

Tommi Hentonen

**MOOTTORIVAIHTOEHTOJEN TESTAUSLAITTEISTON
MEKANIKKASUUNNITTELU**

**MOOTTORIVAIHTOEHTOJEN TESTAUSLAITTEISTON
MEKANIKKASUUNNITTELU**

Tommi Hentonen
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Tommi Hentonen

Opinnäytetyön nimi: Moottorivaihtoehtojen testauslaitteiston mekaniikkasuunnittelu

Työn ohjaajat: Juha Saaranen, Helena Tolonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017 Sivumäärä: 41 + 0 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa mekaniikkasuunnittelu moottoreiden testauslaitteistolle. Laitteistolla voidaan testata ennalta listattuja moottoreita, jotka olivat erilaisia lineaarimoottoreita ja AC-servomoottoreita sekä yksi kestopmag-netoitu AC-tahtimoottori. Testauslaitteistolla voidaan määrittää moottoreiden paikoitustarkkuus, voima ja kiihtyvyys.

Testauslaitteistoa alettiin suunnitella tuotekehitykselle ominaisilla menetelmillä. Vaatimuslistan ja tuotespesifikaation laatimisen jälkeen laitteisto jaettiin osatoimintoihin, joita olivat esimerkiksi moottoreiden kiinnitys ja moottoreiden kuoritusjärjestelmä. Näihin osatoimintoihin kehitettiin toimivia ratkaisuja, minkä jälkeen niistä valittiin parhaimmat vaihtoehdot ja koottiin yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Kokonaisuuteen suunniteltavaksi valittuja osatoimintoja olivat esimerkiksi moottoreiden kiinnitys räätälöityjen kiinnityslaippojen avulla ja pyörivien moottoreiden lineaariliikkeen toteutus hammashihnakäytöllä. Laitteistoon valittiin ja mitoitettiin siihen tarvittavat komponentit kuten laakerit, sakarakytkimet ja hammaspyörät. Tarvittavat rakenteet suunniteltiin ja kokoonpanoista tuotettiin 3D-mallit.

Opinnäytetyön tuloksia olivat laitteiston valmistamiseen tarvittavat tiedot, kuten kokoonpanojen 3D-mallit, valmistettavien osien 2D-piirustukset sekä komponenttien hankintalista. 3D-malleista tuotettiin myös konfiguraatiot eri moottorivaihtoehtoilla. Komponenttien hankintalista sisälsi kaikki laitteistoon tulevat sellaiset komponentit, jotka voidaan ostaa alihankkijalta, kuten laakerit, lukitusrenkaat ja lineaarijohteet.

Asiasanat: mekaniikkasuunnittelu, testauslaitteisto, kiihtyvyys, paikoitustarkkuus, voimanmittaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering (BSc), Machine
Automation

Author: Tommi Hentonen

Title of thesis: Mechanical Designing of Testing Equipment for Alternative Motors

Supervisors: Juha Saaranen, Helena Tolonen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2017 Pages: 41+ 0 appendices

The aim of the thesis was to implement mechanical design for the motor testing equipment. The equipment can be used to test pre-listed motors, such as various linear motors and AC servomotors. The test equipment can be used to determine the positioning, force and acceleration of the motors.

The designing process of the equipment was started by using methods typical for a product development project. Initially, a requirement list and a product specification were prepared, after which the equipment was divided into sub-functions. Functional solutions were developed for these sub-functions, after which the best alternatives were selected and assembled into a single functional entity. Some of the functions selected for the design was, for example, the attachment of the motors by customized fastening flanges and the linear motion of the rotating engines with the toothed belt drive. The components were selected and dimensioned for the equipment, including bearings, gears and timing belts. The necessary structures were designed and 3D models of the assembly were produced.

The results of the project were the information needed to produce the testing equipment, such as 3D models of assemblies, 2D drawings of the parts to be manufactured, and the list of the components that needs to be subcontracted. The configurations of 3D models consisting alternative motors were also produced. The list of subcontracted components included all hardware that can be purchased from a subcontractor such as bearings, locking rings and linear guideways.

Keywords: mechanical designing, testing equipment, accelerometer, positioning, force sensing

ALKULAUSE

Opinnäytetyö on osa Oulun ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmaa. Työn toimeksiantajana oli JOT Automation Oy, ja työ toteutettiin keväällä 2017. Haluan kiittää JOT Automationia ja sen henkilökuntaa opinnäytetyön mahdollistamisesta sekä erityisesti Technical Lead Juha Saaraasta ja ohjaavaa opettajaa lehtori Helena Tolosta, jotka auttoivat ja tukivat minua tämän työn toteutuksessa.

Oulussa 4.6.2017

Tommi Hentonen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
1 JOHDANTO	8
1.1 JOT Automation Oy	8
1.2 Työn tavoite	8
2 MOOTTORIVAIHTOEHTOJEN TESTAUSLAITTEISTO	9
2.1 Testauslaitteiston pääosat	9
2.2 Testattavat moottorityypit	9
2.2.1 Lineaarimoottorit	9
2.2.2 Kestomagnetoitu AC-tahtimoottori	11
2.2.3 Servomoottori	12
2.3 Moottoreiden mittausmenetelmät	14
2.3.1 Voimanmittaus	14
2.3.2 Kiihtyvyyden mittaus	14
2.3.3 Paikoitustarkkuuden mittaus	15
3 MEKANIKKASUUNNITTELUN PERIAATTEITA	17
3.1 Tuotteen elinkaari ja tuotekehitys	17
3.2 Mekaniikkasuunnittelu	18
3.3 Materiaalien valinta	19
4 TESTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT	20
4.1 Vaatimuslista ja tuotespesifikaatio	20
4.2 Ongelman muotoilu	21
5 TESTAUSLAITTEISTON YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU	23
5.1 Osatoimintojen ratkaisut	23
5.2 Hammashihnakäytön mitoitus	24
5.3 Moottoreiden kiinnityksen suunnittelu	26
5.4 Antureiden kiinnityksen suunnittelu	29
5.5 Laakeripukkien suunnittelu	32
5.6 Komponenttien valinta	34
6 TYÖN TULOKSET	36

7 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	39

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä toteutetaan mekaniikkasuunnittelu moottorintestauslaitteistolle. Laitteistolla on tarkoitus testata lineaarimoottoreita ja pyöriviä sähkömoottoreita. Opinnäytetyöhön sisältyi alun perin myös laitteiston rakentaminen ja moottoreiden testaus, mutta aihetta jouduttiin rajaamaan laajuuden vuoksi mekaniikkasuunnitteluun. Laitteiston suunnittelu tehdään toimeksiantajan vaatimusten ja toivomusten pohjalta. Työ tehdään JOT Automation Oy:lle.

1.1 JOT Automation Oy

Nykyisin älylaitteiden testaus- ja kokoonpanolaitteistoja valmistava JOT Automation perustettiin 1988 tukemaan matkapuhelinteollisuuden kasvua, ja listautui Helsingin Pörssiin vuonna 1998. JOTin päätoimipaikka sijaitsee Suomessa, ja yritys on osa Head Invest Groupia, mikä on JOT Automationin perustajan Veikko Lesosen ja hänen perheensä omistama teknologia-alan yritys. JOT työllistää noin 400 henkilöä, ja sillä on toimipisteitä 13:ssa maassa neljässä maanosassa. (1.)

1.2 Työn tavoite

Työssä suunnitellaan moottorivaihtoehtojen testauslaitteisto siten, että laitteistoon voidaan liittää ja sillä voidaan testata erilaisia lineaarimoottoreita ja pyöriviä sähkömoottoreita. Testauksesta saatuja tuloksia ovat moottoreiden kiihtyvyyys, paikatustarkkuus ja voima. Työn tavoitteita ovat testauslaitteiston suunnittelu sekä siihen tarvittavien komponenttien mitoitus ja valinta. Työstä saatuja lopullisia dokumentteja ovat esimerkiksi vaatimuslista, tuotespesifikaatio, komponenttien hankintalista, 3D-mallit sekä 2D-piirustukset.

2 MOOTTORIVAIHTOEHTOJEN TESTAUSLAITTEISTO

Moottorivaihtoehtojen testauslaitteiston tarkoitus on mahdollistaa automaatio- ratkaisuun liittyvien moottoreiden testaaminen. Kun yritys haluaa saattaa tuotteen tuotantoon, se voi testata testauslaitteiston avulla erilaisia moottorivaihtoehtoja, jotka voisivat olla toimivia ratkaisuja suunnitellussa tuotteessa. Tämän avulla yritys voi valita sopivimman vaihtoehdon tuotteelleen parantaakseen tuotteen ominaisuuksia tai minimoida tuotteen valmistuskustannuksia.

2.1 Testauslaitteiston pääosat

Testauslaitteisto koostuu pääosin moottoreiden kuormitusjärjestelmästä, moottoreiden kiinnitysmekanismeista, paikoitusanturista, kiihtyvyyssanturista, voima- anturista, pohjarakenteesta ja itse moottoreista. Moottoreita voidaan kuormittaa esimerkiksi lisäämällä niillä liikuteltavaan yksikköön massaa. Kiinnitysmekanismi tulee toteuttaa siten, että kaikkia moottoreita voidaan ajaa laitteistossa. Kiihtyvyyden, voiman ja paikoituksen mittaamiseen on olemassa erilaisia mittaus- menetelmiä. Näihin menetelmiin perustuvia antureita on olemassa myös laajalti eri käyttötarpeisiin kohdistettuna.

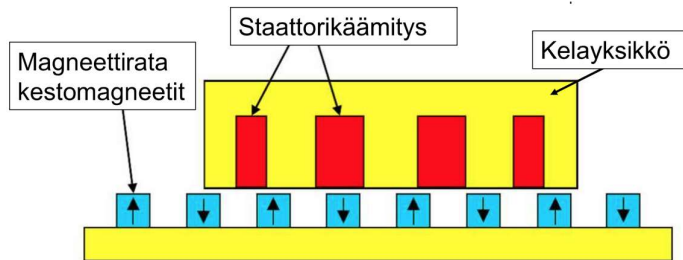
2.2 Testattavat moottorityypit

Toimeksiantaja oli etukäteen listannut kuusi erilaista testattavaa moottoria, joita laitteistolla tulee pystyä testaamaan. Laitteistolla testattavia moottorityyppejä ovat lineaarimoottorit ja pyörivät sähkömoottorit. Listattuna oli kaksi eri lineaari- moottoria sekä pyörivistä moottoreista kolme vaihtovirtaservomoottoria ja yksi kestopagneetoitu AC-tahtimoottori. Laitteistolla voidaan kuitenkin mitata myös muita moottorityyppejä rakenteiden ja valittujen anturien sallimissa rajoissa.

