

Jalkadynamometrin tuotekehitys

Vaihtoehtoinen ratkaisu hydrauliikkasyylinterille

Kimmo Laaksonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 21.05.2012
LAAKSONEN, Kimmo	Sivumäärä 54	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
	Työn nimi JALKADYNAMOMETRIN TUOTEKEHITYS	
Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologia		
Työn ohjaaja STRÖM, Markku		
Toimeksiantaja SEPPÄLÄ, Seppo, JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Liikunta- ja terveystieteiden tiedekunta		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö oli tilattu Seppo Seppälän toimesta Jyväskylän yliopistolta, Liikunta- ja terveystieteiden tiedekunnasta. Työn tavoitteena oli löytää uusi toimintamenetelmä jalkadynamometrin lineaariliikkeen aikaansaamiseksi. Jalkadynamometri on erittäin suurella teholla toimiva jalkaprässin tapainen mittauslaite, jota käytetään ihmisen voimantuoton ja lihasaktiivisuuden mittaamiseen.</p> <p>Opinnäytetyö käsittelee eri ratkaisumahdollisuuksia ja niiden toimivuutta jalkadynamometrissä. Laitteelta vaadittavat tekniset arvot ovat todella korkeat, jonka vuoksi useat ratkaisumenetelmät eivät täyttäneet niille annettuja tavoitteita. Ratkaisuvaihtoehdoista on valittu hammashihnakäyttö tarkempaan tarkasteluun, koska se osoittautui parhaiten jalkadynamometrille soveltuvaksi menetelmäksi. Tärkein valintaperustelu hammashihnalle oli sen kyky saavuttaa hyvin helposti laitteelta vaadittava kiihtyvyyttä. Hammashihnaratkaisu täyttää myös kaikki siltä vaaditut tekniset arvot sekä poistaa nykyisiä laitteen ongelmatekijöitä, kuten vaikea siirrettävyys ja melu. Lisäksi hihnakäyttö vaatii huomattavasti vähemmän huoltokertoja kuin muut ratkaisumenetelmät.</p> <p>Hammashihnakäytölle valittiin tarvittavat komponentit ja niiden yhteensopivuus tarkistettiin MOVETEC Oy Ab:llä. Komponenttien yhteishinta oli arviolta noin 4800 euroa. Komponenttien suurin kustannustekijä oli 15 kW sähkömoottori, joka kattoi noin 60 % tarvittavien komponenttien kokonaishinnasta. Varsinainen hammashihna ja siihen tarvittavat hammashihnapyörät olivat hyvin pieni osa komponenttien hinnasta.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena on antaa selvä alkulähtökohta uuden jalkadynamometrin rakentamiselle. Hammashihnakäytöllä aikaansaatua lineaarista liikettä on tehokkain ja kestävin vaihtoehto korvaamaan jalkadynamometrin nykyisen hydraulisen ratkaisumenetelmän.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Jalkadynamometri, tuotekehitys, hydraulikka, hammashihna, sähkömoottori, taajuusmuuttaja		
Muut tiedot		



Author(s) LAAKSONEN, Kimmo	Type of publication Bachelor's / Master's Thesis	Date 21.05.2012
	Pages 54	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title PRODUCT DEVELOPMENT OF THE LEG DYNAMOMETER		
Degree Program Wellness Technology		
Tutor(s) STRÖM, Markku		
Assigned by SEPPÄLÄ, Seppo, University of Jyväskylä, Faculty of Sport and Health Sciences		
Abstract <p>The study was commissioned by Seppo Seppälä from the University of Jyväskylä, Faculty of Sport and Health Sciences. The objective was to find a new method of operating the leg dynamometer in order to achieve linear movement. Leg dynamometer is a very high power functional leg press-like measuring device that is used to measure human power output and muscle activity.</p> <p>The thesis deals with the various possible solutions and their functionality on the leg dynamometer. The technical data that is required from the device is very high, which makes a number of solution methods not meeting the objectives that were given to them. The selected solution which was placed for closer examination was timing belt because it turned out to be the best available method for the leg dynamometer. The most important criterion for selection was its ability to achieve the required acceleration very easily. Timing belt solution also fulfills all of its required technical data and overcomes the current problems such as hard portability and noise. Timing belt also requires significantly less maintenance than the other methods of resolution.</p> <p>Required components were selected for the timing belt and compatibility of the components was checked by the Movetec Oy Ab. Price of the components was estimated to be about 4800 euros. The largest cost factor was a 15 kW electric motor which costs about 60 % of the total price of the components. The actual timing belts and pulleys were very small fraction of the price of components.</p> <p>The aim of this study is to provide a clear starting point for the beginning of a new leg dynamometer construction. The linear motion achieved with the timing belt is the most effective and sustainable option to replace the leg dynamometers current hydraulic solution method.</p>		
Keywords Leg dynamometer, product development, hydraulics, timing belt, electric motor, inverter		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	VIVECA – HYVINVOINTITEKNOLOGIAN KESKUS	6
2.1	Yritystietoja	6
2.2	Liikuntabiologian laitos.....	6
3	JALKADYNAMOMETRI	8
3.1	Toimintaperiaate	8
3.2	Hallintalaitteet.....	9
3.3	Testilaitteiston turvallisuus.....	11
3.3.1	Käyttöturvallisuus.....	11
3.3.2	Säköturvallisuus.....	12
4	LINEAARILIIKKEEN TOTEUTUS.....	13
4.1	Hydrauliikka	13
4.1.1	Toimintaperiaate	13
4.1.2	Ongelmatekijät.....	14
4.2	Pneumatiikka	15
4.2.1	Toimintaperiaate	15
4.2.2	Ongelmatekijät.....	15
4.3	Kuularuuvi.....	16
4.3.1	Toimintaperiaate	16
4.3.2	Käytön edut	17
4.3.3	Kuularuuvin laskentaohjelma	18
4.4	Elektromekaaninen sylinteri	19
4.4.1	Toimintaperiaate	19
4.4.2	Käytön edut ja ongelmatekijät.....	20

4.5	Hammashihnakäyttö.....	21
4.5.1	Toimintaperiaate	21
4.5.2	Käytön edut	22
5	VALITTU RATKAISUMENETELMÄ.....	24
5.1	Valinta perustelu	24
5.2	Maahantuoja	25
5.3	Hihnatyypin valinta.....	26
5.3.1	Hammashihnan pituus ja hammaspyörän valinta	26
5.4	Vaadittava teho ja tarkempi mitoitus	28
5.5	Tehon aikaansaanti.....	31
5.5.1	Sähkömoottori	31
5.5.2	Sähkömoottorin valinta	32
5.5.3	Asennus ja huolto.....	33
5.6	Hammashihnan kiinnitys	34
5.6.1	Kiinnityslevyt	34
5.6.2	Kiinnityslevyn valinta	34
5.6.3	Hammashihnan kiinnitys jalkadynamometriin	36
5.7	Digitaalinen ohjauskeskus	36
5.7.1	Digitaalisuus	36
5.7.2	Taajuusmuuttaja.....	37
5.7.3	Valittu taajuusmuuttaja	38
5.7.4	Lisävarusteet.....	39
6	TULOSTEN TARKASTELU.....	40
7	POHDINTA.....	42
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	49

Liite 1. Kuularuuvien laskentaohjelman tulokset	49
Liite 2. Hihnatyyppien alustava mitoitus	50
Liite 3. Jalkadynamometrin tekniset arvot	51
Liite 4. Laskennallinen osuus	52
Liite 5. AT20-Hammashihnan tiedot	53
Liite 6. Tarvittavat komponentit	54

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaaja on Seppo Seppälä Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveystieteiden tiedekunnasta. Työn tarkoituksena on löytää uusi toimintamenetelmä jalkadynamometri nimisen mittauslaitteen lineaariliikkeen aikaansaamiseksi. Nykyinen menetelmä on äänekäs ja tilaa vievä. Uuden ratkaisun on täytettävä jalkadynamometrille asetetut tarkat tekniset arvot. Opinnäytetyö käsittelee eri ratkaisumahdollisuuksia ja niiden toimivuutta jalkadynamometrissä. Tarkastelemistani vaihtoehtoista olen valinnut mielestäni parhaiten soveltuvan ratkaisun tarkempaan tarkasteluun. Valitsemalleni ratkaisulle on valittu tarvittavat komponentit ja niille on tehty kustannusarvio

Jalkadynamometri on erittäin suurella teholla toimiva jalkaprässin tapainen mittauslaite, jota käytetään ihmisen voimantuoton ja lihasaktiivisuuden mittaamiseen. Laitteen suurien voimien takia on oltava erittäin tarkka tuotekehitysprosessin aikana, jotta muutokset laitteessa eivät aiheuta vaaratekijöitä koehenkilöille.

Jalkadynamometri on ollut toiminnassa nykyisellä hydraulisella menetelmällä jo 2000-luvun alusta asti. Rakennusvaiheessa hydrauliiikatoteutus vaikutti parhaalta ratkaisulta. Nyt on kuitenkin alettu harkitsemaan uuden jalkadynamometrin rakentamista. Tekniikka on kehittynyt paljon yli kymmenen vuoden aikana ja tämän seurauksena Seppälä on halunnut tarkempaan tarkasteluun uusia toimivia ratkaisuja laitteen lineaariliikkeen aikaansaamiseksi.

Opinnäytetyön tavoitteena on antaa selvä alkulähtökohta uuden jalkadynamometrin rakentamiselle. Uuden ratkaisumenetelmän tulee sisältää nykyisen jalkadynamometrin ominaisuudet. Ratkaisumenetelmän olisi myös pystyttävä kehittämään nykyisiä ominaisuuksia sekä poistamaan laitteen ongelmatekijöitä.

2 VIVECA – HYVINVOINTITEKNOLOGIAN KESKUS

2.1 Yritystietoja

Viveca on Jyväskylän yliopiston hyvinvointiteknologian keskus, joka keskittyy liikunta- ja terveystieteiden tutkimiseen, niiden edistämiseen ja uusien konseptien luomiseen. Vivecan liikeidea on toteuttaa tutkimus- ja kehittämistoimintaa yhteistyössä yritysten, yhteisöjen sekä yksilöiden kanssa. Ulkopuolisten toimijoiden kanssa toteutettavien projektien päämääränä on käytännön elämän ongelmien ratkaiseminen Vivecan eri laitosten osaamista yhdistäen. (Viveca/etusivu, 2012.)

Laitoksen toiminta sisältää tutkimuksia koko ihmisen elinkaaren ajalta ottaen huomioon kaikki ihmiset liikuntarajoitteisista aina huippu-urheilijoihin asti. Vivecan laitoksen toiminnalla pyritään parantamaan hyvinvointia, liikkumista ja elämänlaatua kehittämällä uusia käytännön ratkaisuja. (Viveca/osaaminen, 2012.)

Viveca-yksikkö on erittäin kansainvälinen. Se linkittää toimintaansa maailmanlaajuisesti eri yliopistoiden tutkijoille, opiskelijoille sekä muille osaajille. Toiminnan tavoitteena on kasvattaa mahdollisimman laajat valtakunnalliset ja kansainväliset toiminta- sekä osaamisverkostot. (Viveca/toiminta-ajatus, 2012.)

2.2 Liikuntabiologian laitos

Vivecan yksikkö muodostuu liikuntabiologian-, liikuntatieteiden- sekä terveystieteiden laitoksista. Opinnäytetyöni sijoittuu liikuntabiologian laitoksessa käytettävään mittauslaitteeseen. Liikuntabiologian laitoksella on jo yli 40- vuoden kokemus liikuntabiologisesta tutkimuksesta. (Liikuntabiologian laitos/tutkimus, 2012.) Ensimmäisen professorin laitos sai liikuntafysiologiasta jo 1960-luvulla. Nykyään laitoksella on professorin virka myös biomekaniikasta (1980-luvulla) sekä valmennus- ja testausopista (vuonna 2002). (Liikuntabiologian laitoksen laatukäsikirja, 2008, 1-2.) Liikuntabiologian laitoksen keskeisimpiin tutkimusalueisiin

kuuluvat muun muassa hermojärjestelmän toiminta, lihasväsymys ja lihasvaurio sekä voima- ja yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun adaptaatiomekanismit. Liikuntabiologian laitoksella on runsaasti kotimaisia sekä kansainvälisiä yhteistyökumppaneita. Tärkeimpiä kotimaisia yhteistyökumppaneita ovat esimerkiksi Jyväskyläläiset tutkimuskeskukset LIKES ja KIHU sekä Keski-Suomen keskussairaala. Useat tutkimukset toteutetaan kansainvälisellä yhteistyöllä useiden Euroopan maiden sekä myös Japanin ja USA:n kanssa. Liikuntabiologian laitos on tutkimukseen suuntautunut laitos, jossa tutkimus pyritään luontevasti yhdistämään yliopiston opetuksen kanssa. (Liikuntabiologian laitos/tutkimus 2012.)

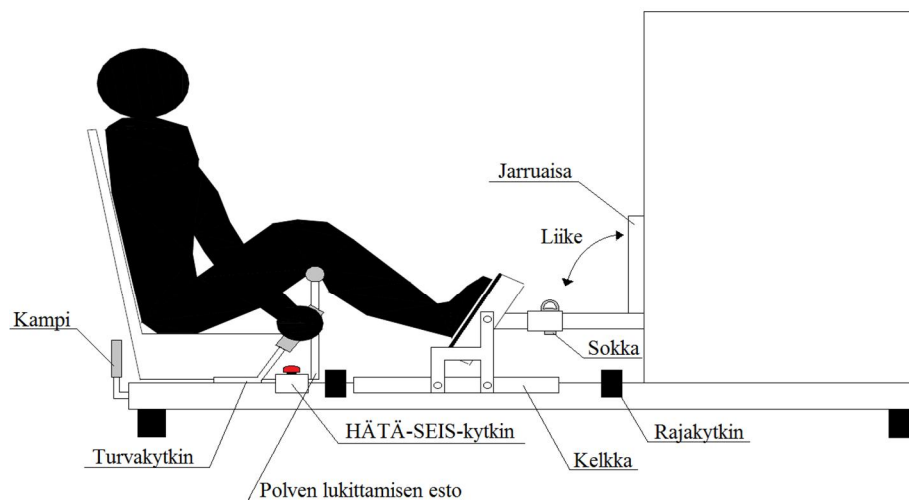


KUVIO 1. Mittaustilanteita liikuntabiologian laitoksella

3 JALKADYNAMOMETRI

3.1 Toimintaperiaate

Jalkadynamometri on Jyväskylän yliopiston Liikunta- ja Terveystieteiden tiedekunnan Teknisen osaston suunnittelema laite. Laite on ainoastaan käytössä Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksella. Laite muistuttaa ulkonäöltään ja toimintatavaltaan normaalia kuntosaleilta löytyvää jalkaprässiä. Painojen sijasta koehenkilö pyrkii työntämään jaloilla maksimivoiman voimalevyä vasten. Voimalevy koostuu venymäliuska-antureista, joiden toiminta perustuu anturissa olevien metallijohteiden muodon muutokseen venytyksen takia. Tämän seurauksesta johteen resistanssi eli sähkövastus muuttuu ja sen avulla saadaan tietää venymäliuskaan kohdistuvan voiman määrä. Voimalevy on kiinnitetty laitteessa liikuteltavaan kelkkaan. Tällä aikaansaadaan mittauksissa tarvittava voimalevyn lineaarinen eli suoraviivainen liike. Koehenkilön painaessa voimalevyä, voidaan kelkkaa siirtää joko lähemmäksi, tai kauemmaksi koehenkilöstä. Voimalevy siirtyy niin suurella voimalla, ettei koehenkilö pysty vastustamaan liikettä. Voimalevyn liikkeen ajalta voidaan tutkia koehenkilön maksimivoimassa tapahtuvia muutoksia. (Peltonen Heikki, 2012.)



