

Tero Karvonen

## **HITAUS- JA VÄÄNTÖMOMENTIN TUTKIMUSLAITTEISTO**

# HITAUS- JA VÄÄNTÖMOMENTIN TUTKIMUSLAITTEISTO

Tero Karvonen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Tero Karvonen  
Opinnäytetyön nimi: Hitaus- ja vääntömomentin tutkimuslaitteisto  
Työn ohjaaja: Helena Tolonen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018  
Sivumäärä: 40 + 5 liitettä

---

Työssä suunniteltiin ja valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulu Oy:lle opetusvälineeksi fysiikan laboratorioon sähkömoottorilla varustettu hitaus- ja vääntömomentin tutkimuslaitteisto. Laitteisto tuli opetuskäyttöön, ja opiskelijat opiskelevat laitteiston avulla muun muassa hitaus- ja vääntömomentin perusteita. Aiemmin laboratoriossa ei ole ollut laitetta moottorin vääntömomentin tutkimiseen käytännössä. Työ aloitettiin tilaajan kanssa palaverilla, jossa käytiin läpi laitteen vaatimukset, tavoitteet ja toiveet. Tärkeimpiä vaatimuksina olivat laitteen kompakti koko, sekä laitteen tuli olla helposti purettavissa ja tarvittaessa helposti muokattavissa. Lisäksi laitetta tuli pystyä käyttämään käsin punnuksella ja tämän vuoksi moottorin tuli olla vaivattomasti kytkettävissä irti akselistasta.

Suunnittelussa käytettiin Inventor Professional 2017 -ohjelmaa, jolla laite mallinnettiin. Suunnittelu aloitettiin valitsemalla materiaalit ja kiinnitystapa. Laitteen runkomateriaaliksi valittiin 10 mm:n paksuinen alumiinilevy ja liitokset ruuviliitoksilla. Laite suunniteltiin niin, että valmistaminen olisi mahdollisimman yksinkertaista. Vaikeimpana asiana oli saada kaikki laitteen vaatimukset järkevästi ja yksinkertaisesti toteutettua. Suunnittelun aikana tilaajalle lähetettiin kaksi kertaa 3D-luonnokset, joihin hän ehdotti muun muassa rakenteellisia muutoksia ja toiveen ulkoisen moottorin kytkentä mahdollisuudesta. Kaikki muutostoiveet saatiin toteutettua, ja suunnittelun tuloksena oli lopullinen 3D-malli valmiina valmistukseen.

Laite valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratorioissa henkilökunnan avustuksella. Osien valmistuksessa käytettiin vesileikkuria, sorvia, otsajyrsintä ja 3D-tulostinta. Osien valmistus oli nopeaa eikä suuria ongelmia syntynyt. Kokoonpano eteni nopeasti, kun oli mittatarkat osat ja laite hyvin suunniteltu. Laitteen toimivuus testattiin tilaajan kanssa yhdessä laitteen tulevalle käyttöpäikällä. Laite toimi hyvin ja laitteistolle asetettuihin tavoitteisiin päästiin. Opinnäytetyön tuloksena oli käyttövalmis tutkimuslaitteisto opetuskäyttöön, CAD-malli ja kokoonpanokuva. Kokonaisuutena opinnäytetyöprojekti onnistui hyvin.

---

Asiasanat: tutkimuslaitteet, pyörimisliike, suunnittelu, mallintaminen

## **ALKULAUSE**

Sain tämän opinnäytetyön Oulun ammattikorkeakoulu Oy:lle valmiiksi kevään 2018 aikana. Työ oli sopivan haastava ja mielenkiintoinen. Pääsin työssä hyödyntämään monipuolisesti koulussa opittuja asioita.

Haluan kiittää perhettäni, jonka tuki oli korvaamaton opiskeluaikana ja opinnäytetyötä tehdessä. Kiitän myös Oulun ammattikorkeakoulun projektisuunnittelijaa Lassi Kaivosojaa, joka auttoi laitteen valmistuksessa.

Lisäksi kiitos ohjaavalle opettajalle lehtori Helena Toloselle.

lissä 25.5.2018

Tero Karvonen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 PYÖRIMISLIIKE	9
2.1 Pyörimisliike	9
2.2 Pyörimisliikkeen kinematiikka	10
2.3 Pyörimisenergia	13
3 SUUNNITTELU	16
3.1 Vaatimuslista ja tavoitteet	16
3.2 Moottorin valinta	16
3.3 Moottorin kiihdytysaika	17
3.4 Suunnittelu ja mallintaminen	19
4 VALMISTUS JA KOKOONPANO	23
4.1 Levy osien ja akselin valmistus	23
4.2 Tulostettavat osat	24
4.3 Kokoonpano	24
4.4 Sähkötyöt	25
5 KOEKÄYTTÖ	27
5.1 Laitteiston mekaaninen toimivuus	27
5.2 Käyttö punnuksella	28
5.3 Ajo valoanturilla	29
5.4 Riskien arviointi	30
6 KITKA- JA VÄÄNTÖMOMENTIN MÄÄRITTÄMINEN	31
6.1 Kitkamomentin määrittäminen	31
6.2 Moottorin kiihdyttävä momentti	36
7 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	40
LIITTEET	
Liite 1 Fysiikan laboratoriotyöohje	

Liite 2 Moottorin datalehti

Liite 3 Laakerin datalehti

Liite 4 Kokoonpanokuva

Liite 5 Riskien arviointi

## **SANASTO**

2D-työstömenetelmä	työstömenetelmä, jossa työkalun liikkeet tapahtuvat XY-tasossa
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavustettu suunnittelu
DXF	Drawing Interchange Format, Drawing Exchange Format, tiedostoformaatti
LAYOUT	suunnitelma
STL	Standard Triangle Language, Standard Tessellation Language, tiedostoformaatti

# 1 JOHDANTO

Työssä suunnitellaan ja valmistetaan hitaus- ja vääntömomentin tutkimuslaitteisto. Työn tilaajana on Oulun Ammattikorkeakoulu Oy, jonka yhteyshenkilönä toimii fysiikan lehtori Hannu Sarkkinen. Tutkimuslaitteisto tulee olemaan Oulun ammattikorkeakoulun fysiikan laboratoriossa opetusvälineenä opiskelijoiden käytössä.

Tilajalla on tarve laitteelle, jolla opiskelijat voivat mitata moottorin vääntömomenttia. Nykyisin pyörimisliikettä tutkitaan perinteisin tavoin punnuksen, vauhtipyörän ja valoanturin avulla. Tätä perinteistä mittaustapaa on tilajalla tarve laajentaa moottorilla, jolloin opiskelijat pääsevät tutustumaan myös moottoreiden vääntömomentteihin. Nykyiset fysiikan laboratoriotyöt eivät sisällä moottoreiden mittauksia, ja tämän laitteiston tarkoitus onkin laajentaa opetuksen sisältöä.

Tehtävänä on suunnitella ja valmistaa tutkimuslaitteisto, jolla tutkitaan moottorin hitaus- ja vääntömomenttia. Suunnittelu ja mallinnus tehdään Inventor 2017 Professional -ohjelmistolla ja laite valmistetaan Oulun ammattikorkeakoulun laboratorioissa. Valmistuksessa käytetään muun muassa vesileikkuria, sorvia, otsajyr-sintä sekä 3D-tulostinta.

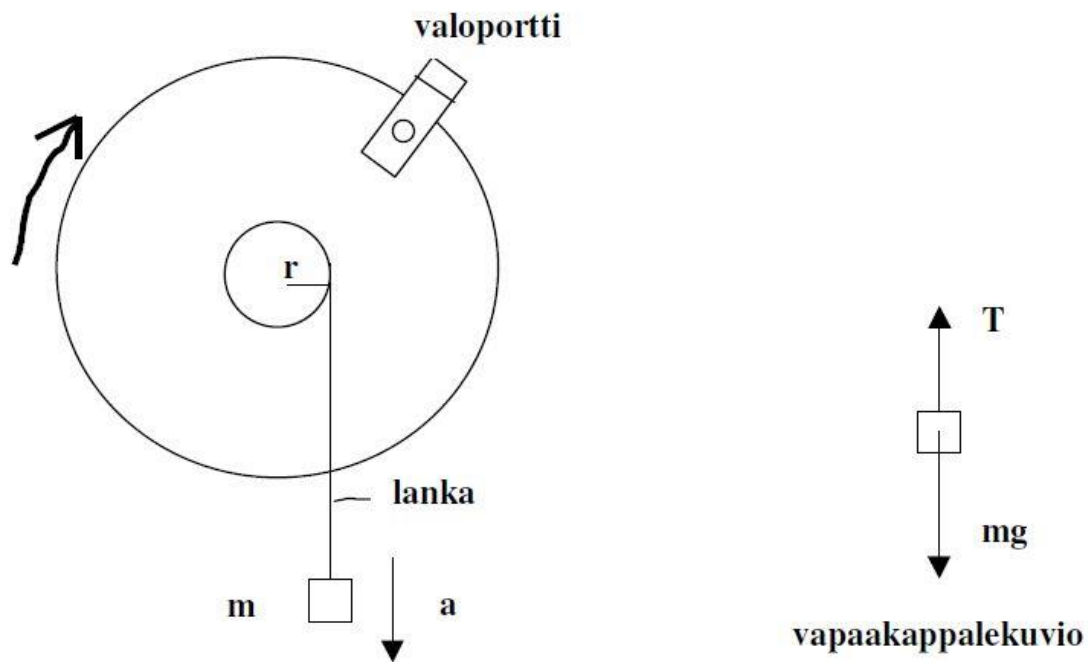
Työssä suunniteltavaa laitetta ei koululla vielä ole ja laite tulee olemaan prototyyppi. Laitteiston suunnittelussa otetaan huomioon se, että laitetta voidaan helposti muokata ja jatkokehittää.

## 2 PYÖRIMISLIIKE

Pyörimisliikkeen tutkiminen on yksi osa ammattikorkeakoulun fysiikan laboratoriotöitä. Pyörimisliikettä opiskelijat tutkivat perinteisin tavoin punnuksella, vauhti-pyörällä ja valoanturilla (kuva 1). Tutkittavia fysikaalisia ilmiöitä ovat muun muassa hitausmomentti, kulmakiihtyvyys ja painovoima. (1, s. 1 - 2.)

Fysiikan laboratoriotyöohje  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
OAMK Tekniikan yksikkö

### TYÖ 2: PYÖRIMISLIIKE JA HITAUSMOMENTTI



KUVA 1. Fysiikan laboratoriotyöohje (1, s. 1)

#### 2.1 Pyörimisliike

Jäykän kappaleen liike voidaan jakaa kahteen osaan, etenevään liikkeeseen ja pyörimisliikkeeseen. Kun kappale on etenevässä liikkeessä, sen pisteet kulkevat yhdensuuntaisia ratoja ja kahta kappaleen pistettä yhdistävä suora pysyy samansuuntaisena. Vain pyörimisliikkeessä olevan kappaleen pisteet piirtävät ympyröitä. (2, s. 100.)

## 2.2 Pyörimisliikkeen kinematiikka

### Kulma-asema $\varphi$

Kappaleen pyöriessä kiinteän akselin ympäri sen jokainen piste kulkee ympyrä-rataa. Seuraavissa määritelmissä käytetään esimerkkiä (kuva 2), kun avain kääntyy akselin A ympäri. Piste P asema ajanhetkellä 0 on O, ja ajanhetkellä t se on P. Kappaleen kulma-asema  $\varphi$  määritetään kaaren  $OP = s$  ja ympyrän säteen R avulla kaavalla 1. (2, s. 100.)

$$\varphi = \frac{s}{R}$$

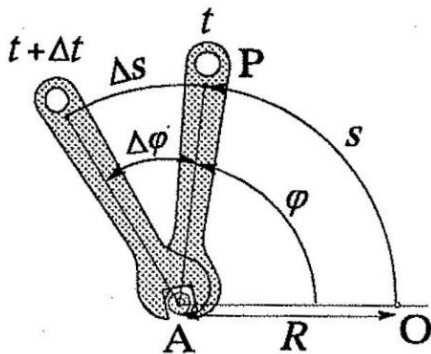
KAAVA 1

$\varphi$  = kulma-asema (1 tai rad)

s = kaari (m)

R = säde (m)

### Kulma-asema $\varphi$



KUVA 2. Kulma-asema (2, s. 100)

$\varphi$  on paljas luku eli sen yksikkö  $[\varphi] = 1$  ja yksikölle käytetään nimeä radiaani. 1 rad on kulma, jossa kaaren pituus = säde. Radiaanin ja asteen välinen yhteys nähdään kaavasta 2, jossa kulmaa  $2\pi$  rad vastaa kulma  $360^\circ$ . Toisin sanoen  $1 \text{ rad} = 180^\circ / \pi$ . (2, s. 100.)

$$\varphi = \frac{2\pi R}{R}$$

KAAVA 2

## Kulmanopeus $\omega$

Kappaleen kulma-aseman muutos aikana  $\Delta t$  on  $\Delta\varphi$ . Kappaleen keskikulmanopeus tänä aikana saadaan kaavalla 3 (2, s. 101).

$$\omega_k = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad \text{KAAVA 3}$$

$\omega_k$  = keskikulmanopeus (1/s tai rad/s)

$\Delta\varphi$  = kulma-aseman muutos (rad)

$\Delta t$  = ajan muutos (s)

Hetkellinen kulmanopeus  $\omega$  (kaava 4) on tämän raja-arvo, kun  $\Delta t$  lähenee nollaa (1, s. 101).

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{KAAVA 4}$$

## Pyörimisnopeus $n$

Pyörimisnopeus  $n$  ilmoittaa kierrosten lukumäärän aikayksikössä. Esimerkiksi  $n = 300$  kierr/min = 300 r/min = 300 RPM = 5 r/s. Pyörimisnopeus muutetaan kulmanopeudeksi kaavalla 5. (2, s. 101.)

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

$n$  = pyörimisnopeus (1/s)

## Kulmakiiktyvyys $\alpha$

Kulmanopeuden muuttuminen ilmaistaan kulmakiiktyvyyden avulla. Jos kulmanopeus muuttuu aikana  $\Delta t$  arvosta  $\omega_1$  arvoon  $\omega_2$  eli muutos  $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ , keskikulmakiiktyvyys tänä aikana saadaan kaavalla 6. (2, s. 101.)

$$\alpha_k = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{KAAVA 6}$$

$\alpha_k$  = keskikulmakiiktyvyys (1/s<sup>2</sup>)

Hetkellinen kulmakiiktyvyys  $\alpha$  (kaava 7) on tämän raja-arvo, kun  $\Delta t$  lähenee nollaa (2, s. 101).

