

Miikka Kurunlahti

## **WEELA-KUNTOLAITTEEN JATKOKEHITYS**

# **WEELA-KUNTOLAITTEEN JATKOKEHITYS**

Miikka Kurunlahti  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotantotalous

---

Tekijä: Miikka Kurunlahti  
Opinnäytetyön nimi: Weela-kuntolaitteen jatkokehitys  
Työn ohjaaja: Jari Viitala  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 70 + 6 liitettä

---

Weela on pääasiassa Oamkin opiskelijoiden tuotekehitysprojekti, jonka tavoitteena on kehittää markkinoille uudenlainen älykuntolaite. Kuntoilijalle tuotetaan vastus sähkömoottorilla, ja moottoria ohjataan mobiililaitteella. Weela-kuntolaitteen jatkokehitys -opinnäytetyö oli osa kokonaisprojektia.

Tällä opinnäytetyöllä oli kolme päätavoitetta: kuntoilijaa vastustavan voimanlähteen valinta, kuntolaitteen mekaniikan uudelleen suunnittelu ja alustava kustannuslaskenta kuntolaitteen valmistukselle. Lisäksi tavoitteena oli rakentaa suunnitelmien mukainen kuntolaite.

Weela-kuntolaitteesta oli jo olemassa Jarno Gullstenin tekemä prototyyppi, joka oli alumiiniputken sisälle suunniteltu modulaarinen kuntolaite, jossa vastusvoima tuotettiin kahdella moottorilla. Tässä työssä parannettiin sen mekaniikkaa, rakennetta ja valmistettavuutta. Prototyyppi suunniteltiin ja valmistettiin Oamkin tiloissa. Suunnittelutyöhön kuuluivat muun muassa käytettävien muovien ja alumiinimateriaalien valitseminen, lujuus- ja kustannuslaskelmien tekeminen sekä 3D-mallien piirtäminen. Prototyypin valmistukseen kuuluivat materiaalien ja osto-osien hankinta, komponenttien koneistaminen, kokoonpano ja laitteen testaus. Prototyypissä käytettiin materiaalina muovia ja alumiinia. Osto-osia olivat kiinnittimet, laakeri ja heijastustunnistimet.

Työn tuloksena saatiin prototyyppi, jossa on alumiinirunko ja muovikotelo. Kotelonsisäällä on laitteen mekaniikka ja ohjauselektronikka. Muita työn tuloksia olivat laitteen työpiirustukset ja kustannuslaskelmat sekä suunnitelmat käytettävistä materiaaleista ja työstömenetelmistä. Lisäksi työssä valittiin laitteeseen sopivat harjalliset tasavirtamoottorit. Työn lopputulos oli hyvä, ja prototyyppi todettiin testauksessa toimivaksi. Tämän työn pohjalta laitteen kehitystä on hyvä jatkaa. Ennen markkinoille saattamista laitteen muotoilua pitää vielä parantaa.

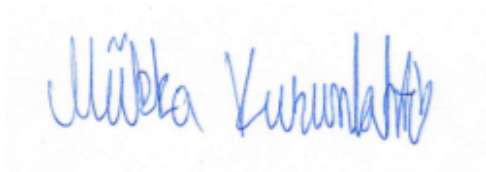
---

Asiasanat: kuntolaite, tuotekehitys, sähkömoottori, mekaniikkasuunnittelu, kuntoilu, älykuntolaite

## ALKULAUSE

Haluan kiittää toimeksiantajaa erittäin mielenkiintoisesta ja laajasta opinnäytetyö aiheesta. Lisäksi haluan kiittää opinnäytetyöni ohjauksesta lehtori Jari Viitalaa sekä laboratorioteknikko Jari Mahlakaarta suuresta avusta prototyypin valmistuksessa.

Oulussa 9.2.2015

A handwritten signature in blue ink that reads "Miikka Kurunlahti". The signature is written in a cursive style.

Miikka Kurunlahti

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	8
1.1 Weelan taustat	8
1.2 Weelan toimintaperiaate	8
1.3 Weela kuntolaitteen jatkokehitys	10
2 GULLSTENIN PROTOTYYPIN ANALYSOINTI	12
3 VOIMAN TUOTTO	14
3.1 Tasasähkömoottorit	15
3.1.1 Hiiliharjalliset moottorit	15
3.1.2 Hiiliharjattomat moottorit	16
3.1.3 Servomoottori	16
3.2 Moottorin mitoitus	17
3.2.1 GR 80 x 80	17
3.2.2 BG 75 x 75	19
3.2.3 Kiihtyvyyssajan laskenta	20
3.3 Moottorin ja vaihteen valinta	21
3.3.1 Vaatimukset	21
3.3.2 Valintaprosessi	21
4 MATERIAALIT JA TYÖSTÖMENETELMÄT	25
4.1 ABS	25
4.2 Polyamidit	27
4.3 Alumiini	28
4.4 Materiaalien valinta	29
4.4.1 Muoviosat	29
4.4.2 Alumiinit	30
4.5 Ruiskuvalu	30
4.6 Lämpö- ja tyhjiömuovaus	31

4.7 Koneistus	32
4.8 Muoviosien työstömenetelmien vertailu ja valinta	32
5 RAKENNE	35
5.1 Lähtökohta	35
5.2 Ideointi	36
5.3 Moottoriyksikkö	38
5.4 Kuori	38
5.5 Tukirunko	40
5.6 Kiinnitys	41
5.7 Lattia- ja seinäteline	41
5.8 Akselin kiinnitys moottoriin	44
5.9 Asennontunnistus	45
5.10 Standardiosat	46
5.11 Lujuustarkastelut	47
5.11.1 Akselin lujuustarkastelu	47
5.11.2 Laitteen ja telineen välisten kiinnitysten kestävyys	49
5.11.3 Laitteen rungon kestävyys	50
6 VALMISTUS JA KUSTANNUKSET	52
6.1 Moottori ja vaihde	52
6.2 Muoviosat	53
6.2.1 Hintaselvitys, yritys B	53
6.2.2 Hintaselvitys, yritys C	54
6.2.3 Hintaselvitys, yritys D	54
6.3 Alumiiniosat	55
6.4 Lattiateline	56
6.5 Elektroniikkaosat	56
6.6 Muut osat	56
6.7 Laskelmat	57
7 PROTOTYYPPI	59
8 WEELAN TULEVAISUUS	63
9 YHTEENVETO	65
LÄHTEET	67



# 1 JOHDANTO

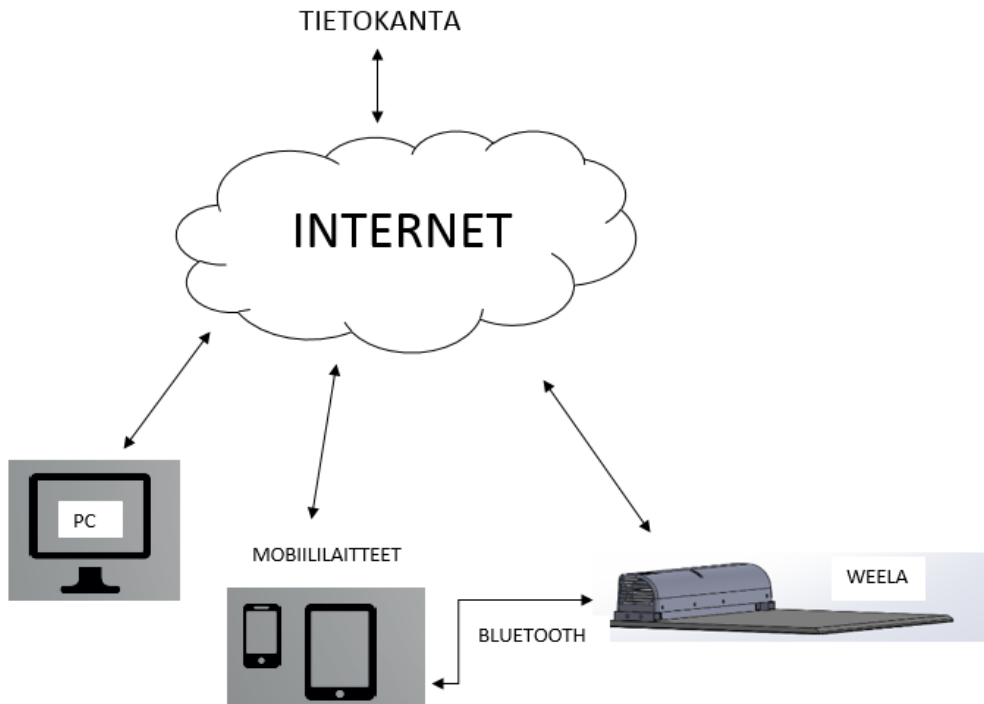
## 1.1 Weelan taustat

Weela on opiskelijoiden kehittämä älykuntolaite, joka on täysin uusi innovaatio. Idean isä Mauno Kurunlahti toi ajatuksen yhteistyöstä OAMKille, ja sen jälkeen sitä on kehitetty opiskelijoiden kesken. Weelaan on tehty opinnäytetöitä, harjoitelmia ja projektiointoja. Opiskelijoita on ollut eri vaiheissa mukana useilta aloilta, kuten tietotekniikasta, konetekniikasta ja hyvinvointitekniikasta. Lisäksi mukana on ollut graafikko-, fysioterapia- ja muotoiluopiskelijoita. Timo Matalampala (1) ja Jarno Gullsten (2) ovat tehneet Weelasta kaksi aikaisempaa prototyyppiä.

Nimi Weela juontaa juurensa sanoista Wellness for Ladies. Se keksittiin silloin, kun Weelan tuottama vastusvoima arvioitiin niin pieneksi, että se sopi lähinnä naisille. Siitä Weela on kehittynyt paljon eteenpäin ja voimatasot ovat kasvaneet, mutta nimi on säilynyt ennallaan.

## 1.2 Weelan toimintaperiaate

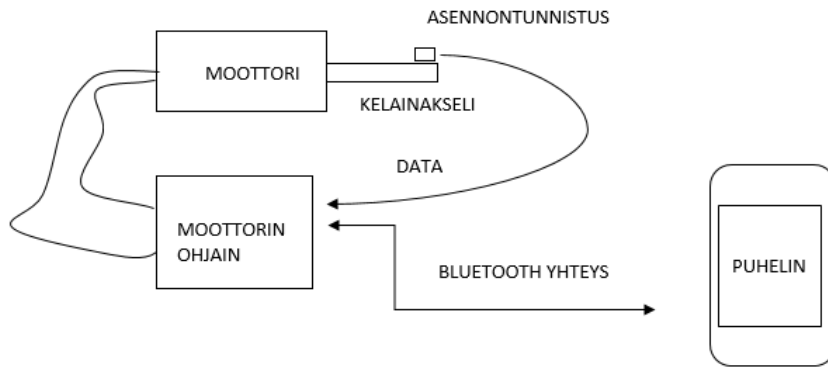
Weelan toiminta perustuu mobiililaitteiden ja Weela-laitteen yhteistoimintaan. Kuvasta 1 nähdään Weelan kokonaisuus. Weela-laite tuottaa käyttäjän haluaman vastavoiman, mutta laitteen ohjaus tapahtuu mobiililaitteen avulla. Weela-laite ja älypuhelin ovat yhteydessä bluetoothin välityksellä. Tietokoneelta pääsee näkemään harjoitushistorian, suunnittelemaan tulevia harjoituksia ja jakamaan harjoitustietoja sosiaalisessa mediassa. Kaikki Weelasta syntynyt data tallentuu tietokantaan ja on sieltä katsottavissa sekä mobiililaitteella että tietokoneella. Kaikki nämä suunnitellut toiminnot eivät kuitenkaan vielä tällä hetkellä ole käytössä. Sekä mobiilisovelluksen että internetsivujen kehitystyöt ovat vielä kesken.



*KUVA 1. Weelan toimintaperiaate*

Tulevaisuuden visioita on yhdistää myös sykevyö ja älyvaatteet osaksi kokonaisuutta. Weelan sähköinen ohjaus mahdollistaisi myös Weelan käyttämisen peliohjaimena (vertaa Nintendo Wii), mutta sen kehittäminen ei ole vielä ajankohtaista.

Weela-laitteen toiminta perustuu sähkömoottoriin ja sen ohjaukseen. Sähköisen moottorinohjauksen on suunnitellut ja toteuttanut Tuomas Lehto (3). Kuvaan 2 on merkitty laitteen toiminnan kannalta tärkeimmät elementit. Sähkömoottori tuottaa kuntoilijalle vastusvoiman. Puhelinsovellus lähettää bluetoothin välityksellä vastusarvot moottorinohjaimelle, joka muuttaa arvot käskyiksi moottorille. Anturit lähettävät moottorinohjaimelle tietoa pyörimisnopeudesta ja -suunnasta. Sen perusteella moottorinohjain säättää moottoria puhelinsovelluksesta tulleen käskyn mukaiseksi.



*KUVA 2. Weela-laitteen toiminta*

Weela-laitteelle on mahdollista tehdä erilaisia kunto-ohjelmia. Tarkoituksena on kehittää kuntolaitetta niin, että kuntoilijalla on käytössään aina optimaaliset vastusarvot valitun kunto-ohjelman määritysten mukaisesti. Laite laskee sopivat vastusarvot profiilitietojen, laitteella tehdyn kuntotestin ja valitun harjoitusmuodon perusteella. Silloin kuntoilija saa keskittyä ainoastaan kuntoiluun, eikä hänen tarvitse miettiä vastusarvoja ollenkaan.

Kokonaisuudessaan Weelan on tarkoitus toimia sekä kuntolaitteena että henkilökohtaisena fysioterapeuttinakin. Fysioterapeutin Weelasta tekee puhelinsovellus, josta saa henkilökohtaiset kunto-ohjelmat ja opastuksen harjoitusten tekemiseen. Se tekee Weelasta ainutlaatuisen ja poikkeuksellisen kuntolaitteen. Lisäksi etuina muihin kuntolaitteisiin nähden on mahdollisuus pakkotoistojen ja negatiivisten toistojen tekemiseen. Painavan painopakan puuttuminen tekee Weelasta kevyen ja helposti siirrettävän, mikä on myös Weelan iso kilpailuetu.

### **1.3 Weela kuntolaitteen jatkokehitys**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Weela-kuntolaitetta eteenpäin. Pää tavoitteita ovat valita vastusvoimaa tuottava moottori, suunnitella laitteen mekaniikka ja materiaalit sekä kartoittaa syntyvät valmistuskustannukset. Lopuksi tavoitteena on tehdä prototyyppi, joka olisi lähellä jo kaupallista versiota.

Opinnäytetyön ohjaajana toimii lehtori Jari Viitala ja työn tilaajana on Mauno Kurunlahti Spinech Oy:stä. Työtä tehdään tiiviissä yhteistyössä muiden opiskelijoiden kanssa ja työssä käytetään hyväksi jo tehtyjä prototyyppejä.

## 2 GULLSTENIN PROTOTYYPIN ANALYSOINTI

Jarno Gullsten teki Weelan prototyypin (2), jota tässä työssä parannellaan. Siksi on hyvä analysoida, mitä hyvää ja mitä paranneltavaa prototyypissä on. Tässä luvussa käydään läpi prototyypin toimintoja ja suunnittelun yksityiskohtia.

Moottoreita Gullstenin laitteessa oli kaksi. Kahden moottorin Weela olisi hyvä, jos molempia moottoreita voisi käyttää sekä yhdessä että erikseen. Tässä laitteessa moottorit on kuitenkin kytketty sarjaan, jolloin ne toimivat aina yhdessä. Kahden moottorin toteutus kasvattaa laitteen kokoa, lisää hankintakustannuksia, kasvattaa liitososien määrää ja monimutkaistaa kokoonpanotyötä.

Gullsten suunnitteli laitteestaan modulaarisen. Laitteeseen pystyi asentamaan uusia moottorimoduuleita helposti. Kokonaiskustannukset pysyvät kuitenkin pienempinä moottorin kokoa kasvattamalla kuin moottoreiden määrää lisäämällä. Modulaarisuusajattelu oli Gullstenin työssä hyvää, ja sitä kannattaa hyödyntää. Modulaarisuus on kuitenkin järkevämpää ajatella niin, että on olemassa yksi voimantuottoyksikkö, joka sisältää kaiken tarvittavan tekniikan. Tätä yhtä voimantuottoyksikköä voidaan käyttää erilaisissa kuntolaitteissa vastavoiman tuottajana.

Gullstenin suunnitteleman Weelan kuori oli pyöreää alumiiniputkea. Elektronikka ei mahtunut kuoren sisään, vaan se oli omassa kotelossaan. Tämä kannattaa muuttaa niin, että kaikki osat saadaan yhden kuoren sisään, jolloin laitteesta tulee entistä tyylikkäämpi ja helpommin siirrettävä. Gullstenin työssä alumiiniputken käyttäminen runkona oli hyvä ratkaisu, sillä sitä ei tarvinnut juurikaan koneistaa, joten valmis putkiprofiili oli melko edullinen ja käytännöllinen ratkaisu. Mikäli laitteeseen halutaan tehdä enemmän muotoilua, on alumiinin käyttäminen kuorimateriaalina huomattavasti kalliimpaa kuin muovi.

Gullsten toteutti kelauksen jousiavusteisesti. Tämä jousiavusteinen kelausyksikkö ei kuitenkaan toiminut. Halvempi ja yksinkertaisempi keino on tehdä kelaus kokonaan moottorilla. Se vaatii hieman kehitystä moottorin ohjaukseen, mutta on kuitenkin toteutettavissa.

Kelainakselin ja moottorin Gullsten oli yhdistänyt koneistetulla kytkimellä. Kytkimen pidätinruuvit eivät kuitenkaan jaksaneet välittää voimaa akselille, joten suurilla voimilla moottori pyöri tyhjä. Yksinkertaisempi ja varmempi olisi välittää voima kiilalla, jolloin luistamisen vaaraa ei olisi. Myös kytkimen koneistus jäisi pois, mikä alentaisi kokonaiskustannuksia.

Heijastustunnistimet olivat Gullstenin työssä hyvä ratkaisu pyörimisnopeuden ja -suunnan mittaamiseen. Tunnistimien käyttö oli edullinen ja yksinkertainen tapa mitata pyörimistä. Kaksi tunnistinta on välttämättömyys, jotta myös pyörimissuunnan mittaaminen on mahdollista.

Gullstenin suunnittelema Weela tuli kuntoilijan jalkoihin kiinni. Se estää kuitenkin kuntoilijan liikkumisen kuntoilun aikana ja rajoittaa mahdollisten harjoitusliikkeiden määrää, kun jalkojen asentoa ei voida muuttaa.

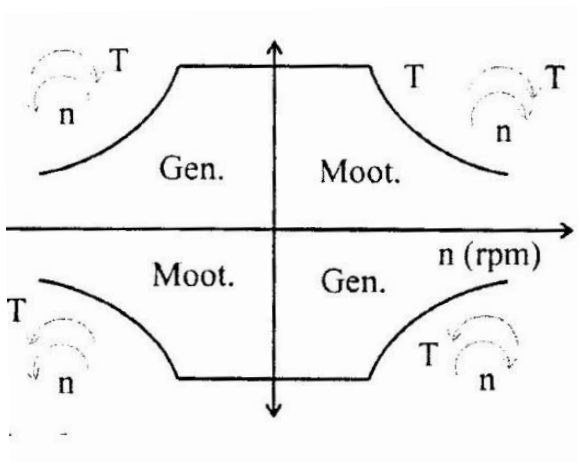
Muoviset kiinnitinosat moduulien välillä oli järkevä ratkaisu, sillä muovi on halpa ja riittävän kestävä materiaali. Muovia on myös helppo työstää, joten kappaleen muoto ei ole rajoitteena. Kelaimessa käytetyt muoviosat sulivat narun kitkan aiheuttaman lämmön takia, joten narun kanssa kosketukseen joutuvat muoviosat kannattaa suojata metallilevyillä.

### 3 VOIMAN TUOTTO

Weelassa kuntoilijan vastavoima tuotetaan tasavirtamoottorilla. Gullstenin tekemässä prototyypissä on käytössä kaksi Dunkermotorin GR 63 x 55 hiiliharjallista tasavirtamoottoria (2). Niiden ongelmana on kuitenkin riittämätön vastavoiman tuotto, joten niiden tilalle tarvitaan suuremman vääntömomentin tuottama moottori.

