

SÄHKÖMEKAANISEN SYLINTERIN ESISUUNNITTELU

Eetu Tuuliainen

Opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2022

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Eetu Tuuliainen	Vuosi	2022
Ohjaaja	DI Petri Kesälahti		
Toimeksiantaja	Norrhydro Oy		
Työn nimi	Sähkömekaanisen sylinterin esisuunnittelu		
Sivu- ja liitesivumäärä	51 + 0		

Opinnäytetyön tavoitteena oli esisuunnitella ja jatkokehittää Motiomax by Norrhydro -sähkömekaaninen sylinteri henkilönostinprojektiin rovaniemeläisen Norrhydro Oy:n tarpeisiin. Lisäksi työn tarkoituksena oli kehittää suunnittelun avuksi AutomateWorks-automaattimallinnuksen ohjelmointi. Sähköisten ratkaisuiden yleistyessä toimeksiantajan suunnitelmissa on alkaa valmistamaan sähkömekaanisiasylintereitä uudella tehtaallaan sarjatuotantona.

Työn alkuvaiheessa perehdyttiin sähkömekaanisten sylinterien rakenteeseen, toimintaperiaatteeseen ja hyötyihin. Lähteinä käytettiin yrityksen sisältä löytyviä dokumentteja, tuotekehittäjän mielipiteitä, tuotannon mielipiteitä ja aiheeseen liittyviä kirjoituksia ja artikkeleita. Työn edetessä perehdyttiin myös tarkemmin sähkömekaanisen sylinterin suunnittelu- ja valmistusperiaatteisiin.

Työn aikana esisuunniteltiin sähkömekaaninen sylinteri henkilönostin käyttöön. Suunnittelussa otettiin huomioon sylinterin käyttökohteen vaatimukset ja ominaisuudet. Sylinterin suunnittelutyö sisälsi laskentaa, komponenttien valintaa ja 3D-mallinnusta. Sylinterin suunnittelu toteutettiin Solidworks suunnitteluohjelmistolla.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin esisuunniteltu sähkömekaaninen sylinteri, jonka pohjalta sylinterien jatkokehittäminen helpottuu merkittävästi. Lisäksi tulokseksi syntyi ymmärrys automaattisuunnittelu ohjelmiston käytön vaatimuksista ja hyödyistä. Sylinterin suunnittelumateriaalien ja kokemusten pohjalta voidaan tulevaisuudessa kehittää sähkömekaanisiasylinterien suunnitteluohjeistus, joka helpottaa suunnittelutyötä tulevaisuudessa.

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Eetu Tuuliainen	Year	2022
Supervisor	Petri Kesälahti, M.Sc.		
Commissioned by	Norrhydro Oy		
Subject of thesis	Predesign of an Electromechanical Cylinder		
Number of pages	51 + 0		

The purpose of this thesis was to predesign and continue the development of Motiomax by Norrhydro electromechanical cylinder for the needs of a man lift project by Norrhydro Oy in Rovaniemi. In addition, the purpose of this work was to advance AutomateWorks programming to help the designing work. As electronic solutions become more common, the commissioner's plan is to start manufacturing electromechanical cylinders in their new factory as series production.

In the initial phase of the work, the structure, operating principle, and the benefits of electromechanical cylinders were familiarized. The references of the work were the company's own documents, product developer's opinions and writings and articles related to the topic. As the work progressed, the design principles of the electromechanical cylinder were also studied more in detail.

During the work, an electromechanical cylinder was pre-designed for the use of a personal lift. The design considered the requirements and characteristics of the cylinder's intended use. The design work of the cylinder included calculation, selection of components and 3D modeling. The designing of the cylinder was implemented with Solidworks design software.

As the result of the thesis, a pre-designed electromechanical cylinder was created. From this basis the further development of cylinders becomes significantly easier. As an additional result, this generated deeper understanding of the requirements and benefits of using automatic planning software.

Based on these cylinder design materials and experiences, the design guidelines for electromechanical cylinders can be further developed, which will facilitate the design work in the future.

Keywords

design, cylinders, cad, calculation

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	7
3 HYDRAULISYLINTERI	8
3.1 Hydraulisynterimallit	8
3.2 Hydraulisynterinin hyödyt ja haitat	10
4 SÄHKÖMEKAANINEN SYLINTERI	11
4.1 Toimintaperiaate, hyödyt ja sovellutukset	11
4.2 Pääosat.....	17
5 TUOTEPERHEAJATTELU	22
6 SUUNNITTELUN AUTOMATISOINTI.....	24
7 MOTIOMAX-SYLINTERIN ESISUUNNITTELU	26
7.1 Sylinterin päämitoitus ja rakenteen valinta	27
7.2 Sylinterien osien mitoitus ja laskenta	29
7.3 Käyttöään ja hyötysuhteen määrittäminen	34
7.4 Kiinnitystapojen suunnittelu	37
7.5 Sylinterin 3D-mallinnus	39
7.6 Automateworks mallinnus	47
8 POHDINTA	48
LÄHTEET	50

ALKUSANAT

Haluan kiittää Norrhydro Oy:tä mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja opinnäytetyön mahdollistamisesta. Haluan myös kiittää toimeksiantajan opinnäytetyön ohjaaja Timo Lehtoa, sekä koulun opinnäytetyön ohjaaja Petri Kesälahtea.

Rovaniemellä 16.9.2022

Eetu Tuuliainen

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on esisuunnitella ja jatkokehittää "Motiomax by Norrhydro" -sähkömekaaninen sylinteri henkilönostin projektiin rovaniemeläisen Norrhydro Oy:n tarpeisiin. Lisäksi työn tarkoituksena on kehittää suunnittelun avuksi AutomateWorks-automaattimallinnuksen ohjelmointi. Ohjelmoinnin tarkoituksena olisi nopeuttaa sylinterienmallinnustyötä merkittävästi sekä helpottaa sylinterien suunnittelua myös tulevaisuudessa. Toimeksiantajan suunnitelmissa on alkaa valmistamaan kyseisiä sylintereitä uudella tehtaallaan sarjatuotantona. Sähkömekaanisillesylintereille on todettu olevan kova kysyntä markkinoilla ja kysynnän odotetaan vain kasvavan lähitulevaisuudessa. Tällä hetkellä sylinterien tuotanto on prototyyppeillä ja yrityksen sylintereitä on vain muutamien asiakkaiden käytössä. Yrityksen on tarkoitus vastata markkinoiden kovaan kysyntään ja sähköistymisen trendiin kyseisillä tuotteilla.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi hydraulisylinterin perusteet, sähkömekaanisensylinterin toimintaperiaate ja hyödyt verrattuna hydraulisylintereihin, sylinterin pääosat, sovellutukset, tuoteperheajattelun teoriaa ja suunnittelun automatisoinnin perusteita. Teoriaosuuden lähteinä käytetään yrityksen omia Motiomax-tuotteeseen liittyviä materiaaleja, internetistä ja kirjastosta löytyviä lähteitä, sekä haastatteluita tuotekehittäjän kanssa. Käytännön osuudessa käsitellään sylinterinsuunnittelun ja mallintamisen toteutukseen liittyviä asioita. Käytännön osuus etenee työn toteutusjärjestyksessä.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Työn toimeksiantajana toimii Norrhydro Oy. Yhtiön päätoimialana on hydraulisylinterien ja komponenttien valmistus. Yrityksen tuottamat hydraulisylinterit valmistetaan asiakkaan vaatimusten mukaisesti mittatilaustyönä. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Rovaniemellä. Yrityksellä on myös suunnitteluun ja tuotekehitykseen painottuvat yksiköt Tampereella ja Kuopiossa. Yritys valmistaa hydraulisylintereitä muun muassa metsäteollisuuteen, merenkulkuun, rakentamiseen, materiaalinkäsittelyyn ja kaivoksiin. Yrityksen toiminta on laajenemassa lähitulevaisuudessa ja uusi tehdas on otettu käyttöön Rovaniemellä kesällä 2022 (Kuva 1). Uudessa tehtaassa yrityksen on tarkoitus alkaa valmistamaan uusina tuotteina vanhojen rinnalla digitekniikkaan perustuvia hydraulisylintereitä ja sähkömekaanisia sylintereitä. Yritys listautui pörssiin loppuvuodesta 2021 ja sen henkilöstömäärä on tällä hetkellä noin 160 henkilöä. (Norrhydro 2022c.)

Opinnäytetyön aihe keskittyy yrityksen tuotteista juuri sähkömekaanisiin sylintereihin. Norrhydro Oy osti ja fuusioitui Motiomax-nimisen yrityksen kanssa vuonna 2021. Motiomaxin toimialana on sähkömekaanisten sylintereiden suunnittelu ja valmistus. ”Motiomax by Norrhydro” tuotteita on myyty joitakin yksittäiskappaleita jo asiakkaille, mutta varsinaista sarjatuotantoa ei ole vielä ollut. Opinnäytetyön tarkoituksena on jatkokehittää osittain valmiiden 3D-mallien ja suunnitelmien pohjalta alumiinirunkoisia sylintereitä henkilönostinkäyttöön. Tuoteperheajattelun ja automaatiomallinnusohjelmoinnin avulla muiden sähkömekaanisten sylinterien kehitys ja suunnittelutyö helpottuu merkittävästi tulevaisuudessa.



Kuva 1. Uusi tehdashalli rakenteilla (Norrhydro 2022c)

3 HYDRAULISYLINTERI

Hydraulisyylinteri on hydraulijärjestelmän toimilaite, jonka tarkoituksena on tuottaa lineaariliikettä. Hydraulisyylinteriä käytetään pääasiassa liikkeenohjaukseen ja se toimii ikään kuin järjestelmän lihaksena, joka liikuttaa siihen kytkettyä laitetta. Sylinteri toimii järjestelmässä kiertävän hydraulinesteen avulla ja muuntaa hydraulisen energian mekaaniseksi liikkeeksi ja voimaksi. Hydraulisyylintereitä käytetään monissa hydraulijärjestelmissä sisältävissä laitteissa eri käyttötarkoituksiin. Yleisempiä käyttökohteita ovat raskaankaluston ajoneuvot, laivat, nostimet, lentokoneet ja teollisuuden eri käyttökohteet. (Hydroline 2022.)

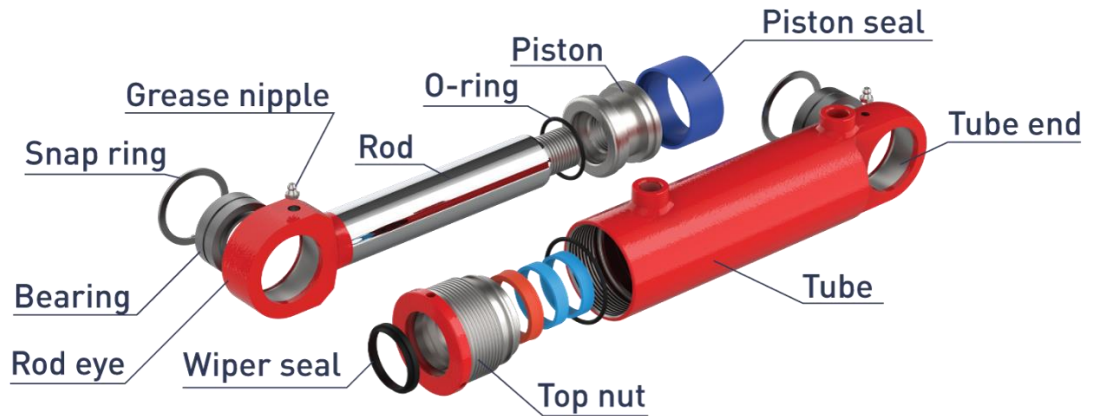
3.1 Hydraulisyylinterimallit

Hydraulisyylinterit jaetaan yleensä karkeasti yksitoimisiin ja kaksitoimisiin sylintereihin. Yksitoimiset sylinterit tuottavat liikkeen vain yhteen suuntaan (Kuva 2). Järjestelmän tuottama tilavuusvirta pääsee vaikuttamaan sylinterin mäntään vain toiselta puolelta ja ajaa sylinterivartta sisään tai ulos sylinteriputkesta. Vastakkainen liike tuotetaan yleensä ulkoisen kuorman tai mekaanisen rakenteen avulla. (Hydroline 2022.)



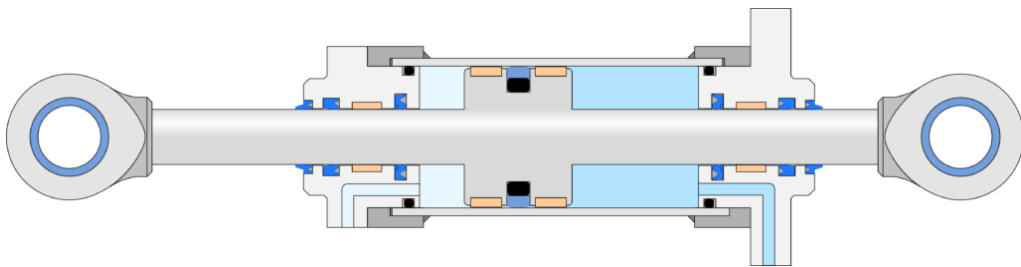
Kuva 2. Yksitoimisen hydraulisyylinterin rakenne (Hydroline 2022)

Kaksitoimisessa sylinterissä tilavuusvirta voidaan ohjata mäntään molemmille puolille ja sylinteri tekee liikkeen molempiin suuntiin (Kuva 3). Molemmat, yksi- ja kaksitoiminen sylinteri, ovat yhdellä mäntänvarrella varustettuja sylintereitä. Tämä on yleisin sylinterirakennetyyppi. Mäntä on yleensä kiinnitetty mäntänvarren päähän, ja mäntä jakaa sylinteriputken sisällä sylinterin kahteen kammioon. Mäntänvarren puoleinen kammio on mäntänvarren tilavuuden verran pienempi. Mäntän pienemmästä pinta-alasta varren puolella johtuen sylinterin vetävä voima on pienempi kuin työntävä voima. (Hydroline 2022.)



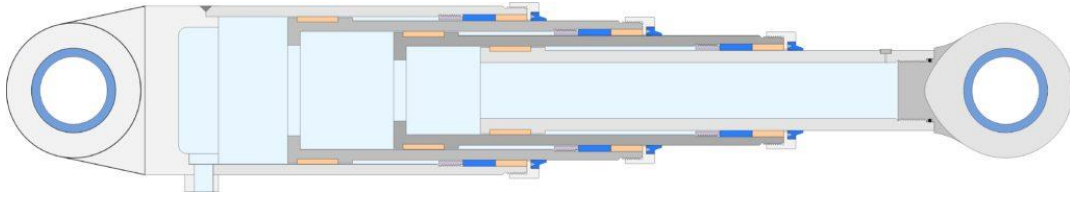
Kuva 3. Kaksitoimisen hydraulisynterin pääosat (Hydroline 2022)

Yksitoimisten ja kaksitoimisten hydraulisynterimallien lisäksi on olemassa myös muutamia muita harvinaisempia sylinterimalleja. Muita malleja ovat muun muassa kaksipuolisella männänvarrella olevat sylinterit ja teleskooppisynterit. Kaksipuolisella männänvarrella varustetussa sylinterissä männänvarsi kiinnittyy molemmilta puolilta mäntään ja varsi kulkee sylinteriputken läpi (Kuva 4). Kaksipuolisella männänvarrella olevaa sylinteriä voidaan ajaa samalla voimalla molempiin suuntiin. Sylinterin männän pinta-ala on molemmin puolin sama. Sylinterin nopeus on myös täten sama molempiin suuntiin ajettaessa. (Passion engineering 2022.)