2.2.1 Lineaarimoottorit

Lineaarimoottorin rakennetta (kuva 1) usein kuvaillaan tavalliseksi pyöriväksi kestopagneettimoottoriksi, jonka rakenne on levitetty tasoon. Moottorissa eli ke- layksikössä on käämitys sekä sähköliitännät, ja staattori on kestopagneettirata. Kelayksikössä voi lineaarimoottorin mukaisesti olla käämityksen lisäksi myös

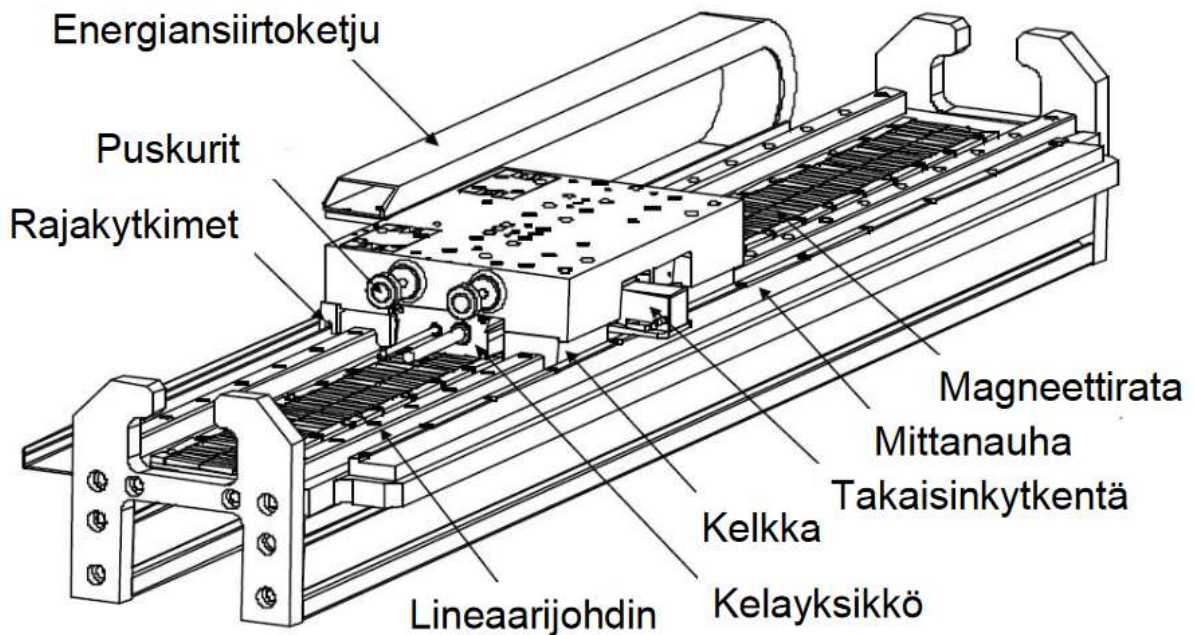
rautasydän. Raudattomassa lineaarimoottorissa on oltava U-muotoinen staattori eli kestopagneettilevyt kelayksikön molemmin puolin. (2.) Kun kelayksikköön syötetään sähkövirtaa, käämin ja kestopagneettien välille syntyy vetovoimia, jolloin kelayksikköön vaikuttaa työntövoima.



KUVA 1. Lineaarimoottorin rakenne (3)

Lineaarimoottoreilla on yleisesti hyvä paikoitustarkkuus sekä pehmeä ja kontrolloitu nopeudensäätö. Lineaarimoottoreiden hyviä puolia ovat myös suuret nopeudet ja kiihtyvyydet. Niissä ei myöskään esiinny minkäänlaista kulumista tai kitkaa ja lineaarimoottoreilla on lyhyt asettumisaika. Huonoja puolia ovat heikompi hyötysuhde pyöriviin moottoreihin verrattuna sekä käämityksen sisältävän kelayksikön lämpeneminen. Kelayksikkö lämpenee helposti, ja sille sopivan toimintalämpötilan ylläpitämiseksi joudutaan usein käyttämään ilma- tai vesijäähdytystä. (4.)

Tyypillisesti lineaarimoottorikäytön rakenteeseen (kuva 2) sisällytetään myös kelayksikön kiinnitys johonkin liikuteltavaan tasoon, joka on yhteydessä lineaarijohteisiin. Lineaarimoottorin ohjaukseen tarvitaan myös takaisinkytkentä paikoittamista varten. (3.) Lineaarimoottoreiden takaisinkytkennän voi toteuttaa esimerkiksi lineaarienkooderin avulla. Lineaarienkooderi koostuu tyypillisesti mittanauhasta sekä mittapäätä eli sensorista, joka lukee mittanauhaa ja antaa paikatietoa. (5.)



KUVA 2. Esimerkki lineaarimoottorikäytön rakenteesta (6.)

Lineaarimoottoreita käytetään laajalti erilaisissa automaatioteollisuuden ratkaisuissa. Tyypillisiä lineaarimoottorin käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset XYZ-pöydät, pakkauskone- ja robottisovellukset, testauslaitteet sekä kappaleen käsittelyyn liittyvät sovellukset. (4.)

2.2.2 Kestomagneetoitu AC-tahtimoottori

Tahtimoottorin ja epätahtimoottorin suurin ero on niiden roottorit. Tahtimoottorin roottori tuottaa magneettikentän, joka seuraa pyörivää magneettikenttää. Vaihtosähkömoottorin toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään. Roottoriin synnytetään magneettikenttä joko kesto- tai sähkömagneeteilla. Epätahtimoottorissa roottorin magnetointienergia saadaan staattorin pyörivästä magneettikentästä. (6.)

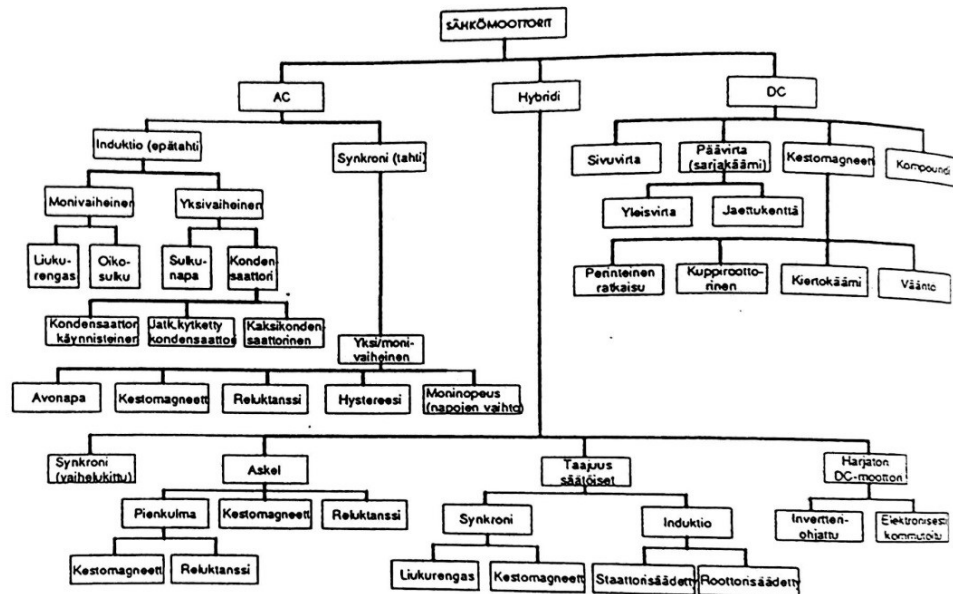
Kestomagneettimoottoreiden hyötysuhde ja niillä toteutettu mekaaninen teho on yleisimpiä vaihtosähkömoottoreita eli asynkronimoottoreita korkeampi. Kestomagneettimoottori tuottaa suuremman vääntömomentin kuin samankokoinen

asynkronimoottori, joten laitteesta saatava nimellisteho on parempi. Kestomagneettimoottori pysyy myös käytön aikana viileämpänä kuin muut moottoriratkaisut. Haittapuolena kestopagneettimoottorissa on kuormitettavuuden rajoittaminen nimellismomenttiin nähden, jotta vältetään mahdollinen demagnetoituminen. (7, s. 10.)

Kestomagneettimoottorikoneiden käyttökohteita ovat yleiset pyörimisnopeudeltaan vaihtelevat sovellukset, joissa halutaan kiinnittää huomiota energiatehokkuuteen sekä saada etua koon ja tehon välisestä suhteesta. Käyttökohteena voi olla esimerkiksi saarekeverkko pienkäyttäjälle valaistuksen tai lämmityksen tuottamiseen. Saarekeverkolla tarkoitetaan tilannetta, jossa verkko on erillään kantaverkosta. (8.)

2.2.3 Servomoottori

Servomoottorit ovat yleensä rakenteeltaan joko DC- tai AC-moottoreita, ja ne voidaan jaotella vielä useaan erilaiseen moottorityyppiin (kuva 3). Servomoottorille ominaista on sille annetun asetusarvon toteutumisen varmistaminen takaisinkytkennän avulla. Näitä voi olla esimerkiksi asema- tai nopeustakaisinkytkentä. (9, s. 8, 140.)



KUVA 3. Eri sähkömoottorityyppejä (9, s. 140.)

Vaihtovirtaservomootoreiksi eli AC-servomootoreiksi sanotaan vaihtovirralla ohjattavia servomootoreita, jollaisia testattiin myös tässä työssä. Myös harjattomia tasavirtaservomootoreita sanotaan usein vaihtovirtaservomootoriksi, sillä niiden rakenne muistuttaa synkronista vaihtovirtaservomootoria. Synkronisessa vaihtovirtaservomootorissa on kestopagneettiroottori aivan kuten harjattomassa tasavirtaservomootorissa. (9, s 145.)

Synkronisen vaihtovirtaservomootorin etuja ovat tasainen momentti sekä mahdollisuus käyttää moottoria suuremmissa pyörimisnopeuksissa kuin harjattonta tasavirtamoottoria. Huonoja puolia tasavirtaservomootoriin verrattaessa ovat monimutkaisempi elektroninen ohjaus. (9, s. 145.) Servomootorit on suunniteltu käyttöihin, joissa vaaditaan hyviä dynaamisia ominaisuuksia. Niiden käyttökohdetet kuitenkin vaihtelevat laajalti moottorityypistä riippuen aina roboteista työstökoneisiin, sekä yleisimpiin koneautomaation sovelluksiin. (9, s. 154.)