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad \text{KAAVA 7}$$

## Tasainen pyörimisliike

Tasainen pyörimisliike on kysymyksessä, kun kulmanopeus  $\omega$  on vakio. Jos ajanhetkellä  $t = 0$  kappaleen kulma-asema  $\varphi(0) = 0$ , ajanhetkellä  $t$  kulma-asema saadaan kaavalla 8. Jakson aika eli kierrosaika  $T$  saadaan kaavalla 9 ja taajuus eli pyörimisnopeus  $n$  kaavalla 10. (2, s. 102.)

$$\varphi = \omega t$$

KAAVA 8

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

KAAVA 9

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

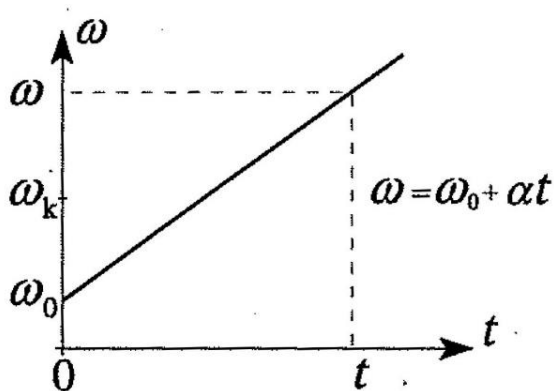
KAAVA 10

## Tasaisesti muuttuva pyörimisliike

Kun kulmakiihtyvyys  $\alpha = \text{vakio}$ , on kyseessä tasaisesti muuttuva pyörimisliike. Tällöin kulmanopeus muuttuu jokaisena sekuntina yhtä paljon. Kulmanopeus kasvaa tai pienenee tasaisesti, joten  $t\omega$ -koordinaatistossa kulmanopeuden muuttumista ajan mukana kuvaa suora (kuva 3). Kulmakiihtyvyys  $\alpha$  ilmoittaa kulmanopeuden muutoksen sekunnissa, joten aikana  $t$  kulmanopeuden muutos on  $\alpha t$ . Jos ajanhetkellä  $t = 0$  kulmanopeus on  $\omega_0$ , niin ajanhetkellä  $t$  se saadaan kaavalla 11. (2, s. 102.)

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

KAAVA 11



KUVA 3. Tasaisesti muuttuvan pyörimisliikkeen kulmanopeus. (2, s. 102)

Koska kulmanopeus muuttuu lineaarisesti, keskimääräinen kulmanopeus aikana  $t$  saadaan kaavalla 12. Olkoon tarkastelun alkuhetkellä ( $t = 0$ ) kulma-asema  $\varphi(0) = 0$ , hetkellä  $t$  se saadaan kaavalla 13. Tästä edelleen voidaan johtaa kaava 14. (2, s. 102.)

$$\omega_k = \frac{\omega_0 + \omega}{2} \quad \text{KAAVA 12}$$

$$\varphi = \omega_k t = \frac{\omega_0 + \omega}{2} t = \frac{\omega_0 + \omega_0 + \alpha t}{2} t = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad \text{KAAVA 13}$$

$$\varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\alpha} \quad \text{KAAVA 14}$$

### 2.3 Pyörimisenergia

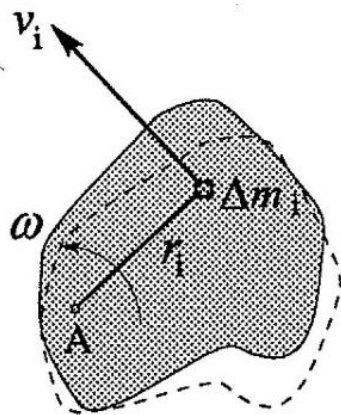
Kuvassa 4 tarkastellaan kiinteän akselin A ympäri kulmanopeudella  $\omega$  pyörivää kappaletta. Kuvitellaan kappale jaetuksi osiin  $\Delta m_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ). Osan  $\Delta m_i$  nopeus on  $v_i = r_i \omega$  ja näin saada Liike-energia laskettua kaavalla 15. (2, s. 105.)

$$\Delta W_{ki} = \frac{1}{2} \Delta m_i v_i^2 = \frac{1}{2} \Delta m_i r_i^2 \omega^2 \quad \text{KAAVA 15}$$

$W_{ki}$  = osan  $i$  energia ( $\text{kgm}^2/\text{s}^2 = \text{J}$ )

$m$  = massa (kg)

$r$  = säde (m)



KUVA 4. Jäykkä kappale pyörii kiinteän akselin ympäri kulmanopeudella  $\omega$  (2, s. 105)

Koko kappaleen energia on osien energioiden summa ja kaikilla osilla on sama- kulmanopeus. Tällöin kappaleen kokonaisenergia lasketaan kaavalla 16. Merki- tään  $J_A$ :lla summa lauseketta (kaava 17) ja näin saadaan energian yksinkertais- tettu kaava 18. (2, s. 105.)

$$W_k = \sum_{i=1}^N \Delta W_{ki} = \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^N \Delta m_i r_i^2) \omega^2 \quad \text{KAAVA 16}$$

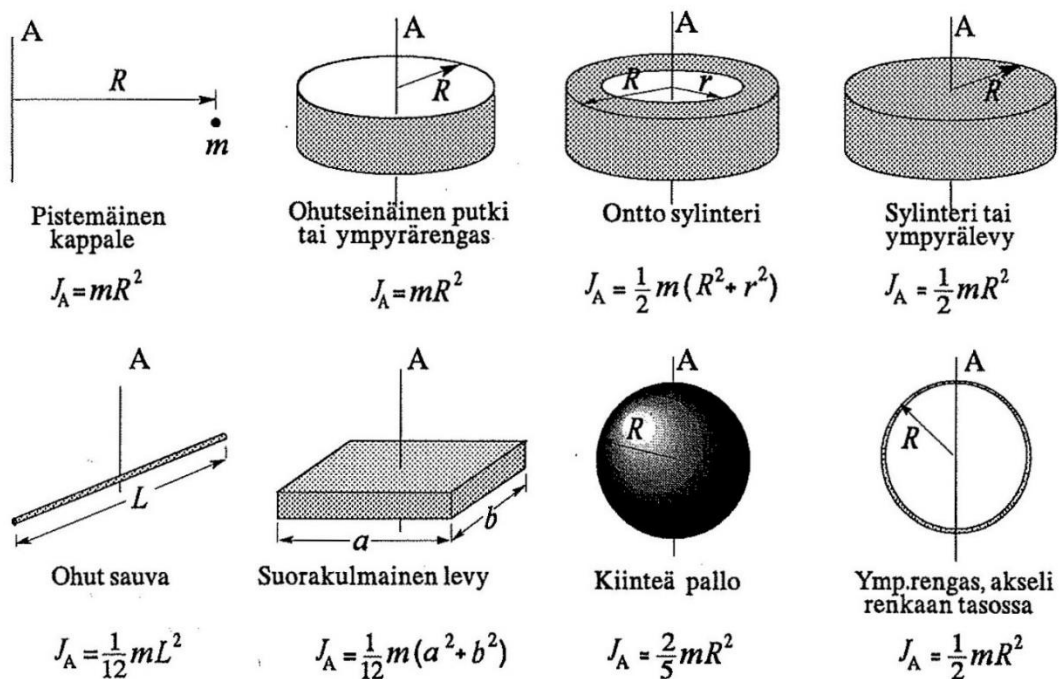
$$J_A = \sum_{i=1}^N \Delta m_i r_i^2 \quad \text{KAAVA 17}$$

$$W_k = \frac{1}{2} J_A \omega^2 \quad \text{KAAVA 18}$$

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

### Hitausmomentti $J$

$J_A$  on kappaleen hitausmomentti akselin A (kuva 5) suhteen. Hitausmomentti edustaa pyörimisliikkeen muutoksille samanlaista hitausominaisuutta kuin massa etenemisliikkeen muutoksille. Hitausmomentin arvo riippuu voimakkaasti pyöri- misakselin asemasta, sillä mitä kauempana akselista massaa esiintyy, sitä suu- rempi on hitausmomentti. (2, s. 105.)



KUVA 5. Eräiden kappaleiden hitausmomenteja (2, s. 106)

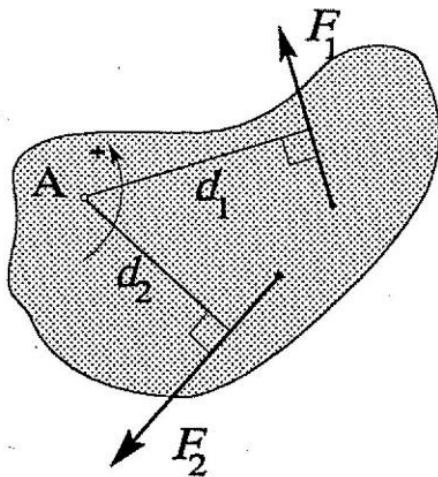
Energian lausekkeen (kaava 16) tarkempi muoto edellyttää kappaleen jakamista pistemäisiin osiin, jolloin  $\Delta m_i \rightarrow dm$  ja hitausmomentin kaavan 17 summamerkki muuttuu integraaliksi. Näin saadaan kaava 19, jolla voidaan laskea eri kappaleiden hitausmomenteja haluttujen akseleiden suhteen. (2, s. 106.)

$$J_A = \int r^2 m$$

KAAVA 19

### Pyörimisliikkeen perusyhtälö

Dynamiikan peruslain mukaan kappaleeseen vaikuttavien voimien resultantti aiheuttaa kappaleen kiihtyvyyden (kaava 20). Vastaavasti kappaleeseen vaikuttavien momenttien summa aiheuttaa kulmakiihtyvyyden (kuva 6), joka lasketaan kaavalla 21. Tekniikassa yleisesti käytetään ilmaisua vääntömomentti eli kierto-momentti  $T$ , joka kuvaa kiertävän liikkeen vääntövoimaa. (2, s. 108.)



KUVA 6. Voimien  $F_1$  ja  $F_2$  momentit ovat  $M_1=F_1d_1$  ja  $M_2=F_2d_2$  (2. s. 108)

$$\vec{F}_\Sigma = \sum \vec{F}_i = m\vec{a}$$

KAAVA 20

$$M_{\Sigma A} = \sum M_{iA} = J_A\alpha$$

KAAVA 21

$M$  = momentti (Nm)

## 3 SUUNNITTELU

Opinnäytetyö aloitettiin tilaajan kanssa palaverilla, jossa käytiin läpi laitteen vaatimukset ja tavoitteet. Täsmälliset vaatimukset ja tavoitteet tekevät suunnittelusta laadukasta. Samalla tutustuttiin fysiikan laboratorioon, missä laitetta tullaan käyttämään. Laboratoriossa otettiin myös mitat nykyisin käytössä olevasta valoportista.

### 3.1 Vaatimuslista ja tavoitteet

Vaatimuslistan laadintaa varten käydään läpi vaaditut tavoitteet ja rajoitukset. Vaatimuslista sisältää tavoitteiden ja rajoitusten lisäksi usein toivomuksia, jotka toteutetaan mahdollisuuksien mukaan. Vaatimuslista mahdollistaa systemaattisen suunnittelun ja on hyvä olla mahdollisimman täydellinen heti suunnittelun alussa. Vaatimuslistasta tuli tässä opinnäytetyössä seuraavanlainen:

- kustannukset korkeintaan 100 €
- kompakti koko
- helposti purettavissa
- hyvä muokattavuus
- mahdollisuus käyttää myös muulla laitteella
- kiihdytysaika moottorille noin 2 - 5 sekuntia
- käsikäytön mahdollisuus punnuksella
- moottorin irtikytkentä akselista helposti
- käytetään vanhaa valoporttia, jos mahdollista.

Usein vaatimuslista päivittyy ja tarkentuu projektin aikana. Myös tässä opinnäytetyöprojektissa tuli vasta myöhemmin vaatimukseen mahdollisuus pyörittää momenttilevyä ulkoisella moottorilla, joka voisi olla esimerkiksi porakone.

### 3.2 Moottorin valinta

Laitteiston suunnittelussa oli hyvin oleellista tietää moottorin tyyppi heti alkuun. Ensin tehtiin valinta, onko moottori tasavirta- vai vaihtovirtamoottori. Koska laite tuli opiskelija käyttöön, oli sen oltava turvallinen. 230 voltin vaihtovirtamoottori olisi ollut turha riski sähköturvallisuuden kannalta, ja tämän vuoksi moottoriksi

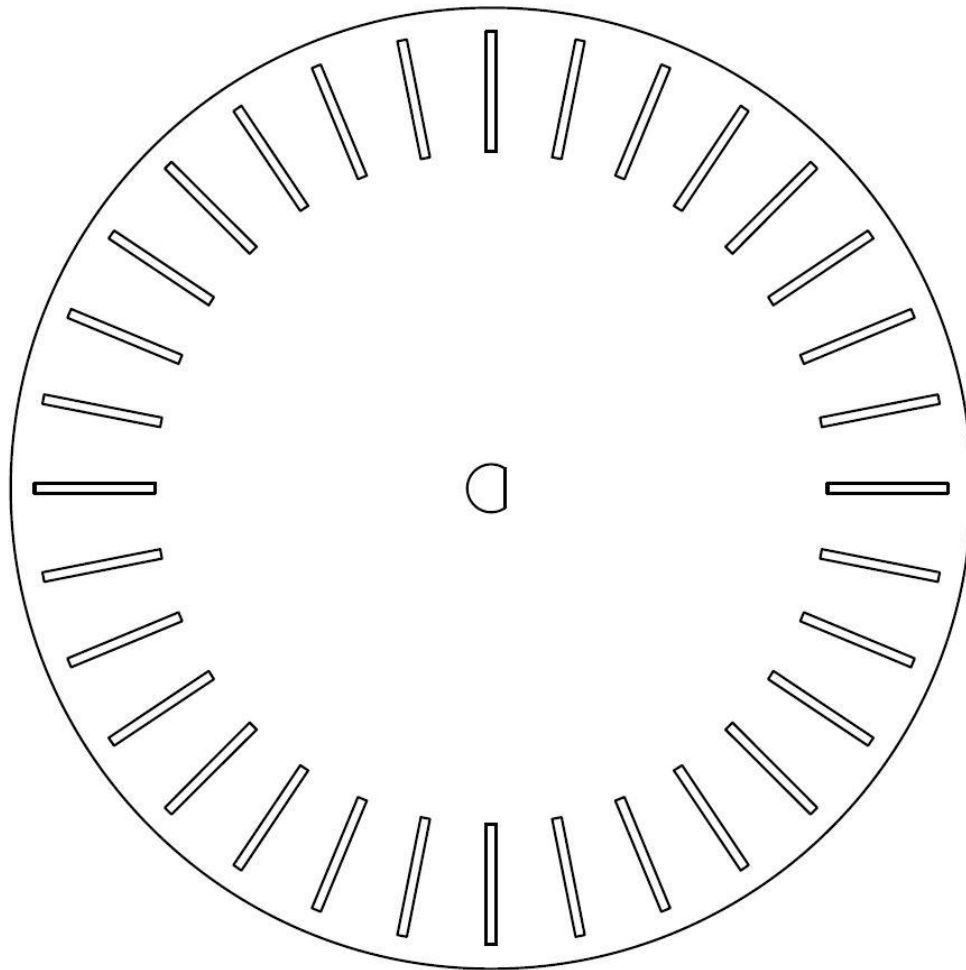
valittiin 12 voltin tasavirtamoottori. 12 voltin tasajännite on hyvä fysiikan laboratorioon myös siksi, että jännite saadaan sähkötaulusta, joka on varustettu sulakkeella ja pääkytkimellä.

