulee valmistaa pareina, jolloin voidaan varmistua siitä, että kiinnitysreiät ovat varmasti kohdakkain

ja kokoonpano vaiheessa kappaleet sopivat toisiinsa. Laakeripesä on kriittisin komponentti. Sivukappaleen ylemmässä puolessa on kuvan 12 mukaiset senkatut reiät, jotta kiinnityspultit kohdistuvat reiän keskelle. Kappaleiden kiinnitykseen käytetään M4-pultteja.



Kuva 12. SolidWorks 3D-kuva keuhikon sivukappaleesta.

Kehikon leveys määräytyi hinnapyörän mukaan. Leveydessä otettiin huomioon myös akseliin tulevat lukkoprikat, jotka kasvattavat kokonaisleveyttä hieman. Nämä osat eivät saa ottaa keuhikon rakenteisiin kiinni, joten leveydeksi valitaan 60 mm. Alempaan keuhikkoon asennetaan jalat, joiden avulla keuhikko saadaan kiinnitettyä luotettavasti asennuslevyyn. Kuvassa 13 keuhikon kokoonpano servomootoria lukuun ottamatta.



Kuva 13. SolidWorks 3D-kuva letkun kuljettimen kokoonpanosta.

4.4 Kehikoiden korkeus säätö

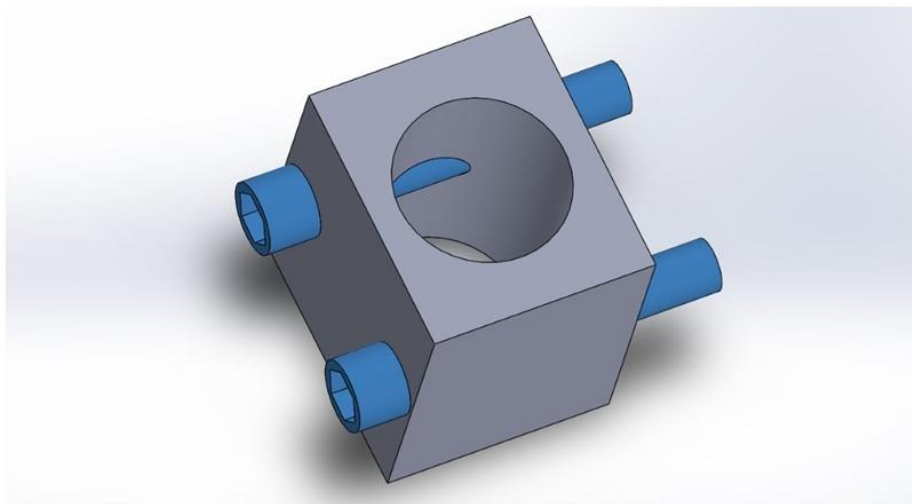
Kehikoiden täytyy pystyä liikkumaan pystysuunnassa vapaasti, kuitenkin niin että, riittävä pito pystytään varmistamaan letkun siirtoon. Tähän varmin ja helpoin tapa on käyttää jousivoimaista yhdyskappaletta, joka puristaa kehikoita toisiaan kohti. Tämä yhdyskappale kiinnitetään alempaan kehikkoon ja ylemmässä kehikossa on liukulaakeroitu vastinkappale, jonka avulla saadaan vapaa liikkuvuus aikaan.

Projektiin valittiin kuvassa 14 esitetty Festolla olemassa oleva lieriömäinen liukulaakeri. Laakerin tehtävänä on ohjata ja tukea akselia, jonka varassa yläkehikko on. Koska liikkeet ovat tässä sovelluksessa hitaita, kyseinen laakeri soveltuu tehtävään hyvin. Liukulaakeri soveltuisi myös pyörivään laakerointiin, mutta aksiaalinen liike riittää. (9.)



Kuva 14. Festo Oy:llä käytössä oleva liukulaakeri.

Liukulaakerin kiinnitys ylemmässä kehikossa olevaan vastinkappaleeseen tapahtuu laakerissa olevan uran avulla. Kuvassa 15 vastinkappaleen kiinnityspultti tulee osittain liukulaakerin pesän sisään niin, että käytettävän liukulaakerin profiilin ura ja pultti pitävät laakerin paikallaan.



Kuva 15. SolidWorks 3D-kuva liukulaakerin kiinnityksestä vastinkappaleeseen.

Akselille, joka toimii yläkehikon kannattimena ja korkeuden säädössä olennaisena osana, on tärkeää pinnanlaatu, lämmönjohtokyky sekä kovuus. Pinnankarheuden suositus keskipoikkeama Ra on 0,2–1,6 µm (10). Keskipoikkeama ei kuvaa pinnan toimintaominaisuuksia liukuvassa liikkeessä hyvin. Pinnan profiili voi vaihdella liu'un aikana suuresti, vaikka keskipoikkeamaksi valmistaja lupaisi halutun Ra-arvon. Pinnanprofiilin määrittämiseen käytetään myös maksimiprofiilisyvyyttä Rz, joka kertoo, mistä kohtaa tahansa mitatessa profiilin pinnan maksimi epätasaisuuden. Maksimiprofiilisyvydeksi suositellaan <4 µm. Näihin molempiin arvoihin pystytään vaikuttamaan materiaalivalinnoilla. (11, s. 19.)

Akselin pinnan kovuudeksi suositellaan materiaalia, joka on vähintään 50HRC. HRC on Rockwell-mittausmenetelmän yksi metodi, jolla mitataan materiaalien kovuutta. Menetelmässä kappaletta kuormitetaan kahdella massalla ja mitataan painautumista materiaaliin. (12.)

Ylemmässä kehikossa olevan liukulaakeroidun kappaleen päällä olevaan akseliin tulee jousi, joka pitää kehiä toisiaan vasten. Jousen etuna on se, että sen puristuessa tulee suurempi pito. Suuremman halkaisijan letkut ovat painavampia ja näin ollen vastustavat vetoa kovemmin. Nämä letkut ovat myös paksuseinäisempiä, joten niihin pystytään kohdistamaan suurempi puristus vaurioittamatta letkun rakennetta. Lisäksi yhdyskappaleen yläpäässä on 50 mm M10-kierrettä, johon voidaan laittaa kiristysmutteri, jolla jousen jäykkyyttä voidaan säätää.

