

Tommi Lahtinen

**VATSALIHASLAITTEEN PAINOPAKAN KORVAAMINEN
SÄHKÖISELLÄ VASTUSJÄRJESTELMÄLLÄ**

VATSALIHASLAITTEEN PAINOPAKAN KORVAAMINEN SÄHKÖISELLÄ VASTUSJÄRJESTELMÄLLÄ

Tommi Lahtinen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Tommi Lahtinen
Opinnäytetyön nimi: Vatsalihaslaitteen painopakan korvaaminen sähköisellä vastusjärjestelmällä
Työn ohjaaja: Kai Jokinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018
Sivumäärä: 42 + 3 liitettä

Weela on kuntolaite, jonka toimintaperiaatteena on vastusvoiman tuottava sähkömoottori. Sähkömoottoria ohjataan patentoidun tekniikan avulla älypuhelimesta tai tabletista käytettävällä ohjelmistolla.

Welapro Oy toimii erään kuntoutuslaitevalmistajan kanssa asiakasprojektissa, jossa kuntoutustoimintaan tarkoitettua vatsalihaslaitteen perinteinen painopakka halutaan korvata sähköisellä vastusjärjestelmällä. Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja valmistettiin prototyyppi, jolla voitiin todentaa Welapro Oy:n valmistaman sähköisen vastusjärjestelmän soveltuvan vatsalihaslaitteen mekaanisen painopakan korvaajaksi.

Työssä laskettiin vaadittavan vastusvoiman saavuttamiseksi tarvittava välityssuhde, jolla sähköisen vastusjärjestelmän tuottama vastusvoima saadaan siirrettyä vatsalihaslaitteen akselille. Laskelmien pohjalta pohdittiin ja tutkittiin eri voimansiirtoratkaisuja voimavälitysten toteuttamista varten, kuten kulmavaihte, planeettavaihte, hammashihnakäyttö sekä ympyränsektorin muotoinen epäkesko. Epäkesko välittää sähköisen vastusjärjestelmän tuottaman voiman vatsalihaslaitteen akselille.

Suunnittelutyön pohjalta valmistettiin epäkeskoratkaisun prototyyppi, jota testattiin käytännössä. Prototyyppi täytti sille asetetut vaatimukset, eli tarvittavan vastusvoiman sekä liikematkan. Laitetta testattaessa todettiin, että prototyypillä saavutettiin vaadittu vastusvoima ja liikematka ilman, että käytönaikainen pehmeä ja jouheva tuntuma kärsii.

Asiasanat: koneensuunnittelu, tuotekehitys, voimansiirto, hammasvaihte, hihnavälitys, prototyyppi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical and Production Engineering (B. Eng.), Machine Automation

Author: Tommi Lahtinen

Title of thesis: Replacement of Weight Stack of Abdominal Machine by Electronic Resistor System

Supervisor: Kai Jokinen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2018

Pages: 42 + 3 appendices

Weela is a fitness device with the principle of an electric motor that produces resistant force. The electric motor is controlled by patented technology from a smartphone or tablet software.

Welapro Oy works in a customer project with a company, which manufactures equipment for physical rehabilitation. The aim of the project is to replace the weight stack of abdominal machine with an electric resistor system. The aim of the thesis was to design and manufacture a prototype to verify the electrical resistance system as a replacement for the weight stack of the abdominal machine.

In this work, the required ratio was calculated to achieve the required resistor force, whereby the resistor produced by the electronic resistor system can be transferred to the abdominal machine axis. Based on the calculations, different power transmission solutions for power transmission, such as bevel gear, planetary gear, timing belt, and cam were discussed and studied. Cam transmits the power generated by the electronic resistor system to the axis of the abdominal machine.

Based on the design work, a prototype of a cam solution was prepared and tested in practice. The prototype fulfilled the requirements set for it, the required resistor force and the traveling distance. When testing an abdominal machine, it can be stated that the prototype achieved the required resistor force and traveling distance without affecting to in-use smoothness and touch of the movement.

Keywords: machine design, product design, power transmission, gear drive, belt drive, prototype

ALKULAUSE

Opinnäytetyön toteutuksen aikana opin monia uusia asioita koneensuunnittelun, tuotekehityksen ja valmistustekniikan osa-alueilta. Esitän kiitokseni Welapro Oy:n työntekijöille mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Kiitän toimitusjohtaja Miikka Kurunlahtea toteuttamisvaiheessa saaduista neuvoista ja ohjeista. Haluan kiittää yliopettaja Kai Jokista, joka toimi opinnäytetyön ohjaajana.

Lisäksi haluan kiittää ystäviäni ja perhettäni tuesta opinnäytetyön toteutuksen aikana.

Oulussa 2.4.2018

Tommi Lahtinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
1.1 Welapro Oy	8
1.2 Weela-kuntolaite	9
1.3 Opinnäytetyön aihe	10
1.4 Opinnäytetyön tavoitteet	10
1.5 Aiheen rajaus	11
2 KONEENSUUNNITTELU	12
2.1 Tehtävänasettelun selvitys	12
2.2 Luonnostelu	12
2.3 Kehittely	14
2.4 Viimeistely	14
3 MITOITUKSEN LÄHTÖKOHDAT	15
3.1 Vastusvoiman ja välityssuhteen määrittäminen	17
3.2 Moottorin pyörähdysmatkan määrittäminen	18
4 VOIMANSIIRTORATKAISUT	21
4.1 Hammaspyörävoimansiirto	21
4.1.1 Toteutus kulmavaihteella	23
4.1.2 Toteutus planeettavaihteella	24
4.2 Hammashihnavoimansiirto	25
4.3 Ympyränsektorin muotoinen epäkesko	30
5 KONSEPTIN TODENNUS PROTOTYYPIN AVULLA	32
5.1 Osien suunnittelu	32
5.2 Osien valmistus	36
5.3 Prototyypin testaus	37
6 YHTEENVETO	40
LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1 Konstruoimisen työaskeleiden kaavio

Liite 2 Kulmavaihteen SG 80 esite

Liite 3 Planeettavaihteen PLG 75 esite

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee kuntoutustoimintaan tarkoitettua vatsalihaslaitteen painopakkan korvaamista sähköisellä vastusjärjestelmällä. Työn tilaajana toimii Welapro Oy.

Welapro Oy valmistaa kuntoilulaitetta, jossa vastusvoima tuotetaan sähkömoottorilla. Laitetta ohjataan älypuhelimessa toimivan ohjelmiston avulla. Welapro Oy toimii asiakasprojektissa suomalaisen kuntoutuslaitevalmistajan kanssa. Projektin tarkoituksena on todentaa konsepti, jossa vatsalihaslaitteen perinteinen painopakka korvataan sähköisellä vastusjärjestelmällä.

Opinnäytetyössä vastusvoima optimoidaan vatsalihaslaitteeseen sopivaksi laskemalla ja mitoittamalla voimavälityksiä. Laskelmien ja suunnittelun pohjalta rakennetaan prototyyppi, jolla todennetaan, pystytäänkö painopakka korvaamaan sähköisellä vastusjärjestelmällä. Lisäksi opinnäytetyössä perehdytään lyhyesti koneensuunnittelun teoriaan.

1.1 Welapro Oy

Welapro Oy on perustettu Kempeleessä lokakuussa 2015. Yrityksen päätuote on Weela-kuntolaitejärjestelmä, jonka tuoteperhettä kehitetään eteenpäin. Tällä hetkellä siihen kuuluvat lisäksi muun muassa kyykkylevy ja seinäteline. Yrityksen kantavana ajatuksena on tuoda kuntosali niihin paikkoihin, joihin sitä ei ole aikaisemmin voitu viedä, eli tuodaan kuntosali suoraan ihmisten luokse eikä toisinpäin. (1.)

Yrityksen taustat ovat Oulun ammattikorkeakoulussa. Ensimmäiset Weelaan liittyneet opinnäytetyöt tehtiin vuonna 2011. Vuoteen 2015 asti Weelaa kehitettiin oppilaiden vetäminä projekteina, kunnes yritys perustettiin. (1.)

Tällä hetkellä yrityksessä työskentelee kuusi työntekijää kone- ja tuotantotekniikan, tietotekniikan, elektroniikan, fysioterapian ja liiketalouden aloilta. Yrityksen toimipiste Kempeleessä keskittyy elektroniikan ja ohjelmiston kehitykseen. Li-

säksi yritys työllistää välillisesti enemmänkin ihmisiä, koska esimerkiksi mekaniikkasuunnittelu, muotoilu ja osien valmistus on ulkoistettu. Erilaisia yhteistyöyrityksiä on yli 20. Myyntiyhteistyötä tehdään niin suurten kuin pientenkin yritysten kanssa, jotka jälleenmyyvät Welapro Oy:n tuotteita. (1.)

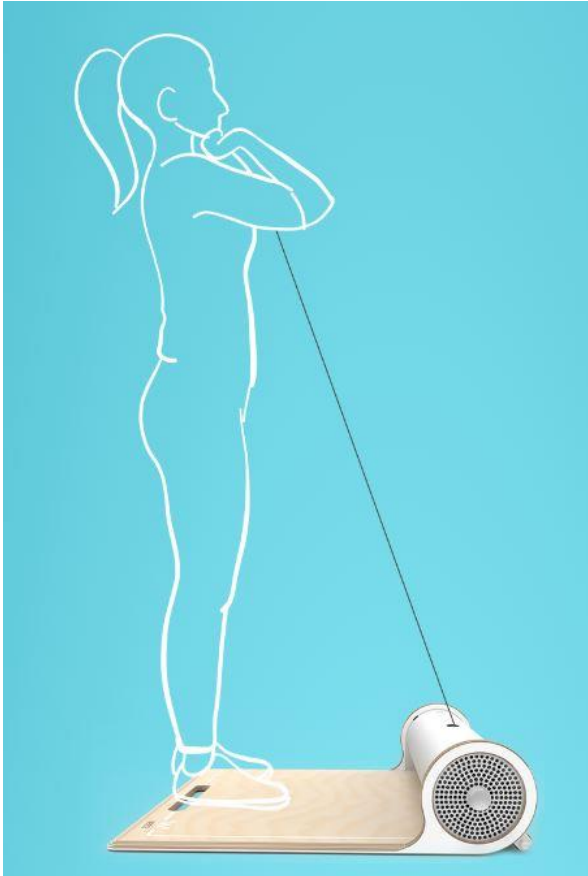
Yrityksen pääasiallinen asiakasryhmä on tällä hetkellä fysioterapeutit. Tuotteita on myyty myös vanhainkoteihin, personal trainereille, työhyvinvointiin, urheiluseuroille ja kotikuntoilijoille. (1.)

Yrityksen tulevaisuuden tavoitteena on toimia kuluttajamarkkinoilla, eli tuotetta valmistetaan kuluttajakäyttöön. Tavoitteena on olla maailman johtava älykkäiden kuntolaitteiden valmistaja kansainvälisillä markkinoilla. (1.)

1.2 Weela-kuntolaite

Weela on kuntolaite, jonka toimintaperiaatteena on vastusvoiman tuottava sähkömoottori. Sähkömoottoria ohjataan patentoidun tekniikan avulla älypuhelimesta tai tabletista käytettävällä ohjelmistolla (1). Weela yhdistetään bluetoothilla käyttäjän älylaitteeseen. Käyttäjä lataa älylaitteeseensa sovelluskaupasta sovelluksen, jolla hän pystyy esimerkiksi säätämään vastustason itselleen sopivaksi, seuraamaan henkilökohtaista harjoitusohjelmaa ja pitämään harjoituspäiväkirjaa. (2.)

Weela pystyy tuottamaan vastustason 0 - 100 kg:n välillä. Laitteen massa käyttökuntoisena on ainoastaan 15 kg. Kuvasta 1 nähdään, kuinka Weelan avulla voidaan tehdä harjoitteita kehon kaikille lihaksille, joita tarvitaan hyvinvoinnin ylläpitämiseen. (2.)



KUVA 1. Esimerkki Weelan avulla tehtävästä harjoitteesta (2)

1.3 Opinnäytetyön aihe

Tilaajayrityksen työntekijät ovat aikaisemmin testanneet Weelan liittämistä vatsalihaslaitteen painopakan tilalle. Ongelmaksi muodostui se, että vatsalihaslaitteen alkuperäisen välityssuhteen takia moottorin akselille kelautuvan narun liikematka, toisin sanoen moottorin pyörimismatka, on liian lyhyt. Vaikka kuntoilija tekee laitteessa liikettä laajalla liikeradalla, jää liikematka Weelan päässä liian lyhyeksi. Lisäksi moottorin tuottama vastusvoima ei ole tarpeeksi suuri vatsalihaslaitteen alkuperäisiin välityksiin nähden.

1.4 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella voimavälitysratkaisu, joka optimoi vastusvoiman ja liikematkan vatsalihaslaitteeseen sopivaksi, jotta painopakka voidaan korvata sähköisellä vastusjärjestelmällä. Tätä varten valmistetaan prototyyppi konseptin todentamiseksi.

Kokonaisuudessaan projektin tavoitteena on vatsalihaslaitteen rakenteen karsiminen ja massan pienentäminen. Laitteen alkuperäinen mekaaninen painopakka on massaltaan noin 100 kg. Lisäksi painopakka vaatii ympärilleen massiivisia runkorakenteita kiinnitystä varten, jotka kasvattavat laitteen massaa ja ulkoisia mittoja. Tavoitteena on myös vähentää osien lukumäärää, mikä pienentää valmistuskustannuksia ja vähentää kokoonpanotyötä.