Kuva 4. Kaksipuolisella männänvarrella olevan sylinterin rakenne (Passion engineering 2022)

Teleskooppisyntereitä käytetään käyttökohteissa, joissa sylinteriltä vaadittava iskunpituus on suuri ja sylinterille varattu tila pieni. Sylinteri koostuu useasta sisäkkäin menevästä putkimallisesta männänvarresta (Kuva 5). Teleskooppisyntereitä on olemassa yksi- ja kaksitoimisia. (Passion engineering 2022.)



Kuva 5. Teleskooppisylinteri (Passion engineering 2022)

3.2 Hydraulisylinterin hyödyt ja haitat

Hydraulisylinterien etuina sähköisiin toimilaitteisiin verrattuna ovat niiden suuri tehotiheys, hyvä tehonvälityskyky, yksinkertainen rakenne ja suurien voimien hallinta. Hydraulisylinterien hinta ja saatavuus ovat myös etuja sähkösylintereihin verrattuna. (Nordfors 2015, 2.)

Hydraulisylinterin huonoja puolia EMA-sylintereihin verrattuna on niiden vaatima erillinen hydraulijärjestelmä voimayksikköineen, tankkeineen ja letkuineen. Järjestelmän komponentit vievät myös tilaa ja komponenttien määrän kasvaessa myös järjestelmän vikaantumisherkkyys kasvaa. Hydraulijärjestelmän ongelmana ovat myös vuodot, melu ja eri syistä johtuvat järjestelmän paineenvaihtelut. (Nordfors 2015, 2.) Hydraulisylinterin ohjaustarkkuus on yleisesti karkeampi kuin sähkösylinterin. Hydraulijärjestelmä vaatii toimiakseen hydraulinesteen, jonka puhtaus on järjestelmän toiminnan ehto. Nesteen puhtaus- ja laatuvaatimukset aiheuttavat myös lisää vaatimuksia järjestelmältä. Hydraulijärjestelmien käyttö puhtautta vaativissa olosuhteissa on mahdotonta vuodoista johtuen. Perinteisen hydraulijärjestelmän energiatehokkuus on myös huonompi verrattuna sähkösylinterillä toimivaan järjestelmään. Hydraulijärjestelmän pumppu pyörii koko ajan täydellä teholla antaen järjestelmään maksimi käyttöpaineen voiman tarpeesta riippumatta. (Norrhydro 2022b.)

Norrhydro Oy on kehittänyt patentoidun Norrdigi-järjestelmän, jonka tarkoituksena on parantaa hydraulijärjestelmän energiatehokkuutta, ohjaustarkkuutta ja energiantalteenottoa. Järjestelmä sisältää digihydrauliikkaa, johon kuuluvat patentoidut monikammiosylinterit, painevaraajat sekä ohjausjärjestelmä. Sen ideana on optimaalinen voimantuotto kulloiseenkin työhön sopivaksi. Järjestelmää on kehitetty yhteistyössä Volvo CE:n kanssa. (Norrhydro 2022b.)

4 SÄHKÖMEKAANINEN SYLINTERI

Sähkömekaaninensylinteri on liikkeenohjaukseen käytettävä toimilaite, joka muuntaa sähköenergian mekaaniseksi liikkeeksi (Kuva 6). Sähkömekaanisesta toimilaitteesta käytetään yleisesti englanninkielistä lyhennettä EMA (Electro mechanical actuator). Sähkömoottorin pyörivä liike voidaan muuttaa mekaaniseksi lineaariliikkeeksi erilaisilla ruuviratkaisuilla. (Gonzalez 2018, 1.) Kuula- tai rullaruuvilla toimivan sylinterin toimintaperiaate vastaa pitkälti työstökoneen ohjaukseen käytettäviä kierretankoratkaisuita. Sähkömekaanisensylinterien pääasialliset käyttökohteet ovat aiemmin olleet tehdasautomaatiosovellutukset, pakkauslaitteet ja lääketeollisuus, eli pientä voimaa vaativat sovellukset. (Olson 2019, 1.) Motiomax by Norrhydro sylinterit on kuitenkin kehitetty aiempaa suurempia voimia vaativiin sovellutuksiin.



Kuva 6. Motiomax-sähkömekaaninen sylinteri (Norrhydro 2022a)

4.1 Toimintaperiaate, hyödyt ja sovellutukset

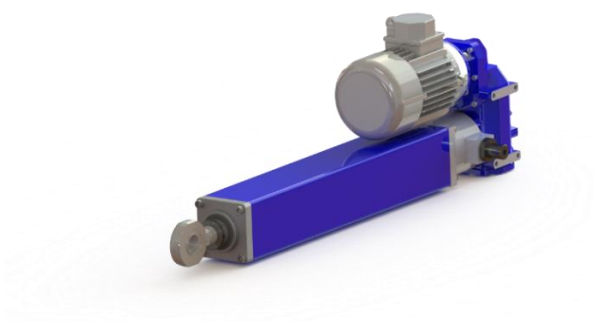
EMA-sylintereitä on kehitetty jo pitkään ja valmistajia on maailmalla useampia. Sylintereiden toimintaperiaatteet eroavat valmistajien kesken vähän toisistaan. Suurimmat erot valmistajien kesken ovat komponenttivalinnoissa ja sylintereiden tuottaman voiman suuruudessa. Erot komponenttien valinnan suhteen näkyvät

pääasiassa ruuvin ja sähkömoottorin valinnassa. Sylintereiden liikkeentuottamiseen käytetään kuula- ja rullaruuveja. Kuularuuvivalmistajilla on olemassa normaalikäyttöön ja raskaaseen käyttöön suunniteltuja kuularuuveja. Raskaaseen käyttöön suunnitelluissa kuularuuveissa ruuvin kuulat ovat suurempia ja kestävät paremmin kuormitusta. Raskaaseen käyttöön suunnitellut kuularuuvit ovat kuitenkin kalliimpia. Rullaruuvi on kuularuuvin käytölle vaihtoehtoinen ratkaisu. Rullaruuvin ja kuularuuvin erot ovat niiden laakerointiratkaisuissa. Motiomax by Norrhydro sylintereissä on päädytty käyttämään kuularuuvia. (Norrhydro 2022a.)

EMA-sylintereiden sähkömoottorivalinnat poikkeavat valmistajien kesken ja käyttökohteesta riippuen toisistaan. Sylintereissä käytetään yleisesti tasavirtamoottoreita. Moottorivalintojen suurimmat eroavaisuudet ovat moottorien voimantuotossa ja koossa. Sylinterin käyttökohteessa saatavilla oleva virranlaatu vaikuttaa myös sylinterin moottorin valintaan.

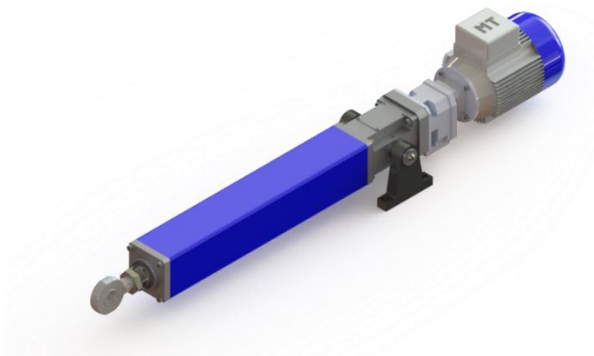
EMA-sylinterikokoonpanon ulkomuoto voi vaihdella käyttökohteesta ja sen tilantarpeesta riippuen. Ulkomuodon määrittää sähkömoottorin sijainti muuhun sylinterirakenteeseen nähden. Motiomax by Norrhydro- sylintereissä käytössä olevia sylinterirakenteen muotoja ovat U, I, L ja X- muoto. Saman tyyppisiä rakenteen muotoja käyttävät myös monet muut sylinterivalmistajat. (Norrhydro 2022a.)

U-mallinen sylinteri on sylinterityypeistä yleisin. Sylinterin sähkömoottori on sijoitettu sylinteriputken yläpuolelle. Sähkömoottori ja sylinterivarsi muodostavat U-muodon nimensä mukaisesti (Kuva 7). Moottorin sijoittelusta johtuen sylinterimallin vaihteistoratkaisuissa käytetään yleisesti kulmavaihdetta. Kulmavaihteen lisäksi voidaan käyttää myös planeettavaihteistoa. Sylinterimallia käytetään erityisesti kohteissa, joissa sylinterille suunniteltu tila on ahdas pituussuunnassa. (Norrhydro 2022a.)



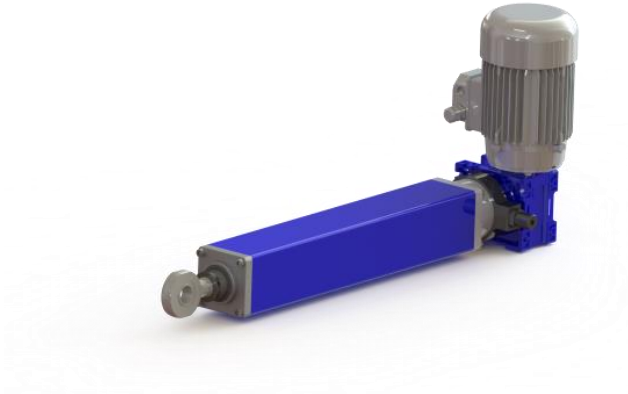
Kuva 7. U-muotoinen sylinteri (Norrhydro 2022a)

I-mallisessa sylinterissä sylinterin sähkömoottori on sijoitettu sylinteriputken päähän. Sähkömoottori ja sylinteriputki muodostavat I-mallisen muodon nimensä mukaisesti (Kuva 8). Sylinterin vaihteistoratkaisuna käytetään yleensä planeetta-vaihteistoa. Sylinterimuotoa käytetään kohteissa, joissa sylinterille suunniteltu tila on ahdas korkeussuunnassa.



Kuva 8. I-muotoinen sylinteri (Norrhydro 2022a)

L-mallisessa sylinterissä sylinterin sähkömoottori on sijoitettu sylinteriputken päähän pystyasentoon. Kokoonpano muodostaa L-kirjainta muistuttavan muodon nimensä mukaisesti (Kuva 9). Sylinterimuotoa käytetään kohteissa, joissa muoto on edullisin tilaratkaisun kannalta.



Kuva 9. L-muotoinen sylinteri (Norrhydro 2022a)

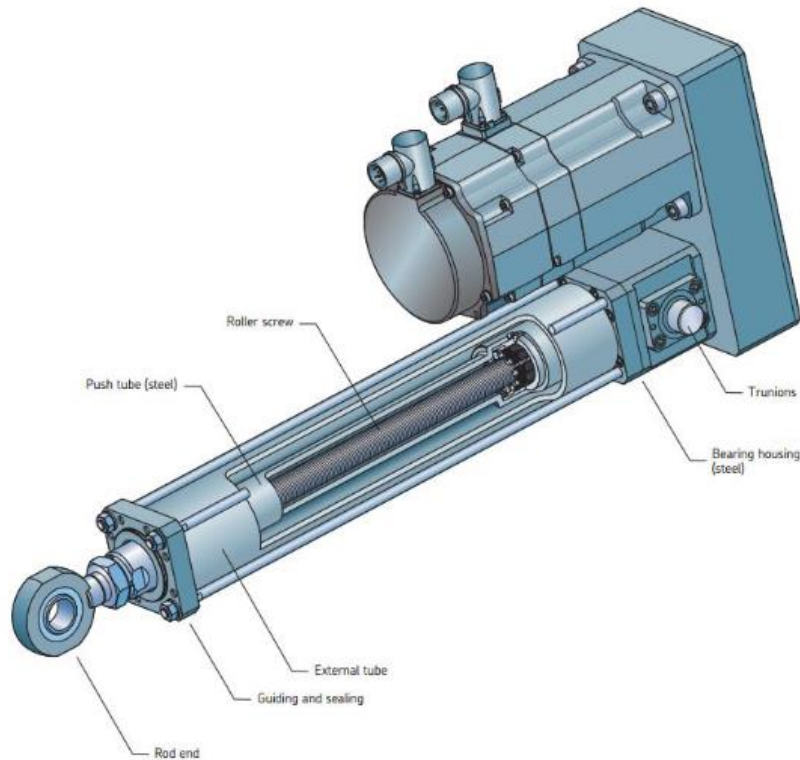
X-mallisessa sylinterissä sylinterin sähkömoottori on sijoitettu, kuten U-mallissa sylinterissä sylinteriputken päälle (Kuva 10). Sylinterimuodossa sylinterivarsi on läpimenevää mallia ja sylinteri tuottaa liikettä molempiin suuntiin. Sylinterimuodon käyttökohteita ovat erilaiset ohjaustratkaisut ja sylinteriltä molempiin suuntiin liikettä vaativat käyttökohteet.



Kuva 10. X-muotoinen sylinteri (Norrhydro 2022a)

EMA-sylinterin toimintaperiaate on yksinkertainen (Kuva 11). Sylinterin sähkömoottori pyörittää ruuvia suoraan tai vaihteiston kautta. Vaihteistona toimii suora hammasratasvaihteisto tai planeettavaihteisto. Käyttökohteen vaatimuksista ja sylinterirakenteen muodosta riippuen sylinterissä voi olla myös molemmat vaihteistoratkaisut. Ruuvien pyöriessä sen päällä oleva kuulamutteri liikkuu työntäen samalla sylinterinvarrtta ulos tai sisään. Sylinterinvarren pituudesta riippuen sillä

voi olla sylinteriputken sisällä useampi tukilaakerointipiste. Sylinterinvarren pysähtyessä seisontajarruna käytetään sähkömoottorissa olevaa kitkalevyä, joka lukitsee varren haluttuun asentoon. Seisontajarru toimii vain sylinterin pysähtyessä, sekä hätätapauksissa. Normaaliliikkeessä jarrutuksesta vastaa sähkömoottori itsessään. (Lehto 2022.)



Kuva 11. Sähkömekaanisen sylinterin rakenne. (Nordfors 2015, 4)

Sähkömekaanisensylinterien käytölle on olemassa monia erilaisia etuja verrattuna perinteisiin hydraulisylintereihin. Sähkömekaanisetsylinterit ovat hyvin energiatehokkaita hydraulisylintereihin verrattuna hyötysuhteen ollessa jopa 80–90 %:n luokkaa. Perinteisellä hydraulikalla toimivan laitteen hyötysuhde kärsii hydraulipumpun pyöriessä täydellä teholla koko ajan laitetta käytettäessä ja pitäen käytettävissä olevan voiman suurimmillaan. Sähköistetyssä järjestelemässä energiaa hyödynnetään vain kulloiseenkin liikkeeseen tarvittava määrä. Lisäksi sylinterien käyttämää energiaa voidaan ottaa talteen muun muassa sylinterien ajaman laitteen laskuliikkeessä.