KUVIO 2. Piirros jalkadynamometrissä

3.2 Hallintalaitteet

Nykyisellä toteutuksella hallintalaitteet ovat jakautuneet eri puolille jalkadynamometriä. Käytössä oleva sähkömoottori ja hydraulikkasyylinteri sijaitsevat jalkadynamometrin etuosassa ja ne ovat peitetty suuren vanerilaatikon sisälle. Laatikon sivuosaan on kiinnitetty sähkömoottorin virtakytkin, jolla moottori käynnistetään painamalla vihreää I-painiketta ja sammutetaan painamalla O-painiketta. Muiden laitteiden virransyöttö sijaitsee laatikon päällä ja ne kytketään päälle pistorasian kytkimestä. Pistorasialla saadaan ohjauskeskuksen syöttövirta sekä virta vahvistimeen ja hydraulikkayksikköön.

Ohjauskeskus sijaitsee laatikon etuosassa voimalevyn yläpuolella. Ohjauskeskukseen virta saadaan päälle vain virta-avaimella. Virta-avain luovutetaan ainoastaan henkilöille, jotka ovat perehtyneet laitteen turvallisuuteen. Ohjauskeskukseen sisältyy virta-avaimella toimiva on/off toiminto sekä painike toiminnan palautukselle. Painikkeiden alla on erilliset merkkivalot toimintavalmiudelle, toiminnan estymiselle, turvakytkimelle sekä hätä-seis toiminnolle. Toimintavalmius on ilmoitettu virta nimisellä merkkivalolla, joka palaa, kun ohjauskeskus on kytketty päälle. Toiminta estetty-merkkivalo palaa, kun laitteen toiminta on lakannut turvalaitteiden seurauksesta. Turvakytkin-merkkivalo palaa silloin, kun turvakytkin estää laitteen toiminnan. Hätä-seis merkkivalo palaa, kun hätä-seis painiketta on painettu. Toiminnan palautus-painikkeella saadaan palautettua laitteen toiminnot turvalaitteiden aiheuttaman pysähtymisen jälkeen. Painiketta ei tarvitse kuitenkaan käyttää silloin, kun turvakytkin estää laitteen toiminnan. Jalkadynamometrin toiminta palautuu heti kun koehenkilö vetää uudelleen turvakytintä ylöspäin.

Laitteen käsiohjaus roikkuu pitkän johdon vuoksi koukussa laatikon sivuosassa. Ohjaimen voi ottaa käteen ja sen kanssa pystyy liikkumaan jalkadynamometrin lähiympäristössä. Näin mittauksesta vastaava henkilö pystyy laitetta käyttäessään olemaan paremmin kontaktissa koehenkilön kanssa. Käsiohjain sisältää vain eteen ja

taakse painikkeet. Muut toiminnot asetetaan muista hallintalaitteista ennen mittauksen alkua.

Kelkan liikkumisnopeuden säädin löytyy laatikon päältä. Liikkumisnopeutta säädetään kaksikehäisen kiekon avulla. Kun nopeus on minimissään (0,1 m/s), sen kumpikin kiekko on käännetty täysin myötäpäivään. Nopeutta säädellään portaattomasti aloittamalla isommasta kiekosta. Kääntämällä kiekkoja vastapäivään saadaan kelkalle lisää nopeutta. Isomman kiekon avulla saadaan 0.35 m/s nopeus. Jos tämä nopeus ei riitä, pienemmällä kiekolla saadaan kelkan nopeus nostettua 0.7 m/s. Laitteen teknisten tietojen mukaan nopeus saadaan nostettua 1 m/s erikoistapauksia varten, mutta tämä on säädettävä eri kautta. Laitetta ei ole kertaakaan vielä käytetty 1 m/s nopeudella eikä laitteen tiedoissa kerrota kuinka nopeus saadaan säädettyä. Normaalikäytössä isommasta kiekosta lähdetään aina aluksi nostamaan nopeutta. Nopeutta lasketaan siitä kiekosta mikä on ollut viimeisimpänä käytössä. Hydrauliiikkasynterillä saatava voima pidetään aina samana, eikä sitä voida muuttaa hallintalaitteista. Koehenkilöstä saatavat voimat nähdään hydrauliikkalaatikon kyljessä olevasta vahvistimesta. Laite ilmoittaa koehenkilön voimantuoton Newtonina. Vahvistin ei vaadi normaalikäytössä muuta kuin nollatason säädön ennen suoritusta.

Koehenkilöt ovat luonnollisesti eripituisia. Tämän takia penkkiä pitää pystyä siirtämään, jotta jokaiselle koehenkilölle saadaan sama lähtöpolvikulma. Penkin siirto tapahtuu sen takana olevasta kammesta. Kampea pyörittämällä penkki siirtyy haluttuun suuntaan. Halutessa kelkan voi irrottaa hydrauliikkasynterinin karasta vetämällä lenkillä varustettu sokka pois paikaltaan. Sylinterin varsi ajetaan laatikon sisälle, jolloin varren yläpuolelta voidaan ottaa jarruasia käyttöön. Jarruasia avulla voidaan suorittaa koehenkilöltä vapaapotku, jossa koehenkilö pyrkii räjähtävällä voimalla työntää kelkka liikkeelle. Kelkka lähtee liikkeelle, koska sylinteri ei ole enää pysäyttämässä kelkkaan kohdistuvia voimia. Jarruasia tarkoitus on pysäyttää mekaanisesti kelkka tarvitun liikkeen jälkeen. (Seppälä Seppo, 2002, 3-8.)

3.3 Testilaitteiston turvallisuus

3.3.1 Käyttöturvallisuus

Jalkadynamometrissä tapahtuvien suurien voimien ja nopeuksien takia on erittäin tärkeää, että turvallisuudessa on otettu kaikki riskitekijät huomioon. Laitteessa on pyritty siihen, että toimintaa ohjaavalla henkilöllä sekä koehenkilöllä on molemmilla vastuu kelkan liikkeestä. Tämä on toteutettu turvakytkimen sekä käsiohjaimen avulla. Laitte toimii ainoastaan jos koehenkilö vetää turvakytkimä ylöspäin samanaikaisesti kun toimintaa ohjaava henkilö painaa käsiohjaimesta joko ETEEN tai TAAKSE painiketta pohjassa. Jos toinen heistä hellittää otteensa, niin laite pysähtyy automaattisesti. (Jalkadynamometrin luentomateriaali, 16). Häätapauksia varten koehenkilön turvakytkimen viereen on asennettu myös HÄTÄ-SEIS kytkin. On kuitenkin huomioitava, että kyse on suurista nopeuksista, joten ei voida olettaa, että ihminen kerkeää reagoida tilanteessa tarpeeksi nopeaa. Tämän vuoksi laitteessa on myös rajakytkimet sekä mekaaninen raja. Liikuteltavat rajakytkimet eivät ole virallisesti turvalaitteita, vaan niiden avulla voidaan rajoittaa kelkan liike halutulle pituudelle. Kelkka pysähtyy automaattisesti tullessaan rajakytkimen kohdalle. Laitteiden vikaantumisriskin takia sylinterillä on myös mekaaninen raja. Tämä tarkoittaa, että sylinterin varsi on mitoitettu niin, ettei se yllä liian lähelle koehenkilöä. Mekaaniseen rajaan kuitenkin vaikuttaa se miten lähelle penkki on säädetty. Liikkeen ollessa koehenkilöä kohti, on erittäin tärkeää, etteivät polvet pääse lukittumaan mittauksen aikana. Penkin edessä on laite, jonka tarkoitus on estää polvien lukittuminen. Laitteen korkeus säädetään siten, että jalat pääsevät oikeenomaan vain haluttuun rajaan saakka. (Seppälä, 2002, 6-9.)

Järjestelmän painesäädöllä on rajoitettu maksimivoima arvoon 12 500 Newtonia. Laitteen sähköinen turvajärjestelmä valvoo voima-anturin signaalia ja lopettaa kelkan liikkeen, jos voimasignaali viipyy yli 100 ms 12 500 Newtonissa. (Jalkadynamometrin luentomateriaali, 10.)

On erittäin tärkeää, että mittauksen suorittava henkilö on käynyt laadittavan opastuksen läpi. Jalkadynamometrin kylkeen on kiinnitetty laitteen käyttöohje siltä varalta, että mittaajan on tarkastettava jotain mittaukseen liittyviä kohtia. Käyttöohjeesta löytyy vaihe vaiheelta ohje turvalliseen käyttöön. Vaikka ohjeiden avulla laitetta pystyisi käyttämään, sen kuitenkin saadaan käyntiin vain ohjekeskuksen virta-avaimella. Avain luovutetaan vain laitteen turvallisuuteen ja käyttöön perehtyneille ihmisille. (Seppälä, 2002, 3.)

3.3.2 Sähköturvallisuus

Tehokkaan sähkömoottorin takia jalkadynamometri tarvitsee kolmivaihepistorasian 63 A voimansyötöllä. Kyseessä on erittäin suuri sähkövirta ja tästä syystä kaikki mahdolliset sähköturvallisuusriskit on pyritty poistamaan. Jalkadynamometrillä on maadoitettu runko, joka tarkoittaa, että laite on kytketty suojajohtimen välityksellä maahan. Jalkadynamometrin tapauksessa maadoitus tapahtuu automaattisesti yhdistämällä virtajohto kolmivaihepistorasiaan. Maadoituksen tarkoituksena on estää vioittuneen laitteen mahdollista jännitteen kytkeytymistä laitteen runkoon. Jos jännite kytkeytyy runkoon, se aiheuttaa kohtalokkaan sähköiskun ihmiselle. Maadoitetussa rungossa jännite kytkeytyy vioittumistilanteessa suojajohtimen kautta maahan ja tämän seurauksena oikosulkuvirta polttaa sulakkeen, joka saa virrantulon katkeamaan. (Seppälä 2012.) Vivecan lääkintätiloissa jokainen, laite mukaan lukien jalkadynamometri, tulee olla myös lisämaadoitettu potentiaalintasauskiskolla. Tällä varmistetaan sähköturvallisuus siinä tilanteessa, jos kolmivaihepistorasiaan tulee häiriö. Jalkadynamometri ei sisällä osia tai toimintoja, joissa ilmeneisi sähköturvallisuusriskiä koehenkilölle tai mittaajalle. Jalkadynamometrin virtajohdot ovat aina seinässä, joten laitteen käyttäjän ei tarvitse koskaan olla tekemisissä virtajohtojen kanssa. (Pihlavirta Sakari, 2009, 22–23.)

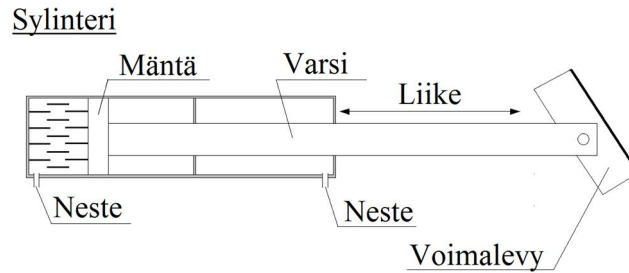
4 LINEAARILIIKKEEN TOTEUTUS

4.1 Hydrauliiikka

4.1.1 Toimintaperiaate

Nykyinen jalkadynamometri on toteutettu hydrauliiikan avulla. Rakennusvaiheessa hydrauliiikka vaikutti edullisimmalta tavalta toteuttaa laitteen vaatima suuri kiihtyvyyttä sekä voima. (Seppälä, 2011). Hydrauliiikan toiminta perustuu nesteeseen avulla saatuun paineeseen ja tilavuusvirtaan, jotka saadaan aikaiseksi pumpulla ja sähkömoottorilla. Sähkömoottori muodostaa pumpun avulla tilavuusvirran, jota voidaan siirtää putkien kautta haluttuun paikkaan. Tilavuusvirtaa ohjataan venttiilien avulla. Jalkadynamometrin hydrauliiikkajärjestelmää säädetään paineenalennusventtiilin sekä sähkötoimisen suuntaventtiilin avulla.

Paineenalennusventtiilin tarkoitus on estää paineen kohoaminen haluttua määrää suuremmaksi. Sähkötoiminen suuntaventtiili ohjaa sylinterin liikettä. Sylinteri muodostuu männästä ja varresta. Mäntä on sylinterin keskellä jakamassa sylinterin kahteen osaan. Varsi on mäntään kiinnitetty, jolloin sen liike on riippuvainen männän liikkeestä. Sylinterin molempiin reunoihin on kiinnitetty putket, joista neste pääsee virtaamaan. Toisesta putkesta tuleva tilavuusvirta työntää männän ja varren sylinterin vastakkaiseen reunaan. Varteen on kiinnitetty kelkan varassa oleva voimalevy. Suuntaventtiilillä ohjataan sitä, kumpaan sylinterin putkeen tilavuusvirta halutaan, jonka seurauksesta saadaan kelkan lineaarinen liike aikaiseksi (Jalkadynamometrin luentomateriaali, 8-13.)



KUVIO 3. Piirros hydraulikkasyylinteristä

4.1.2 Ongelmatekijät

Vaikka hydraulikka on ollut jo pitkään toimiva ratkaisu jalkadynamometrin lineaariliikkeen aikaansaamiseksi, sen käyttö on myös tuonut esille ongelmatekijöitä. Hydraulikkajärjestelmässä laitteessa käytettävä neste kulkee suljetussa kierrossa. Tämä tarkoittaa, että sama neste joudutaan jatkuvasti kierrättämään laitteen läpi toisin kuin pneumaattisessa laitteessa, jossa käytetty paineilma voidaan päästää ulos ilmakehään. Suljetun kierron johdosta hydraulikkajärjestelmä vaatii huomattavasti enemmän huoltokertoja kuin pneumaattinen järjestelmä. Pneumaattinen järjestelmä perustuu kokoon puristettuun ilmaan eli paineeseen. Hydraulikassa nestettä ei voida puristaa pienempään tilaan. Tämän seurauksena hydraulinen järjestelmä tarvitsee tilan, johon neste voidaan varastoida. Nesteen varastointi, pumppu, sylinteri, suodatin ja muut hydraulikkajärjestelmään tarvittavat laitteet kasvattavat jalkadynamometrin kokoa huomattavasti. (Universal Fitness Equipment, 2012.) Suuren koon takia laite on tällä hetkellä hyvin painava ja erittäin vaikea siirtää.

Mittaustilanteessa on hyvin tärkeää, että mittauksen suorittava henkilö pystyy kommunikoimaan koehenkilön kanssa. Hydraulikkajärjestelmästä kuuluva ääni on hyvin suurta ja rajoittaa keskustelumahdollisuuksia. Lisäksi osa koehenkilöistä saattaa pelätä istua mittauslaitteeseen, joka on erittäin suuri ja pitää kovaa meteliä. Hydraulikasta muodostuu myös pieniä hajuhaittoja mitkä voivat olla epämiellyttäviä mittaustilanteen aikana. (Seppälä, 2011.)