2.3 Moottoreiden mittausmenetelmät

Testauslaitteistolla haluttiin mitata eri moottoreiden voimaa, kiihtyvyyttä sekä paikoitustarkkuutta. Näiden arvojen mittaamiseen on olemassa erilaisia mittausmenetelmiä. Mittausmenetelmiin perustuvia antureita ja mittalaitteita on olemassa laajalti erilaisiin käyttökohteisiin.

2.3.1 Voimanmittaus

Voimanmittaus-anturit voidaan jakaa kolmeen ryhmään toimintaperiaatteensa mukaan: venymäliuska-anturit, pietsosähköiset anturit sekä induktiiviset voimaanturit. Venymäliuskat ovat vastuksia, joiden toiminta perustuu elastiseen muodonmuutokseen. Liuskojen rakennemateriaalina voi olla metallilanka, metallikalvo tai puolijohde. Näistä yleisimpiä ovat metallikalvoliuskat ja niitä on saatavilla eri sovelluksiin. Niitä voidaan valmistaa myös puolijohteista, jolloin ominaisvastus on paljon suurempi ja liuskan rakenne voidaan tehdä yksinkertaisemmaksi. Puolijohdeliuska on myös herkempi ja sillä voidaan saavuttaa samalla suhteellisella venymällä monikymmenkertainen herkkyys metalliliuskoihin verrattuna. Puolijohdeliuskojen huono puoli on niiden herkkyys lämpötilanvaihtelulle sekä huonohko lineaarisuus. Tarkkuutta vaativissa sovelluksissa käytetäänkin yleensä metallikalvoliuskoja. (9, s. 58.).

Voima-anturit perustuvat useimmiten venymäliuskatekniikkaan. Niiden rakenteeseen vaikuttaa esimerkiksi kuormitusmittausalue ja sivuttaisvoimien kompensointitarve. (10, s. 60). Tässäkin työssä käytettiin venymäliuskaan perustuvaa voimanmittausmenetelmää.

2.3.2 Kiihtyvyyden mittaus

Kiihtyvyydsantureita on olemassa erilaisia, joista tavallisimpia ovat potentiometriset, kapasitiiviset tai Hall-ilmiöön perustuvat kiihtyvyydsanturit. Hallin ilmiöllä tarkoitetaan sitä, kun elektronien suunta johtimen sisässä muuttuu, kun sen lähelle tuodaan magneettikenttä. Kiihtyvyydsantureita käytetään myös maanjäristysten havaitsemiseen, lääketieteellisissä sovelluksissa sekä autojen ilmatyynyjen laukaisemisessa. (11.)

Kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu Newtonin toiseen lakiin eli voima on massan ja kiihtyvyyden tulo. Yleisimmissä kiihtyvyyssanturimalleissa on massa, mikä on kiinnitetty pietsosähköiseen kiteeseen. Anturiin kohdistuessa värähtelyä massa tuottaa kiteeseen mekaanisen jännityksen, joka muuttuu kiihtyvyyteen verrannolliseksi varaukseksi. Kiihtyvyyssanturit voivat olla joko varaustyyppisiä tai IEPE-antureita (Integrated Electronics Piezo Electric) ja IEPE-anturit ovatkin nykyään yleisimmin käytettyjä kiihtyvyyssantureita. (11.)

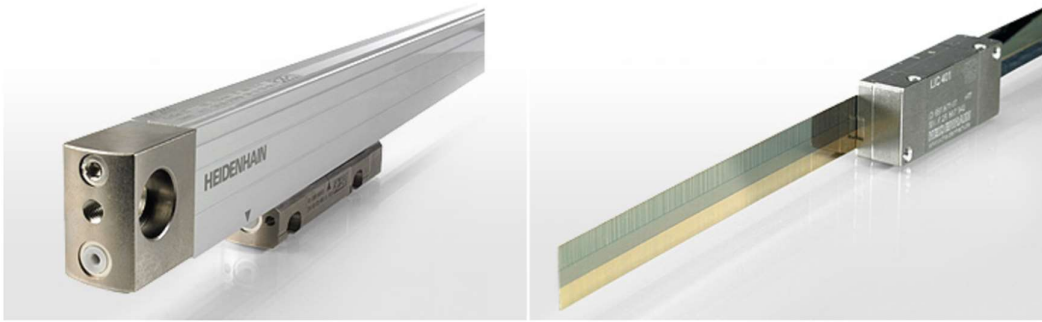
IEPE-kiihtyvyyssantureita voidaan käyttää korkeissa, jopa 185 °C lämpötiloissa sekä paljon likaa ja pölyä sisältävissä ympäristöissä. Ne ovat myös luotettavampia kuin varaustyyppiset anturit, ja niitä voidaan käyttää myös edullisilla sähkövirtalähteillä. Niiden käyttöön kuitenkin tarvitaan ammattitaitoa ja ne ovat kalliimpia kuin varaustyyppiset anturit. (12.)

2.3.3 Paikoitustarkkuuden mitta

Paikoitustarkkuutta voi mitata enkoodereiden avulla. Enkoodereita voidaan käyttää paikanmittauksen lisäksi myös nopeuden mittaukseen sekä pyörivän moottorin akselin pyörimissuunnan selvittämiseen. (5.)

Optiset enkooderit ovat tarkimpia sekä yleisimmin käytettyjä teollisuuden automaatoratkaisussa. Optista enkooderia valitessa on varmistettava, että sille on tarvittavat suojaukset lialta ja pölyltä sekä tärinältä ja muilta häiriötekijöiltä joita ilmenee käyttöympäristössä. Magneettiset enkooderit ovat järeämpiä, mutta epätarkempia kuin optiset enkooderit. Niitä käytetään usein likaisissa, höyryisissä tai tärisevissä ympäristöissä. (5.)

Enkooderit voidaan jakaa myös lineaari- ja rotaarienkoodereihin. Nimensä mukaisesti lineaarienkooderi (kuva 4) mittaa liikettä liikerataa pitkin ja rotaarienkooderit tunnistaa ja mittaa pyörivää liikettä. Lineaarienkooderit koostuu yleensä mittanauhasta sekä mittapäätä, eli sensorista, joka lukee koodattua mittanauhaa antaen paikkatietoa. Lineaarienkooderin resoluution mittayksikkö on pulssia matkan mittayksikköä kohden, esim. pulssia/mm. Rotaarienkooderin resoluution mittayksikkö on pulssia/kierros. (5.)



KUVA 4. Heidenhainin lineaarienkoodereita

3 MEKANIKKASUUNNITTELUN PERIAATTEITA

Mekaniikkasuunnittelu pitää sisällään komponenttien mitoituksen ja valitsemisen lisäksi rakenteiden suunnittelua ja 3D-mallinnusta.

3D-mallinnus tarkoittaa kolmiulotteisen tietokonemallien luomista. 3D-mallinnusta käytetään laajalti rakennus- ja tuotesuunnittelussa ja 3D-mallinnusohjelmistot ovatkin nykyään suunnittelijan tärkeimpiä työkaluja. Niiden avulla voidaan tehdä helposti havainnollistavia suunnitelmia ennen rakennusten toteuttamista ja niistä on helppo luoda rakentamiseen tarvittavat 2D-piirustukset. 3D-malleista voidaan helposti tehdä myös eri variaatioita sekä hakea eri kuvakulmia. Se myös vähentää virheitä suunnittelutyössä ja mahdollistaa laadukkaamman suunnittelun. (13, s. 3, 6.)

Suunnittelutyössä ideat kehitetään laitteistoksi/kalustoksi, joka on toimiva tuote. Se vaatii aikaa, rahaa ja ammattitaitoisia ihmisiä. Mikäli ihmiset ovat hyviä työssään ja heidän työskentely-ympäristö on hyvin jäsennelty, työ voidaan tehdä tehokkaasti. Jos työ tehdään hyvin, sen käyttäjäryhmä kokee tuotteen hyödylliseksi ja hyväksi ja asiakkaat näkevät tuotteen laadukkaana. Näin ollen suunnitteluprosessi tarkoittaa organisaation ja sen hallinnon tuotteen kehityksen aikana tuottamaa tietoa. (14, s. 8.)

3.1 Tuotteen elinkaari ja tuotekehitys

Jokaisella tuotteella on elinkaari. Se voidaan jaotella neljään osa-alueeseen; tuotekehitys, tuotanto ja jakelu, käyttö sekä tuotteen eliniän päättyminen. Ensimmäinen alue pitää sisällään tuotteen suunnittelun ja kehityksen. Toinen alue sisältää tuotteen saattamisen tuotantoon, sen kokoonpanon sekä jakelun ja mahdollisesti myös asennuksen. Kolmas alue voi pitää sisällään mm. tuotteen käytön, ylläpidon, huollon ja korjauksen. Viimeinen alue, tuotteen eliniän päättyminen, käsittää sen, mitä tuotteelle tapahtuu, kun sitä ei enää käytetä tai se ei ole käyttökelpoinen. (14, s. 11.)

Tuotekehitys alkaa toimintasuunnitelman tekemisellä. Tehokas tuotekehitys vaatii kehitysprosessin suunnitelman, jonka mukaan toimitaan. Toimintasuunnitelman jälkeen laaditaan tuotteelle vaatimuslista ja tuotespesifikaatio, jotka ovat tärkeitä dokumentteja suunnittelutyön kannalta. On huomattu, että näiden dokumenttien laatiminen säästää aikaa ja rahaa sekä parantaa tuotteen laatua. Tuotespesifikaation ja vaatimuslistan laatimisen jälkeen aletaan kehittämään ja arvioida toteutettavia konsepteja. Tämä on tärkeä vaihe tuotekehitystä, sillä tässä vaiheessa tehdyt päätökset vaikuttavat kaikkiin seuraaviin tuotteen elinkaaren osa-alueisiin. Tätä seuraa itse tuotteen kehittäminen, missä lopputuloksena ovat valmistukseen liittyvät tiedot ja dokumentit ja minkä jälkeen tuote voidaan viedä tuotantoon. (14, s. 12.)