Moottorin täytyy toimia niin, että kelausvaiheessa pyöräminen ja vääntömomentti ovat samansuuntaisia, mutta vetovaiheessa pyöräminen ja momentti ovat vastakkaisia. Tämä tarkoittaa sitä, että moottorin on kyettävä nelikvadranttikäyttöön, jossa moottori toimii sekä moottorina että generaattorina. Tasasähkömoottorin ja -generaattorin rakenteet eivät eroa toisistaan, joten samaa konetta voidaan käyttää sekä moottorina että generaattorina (5, s. 267).

Kuva 3 havainnollistaa nelikvadranttikäytön toiminnan. Kuvassa vaaka-akselilla on kierrosnopeus ja pystyakselilla vääntömomentti. Moottorin tulee kyetä toimimaan kahden ylimmän lohkon alueella, jolloin vääntömomentti on koko ajan samansuuntainen, mutta pyörämissuunta vaihtelee.



KUVA 3. Nelikvadranttikäyttö (4, s. 23)

### **3.1 Tasasähkömoottorit**

Sähkömoottorin toiminta perustuu magnetismiin. Samanlaiset navat hylkivät toisiaan, ja erilaiset vetävät toisiaan puoleensa. Roottori pyrkii pyörähtämään niin, että erimerkkiset navat ovat vastakkain. Kun sähkömagneetin napaisuutta muutetaan oikeaan aikaan, tulee pyörimisliikkeestä jatkuvaa. Sähkömagneetin napojen merkit vaihdetaan virran suuntaa muuttamalla ja virran suunnan muutos tehdään kommutaattorilla. Tasasähkömoottorit toimivat tasasähköllä, ja ne jaetaan kommutoinnin perusteella hiiliharjallisiin ja harjattomiin. (6, s. 2–3.)

#### **3.1.1 Hiiliharjalliset moottorit**

Hiiliharjallisissa moottoreissa kommutaattorille tuleva virta johdetaan hiiliharjojen kautta. Roottorin pyöriessä hiiliharjat hankaavat roottoria vasten, joten ne kuluvat käytössä (7, s. 38). Harjallisten moottoreiden etuja ovat halpa hinta ja korkea hyötysuhde koko pyörintäalueella. Haittoja ovat huoltokustannuksia aiheuttava hiiliharjojen mekaaninen kuluminen ja kommutoinnin aiheuttamat sähkömagneettiset häiriöt. (7, s. 42.)

Staattorin käämitys voidaan toteuttaa hiiliharjallisissa moottoreissa joko kestmagneetilla tai kenttäkäämityksellä eli sähkömagneetilla (7, s. 38). Kestomagneettimoottoreissa staattorin magneettikenttä toteutetaan kestmagneetein. Kestomagneettimoottoreiden momenttikäyrät ovat lineaarisia, jolloin momentti ja pyörimisnopeus muuttuvat kääntäen suhteessa toisiinsa nähden. Virta on vakiojännitteellä suoraan verrannollinen momentin suuruuteen, joten voimantuottoa voidaan säätää virtaa muuttamalla. (7, s. 39–40.)

Lämpöhäviöt kestmagneettimoottorissa ovat vähäisiä, koska niissä ei ole virtaa kuluttavaa kenttäkäämiä ympärillä. Myös paino ja koko ovat pienempiä ja hyötysuhde on parempi kuin sähkömagnetoiduilla moottoreilla. Kestomagneettimoottorit ovat käytetyimpiä alle 1 kW:n tasavirtamoottoreita. (7, s. 40.)

Suurin osa yli 1 kW:n tasavirtamoottoreista on sähkömagneettimoottoreita, koska voimakkaiden ja magnetisminsa säilyttävien kestmagneettien saatavuus

on huono (6, s. 3). Kenttäkäämitetyt moottorit voidaan jakaa rinnakkaismoottoreihin, sarjamoottoreihin ja yhdysvirtamoottoreihin. Jako perustuu niiden erilaisiin kytkentätapoihin. (7, s. 43–44.)

Kenttäkäämitetyn staattorin magneettikenttä on toteutettu rautasydämen ympärille kiedotusta kuparilangasta. Käämityksen läpi kulkevaa virtaa muuttamalla voidaan säädellä magneettikentän voimakkuutta. (7, s. 41.)

### **3.1.2 Hiiliharjattomat moottorit**

Harjattomat tasavirtamoottorit on kehitetty kunnossapito-ongelmien ratkaisemiseksi. Hiiliharjojen puuttuminen lisää moottorin käyttöikää, ja huoltotoimenpiteitä vaativat ainoastaan roottorin laakerit. (7, s. 45.)

Harjalliseen kestopagneettimoottoriin verrattuna on harjattomassa moottorissa magneetit toisin päin. Kestomagneetit ovat roottorissa ja käämit staattorissa. Moottorin pyörintänopeutta muutetaan säätämällä käämien kentän voimakkuutta. Roottorin akselilla on anturi, jolla tunnistetaan moottorin asento. Kommutointi suoritetaan elektronisesti anturin antamien asentotietojen perusteella. (7, s. 46.)

Harjattoman tasavirtamoottorin etuja ovat hiljainen ääni, vähäinen huollon tarve sekä tehokkuus. Toisaalta se vaatii toimiakseen käyntielektroniikkaa ja on myös kalliimpi kuin harjallinen moottori. (7, s. 46.)

### **3.1.3 Servomoottori**

Servomoottori on yleisnimitys moottoreille, jossa esimerkiksi nopeus, kiihtyvyys tai paikka on säädettävissä niin, että se seuraa asetusarvoaan. Toimiakseen se tarvitsee aina paikan mittauksen. Servomoottori voi olla sähköinen, hydraulinen tai pneumaattinen. (4, s. 7.)

Servomoottoreissa on erilaisia takaisinkytkentöjä, joiden avulla ne muuttavat mittavat suureet vastaamaan haluttuja arvoja. Yleistä DC-servolle on, että sitä voidaan säätää helposti laajalla alueella. (7, s. 50.)

### 3.2 Moottorin mitoitus

Moottorin mitoituksen lähtökohtana ovat kuntolaitteesta haluttu vastusvoima sekä pyörimisnopeus. Arvot ovat sidoksissa toisiinsa kaavan 1 mukaisesti. (4, s. 4.)

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{60P}{2\pi n} \quad \text{KAAVA 1}$$

$T$  = vääntömomentti (Nm)

$P$  = teho (W)

$\omega$  = akselin kulmapyörimisnopeus (rad/s)

$n$  = akselin pyörimisnopeus (rpm)

Moottorin tuottama vääntömomentti saadaan laskettua kaavalla 2 (4, s. 11).

$$T = m \cdot g \cdot r = F \cdot r \quad \text{KAAVA 2}$$

$m$  = massa (kg)

$g$  = putouskiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ )

$r$  = voiman varsi (m)

$F$  = voima (N)

Gullstenin prototyypissä on käytetty Dunkermotorin GR 63 x 55 -moottoria (2). Siinä voiman tuotto ei ole ollut riittävä, joten esivalitaan samalta valmistajalta tehokkaammat moottorit GR 80 x 80 ja BG 75 x 75 ja tarkastellaan niiden vastavoiman tuottoa laskennallisesti. Mikäli lopulliseen versioon halutaan kuitenkin jokin muu moottori, voidaan seuraavia laskennallisia arvoja käyttää vertailupohjana moottorin valinnassa.

#### 3.2.1 GR 80 x 80

Halutaan tietää, kuinka suuren vastusvoiman moottori GR 80 x 80 pystyy kuntoilijalle tuottamaan. Kaavaa 2 soveltamalla saadaan yhtälö (kaava 3), jolla vastusvoima saadaan laskettua.

$$F = \frac{T}{r} \quad \text{KAAVA 3}$$

Akselin halkaisija on tämän hetken prototyypissä 25 mm. Se voi vielä lopulliseen tuotteeseen muuttua, koska sen avulla pystytään muuttamaan narun vetonopeutta sekä vääntömomenttia. Halkaisijalle pyritään löytämään optimaalinen koko, mutta tässä vaiheessa laskuissa käytetään 25 mm halkaisijaa. Vääntömomentti on valmistajan katalogista (liite 1). Maksimivoima lasketaan kaavalla 3.

$$F_{max} = \frac{T_{max}}{r} = \frac{6,1 Nm}{0,0125 m} = 488 N$$

Moottorin tuottama voima kilogrammoiksi muutettuna saadaan laskettua kaavasta 4.

$$m = \frac{F}{g} = \frac{488 N}{9,81 m/s^2} = 49,7 kg \quad \text{KAAVA 4}$$

Suurinta nopeutta laitteelta tarvitaan, kun moottori kelaa narua sisään. Tällöin moottorilla ei ole juurikaan kuormaa, joten lasketaan vetonopeus moottorin nimellisarvoilla (liite 1). Vetonopeus lasketaan kaavalla 6 kulmanopeuden kaavaa (kaava 5) soveltamalla. (8, s. 27.)

$$\omega = 2\pi n = \frac{v}{r} \quad \text{KAAVA 5}$$

$$v = 2\pi nr = 2\pi \cdot \frac{3350 r}{60 s} \cdot 0,0125 m = 4,3 m/s \quad \text{KAAVA 6}$$

Pelkällä moottorilla voimataso jää liian pieneksi, joten lisätään moottorille vaihde. Lisäämällä moottorin päähän vaihde PLG 75 (liite 3), saadaan vääntömomenttia suuremmaksi. Vaihde on välityksillä 4:1, jolloin hyötysuhde on 0,9. Akselin pyörimisnopeus voidaan laskea kaavalla 7, kun välitys tiedetään (9, s. 249).

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{3350 r}{60 s \cdot 4} = 13,96 r/s \quad \text{KAAVA 7}$$

$i$  = välityssuhde

Kelausnopeus vaihteen kanssa lasketaan kaavalla 6.

$$v = 2\pi nr = 2\pi \cdot \frac{13,96 r}{s} \cdot 0,0125 m = 1,1 m/s$$

Vaihteen välittämä vääntömomentti lasketaan kaavalla 8 (9, s. 250).

$$T_2 = T_1 \cdot i \cdot \eta = 6,1 \text{ Nm} \cdot 4 \cdot 0,9 = 21,96 \text{ Nm} \quad \text{KAAVA 8}$$

$\eta$  = hyötysuhde

Vääntömomentin avulla voidaan laskea maksimivoima kaavalla 3.

$$F_{max} = \frac{T_{max}}{r} = \frac{21,96 \text{ Nm}}{0,0125 \text{ m}} = 1756 \text{ N}$$

1756 N:a vastaa 179 kg:n massaa, joka alustavasti riittää kuntolaitteelle.

### 3.2.2 BG 75 x 75

Lasketaan BG 75 x 75 -moottorille kelausnopeus ja maksimaalinen voimantuotto, kuten edellä GR 80 x 80 -moottorille. Momentti ja pyörimisnopeus on otettu valmistajan katalogista (liite 2). Lasketaan maksimivoima kaavalla 2.

$$F_{max} = \frac{T_{max}}{r} = \frac{6,3 \text{ Nm}}{0,0125 \text{ m}} = 504 \text{ N}$$

Muutetaan newtonit kilogrammoiksi kaavalla 4.

$$m = \frac{F}{g} = \frac{504 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 51,4 \text{ kg}$$

Moottorilta saatava voima on samaa luokkaa kuin GR 88 x 88 -moottoriltakin. Sovitetaan myös BG 75 x 75 moottorille PLG 75 vaihde. Vaihteen välittämä kierrosnopeus lasketaan kaavalla 7.

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{3370 \text{ r}}{60 \text{ s} \cdot 4} = 14,0 \text{ r/s}$$

Kelainakselin kierrosnopeus muutetaan kelausnopeudeksi kaavalla 6.

$$v = 2\pi nr = 2\pi \cdot \frac{14,0 \text{ r}}{\text{s}} \cdot 0,0125 \text{ m} = 1,1 \text{ m/s}$$

Vaihteen välittämä vääntömomentti lasketaan kaavalla 8.

$$T_2 = T_1 \cdot i \cdot \eta = 6,3 \text{ Nm} \cdot 4 \cdot 0,9 = 22,68 \text{ Nm}$$

Kuntoilijalle tuotettu maksimi vastavoima lasketaan kaavalla 3.

$$F_{max} = \frac{T_{max}}{r} = \frac{22,68 \text{ Nm}}{0,0125 \text{ m}} = 1814 \text{ N}$$

Massaksi muutettuna 1814 N:a on 185 kg:a.

### 3.2.3 Kiihtyvyyssajan laskenta

Dynaaminen momentti eli momentti, joka tarvitaan nopeuden muuttamiseen, lasketaan kaavalla 9 (4, s. 12).

$$T_{dyn} = J \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad \text{KAAVA 9}$$

$J$  = massanhitausmomentti ( $\text{kgm}^2$ )

$t$  = aika (s)

GR 80 x 80 -moottorilla on massanhitausmomentti  $3200 \text{ gcm}^2$  (liite 1). Weela tarvitsee maksimikiihtyvyytensä, kun kelaus alkaa. Silloin ei kuntoilija juurikaan tuota vastavoimaa moottorille, vaan lähes koko moottorin vääntömomentti menee kiihdytykseen. Kaavasta 10 saadaan laskettua kiihtyvyyss aika. Käytetään laskennassa kierrosnopeuden ja vääntömomentin nimellisarvoja.

$$\Delta t = J \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{\Delta n}{T_{dyn} \cdot \eta} \quad \text{KAAVA 10}$$

$$\Delta t = J \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{\Delta n}{T_{dyn} \cdot \eta} = 3200 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2 \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{837,5 \text{ rpm}}{24,8 \text{ Nm} \cdot 0,9} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Kiihtyvyyttä hidastavat vielä akseli, kytkin ja kuntoilija, mutta moottori kiihtyy niin nopeasti, että siitä ei tule ongelmia. Prototyypin testaus näyttää todellisen tilanteen. Optimaalisen kiihtyvyyden voi hakea testausvaiheessa. Virtaa muuttamalla voidaan muuttaa kierrosnopeutta ja vääntöä. Kaavan 10 mukaan silloin myös kiihtyvyyteen kuluva aikakin muuttuu.

### **3.3 Moottorin ja vaihteen valinta**

Tässä luvussa tarkastellaan sopivan vastavoiman tuottajan valintaa erilaisten kriteereiden perusteella. Valintaprosessissa otetaan myös huomioon se kokemus, joka on saatu edellisistä prototyypeistä. Niissä vastusmoottorina on ollut saksalainen Dunkermotor GR 63 x 55 moottori ilman vaihdetta.

#### **3.3.1 Vaatimukset**

Moottorin valinnassa piti huomioida se, että moottori on pienoisjännitteinen, eli maksimissaan 120 DCV:a tai 50VAC:a. Lisäksi moottorin piti pystyä nelikvadranttikäyttöön.

Vaatimuksia tehojen ja nopeuksien suhteen ei ollut, mutta tarkoitus oli etsiä mahdollisimman voimakas moottori, joka olisi sopiva Weelaan painonsa, kokonsa ja hintansa puolesta. Gullstenin prototyyppiä testaamalla, pyrittiin löytämään nopeus, joka moottorin vähintään tuli saavuttaa.

Seuraavaksi on listattu ominaisuuksia, joita vertailtiin eri moottoreiden välillä.

Niitä olivat

- hinta
- maksimi vääntömomentti
- nimelliskierrosnopeus
- teho
- paino
- koko
- inertia.

#### **3.3.2 Valintaprosessi**

Vaikka Gullstenin prototyyppi onkin tehty kahdella moottorilla, haluttiin lopulliseen versioon vain yksi tehokas moottori. Yhden moottorin toteutuksessa etuna

on osien määrän väheneminen ja kokoonpanon yksinkertaistuminen. Nämä parantavat laitteen käyttövarmuutta, pienentävät sekä hankinta- että kokoonpanokustannuksia ja lisäksi laitteen koko pienenee.

Kahden moottorin etuna olisi mahdollisuus harjoitella esimerkiksi molemmilla käsillä yhtä aikaa mutta eri tahdissa. Kahden moottorin eriaikainen käyttö vaatisi kuitenkin molemmille moottoreille omat ohjaimet. Tässä vaiheessa tuotekehitystä haaste olisi kuitenkin liian vaativa moottorin ohjauksen kehittäjille.

Vaihto- ja tasasähkömoottoreita vertailemalla todettiin tasasähkömoottorin olevan soveltuvampi vaihtoehto, sillä rakenteensa puolesta sitä voidaan käyttää sekä moottori- että generaattorikäytössä (5, s. 267). Sen ominaisuuden kunto-laite toimiakseen vaatii. Tasavirtamoottorin valintaa puolsivat myös sen helppo säädettävyys ja ohjaus verrattuna vaihtovirtamoottoriin (4, s. 14).

Tasasähkömoottoreista sekä harjaton että harjallinen olivat molemmat varteen-otettavia vaihtoehtoja. Hiiliharjallisista kestopagneettimoottorin valintaa puolsivat helppo ohjaus ja säädettävyys, pieni koko sekä lämpöhäviöiden vähäisyys (7, s. 40).

Moottorivaihtoehtoja olivat harjallinen moottori GR 80 x 80 ja harjaton moottori BG 75 x 75. Taulukossa 1 vertaillaan näitä moottoreita. Vertailussa on myös mukana Gullstenin prototyypin moottori GR 63 x 55.

TAULUKKO 1. Moottorivaihtoehtojen vertailu

Moottori	GR 80 x 80	BG 75 x 75	GR 63 x 55
Hinta	278 €	500 €	230 €
Koko	80 mm x 205 mm	75 mm x 75 mm x195 mm	63 mm x 150 mm
Massa	4 kg	2,8 kg	1,7 kg
Maksimivääntömomentti	6,2 Nm	6,3 Nm	2,1 Nm
Nimelliskierrosnopeus	3 350 rpm	3 370 rpm	3 350 rpm
Inertia	3 200 gcm <sup>2</sup>	650 gcm <sup>2</sup>	750 gcm <sup>2</sup>

Taulukosta huomataan, että GR 80 ja BG 75 ovat ominaisuuksiltaan lähes samankaltaisia, mutta hintaero moottoreiden välillä on suuri. Lisäksi BG 75 -moottorin ohjaus on hankalampi toteuttaa.

Valitaan moottoriksi GR 80 x 80, sillä ominaisuuksiltaan se pärjää hyvin BG 75 moottorille, mutta on lähes puolet halvempi. Kuntolaitteen käyttö ei ole niin jatkuvaa, että hiiliharjojen kuluminen aiheuttaisi ongelmia. Inertia luvut ovat kaikilla moottoreilla niin pieniä, että kiihtyvyydet ovat aivan riittäviä. Testaus GR 63 -moottorilla vahvisti tämän. Moottorilla käytetään hyväksi sen ylikuormittavuutta, jolloin nimellisvääntömomentti voidaan ylittää reilusti.

Vaihteeksi valitaan PLG 75 planeettavaihte (liite 3), joka on myös Dunkermotorin valmistama. Vaihteen hyötysuhde on 0,9 ja välitykseksi valitaan 4. Vaihteen kanssa päästään teoriassa noin 1800 N voimiin. Todelliset voimat selviävät testausvaiheessa. Nopeuden ja voiman suhdetta voidaan vielä muuttaa akselin

halkaisijaa muuttamalla. Prototyypin testausvaiheessa pyritään löytämään optimaalisin ratkaisu. Kelausnopeuteen voidaan vaikuttaa myös moottorinohjauksen ohjelmoinnissa. Kelausliikkeessä voimantuotto ei ole merkittävä tekijä, joten silloin kelausnopeutta voidaan muuttaa ohjelmallisesti.

Moottorille voidaan etsiä myöhemmin halvempi vaihtoehto halpamarkkinoilta, jolloin yhtä suorituskykyinen moottori voidaan saada huomattavasti edullisemmalla hinnalla.

## 4 MATERIAALIT JA TYÖSTÖMENETELMÄT

Tässä luvussa tutustutaan erilaisiin materiaaleihin, joita Weela laitteessa olisi mahdollista käyttää. Lisäksi luvussa vertaillaan eri materiaalien ominaisuuksia sekä hintoja. Vertailun avulla pyritään löytämään kullekin osalle soveltuvin materiaali.