Letkurikon sattuessa korkeapaineinen nestesuihku ei ole vaaratekijä, koska hydraulikkalaitteet ovat suojattu puulaatikon sisään. On kuitenkin mahdollista, että neste pääsee valumaan laatikon ulkopuolelle ja vahingoittamaan mittaustiloja. (Universal Fitness Equipment, 2012.)

4.2 Pneumatiikka

4.2.1 Toimintaperiaate

Pneumatiikkajärjestelmä on hyvin samanlainen kuin hydraulinen järjestelmä. Tilavuusvirran sijasta kompressorin avulla luodaan järjestelmän suljettuun kiertoon paineilmaa. Paineilma voidaan varastoida säilöön ja siirtää haluttuna hetkenä putkistossa eteenpäin. Paineita ohjataan ja säädetään suuntaventtiilien avulla. Sylinterin tehtävä on muuttaa paineilma mekaaniseksi työksi aivan samalla periaatteella kuin hydraulisessa järjestelmässä. (Hulkkonen Veli, 2005, 2.) Pneumatiikkajärjestelmä tarvitsisi hydraulikkaan verrattuna huomattavasti vähemmän kunnossapitoa. Järjestelmän yksinkertaisen energian siirtotavan takia paineilman käyttö on helppoa ja sen hankintakustannukset ovat alhaisia. Vuotojen tapahtuessa se ei aiheuttaisi ympäristöön minkäänlaisia ongelmia tai vaaratekijöitä.

4.2.2 Ongelmatekijät

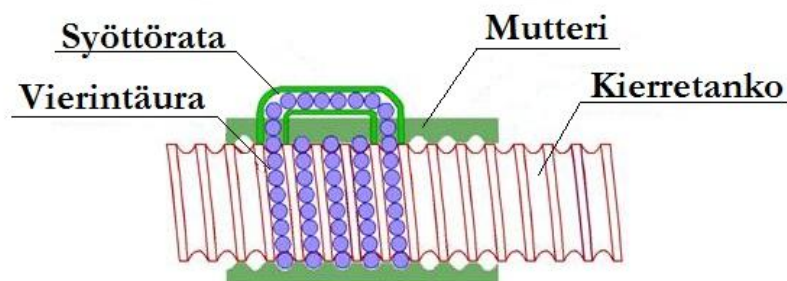
Pneumaattiset laitteet ovat suunniteltu tekemään toistuvaa työtä kuten esimerkiksi tuotteiden siirtoa tehtaalla. Pneumaattisilta laitteilta hyvin harvoin vaaditaan yhtä suuria voimia mitä jalkadynamometrin lineaarinen liike vaatii. (G. Prede & D Scholz, 1997. 6-11.) Tämän vuoksi sopivien komponenttien löytäminen olisi huomattavasti vaikeampaa. Vaikka löytäisimmekin tarvittavan tehokkaat laitteet pneumatiikkajärjestelmään, se ei vielä takaisi laitteen toimintaa. Pneumatiikassa kasaan painettu ilma ei tulisi välttämättä toimimaan tarpeeksi tarkasti

mittaustilanteessa. On mahdollista, että ilma antaa liikaa periksi koehenkilön painaessa maksimivoimalla voimalevyä vasten. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että koehenkilön painava voima saisi muutoksia aikaan järjestelmän ilmanpaineessa, jolloin mittausta ei voitaisi pitää tarpeeksi luotettavana. (Seppälä, 2012.) Pneumatiikassa on liian monta ongelmatekijää, joten en suosittelen sitä hydraulikkaa korvaavaksi vaihtoehdoksi.

4.3 Kuularuuvi

4.3.1 Toimintaperiaate

Kuularuuvi on mekaaninen laite jolla aikaansaadaan pienen kitkan (noin 0.2 %) avulla pyörivän liikkeen muutos lineaariliikkeeksi. Kuularuuvi muodostuu kierretangosta ja kuulamutterista. Kuulamutteri sisältää kuulalaakerin kuulia, holkkeja, syöttöradan sekä syöttöradan kiinnikkeen. (Keskitalo Antti, 2010, 8. & Promoco, 2008.) Laitteen toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Kuularuuviin yhdistetty moottori pyörittää kuulamutteria. Tämä saa mutterin kuulalaakerin kuulat pyörimään mutterin ja kierretangon välissä, joka aikaansaa kierretangon liikkeen. Kierretangon ulkopinnalle ja mutterin sisäpinnalle on tehty samankokoiset vierintäaurat, joihin kuulat pääsevät kulkemaan. Syöttöradalla varmistetaan, että kuulat palaavat kierron päätyttyä takaisin alkuun aloittamaan uuden kierroksen. Näin kierteen ja mutterin välillä pysyy kuulakerros. (Internet video, 2008.)



KUVIO 4. Piirros kuularuuvin toimintaperiaatteesta

Kuulat kulkevat useamman kierroksen kierretangon ympäri. Tätä kiertoa kutsutaan kuulalaakeriketjuksi. Syöttöradan väliä kulkevia kuulia kutsutaan kuulalaakeriksi. Yhdessä kuularuuvissa saattaa olla useampia kuulalaakereita. Tämän seurauksena laitteeseen kohdistuva voima voidaan jakaa tasaisesti useamman kuulalaakerin kanssa, jolloin yhteen kuulalaakeriin kohdistuva voima on hyvin pieni. Näin laakerit välttyvät suuremmalta rasitukselta ja kestävät pidempään. (Keskitalo Antti, 2010, 8.) Kuularuuveja valmistetaan valssaamalla, kuorimalla, hiomalla tai näitä tapoja yhdistellen. Pääsääntöisesti hiotuilla kuularuuveilla saadaan tarkempia mittoja aikaiseksi, mutta nämä ovat tästä syystä myös kalliimpia. Tarkkuutta vaativissa sovelluksissa on myös mahdollista tehdä kuulalaakeriketjusta esijännitetty, jolloin siinä ei ole välystä. (Movetec/kuularuuvit.)

4.3.2 Käytön edut

Kuularuuvi olisi hyvä ratkaisuvaihtoehto jalkadynamometrin lineaariliikkeen aikaansaamiseksi sen tehokkuuden ja hyvän hyötysuhteen ansiosta (n. 90 %). Hyvä hyötysuhde aikaansaadaan laitteen voitelulla ja koteloimisella, mikä tuo laitteelle erittäin pienen kitkakertoimen. Tämän seurauksena kuularuuvi ei lämpene lähes lainkaan. Kuularuuvin voitelua on tarkkailtava säännöllisesti. Liian suuri kitka tai lika akselin ja ruuvin välissä aiheuttaa kuularuuvin hajoamisen. Tarpeeksi usein huollettuna kuularuuvi on yksinkertaisen rakenteensa ansiosta hyvin luotettava tuote. (Design World, 2012.) Se on hyvin tehokas laite ja se on suunniteltu toimimaan suurilla nopeuksilla. Kuularuuvilla saataisiin myös mittauksessa erittäin hyvä mekaaninen tarkkuus laitteelle. (Keskitalo 2010, 8.)

4.3.3 Kuularuuvien laskentaohjelma

Kuularuuvikäytölle ei löytynyt ongelmatekijöitä, joten etsin laskentaohjelman, jonka avulla saisin selville yrityksen valmiin tuote-ehdotuksen. Samalla saisin tietää kuularuuvien tarkemmat mitat. Movetec Oy:n Internet-sivuilta löysin linkin Hiwin-kuularuuvivalmistajan sivuille, jossa on mahdollista mitoittaa omiin tarpeisiin sopiva kuularuuvi.

Mitoituksessa huomioidaan aluksi liikkeen suunta, kuularuuvien kiinnitys, esikuorma sekä valmistusmenetelmä. Liikkeen suunnaksi valitsin luonnollisesti vaakasuunnan. Kuularuuvi voidaan kiinnittää vain toisesta päästä jolloin toinen pää jää vapaaksi. Vapaa pää on tarkoitus kiinnittää jalkadynamometrin kelkkaan. Valmistusmenetelmäksi valitsin valssauksen, koska tämä on huomattavasti halvempi valmistuspa. Valssauksella saadaan kuitenkin tarvittava mittaustarkkuus aikaiseksi.

Alkutietojen jälkeen valitaan mutterityyppi ja haluttu malli. Sivulle tulee valitun mallin laakeripallon halkaisija, dynaaminen aksiaalinen eli akselin suuntainen kuormitus, staattinen aksiaalinen voima sekä kuularuuvien juuren halkaisija. Arvot ovat ilmoitettu kgf-muodossa (Kilogram-force). Tämän jälkeen merkitään laitteelta vaadittavat arvot, kuten lineaariliikkeen pituus, voima, nopeus ja kiihtyvyys. Ohjelma osaa tietojen perusteella laskea onko valitsemasi kuularuuvi toimiva vaihtoehto. Suuren kiihtyvyyden johdosta vain hyvin harva mutterityyppi osoittautui toimivaksi. Vain suurimmat mutterityypit pääsivät vaadittuihin arvoihin. Luonnollisesti suurimmissa mutterityypeissä on myös suurimmat laakeripallot. Tämä laakeripalloista muodostuva kuulalaakeriketju alkaa olla jo erittäin raskas. Uskon silti, että kuularuuvilla toimiva laite tulisi olemaan kevyempi ja helpommin siirrettävä kuin nykyinen jalkadynamometri.

Sopivan mutterityypin jälkeen voidaan nähdä tarkat koot laitteesta (Liite 1). Laite ilmoittaa myös pyörimisnopeuden, jonka avulla osataan valita sopivan kokoinen sähkömoottori. Valitettavasti hyvin suuren vaaditun kiihtyvyyden takia sähkömoottorin koko tuskin tulisi paljoo pienemmään nykyisestä 15 kW moottorista. Sivuilta nähdään myös laskennallinen elinikä laitteelle. Valitut laitevaatimukset ovat kuitenkin maksimiarvoja, joita tullaan hyvin harvoin käyttämään jalkadynamometrissä. Sivun laskentaohjelma olettaa, että laitetta käytetään jatkuvasti valituilla arvoilla. Tämän seurauksena laskettua elinikää ei voida pitää luotettavana. Sivun lopussa on ohjeita muun muassa voiteluaineista. (Hiwin.)

Kuularuuvien sileän pinnan ja voiteluaineen ansiosta päästäisiin eroon nykyisestä hydrauliiikan tuottamasta häiritsevästä melusta. Sähkömoottorin pyörivä liike saattaa yhä aiheuttaa hiljaista ääntä, mutta se on huomattavasti pienempää kuin nykyisestä laitteesta kuuluva melu.

Kuularuuveille on tarjolla laajoja tuotevalikoimia myös muilla yrityksillä. Tämä tarkoittaa, että monilla suomalaisilla yrityksillä olisi varmasti tarjottavana oma kuularuuviratkaisu jalkadynamometriä varten. Halutessa tuotteiden välillä voi tehdä hintavertailua. (Hiwin/ballscrews.)

4.4 Elektromeaaninen sylinteri

4.4.1 Toimintaperiaate

Bosch Rexroth Oy on julkaissut elektromeaanisia sylinterimallistoja tarkoituksena korvaamaan nykyisiä käytössä olevia pneumaattisia ja hydraulisia sylintereitä. (Rexroth, 4.) Elektromeaaniset sylinterit toimivat sisäänrakennetun kuularuuvijärjestelmän ja hihnakäytön avulla. Hihnakäyttö ilmenee sähkömoottorin voiman siirrossa sylinterille (kuva 1). Kuularuuvilla aikaansaadaan laitteen lineaarinen liike (kuva 3). (Rexroth esittelyvideo.) Bosch Rexroth Oy tarjoaa jokaiselle sylinterille yhteensopivaa sähkömoottoria. (Rexroth, 7-14.)



KUVIO 5. Elektromekaanisen sylinterin 3D-piirustus

Elektromekaanisen sylinterin koko riippuu siltä vaadittavan voiman määrästä. Mitä suurempia voimia sylinteriltä vaaditaan, sitä suurempikokoinen sylinteristä tulee. Kokojen 32–100 sylinterimallisto perustuu ISO 15552 standardiin. Tämä tarkoittaa, ettei sylintereissä ole muokkausmahdollisuutta, vaan sylintereistä on valittava tuoteperheestä lähin mahdollinen vaihtoehto. Muissa ratkaisussa pystytään valitsemaan tuote huomattavasti tarkemmilla mitoituksilla. (Rexroth, 6.)

4.4.2 Käytön edut ja ongelmatekijät

Elektromekaanisen sylinterillä saadaan helposti jalkadynamometrin lineaariliikkeeseen tarvittava voima. Vaikka tuoteperhe on suppeampi kuin muissa ratkaisussa, sieltä on silti löydettävissä jalkadynamometrille sopivan kokoinen elektromekaaninen sylinteri. On silti huomioitava, että tehokkaat sylinterit ovat aina suurikokoisimpia. Vaikka lineaarisen liikkeen tuottamiseen tarvittaisiin suurikokoinen elektromekaaninen sylinteri, laitteistosta tulisi silti huomattavasti pienempi ja kevyempi kuin nykyisestä hydraulisesta ratkaisusta. Kuularuuvin ansiosta laitteella saadaan hyvin tarkkoja liikkeitä aikaiseksi. (Bosch rexroth, 15–16.)

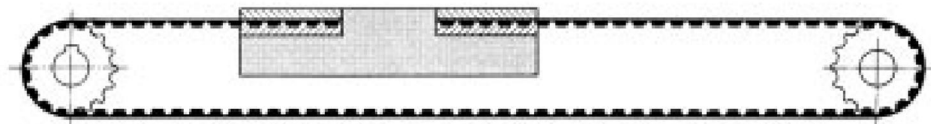
Laitteen voi hankkia valmiiksi kiinnitetyllä Bosch Rexroth Oy:n sähkömoottorilla. Tämä ja sisään rakennettu kuularuuviratkaisu tekevät elektromekaanisesta sylinteristä hyvin helposti asennettavan. Se pystyy saavuttamaan helposti tarvittavan

voiman, nopeuden sekä iskupituuden. Tarvittua kiihtyvyyttä elektromeekaanisella sylinterillä ei pystytä saavuttamaan. Tässä vaiheessa elektromeekaaninen sylinteri ei ole vielä kannattava vaihtoehto korvaamaan hydraulikkaa, mutta uskon, että sitä tullaan vielä kehittämään tulevina vuosina. Tulevissa jalkadynamometrin tuotekehitysprojekteissa kannattaa ottaa tämä tuote uudestaan harkintaan. (Rexroth, 4.)