1.5 Aiheen rajaus

Opinnäytetyön aihe rajataan konseptin todennukseen. Pyritään todistamaan, että Weela pystyy toimimaan perinteisen painopakan korvaajana. Konseptin todennukseen kuuluvat

- voimansiirtoratkaisun suunnittelu
- prototyypin valmistus
- toiminnan testaus.

Prototyypiksi riittää sellainen ratkaisu, jossa toimintaa voidaan testata käytännössä, eli henkilö käyttää vatsalihaslaitetta, jonka vastus tuotetaan Weelan avulla. Prototyypissä ei huomioida yksityiskohtaisesti esimerkiksi sitä, miten Weela on integroitu vatsalihaslaitteeseen. Tuotteen ulkonäössä ei pyritä kaupallisen version tasolle.

2 KONEENSUUNNITTELU

Koneensuunnittelu eli konstruointi on monipuolista toimintaa, joka perustuu moniin tieteisiin kuten matematiikkaan, fysiikan eri alueisiin kuten mekaniikkaan ja termodynamiikkaan. Koneensuunnittelu perustuu myös valmistustekniikan, materiaalien, koneenosien, yritystalouden ja viestinnän oppeihin. (3, s. 20.)

Konstruointi ja kehitystyö voidaan jakaa karkeasti seuraaviin päävaiheisiin:

- tehtävän selvittely
- luonnostelu
- kehittäminen
- viimeistely.

Jaottelun tuloksena saadaan liitteen 1 (3, s. 51) mukainen kulkukaavio. Siinä nähdään tarkasti yksittäiset työ- ja päätösaskeleet konkretisoimisen etenemisen mukaisessa järjestyksessä. (3, s. 48.)

2.1 Tehtävänasettelun selvitys

Tehtävänasettelun selvityksen tuloksena on informaation määrittäminen vaatimuslistan muodossa. Tehtävänasettelun selvityksellä tarkoitetaan informaation hankintaa ratkaisulle asetetuista pysyvistä vaatimuksista ja yleisistä reunaehdoista sekä niiden merkityksestä.

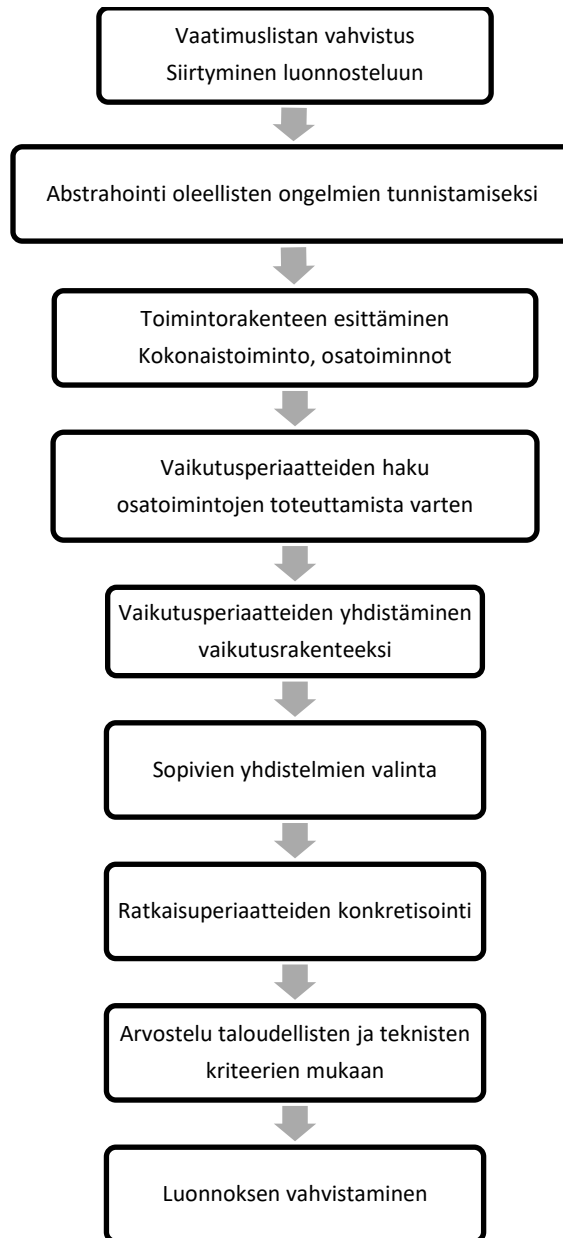
Selvitys johtaa vaatimuslistan laatimiseen. Vaatimuslistassa otetaan huomioon konstruktivisen kehittämisen tarve ja sen mukaisesti suunniteltavat seuraavat työaskeleet. Vaatimuslista pidetään aina ajan tasalla, ja se on pohjana seuraaville työaskelille. (3, s. 48.)

2.2 Luonnostelu

Luonnostelu on ratkaisun periaatteen vahvistamista. Luonnostelulla tarkoitetaan sitä konstruoinnin osaa, jossa tehtävän selvittelyn jälkeen määritetään vaikutusrakenteeseen perustuva periaatteellinen ratkaisu. (3, s. 48.) Luonnostelussa abstrahoidaan, laaditaan toimintorakenne ja esitetään sopivimmat vaikutusperi-

aatteet ja niiden yhdistelmät. Näiden konkretisoinnin ja arvostelun jälkeen päädytään periaatteelliseen ratkaisuun eli luonnokseen (3, s. 71). Luonnosteluvaihe voidaan jakaa seuraaviin askeliin taulukon 1 mukaisesti.

TAULUKKO 1. Luonnostelun työaskeleet (3, s. 72)



Luonnosteluvaiheen askeleet on hyvä käydä läpi siksi, että jo etukäteen varmistettaisiin parhaaksi mahdolliseksi osoittautuvan ratkaisun ottaminen kehittelyyn. Kehittelyn ja viimeistelyn aikana ei voida juuri poistaa luonnoksen perustavaa laatua olevia heikkouksia. Parhaimpaan konstruktivisen ratkaisun tulokseen

päästään, kun konstruktivisia hienouksia ei korosteta liikaa, vaan valitaan tarkoituksenmukaisin periaate. Luonnosmuunnelmien arvostellaan tekniset näkökohdat huomioon ottaen, minkä ohessa taloudellisetkin näkökohdat otetaan jo karkeasti huomioon. Ne muunnelmien, jotka eivät täytä vaatimuslistan vaatimuksia, hylätään. (3, s. 49.)

2.3 Kehittely

Kehittely on se osa konstruointia, jossa vaikutusrakenteesta tai ratkaisuperiaatteesta alkaen suunnitellaan tuotteen kokoonpanorakenne täydellisesti teknisten ja taloudellisten edellytysten mukaan. Jotta päästäisiin eri muunnelmien etuihin ja haittoihin nähden ylemmälle informaatiotasolle, joudutaan monessa tapauksessa tekemään useampia mittakaavaisia alustavia ehdotuksia. (3, s. 49.) Kehittelyvaiheessa pääpaino on konkreettisesti rakennemuotoilussa (3, s. 176).

Kehittelyvaihe päättyy asianmukaisen läpikäymisen jälkeen teknis-taloudelliseen arvosteluun, jolloin saadaan uutta tietoa korkeammalla informaatiotasolla. Monesti arvostelun jälkeen yksi muunnelmista näyttäytyy selvästi edullisempänä, mutta sitä voidaan yhä parantaa muiden, kokonaisuudessaan huonompien ehdotusten osaratkaisujen ideoilla. Näiden ratkaisujen ja yhdistelmien soveltamisella ja arvosteluiden paljastamien heikkouksien perusteella voidaan päästä lopulliseen ratkaisuun, ja voidaan tehdä päätös lopullisen kehitelmän rakennemuotoilusta. (3, s.49.)

2.4 Viimeistely

Viimeistelyssä teknisten rakennelman kokoonpanorakennetta täydennetään lopullisilla muotoa ja kaikkien yksittäisten osien mitoitus- ja pinnanlaatua koskevilla määräyksillä, työainesten määrityksillä sekä valmistusmahdollisuuksien ja lopullisten kustannusten tarkistuksilla. Viimeistelyn tuloksena on ratkaisun valmistustekninen määrittäminen. (3, s. 50.) Viimeistelyvaiheen pääpaino on valmistusasiakirjojen, erityisesti osa- eli työpiirustusten, rakenneryhmien piirustusten, sekä kokoonpanopiirustusten ja osaluetteloiden laatimisessa (3, s. 458).

3 MITOITUKSEN LÄHTÖKOHDAT

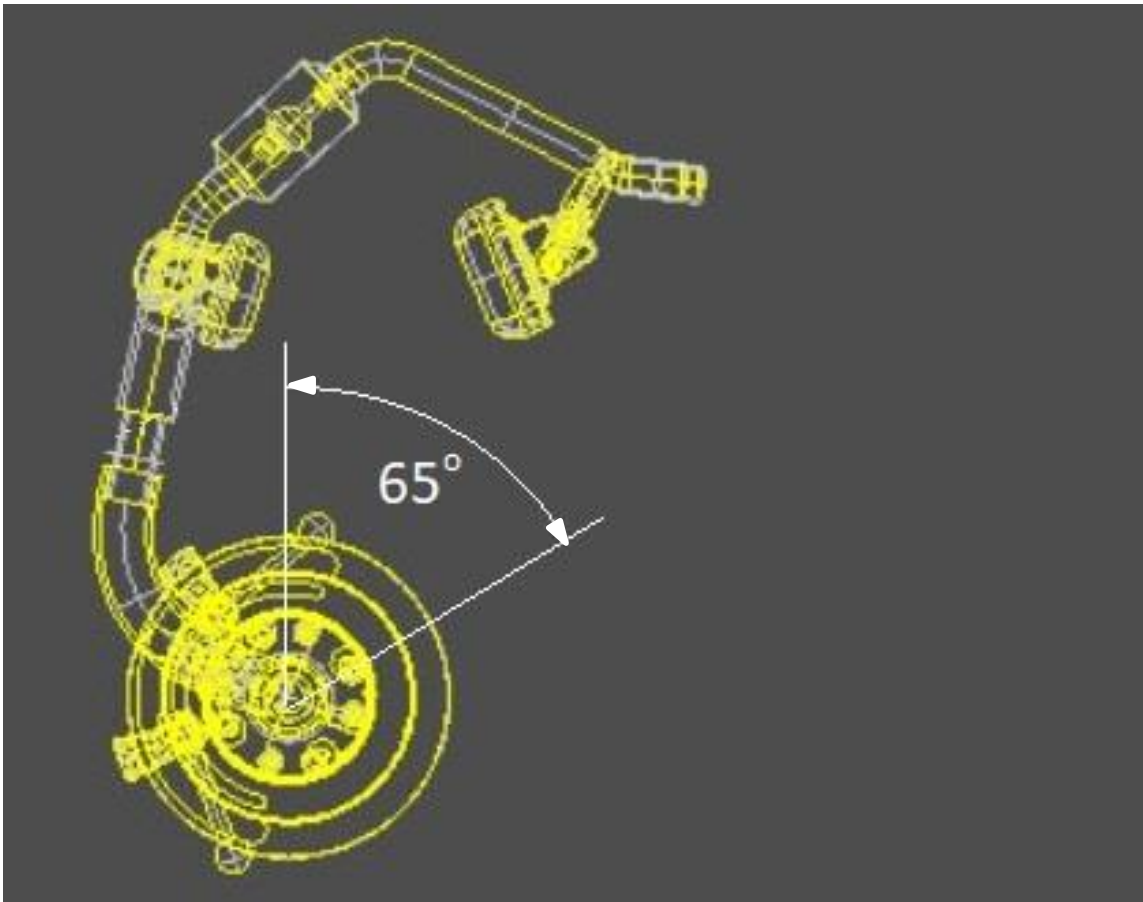
Voimansiirron mitoituksen lähtökohdiksi asetui tiettyjä vaatimuksia, jotka ovat Weelan tuottama vastusvoima, kuntoilijalle vaadittava vastusvoima, moottorin pyörähdysmatka ja kuntoilijan suorittaman liikkeen laajuus. Kuvassa 2 esitetään ratkaisulle laadittu vaatimuslista.

1. painos 1.2.2018			
Vaatimuslista mekaanisen painopakan korvaavalle voimansiirtoratkaisulle			
Muutokset	V T	Vaatimukset	Vas- taava
	V	Kuntoilijalle vaadittava vastusvoimaa vastaava massa > 50 kg, 490,5 N	
	V	Weelan akselilta ulos kelautuvan narun pituus vähintään 20 cm, kun vatsalihaslaitteen akseli pyörähtää 65°	
	V	Toteutus Weelan nykyisellä moottorilla	
	T	Toteutus Weelan nykyisellä vaihteella	
	T	Sellainen ratkaisu, jossa mahdollista testata muutamia eri välityssuhdevaihtoehtoja	

KUVA 2. Vaatimuslista: ratkaisu mekaanisen painopakan korvaamiseksi

Weelan vastusjärjestelmän voimanlähteenä toimii sähkömoottori, jonka jatkeena on planeettavaihte, joka tuottaa akselille 21 Nm:n vääntömomentin. Tilaajan mukaan vatsalihaslaitteen kuntoilijalle tuottaman vastusvoiman tulee vastata vähintään noin 50 kg:n massaa.