Materiaalien lisäksi luvussa tutustutaan erilaisiin työstömenetelmiin, joita vertailuille materiaaleille on mahdollista käyttää. Myös työstömenetelmiä vertaillaan ja niistä etsitään sopivimmat menetelmät. Työstömenetelmän valinnassa pohditaan myös, miten erilaiset sarjakoot vaikuttavat työstömenetelmän valintaan.

### 4.1 ABS

ABS eli akrylinitriilibutadieenistyreeni on tekninen muovi, joka kehitettiin 1940-luvun loppupuolella. Erinomaisen pinnanlaatunsa ja mittatarkkuutensa ansiosta se sopii hyvin laite- ja elektroniikkateollisuuteen. Hyvä esimerkki ABS:n kestävydestä ja pitkäikäisyydestä on Lego palikat. ABS on myös mahdollista metalloida ja lämpökäsitellä. Suositeltavin valmistusmenetelmä ABS:lle on ruiskuvalu, mutta se soveltuu myös lämpömuovaukseen. (10, s. 67.)

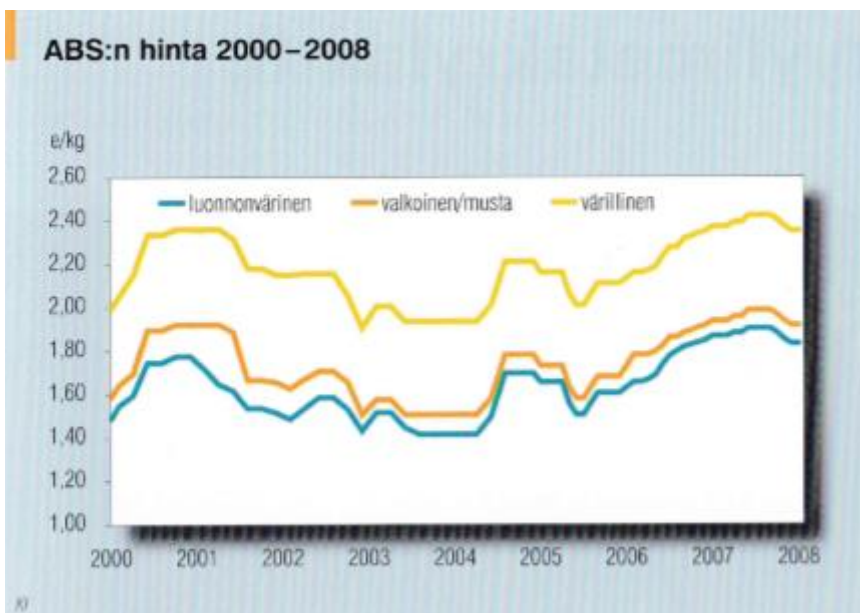
Legojen lisäksi ABS muovista valmistetaan mm. kaukosäätimiä, laskimia, puhe-  
limia, pölynimurin kuoria, tulostimia. ABS muovia käytetään osana muoviseosta mm. tietokoneen koteloissa, pistorasioissa, kännykän kuorissa. (11, s. 148–149.)

Taulukkoon 2 on listattu ABS:n hyviä ja huonoja ominaisuuksia. Materiaalia valittaessa näitä ominaisuuksia vertaillaan osalta vaadittuihin toimintoihin. Taulukosta huomataan, että ABS on hyvin monipuolinen materiaali. Sitä voidaan pinnoittaa ja lujittaa ja valmistaa usealla menetelmällä.

TAULUKKO 2. ABS:n ominaisuuksia (12)

Hyvät ominaisuudet	Huonot ominaisuudet
Sitkeys	Huono säänkesto
Pintakovuus ja pinnanlaatu	Stabiloidut lajit vaikeita työstää
Pieni työstökutistuma	Alhainen pehmenemislämpötila
Säilyttää ominaisuudet matalassa lämpötilassa	Rajallinen liuottimien kesto
Edullinen hinta	
Voidaan lujittaa	
Helppo pinnoittaa	

Hyvien ominaisuuksien lisäksi ABS on myös edullinen materiaali. Kuvassa 4 näkyy ABS:n hintakehitys vuosina 2000–2008. Hinta on pysynyt varsin vakaana ja edullisena. Huomioitavaa on kuitenkin, että värillisenä ABS on paljon kalliimpaa kuin luonnonvärisenä, mustana tai valkoisena.



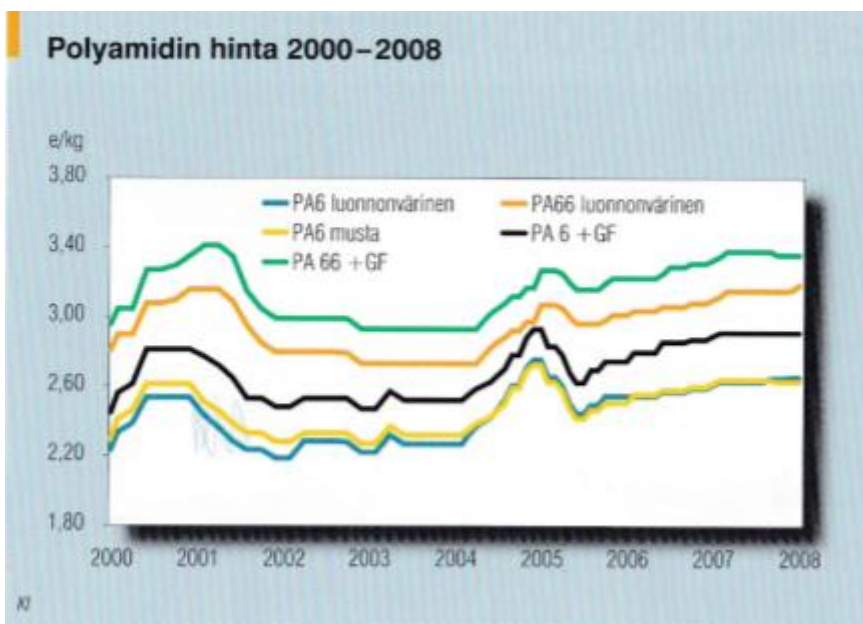
KUVA 4. ABS:n hinta 2000–2008 (10, s. 69)

## 4.2 Polyamidit

PA:t eli polyamidit kehitettiin vuonna 1935 USA:ssa. Ne ovat teknisiä muoveja ja niitä käytetään nykyisin monenlaisissa teknisissä sovelluksissa, kuten hammaspyörissä, liukulaakereissa, työkaluissa, autoissa ja sähkölaitteiden kotelossa. (10, s. 84.)

Polyamideja on useita eri lajeja, kuten PA 6, PA 66, PA 11 ja PA 12. Ne ovat lujia ja jäykkiä, mutta imevät vettä helposti. Polyamidien kemiallinen kestävyys on hyvä, mutta ne haurastuvat UV-valossa. Korkeimmat käyttölämpötilat ovat lajista riippuen 140–200 astetta. Kulutuksen kesto ja iskulujuus ovat hyviä, mutta hinta on melko kallis. (12.)

Kuva 5 näyttää polyamidin hinnan kehityksen 2000–2008. Kuvasta nähdään, että hintaerot eri väreillä ja lajeilla ovat suuria. PA 6 mustana ja luonnonvärisenä on hinnaltaan kuitenkin varsin kilpailukykyinen materiaali Weelan tukiosien materiaalina.



KUVA 5. Polyamidin hinta 2000–2008 (10, s. 87.)

### 4.3 Alumiini

Alumiini on yksi yleisimmistä alkuaineista ja sitä käytetään paljon seoksina koneenrakennuksessa keveytensä ja monipuolisten ominaisuuksiensa vuoksi.

Pääseosaineita ovat pii, kupari, sinkki ja magnesium. (13, s. 37.)

Alumiinit voidaan jakaa lämpökäsiteltäviin ja muokkauslujittuviin. Muokkauslujittuvia eli lämpökäsittämättömiä ovat sarjojen 1000, 3000, 4000 ja 5000 alumiinit (taulukko 3). Niille ominaista on hyvä hitsattavuus ja hyvä korroosion kesto.

(14.)

*TAULUKKO 3. Lämpökäsittämättömät alumiinit (14)*

<b>Sarja</b>	<b>Pääseosaine</b>	<b>Seosaineen vaikutus</b>
1000	Ns. puhdas alumiini (99 % Al)	Seostamattomalla alumiinilla on hyvä korroosionkesto, alhainen lujuus ja hyvä sähkönjohtavuus.
3000	Mangaani	Lisää lujuutta, hyvä muovattavuus
5000	Magnesium	Lisää lujuutta, hyvä korroosionkesto

Lämpökäsiteltyjä alumiineja ovat sarjojen 2000, 6000, 7000 ja 8000 alumiinit. 6000 sarjan alumiinit ovat myös hitsattavissa, mutta 2000 ja 7000 -sarjojen alumiineilla hitsattavuus ja korroosionkesto ovat huonompia (taulukko 4). (14.)

*TAULUKKO 4. Lämpökäsitellyt alumiinit (14)*

<b>Sarja</b>	<b>Pääseosaine</b>	<b>Seosaineen vaikutus</b>
2000	Kupari	Lisää lujuutta ja sitkeyttä, hyvä koneistaa
6000	Magnesium + pii	Lisää lujuutta, hyvä korroosionkesto
7000	Sinkki	Suurin lujuus, huono hitsattavuus

## 4.4 Materiaalien valinta

Tässä luvussa käsitellään materiaalivalintoja. Jokaiselle laitteen osalla valitaan sopiva muovi- tai alumiiniseos. Materiaalivalinnat tehdään osalta vaadittujen ominaisuuksien perusteella.

### 4.4.1 Muoviosat

Weelan kuorimateriaalin tulee olla pinnanlaadultaan ja ulkonäöltään hyvä. Sen tulee kestää kohtuullisesti iskuja, mutta käyttöympäristö ei edellytä erityistä säänkestoa. Materiaalia pitää pystyä lämpömuovaamaan, mutta sen hinta tulee olla edullinen.

ABS on luonnollinen valinta kuorimateriaaliksi, sillä se täyttää kaikki vaatimukset, ja on edullinen valmistaa. ABS-muovi voidaan pinnoittaa, jolloin kuori voidaan esimerkiksi kromata ulkonäön parantamiseksi. Jos tuotteelle halutaan tehdä läpinäkyviä kuoria, kuten muotoilijat ovat pohtineet, silloin täytyy käyttää PC-tai PMMA-muovia, mutta ne ovat huomattavasti kalliimpia kuin ABS. (12.)

Muilta muoviosilta vaaditaan hyvää veto- ja iskulujuutta. Lämmönkestävyyden ei tarvitse olla kovin korkea, koska moottoria jäähdytetään tarvittaessa puhaltimella. Ulkonäköseikatkaan eivät ole merkittäviä, sillä osat tulevat kuoren alle piiloon. Osat pitää pystyä koneistamaan tai ruiskupuristamaan. Käytettävä valmistustekniikka riippuu valmistusmäärästä.

PA:n ja ABS:n välillä hintoja vertailtaessa tulee huomioida, että kuvissa 4 ja 5 hinnat ovat €/kg. Todellisemman kuvan hinnasta antaa €/dm<sup>3</sup>. ABS:n tiheys on 1,05 g/cm<sup>3</sup> (10, s. 67) ja PA 6:n 1,14 g/cm<sup>3</sup> (10, s. 84), jolloin tilavuushintojen ero materiaalien välillä on suurempi kuin kilohintojen. Sekä PA:lla että ABS:lla on riittävät ominaisuudet rakenteiden materiaaliksi. Mutta ABS:n edullisempi hinta ratkaisee valinnan ABS:n eduksi. Erityistä jäykkyyttä vaativat osat kannattaa kuitenkin valmistaa PA:sta.

#### 4.4.2 Alumiinit

Alumiini on sopiva Weelan runkomateriaaliksi sekä akselin materiaaliksi, koska se on kevyttä mutta kestävä. Alumiinia voidaan käyttää myös muissa tuki- ja kiinnikeosissa, joihin kohdistuu suurta rasitusta.

Alumiini osilta vaaditaan kestävyttä ja ne pitää olla hitsattavissa. Valitaan 6000-sarjan alumiini, sillä niillä on vaaditut ominaisuudet. Alumiini 6063 on yleisin alumiinin profiiliseos, joten sen saatavuus on varmasti hyvä. 6063 on myös mahdollista anodisoida. R 0,2 % raja on sillä 160 N/mm<sup>2</sup>. (14.)

#### 4.5 Ruiskuvalu

Ruiskuvalu kehitettiin 1800-luvulla ja on nyt käytetyin tekniikka teknisten muovien valmistuksessa. Tärkein osa ruiskuvalua on hyvä muotti. Ruiskuvalu tapahtuma voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin:

- ruiskutusvaihe, jossa sula muovi ruiskutetaan muottiin ja muotista täytetään noin 90 %
- jälkipainevaihe, jossa painetta säätämällä saadaan loput muottipesästä täyttymään
- jäähdytysvaihe
- annostusvaihe, jossa sylinteri annostellaan uudella muoviannoksella
- muotin aukaisu ja kappaleen ulostyöntö
- muotin sulkeminen ja sulkupaineen muodostus.

Kaikki vaiheet ovat säädettävissä ja niillä voidaan vaikuttaa lopputuotteen pinnanlaatuun, muotoon ja kestävyteen. (10, s. 182.)

Muottikustannusten takia ruiskuvalu on kannattavaa vasta, kun sarjakoot ovat yli 1 000 kappaletta. Pienemmillä sarjoilla ruiskuvalu on järkevä vaihtoehto, jos tuote on vaadittavien muotojensa tai ominaisuuksiensa puolesta kalliimpi valmistaa muilla menetelmillä (15, s. 5.)

Ruiskupuristettavaa kappaletta suunniteltaessa tulee huomioida muun muassa seuraavia asioita. Seinämäpaksuuden on oltava mahdollisimman tasainen, jotta

muovin jäähtyessä kappale säilyttäisi muotonsa ja laatunsa. Ripoja käytetään vahvistamaan seiniä, mutta niiden koot, määrät ja muodot ovat tärkeitä ottaa suunnittelussa huomioon. Päästökulmia on käytettävä, jotta kappale irtoaa muotistaan. Päästökulmat ovat normaalisti 1,5–3 astetta. Kappaleen kulmat kannattaa pyöristää. (15, s. 6–7.)

#### **4.6 Lämpö- ja tyhjiömuovaus**

Lämpömuovauksessa muovilevy painetaan muottiin lämmön ja paineen avulla, jolloin muotin muodot siirtyvät muovilevyyn. Tyhjiömuovauksessa kuuma levy imetään alipaineen avulla muottia vasten. Muovattavan kappaleen seinämän paksuus voi olla jopa 30 mm. Lämpö- ja tyhjiömuovaus soveltuvat hyvin sarjatuotantoon. Sarjakoot tyhjiömuovauksessa ovat yleensä kymmenistä kappaleista tuhansiin (10, s.122). Näin pieniä sarjoja ei yleensä kannata kustannussyistä valmistaa ruiskupuristamalla (16, s. 122). Lämpö- ja tyhjiömuovaus tuotteiden muotit ovat huomattavasti edullisempia kuin ruiskuvalukappaleiden. (10, s. 191–192.)

Tyhjiömuovauksen etuja ovat alhaiset muottikustannukset, muotin korjausmahdollisuus, lopputuotteen hyvä pinnanlaatu ja ulkonäkö sekä edulliset pienten sarjojen valmistuskustannukset. Huonoja puolia ovat suuri materiaalihukka, levyjen korkeat kustannukset, suuri käsityön osuus ja muovilevyn kutistuminen. (16, s. 122–123.)

Seuraavaksi on listattu kriittisiä asioita, jotka pitää huomioida suunniteltaessa tyhjiömuovattavaa kappaletta:

- Pyöristyksessä pienin säde on levyn paksuus.
- Maksimi vetosyvyys on kappaleen pienin ulkomitta.
- Päästökulmat positiiviselle muotille ovat 2–4 astetta ja negatiiviselle muotille 0–2 astetta.
- Muovattavan kappaleen suurin koko määräytyy tyhjiömuovauskoneen mukaan. (16, s. 123.)

## **4.7 Koneistus**

Muovituotteita voidaan valmistaa myös koneistamalla. Muovin työstössä voidaan käyttää samoja laitteita kuin puun tai metallinkin työstössä. Tärkeää on kuitenkin, ettei lämpötila nouse pehmenemislämpötilan yläpuolelle. Työstömenetelmiä ovat muun muassa: sorvaus, jyrsintä, poraus, höyläys, hionta ja kiillotus. Leikkaukseen käytetään lisäksi sahausta, vastuslanka-, vesisuihku- ja ultraäänileikkausta. (16, s. 130–134.)

## **4.8 Muoviosien työstömenetelmien vertailu ja valinta**

Seuraavaksi vertaillaan lastuavan työstön, lämpö- tai tyhjiömuovauksen ja ruiskuvalun hyviä ja huonoja puolia. Kaikki materiaalit eivät kuitenkaan sovellu kaikille työstömenetelmille. Taulukossa 5 on vertailtu useilla kriteereillä erilaisia menetelmiä. Taulukko osoittaa eri menetelmien hyvät ja huonot puolet.

TAULUKKO 5. Työstömenetelmien vertailu (10, s. 203)

	Lastuava työstö	Lämpö- muovaus	Ruiskuvalu
<i>Tuotannon aloittamisen nopeus</i>	++	+	--
<i>Aloittamisen hinta</i>	++	+	--
<i>Tuotantonopeus</i>	--	+	++
<i>Tuotantohukka ja sen kierrätys</i>	--	+	++
<i>Värivaihtoehdot</i>	--	-	++
<i>Pinnanlaatu ja toleranssit</i>	-	+	++
<i>Muutosten tekeminen kappaleeseen</i>	++	+	--
<i>Kappaleen koko</i>	+	++	-
<i>Kappaleen muoto</i>	-	--	+
<i>Raaka-aineen hinta</i>	-	-	+
<i>Raaka-aineen mekaaninen kestävyys</i>	++	++	-
<i>Raaka-aineiden käsittely</i>	--	--	+

Tuotanto on nopeinta aloittaa lastuavalla työstöllä. Lämpömuovaus ja ruiskuvalu vaativat muotin valmistuksen. Muotin valmistus lämpömuovaukseen kestää noin pari viikkoa ja ruiskuvaluun noin kahdeksan viikkoa. Lämpömuovausmuotin hinta on tuhansista euroista kymmeneen tuhansiin, kun taas ruiskuvalumuotti saattaa maksaa jopa satoja tuhansia euroja. (10, s. 201.)

Muotin hinta tulee ruiskuvalun esteeksi tuotannon alkuvaiheessa, sillä yrityksen ja tuotannon alkuvaiheessa ruiskuvalumuotti olisi liian suuri investointi. Myyntimäärät uudella tuotteella ovat ensimmäisinä vuosina vaatimattomia ja tuotekehityskustannukset ovat suuria. Arvioidaan ensimmäisten vuosien myyntimää-

räksi noin 500 tuotetta vuodessa, jolloin kannattavin vaihtoehto kuoren valmistusmenetelmäksi on tyhjiömuovaus. Ne osat, jotka eivät sovellu tyhjiömuovattaviksi, valmistetaan koneistamalla.

Muovatut ja koneistetut tuotteet tehdään puolivalmisteista, kun taas valetut kappaleet tehdään suoraan granulaatista. Sen vuoksi muovatun ja työstetyn kappaleen materiaalikustannus on noin 50 % suurempi kuin ruiskuvaletun kappaleen. (10, s. 201.)

Ruiskuvalu on mittatarkka tapa valmistaa, ja lisäksi se antaa vapauksia kappaleen muotojen suunnitteluun. Lämpömuovauksen voidaan jossain määrin muotoilla ja kuvioda, mutta ruuvikierteet ja ontot kappaleet vaativat aina lisätyöstöä. (10, s. 202.)