3.2 Mekaniikkasuunnittelu

Myös mekaniikkasuunnittelussa on eri osa-alueita, kuten komponenttien valinta, parametrinen, eli laskennallinen suunnittelu ja kokoonpanosuunnittelu. Komponenttien valinta on näistä yksinkertaisin ja tarkoittaa yhden tai useamman osan valitsemista listasta siten, että se täyttää tarvittavat vaatimukset. Yleisiä esimerkkejä tästä voi olla optisten linssien, laakereiden tai lämmityslaitteiston valinta. Näiden tuotteiden valintaprosessi on teoriassa sama, vaikka ne ovatkin toisiinsa verrattuna täysin erilaisia tuotteita. Komponentin valinnan edellytyksenä on sen selkeä tarve. Tuotekatalogit ja luettelot luovat potentiaalisia ratkaisuvaihtoehtoja tarpeen luomaan ongelmaan. Näitä vaihtoehtoja on pystyttävä arvioimaan tarpeen asettamiin tavoitteisiin verraten, jotta voidaan tehdä oikea valinta. (14, s. 33.)

Parametrinen suunnittelu tarkoittaa tutkittavaa objektia havainnollistavien tarvittavien arvojen selvittämistä. Yksinkertaisesti ajateltuna on vain etsittävät arvot, jotka vastaavat edellytyksiä. Kuitenkin laskiessa arvoja kaavan mukaan, voi eri määreillä olla useita arvoja, joilla haluttu vaatimus toteutuu. Tällöin täytyy osata määrittää, mitkä arvot ovat kiinteitä ja mitä arvoja voidaan muuttaa halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. (14, s. 36.)

Kokoonpanosuunnittelussa kaikki komponentit ovat suunniteltu ja haasteena on niiden yhdistäminen kokoonpanoksi ja lopulliseksi tuotteeksi. Periaatteessa kokoonpanoa voidaan lähteä luomaan sijoittamalla komponentteja kokoonpanoon mielivaltaisesti, kunnes vastaan tulee jokin ristiriita tai kunnes kaikki komponentit ovat kokoonpanossa. Mikäli kokoonpanossa ilmenee ristiriita tai ongelma komponenttien sijoituksen kannalta, kokeillaan toisenlaista lähestymistapaa. (14, s. 36.)

3.3 Materiaalien valinta

Parhaaseen lopputulokseen johtavaa materiaalinvalintasystematiikkaa ei ole olemassa, johtuen tehtävän moniulotteisuudesta ja materiaali-vaihtoehtojen runsaudesta. Materiaalivalinnoilla vaikutetaan lukuisiin tuotteen eri ominaisuuksiin. Tuotteen hinta on silti aina keskeinen tekijä materiaalinvalinnassa ja siitä syystä on perusteltu asettaa materiaalinvalintaperusteiksi kustannustekijät. Painottamalla tuotteelta vaadittuja ominaisuuksia voidaan kuitenkin tarkentaa materiaalinvalintapohjaa. (15, s. 93.)

4 TESTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT

Testauslaitteiston suunnittelun alkaessa laitteelle oli asetetut tietyt tavoitteet ja lähtökohdat, joiden avulla ja joita tarkentamalla suunnittelutyö voitiin aloittaa.

Toimeksiantaja oli myös laatinut listan testattavista moottoreista (kuva 5).

Priority	Item	Code	JOT code
1	Frameless torque motor	Tecnothion QTR-A-133-34	SX008453
2	Linear servo motor	Bosch MCP040C-V070-NI-N0CN-NNNN	SX004480
2	Servomotor, 0.20Nm, 0.76A, 8000rpm , absolute encoder & brake	Beckhoff AM8011-1B21	SX007521
3	Linear servo motor	HIWIN LMSA11 linear servo motor	SX008629
3	Servomotor	Beckhoff AM8021	
3	Servomotor	Beckhoff AM8031	

KUVA 5. Testattavat moottorit

4.1 Vaatimuslista ja tuotespesifikaatio

Vaatimuslista on lista suunniteltavalle tuotteelle asetetuista vaatimuksista, jotka lopullisen tuotteen on täytettävä. Vaatimuslista tehtiin työtä koskevien palaverien muistioiden avulla, joissa oli kerrottu mm. laitteistosta saatavat mittaustulokset. Vaatimuslista täydennettiin toimeksiantajan vaatimusten mukaiseksi, jolloin tuotteelle asetettiin ns. reunarajat, jotka helpottavat suunnittelutyötä.

Vaatimuslistassa tehdään selväksi projektin vaaditut tavoitteet ja rajoitukset. Vaatimusten tulee täytyä kaikissa olosuhteissa, ja täyttämättä jättäminen johtaa ajattelun ratkaisun hylkäämiseen. Toivomukset tulee ottaa huomioon mahdollisuuksien mukaan ja tulee miettiä, onko kohtuulliset ylimääräiset kustannukset sallittuja. (16.)

Tuotespesifikaatio on virallisempi dokumentti, joka pitää sisällään käytännössä vaatimuslistan asiat esitettynä yksiselitteisesti insinöörikielillä eli esittämällä vaatimukset siten, että niiden saavuttamista voidaan arvioida. Tämä voi olla esimerkiksi jonkin mitattavan arvon esitys määreiden avulla. Tuotespesifikaatio myös määrittelee tavoiteltavan lopputuloksen ja antaa projektille reunaehdot sekä liikkumavaran sen puitteissa.

4.2 Ongelman muotoilu

Tuotekehitysprojektille on ominaista jaotella projekti osatoimintoihin (kuva 6). Suunnittelussa käytettiin apuna morfologista kaaviota, mikä helpottaa suunnittelua, kun suunniteltava laitteisto jaetaan osatoimintoihin.

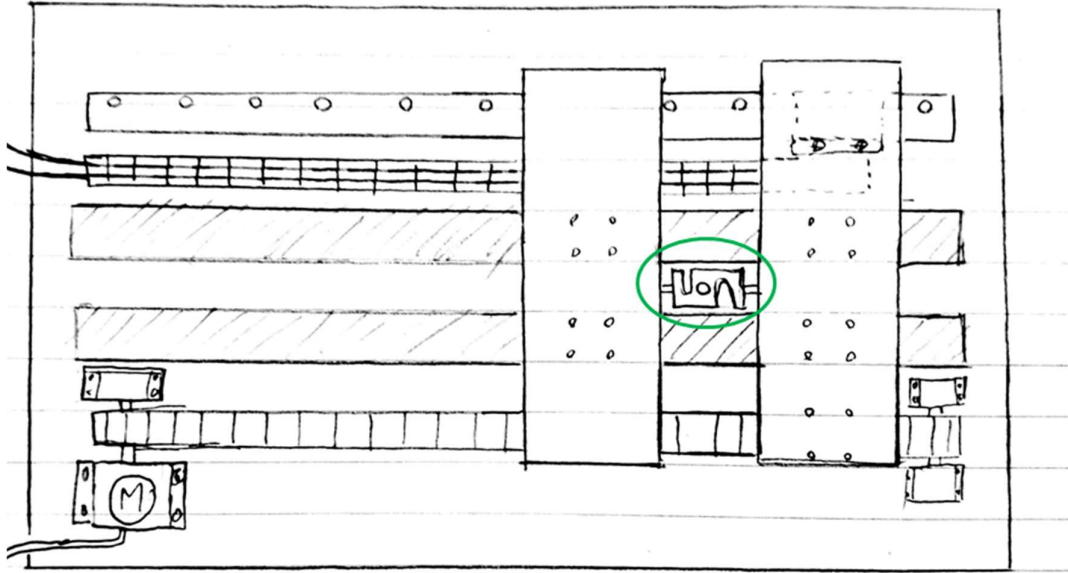
Ratkaisuvaihtoehdot		1	2	3	4	5
Osatoiminnot						
1	Beckhoff moottoreiden kiinnitys	Kotelo	Väihd. laippa			
2	Tecnotion moottorin kiinnitys	Kotelo				
3	Lineaarimoottoreiden kiinnitys	Sivuttain	Pystyyn			
4	Voimamittausmenetelmä	Venymälliuska	Santuri	Nappi-anturi		
5	Penkin pohjarakenne	Teräsrak kiint.	T-Urapöytä	Teräsrak. Liikkuva		
6	Pyörivien moott. lineaari liike	H-hihna juoksuv.	H-hihna kelkka	Liikeruuvi		
7	Paikoltusmittarin käyttö	Tason pohjassa	Tason päällä			
8	Moottorin kiinnitystaso	Kiinteä	Nousu / Lasku			

KUVA 6. Morfologinen kaavio

Osatoiminto on yksittäinen ongelma, johon on keksittävä toimiva ratkaisu. Tässä työssä osatoimintoina olivat lineaarimoottorin kiinnitys ja voimamittausmenetelmä. Morfologisessa kaaviossa jokaiselle osatoiminnolle pyritään keksimään mahdollisimman monta erilaista ratkaisua, joista voidaan yhdistellä parhaimmat vaihtoehdot.

Ideointivaiheessa pyritään keksimään toimiva ratkaisu jokaiseen osatoimintoon. Tietoa etsittiin esimerkiksi erityyppisistä voimamittauskeinoista ja hammashihnasovellustekniikoista. Osatoimintojen selkiytyttyä voitiin alkaa ideoimaan pa-

perille raakoja sketsejä toimintakokonaisuuden hahmottamiseksi. Paperille hahmotellut kuvat (kuva 7) helpottavat myös ideoiden tuomista esille välikatselmoinnissa oleville ja näin ollen helpottaa päätöksien tekoa.



KUVA 7. Voima-anturin sijoittamista havainnollistava piirros

5 TESTAUSLAITTEISTON YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU

Yksityiskohtainen suunnittelutyö perustuu vaatimuslistan ja tuotespesifikaation asettamiin rajoihin. Morfologisen kaavion avulla toteutettuja ratkaisuja aletaan suunnitella yksityiskohtaisesti. Yksityiskohtainen suunnittelu sisältää kaikkien toiminnalliseen laitteistoon vaadittavien osien ja komponenttien asianmukaisen mitoituksen ja mallintamisen aina valmiiseen kokoonpanoon asti.

5.1 Osatoimintojen ratkaisut

Testauslaitteisto jaettiin osatoimintoihin, jotka sijoitettiin morfologiseen kaavioon. Toteutettavaksi valittu kokonaisuus näkyy jatkuvana viivana morfologisessa kaaviossa kulkemalla valittujen osatoimintojen päältä (kuva 6).