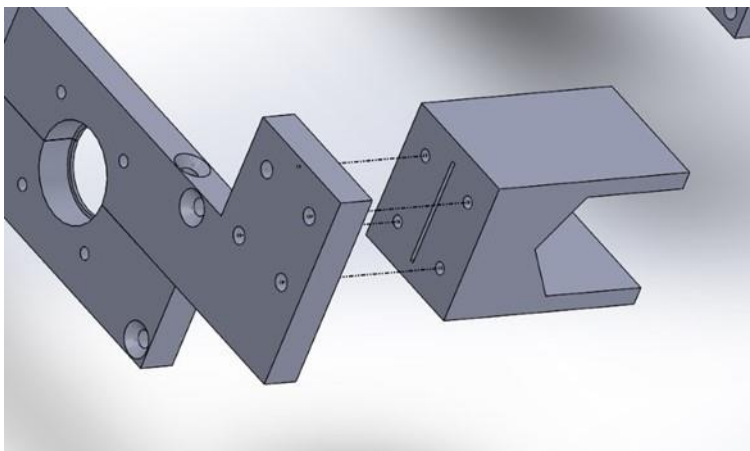
4.5 Leikkurin vastakappale

Leikkurin vastakappaleen tärkein tehtävä on pitää letku terän kärjen normaaliin nähden ja antaa vasta voima sylinterille ja terälle. Kappaleen muoto valittiin kuvassa 16 olevista käsikäyttöisistä letkuleikkureista.



Kuva 16. Festo Oyllä käytössä olevat letkusakset.

Vastakappale kiinnitetään kuvan 17 mukaisesti kehikon alempaan runkoon, jotta voidaan varmistaa sen paikallaan pysyminen.



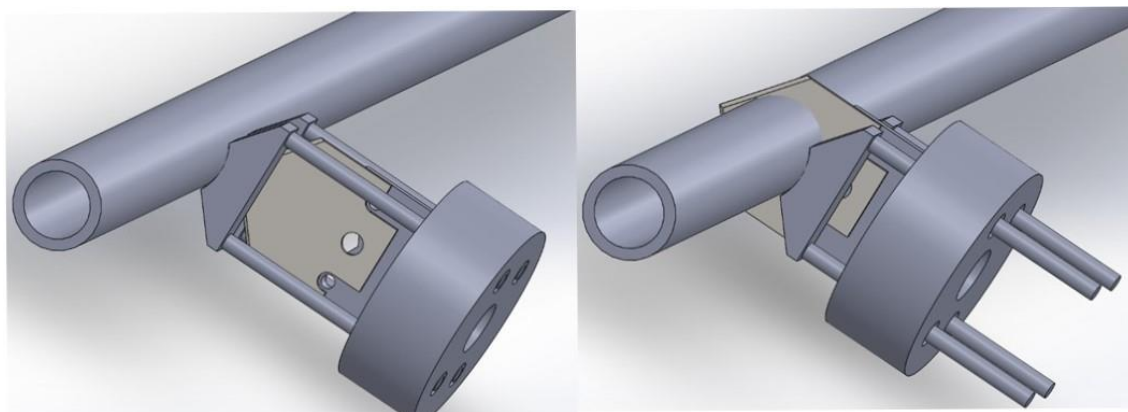
Kuva 17. SolidWorks 3D-kuva leikkurin vastakappaleen kiinnityksestä.

Vastakappaleeseen ei kohdistu suurta voimaa, mikäli leikkaava terä on kunnossa. Vastakappaleeseen tehtiin ura, johon terä pääsee vapaasti uppoamaan. Tuotantohenkilökunnan on pidettävä huolta terän kunnosta. Tämä täytyy sisällyttää laitekoulutukseen,

jotta voidaan välttää turha rasitus kehikon runkoon kohdistuvasta väännöstä leikkauksen osalta.

4.6 Letkuohjain

Letkuohjain on sylinterin varressa, terän molemmin puolin oleva ohjainkappale, jonka tehtävänä on painaa letku ennen leikkausta tukevasti vastakappaletta vasten, jotta pystytään varmistamaan letkun 90 asteen leikkaus. Tämä on tärkeää, sillä jos letkun leikkaus ei ole suora, niin se ei kiinnity liittimeen tiiviisti. Kuvassa 18 havainnollistetaan ohjaimen toiminta työkierron aikana.



Kuva 18. SolidWorks 3D kuva ohjurin toiminnasta työkierron aikana.

Ohjain painuu ennen terää letkua vasten ja pitää letkun jousivoimalla paikallaan, kun sylinteri työnny ulos ja leikkaa letkun. Sylinterin ja terän palautuessa lepoasentoon ohjain pitää letkua paikallaan, kunnes sylinteri saavuttaa täydellisen lepotilan.

5 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli toteuttaa Festo Oy:lle automaattisen pneumatiikkaletkuleikkurin mekaaninen suunnittelu. Yhdessä sähkö- ja automaatio suunnittelun kanssa Festo Oy sai valmiin laitekonceptin, joka suunniteltiin ja dokumentoitiin niin, että valmis laite olisi toteutettavissa. Projektille asetettiin komponenttivalintoihin joitain vaatimuksia, jotka

otettiin huomioon suunnittelussa. Laitteen tuli olla sähkö käyttöinen ja liikuteltavissa. Lisäksi toimeksiantaja halusi käytettävän uutta servomoottori ja -vahvistinsarjaa, jotta insinööriyötä tehdessä päästiin tutustumaan kyseisiin komponentteihin ja niiden konfiguraatioihin. Laitteeseen ja sen suunnitteluun liittyvien direktiivien ja standardien vaatimukset tuli ottaa huomioon Festo Oy:n toimintatapojen lisäksi.

Insinööriyö eteni siten, että ensin mitoitettiin ja valittiin käytettävät komponentit huomioiden yrityksen asettamat vaatimukset. Tässä käytettiin apuna Festo PositioningDrives-mitoitustyökalua, Festo Quicksearch-katalogityökalua ja tuotedokumentaatioita. Letkun siirtoon tarvittava hihna rakenne ja siihen liittyvät muut osat tehtiin SolidWorks 3D-mallinnusohjelmalla. Sähkö- ja automaatio suunnittelun piirikaaviot toteutettiin CADS-ohjelmistolla.

Laittevalintojen jälkeen tehtiin riskianalyysi. Riskianalyysiin osallistui Festo Oy:n henkilökuntaa, mukaan lukien laitteen tulevia käyttäjiä. Analyysin perusteella huomattiin riskejä, joihin täytyi kiinnittää huomiota suunnittelussa. Riskien pienentämiseksi suunnittelussa tehtiin joitain mekaanisia ja ohjausjärjestelmään perustuvia ratkaisuja.