Moottorin pyörähdysmatkan tulee olla riittävän pitkä tasaisen liikkeen saavuttamiseksi. Tilaajan tekemien testausten perusteella tasainen liike saavutetaan silloin, kun naru kelautuu moottorin akselilta ulos 10 cm:n verran. Tässä sovelluksessa vaaditun liikematkan tai sitä vastaavan pyörähdysmatkan arvioitiin kuitenkin olevan pidempi. Minimiliikematkaksi valittiin 20 cm. Kuntoilijan suorittaman liikkeen minimilaajuudeksi määritettiin 65° (kuva 3). Vatsalihaslaitteella pystytään suorittamaan maksimissaan 115° :n laajuinen liike.



KUVA 3. Kuntoilijan suorittama liikkeen minimilaajuus

3.1 Vastusvoiman ja välityssuhteen määrittäminen

Vatsalihaslaitteen tulee tuottaa kuntoilijalle vähintään 50 kg:aa vastaava vastusvoima. Massa voidaan muuttaa voimaksi kaavalla 1 (4, s. 91).

$$F = mg$$

KAAVA 1

F = voima (N)

m = massa (kg)

g = putoamiskiihtyvyys (m/s^2)

Vääntömomentti saadaan laskettua kaavalla 2 (4, s. 93).

$$M = Fr$$

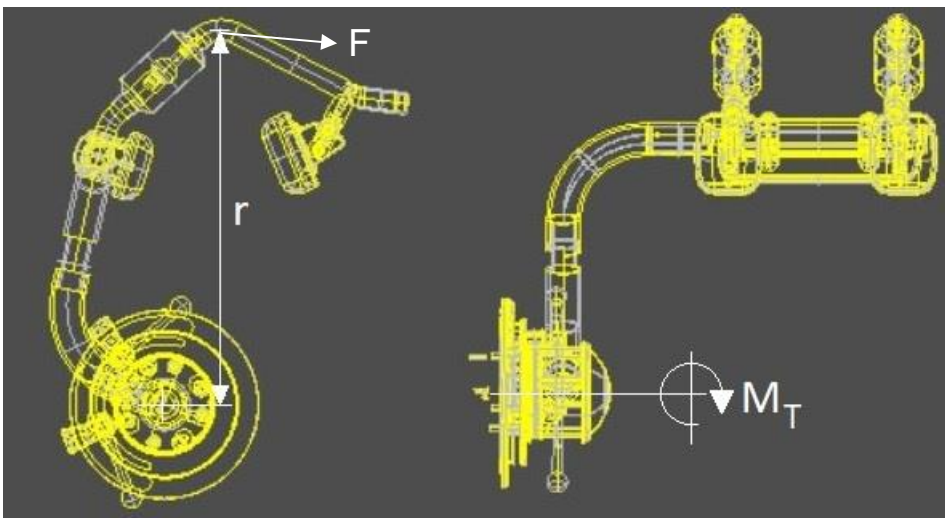
KAAVA 2

M = vääntömomentti (Nm)

F = voima (N)

r = voiman vaikutussuoran etäisyys akselista (m)

Weelan sähkömoottori pyrkii siirtämään tuottamansa momentin vatsalihaslaitteen akselille ja kiertämään sitä. Kuntoilija pyrkii lihasvoimallaan vastustamaan tätä kiertymisliikettä. Kuvassa 4 havainnollistetaan momenttivarren pituutta, jonka kautta kuntoilijan lihasten tuottama voima siirtyy vatsalihaslaitteen akselille.



KUVA 4. Voiman vaikutussuoran etäisyys akselista

Ensiövääntömomentti, toisiovääntömomentti, ja välityssuhde ovat sidoksissa toisiinsa kaavan 3 mukaisesti (5, s. 183).

$$M_2 = iM_1$$

KAAVA 3

M_1 = ensiövääntömomentti (Nm)

M_2 = toisiovääntömomentti (Nm)

i = välityssuhde

Voiman vaikutussuoran etäisyys akselista on 0,5 m. Voimaa vastaava massa on 50 kg. Vatsalihaslaitteen akselille välittyvä momentti saadaan laskettua soveltamalla kaavoja 1 ja 2.

$$M_2 = Fr = mgr = 50 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,5 \text{ m} = 245,25 \text{ Nm}$$

Kaavaa 3 soveltamalla saadaan laskettua momentin siirtoon tarvittava teoreettinen välityssuhde.

$$i = \frac{M_2}{M_1} = \frac{245,25 \text{ Nm}}{21 \text{ Nm}} = 11,679$$

Laskuissa ei ole otettu huomioon voimavälityksen hyötysuhdetta, joka tulee huomioida voimansiirtoratkaisua valittaessa.

3.2 Moottorin pyörähdysmatkan määrittäminen

Käyttömukavuuden ja tuntuman kannalta kuntoilulaitteen on tärkeää saavuttaa pehmeä ja tasainen liike. Välitystä muokkaamalla saadaan vatsalihaslaitteen akselin lyhyt pyörähdysmatka muutettua pidemmäksi, jonka jälkeen se välitetään vastusvoiman tuottavalle moottorille.

Kaavasta 4 (6, s. 358) selviää, kuinka ensiö- ja toisioakselien kierrosten määrät ovat verrannollisia välityssuhteeseen.

$$i = \frac{n_2}{n_1}$$

KAAVA 4

n_1 = ensiöakselin kierrosten lukumäärä

n_2 = toisioakselin kierrosten lukumäärä

Tiedetään, että käytön aikana vatsalihaslaitteen akselin pienin vaadittava pyörähdyskulma on 65° . Tiedetään myös, että täysi kierros on 360° . Kaavalla 5 voidaan laskea, montako kierrosta akseli, eli ensiöakseli pyörähtää.

$$n_1 = \frac{65^\circ}{360^\circ} = 0,181$$

KAAVA 5

Kun tiedetään välityssuhde, saadaan kaavaa 4 soveltamalla laskettua, montako kierrosta moottorin akseli, eli toisioakseli pyörähtää. Välityssuhteena käytetään arvoa 11,679.

$$n_2 = n_1 * i = 0,181 * 11,679 = 2,109$$

Luku voidaan kertoa 360 asteella, jolloin saadaan selville, montako astetta on moottorin akselin pyörähdyskulma.

$$\alpha = 2,109 * 360^\circ = 759,135^\circ$$

Ympyränsektorin kaaren pituus saadaan kaavasta 6 (4, s. 19).

$$b = \frac{\alpha}{180^\circ} \pi r$$

KAAVA 6

b = ympyrän sektorin kaaren pituus (mm)

α = pyörähdyskulma ($^\circ$)

r = ympyrän säde (mm)

Moottorin akselilta ulos kelautuvan narun vaadituksi liikematkaksi tai sitä vastaavaksi pyörähdysmatkaksi valittiin 20 cm. Pienin akseli, jota moottorissa käytetään, on halkaisijaltaan 30 mm. Kaavalla 6 voidaan laskea akselilta ulos kelautuvan narun pituus.

$$b = \frac{\alpha}{180^\circ} \pi r = \frac{759,135^\circ}{180^\circ} * \pi * \frac{30 \text{ mm}}{2} = 198,741 \text{ mm}$$

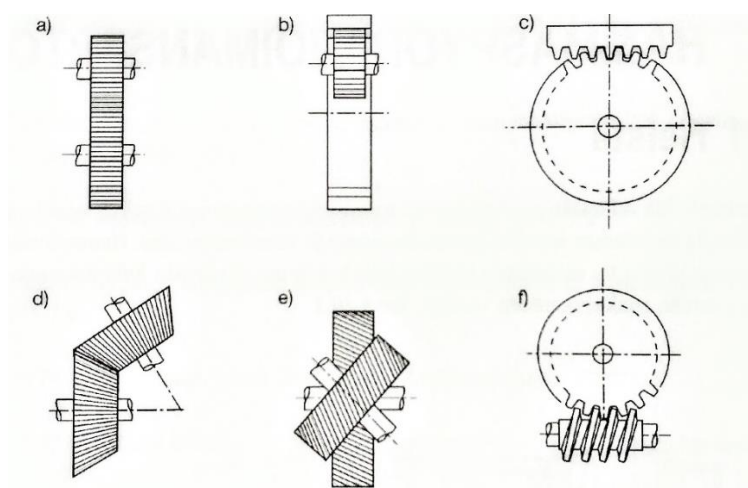
Laskelmien perusteella voidaan todeta, että välityssuhde 12:1 riittää vaaditun 20 cm:n pyörähdysmatkan saavuttamiseen. Näiden laskelmien tuloksia voidaan pitää vertailupohjana, kun valitaan voimansiirron toteutusratkaisua.

4 VOIMANSIIRTORATKAISUT

Voimansiirron ratkaisua valittaessa tilaajan toivomuksena oli, että ratkaisu mahdollistaa muutamien eri vaihtoehtojen testaamisen. Laskelmista huolimatta ratkaisun toimivuutta tulee päästä testaamaan käytännössä, jotta voidaan todeta liikkeen olevan tasainen ja laitteen tuntuman hyvä. Ratkaisun tulee olla toteutettavissa kohtuullisen edullisesti. Seuraavaksi esitetään voimansiirtoratkaisut, joita opinnäytetyössä mietittiin.

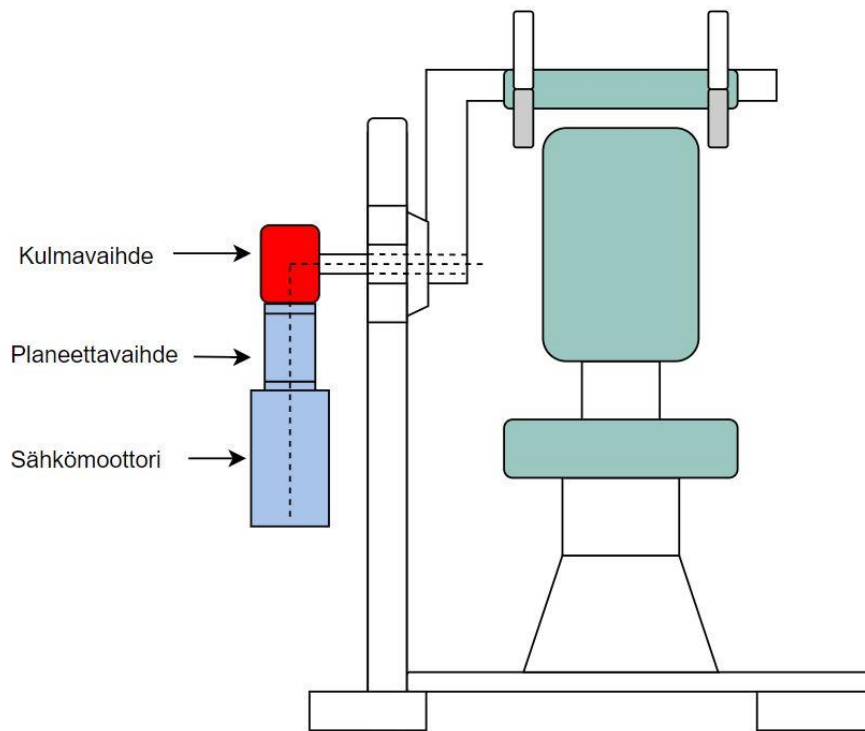
4.1 Hammaspyörävoimansiirto

Ensimmäinen vaihtoehto on toteuttaa voimansiirto hammasvaihteella. Hammaspyörävoimansiirrosta välitetään voimansiirtolaitteistossa pyörimisliikettä akselilta toiselle. Samalla muutetaan tarvittaessa akseleiden vääntömomenttia ja pyörimisnopeutta. Hammasvaihteella tarkoitetaan joko yhden tai useamman hammaspyöräparin muodostamaa kokonaisuutta. Tämä kokonaisuus toimii kiinteään runkorakenteen varassa. (8, s. 247.) Hammaspyörät voidaan jakaa ryhmiin toimintatavan mukaan. Kuvassa 5 esitetään pyöräparien jaottelu hammaspyöräakseleiden keskeisen aseman mukaisesti.