Kaavion kohdissa yksi ja kaksi mainitaan Beckhoff- ja Tecnotion-moottorit, joilla viitataan pyöriviin moottoreihin. Ne ovat omana kohtanaan, sillä Beckhoff-moottorit ovat rakenteeltaan erilaisia kuin Tecnotion-moottorit, joten niiden kiinnitystapa on toisistaan poikkeava. Beckhoffin valmistamille moottoreille suunniteltiin samanlaiset, mutta erikokoiset kiinnityslaipat. Tecnotionin vääntömoottori on ns. rungoton moottori, eli siinä ei ole varsinaista runkoa, missä tavallisemmin on myös kiinnitykselle sijoitetut paikat. Sille suunniteltiin eräänlainen kiinnityskotelo, jonka toiminta perustuu aikaisemmin suunniteltuun saman moottorin kiinnitykseen.

Lineaarimoottoreiden kiinnitys päätettiin toteuttaa sivuttain, jotta moottoreiden asentaminen sekä niiden vaihtaminen kävisi helpommin. Pystyyn asennettaessa niille tulisi suunnitella myös ylimääräinen pystytasossa oleva rakenne, johon ne kiinnitettäisiin.

Voimanmittausmenetelmäksi valikoitui venymäliuskaperiaatteella toimiva voimaanturi, joka tunnetaan muotonsa vuoksi myös nimellä S-anturi. Tällä menetelmällä mittaus on nopeampi ja sen kiinnityksen ratkaisun toteuttaminen on yksinkertaisempi kuin muilla kaavion ratkaisuvaihtoehdoilla.

Penkin pohjarakenteeksi valittiin kiinteä teräsrakenne, jossa on komponenteille ja osille omat kiinnitysreiät. Kiinteällä levymäisellä rakenteilla saadaan joustavien elementtien määrä minimoitua.

Pyörivien moottoreiden lineaariliike päätettiin toteuttaa hammashihna-kelkalla, jossa moottori pysyy paikallaan ja pyörittää hammashihnaa, johon on kiinnitetty taso, joka liikkuu hammashihnan mukana. Kuormitusta voidaan säädellä vaihtamalla liikkuvan tason päälle ruuveilla kiinnitettävää massaa. Paikoitusanturi päätettiin sijoittaa liikkuvan tason pohjaan ja moottorin kiinnitystasosta päätettiin tehdä kiinteä.

5.2 Hammashihnakäytön mitoitus

Pyörivien moottoreiden liike tuli muuttaa lineaariseksi. Tähän keksittiin erilaisia vaihtoehtoja, kuten liikeruuvi- sekä hammashihnakäyttö. Se päätettiin toteuttaa lopulta hammashihnalla, sillä hammashihna on kykenevämpi suurempiin nopeuksiin sekä kiihtyvyyksiin kuin liikeruuvi ja se on myös halvempi toteuttaa. Hammashihna-käyttö pitäisi sisällään hammashihnan ja hammaspyörän mitoituksen sekä laakeripukin suunnittelun akseliseineen, laakereineen sekä lukituksiineen.

Hammashihnaa käytävälle hammaspyörälle oli asetettu haluttu halkaisija ja akselivälille minimipituus. Kun systeemiin kohdistuva suurin vääntömomentti tiedetään, voidaan laskea hammaspyörän kehävoima (kaava 1), jonka perusteella voidaan rajata hammashihnan valintaa. (17, s. 174.)

$$F = \frac{M}{r} = \frac{20,6 \text{ Nm}}{0,018 \text{ m}} = 1,14 \text{ kN}$$

KAAVA 1

F = kehävoima

M = momentti

r = hammaspyörän säde

Kun hammashihnaan kohdistuva suurin voima on tiedossa, voidaan valmistajan taulukosta valita käyttöön sopiva hammashihna (kuva 8).

Materiaali
Teräslankavahvisteinen polyuretaani

MM-JAOLLISET HAMMASHIHNAT						
Suurin vetovoima (N)						
Jako	Hihnan leveys					
	6	10	16	25	32	50
T2,5	60	-	-	-	-	-
T5	-	390	550	910	-	-
T10	-	-	1310	2200	2600	4200
AT5	-	610	1240	2030	-	-
AT10	-	-	2470	3730	5000	7480

Materiaali
Lasikuitulankavahvisteinen kloropreenikumi

TUUMAJAOLLISET HAMMASHIHNAT				
Suurin vetovoima (N)				
Jako	Hihnan leveys			
	037	050	075	100
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
XL	410	-	-	-
L	-	890	1340	1780

Materiaali
Lasikuitulankavahvisteinen neopreenikumi

MM-JAOLLISET HAMMASHIHNAT									
Suurin vetovoima (N)									
Jako	Hihnan leveys								
	9	15	20	25	30	40	50	55	85
HTD 3M	805	1340	-	-	-	-	-	-	-
HTD 5M	1050	1540	-	2560	-	-	-	-	-
HTD 8M	-	-	2690	-	4030	-	6720	-	11430
HTD 14M	-	-	-	-	-	8300	-	12000	19900

KUVA 8. Hammashihnavalmistajan hihnavalintataulukko (18.)

Valitaan hammashihnavalmistajan hihnavalintataulukosta suurimman vetovoiman perusteella teräslankavahvisteinen polyuretaanihihna T10-jaolla sekä 16 millimetrin leveydellä. Hihna kestää maksimissaan 1,31 kN:n suuruisen kehävoiman. Hammassmoduuli ja -luku voidaan selvittää tiedossa olevilla arvoilla (kaava 2) (kaava 3). (17, s. 830.)

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{10}{\pi} = 3,183$$

KAAVA 2

m = moduuli

p = jako

$$z = \frac{d}{m} = \frac{36 \text{ mm}}{3,183} = 11,73 \rightarrow 12$$

KAAVA 3

z = hammasluku

d = hammaspyörän halkaisija

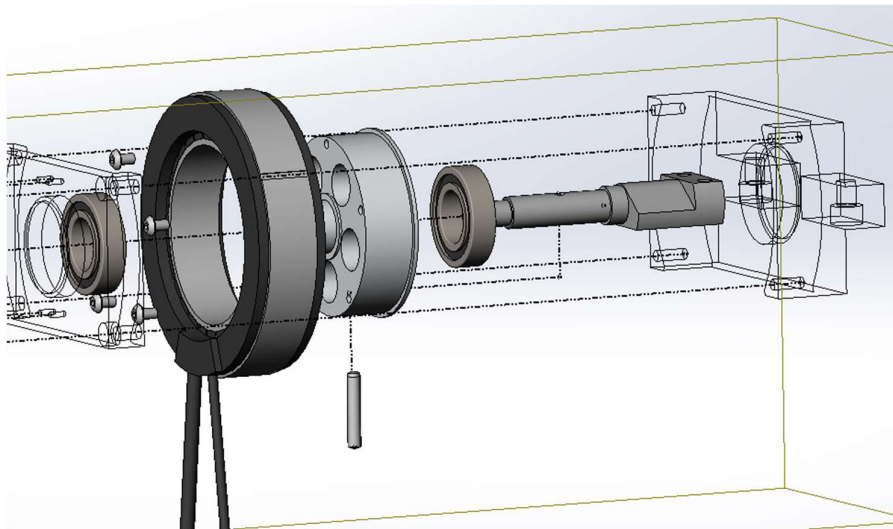
Valitaan hammasluvuksi z 12.

Valmistajan sivuilla olevan laskurin avulla saatiin hihnapituudeksi 1 620 mm sekä akseliväliksi 755 mm.

5.3 Moottoreiden kiinnityksen suunnittelu

Kaikille moottorivaihtoehdoille oli suunniteltava omat kiinnitysmekanismit. Kiinnitysten korkeus perustuu korkeimman moottorin akselin keskipisteen korkeudelle, joka tässä tilanteessa on Tecnotionin kestopagneettimoottori. Myös hammashihnakäytön korkeus tuli suunnitella tämän moottorin mukaan. Muiden pyörrivien moottoreiden korkeus voidaan kompensoida kiinnityslaipan avulla.

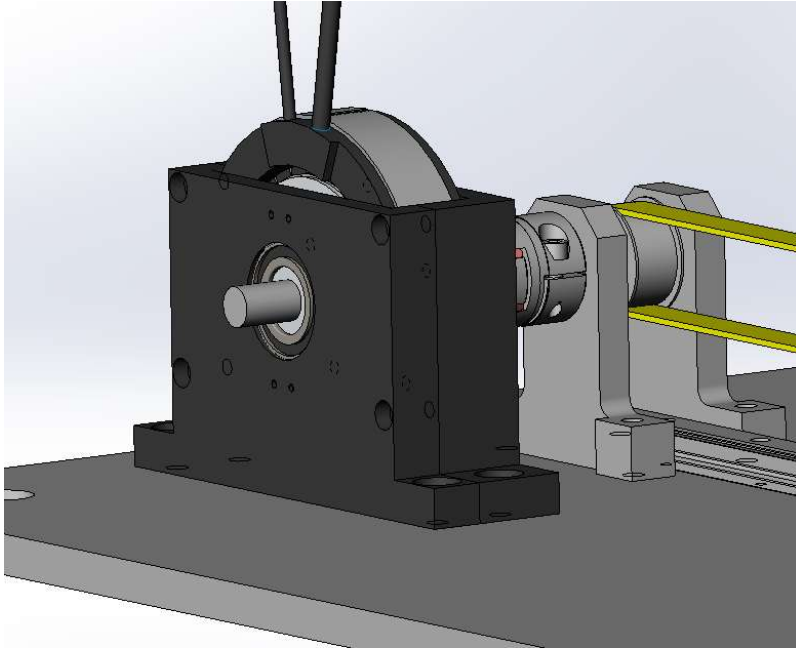
Rungottomille moottoreille on kiinnityksen lisäksi suunniteltava kuormitusmenetelmä, sillä varsinaista kiinteää akselia niissä ei ole. Toimeksiantajan PDM-järjestelmästä löytyi lähes valmis ratkaisu kuormitus- ja kiinnitysmekanismit, sillä moottoria oli käytetty aikaisemmin toisessa sovelluksessa (kuva 9). Työssä käytettiin hyväksi olemassa olevaa moottorin kuormitus- ja kiinnitysmekanismissa ja muokattiin moottorin kiinnitys testauslaitteistoon sopivaksi.