4.5 Hammashihnakäyttö

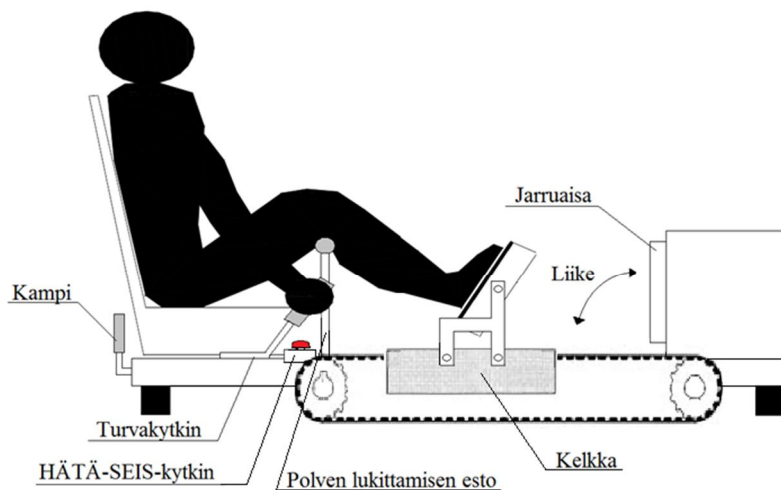
4.5.1 Toimintaperiaate

Jalkadynamometrin liike olisi mahdollista toteuttaa hammashihnakäyttöisellä lineaarikelkalla. Hammashihna on ketjuperiaatteella toimiva voimansiirto menetelmä, jonka avulla akselit saadaan pyörimään halutussa tahdissa toistensa kanssa. Laitteen tahdin määrää akseleihin kiinnitetyt hammaspyörät. Lineaarikelkka muodostuu käytettävästä ja käytetystä akselistä. Käytetty akseli on yhdistetty moottoriin, jolla saadaan hammaspyörään aikaiseksi pyörivä liike. Käytettävä akseli on vapaa, koska sillä ei ole omaa voiman tuottoa. Hammashihnan avulla käytetyn akselin hammaspyörän pyörimisnopeus siirtyy myös käytettävän akselin hammaspyörälle. Hammashihnan sisäosa on varustettu hammaspyöriin yhteensopivilla hampailla. Tämä saa hammashihnalla toimivan laitteen kestämään suurempiakin kuormituksia. Hammashihnan materiaali on kumia, jota on yleensä vahvistettu joko lasikuidulla tai teräksellä.



KUVIO 6. Piirros hammashihnakäyttöisestä lineaarikelkasta

Hammashihnan avulla saadaan aikaan molemman akselin hammaspyörälle yhtä suuri pyörimisnopeus. Samanaikaisesti hammaspyörät saavat hammashihnassa aikaiseksi lineaarisen liikkeen. Lineaarikelkan toimintaperiaate perustuu hammashihnan lineaariliikkeeseen. Kelkka kiinnitetään hammashihnaan, jolloin moottori pyörittää hammaspyöriä. Tämä aikaansaa kelkan lineaarisen liikkeen eteenpäin tai taaksepäin, riippuen moottorin pyörimissuunnasta. Hammashihnat tulisi sijoittaa molemmille puolille jalkadynamometriä, jotta kelkka saadaan kiinnitettyä tukevasti niiden väliin. (Movetec/lineaaritekniikka.)



KUVIO 7. Piirros hammashihnaratkaisusta jalkadynamometrissä

4.5.2 Käytön edut

Hammashihnan yksi yleisimpiä käyttökohteita on auton moottorissa, jossa sen tarkoitus on ylläpitää tietty tahti moottorin osien välillä. Hihnan on oltava erittäin kestävä ja sillä tulee pystyä siirtämään suuria voimia, jotta se soveltuu auton moottoriin. Tämä tarkoittaa, että hihnakäyttöä on totuttu käyttämään suurien voimien, kiihtyvyyksien ja nopeuksien yhteydessä. Muita ratkaisuehdotuksia, kuten

elektromekaanista sylinteriä ja kuularuuvia on käytetty yleisesti pienemmillä vaadituilla arvoilla.

Hammashihnakäytössä on erittäin korkea hyötysuhde (parhaimmillaan 98 %). Lineaarisen liikkeen rajaus saadaan myös hyvin tarkaksi. Vaikka hihna on kumia, se kestää suuriakin kuormia ja sen kestoikä on todella pitkä. Hammashihna pitää aina muotonsa, eikä koskaan veny käytössä. Yleisimmin hihna kuluu hampaiden kohdalta, jolloin lopulta hammaspyörät alkavat lyömään tyhjää. Toisin kuin autossa, tämä ei hajottaisi jalkadynamometrin laitteistoa, eikä olisi myöskään vaaratekijä koehenkilölle. Hammashihnalle on laskettavissa teoreettinen kestoikä, jonka perusteella hihna tulisi vaihtaa.

Hammashihnakäyttö ei vaadi tarkkoja koteloiteja laitteiston suojausta varten. Se kestää hyvin pölyä sekä yksinkertaisia rasvoja ja likoja. Kosteus ja suuret lämpötilan vaihtelut eivät myöskään vaikuta hammashihnakäytön toimivuuteen. Lasikuitu- ja teräsvahvistusten takia hihna kestää hyvin nopeat kiihtyvyydet. Hammashihnakäyttö tarvitsee kuitenkin hihnalle peruskoteloinnin yleisturvallisuuden takia.

(Movetec/lineaaritekniikka)

5 VALITTU RATKAISUMENETELMÄ

5.1 Valinta perustelu

Käydessäni läpi uusia ratkaisumenetelmiä lineaariliikkeen tuottamiselle, aloin ymmärtämään kuinka suurilla laitteilla vaadittavat tekniset arvot ovat. Useat laitteet eivät kykene aikaansaamaan tarvittavaa maksimivoimaa. Laitteet, jotka saavuttavat täpärästi maksimivoiman eivät yleensä saaneet aikaan tarvittavaa maksimikiihtyvyyttä. Kuularuuvi ja hammashihnakäyttö jäivät ainoiksi ratkaisuehdokkaiden, jotka täyttäsivät vaaditut tekniset arvot. Oli erittäin vaikea päättää kumman ratkaisuvaihtoehdon valitsisin, koska kumpikin laite osoittautui toimivaksi tavaksi korvaamaan hydraulisen sylinterin. Vertaillessani laitteita huomasin kuitenkin kuinka paljon helpommin hammashihnalla pystytään saavuttamaan tarvittu kiihtyvyys. Kaikilla muilla laitteilla on vaikeuksia saavuttaa tarvittava kiihtyvyys, jopa kuularuuvilla. Kuularuuvi vaatii myös voitelua tietyin väliajoin pysyäkseen tehokkaana. Säännöllisellä voitelulla kuularuuvin hyötysuhde on silti noin 8 % huonompi kuin hihnakäytön. Hihnakäyttöä tarvitsee huoltaa huomattavasti harvemmin. Voitelun takia kuularuuvin kierretanko tarvitsee hyvin suojatun tilan, jotta pöly ja lika eivät pääse tukkimaan laitetta. Hammashihna ei tarvitse erillistä suojaa, koska yksinkertaisen toimintaperiaatteen ansiosta se toimii erittäin hyvin eri olosuhteissa. Hammashihna vaatii kuitenkin yksinkertaisen koteloinnin työtaturmien välttämiseksi.

Olen käynyt opinnoissani konetekniikan kurssilla läpi hihnavälitysten teoriaa ja laskentaa. Tämäkin sai minut kääntymään enemmän hammashihnaratkaisun puolelle. Valmiin pohjatiedon avulla on helpompaa ottaa kaikki aiheeseen liittyvä huomioon. Vivecalla on jo olemassa yksi hihnakäytöllä toimiva laite. Se on toiminut tähän asti moitteettomasti, joten voidaan olettaa, että hihnakäyttö olisi myös erittäin toimiva ratkaisu jalkadynamometrissä.

5.2 Maahantuojat

Etsiessäni tietoa hammashihnoista ja muista ratkaisuista kävin läpi suurimmat Suomalaiset maahantuojat. Movetec Oy:n sivut osoittautuivat useaan otteeseen erittäin hyödylliseksi tietolähteeksi. Movetec Oy on suomalainen yritys ja sen pääkonttori sijaitsee Espoossa. Yritys on kuitenkin laajentunut ympäri Suomea ja sillä on erittäin kattava tuotevalikoima sekä asiakaspalvelu. (Movetec/yritys.)

Valitsemieni tuotteiden toimivuuden voin tarkastaa Movetec Oy:n asiakaspalvelun kautta. Valitsin mahdolliseksi toimittajaksi Movetec Oy:n, koska sen Internet-sivut sisälsivät kaikista monipuolisimmat ja selkeimmät tiedot hammashihnan mitoitetusta varten.

Yrityksen sivuilta on ladattavissa useita PDF-tiedostoja, joiden tarkoitus on auttaa ostajaa valitsemaan oikean kokoinen tuote haluamalleen laitteelle. Yksi PDF-tiedosto sisälsi laskentakaavat hihnakäyttöiseen lineaaritekniikkaan. Nämä vastasivat täysin jalkadynamometrin lineaariliikkeelle tarvittavia laskentakaavoja. Movetec Oy:n Internet sivuille rekisteröityessä on myös mahdollista päästä käyttämään hammashihnan laskentaohjelmaa. Sivulta löydän kaikki tarvittavat tiedot oikean hihnatyypin valinnalle.

Movetec Oy:llä löytyy tuotevalikoimasta jalkadynamometriin sopiva BRECO® - hammashihna, jota on olemassa AT- ja ATL-tyyppiä. AT-tyypin hinnat ovat ATL-tyypin hihnoja paksumpia eli ne kestävät enemmän vetokuormitusta. Kumpikin hihnatyypin on valmistettu polyuretaanista ja taipuisista teräsvaijerivetolangoista. Ne ovat suunniteltu erityisesti lineaarikäytön tarpeisiin. Polyuretaani saa hihnan hampaat säilyttämään hyvin muotonsa. Se tekee myös hihnasta erittäin kestävä ja venymättömän. Suurilla kuormituksilla hihnan esikiristys saattaa hieman löystyä, jolloin joudutaan tekemään yksi jälkikiristyskertta. Jatkuvassa käytössä hinnat eivät kuitenkaan veny enempää. (Movetec/lineaaritekniikka.)

5.3 Hihnatyypin valinta

Aloitin hihnatyypin valinnan tekemällä alustavan mitoituksen (Liite 2). Mitoitus tehdään mittataulukosta, jossa valitaan hihnatyypin lineaarikelkan massan ja kiihtyvyyden perusteella. Kelkan vaadittu kiihtyvyys (50 m/s^2) on ilmoitettu jalkadynamometrin teknisissä tiedoissa (Liite 3). Kelkan paino on 10 kg. Tähän on kuitenkin lisättävä kelkkaan kohdistuva voima, joka syntyy, kun koehenkilö pyrkii työntämään kelkan liikkeelle. Jotta koehenkilö ei saisi liikkuvan kelkan liikettä hidastettua, on jalkadynamometrin saatava kelkka liikkumaan tarpeeksi suurella voimalla. Teknisissä arvoissa laitteen tuottamaksi maksimivoimaksi on ilmoitettu 12500 N. Tämä vastaa hihnalla 1250 kg:n painoa. Näiden arvojen perusteella voidaan katsoa, että ainoat sopivat hihnatyypit ovat AT20 ja ATL20.

Tarkemmassa tarkastelussa on aluksi laskettava miten suuri hihnavoima yksittäisellä hihnalla saadaan. Laskemalla tarvittava hihnavoima saadaan selville, että edes suurin hihna ei kestä yksin siihen kohdistuvaa vetokuormitusta. Tämän vuoksi vetokuorma on jaettava kahdelle hihnalle (Liite 4). Hihnat tulisi sijoittaa jalkadynamometrin molemmille puolille. Yksittäiselle hihnalle jää silti suuri vetokuormitus. Tämän takia kannattaisi valita AT20-hihnatyypin, koska se kestävä suurempaa vetokuormitusta. Valitusta hihnatyypistä voidaan nähdä hihnalle ominaiset tekniset arvot, kuten hihnaleveys, hammasluku ja hihnan paino (Liite 5). (Movetec/lineaaritekniikka.)

5.3.1 Hammashihnan pituus ja hammaspyörän valinta

Jotta hammashihnan pituuden pystyy laskemaan, on tiedettävä kuinka suuret hammaspyörät laitteeseen on tulossa. Hammaspyörän koko tulee vaikuttamaan kierrosnopeuteen ja vääntömomenttiin. Pyysin Movetec Oy:ltä tarjouspyyntöä hammashihnatoteutukseen liittyvistä komponenteista. Tämän yhteydessä Movetec Oy:n asiakaspalvelun työntekijä Patrik Vilkki teki arvion mitkä komponentit

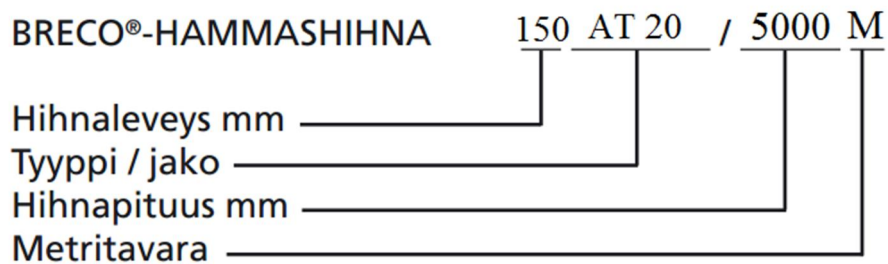
soveltuisivat parhaiten jalkadynamometrille (Liite 6). Vilkki valitsi hammashihnapyöräksi AL-160AT20/30-2 merkkisen pyörän. AL-160 tarkoittaa, että hammashihnapyörä on valmistettu alumiinista ja sen leveys on 160mm. AT20 merkitsee hammashihnapyörän tyyppiä. 30-2 tarkoittaa, että hammaspyörä sisältää 30 hammasta ja kaksi laippaa. Vilkin lähettämästä AT hammashihnapyörien profiilista oli mahdollista tarkastaa valitun pyörän halkaisija. Ehdotetun pyörän halkaisija on noin 191mm. Hammashihnapyörän on oltava tarpeeksi suuri, jotta jalkadynamometriltä vaadittu vääntömomentti pysyisi realistisena sähkömoottorin kannalta. (Movetec/asiakaspalvelu)

Patrik Vilkin tekemässä tarjouksessa hän on arvioinut, että hammashihnaa tarvitaan viisi metriä molemmille puolille jalkadynamometriä. Vilkin tekemä arvio on mielestäni kuitenkin hieman ylimitoitettu. Uskon, että hihnan pituus on raaka arvio joka antaa vain kuvaa paljonko kyseinen hihna tulisi maksamaan. Olen tätä mieltä, koska keskustelussamme unohdin mainita kelkan pituuden (n. 400 millimetriä), joka on tiedettävä, jotta tarkka hihnan pituus on laskettavissa. Vaikka kävimme muutaman tilausta tarkentavan keskustelun vielä jälkeensä, hän ei missään välissä tarvinnut kelkan pituutta. Päätin laskea tarkan hihnapituuden itse ja säilyttää nykyisen tarjousehdotuksen. Uuden tarjousehdotuksen saaminen saattaisi viedä aikaa ja lyhennetty hammashihna tulisi muuttamaan komponenttien kokonaishintaa alaspäin vain noin yhden prosentin verran.

Laskemalla yhteen hammaspyörien kehää kiertävän alueen sekä kelkan ja halutun lineaariliikkeen pituuden (700 millimetriä), saadaan arvoksi hammashihnan teoreettinen pituus 3220 millimetriä. Laskuun on myös lisättävä turvaväliä kelkan ja hammashihnapyörän välille, jotta ne eivät osuisi toisiinsa. (Liite 4). On myös huomioitava, että hihna tulee molemmille puolille jalkadynamometriä, joten sitä tullaan tarvitsemaan kaksinkertainen määrä.

Oheisessa kuvassa nähdään tarvittavat tiedot Movetec Oy:ltä BRECO®-hammashihnan tilaukseen. Hihnaleveys (150 mm) on AT20-hihnatyypin levein standardihihna. Kapeammat hihnat eivät tule kestävään jalkadynamometrin nopeaa alkukiihtyvyyttä. (Movetec/lineaaritekniikka.)