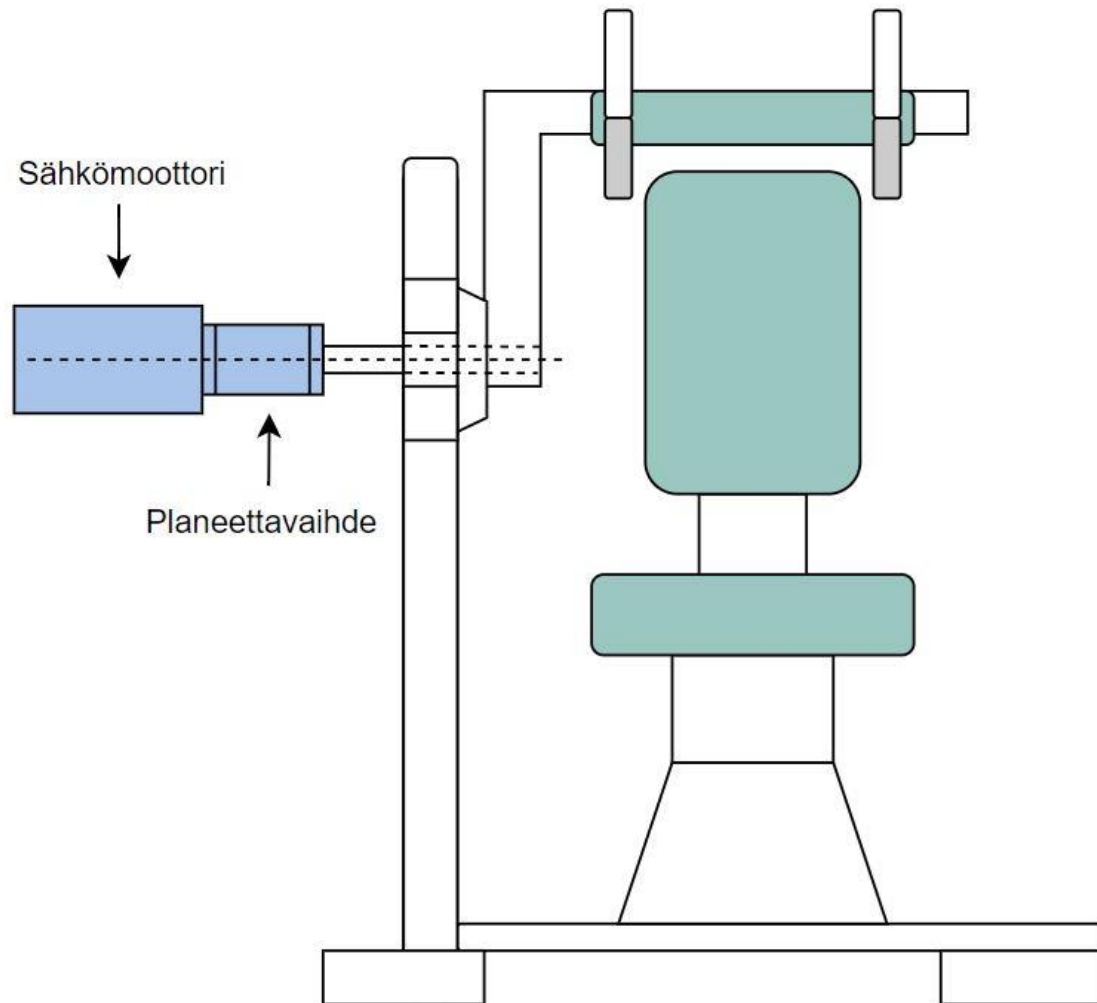
KUVA 5. Pyöräparien jaottelu hammaspyöräakseleiden keskeisen aseman mukaisesti: a) ulkopuolinen lieriöpyöräpari, b) sisäpuolinen lieriöpyöräpari, c) hammaspyörä-hammastanko, d) kartiopyöräpari, e) ruuvipyöräpari, f) kierukkapyöräpari (6, s. 248).

Tilaaajan työntekijät olivat alustavasti miettineet yhdeksi ratkaisuksi kulmavaihdetta. Kulmavaihteen etuna olisi pieni tilan tarve, sillä asennus voitaisiin toteuttaa kuvan 6 mukaisesti. Välityssuhdetta saataisiin muutettua riittävästi, jos nykyisen planeettavaihteen perään lisättäisiin kulmavaihte. Toteutuksessa säästettäisiin tilaa leveyssuunnassa. Pystysuunnassa tilaa on riittävästi.



KUVA 6. Voimansiirron toteutus planeetta- ja kulmavaihteella

Toinen vaihtoehto on kasvattaa suoraan alkuperäisen planeettavaihteen välityssuhdetta. Kuvasta 7 ilmenee, kuinka tässä sovelluksessa tilantarve kasvaisi huomattavasti leveyssuunnassa. Rakenne olisi kuitenkin yksinkertaisempi ja komponenttien lukumäärä pienempi. Toisaalta kiinnitys- ja tuentaratkaisut kompensoivat tilannetta epäedullisempaan suuntaan.



KUVA 7. Voimansiirron toteutus yhdellä planeettavaihteella

4.1.1 Toteutus kulmavaihteella

Kulmavaihteita etsittiin eri valmistajien sivustoilta ja katalogeista. Yhdeksi potentiaalisiksi vaihtoehdoksi valikoitui saksalainen Dunkermotoren, joka on saksalainen mekatroniikan komponenttien valmistaja. Se on erikoistunut AC-, DC- ja servomoottoreihin sekä vaihteistoihin. (7.) Valmistajan mallistosta valittiin kulmavaihte SG80 (liite 2). Vaihteen välityssuhteeksi esivalittiin 24,5:1. Seuraavaksi lasketaan, saadaanko vaihteella kasvatettua vääntömomenttia riittävästi.

Hammaspyöräpareissa tehonsiirron kokonaisvaikutukseen vaikuttavat liukumisessa syntyvät häviöt. Tehoa ja vääntömomenttia katoaa jokaisessa hammaskosketuksessa. Nämä häviöt huomioidaan hyötysuhteen avulla. (8, s. 250.) Hyötysuhde vaikuttaa momentin siirtymiseen kaavan 7 (8, s. 250) mukaisesti.

$$M_2 = M_1 i \eta$$

KAAVA 7

M_1 = ensiöväntömomentti (Nm)

M_2 = toisioväntömomentti (Nm)

i = välityssuhde

η = hyötysuhde

Katalogista (liite 2) huomataan, että välityssuhteella 24,5:1 vaihteen hyötysuhde on 65 %. Kaavalla 3 saadaan laskettua ulostuleva väntömomentti.

$$M_2 = M_1 i \eta = 21 \text{ Nm} * 24,5 * 0,65 = 334,425 \text{ Nm}$$

Kuntoilijalle välittyvä vastusvoima saadaan laskettua soveltamalla kaavaa 2.

$$F = \frac{M_2}{r} = \frac{334,425 \text{ Nm}}{0,5 \text{ m}} = 668,85 \text{ N}$$

Voima saadaan muutettua kilogrammoiksi kaavaa 1 soveltamalla.

$$m = \frac{F}{g} = \frac{668,85 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 68,18 \text{ kg}$$

Laskelmien perusteella voidaan todeta, että välityssuhteella 24:1 olevalla SG80 kulmavaihteella päästään vaadittuun 50 kg:aa vastaavaan voimaan.

4.1.2 Toteutus planeettavaihteella

Toinen vaihtoehto on korvata alkuperäinen planeettavaihte kokonaan suurempi välityssuhteisella planeettavaihteella. Dunkermotorenin katalogissa on eri vaihtoehtoja planeettavaihteelle. Uudeksi planeettavaihteeksi pyrittiin valitsemaan nykyisenkaltainen vaihde, mutta suuremmalla välityssuhteella. Uudeksi vaihteeksi valittiin PLG75 vaihde välityssuhteella 50:1 (liite 3).

Ilman nykyistä vaihdetta Weela tuottaa 6,1 Nm:n väntömomentin. PLG75 50:1 vaihteen hyötysuhde on 81 %. Ulos tuleva väntömomentti saadaan laskettua kaavalla 7.

$$M_2 = M_1 i \eta = 6,1 \text{ Nm} * 50 * 0,81 = 247,05 \text{ Nm}$$

Voimaksi muutettuna tämä on

$$F = \frac{M_2}{r} = \frac{247,05 \text{ Nm}}{0,5\text{m}} = 494,1 \text{ N}.$$

Muutetaan voima jälleen kilogrammoiksi:

$$m = \frac{F}{g} = \frac{494,1 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 50,37 \text{ kg}.$$

Todetaan, että tällä vaihteella päästään teoriassa vaadittuun vastusvoimaan. Ratkaisua pitäisi kuitenkin pystyä testaamaan käytännössä, jotta todellinen tunnus tulisi ilmi.

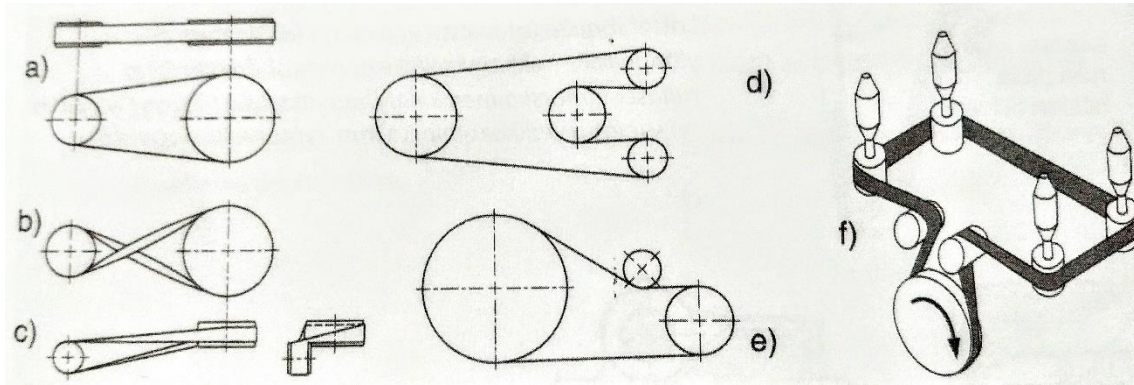
Valmistaja tarjoaa vaihteita erittäin laajalla välityssuhteiden skaalalla. Vaihdetta valittaessa olisi hyvä konsultoida myös valmistajan asiantuntijoita, jotka voisivat auttaa valitsemaan juuri tähän sovellutukseen sopivimman vaihteen.

4.2 Hammashihnavoimansiirto

Yhtenä voimansiirron toteutusratkaisuna pidettiin hammashihnavälitystä. Yleisesti hihnavälityksinä voidaan pitää latta-, kiila- ja hammashihnavälityksiä. Latta- ja kiilahihnavälityksissä esiintyy aina liukumaa tai jättämää. Hammashihna soveltuu sovellutuksiin, joissa ensiö- ja toisioakselien tulee olla tarkasti synkronoitu. (6, s. 365.) Hammashihnojen ominaisuuksia ovat

- luistamattomuus
- pieni esikiristys eli pieni laakerivoima
- käyntiäänäni muita hihnoja voimakkaampi
- rikkoutuu ylikuormituksessa
- muita hihnatyyppejä kalliimpi (6, s. 366).

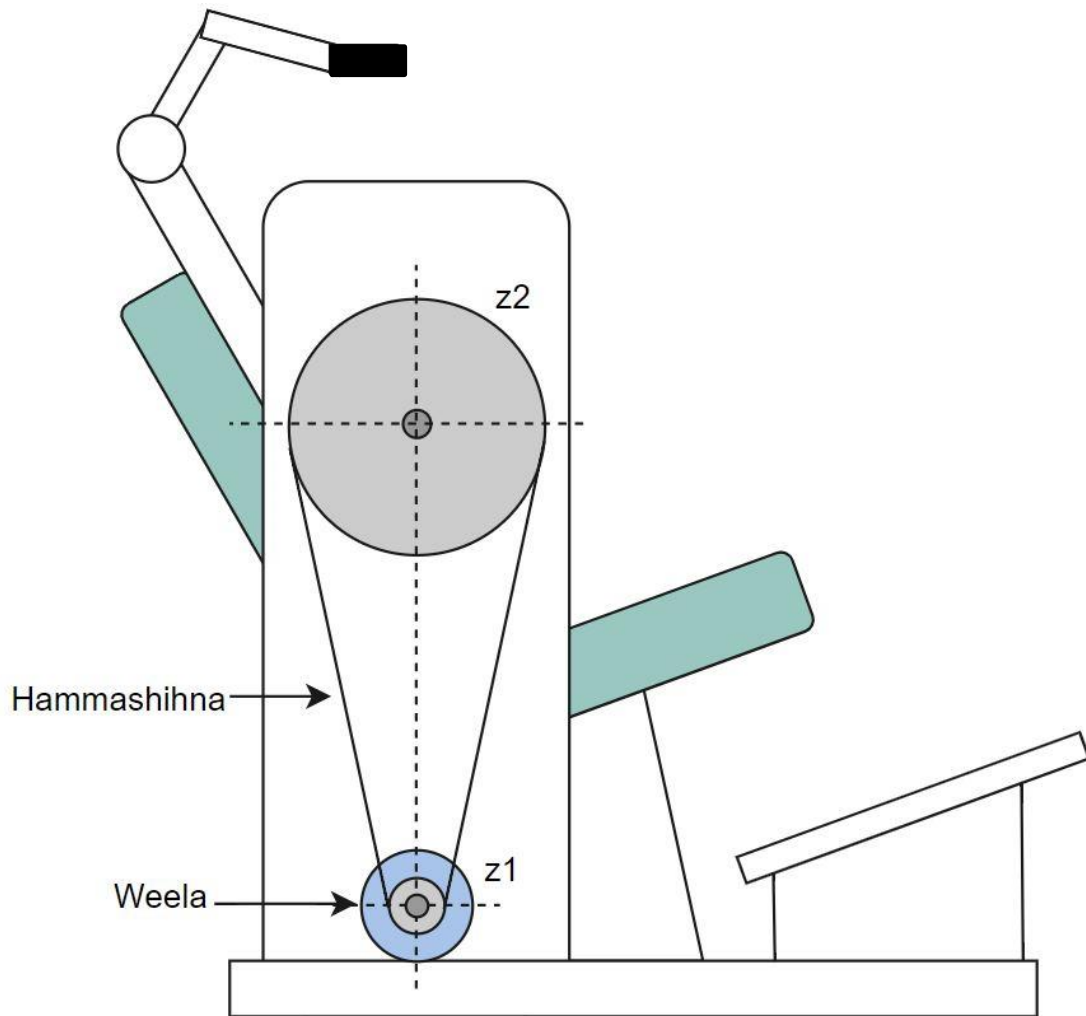
Hihnavälitysten käyttökohteita ovat esimerkiksi työstökoneet, maatalouskoneet, tekstiiliteollisuuden koneet, puhaltimet, murskaimet, seulat, sekoittimet, myllyt, paperikoneet, puristimet, kompressorit jne. Hihnoja käytetään myös monenlaisissa kuljetinratkaisuissa. Hihnavoimansiirto soveltuu avovälitykseen. Se soveltuu niin risti- kuin puoliristikäyttöönkin, toisin kuin ketju. (6, s. 366.)