Suuret kappaleet soveltuvat parhaiten lämpömuovaukseen. Ruiskuvalun muottinvestointi kasvaa isoilla kappaleilla kohtuuttoman suureksi, ja lisäksi isojen ruiskuvalutuotteiden valmistamiseen tarvitaan sulkuvoimaltaan erittäin massiivinen kone. Lastuava työstö ei rajoita kappaleen kokoa, mutta monimutkaiset muodot lisäävät hintaa. (10, s. 202.)

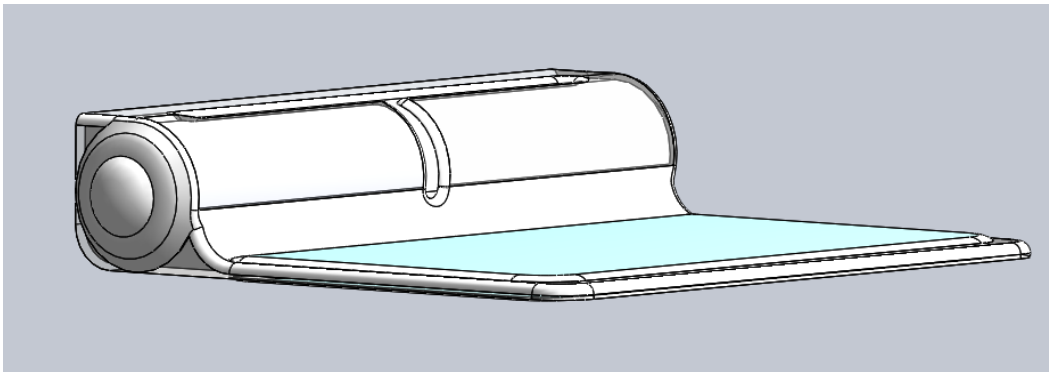
Kokonsa ja muotojensa puolesta kuoriosat kannattaa valmistaa jatkossakin lämpö- tai tyhjiömuovaamalla. Tuotantomäärien noustessa, koneistettavat osat kannattaa tehdä ruiskupuristamalla. Tuotantomäärien pitää nousta kuitenkin niin suureksi, että muotin yksikkökustannus tuotetta kohti laskee koneistuskustannuksia pienemmäksi. Siirryttäessä ruiskupuristukseen, kannattaa tarkistaa ja korjata osien piirustukset paremmin ruiskupuristukseen soveltuvaksi. Ruiskupuristamalla osat voidaan suunnitella vähemmällä määrällä materiaalia ja muodoista voidaan tehdä monimutkaisempia kustannusten juurikaan kasvamatta.

## 5 RAKENNE

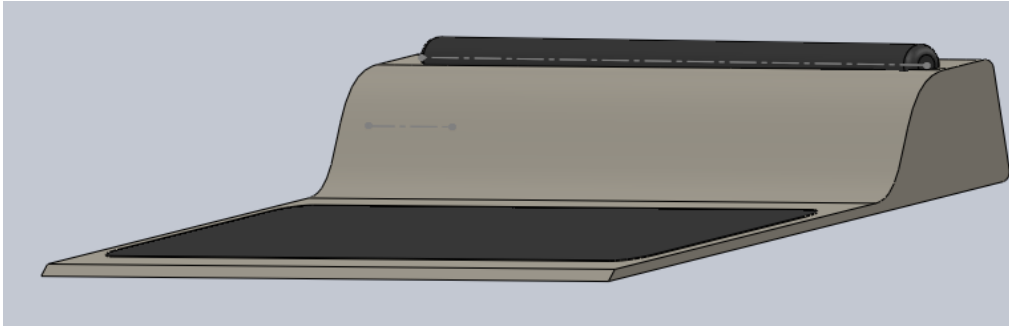
Tässä luvussa on suunniteltu Weela-kuntolaitteen rakenne muotoilijoiden tekemän mallin mukaisesti. Lisäksi luvussa on suunniteltu laitteen mekaniikka ja yksityiskohdat sekä tehty lujuuslaskelmat kriittisimmille osille. Kuntolaitteen suunnittelussa on huomioitu tilaajan ja fysioterapeuttien vaatimukset ja luvussa 2 tehty analyysi Gullstenin prototyypin parannettavista asioista.

### 5.1 Lähtökohta

Muotoilijaopiskelijat tekivät Weelalle design-suunnittelun, johon fysioterapiaopiskelijat antoivat omat arvionsa ja vaatimuksensa treenaajan näkökulmasta. Vaatimuksena oli, että kuntoilijan pitää pystyä olemaan mahdollisimman lähellä lattiapintaa, jolloin ei ole vaaraa loukata itseään. Lisäksi toivomuksena oli, että laitetta pystyisi jossain määrin käyttämään ilman, että kuntoilija seisoo koko painollaan laitteen päällä. Muotoilijat ideoivat kuvien 6 ja 7 mukaiset mallit, jotka toimivat suunnittelun lähtökohtina



*KUVA 6. Muotoilijoiden ideoima 3D malli Weelasta*



*KUVA 7. Toinen muotoilijoiden ideoima 3D malli Weelasta*

Weelan ulkokuoren sisälle täytyi suunnitella mekaniikka niin, että käyttäjä, valmistettavuus, kestävyys ja tuotteen hinta huomioitiin. Tuotetta alettiin suunnitella valmistuksen ja kokoonpanon kannalta niin, että se olisi mahdollisimman halpa valmistaa. Sen saavuttamiseksi tuote pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman pienestä määrästä osia ja osien kokoonpano niin, että tuote pystyttiin kokoamaan samasta suunnasta ilman turhaa osien pyörittelyä (17, s. 71–72).

## **5.2 Ideointi**

Tuotetta lähdettiin ideoimaan tekemällä vaatimuslista asioista ja ominaisuuksista, mitkä laitteen tulisi sisältää. Tilaajan toimesta vaatimuksia ei laitteelle juurikaan tullut, joten vaatimuslistaa varten haastateltiin fysioterapeutteja, joilta saatiin tuotteelle lisävaatimuksia. Loput vaatimuksista päätettiin miettimällä laitetta käyttäjän näkökulmasta. Vaatimukset muutettiin spesifikaatioiksi. Ne on lisätty taulukkoon 6.

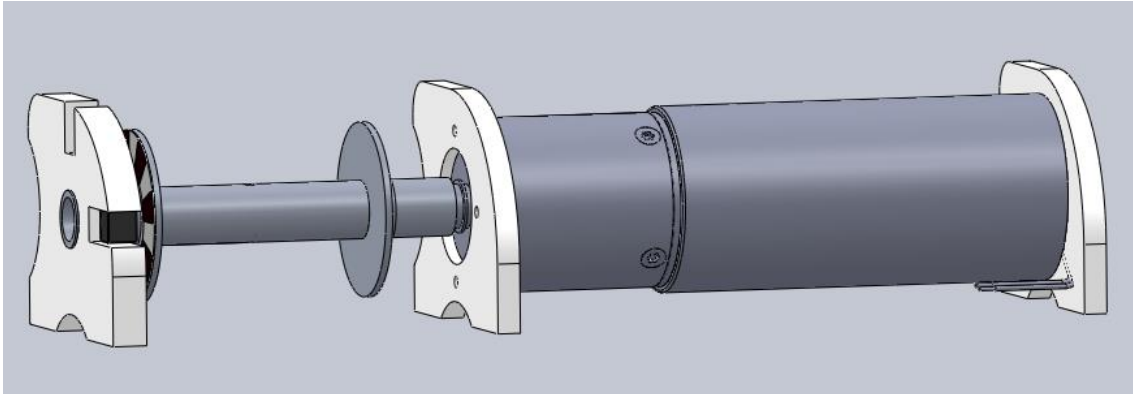
TAULUKKO 6. Vaatimuslista ja spesifikaatio

Määrittelijä(t)	Vaatimus	Spesifikaatio
Fysioterapeutit	Kuntoilija on mahdollisimman lähellä lattiaa	Kuntoilijan etäisyys lattiasta saa olla enintään 20 mm
Tilaaja	Tuotte on ulkomuodoltaan tyylikäs	
Suunnittelija	Laite on helposti irrotettava telineestään	Käyttäjä irrottaa ja asentaa laitteen minuutissa
Tilaaja	Tuote on halpa valmistaa	Tuotteen valmistus saa maksaa enintään 500€
Suunnittelija	Tuotteen on oltava kevyt	Maksimipaino laitteella on 10kg
Tilaaja	Laite on oltava siirrettävissä	Kiinteiden kiinnityksien määrä 0
Tilaaja	Laitteen on mahdollista sängyn alle piiloon	Laite saa olla maksimissaan 20 cm korkea
Suunnittelija	Narun on oltava riittävän pitkä erilaisille kuntoliik-keille	Vetonarun pituuden on oltava vähintään 2,5 m

Laitteen toiminnan tai ulkonäön kannalta merkittäviä asioita ovat moottoriyksikkö, laitteen kuori, laitteen runko, lattia- ja seinäteline sekä telineen ja rungon välinen kiinnitys. Niiden suunnittelussa on ehdottoman tärkeää huomioida valmistusmenetelmä sekä valmistettavuus. Koneistettavien osien suunnittelussa monimutkaisia muotoja on syytä välttää, mikäli ne eivät tuo tuotteelle valmistuskustannusta suurempaa lisäarvoa (10, s. 202). Tuotetta suunnitellessa pitää välttää kustannusten osioptimointia ja keskittyä kokonaiskustannusten alentamiseen.

### 5.3 Moottoriyksikkö

Laitteen mekaanisen toiminnan kannalta tärkein osa-alue on moottoriyksikkö. Se pitää sisällään moottorin, vaihteen, kelain akselin ja asennon tunnistuksen ja niiden tuennat. Osat ovat näkyvillä kuvassa 8. Kaikki nämä osat jäävät piiloon kuoren sisään, joten niiden ulkonäöllä ei ole merkitystä.



*KUVA 8. Moottoriyksikkö*

Tuennat suunniteltiin niin, että moottoriyksikön lisäksi ne tukisivat myös laitteen koteloa. Niiden ulkomuodot ovat kaikilla samanlaiset, mikä helpottaa valmistusta. Tukiin tehtiin ylimääräisiä reikiä jäähdytyksen ja johtojen läpiviennin takia. Jos valmistusmäärät nousevat niin suuriksi, että siirrytään käyttämään ruiskupuristustekniikkaa, kannattaa materiaalin säästämiseksi tukia keventää. Vielä sitä ei kannata tehdä, koska se lisäisi vain ylimääräisiä työvaiheita koneistukseen, eikä säästäisi materiaalia.

Akseli valmistetaan alumiinista, mutta muut osat tehdään muovista. Jos testauksessa näyttää, että narun kitkasta syntyvä lämpö sulattaa kelainpyörien muovia, voidaan niiden sisäsyryjiin lisätä metalliset aluslaatat.

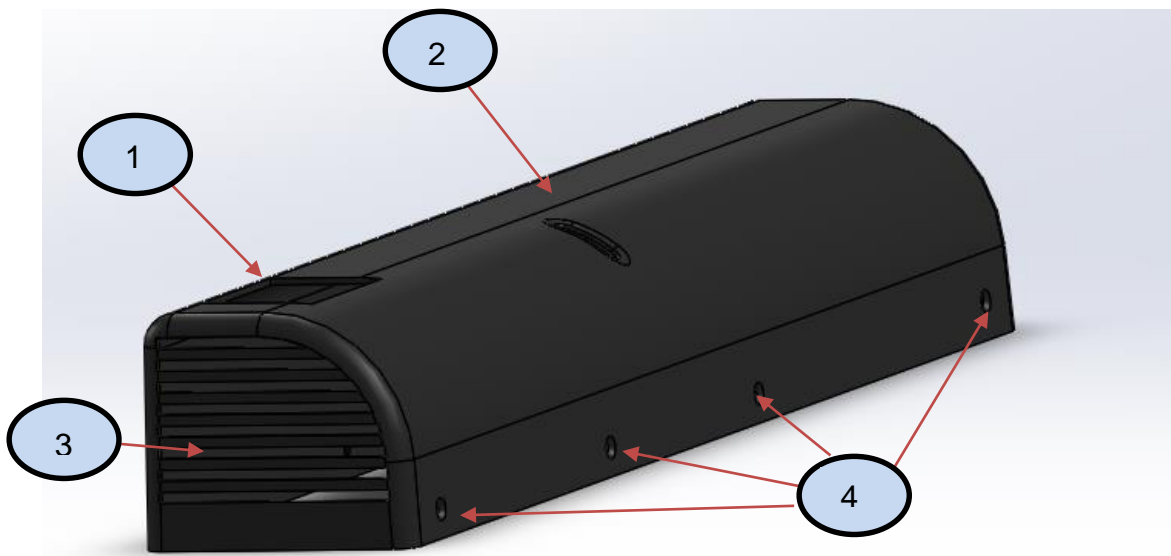
### 5.4 Kuori

Kuori antaa laitteelle ulkomuodot sekä suojaa laitteen elektroniikkaa. Kuori suunniteltiin muotoilijoiden näkemysten mukaan. Kuoren materiaali on muovi, sillä se on helposti muotoiltavissa ja edullinen valmistaa (16, s. 20–21). Vaihtoehtona kuorimateriaaliksi oli myös alumiini, mutta se on materiaalina kalliimpaa

ja hankalampi työstää. Muovit johtavat huonosti sähköä ja lämpöä, mikä parantaa käyttäjän turvallisuutta mahdollisessa vikatilanteessa (16, s. 20). Kuori on suunniteltu valmistettavaksi tyhjiömuovaus tekniikalla.

Kuoren valmistukseen mietittiin muutamia vaihtoehtoja. Tyhjiömuovaus mahdollistaa monimuotoiset tuotteet, joten kuori päätettiin tehdä yhdestä osasta. Kuori kiinnitetään ruuveilla moottoriyksikön tukiin. Huonona puolena tässä tavassa on, että ruuvien kannat jäävät näkyviin. Mikäli tuotteen valmistusmäärät nousevat tuhansiin kappaleisiin vuodessa, on kannattavaa valmistaa kansi ruiskupuristamalla. Silloin liitokset voidaan tehdä napsautusliitoksilla ilman näkyviä ruuveja.

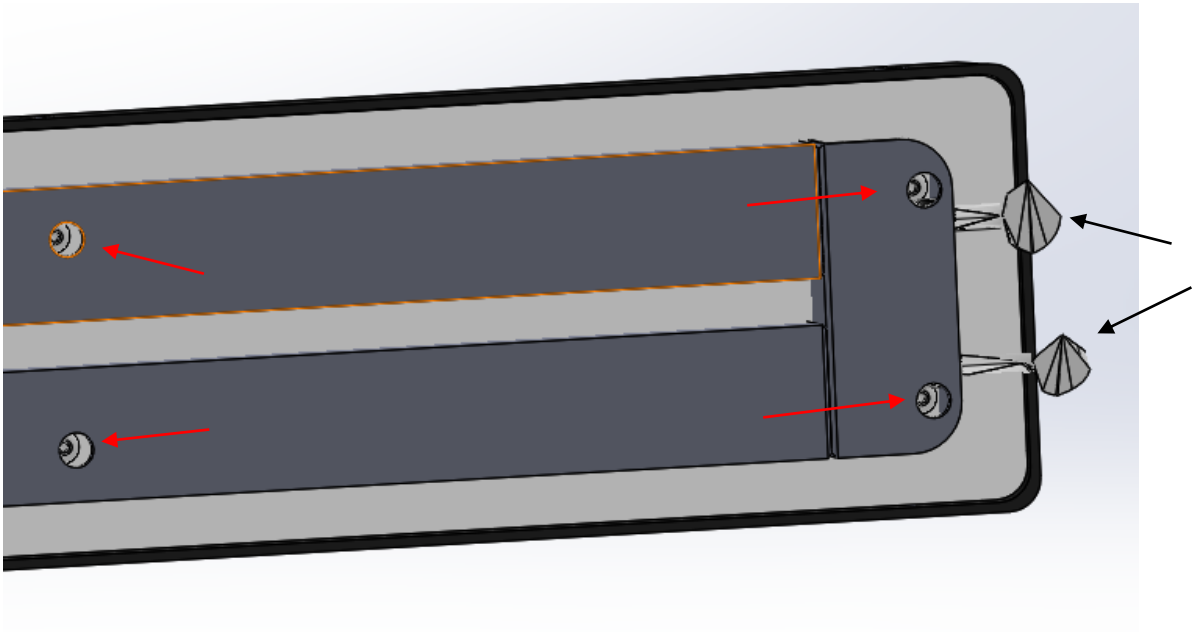
Kuvassa 9 on lopullinen kuori. Numerolla 1 on merkitty kosketusnäytön paikka kuoressa. Numero 2 näyttää vetokidan, jonka läpi vetonaru liikkuu. Numero 3 näyttää tuuletusraot, jonka kautta moottorin ja elektronikan tuottama hukkalämpö pääsee pois. Tuuletusraot ovat laitteen molemmissa päädissä. Numero 4 osoittaa kiinnitysruuvien paikkoja, joista kuori kiinnitetään laitteen tukiosiin. Kiinnitysruuvit tulevat myös kuoren takapuolelle.



*KUVA 9. Laitteen kuori*

## 5.5 Tukirunko

Kuntolaitteen rungon tehtävänä on ottaa vastaa laitteeseen kohdistuva rasitus, sillä laitteeseen kohdistuvat voimat ovat suuria, eikä muovinen kuori niitä yksin kestäisi. Runko toimii myös kiinnitysalustana laitteen ja telineiden välillä. Runko-rakenne vaihtoehtoja oli neliö- tai pyöröputkirunko sekä L-profiilirunko. Lopulta rungoksi valittiin suorakaideputkesta hitsattu profiili, sillä se on helppo kiinnittää sekä laitteeseen että telineeseen. Runko kiinnitetään ruuveilla moottoriyksikön tukiin. Kiinnitykset on merkattu kuvaan 10 punaisilla nuolilla. Mustat nuolet rungon sivussa osoittavat kiinnitysruuveja, joilla laite kiinnitetään telineeseen.



KUVA 10. Tukirunko laitteen pohjassa

Kokoonpanovaiheessa ruuvien kohdistaminen olisi helpompaa, mikäli rakenteessa olisi vain yksi seinämä. Tämän epäkohdan korjaaminen olisi mahdollista käyttämällä pursotettua alumiiniprofiilia. Mikäli valmistusmäärät nousevat suureksi, on kannattavaa siirtyä pursotettuun runkoon. Kuvassa 11 lasten leikkipuis-ton kiikkulaudan tukirakenne, joka toimii esimerkkinä pursotetusta rungosta. Samantapainen profiili toimisi myös Weelan rungona.



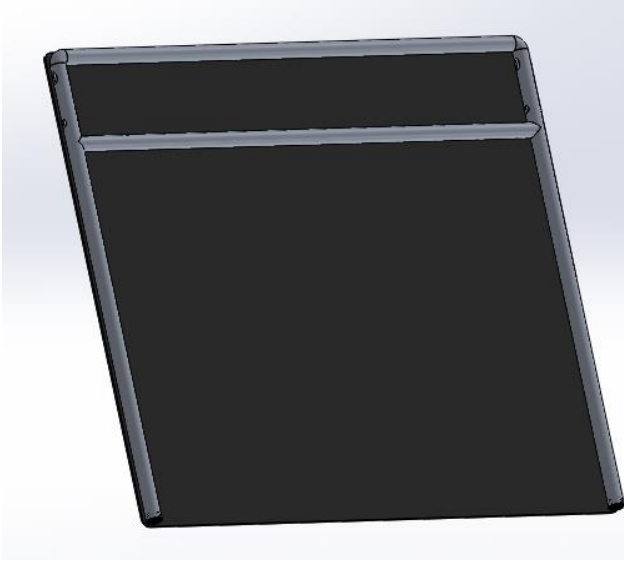
*KUVA 11. Esimerkki pursotetusta alumiiniprofiilista*

## **5.6 Kiinnitys**

Laitteen ja telineen välinen kiinnitys on merkittävä tekijä kokonaisuutta, sillä laite on oltava irrotettavissa. Erilaisia vaihtoehtoja kiinnitykselle oli useita, mutta lopulta päädyttiin valitsemaan siipiruuvikiinnitys. Valintaa puolsivat sen tukevuus, luotettavuus, kiinnityksen helppous ja sen edullinen toteutus. Ennen kaikkea kiinnityksen on oltava turvallinen, jotta laite ei pääse irtoamaan kesken kuntoilun. Heikkoutena siipiruuvikiinnityksessä on, että se vie enemmän aikaa kuin erilaiset pikakiinnikkeet ja salpalukitukset. Laitetta ei tarvitse kuitenkaan irrottaa ja kiinnittää kovin useasti, joten kiinnityksen nopeus ei ollut kovin painava seikka valinnassa. Kiinnitystavan valinnassa huomioitiin myös se, että laitteen voi kiinnittää samalla tavalla erilaisiin telineisiin.