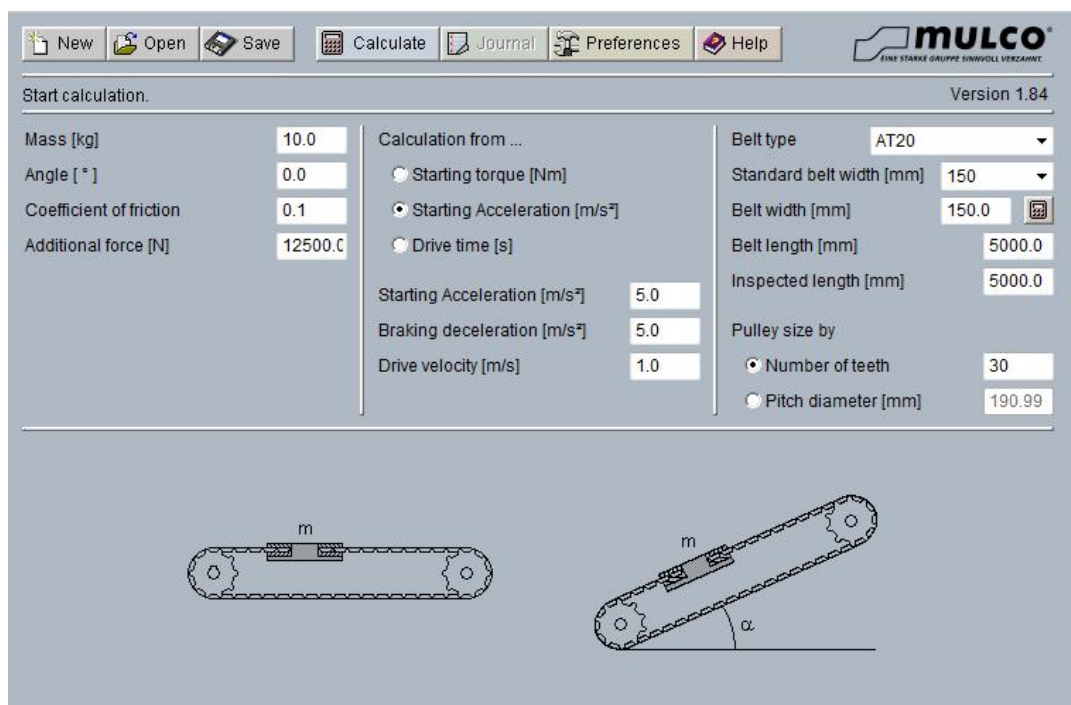
Tilausesimerkki:



KUVIO 8. BRECO®-hammashihnan tilausesimerkki

5.4 Vaadittava teho ja tarkempi mitoitus

Movetec Oy:n PDF-tiedoston laskukaavoissa ei tule esiin kuinka vaadittavaa tehoa laskiessa koehenkilön aiheuttava vastustava voima tulisi huomioida. Vastustavaa voimaa ei voida tässä tapauksessa käsitellä kelkan lisäpainona, koska tällöin laskukaava ylivoimittaisi tehon tarpeen. Rekisteröityessäni Movetec Oy:n sivuille sain mahdollisuuden käyttää lineaarikelkan laskentaohjelmaa. Ohjelmassa on mahdollisuus huomioida kelkkaan kohdistuva lisävoima. Oikeilla arvoilla laskentaohjelman avulla saadaan selville laitteen vaatima teho.



KUVIO 9. Hammashihnakäyttöisen lineaarikelkan laskentaohjelma

Soitin Movetec Oy:n hammashihnoista vastaavalle myyjälle Patrik Vilkille varmistaakseni, että tekemäni mitoitukset ovat oikeita. Hammasmäärä sekä kitkakerroin ovat Movetec Oy:n myyjän antamat lukemat. Valittua kitkakerrointa käytetään yleisesti hammashihnojen laskennassa. Hammasmäärä vaikuttaa tehon siirtoon. Pienempi hammasmäärä ei toimisi tässä tapauksessa. Laskentakaavassa laitteen massa muodostuu kelkan painosta (10 kg). Taivutuskulma on 0° , koska laitetta tullaan käyttämään täysin vaakatasossa. Lisävoimaksi merkitään laitteelta vaadittava voima (12500 N).

Ohjelma voi suorittaa laskelman käynnistysmomentin, alkukiihtyvyyden tai ajoajan perusteella. Päätin suorittaa laskelman alkukiihtyvyyden avulla, koska ne olivat hyvin selkeästi esitettyinä jalkadynamometrin teknisissä arvoissa (Liite 5). Laskelmaa varten tarvitaan käynnistys- sekä hidastuskiihtyvyys ja nopeus. Hihnatyypiksi on jo aikaisemmin valittu AT20 ja sen standardi leveys 150 mm on otettu hihnatyyppiin

tiedoista. Standardi hihnaleveyden avulla voidaan laskea halutessa tarkempi hihnaleveys, mutta se ei ole tässä tapauksessa kannattavaa.

(Movetec/hammashihnakäyttöjen mitoitus.) Tarkempi hihnaleveys on erikoistilaus, joka tulisi maksamaan enemmän. Myöskään 150 mm pienemmät hinnat eivät tule kestämaan suuria kiihtyvyyksiä. Hammashihnalle ei ole tarkan pituusmääritelmän takia valmista lenkkiä, vaan se joudutaan ostamaan metritavarana. Tämän seurauksena tarkastetun pituuden tulee olla sama kuin normaali pituuden arvo. Hihnapituutena on käytetty Vilkin tekemää arviota (5000mm). Vaikka tämä arvio on hieman ylimitoitettu, se ei vaikuta merkittävällä tavalla laskentaohjelman tuloksiin. (Movetec Oy asiakaspalvelu.)

Loads		Kinematic values	
vertical linear force	0,00 N	Velocity	1,00 m/s
Weight	98,10 N	Acceleration	5,00 m/s ²
Frictional force	9,81 N	max. Acceleration	5,00 m/s ²
Acceleration force	50,00 N	Acceleration distance	0,10 m
Braking force	50,00 N	Braking distance	0,10 m
Additional force	12.500,00 N	Acceleration time	0,20 s
Force during start	12.559,81 N	Braking time [s]	0,20 s
Force during braking	-12.459,81 N	Drive time	-- s
Pretension	12.559,81 N/Tr.	Traverse distance	-- m
Extra force	0,00 N	R.P.M.	99,998 1/min
Total pretension	12.559,81 N/Tr.	R.P.M.	10,472 1/s
Slack side belt load minimu	0,00 N	Specific spring constant	8.000,00 N/m/mm
Belt force 1/1	18.839,715 N	Specific elongation	0,000125 mm/m/N
Belt force max.	25.119,619 N	Safety factor (tension meml	1,274
Power	12,56 kW	Allowable force	32.000,00 N
Starting torque [Nm]	1.199,399 Nm		
Braking torque [Nm]	-1.189,849 Nm		

Back

KUVIO 10. Laskentaohjelmasta saadut tulokset

Laskentaohjelman tulokset tuovat kuitenkin ristiriidan hihnavoiman kohdalla. Uskon syyin johtuvan siitä, että laskentaohjelma käsittelee eri tavalla 12500 N lisävoimaa

kuin hammashihnan alustavassa mittauksessa. Olimme kuitenkin Patrik Vilkin kanssa sitä mieltä, että alustavassa mittauksessa saatu hihnavoima on realistisempi. Vilkin mukaan laskentaohjelmasta saatu vaadittu teho on kuitenkin täysin realistinen.

5.5 Tehon aikaansaanti

5.5.1 Sähkömoottori

Sähkömoottori on paras tapa aikaansaada sisätiloissa käytettävälle laitteelle suuri tehokkuus. Sähkömoottori on laite, jonka avulla sähköenergiaa voidaan muuttaa mekaaniseksi energiaksi. Laitteen toiminta perustuu magneettinapojen väliseen voimavaikutukseen. Samanmerkkiset navat hylkivät toisiaan samanaikaisesti kun erimerkkiset navat vetävät toisiaan puoleensa. Moottorin pyörimisnopeus riippuu siitä, miten nopeasti magneettinavat kiertävät rungossa. (Aura & Tonteri, 1998, 316–317.) Moottorin vääntövoimaan vaikuttaa magneettinapojen voimakkuus. Suurentamalla magnetointivirtaa rungon magneettinavat voimistuvat, jolloin moottorin vääntövoima kasvaa. Magneettisuutta vahvistetaan kiertämällä johdinta useita kierroksia rullalle (käämi).

Parhaimmillaan sähkömoottorin hyötysuhde voi olla jopa 97 %. Suurimmat hyötysuhteet saadaan tehokkaimmilla sähkömoottoreilla. Pienitehoisempien sähkömoottoreiden hyötysuhde on noin 60–70%. Sähkömoottorin häviö muodostuu käämien lämpenemisestä, laakerikitkasta sekä tuulettimen vaatimasta voimasta. (Motiva, 2011. Aura & Tonteri, 1998, 316–317.)

Sähkömoottorit voidaan jakaa vaihtosähkökoneisiin ja tasavirtakoneisiin. Tasavirtamoottori toimii tasasähköllä. Tasavirtamoottoreita käytetään tyypillisesti pienmoottoreina akkukäyttöisissä sovelluksissa. Vaihtosähkökoneet jaetaan tahti- ja epätahtimoottoreihin. (Koski Juha, 2010, 8-9.) Yleisin teollisuudessa käytetty vaihtosähkömoottori on epätahtimoottoreihin kuuluva oikosulkumoottori.

Oikosulkumoottorit ovat rakenteeltaan joko yksi- tai kolmivaiheisia. Suuria tehoja vaativat laitteet, kuten jalkadynamometri, vaativat kolmivaiheisen oikosulkumoottorin. Oikosulkumoottoria voidaan käyttää suoraan verkkokäyttöisenä tai taajuusmuuttajan kanssa. (Korpinen Leena, 7-8.)

Oikosulkumoottoreissa, kuten kaikissa muissakin sähkömoottoreissa on staattori ja roottori. Sähkömoottorin pyörivää osaa kutsutaan roottoriksi ja paikalla pysyvää osaa staattoriksi. Kun oikosulkumoottorissa kolmivaihevirta kulkee staattorikäilyssä, aiheuttaa roottori suljettuun roottorikäilykseen virran, jonka seurauksena saadaan toinen magneettikenttä. Magneettien välillä vallitsee vääntömomentti, jonka takia roottori lähtee pyörimään sekä kiihtyy. Roottori jää pyörimään hieman magneettikentän nopeutta pienemmällä nopeudella. Jännitteen syöttötaajuuden ja roottorin pyörimistaajuuden eroa kutsutaan jättämäksi. Tämä määrää virran suuruuden, jonka vuoksi oikosulkumoottorin hyötysuhde on noin 90 %. Tähän vaikuttaa myös moottorin koko ja kuormitusaste. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeus pienenee vain vähän kuormituksen kasvaessa, joten pyörimisnopeutta voidaan käytännössä pitää muuttumattomana. (Koski Juha, 2010, 8-11.)

5.5.2 Sähkömoottorin valinta

Jalkadynamometrille paras moottorityyppi on kolmivaiheinen oikosulkumoottori, koska sillä on mahdollista aikaansaada suuria tehoja. Laskentaohjelma antoi selkeät arvot mitä sähkömoottorilta tarvitaan. Movetec Oy:n Internet-sivut eivät kuitenkaan sisältäneet tarpeeksi tarkkoja teknisiä tietoja eri sähkömoottorimalleista. Asiakaspalvelun kautta sain kuitenkin tarkemman sähkömoottorinmallin selville. Malli PH102-160B5+ME160L-4 on parhaiten jalkadynamometriin soveltuva sähkömoottori. Kyseessä on 15kW sähkömoottori, jolla on mahdollista aikaansaada sekä 18582 Newtonin voiman sekä 1309 Newton-metrin vääntövoiman. Uusi

sähkömoottori tulee olemaan teholtaan yhtä suuri kuin nykyisen hydraulikalla toimivan jalkadynamometrin moottori. (Movetec/tarjous.)

5.5.3 Asennus ja huolto

Suuritehoinen sähkömoottori tulee lämpiämään käytön aikana, joten asennustilanteessa on moottorin ympärille jätettävä noin 50 mm tyhjää tilaa sen jokaiselle sivulle. Tyhjän tilan tarkoitus on päästää moottorin lähelle normaalilämpöistä ilmaa moottorin jäähdyttämistä varten. Tyhjä tila moottorin ympärillä helpottaa myös huoltotilanteissa rikkoutuneiden osien vaihtoa. Hammashihnapyörien kiinnityksessä on oltava varovainen, liika voimankäyttö vahingoittaa moottorin laakerointia. Pyörien kiinnitys ja irrotus on aina tehtävä sopivia työkaluja käyttäen. Hammashihnan asentaessa on oltava tarkka, ettei hihnaa kiristä liian tiukalle. Liian tiukka hihna hajottaa myös moottorin laakeroinnin hyvin nopeasti. Akseliin kohdistuvat suurimmat sallitut kuormitukset on ilmoitettu tarkemmin moottorin mukana tulevassa esitteessä.

Oikosulkumoottorit eivät vaadi yleensä merkittävää huoltoa. Säännölliseksi tarkistusväliksi on kuitenkin suositeltu noin 2000 käyttötuntia. Normaalisti tarkistuskerralla katsotaan onko sähkömoottori kärsinyt ulkoisia vaurioita. Moottori puhdistetaan liasta sekä pölystä ja tarkistetaan kuinka ne ovat vaikuttaneet jäähdytysilman saantiin. Tarvittaessa laakerit tulee rasvata ja löystyneet pultit kiristää. Uudessa sähkömoottorissa laakerit ovat tehtaalla valmiiksi voideltuja. Jos moottori sisältää kestovoidellut laakerit, on ne suositeltavaa vaihtaa, kun niiden käyttötunnit täyttyvät. Jos laakeri halutaan rasvata uudelleen, niin se on pestävä erittäin huolellisesti ennen uudelleen rasvausta. Suljetut laakerit ovat hyvin kestäviä ja ne eivät vaadi erillisiä vaihtoaikoja. Tarkemmat laakeritiedot on leimattu sähkömoottorin arvokilpeen. (Movetec/tarjous.)

5.6 Hammashihnan kiinnitys

5.6.1 Kiinnityslevyt

Koska hammashihnaa ei ole saatavilla valmiina lenkkinä, tarvitaan hihnojen päiden yhdistämiseen kiinnityslevyt. Kiinnityslevyt kiinnitetään hihnan selkäpuolelle ruuvien avulla. Hammashihnan päät ovat valmiiksi leikatut yhteensopiviksi kiinnityslevyjä varten. Kiinnityskohta on valittava hampaiden kohdalta, koska tällöin ruuvilla on käytössä mahdollisimman paljon pinta-alaa. Kiinnityslevyt ovat erittäin kestäväää jousiterästä tai alumiinia, jotta kiinnityskohdasta saadaan yhtä kestävä kuin muusta hihnasta. (Movetec/hammashihnat.)