### **3.3 Moottorin kiihdytysaika**

Kiihdytysaika (kaava 22) määräytyy moottorin kiihdyttävästä vääntömomentista, kitkasta, kuormasta ja hitausmomentista (3, s. 15). Tässä projektissa valitsin ensin moottorin ja tämän jälkeen haarukoin momenttilevyn fyysisen koon (hitausmomentin), jotta kiihdytysaika saadaan lähelle 2 - 3 sekuntia.

Moottoriksi valittiin Micro Motors HL149 12V 10:1. Tämän moottorin vääntömomentti on 0,04 Nm ja nimellinopeus on 315 RPM. (4.)

Teräksisen momenttilevyn (kuva 7) hitausmomentti saadaan helposti suoraan Inventor ohjelmasta. Levyn halkaisija on 200 mm ja paksuus 3 mm. Näillä arvoilla massa on 0,701 kg ja hitausmomentti on 3 441 kgmm<sup>2</sup>. Täytyy huomioida, että massa ja hitausmomentti ovat Inventor-ohjelman laskemia tuloksia absoluuttisilla levyille annetuilla mitoilla. Koska valmistuksessa on aina virhettä, voi valmistetun momenttilevyn hitausmomentin arvo poiketa tästä.



KUVA 7. Momenttilevy

Kun tiedossa on moottorin nimellisvääntömomentti, nimellisnopeus ja hitausmomentin arvo momenttilevylle, voidaan ratkaista moottorin kiihdytysaika. Johdetaan uusi kaava 22 vääntömomentille kaavoista 5, 6 ja 21 ja ratkaistaan kiihdytysaika  $\Delta t$ . (3, s.15.)

$$T = J\alpha = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = J \frac{2\pi n}{\Delta t}$$

KAAVA 22

$$\rightarrow \Delta t = J \frac{2\pi n}{T}$$

$T$  = vääntömomentti (Nm)

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

$\Delta n$  = nimellisnopeus (1/min)

$\Delta t$  = kiihdytysaika (s)

Seuraavaksi sijoitettiin arvot ja laskettiin moottorin vaatima kiihdytysaika  $\Delta t$ .

$$T = 0,04 \text{ Nm}$$

$$J = 3\,441 \text{ kgmm}^2 = 0,003441 \text{ kgm}^2$$

$$\Delta n = 315 \text{ RPM} = 315/60 \text{ 1/s}$$

$$\Delta t = J \frac{2\pi n}{T} = 0,003441 \text{ kgm}^2 * \frac{2\pi * 315 \frac{1}{s}}{60 * 0,04 \text{ Nm}} = 2,8 \text{ s}$$

Moottorin kiihdytysajaksi  $\Delta t$  saatiin laskemalla 2,8 sekuntia. Tarkan kiihdytysajan määrittämiseksi pitäisi tietää kiihdyttävä vääntömomentti, toisin sanoen pitäisi tuntea vääntömomenttikäyrä tai vähintään käynnistys- ja maksimimomentit. Koska näitä ei ollut tiedossa, suoritettiin laskenta nimellismomentin arvolla. Kiihdytysaikaan vaikuttaa myös kitka, jota ei ole huomioitu laskuissa. Näin ollen todellinen kiihdytysaika on luultavasti hieman eri kuin 2,8 sekuntia. Kiihdytysaikaan vaikuttavaa momenttilevyn hitausmomentin arvoa on kuitenkin helppo muuttaa esimerkiksi levyn paksuudella, joten tarkempaa laskentaa ei tarvittu.

### 3.4 Suunnittelu ja mallintaminen

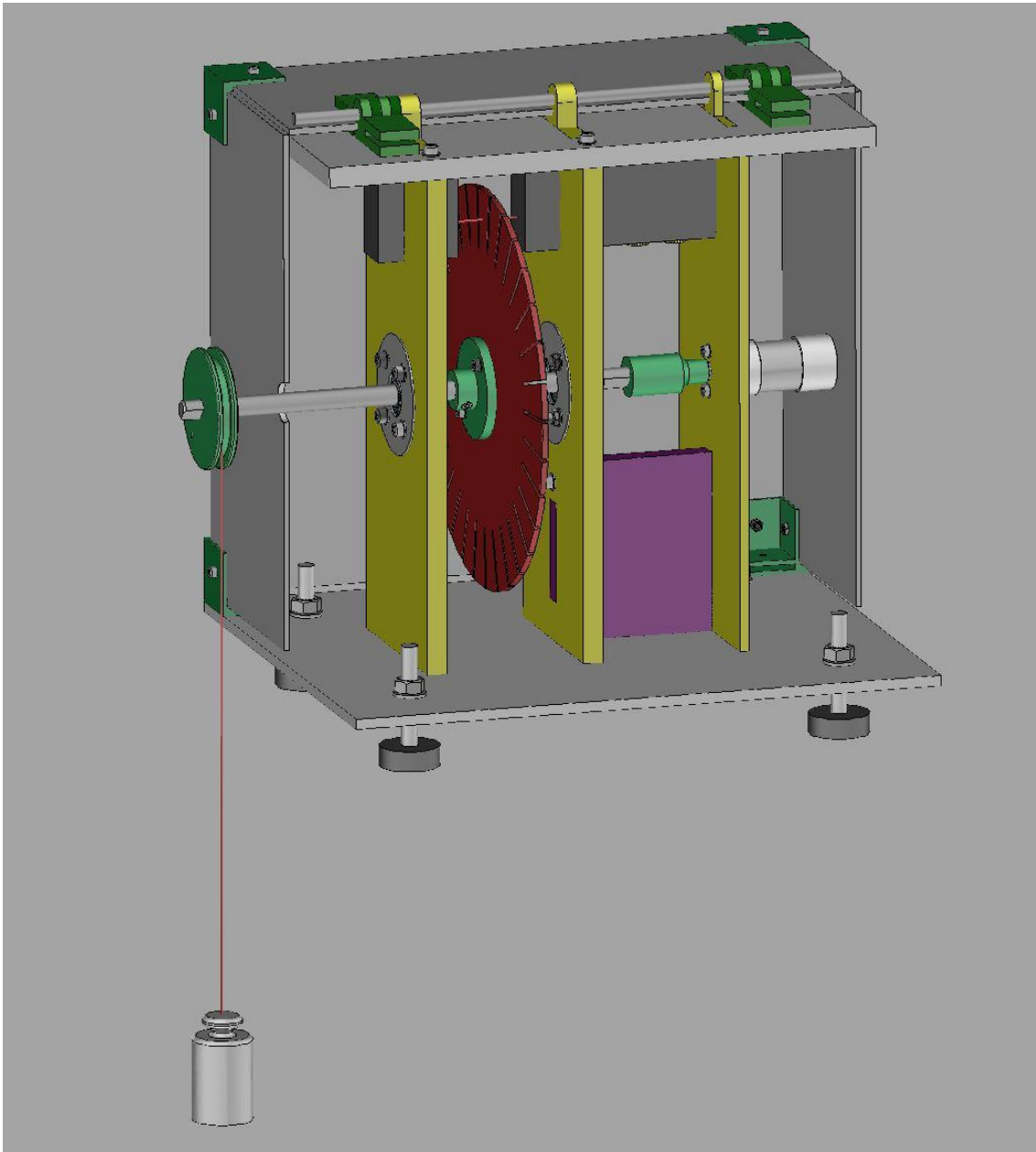
Kolmiulotteinen mallintaminen eli 3D-mallinnus tarkoittaa tietokoneavusteista kolmiulotteista suunnittelua tietokoneen kuvaruudulla. Mallintaminen on tärkeä ja nykypäivänä lähes välttämätön osa suunnittelua. Hyvin mallinnettu kone on helpompi valmistaa ja kustannuksiin voidaan vaikuttaa paljon suunnitteluvaiheessa. Suunnittelussa koneeseen ei sovellettu konedirektiiviä, koska kyseessä on laboratorionkäyttöä varten suunniteltu kone (5, Luku 1, 3 §, kohta 8). Vaikka koneeseen ei sovellettu konedirektiiviä, on sille tehty riskien arviointi (liite 5.) ja kone on suunniteltu hyvien konepajakäytäntöjen mukaisesti. Suunnittelu tehdään aina ensisijaisesti vaatimuslistan ehdoilla ja toivomukset täytetään mahdollisuuksien mukaan.

Mallinnus tehtiin Inventor Professional 2017 -ohjelmistolla. Mallinnuksen aikana on suunnittelijan helppo miettiä ja kokeilla eri vaihtoehtoja. Ensimmäiseksi malliin sijoitettiin tiedossa olevat komponentit, jotka olivat moottori, momenttilevy ja vaaloanturi. Tämän jälkeen suunniteltiin akseli ja sen laakerointi. Jotta rakenteesta

saataisiin tukeva, oli selvää, että tarvitaan kaksi laakeria. Laakereiksi valittiin urakuulalaakerit (6), ja koska budjetti oli rajallinen, päätettiin laakeripesät tehdä itse.

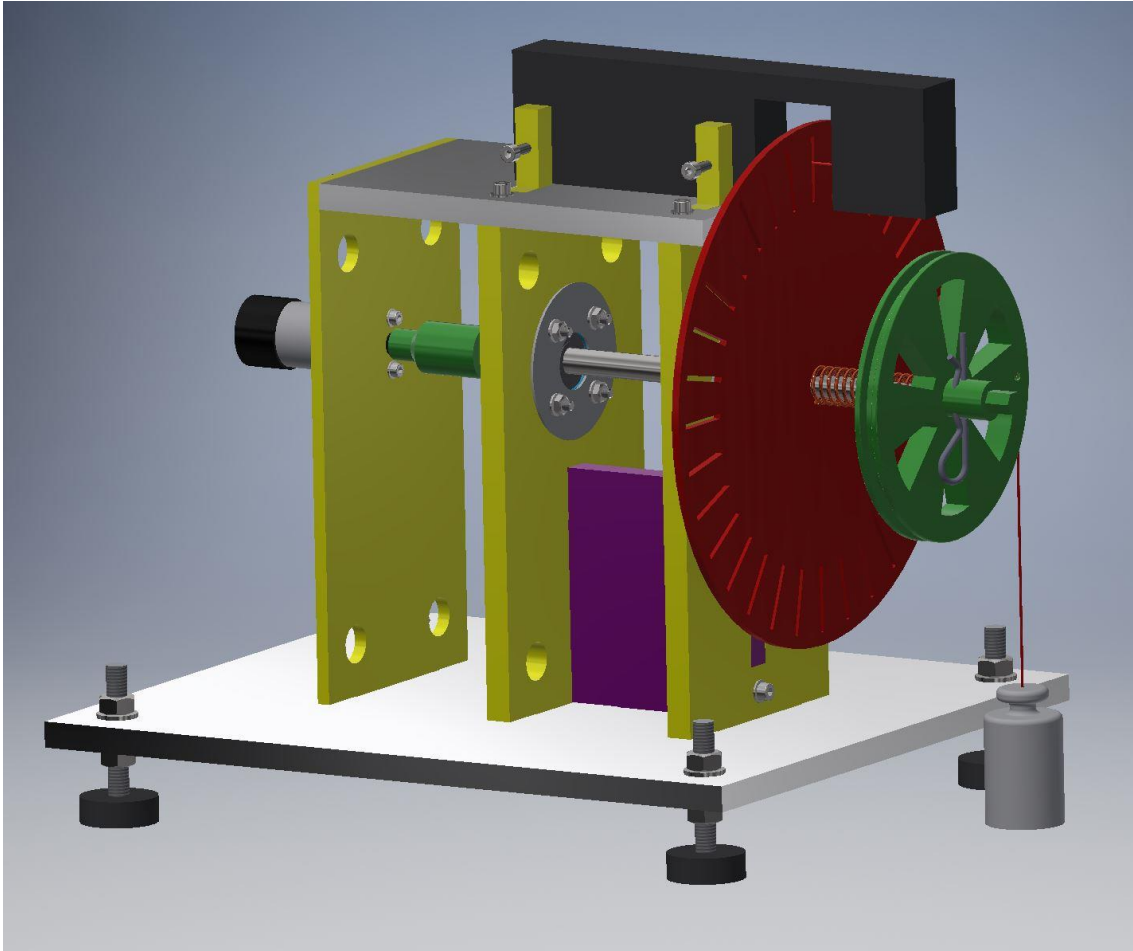
Koska yksi vaatimus oli laitteen muokattavuus, oli ruuvikiinnitykset hitsauksien sijaan luonteva vaihtoehto. Ruuvikiinnityksien vuoksi materiaalivahvuudeksi päätettiin 10 mm ja materiaaliksi valittiin alumiini, jottei painoa tulisi liikaa verrattuna teräkseen. Rungon jäykkyyttä parannettiin tekemällä levyliitokset ruuvien lisäksi vielä sisäkkäisiksi. Levyosat suunniteltiin niin, että ne pystyttiin tekemään 2D-työstömetelmillä. Näin saatiin kaikki levyosat tehtyä vesileikkaamalla. Valmistuksessa pystyttiin käyttämään tilaajan 3D-tulostinta. Kytkin ja lankarulla suunniteltiin niin, että ne voitiin valmistaa pikamallinnuksella.

Ensimmäisessä layoutissa (kuva 8) oli momenttilevy laitteen sisällä ja myös suo-  
jia mallinnettu. Tilaajan toivomuksesta siirrettiin momenttilevyä, jotta levyn irrotus mittauksia varten olisi helpompaa. Samalla kevennettiin momenttilevyn kiinnitystä. Nyt momenttilevyn irrottaminen tapahtuu vapauttamalla sokka lankarullasta ja vetämällä levy pois akselistä. Momenttilevy tullaan ehkä tulevaisuudessa vaihtamaan ja tämän vuoksi momenttilevy kiinnittyy jousen avulla, jolloin levyn paksaus ei vaikuta kiinnitystapaan.