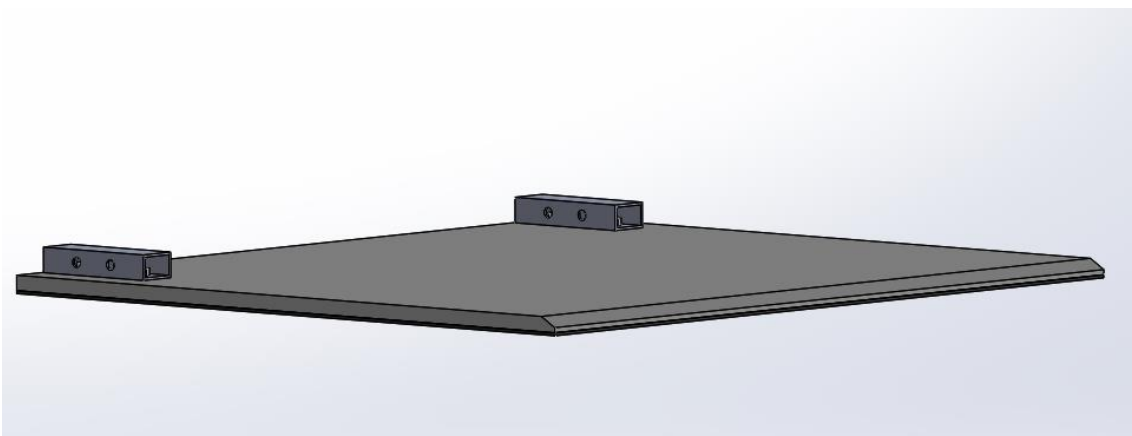
## **5.7 Lattia- ja seinäteline**

Lattiatelineen tehtävänä on pitää laite paikallaan. Ilman kuntoilijan painovoimaa se ei kuitenkaan onnistu, joten käyttäjän täytyy olla kuntoillessa laitteen päällä. Telineeksi mietittiin kuvan 12 mukaista alumiinirunkoista mallia, jossa alumiiniputket kiertäisivät telineen reunoissa, pohjassa olisi kumimatto ja sen päällä muovilevy jäykisteenä.

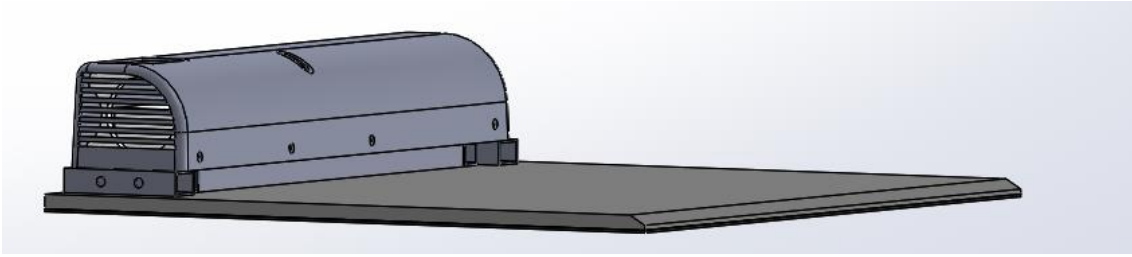


*KUVA 12. Alumiinirunkoinen lattiateline*

Lopulta telinettä päätettiin yksinkertaistaa jättämällä alumiinirunko kokonaan pois. Tällöin alumiiniputket eivät tule kuntoilijan tielle, jolloin kuntoilijalla on enemmän tilaa liikkua. Muovilevyn paksuutta kasvatettiin, jolloin se toimii samalla tukirunkona. Materiaalina käytetään jäykkää PA 6-muovia. Levyn päälle kiinnitetään kuvassa 13 näkyvät suorakaiteen muotoiset kiinnikkeet, joihin laite asennetaan. Kiinnitys tapahtuu siipiruuveilla. Kuvassa 14 on Weela kiinnitettynä lattiatelineeseen.



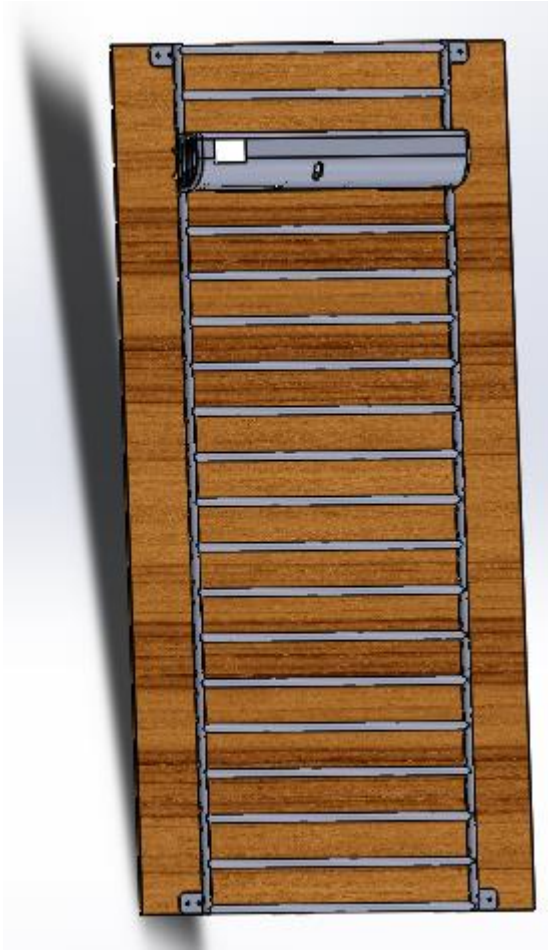
*KUVA 13. Muovinen lattiateline*



*KUVA 14. Weela lattiatelineessä*

Mikäli lattiatelineen jäykkyys todetaan testauksessa riittämättömäksi, voidaan sitä jäykistää lisäämällä jäykisterautoja tai tekemällä rakenteesta kennomainen. Kennomainen teline tehtäisiin esimerkiksi kiinnittämällä kaksi 5 mm paksua PA 6-levyä päällekkäin ja niiden väliin polyuretaanilevy. Kennomaisella rakenteella telineestä voisi tehdä myös nykyistä keveämmän. Liitteenä 7 on lattiatelineen ja Weela-laitteen kokoonpanopiirustus.

Kuvan 15 mukaisessa seinätelineessä käytettynä Weelasta saadaan huomattavasti monipuolisempi, sillä vetosuunta voidaan säätää tulemaan ylhäältä, kohtisuoraa tai alhaalta. Laite voidaan irrottaa ja asentaa neljällä siipiruuvilla, jotka kiinnitetään laitteen molemmista päädyistä telineeseen. Laite voidaan asentaa halutulle korkeudelle seinätelineen poikkiputkien väliin.



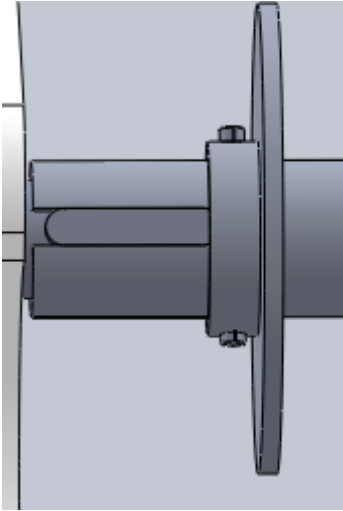
*KUVA 15. Weelan seinäteline*

Seinätelineen heikkous on kuitenkin se, että se on asennettava aina kiinteästi seinään. Laitte kiinnitetään seinätelineeseen samalla tavalla kuin lattiatelineeseenkin. Seinätelineen korvaajaksi voisi jatkossa suunnitella esimerkiksi ovenkarmeihin kiinnittyvän telineen, jossa laitteen kiinnityskohtaa voisi muuttaa. Laitteen kiinnitys pitäisi kuitenkin saada varmatoimiseksi.

### **5.8 Akselin kiinnitys moottoriin**

Gullstenin prototyypissä akselin ja moottorin väliin koneistettiin kytkin, joka välitti voiman moottorilta akselille. Kytkimen pidätinruuvit eivät kuitenkaan pitäneet tarpeeksi, vaan aika-ajoin ruuvit löystyivät, jolloin moottori alkoi pyöriä tyhjä.

Luistamisongelma vältetään jättämällä kytkin kokonaan pois. Akseli liitetään kuvan 16 mukaisesti suoraan moottorin akselille ja voima välitetään kiilan välityksellä.



*KUVA 16. Kiila välittää voiman akselille*

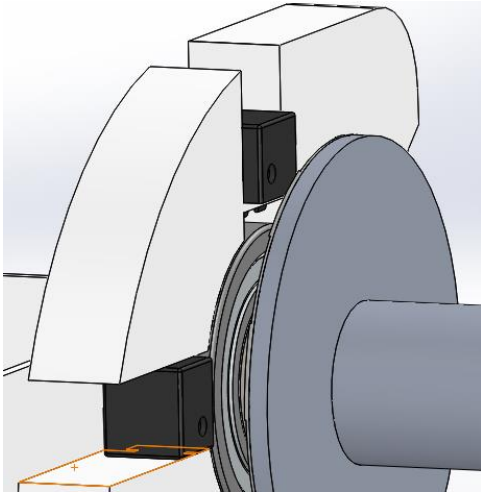
## **5.9 Asennontunnistus**

Gullstenin prototyypissä asennon tunnistukseen käytettiin kahta heijastustunnistinta (liite 4) ja heijastinkiekkoa. Heijastinkiekkoo on jaettu mustiin ja valkoisiin alueisiin. Musta väri imee valoa ja valkoinen heijastaa valoa takaisin. Kaksi tunnistinta tarvitaan, jotta nopeuden lisäksi myös pyörimissuunta voidaan havaita. Tunnistin on halpa ja toimiva ratkaisu. Sen heikkoutena on kuitenkin lyhyt tunnistusmatka, joten tärkeää on suunnitella kiinnitykset huolella, jotta anturin ja kiekon välimatka ei vaihtele laitetta käytettäessä.

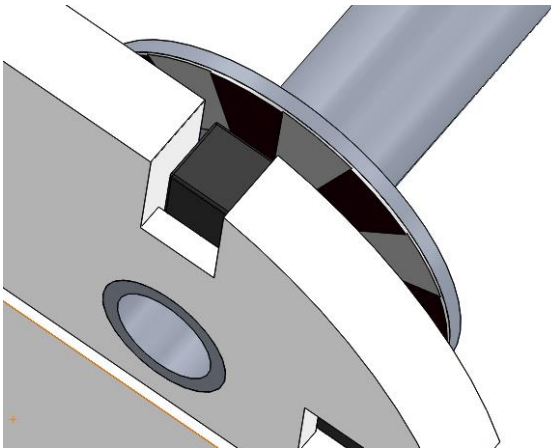
Tähän työhön asennontunnistukseen oli myös toinen halpa vaihtoehto, lukuhaarukka. Sen toiminta perustuu siihen, että haarukan välissä kulkee valo, jonka kulun akselilla oleva reikäkiekko pyöriessään katkaisee. Näitäkin tarvittaisiin kaksi, jotta pyörimissuunta voitaisiin havaita.

Laitteen asennontunnistimiksi valittiin heijastustunnistimet ja heijastin kiekko, koska se on jo aikaisemmin todettu toimivaksi ratkaisuksi. Lisäksi tunnistimien kiinnitys on helppo tehdä akselin tukeen. Vielä tuotannon alkuvaiheessa, kun

tuot valmistetaan koneistamalla, kiinnitys tuottaa hieman lisätyötä. Ruiskupuristukseen siirryttäessä eivät kiinnityspaikat tuo lisähintaa. Heijastintunnistimet kiinnitetään napsausliitoksilla akselin tukeen. Kiinnityksen pitävyyttä voidaan vielä varmistaa liimaamalla. Kuvissa 17 ja 18 näkyy heijastuskiekkon ja -tunnistimien sijoittuminen laitteessa.



*KUVA 17. Heijastustunnistimet*



*KUVA 18. Heijastinkiekkotarra liimattuna kelainpyörään*

### **5.10 Standardiosat**

Käyttämällä mahdollisimman paljon valmiita osia säästetään sekä valmistus- että suunnittelukustannuksissa. Yleensä ei kannata suunnitella osaa, joka on

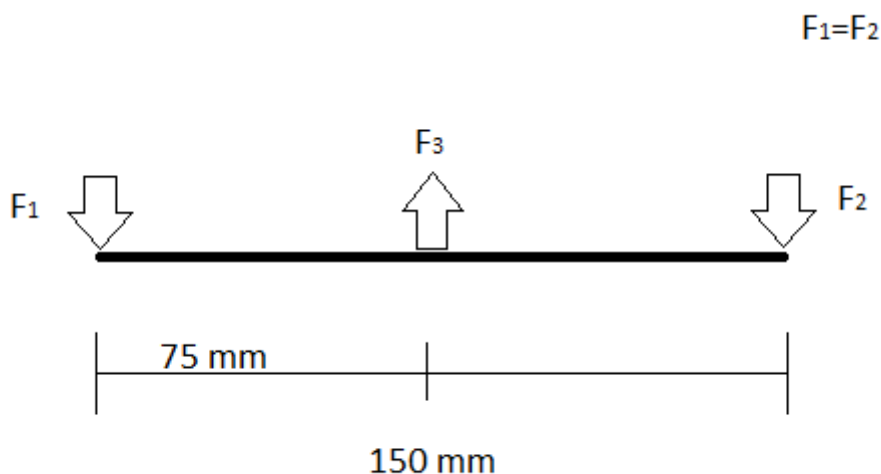
ostettavissa luettelon perusteella (17, s. 102). Weelassa moottori, laakerit, kiinnitysosat, heijastinanturit ja vetonaru ovat osto-osia.

## 5.11 Lujuustarkastelut

Tehdään lujuustarkastelut kriittisimmille laitteen kriittisimmille paikoille, jotta voidaan varmistua osien kestävydestä. Käytetään varmuuslukuna kaikissa laskuissa yleisesti koneenrakennuksessa käytettyä varmuuslukua 1,5.

### 5.11.1 Akselin lujuustarkastelu

Lasketaan, kestäkö akseli moottorin tuottaman vastusvoiman, kun veto kohdistuu akselin keskeltä kohtisuoraa ylöspäin. Akseli on kiinnitetty molemmista päistä. Voimien kohdistuminen akseliin on havainnollistettu kuvassa 19.



KUVA 19. Akseliin kohdistuvat voimat

Moottorin tuottama maksimivoima on noin 1 800 N, joten  $F_3 = 1\ 800$  N. Vastavoimat jakaantuvat tasaisesti molempiin reunoihin, koska moottorin voima kohdistuu akselin keskelle, joten  $F_1 = F_2 = 900$  N. Taivutusjännitys lasketaan kaavalla 11. (18, s. 439.)

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W}$$

KAAVA 11

$\sigma$  = taivutusjännitys (N/mm<sup>2</sup>)

$W$  = taivutusvastus (mm<sup>3</sup>)

Momentin maksimi arvo ( $M_{\max}$ ) sijaitsee akselin molemmissa päissä. Momentin suuruus lasketaan kaavalla 2.

$$M = Fr = 900 \text{ N} \cdot 0,075 \text{ m} = 67,5 \text{ Nm}$$

Taivutusvastusarvo pyöreälle putkelle saadaan kaavalla 12.

$$W = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16D} \quad \text{KAAVA 12}$$

$D$  = putken ulkohalkaisija (mm)

$d$  = putken sisähalkaisija (mm)

Akselin taivutusvastusarvo lasketaan kaavalla 12.

$$W = \left( \frac{\pi \cdot (25^4 - 20^4)}{16 \cdot 25} \right) \text{ mm}^3 = 1810 \text{ mm}^3$$

Akselille kohdistuva taivutusjännitys saadaan laskettua kaavalla 11.

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{67\,500 \text{ Nmm}}{1810 \text{ mm}^3} = 37,3 \text{ N/mm}^2$$

Alumiiniputkelle 6063 0,2 % myötöraja on 130 N/mm<sup>2</sup>, kun seinämän vahvuus on alle 3 mm (liite 5). Varmuusluku voidaan laskea kaavalla 13. (18, s. 454.)

$$n_v = \frac{\sigma_{sall}}{\sigma} = \frac{130 \text{ N/mm}^2}{37,3 \text{ N/mm}^2} = 3,4 \quad \text{KAAVA 13}$$

$\sigma_{sall}$  = sallittu taivutusjännitys (N/mm<sup>2</sup>)

$n_v$  = varmuusluku

Varmuusluku 3,4 > 1,5, eli akseli kestää hyvin moottorin aiheuttaman vastusvoiman.

### 5.11.2 Laitteen ja telineen välisten kiinnitysten kestävyys

Tarkistetaan, kestävätkö esivalitut M8 ruuvit niihin kohdistunutta rasi-  
tusta. Leikkausvoima saadaan laskettua kaavalla 14 (19).

$$F_L = \frac{F}{x \cdot \mu} \quad \text{KAAVA 14}$$

$F_L$  = leikkausvoima (N)

$x$  = ruuvien lukumäärä (kpl)

$\mu$  = kitkakerroin

Yleinen kitkakertoimen mitoitusarvo on 0,15 (19). Sijoittamalla luvut kaavaan 14 saadaan leikkausvoima.

$$F_L = \frac{1800 \text{ N}}{4 \cdot 0,15} = 3000 \text{ N}$$

Liitoksen puristeväli lasketaan kaavasta 15.

$$L_k = D + s = 25 \text{ mm} + 8,5 \text{ mm} \quad \text{KAAVA 15}$$

$L_k$  = puristeväli

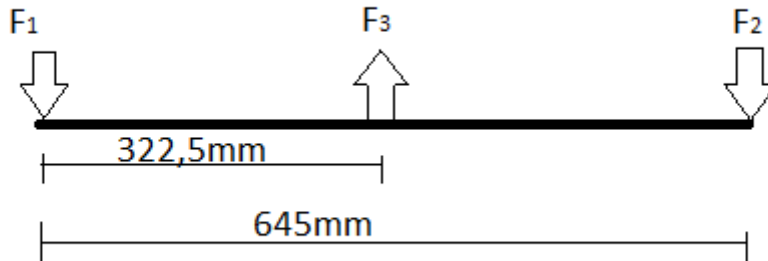
$s$  = kierteen pituus

Liitoksen painuma saadaan kun yhdistetään kierteiden painuma ja liitospintojen painuma. Kierteiden painuma on yleensä 0,005 mm (19). Liitoksen painuma on 0,008 mm. Se on saatu liitteenä 7 olevasta kuvaajasta, kun liitosten lukumäärä on 2 ja pinnankarheus < 4  $\mu\text{m}$ . Yhteensä painuma on siis 0,013 mm.

Ruuviliitosten mitoitusnomogrammista (liite 6) nähdään, että M8 on riittävä. Laitteen mitoitus on piirretty nomogrammiin punaisella viivalla. Nomogrammissa alhaalla ensimmäisenä kohtana on liitosten painuma  $\Delta L$ , sen jälkeen liitoksen puristeväli  $L_k$ . Nomogrammissa mennään 8.8 ruuvien kohdalle, josta vedetään suora viiva oikealle. Nomogrammin reunasta vedetään viiva kuormittavan voiman kohdalle, jolloin viiva näyttää tarvittavan pultin koon.

### 5.11.3 Laitteen rungon kestävyys

Tarkistetaan laskemalla, ettei laitteen pitkän sivun tukiin tule muodonmuutoksia moottorin voimasta. Kuvasta 20 nähdään runkoon kohdistuvat voimat.



