

Fadi El-Khoury

StrandBeast-robotti,
kokoontyö ja kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinöörityö
22.8.2012

Tekijä Otsikko	Fadi El-Khour StrandBeast-robotti, kokoonpano ja kehittäminen
Sivumäärä Aika	49 sivua + 13 liitettä 22.8.2012
Tutkinto	Insinööri
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaaja	Arto Haapaniemi
<p>Tämä insinöörityö on tehty Metropolia Ammattikorkeakoululle, jonka yhteiskumppani on Tokyo National College of Technology (TNCT). Työssä toteutettiin ja jatkokehitettiin vaihtoopiskelija Hirotaka Aben (TNCT) suunnittelema StrandBeast-robotti (SB), joka on alun perin hollantilaisen insinöörin Theo Jansenin keksimä.</p> <p>Tarvittavaa aineistoa kerättiin kirjastosta, internetistä ja Hirotaka Aben loppuraportista. Aineiston ja tehtävän vaatimusten perusteella valittiin työssä käytettävät materiaalit ja elektroniset komponentit. Hirotaka Aben SB:ssä on kuitenkin paljon kehitettäviä kohteita sujuvan liikkeen mahdollistamiseksi. Ongelmien ratkaisujen jälkeen kehitettiin SB, joka kykenee liikkumaan kitkallisella tasolla.</p> <p>Toteutetulla SB:llä on useampia jatkokehitysmahdollisuuksia, jotka ovat seuraavat: robotin keskikohtaan sijoitetaan katto suojaamaan sähköisiä komponentteja sateelta. SB:n akseleihin tehdään tukevampi liitos, kuin liimaamalla. Aben suunnittelema kytkin ostetaan 3. prototyyppiin. SB:n joustavuutta parannetaan, jotta sillä olisi helpompaa mukautua maastossa. Sille valmistetaan kenkiä. Tulevaisuudessa tulee kyseeseen SB:n automatisointi.</p>	
Avainsanat	StrandBeast, robotti, Theo Jansen, tuotekehitys

Author Title	Fadi El-Khour StrandBeast Robot, Assembly and Further Design Development
Number of Pages Date	49 pages + 13 appendices 30 August 2012
Degree	Bachelor of Mechanical Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production Engineer
Instructor	Arto Haapaniemi, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The project partner was Tokyo National College of Technology (TNCT) in Japan.</p> <p>The main objective of this thesis was the assembly and further design development of StrandBeast (SB) robot of Hirotaka Abe (TNCT). A Dutch engineer Theo Jansen created the original version of SB. The necessary data was collected from the library, the Internet and final report of Hirotaka Abe. The materials and electronic components utilized in this project were chosen from data requirements.</p> <p>There are many customizable objects to enable movement. As a result, we produced many improvements. The axes were redesigned due to incorrect measurements in the original design. Hence the base of SB was redesigned. The SB was employed in a series of tests in different environments. As a result, we noticed that a lack of friction between the surface and legs caused problems in a certain environment. Also there were many improvements made in SB robot mentioned in this thesis as a conclusion.</p>	
Keywords	Strandbeast, robot, assembly, Theo Jansen, development

Sisällys

1	Johdanto	1
2	StrandBeast, SB	2
2.1	Jansenin ja Aben suunnitelmat	2
2.2	Mitoituksien muutokset	4
3	Ensimmäisen prototyypin suunnitteluvaihe	7
3.1	Kokoonpanon suunnittelu	7
3.2	Osien hankkiminen ja hinnasto	8
4	Käytetyt työstömenetelmät	10
4.1	Laserleikkaus	10
4.2	Sorvaaminen	11
4.3	Akselien valmistus	12
5	Kokoonpano	17
5.1	Kokoonpanon teoria	17
5.2	Toleranssit	17
5.3	Osien reiät ja akselit	17
5.4	Liitokset	18
5.5	Osien liittäminen	18
5.6	Sähkölaitteiden kytkentä	21
6	Ongelmat ja testaus	24
6.1	Kokoonpanon ongelmat	24
6.2	Testausvaihe	24
7	Ongelmien ratkaisut	26
7.1	Akselien uudelleenmitoitus ja valmistus	26
7.2	Keskikohdan suunnittelu	31
7.3	Akselien taipuminen pysty- ja vaakasuunnassa	31
7.4	Voimansiirto ahdustusovitteen avulla	33
8	Toisen prototyypin valmistus ja testaus	35
8.1	Muutokset	35

8.2	Muutosten testaaminen	37
8.3	Taipuman mittaaminen	40
9	SB:n jatkokehitys	44
9.1	StrandBeastin kenkä	44
9.2	Liimaaminen	44
10	Yhteenveto	46

Liitteet

- Liite 1. SB:n osien 1-6 työpiirustukset
- Liite 2. SB:n osan 7 työpiirustus
- Liite 3. SB:n osan 8 työpiirustus
- Liite 4. SB:n osien 9-10 työpiirustukset
- Liite 5. SB:n osan 11 työpiirustus
- Liite 6. Toleranssitaulukko sisämitoille
- Liite 7. Toleranssitaulukko ulkomitoille
- Liite 8. SB:n taittuman mittaukset
- Liite 9. Keskikohdan työpiirustus
- Liite 10. Sähkölaitteiden teknilliset tiedot
- Liite 11. Leikkausjännityksen laskeminen

1 Johdanto

Strandbeast (SB) on hollantilaisen insinöörin Theo Jansenin suunnittelema robotti, joka liikkuu käyttäen tuulta voimanlähteenä. Vaihto-opiskelija Sendaista Japanista nimeltään Hirotaka Abe kehitti SB:n. Tuulen sijasta hän käyttää moottoreita, jotka pyörittävät akseleita. SB on kauko-ohjattava. Sen jalat on tehty 3 mm:n alumiinilevystä. Jalkojen määrä ja liike mahdollistaa SB:n liikkumisen vaivattomasti metsässä ja ahtaissa paikoissa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään Hirotaka Aben SB:n kokoamiseen ja kehittämiseen.

2 StrandBeast, SB

2.1 Jansenin ja Aben suunnitelmat

Theo Jansen on hollantilainen kineettinen taiteilija, joka on luonut uusia elämänmuotoja vuodesta 1990. Hän on SB:n keksijä (Kuvio 1). SB on tehty kestävästä muoviletkuisista (polyvinyylidikloridi) ja se kävelee rannalla tuuli voimanlähteenä /1/.



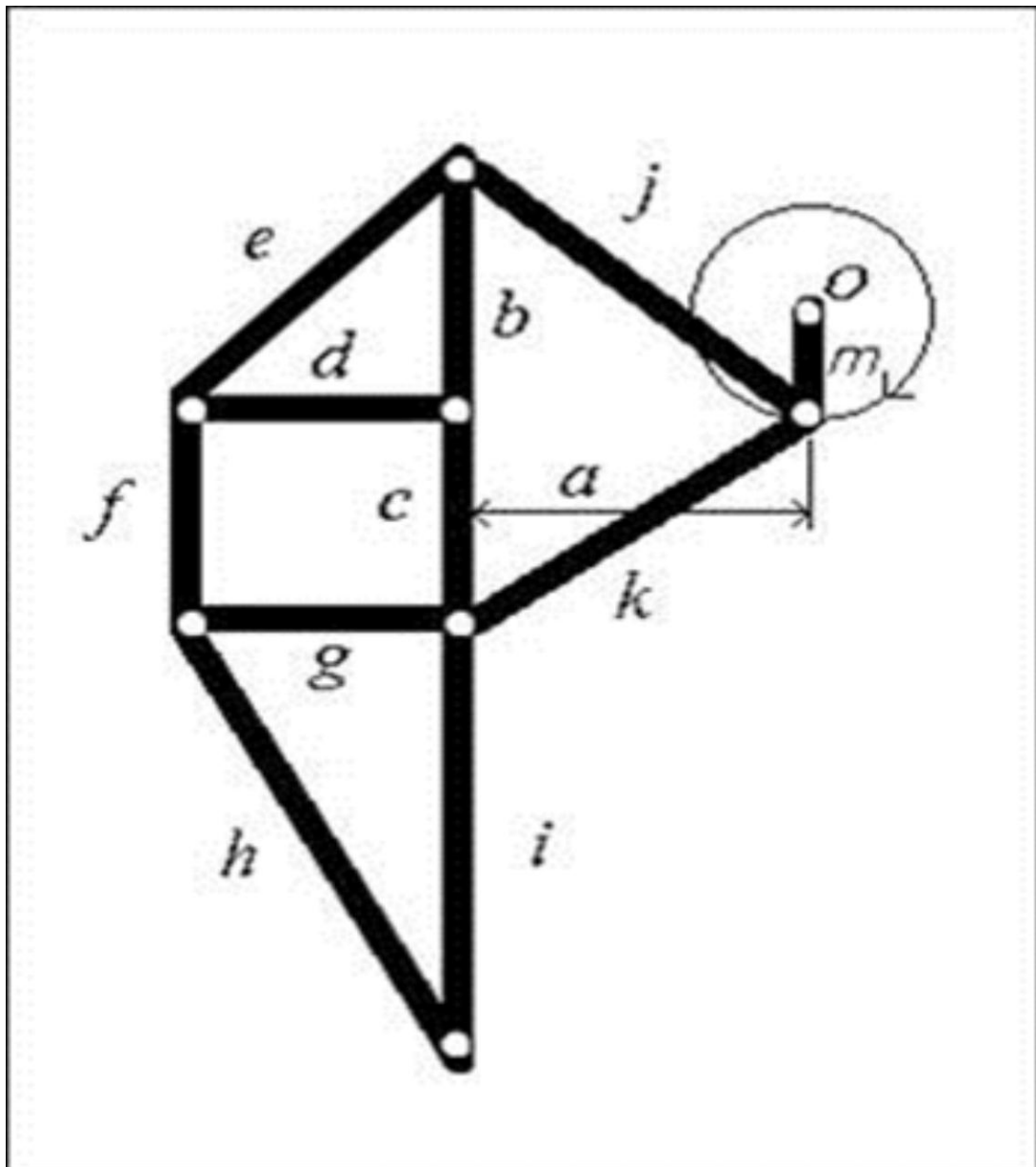
Kuvio 1. Theo Jansenin valmistama SB.

Jansen löysi 12 pyhää numeroa tutkimalla eläinten liikettä ja simuloimalla tietokoneen avustuksella kymmenen vuotta (Taulukko 1), jotta liike näyttäisi elävältä eläimeltä /1/. Puolijalka pyörii o-pisteen ympäri (Kuvio 2), jolloin koko jalan liike on kuten polkupyörä.

Taulukko 1. 12 pyhää numeroa (12 holy numbers).

a	380		g	363
b	415		h	657
c	393		i	490
d	401		j	500
e	558		k	612
f	394		m	150

Hirota Abe muutti 12 pyhän numeron mitoitukset, jotta jalkojen osat olisi helpompi valmistaa ja se olisi taloudellisempaa. Numeroiden arvioimiseksi ei käytetty tietokonesimulointia. Hänen ideansa oli pitää mitoitusten suhde samana kuin Taulukko 1 /2/.



Kuvio 2. Puolijalan liike

2.2 Mitoitusten muutokset

Kaava 1 on esimerkki siitä miten Abe muutti 12 pyhää numeroa ja säilytti suhteet samoina.

$$\text{Ex) } a: (1/8) \times 380 \doteq 48$$

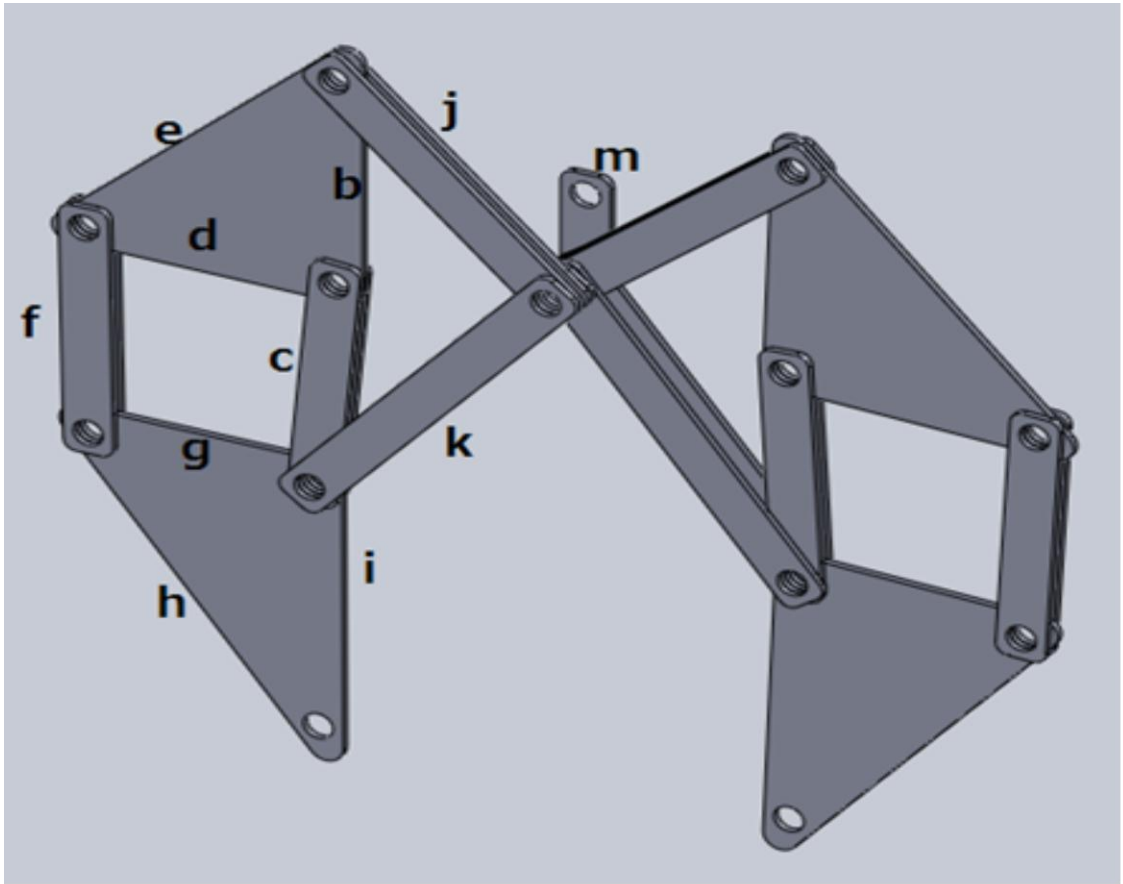
Kaava 1. Hirotaka Aben mitoitukset

Theo Jansenin a-mitoitus 380 mm on jaettu 1/8 ja saatu arvoksi 48 mm (ks. taulukko 2).

Taulukko 2. Hirotaka Aben 12 pyhää numeroa.

a	48		g	45
b	50		h	82
c	50		i	60
d	60		j	60
e	70		k	75
f	50		m	19

Saatuana 12 pyhää numeroa hän simuloi jalan ja totesi, että jalan liike on Jansenin periaatteiden mukainen eli eläimellinen (Kuvio 3) /2/.



Kuvio 3. Hirotaka Aben suunnittelema yksi jalkapari käyttäen omia mitoituksia.

3 Ensimmäisen prototyypin suunnitteluvaihe

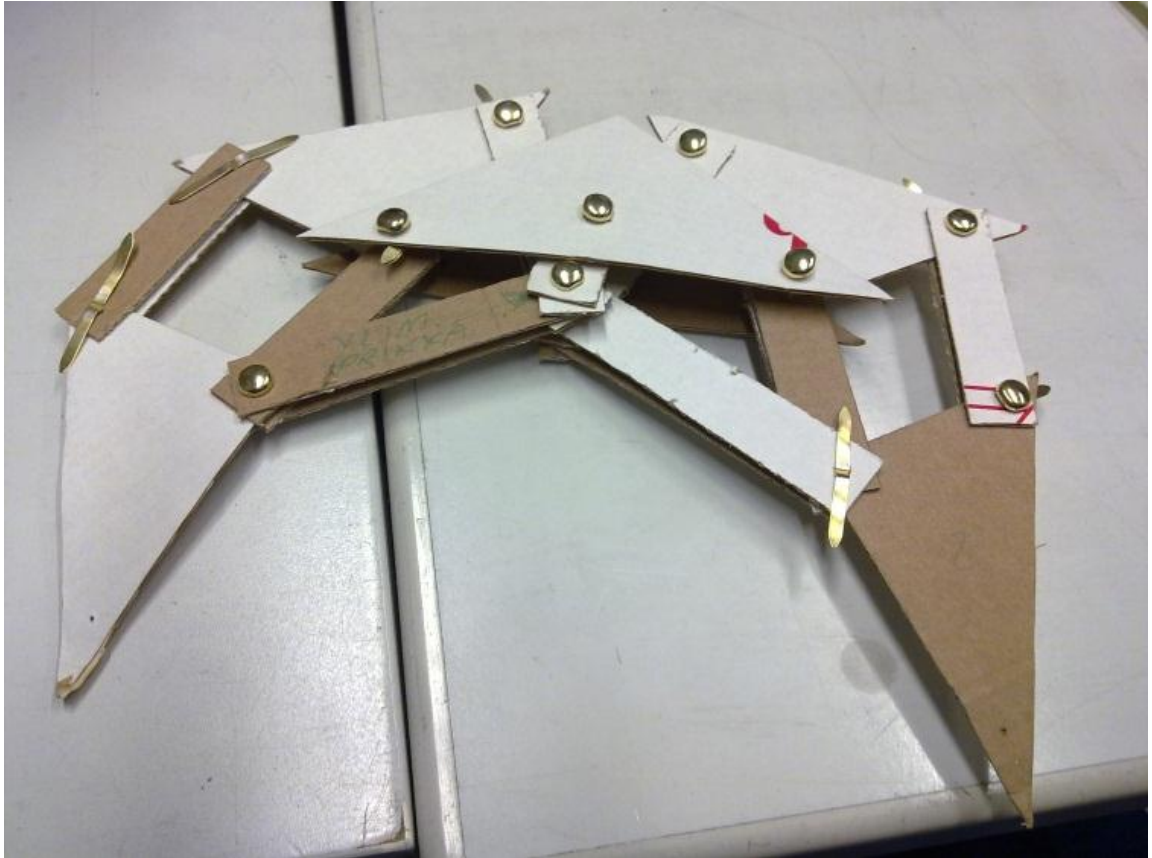
3.1 Kokoonpanon suunnittelu

Alkuvaiheessa tutustuttiin siihen, miten Abe oli suunnittelut SB:n lukemalla hänen raporttinsa. Raportin lukeminen herätti erilaisia ajatuksia ja myös erimielisyyksiä, joita käsitellään seuraavaksi.