KUVA 8. Erilaisia hihnavälitysten toteuttamistapoja: a) avo-, b) risti-, c) puoliristi-, d) moniakseli- ja e) avovälitys, jossa kiristinrulla, f) kutomon väärtinäkäytön periaate (6, s. 366)

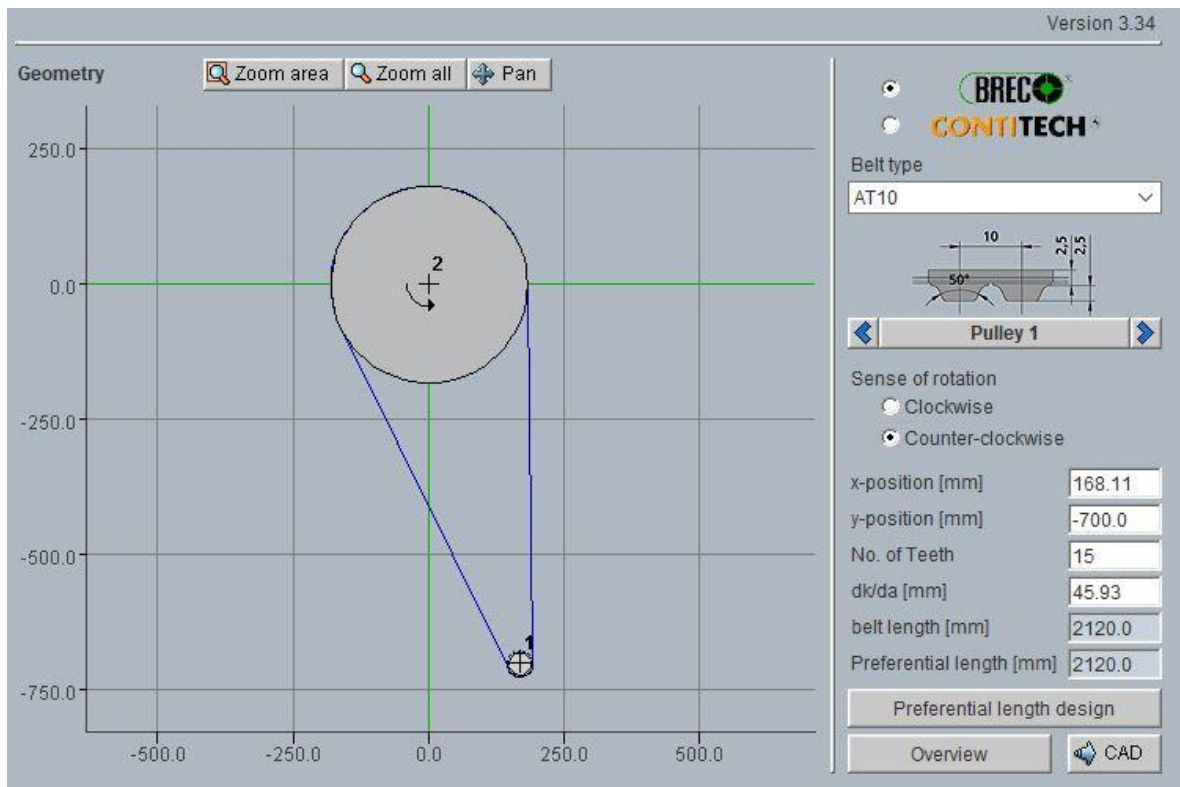
Hammashihnalla toteutetulla voimansiirtoratkaisulla tilan tarve on leveyssuunnassa erittäin pieni. Lisäksi kiinnitys- ja tuentaratkaisut pystyttäisiin pitämään suhteellisen yksinkertaisena. Hammashihnoja ja -pyöriä on saatavilla monipuolisesti verkkokaupoista ja varaosamyymälöistä.

Kuvassa 9 havainnollistetaan hammashihnakäytön toimintaperiaatetta. Weela on kiinnitetty vatsalihaslaitteen rungon alaosaan. Ensiöhammaspyörä sijaitsee sähkömoottorin akselilla, ja toisiohammaspyörä on sijoitettu vatsalihaslaitteen akselille.



KUVA 9. Voimansiirron toteutus hammashihnakäytöllä

Hammashihnakäytön komponenttien toimittajaksi valikoitui yhtiö nimeltään *Mulco Europe EWIV*. Toimittajan verkkosivuilta saatavilla olevaa simulointiohjelmaa käytettiin apuna komponenttien valinnassa. (9.) Kuvasta 10 selviää esivalittu hihnatyyppi. Lisäksi kuvassa näkyy ensiohammaspyörän hammasluku. Toisiohammaspyörän hammasluvuksi esivalittiin 114. Ohjelma määrittä ensiohammaspyörän minimihammasluvuksi 15. Ohjelmalle syötettiin minimiakseliväliksi 700 mm. Tämän perusteella ohjelma laski hammashihnan optimipituuden, jolloin hammaspyörien linjaus x-suunnassa muuttui 168,11 mm.



KUVA 10. Hihnan pituuden ja akselivälin määrittäminen apuohjelmalla

Apuohjelmalla määritetyn hihnakäytön momentinsiirtokyky selviää kuvasta 11. Kuvassa näkyvät ensiö- ja toisiohinaryörän vääntömomentit ovat korostettu vihreällä. Pulley 1 -sarake kuvastaa Weelan akselilla olevaa hihnapyörää. Pulley 2 -sarakeella näkyy vatsalihaslaitteen akselille siirtyvä vääntömomentti, joka on 159,6 Nm. Hihnan leveydeksi valittiin 25 mm, jolla saatiin varmuuskertoimeksi 1,2. Apuohjelman avulla valitut komponentit ovat saatavissa suoraan toimittajan katalogeista.

Version 3.34

Power		Select pulleys	Pulley 1	Pulley 2	
Tension member		Drive r.p.m. [1/min]	<input type="checkbox"/> 456.0	<input checked="" type="checkbox"/> 60.0	---
AT10		Power [kW]	<input type="checkbox"/> 1.0	<input type="checkbox"/> -1.0	---
AT10 E		Torque [Nm]	<input checked="" type="checkbox"/> 21.0	<input checked="" type="checkbox"/> -159.6	---
Belt width [mm] 25		Circumferential force [N]	<input type="checkbox"/> 876.34	<input type="checkbox"/> -879.21	---
Belt width sel. [mm] 25.0		span force max.[N]	1023.83	1023.83	---
belt length [mm] 2120.0		No. of Teeth	15.0	114.0	---
Pre-tension force		No. of teeth in mesh	6.0	65.0	---
per span [N] 584.23		Pheripheral velocity [m/s]	1.14	1.14	---
min. pulley diameter [50.0]		Frequency set [Hz]	45.98	45.98	---
Fzul [N] 3500.0		static shaft load	1140.13	1140.13	---
Safety min 1.2		max. transferable Power [kW]	1.2	2.89	---
Calculation					
Values					

KUVA 11. Hihnakäytön momentinsiirtokyky

Tarkistetaan, riittääkö tällä välityssuhteella saavutettava momentti tarvittavan vastusvoiman luomiseen. Vastusvoima saadaan määritettyä kaavaa 2 soveltamalla.

$$F = \frac{M_2}{r} = \frac{159,6 \text{ Nm}}{0,5\text{m}} = 319,2 \text{ N}$$

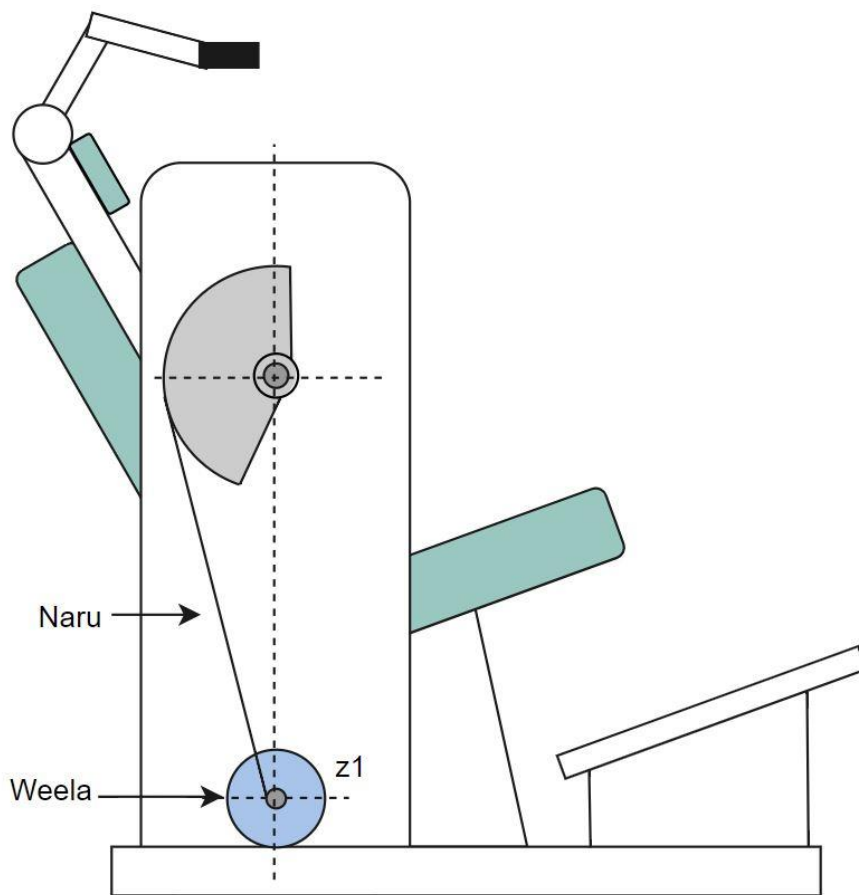
Muutetaan jälleen voima kilogrammoiksi:

$$m = \frac{F}{g} = \frac{319,2 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 32,538 \text{ kg}.$$

Laskelmissa ei ole otettu huomioon hyötysuhdetta. Kuten laskelmista voidaan todeta, saavutettava vääntömomentti ei riitä 50 kg:aa vastaavan voiman tuottamiseksi. Tämä voidaan korjata esimerkiksi kasvattamalla alkuperäisen planeettavaihteen välityssuhdetta, jolloin käytön kokonaisvälityssuhde olisi riittävä tarvittavan momentin tuottamiseen.

4.3 Ympyränsektorin muotoinen epäkesko

Eräänä voimansiirron toteutusratkaisuna pidettiin sovellusta, jossa ympyränsektorin muotoinen epäkesko toimii momentin välittäjänä vatsalihaslaitteen akselille (kuva 12). Tätä sovellutusta voidaan havainnollistaa vertaamalla sitä hihnapyörävoimansiirtoon, jossa ensiöhihnapyöränä toimii Weelan akseli. Akselilta lähtevä naru toimii voiman välittäjänä. Toisiohihnapyörä on ympyrän sektorin muotoinen levymainen epäkesko, jonka kehällä naru kulkee. Narun pää on kiinnitetty sektorin kaaren loppupäähän.



KUVA 12. Voimansiirron toteuttaminen epäkeskolla

Ratkaisun mahdollistaa se, että vatsalihaslaitteella tehtävän liikkeen maksimi laajuus eli pyörähdyskulma on 115° ja liike on edestakainen. Plus-liikkeen aikana naru kelautuu ulos Weelan akselilta. Paluuliikkeen aikana naru kelautuu takaisin akselille. Tätä liikettä voidaan suorittaa kerta toisensa jälkeen.

Ratkaisun suurena etuna on se, että Weelan rakenne pysyy alkuperäisenä ja se on irrotettavissa vatsalihaslaitteesta, jolloin sitä voidaan tarvittaessa käyttää myös muualla. Tilan tarve on leveyssuunnassa lähes yhtä pieni kuin hammashihnatoteutuksessa. Kiinnitys- ja tuentaratkaisut eivät tuo suuria muutoksia vatsalihaslaitteen alkuperäiseen rakenteeseen. Lisäksi etuna on komponenttien vähäinen määrä ja niiden edullinen ja yksinkertainen valmistettavuus.

Seuraavaksi lasketaan tällä toteutusratkaisulla saavutettava vastusvoima. Kaavaa 2 soveltamalla saadaan laskettua voima, jonka Weelan akselilla oleva naru kohdistaa ympyrän sektorin kaarelle. Weelan akselin halkaisija on 30 mm.

$$F_{naru} = \frac{M_{weela}}{r_{weela}} = \frac{21 \text{ Nm}}{0,015 \text{ m}} = 1400 \text{ N}$$

Tarvittava 50 kg:aa vastaava kuntoilijaan kohdistuva vastusvoima voidaan laskea kaavaa 1 soveltamalla.

$$F_{max} = mg = 50 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 490,5 \text{ N}$$

Kun tiedetään vaadittava vastusvoima ja vatsalihaslaitteen akselilta lähtevä vipuvarren pituus, voidaan laskea vatsalihaslaitteen akselille tarvittava vääntömomentti kaavalla 2.

$$M_{vatsalihaslaite} = F_{max} * r_{vipuvarsi} = 490,5 \text{ N} * 0,5 \text{ m} = 245,25 \text{ Nm}$$

Ympyrän sektorin säde, eli momenttivarren pituus, saadaan laskettua kaava 2 soveltamalla.

$$r_{sektorinsäde} = \frac{M_{vatsalihaslaite}}{F_{naru}} = \frac{245,25 \text{ Nm}}{1400 \text{ N}} = 0,175 \text{ m} = 17,5 \text{ cm}$$

Laskelmien perusteella 50 kg vastaavan voiman tuottamiseksi tarvitaan vähintään 17,5 cm säteellä oleva ympyrän sektori ja Weelan akselin halkaisija tulee olla 30 mm.