KUVA 20. Runkoon kohdistuvat voimat

Runkoon kohdistuva taivuttava voima  $F_3$  on moottorin tuottama kokonaisvoima eli 1 800 N:a. Runkoon tulee kaksi poikittaista runkoputkea, joiden kesken voima jakaantuu, joten taivuttava voima yhdelle runkoputkelle on maksimissaan 900 N:a. Kiinnityspisteet ovat rungon molemmissa päissä, joten kiinnityspisteisiin  $F_1$  ja  $F_2$  kohdistuu molempiin 450 N:n voima. Suurin momentti syntyy rungon keskelle. Momentin arvo lasketaan kaavalla 2.

$$T = 450 \text{ N} \cdot 322,5 \text{ mm} = 145\,125 \text{ Nmm}$$

Taivutusvastus rungon suorakulmioputkelle, jonka mitat ovat 25 mm x 40 mm x 2,5 mm, saadaan laskettua kaavalla 16.

$$W = \frac{I}{y_{max}}$$

KAAVA 16

$I$  = neliömomentti ( $\text{mm}^4$ )

$y_{max}$  = suurin etäisyys painopisteakselilta (mm)

Neliömomentti  $I$  saadaan symmetriselle kappaleelle laskettua kaavasta 17.

$$I_z = \frac{\text{leveys} \cdot \text{korkeus}^3}{12} - \frac{\text{reiän leveys} \cdot \text{reiän korkeus}^3}{12}$$

KAAVA 17

Sijoittamalla arvot kaavaan 17 saadaan neliömomentti arvoksi

$$I_z = \left( \frac{40 \cdot 25^3}{12} - \frac{35 \cdot 20^3}{12} \right) \text{mm}^4 = 28\,750 \text{mm}^4$$

Painopistekseli sijaitsee putken keskellä, koska putki on symmetrinen. Suurin reunaetäisyys on 12,5 mm. Kaavasta 15 saadaan laskettua taivutusvastus  $W$ .

$$W = \frac{28\,750 \text{mm}^4}{12,5 \text{mm}} = 2\,300 \text{mm}^3$$

Taivutusvastuksen ja momentin avulla saadaan kaavalla 11 laskettua taivutusjännitys.

$$\sigma = \frac{145\,125 \text{Nmm}}{2300 \text{mm}^3} = 63,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Varmuusluku lasketaan kaavalla 13.

$$n = \frac{130 \text{N/mm}^2}{63,09 \text{N/mm}^2} = 2,1 > 1,5$$

Saatu varmuusluku on suurempi kuin pienin sallittu varmuusluku, joten runko kestää maksimitaivutuksen.

## 6 VALMISTUS JA KUSTANNUKSET

Laitteen kustannusrakenteen selvittämiseksi tehtiin pääosista hintaselvitykset. Hintaselvitysten yhteyteen liitettiin kaikista muovi- ja alumiiniosista piirustukset päämitoilla. Osa yrityksistä pyysi myös tarkennuksia osista, jotta ne pystyisivät ottamaan valmistuksen huomioon tarjouksissaan. Hintaselvityksillä saatiin selville komponenttien hinnat, mutta niillä saatiin myös varmuus siitä, että ne on mahdollista valmistaa.

### 6.1 Moottori ja vaihde

Moottori ja vaihde ovat laitteen kalleimmat komponentit. Yritys A teki tarjouksen GR 80 x 80 -moottorista planeettavaihteella PLG 75. Yksikköhinta tälle on 350–400 €, mutta hinnat pienenevät eräkoon kasvaessa. 500 kappaleen erässä yksikköhinta on noin 40 % halvempi. Yritys A tuo maahan Dunkermotorin moottoreita. Pienet erät kannattaakin tilata yritys A:n kautta, jolloin maahantuojaan tuotevastuu jää sille mahdollisessa vika- tai riitatilanteessa. Suuria eriä ostattaessa on järkevää selvittää mahdollisuus tilata moottorit ilman välikäsiä suoraan Dunkermotorenilta.

Kustannusten pienentämiseksi olisi järkevää etsiä hyvä ja varmatoiminen moottori halpamarkkinoilta, jolloin moottorin voisi saada noin puolet halvemmalla. Jotta hyvä, halpa ja varmatoiminen moottori voidaan löytää, täytyy tilata ensin useita moottoreita ja testata niiden ominaisuuksia ja kestävyyttä.

Alibaban ([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)) verkkosivulla on myynnissä paljon halpamaissa tehtyjä moottoreita, mutta monen moottorin tekniset tiedot ovat puutteellisia. Halpamaista tilattaessa tulee myös valmistajan taustat selvittää sekä ympäristön että ihmisoikeuden näkökulmasta. Valmistajan toimintatapojen pitää olla moraalisesti hyväksyttäviä.

## 6.2 Muoviosat

Muoviosia Weela-laitteessa ovat laitteen kuori, moottorintuet ja laitteen pohja sekä lattiateline. Osille pyydettiin hinta-arvioita eri yrityksistä, ja eri menetelmillä valmistettuna.

### 6.2.1 Hintaselvitys, yritys B

Kuoren kansiosa valmistetaan tyhjiömuovauksella. Tyhjiömuovausta tekevällä yritys B:llä on käytössä laskuri, jolla voi tehdä arvion valmistuskustannuksista. Kustannuksia syntyy muotista, leikkaustyökaluista ja tuotannosta. Hintaan vaikuttaa tuotteen korkeus, leveys ja pituus, materiaalin seinämävahvuus, reikien ja aukkojen lukumäärä sekä materiaali. Laskurin antama hinta on kuitenkin vasta arvio, joka voi vielä muuttua.

Laskurin arvion mukaan muotin hinta on noin 750 €. Muotin arviohintaa voivat muuttaa kappaleen muodot, muotin materiaali ja mahdollinen jäähdytys. Kappale ei kuitenkaan ole muodoiltaan monimutkainen, joten hinta tuskin nousee kovin paljoa. Leikkaustyökaluille, ohjelmoinnille ja asetuksille kertyy hintaa noin 450 €. Tuotantokustannuksiin vaikuttavat muottien määrä ja erien koko. Oletetaan vuodessa menekiksi 500 kappaletta.

Taulukossa 7 on selvitetty kuoren valmistuksesta syntyvä kokonaishinta eri muottimäärillä. Halvimmaksi tulee tehdä tuotteet kahdella muotilla. Silloin kokonaishinta on 10 350 €. Lisäksi asetuksista ja työkaluista tulee kustannuksia 450 €, joten lopullinen hinta on yhteensä 10 800 €. Yksikköhinta on tällöin  $\frac{10\,800\ \text{€}}{500\ \text{kpl}} = 21,6\ \text{€/kpl}$ .

TAULUKKO 7. Muovikuoren tuotantohintavertailu

Muottien määrä	Muottien hinnat yhteensä	Tuotteiden määrä	Yksikköhinta	Hinnat yhteensä
1 kpl	750 €	500 kpl	21,81 €	11 655 €
2 kpl	1500 €	500 kpl	17,70 €	10 350 €
4 kpl	3000 €	500 kpl	15,65 €	10 850 €
8 kpl	6000 €	500 kpl	14,63 €	11 655 €

### 6.2.2 Hintaselvitys, yritys C

Yritys C on Etelä-Suomessa sijaitseva yritys, joka tekee sopimusvalmistuksena tyhjiömuovausta ja muovien koneistusta. Yritys C pystyisi valmistamaan kaikki Weelaan tulevat muoviosat. Hintaselvitys antoi arviohinnat jokaiselle osalle.

Hintaselvitys tehtiin 500 kappaleen valmistuserälle. Tyhjiömuovaus muotin hinta on noin 2 200 €. Työstöohjelmien tekeminen maksaa koneistettaville ja tyhjiömuovattavalle osille noin 150 €/kpl. Osien valmistushinnat vaihtelevat välillä 4–12 €/kpl. Kaikkien muoviosien kokonaishinta (ALV 0 %) on yhteensä noin 21 500 €. Yhden laitteen muoviosien valmistushinta on tällöin yhteensä noin 40 €.

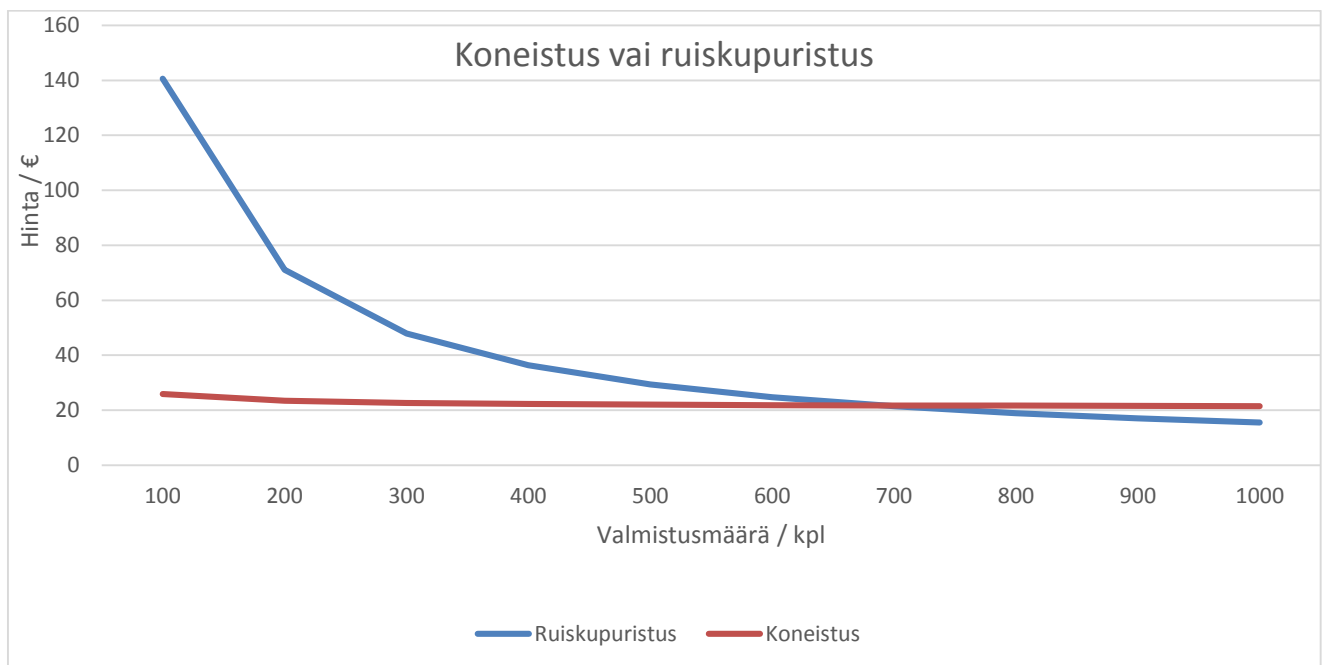
Saatavilla ei ole 10 mm eikä 15 mm ABS-levyä, joten tukiosat valmistettaisiin POM-muovista. Se on hieman kalliimpaa kuin ABS, mutta halvempaa kuin PA6 (20, s. 24 ja 31). POM on myös mekaanisilta ominaisuuksiltaan vahvempaa ja kestävämpää kuin ABS.

### 6.2.3 Hintaselvitys, yritys D

Yritys D valmistaa ja myy omia muovituotteitaan. Lisäksi se tuo maahan teollisuuteen metalli- ja muoviosia sekä tekee sopimusvalmistuksena ruiskuvalutuotteita.

Yritys D teki alustavan hinta-arvion tukiosien valmistuksesta. Moottorin, vaihteen, akselin ja päädyn tukien muotit tulisivat maksamaan 2 300–7 000 € (ALV 0 %) osasta riippuen. Tuotteiden valmistus muottikustannusten jälkeen olisi pieni, vain 0,35–0,40 €/ kpl valmistusmäärän ollessa 500 kappaletta.

Koko 500 kappaleen erän valmistus tulisi maksamaan yhteensä (ALV 0 %) alle 15 000 €. Yhden laitteen tukiosat maksaisivat noin 30 €. Koneistamalla osat yritys C:ssä tulisi samat osat maksamaan yhteensä noin 11 000 €, jolloin yhden laitteen osien hinta olisi noin 20 €. Kuvasta 21 nähdään, että hinnan puolesta on järkevää siirtyä ruiskupuristukseen, kun valmistusmäärä on 700 kappaleen luokkaa.



KUVA 21. Tukiosien valmistushinnat eri menetelmillä

### 6.3 Alumiiniosat

Alumiiniosien, joita ovat tukirunko, lattiatelineen kiinnikkeet ja kelainakseli, valmistuskustannuksista ei tarkkaa arviota saatu lukuisista yhteydenotoista huolimatta. Kuitenkin materiaalien hinta voidaan arvioida prototyypin valmistukseen menneistä materiaalikustannuksista. Koneistushintaa voidaan peilata yritys E:n

ilmoittamaan lattiatelineen alumiinirungon koneistushintaan, jolloin saadaan riittävän tarkka arvio alumiiniosien valmistuksesta. Arvioilta alumiiniosat maksaisivat yhteensä 25 000 €. Yhden laitteen alumiiniosat maksaisivat silloin noin 50 €.

#### **6.4 Lattiateline**

Yritys F teki hinta-arvion lattiatelineen valmistuksesta. PA 6 muovilevy, kooltaan 800 mm x 700 mm, koneistettuna maksaisi noin 60 €/kpl. Hinta on noin 15 % edullisempi kuin alumiinirunkoisen lattiatelineen valmistus.

Lattiatelineen pohjaan tulee kumimatto. Yritys F:n tekemän hinta-arvion mukaan 500 kumipohjaa maksaa valmiiksi leikattuna noin 5 500€ (ALV 0 %). Tällöin yhdelle pohjalle tulisi hinnaksi noin 11 €.

#### **6.5 Elektroniikkaosat**

Tuomas Lehdon (3) tekemän moottorinohjauksen elektroniikkakomponenteille, piirilevylle, näytölle, muistikortille ja kaapeleille tuli yhteensä hintaa noin 120 € Kiinan markkinoilta tilattuna. Näistä iso osa tuli näytöstä, joka maksoi yli 40 €. Komponentteja yhteen laitteeseen tulee noin 160, joten massatilauksena kokonaisuushintaa saisi paljon pienemmäksi.

Virtalähdettä ei ole Weelan kaupalliseen versioon vielä valittu. Tällä hetkellä prototyypissä on 30 voltin säädettävä virtalähde. Virtalähde on moottorin jälkeen kallein yksittäinen komponentti laitteessa, ja on siksi merkittävä osa kulurakennetta. Mahdollisten virtalähteiden hinnat ovat noin 100–300 euron välillä. Tilamalla ison erän kerrallaan saataisiin yksikköhintaa pienemmäksi.

#### **6.6 Muut osat**

Urakuulalaakerin saa hankittua noin 3,50 €/kpl (ALV 0 %). Joka tuotteeseen keilainakselin päähän tarvitaan yksi laakeri. Lopullisen yksikköhinnan saa pyytämällä tarjous isosta erästä.

Heijastintunnistimet maksavat yritys G:ltä ostettuna alle 10 € kappaleelta, kun eräkoko on yli 100. Joka laitteeseen tarvitaan aina kaksi tunnistinta, joten 500

laitteen valmistukseen tarvitaan silloin 1 000 tunnistinta, jotka tulisivat maksamaan yhteensä noin 10 000 euroa.

Heijastintarran ja muovisten kelaipyörien hinnat jäivät selvittämättä. Näiden osien hinnat ovat kuitenkin niin pieniä, että ne ovat laitteen kokonaissumman kannalta merkityksettömiä.

## 6.7 Laskelmat

Taulukossa 8 lasketaan 500 kappaleen erän valmistuskustannukset, joista lopuksi jakamalla saadaan yhden laitteen valmistushinta. Laskelmat on tehty Weelalle lattiatelineen kanssa, joten seinätelineen valmistuskustannuksia ei ole tässä huomioitu.

*TAULUKKO 8. 500 kappaleen erän valmistuskustannukset*

<b>Artikkeli</b>	<b>Hinta</b>
Moottori ja vaihde	noin 140 000 €
Muoviosat	noin 20 000 €
Lattiateline	noin 30 000 €
Alumiiniosat	noin 25 000 €
Kumimatto	noin 6 000 €
Laakerit	noin 1 500 €
Heijastintunnistimet	noin 10 000 €
Elektroniikka	noin 60 000 €
Virtalähde	noin 50 000 €

Kokonaisuudessaan 500 Weela-laitteen valmistus maksaisi noin 340 000 €. Yhden Weela-laitteen valmistuskustannus olisi tällöin noin 680 € kappaleelta. Tähän summaan ei ole huomioitu kokoonpanokustannuksia. Myös kiinnitysosien,

joita ovat ruuvit, mutterit, aluslevyt, kustannukset on jätetty pois laskuista. Niiden hinnat ovat kuitenkin kokonaiskustannusten kannalta merkityksettömiä.

Spesifikaatiossa määriteltiin laitteen maksimihinnaksi 500 €. Tähän hintaan ei vielä tällä 500 kappaleen valmistuserän hinnoilla päästy. Pienillä komponentti muutoksilla ja paremmalla kilpailuttamisella tähän olisi kuitenkin mahdollisuus päästä.

Isoimmat säästöt on yleensä helpoin tehdä isoimmista menoista. Suurin yksittäinen hinnanmuodostaja on moottori, joten säästöjä voisi saada etsimällä edullisemman mutta ominaisuuksiltaan vastaavan moottorin. Toinen iso menoerä on elektroniikka. Virtalähde ja elektroniikka komponentit ovat lähes yhtä kallis kokonaisuus kuin moottorikin. Elektroniikan hintaa olisi helppo laskea kysymällä tarjous suuremmasta erästä, koska yksittäisiä komponentteja on suuri määrä ja hinta on laskettu yksittäiskappaleiden mukaan.

## 7 PROTOTYYPPI

Prototyyppiin tilattiin moottori yritys A:lta. Muut prototyyppiin tarvittavat materiaalit hankittiin oululaisista yrityksistä. Osat työstettiin Oamkin konelaboratoriossa.

Tukiosat leikattiin CNC vesileikkurilla 15 mm:n vahvuisesta polyeteenilevystä. Vesileikkaamalla saatiin tukiosien ulkomuodot ja reiät tehtyä helposti ja nopeasti. Tämän jälkeen osat viimeisteltiin koneistamalla ne NC työstökeskuksella. Kuvassa 22 näkyy kaikki koneistetut tukiosat.



*KUVA 22. Tukiosat*

Tukirungon valmistus aloitettiin sahaamalla alumiini suorakaideputkea sopivan mittaisiksi pätkiksi, ja poraamalla niihin tarvittavat reiät. Tämän jälkeen osat hitsattiin muotoonsa TIG-hitsauskoneella. Kuvassa 23 näkyy hitsausvaiheessa oleva runko. Alumiinin hitsaus oli prototyypin valmistuksen hankalin vaihe. Hankalan siitä teki sopivien hitsausarvojen löytyminen. Sopivien parametrien löytyä ei hitsaus enää ollut erityisen haastavaa.



*KUVA 23. Rungon hitsaus*

Pohjalevy leikattiin kuviosahalla 3 mm:n vahvuisesta ABS-muovilevystä. Kelausakseli koneistettiin 25 mm:n alumiiniputkesta. Siihen sorvattiin ura lukkorenkalle. Kiilaura ja reiät tehtiin CNC-koneistuskeskuksella.

Lattiatelineeksi hankittiin 15 mm vahvuista polyeteeniä, johon liitettiin ruuviliitoksilla kaksi alumiinisuurakaideputken pätkää. Putkiin kiinnitettiin niittimutterit. Lattiatelineen pohjaan liimattiin kumimatto. Laite kiinnitettiin lopuksi niittimuttereihin neljällä ruuvilla.