Alettiin epäillä, että SB ei toimi, koska Aben tekemässä simuloinnissa liike on erinomaisten hyvä. Se voi johtua seuraavista syistä:

1. Simuloinnissa ei ole otettu huomioon koko SB:n painoa, joka on 3750 g, koska siitä puuttuivat esimerkiksi moottorit ja muita sähkölaitteita. Jos näin on käynyt, niin on mahdollista, että moottoreiden teho ei pysty liikuttamaan SB:iä sujuvasti.
2. Jalan liikkeessä voi syntyä leikkausvoima akselien kohdalla. Tietokoneella ei ollut saatavilla CAD-tiedostoja, joista voisi tarkastaa akselien mitat.

Modernia teknologiaa ei voitu käyttää, joten päätettiin turvautua vanhanaikaiseen tekniikkaan, mutta käyttökelpoiseen. Tehtiin pahvista jalkapari, jota liikuttamalla nähtiin, miten SB tulee liikkumaan (Kuvio 4). Tämä ei vastannut kysymyksiin täydellisesti, mutta liike on Theo Jansenin määritelmän mukainen eli eläimellinen. Päätettiin kuitenkin ryhtyä kokoamaan SB:iä, koska se on prototyyppi. On helpompaa kokeilla ja sen mukaan tehdä muutoksia.



Kuvio 4. SB:n jalka, joka on valmistettu pahvista.

3.2 Osien hankkiminen ja hinnasto

SB:n osien hankkiminen ei ollut yksinkertaista, vaan siihen liittyi omat hankaluutensa. Ensiksi oli löydettävä kaupat, joissa oli Aben vaatimuksien mukaiset tuotteet ja sopiva hinta.

Taulukon 3 tekniset piirustukset löytyvät liitteistä 1-5. L = leveys; K = korkeus; P = paksuus.

Taulukko 3. SB:n osien esittely.

Tuote L x K x P	Materiaali	€/kpl	Hankittumäärä (kpl)	Todellinenmäärä	Maksettu (€)	Varaosia
osa (1) 15 x 30 x 5	Alumiini	1,3	26	24	33,8	2
osa (2) 15 x 85 x 5	Alumiini	1,3	14	12	18,2	2
osa (3) 15 x 60 x 5	Alumiini	1,3	48	46	62,4	2
osa (4) 15 x 70 x 5	Alumiini	1,3	27	24	35,1	3
osa (5) 70 x 70 x 5	Alumiini	1,3	14	12	18,2	2
osa (6) 60 x 80 x 5	Alumiini	1,3	14	12	18,2	2
osa (7)	Alumiini	1,3	1	1	1,3	0
osa (8)	Alumiini	1,3	2	2	2,6	0
osa (9) 135 x 50 x 5	Alumiini	1,3	8	6	10,4	2
osa (10) 80 x 135 x 5	Alumiini	1,3	3	2	3,9	1
osa (11) 120 x 120 x 5	Alumiini	1,3	3	2	3,9	1
Yhteensä			160	143	208	17

Taulukossa 4 on esitetty SB:n kaikkien osien hinnasto, kappalemäärät, materiaalit ja maksettu summa. Osien teknilliset tiedot löytyvät liitteestä 10.

Taulukko 4. Kaikkien osien hinnasto

Tuote	Materiaali	Hankittumäärä (kpl)	€/kpl	Maksettu (€)
Stranbeastin osat	Alumiini	160	1,3	208
Moottori	Elektroninen	3	10	30
Laakerit	Elektroninen	10	5	50
Ohjausyksikkö	Elektroninen	1	69	69
Nopeudensäädin	Elektroninen	1	58,8	59
Laturi	Elektroninen	1	36,4	36
Akku	Elektroninen	2	29,7	59
Akselinvarmistin (Ø5)	Teräs	300	0,05	15
Akselit	Teräs	62	0,8	50
Rengaslevy (Ø5)	Teräs	400	0,1	40
Yhteensä				595,40 €

4 Käytetyt työstömenetelmät

Tässä luvussa esitellään lasertekniikkaa ja laserleikatut osat kuvineen sekä muut käytetyt työstömenetelmät.

4.1 Laserleikkaus

Laserleikkauksessa lasersäde kuumentaa kappaletta niin, että se lopulta sulaa ja höyrystyy ilmaan. Osa materiaalista palaa, jos leikkauskaasu on happi, ja leikkauksen aikana tarvittu tehotiheys voidaan tarkentaa siirtämällä polttopiste työkappaleen pinnalle, jonka halkaisija on 0,1 - 0,6 mm. Työkappaleeseen muodostuu sylinterimäinen reikä, joka syntyy suuresta energiatiheydestä, ja ympärillä on sulaa materiaalia. Siihen on tehty railot, joiden kautta puhalletaan pois sulaa materiaalia käyttäen kaasuvirtausta. Kaasu ja säde ovat yhdensuuntaisia koko leikkauksen ajan kaasusuuttimen kautta. Hyvän laadun saavuttamiseksi laserleikkauksessa on tärkeitä tehdä useampia mittauksia ja tärkeimmät ovat teho, polttopisteen asema, leikkausnopeus ja kaasun virtanopeus. /5, s. 22./

Osat irrotettiin levystä leikkauspihdeillä (Kuvio 5) ja samalla hiottiin käsiviilalla.



Kuvio 5. Osat on irrotettu levystä.

4.2 Sorvaaminen

Sorvaus on yleisin käytetty lastuava työstömenetelmä, jossa työstettävä kappaleen pyöriessä terä poistaa esimerkiksi 0,2 mm lastua joka kierroksessa ja prosessi jatkuu niin kauan, että on saavutettu haluttu muoto. Lastuttavan aihion ja terän väliset liikkeitä ovat syöttöliike, asetusliike ja lastuamisliike. Syöttö ilmoittaa, kuinka pitkän matkan terä on kulkenut kierrosta kohden. /3, s. 150 – 153./

$$V_f = n * f$$

Kaava 2. Syöttönopeus.

Lasketaan seuraavaksi käytetty syöttönopeus.

$$n = 600 \frac{r}{min} = 10 \frac{r}{s}$$

$$f = 0,15 \frac{mm}{r}$$

$$V_f = 10 \frac{r}{s} * 0,15 \frac{mm}{r} = 1,5 \frac{mm}{s}$$

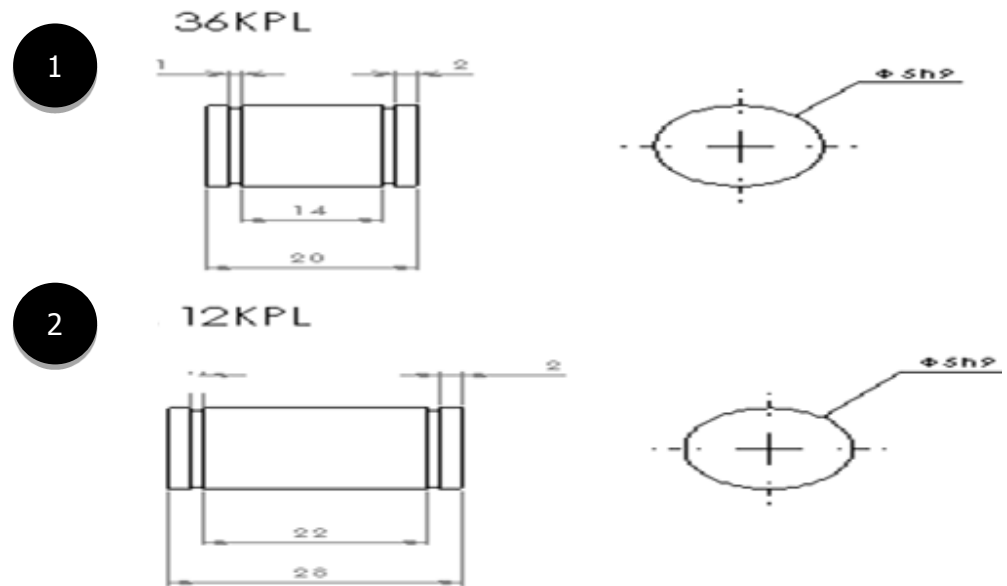
n , pyörimisnopeus ($\frac{r}{min}$)

f , syöttö ($\frac{mm}{r}$)

V_f , syöttönopeus ($\frac{mm}{s}$)

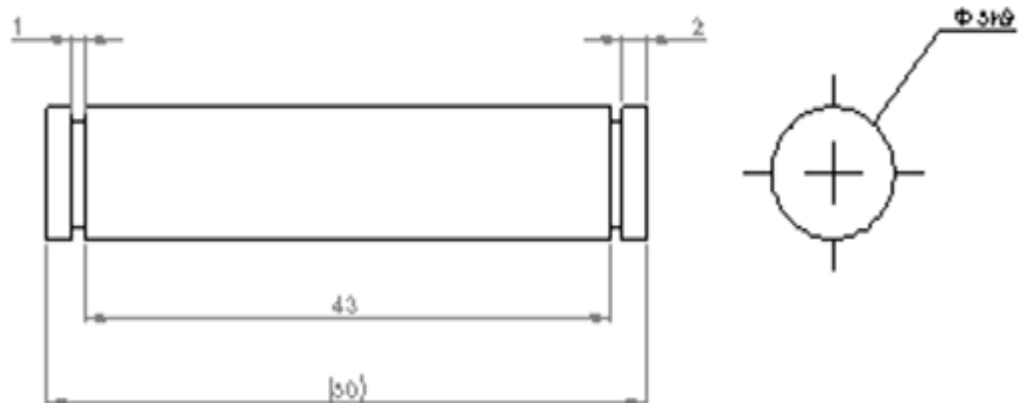
4.3 Akselien valmistus

Akselit valmistettiin itse Metropolia AMK:n koneosastolla konepajatekniikan laboratoriossa. Akseleita on viisi eri pituutta ja niiden halkaisija on 5 mm. Standardin mukaisesti lukkorengasuran leveyden on oltava 1,1 mm. Piirustuksissa lukee, että se on 1 mm (kuviot 6 - 8). Standardin mukaisesti aiotaan työstää akselit. Uraan tulee akselinvarmistin (liite 10, Kuvio 54), joka estää akselin liikkumisen ulos reiästä /2/.

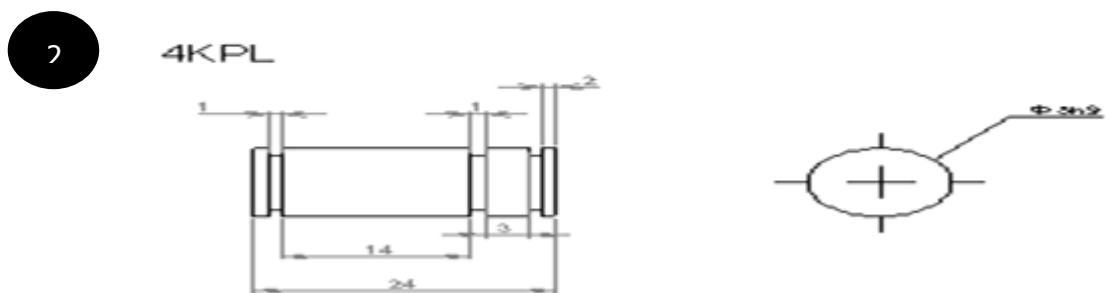
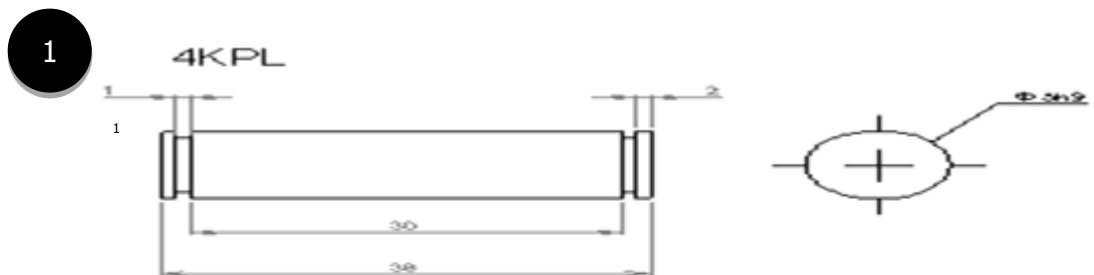


Kuvio 6. Akseleiden työpiirustukset. 1. akselin pituus on 20 mm ja 2. akselin pituus 28 mm.

1 6KPL



Kuvio 7. Akseleiden työpiirustukset. Akselin pituus on 50 mm.



Kuvio 8. Akseleiden työpiirustukset. 1. akselin pituus on 36 mm ja 2. akselin pituus 24 mm.

Tarkoitus oli valmistaa akselit ohjelmoitavalla Mazak CNC -sorvilla (kuvio 9).



Kuvio 9. CNC -sorvi Mazak T32-3.

Aluksi tilattiin 4 metriä pyöröterästä, halkaisija 5 mm. Sen jälkeen katkaistiin sitä pieniin paloihin. Jos akselin pituus oli esimerkiksi 48 mm, lisättiin siihen työstövaraa 5 mm eli katkaistiin 53 mm:n kappale. Todettiin, että vaikka kappale on lyhyt 53 mm, niin se vääntyy. Se johtuu siitä, että akseli on ohut 5 mm ja terä painaa suurella voimalla. Se saadaan korjattua siten, että terä poistaa kerralla vähemmän (0,2 mm) materiaalia pinnasta. Työstöaika pidentyy noin 20 sekuntia ja koko sorvausaika on noin 50 s/akseli.



Kuvio 10. Kärkisorvi Colchester Triumph 2500.

Mazakilla kuluu paljon aikaa yhden akselin työstämiseen, joten päätettiin tehdä pieni vertailu. Verrattiin Mazakia ja kärkisorvia keskenään (Taulukko 5).

Taulukko 5. Mazakilla ja kärkisorvilla kuluva aika 1. akselin työstämiseen.

Työnvaiheet	Aika (min) Mazakilla	Aika (min) kärkisorvilla
Ohjelmointi, ohjelman testaus	12,5	0
Työkalujen mittaukset	4,1	4,5
Aihion kiinnitys, valmiin akselin irrotus	1,5	2
Sorvaaminen	1,2	4,3

Mazakilla tarvitsi tehdä ohjelmointi ainoastaan yhden kerran ja sitten ohjelmaa voidaan käyttää samanlaisille akseleille. Seuraavaksi lasketaan yhden akselin sorvaukseen kuluva aika jokaiselle erilaiselle akselille:

$$\frac{(ohj. + testaus) + (työkal. mittaus + aihio)}{kpl}$$

$$+ aihion sorvaus + valm. aks. irrotus = aks. sorv. kuluva aika$$

Kaava 3. Ensimmäisen akselin sorvaukseen kuluva aika (min)

Esimerkki 1. Mazakilla kuluva aika yhden akselin työstämiseen

$$\frac{12,5 \text{ min} + 4,1 \text{ min} + 1,5 \text{ min}}{360 \text{ kpl}} + 1,2 \text{ min} + 1,5 \text{ min} = 4 \text{ min}, \text{ katso kuvio 6, 1}$$

4,3 min, katso kuvio 6, 2

6,2 min, katso kuvio 7, 1

7,3 min, katso kuvio 8, 1

7,3 min, katso kuvio 8, 2

Esimerkki 2. Kärkisorvilla kuluva aika yhden akselin työstämiseen

$$\frac{0 \text{ min} + 4,5 \text{ min} + 2 \text{ min}}{36 \text{ kpl}} + 4,3 \text{ min} + 2 \text{ min} = 6,5 \text{ min}$$

Huomataan, että kärkisorvilla kuluu pidempi aika (6,5 min), kuin Mazakilla (ks. taulukko 5). Mazakilla tarvitaan kahta työkalua yhden akselin työstämiseen. Ensimmäisen työkalun terä on akselin katkaisemiseksi oikeaan pituuteen ja toinen työkalu on urien tekemiseen, uran leveys on 1,1 mm. Irrotettiin työkalut Mazakista ja asennettiin ne kahteen kärkisorviin. Aika lyheni puoleen. 6,5 minuutissa voitiin valmistaa kaksi akselia. Kun oli työstetty urat kärkisorvilla, akseli katkaistiin määrämittaan.

5 Kokoonpano

Tässä luvussa käydään läpi vaihe vaiheelta, miten SB:n osat koottiin yhteen.

5.1 Kokoonpanon teoria

Ennen kokoonpanon aloitusta on varmistettava, että kaikkia tarvittavia osia on varastossa saatavana ja valmistettavat osat ovat myös työstettynä. Kokoonpanon tärkeitä tekijöitä ovat työalueen siisteys ja työkalujen järjestelyt. Ne nopeuttavat ja lisäävät sujuvuutta työhön. Kokoonpanon on sujuttava perustyökaluilla esimerkiksi ruuvimeisseliä käyttäen eli sen on oltava yksinkertaista. /5, s. 486 - 490./

5.2 Toleranssit

Toleranssin merkitys kappaleen valmistuksessa on oleellisen tärkeä. Toleranssit lisäävät kappaleen valmistuskustannuksia, koska silloin tarvitaan tarkempia koneita ja tarkkuutta valmistajalta. Toleranssit merkitään esimerkiksi 5h9, jolloin 5 tarkoittaa 5 mm:n halkaisija ja h9 tarkoittaa ulkohalkaisijan hyväksytyä epätarkkuutta. Pienet kirjaimet tarkoittavat piirustuksessa ulkomittaa ja isolla kirjaimella merkitään sisämittaa. Kaikki toleranssit ovat taulukoituja arvoja esim. $5h9 = \varnothing 5 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,013 \end{smallmatrix} \right)$, eli ulkohalkaisija työstön jälkeen voi olla välillä 5 mm - 4,987 mm ja vastaavasti sisähalkaisija $\varnothing 5 H7 = \varnothing 5 \left(\begin{smallmatrix} +0,012 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ eli sisähalkaisija työstön jälkeen saa olla välillä 5,012 mm - 5 mm (liite 6 ja liite 7) /6/.

5.3 Osien reiät ja akselit

Kokoonpantavien osien reikien halkaisija oli 5 mm. Se ei ollut tarpeeksi suuri, jotta akseli mahtuisi siitä läpi. Reikien ja akselin toleranssien on suunniteltu olevan $\varnothing 5H7$ ja $\varnothing 5h9$. Mitattiin reiät ja akselit mikrometrillä ja todettiin, että reiän halkaisija oli keskimäärin 4,995 mm (mitattu puolijalan 7 eri osaa, yhteensä 16 reikää, jokainen reikä 5 kertaa), ja akselin halkaisija on 5,045 mm

$\left(\frac{10}{5} \text{ mit}; 10 \text{ akselia mitattu, jokainen } 5 \text{ kertaa}\right)$ (Kuvio 11 ja kuvio 12).



Kuvio 11. Kuvassa on reiän halkaisija mitattuna mikrometrillä ennen laajennusta.

Laajennettiin kaikki reiät porakoneella, jolle valittiin 5,5 mm:n halkaisijan terä. Akseli pitäisi pystyä työntämään reikään vaivattomasti.