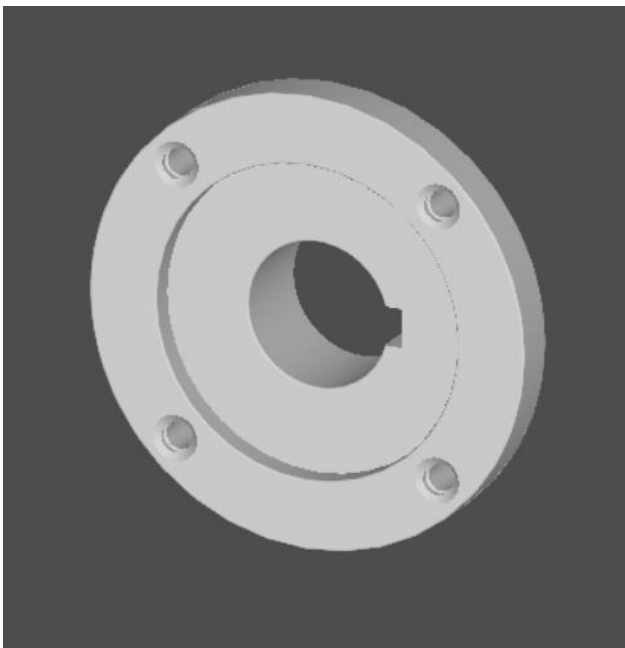
5 KONSEPTIN TODENNUS PROTOTYYPIN AVULLA

Prototyyppi päätettiin toteuttaa käyttämällä ratkaisuna ympyrän sektorin muotoista epäkeskoa. Tähän ratkaisuun päädyttiin sen yksinkertaisuuden ja edullisen valmistettavuuden vuoksi. Tarvittavat osat pystytään valmistamaan Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan laboratorion tiloissa. Kiinnityselimet kuten ruuvit ja mutterit ovat saatavilla varaosaliikkeistä edullisesti.

5.1 Osien suunnittelu

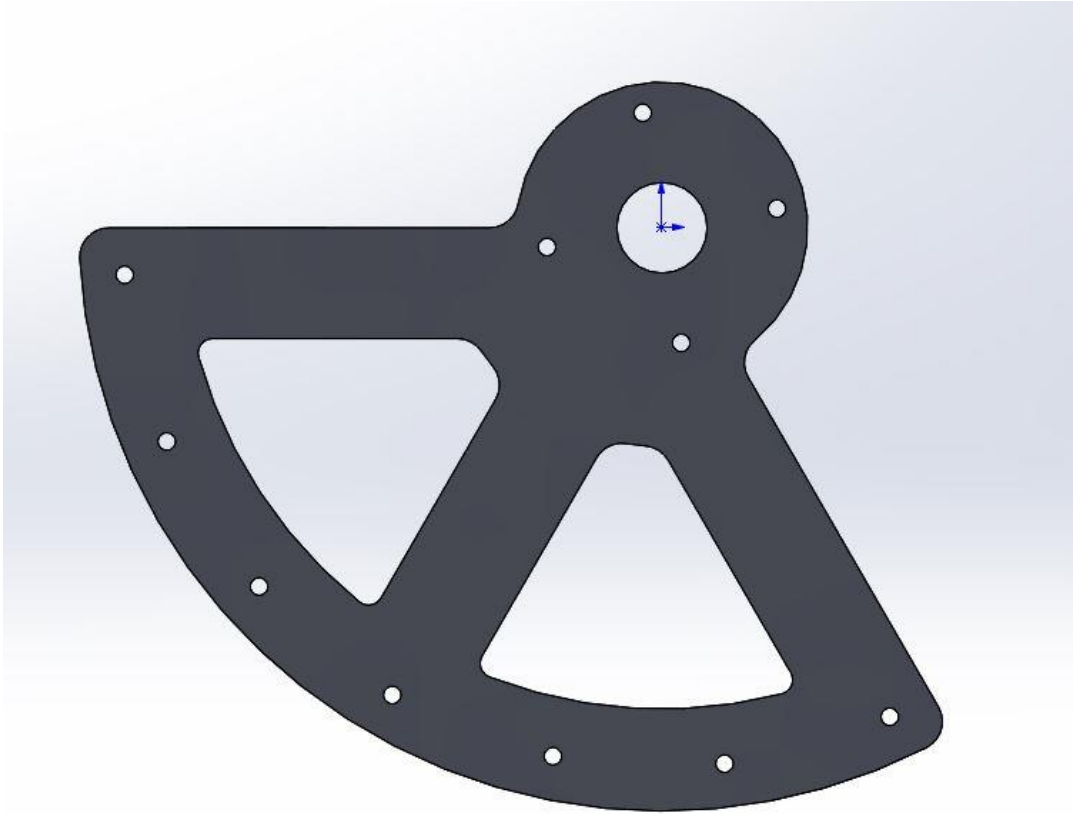
Prototyypin suunnittelu alkoi tarvittavan momentin määräyksestä, joka saatiin selvitettyä laskelmilla. Laskelmien perusteella saatiin määritettyä ympyrän sektorin säteen mitta, joka toimii momenttia kasvattavana vartena. Laskettiin, että 50 kg:aa vastaavan voiman saavuttamiseksi tarvitaan 17,5 cm:n säde. Ensimmäistä osaa suunnitellessa säteen mitaksi valittiin 20 cm, jotta vastusvoima ei asetu ai-
van vaatimusten alarajalle.

Epäkeskon kiinnityksessä vatsalihaslaitteen akselille hyödynnettiin laitteen alkuperäistä rakennetta. Epäkesko kiinnitetään ruuveilla vatsalihaslaitteen akselilla olevaan laippaan, joka siirtää momentin akselille (kuva 13).



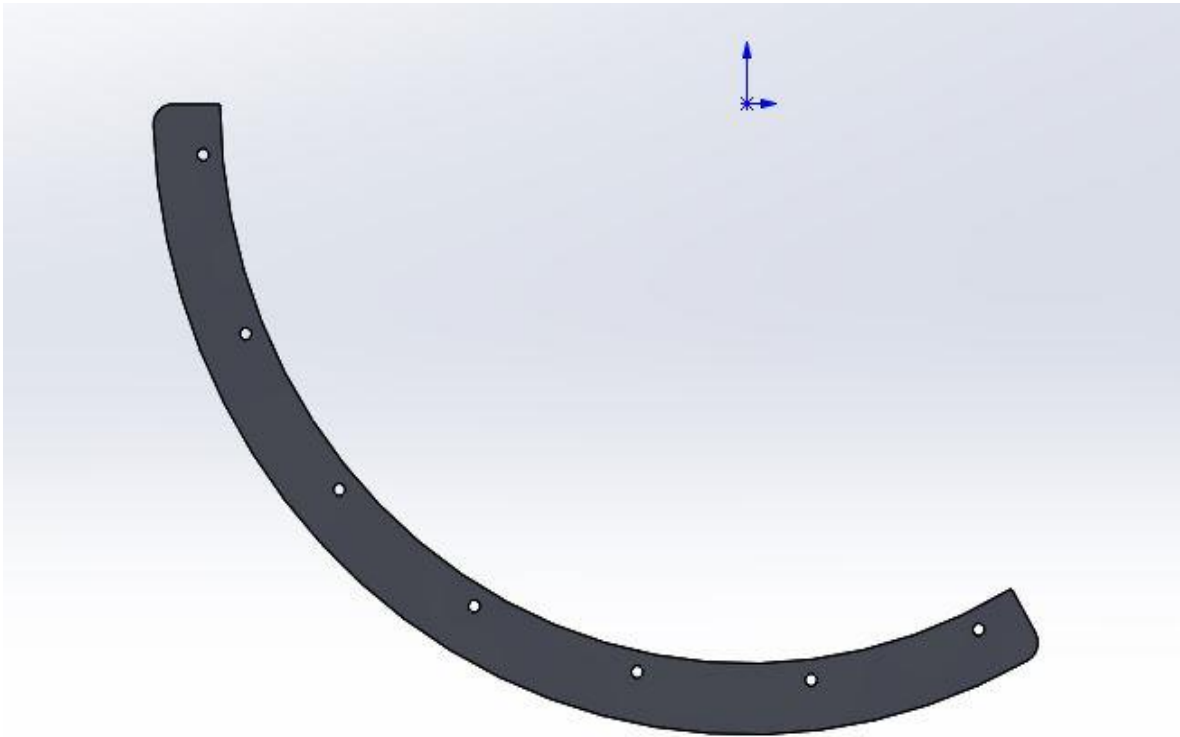
KUVA 13. Vääntömomentin välittävä laippa

Mittausten perusteella selvisi, että laipan kiinnitysruuvien reikien jako on 4 x 80 mm sekä halkaisija 6 mm. Näiden mittojen perusteella osasta luotiin 3D-malli SolidWorks 3D -ohjelmalla (kuva 14).



KUVA 14. 200 mm:n säteellä oleva epäkesko

Sektorin astekulmaksi valittiin 120°. Tämä kattaa vatsalihaslaitteella suoritettavan 115°:n liikelaajuuden. Weelan naru kulkee epäkeskon kaaren myötäisesti. Naru on kiinnitetty epäkeskon kaaren toiseen päähän pultauksella. Koska narun on tärkeää pysyä tukevasti paikallaan liikettä suoritettaessa, suunniteltiin kaaren ulkoreunoille ruuveilla kiinnitettävät tukilevyt, jotka estävät narua hyppäämästä pois kaaren kehältä liikkeen aikana (kuva 15).



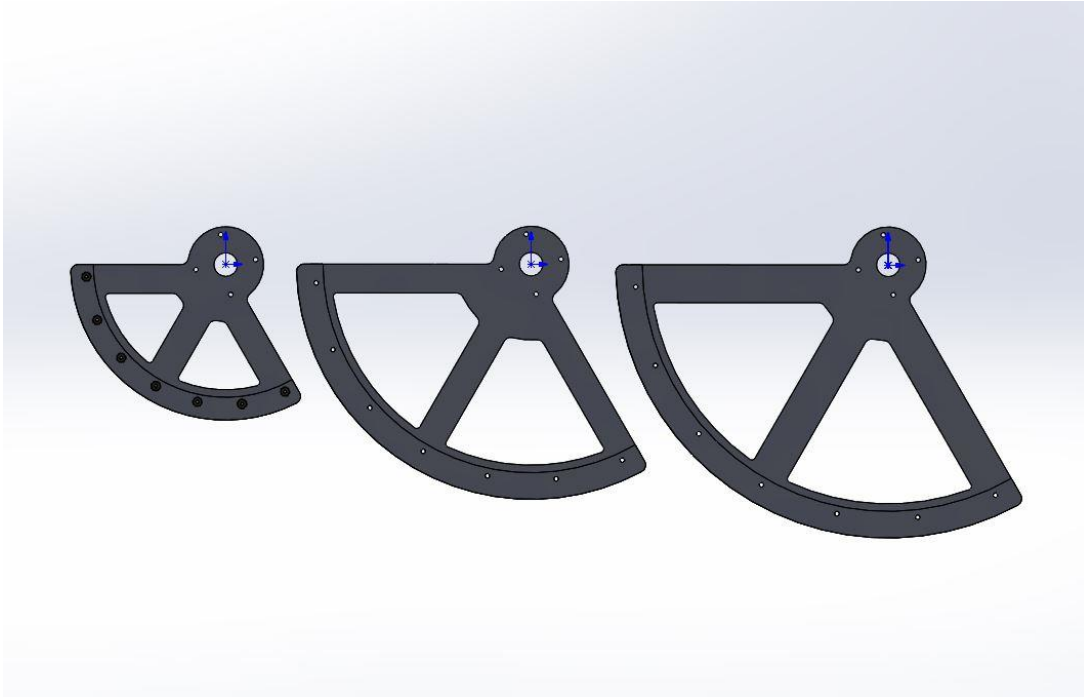
KUVA 15. Kaarilevy, joka varmistaa Weelan narun pysymisen epäkeskon kehällä

Tilaaajan toiveena oli, että käytännössä voitaisiin kokeilla muutamia eri vaihtoehtoja. Laskelmien perusteella voitiin todeta, että mitä suurempi on epäkeskon säde, sitä pidempi matka narua kelautuu ulos Weelan akselilta, ja sitä suurempi vastusvoima saadaan aikaan. Weela on saatavilla myös halkaisijaltaan 60 mm:n akselilla, joka puolittaa moottorin kierrosten määrän suhteessa ensiöakseliin kierrosten määrään sekä saavutettavan vastusvoiman (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Epäkeskon säteen ja Weelan akselin halkaisijan vaikutus saavutettavaan vastukseen, kun vatsalihaslaitteen akseli kiertyy 65°

Epäkeskon säde (mm)	Weelan akselin halkaisija (mm)	Saavutettava vastus (kg)	Moottorin kierrosten määrä ensiöakseli kiertyessä 65° (kierrosta)
200,00	30,00	57,08	2,40
300,00	30,00	85,62	3,61
350,00	30,00	99,89	4,21
200,00	60,00	28,54	1,20
300,00	60,00	42,81	1,80
350,00	60,00	49,94	2,01