Riskianalyysin jälkeen seurasi kuljettimen mekaaninen 3D-suunnittelu. Kuvien piirtämisessä huomioitiin yrityksen suunnittelukäytännöt, aiheeseen liittyvien standardien ja direktiivien vaatimukset, sekä Festo Oy:n suunnittelijoiden ja asiantuntijoiden mielipiteet rakenteesta. Suunnittelussa täytyi ottaa huomioon myös riskianalyysin mekaanisia ratkaisuja vaativat huomiot, kuten sormien pääsy telaneluun tai leikkauspisteeseen syöttö- tai poistoaukon kautta. Tässä käytettiin standardin SFS-EN ISO 13857 (8, s. 14) mukaisia antropometrisiä mittoja.

Sähkö- ja automaatio suunnittelussa huomioitavat riskien todennäköisyyttä pienentävät ratkaisut on esitetty Tomi Kotilan insinööriyössä. Sähkö- ja automaatio suunnittelun ja 3D-mallin pohjalta koko kaapin rakenteesta saatiin osalistaus-, mitta- sekä layout-kuvat. Laitteen rakentamiseen tarvittavat suunnitelmat ja dokumentaatiot olivat valmiit.

Projektin lopputuloksena saatiin valmiit mekaniikkaratkaisut automaattiselle pneumatiikkaletkuleikkurille. Tämä insinööriyö tullaan yhdistämään Tomi Kotilan tekemän sähkö-

ja automaatio suunnittelun kanssa yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin Festo Oy:n tuotannon käyttöön saadaan projektille asetettujen tavoitteiden mukainen laite.

Lähteet

- 1 AC-servomoottori - rakenne, vikaantuminen ja havainnointimenetelmät. 2005. Verkkoaineisto. VTT. <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf>. Luettu 11.12.2019.
- 2 Lehtosalo, Antti. 2019. Servojärjestelmän ja ohjelmoitavan logiikan yhteensopi- vuus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 3 Maksimaalinen puristusvoima, keskiarvo (kg). 2017. Verkkoaineisto. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. <http://www.terveytemme.fi/finterveys/html/m_ft17_tt3_18_19.html>. Luettu 28.12.2019.
- 4 Servojärjestelmän viritys. 2008. Verkkoaineisto. Teknillinen korkeakoulu. <http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/Labratyo4_2008.pdf>. Luettu 7.1.2020.
- 5 CODESYS - The comprehensive software suite for automation technology. 2020. Verkkoaineisto. CODESYS Group <<https://www.codesys.com/the-system.html>>. Luettu 7.1.2020.
- 6 Knuuttila, Jari. 2019. Riskienhallintasuunnitelma ja riskianalyysi. Verkkoaineisto. Valvira. <https://www.valvira.fi/documents/14444/9816341/Hammaslaboratorio_Riskinhallinta_2019_05_10.pdf/31382938-7c7f-8eb3-7471-545b87334581?t=1561552076326>. Luettu 16.11.2019
- 7 SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. 2010. Yleiset suunnitteluperiaatteet, ris- kin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 8 SFS-EN ISO 13857. Koneturvallisuus. 2019. Turvaetäisyydet yläraajojen ja ala- raajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeelle. Helsinki: Suomen Stan- dardisoimisliitto.
- 9 Liukulaakerit. 2019. Verkkoaineisto. D&E Bearings Oy <<https://debearings.fi/tekniset-suositukset/liukulaakeri/>>. Luettu 27.11.2019.
- 10 Vastinpinta. 2019. Verkkoaineisto. D&E Bearings Oy <<https://debearings.fi/tekniset-suositukset/vastinpinta/>>. Luettu 27.11.2019.
- 11 Toleranssit ja pinnankarheus. 2019. Verkkoaineisto. <https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/614429/mod_resource/content/2/Toleranssit_ja_pinnankarheus-2011.pdf>. Luettu 27.11.2019.

- 12 Kovuus. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kovuus>>. Luettu 27.11.2019

Festo PositioningDrives mitoitukset

Positioning Project Data

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Customer data

Customer number	
Department	Festo FI Contact Center
Fax	
Contact person	Tomi Kotila
E-mail	info.fi@festo.com
Telephone	0449734345
Customer address	Festo Oy Mäkituvantie 9, 01510 Vantaa, ...

Project Data

Project number	FI_CS.1628235
Project name	Opinnäytetyö

Editor	TKTL
E-mail	tomi.k.festo@gmail.com
Address	


Remarks

Opinnäytetyö projektin sähköosien mitoitukset ja konfiguraatiot.
Janne Juutilainen ja Tomi Kotila

Positioning Enquiry

TKTL
Mäkituvantie 9, 01510 Vantaa, Finland

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

<p>Check 1: Technical data</p> <p>Maximum moving mass (Horizontal 0 °) 2 kg Max. possible Effective stroke 50 mm Repetition accuracy 0,1 mm Additional external force 516 N Mounting position, Axis Horizontal 0 °</p>	<p>Customer address (Please enter your address here)</p> <p>Company name Festo Oy Contact person Tomi Kotila Department Festo FI Contact Center Street/p.o.box: Mäkituvantie 9, 01510 Vantaa, Zip Code/City: _____ Telephone 0449734345 Fax _____ E-mail info.fi@festo.com</p>
<p>Check 2: Guide</p> <p>X Simulation without Guide </p>	<p>Check 3: Axis technology Please enter -if desired- a preselection of the functional principle</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Gantry axis X <input checked="" type="radio"/> Cantilever axis <input type="radio"/> Toothed belt X <input checked="" type="radio"/> Spindle <input type="radio"/> Direct drive
<p>Check 5: Miscellaneous</p> <p>Offer until _____ Target price _____ Delivery date _____ Model _____</p>	<p>Check 4: Construction / Delivery <u>Motor attachment</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Without motor <input type="radio"/> Motor assembled by Festo <input type="radio"/> Festo motor, loose attachment <input type="radio"/> Coupling / Flange Third party motor (Please attach dimension sheet) <input type="radio"/> Customer supplies motor <p>Remarks</p> <p>_____ _____ _____ _____</p>

Positioning Motion Profiles

Opinnäytetyö

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Mode	Stroke	Moving mass	Force	Travel time	Speed	Stroke_v	Time_v	Acceleration	Deceleration	Dwell time
[A, R]	[mm]	[kg]	[N]	[s]	[m/s]	[mm]	[s]	[m/s ²]	[m/s ²]	[s]
1 A	34	2	0							0,2
2 R	16	2	-516							0,5
3 A	0	2	0							0,2