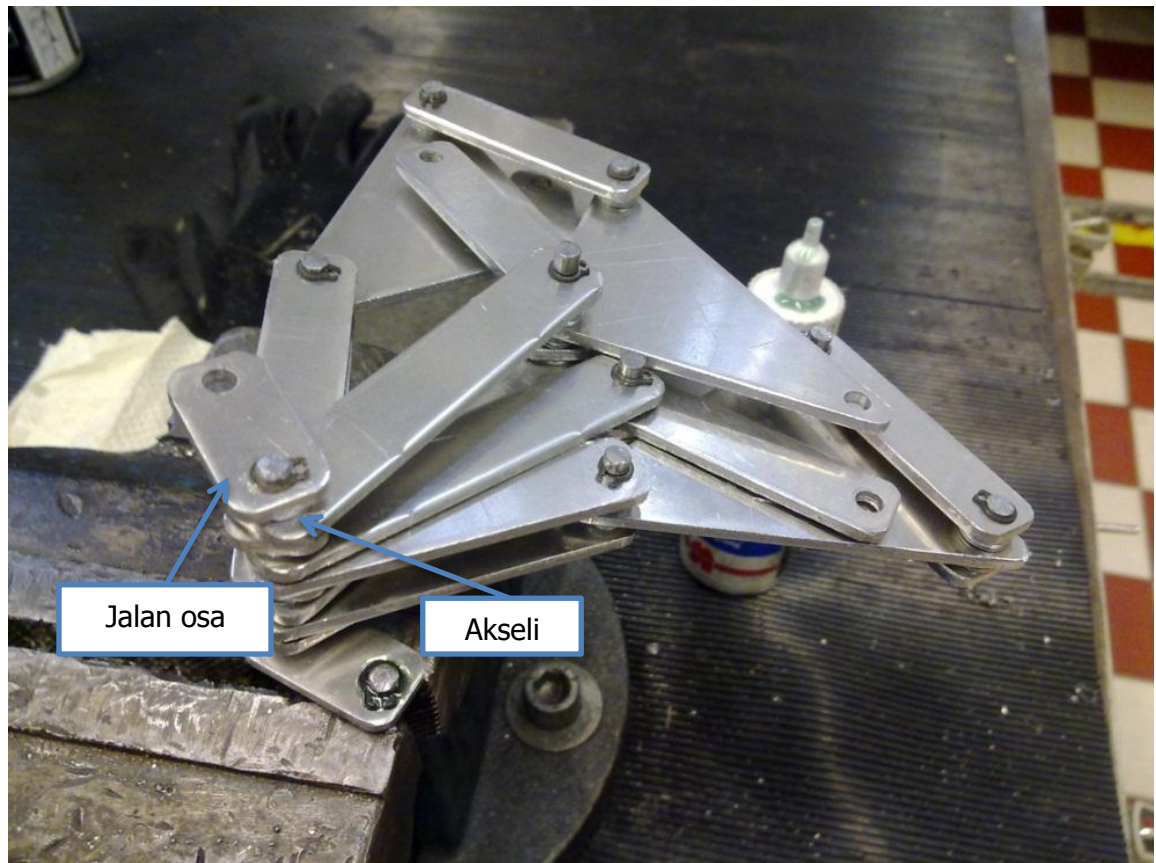
Kuvio 12. Kuvassa on akselin halkaisija mitattuna mikrometrillä.

5.4 Liitokset

Edellytyksenä on, että osien välinen kosketuspinta-ala on tasainen. Leikkausjännityksen seurauksena on liitoksen pettäminen. Metalliteollisuudessa ei yleensä liitetä kappaleita liimaamalla, vaan hitsaamalla tai ruuviliitosta käyttäen. Suurin kestävyys liimauksella on 0,3 MPa. Todettiin laskemalla, että tarvitaan tukevampi liitos, koska leikkausjännityksen suuruus on 0,4 MPa (ks. liite 11) /5, s. 293 - 296/.

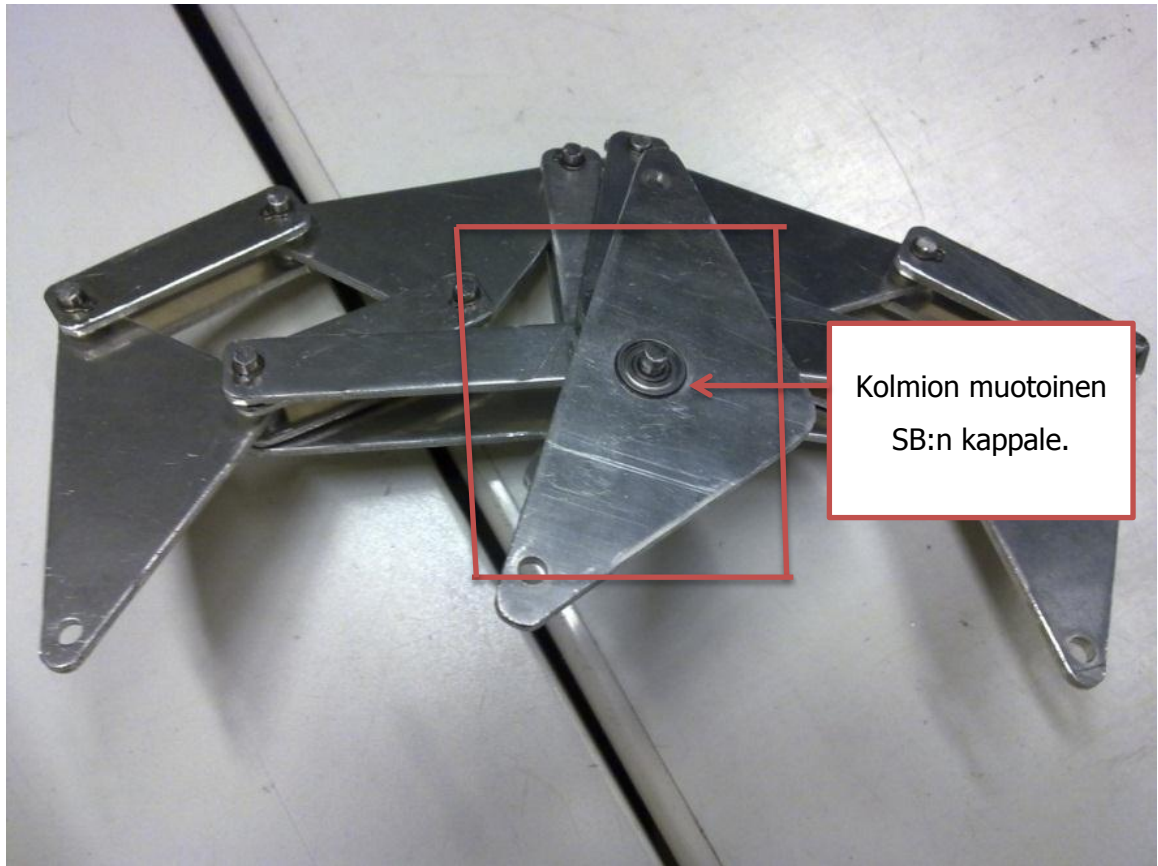
5.5 Osien liittäminen

Tarkoitus oli liimata joitakin osia kiinni tiukasti, jotta pyörähdystä ei synny akselin ja kappaleen välillä. Kuviossa 13 on liimattu akseli jalan osaan ruuvilukitteella, jotta akseli ei pääse pyörähtämään.



Kuvio 13. Akselin liimaaminen jalan osaan.

Aluksi liimattiin laakeri kolmion muotoiseen kappaleeseen ja sen jälkeen, kun laakeri oli tiukasti kiinni, niin se laitettiin jalan akseliin kiinni (kuvio 14).

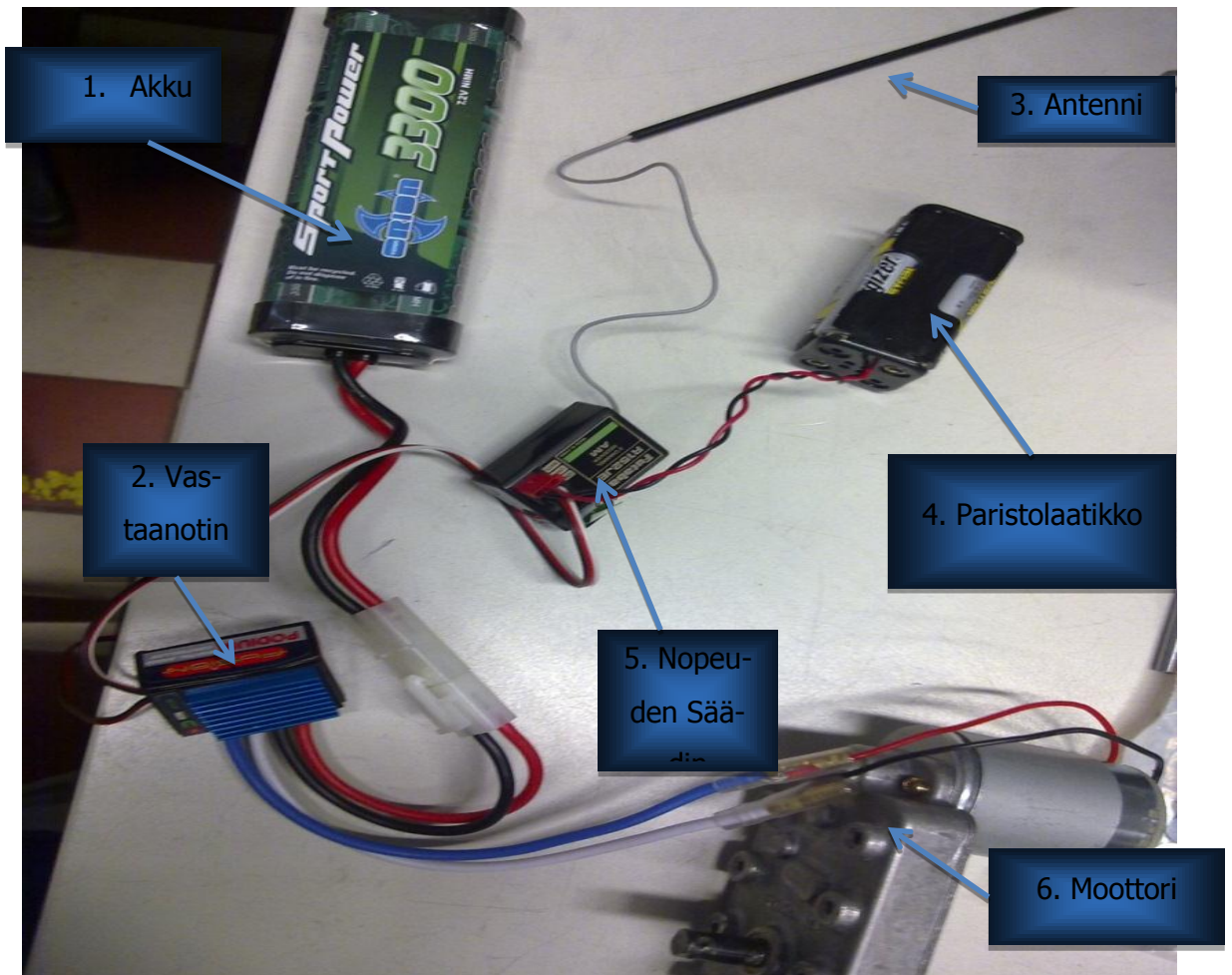


Kuvio 14. Kolmion muotoinen SB:n kappale, joka on kiinnitetty laakerin avulla jalkaan.

5.6 Sähkölaitteiden kytkentä

Sähkölaitteet on kytketty seuraavasti:

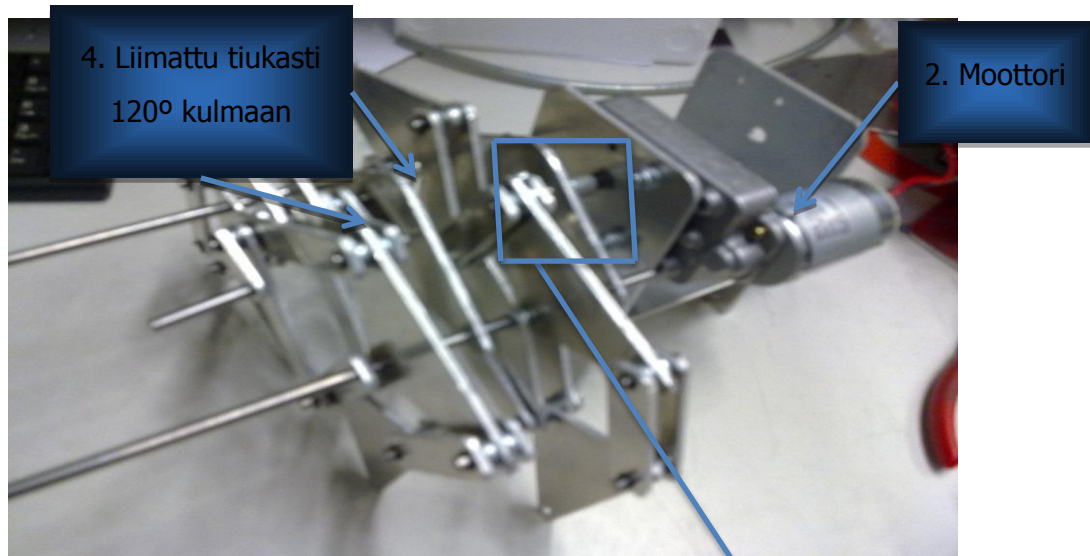
Akku (1) on liitetty nopeuden säätimeen (5). Nopeuden säädin on liitetty moottoriin (6) ja vastaanottimeen (2). Vastaanotin (2) on liitetty paristolaatikkoon (4) ja antenniin (3). (Kuvio 15.)



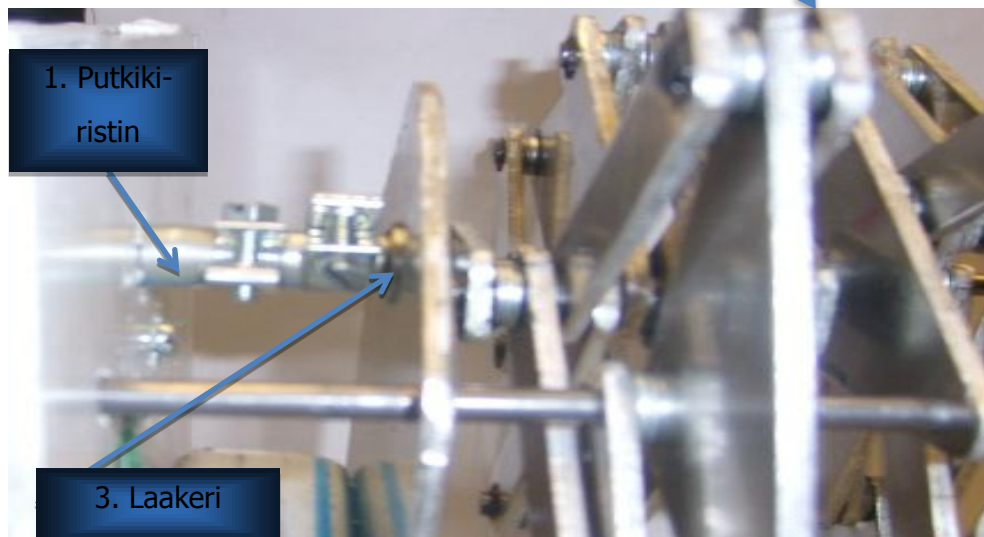
Kuvio 15. Yhden moottorin sähkökytkentä.

Moottori on kiinnitetty jalan akseliin kahdella kumisella putkella ja putkikiristimellä, joiden halkaisijamitta on 7,5 mm ja 5,5 mm, koska akseli (halkaisija 5 mm) on ohuempi kuin moottorin oman akselin halkaisija (8 mm) (kuvio 16 ja kuvio 17). Sen toinen tehtävä on antaa sopivasti periksi /2/. Alun perin Abe oli suunnitellut, että putkikiristimen paikalla olisi kytkin, mutta se olisi lisännyt kustannuksia suuresti (kuvio 18). Toiminnan kannalta putkikiristin toimii kuten kytkin, kun siihen on kiinnitetty putket akseleihin.

Yhden kytkimen hinta maksoi Japanissa 80 €, ja kun tarvitaan molempiin puoliin kytkimet, niin kustannukset olisivat $80 \text{ €} \times 2 + \text{toimituskustannukset (20 €)} = 180 \text{ €}$. kytkimien hankintahinta lisäisi kustannuksia yli 23 % (kaava 4).



Kuvio 16. Kahdet jalat on liitetty toisiinsa ja moottoriin.



Kuvio 17. Akseli ja moottori on liitetty putkikiristimellä.

$$\frac{180}{595,40 + 180} = 0,2321 = 23\%$$

Kaava 4. Kytkimen osuus SB:n kokonaiskustannuksista.

Name: MSX-19C (5×8)

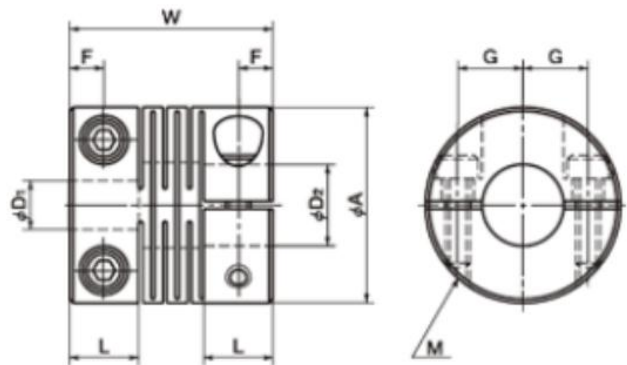
A: 19mm

W: 20

F: 3.4

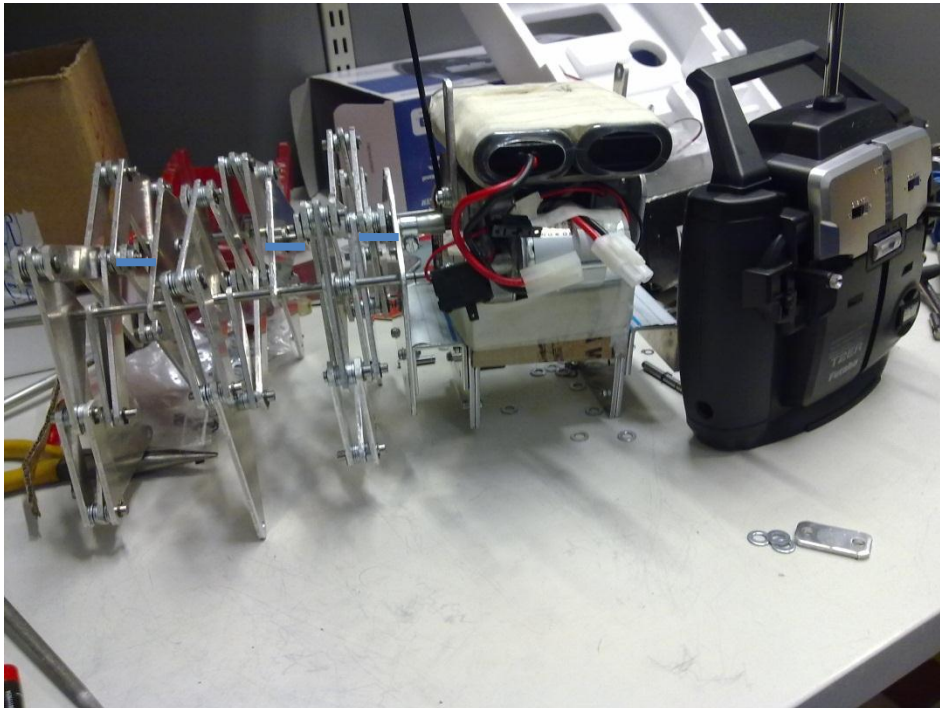
G: 5.6

M: M2.5



Kuvio 18. Kytkimessä on kahdet reiät, joiden halkaisija on 5 mm ja 8 mm. Niiden tehtävä on yhdistää moottori ja akseli keskenään.