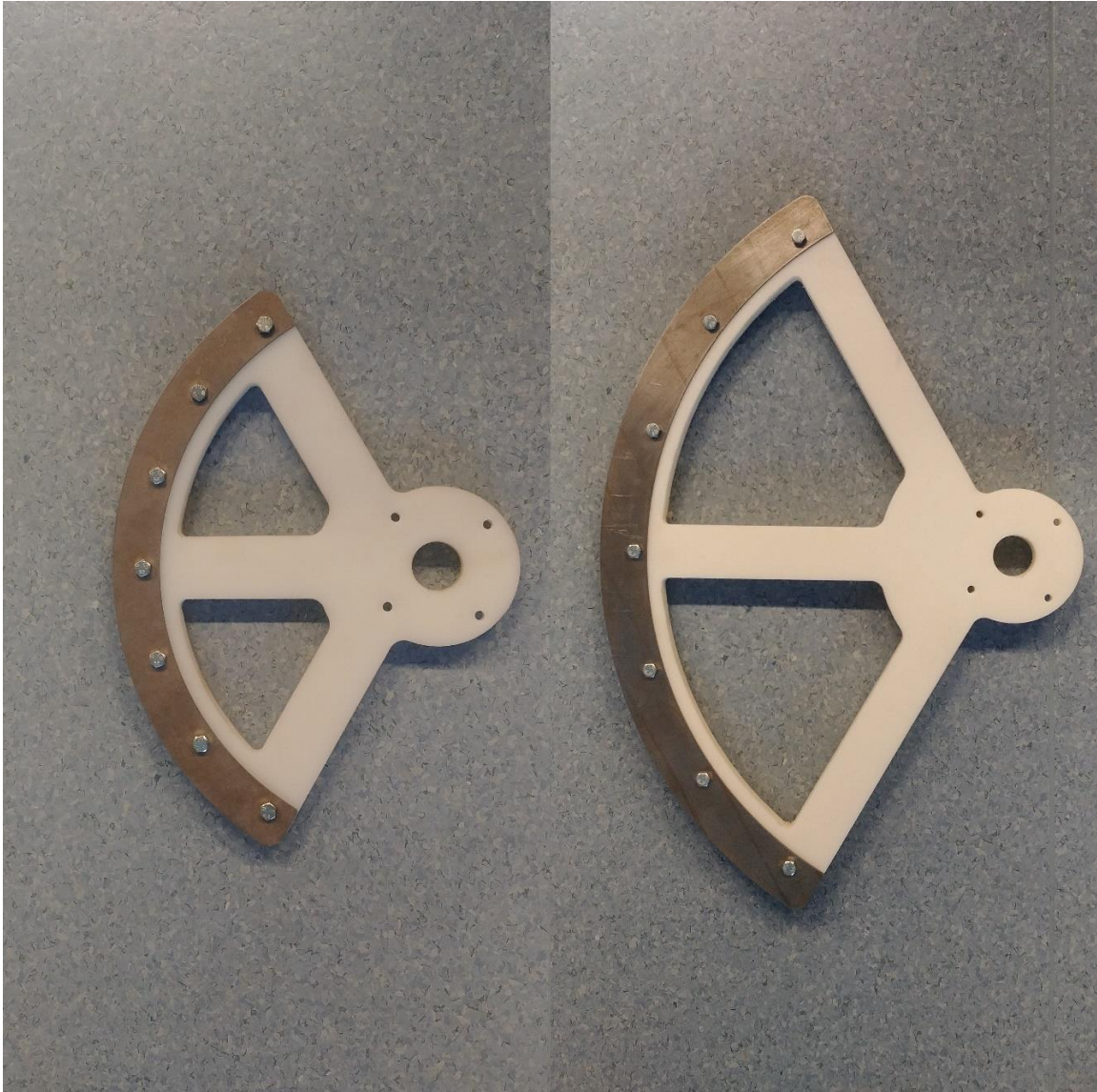
Lopulta epäkeskoja valmistettiin kolmella eri säteen mitalla: 200 mm, 300 mm sekä 350 mm (kuva 16). Epäkeskon rakennetta kevennettiin aukottamalla. Tällä pienennettiin osan massaa, joka olisi kasvanut turhan suureksi aihiolevyn suuren ainevahvuuden vuoksi.



KUVA 16. 200, 300 ja 350 mm:n säteellä olevien epäkeskojen kokoonpanot; kahteen jälkimmäiseen ei mallinnettu kiinnitysruuveja

5.2 Osien valmistus

Osat valmistettiin muovilevystä vesileikkaamalla. Muovien aineominaisuuksiin kuuluvat muun muassa keveys, lujuus suhteessa painoon, hyvä korroosionkesto sekä helppo muotoiltavuus (10, s. 22). Säteeltään 200 mm:n profiili leikattiin 10 mm vahvuisesta levystä. 300 ja 350 mm:n profiilit leikattiin 15 mm:n vahvuisesta levystä. Kaarilevy leikattiin 1 mm:n vahvuisesta peltilevystä. Tukilevyt kiinnitettiin M6 -pulteilla (kuva 17). Epäkeskon profiili sekä kaarilevyt olisi voitu leikata huomattavasti ohuemmasta materiaalista. Suuri ainevahvuus johtui yksinkertaisesti siitä, että tilaajalla oli varastossaan ylimääräisenä kyseistä levymateriaalia.



KUVA 17. 200 ja 300 mm:n säteellä olevat epäkeskot

5.3 Prototyypin testaus

Jotta prototyyppiä päästiin testaamaan käytännössä, tuli vatsalihaslaitteen alkuperäinen rakenne purkaa ja kiinnittää epäkesko paikoilleen vatsalihaslaitteen akselille. Lisäksi Weela tuli kiinnittää paikoilleen niin, ettei se pääse liikkumaan testauksen aikana. Weela kiinnitettiin vatsalihaslaitteen kanssa samalle alustalle kuormansidontaliinoilla.

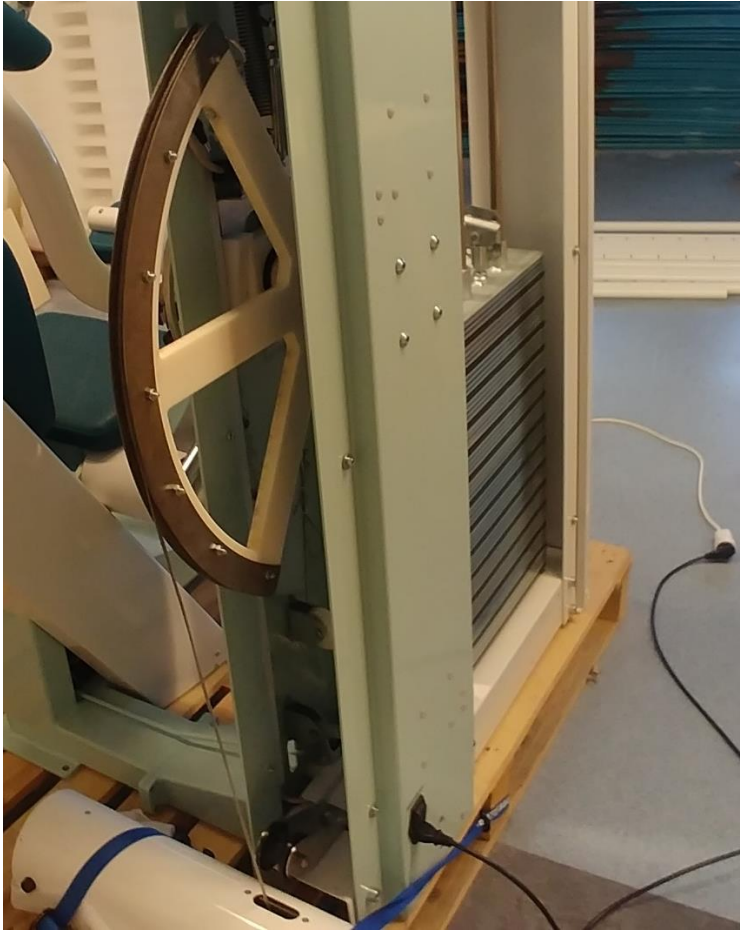
Testaus aloitettiin käyttämällä 200 mm:n säteellä olevaa epäkeskoa. Ensimmäisessä testausversiossa Weelan akselin halkaisija oli 60 mm (kuva 18).



KUVA 18. 200 mm:n säteellä oleva epäkesko kiinnitettynä vatsalihaslaitteen akselille

200 mm:n epäkeskolla varustetulla kokoonpanolla liikkeen tuntuma oli hyvä, mutta vastusvoima oli liian pieni. Tilalle vaihdettiin Weela, jossa moottorin akselin halkaisija oli 30 mm. Tämän jälkeen vastusvoima kasvoi huomattavasti, mutta ei tarpeeksi.

Seuraavaksi testattiin säteeltään suurinta epäkeskoa, eli 350 mm (kuva 19), Weelan moottorin akselin halkaisijan ollessa edelleen 30 mm. Tällä kokoonpanolla saavutettiin kaikkein suurin vastusvoima. Testausten perusteella vastusvoima saatiin säädettyä ohjelman avulla suurimmillaan sellaiseksi, ettei kukaan testaajista jaksanut suorittaa liikettä. Muutoin liike tuntui jouhevalta ja tasaiselta pienimmälläkin liikelaajuudella.



KUVA 19. 350 mm säteellä olevan epäkeskon testausvaihe

Viimeisenä testattiin 350 mm:n epäkeskon kanssa 60 mm:n akselilla varustettua Weelaa. Tällä kokoonpanolla liike tuntui kaikista jouhevimmalta. Weelan halkaisijaltaan isompi akseli puolittaa saavutettavan vastusvoiman. Tällöin liike ei ole liian raskas suorittaa. Weelaa ohjattavalla sovelluksella voidaan määrittää moottorin tuottama vastusvoima kilogrammoina. Tällä kokoonpanolla testattiin vastusta skaalassa 1 - 50 kg, jonka molemmissa ääripäissä liike tuntui tasaiselta.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja valmistettiin prototyyppi, jolla voitiin todentaa sähköisen vastusjärjestelmän soveltuvan vatsalihaslaitteen mekaanisen painopakan korvaajaksi. Työssä laskettiin tarvittavan vastusvoiman saavuttamiseksi tarvittava välityssuhde, jolla sähköisen vastusjärjestelmän tuottama vastusvoima saadaan välitettyä vatsalihaslaitteen akselille. Työssä pohdittiin ja tutkittiin eri voimansiirtoratkaisuja voimavälitysten toteuttamista varten. Tutkittuja voimansiirtoratkaisuja olivat kulmavaihte, planeettavaihte, hammashihnakäyttö ja ympyränsektorin muotoinen epäkesko. Suunnittelutyön pohjalta valmistettiin prototyyppi, jota testattiin tilaajayrityksen tiloissa. Käytännön työt sujuivat ongelmitta, eikä ratkaisun toteutus vaatinut suuria rahallisia investointeja. Tarvittavien osien valmistuksessa pystyttiin hyödyntämään Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan osaston laboratoriotiloja.

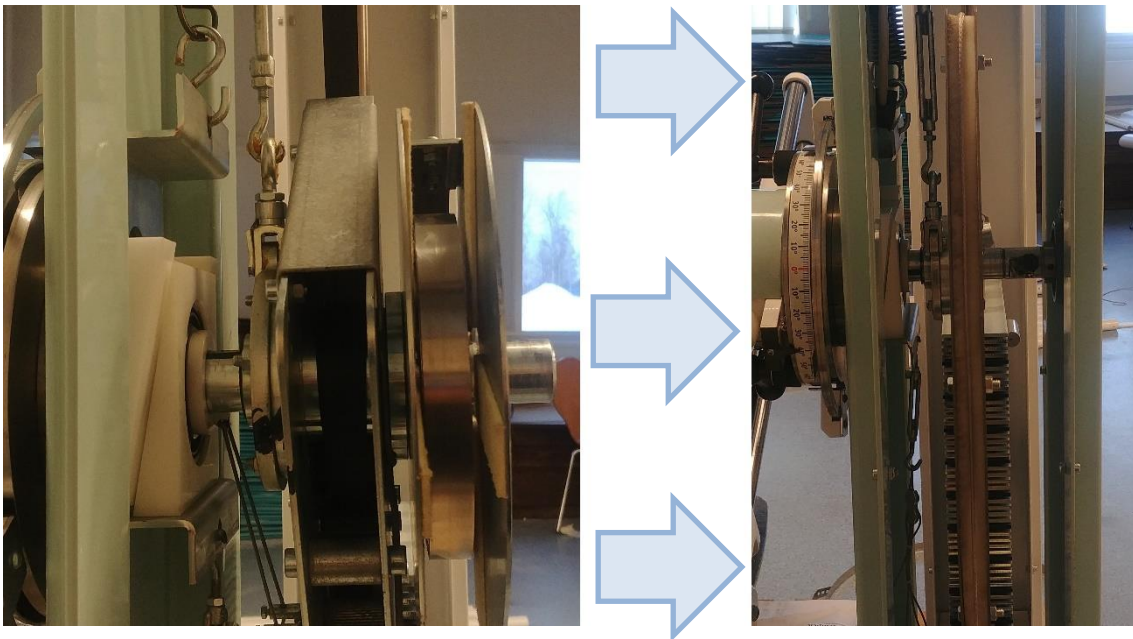
Työn tulokset täyttivät tilaajan odotukset. Tilaajan toiveena oli, että olisi mahdollista testata vaihtoehtoja eri välityssuhteilla. Tähän päästiin rakentamalla prototyyppistä kolme versiota. Prototyyppi täytti sille asetetut vaatimukset eli tarvittavan vastusvoiman ja liikematkan. Laitetta testattaessa todettiin, että prototyyppillä saavutettiin riittävä vastusvoima ja liikelaajuus ilman, että käytönaikainen pehmeä ja jouheva tuntuma kärsii. Voidaan todeta, että vatsalihaslaitteen mekaaninen painopakka on korvattavissa sähköisellä vastusjärjestelmällä.