*KUVA 8. Ensimmäinen layout*

Suunnittelun edetessä valoanturi nostettiin laitteen yläosaan ja tehtiin ulkoisen moottorin kuten porakoneen käyttömahdollisuus tulostettavaan lankarullaan. Moottori täytyy mahdollisesti tulevaisuudessa uusida ja tämän vuoksi moottorin kiinnityslevystä tehtiin sellainen, jonka saa pois ilman laitteen muuta purkamista. Uutta moottoria varten voidaan tehdä tarvittaessa uudet kiinnitysreiät päätylevyyn tai vaihtoehtoisesti kokonaan uusi päätylevy. Lisäksi päätettiin, että suoja ei tarvita tässä vaiheessa. Suunnittelun lopullinen tulos on kuvassa 9.



*KUVA 9. Laitteen lopullinen CAD-malli*

## 4 VALMISTUS JA KOKOONPANO

Valmistuksessa käytettiin Oulun ammattikorkeakoulun tiloja ja koneita. Valmistus aloitettiin valmistamalla ensin kaikki levyosat, sitten akseli ja lopuksi tulostettiin akseliin tulevat osat. Tämän jälkeen suoritettiin kokoonpano ja lopuksi tehtiin vielä sähkötyöt.

### 4.1 Levy osien ja akselin valmistus

Laitteen rungon levyosat leikattiin vesileikkurilla (kuva 10) 5 mm:n ja 10 mm:n paksuisista alumiinilevystä. Momenttilevy valmistettiin 3 mm:n paksuisesta teräslevystä. Valmistuskuvia osille ei tarvittu, koska vesileikkurin tarvitsemat DXF-tiedostot saatiin suoraan Inventorin 3D-mallista. Inventorissa mallista valittiin levyn pinta ja tallennettiin DXF-muotoon. DXF-tiedosto ajettiin sen jälkeen vesileikkuriin, joka leikkasi osat automaattisesti. Leikatuista levyistä (kuva 9) poistettiin terävät särmät, momenttilevy hiekkapuhallettiin ja levyihin tehtiin kierteet tarvittaviin paikkoihin.

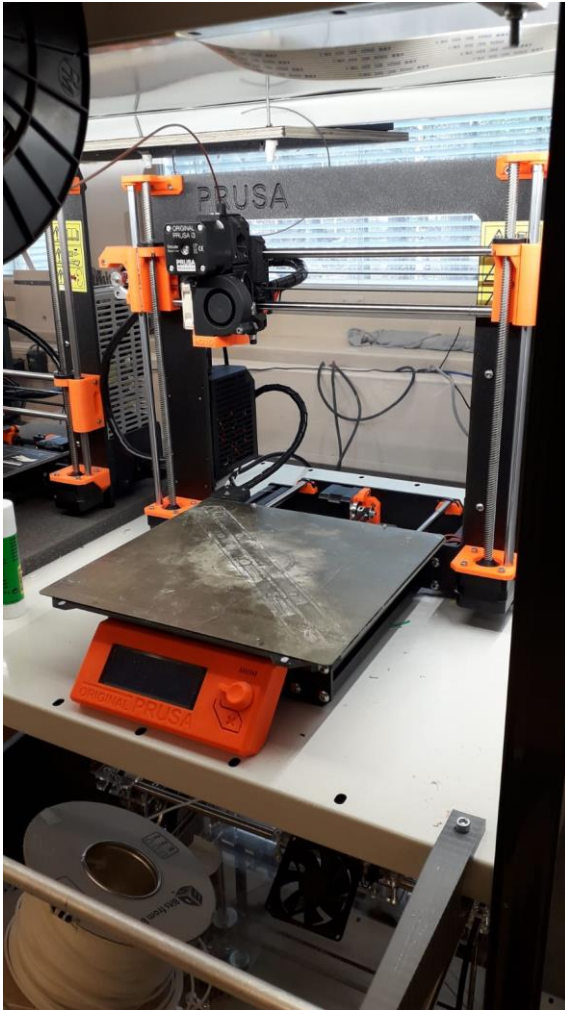


*KUVA 10. Vesileikkuri ja valmiit levy osat*

Akseli valmistettiin 10 mm:n pyörötangosta, jonka materiaali oli ruostumatonta terästä. Akselia varten tehtiin työpiirustus ja tämän mukaisesti sorvattiin akseliin urat lukitusholkeille. Momenttilevyä ja tulostettavia kappaleita varten piti akseliin tehdä lovi molempiin päihin. Tämä päätettiin tehdä otsajyrsimellä. Jyrinnässä tanko pääsi kuitenkin hieman taipumaan. Taipuma ei ollut suuri, joten laitteen testaus päätettiin tehdä tällä akselilla ja joko valmistaa kokonaan uusi akseli tai akselia voidaan yrittää suoristaa lopulliseen laitteeseen.

## 4.2 Tulostettavat osat

3D-tulostettavat osat valmistettiin myös ilman piirustuksia. Tulostinta (kuva 11) varten tarvittiin vain STL-tiedostot Inventor-mallista. Tuontivaiheessa Inventorissa määritellään STL-tiedoston tarkkuus ja toleranssi. Itse tulostimen asetuksissa määritellään tulostussuunta ja kiinteän kappaleen täyttökuvio esimerkiksi materiaalin säästämiseksi.

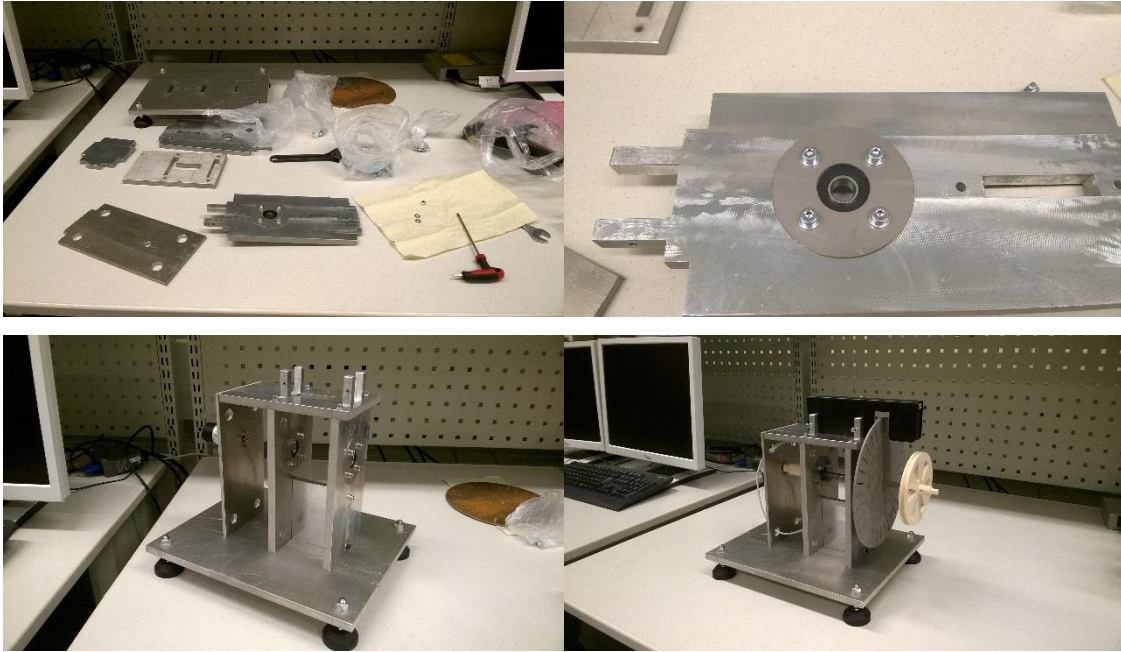


*KUVA 11. 3D-tulostin Prusa*

## 4.3 Kokoonpano

Kokoonpano oli todella suoraviivaista ja mutkatonta. Osat olivat todella mittatarkkoja vesileikkauksen ja tulostuksen jälkeen, joten kasaus oli osien sopimisen suh-

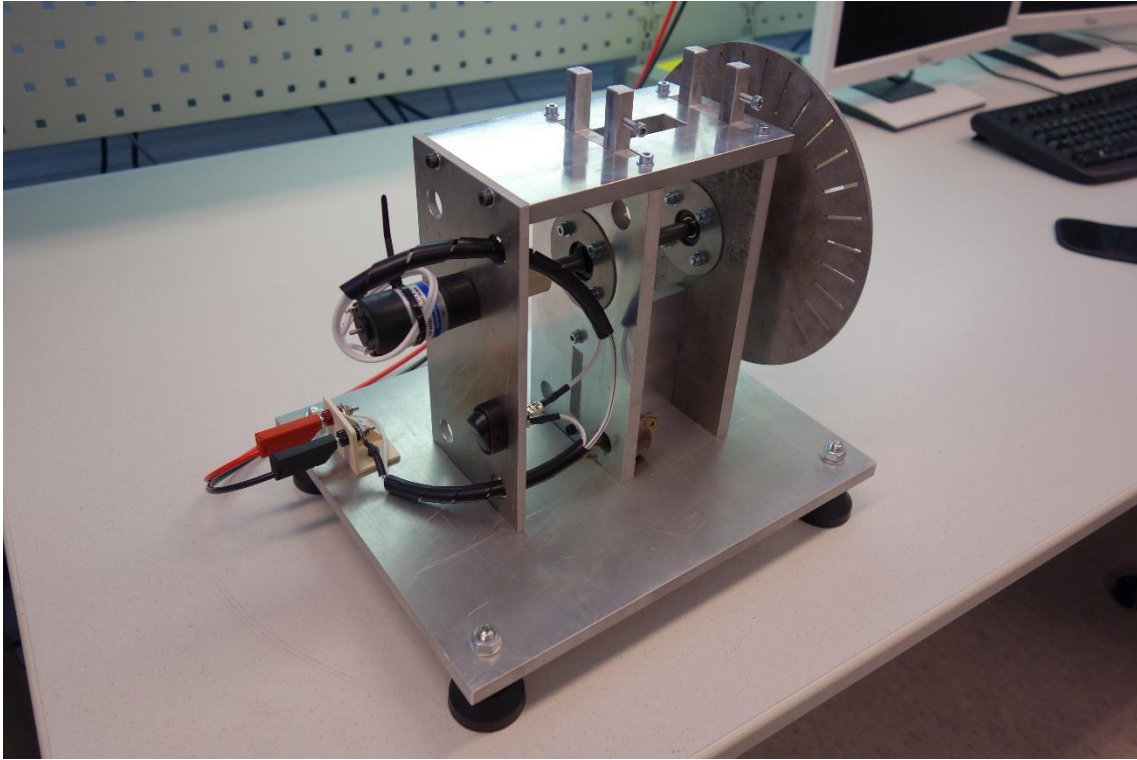
teen hyvä. Alumiinilevy ja loviliitokset ruuvein olivat onnistunut valinta. Valmis rakenne on hyvin jäykkä, sekä kumijalat pitävät laitteen tasolla tukevasti. Kuvassa 12 on kokoonpanon vaiheita.



*KUVA 12. Kokoonpanon vaiheita*

#### **4.4 Sähkötyöt**

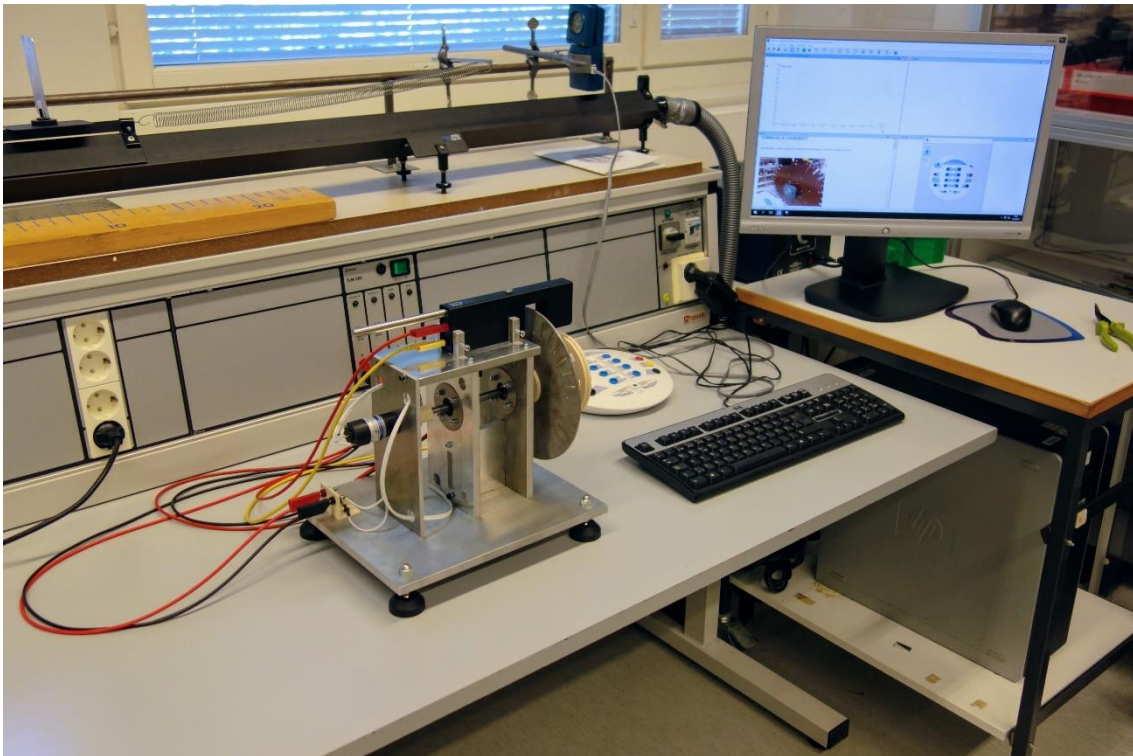
Kokoonpanon jälkeen oli jäljellä enää moottorin sähkötyöt. Sähkötyöt tehtiin koneautomaatiolaboratoriossa. Moottorille asennettiin kytkin, sekä 3D-tulostettiin liittimiä varten pidike. Liittimet valittiin sen mukaan, millaisia sähköjohtoja laboratoriossa käytetään. Liitokset suoritettiin tinaamalla sekä abiko-liittimillä. Abiko-liitokset varmistettiin vielä kutistesukalla ja sähköjohdot suojattiin suojamuovilla. Kuvassa 13 on laite, kun sähkötyöt on tehty.



*KUVA 13. Sähkötyöt valmiina*

## 5 KOEKÄYTTÖ

Laitetta koekäytettiin yhdessä tilaajan kanssa. Testauspaikkana oli sama laboratorio, jossa laitetta tullaan jatkossa käyttämään. Kuvassa 14 näkyy testiympäristö ja valoanturin mittauslaitteisto.