Yhdistettiin kaikki kolme jalkaa ja huomattiin, että akselin pääty hieroo toista jalkaa (kuvio 19), koska akselien etäisyys toisistaan on 3 mm. Se on merkitty kuvaan sinisillä viivoilla. Oli kaksi vaihtoehtoa: 1. pidennettäisiin akselit, jolloin etäisyys jalkojen väliin suurenee tai 2. sahataan akselien päädyt pienemmiksi 2 mm:stä 0,2 mm:iin. Valmistettiin akselit 20 mm:sta 25 mm:iin ja sahattiin akselien päädyt automaattisahalla.



Kuvio 19. SB odottaa kokoonpanoa. Kaikki osat ovat pöydällä.

6 Ongelmat ja testaus

Tässä luvussa käsitellään 1. vaiheen tulokset.

6.1 Kokoonpanon ongelmat

SB ei liiku oletuksien mukaisesti johtuen sen suuresta painosta, jonka vuoksi jalat nousevat ilmaan ja kosketus pinnan kanssa on pieni (kuvio 20). Putkikiristin antaa helpolla periksi.



Kuvio 20. SB koottuna, 1. prototyyppi

6.2 Testausvaihe

SB:n mekaanisten osien massa on 2307 g ja sähköisten komponenttien massa on 1135 g. Kokonaismassaa ei ole otettu huomioon simulaatiossa. Kun SB on tukien varassa ja jalat eivät kosketa maata, pyörät liikkuvat hyvin. Kun se laitetaan yksin liikkumaan, se ei jaksa liikkua vaan pyrkii taipumaan eli siihen muodostuu taipuma. Pysty- ja vaaka-

liikkeet on estettävä. Käytännössä akselien pituus on todettu liian lyhyeksi (ks. luku 7 Vikojen ratkaisukohdat).

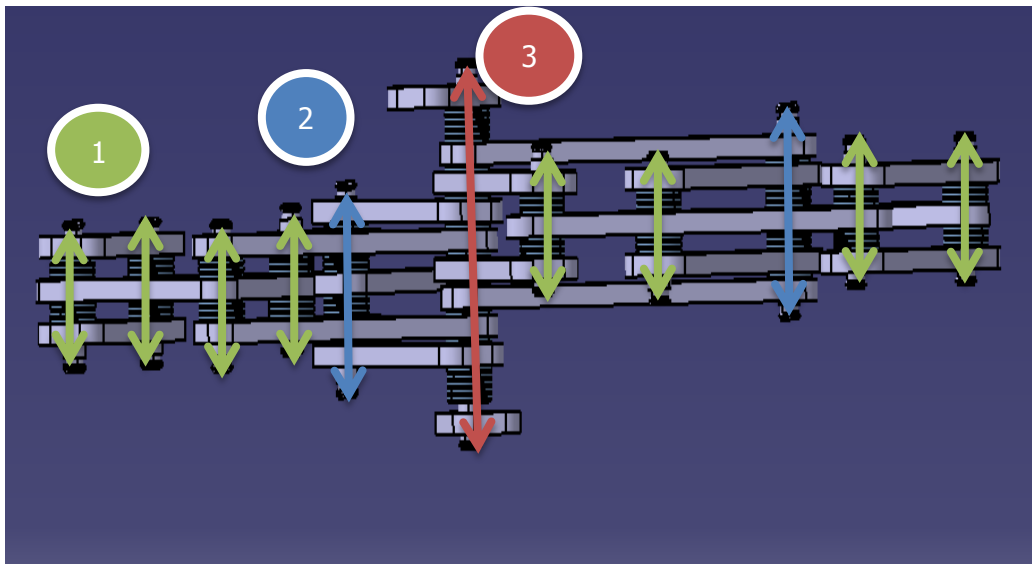
Vikojen tärkeysjärjestys

1. Jalkojen osat hankautuvat toisiaan vasten - akselit liian lyhyitä.
2. Esintyy ylimääräisiä pysty- ja vaakaliikkeitä.
3. SB taipuu.
4. Putkikiristin antaa helposti periksi.
5. Akselien liima ei kestä.
6. Keskikohta on liian painava.

7 Ongelmien ratkaisut

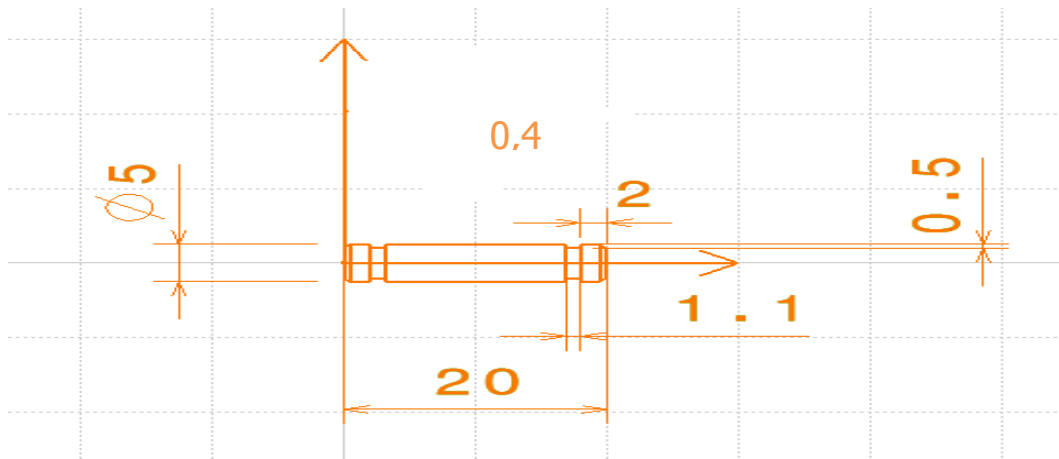
7.1 Akselien uudelleenmitoitus ja valmistus

Joitakin osia on suunniteltu uudestaan Catia-ohjelmalla eli akseleita ja keskikohta on uudelleen suunniteltu. Välirenkaiden määrä ja niiden sijoitus jokaisen akselin kohdalla on ratkaisevan tärkeä, jotta jalat eivät siirry paikoiltaan. Kuvassa on merkitty samat akselit samalla värillä (kuvio 21).



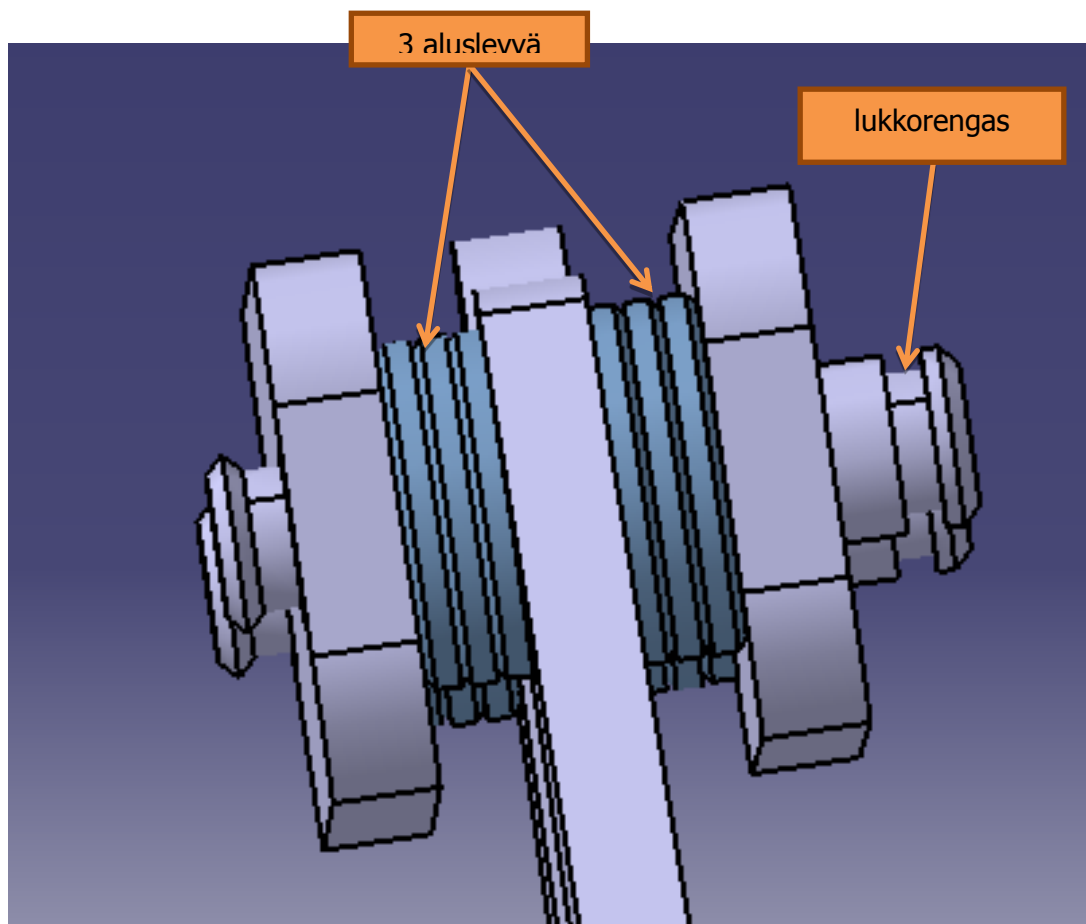
Kuvio 21. SB:n jalka piirretty Catialla (ylhäältä katsottuna).

Urien syvyys on 0,5 mm. Niihin tulee 5 mm:n rengaslukko. Se on standardin mukainen ura (kuvio 22).



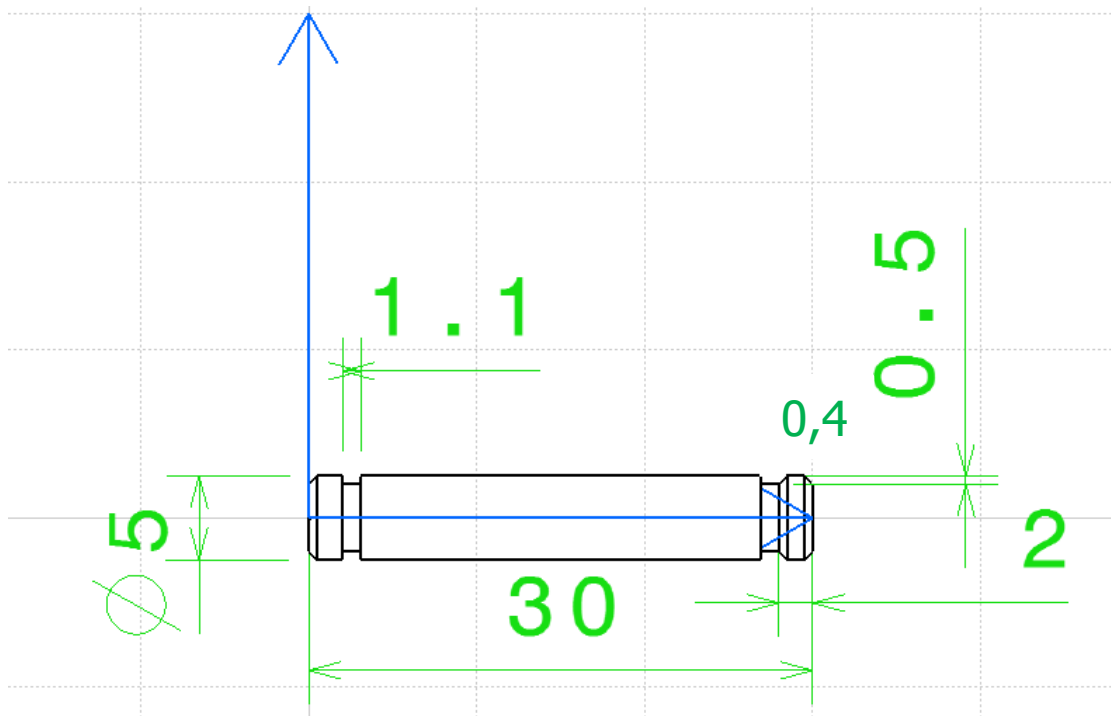
Kuvio 22. $\varnothing 20$ mm:n akseli (numero 1 kuviossa 21).

Kaikissa kohdissa, joissa on 20 mm:n akselit on 3 aluslevyä. On todettu käytännössä, että se helpottaa akselin liikkuvuutta (kuvio 23).



Kuvio 23. 20 mm:n akseli, joka on kiinnitetty paikoilleen.

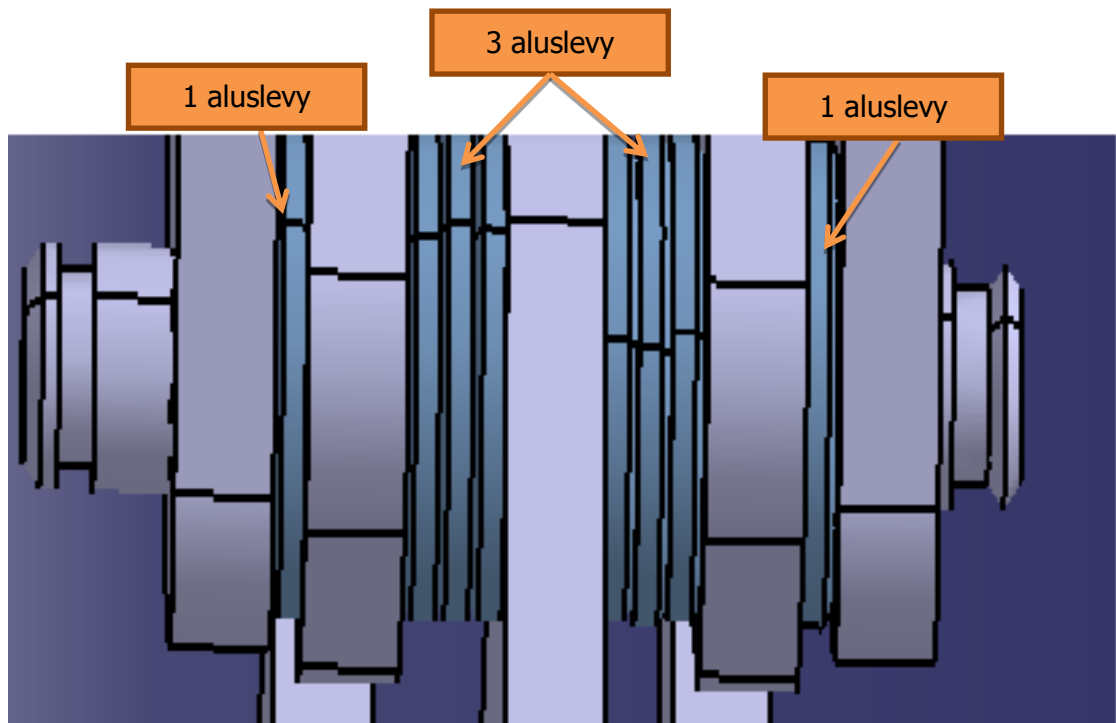
Aben suunnitelmassa akselin mitta on 26 mm (kuvio 24). Käytännössä todettiin, että sen on oltava 30 mm.



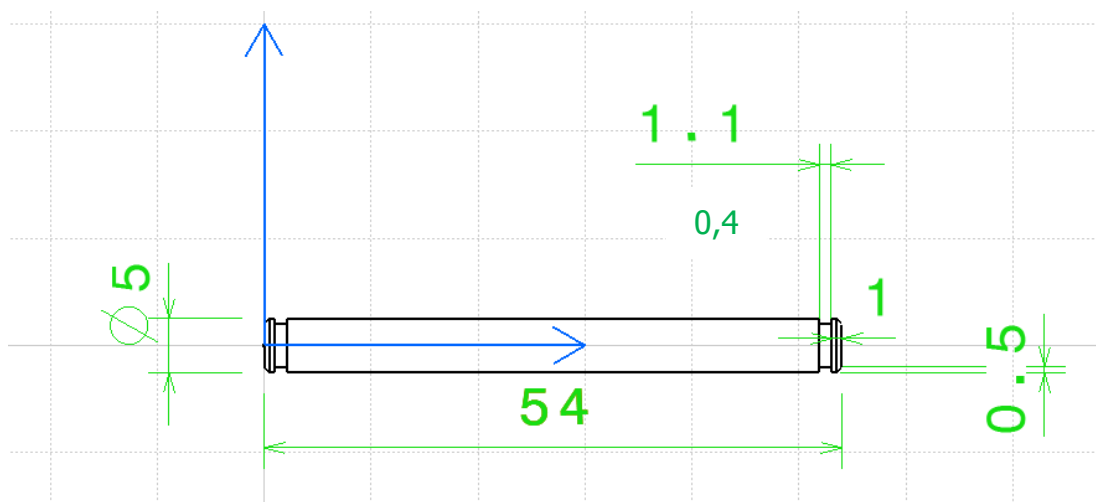
Kuvio 24. $\varnothing 30$ mm:n akseli (numero 2 kuviossa 21).

30 mm:n akseli eroaa 20 mm:n akselista siten, että reunoihin tulee yksi aluslevy niihin kohtiin, joihin 85 mm:n kpl tulee kiinnittää (kuvio 25).

Aben suunnitelmassa akselin mitta on 50 mm (kuvio 26). Käytännössä todettiin, että sen on oltava 54 mm.