KUVA 9. Tecnotionin moottorin kuormitus- ja kiinnitysmekanismit

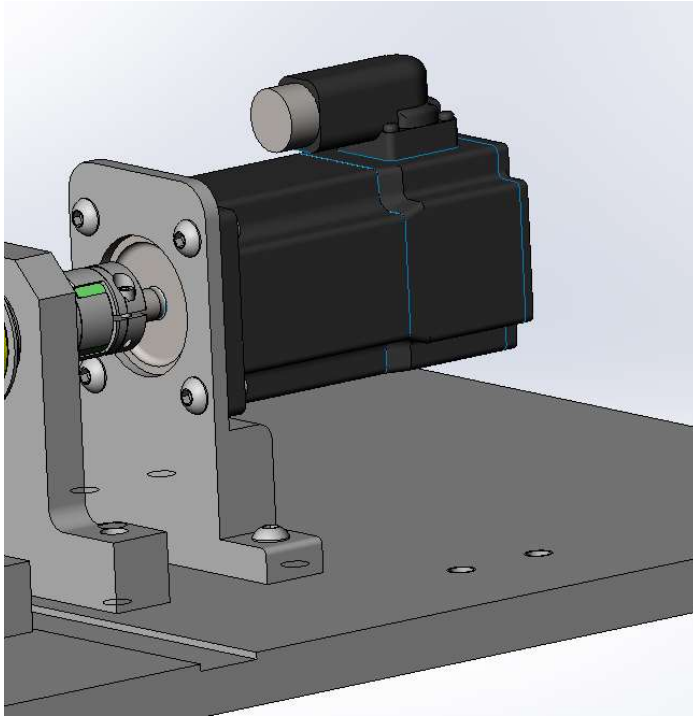
Kuormitusmenetelmässä moottorin sisäkehälle on suunniteltu siihen kiinnitettävä kiekko, joka kiristyy olakkeen sekä kiristysruuvien avulla moottorin sisäkehälle. Kiekkoon suunniteltu akseli kiinnittyy paikalleen lukitustapin avulla, joka

kulkee akseliin sekä kiekkoon tehtyjen reikien läpi ja vastaa moottorin sisäkehään. Kiinnitysmekanismita tuli muokata siten, että moottori voidaan kiinnittää pohjalevyyn pystyasentoon (kuva 10).



KUVA 10. Moottorin kiinnitys testilaitteiston pohjarakenteeseen

Beckhoffin moottorit ovat rakenteeltaan saman tyyppisiä, mutta erikokoisia. Niille voitiin suunnitella myös saman tyyppiset kiinnityslaipat, kullekin omilla mitoillaan (kuva 11).



KUVA 11. Beckhoff-servomootoreiden kiinnitys

Kiinnitys pyrittiin suunnittelemaan suhteellisen kevytrakenteiseksi ja mahdollisimman yksinkertaiseksi. Päädyttiin laippamaiseen rakenteeseen sen helpon vaihdettavuuden sekä vähäisen materiaalin tarpeen vuoksi. Kiinnityslaipat voidaan koneistaa ja moottorit voidaan kiinnittää ruuveilla laippaan. Itse laippa voidaan myös kiinnittää ruuveilla pohjarakenteeseen. Kiinnityslaippojen sekä pohjarakenteen materiaaliksi valittiin alumiini, sillä alumiinia on helppo työstää ja se on kevyt sekä edullinen materiaali.

Lineaarimoottorit päätettiin sijoittaa lineaarijohteiden toiselle puolelle hammas-hihnakäyttöön nähden, jotta niitä voidaan kuormittaa samoilla lineaarijohteiden päällä liikkuvilla tasoilla. Lineaarimoottoreille suunniteltiin kiinnitysreiät suoraan pohjarakenteeseen. Moottoreiden ja liikkuvan tason yhdistämisen välille suunniteltiin lineaarimoottorikäyttöille tyypillinen, varsin yksinkertainen kiinnityspala, minkä avulla kelayksikkö liitetään liikkuvan tason reunaan. Kiinnityspalassa on reiät ruuviliitoksille liikkuvan tason reunaan ja lineaarimoottorin kelayksikköön.

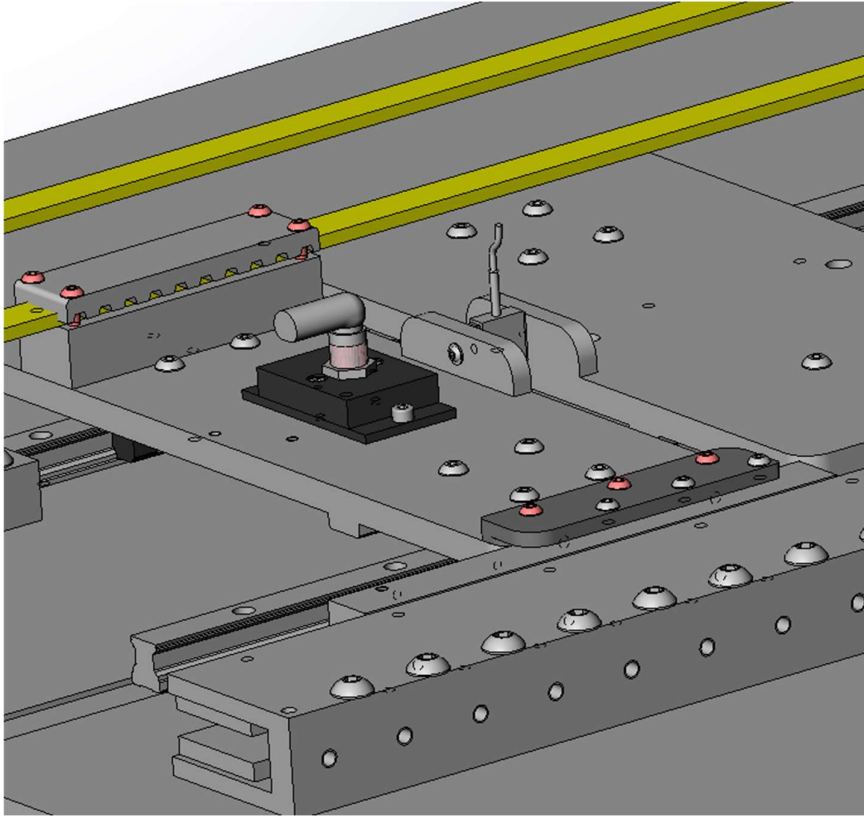
5.4 Antureiden kiinnityksen suunnittelu

Laitteistolla halutaan mitata voimaa, kiihtyvyyttä sekä paikoitustarkkuutta. Näiden määreiden mittaamiseen on olemassa erilaisia antureita, jotka tarkentuvat välikatselmoinnissa morfologisen kaavion avulla. Voimaa mitataan S-anturilla (kuva 12), joka sijoitettiin kahden liikkuvan tason väliin, mikä mahdollistaa moottoreiden dynaamisen voiman mittauksen.



KUVA 12. Futekin S-voima-anturi (19.)

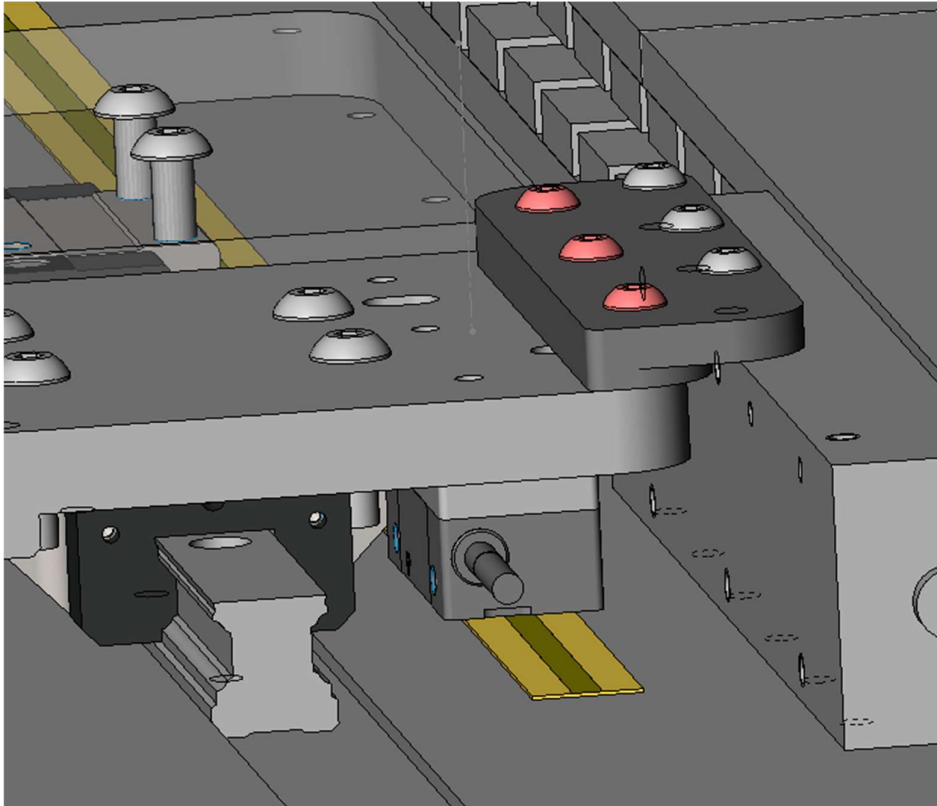
Voima-anturi on kiinnitetty ruuvilla molemmista päistä liikkuvien tasojen pätyihin. Tällä tavoin, kun moottoreiden liikkeen avulla liikutetaan toista lineaarijoh-teiden päällä liikkuvaa tasoa, voima siirtyy voima-anturin välityksellä myös toiseen liikkuvaan tasoon (kuva 13).



KUVA 13. Voima-anturin sijoitus laitteistossa

Voima-antureita valittiin kaksi moottoreiden suuren vaihteluvälin vuoksi. Pienimmän ja suurimman pyörivän moottorin vääntömomentit olivat 0,2 Nm ja 20,6 Nm. Voima-anturia voidaan vaihtaa käytettävän moottorin perusteella. Pienimmällä moottorilla kuormitusmenetelmään kohdistuvaksi lineaarivoimaksi laskettiin noin 11 N, kun taas suurimmalla noin 1,14 kN. Pienemmäksi voima-anturiksi valittiin Futekin 200 SB (kuva 12.), jolla voidaan mitata maksimissaan 450 N voimia ja suurempi anturi on HBM:n U9C, jolla voidaan mitata voimia vaihteluvälillä 500 N – 1 kN. Toimeksiantaja voi halutessaan hankkia ja liittää uusia saman tyyppisiä voima-antureita kiinnityksen asettamissa rajoissa.