*KUVA 14. Testausympäristö*

### 5.1 Laitteiston mekaaninen toimivuus

Mekaanisilta ominaisuuksilta laite oli onnistunut. Laitteen koeajo sujui hyvin ja moottori kiihtyi täyteen vauhtiin kuten toivottiin. Takometrillä (kuva 15) mitattiin kierrosnopeudeksi 260 rpm ja moottorin nimellisaika on 315 rpm datalehden mukaan. Ero selittyy datalehden ilmoittamalla  $\pm 10\%$  toleranssilla moottorin nimellisaikassa, kitkan vaikutuksella ja käytetyn virtalähteen tarkkuudella. Kiihdytysaika mitattiin kahdella tavalla. Toinen oli mittaus takometrillä ja toinen oli virran seuranta. Molemmat tavat antoivat noin 3 - 4 sekunnin kiihdytysajan.



*KUVA 15. Kierrosnopeuden mittaaminen takometrillä*

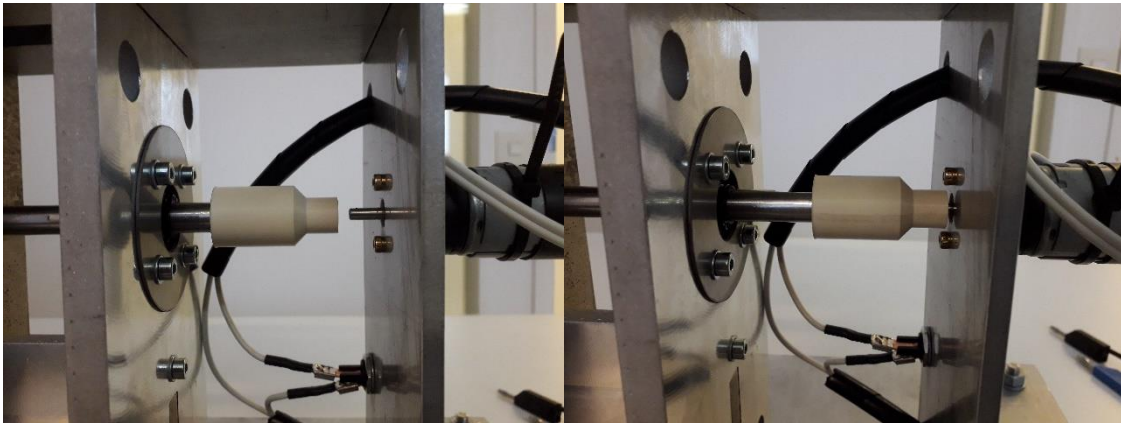
Akselin taipuma hieman häiritsi muuten vakaata pyörimistä, joten akseli pitää joko vaihtaa tai suoristaa. Myös momenttilevy oli hieman kiero, mikä seuraa joko hiekkapuhalluksesta tai sitten levy oli jo alkujaan hieman kiero. Levy voi olla hankala suoristaa, joten kannattaa valmistaa kokonaan uusi levy.

Momenttilevy pääsi hieman heilumaan akselilla. Tämä ongelma voidaan ratkaista tulostamalla tukikappaleet momenttilevyn molemmin puolin, jolloin heilumisen pitäisi poistua. Tukikappaleet voisi tehdä vaihtoehtoisesti koneistamalla alumiinista tai teräksestä, joka olisi tarkkuuden ja kestävyuden kannalta paras vaihtoehto. Kitka tuntui olevan aika suuri laakereissa. Tätä voidaan pienentää laakereiden puhdistamisella ja voitelulla. Koska kitkasta ei koskaan päästä kokonaan eroon ja se pitää ottaa huomioon laskelmissa, ei parannusta välttämättä tarvitse tehdä.

## **5.2 Käyttö punnuksella**

Käsitöitä varten täytyy moottori kytkeä tulostetulla kytkimellä irti akselistä. Kytkimen toiminta tuli tarkistettua tässä kohtaa ja moottorin sai helposti kytkettyä irti

akselista. Kytkimen ja moottorin kohdistaminen oli hieman hankalaa, joten kytkin kannattaa varustaa uran ilmaisevalla kohdalla esimerkiksi tulostamalla uusi kytkin. Kuvassa 16 näytetään kytkimen toiminta. Punnusta varten asennettiin 3D-tulostetulle lankarullalle lanka punnusta varten ja lankaan itse punnus. Momenttilevy ei jaksanut pyöriä 19,8 gramman punnuksella vaan vaati isomman punnuksen. Tähän vaikuttaa momenttilevyn hitausmomentin arvo sekä pyörimiskitka eli kitkamomentti. Sopivan painoinen punnus löytyi kokeilemalla eri punnuksia ja saatiin selville, että laite toimii hyvin 50 - 100 g:n painoisella punnuksella. Koska tiedetään tarkka hitausmomentin arvo, voidaan kitkan voiman suuruus määrittää erittäin tarkasti.



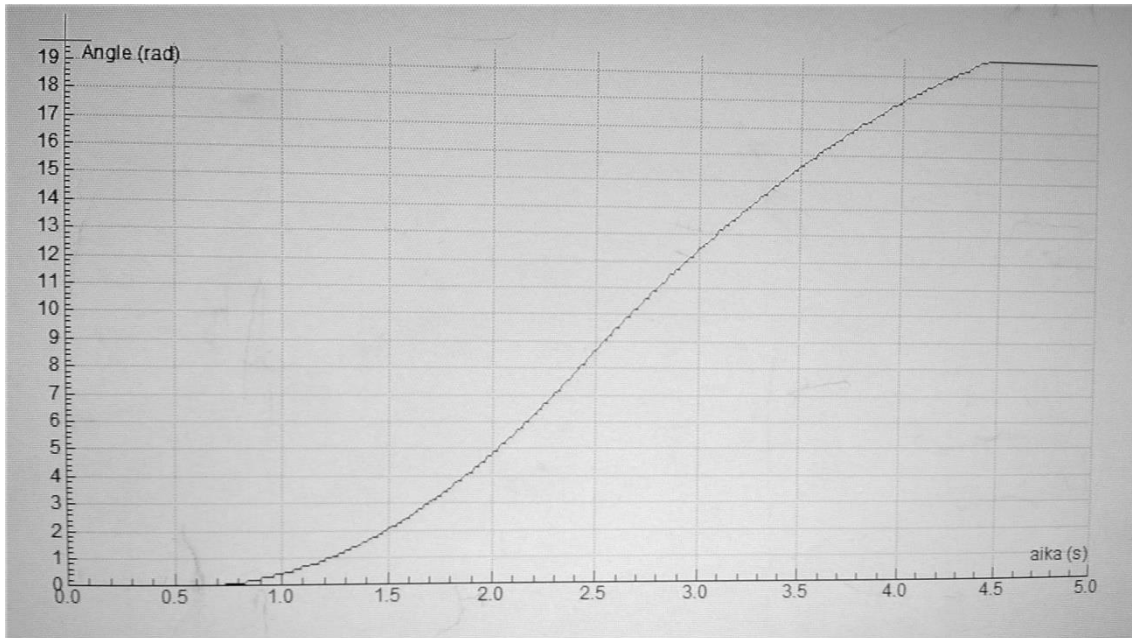
*KUVA 16. Kytkimen toiminta*

Lankarulla sisältää myös ominaisuuden pyörittää momenttilevyä myös esim. porakoneella. Tätä myös hieman kokeiltiin ja tuli ilmi, ettei tulostettu osa tule kestämään porakoneen suurta vääntömomenttia. Suosittelenkin tilaajaa teettämään lankarullan esimerkiksi alumiinista työstämällä koulun koneistuskeskuksella. Toinen vaihtoehto on suunnitella ja valmistaa erillinen metallisovitin ulkoiselle moottorille, joka asetetaan lankarullan tilalle, kun tutkitaan esimerkiksi porakoneen vääntömomenttia.

### **5.3 Ajo valoanturilla**

Valoanturin toiminta tarkastettiin laitteistolla, jolla laitetta tullaan käyttämään. Laitteisto sisältää valoanturin, kytkentäpisteen ja CMA Coach 6 -ohjelman. Laitteen mittaus käynnistettiin ja samalla kytkettiin moottori käyntiin. Tulostunut kuvaaja

näky kuvassa 17. Pysty-akselilla on kulma radiaaneina ja vaaka-akselilla on aika sekunteina. Ohjelma on ohjelmoitu momenttilevylle, jossa on 64 rakoa. Nyt momenttilevyllä on 32 rakoa, joten radiaanit täytyy kertoa kahdella, jotta saadaan oikea kulma-asema.



*KUVA 17. Mittauskäyrä*

Aiemmin mitattiin kiihdytysaikaa, joka oli 3 - 4 sekuntia. Nyt mitattu käyrä näyttää antavan kiihdytys ajaksi noin 2 - 3 sekuntia. Ohjelmassa oli asetettu mittauskertojen määrä 200:aan, ja tämä puolestaan rajoitti näkemään lopullisen käyrän pidemmältä ajalta. Asia voidaan korjata, kun lisätään mittauskertoja esimerkiksi tuhanteen mittauskertaan.

#### **5.4 Riskien arviointi**

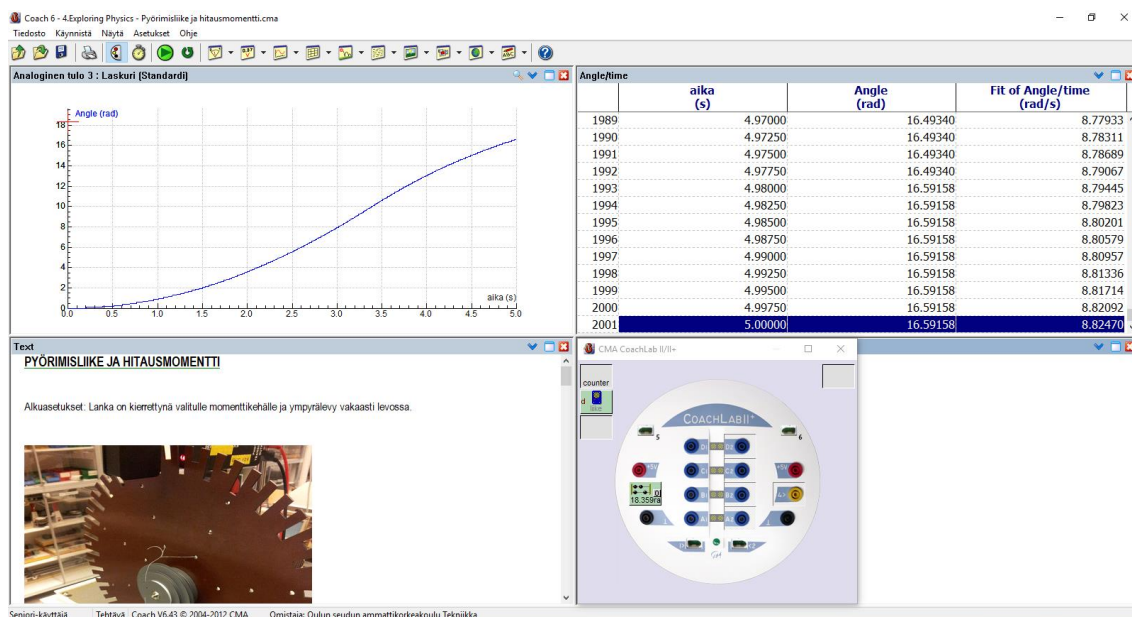
Laiteelle tehtiin riskianalyysi (liite 5). Riskianalyysi suoritettiin standardien SFS-EN ISO 12100 ja SFS-ISO/TR 14121-2 mukaan. Riskianalyysin mukaan koneessa ei ole merkittäviä riskejä. Tämä oli odotettavissa oleva tulos, koska koneessa ei ole monia liikkuvia osia ja moottorin teho on pieni. Tilaajan kanssa mietittiin projektin aikana, tarvitseeko laite suojat. Riskianalyysin mukaan ei, mutta sovittiin, että tilaaja teettää laitteeseen asianmukaiset suojat, jos katsoo ne tarpeellisiksi.

## 6 KITKA- JA VÄÄNTÖMOMENTIN MÄÄRITTÄMINEN

Laitteistolla tutkitaan muun muassa moottorin vääntömomenttia sekä momenttilevyn hitausmomenttia. Tuloksiin päätettiin määrittää laitteiston kitkamomentin suuruus, joka voidaan ottaa huomioon, kun laitteistoa käytetään opiskelijatöissä. Moottorin kiihdyttävän vääntömomentin mittaaminen on laitteen päätarkoitus ja moottorin vääntömomentin esittäminen ajan funktiona on olennainen osa tuloksia.

### 6.1 Kitkamomentin määrittäminen

Kitkamomentti selvitettiin käsikäytöllä punnuksilla ilman moottoria. Kitkamomentin määrittämisessä käytettiin 49,2 g:n ja 101,9 g:n painoisia punnuksia. koejärjestelyssä punnus vapautettiin, jolloin momenttilevy lähti kiihtyvään pyörimisliikkeeseen ja samalla Coach-ohjelma mittasi kulman ja ajan (kuva 18) valoportin avulla. Maksimi pyörimisnopeus momenttilevyllä on noin 260 1/min = 4,333 1/s, joka on kulmanopeutena  $\omega = 2\pi n = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,333 \text{ 1/s} = 27,2 \text{ rad/s}$ . Momenttilevyjen rakojen väli  $\phi = 2\pi/32 = 0,196$  radiaania. Näytteenottotaajuudeksi valittiin 400 mittausta sekunnissa eli 2,5 millisekunnin välein valoanturi suorittaa mittauksen ja tässä ajassa momenttilevy ehtii pyöriä 0,068 radiaania, joka riittää hyvin. Molemmilla punnuksilla ajettiin kolme mittauskertaa ja tulokset kopioitiin Exceeliin, jossa mittaukset käsiteltiin.