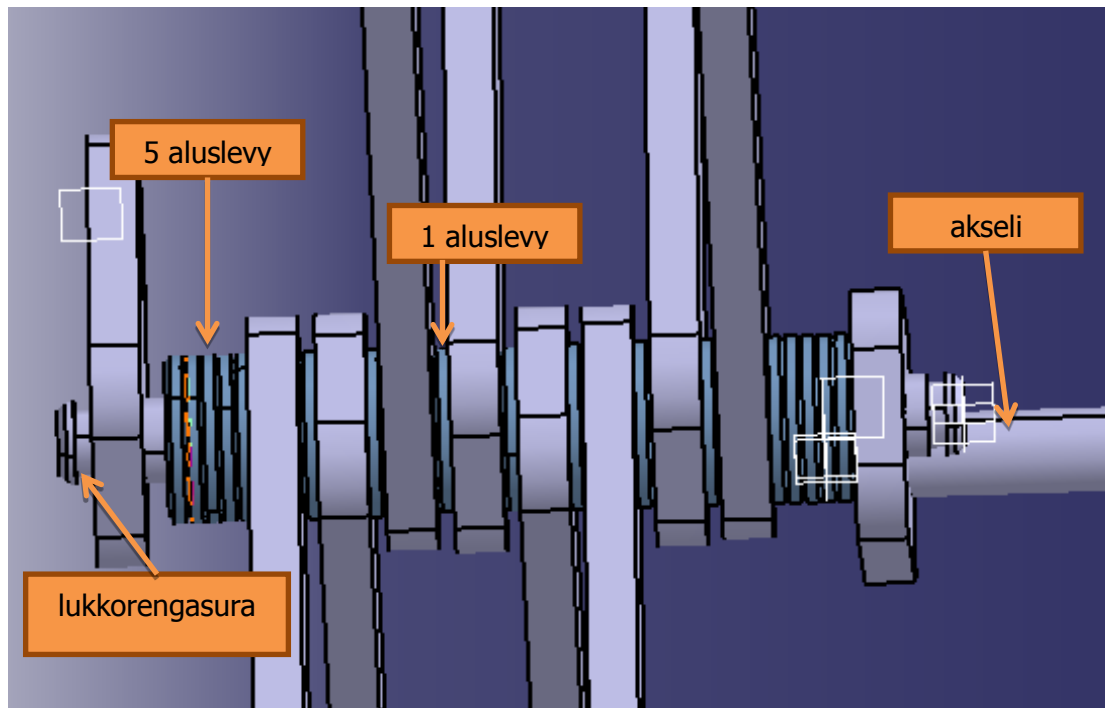


Kuvio 25. 30 mm:n akseli, joka on kiinnitetty paikoilleen

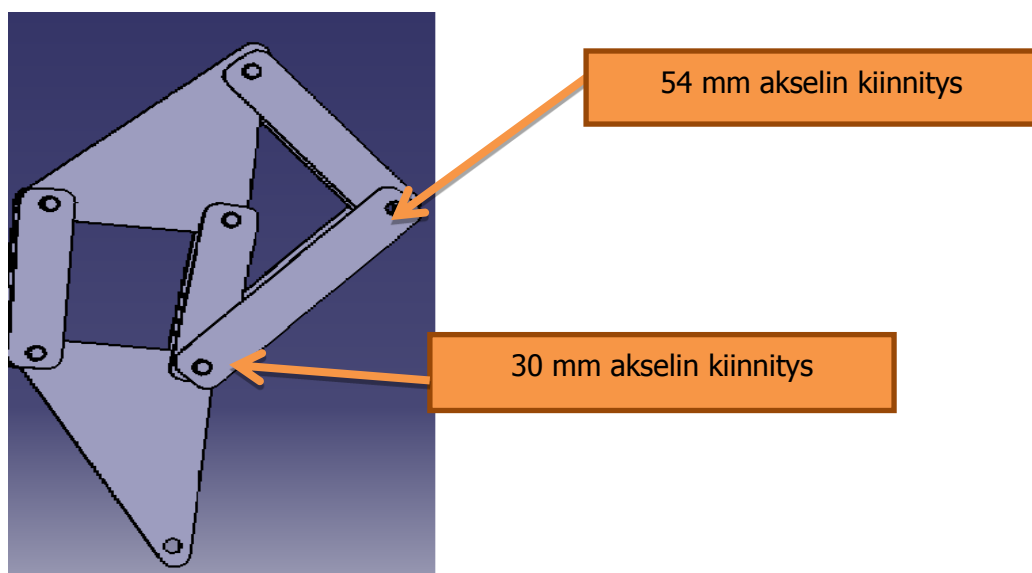


Kuvio 26. 54 mm:n akseli (numero 3 kuvassa 23).

54 mm:n akselle puolijalat kiinnitetään toisiinsa (kuvio 27) ja ne on mitoitettu siten, että jokaisen kappaleen väliin tulee yksi aluslevy ja reunoihin 5 aluslevyä. 5 aluslevyä vähintään, jotta akseli voi vapaasti tehdä ympyräliikettä ja jotta siihen ei synny ylimääräistä kitkaa, joka jumitti 1. testauksessa. 5 aluslevyä voi korvata 0,5 mm:n uralla, joka tehdään 3 mm:n etäisyyteen lukkorengasurasta (kuvio 28).



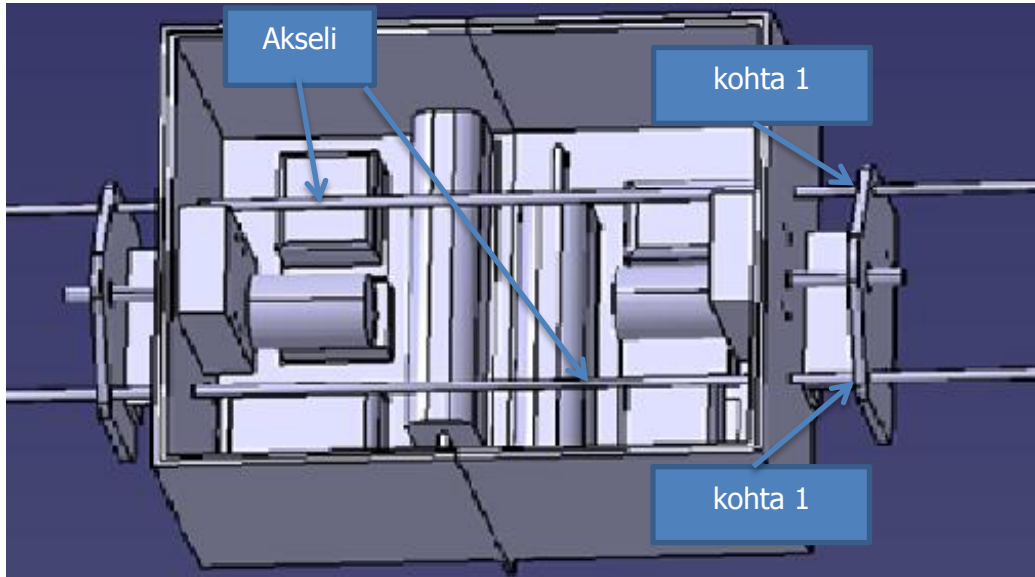
Kuvio 27. Akselin pituus 54 mm.



Kuvio 28. SB:n puolijalka, joka on piirretty Catiilla.

7.2 Keskikohdan suunnittelu

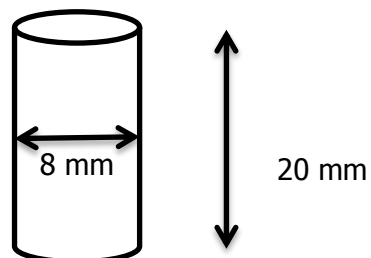
Toisessa testauksessa oli keskikohta suunniteltu isommaksi, koska kaikki komponentit oli tarkoitus asettaa mahtumaan hyvin keskikohtaan (kuvio 29). Malli valmistettiin muovista (katso teknilliset tiedot liitteestä 8).



Kuvio 29. 2. Catia- kuva 2. prototyypistä.

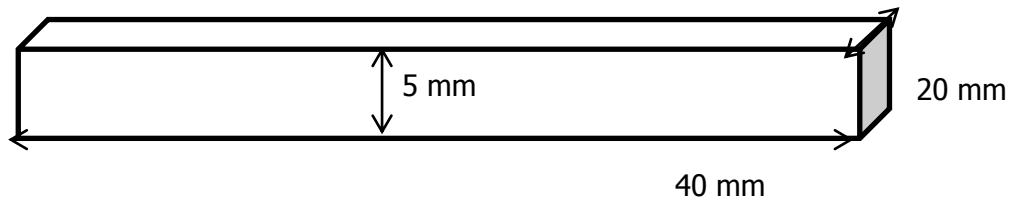
7.3 Akselien taipuminen pysty- ja vaakasuunnassa

Akselien taipuminen pysty- ja vaakasuunnassa voitiin ratkaista kahdella tavalla seuraavasti:



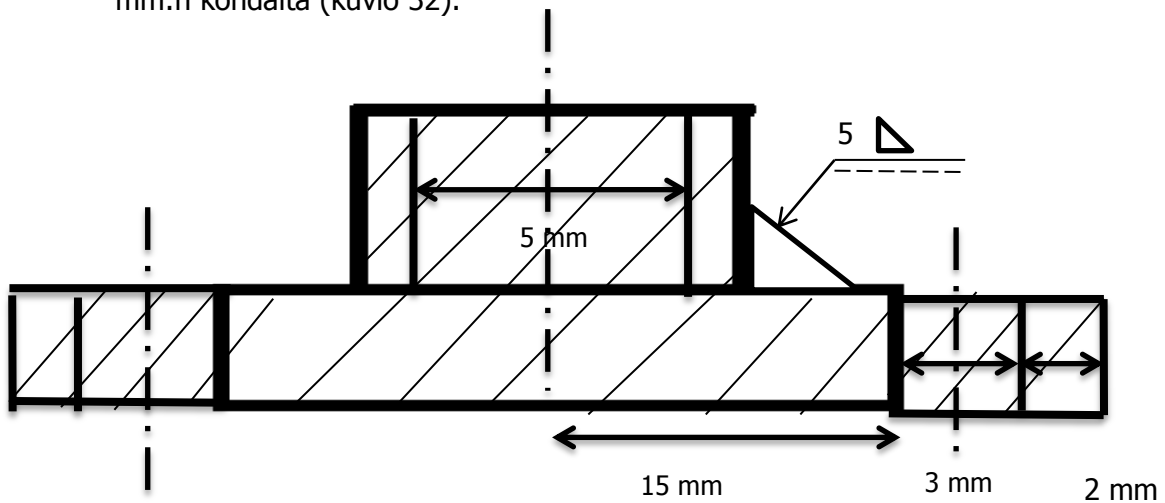
Kuvio 30. Kappale a:n mitat.

1. Yhdistämällä kappaleet a (kuvio 30) ja b (kuvio 31) hitsiliitoksella ja kiinnittämällä kohtaan 1 (kuvio 32) kahdella ruuvilla.



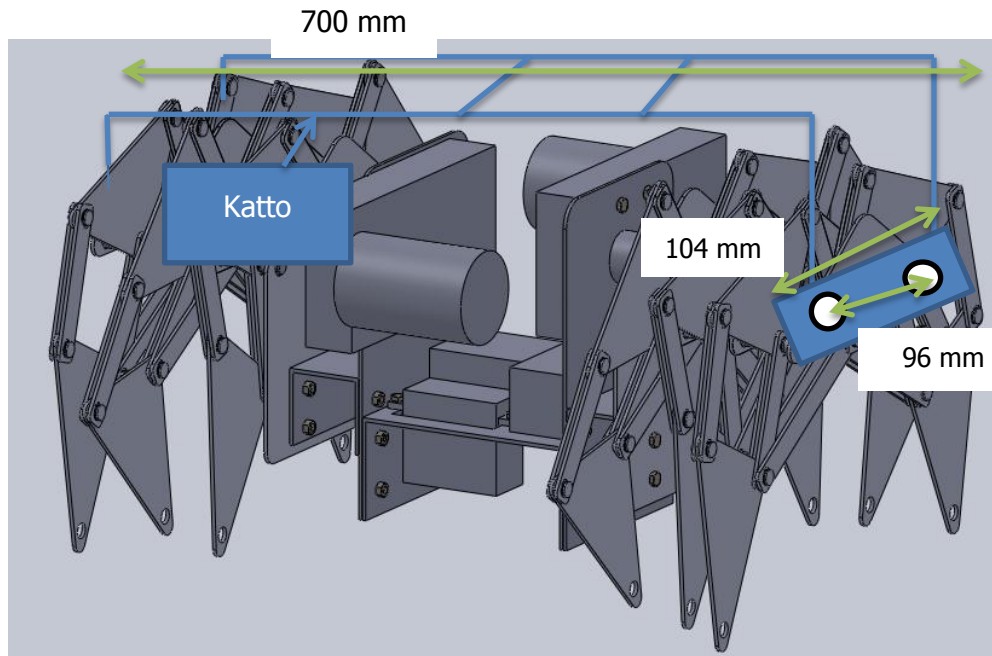
Kuvio 31. Kappale b:n mitat.

Valmistetaan 2 mm:n paksuinen alumiinilevy, joka taitetaan molemmista reunoista 40 mm:n kohdalta (kuvio 32).



Kuvio 32. Kappaleen a ja b hitsiliitos.

Levy muodostaa "katon" SB:n ympärille ja se kiinnitetään akseliin reunoista, jonka pituus on 710 mm, ja reikien halkaisija on 5 mm ja niiden välinen etäisyys on 96 mm, jolloin taittuminen pysty- ja vaaka-asennossa estetään (kuvio 33).



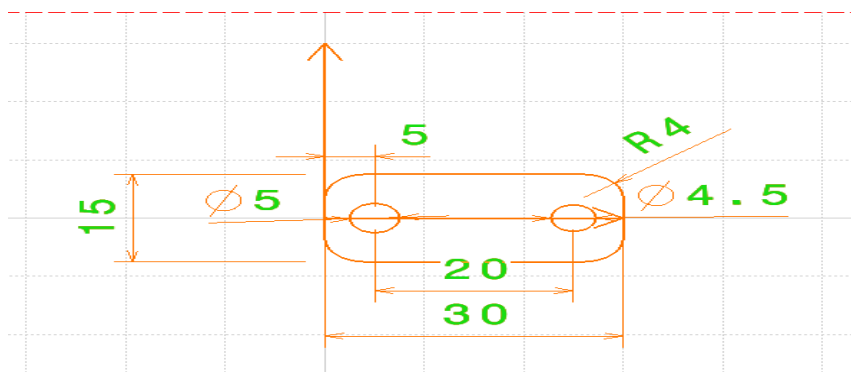
Kuvio 33. SB:n katto.

2. Vaihtoehto on, että tehdään keskikohtaan läpi kulkeva akseli, jonka pituus on 720 mm ja halkaisija 5 mm päädyistä päytyyn (kuvio 29).

Toteutettiin vaihtoehto 2, koska se on yksinkertaisempi kuin vaihtoehto 1.

7.4 Voimansiirto ahdistusovitteen avulla

Todettiin 1. testauksessa, että liimaaminen ei kestä rasitusta, joka SB:n liikkessa syntyy. SB:n jalan osaa (30 mm) lämmitetään niin kauan, että $\varnothing 5$ mm:n akseli mahtuu $\varnothing 4,5$ mm:n reikään (Kuvio 34). Tämä on kuitenkin tärkeysjärjestyksessä neljäntenä. Ajan puutteen sitä ei tehty. Liimaamalla työ onnistuu toistaiseksi.



Kuvio 34. 30 mm:n jalan osan työpiirustus.

30 mm:n kappale on muutettu siten, että toinen rei'istä on pienennetty 5 mm:stä 4,5 mm:iin, koska siihen on tarkoitus tehdä ahdistusovite (vrt. Kuvio 34 ja liite 1, kohta 2). Ahdistusovite tulee SB:n niihin kohtiin, joissa on tarkoitus tapahtua voiman siirtoa.

8 Toisen prototyypin valmistus ja testaus

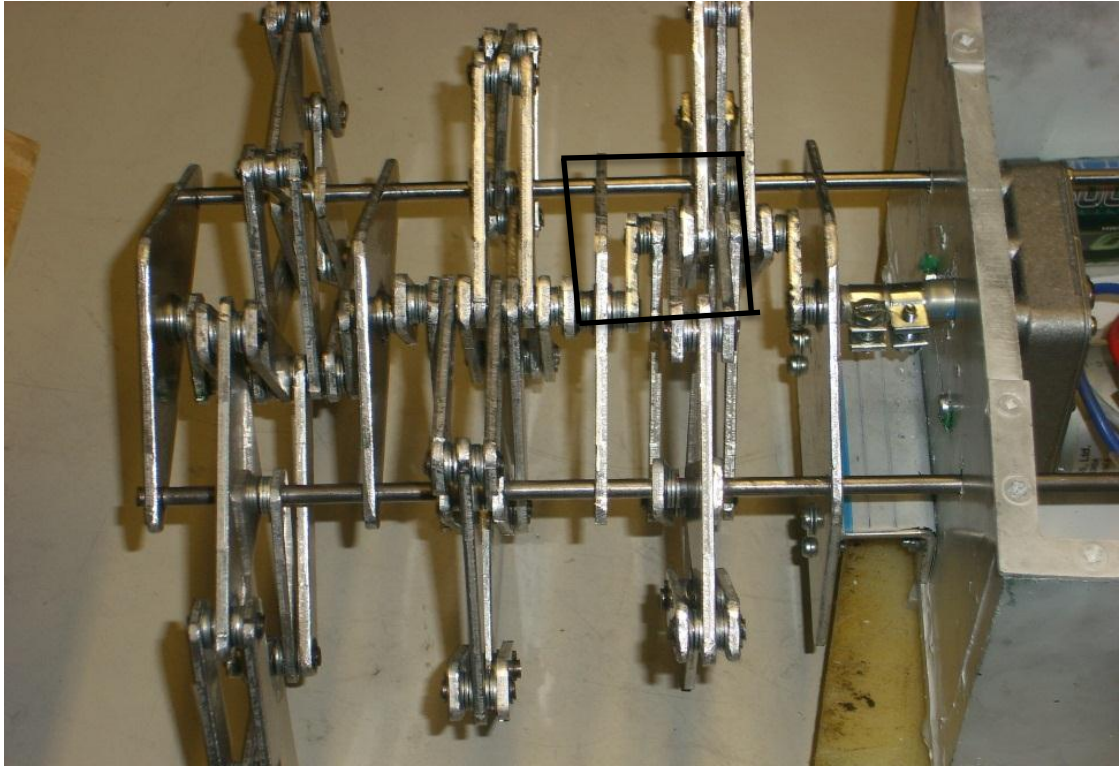
Tässä luvussa käsitellään SB:iin tehdyt muutokset sekä niiden vaikutukset ja seuraukset (kuvio 36).