Positioning Solution proposal for positioning drives

TKTL
Mäkituvantie 9, 01510 Vantaa, Finland

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö



Technical data		Load calculated from:	Required
Axis technology	Ball screw	Max. possible Effective	50 mm
Guide	Without guide		
Motor type	Servo AC	Repetition accuracy	0,1 mm
Maximum ambient air temperature	25 °C	Maximum moving mass	2 kg
Mounting position, Axis	Horizontal 0 °	Additional external force	516 N

This solution offers you the following performance

Travel time 0,5 s
Cycle time 1,4 s
Dwell time 0,9 s
Duty ratio 36 %
Load Axis 53 %
(Service life (Ball screw) = >> 5000 km
(Calculated with fB = 1,0))
Load Motor 83 %

Motion profile see diagram (Detailed motion profile, Complete)

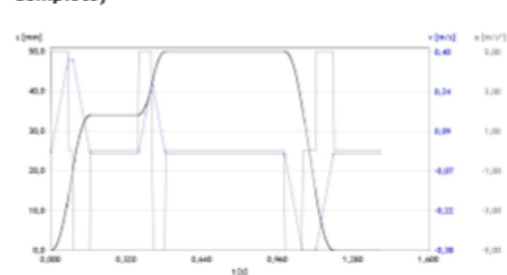


Diagram with: Controller Supply voltage = 230 VAC (Single-phase)

Please ensure that the following dynamic values the dimensioning is based on do not exceed the limit values of your equipment: Axis Speed: 0,381 m/s, Acceleration: 5 m/s², Deceleration: 5 m/s²

Festo does not guarantee the suitability of any equipment ordered pursuant to the use of this software for any particular purpose unless that purpose has been fully explained to Festo.
Moreover, this software should not be relied upon for the determination of any characteristics which can be otherwise independently verified.
Festo cannot be held liable for claims due to failure to achieve the calculated results, including the case of errors in calculation.
- The right to make changes is always reserved -

Positioning Bill of materials

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

Part No.	Amount	Unit	Order code	Designation
1	1	PCS	ESBF-85-32-100-5P	Electrical cylinder
2	1	PCS	EAMM-U-70-D32-60P-96	Parallel kit
3	1	PCS	EMMT-AS-60-M-LS-RMB	Servo motor AC
4	1	PCS	CMMT-AS-C2-3A-EC-S1	Controller
5	3	PCS	EAHF-V2-32/40-P	profile mounting
6	3	PCS	NEBC-R3G8-KS-0.2-N-S-R3G8-ET	connecting cable
7	3	PCS	NEBM-M23G15-EH-5-Q7N-R3LEG14	motor cable
8	3	PCS	NEKM-C6-C16-D	assortment of plugs

Do not forget

Cable
Sensors
Assembly accessories

Order code Axis and Motor: Bill of materials, Page No. 2

Positioning Bill of materials

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytelyö

Axis	ESBF	Cantilever axis	Motor	EMMT-AS	Servo motor AC
	BS	Ball screw		60	Flange size
	32	Size		M	Size, middle
	100	Stroke [mm]		LS	Low Voltage, Standard
	5P	Spindle pitch (5 mm)		R	Round connector
	...	Further settings: Product Configurator		M	Multi turn
				B	With brake

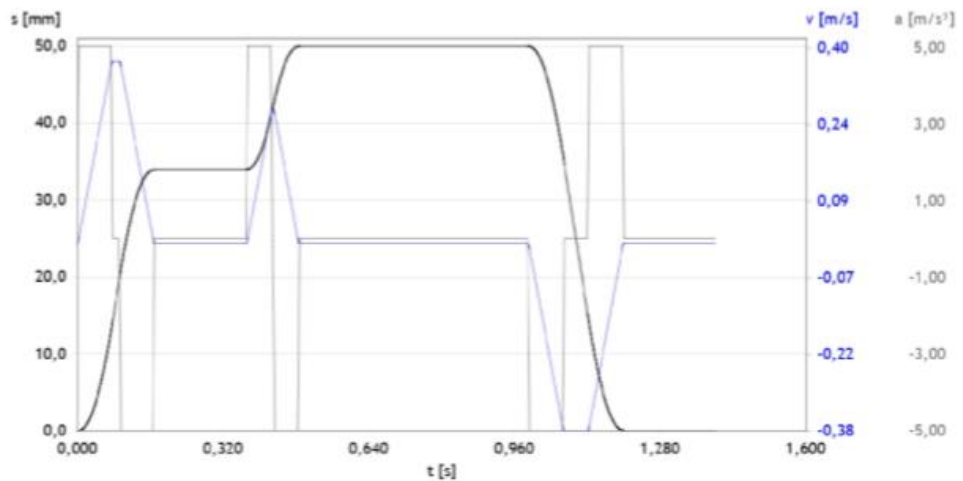
Positioning Results diagrams

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

Detailed motion profile, Complete

Total		Maximum	
Travel time	0,5 s	Speed	0,381 m/s
Cycle time	1,4 s	Acceleration	5 m/s ²
Dwell time	0,9 s	Deceleration	5 m/s ²
Duty ratio	36 %		



Positioning Results diagrams, Details

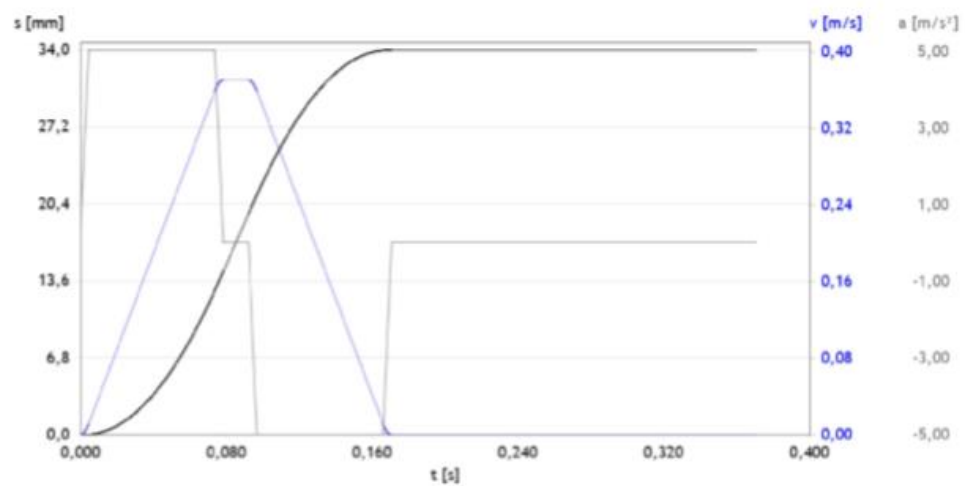
PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