Sähkösylinterit ovat myös ympäristöystävällisempiä niiden vähäisen voiteluainetarpeen ja öljytilavuuden vuoksi. Hydraulisyntereitä käyttävien koneiden kuten metsäkoneiden, traktoreiden ja maatalouskoneiden riskinä on aina hydraulines-tevuodot. Hydraulisynterinin vuoto tai letkun katkeaminen saastuttavat luontoa merkittävästi. Sähkömekaaniset sylinterit sopivat hyvin myös kohteisiin, joissa puhtausvaatimukset ovat korkealla tasolla. Elintarviketeollisuus ja lääketeollisuus ovat esimerkkejä toimialoista, joissa tuotteiden puhtausvaatimukset ovat korkealla tasolla. Myös tuotteiden pilaantumisen estäminen laitevian takia on tärkeää. Sähkömekaaniset sylinterit mahdollistavat lisäksi laitteiden tarkat ja helposti kontrolloitavat liikkeet, ne pienentävät elinkaarikustannuksia, sekä ovat helposti huollettavissa. (Norrhydro 2022a.)

Sähkömekaanisten sylinterien ongelmana pidetään yleisesti niiden hintaa verrattuna hydraulisyntereihin. Sähkömekaanisten sylinterien komponentit ovat kalliita ja niiden toimitusajat ovat pitkiä. Viime vuosina syntereiden käyttämien sähkömoottorien ja ohjaimien hinnat ovat kuitenkin olleet laskussa. Suurissa sylintereissä ongelmaksi voi muodostua myös sähkömekaanisen sylinterin tilantarve. Sylinteriä pyörittävä sähkömoottorin koko ja tilantarve suurenee, mitä enemmän voimaa tarvitaan. (Nordfors 2015, 6.) Sähkömoottorin jäähdytysongelmat voivat myös tulla kysymykseen suurien syntereiden kohdalla. Pienempien moottorien jäähdytys on toteutettu johtamalla moottorin rungon ritilöitä myöten. Suuremmissa syntereissä moottorin riittävän jäähdytystehon aikaansaanti voi vaatia nestejäähdytystä. Jäähdytysjärjestelmän rakentaminen on kallista, tilaa vievää ja lisää laitteen vikaantumisherkkyttä. (Lehto 2022.)

Motiomax by Norrhydro tuotteiden- tavoitteena on kehittää sähkömekaanisia syntereitä aiempaa suurempia voimia vaativiin käyttökohteisiin. Tavoitteena on kehittää syntereitä, jotka toimivat vaihtoehtona yrityksen myymille liikkuvaan kalustoon ja teollisuuteen suunnitelluille hydraulisyntereille. Tulevaisuuden käyttökohteina voivat olla muun muassa metsäkoneet, tavarankäsittelykoneet, laivat ja kaivoskoneet. EMA- syntereiden käytölle on kuitenkin olemassa omat haasteensa. Aiemmin mainitun jäähdytysjärjestelmän lisäksi syntereiden suuri määrä samassa laitteessa voi olla ongelmallista. Käyttökohteen vaatima syntereiden suuri määrä aiheuttaa oman haasteensa hydraulijärjestelmään nähden. Jokainen

EMA-sylinteri sisältää oman sähkömoottorinsa ja moottoreiden suuri määrä yhdessä laitteessa voi nostaa järjestelmän hintaa ja painoa huomattavasti.

Sylintereiden tulevaisuuden käytön kannalta tärkeää onkin ratkaista energian talteenottoon, jäähdytykseen ja järjestelmän laajuuteen liittyviä ongelmia. Sähkötekniikan koko ajan kehittyessä myös tulevaisuuden kompaktimmat ja tehokkaammat sähkömoottoriratkaisut voivat olla seuraava kehitysaskel. (Lehto 2022.)

4.2 Pääosat

Sähkömekaanisensylinterin rakenne on hyvin yksinkertainen. EMA-sylinterin pääkomponentit ovat sähkömoottori, kuularuuvi, vaihteisto, sylinterinvarsi, runko ja kiinnityskorvakkeet. Komponenttien koko, materiaali ja muotoilu voivat vaihdella asiakkaan vaatimuksista riippuen.

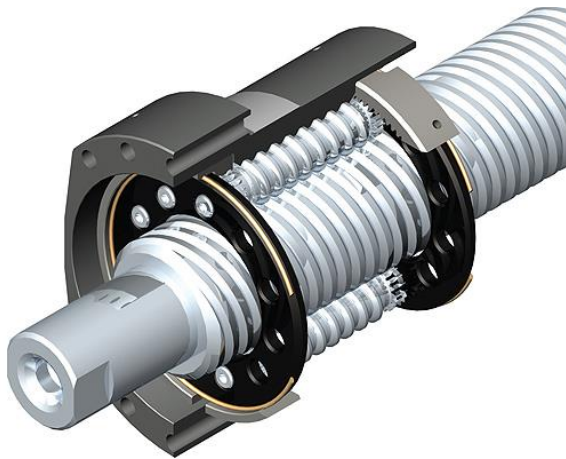
EMA-sylinterin tärkein komponentti on sylinterin lineaariliikkeestä vastaava kuula- tai rullaruuvi. Kuula- tai rullaruuvi muuntaa sylinterin sähkömoottorin pyörivän liikkeen lineaariliikkeeksi. Kuularuuvi rakentuu kierretangosta ja sen läpi kulkevasta mutterista. Kuularuuvin mutteri on umpinainen pitkähkö mutteri, jonka sisäkehällä kulkee ympäriinsä kuulaurat (Kuva 12). Urat ovat pieniä laakerikuulia varten, jotka kulkevat uria pitkin mutterin sisällä. Laakerikuulien tehtävänä on jakaa mutterille tuleva voima mahdollisimman tasaisesti. Laakerikuulat pyörivät kuularuuvin mutterin sisällä samaan tapaan kuin perinteisessä kuulalaakerissa. Tällä eliminoidaan kuularuuvin liukukitkaa. Kuularuuvin sisäinen kitka on hyvin alhainen, minkä ansiosta kuularuuveilla on erittäin korkea hyötysuhde ja asento-tarkkuus. (Heason 2020.)



Kuva 12. Kuularuuvin läpileikkaus. (Heason 2022)

Kuularuuvivalmistajia on maailmalla useita ja kuularuuveille on olemassa oma standardinsa ISO 3408. Standardi määrittelee kuularuuveista käytettävän terministön, valmistustoleranssit, lujuusominaisuudet yms. valmistuksen ja käytön kannalta olennaiset tiedot. Standardointi auttaa myös EMA-sylintereiden suunnittelutyötä. Kuularuuvivalmistajien yhtenäisen lujuuslaskentatavan ansiosta oikean kokoisen kuularuuvin valinta kuhunkin käyttökohteeseen on helppoa. Kuularuuvi kokoja on tarjolla suuret määrät ja erilaisia vahvistettuja suuremman kuorman kestäviä sovellutuksia on myös saatavilla. Kuularuuvien käyttöikä on pitkä ja huollontarve vähäinen. Kuularuuvin ainoa huoltotoimenpide on ruuvien ajoittainen rasvaaminen. (Lehto 2022.)

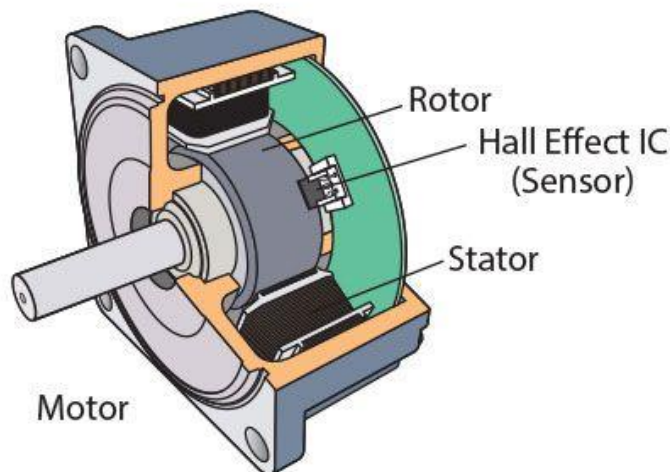
Lineaariliikkeen tuottamiseksi on olemassa myös kuularuuvista hieman poikkeava ratkaisu. Osa EMA-sylinterivalmistajista käyttää kuularuuvien sijasta rullaruuveja, joissa laakerointi tapahtuu kierteisten ruuvien avulla (Kuva 13). Rullaruuvien etuna on jatkuva suuri laakeroinnin kontaktipinta-ala. Tämän ansiosta rullaruuvilla on perinteistä kuularuuvia parempi kuormankantokyky. (Nordfors 2015, 5.)



Kuva 13. Rullaruuvin poikkileikkaus (Designworld 2010)

EMA-sylinterin toinen pääkomponentti on sähkömoottori, jolla sylinteriä ajetaan. Voimanlähteenä käytetään yleisesti voimantarpeesta riippuen 3-vaihemoottoria, sekä matala- tai korkeajännitteistä tasavirtamoottoria. Moottorin valintaan vaikuttaa myös käyttökohteessa käytettävä sähköjärjestelmä. Tasavirtamoottori toimii tasavirralla. Tasavirtamoottoreissa sähkökentän muutokset roottorissa tapahtu-

vat vaihtamalla magneettien napaisuutta kommutaattorin eli sähkövirran suunnankääntäjän avulla (Kuva 14). Moottoreita on olemassa harjallisia ja harjattomia. Harjalliset moottorit ovat vanhempaa tekniikkaa ja vikaherkempiä kuin uudemmat harjattomat moottorit. Harjaton moottori on kuitenkin hieman monimutkaisempi kuin harjallinen. Harjaton moottori tarvitsee avukseen ohjauselektroniikkaa, jonka avulla moottoria ohjataan. (Motiva 2022.)



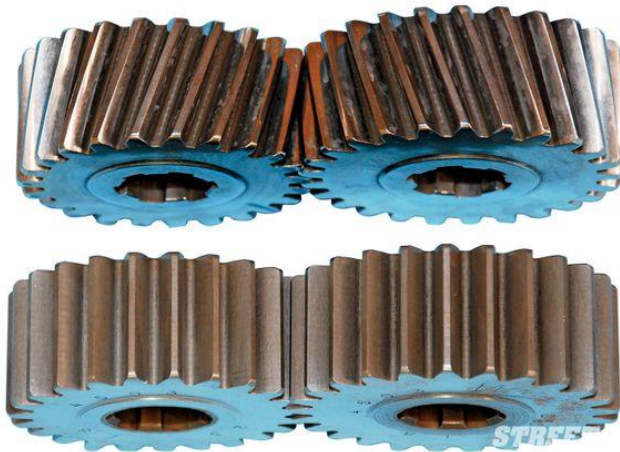
Kuva 14. Harjattoman tasavirtamoottorin rakenne (Orientalmotor 2022)

Motimax by Norrhydro EMA sylintereissä- käytettävät tasavirtamoottorit ovat hiiharjattomia ja vaativat hyvin vähän huoltoa. Moottori on myös helposti vaihdettavissa sen käyttöiän tullessa täyteen. Motimax by Norrhydro sylintereissä- käytettävät sähkömoottorit sisältävät mekaanisen seisontajarrun, joka kytkeytyy päälle automaattisesti moottorin ollessa virrattomana. Normaalisssa sylinterin liikkeessä jarrutus tapahtuu kuitenkin moottorin avulla.

Sähkömoottoreiden valmistajia on maailmalla paljon ja niiden hinnat ovat laskeutuneet viime vuosina. Moottoreita on voiman tarpeesta riippuen eri kokoisia ja eri ominaisuuksilla. Moottoritehon noustessa yli 20 kW:iin on moottorin nestejäähdytys suositeltavaa ylikuumentumisen ehkäisemiseksi. (Lehto 2022.)

Motimax by Norrhydro -EMA-sylintereiden yhtenä vaihteistoratkaisuna käytetään suorahampaista hammasratasvaihteistoa. Hammasratasvaihteiston etuina ovat helppo valmistettavuus, luotettavuus, välityssuhteen helppo muokattavuus

ja vähäinen voiteluntarve. Vaihteiston voitelutapana on roiskevoitelu. Suorahampainen vaihteisto aiheuttaa vähemmän aksiaalista kuormaa vaihteistolle kuin vinoampainen vaihteisto. Lisäksi se on kestävämpi ja energiatehokkaampi kuin vinoampainen vaihteisto. Suorahampaisen vaihteiston suurin ongelma verrattuna vinoampaiseen on sen äänekkyyttä. (Horsepowerful 2022.) Kuvassa nähdään suoran ja vinoampaisen hammasratiaan erot (Kuva 15).



Kuva 15. Suorahampainen ja vinoampainen hammasratas (Ferne 2016)

Motimax by Norrhydro U- ja X-muotoisten EMA-sylinterien vaihteisto koostuu vaihteiston kotelosta, kahdesta hammaspyörästä ja mahdollisesta välipyörästä. Välipyörä ei osallistu vaihteiston välityssuhteen säätelyyn, vaan sen tarkoituksena on pidentää moottorin ja sylinterirungon välistä etäisyyttä toisiinsa nähden. Tämä tulee eteen varsinkin U- tai X-muotoista sylinteriä suunniteltaessa. Vaihteistokotelo toimii vaihteiston öljysäiliönä, jonka sisällä vaihteiston roiskevoitelu tapahtuu. Lisäksi kotelo suojaa vaihteiston osia lialta ja vierasesineiltä.

Vaihteistoon voi kuulua käyttökohteesta riippuen lisäksi myös planeettavaihteisto. Planeettavaihteisto sisältää kolme osakokonaisuutta: aurinkopyörän, planeettapyörät ja kehäpyörän. Vaihteiston toimiessa keskellä oleva aurinkopyörä pyörittää hammaskosketuksissa olevia planeettapyöriä, jotka taas pyörittävät ympärillä olevaa kehäpyörää. Vaihteiston välityssuhdetta voidaan muuttaa hammasrattaiden halkaisijaa ja hammaslukua muuttamalla. Planeettavaihteisto on kestävä ja vähän huoltoa sekä tilaa vaativa ratkaisu suurien momenttien välittä-

miseksi. EMA-sylinterissä planeettavaihteiston tehtävänä on pehmentää sylinterin ajoa ja muuntaa rajallisesti muunnettavissa olevan suorahampaisen vaihteiston välityssuhdetta. (Lehto 2022.) Kuvassa yksinkertainen EMA-sylintereissäkin käytetty planeettavaihteisto (Kuva 16).



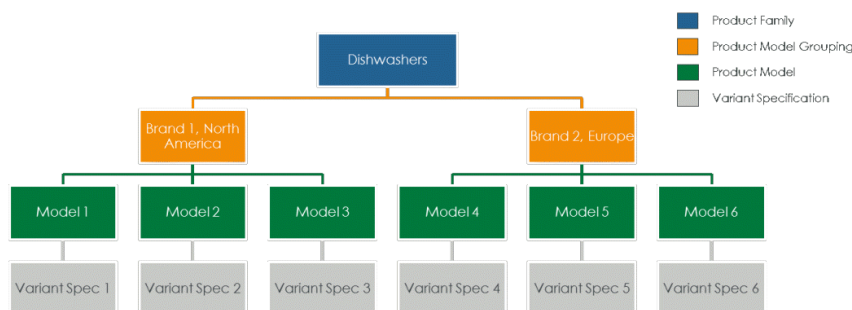
Kuva 16. Planeettavaihteisto (iStock 2022)

EMA-sylinterin runko-, sylinterivarsi- ja kiinnityskorvakeratkaisut vaihtelevat asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Sylinterin rungon materiaaleina käytetään teräs- ja alumiiniputkea. Alumiiniputken käytön mahdollistaa sylinterin runkoon vaikuttavien voimien vähyys. Hydraulisyylinterin putken materiaali ei voi olla alumiinista sylinterin sisällä vaikuttavan paineen takia. EMA-sylintereissä putkeen ei kohdistu samanlaista painetta. Sylinterivarsi voidaan valmistaa myös joko alumiinista tai teräksestä. Materiaalin valintaan vaikuttavat käyttökohteesta riippuen sylinteriin vaikuttavien voimien suuruus. Sylinterivarret valmistetaan putkivarsina, kuularuuvien tilatarpeesta johtuen. Kiinnityskorvakeratkaisut vastaavat hydraulisyylintereissä olevia. Korvakkeiden muotoilu, sijoittelu ja materiaali suunnitellaan kulloinkin asiakkaan vaatimaan tarpeeseen.