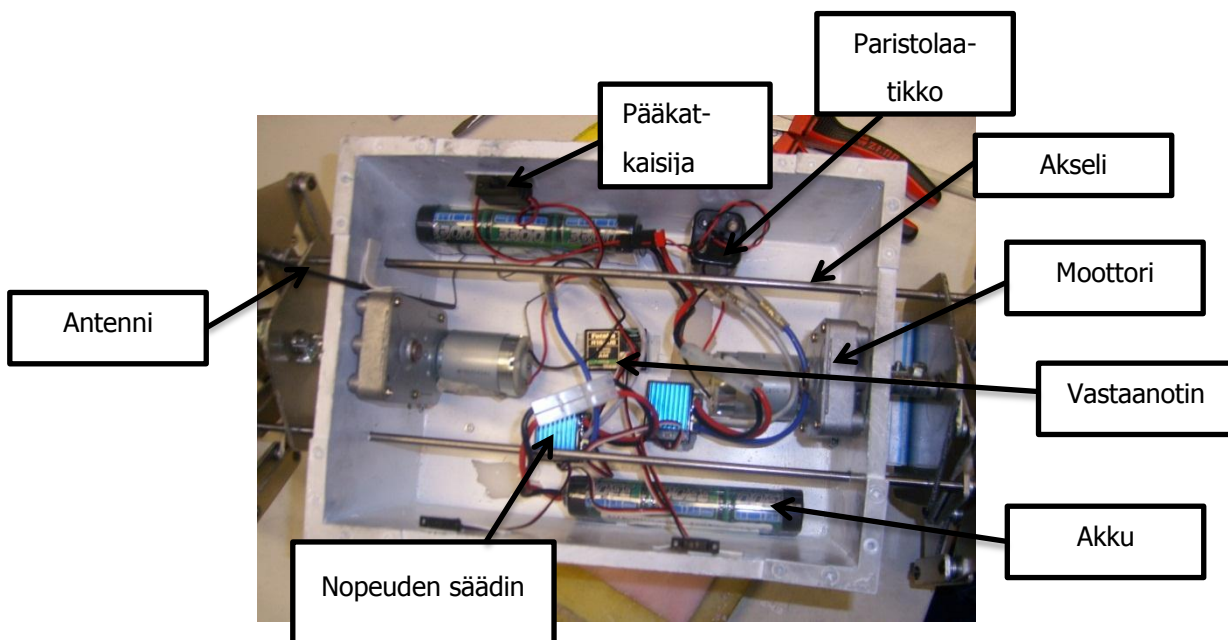
Kuvio 35. SB:n korjausten jälkeinen ulkomuoto.

8.1 Muutokset

SB:hen on tehty useita muutoksia, mm. kahdet putkikiristimet (kuvio 36). Putkikiristimiä on asennettu kaksi yhden sijaan, jotta ne eivät anna periksi helpolla. Keskikohta on valmistettu muovista ja siihen on tehty kahdet reiät, joiden kautta akselit on asennettu päädyistä pätyyn saakka. Akseleiden pituus on 720 mm (Kuvio 37 ja kappale 7.2 Keskikohdan suunnittelu), ja teknilliset mitoitukset löytyvät liitteestä 7. Akselit on muutettu (kappale 7.1 Akselien uudelleenmitoitus ja valmistus).



Kuvio 36. Putkikiristimet liittävät akselit toisiinsa kumiputken välityksellä. Järjestely toimii yksinkertaisena kytkimenä.



Kuvio 37. Sähkölaitteiden sijoittelu keskilaatikkoon.

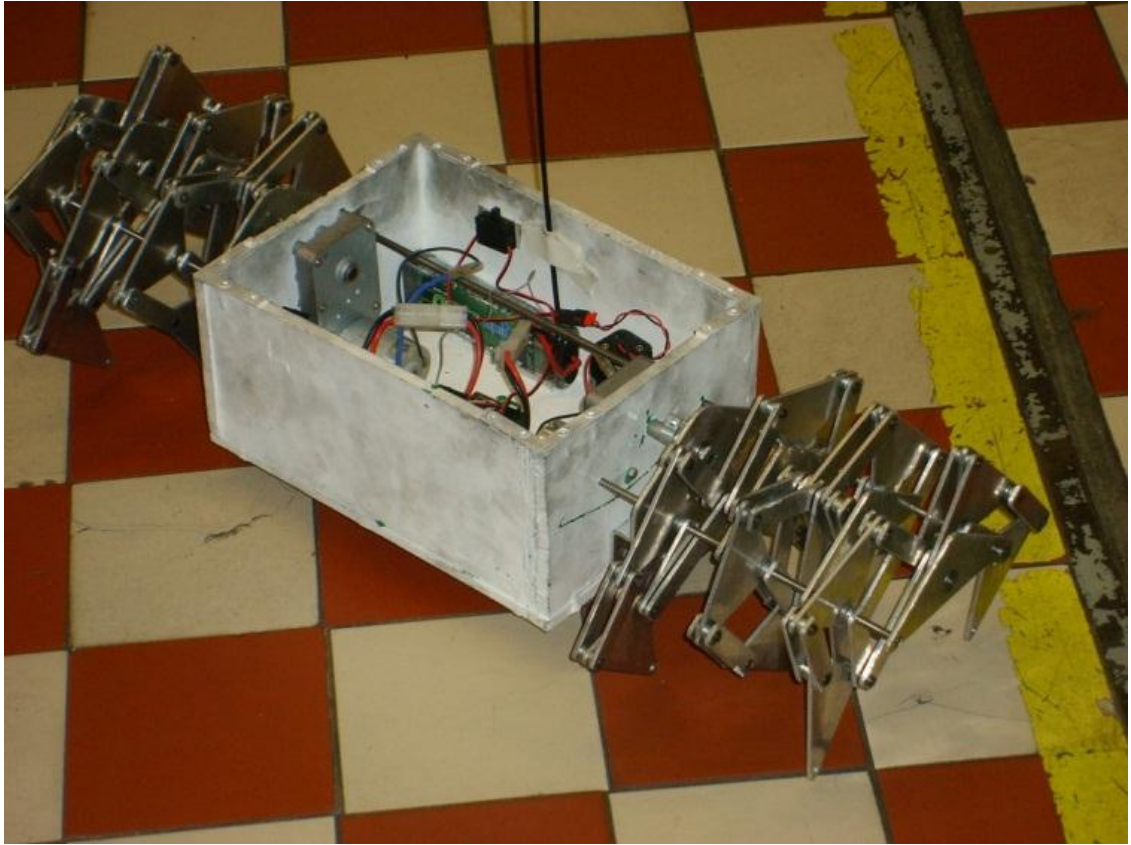
Keskikohta on valmistettu polyamidista (nylon). Se valittiin valmistusmateriaaliksi seuraavien ominaisuuksien vuoksi: lasinpitoisuus, vetolujuus, taivutuslujuus ja kutistuma (taulukko 6). Taulukossa on verrattu keskenään kolmea kestopuovia, jotka ovat PA (nylon), Polyeteeni (PEH) ja akrylibutadieenistyreenimuovi (ABS). Taulukosta nähdään, että PA:lla on suurempi vetolujuus ja taivutuslujuus kuin ABS:llä ja PEH:lla.

Taulukko 6. Kestomuovien ominaisuuksia

Ominaisuus	PA		ABS		PEH	
	0	30	0	20	0	20
Lasiasia p %	0	30	0	20	0	20
Vetolujuus (MPa)	82	180	48	86	31	59
Taivutuslujuus (MPa)	83	290	86	130	-	100
Kutistuma %	1,5	0,4	0,6	0,1	3,5	0,4

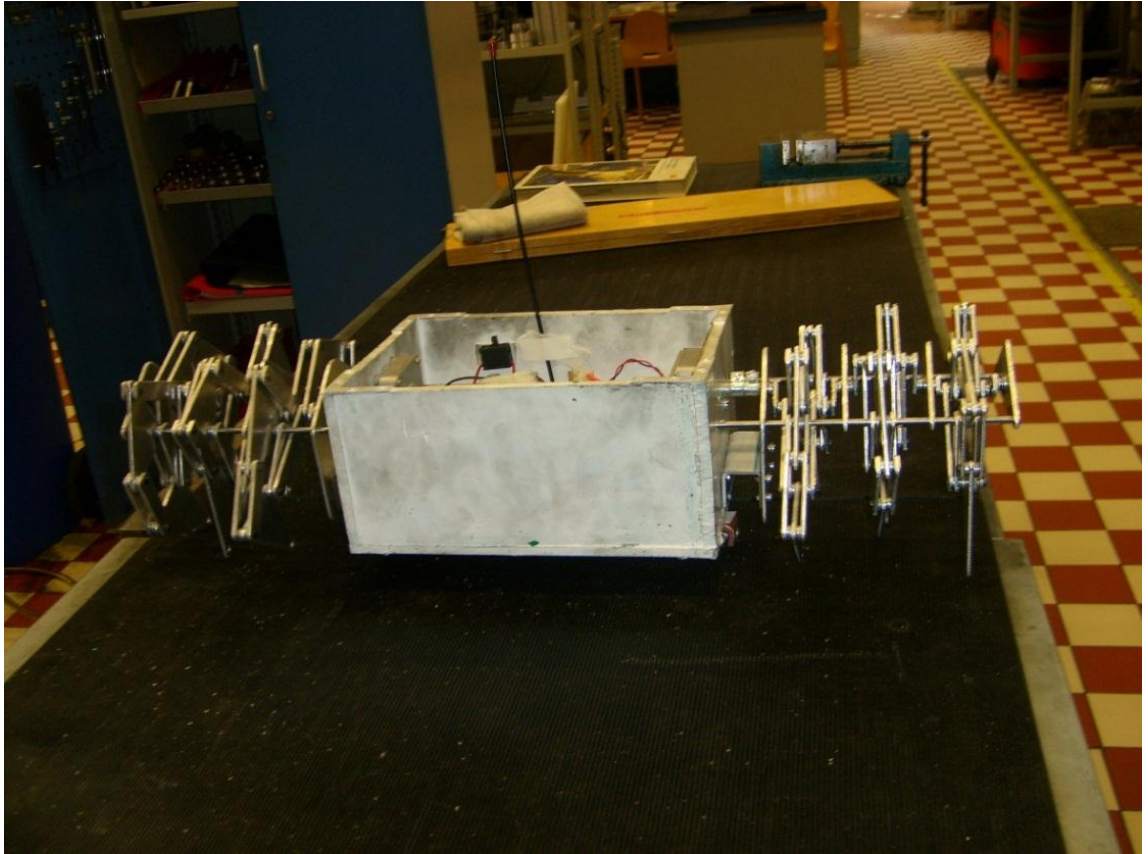
8.2 Muutosten testaaminen

Paino on kohonnut 3,4 kg:sta 5,3 kg:aan. SB:n eteneminen on hidasta ja se liukastelee kovapintaisella lattialla (Kuvio 38).



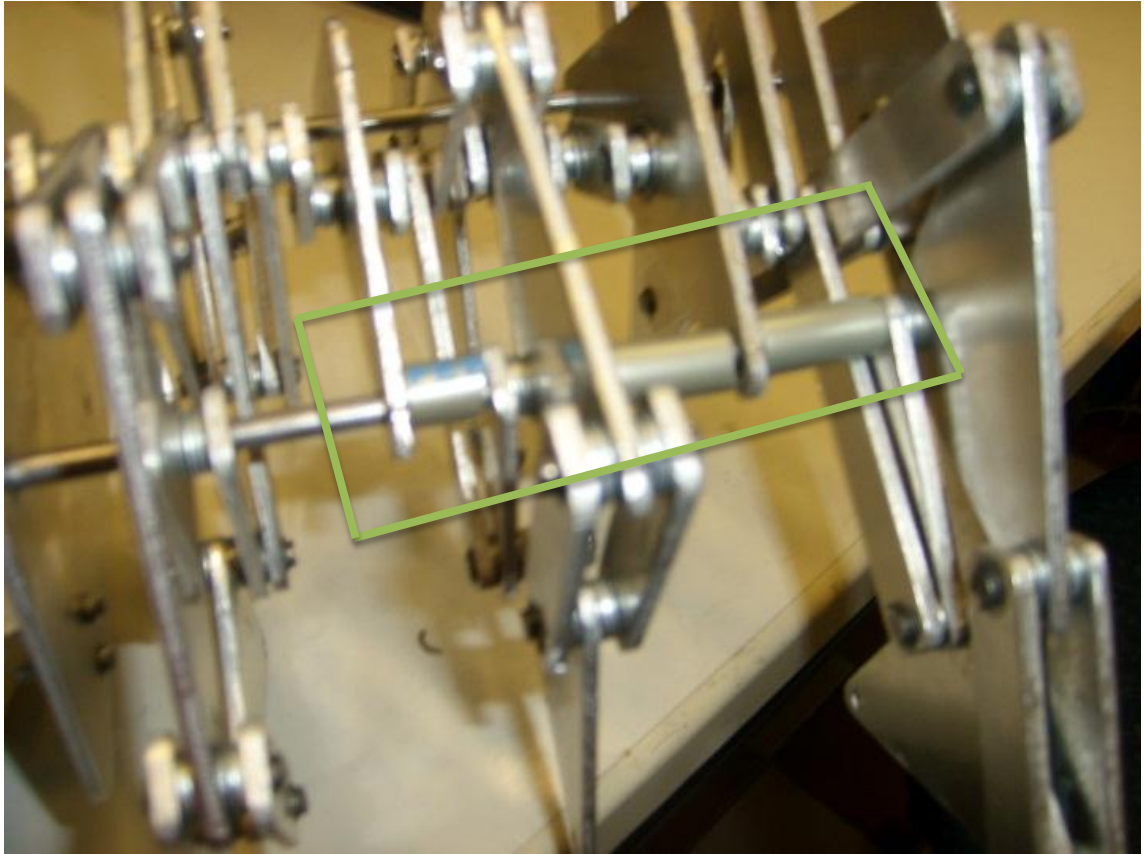
Kuvio 38. SB liikkuu lattialla.

SB:n liikkumista kumimaton päällä testattiin Metropolia AMK:n konepajatekniikan laboratoriossa. Todettiin liikkumisen sujuvan paremmin matolla kuin ilman mattoa (Kuvio 39).



Kuvio 39. SB liikkuu kumimaton päällä.

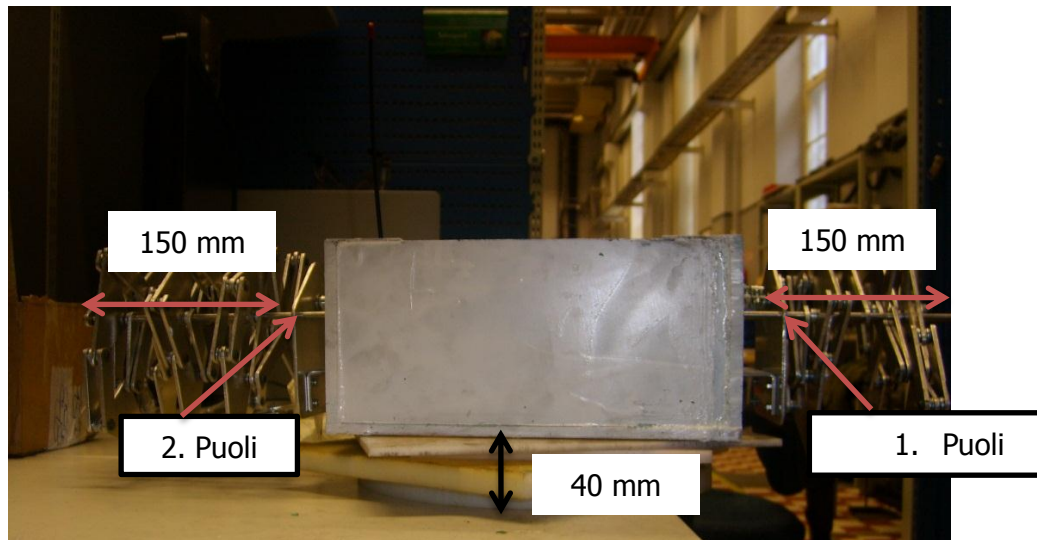
Kokeiltiin myös, miten SB:n liikkeeseen vaikuttaa, jos laitetaan kumiset putket akselien päälle jalkojen väliin, jotta jalat pysyisivät liikkumisen aikana samassa asennossa (Kuvio 40). Todettiin, että SB:n jalat lukkiutuivat.



Kuvio 40. Jalkojen välissä on kumiset putkiholkit.

8.3 Taipuman mittaaminen

Kohdasta 1 mitattiin vasemmalta oikealle ja kohdasta 2. oikealta vasempaan päin alkavan nuolen osoittamasta kohdasta (ks. liite 8). Mittaus on suoritettu 4 kertaa, jolloin mittausvirhe on pieni (kuvio 41).

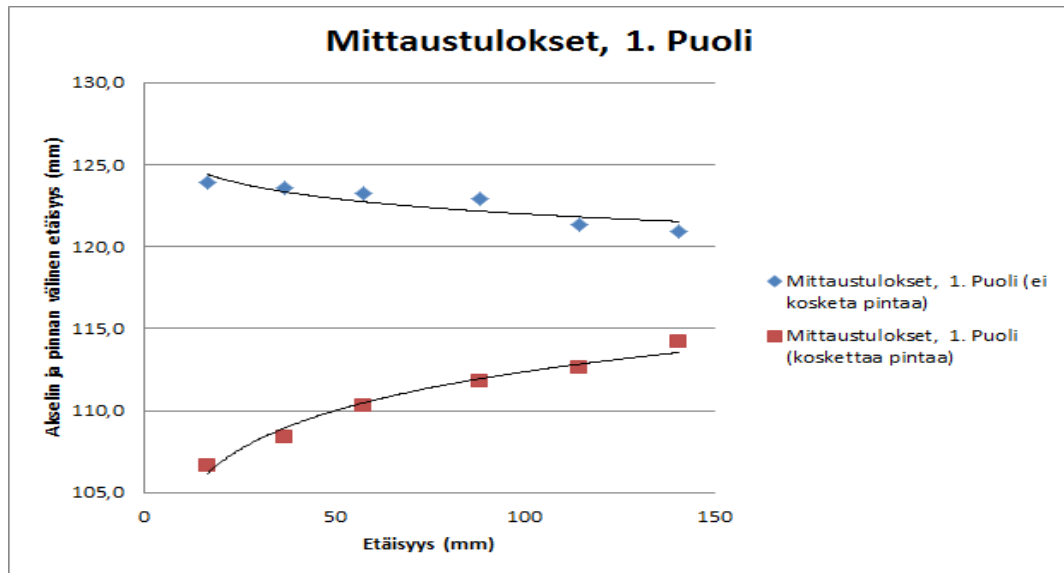


Kuvio 41. SB:n taipuman mittaaminen.