Motion profile Step

1

Travel time	0,171 s	Maximum Speed	0,369 m/s
Cycle time	0,371 s	Acceleration	5 m/s ²
Dwell time	0,2 s	Deceleration	5 m/s ²
Duty ratio	46 %		



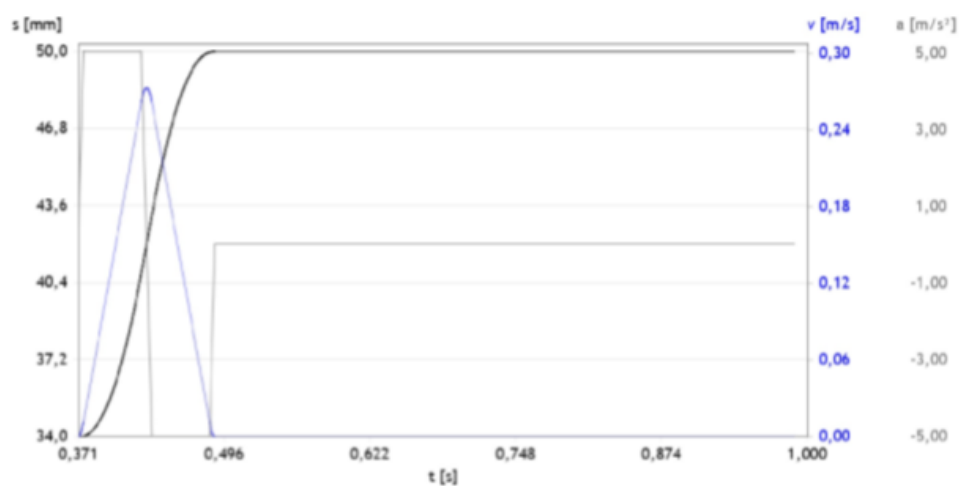
Positioning Results diagrams, Details

Opinnäytetyö

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Motion profile Step 2

		Maximum	
Travel time	0,118 s	Speed	0,272 m/s
Cycle time	0,618 s	Acceleration	5 m/s ²
Dwell time	0,5 s	Deceleration	5 m/s ²
Duty ratio	19 %		



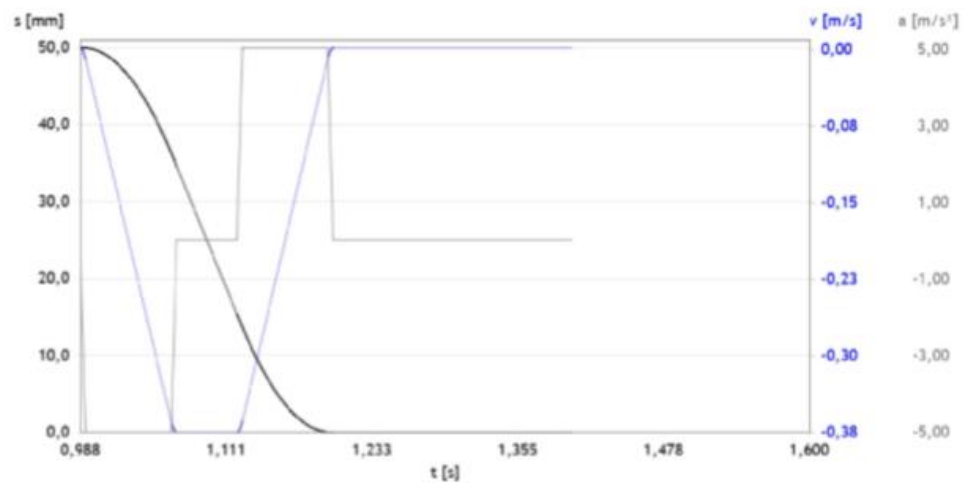
Positioning Results diagrams, Details

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

Motion profile Step 3

		Maximum	
Travel time	0,212 s	Speed	0,381 m/s
Cycle time	0,412 s	Acceleration	4,999 m/s ²
Dwell time	0,2 s	Deceleration	4,999 m/s ²
Duty ratio	51 %		

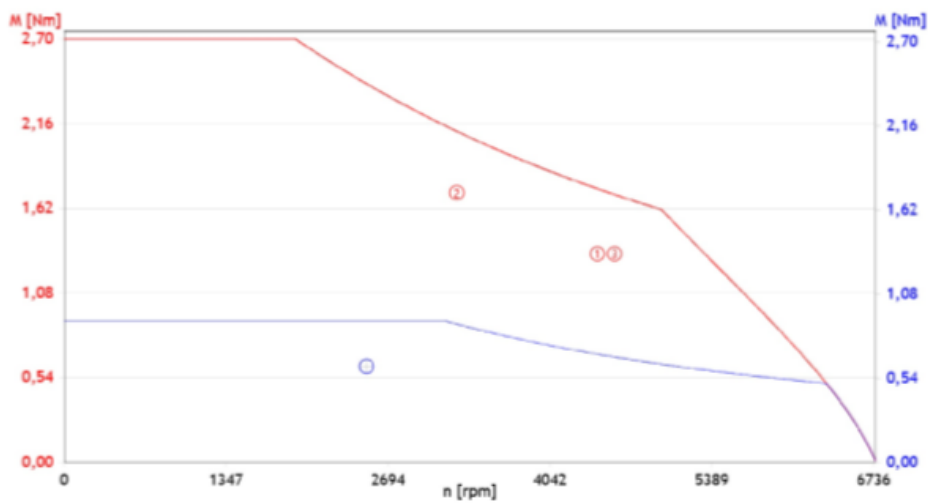


Positioning Motor Diagram

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

Average speed 2510 rpm
Root mean square of torque (Dynamic data) 0,613 Nm



Motion profile Step	Revolution	Torque
1	4426 rpm	1,33 Nm
2	3259 rpm	1,72 Nm
3	4569 rpm	1,33 Nm