5 TUOTEPERHEAJATTELU

Tuoteperheajattelun tavoitteena on yhtenäistää yrityksen tuotteita ominaisuuksiltaan, ulkonäöltään ja koostumukseltaan sekä muokata yrityksen brändiä tunnistettavaksi. Tuoteperhe on kokoelma yrityksen eri tuotteita, jotka ovat asiakkaan tunnistettavissa tietyn yrityksen tuotteiksi. Tuoteperhe ja tuotepaketti eroavat käsitteenä hieman toisistaan. Tuoteperhe koostuu yksittäin ostettavista toisiinsa liittyvistä tuotteista, kun taas tuotepaketti koostuu yhteen pakatusta joukosta yrityksen tuotteita (Kuva 17). Tuoteperheen tuotteet luovat usein lisäarvoa toisilleen. Asiakkaan ostaessa yhden tuoteperheen tuotteista voi hän huomata tuoteperheen toisen tuotteen tuovan lisäarvoa jo aiemmin ostetulle tuotteelle. Tuoteperheellä voidaan saavuttaa liiketoimintastrategia, joka luo kustannussäästöjä tuotteiden rakenteen ja suunnittelun yhtenäistämisellä. Tuotteiden rakenteen yhtenäistämällä voidaan päästä myös tuotannon yhtenäistämiseen, joka tuo myös lisäsäästöjä. (Kenton 2022.)

Yrityksen tuotteiden brändäys helpottuu myös tuotteiden yhtenäistämällä. Tuoteperheen eri tuotteiden ulkonäkö, pakkaus ja hinnoittelu ovat yhtenäisiä. Tämän avulla kuluttajan kulutustottumuksia on helpompi muokata. Kuluttaja luo luottamuksen yrityksen tuotteisiin ostamalla yhden tuoteperheen tuotteista ja toteamalla sen toimivaksi. Kuluttaja valitsee tämän jälkeen tuoteperheen muita tuotteita helpommin. Usein tuoteperhe koostuu päätuotteesta, jonka ympärille muu tuoteperhe perustuu. (Kenton 2022.)



Kuva 17. Tuoteperheen rakenne (Ptc 2022)

Hyvänä esimerkkinä onnistuneesta tuotepiheajattelusta toimii suomalainen Fiskars group. Fiskars group suunnittelee ja valmistaa tuotteita mm. puutarhanhoitoon, ruoanlaittoon ja askarteluun. Yrityksen tuotteet tunnetaan niiden väristä, muotoilusta ja laadusta. Tunnetuimpana tuotteena voidaan pitää yrityksen valmistamia saksia, joiden muotoilu ja kahvojen oranssi väri ovat kaikkien tunnistettavissa. (Fiskars 2022.) Yrityksen brändi on niin vahva, että se usein yhdistetään jo suoraan itseisarvona tuotteeseen. Esimerkkinä saksista tulee monelle kuluttajalle ensimmäisenä mieleen juuri yrityksen valmistama oranssikahvainen malli. Yrityksen eri käyttötarkoituksiin suunnitellut tuotteet ovat muotokieleltään, väriykseltään, materiaaleiltaan, valmistustavaltaan ja laadultaan tunnistettavissa saman tuotepiheen tuotteiksi (Kuva 18).

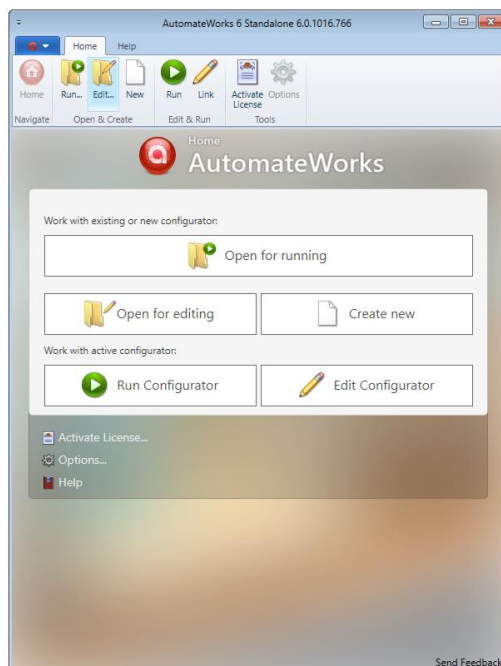


Kuva 18. Fiskars-tuotepiheen tuotteita (Fiskars 2022)

Vastaavaa tuotepiheajattelun konseptia on tarkoitus hyödyntää myös sähkömekaanisten sylinterien valmistuksessa. Sylinterien keskinäinen yhtenäinen rakenne antaa mahdollisuuden hyödyntää tuotepiheajattelua ja sen tuomia etuja. Sylinterien ulkonäön osalta värit ja rakenteen muoto vaihtelevat kuitenkin asiakkaan vaatimusten mukaan. Asiakaskohtainen tuotepiheajattelu on kuitenkin helpommin toteutettavissa. Hyödynnettävänä etuina on sylinterien pääkomponenttien tilaamiseen, valmistamiseen ja kokoonpanoon liittyvien prosessien yhtenäistämisen mahdollisuudet ja sitä kautta säästöjen luominen.

6 SUUNNITTELUN AUTOMATISOINTI

Suunnittelun automatisoinnilla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä suunnittelutyöhön tarkoitettujen automatisointiohjelmistojen käyttöä. Automatisointiohjelmistojen tarjoajia on markkinoilla useita. Suurimmilla suunnitteluohjelmistoja kehittäville yrityksillä on tarjolla suunnitteluohjelman lisäosana myös suunnittelun automatisointiin tarkoitettuja ohjelmistoja. Ohjelmistokehittäjien rinnalla on myös automatisointiohjelmistojen käyttöä ja opastusta tarjoavia palveluyrityksiä. Palveluntarjoajat voivat suorittaa asiakkaan haluamien suunnittelutöiden automatisoinnin asiakkaan puolesta. Suunnitteluautomaation avulla voidaan tehostaa suunnittelutyötä automatisoimalla rutiininomaiset ja toistuvat suunnittelutyöt. Automatisointi vähentää myös inhimillisten virheiden määrää suunnittelutyössä. (Cadworks 2022.)



Kuva 19. AutomateWorks käynnistysvalikko

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimivassa yrityksessä käytetään 3D-suunnitteluohjelmiana Solidworks-ohjelmistoa. Ohjelmistoon on hankittu lisäosana oma automatisoituun suunnitteluun kehitetty Automateworks-ohjelmisto (Kuva 19). Automatisointi tapahtuu Excel-pohjaisen konfiguroinnin avulla. Ohjelmisto lukee Excel tiedoston ja päivittää annettujen parametrien avulla halutut 3D-mallit, 2D-sketchit ja kokoonpanon materiaaliluettelot. Ohjelmointi on siis helppoa, eikä vaadi

varsinaista koodauksen osaamista. Automateworks-ohjelmiston käyttöliittymä on sisällytetty Solidworks-ohjelmaan, joten sen käyttö tapahtuu helposti ilman ohjelmiston vaihtoa. Toimivan automaation luominen on kuitenkin haasteellinen työ, joka voi usein vaatia syvempää perehtymistä yrityksen toimintamalleihin ja suunnittelutyön tarpeisiin (Aarni 2022, 10, 15.)

Ohjelmiston käytöstä on tehty aiemmin opinnäytetyö toimeksiantajayritykselle. Opinnäytetyössä ohjelmaa sovellettiin hydraulisylinterin suunnittelun automatisointiin. Opinnäytetyön perusteella automatisoinnin käyttöönotto loi omat haasteensa toimeksiantajalle. Ohjelma ei tunnista mallinnettuja osia ilman oikeanlaista sketchien nimeämiskäytäntöä. Osien sketchien nimeäminen jälkikäteen on hyvin aikaa vievä ja työläs operaatio. Lisäksi osakokoonpanojen tekemiseen vaadittiin erilainen rakenne, kuin mitä toimeksiantajayrityksessä yleensä käytetään. Ohjelma oli saatu toimivaksi opinnäytetyön aikana ja sitä oli koekäytetty. Ohjelmiston varsinaista käyttöönottoa ei ole kuitenkaan tehty opinnäytetyön tekemisen jälkeen.

7 MOTIOMAX-SYLINTERIN ESISUUNNITTELU

Opinnäytetyön aloituspalaverissa yrityksen yhteyshenkilön kanssa päädyttiin lähteä jatkamaan aiemmin alkanutta sylinterin suunnitteluprojektia. Yritys oli käynnistänyt uuden suunnitteluprojektin sähkömekaanisiin sylintereihin liittyen. Projektin asiakkaana toimii henkilönostimia valmistava yritys. Yritys suunnittelee ja valmistaa erilaisia henkilönostimia. Projektin tarkoituksena on suunnitella ja tarjota yhteen henkilönostinmalliin liikkeenohjausratkaisuna sähkömekaanisia sylintereitä. Nostimessa on yhteensä viisi erilaista työsylinteriä. Sylintereitä käytetään nostimen nostoon, ajolaitteeseen, vakaajaan, tukijalkoihin ja korin venytykseen. Projektin onnistuessa asiakkuus voi laajentua käsittämään myös yrityksen muut henkilönostinmallit.

Motiomax-tuotteita on kehitetty jo aiemmin henkilönostin käyttöön (Kuva 20). Yritys suunnitteli ja modifioi aiemmin sähköhydraulisen henkilönostimen pelkästään sähköllä toimivaksi. Nostimesta poistettiin hydraulikka kokonaan ja liikkeenohjaus toteutettiin sähkömekaanisilla sylintereillä. Muutostyö oli onnistunut ja sähkömekaanisten sylinterien käyttö nostimessa oli perusteltua. Yrityksen kokemus ja prototyypiprojektin kehitystyö antavat hyvän pohjan uudelle henkilönostinprojektille.



Kuva 20. Henkilönostimen sähköistys (Norrhydro 2022a)

7.1 Sylinterin päämitoitus ja rakenteen valinta

Nostimen sähköistyksellä saavutetaan monia huomattavia etuja hydraulisiin ratkaisuihin verrattuna. Suurimpina etuina ovat energiatehokkuus, tarkempi liikkeenohjaus, vähemmän komponentteja, pienet elinkaarikustannukset, parempi valmistettavuus ja pienempi melutaso. Sähköistämisen avulla saavutetaan myös energian talteenotto-ominaisuuksia ja komponenttien hyötysuhde paranevat. Nostimen tarkempi liikkeenohjaus lisää myös nostimella tehtävän työn työturvallisuutta. Sähköhydraulisen nostimen liikkeet ja nopeus ovat karkeammin säädettävissä. Liikkeiden epätarkkuuden takia nostokori heiluu enemmän ja voi aiheuttaa turhaa turvallisuusriskiä nostimella työskentelevälle. Sähköhydraulisen nostimen energiatehokkuus on myös huomattavasti huonompi. Laitteen hydraulipumppu pyörii koko ajan nostinta käytettäessä. Sähköistetty nostin käyttää akusolta saatavaa energiaa pelkästään kuhunkin liikkeeseen tarvittavan määrän. Nostimen laskuliikkeen aikana sähköenergiaa voidaan myös ottaa talteen sähkömekaanisien sylinterien avulla. (Lehto 2022.)

Sylintereiden päämitoitus alkoi asiakkaan lähtötietojen kartoittamisella. Opinnäytetyön toimeksiantajalla oli ennestään käytössä oma Excel-taulukko lähtötietojen kartoittamiseksi (Kuva 21). Lähtötietotaulukosta tiedot on helppo siirtää myöhemmin sylinterien laskentatyöhön. Taulukon haluttuun käyttöikään vaikuttaa nostimen arvioidut käyttötunnit ja sylinterien rakenne. Halutun käyttöiän nostamiseksi sylinterien komponenttien kokoa täytyy kasvattaa, mikä johtaa nouseviin kustannuksiin ja mahdollisiin haasteisiin sylinterin ulkomittojen osalta. Sylinterin mitoitus onkin kompromissi haluttujen ominaisuuksien, hinnan ja kestoajan välillä. Asiakkaalta saadut tärkeimmät lähtötiedot olivat voima, minimimita, liikematka, liikenoisuus, käyttöaika, suojausluokka ja käyttöolosuhteet. Suurimmat voimat ja liikematkat kohdistuvat odotetusti nostosylinteriin. Sylintereiden rungon materiaaliksi valittiin alumiini. Alumiinin etuina sylinterirungon materiaalina on keveys, korroosionkestävyys ja hyvä valmistettavuus. Sylinterin rungoksi kaavailtua alumiiniprofiiliputkea löytyy suoraan kaupoista ja sen vaatima työstöntarve on vähäistä.

Motiomax	Lähtötiedot	
	Sähkösylinteri	
	pvm	
Asiakas		
Yhteyshenkilö		
Käyttökohde		
Maksimi voima	kN	Jos voima muuttuu liikematkan aikana esitä käyrä erillisenä liiteenä!
Maksimi nopeus	mm/s	Jos nopeus muuttuu liikematkan aikana esitä käyrä erillisenä liiteenä!
Liikepituus	mm	
Toistotarkkuus	mm	
Liikkeen toistuvuus	kpl/h	
Käyttöaika	h/vrk	
Haluttu käyttöikä	vuotta	
Suojausluokka		
Moottorityyppi:	Käyttöjännite:	
Olosuhteet:		
Pintakäsittely:		
Rajakytkimet:		
Lisävarusteet, kuten asemanmittaus, voimanmittaus jne.:		
Rakenne:		
Liitteet: Kiinnitysmitat ja tavat, mittakuvat nykyisestä rakaisusta jne.		
Muut lisätiedot:		

Kuva 21. Lähtötietotaulukko (Lehto 2022)

Nostimen sylinterikokoonpanojen muodoksi valikoitui pääosin U-muoto. Muodon etuina on kompakti ja helposti valmistettava rakenne. Kokoonpanon muodon valintaan vaikuttaa eniten sylinterin vaatima tilantarve. Asiakkaan käyttökohteesta riippuen sylinterille suunniteltava tilantarve vaihtelee ja muodon valinnalla voidaan vaikuttaa sylinterin sopivuuteen asiakkaan laitekokoonpanossa. Muodon määrittävä sähkömoottorin sijoittelu voi olla ongelmallinen laitteissa, joissa on aiemmin käytetty hydraulisyntereitä. Jokainen sylinteri sisältää oman moottorinsa, ja tehon tarpeesta riippuen moottorin koko vaihtelee. Hydrauliiikalla toimivien laitteiden suora modifiointi sähköllä toimivaksi voi vaatia tätä kautta laajempaa suunnittelua. Projektin henkilönostimen osalta tilantarve ei nouse suureen rooliin. Asiakkaan nostimen nostopuomiin kiinnittyvä laitteisto on vähäistä. Nostimessa sylinterien tilantarpeeseen liittyvät ongelmat voivat ilmetä nostopuomin kuljetusasennossa. Myös kiinnitystarpeiden ja tapojen merkitys vaikuttavat sylinterikokoonpanon muodon valintaan.