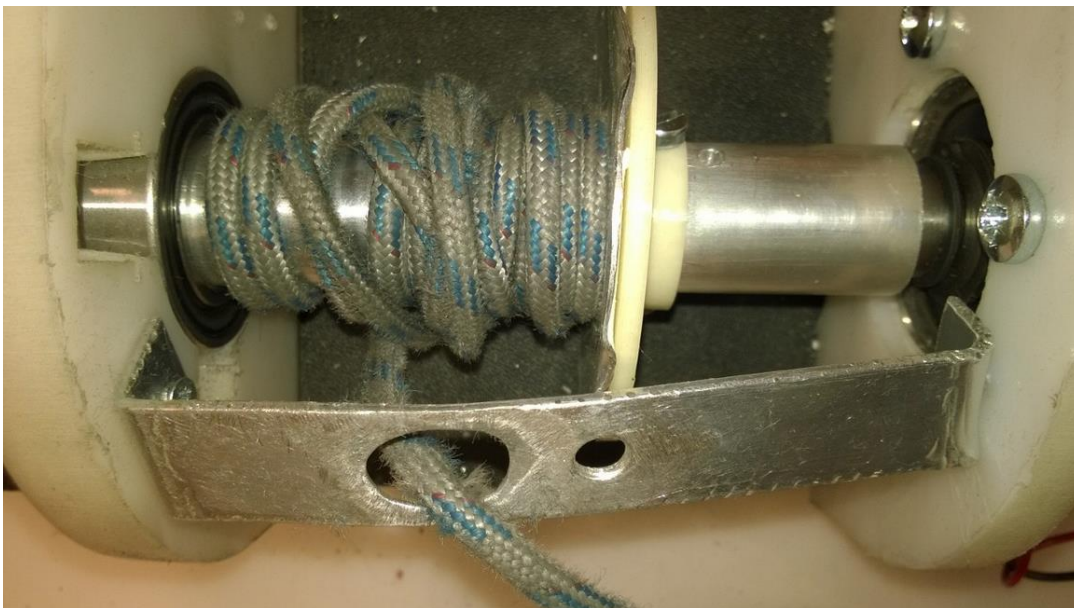
Laitteen kuori yritettiin valmistaa kotikonstein tyhjiömuovaamalla, käyttäen Finnfoamista tehtyä muottia sekä imureista rakennettua tyhjiömuovauskonetta. Kuoren suuri koko teki muovauksen haastavaksi, ja lopulta kuori päätettiin valmistaa 3D-tulostimella. Kuoren kanssa yhtä aikaa tulostettiin myös kelainakselille vetonarun ohjaimet. Materiaalina tulostuksessa käytettiin ABS-muovia.

Laite saatiin kokoonpantua hyvin ja ongelmitta. Kuvassa 24 on laite kokoonpantuna. Testauksessa uusi moottori tuotti kuitenkin oletettua enemmän haasteita. Ongelmana oli liian suuri voimantuotto, jolloin pieniin voimiin ei päästy ollenkaan. Se korjaantui, kun moottorille tehtiin kokonaan uusi moottorinohjain.



*KUVA 24. Valmis prototyyppi*

Testausvaiheessa laitteeseen piti lisätä vielä narulle kuvan 25 mukainen vetokita, sillä kuntoiltaessa naru rikkoi muovikoteloa hangatessaan muovia. Ohjain oli kuitenkin helppo kiinnittää ruuveilla laitteen tukiin.



*KUVA 25. Vetokita*

Testauksen aikana todettiin heijastustunnistimien aiheuttavan pätkimistä laitteeseen. Niinpä prototyyppiin vaihdettiin kierrosnopeusanturi, joka kiinnitettiin hihnalla kelainakselille kuvan 26 mukaisesti. Tämä anturi todettiin varmatoimiseksi ja paremmaksi kuin heijastustunnistimet.



*KUVA 26. Kierrosnopeusanturi*

## 8 WEELAN TULEVAISUUS

Tulevaisuudessa Weelaa voisi vielä kehittää niin, että suunniteltaisiin samankaltaisia laitteita, mutta eri moottoreilla ja erilaisille kohderyhmille. Esimerkiksi Weela-kuntoutus, Weela-koti ja Weela-kuntosali voisivat olla eri segmenttejä, joille kullekin olisi oma laitteensa. Laitteiden pitäisi olla kuitenkin rakenteeltaan samanlaisia, että eri segmenttien laitteet kävisivät samoihin telineisiin.

Laitteiden eroavaisuus olisi moottoreissa. Esimerkiksi kuntosalilaitteisiin voisi olla järkevämpää laittaa harjattomat moottorit, sillä niiden käyttötuntimäärät ovat moninkertaiset kotikuntolaitteeseen verrattuna. Kuntouttajille suunnattuun laitteeseen voisi laittaa muita tehottomamman moottorin, joten valmistushinnassa säästettäisiin merkittävästi. Kuntouttajille suunnatun laitteen säätöominaisuudet pitäisi olla huipussaan, sillä kuntoutuksessa vastukset ovat pieniä ja vastusta kasvatetaan pienin askelin suuremmaksi.

Erilaisten moottoreiden tutkiminen ja testaaminen olisi myös järkevää, sillä moottori on laitteen kallein yksittäinen komponentti. Kannattavaa olisi etsiä niin sanottujen halpamaiden markkinoilta edullisia moottoreita. Niiden testaaminen vaatisi kuitenkin resursseja ja aikaa.

Muotoilu on hyvin merkittävä tekijä, joka vaikuttaa asiakkaan ostopäätökseen. Siksi muotoilun jatkokehitys on hyvin tärkeä vaihe ennen tuotteen markkinoille saattamista. Tämän opinnäytetyön mekaniikkasuunnittelun perusteella on muotoilua helppo jatkaa. Tyhjiömuovausmenetelmä antaa hyvin vapaat kädet muotoilijoille, joten sitä kannattaa hyödyntää. Esimerkiksi laitekoteloon voi tehdä kokuviolla Weela-logon tai muita muotoja. Myös päädyn tuuletusaukot voisi tyyllitellä. Yksi vaihtoehto olisi sommitella tuuletusaukot Weela-kuvion muotoisiksi.

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntynyt kuntolaite on hyvin monikäyttöinen modulaarisuutensa ansiosta. Jotta laitteen monipuolisuudesta saataisiin mah-

dollisimman paljon irti, tulisi laitteelle suunnitella uudenlaisia telineitä ja käyttökohteita. Lattia- ja seinätelineiden lisäksi laitetta voisi soveltaa spesifimpiin kohteisiin, kuten soutulaitteisiin, kuntopyöriin ja muihin kuntosalilaitteisiin.

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada valittua Weela-kuntolaitteelle kuntoilijalle vastavoiman tuottava moottori, tehtyä mekaniikkasuunnittelu koko kuntolaitteelle ja laskea syntyvät tuotantokustannukset. Opinnäytetyössä oli helppo päästä alkuun, sillä toimiva prototyyppi oli jo olemassa. Sitä testaamalla löydettiin ongelmakohdat ja paranneltavat asiat. Mekaniikkasuunnittelua helpottivat myös muotoilijoiden tekemät mallit Weelan ulkomuodosta.

Aihe oli opinnäytetyöksi hieman liian laaja, joten moottoreiden tutkimiseen ei ollut riittävästi aikaa käytettävissä. Laitteeseen löydettiin erittäin tehokas ja toimiva moottori suomalaiselta maahantuonti yritykseltä, mutta moottori oli melko kallis. Vastaavanlaisen moottorin olisi voinut saada halpamarkkinoilta halvemmalla, jos olisi ollut enemmän aikaa moottorin testaukseen. Hiiliharjallisia kestopagneettimoottoreita voisikin myöhemmin tutkia lisää ja etsiä nykyiselle moottorille halvempi korvaaja.

Opinnäytetyön laajuuden takia kaikkien mekaanisten yksityiskohtien suunnitteluun ei ollut riittävästi aikaa. Suunnittelussa pyrittiin kustannustehokkaaseen ratkaisuun niin osien kuin kokoonpanonkin kohdalla. Kustannustehokkuus johti usein yksinkertaisimman ratkaisun valitsemiseen.

Weela-laitteen osalta vaatimuslistan vaatimukset toteutuivat yhtä lukuun ottamatta. Kustannustehokkaasta suunnittelutavasta huolimatta laitteen valmistushinta ylitti vaatimuslistassa määritellyn 500 €:n rajan noin 35 %:lla. Kuitenkin 500 €:n raja on saavutettavissa kilpailuttamalla elektroniikkakomponentit ja hankkimalla nykyistä edullisempi moottori.

Opinnäytetyön kokonaistavoitteisiin päästiin ja tehtävässä onnistuttiin hyvin. Tuotantovalmis ei Weela-laite vielä ole, vaikka prototyypistä saatiinkin varmatoinen. Laitteen muotoilua pitää vielä parantaa tuotantoversioon. Testauksen avulla pyritään löytämään epäkohdat, joita voidaan jatkossa vielä parantaa. Laitteen mahdollinen kuumeneminen ja virheet ohjelmakoodissa ovat asioita,

jotka pitää selvittää testauksella ennen tuotantoa. Loppujen lopuksi opinnäyte-työ oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava.

## LÄHTEET

1. Matalalampi, Timo 2011. Kuntolaitteen ohjauselektroniikan suunnittelu. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, hyvinvointiteknologian koulutusohjelma. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/28078/Kuntoilulaitteen%20ohjauselektroniikan%20suunnittelu.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 9.2.2015.
2. Gullsten, Jarno 2013. Kuntolaitteen prototyypin mekaniikkasuunnittelu. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/64579/Gullsten\\_Jarno.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/64579/Gullsten_Jarno.pdf?sequence=1). Hakupäivä 9.2.2015.
3. Lehto, Tuomas 2014. Moottorinohjaimen suunnittelu ja toteutus. Valmis-teilla oleva opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma.
4. Hietalahti, Lauri 2011. Säädetty sähkömoottorikäytöt. Tampere: Tammertekniikka.
5. Aura, Lauri – Tonteri, Antti 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Helsinki: WSOY.
6. Sähkökäytöt. 2007. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Konetekniikan osasto, Mekatroniikan ja virtuaalisuunnittelun laboratorio, Ko4210000 Mekatroniikan peruskurssi, Kevät 2007. Saatavissa: <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk60a0001/lisatty/sahkokaytot.pdf>. Hakupäivä 15.5.2014.
7. Kördel, Lennart – Johnsson Jörgen 2004. Moottorinohjaus. Iisalmi: IS-VET.

8. Suunnittelijan kaavasto. 2013. SKS-mekaniikka.
9. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkola, Kari – Pyy, Seppo – Rautiainen, Hannu – Sampo, Ahto – Seppänen, Pekka – Suosara, Eero 2006. Kone-elimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.
10. Järvinen, Pasi 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: Muovifakta Oy
11. Järvinen, Pasi 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Porvoo: Muovifakta Oy
12. Nykänen, Sanna – Vienamo, Teppo 2014. Tekniset muovit. Saatavissa: <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/33/62/>. Hakupäivä 3.7.2014
13. Ihalainen, Erkki – Aaltonen, Kalevi – Aromäki, Mauri – Kauppinen, Veijo – Lehto, Heikki – Niemi, Esko – Puronto, Antti – Sihvonen, Pentti – Vierimaa, Kari 2003. Valmistustekniikka. Helsinki: Otatieto.
14. Alumiinit. ThyssenKrupp Aerospace Finland Oy. Saatavissa: <http://www.thyssenkrupp.fi/alumiinit/alumiinit/alumiinit>. Hakupäivä 18.7.2014.
15. Nykänen, Sanna. Muovituotteen suunnittelun kokonaisprosessi. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign\\_overallprocess\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_overallprocess_FI.pdf). Hakupäivä 2.7.2014.
16. Kurri, Veijo – Malen, Timo – Sandell, Risto – Virtanen, Martti 1999. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
17. Lempiäinen, Juhani – Savolainen, Jari 2003. Hyvin suunniteltu - puoleksi valmistettu. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.

18. Valtanen, Esko 2007. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
19. Lahtinen, Pekka 2013. T316003 Kone-elimet 1 3 op. Opintojakson luentomateriaali keväällä 2013. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
20. Ruiskuvalettavan tuotteen mekaniikkasuunnittelu. 2010. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: [https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/PKAMK/PPDF/Polyko\\_PKAMK\\_Final.pdf](https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/PKAMK/PPDF/Polyko_PKAMK_Final.pdf). Hakupäivä 18.7.2014.

## **LIITTEET**

Liite 1 Moottori GR 80 x 80

Liite 2 Moottori BG 75 x 75

Liite 3 Vaihde PLG 75

Liite 4 Heijastustunnistin

Liite 5 Muokattujen alumiiniseosten ominaisarvot

Liite 6 Ruuviliitosten mitoitusnomogrammi

Liite 7 Kokoonpanopiirustus

## GR 80x80, 240 W



Versions of GR 80x80 / Ausführungen GR 80x80	Page / Seite
With gearbox / Als Getriebemotor	47
With brake / Als Bremsmotor	80
With controller / Mit Regelelektronik	86
With tachogenerator / Mit Tachogenerator	82
With magnetic pulse generator / Mit magnetischem Impulsgeber	83
With incremental encoder / Mit Inkrementalgeber	84

Standard / Standard On request / auf Anfrage

- General information about the characteristics of our commutated motors, see page 8
- The standard version has leads (300 mm)
- Special and high voltage windings available on request
- On request different shaft lengths and diameters or shaft on both sides are available as per our program
- Protection class IP 50, higher class available on request
- Motor shaft with ball bearing

- Allgemeine Informationen über die Eigenschaften unserer Kollektormotoren siehe S. 8
- Der Motor wird standardmäßig mit Litzen (300 mm) geliefert
- Sonder- und Hochspannungswicklungen auf Anfrage erhältlich
- Auf Anfrage verschiedene Wellenlängen und -durchmesser bzw. beidseitige Wellen gemäß unserem Programm lieferbar
- Schutzart IP 50, auf Anfrage auch höher
- Die Motorwelle ist kugellagert

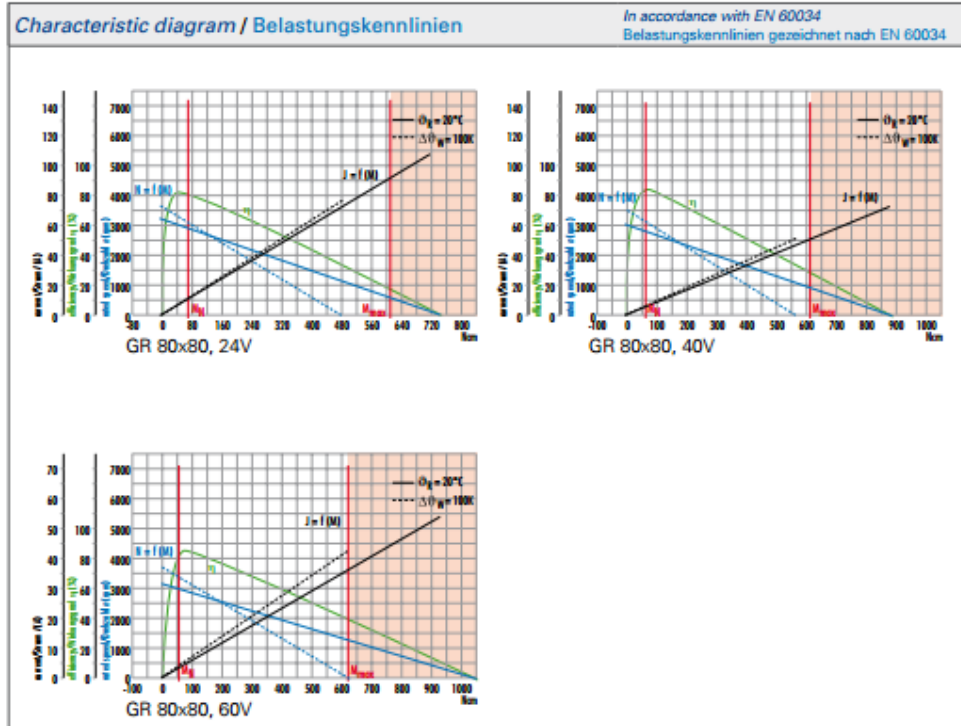
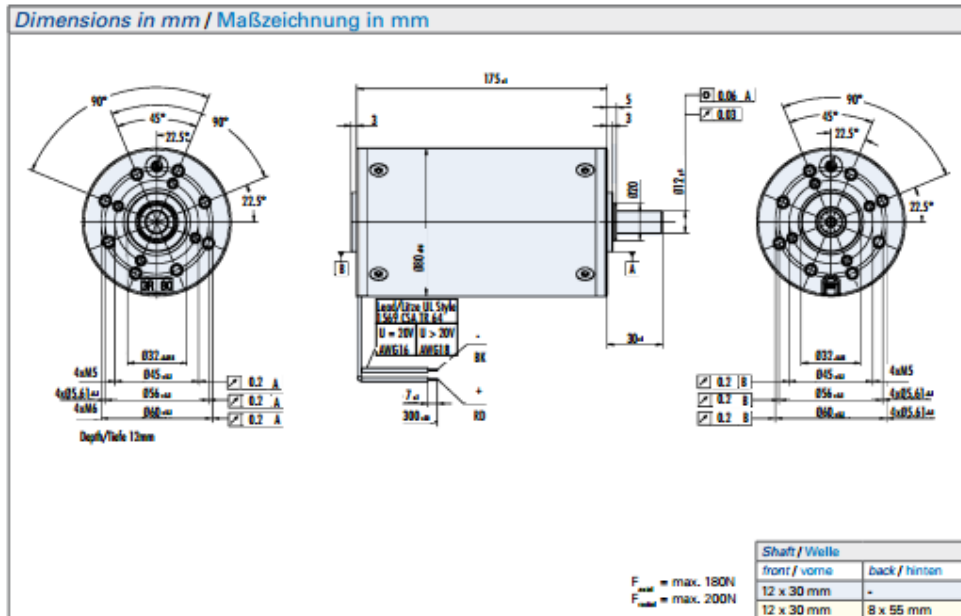


Data / Technische Daten	GR 80x80			
Nominal voltage / Nennspannung	VDC	24	40	60
Nominal current / Nennstrom	A**	10	6	4.2
Nominal torque / Nennmoment	Ncm**	62	62	63
Nominal speed / Nennrehzahl	rpm**	3200	3100	3350
Friction torque / Reibungsmoment	Ncm**	5.5	5.5	5.5
Peak stall torque / Max. Anhaltmoment	Ncm**	608	612	623
No load speed / Leerlaufrehzahl	rpm**	3200	3000	3100
Maximum output power / Maximale Abgabekistung	W**	655	703	851
Torque constant / Drehmomentkonstante	Ncm A <sup>-1</sup> **	6.7	12	173
Terminal Resistance / Anschlußwiderstand	Ω	0.21	0.54	1
Terminal inductance / Anschlußinduktivität	mH	1.5	3.78	6.9
Starting current / Anlaufstrom	A**	112	73.6	60.5
No load current / Leerlaufstrom	A**	0.65	0.37	0.27
Demagnetisation current / Entmagnetisierungsstrom	A**	91	51	36
Rotor inertia / Rotor-Trägheitsmoment	gcm <sup>2</sup>	3200	3200	3200
Weight of motor / Motorgewicht	kg	4	4	4

\*\*I Δθ<sub>n</sub> = 100 K; \*\*I θ<sub>n</sub> = 20°C \*\*\*I at nominal point / im Nennpunkt



## GR 80x80, 240 W



## BG 75, 220 - 530 W

Versions of BG 75 / Ausführungen BG 75	Page / Seite
<b>Controllers / Regelelektroniken</b>	
- motor without controller / Motor ohne Elektronik (BG75)	58
- integral 4Q speed controller / mit integrierter 4Q-Steuerungselektronik (BG75S)	60
- with parametrization software inclusive / mit Parametriersoftware inklusive (BG75P)	62
- with master functionality / mit Masterfunktionalität (BG75M)	68
- with external 4Q servo controller / mit externem 4Q-Servoregler (BGE 3515/6015/6050)	72
With absolut encoder / Mit Absolutwertgeber	110
With gearbox / Als Getriebemotor	81
With brake / Als Bremsmotor	106