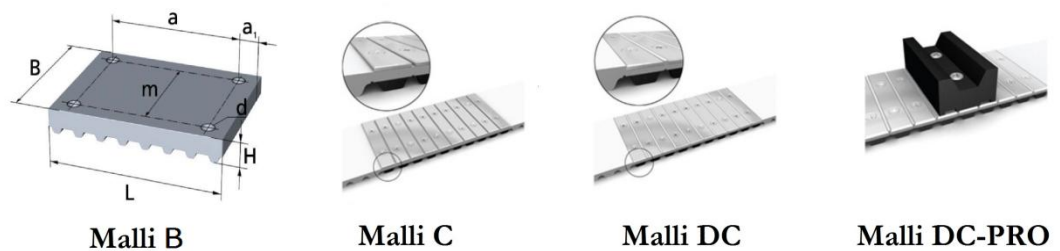


KUVIO 11. Yhdenlaisen kiinnityslevyn asennuksen 3D-piirustus

5.6.2 Kiinnityslevyn valinta

Löysin Movetec Oy:n sivuilta neljä eri kiinnityslevyn mallia. Yksinkertaisin menetelmä on nimeltään malli B, jossa kokonainen ohut alumiinilevy ruuvataan kiinnityskohtaan. Kiinnityslevylle ei ole upotettua paikkaa hihnassa, joten kiinnityskohta tulisi olemaan muuta hihnaa paksumpi. Malli C muodostuu useammista pienistä kiinnityslevyistä, jotka ruuvataan hihnan päälle samalla tavalla kuin malli B:ssä. DC mallissa kiinnityslevyt muodostuvat myös pienemmistä kiinnityslevyistä, jotka istutetaan

hihnaan. Tämä tarkoittaa, että hammashihnaan on tehtävä lovet kiinnityslevyjä varten. Tällä tavalla hihna ei ole paksumpaa kiinnityskohdassa. DC-PRO malli on DC mallista kehitetty versio, jossa hihnaan on mahdollista kiinnittää selkäpala. Selkäpala tarkoittaa tässä tapauksessa kiinnikettä, johon kelkka olisi mahdollista asentaa. DC-PRO malli vaikuttaa ensisilmäyksellä parhaalta ratkaisulta. Selkäpalojen avulla kelkan kiinnitys olisi mahdollista, mutta en usko sen olevan kestävin ratkaisu. Selkäpalat ovat hyvin pienet ja ne joutuisivat kestävään erittäin suurilla voimilla. En usko että DC-PRO mallin selkäpalat ovat suunniteltu kestävään jalkadynamometrin mittauksessa käytettäviä voimia. Mielestäni paras vaihtoehto on malli B, koska siinä alumiinilevyn kohdistuva voima jakautuu yhdelle levylle. Ratkaisu on yksinkertainen ja kestävä. Malli B on myös Movetec Oy:n komponenttien tarjouksessa esitetty ratkaisuvaihtoehto. Koska hammashihnan vaatimukset ovat erittäin tarkat ja suuret, joudutaan tästä syystä myös kiinnityslevyt hankkimaan erikoistilauksena. Valmiita kiinnityslevyjä ei ole saatavilla tuotevalikoimasta tarpeeksi suurella leveydellä. Movetec Oy:n ehdottama kiinnityslevy on mallin B 190X200AT20 kiinnityslevy. Tämä tarkoittaa, että levy on 190 mm leveä, 200 mm pitkä ja valmistettu erityisesti AT20 hihnatyypille. (Movetec/hammashihnat & Movetec/tarjous.)



KUVIO 12. Kiinnityslevymallien 3D-piirrokset

5.6.3 Hammashihnan kiinnitys jalkadynamometriin

Hammashihnan kiinnitys kelkkaan olisi mahdollista hoitaa lisäämällä jalkadynamometrin kelkan reunoille neliömetalliputket, jonka päälle hihna olisi mahdollista sijoittaa. Hihnan päälle tulisi asentaa ohutta metallilevyä, jonka läpi hihna olisi mahdollista porata kiinni neliömetalliputkeen.

5.7 Digitaalinen ohjauskeskus

5.7.1 Digitaalisuus

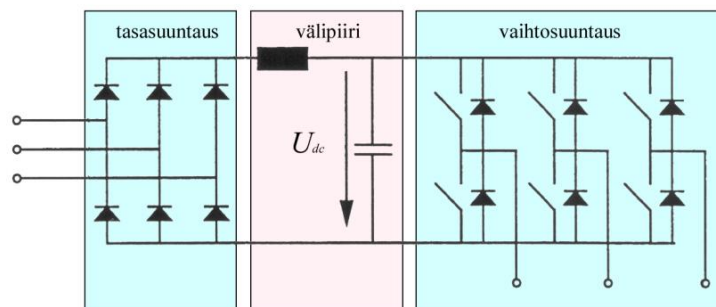
Nykyään suurin osa teknisistä laitteista on muutettu digitaaliseksi. Digitaalisuus tarkoittaa datan syöttämistä, käsittelyä, siirtoa ja tallennusta numeerisina arvoina. Tavallisesti numeeriset arvot toimivat binäärijärjestelmällä, jossa käytetään vain arvoja 0 ja 1. Digitaaliseen laitteeseen syötetty data muuttuu lukujonoksi, jonka laite pystyy tunnistamaan ja toimimaan määrättyllä tavalla.

Digitaalinen käyttö tuo uusia etuja jalkadynamometrin käyttöön. Säätkiekon sijasta nopeus voidaan säätää tarkasti numeroina digitaaliselle näytölle. Muut tärkeät toiminnot kuten käsiohjaus sekä laitteen käynnistäminen voidaan myös siirtää samalle näytölle. Virta-avaintakaan ei halutessa tarvita, koska digitaalisilla laitteilla väärinkäyttö voidaan estää lisäämällä laitteeseen salasana. Nykyinen jalkadynamometri toimii analogisesti, joka tarkoittaa yksinkertaisuudessaan suoraa siirrettävää dataa. Esimerkiksi säätkiekkoa kääntäessä jalkadynamometri toimii tarkasti kiekon antaman nopeuden mukaisesti. Nopeuden epätarkkuus syntyy siitä, kun mittaja silmämääräisesti kääntää sopivan nopeuden kiekosta. Nykyinen mittauksessa kerätty analoginen data saadaan siirrettyä tietokoneelle A/D-muuntimen (analogisesta digitaaliseksi) kautta, jossa tieto voidaan käsitellä ja tallentaa. Uudessa digitaalisessa käytössä A/D-muunninta ei tarvita ja tieto voidaan

halutessa tallentaa laitteeseen ilman erillistä tietokonetta. (Digitaalinen Video & Audio, 2012.) Jotta jalkadynamometri saadaan toimimaan digitaalisesti, siihen on asennettava taajuusmuuttaja ja siihen sopiva assistant- paneeli.

5.7.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkölaite, joka voidaan kytkeä kahden erillisen sähköverkon välille. Opinnäytetyöni tapauksessa taajuusmuuttaja kytketään sähkömoottorin ja sähköverkon väliin. Tämän seurauksena taajuusmuuttaja on osa moottorikäyttöä, jonka avulla voidaan säädellä portaattomasti sähkömoottorin pyörimisnopeutta sekä vääntömomenttia. Ilman taajuusmuuttajaa sähkömoottori pyörisi pelkästään verkon taajuuden määräämällä nopeudella. Laitteen avulla sähkömoottoria käytetään aina tarpeen mukaisella nopeudella. Tämän seurauksena taajuusmuuttajalla säästetään paljon energiaa sekä vähennetään sähköverkon ja käyttölaiteistojen rasitusta. Taajuusmuuttajan avulla aikaansaadaan sähkölaitteelle pehmeä käynnistys ja säädettävät kiihdytys- sekä hidastusajat. Taajuusmuuttaja on usein käytössä laitteissa, jotka toimivat vaihtosähkömoottoreilla.



KUVIO 13. Piirros taajuusmuuttajan piirikaaviosta

Taajuusmuuttaja koostuu verkkotasasuuntaajasta, jonka tarkoitus on muuttaa vaihtosähkö tasajännitteeksi. KUVIO 12:sta keskellä oleva välipiirin tehtävä on pitää tasavirran vakaana kapasitanssin avulla. Kapasitanssi on suure, joka kuvaa systeemin

kykyä varastoida sähkövarausta. Kuvassa olevaa vaihtosuuntausta kutsutaan invertteriksi, jonka tarkoitus on muuntaa tasajännite vaihtovirraksi. (Viitanen Elina, 2006, 20–12.)

5.7.3 Valittu taajuusmuuttaja

Jalkadynamometrille valittiin ABB:n taajuusmuuttajan malli ACS355-03E-31 A0-4. Se oli Movetec Oy:n asiakaspalvelussa sähkömoottoreista vastaavan henkilön mielestä yhteensopiva valitun sähkömoottorin kanssa. Kuten muutkin komponentit, myös taajuusmuuttajan valinta oli tehty osana Patrik Vilkin tekemää tarjoustta. ACS355 on kyseisen taajuusmuuttajan tuotesarja. ACS355 on valittu, koska sillä on mahdollista käsitellä maksimissaan 22 kW tehoa. 03E:llä ilmaistaan taajuusmuuttajan rakenne. 31A0 tarkoittaa laitekohtaista tyyppikoodia. Tyyppikoodilla ilmoitetaan taajuusmuuttajan tehoalue ja runkokoko. Tyyppikoodi on valittu tehon perusteella jonka jälkeen runkokoosta voidaan nähdä taajuusmuuttajan fyysiset mitat. Rakenne valitaan runkokoon sekä vaihteen perusteella. Mallin viimeinen merkintä 4 kertoo laitteen jännitealueen, joka saadaan selville valitsemalla 1- tai 3-vaiheinen syöttöjännite. Sähkömoottorin suuren tehon takia taajuusmuuttaja vaatii 3-vaiheisen syöttöjännitteen. (Abb/catalog, 2010.)

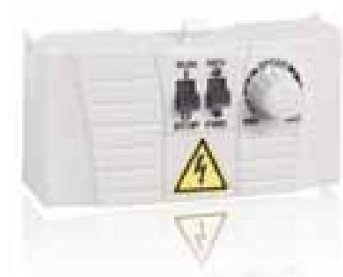


KUVIO 14. Kuva valitusta ABB taajuusmuuttajasta

ACS355-malli sisältää irrotettavan näyttöpaneelin (assistant-paneeli), jonka avulla laitteeseen saadaan kauko-ohjausmahdollisuus. Tämä antaa paremman mahdollisuuden mittaajalle liikkua laitteen ympärillä ja opastaa koehenkilöä. (Abb/catalog, 2010.)

5.7.4 Lisävarusteet

ABB:n taajuusmuuttajille on olemassa hyvin paljon lisävarusteita, joista muutamat saattaisivat olla hyödyllisiä myös jalkadynamometrissä. Pontimetri on yksinkertainen lisälaitte, jolla on mahdollista säädellä sähkömoottorin toimintaa assistant-paneelin lisäksi. Laitte sisältää kaksi kytkintä: käy/seis ja eteen/taakse. Vaihtoehto valitaan DIP-kytkimellä. Pontimetri voisi antaa helpomman ohjauksen jalkadynamometrin kelkalle.



KUVIO 15. Kuva pontimetrinä

DriveWindow Light-ohjelma on ACS355-taajuusmuuttajia varten tehty ohjelma, jonka avulla on mahdollista ohjata taajuusmuuttajaa tietokoneelta käsin. Toimiakseen ohjelma tarvitsee vapaan PC:n sarjaportin sekä vapaan ohjauspaneelin liittimen. Ohjelma ei vaadi tietokoneelta paljoa. Vanhemmatkin koneet, kuten Windows 2000 tulisivat pystyä pyörittämään ohjelmaa. Koska mitattu data tullaan siirtämään mittauksen jälkeen tietokoneelle, saattaisi olla helpompaa, jos myös esivalmistelut sekä itse mittaus olisi myös mahdollista tehdä saman tietokoneen kautta. (Abb/catalog, 2010.)

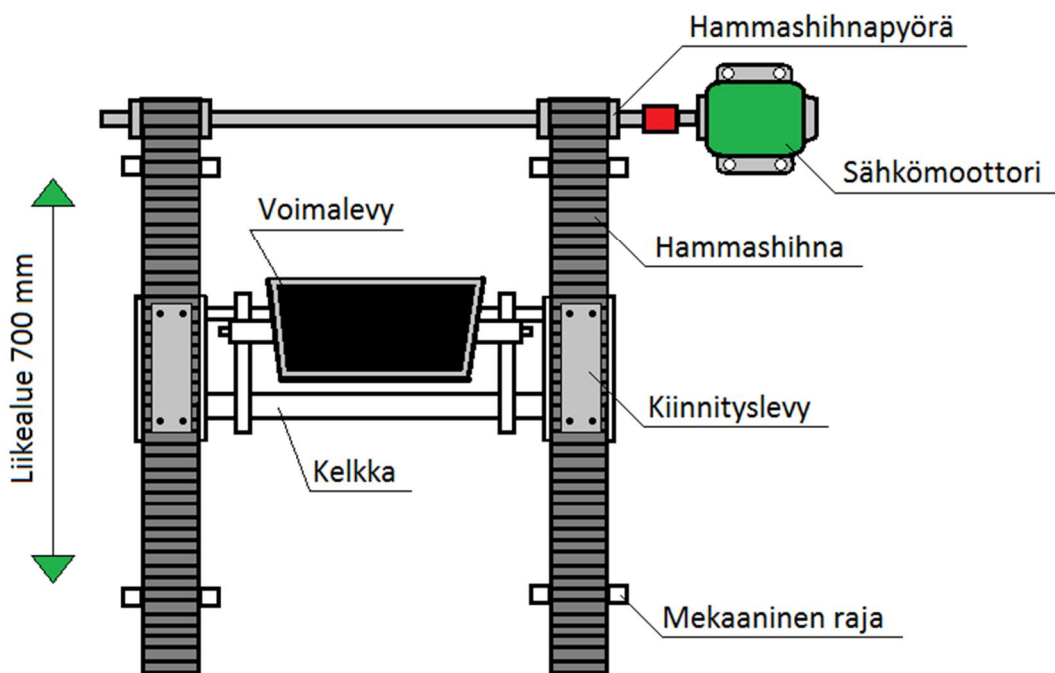
6 TULOSTEN TARKASTELU

Jalkadynamometriin tarvittavat komponentit ovat käsitelty erikseen ja niiden yhteensopivuus on tarkistettu. On silti tärkeää käydä läpi millainen komponenteista koottu kokonaisuus tulisi olemaan. Valittu hammashihna on odotettua leveämpi ja tämä tulee vaikuttamaan jalkadynamometrin kokoon. Nykyinen hydraulikalla toimiva jalkadynamometri on muodoltaan hyvin pitkä ja kapea. Hydraulikan poistuessa laite lyhenee huomattavasti. Leveiden hammashihnojen takia sen koko tulee kuitenkin kasvamaan leveyssuunnassa. Sähkömoottori on mahdollista sijoittaa jalkadynamometrin etuosaan kartiohammaspyörien avulla. Jos kartiohammaspyöriä ei käytetä, tulee sähkömoottorin kiinnitys käytettävän akselin perään, jolloin jalkadynamometrin leveys kasvaa huomattavasti.

Uusi jalkadynamometri ei vaadi suuria turvallisuusmuutoksia mielestäni. Ainoa lisättävä turvallisuustekijä on mekaaninen raja kelkan liikkuvuudelle. Nykyisessä jalkadynamometrissä mekaaninen raja tuli vastaan siinä vaiheessa kun hydraulikkasyylinteri ei voinut työntyä pidemmälle. Hammashihnaratkaisussa mekaaniseksi rajaksi ei riitä hihnan lineaariliikkeen loppuminen kesken, koska tällöin kelkan pääty osuisi hammashihnapyöriin. Uuteen jalkadynamometriin on lisättävä palat, jotka pysäyttävät mekaanisesti kelkan halutussa kohdassa. Helpoin tapa on hitsata metalliset palat kiinni laitteen kehikkoon. Tällöin vaaratilanteessa kelkka osuu metallipaloihin ja pysähtyy.