Sylinterikokoonpanojen osien valinta perustuu asiakkaan lähtötietojen pohjalta tehtyihin laskentoihin, joita käsitellään opinnäytetyössä myöhemmin. Sylinterikokoonpanoon valittavat pääkomponentit ovat rungon, männänvarren ja männän materiaali, kuularuuvi, vaihteisto ja laakerointi. Rungon, männän ja männänvarren materiaalien valintaan vaikuttavat sylinteriltä vaadittavat käyttövoimat ja olosuhteet. Kriittisin ja kestoikään eniten vaikuttava komponentti on sylinterin kuularuuvi. Kuularuuvin mitoitus onkin sylinterinsuunnittelua eniten määrittelevä komponentti. Vaihteiston komponenttien suunnitteluun vaikuttaa kulloiseenkin käyttötarkoitukseen vaadittava liikematka ja nopeus. Vaihteiston välityssuhteella ja mahdollisella planeettavaihteistolla saavutetaan optimaalinen liikenopeus ja tarkkuus kulloiseenkin käyttökohteeseen.

Motimax by Norrhydro-sylintereiden moottoreina käytetään yleisesti 3-vaihe, sekä matala- ja korkeajännitteisiä tasavirtamoottoreita. Sylintereissä käytetään ainoastaan hiiliharjattomia sähkömoottoreita. Sylinterin suunnittelussa sähkömoottorin valintaan vaikuttavat moottorilta vaadittu vääntömomentti, pyörimisnopeus ja tehontarve. Sähkömoottoreita on saatavilla moneen käyttötarkoitukseen ja niiden teknisistä ominaisuuksista löytyy hyvin tietoa valmistajien sivuilta. Moottorin valintaa helpottaa yrityksen käyttämä laskentapohja, jota käytetään sylintereiden komponenttien mitoituksen suunnittelussa. Varsinainen moottorin valinta tapahtuu laskennan tuloksiin perustuen.

7.2 Sylinterien osien mitoitus ja laskenta

Sylinterien osien mitoitus alkoi yrityksen käyttämään laskentapohjaan tutustumalla. Laskenta suoritettiin yrityksen käyttämällä Excel-laskentapohjalla asiakkaan lähtötietoihin perustuen. Jokaiselle projektin sylinterille muodostui oma laskentapohjansa. Laskentapohjan avulla pystytään laskemaan kuularuuvin ja sähkömoottorin mitoituksen kannalta oleellisia arvoja. Kuularuuvin osalta laskentapohjalla pystytään laskemaan kuularuuvin liikeaika, staattinen varmuus ja käyttöikä (Kuva 22). Laskentapohjassa olevat kuularuuviin liittyvät laskentakaavat ovat suoraan johdettu kuularuuvistandardista ISO 3408.

Asiakas								
Projekti								
Sylinteri		Nosto						
		Annetut arvot		Lasketut arvot				
Lähtötiedot								
Kuorma			kN					
Liikematka			mm					
Liikenopeus			mm/s					
Liikeaika					#JAKO/0!	s		
Kuularuuvi								
Valmistaja								
Koodi								
Ruuvi								
Ruuvin halkaisija			mm					
Ruuvin nousu			mm					
Ruuvin staattinen kantavuus								
Staattinen kantavuus			kN					
Staattinen kuorma			kN					
Staattinen varmuus					#JAKO/0!			
Ruuvin käyttöikä								
Dynaaminen kantavuusluku			kN					
Kuorma			kN					
Nopeus			mm/s					
Käyttöikä					#JAKO/0!	Kierrosta		
Pyrimisnopeus					#JAKO/0!	1/min		
Käyttöikä					#JAKO/0!	h		
Käyttömatalka					#JAKO/0!	m		
Liikematka/liike			mm					
Edetakaisia liikkeitä					#JAKO/0!	kpl		
Käyttö h/vrk			h/vrk				Tunnissa	60 kertaa
Vuorokautta					#JAKO/0!	vrk	Tunnissa liikettä	#JAKO/0! h
Vuotta					#JAKO/0!	vuotta	Päivässä	4 h
							Vuorokaudessa liikettä	#JAKO/0! h/vrk

Kuva 22. Kuularuuvien laskenta (Lehto 2022)

Sähkömoottorin osalta laskentapohjan avulla pystytään laskemaan vaadittu vääntömomentti, tehontarve tasaisessa liikkeessä, vaihteen välityssuhde, virta, sylinterin pitovoima ja jarrun pitomomentti (Kuva 23).

Hyötysuhde	Alue			
Ruuvien hyötysuhde	0,93...0,97			
Planeettavaihteen hyötysuhde	0,92...0,96			
Rinnakkaisvaihteen hyötysuhde	0,94..0,96			
Kokonaishyötysuhde				
Teho ja vääntömomentti vakiotilassa				
Vääntömomentti			#JAKO/0!	Nm
Ruuvien pyörimisnopeus			#JAKO/0!	1/min
Ruuvien pyörimisnopeus			#JAKO/0!	1/s
Tehontarve tasaisessa liikkeessä			#JAKO/0!	kW
Moottori				
Moottorin pyörimisnopeus				1/min
Vaihteen välitysuhde			#JAKO/0!	
Moottorin momentti			#JAKO/0!	Nm
DC-moottori				
Jännite				V
Virta			#JAKO/0!	A
Vaihte				
Planeettavaihte 1	Alue		#JAKO/0!	Nm
Planeettavaihte 2	3,4,5,6			
Rinnakkaisvaihte välitysuhde	3,4,5,6		#JAKO/0!	
	2...10			
Pitojarru				
Haluttu varmuus				
Sylinterin pitovoima				0 kN
Jarrun pitomomointti			#JAKO/0!	Nm

Kuva 23. Sähkömoottorin laskenta (Lehto 2022)

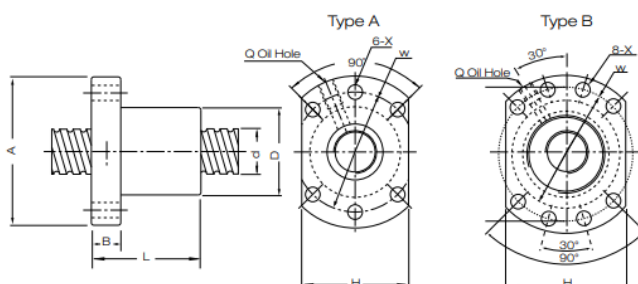
Laskenta aloitettiin selaamalla aiemmin käytössä olleiden kuularuuvivalmistajien katalogeja. Katalogeista löytyi valmistajan määrittelemät eri kuularuuvityyppien ja kokojen laskennalliset arvot. Laskentaan tarvittavat arvot olivat ruuvien halkaisija, ruuvien nousu, staattinen kantavuus ja dynaaminen kantavuus. Valmistajien ilmoittamia arvoja verrattiin projektin asiakkaan sylintereille määrittelemiin arvoihin. Ensimmäisenä suoritettiin vakaajasynterinin kuularuuvien valinta. Asiakkaan määrittelemät lähtötiedot vakaajasynterille olivat: kuorma 20 kN, liikematka 180 mm ja liikenopeus 25 mm/s.

Kuularuuvivalmistajien katalogeissa on hyvät ohjeet ruuvien valintaan liittyen. Alumiinirunkoisten sylinterien suunnittelun yhtenäistämiseksi päätettiin kuularuuvityypiksi valita standardin DIN 69051 mukainen kuularuuvi. Standardin mukaan valmistetut kuularuuvit ovat ulkomitoiltaan ja ominaisuuksiltaan valmistajien kesken yhtenäisiä. Standardin mukaisten kuularuuvien rakenne ja tarkkuus sopivat

hyvin EMA-sylinteri käyttötarkoitukseen. Ruuvien rungossa oleva laipparakenne edesauttaa myös ruuvien lukitsemista mäntään kokoonpanossa.

Sylinterin kuularuuviksi valikoitui Rollco FSCR3210 kuularuuvimalli (Kuva 24). Kuularuuvien tarkkuusluokaksi valikoitui C7, joka on valmistajien standarditarkkuus. Valmistajien ohjeiden ja toimeksiantajan ohjaajan avulla ruuvien valinta onnistui hyvin. Valmistajan lupaama dynaaminen kantavuus on 33,4 kN ja staattinen 70,8 kN. Lähtötietojen mukaisen kuormituksen 20 kN avulla staattiseksi varmuudeksi saadaan laskettua 3,2. Lukema on hyvä verraten yleisesti hyvänä varmuuskertoimen rajana pidettävään 1,5. Ruuvien halkaisija on 32 mm ja mutterin 80 mm.

Type FSCR Single Nut with Flange (DIN 69051)



l: Lead
Ca: Basic dynamic load rating (N)
Da: Ball diameter
Coa: Basic static load rating (N)
n: Number of circuits

All other dimensions in mm.

Item No.	Dimensions													Basic load rating	
	d	l	Da	D	A	B	L	W	X	Type	H	Q	n	Ca	Coa
FSCR1605	16	5	3,175	28	48	10	50	38	5,5	A	40	M6	4	9800	16500
FSCR1610	16	10	3,175	28	48	12	65	38	5,5	A	40	M6	3	7600	12380
FSCR2005	20	5	3,175	36	58	10	53	47	6,6	A	44	M6	4	11000	22800
FSCR2505	25	5	3,175	40	62	10	53	51	6,6	A	48	M6	4	12500	30700
FSCR2510	25	10	4,762	40	62	12	85	51	6,6	A	48	M6	4	20700	42700
FSCR3205	32	5	3,175	50	80	12	53	65	9,0	A	62	M6	4	14000	40800
FSCR3210	32	10	6,350	50	80	16	90	65	9,0	A	62	M6	4	33400	70800
FSCR3220	32	20	3,969	50	80	13	78	65	9,0	A	62	M6	3	14610	35750
FSCR4005	40	5	3,175	63	93	16	56	78	9,0	B	70	M8	4	15750	52900
FSCR4010	40	10	6,350	63	93	18	93	78	9,0	B	70	M8	4	38500	94700
FSCR4020	40	20	5,556	63	93	15	83	78	9,0	B	70	M8	3	25370	62040
FSCR5010	50	10	6,350	75	110	18	93	93	11,0	B	85	M8	4	43900	124000
FSCR6310	63	10	6,350	90	125	18	98	108	11,0	B	95	M8	4	50200	164500

Kuva 24. Kuularuuvien valinta (Rollco 2022)

Seuraavaksi suoritettiin kuularuuvien valinta samalla periaatteella myös projektin muille sylintereille. Kuularuuvi valinnoissa päädyttiin saman osavalmistajan tuot-

teisiin. Valmistajien keskinäinen vertailuhintojen, laadun ja toimitusaikojen suhteen on myös aiheellista tulevaisuudessa. Tällä kertaa näihin tekijöihin ei kuitenkaan kiinnitetty huomiota. Sylinterien laskennallinen käyttöikä määritellään kuularuuvien käyttöä mukaisesti. Kuularuuvivalintojen onnistumisen kannalta myös käyttöä laskennan huomioiminen on tärkeää.

Kuularuuvilaskentojen jälkeen suoritetaan sähkömoottorin mitoituslaskenta. Laskennat alkoivat vakaajasynteristä. Laskentoja varten toimeksiantajalla oli käytössä sama laskentapohja kuin kuularuuvien laskennalle. Laskennassa moottorin arvoista laskettiin vääntömomentti, tehontarve tasaisessa liikkeessä, moottorin momentti, vaihteen välityssuhde, virta, sylinterin pitovoima ja jarrun pitomomentti. Laskenta onnistui hyvin laskentapohjan avulla ja yrityksen opinnäytetyöohjaajan neuvoilla. Laskennasta saatujen tietojen avulla seuraavana työvaiheena oli moottorin valinta. Toimeksiantajalla oli olemassa olevia tuoteluetteloita useilta eri moottorivalmistajilta (Kuva 25). Valinta tapahtui valmistajan antamia arvoja vertaillen laskennoissa vaadittuihin arvoihin. Oman haasteensa moottorivalinnan tekemiseen teki tuoteluetteloiden vaikeaselkoisuus. Moottoreiden tekniset tiedot olivat kuitenkin selkeitä, joten valinta onnistui niiden avulla.

5系列光轴无刷电机 450W □ 86MM



规格/连续额定 SPECS / CONTINUOUS RATING

电机型号	功率 W	电压 V	空载转速 rpm	额定转速 rpm	额定电流 A	额定转矩 N.m	最大转矩 N.m	空载电流 A	建议选配驱动器型号
D5BLD450-12A-30S	450	12	3300	3000	46.88	1.43	4.30	<10.2A	
D5BLD450-24A-30S	450	24	3300	3000	23.44	1.43	4.30	<7.13A	
D5BLD450-36A-30S	450	36	3300	3000	15.63	1.43	4.30	<6.5A	
D5BLD450-48A-30S	450	48	3300	3000	11.72	1.43	4.30	<5.61A	
D5BLD450-310A-30S	450	310	3300	3000	1.81	1.43	4.30	<0.8A	

Kuva 25. Moottorin valinta (DMKE 2022)

Moottoriksi valikoitui 24 V tasavirtamoottori. Moottorin teho oli 450 W ja virta 23 A. Moottorin laskenta ja valinta suoritettiin myös projektin muille sylintereille. Muidenkin sylinterien moottorit valittiin samalta valmistajalta.

Sylinterin muiden komponenttien, kuten vaihteiston hammasrattaiden lujuuden laskenta on aiemmin tehty yrityksen opinnäytetyönohjaajalta löytyvällä lujuuslaskentaohjelmalla. Toimeksiantajan on tarkoitus hankkia tulevaisuudessa lisää lisenssejä kyseiseen ohjelmistoon. Lisenssin puuttuessa lujuuslaskentaa hammasrattaiden osalta ei pystytty suorittamaan toimeksiantajan laskentavaatimusten mukaisesti. Hammasrattaiden osalta laskentatyö siirtyi tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Tulevaisuuden kehityskohteena onkin laskentatavan yhtenäistäminen EMA-sylintereille. Laskennassa on otettava huomioon myös varrelle kriittinen nurjahdus, sylinteriputkeen vaikuttavat voimat ja sitä kautta vaihteistoon, sekä vaihteistokoteloon välittyvät voimat.

7.3 Käyttöiän ja hyötysuhteen määrittäminen

Sähkömekaanisen sylinterin suunnittelua ohjaa asiakkaan antamien teknisten vaatimusten lisäksi sylinterin arvioitu kestoikä ja hyötysuhde. Sylinterin kestoiän kannalta merkittävin komponentti on sylinteriä käyttävä kuularuuvi. Kuularuuvi on sylinterin kriittisin komponentti, jonka yllättävä hajoaminen aiheuttaa suuria ongelmia sylinterin käyttökohteessa. Motiomax by Norrhydro -sylintereitä suunniteltaessa sylinterin kaikkien osien käyttöikä määritelläänkin kuularuuvien käyttöiän mukaan.