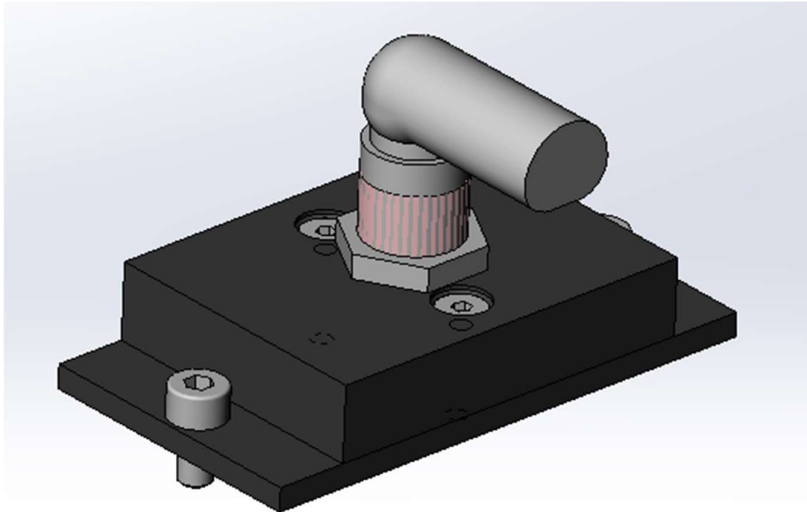
Paikoitustarkkuuden mittaamiseen oli etukäteen valittu toimeksiantajan puolesta Heidenhain-lineaarienkooderi (kuva 14), jonka mittanauha suunniteltiin kulkemaan pohjarakenteen päällä ja lukusensorin kiinnitys sijoitettiin liikkuvan tason pohjaan.



KUVA 14. Lineaarienkodeerin sijoitus laitteistossa

Moottoria kuormitettaessa taso liikkuu ja enkooderi kertoo paikkatietoa. Lineaarienkodeeri toimii lineaarimoottoreiden paikoitustakaisinkytkennän lisäksi sekä pyörivien, että lineaarimoottoreiden paikoitustarkkuuden mittarina.

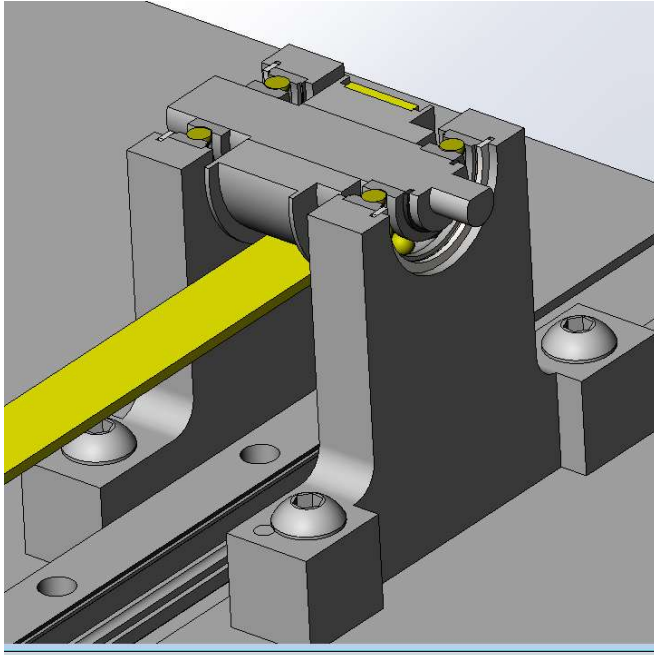
Mittauslaitteistoon kuuluva kiihtyvyyssanturi oli valittu toimeksiantajan puolesta. Kiihtyvyyssanturi on PCB Piezotronicsin PCB-1348 (kuva 15). Kiihtyvyyssanturi tuli sijoittaa liikkuvaan elementtiin ja sille suunniteltiin kiinnitys toisen liikkuvan tason päälle siten, että johdotus kulkee helposti energiansiirtoketjua pitkin eikä se ole muuten tiellä.



KUVA 15. Kiihtyvyyssanturin 3D-malli

5.5 Laakeripukkien suunnittelu

Hammashihnakäytölle tuli suunnitella siihen sopiva laakerointi. Hammaspyörän sisähalkaisijan ollessa tiedossa pystyttiin suunnittelemaan siihen sopiva akseli sekä valita oikean kokoiset laakerit. Laakereille oli myös suunniteltava tuenta ja akselin lukitus paikoilleen pituussuunnassa (kuva 16).

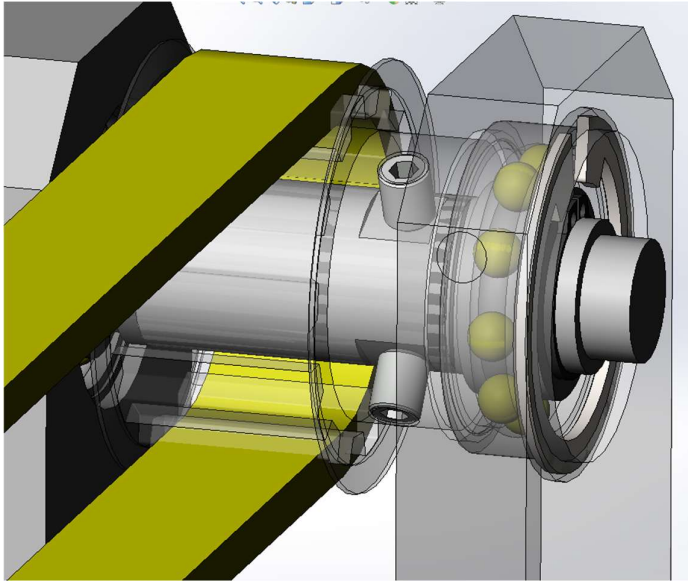


KUVA 16. Laakeripesän poikkileikkauskuva

Laakereiden tuenta ja akselin pituussuuntaisen liikkeen lukitus toteutettiin upotteiden, lovituksien ja lukitusrenkaiden avulla. Laakeripukkeihin suunniteltiin laakerin ulkomitoilla oleva upote ja sen perään lovi, johon lukitusrenkas sijoitetaan. Laakeri vastaa toiselta sivulta laakeripukin rakenteeseen ja kun toiselle puolelle tehtyyn loveen pujotetaan lukitusrenkas, laakeri on tuettu kummaltakin sivulta.

Toiselle puolelle akselia on myös tehtävä lovi, johon tulee lukitusrenkas akselin ympärille, joka vastaa toiselta puolelta laakerin sisäkehään. Laakerin jälkeen akselin halkaisija suurentuu hammaspyörän läpi kulkiessaan ja tästä syntyvä seinämä vastaa toiselta puolen laakerin sisäkehään. Näin ollen akseli lukkiutuu laakeriin nähden akselin pituussuunnassa, estäen sen liikkumisen. Akselin ja laakeripukin rakenteen materiaaliksi valittiin alumiini helpon muokattavuuden ja alhaisen tiheyden vuoksi.

Hammaspyörän kiinnitys akseliin toteutettiin kolmella pidätinruuvilla. Hammaspyörään koneistetaan kierteet pidätinruuville ja akseliin suunniteltiin lovet, joita vasten ruuvien päät puristuvat (kuva 17).



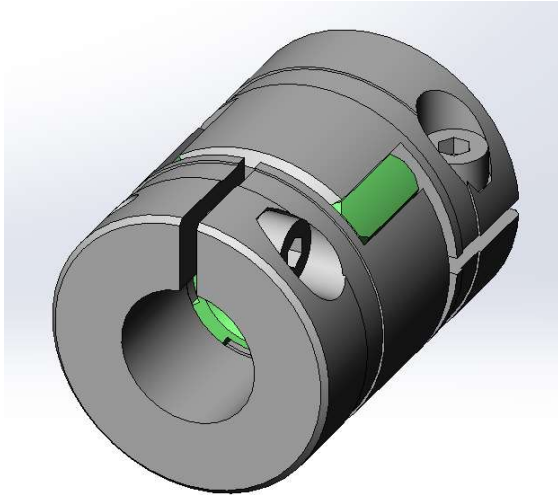
KUVA 17. Hammaspyörän kiinnitys akselille

5.6 Komponenttien valinta

Valmistettavien osien suunnittelun lisäksi laitteistoon tulee valita sopivat komponentit kuten laakerit, lukitusrenkaat, sakarakytkimet ja energiansiirtoketju. Komponentit tulee valita ja mitoittaa siten, että kokonaisuus on toimiva ja se täyttää laitteelle asetetut vaatimukset. Esimerkiksi sakarakytkinliitoksia valittaessa huomioon otettavia asioita on momentinsiirtokyky ja napojen halkaisijat.

Hammashihnakäytölle haluttiin välyksetön voimansiirto, jonka voi toteuttaa sakarakytkimillä. Eri moottorivaihtoehdoilla on erikokoiset akselit ja vääntömomentit, joten jokaiselle pyörivän moottorin ja hammashihnakäytön akselin välille valittiin oma sakarakytkin niille sopivilla navoilla sekä momentinsiirtokyvylä.

Välyksetön sakarakytkin (kuva 18) toimii siten, että sen toinen pää kiristetään kiristysruuvien avulla käyttävän akselin päähän ja toinen käytettävän akselin päähän. Näin saadaan toteutettua täysin välyksetön voimansiirto, mikä ei onnistuisi esimerkiksi kiilaurilla.