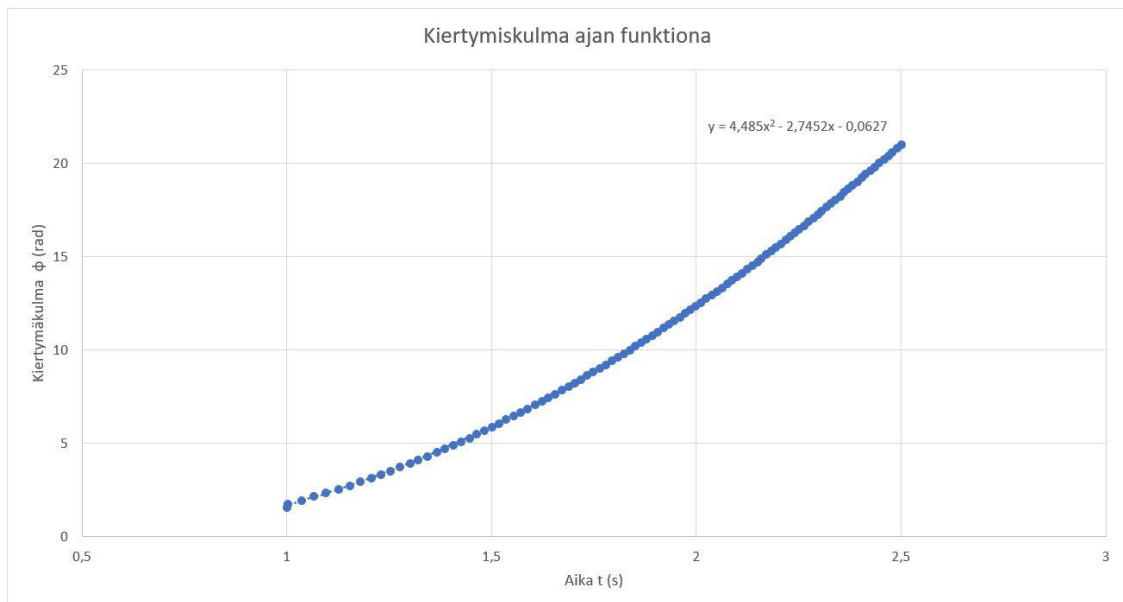
KUVA 18. Coach-ohjelman mittaukset

Kitkamomentti voidaan määrittää, kun tiedetään kokonaishitausmomentti, punuksen massa, lankarullan säde (50 mm) ja kulmakiiktyvyys. Momenttilevyn hitausmomentti laskettiin vielä Inventor-ohjelmassa uudestaan, koska materiaalista ja valmistustarkkuudesta johtuen se voi erota teoreettisesta arvosta. Momenttilevyn massaksi mitattiin 710 grammaa ja keskipaksuudeksi 3,04 mm. Näillä arvoilla saadaan hitausmomentiksi momenttilevylle  $3\,486,649\text{ kgmm}^2$ . Muiden osien hitausmomentit otettiin myös suoraan Inventor-ohjelmasta ja selvästi nähdään (taulukko 1), että momenttilevyn osuus kokonaishitausmomentin arvosta on suurin (98 %).

TAULUKKO 1. Hitausmomenttien arvot

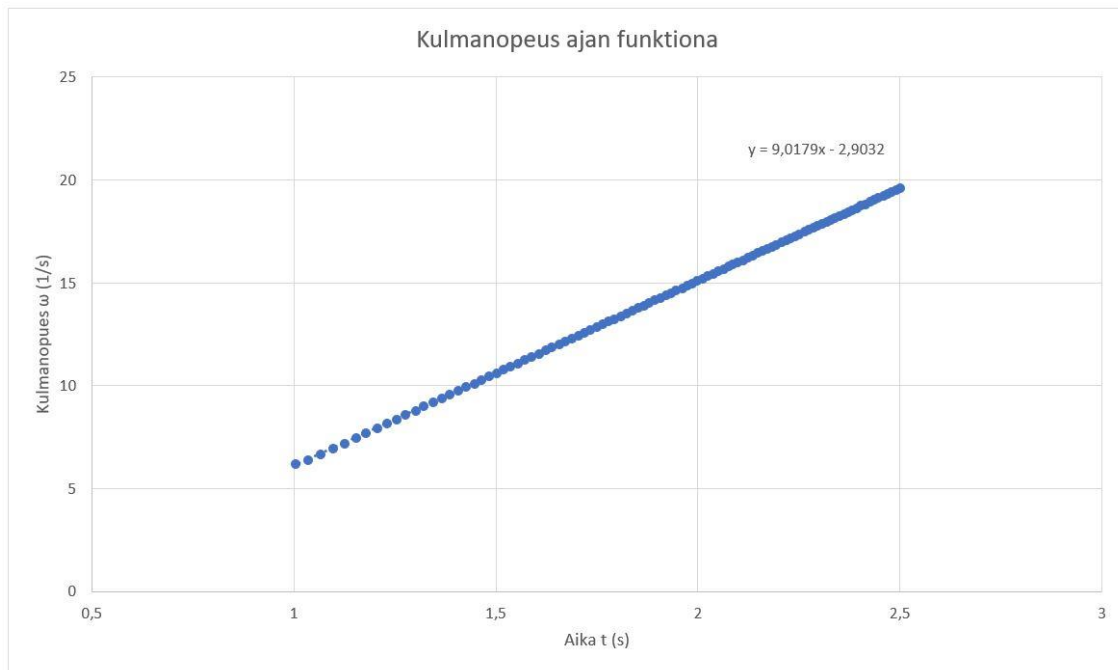
Osa	J [kgmm <sup>2</sup> ]	J [kgm <sup>2</sup> ]
Vauhtipyörä	3486,649	0,003486649
Lankarulla	113,293	0,000113293
Jousi	2,107	0,000002107
Akseli	1,594	0,000001594
Kytkin	0,526	0,000000526
yhteensä	3604,169	0,003604169

Seuraavaksi täytyi vielä selvittää momenttilevyn kulmakiihtyvyys  $\alpha$ . Coach-ohjelmasta saadut aika ja kiertymiskulmien arvot rajataan ensin sopivaan aika-ikkunaan, joka oli tässä tapauksessa 1 - 2,5 sekuntia. Seuraavaksi poistetaan kiertymiskulmien kaksoiskappaleet ja tämän jälkeen kiertymiskulmat kerrotaan kahdella, koska levyssä oli 32 uraa ja ohjelman asetuksissa 64 uraa. Pisteet sovitaan käyrälle ja havaittiin että muodostunut kuvaaja on paraabeli, joka on muotoa  $f(x) = ax^2 + bx + c$  ja annettiin Excelin sovittama käyrä pisteille (kuva 19). Koska mittauksista suoraan derivoimalla ei saada hyviä tuloksia, johtuen mittaustarkkuudesta, päätettiin ensin laskea kiertymiskulmat saadulla toiseen asteen yhtälöllä.



*KUVA 19 Kiertymiskulma ajan funktiona*

Uudet lasketut kiertymiskulmat derivoidaan, jotta saadaan keskilinjanopeus (kaava 4). Derivoinnista saadut pisteet sijoitetaan edelleen kuvaajaan (kuva 20) ja pisteet asettuivat suoralle, joka kertoo sen, että kulmakiihtyvyys ja kitkamomentti ovat vakioita. Excelissä sovitettiin suora pisteille ja suora on muotoa  $f(x) = ax + b$ . Muodostuneen suoran yhtälön kulmakerroin  $a$  on kulmakiihtyvyyden arvo (kaava 7).



KUVA 20 Kulmanopeus ajan funktiona

Kun punnus vapautetaan langan varaan, aiheutuu siitä momenttilevyä pyörittävä voima  $T$  langan kautta. Momenttilevyä vääntävä langan jännitysvoima  $T$  lasketaan kaavalla 23. Langan jännitysvoiman aiheuttama momentti  $M_t$  lasketaan kaavalla 24. (7, pyörimisen liikeyhtälö ja dynamiikka.)

$$T = m(g - a) = mg - ma = mg - mra \quad \text{KAAVA 23}$$

$$M_t = Tr = (mg - mra)r \quad \text{KAAVA 24}$$

Kiekkoon vaikuttava kokonaismomentti  $M$  (kaava 25) saadaan, kun langan jännitysvoiman aiheuttamasta momentista  $M_t$  vähennetään pyörimistä jarruttava kitkamomentti  $M_\mu$ . (7, pyörimisen liikeyhtälö ja dynamiikka.)

$$M = M_t - M_\mu \quad \text{KAAVA 25}$$

Kaavoista 21 ja 25 saadaan johdettua lopullinen kaava 25 kitkamomentin laskemiseksi.

$$M = J\alpha$$

$$M_t - M_\mu = J\alpha$$

$$M_\mu = M_t - J\alpha \quad \text{KAAVA 26}$$

Seuraavaksi laskettiin kitkamomentti  $M_{\mu}$  102 gramman punnukselle. Kulmakiihtyvyyden  $\alpha$  saatiin mittaustuloksesta (kuva 20).

$$J = 0,003604 \text{ kgm}^2$$

$$m = 0,102 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\alpha = 9,0179 \text{ 1/s}^2$$

$$r = 0,05 \text{ m}$$

$$T = m(g - r\alpha) = 0,102 \text{ kg} * \left( 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - \left( 0,05 \text{ m} * 9,0179 \frac{1}{\text{s}^2} \right) \right) = 0,9546 \text{ N}$$

$$M_t = Tr = 0,9546 \text{ N} * 0,05 \text{ m} = 0,04773 \text{ Nm}$$

$$M_{\mu} = M_t - J\alpha = 0,4773 \text{ Nm} - \left( 0,003604 \text{ kgm}^2 * 9,0179 \frac{1}{\text{s}^2} \right) = 0,01523 \text{ Nm}$$

$$\text{Vastaus: } M_{\mu} \sim 15,2 \text{ Nmm}$$

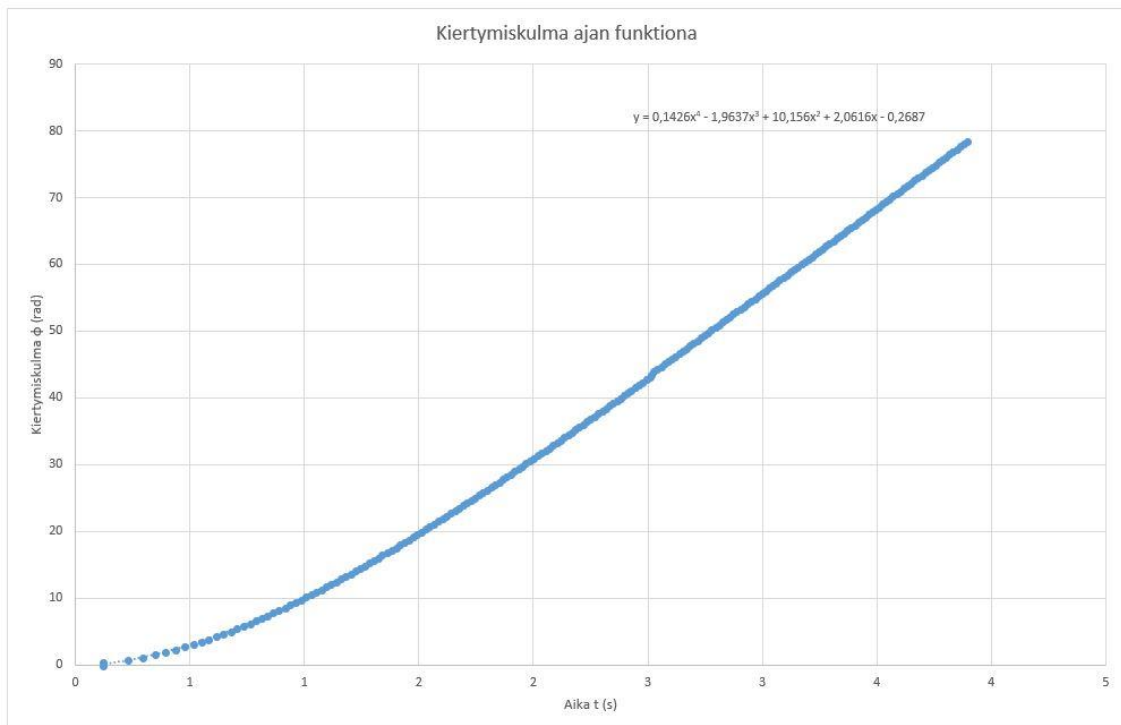
Laskenta suoritettiin kuudelle mittaustapahtumalle ja tulokset nähdään taulukossa 2. Tuloksista voidaan havaita, että punnuksen massa vaikuttaa kitkamomentin arvoon. Suuremmalla punnuksella oli kulmakiihtyvyyden suurempi ja myöskin yllättäen kitkamomentti suurempi. Tuloksista selvisi myös se, että kitkamomentin suuruus oli aina vakio yksittäisen mittaustapahtuman ajan, koska kulmakiihtyvyyden arvo oli vakio. Työssä ei tehty enää lisää tutkimuksia siitä, mistä tämä kitkamomentin vaihtelu on seurausta, mutta yksi selitys on laakereiden ominaispiirre, kun kulmakiihtyvyys muuttuu tai kun voima on pieni. Momenttilevy ei jaksanut pyöriä 19,8 gramman punnuksella, joka vastaa 9,1 Nmm voimaa. Tästä voidaan päätellä, että saadut kitkamomentin arvot ovat oikean suuruisia.

#### TAULUKKO 2. Kitkamomentin arvot

Mittaus	$M_{\mu}$ [Nm]	Ka
Iso punnus 1. mittaus	0,0152	
Iso punnus 2. mittaus	0,0153	
Iso punnus 3. mittaus	0,0151	0,0152
Pieni punnus 1. mittaus	0,0111	
pieni punnus 2. mittaus	0,0116	
pieni punnus 3. mittaus	0,0117	0,0115
Keskiarvo	0,0133	0,0133

## 6.2 Moottorin kiihdyttävä momentti

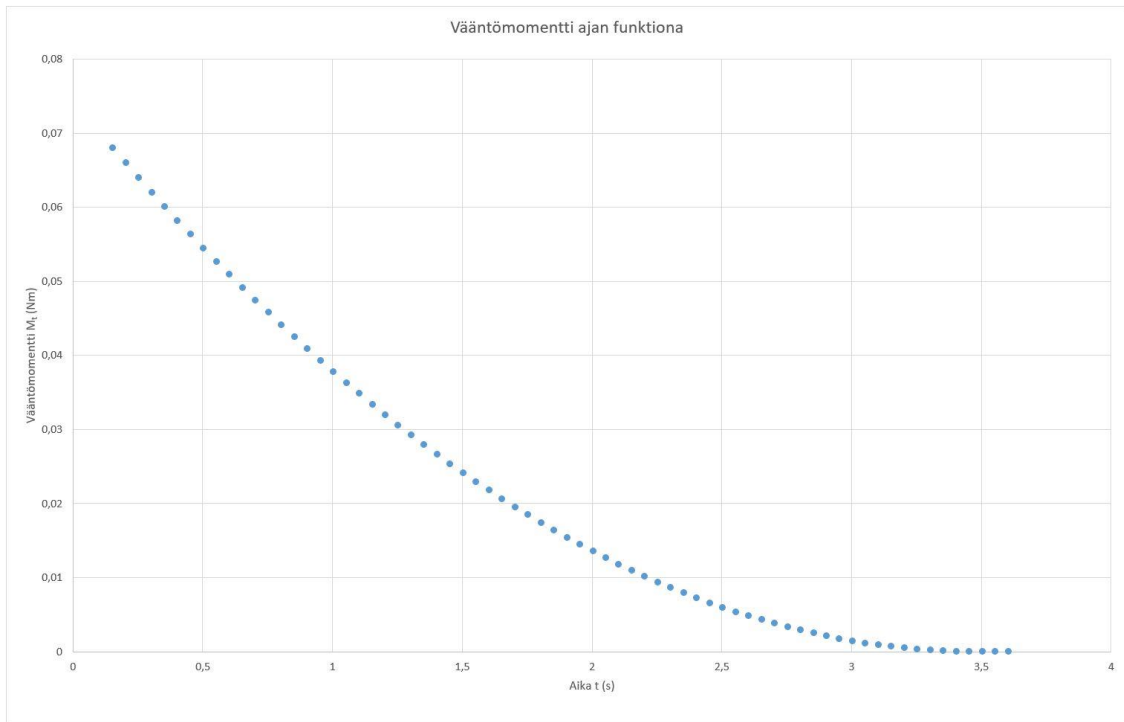
Kiihdyttävän momentin määrittäminen suoritettiin Coach-ohjelmalla samoin kuin kitkamomentin tapauksessa. Ainut ero oli se, että momenttilevystä jouduttiin peittämään joka toinen rako, jotta mittauspisteitä saatiin riittävän kauan. Kuvassa 21 on saadut mittaus pisteet asetettu kuvaajaan. Nähdään ettei kuvaaja ole paraabeli, vaan loppua kohti suora. Moottori ei kiihdy tasaisesti, kuten punnuksen tapauksessa. Momenttilevyn kulmakiihtyminen on nolla, kun maksiminopeus saavutetaan. Kuvaajaan sovitettiin Excelissä useita yhtälömuotoja ja neljännen asteen yhtälö sopi parhaiten.