Kuularuuveille on olemassa oma standardinsa, joka määrittelee laskentakaavan kuularuuvien käyttöiälle (Kuva 26). Kaavan mukaan valmistajan määrittelemä kuularuuvien dynaaminen kantavuusluku jaetaan kuormalla. Vastauksena saadaan ruuvien käyttöiän kierrosmäärä. Saatu kierrosmäärä voidaan tämän jälkeen muuttaa pyörimisnopeuden avulla tunneiksi. Lopullisen käyttöiän määrittämiseen tarvitaan vielä arvio kunkin käyttökohteen käyttötunneista vuorokaudessa. Aiemmin määritely käyttöikä jaetaan arvioidulla tuntimäärällä vuorokautta kohti.

Sylinterin käyttötunnit voivat vaihdella hyvinkin paljon käyttökohteesta riippuen. Ruuvien kokoa ja sitä kautta dynaamista kantavuuslukua kasvattamalla pystytään kasvattamaan ruuvien käyttöikä. Ruuvien kokoa kasvatettaessa myös ruuvien hinta

nousee ja sylinterin ulkohalkaisijaa saattaa joutua kasvattamaan. Sylinterin muiden komponenttien käyttöikä ei oteta huomioon laskennassa. Käyttöiän pidentämiseen vaikuttaa myös sylinterin oikea-aikainen huoltaminen. Tärkeimmät huoltokohteet ovat kuularuuvien rasvavoitelu ja vaihteen öljynvaihto. Muiden komponenttien osalta huoltotoimenpiteet tehdään vain tarpeen vaatiessa.

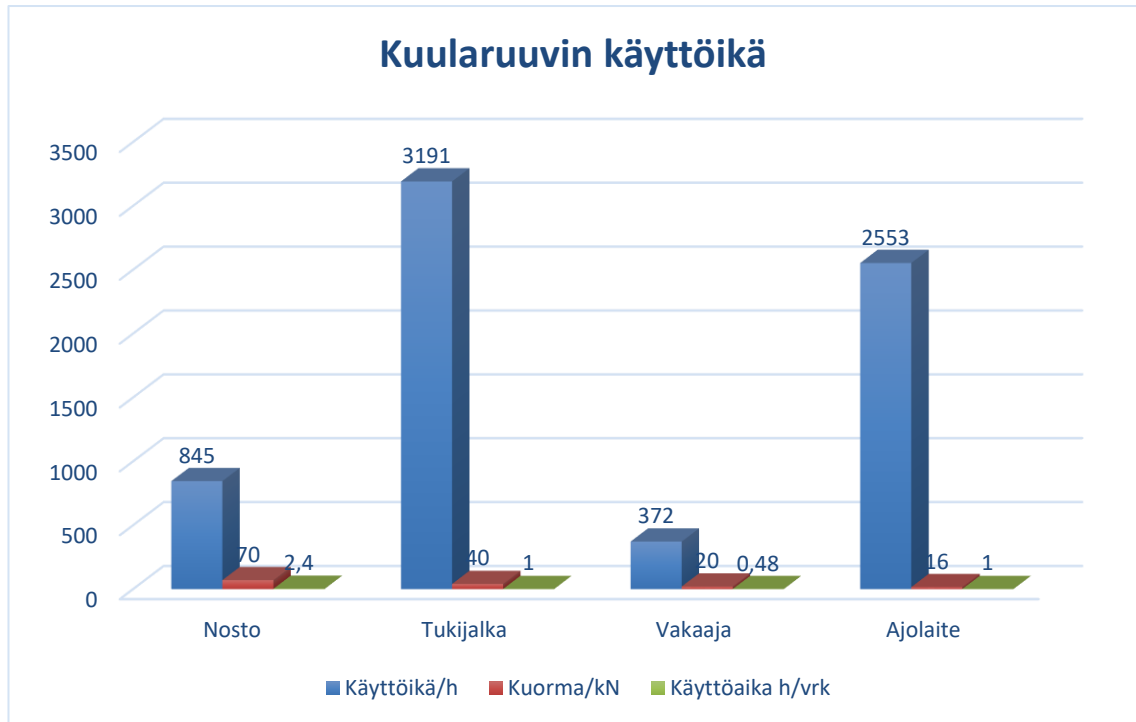
$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{F_m} \right)^3 \cdot 10^6 \text{ [revolutions]} \quad L_h = \frac{L_{10}}{n_m \cdot f_n \cdot 60} \text{ [hours]}$$

$$C_a = 0,01 \cdot \sqrt[3]{L_h \cdot F_m^3 \cdot n_m \cdot f_n \cdot 60}$$

L_{10} = Duration of nominal life (revolutions) f_n = Use factor
 L_h = Duration of nominal life (hours) $f_n = \frac{\text{Screw operation}}{\text{Machine operation}}$
 C_a = Dynamic load capacity (N)
 F_m = Average load (N)
 n_m = Average speed (min⁻¹) $f_n \approx 0.25 \div 0.75$ [in machine tool]

Kuva 26. Kuularuuvien käyttöiän määrittäminen (Norrhydro 2022a)

Kuularuuvien käyttöiän laskentakaava on viety yrityksessä Excel-taulukkoon. Laskentakaava on sama kuin aiemmin mainittu standardista löytyvä. Sylintereihin valittujen kuularuuvien kestoajan laskennan tulokset poikkeavat melko paljon toisistaan (Kuvio 1). Nostosylinterin kuularuuvi on henkilönostimen sylintereistä kovimmassa rasituksessa, ja sille on arvioitu pisin käyttöaika vuorokaudessa. Vaakaajasynterien käyttöiksi tulee laskennan avulla ryhmän lyhin 372 tuntia. Muiden nostimen sylinterien kuormat ja arvioidut käyttöajat vuorokaudessa ovat huomattavasti pienempiä. Kuularuuvien tarkkaa käyttöikää on vaikea määrittää vuorokautaisen käyttöajan vaihdellessa käyttökohteesta ja määrästä riippuen.



Kuvio 1. Kuularuuvien käyttöikä

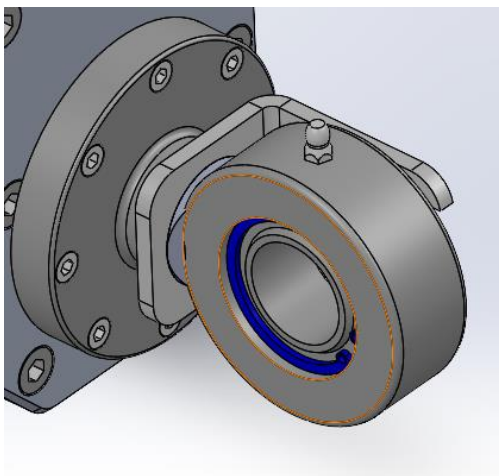
Sylinterin hyötysuhteeseen vaikuttavat kuularuuvien, sähkömoottorin, vaihteiston ja mahdollisen planeettavaihteiston hyötysuhde. Sylinterien hyötysuhteen määrittämiseen käytetään komponenttivalmistajien antamia ja itse arvioituja arvoja. Sylinterin kokonaishyötysuhteen laskenta tapahtuu yksinkertaisesti lisäämällä komponenttien hyötysuhdeprosentit yhteen ja jakamalla niiden määrällä. Valitut kuularuuvivalmistajat antavat kuularuuvien teoreettiseksi hyötysuhteeksi n. 90 %. (Rollco 2022.) Planeettavaihteiston hyötysuhteeksi määriteltiin laskentaan 97 % (Lehto 2022.) Vaihteistojen hyötysuhteeksi määriteltiin 96 %. Nostimen jokaisen sylinterin kokonaishyötysuhteeksi saadaan 83 %.

Laskennassa ei otettu huomioon sähkömoottorin hyötysuhdetta. Sähkömoottori- valmistajasta riippuen moottorille luvattu hyötysuhde on 92–95 %. Todellisen hyötysuhteen määrittäminen vaatii tarkempia tutkimuksia valmista laitetta käytettäessä. Henkilönostimen osalta asiasta on kuitenkin jo olemassa hyviä tutkimustuloksia. Hyötysuhdetta pyritään parantamaan entisestään energiantalteenottoa kehittämällä.

7.4 Kiinnitystapojen suunnittelu

Kiinnitystapojen suunnittelun osalta haasteena oli riittävien lähtötietojen saaminen asiakkaana toimineesta yrityksestä. Yritys ei voinut luovuttaa käyttöön 3D-malleja tai kuvia nostimensa rakenteesta. Kuvien puuttuminen teki kiinnitystapojen suunnittelusta haasteellista. Nostimen toiminta ja sylintereiden sijoittelu laitteen rakenteessa jäivät epäselväksi. Ainoat saatavilla olevat kuvat olivat nostinlaittevalmistajan sivuilta saadut nostimen mainoskuvat. Kuvista ei kuitenkaan pystynyt päättämään sylintereiden tarkempaa sijaintia tai kiinnitystapoja.

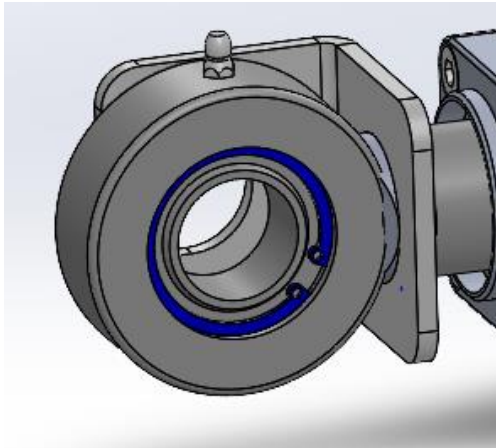
Kiinnitystapojen suunnittelun osalta päädyttiin hydraulisylintereistä tuttuun ratkaisuun. Laakeripesien 3D-malleja löytyi valmiina yrityksen järjestelmästä useita. Laakeripesistä valittiin männänvarren halkaisijaan nähden sopiva vaihtoehto ja kiinnitystavaksi suunniteltiin hitsaaminen. Vaihteistokotelon pätyyn suunniteltiin pyöreä laippa, johon laakeripesä hitsattaisiin kiinni. Laippa kiinnitetään pulteilla vaihteistokoteloon, johon laakeripesä on valmiiksi hitsattuna (Kuva 27).



Kuva 27. Takapään kiinnitys

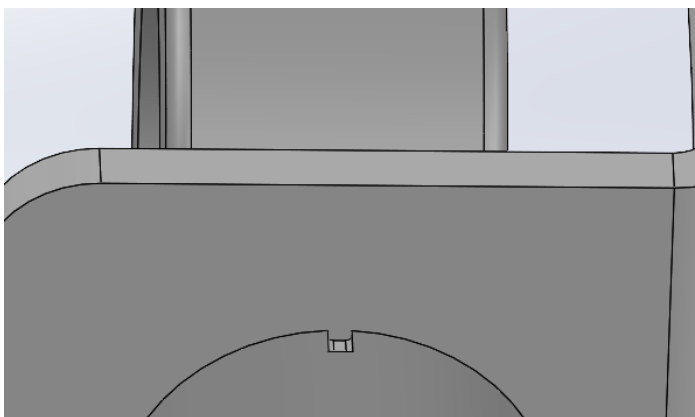
Alkuperäisessä karkeassa 3D-mallissa sylinterin kiinnitystapana oli myös laakeripesät männänvarren päässä ja vaihteistokotelon pädyssä. Laakeripesiin on nyt suunnittelun yhteydessä lisätty valmiit laakerikoolit ja lukkorenkaat toimeksiantajan komponenttikirjastosta. Kuularuuvien mutterin pyörähtämisen estämiseksi on entuudestaan suunniteltu L-mallinen kiinnityskorvake (Kuva 28). Korvakeen mittoja muokkaamalla siitä saatiin laakeripesän halkaisijalle sopiva. Korvake ot-

taa vastaan kuularuuvien mutterin aiheuttaman momentin. Korvakkeen haittapuolena on momentin siirtyminen korvakkeesta sylinterin käyttämän laitteen rakenteeseen. Momentin suuruus jää tässä tapauksessa laskentojen perusteella pieneksi, joten korvakkeen käyttö oli perusteltua.



Kuva 28. Kiinnityskorvake ja laakeripesä

Korvakkeessa olevan varren läpimenoreiän keskelle suunniteltiin pieni ohjautappi. Männänvarren päähän suunniteltiin korvakkeen tapille sopiva kohdistusura. Tapin ja uran avulla korvakkeen asemointi varteen nähden helpottuu huomattavasti hitsaamista ajatellen (Kuva 29).



Kuva 29. Korvakkeen ohjausura

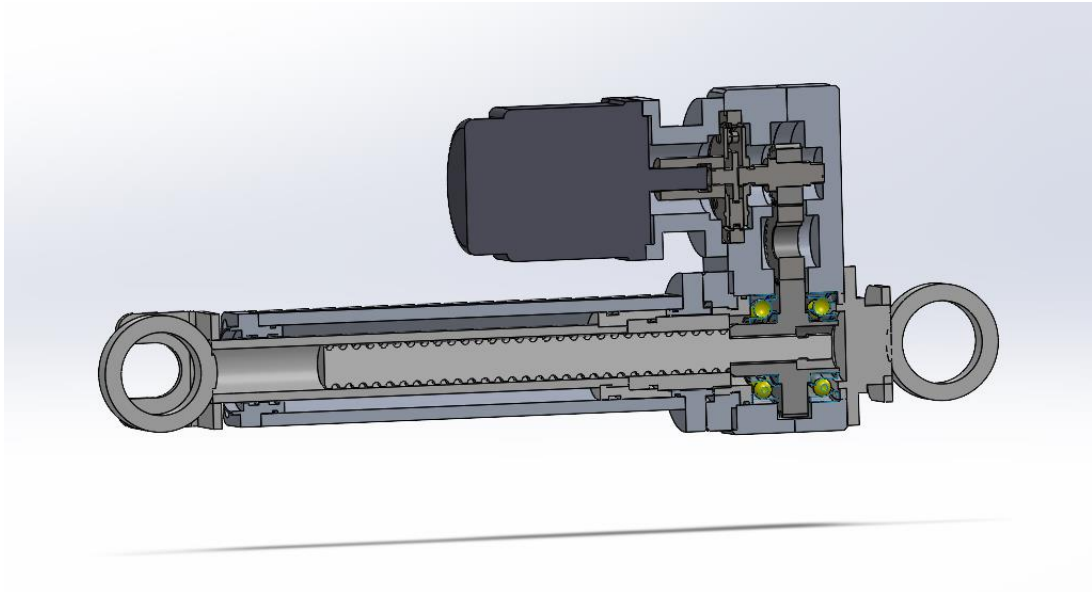
Korvakkeen sijasta kuularuuvien kiertymisen estämiseksi voidaan käyttää myös sylinteriputken sisälle tulevaa johdinkiskoä. Johdinkiskon käyttäminen ei kuitenkaan ollut kannattavaa näin pienenkokoisen sylinterissä. Johdinkisko tarvitsee oman tilansa sylinteriputken sisältä ja tässä tapauksessa tilaa ei juurikaan ollut.

Johdinkiskorakenne on myös monimutkaisempi ja kalliimpi toteuttaa. Rakenteen suurin etu on kuularuuvien mutterin momentin ohjaaminen sylinteriputkeen, eikä sylinteriä käyttävän laitteen rakenteeseen.