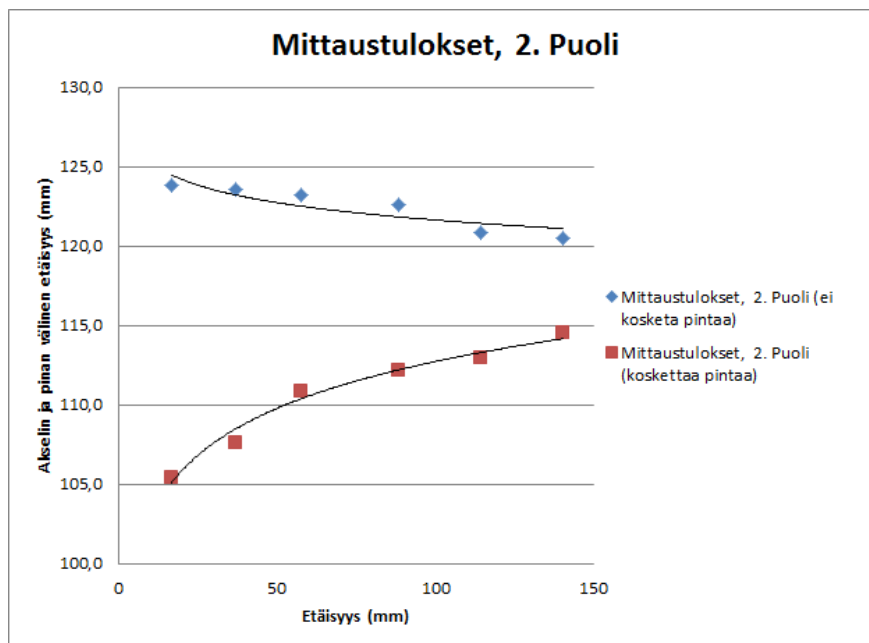
Seuraavaksi mitattiin taipuma kohdista 1 ja 2, joissa oletuksen mukaan syntyy suurin taipuma:

- a) Ei kosketa pintaa: SB on nostettu ylös (40 mm) niin, että jalat ovat vapaasti ilmassa. Jalkojen paino taivuttaa SB:tä alas.
- b) Koskettaa pintaa: SB on jalkojen varassa pinnan kanssa kosketuksessa. Keski-kohdan paino taivuttaa SB:tä ylös.

Kuviossa 42 on yhdistettynä 1. puolen mittaustulokset, kun SB koskettaa pintaa ja kun SB ei kosketa pintaa. Kuviossa 43 on 2. puolen mittaukset.



Kuvio 42. 1. Mittaustulokset, 1. puoli.



Kuvio 43. Mittaustulokset, 2. puoli.

Taipuma (mm) = (loppupisteen y-koordinaatin arvo) -
(alkupisteen y-koordinaatin arvo)

Seuraavaksi laskettiin molempien puolten taipumat käyttäen kaavaa 5:

Kaava 5. Taipuman laskeminen

1. puolen mittaukset

Koskettaa pintaa:

$$114,2 \text{ mm} - 106,7 \text{ mm} = 7,2 \text{ mm}$$

Ei kosketa pintaa:

$$123,9 \text{ mm} - 120,9 \text{ mm} = 3,0 \text{ mm}$$

2. puolen mittaukset

Koskettaa pintaa:

$$114,6 - 105,5 \text{ mm} = 9,1 \text{ mm}$$

Ei kosketa pintaa:

$$123,9 \text{ mm} - 120,5 \text{ mm} = 2,5 \text{ mm}$$

Huomattiin, että 1. ja 2. puolen taipumat ovat eriarvoiset. Se saattaa johtua inhimillisistä virheistä. Verrattiin seuraavaksi SB:tä eri tilanteissa: a) kun SB koskettaa pintaa ja b) kun SB ei kosketa pintaa:

$$9,1 \text{ mm} - 7,2 \text{ mm} = 1,9 \text{ mm ja vastaavasti}$$

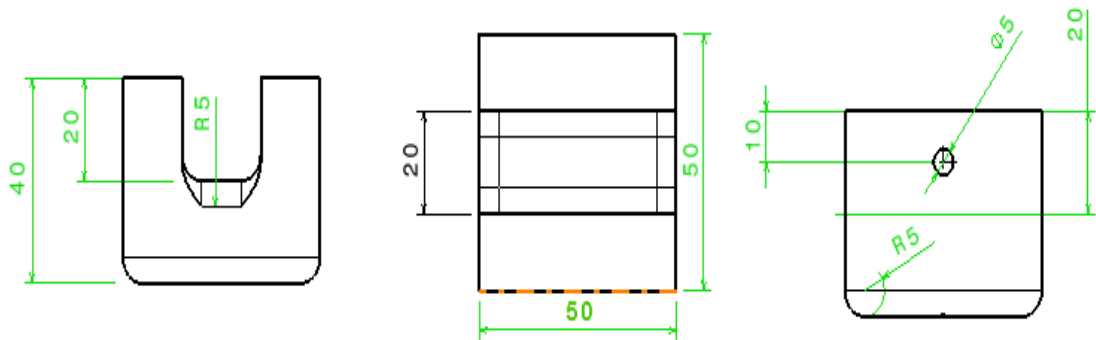
$$3,0 \text{ mm} - 2,5 \text{ mm} = 0,5 \text{ mm.}$$

Voidaan päätellä, että keskikohdan paino ei ole jakautunut tasan molemmille puolille (1. puoli ja 2. puoli).

9 SB:n jatkokehitys

9.1 StrandBeastin kenkä

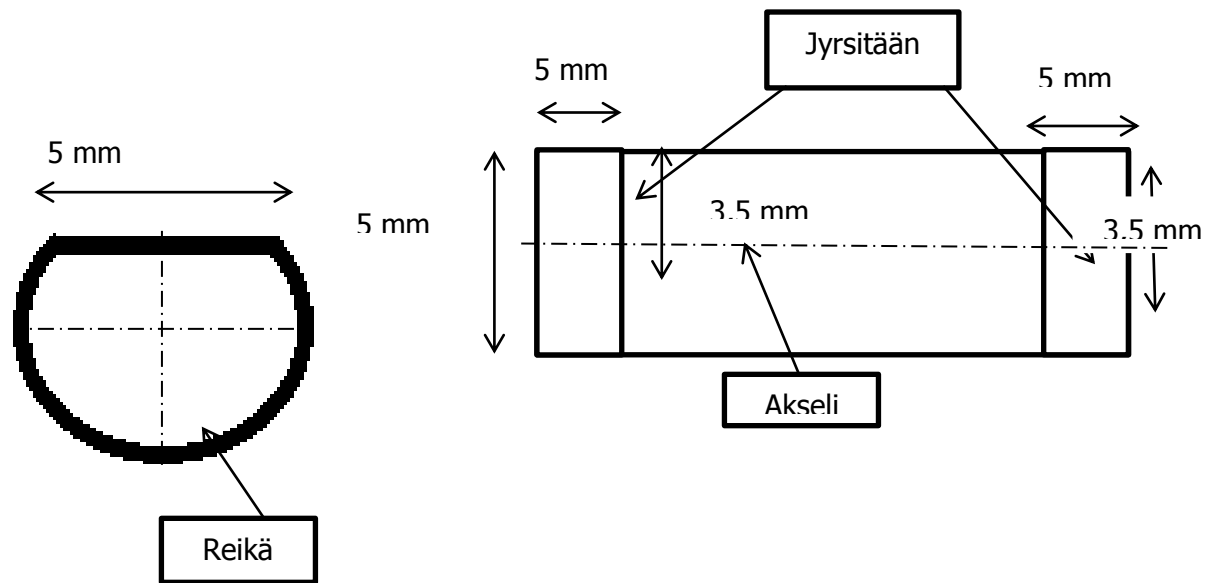
Testausvaiheessa todettiin, että SB liukuu eli kitkaa ei ole. Suunniteltiin sille kengät. Sillä on jo valmiina 5 mm:n reiät jalan kärjessä. Tarkoituksena on, että niitä valmistetaan jokaiselle jalalle 2 kpl eli kokonaisuutena 12 kpl (Kuvio 44).



Kuvio 44. StrandBeastin kengän työpiirustus.

9.2 Liimaaminen

Reiässä on akselin kanssa tasainen pinta, ja ne kiinnitetään toisiinsa liimaamalla. Akseleita jyrsitään 3,5 mm:iin. Reiän halkaisija on 5 mm ja akselin 5 mm, kuten kappaleessa liittäminen todettiin (kuvio 45). Liimaus tarvitsee tasaisen liitoskohdan. Reiät olisi voinut pyytää valmistettavaksi SB:n kappaleisiin laserleikkauksen aikana.



Kuvio 45. Yleisin käytetty liimausmenetelmä ko. konstruktiolle.

10 Yhteenveto

Onnistuttiin kokoamaan SB ja kehittämään jalkojen sujuvaa liikettä eteenpäin aikaisempaan verrattaessa. Kehityssuunnat ovat laajat mistä voisi lähteä kehittämään. Useampia vaihtoehtoja on esitetty luvuissa 9 ja 7. SB:n akseleiden liitokset saadaan tukevammaksi toisella tavalla kuin liimaamalla. Jos ahdistusovite on hankala toteuttaa Metropolia AMK:n koneenosaston tiloissa, niin helpompi vaihtoehto olisi porata pieni reikä, joka lävistää SB:n osan ja akselin. Siihen laitettaisiin ruuvi ja mutteri, jolloin ei pitäisi olla hankaluuksia sen toiminnan kannalta. Kun liikkuvuus olisi kehitetty sujuvaksi, niin silloin voisi alkaa miettiä automatisointia ja esineiden tunnistamista. Ajatuksia on paljon ja on mahdollista eri suuntiin kehittää SB:tä, mutta ei kannata lähteä kehittämään sitä ennen kuin on korjattu kaikki perusviat, esim. liitokset. Sen jälkeen voisi laittaa SB:lle pään, joka kykenee skannaamaan koko lähialueen ja tiedostelevaan, mitä ympärillä tapahtuu (automatisointia).

Työ oli haastava, mutta mielenkiintoista, kun asiat sujuivat. Taulukossa 7 on yhdistetty yhteenveto molemmista prototyypeistä. Taulukossa on myös, mitä tulevaisuudessa kannattaa kehittää. Verrattaessa 1:stä ja 2:sta prototyyppiä SB:tä on kehitetty askel eteenpäin.

Taulukko 7. Yhteenveto

<i>Prototyyppi</i>	<i>Vahvuudet</i>	<i>Heikkoudet</i>
1. Prototyyppi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Onnistuttiin kokoamaan SB:tä. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SB ei liiku ▪ Muodostuu taittuma akseleihin. ▪ Akselit liian lyhyitä. ▪ Pysty- ja vaakaliikkeet. ▪ Putkikiristin antaa helposti periksi. ▪ Akselien liima ei kestä. ▪ Keskikohta on liian painava. ▪ Keskikohdan sähköiset komponentit ovat päällekkäin laitettu.
2. Prototyyppi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SB liikkuu eteenpäin. ▪ Akselit ovat tarpeeksi pitkiä. ▪ Pysty- ja vaakaliikkeet. ▪ Putkikiristin on kestävä ▪ Keskikohdan sähköiset komponentit ovat hyvin laitettu keskikohtaan. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muodostuu taittuma akseleihin ▪ Akselien liima ei kestä. ▪ Keskikohta on liian painava. ▪ SB liukastelee.
3. Prototyyppi (tulevaisuus)	<p>Tavoitteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Taittuman estäminen akseleihin esim. katto ▪ Tukevampi liitos. ▪ Valmistaa keskikohta kevyemmäksi. ▪ SB liikkeen eteneminen ilman liukastelemista. 	

Theo Jansenin SB:tä on lähdetty kehittämään maailman laajuisesti, esim. Taiwanissa on valmistettu metallista SB käyttäen moottoreita voimalähteinä (kuvio 46) /7/. Jansen on alkanut tehdä rahallista voittoa SB:n pienoismallilla eikä saa pelkästään moraalista voiton iloa (kuvio 47). SB:n pienoismallin mitat ovat korkeus 15 cm ja leveys 13 cm /8/.



Kuvio 46. Taiwanissa valmistettu SB

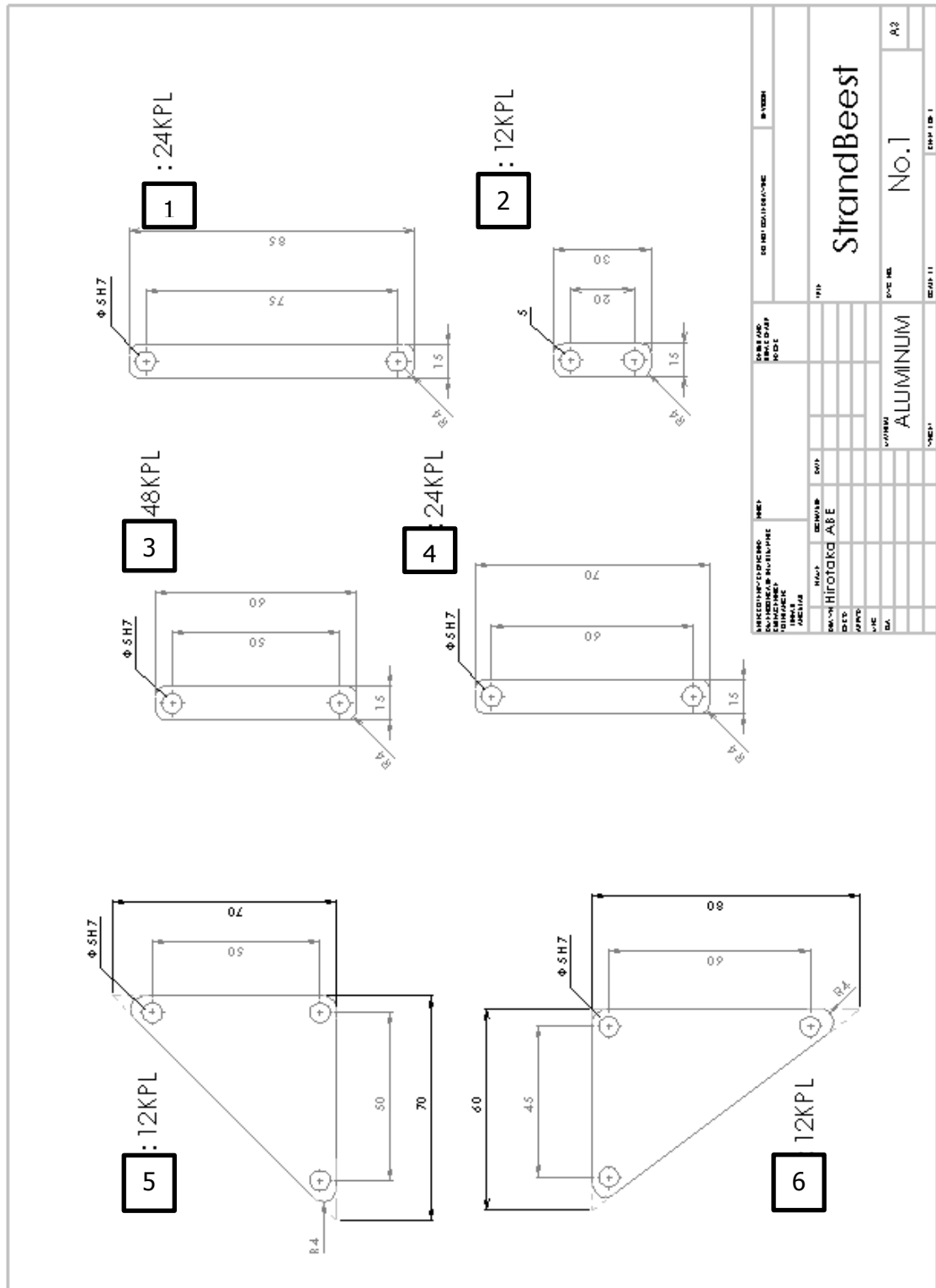


Kuvio 47. Theo Jansenin SB:n pienoismalli

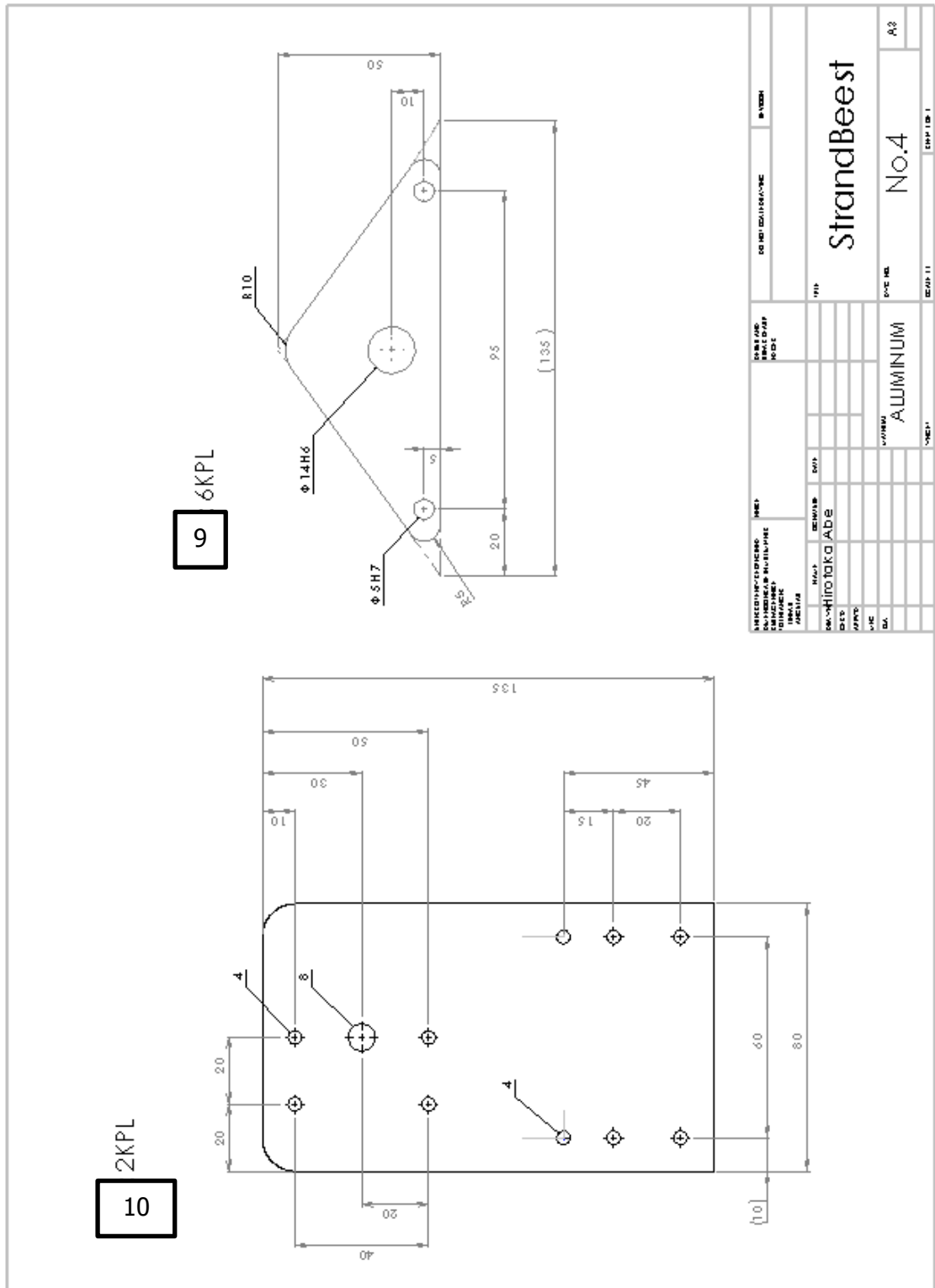
Lähteet

1. Daily Bits. 2011. Verkkodokumentti. Theo Jansen's Strandbeests. <<http://www.dailybits.com/theo-jansens-strandbeests/>> 2012. Luettu 10.6.2012.
2. Abe, Hirotaka. 2012. Designing a Model of a StrandBeest. Loppuraportti. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
3. Lapinleimu Ilkka, Kauppinen Veijo, Torvinen Seppo. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmä. Sanoma Pro Oy.
4. Airasmaa Ilkka. 1984. Lujitemuovitekniikkaa. Muoviyhdistys RY.
5. Kujanpää Veli, Salminen Antti, Vihinen Jorma. 2005. Lasertyöstö. Teknologiateollisuus ry.
6. Toleranssit. 2012. Verkkodokumentti. Ferrometal oy. <http://www.ferrometal.ee/docs/teknisetsivut/teknisetsivut_toleranssit.pdf> . Luettu 6.5.2012.
7. Mocpages. 11.8.2012. Verkkodokumentti. Technic PF 12 Legged Walking 'Crab'. <<http://www.mocpages.com/moc.php/143334/336674>> . Luettu 17.8.2012.
8. Jansen Theo. 2012. Verkkodokumentti. Strandbeest web shop. <http://www.strandbeest.com/shop/index_usa.php> . Luettu 18.9.2012.