Positioning Dynamic data

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

Axis	
Type	ESBF-BS-32-100-5P
Calculated maximum speed	0,381 m/s
Calculated maximum acceleration	5 m/s ²
Maximum jerk	1092 m/s ³
Required usable force	527,6 N
Service life: Calculated mean feed force (Spindle) 280,3 N (Service life (Ball screw) >> 5000 km (Calculated with fB = 1,0))	
Shaft extension Spindle	4569 rpm
Maximum spindle revolution	
Peak torque Spindle	0,53 Nm
Displacement during emergency stop	14,498 mm
Deceleration Max. possible = 5 m/s ² (Worst case with "Calculated maximum speed")	
Motor	
Type	EMMT-AS-60-M-LS-RMB
Maximum motor revolution (Cable length = 2,5 m)	4569 rpm
Acceleration torque	1,72 Nm
Root mean square of torque	0,61 Nm
Calculated maximum power	862 W
Root mean square of power	350 W
Calculated maximum current	3,8 A
Root mean square of current	1,4 A
Current for emergency stop	1,5 A
Mass moment of inertia	
Translatory	0,015 kgcm ²
Rotatory	1,201 kgcm ²
External moment of inertia with respect to motor	1,216 kgcm ²
Moment of inertia ratio	4,251
Controller	
Type	CMMT-AS-C2-3A-EC-S
Supply voltage	230 VAC
PWM	8000Hz

Positioning Product data

	PositioningDrives Version 2.3.28 14.6.2019
Opinnäytetyö	
Axis	ESBF-BS-32-100-5P
Max. possible Effective stroke	800 mm
Repetition accuracy	0,01 mm
Usable force (Limit for project planning)	1000 N
Maximum acceleration	5 m/s ²
Maximum speed	0,55 m/s
Mass moment of inertia (Translatory; Moving mass of axis)	0,002 kgcm ²
Spindle	
Feed constant	5 mm
Maximum torque	1,1 Nm
Mass moment of inertia	0,021 kgcm ²
Motor	EMMT-AS-60-M-LS-RMB
Rated speed (Voltage = 325 V)	3000 rpm
Rated torque	1 Nm
Peak torque	3,4 Nm
Rated current	2,2 A
Peak current	11 A
Mass moment of inertia	0,374 kgcm ²
Maximum ambient air temperature	80 °C
Holding torque (Brake)	2,5 Nm
Controller	CMMT-AS-C2-3A-EC-S1
Supply voltage	
Logic section	24 V DC
Power section	230 V AC
Intermediate circuit voltage	320 V DC
Rated current	2 A
Peak current	6 A
Braking resistor, integrated	100 Ohm / 23 W

Positioning Details, Motion profile

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

Axis, Load									
No.	Target position [mm]	Stroke [mm]	Moving mass [kg]	Force 1 [N]	Speed [m/s]	Stroke_v [mm]	Time_v [s]		
1	34	34	2	0	0,369	6	0,016		
2	50	16	2	-516	0,272	0,664	0,002		
3	0	50	2	0	-0,381	-20,186	0,053		

Axis, Dynamic data

No.	Acceleration			Deceleration			Maximum jerk [m/s ³]	Travel time [s]	Dwell time [s]
	a1	Stroke	Time	a2	Stroke	Time			
1	5	14,224	0,077	-5	14,224	0,077	1092	0,171	0,2
2	5	7,833	0,058	-5	7,833	0,058	1092	0,118	0,5
3	-4,999	-15,139	0,08	4,999	-15,139	0,08	1092	0,212	0,2

Motor

No.	Rotation [rev]	Rotation angle [rev]	Mass moment of inertia [kgcm ²]	External torque [Nm]	Friction [Nm]	Revolution [rpm]	Acceleration [rpm/s]	Deceleration [rpm/s]	Maximum jerk [rpm/s ²]
1	6,80	6,80	1,216	0	-0,33	4426	60000	-60000,045	13109847

14 / 19

Positioning Details, Motion profile

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Optimäyetytys

2	10,00	3,20	1,216	-0,41	-0,32	3259	60000	-60000,045	13109847
3	0,00	10,00	1,216	0	-0,34	-4569,128	-59990,782	59991	13109847

Positioning Details, Motion profile - Axis

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

No.	Phase	F_ext [N]	F_grav [N]	F_acc [N]	F_load_sum (Σ F_ext) [N]	F_fric [N]	F_load_sum + F_fric [N]	F_feed_max (F_usable_max) [N]	F_load_sum/ F_feed_max [%]	F_mean_max TB = 1,0 [N]	F_load_sum/ F_mean_max [%]
1.1	Acceleration	0	0	-11,6	-11,6	-138,5	-150,1	1000	1 %	660	2 %
1.2	Speed	0	0	0	0	-138,5	-138,5		0 %		0 %
1.3	Deceleration	0	0	11,6	11,6	-138,5	-126,8		1 %		2 %
1.4	Dwell time	0	0	0	0	0	0		0 %		0 %
2.1	Acceleration	-516	0	-11,6	-527,6	-120,4	-648	1000	53 %	660	80 %
2.2	Speed	-516	0	0	-516	-120,4	-636,4		52 %		78 %
2.3	Deceleration	-516	0	11,6	-504,4	-120,4	-624,8		50 %		76 %
2.4	Dwell time	-516	0	0	-516	-47,3	421,3		52 %		64 %
3.1	Acceleration	0	0	-11,6	-11,6	-140,5	-152,1	1000	1 %	660	2 %
3.2	Speed	0	0	0	0	-140,5	-140,5		0 %		0 %
3.3	Deceleration	0	0	11,6	11,6	-140,5	-128,9		1 %		2 %
3.4	Dwell time	0	0	0	0	0	0		0 %		0 %
Cycle (Max Value)					527,6			1000	53 %	660	80 %

Calculated mean feed forc

F_mean [N]

F_mean_max

(1): F_mean = Cube root (Σ((F_load_sum)³ * Stroke (Phase)) / Total Stroke (Step or Cycle))
Service life (Ball screw) >> 5000 km (Calculated with TB = 1,0)

16 / 19

Positioning Details, Motion profile - Axis

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

No.	Phase	F_ext [N]	F_grav [N]	F_acc [N]	F_load_sum (Σ F_ext) [N]	F_fric [N]	F_load_sum + F_fric [N]	F_feed_max (F_usable_max) [N]	F_load_sum/ F_feed_max [%]	F_mean_max FB = 1,0 [N]	F_load_sum/ F_mean_max [%]
1	Step: 1				10,6					660	2 %
2	Step: 2				516,2					660	78 %
3	Step: 3				9,5					660	1 %
4	Total Cycle				280,3					660	42 %