Laakeripesien kiinnitys männänvarteen ja vaihteistokotelon laippaan oli toteutettavissa hitsaamalla, osien materiaalina toimi teräs. Hitsauksen aikainen rakenteen muokkautuminen ei vaikuttanut myöskään olevan ongelmana osien kannalta. Hitsisauman pienehköstä koosta johtuen laakeripesän kutistuminen ei myöskään ollut hitsauksessa ongelmana. Asiasta keskusteltiin toimeksiantajan hitsausinsinöörin kanssa. Hitsaus oli myös tuotannollisuuskulmasta katsoen hyvä ja helppo tapa liittää laakeripesät paikalleen. Vaihteistokoteloon täytyi suunnitella metallilaippa. Laipan kautta sylinteriputkeen kohdistuvat voimat kulkevat vaihteiston laakeroinnin kautta takana olevalle laakeripesälle. Laakeripesä hitsataan metallilaippaan kiinni. Metallilaippa tulee vaihteistokoteloon kiinni pulteilla.

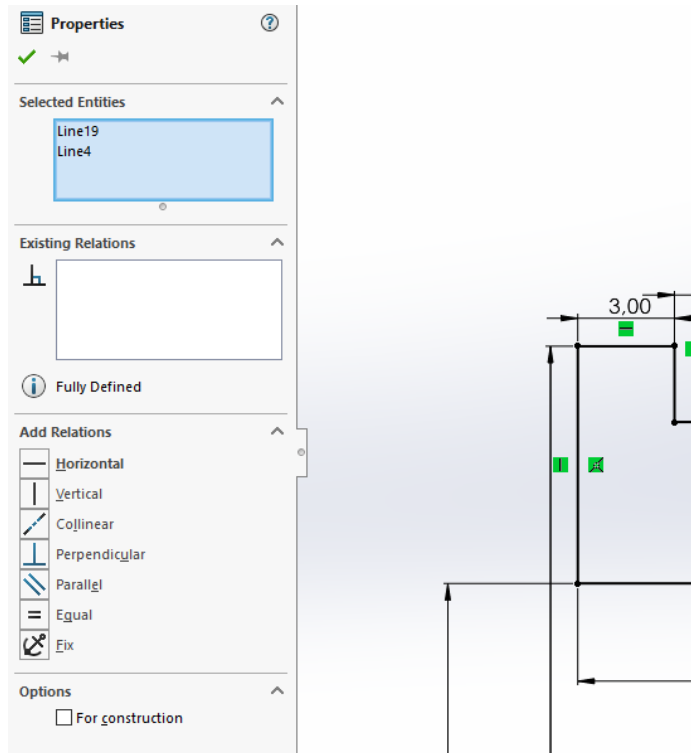
7.5 Sylinterin 3D-mallinnus

Henkilönostimen sylintereistä oli olemassa karkeat poc-suunnitteluvaiheen 3D-mallit, joiden pohjalta mallinnustyö oli hyvä aloittaa. Nostimen kurotussylinterin osalta myös sylinterin karkeamalli puuttui. Projektin sylintereistä kolme oli muoltaan U-mallisia. Vetolaitteen sylinteri oli I-mallinen. Venytyssylinterin osalta rakenteen valinta oli vielä kesken. Tarkoituksena oli mallintaa yksi nostimen sylintereistä, joka toimisi pohjana muille projektin sylintereille. Muiden nostimen sylintereiden mallinnustyö jatkuu opinnäytetyön valmiiksi saamisen jälkeen. Mallinnettavaksi sylinteriksi valikoitui vakaajasynteri. Kurotussylinteri on U-mallinen kompakti sylinteri, johon käyttökohteessa kohdistuvat voimat ovat kohtuullisen pieniä (Kuva 30).



Kuva 30. Sylinterin karkeamalli halkaistuna

Mallinnustyö alkoi olemassa olleiden osien ja kokoonpanon 3D-mallien kopiaimisella omaan kansioonsa. Mallinnustyön ensimmäisenä vaiheena oli olemassa olevien osien mallien viimeistely. Osien sketchit oli viimeisteltävä ensimmäisenä suljetuiksi. Työ onnistui määrittämällä sketchien relaatiot uudelleen. Relaatioiden oikeaoppinen määrittäminen auttaa sketchin luomisessa ja mallin muuttamisessa jälkikäteen (Kuva 31). Useissa osakokoonpanoissa ongelmana oli myös mallinnustasojen määrittäminen. Mallinnustasojen määrittely oli jäänyt kesken ja tasot olivat mallinusavaruudessa kokoonpanoon nähden. Mallinnustasot täytyi määrittellä uudelleen oikeille paikoilleen malliin nähden. Mallinnustasojen oikea sijoittelu auttaa kappaleen tarkastelussa käytettäessä eri mallinnustyökaluja.



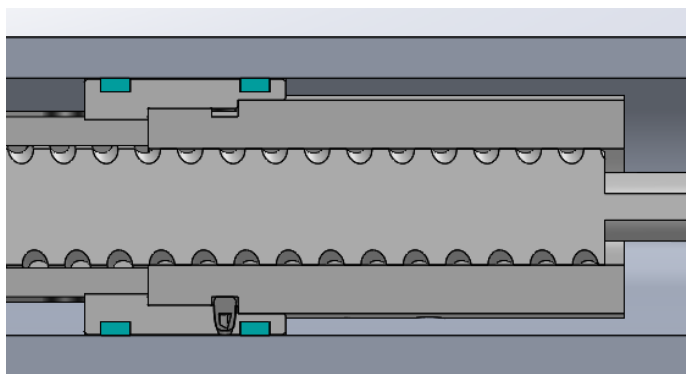
Kuva 31. Osien relaatioiden määrittäminen

Osien 3D-mallien viimeistelyn jälkeen alkoi itse esisuunnittelutyö. Suunnittelun pohjana ollut kokoonpano sisälsi osakokoonpanoja sylinterin kokoonpanojärjestyksen mukaisesti. Sylinteriputki ja siihen liittyvät laipat, kuularuuvi, mäntä ja männänvarsi olivat oma osakokoonpanonsa. Vaihteiston osat koteloineen oli toinen suurempi osakokoonpano. Näiden kahden osakokoonpanon alla oli vielä muutamia pienempiä osakokoonpanoja. Työn tekeminen helpottui jakamalla työ kahden suurimman osakokoonpanon kesken. Työ alkoi sylinteriputken osakokoonpanon tutkimisella ja suunnittelulla.

Työ alkoi tarkastelemalla sylinteriputken osakokoonpanoon kuuluvan kuularuuvien 3D-mallia. Aiemmin sylinterin päämitoitusta tehtäessä vakaajasynterinin kuularuuviksi valikoitui Rollco FSCR3210 kuularuuvimalli. Kuularuuvien todettiin täyttävän sille vaaditut lujuusominaisuudet. Kuularuuvivalmistajan katalogista löytyi myös kuularuuvien mutterin ulkohalkaisijan mitat, joiden mukaan mutteri olisi mahdollista mallintaa. Mutterin ulkomittoja selvitettyä mutterin ulkohalkaisijaksi paljastui 80 mm. Sylinteriputken sisähalkaisijaksi oli määritelty olemassa olevaan malliin 50 mm. Kuularuuvi ei tulisi sopimaan sylinteriputkeen ja putken halkaisijan kas-

vattaminen aiheuttaisi ongelmia sylinterin ulkomittojen suhteen. Kuularuuvityypiksi päädyttiin vaihtamaan samalta valmistajalta löytyvä RSCR2510 mallinen kuularuuvi. Kuularuuvin lujuusominaisuudet olivat yhä riittävät sylinterin lähtötietoihin nähden. Kuularuuvin vaihdon myötä aiemmin lasketut kuularuuvin staattisen varmuuden ja käyttöiän arvot kuitenkin laskivat hieman. Kuularuuvimalli poikkesi aiemmin valitusta mallista myös kiinnitystavan suhteen. Kuularuuvin mutterin ulkohalkaisijalla oli kierre, jolla mutteri olisi tarkoitus kiinnittää sylinterin mäntään.

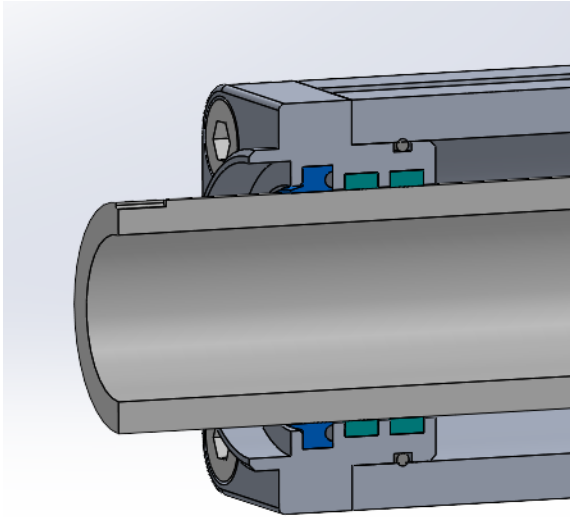
Kuularuuvin 3D-mallin muokkaamisen jälkeen sylinterin mäntää täytyi muokata kuularuuvin kiinnitykseen sopivaksi. Mäntään täytyi suunnitella kierre kuularuuvin mutteria varten. Osan pituutta piti myös muokata suuremmaksi. Ohjainrenkaille täytyi suunnitella urat männän ulkopintaan, lisäksi osan lukitsemiseksi piti suunnitella vielä reikä lukitusruuvia varten. Lukitusruuvilla saadaan varmistettua kuularuuvin mutterin ja männän välinen kierreluotto. Lukitusruuveja käytetään yleisesti myös hydraulisyntereiden männän kierteen lukitsemiseksi. Ohjainrenkaiden malliksi valikoitui hydraulisyntereissä yleisesti käytetty malli. Ohjainrenkaiden 3D-mallit löytyivät valmiina toimeksiantajan komponenttikirjastoista (Kuva 32).



Kuva 32. Kuularuuvi-mäntä kokoonpano

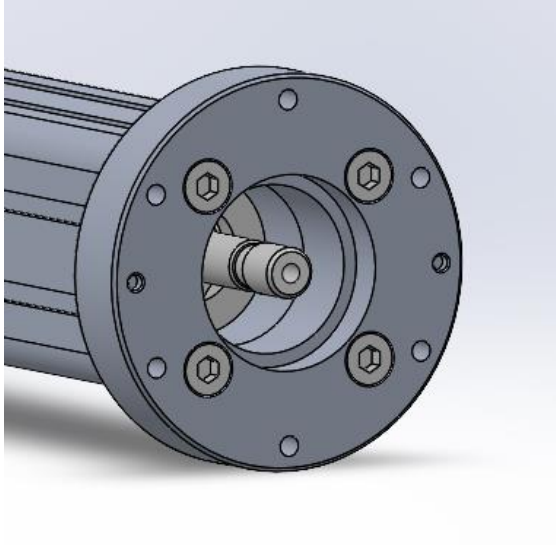
Seuraavana työvaiheena oli vuorossa männänvarren ohjaimen 3D-mallin tutkiminen. Malliin oli tehty ohjainrenkasuria, mutta urien mitoitukset eivät täsmänneet markkinoilla yleisesti saatavilla olleisiin ohjainrenkaiden mittoihin. Lisäksi ohjaimesta puuttui pyyhkijän ura kokonaan. Ohjaimen tiivisturia ja pituutta täytyi muokata ohjainrenkaille ja pyyhkijälle sopiviksi. Ohjaimen kulmiin päätettiin mal-

lintaa reiät pulttikiinnitystä varten. Alumiinisen sylinteriputken kulmissa oli valmiiksi läpimenevät reiät, joihin oli helppo mallintaa kierteet ohjaimen kiinnitystä varten. Ohjaimen ohjainrenkaiksi ja pyyhkijäksi valikoitui hydraulisyntereissä yleisesti käytettyjä malleja, jotka sopivat myös EMA-sylinteri käyttöön (Kuva 33).



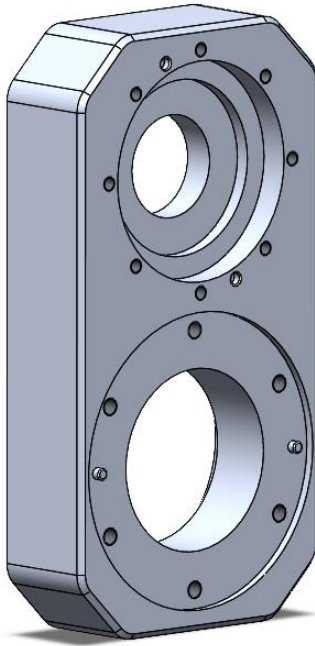
Kuva 33. Männänvarren ohjaimen kokoonpano

Seuraava työvaihe oli sylinteriputken päätylaipan uudelleen suunnittelu. Alkuperäisessä mallissa sylinteriputken kiinnitys vaihteistoon oli toteutettu kahdella erillisellä laipparakenteella. Suunnittelussa päädyttiin kuitenkin tekemään kiinnityksen toteutus yhdellä laipalla kahden sijaan. Komponenttien vähentäminen luo kustannussäästöjä ja yksinkertaistaa sylinterin rakennetta. Laipan ulkohalkaisijaa täytyi hieman kasvattaa laipan ruuvikiinnityksen helpottamiseksi. Laipan halkaisijan muutoksen myötä myös vaihteistokotelo täytyi leventää ja laipalle muotoiltua ohjauskoloa suurentaa. Laipan kiinnitys sylinteriputkeen toteutettiin samalla tavoin, kuin sylinteriputken etupään ohjaimen kiinnitys. Laippaan täytyi muokata upotukset kuusiokolopulttien kannoille (Kuva 34). Osien pulttiliitosten mitoittamiseen käytettiin toimeksiantajan käyttämää mitoittustaulukkoa. Pulttiliitoksen kierteellistä osaa suunniteltiin liitoksiin kaksi kertaa pultin halkaisijan verran. Päätylaipan vaihteiston puolelle päädyttiin suunnittelemaan ohjaintapin reiät helpottamaan osien kokoonpanoa.



Kuva 34. Sylinteriputken päätylaippa

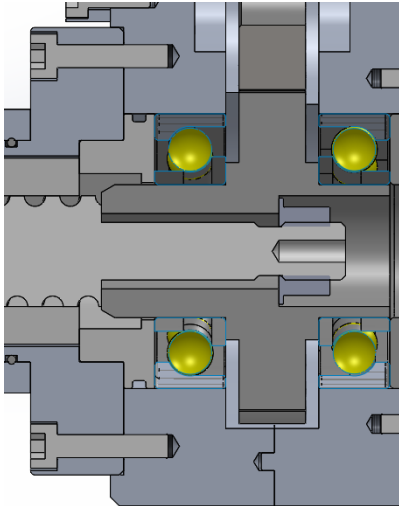
Laipan muotoilun jälkeen sylinteriputken osakokoonpano alkoi olla esisuunnittelun osalta valmis. Vaihteistokotelon muokkaus oli seuraava työvaihe. Vaihteistokotelon ulkomittoja piti hieman kasvattaa sylinteriputken laipan ja kiinnityspulttien reikien takia. Vaihteistokotelon kiinnityspultit olisivat tulleet muuten liian lähelle vaihteiston hammasrattaita. Vaihteistokotelon puolikkaiden kokoonpanoon suunniteltiin kuusiokolopultit upotuksilla. Vaihteistokotelon puolikkaisiin päädyttiin mallintamaan ohjaustapit ja kolot kokoonpanotyön helpottamiseksi. Sylinteriputken kiinnityslaipan uraan suunniteltiin myös ohjaintapit. Vaihteistokotelon suunnittelutyössä huomasi hyvin mallinnettujen sketchien merkityksen. Kotelon muokkaus onnistui helposti sketchien mittoja muokkaamalla (Kuva 35).