*KUVA 21 Moottorin kiertymiskulma ajan funktiona*

Kulmanopeuden määrittämiseksi Excelin sovittaman yhtälön avulla saatiin uudet arvot kiertymiskulmalle ja nämä derivoimalla ajan suhteen saatiin kulmanopeus  $\omega$ . Edelleen derivoimalla kulmanopeus ajan suhteen saatiin kulmakiihtyvyys  $\alpha$  ajanhetkellä  $t$ . Kiihdyttävän vääntömomentin arvon laskeminen ajan hetkellä  $t$  saadaan kaavalla 21. Excelissä laskettiin arvot ja kuvassa 22 nähdään pisteiden kuvaaja. Kuvaaja esittää moottorin vääntömomenttia ajan funktiona. Tässä laskennassa ei ole huomioitu kitkamomenttia, joka siis on koko ajan vastustavana

voimana. Jos kuvan 22 vääntömomenttikäyrään lisättäisiin kitkamomentti, olisi vääntömomentti kitkamomentin verran suurempi ja kuvaaja tasaantuisi kitkamomentin tasolle, kun saavutetaan maksimi pyörimisnopeus. Tällöin voimien summa olisi 0, samoin kuin kulmakiihtyvyys myös.



*KUVA 22 Moottorin kiihdyttävä vääntömomentti ajan funktiona*

## 7 YHTEENVETO

Toimeksiantajalla oli tarpeena saada laite, jolla pystytään mittaamaan pienen sähkömoottorin vääntömomenttia. Laite tulisi olemaan Oulun ammattikorkeakoulun fysiikan laboratoriossa opetusvälineenä, jota opiskelijat käyttäisivät. Mittaus tapahtuisi momenttilevyn ja valoanturin avulla. Valoanturilta saataisiin tieto momenttilevyn kulmakiihtyvyydestä ja tätä kautta voitaisiin laskea moottorin vääntömomentti. Laitteella piti myös pystyä määrittämään momenttilevyn hitausmomentti perinteisin keinoin punnuksen avulla.

Laitteen suunnittelu sujui hyvin, kun kaikki vaatimukset olivat tiedossa. Laitteen budjetti oli 100 €, joka asetti omat haasteet osien löytymiseen. Haastavinta oli saada kaikki toiminnallisuudet toteutettua järkeväksi kokonaisuudeksi. Tilaajan kanssa tehtiin kahdesti muutoksia laitteeseen layoutvaiheessa ja ratkaisut olivat onnistuneita.

Koneen hyvän suunnittelun ansiosta itse osien valmistus oli yllättävänkin helppoa ja nopeaa. Valmistuksessa käytettiin monipuolisesti hyväksi erilaisia valmistusmenetelmiä. Ongelma tuli akselin valmistuksessa, kun akseli hieman vääntyi plaanauskoneessa. Ongelma ratkeaa akselia vaihtamalla tai nykyisen oikomisella. Momenttilevy oli hieman kiero, mikä johtui luultavasti jo valmiiksi vääntyneestä levyaihiosta. Sovittiin, että tilaaja hoitaa korjaukset, jos katsoo tarpeelliseksi. Tilaaja myös hankkii suojat koneeseen, jos tarve vaatii.

Laitetta testattiin tilaajan kanssa fysiikan laboratoriossa oikeilla mittausvälineillä. Testi oli onnistunut ja laiteella pystyttiin suorittamaan mittauksia. Laitteelle saatiin määritettyä kitkamomentti sekä moottorin kiihdyttävä vääntömomentti. Tilaaja myös tuntui olevan tyytyväinen laitteeseen.

Tutkimuslaitteisto on mielestäni prototyyppi, jota päivitetään tarpeen mukaan. Valmistusvaiheessa ilmeni muutamia kehityskohtia. Muun muassa laakerit kannattaisi puhdistaa ja öljytä mahdollisimman juoksevalla öljyllä, jotta kitka saadaan pieneksi tai vaihtoehtoisesti tutkia toimsivatko toisentyyppiset laakerit paremmin tässä laitteessa. Laakereiden kitkan pienentämisen jälkeen tulee pyörimistä vastustava voima eli kitkamomentti määrittää uudelleen. Moottorin ja akselin välinen

tulostettu kytkin kannattaa varustaa uran ilmaisevalla kohdalla, jolloin kohdistaminen moottoriin on helpompaa. Momenttilevyn voisi varustaa molemmin puolin tukikappaleilla, jotka pitäisivät momenttilevyn paremmin suorassa. Tukikappaleet kannattaa tehdä koneistamalla alumiinista tai teräksestä. Tulostettu lankarulla ei kestä ulkoista moottoria ja se kannattaakin uusia koneistamalla teräksestä tai alumiinista. Toinen vaihtoehto on suunnitella ja valmistaa erillinen metallisovitin ulkoiselle moottorille, joka asetetaan lankarullan tilalle, kun tutkitaan esimerkiksi porakoneen vääntömomenttia.

Työn lopussa havaittiin, ettei koulun tulostimella tehtyjä osia kannata käyttää kuin prototyyppi- ja testausvaiheessa, koska niiden mittatarkkuus on huono ja ne eivät ole kestäviä. Paljon tarkempia ja kestävämpiä osia saadaan alumiinista tai teräksestä koneistamalla koulun konekeskuksella.

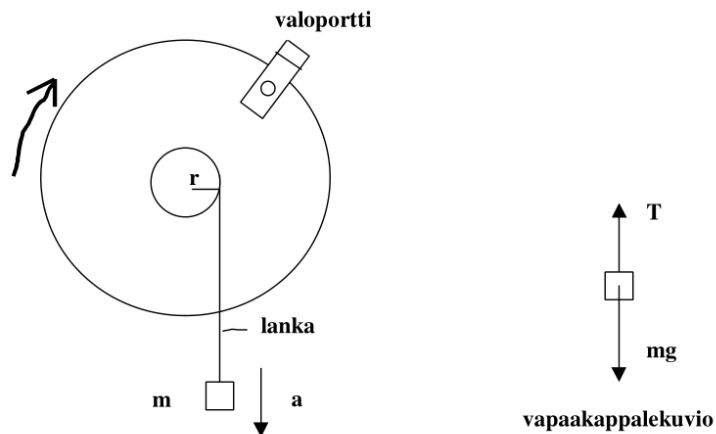
Opinnäytetyö oli kaiken kaikkiaan mukava projekti. Minulla oli aika vapaat kädet suunnittelussa ja sain tehtyä asiat pitkälti niin kuin toivoin. Hyvä suunnittelu ja siihen panostaminen tekivät laitteen valmistamisesta helppoa. Aikaa kului eniten suunnitteluun ja komponenttien löytämiseen. Kaikkiin laiteelle asetettuihin tavoitteisiin päästiin, joten kokonaisuutena opinnäytetyö onnistui hyvin.

## LÄHTEET

1. Työ 2: Pyörimisliike ja hitausmomentti. Fysiikan laboratoriotyöohje. Tietotekniikan koulutusohjelma. OAMK. Tekniikan yksikkö. Saatavissa: [http://www.oamk.fi/~jjauhiai/opetus/fysiikka/lab/tyo2\\_pyorimisliike.pdf](http://www.oamk.fi/~jjauhiai/opetus/fysiikka/lab/tyo2_pyorimisliike.pdf). Hakupäivä 6.5.2018.
2. Mäkelä, Mikko – Mäkelä, Riitta – Siltanen, Olavi 1999. Insinöörikoulutuksen fysiikka osa 1. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
3. Sähkökäytön mitoitus. 2001. Tekninen opas nro 7. ABB Industry Oy. Tuotemyynti. Helsinki: ABB Automation Group Oy Ltd. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf). Hakupäivä 16.4.2018.
4. Moottorin HL149 Tekniset tiedot. Esite. Micro Motors s.r.l. Saatavissa [http://www.micromotors.eu/gear\\_motor\\_hl149.html](http://www.micromotors.eu/gear_motor_hl149.html). Hakupäivä 7.3.2018.
5. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. 12.6.2008/400. Lainsäädäntö. Suomen valtio. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>. Hakupäivä 27.4.2018.
6. Urakuulalaakerin 6000-2RSH tekniset tiedot. Esite. AB SKF. Saatavissa <http://www.skf.com/us/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?design=6000-2RSH>. Hakupäivä 7.3.2018.
7. Lavonen, Jari – Meisalo, Veijo – et al. Pyörimisliike. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Matemaattisten aineiden opetuksen tutkimus- ja kehittämiskeskus. Malux kirjasto. Saatavissa: <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/mbl/mekaniikka/pyorimisliike.htm>. Hakupäivä 16.5.2018.

Fysiikan laboriotyöohje  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
OAMK Tekniikan yksikkö

## TYÖ 2: PYÖRIMISLIIKE JA HITAUSMOMENTTI



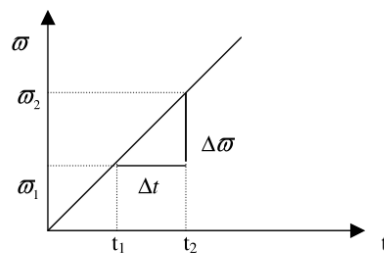
### Mittausjärjestely

Työssä määritetään pyörivän kappaleen hitausmomentti  $J$  pyörimisakselin suhteen. Mittattavana kappaleena käytetään ympyrälevyä, jossa on 64 rakoja sen kehällä. Tiedonkeruuseen ja -analysointiin käytetään tietokoneavusteista Nemo-mittausjärjestelmää (ohjelma COACH 5).

Kootaan mittauslaitteisto siten, että valoportti asetetaan levyn kehälle, jolloin valo pääsee rakojen läpi fototransistorille. Valoportilla syntyvät jännitepulssit johdetaan mittauskonsoliin, joka puolestaan on liitetty tietokoneen sarjaporttiin. Valoportin ulostulosignaali johdetaan konsolin 3-kanavaan (+ ja ^).

Käynnistetään COACH5-ohjelma ja suoritetaan asetukset sekä mittaukset erillisen, työvuoron aikana jaettavan ohjeen mukaisesti. Päästetään langan päässä riippuva punnus putoamaan ja käynnistetään samanaikaisesti mittaus, mikä tapahtuu painamalla välilyöntiä näppäimistöltä. Tällöin ruudulle piirtyy käyrä levyn kiertymiskulma (keskuskulma) ajan funktiona.

Saatua signaalia muokataan erillisen ohjeen mukaisesti valitsemalla haluttu pistejoukko, derivoimalla se ja edelleen määrittämällä saadun kulmanopeuskuvaajan kulmakerroin. Valitaan suora  $f(x) = ax + b$  ja automaattinen sovitus. Kun ohjelma on suorittanut funktionsovituksen ruudulle ilmestyvä  $a$ :n arvo on pyörimisliikkeeseen liittyvä kulmakihtyvyyden  $\alpha$ .



Suoran kulmakerroin

$$= \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \alpha$$

**Teoria**

Koska Newtonin II lain mukaan massalle  $m$  on voimassa

$$(1) \quad \Sigma F = ma,$$

kuvan mukaisessa tilanteessa lankaa jännittävä voima

$$(2) \quad T = mg - mr\alpha.$$

(Johda kaava työselostukseen).

Kappale riippuu langan päässä ja vaikuttaa lankaan voimalla, jonka suuruus on  $T$ . Lanka vaikuttaa kappaleeseen suuruudeltaan yhtä suurella mutta vastakkaisuuntaisella voimalla. Vapaakappalekuviosta ilmenee kyseinen voima (suuruus  $T$ ). Momentti on tällöin

$$(3) \quad M = T \cdot r = J \cdot \alpha.$$

Kaavojen (2) ja (3) perusteella saadaan kokeellisesti määritetyksi pyörivän kappaleen hitausmomentti  $J$  pyörimisakselin suhteen, kun punnuksen massa  $m$ , kappaleen kulmakiihtyvyys  $\alpha$  ja maan vetovoiman kiihtyvyys  $g$  tunnetaan.

Jos kappaleeseen, jonka hitausmomentti on  $J$ , lisätään massa  $m_p$  etäisyydelle  $r_p$  pyörimisakselista, on kappaleen ja lisämassan muodostaman systeemin hitausmomentti pyörimisakselin suhteen

$$(4) \quad J_t = J + m_p (r_p)^2.$$

**Mittaukset**

Suoritetaan mittaukset kolmesta tapauksesta. Kierretään lanka kolmelle eri kehälle, jolloin saadaan erilaisia kulmakiihtyvyyden  $\alpha$  arvoja. Jokaisella kehällä mitataan viisi rinnakkaismittausta, jolloin kulmakertoimen virheelle  $\Delta\alpha$  saadaan karkea arvio: lasketaan kulmakiihtyvyyden keskiarvo viidelle mittaukselle ja käytetään virheenä suurimman ja pienimmän arvon erotuksen puolikasta. Myös punnusten määrää voidaan vaihdella. Laskettujen hitausmomentin arvojen pitäisi luonnollisesti olla mahdollisimman lähellä

toisiaan. Lisäksi mitataan hitausmomentti systeemille, jossa kiekko on lisätty neljä lisäpunnusta symmetrisesti eri puolille. Lisäpunnusten yhteismassa ja keskimääräinen etäisyys pyörimisakselista (virherajoinen) riittävät mittaustuloksiksi.