KUVA 18. Välyksetön sakarakytkin

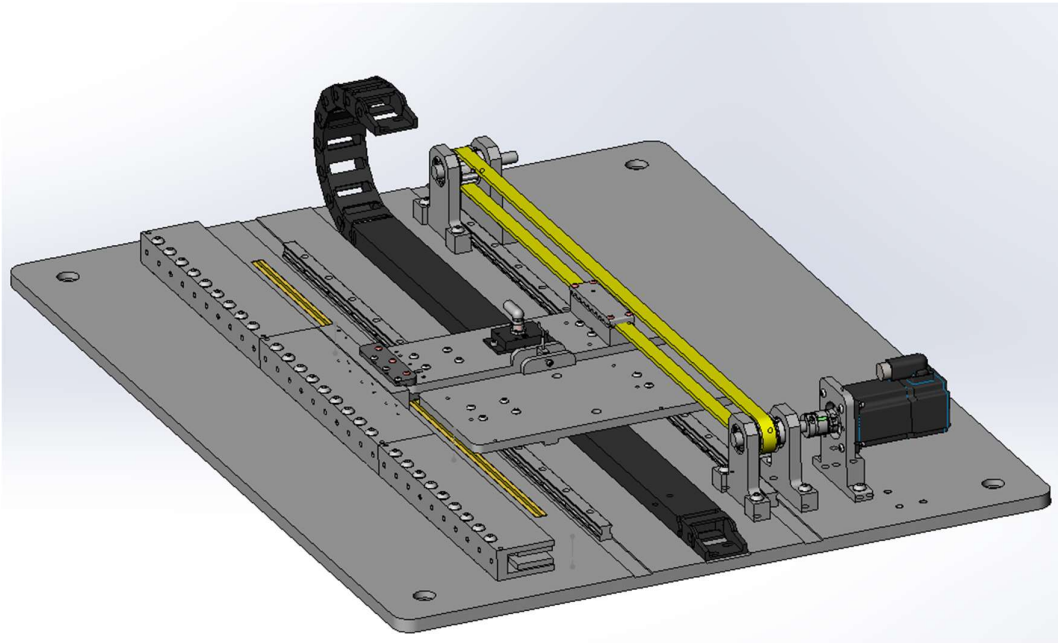
Välyksettömät kytkimet ovat tärkeä osa tarkkaa voimansiirtoa. Kytkimet koostuvat yleensä kolmesta osasta; kahdesta navasta sekä sakarasta. Sakarat ovat monesti värimerkittyjä kovuutensa perusteella. Välyksettömän voimansiirron lisäksi kytkimet myös poistavat tärinää sekä eliminoivat liitettävien akseleiden epäkeskeisyyttä. (20, s.118)

Hammashihnakäytölle valittiin SKF:n 16002 avoimet urakuulalaakerit. Nämä laakerit ovat varsin yleisesti käytettyjä monissa eri sovelluksissa. Ne ovat rakenteeltaan yksinkertaisia sekä käyttökelpoisia suurta nopeutta vaativissa käytöissä. Ne ovat myös vankkarakenteisia ja niiden huollontarve on vähäinen.

Energiansiirtoketjut mahdollistavat liikkuvan johdotuksen erilaisiin järjestelmiin. Ne ovat yleensä muovisia ja niitä voi tilata eri kokoisia sovellutuksesta riippuen. Energiansiirtoketjuksi valittiin paksuimpien johtojen sekä niiden suurimman taivutussäteen mukaan Igusin B15 –sarjan energiansiirtoketju.

6 TYÖN TULOKSET

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja mallinnettiin 3D-mallit kokoonpanoista ja kokoonpanokonfiguraatiot, joissa kaikki listatut moottorit oli sijoitettu omaan kokoonpanokonfiguraatioonsa (kuva 19). Näin ollen voidaan todeta, että näillä osilla ja komponenteilla voidaan testata kaikkia haluttuja moottoreita. Mallien lisäksi valmistettavista osista laadittiin täydelliset 2D-piirustukset mittoineen ja toleransseineen. Nämä osat valmistetaan pääosin koneistamalla. Myös kaikista laitteistoon vaadituista komponenteista laadittiin hankintalista, josta näkee komponenttien tarvittavat määrät sekä valmistuttajat.



KUVA 19. Kokoonpano Boschin lineaarimoottorilla sekä Beckhoffin servomoottorilla

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli moottorivaihtoehtojen testauslaitteiston mekaniikkasuunnittelu. Testauslaitteistolla pystytään testaamaan eri moottorityyppejä ja määrittämään niiden kiihtyvyys, voima ja paikoitustarkkuus. Työn tuloksia olivat laitteiston kokoonpanojen konfiguraatioiden 3D-mallit sekä rakenteiden 2D-kuvat ja lista alihankinta komponenteista.

Työn alussa tavoitteeksi oli asetettu myös testauslaitteiston rakentaminen sekä moottoreiden testaus, mutta aloituspalaverissa päätettiin rajata työ ainoastaan mekaniikkasuunnitteluun työn laajuuden vuoksi. Mekaniikkasuunnittelu sisältää komponenttien mitoituksen ja valinnan lisäksi tarvittavien rakenteiden suunnittelun ja mallinnuksen.

Työssä suunniteltiin moottoreille kuormitusjärjestelmä ja kiinnitystavat. Testauslaitteistoon valittiin tarvittavat anturit sekä suunniteltiin niiden sijoitus ja kiinnitys laitteistoon. Nämä koottiin 3D-kokoonpanoon ja niistä tehtiin konfiguraatiot eli eri kokoonpanovariaatiot, joissa jokaisessa oli vähintään yksi erilainen moottorivaihtoehto ja sen kiinnitys laitteistoon ja kuormitusjärjestelmään.

Työ onnistui odotusten mukaisesti. Työn tavoitteisiin päästiin ja aikataulussa pysyttiin. Työn edetessä ilmeni erilaisia ongelmia ja haasteita, joihin löytyi ratkaisu monesti toimeksiantajan suunnittelijan tai ohjaavan opettajan kanssa ongelmasta keskustelemalla ja ratkaisuja pohtimalla. Opinnäytetyön toteuttamisen aikana opittiin uusia asioita mekaniikkasuunnittelusta sekä varsinkin komponenttien mitoituksesta ja voimansiirron toteutuksesta. Jatkokehitystä ajatellen laitteistosta voisi suunnitella tiiviimmän kokonaisuuden ja optimoida rakenteiden koon minimikuormitustilannetta ajatellen. Tämän työn tulos on yksi toimiva kokonaisuus ja se on tehty toimeksiantajan ehtojen ja toiveiden mukaisesti. Mitä laitteistoa voi kuitenkin muokata ja kehittää tarpeen vaatiessa. Esimerkiksi, jos haluttaisiin testata erittäin suuria kiihtyvyyksiä, täytyisi moottoreiden sijoitus olla lähempänä liikkuvan kuorman linjaa, mahdollisesti jopa samalla linjalla.

Toteutetulla, varsin joustavalla ratkaisukokonaisuudella saadaan kuitenkin testattua halutessa myös muita kuin etukäteen listattuja moottoreita, kuitenkin rakenteiden sallimissa rajoissa. Suunnittelutyössä on kuitenkin aina otettava huomioon vaatimusten ja toiveiden lisäksi myös niihin tarvittavat resurssit ja mietittävä niiden merkitystä toteuttamisen kannalta.

LÄHTEET

1. JOT Automation celebrates 25 years at the top. 2013. JOT Automation LTd. Saatavissa: <http://www.jotautomation.com/news-events/news-archive/jot-automation-celebrates-25-years-at-the-top.html> Hakupäivä 5.4.2017.
2. Linear Motor Basics. 2017. Production Machining. Saatavissa: <http://www.productionmachining.com/articles/linear-motor-basics> Hakupäivä 3.5.2017.
3. Lineaarimootorit –koulutusmateriaali. 2000. SKS Control Oy. Saatavissa: [http://www.sks.fi/www/images/SKS_Lineaariliikepaiva_Lineaarimootorit_TIL_080212.pdf/\\$FILE/SKS_Lineaariliikepaiva_Lineaarimootorit_TIL_080212.pdf](http://www.sks.fi/www/images/SKS_Lineaariliikepaiva_Lineaarimootorit_TIL_080212.pdf/$FILE/SKS_Lineaariliikepaiva_Lineaarimootorit_TIL_080212.pdf) Hakupäivä 13.5.2017
4. Korhonen, Eero 2017. T316203 Mekanisointiyksiköt 3 op. Opintojakson verkkoympäristön materiaalit keväällä 2017. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
5. Kimbrell, Joe – Eitel, Lisa 2013. Motion Control Tips. Saatavissa: <http://www.motioncontroltips.com/understanding-encoders/> Hakupäivä 14.5.2017.
6. Salenius, Vili 2012. Sähkökoneiden vikaantumisen havainnointi. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://theseus32-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/39580/Salenius_Vili.pdf?sequence=1 Hakupäivä 22.5.2017.
7. Laarikka, Tapani 2015. Automaattisen hitsauskoneen modernisointi. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/100204/Larikka_Tapani.pdf?sequence=1 Hakupäivä 25.5.2017.

8. Kestomagneettikoneet lisäävät prosessin tehoa ja vähentävät energiakuluja. 2010. VEM Motors Finland. Saatavissa: <http://www.vem.fi/uutiset/uutiset/kestomagneettikoneet-lisaavat-prosessin-tehoa-ja-vahentavat-energia-kuluja> Hakupäivä 25.5.2017.
9. Fonselius, Jaakko – Rinkinen, Jari – Vilenius, Matti 1998. Servotekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.
10. Ohjaustekniikka, Anturitekniikan perusteet. 1997. Ammatti-instituutti, Helsinki. Saatavissa: http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka3_54_84.pdf Hakupäivä 3.5.2017.
11. Kiihtyvyyssanturit. MIP Electronics Oy. Saatavissa: <http://www.mip.fi/cms/fi/mittalaitteet/kunnonvalvonta/kiihtyvyyssanturit> Hakupäivä 17.5.2017.
12. Accelerometers – Pros & Cons. DJB Instruments Ltd. Saatavissa: <http://www.djbinstruments.com/en/information/technical-information/single-axis-iepe-accelerometers-6> Hakupäivä 25.5.2017.
13. Gangsö, Tanja 2006. Rakennusten 3D-mallinnusmenetelmät. Opinnäytetyö. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <https://theseus32-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/11855/2006-08-17-02.pdf?sequence=1> Hakupäivä 17.5.2017.
14. Ullman, David G. 2010 – The Mechanical Design Process. Fourth Edition. New York, NY: McGraw-Hill.
15. Björk, Timo – Hautala, Pekka – Huhtala, Kalevi – Kivioja, Seppo – Kleimola, Matti – Lavi, Markku – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari – Salonen, Pekka 2014. Koneenosien suunnittelu. 6., uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
16. Tuotesuunnittelu – Vaatimuslista. 2016. Aalto-yliopisto insinööritieteiden korkeakoulu. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/plu-ginfile.php/358816/mod_resource/content/1/KJR-C2005%20Tuotesuunnittelu%20uento%203%20vaatimuslista.pdf Hakupäivä 25.5.2017.

17. Valtanen, Esko 2013 – Tekniikan taulukkokirja. 20. Painos. Mikkeli: Genesis-kirjat Oy.
18. Hammashihnat- ja pyörät. Mekanex Oy. Saatavissa: <https://www.mekanex.fi/tuotteet/komponenter/kuggremsdrifter/> Hakupäivä 12.5.2017.
19. Futek. Saatavissa: http://www.futek.com/prod_views.aspx?stock=FSH00103&m=Isb200&img=Isb200TL.jpg&view=A Hakupäivä 17.5.2017.
20. Drive Technology. 2016. KTR Oy. Saatavissa: <https://www.ktr.com/eMag/drive-technology2016/> Hakupäivä 22.5.2017.