Kuva 35. Vaihteistokotelon puolikas

Vaihteistokoteloa muokatessa esille tuli myös sähkömoottorin kiinnityslaipan muokkaustarve. Kiinnityslaipan pituutta ja halkaisijaa piti hieman muokata pulttien mahdollistamiseksi laippaan paikalleen. Laipan halkaisijan kasvattaminen aiheutti myös muokkaustarpeita vaihteistokoteloon. Laipan kiinnityskoloa piti kasvattaa myös vaihteistokoteloon.

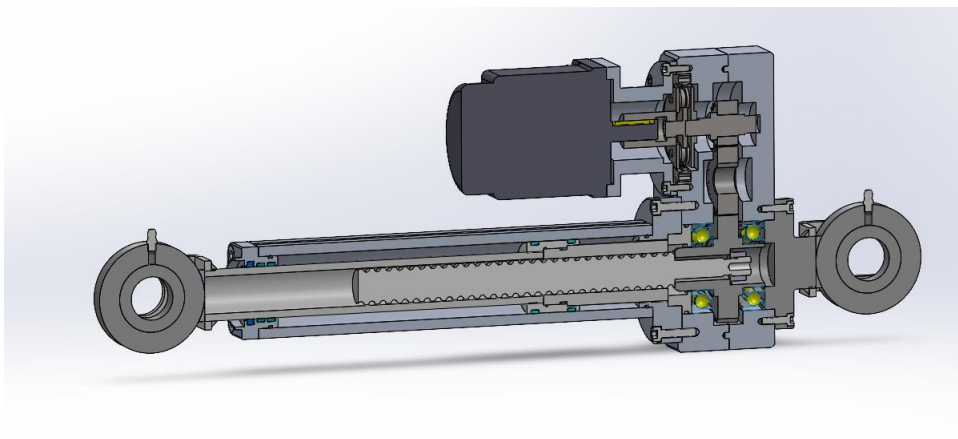
Vaihteistokotelon kuorien muokkaamisen jälkeen seuraavana työvaiheena oli sylinterin kokoonpanomallin korjaaminen. Kokoonpanon muokkaustyön aikana uutena haasteena ilmeni vaihteiston laakeripesän välyksensäätöön tarkoitettun laipan muotoilu. Välyksensäätölaipan muotoilua piti muuttaa sylinteriputken kiinnityslaipan muutoksista johtuen. Laipan muotoilu onnistui ilman suurempia ongelmia. Laipan muotoilun yhteydessä lisättiin vielä mutteri kuularuuvien kierretangon ja vaihteiston hammasrattaan lukitsemiseksi (Kuva 36).



Kuva 36. Laakeripesän rakenne

Vaihteiston suunnittelu jätettiin olemassa olleelle esisuunnittelun asteelle. Vaihteiston tarkempi esisuunnittelu olisi vaatinut vielä tarkemmat laskennat vaihteiston hammasrattaiden välityssuhteen ja lujuusominaisuuksien osalta. Vaihteiston hammasratasratkaisuiden tarkentuessa myös voitelun toteuttaminen on helpommin suunniteltavissa. Vaihteiston akseliston, laakeroinnin ja tiivistyksen osalta suunnittelutyötä jää vielä tulevaisuuteen.

Työ jatkui vielä kokoonpanon korjaamisella ja osien liittämällä toisiinsa. Kokoonpanoa tehdessä piti vielä muuttaa sylinteriputken pituutta kuularuuvityypin vaihdoksesta johtuen. Sylinterin iskunpituus oli lyhentynyt kuularuuvimuutoksen myötä alle lähtötiedoissa annettuun. Lähtötiedoissa ollut iskunpituus oli 180 mm. Kokoonpano sujui hyvin ilman suurempia ongelmia (Kuva 37).



Kuva 37. Kokoonpanon 3D-malli

7.6 Automateworks mallinnus

Opinnäytetyön alkuvaiheessa opinnäytetyösuunnitelmaa mietittäessä yhtenä tavoitteena oli kehittää Automateworks- ohjelmiston käyttöön perustuva automaattimallinnus-konsepti. Ohjelman käyttö ja toimintaperiaate olivat entuudestaan vieraita. Kyseisiin ohjelmiston osa-alueisiin on perehdytty opinnäytetyön aikana. Ohjelman käyttöön on perehdytty opinnäytetyön aikana mm. aiemmin toimeksiantajalle tehdyn opinnäytetyön avulla.

Ohjelman toiminta lähtee toimivan logiikan laadinnan pohjalta. Logiikka määrittelee mitkä sylinterin osat vaikuttavat toisiinsa. Ohjelmointi tapahtuu excel-pohjaisesti. EMA-sylinterin osalta suunnittelun perustana on kuularuuvien valinta. Logiikka lähtisi siis liikkeelle kuularuuvien kokoluokan määrittämisellä. Kuularuuvien koon valinnan jälkeen ohjelma antaa kuularuuvikoolle sopivien muiden osien vaihtoehdot. Osien valinnoille pitää määrittää omat hakufunktionsa. Osien mitat nimetään Automateworksin vaatimalla tavalla. Automaattisesti Solidworksin määrittelemät mittojen nimet aiheuttavat ohjelmiston käytön kannalta sekaannuksen vaaran. (Aarni 2022, 23.)

Sylinterikokoonpanojen kannalta Automateworksin käyttö on ongelmallista. Muuttuvien osien, kuten tiivisteiden ja kiinnitystarpeiden osalta kuviin täytyy tehdä normaalia toimeksiantajayrityksen mallinnustavasta poikkeuksia. Kokoonpanon ongelmat tekevät ohjelman käytöstä hidasta ja virhealtista.

Asian pidemmän tarkastelun jälkeen teimme päätöksen toimeksiantajapuolen ohjaajan kanssa, että jätämme automaattisuunnittelun toteutuksen EMA-sylinteri projektin myöhempään vaiheeseen. EMA-sylintereiden rakenteiden ja osien suunnittelu on vielä kesken. Keskeneräisten mallien ja ratkaisuiden pohjalta ohjelma ei anna vaadittua lisäarvoa toimeksiantajalle.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja haastava. Aihetta oli ennestään tutkittu melko vähän ja siihen liittyvää teoriamateriaalia ja tietoa oli niukasti tarjolla. Opinnäytetyön aiheen rajausta oli alkuun todella laaja, mikä aiheutti oman haasteensa työn läpi viemiseksi. Työn alkuperäisessä suunnitelmassa tarkoituksena oli kehittää suunnittelultaan valmis viiden sähkömekaanisen ja alumiinirunkoisensylinterin tuoteperhe. Lisäksi tavoitteena oli kehittää automaattisuunnittelun konsepti helpottamaan sylinterien suunnittelua tulevaisuudessa. Tarkoituksena oli mallintaa yksi valmis 3D-sylinterimalli, johon muut projektin sylinterit pohjautuisivat. Vasta opinnäytetyön edetessä aiheen todellinen laajuus kävi selväksi.

Projektin sylinterien pohjana käytettävien 3D-mallien kuvat olivat pahasti keskenräisiä ja sylinterien rakenteen suunnittelu oli vielä vaiheessa. Kokoonpanomalleista löytyi suurin osa sylintereihin tulevista komponenteista. Osien mitoituksessa, kiinnitys- ja toteutustavoissa oli tosin suuria puutteita. Sylinterien valmistus ei olisi onnistunut olemassa olevien osien ja kokoonpanomallien pohjalta. Työn määrää lisäsi alkumetreillä huomattu mallinnustavan puutteellisuus. Sylinterien kaikki osat oli mallinnettu vastoin toimeksiantajan toimintatapoja ja niinpä valmiit osien ja kokoonpanojen mallit täytyi mallintaa käytännössä kokonaan uusiksi. Osien sketchit olivat jääneet avoimiksi, mikä aiheuttaa 3D-mallin mittoja muuttamalla mallin hajoamisen. Mallien mittojen muuttaminen helpottuu suljettujen sketchien avulla. Mallien hyödyntäminen myös tulevaisuudessa on helpompaa hyvin tehtyjen sketchien avulla. Mallien korjaamisen yhteydessä sain hyvää oppia sketchien relaatioiden määrittämisestä. Relaatioiden ja sketchien määrittämisen merkitys selvisi minulle toimeksiantajalle suorittamani työharjoittelun ja opinnäytetyöprosessin aikana. Opintojen aikana asiasta oli kyllä mainittu, mutta asian oppi malleja korjatessa hyvin. Mallien osista ei myöskään ollut tehty vielä ainutakaan työpiirustusta. Työpiirustuksien teko jäi kuitenkin projektin osalta tulevaisuuteen sylinterin esisuunnitteluvaiheesta johtuen.

Opinnäytetyön alkuperäistä aihetta ja laajuutta päätettiinkin rajata yhden sylinterin esisuunnitteluksi. Projektin muiden sylinterien suunnittelutyö toteutettiin alkuperäisen suunnitelman mukaan laskennan ja komponenttien valinnan osalta. Aiheen uudelleen rajauksen myötä työn sisältö saatiin rajattua järkeväksi ja työn

toteutus oli helpompaa. Lopputulokseen voin olla ihan tyytyväinen. Opinnäytetyö kasvatti ja kehitti osaamista aiheeseen ja suunnittelutyöhön liittyen. Mallinnustyön aikana oppi myös hyvin pientenkin muutoksien vaikutuksen useaan eri asiaan sylinterin rakenteessa.

Suunnitelman mukainen automaattisuunnittelun konsepti päätettiin jättää toimeksiantajan ohjaajan kanssa yhteisymmärryksestä myös työstä pois. Automaattisuunnittelun hyödyntäminen EMA-sylintereiden suunnitteluun ei vielä ole ajankohtaista opinnäytetyön aikana asiaan perehdyttyäni. Automaattisuunnittelun käyttöönotto on suuri ja haasteellinen projekti. Ohjelmiston käytön tarpeellisuutta joudutaan pohtimaan varmasti vielä myöhemmin tulevaisuudessa uudestaan. Ohjelman käyttöönotto, ohjelmointi ja käytön ohjeistus on suuri projekti, josta saisi aiheen vaikkapa tuleviin opinnäytetöihin.

Opinnäytetyö antaa toimeksiantajalle pohjaa lähteä jatkokehittämään projektin EMA-sylintereitä ja niiden rakenneratkaisuita tulevaisuudessa. Työn aikana esille tulleet epäkohdat ja haasteet antavat myös hyödyllistä tietoa suunnitteluprosessien kehittämiseksi. Tuotekehitystä on syytä jatkaa sylinterin rakenteen yksinkertaistamisen, toiminnallisuuden, käyttöiän ja tuotannollisuuden näkökulmista. EMA-sylintereiden suunnittelulle on myös tulevaisuudessa tarpeen tehdä suunnittelutyönohjeistus toimintamallien yhtenäistämiseksi. Toimeksiantajan yrityksissä oleva sarjatuotanto vaatii vielä tuotteen ja organisaation kehitystyötä.

LÄHTEET

Aarni, T. 2022. Hydraulisyylinterin automatisoitu suunnittelu. Savonia ammattikorkeakoulu. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö.

Cadworks 2022. Automateworks. Viitattu 15.7.2022. <https://www.cadworks.fi/fi/products/automateworks>

Designworld 2010. Roller Screw Actuators: Benefits, Selection and Maintenance. Viitattu 17.6.2022. <https://www.designworldonline.com/roller-screw-actuators-benefits-selection-and-maintenance/>

DMKE 2022. Product catalog. Viitattu 9.9.2022.

Fernie, M. 2016. The Advantages and Disadvantages Of Straight Cut Gears. Viitattu 10.7.2022. <https://www.carthrottle.com/post/the-advantages-and-disadvantages-of-straight-cut-gears/>

Fiskars 2022. Tuotteet. Viitattu 9.7.2022. <https://www.fiskars.com/fi-fi>

Gonzalez, C. 2018. The basics and benefits of electromechanical actuators. Machinedesign 20.4.2018. Viitattu 9.7.2022. <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21836654/engineering-refresher-the-basics-and-benefits-of-electromechanical-actuators>

Heason 2022. How do Ball Screws work. Viitattu 9.7.2022. <https://www.heason.com/news-media/technical-blog-archive/how-do-ball-screws-work>

Horsepowerful 2022. The Quick Guide to Straight Cut Gears. Viitattu 10.7.2022. <https://horsepowerful.com/straight-cut-gears/>

Hydroline 2022. Hydroline blog. Viitattu 9.9.2022. <https://hydroline.fi/blog/how-does-a-hydraulic-cylinder-work/>

iStock 2022. Kuvat ja kuvapankkikuvat aiheesta Planetary Gearbox. Viitattu 10.7.2022. <https://www.istockphoto.com/fi/valokuvat/planetary-gearbox>

Kenton, W. 2021. Product family. Investopedia 29.11.2021. Viitattu 10.6.2022. <https://www.investopedia.com/terms/p/product-family.asp>

Lehto, T. 2022. Motiomax oy in short. Viitattu 9.7.2022.

Motiva 2022. Sähkömoottorityypit. Viitattu 9.7.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit

Nordfors, T. 2015. Sähköhydraulinen sylinteri tuotevaihtoehtona. Tampereen teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

Norrhydro 2022a. Motiomax. Viitattu 17.6.2022. <https://www.norrhydro.com/fi/motiomax>

Norrhydro 2022b. Norrdigi. Viitattu 17.6.2022. <https://www.norrhydro.com/fi/norrdigi-digitaalinen-hydrauliratkaisu>

Norrhydro 2022c. Yritys. Viitattu 17.6.2022. <https://www.norrhydro.com/fi/tietoa-yrityksest%C3%A4>

Olson, D. 2019. Advantages of electromechanical actuators. Venture mfg 7.6.2019. Viitattu 24.6.2022. <https://www.venturemfgco.com/blog/advantages-of-electro-mechanical-actuators/>

Orientalmotor 2022. Brushless DC Motors vs. Servo Motors vs. Inverters. Viitattu 9.7.2022. <https://www.orientalmotor.com/brushless-dc-motors-gear-motors/technology/speed-control-overview.html>

Passion engineering 2022. Hydraulic cylinder designs for every application. Viitattu 9.9.2022. <https://passionengineering.com/products/hydraulic-cylinders/cylinder-types/>

Ptc 2022. Product family management. Viitattu 10.6.2022. https://support.ptc.com/help/wnc/r12.0.0.0/en/index.html#page/Windchill_Help_Center%2FProductFamilyManagement.html%23

Robotics online marketing team 2017. Electromechanical Actuators in the automotive industry. Association for advancing automation 4.11.2017. Viitattu 9.7.2022. <https://www.automate.org/blogs/electromechanical-actuators-in-the-automotive-industry>

Rollco 2022. Product catalog. Viitattu 8.9.2022.