Standard / Standard On request / auf Anfrage

- Highly dynamic 3-phase EC motor with 8-pole neodymium magnet
  - Available with internal and external controllers (see following pages)
  - Connection via 2 plugs (commutation and power stage)
  - Direct mains connection on request
  - With its completely closed housing made of anodized aluminium the motor can be supplied with a high protection class up to IP 65
  - Square flange on output shaft side of the motor. Octagonal motor flange for combinations with gearboxes
  - The compact design coupled with a favourable price-performance ratio make this motor suitable for numerous applications
- Hochdynamischer 3-strängiger EC-Motor mit 8-poligem Neodymmagnet
  - Mit integrierter oder externer Steuerungselektronik erhältlich (siehe Folgeseiten)
  - Der Anschluss erfolgt über 2 Stecker (Kommutierung, Leistung)
  - Direkter Netzanschluss auf Anfrage
  - Durch sein komplett geschlossenes Gehäuse aus eloxiertem Aluminium kann der Motor mit hoher Schutzart bis IP 65 geliefert werden
  - Motor wellenseitig mit quadratischen Flansch. Bei Motor-Getriebe-Kombinationen wird der Motor mit achteckigem Flansch geliefert
  - Die hohe Leistungsdichte und die außergewöhnliche Wirtschaftlichkeit des Antriebs gestatten den Einsatz in zahlreichen Anwendungen

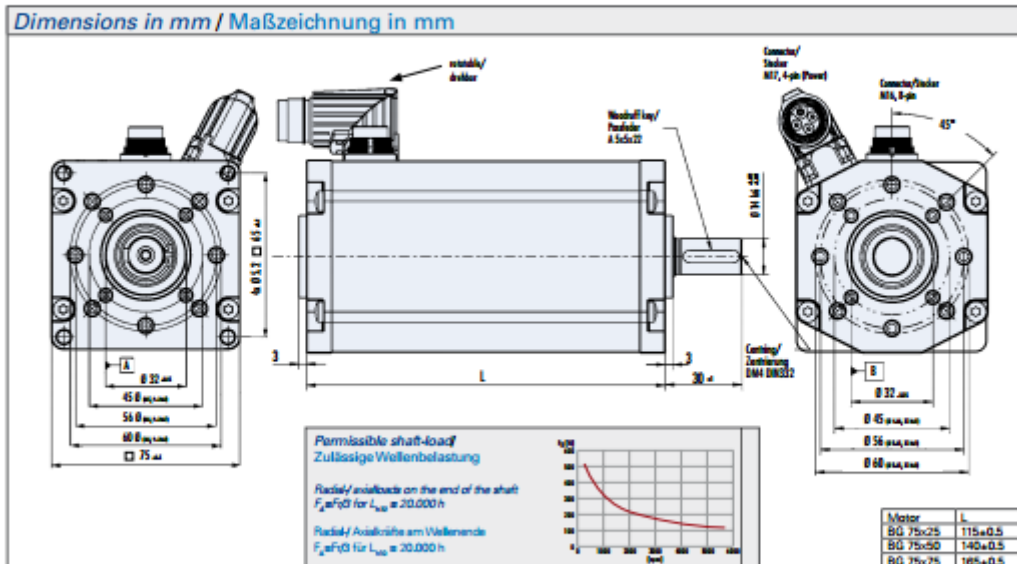


Data / Technische Daten		BG 75x25		BG 75x50		BG 75x75
Nominal voltage / Nennspannung	VDC	24	40	24	40	40
Nominal current / Nennstrom	A**	13.1	7.4	21.2	12	15.6
Nominal torque / Nennmoment	Ncm**	66	64	110	110	150
Nominal speed / Nenn Drehzahl	rpm**	3620	3500	3700	3500	3370
Friction torque / Reibungsmoment	Ncm**	11	10	8	8	13
Peak stall torque / Max. Anhaltenmoment	Ncm**	250	250	500	500	630
No load speed / Leerlaufdrehzahl	rpm**	4950	4800	4660	4400	4100
Maximum output power / Maximale Abgabeleistung	W**	420	420	860	865	1150
Torque constant / Drehmomentkonstante	Ncm A <sup>-1**</sup>	6.4	11	5.2	11.7	11.9
Terminal Resistance / Anschlußwiderstand	Ω	0.074	0.22	0.04	0.1	0.07
Terminal inductance / Anschlußinduktivität	mH	0.4	1.2	0.25	0.63	0.45
Peak current / Zulässiger Spitzenstrom (2 sec.)	A**	65	37	98	55	63
Rotor inertia / Rotor Trägheitsmoment	gcm <sup>2</sup>	240	240	440	440	650
Weight of motor / Motorgewicht	kg	1.6	1.6	2.2	2.2	2.8

\*\*\*) at nominal point / im Nennpunkt



## BG 75, 220 - 530 W

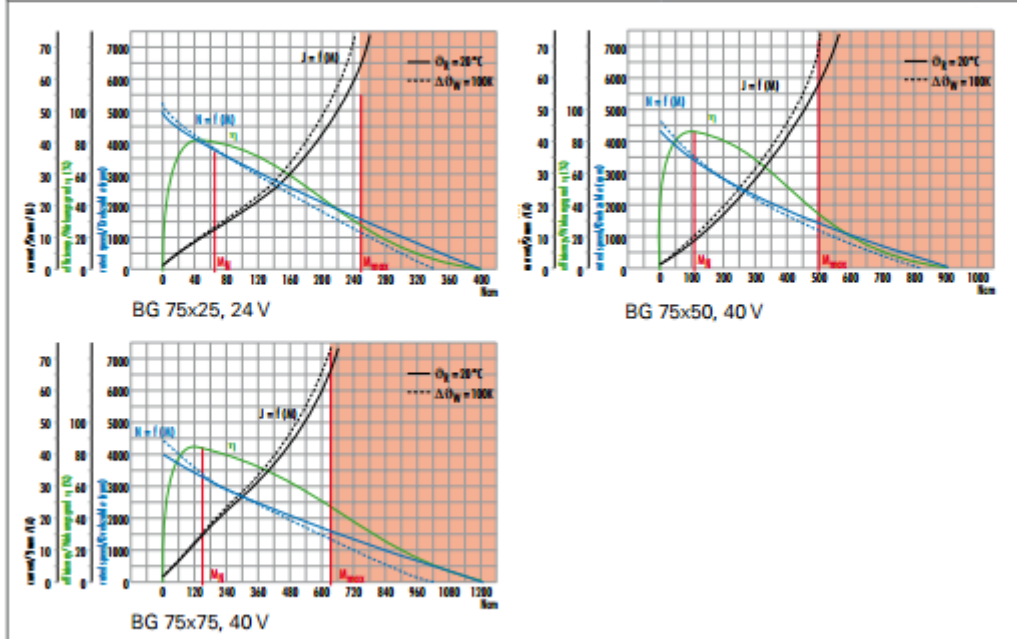


### Pin assignment / Pinbelegung

B-Pin	Signal	5	HS1	4-Pin	Power / Signal
1	n.c.	6	HS2	1	A (motor)
2	n.c.	7	HS3	2	B (motor)
3	n.c.	8	U <sub>sup</sub>	3	C (motor)
4	GND <sub>sup</sub>			4	Earth

### Characteristic diagram / Belastungskennlinien

In accordance with EN 60034  
 Belastungskennlinien gezeichnet nach EN 60034





# PLG 75



## Planetary Gearbox PLG 75 Planetengetriebe PLG 75

- Industry compatible high performance planetary gearbox
- Quiet operation due to helical gears in 1st stage, 2nd and 3rd stage have straight toothing
- High efficiency
- Planetary carriers and sun wheels made of steel, ring gear made of nitrided steel, ring gear of first stage is made of zinc diecast
- Output shaft with dual ball bearings
- Industrietaugliches, drehmomentstarkes Planetengetriebe
- Für hohe Laufruhe ist erste Getriebestufe schrägverzahnt ausgeführt, 2. und 3. Getriebestufe geradverzahnt
- Hoher Wirkungsgrad
- Planetenträger und Sonnenritzel aus Stahl, Hohlrad aus nitriertem Stahl, Hohlrad der ersten Stufe aus Zinkdruckguss
- Ausgangswelle doppelt kugellagert



## Data Leistungsdaten

PLG 75																
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		0.9					0.81									
Number of stages/ Stufenzahl		1					2									
Continuous torque/ Dauerdrehmoment	Nm	25					120									
Weight of gearbox/ Getriebege wicht	kg	1.5					2.6									
Axial load/radial load/ Axiallast/Radiallast	N	1000 / 1000					1000 / 1000									
PLG 75																
Reduction ratio/ Untersetzungsverhältnis		70.56	84	100	115.5	147	175	210	250	304.5	362.5	426.3	507.5	710.5		
Efficiency/ Wirkungsgrad		0.73														
Number of stages/ Stufenzahl		3														
Continuous torque/ Dauerdrehmoment	Nm	160														
Weight of gearbox/ Getriebege wicht	kg	3.7														
Axial load/radial load/ Axiallast/Radiallast	N	1000 / 1000														

Standard / Standard      On request / auf Anfrage

# PLG 75

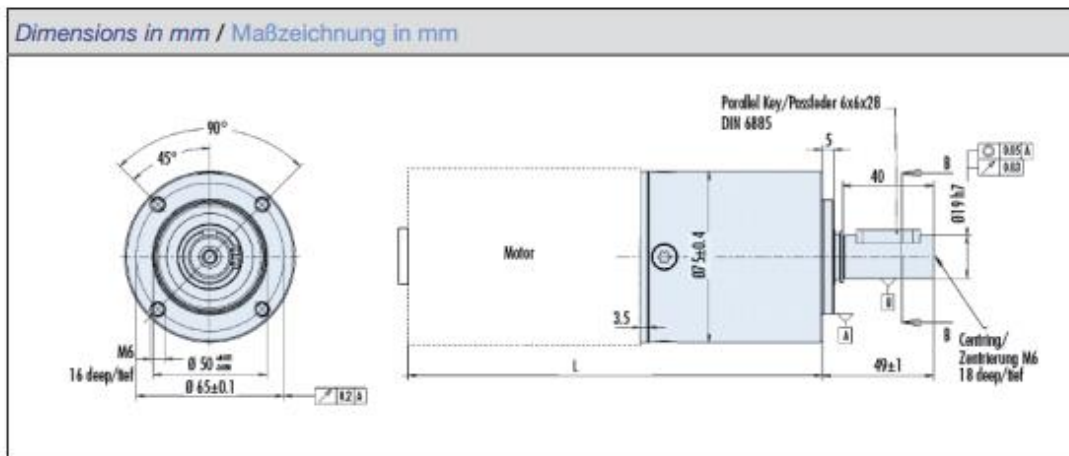
## Length motor gearbox combination

### Länge Motor-Getriebe-Kombination

Lengths L motor gearbox combination / Länge L Antrieb (mm ± 2)			
Stages / Stufenzahl	PLG 75		
	1	2	3
BG 65x25/ x50/ x75	155.2/ 180.2/ 205.2	181/ 206/ 231	208.2/ 233.2/ 258.2
BG 65x25/ x50/ x75 SI	187.2/ 212.2/ 237.2	213/ 238/ 263	240.2/ 265.2/ 290.2
BG 65x25/ x50/ x75 PI	240.2/ 265.2/ 290.2	266/ 291/ 316	293.2/ 318.2/ 343.2
BG 65x25/ x50/ x75 CI/ MI	195.2/ 220.2/ 245.2	221/ 246/ 271	248.2/ 273.2/ 298.2
BG 75x25/ x50/ x75 SI/ PI/ CI/ MI	195.2/ 220.2/ 245.2	221/ 246/ 271	248.2/ 273.2/ 298.2
GR 63x25/ x55	175/ 205	201/ 231	228/ 258
GR 63x25/ x50 SI	220/ 250	246/ 276	273/ 303
GR 80x40/ x80	215/ 255	241/ 281	268/ 308
KD 62.0/ DR 62.0	213/ 229/ 249	239/ 255/ 275	266/ 282/ 302

## Dimensions

### Maßzeichnung



**Photologic® Reflective Object Sensor**  
**OPB715Z, OPB716Z, OPB717Z, OPB718Z**



**Features:**

- Focused for maximum sensitivity
- .5" (12.700 mm) sensing distance
- Panel mount
- Choice of output configurations
- 18" (457.200 mm) minimum wire length



**Description:**

The **OPB715Z** series reflective assembly consists of a GaAlAs LED and a Photologic® sensor enclosed in an IR transmissive housing. The sensor is characterized to detect paper at 0.5" (12.7 mm). The sensor has a wide operating distance range and is capable of detecting reflective objects at other distances. The reflective distance depends on the reflectance materials.

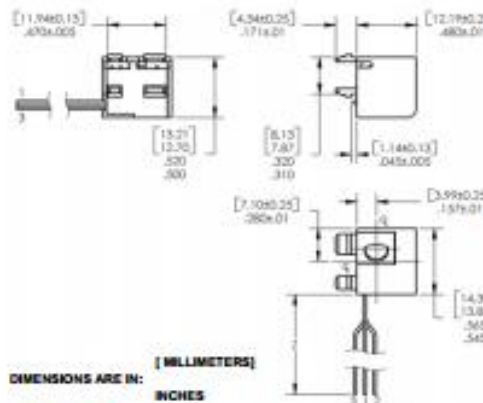
These devices are designed to replace conventional mechanical limit switches where long life and reliability are critical. The switches are designed to easily snap mount into a 0.036 inch (0.914 mm) 20 gage thick material with a rectangular opening of 0.315" x 0.472" (8.0 mm x 12.0 mm).

The sensor's panel-mount plastic housing shields stray light and is terminated with 18" (457 mm) UL approved 26 AWG wire leads. The LED is current limited internally for design convenience. Its output can be specified as either TTL Totem-Pole or TLL Open-Collector. Inverted output options are available for either output configuration.

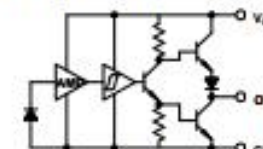
**Applications:**

- Focused for maximum sensitivity
- 0.5" (12.700 mm) sensing distance
- Panel mount
- Choice of output configurations
- 18" (457.200 mm) minimum wire length

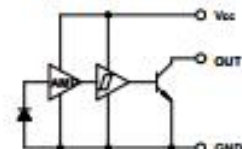
Part Number	LED Peak Wavelength	Sensor Photologic®	Reflection Distance Inch (mm)	Lead Length / Spacing
OPB715Z	890 nm	Totem-Pole	0.50"	18" / 26 AWG Wire
OPB716Z		Open-Collector		
OPB717Z		Inv-Totem-Pole		
OPB718Z		Inv-Open-Collector		



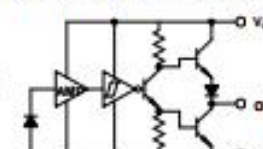
OPB715 Buffered Totem-Pole



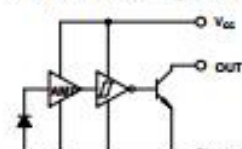
OPB716 Buffered Open Collector



OPB717 Inverted Totem-Pole



OPB718 Inverted Open-Collector



Color-Pin #	Description
Orange	V <sub>CC</sub>
White	Output
Violet	Ground



RoHS

OPTEK reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

**Photologic® Reflective Object Sensor**  
**OPB715Z, OPB716Z, OPB717Z, OPB718Z**

**Absolute Maximum Ratings** ( $T_A=25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Storage & Operating Temperature Range	-40° C to +85° C
Supply Voltage, $V_{CC}$ (not to exceed 2 seconds)	10 V
Power Dissipation <sup>(1)</sup>	300 mW
Output Voltage (Open-Collector only)	35 V

**Electrical Characteristics**

 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted, see OPL560 series for additional electrical information)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
$V_{CC}$	Operating Supply Voltage	4.75	-	5.25	V	-
$I_{OCL}$	Low-Level Supply Current:	-	-	30	mA	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ , output open
$I_{OCH}$	High-Level Supply Current	-	-	50	mA	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ , output open
$I_{OH}$	High Level Output Current OPB716 OPB718	-	-	100 100	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$	$V_{OH} = 30\text{ V}$ , $E_E = 1\text{ mW/cm}^2$ $V_{OH} = 30\text{ V}$ , $E_E = 0$
$I_{OS}$	Short Circuit Output Current OPB715 OPB717	-	-	100 100	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ , $V_{OH} = 5\text{ V}$
$V_{OH}$	High Level Output Voltage OPB715, OPB717 OPB716, OPB718	$V_{CC} - 2.1$ $V_{CC} - 2.1$	-	-	V V	$I_{OH} = -1\ \mu\text{A}$ , $E_E = 1\text{ mW/cm}^2$ $I_{OH} = -1\ \mu\text{A}$ , $E_E = 0$
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage OPB715, OPB717 OPB716, OPB718	-	-	.4 .4	V V	$I_{OL} = 16\text{ mA}$ , $E_E = 0$ $I_{OL} = 16\text{ mA}$ , $E_E = 1\text{ mW/cm}^2$
$E_{AT(+)}/E_{AT(-)}$	Hysteresis Ratio	11.20	1.55	2	-	-

**Notes:**

- (1) Derate linearly at 5.0 mW / °C above 25° C.
- (2) Terminating wire is 7 strand, 26 AWG, UL 1429.
- (3) Tested at  $d = 0.55"$  (12.7 mm) from a 90% diffuse, white test surface. Reference: Eastman Kodak Catalog #E 152 7795.
- (4) No reflective surface.

OPTEK reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

Taulukko 3.2b Muokattujen alumiiniseosten ominaisarvot 0,2 %:n myötörajalta  $f_{0,2}$ , vetomurtolujuudelle  $f_u$  (hitaamaton ja muutosvyöhyke), vähimmäisvenymä  $A$ , muutosvyöhykkeen pienennystekijät  $\rho_{0,haz}$  ja  $\rho_{u,haz}$ , nurjahdusluokka ja eksponentti  $n_p$  - Pursotetut profiilit, pursotettu putki, pursotettu tanko ja vedetty putki

Seos EN- AW	Tuotteen muoto	Tila	Paksuus $t$ mm <sup>1)3)</sup>	$f_{0,2}$ <sup>1)</sup>	$f_u$ <sup>1)</sup>	$A$ <sup>5)2)</sup>	$f_{0,haz}$ <sup>4)</sup>	$f_{u,haz}$ <sup>4)</sup>	Muutosvyöhykkeen tekijä <sup>3)</sup>		BC <sup>6)</sup>	$n_p$ <sup>7)</sup>
				N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>		$\rho_{0,haz}$	$\rho_{u,haz}$		
5083	ET, EP,ER/B	O/H111,F,H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5
	DT	H12/22/32/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18
A1> 5454	ET, EP,ER/B	O/H111 F/H112	$t \leq 25$	85	200	16	85	180	1	1	B	5
5754	ET, EP,ER/B	O/H111 F/H112	$t \leq 25$	80	180	14	80	180	1	1	B	6
	DT	H14/H24/H34	$t \leq 10$	180	240	4	100	180	0,56	0,75	B	16 <A1
6060	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP,ET,ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
	EP		$3 < t \leq 25$	150	195	8			0,43	0,56	A	18
A1> 6061	EP,ET,ER/B	T4	$t < 25$	110	180	15	95	150	0,86	0,83	B	8
	DT		$t < 20$	110	205	16			0,73	B	8	
	EP, ET, ER/B	T6	$t \leq 25$	240	260	8	115	175	0,48	0,67	A	55
	DT		$t < 20$	240	290	10			0,60	A	23 <A1	
6063	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8	60	100	0,46	0,57	B	16
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	7			0,55	0,63	B	13
	EP,ET,ER/B	T6	$t \leq 25$	160	195	8	65	110	0,41	0,56	A	24
	DT		$t \leq 20$	190	220	10			0,34	0,50	A	31
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 10$	200	245	8	75	130	0,38	0,53	A	22
	EP		$10 < t \leq 25$	180	225	8			0,42	0,58	A	21
DT	$t \leq 20$	195	230	10	0,38	0,57	A	28				
6005A	EP/O, ER/B	T6	$t \leq 5$	225	270	8	115	165	0,51	0,61	A	25
			$5 < t \leq 10$	215	260	8			0,53	0,63	A	24
			$10 < t \leq 25$	200	250	8			0,58	0,66	A	20
	EP/H, ET	T6	$t \leq 5$	215	255	8	0,53	0,65	A	26		
			$5 < t \leq 10$	200	250	8	0,58	0,66	A	20		
6106	EP	T6	$t \leq 10$	200	250	8	95	160	0,48	0,64	A	20