Jos uudella jalkadynamometrillä halutaan edelleen suorittaa vapaapotku, ei tällöin kelkkaa saa kiinnittää suoraan hammashihnaan. Hammashihnaan olisi mahdollista kiinnittää metalliset kiinnikkeet, jotka voidaan halutessa irrottaa kelkasta. Uusi jalkadynamometri ei välttämättä tarvitse samantapaista jarruaisaa, jos sähkömoottori kiinnitetään laitteen sivuun. Liikkeen pysäyttämiseksi riittäisivät samanlaiset metalliset palat, joilla säädetään laitteen mekaaninen raja.

Movetec Oy:n tarkka hintatarjous on tehty liikuntabiologian laitosta varten, eikä sitä tämän vuoksi voi ilmoittaa julkisesti. Hammashihnaratkaisu on kuitenkin yleisesti katsottuna hyvin halpa menetelmä. Suurin kustannustekijä laitteessa on sähkömoottori, joka kattaa noin 60 % komponenttien yhteishinnasta. Tämä hinta on kuitenkin ymmärrettävää, koska kyseessä on erittäin tehokas sähkömoottori. Katselemalla yleisesti tarvittavien komponenttien hintoja eri yrityksiltä, voin arvioida karkeasti hammashihnakäytön hinnaksi suunnilleen 5000 euroa. Kokonaishintaan vaikuttaa suuresti sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan hinnat, joten halvin ratkaisu on etsiä yritys, josta nämä komponentit on saatavissa halvimpana. Vaikka 5000 euroa on karkea ja hieman yläpuolelle pyöristetty hinta, se on silti 2000 euroa halvempi kuin hydraulikalla toimiva jalkadynamometri.



KUVIO 16. Tarvittavat komponentit yhdistettynä jalkadynamometrin kelkkaan

7 POHDINTA

Liikuntabiologian laitokselta saatu opinnäytetyön aihe oli valmiiksi rajattu sopivan laajuiseksi, jotta se olisi mahdollista saada kevätlukukauden aikana tehtyä. Aihepiiri sisälsi kuitenkin erittäin paljon uusia asioita, jotka vaativat paljon aiheisiin perehtymistä. Ensimmäisenä minun oli kerättävä kaikki mahdollinen tieto jalkadynamometristä. Laite on ainoastaan käytössä Jyväskylän yliopiston tiloissa, eikä siitä ollut julkaistu julkista tietoa. Sain kuitenkin tarvittavat tiedot jalkadynamometristä laitteen käyttöohjeesta sekä vanhasta yliopiston luentomateriaalista. Lisäksi liikuntabiologian laitoksen työntekijät kertoivat mielellään lisätietoja laitteen toiminnoista. Kävin myös kuuntelemassa yliopiston luennon laitteen käytöstä. Pyrin ottamaan kaiken oleellisen huomioon laitteen toiminnasta ja sen käytöstä, jotta osaisin etsiä hydraulikalle parhaiten sopivan korvaavan menetelmän.

Laitteen ulkonäön muutokselle ei asetettu rajoitteita. Tärkeintä oli, että uusi jalkadynamometri täyttäisi samat tekniset arvot kuin hydraulikalla toimiva versio. Uusien toimintamenetelmien etsiminen oli aluksi hankalaa. Internetin kautta oli vaikeaa löytää yritysten sivuilta uusia toimivia ratkaisuja. Sivujen käyttö osoittautui huomattavasti helpommaksi siinä vaiheessa, kun tiesi mitä etsiä. Aloitin tarkastelemalla pneumaattisia ratkaisumahdollisuuksia, koska pneumatiikka on toimintaperiaatteeltaan hyvin samanlainen kuin hydraulikka. Pneumatiikka osoittautui nopeasti epätodennäköiseksi ratkaisuvaihtoehdoksi. Sain kuulla Seppo Seppälältä, että nykyisen jalkadynamometrin rakennusvaiheessa lineaariliikkeen aikaansaamiseksi oli kaavailtu kuularuuviratkaisua, mutta se oli ollut siihen aikaan liian kallis ratkaisuvaihtoehto. Tämä sai minut tutkimaan tarkemmin kuularuuvia ja sen kautta elektromekaanista sylinteriä. Kuularuuvi osoittautui toimivaksi ratkaisuksi ja olin hetken aikaa sitä mieltä, että uusi jalkadynamometri toimisi parhaiten sen avulla. Sain kuitenkin kuulla, että liikuntabiologian laitoksella on laite, joka toimii hammashihnakäytöllä. Tarkasteltuani tarkemmin hammashihnakäyttöä, huomasin

kuinka yksinkertainen sen toimintaperiaate tulisi jalkadynamometrin käytössä olemaan. Hammashihnakäyttö vaikutti helpoimmalta suunnitella laitteen ympärille. Hihnoista ja hammashihnapyöristä oli saatavilla selviä mittoja, jotka auttoivat hahmottamaan millainen laite tulisi lopuksi olemaan. Hammashihnaratkaisun ympärille oli helpointa rakentaa selkeä kokonaisuus komponenttien toiminnasta jalkadynamometrissä.

Hammashihna vaatii toimiakseen useita eri komponentteja. Yksinäni en olisi pystynyt saamaan aikaiseksi toimivaa kokonaisuutta. Päätin tämän takia valita yrityksen, josta pyytäisin avustusta. Movetec Oy:n Internet sivusto sisälsi erittäin paljon hyödyllistä tietoa hammashihnan laskennasta. Löysin sivustolta kaavat joilla oli mahdollista valita hihna ja laskea vaadittava teho hihnan pyörittämiseen. En saanut realistisia tuloksia vaaditulle teholle, joten siirryin käyttämään valmista laskentaohjelmaa. Tämä vaati käyttäjätunnuksen tekemisen Movetec Oy:n sivustolle. Sain ohjelmasta lasketut arvot ja soitin yritykselle, jotta he voisivat tarkistaa laskelmat. Olin luvannut tarkastella opinnäytetyötä tehdessä komponenttien hintoja, joten päätin puhelun loppuun kysellä, paljon eri komponentit tulisivat maksamaan. Movetec Oy:n työntekijä Patrik Vilkki oli erittäin auttavainen opinnäytetyön suhteen. Hän lupasi lähettää tarjouksen laitteelle vaadittavista laitteista. Tarjouksessa hän vielä tarkasti, että kaikki komponentit ovat yhteensopivia. Tarjouksen pohjalta pystyin tarkastelemaan tarkemmin valittuja komponentteja.

Opinnäytetyö vaatii tarkkaa perehtymistä aiheeseen, enkä olisi selvinnyt tehtävästä ilman liikuntabiologian laitoksen, Jyväskylän ammattikorkeakoulun ja Movetec Oy:n apua.

LÄHTEET

Abb/catalog, 2010. Viitattu 2.5.2012. Abb:n taajuusmuuttajien tuoteluettelo
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/12eadabf0ce37ba3c12576c00052026b/\\$file/ACS355generalmachinerysives_catalog_FI_REVA.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/12eadabf0ce37ba3c12576c00052026b/$file/ACS355generalmachinerysives_catalog_FI_REVA.pdf)

Boschrexroth. Viitattu 5.3.2012. Rexrothin lineaaritekniikan katalogi.
http://www.boschrexroth.com/country_units/europe/finland/fi/esitteet_ja_dokumentaatiot/downloads/lineaaritekniikka.pdf

Design World. 11.1.2012. Viitattu 14.2.2012. Design World lehden tekemä kuularuuveista kertova video.
<http://www.youtube.com/watch?v=XSbXRIgA0g>

Digitaalinen Video & Audio, 2012. Viitattu 2.5.2012. Jyväskylän ammattikorkeakoulun Digitaalisen Videon & Audion kurssin luentomateriaali.

G. Prede & D. Scholz. 1997. Viitattu 6.3.2012. Feston julkaisema opetusmateriaali pneumatiikan perusteista.
[http://www.lagos.udg.mx/sites/default/files/Electroneumaticabasica\(eng\).pdf](http://www.lagos.udg.mx/sites/default/files/Electroneumaticabasica(eng).pdf)

Hiwin/ballscrew. Viitattu 14.2.2012. Kuularuuvin laskentaohjelma.
<http://www.hiwin.com.tw/Engineer/Ballscrews.aspx>

Hulkkonen Veli, 2005. Viitattu 6.3.2012. Hydrauliiikan perusteista kertova esite
<http://www.fluidfinland.fi/wp-content/uploads/2012/01/8.Hydrauliiikan-perusteet.pdf>

Internet video. 2008. Viitattu 7.2.2012. Kiinalaisen kuularuuvivalmistajan mainosvideo.
http://www.youtube.com/watch?v=OuP_1xT2BV8

Keskitalo Antti. 2010. Viitattu 7.2.2012. Lineaarimoottoreilla varustetun portaalirobotin suunnittelu ja toteutus.
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/17156/Keskitalo%20Antti.pdf?sequence=1>

Korpinen Leena. Viitattu 21.2.2012. Sähkökoneiden opetusmateriaali osa 1.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf

Koski Juha. 2010. Viitattu 21.2.2012. Sähkömoottoreiden yleistietoa.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16698/Koski_Juha.pdf?sequence=1

KUVIO 1. Mittaustilanteita liikuntabiologian laitoksella. Viitattu 5.2.2012.
Liikuntabiologian laitoksen tutkimus ja liikuntabiologia 2012.
<https://www.jyu.fi/sport/laitokset/liikuntabiologia/tutkimus>
<https://www.jyu.fi/sport/laitokset/liikuntabiologia/>

KUVIO 2. Piirros jalkadynamometristä. Seppälä Seppo. Viitattu 4.3.2012.
Jalkadynamometrin luentomateriaalista muokattu kuva.

KUVIO 3. Piirros hydraulikkasynteristä. Seppälä Seppo. Viitattu 4.3.2012.
Jalkadynamometrin luentomateriaali.

KUVIO 4. Piirros kuularuuvien toimintaperiaatteesta. Daerospace. 2010. Viitattu 7.2.2012. Sylintereihin perehtynyt Internet-sivu.
<http://www.daerospace.com/Articles/Power%20Screws%20-%20Description.html>

KUVIO 5. Elektromekaanisen sylinterin 3D-piirros. Viitattu 5.3.2012. Rexrothin elektromekaanisen sylinterin esittelyvideo. Videosta tehty elektroniikkasynterinin kuvat.
http://www.youtube.com/watch?v=hlsWdvOBY_U

KUVIO 6. Piirros hammashihnakäyttöisestä lineaarikelkasta. Viitattu 2.3.2012.
Movetec Oy:n lineaaritekniikan PDF-tiedostosta otettu kuva.
<http://www.movetec.fi/images/pdf/lineaaritekniikka2.pdf>

KUVIO 7. Piirros hammashihnaratkaisusta jalkadynamometrissä. Seppälä Seppo. Viitattu 2.3.2012. Jalkadynamometrin luentomateriaalista muokattu kuva.

KUVIO 8. BRECO®-hammashihnan tilausesimerkki. Viitattu 2.4.2012.
Movetec Oy:n lineaaritekniikan PDF-tiedostosta otettu kuva.
<http://www.movetec.fi/images/pdf/lineaaritekniikka2.pdf>

KUVIO 9 & KUVIO 10. Hammashihnan laskentaohjelma. Viitattu 5.4.2012. Vaatii sisään kirjautumisen sivustolle.
<http://www.movetec.fi/mitoitus/hammashihnakayttojen-mitoitus>

KUVIO 11. Yhdenlaisen kiinnityslevyn asennuksen 3D-piirustus. Viitattu 14.4.2012.
Movetec Oy:n hammashihnojen kiinnityslevyjen esittely.
http://www.movetec.fi/fi/moveinfo-18-11/183_HAMMASHIHNAT.pdf

KUVIO 12. Kiinnitysmallien 3D-piirrokset. Viitattu 14.4.2012. Movetec Oy:n hammashihnojen kiinnityslevyjen esittelysivusta sekä Patrik Vilkin lähettämästä tarkemmasta materiaalista muokattu kuva.
http://www.movetec.fi/fi/moveinfo-18-11/183_HAMMASHIHNAT.pdf

KUVIO 13. Piirros taajuusmuuttajan piirikaaviosta. Viitanen Elina. 2006. Viitattu 12.2.2012. Taajuusmuuttajien vikapuuanalyysi. satakunnan ammattikorkeakoulu. http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1051/Viitanen_Elina.pdf?sequence=1

KUVIO 14. Kuva valitusta ABB-taajuusmuuttajasta. Viitattu 27.4.2012. Movetec Oy:n työntekijä Patrik Vilkin lähettämä kuva valitusta taajuusmuuttajasta.

KUVIO 15. Kuva pontiometrissä. Viitattu 30.4.2012. ABB:n tuoteluettelo. [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/12eadabf0ce37ba3c12576c00052026b/\\$file/ACS355generalmachineriesrives_catalog_FI_REVA.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/12eadabf0ce37ba3c12576c00052026b/$file/ACS355generalmachineriesrives_catalog_FI_REVA.pdf)

KUVIO 16. Tarvittavat komponentit yhdistettynä jalkadynamometrin kelkkaan. Viitattu 30.4.2012. Muokattu versio Movetec Oy:n työntekijä Patrik Vilkin lähettämästä tarjouksesta.

Liikuntabiologian laitoksen tutkimus 2012. Viitattu 5.2.2012. <https://www.jyu.fi/sport/laitokset/liikuntabiologia/tutkimus>

Liikuntabiologian laitoksen laatukäsikirja. 25.4.2008. Viitattu 5.2.2012. <https://www.jyu.fi/sport/laitokset/liikuntabiologia/laitos/dokumentit/muut/laatukasikirja>

Laura Aura & Antti J. Tonteri. 1998. Viitattu 21.2.2012. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet oppikirja.

Movetec/kuularuuvit. Viitattu 7.2.2012. Movetecin kuularuuvituoteperheen esittely. <http://www.movetec.fi/tuotteet-mekaaninen/kuularuuvit-liikeruuvit/kuularuuvit-hiwin>

Movetec/yritys. Viitattu 14.2.2012. Movetecin yritysesitys. <http://www.movetec.fi/yritys>

Movetec/lineaaritekniikka. Viitattu 2.3.2012. Movetec Oy:n lineaaritekniikan esittely. <http://www.movetec.fi/images/pdf/lineaaritekniikka2.pdf>

Movetec/hammashihnakäyttöjen mitoitus. Viitattu 5.4.2012. Movetec Oy:n laskentaohjelma. Vaatii sisään kirjautumisen. <http://www.movetec.fi/mitoitus/hammashihnakayttojen-mitoitus>

Movetec/asiakaspalvelu. Viitattu 10.4.2012. Movetec Oy:n asiakaspalvelussa toimivan Patrik Vilkin kanssa käyty keskustelu.

Movetec/tarjous. Viitattu 1.5.2012. Movetec Oy:ltä saadun tarjouksen mukana tulleet tarkemmat tekniset tiedot.