(1): $F_{mean} = \text{Cube root } (\sum (F_{load_sum})^3 \cdot \text{Stroke (Phase)}) / \text{Total Stroke (Step or Cycle)}$
Service life (Ball screw) >> 5000 km (Calculated with FB = 1,0)

17 / 19

Positioning Details, Motion profile - Motor

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Opinnäytetyö

No.	Phase	M_ext [Nm]	M_grav [Nm]	M_acc 1) [Nm]	M_fric1 [Nm]	M_sum [Nm]	v_max [rpm]	M_Max_ Motor [Nm]	M_sum / M_max [%]	M_sum / M_nom [%]
1.1	Acceleration	0	0	-1	-0,33	1,33			76 %	180 %
1.2	Speed	0	0	0	-0,33	0,33	4426	1,75	19 %	45 %
1.3	Deceleration	0	0	1	-0,33	-0,67			38 %	90 %
1.4	Dwell time	0	0	0	0	0	0		0 %	0 %
2.1	Acceleration	-0,41	0	-1	-0,32	1,72			82 %	234 %
2.2	Speed	-0,41	0	0	-0,32	0,73	3259	2,11	34 %	98 %
2.3	Deceleration	-0,41	0	1	-0,32	-0,27			13 %	37 %
2.4	Dwell time	-0,41	0	0	-0,25	0,16	0		8 %	22 %
3.1	Acceleration	0	0	-1	-0,34	1,33			78 %	181 %
3.2	Speed	0	0	0	-0,34	0,34	-4569,128	-1,71	20 %	45 %
3.3	Deceleration	0	0	1	-0,34	-0,66			39 %	90 %
3.4	Dwell time	0	0	0	0	0	0		0 %	0 %
Cycle (Max Value)						1,72		2,11	82 %	234 %
Root mean square of						M_eff [Nm]			M_nom [Nm]	M_eff [%]

1): Acceleration / Deceleration: Load = Mass moment of inertia
2): M_eff = Square root ($\sum M_i^2$ * Time (Phase) / Total Time)

Positioning Details, Motion profile - Motor

PositioningDrives
Version 2.3.28
14.6.2019

Optimay/teiv/6

No.	Phase	M_ext [Nm]	M_grav [Nm]	M_acc (1) [Nm]	M_fric [Nm]	M_sum [Nm]	v_max [rpm]	M_Max_ Motor [Nm]	M_sum / M_max [%]	M_sum / M_nom [%]
1	Motion profile 1					0,67			0,69	97 %
2	Motion profile 2					0,55			0,88	62 %
3	Motion profile 3					0,65			0,67	97 %
3	Cycle					0,61			0,74	83 %

1): Acceleration / Deceleration: Load = Mass moment of inertia
2): $M_{eff} = \text{Square root } (\sum M)^2 * \text{Time (Phase)} / \text{Total Time}$

Riskianalyysi

Riskianalyysi on toteutettu Festo Oy:lta kootun arviointiryhmän avulla.

Arviointiryhmän jäsenet:

- Janne Juutilainen
- Tomi Kotila
- Emmi Kainulainen
- Pete Siljander
- Kata Juntunen
- Mika Kuusisto
- Jesse Hietanen

Riskianalysissä on otettu huomioon vain kohtuudella ennakoitavissa olevat riskit, niiden seuraukset, sekä toimenpiteet niiden ehkäisemiseksi.

Todetut riskit pyritään ehkäisemään toteuttamalla analyysissä ehdotetut toimenpiteet letkuleikkurin suunnittelussa.

Turvallisuusriskit pyritään lähtökohtaisesti korjaamaan rakenteellisilla ratkaisuilla, mutta riskien vähentämistä ohjausjärjestelmän avulla, kuten erilaisten anturointien avulla, ei suljeta pois.

Arvioinnin apuna on hyödynnetty SFS-EN ISO 12100 standardin sivulta 108 alkavaa esimerkkejä vaaroista kaaviota.

Raja-arvojen määrittäminen:

Käyttäjät: Festo Oy:n tuotannon automaatioasentajat.

Käyttäjien koulutus: Ammattitutkinto ja Feston koulutukset (sis. Letkuleikkurin koulutus tulevaisuudessa).

Osien elinikä: Letkuleikkurin terän elinikä ei ole kovin pitkä, muiden komponenttien elinikä on pitkä. (Festo standardi).

Liikkeen laajuus: Liikkeet suljetussa tilassa. Sylinterissä 50mm isku. Telanielussa pyörivät sisäänpäin vetävät telat.

Vuorovaikutus ihmisen kanssa: Jatkuva vuorovaikutus ihmisen kanssa.

Selitteet:

S= Riskin seuraus (asteikolla 1-100)	Selite
1	Mitätön vamma / Materiaalivahinko
5	Vähäinen vamma / Materiaalivahinko
20	Työkykyyn vaikuttava vamma / Työskentelyyn vaikuttava materiaalivahinko
30	Sairaslomaa vaativa vamma / Kohtalaiset materiaaliset vahingot
40	Pitkän sairausloman aiheuttava vamma / Merkittävät materiaaliset vahingot
50	Peruuttamaton vammautuminen ja työ- kyvyn menetys / Mittavat materiaaliset vahingot
100	Kuolema / Liiketoiminnalle kriittiset materiaaliset vahingot

T = Riskin todennäköisyys (asteikolla 0.1-7)	Selite
0.1	Hyvin epätodennäköinen
1	Epätodennäköinen
2	Mahdollinen
3	Hyvin mahdollinen
4	Todennäköinen
5	Melko todennäköinen
6	Hyvin todennäköinen
7	Väistämätön

R = Kokonaisriski	Selite
E	Vakava riski
D	Merkittävä riski
C	Mahdollinen riski
B	Mitätön riski
A	Olematon riski

Kokonaisriskin muodostamisperiaate:

Kokonaisriski muodostetaan oheisen taulukon avulla. Riskintaso määritetään vaaka-akselilla sijaitsevan riskin arvioidun seurauksen ja pystyakselilla sijaitsevan riskin arvioidun todennäköisyyden perusteella.