Työssä jäi vajaaksi ratkaisun yksityiskohtainen suunnittelu. Esimerkiksi tuotteistamista varten tulisi tehdä tarkkaa mitoitus- ja materiaalien valintaa kustannusten optimoimiseksi. Hankittavista osista tulisi tehdä tarjouspyyntöjä mahdollisimman monelta eri toimittajalta. Tuotteen ulkonäköön tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon fyysikaaliseen kuntoutustoimintaan tarkoitetun laitteen turvallisuus- ja laatuvaatimukset.

Mekaanisen painopakan korvaaminen sähköisellä vastusjärjestelmällä tuo mukanaan monia etuja. Sen ansiosta laitteen ulkomitat ja massa pienenevät huomattavasti. Painopakka voi olla massaltaan jopa 100 kg. Weelan massa käyttökuntoisena on vain 15 kilogrammaa. Lisäksi painopakka tarvitsee ympärilleen

kiinnitys- ja tukirakenteita. Näiden rakenteiden poistaminen pienentää laitteen kokonaisuusmassaa entisestään.

Tuloksena on myös osien määrän väheneminen. Painopakallisessa laitteessa painopakan ja kuntoilijan liikuttaman akselin välillä on vapaakytkin. Vapaakytkin mahdollistaa akselin kiertymisen vapaasti ilman vastusta, jolloin voidaan säätää haluttu liikkeen aloitusasento. Vapaakytkimen toiminta voidaan kokonaan korvata ohjelmiston avulla, jolla voidaan määrittää niin sanottu nollakohta eli liikkeen aloitusasema, jossa vastus aktivoituu. Tämän ansiosta osien lukumäärä pienenee huomattavasti (kuva 20).



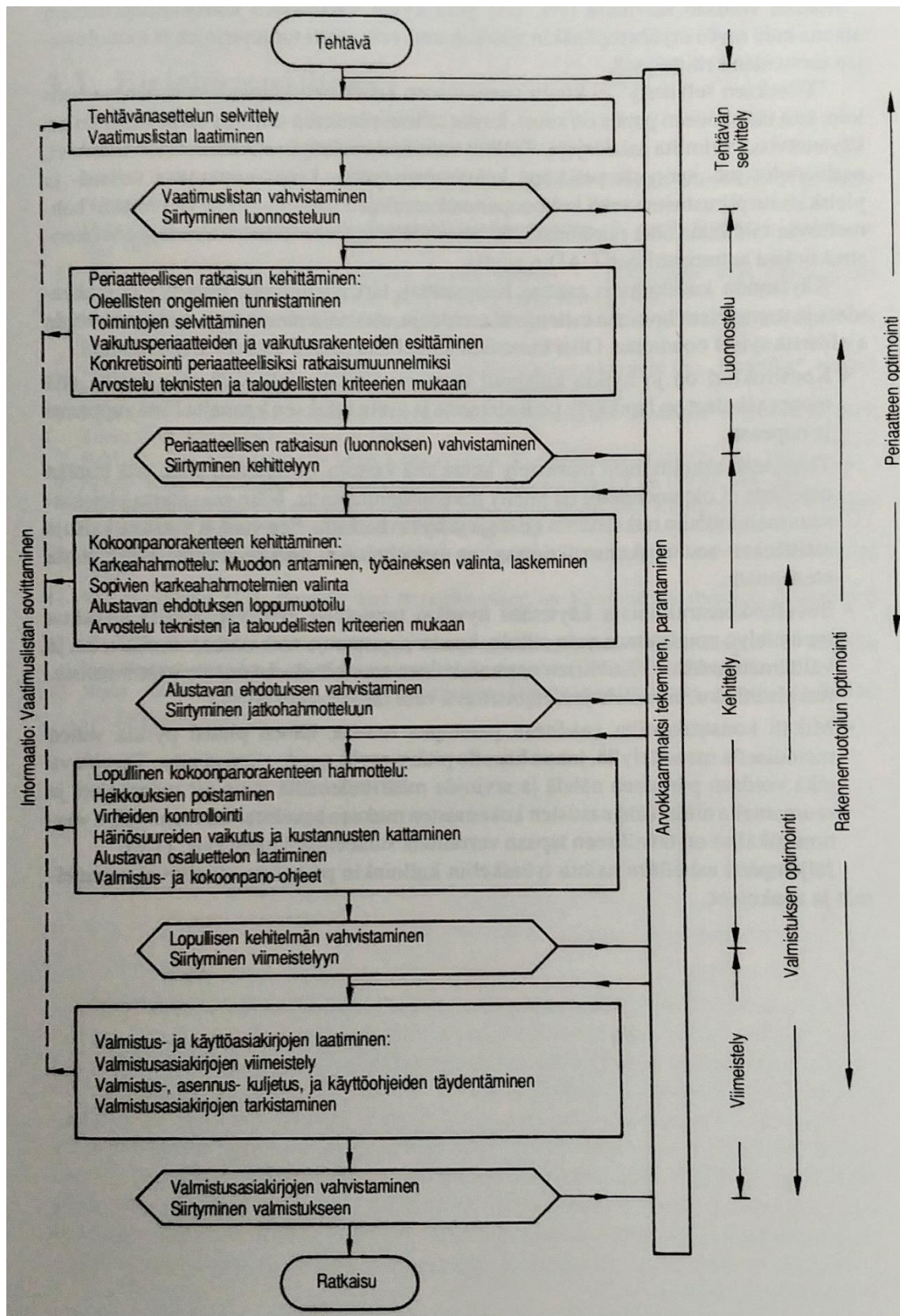
KUVA 20. Vatsalihaslaitteen akseli, vasemmalla näkyy akselilla alun perin olleet osat, oikealla osien nykyinen määrä akselilla.

Osien väheneminen pienentää valmistus- ja hankintakustannuksia sekä vähentää kokoonpanotyötä. Tämän seurauksena tuotanto tehostuu ja kustannukset pienenevät.

LÄHTEET

1. Kurunlahti, Miikka 2018. Toimitusjohtaja, Welapro Oy. Puhelinhaastattelu 15.3.2018.
2. Esittely. Welapro. Saatavissa: <https://www.weela.fi>. Hakupäivä 15.3.2018.
3. Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang – Konttinen, Uolevi 1990. Koneenosien suunnittelu. Porvoo: Springer Verlag ja Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
4. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2014. Tekniikan kaavasto. Porvoo: Tammertekniikka.
5. Valtanen, Esko 2013. Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.
6. 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. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
7. Dunkermotoren. Wermundsen. Helsinki: Wexon. Saatavissa: <http://www.wexon.fi/toimittajat/dunkermotoren/>. Hakupäivä 10.4.2018.
8. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkola, Kari – Pyy, Seppo – Rautiainen, Hannu – Sampo, Arto – Seppänen, Pekka – Suosara, Eero 1999. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita Prima Oy.
9. Mulco belt-pilot. Saatavissa: <http://mulco1.gwj.de/index.php?id=27&L=1> (vaatii rekisteröitymisen). Hakupäivä 10.4.2018.
10. Kurri, Veijo – Malén, Timo – Sandell, Risto – Virtanen, Matti 2008. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy. Calculation. 2017.

(3, s. 51)



SG 80K, 24.5:1. 2018. Dunkermotoren GmbH. Saatavissa: <https://www.dunkermotoren.com/en/products/gearboxes/detail/8884205935/>, linkki: Overview

SG80. Hakupäivä: 24.4.2018.

>> SG 80 | SG 80 H | SG 80 K



- » Housing made of high-tensile zinc die-cast
- » Worm wheel made of brass
- » Output shaft with ball bearings on both sides, shaft output to the left
- » Shaft output to the right or double shaft output on demand
- » Gehäuse aus hochfestem Zinkdruckguss
- » Schneckenrad aus Messing
- » Ausgangswelle ist serienmäßig beidseitig kugellagert und einseitig links ausgeführt
- » Optional Wellenausgang rechts oder mit beidseitigem Wellenausgang

Data/ Technische Daten SG 80 SG 80 H SG 80 K								
Reduction ratio/ Untersetzungsverhältnis	SG 80 / SG 80 H	5	10	15	24	38	50	75
Efficiency/ Wirkungsgrad	%	70	65	55	50	40	35	25
Continuous torque/ Dauerdrehmoment	Ncm	200	250	300	350	350	400	400
Max.acceleration torque/ Max. Beschleunigungsmoment	Ncm	800						
Emergency torque/ Not-Aus Drehmoment	Ncm	1200						
Reduction ratio/ Untersetzungsverhältnis	SG 80 K	7	10	15	24.5	-	-	-
Efficiency/ Wirkungsgrad	%	82	80	70	65	-	-	-
Continuous torque/ Dauerdrehmoment	Ncm	250	250	350	350	-	-	-
Max.acceleration torque/ Max. Beschleunigungsmoment	Ncm	500	500	700	700			
Emergency torque/ Not-Aus Drehmoment	Ncm	1200						
Weight of gearbox/ Getriebegewicht	kg	0.9						
Axial load / radial load/ Axiallast / Radiallast	N	300 / 350						

* 1000 Ncm only possible if fixed on 50 mm ball-hole circle/ * 1000 Ncm nur möglich, wenn an Teilkreis 50 mm angeschraubt

Preference/ Vorzugsreihe On request/ auf Anfrage

Lengths L motor gearbox combination/ Länge L Antrieb (mm ± 2)		Standard mounting position/ Standard Anbaulage
GR 63x25 /x55	166 / 196	
GR 63Sx55	196	
BG 65x25/ x50 /x75	146 / 171 / 196	
BG 65x25 /x50 /x75 SI	178 / 203 / 228	
BG 65x25 /x50 /x75 PI	230 / 255 / 280	
BG 65x25 CI/MI (PB/EC + 45 mm)	186	
BG 65x50 CI/MI (PB/EC + 45 mm)	211	
BG 65x75 CI/MI (PB/EC + 45 mm)	236	

PLG 75HP, 50:1. 2018. Dunkermotoren GmbH. Saatavissa: <https://www.dunkermotoren.com/en/products/gearboxes/detail/8887502116/>, linkki: Overview PLG 75. Haku-päivä 24.4.2018.

» PLG 75 HP

- » Industry compatible high performance planetary gearbox
- » High efficiency
- » Quiet operation due to helical gears in 1st stage, 2nd and 3rd stage have straight toothing
- » Planetary carriers and sun wheels made of steel, ring gear made of nitrided steel
- » Output shaft with double ball bearings

- » Industrietaugliches, drehmomentstarkes Planetengetriebe
- » Hoher Wirkungsgrad
- » Für hohe Laufruhe ist erste Getriebestufe schrägverzahnt ausgeführt, 2. und 3. Getriebestufe geradverzahnt
- » Planetenträger und Sonnenritzel aus Stahl, Hohlräder aus nitriertem Stahl
- » Ausgangswelle doppelt kugellagert



Data/ Technische Daten PLG 75 HP - Ring gear made of steel/ Hohlräder aus Stahl																	
Reduction ratio/ Untersetzungsverhältnis	-	4	5.5	7	10	14.5	16.8	23.1	27.5	29.4	35	42	50	60.9	70	101.5	
Efficiency/ Wirkungsgrad	%	90					81										
Number of stages/ Stufenzahl	-	1					2										
HP	Continuous torque/ Dauerdrehmoment	Ncm	2500				2000	7300					11500	7500	12000	12000	
	Acceleration torque/ Beschleunigungsmoment	Ncm	5000				4000	14600					23000	15000	24000	24000	
	Operating mode/ Betriebsart	-	S1 / S5*														
	Emergency stop torque/ Not-Aus Drehmoment	Ncm	7500				6000	22000					34500	22500	36000	36000	
	Max. backlash/ Max. Verdrehspiel	arcmin	39	42	43	46	50	35	36	36	36	36	37	37	38	36	36
Weight of gearbox/ Getriebege wicht	kg	1.7					2.8										
Axial load/ radial load (middle of key)/ Axiallast/ Radiallast (Mitte Feder)	N	1000 / 1000					1000 / 1000										

Preference/ Vorzugsreihe On request/ auf Anfrage

Data/ Technische Daten PLG 75 HP - Ring gear made of steel/ Hohlräder aus Stahl																
Reduction ratio/ Untersetzungsverhältnis	-	70.56	84	100	115.5	147	175	210	250	304.5	362.5	426.5	507.5	710.5		
Efficiency/ Wirkungsgrad	%	73														
Number of stages/ Stufenzahl	-	3														
HP	Continuous torque/ Dauerdrehmoment	Ncm	16000													
	Acceleration torque/ Beschleunigungsmoment	Ncm	32000													
	Operating mode/ Betriebsart	-	S1 / S5*													
	Emergency stop torque/ Not-Aus Drehmoment	Ncm	48000													
	Max. backlash/ Max. Verdrehspiel	arcmin	34	34	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	34
Weight of gearbox/ Getriebege wicht	kg	3.9														
Axial load/ radial load (middle of key)/ Axiallast/ Radiallast (Mitte Feder)	N	1000 / 1000														

Preference/ Vorzugsreihe On request/ auf Anfrage