SB:n osien 1-6 työpiirustukset



SB:n osien 9-10 työpiirustukset



Toleranssi taulukkoita sisämitoille

Nimellismitta (mm)		Perustoleranssit (mm)							Toleranssialue sisämitoille (mm)											
>	≤	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	D12	F8	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	3	0,06	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	+0,12 +0,02	+0,02 +0,006	+0,006 0	+0,01 0	+0,014 0	+0,025 0	+0,04 0	+0,06 0	+0,1 0	+0,14 0	+0,25 0	+0,4 0
3	6	0,075	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	+0,15 +0,03	+0,028 +0,01	+0,008 0	+0,012 0	+0,018 0	+0,03 0	+0,048 0	+0,075 0	+0,12 0	+0,18 0	+0,3 0	+0,48 0
6	10	0,09	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	+0,19 +0,04	+0,035 +0,013	+0,009 0	+0,015 0	+0,022 0	+0,036 0	+0,058 0	+0,09 0	+0,15 0	+0,22 0	+0,36 0	+0,58 0
10	18	0,11	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	+0,23 +0,05	+0,043 +0,016	+0,011 0	+0,018 0	+0,027 0	+0,043 0	+0,07 0	+0,11 0	+0,18 0	+0,27 0	+0,43 0	+0,7 0
18	30	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	+0,275 +0,065	+0,053 +0,02	+0,013 0	+0,021 0	+0,033 0	+0,052 0	+0,084 0	+0,13 0	+0,21 0	+0,33 0	+0,52 0	+0,84 0
30	50	0,16	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	+0,33 +0,08	+0,004 +0,025	+0,016 0	+0,025 0	+0,039 0	+0,062 0	+0,1 0	+0,16 0	+0,25 0	+0,39 0	+0,62 0	+1 0
50	80	0,19	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	+0,4 +0,1	+0,076 +0,03	+0,019 0	+0,03 0	+0,046 0	+0,074 0	+0,12 0	+0,19 0	+0,3 0	+0,46 0	+0,74 0	+1,2 0
80	120	0,22	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	+0,47 +0,12	+0,09 +0,036	+0,022 0	+0,035 0	+0,054 0	+0,087 0	+0,14 0	+0,22 0	+0,35 0	+0,54 0	+0,87 0	+1,4 0
120	180	0,25	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	+0,545 +0,145	+0,106 +0,043	+0,025 0	+0,04 0	+0,063 0	+0,1 0	+0,16 0	+0,25 0	+0,4 0	+0,63 0	+1 0	+1,6 0
180	250	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	+0,63 +0,17	+0,122 +0,05	+0,029 0	+0,046 0	+0,072 0	+0,115 0	+0,185 0	+0,29 0	+0,46 0	+0,72 0	+1,15 0	+1,85 0
250	315	0,32	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	+0,71 +0,19	+0,137 +0,056	+0,032 0	+0,052 0	+0,081 0	+0,13 0	+0,21 0	+0,32 0	+0,52 0	+0,81 0	+1,3 0	+2,1 0
315	400	0,36	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	+0,78 +0,21	+0,151 +0,062	+0,036 0	+0,057 0	+0,089 0	+0,14 0	+0,23 0	+0,36 0	+0,57 0	+0,89 0	+1,4 0	+2,3 0
400	500	0,4	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	+0,86 +0,23	+0,165 +0,068	+0,04 0	+0,063 0	+0,097 0	+0,155 0	+0,25 0	+0,4 0	+0,63 0	+0,97 0	+1,55 0	+2,5 0

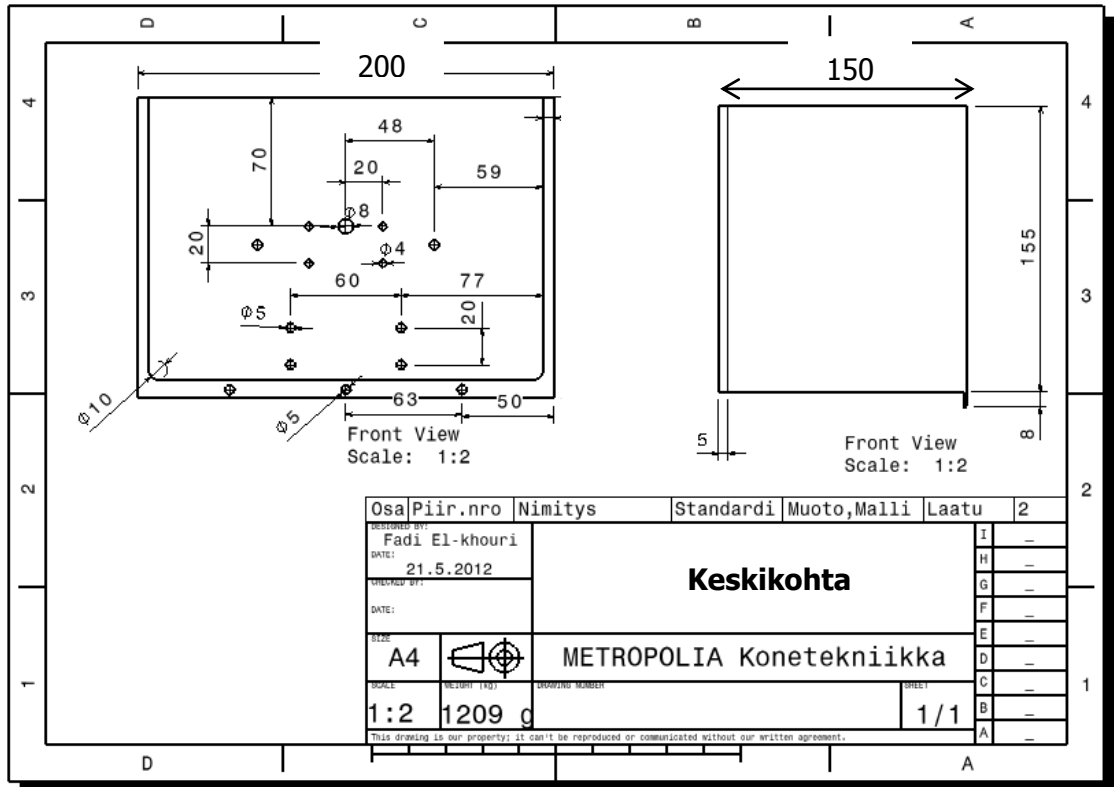
Toleranssi taulukko ulkomoitoille

Nimellismitta (mm)		Toleranssialue ulkomoitoille (mm)																		
>	≤	f9	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	js14	js15	js16	js17	m6	
	3	-0,006 -0,031	0 -0,006	0 -0,01	0 -0,01	0 -0,01	0 -0,025	0 -0,04	0 -0,06	0 -0,1	0 -0,14	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,6		±0,125	±0,2	±0,3		+0,008 +0,002
3	6	-0,01 -0,04	0 -0,008	0 -0,012	0 -0,018	0 -0,03	0 -0,048	0 -0,075	0 -0,12	0 -0,18	0 -0,3	0 -0,48	0 -0,75	0 -1,2	±0,15	±0,24	±0,375	±0,6		+0,012 +0,004
6	10	-0,013 -0,049	0 -0,009	0 -0,015	0 -0,022	0 -0,036	0 -0,058	0 -0,09	0 -0,15	0 -0,22	0 -0,36	0 -0,58	0 -0,9	0 -1,5	±0,18	±0,29	±0,45	±0,75		+0,015 +0,006
10	18	-0,016 -0,059	0 -0,011	0 -0,018	0 -0,027	0 -0,043	0 -0,07	0 -0,11	0 -0,18	0 -0,27	0 -0,43	0 -0,7	0 -1,1	0 -1,8	±0,215	±0,35	±0,55	±0,9		+0,018 +0,007
18	30	-0,02 -0,070	0 -0,013	0 -0,021	0 -0,033	0 -0,052	0 -0,084	0 -0,13	0 -0,21	0 -0,33	0 -0,52	0 -0,84	0 -1,3	0 -2,1	±0,26	±0,42	±0,65	±1,05		+0,021 +0,008
30	50	-0,025 -0,087	0 -0,016	0 -0,025	0 -0,039	0 -0,062	0 -0,1	0 -0,16	0 -0,25	0 -0,39	0 -0,62	0 -1	0 -1,6	0 -2,5	±0,31	±0,5	±0,8	±1,25		+0,025 +0,009
50	80	-0,03 -0,104	0 -0,019	0 -0,03	0 -0,046	0 -0,074	0 -0,12	0 -0,19	0 -0,3	0 -0,46	0 -0,74	0 -1,2	0 -1,9	0 -3	±0,37	±0,6	±0,95	±1,5		+0,03 +0,011
80	120	-0,036 -0,123	0 -0,022	0 -0,035	0 -0,054	0 -0,087	0 -0,14	0 -0,22	0 -0,35	0 -0,54	0 -0,87	0 -1,4	0 -2,2	0 -3,5	±0,435	±0,7	±1,1	±1,75		+0,035 +0,013
120	180	-0,043 -0,143	0 -0,025	0 -0,04	0 -0,063	0 -0,1	0 -0,16	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,63	0 -1	0 -1,6	0 -2,5	0 -4	±0,5	±0,8	±1,25	±2		+0,04 +0,015
180	250	-0,05 -0,165	0 -0,029	0 -0,046	0 -0,072	0 -0,115	0 -0,185	0 -0,29	0 -0,46	0 -0,72	0 -1,15	0 -1,85	0 -2,9	0 -4,6	±0,575	±0,925	±1,45	±2,3		+0,046 +0,017
250	315	-0,056 -0,185	0 -0,032	0 -0,052	0 -0,081	0 -0,13	0 -0,21	0 -0,32	0 -0,52	0 -0,81	0 -1,3	0 -2,1	0 -3,2	0 -5,2	±0,65	±1,05	±1,6	±2,6		+0,052 +0,02
315	400	-0,062 -0,202	0 -0,036	0 -0,057	0 -0,089	0 -0,14	0 -0,23	0 -0,36	0 -0,57	0 -0,89	0 -1,4	0 -2,3	0 -3,6	0 -5,7	±0,7	±1,15	±1,8	±2,85		+0,057 +0,021
400	500	-0,068 -0,223	0 -0,04	0 -0,063	0 -0,097	0 -0,155	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,63	0 -0,97	0 -1,55	0 -2,5	0 -4	0 -6,3	±0,775	±1,25	±2	±3,15		+0,063 +0,023

SB taittuman mittaukset

		1. Puoli mittaukset (ei kosketa pintaa)					
		Etäisyys (mm)					
		16,5	37	57,5	88,5	114,5	140,5
Toistoja	1. mitta	124	123,6	123,3	122,8	121,4	120,8
	2. mitta	123,7	123,6	123,3	122,9	121,4	121,1
	3. mitta	123,9	123,5	123,2	122,9	121,4	120,8
	4. mitta	124	123,7	123,3	122,9	121,3	121
	Keskiarvo	123,9	123,6	123,3	122,9	121,4	120,9
		2. Puoli mittaukset (ei kosketa pintaa)					
		Etäisyys (mm)					
		16,5	37	57,5	88,5	114,5	140,5
Toistoja	1. mitta	123,8	123,4	123,1	122,6	120,9	120,5
	2. mitta	123,6	123,6	123,1	122,6	120,9	120,5
	3. mitta	124	123,7	123,3	122,6	120,8	120,5
	4. mitta	124	123,7	123,2	122,6	120,7	120,5
	Keskiarvo	123,9	123,6	123,2	122,6	120,8	120,5
		1. Puoli mittaukset (koskettaa pintaa)					
		Etäisyys (mm)					
		16,5	37	57,5	88,5	114,5	140,5
Toistoja	1. mitta	106,9	108,3	110,1	111,9	112,6	114,1
	2. mitta	106,5	108,5	110,1	111,8	112,5	114,2
	3. mitta	106,5	108,5	110,4	111,8	112,6	114,1
	4. mitta	106,7	108,4	110,5	111,7	112,7	114,3
	Keskiarvo	106,7	108,4	110,3	111,8	112,6	114,2
		2. Puoli mittaukset (koskettaa pintaa)					
		Etäisyys (mm)					
		16,5	37	57,5	88,5	114,5	140,5
Toistoja	1. mitta	105,5	107,9	110,7	112,1	113,1	114,5
	2. mitta	105,4	107,5	111	112,3	112,9	114,6
	3. mitta	105,5	107,6	110,9	112,1	112,8	114,5
	4. mitta	105,4	107,5	110,9	112,2	113	114,6
	Keskiarvo	105,5	107,6	110,9	112,2	113,0	114,6

Keskikohdan työpiirustus



Sähkölaitteiden teknilliset tiedot

Moottori (ks. Kuvio 48)

Tekniset tiedot:

- Käyttöjännite 12 V-3
- Virrankulutus 0,4 mA
- Nopeus 3 V: 7,5 U / min, 6 V: 30 rpm / 15 rpm / 12 V
- Vaihteen Mitat: 91 x 56 x 22 mm, akseli: 16 x 8 mm



Kuvio 48. Moottori

Laakerit (ks. Kuvio 49)

Tekniset tiedot:

- Nimi: 605ZZ laakeri 5 × 14 × 5 mm
- Sisähalkaisija: 5 mm
- Ulkohalkaisija: 14 mm
- Paksuus: 5 mm



Kuvio 49. Laakerit 605ZZ

Vastaanotin R122JE (ks. Kuvio 50) merkitty sinisellä laatikolla.

Tekniset tiedot:

- 2 kanavaa
- Vastaanottotaajuus: 27, 29, 40, 41, 72 tai 75 MHz
- Tehontarve: 4.8 - 8.4V

- Virrankulutus: 30 mA (4.8 V / Ei signaalia)
- Koko: 47,2 × 33,3 × 17.3 mm
- Paino: 16.6 g

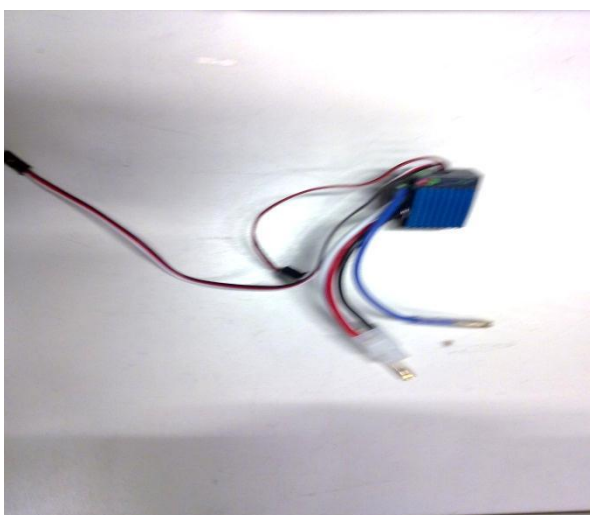


Kuvio 50. Ohjausyksikkö.

Nopeuden säädin (ks. Kuvio 51)

Teknilliset tiedot:

- Nimi: E.S.C MC210CB (nopeuden säädin)
- Jännitehäviö (20 A): noin 0.52 V
- Maksimi virta: 30A (Sulake kapasiteetti)
- Tehontarve: 7,2 ja 8.4 V
- Säätimen lähtö: 6V/3A Max
- Koko: 45,5 × 41,5 × 26.0 mm
- Paino: 72.5 g



Kuvio 51. Nopeuden säädin.



Kuvio 52. Sport Power 3300, 7,2 Volttia

Aluslevy (ks. Kuvio 53)

Teknilliset tiedot:

- Sisähalkaisija: 5.3mm
- Ulkohalkaisija: 10mm
- Paksuus: 1mm
- Materiaali: Steel



Kuvio 53. Aluslevy

Akselinvarmistin, lukkorengas (ks. Kuvio 54)

Teknilliset tiedot:

- Sisähalkaisija: $\varnothing 5$
- Ulkohalkaisija: $\varnothing 6$



Kuvio 54. Akselinvarmistin

Leikkausjännityksen laskeminen

T , leikkausjännitys ($\frac{N}{m^2}$)

Q , kohdistuva voima (N) = F , voima (N)

r , akselin säde (m) = $\frac{8mm}{2} = 4 mm = 4 * 10^{-3}m$

A , Poikkileikkauksen pinta-ala (m^2)

T , kiertomomentti (Nm)

I , virta (A) = $0,4 mA = 0,4 * 10^{-3}A$

n , kierrosnopeus ($\frac{1}{s}$) = $15 \frac{1}{min} = \frac{15}{60} \frac{1}{s} = 0,25 \frac{1}{s}$

ω , pyörimisnopeus = $2 * \pi (pii) * n$ (kierrosnopeus)

U , jännitys (V) = 12 V

P , Teho (W)

Pyörimisen tapauksessa

$$P = U * I$$

$$P = T * \omega$$

$$\rightarrow U * I = T * \omega \rightarrow U * I = F * r * \omega \rightarrow U * I = F * r * 2\pi * n$$

Ratkaistaan voima F

$$\rightarrow F = \frac{U * I}{r * 2 * \pi * n}$$

Sijoitetaan arvot yhtälöön seuraavasti:

$$r = \frac{8mm}{2} = 4 mm = 4 * 10^{-3}m$$

$$F = \frac{12V * (0,4 * 10^{-3}m)}{4 * 10^{-3}m * 2 * \pi * 0,25 \frac{1}{s}} = 7,6 N$$

Leikkausjännityksen määritelmän mukaan:

$A = \pi (pii \sim 3,14) * r^2$ (= $2,5 * 10^{-3}$), koska halkaisija on $5 * 10^{-3}m$

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi * r^2} = \frac{7,6N}{\pi * (2,5 * 10^{-3}m)^2} = 0,4$$

Liite 12

1 (1)