- R = Kokonaisriski (asteikolla A-E)
- S = Riskin seuraus (asteikolla 1-100)
- T = Riskin todennäköisyys (asteikolla 0.1-7)

Todennäköisyys								
7	B	C	D	E	E	E	E	
6	B	C	D	D	E	E	E	
5	B	B	D	D	D	E	E	
4	A	B	C	D	D	D	E	
3	A	B	C	C	D	D	E	
2	A	B	C	C	C	D	D	
1	A	B	B	C	C	C	D	
0.1	A	A	A	A	A	B	B	
	1	5	20	30	40	50	100	
	Seuraukset							

Riskien tunnistaminen ja arviointi:

Tunnistettu riski	Seuraus S	Todennäköisyys T	Kokonaisriski R
1) Sormien päätyminen telaneluun	50 (Sormen puristuminen ja sijoiltaan meno)	6 (Hyvin todennäköinen)	E (Vakava riski)

2) Sormen päätyminen leikkausprosessiin	50 (Sormien irti leikkaantumien)	6 (Hyvin todennäköinen)	E (Vakava riski)
3) Laitteen tippuminen varpaille	20 (Varpaiden / jalan vaurioituminen)	4 (Todennäköinen)	C (Mahdollinen riski)
4) Sähköjohtojen irtoaminen ja kaapin jännitteistyminen	100 (Sähköisku ja vammautuminen / kuolema)	5 (Melko todennäköinen)	E (Vakava riski)
5) Kaapin kannen avaaminen kesken prosessin	100 (Leikkausvammat, sähköisku, raajojen puristuminen)	6 (Hyvin todennäköinen)	E (Vakava riski)
6) Nesteen, kuten kahvin päätyminen sähkökomponentteihin	100 (Sähköisku)	2 (Mahdollinen)	B (Mitätön riski)
7) Vieraan materiaalin päätyminen leikkuriin (esim. sähköjohto)	1 (Laitteen vaurioituminen)	6 (Hyvin todennäköinen)	B (Mitätön riski)
8) Leikkurin terän vaihtamisessa syntyvät vaara tilanteet	20 (Esimerkiksi pienet haavat)	6 (Hyvin todennäköinen)	D (Merkittävä riski)
9) Virheellinen käyttäjännite / virtapiikit ja niistä seuraavat komponenttien vioittumiset ja tulipalovaara	100 (Materiaali vahingot, jopa tulipalokuolemat)	1 (Epätodennäköinen)	D (Merkittävä riski)
10) Kaapin ja sen laitteiden ylikuumeneminen servovahvistimien tuottamasta lämmöstä	100 (Laitteiston hajoaminen, mutta jopa tulipalosta seuraavat materiaali vahingot ja kuolemat)	1 (Epätodennäköinen)	D (Merkittävä riski)

Riskien pienentäminen:

Järjestys sama kuin havaituilla riskeillä.

Toimenpide	Jäännösseuraus S	Jäännöstodennäköisyys T	Jäännösriski R
1) Estetään pääsy telaneluun mekaanisesti	50 (Sormien puristuminen ja sijoiltaan meno)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
2) Estetään sormien pääsy leikkaukseen rakenteellisesti	50 (Sormien irti leikkaantumien)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)

3) Suunnitellaan kaapin kannakkeet ja sijoitetaan se kiinteästi pöydälle. Tuotannon työntekijöiden suojavausteet (turvakengät) ja koulutus	20 (Varpaiden / jalan vaurioituminen)	1 (Epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
4) Vedonpoistot johtoihin, sekä maadoitus (sähkö suunnittelu)	100 (Sähköisku ja vammautuminen / kuolema)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
5) Sijoitetaan kaapin kanteen magneettinen etäisyysanturi, joka katkaisee sähköt laitteesta, kun kaappi avataan kesken prosessin. Lisäksi kaapin ovi pidetään lukittuna (automaatio-suunnittelu)	100 (Leikkausvammat, sähköisku, raajojen puristuminen)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
6) Kaapiksi valitaan IP-luokituksestaan sellainen kaappi, ettei nesteet pääse sen sisään. Mekaanisten ratkaisuiden suunnittelussa tämä on myös huomioitava	100 (Sähköisku)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
7) Syöttökanavaan sijoitetaan induktiivinen anturi, jonka avulla tämä voidaan luotettavasti estää	1 (Laitteen vaurioituminen)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	A (Olematon riski)
8) Laitteiston koulutuksen yhteydessä teränvaihto koulutetaan laitetta käyttäville ja terän vaihtamisesta pyritään tekemään helppoa suunnittelun avulla	20 (Esimerkiksi pienet haavat edelleen mahdollisia)	2 (Mahdollinen)	C (Mahdollinen riski)
9) Johdonsuojakatkaisijat ja sulakkeet (sähkösuunnittelu)	100 (Materiaali vahingot, jopa tulipalokuolemat)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)
10) Suunniteltavan letkuleikkurin kaappiin lisätään tuuletin ja ilmanottoaukko	100 (Laitteiston hajoaminen, mutta jopa tulipalosta seuraavat materiaali vahingot ja kuolemat)	0,1 (Hyvin epätodennäköinen)	B (Mitätön riski)

Loppupäätelmä:

Lähes kaikki riskit saadaan pienentymään mitättömän riskin B-tasolle ehdotetuin toimenpitein. Tämä riskitaso on tarpeeksi matala, sillä kaikkien riskien toteutumisen täydellinen estäminen on mahdotonta. Mitättömän riskin mahdollisuus tarkoittaa käytännössä sitä, että henkilön tulee tarkoituksenmukaisesti rikkoo laitteen käyttötarkoitusta ja pyrkiä suurella vaivalla turvallisuuden suojaksi toteutettujen toimenpiteiden ohittamiseen. Tällöin riskin arvioinnin kannalta kyseessä ei ole enää kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Tässäkin tilanteessa on kuitenkin epätodennäköistä, että henkilö onnistuu aiheuttamaan itselleen vammoja tai yritykselle materiaalisia vahinkoja, jos mainitut toimenpiteet saadaan toteutettua letkuleikkuriin.

Riskin 9 kohdalla, jossa jäännösriski jää tasolle C eli mahdollisen riskin tasolle, haavojen saannin mahdollisuutta terää vaihtaessa on mahdotonta ratkaista millään järjestelmän tai suunnittelun keinolla. Käytännössä terän vaihtamisesta vastaavan henkilön pitää olla koulutettu tekemään työ niin turvallisesti kuin mahdollista.

Uusi Riskinarviointi tullaan toteuttamaan laitteen käyttöönottovaiheessa, kun letkuleikkurille tehdään CE-merkintä ja vaatimustenmukaisuusvakuutus.