Movetec/hammashihnat. Viitattu 14.4.2012. Movetec Oy:n esite hammashihnan kiinnityslevyistä. http://www.movetec.fi/fi/moveinfo-18-11/183_HAMMASHIHNAT.pdf

Motiva. 2011. Viitattu 21.2.2012. Motivan sivuilla yleistä tietoa moottoritekniikasta.
http://www.motiva.fi/liikenne/polttoaineet_ja_ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkomoottori

Peltonen Heikki. 1.2.2012. Viitattu 27.2.2012.
Palaveri jalkadynamometrin toimintaperiaatteisiin perehtymisestä.

Pihlavirta Sakari 4/2009. Viitattu 29.4.2012. Tampereen ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. Potentiaalintasauskiskon toimintaperiaatteesta kertova osuus.
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9770/Pihlavirta.Sakari.pdf?sequence=2>

Promoco. 2010. Viitattu 7.2.2012. Protocon kuularuuvituotteen esittely.
http://www.promoco.se/suomi/tuotteet_details.php?pro_id=133&cat_id=1073

Rexroth. Viitattu 5.3.2012. Rexrothin elektroniikkasynterinin katalogi.
http://www13.boschrexroth-us.com/Catalogs/EMC_WEB_08.pdf

Seppälä Seppo. 20.2.2011. Viitattu 6.3.2012. Ratkaisuvaihtoehtoista käyttö keskustelu.

Seppälä Seppo. 15.10.2002. Viitattu 27.2.2012.
Jalkadynamometrin käyttöohje.

Seppälä Seppo. Viitattu 27.2.2012
Jalkadynamometrin luentomateriaali.

Seppälä Seppo. 13.12.2011. Viitattu 4.3.2012. Sähköpostin välityksellä käyttö keskustelu.

Seppälä Seppo. 27.4.2012. Viitattu 29.4.2012. Sähköturvallisuudesta käyttö keskustelu.

Universal Fitness Equipment. 2012. Viitattu 4.3.2012
Hydrauliikan hyödyt ja haitat
<http://universalfitnessequipment.net/hydraulic-fitness-equipment/>

Vacon. Viitattu 12.2.2012. Vacon taajuusmuuttajan esittely.
<http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=461938>

Viitanen Elina. 2006. Viitattu 12.2.2012. Taajuusmuuttajien vikapuuanalyysi. satakunnan ammattikorkeakoulu. Taajuusmuuttajan kuva samasta lähteestä.
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1051/Viitanen_Elina.pdf?sequence=1

Vivecan yritys esittely 2012. Viitattu 5.2.2012.
<https://www.jyu.fi/tutkimus/yksikot/viveca>

Vivecan toiminta-ajatus 2012. Viitattu 5.2.2012.

<https://www.jyu.fi/tutkimus/yksikot/viveca/toiminta-ajatus>

Vivecan tutkimuksen keskittymiskohteet 2012. Viitattu 5.2.2012.

<https://www.jyu.fi/tutkimus/yksikot/viveca/toimitilat-ja-toimijat>

Liite 1. Kuularuuvun laskentaohjelman tulokset

Home Page » Support » Technical Calculations » Ballscrews

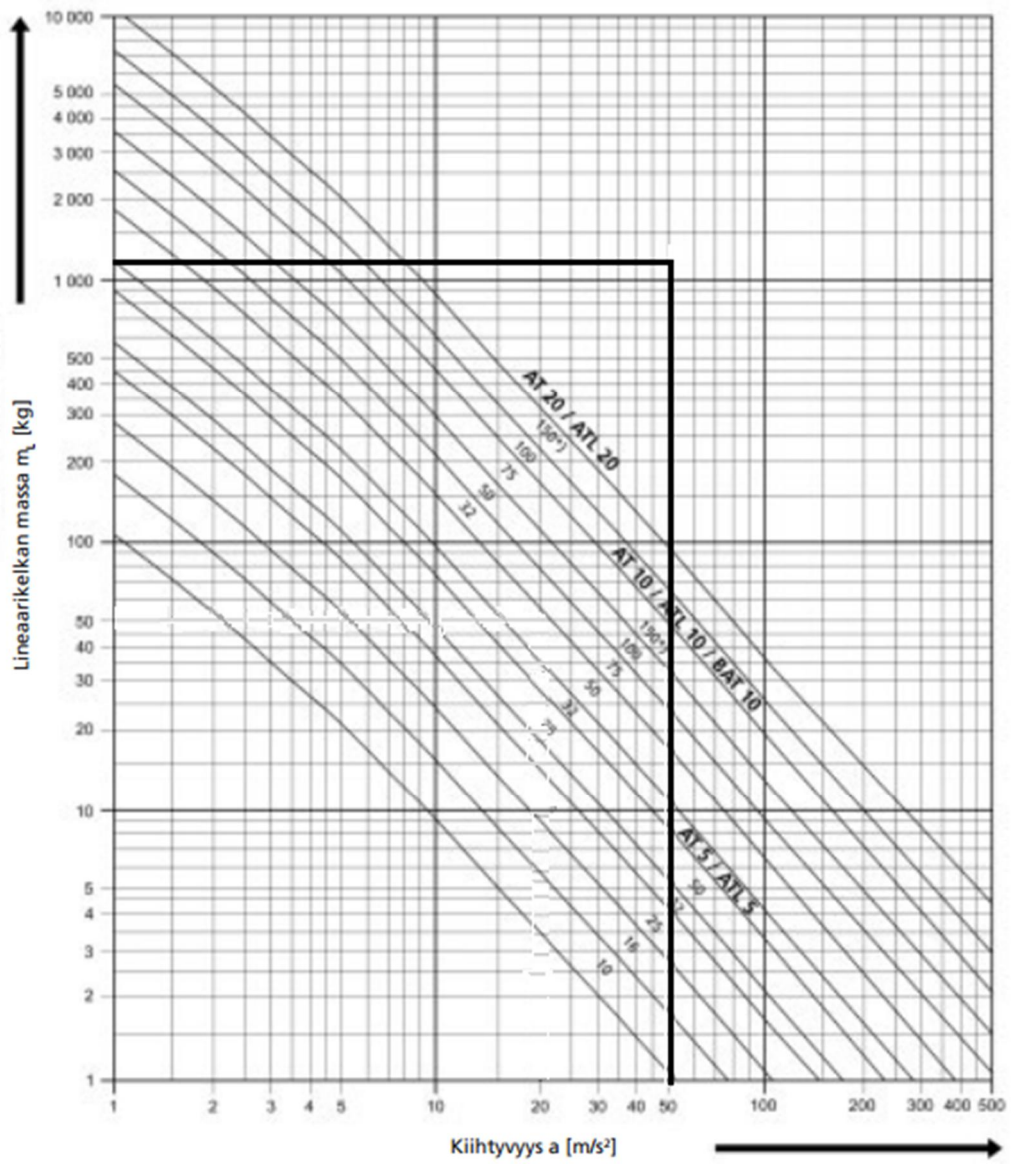
Language ▼
[Login](#) [Sign Up](#)

Life Calculation for HIWIN Ballscrew

Input request of BS specifications	
Accuracy: Rolled BS-with preload	
Model: 50-50S2-DFSH	
Nominal Diameter: 50(mm)	
Lead: 50(mm)	
Type of nut: Single nut	
Basic dynamic axial load rating C: 4120(kgf)	
Basic static axial load rating Co: 10890(kgf)	
Ball Diameter.: 7.938(mm)	
Root Diameter Of BS: 44.788(mm)	
Operating conditions	
Configuration: Horizontal	
Mounting types: Fixed-Free	
Preload: 206 (kgf)	
Distance between supported bearings Lt: 800(mm)	
Table wight + Work piece weight m: 10(kgf)	
External Axial force Fa: 1274.6(kgf)	
Coefficient of friction of slider μ: 0.05	
Velocity v: 42(M/min)	
Acceleration a: 50(M/s ²)	
Acceleration time t1: 0.014	
Total Stroke (S): 700(mm)	
Safety factor: 1.3	
Calculation results	
Rotating Speed: 840(rpm)	Expected rating Fatigue life: 10.92 x 10 ⁶ (rev.)
DN value: 42000	Expected Service life in hours: 220(hours)
Mean rotating speed: 828(rpm)	Expected Service life in distance: 546(km)
Average load: 1651(kgf)	
Critical speed: 2382(rpm)	
Buckling load: 8001(kgf)	

- Preload is set 5% of dynamic load
- The above service life is only an estimation deduced from theoretical calculation. The real service life is influenced by factors, such as lubrication, assembly, environment, and so forth
- The recommended viscosity of oil is 35~68cSt at 40°C for lubrication; the oil feed rate is 0.9 c.c. per 15 minute.
- The above service life is only an estimation deduced from theoretical calculation.
- The real service life can be influenced by many factors, such as lubrication, assembly, environment, etc.

Liite 2. Hihnatyypin alustava mitoitus



Liite 3. Jalkadynamometrin tekniset arvot

Tekniset arvot

Lineaariliikkeen:

-pituus	700 mm
-nopeusalue	0,1...0,7 m/s (...1 m/s erikois- toimenpitein)
-maksimikiikthyvyys	50 m/s ²

Laitteen tuottama maksimivoima: 12 500 N

Sähkönsyöttö: 3 x 400V, 50 Hz, 15 kW

Lähtösignaalit (ohjauskeskuksen oikeasta päädyistä):

-voima (muunnettu massa-arvoksi, kun $g=9,81\text{m/s}^2$):	3,33mV/kg
-etäisyys:	130 mV/cm
-liikesuunta: eteen =n.4V, taakse = n.2V	

Mitat: (pituus x leveys x korkeus) 2630mm x 820mm x 1550mm

Paino: 300 kg

Liite 4. Laskennallinen osuus

1. Hihnavoima vaakaliikkeelle

$$m1 := 1250\text{kg} + 10\text{kg} \quad a1 := 50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{massa} = m1$$

kiihtyvyyttä a1

$$F1 := m1 \cdot a1$$

$$F1 = 6.3 \times 10^4 \text{N}$$

Maksimi vetokuormitus AT hammashihnalle on 32000N

$$32000\text{N} \cdot 2 = 6.4 \times 10^4 \text{N}$$

$$6.4 \times 10^4 > 6.3 \times 10^4 \text{N}$$

Kahdella AT hammashihnalla pystytään aikaansaamaan tarvittu hihnavoima

2. Hammashihnan pituus

Hammashihnapyörän kehän pituus

$$r1 := \frac{190.99}{2} \text{mm} \quad \text{säde} = r1$$

$$p1 := 2\pi r1$$

$$p1 = 0.6\text{m}$$

Hammashihnan kokonaispituus

$$k1 := 0.41\text{m} \cdot 2 \quad p1 = 0.6\text{m} \quad l1 := 0.7\text{m} \cdot 2 \quad t1 := 0.1\text{m} \cdot 4$$

hammashihnapyörä: p1

$$S1 := k1 + p1 + l1 + t1$$

kelkka = k1

$$S1 = 3.22\text{m}$$

liike = l1

turvaväli = t1

Liite 5. AT20-Hammashihnan tiedot



AT-suuritehoinen hammashihna, metritavara

1. Hampaan kesto (hampaan ominaiskesto)

Hampaan ominaiskesto F_{spz} on maksimi voima N , jonka 1 cm levyinen hihnan hammas siirtää. Se on käytävän pyörän kierrosluvusta riippuva suure. Laskennassa oletetaan jokaisen tarttuvan hampaan ottavan vastaan saman suuruisen osan kuormituksesta. Mikäli tarttuvia hampaita on yli 12, rajoitetaan z_e arvoon 12.

$$F_t = F_{spz} \cdot z_e \cdot b$$

F_t Tangentiaalivoima

F_{spz} Hampaan ominaiskesto N/cm

b Hihnaleveys cm

z_e Tarttuvia hampaita
 $z_{e,max} = 12$

BRECO®-hammashihnan tekniset tiedot AT 20

Kierrosluku n [min ⁻¹]	F_{spz} [N/cm]	Kierrosluku n [min ⁻¹]	F_{spz} [N/cm]
0	147,00	2200	63,60
20	144,20	2400	60,70
40	141,70	2600	58,00
60	139,30	2800	55,50
80	137,00	3000	53,10
100	134,90	3200	50,90
200	125,80	3400	48,80
300	118,50	3600	46,80
400	112,40	3800	45,00
500	107,20	4000	43,20
600	102,60	4500	39,00
700	98,50	5000	35,30
800	94,80	5500	32,00
900	91,50	6000	28,90
1000	88,40	6500	26,00
1100	85,60		
1200	82,90		
1300	80,50		
1400	78,20		
1500	76,00		
1600	73,90		
1700	72,00		
1800	70,10		
1900	68,40		
2000	66,70		

Lineaartekniikka

2. Suurin sallittu vetokuorma (F_{Tzd}), hihnapaino

Hihnaleveys	b [mm]	32	50	75	100	150
Vetokuormitus (M)	F_{Tzd} [N]	7200	11200	16800	22400	32000
Ominaisjoustavuus	c_{spz} [N]	$1,80 \cdot 10^6$	$2,80 \cdot 10^6$	$4,20 \cdot 10^6$	$5,60 \cdot 10^6$	$8,00 \cdot 10^6$
Hihnapaino	AT20 [kg/m]	0,307	0,480	0,720	0,960	1,423

3. Taipuisuus (minimihammasluku, minimihalkaisija)

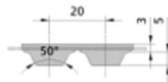
Käytön rakenne	BRECO AT 20	
Ilman vastaantäivutusta	Hammashihnapyörä Kirstyspyörä (sileä), hammaspuolella	z_{mh} 18 d_{mh} [mm] 120
Vastaantäivutuksella	Hammashihnapyörä Kirstyspyörä (sileä), sekäpuolella	z_{mh} 25 d_{mh} [mm] 180



AT-suuritehoinen hammashihna, metritavara



BRECO®-HAMMASHIHNA AT 20



Vakiileveydet *) b [mm]	32	50	75	100	150
Pyörän leveys B [mm]	40	60	85	110	160

*) Välileveysiä saatavilla
Rullakoko 50 m.
Muut pituudet kysyttäessä.

AT 20 - saatavilla olevat hihnamallit

- AT 20: standardi
- PAZ: polyamidikangas hammaspuolella
- lenkiksi liitetty BRECO®-hammashihna (V), tarkemmat tiedot kulumestekniikka-esitteessä

Tilausesimerkki:

BRECO®-HAMMASHIHNA	75 AT 20 / 50000 M
Hihnaleveys mm	75
Tyyppi / jako	AT 20
Hihnapituus mm	50000
Metritavara	M

Liite 6. Tarvittavat komponentit

Liikkeen saavuttaminen		Tehon saavuttaminen		
01	Hammashihna AT20-150-M - metritavara, leveys 150 mm, profiili AT20 - materiaali polyuretaani teräsvetolangoilla	2 kpl	01 Sähkömoottori PH102-160B5+ME160L-4 - i=13.32 - 15KW, 400VD B35 IE2 PTC - akseli 60 mm - n2=105 rpm, M2=1309 Nm, f.s=2,37 - Fr2=18582 N	1 kpl
02	Hammashihnapyörä AL-160AT20/30-2 - navaton hihnapyörä, leveys 160 mm - materiaali alumiini - hammasluku 30 - profiili AT20 - poraus 16H7	4 kpl	02 Taajuusmuuttaja, ABB ACS355-03E-31A0-4 - 15KW	1 kpl
03	Kiinnityslevy hammashihnalle 190X200AT20 - leveys 190 mm, pituus 200 mm	2 kpl	03 Assistant-paneeli	1 kpl