### **Tulosten käsitteleminen**

Työselostuksessa lasketaan hitausmomentti eri momenttikehillä ja lisäksi eri mittauksista saatu hitausmomentin keskiarvo. Verrataan lisäpunnusten kanssa suoritettua mittauksen antamaa hitausmomenttia em. mittaustuloksiin (lasketaan lisäpunnusten kanssa mitattua  $J_i$ :n arvosta pelkän levyn osuus  $J$ , jonka pitäisi olla samaa luokkaa muiden mitausten antamien tulosten kanssa). Lisäpunnusmittauksesta ei tarvitse tehdä virheenarviointia.

### **Virheenarviointi**

Hitausmomentin yhtälöstä saadaan kokonaisdifferentiaalilla avulla suhteelliseksi virheeksi muuttujien  $m$ ,  $r$ ,  $\alpha$  ja  $g$  suhteen

$$(4) \quad \left| \frac{\Delta J}{J} \right| \leq \left| \frac{\Delta m}{m} \right| + \left| \frac{\Delta r}{r} \right| + \left| \frac{\Delta \alpha}{\alpha} \right| + \left| \frac{\alpha \Delta r}{g - r\alpha} \right| + \left| \frac{r \Delta \alpha}{g - r\alpha} \right| + \left| \frac{\Delta g}{g - r\alpha} \right|.$$

Mittausvirheet  $\Delta m$ ,  $\Delta r$  ja  $\Delta \alpha$  määritetään työn yhteydessä, ja  $\Delta g$ :lle voidaan ottaa virheeksi  $0,01 \text{ m/s}^2$ .

### **Lopputulokset**

Lopputuloksina annetaan levyn hitausmomentti virherajoinen eri momenttikehillä ja esitetään eri mittauksista saatu hitausmomentin keskiarvo sekä lisäpunnusten kanssa suoritettua mittauksesta laskettu levyn hitausmomentti.

## Oulun Seudun Ammattikorkeakoulu

**MITTAUSPÖYTÄKIRJA****LABORATORIOTYÖ 2  
PYÖRIMISLIIKE JA HITAUSMOMENTTI**

Ryhmä: \_\_\_\_\_ Pvm: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Laatija: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Työn ohjaaja: \_\_\_\_\_

**Mittaustulokset**

Käytetyt välineet:

Ripustuspuunnuksen massa  $m=$  $\Delta m=$ 

Kehä 1	Kehä 2	Kehä 3	Lisäpuunus
$r_1=$	$r_2=$	$r_3=$	$r=$
$\Delta r_1=$	$\Delta r_2=$	$\Delta r_3=$	$\Delta r=$
$\alpha_1=$	$\alpha_1=$	$\alpha_1=$	$m_p=$
$\alpha_2=$	$\alpha_2=$	$\alpha_2=$	$\Delta m_p=$
$\alpha_3=$	$\alpha_3=$	$\alpha_3=$	$r_p=$
$\alpha_4=$	$\alpha_4=$	$\alpha_4=$	$\Delta r_p=$
$\alpha_5=$	$\alpha_5=$	$\alpha_5=$	$\alpha_1=$
			$\alpha_2=$
			$\alpha_3=$
			$\alpha_4=$
			$\alpha_5=$

**DATI TECNICI**  
**TECHNICAL DATA**

serie  
series

**HL149**



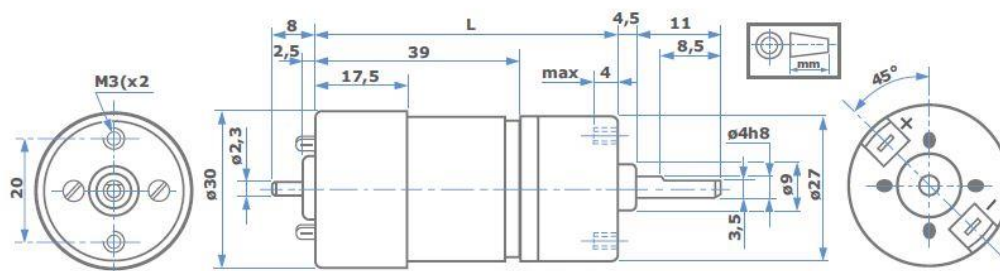
Soppressione disturbi con VDR sul collettore  
Dirazione di rotazione secondo polarità  
Può essere montato in ogni posizione  
Massimo carico radiale: 10N  
Massimo carico assiale: 5N  
Temperatura di esercizio: -20°C/60°C  
Peso approssimativo: 100g

VDR interference suppression on the collector  
Direction of rotation depending on polarity  
Can be mounted in any position  
Maximum radial shaft load: 10N  
Maximum axial shaft load: 5N  
Temperature range: -20°C/60°C  
Approx weight: 100g

Valori tipici a temperatura ambiente +20°  
Tolleranza +/- 10%  
Typical values at ambient temperature +20°  
Tolerance +/- 10%

TIPO TYPE	TENSIONE NOMINALE NOMINAL VOLTAGE	L mm	RAPPORTO :1 RATIO TO:1	COPPIA NOMINALE NOMINAL TORQUE	VELOCITÀ SPEED		CORRENTE CURRENT	
					SENZA CARICO NO LOAD	CON COPPIA NOMINALE AT NOMINAL TORQUE	SENZA CARICO NO LOAD	CON COPPIA NOMINALE AT NOMINAL TORQUE
					rpm		mA	
HL149 <sub>24</sub> <sup>12</sup> -10	12 24	56,5	10	4	315	220	<60 <50	210 120
HL149 <sub>24</sub> <sup>12</sup> -21	12 24	56,5	20,8	7,5	160	115	<60 <50	200 115
HL149 <sub>24</sub> <sup>12</sup> -43	12 24	61,5	43,3	15	78	55	<60 <50	210 120
HL149 <sub>24</sub> <sup>12</sup> -90	12 24	61,5	90,3	15	37	30	<60 <50	150 85

HL149



**HL149**

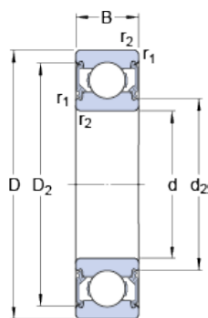
**micro motors** s.p.a.  
Viale Piave, 80/82 - 23879 VERDERIO (LC) ITALY  
Tel. 039.510611-499 Fax 039.513617  
www.micromotors.eu - info@micromotors.eu



### 6000-2RSH

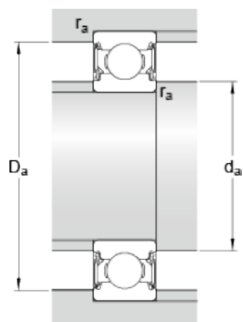
Popular item  
SKF Explorer

#### Dimensions



d	10	mm
D	26	mm
B	8	mm
d <sub>2</sub>	12.55	mm
D <sub>2</sub>	22.6	mm

#### Abutment dimensions



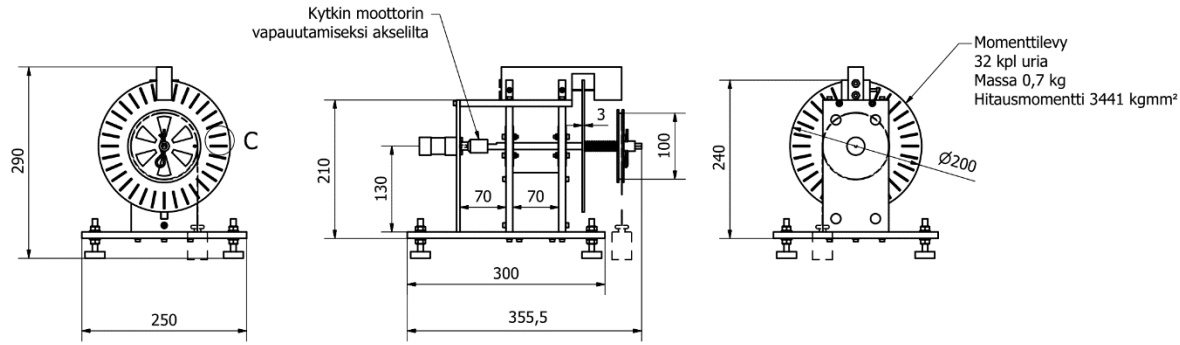
d <sub>a</sub>	min.	12	mm
d <sub>a</sub>	max.	12.5	mm
D <sub>a</sub>	max.	24	mm
r <sub>a</sub>	max.	0.3	mm

#### Calculation data

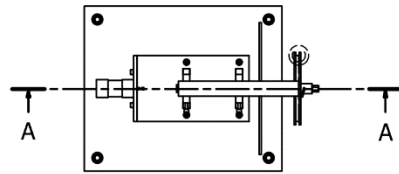
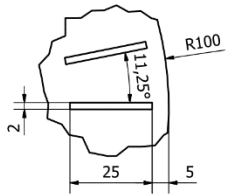
Basic dynamic load rating	C	4.75	kN
Basic static load rating	C <sub>0</sub>	1.96	kN
Fatigue load limit	P <sub>u</sub>	0.083	kN
Limiting speed		19000	r/min
Calculation factor	k <sub>r</sub>	0.025	
Calculation factor	f <sub>0</sub>	12	

#### Mass

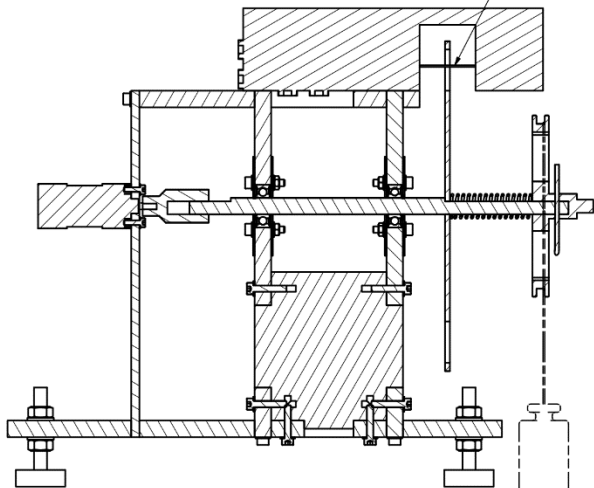
Mass bearing		0.019	kg
--------------	--	-------	----



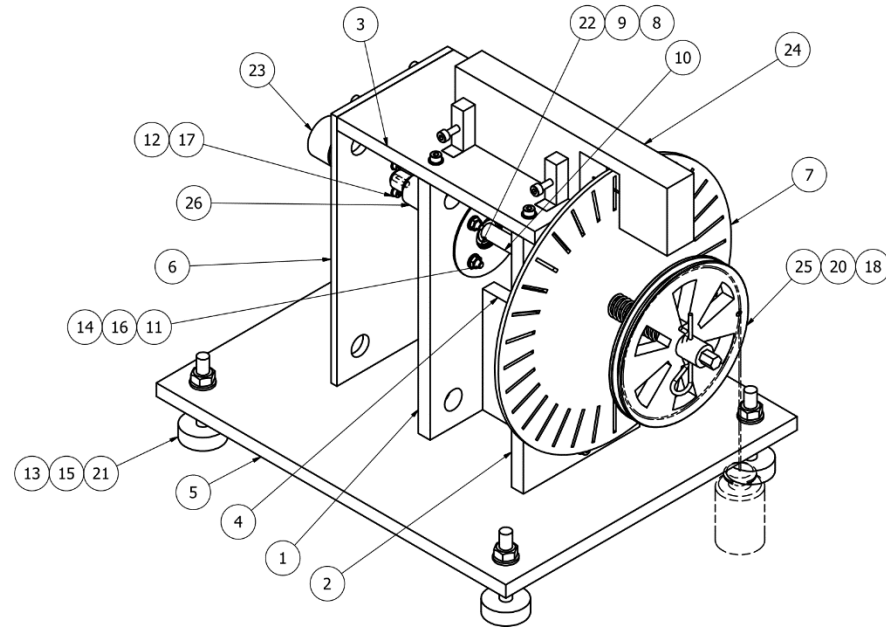
C (1 : 1)



Valoanturin mittaus säde



A-A (1 : 2)



OSA NIMI	KPL/MÄÄRÄ KTS.	KUVAUS DESCRIPTION	PIIR. NRO TAI STANDARIN NIMENKIRJE	RAKENTEMÄÄRÄ MATERIAALI	PAINO/KPL KESKIM. KG
1	1	PL10 x 235 x 100	SFS-EN 485-3	Alumiini	0,510 kg
2	1	PL10 x 235 x 100	SFS-EN 485-3	Alumiini	0,529 kg
3	1	PL10 x 170 x 100	SFS-EN 485-3	Alumiini	0,397 kg
4	1	PL10 x 95 x 90	SFS-EN 485-3	Alumiini	0,198 kg
5	1	PL5 x 300 x 250	SFS-EN 485-3	Alumiini	1,969 kg
6	1	PL5 x 205 x 100	SFS-EN 485-3	Alumiini	0,267 kg
7	1	PL3 x D200	EN 10025	S235J2	0,701 kg
8	4	PL1 - D60 / D20	EN 10259	1.4301	0,002 kg
9	4	PL1 - D26 / D22	EN 10259	1.4301	0,000 kg
10	1	Pyörötanko D10 - 230	EN 10272	1.4301	0,132 kg
11	26	Kuusioruuvi M4 x 20	SFS-EN ISO 4762	8.8 + Zn	0,003 kg
12	2	Kuusioruuvi M3 x 10	SFS-EN ISO 4762	8.8 + Zn	0,001 kg
13	8	Kuusiomutteri M8	SFS-EN ISO 4032	8+ Zn	0,006 kg
14	8	Kuusiomutteri M4	SFS-EN ISO 4032	8+ Zn	0,001 kg
15	8	Aluslaatta M8	SFS-EN ISO 7089	Fe + Zn	0,002 kg
16	32	Aluslaatta M4	SFS-EN ISO 7089	Fe + Zn	0,000 kg
17	2	Aluslaatta M3	SFS-EN ISO 7089	Fe + Zn	0,000 kg
18	1	Neulasokka 2,5 mm	DIN 11024	Fe + Zn	0,001 kg
19	2	Varmistinrenkas A2 10x1,0	DIN 471	RST	0,000 kg
20	1	Jousi 12 mm - 230			0,001 kg
21	4	M8 Konejalka niveloity			0,010 kg
22	2	Laakeri SKF 6000-2RSH	DIN 625-1		0,020 kg
23	1	Moottori HL149	Micro Motion		0,031 kg
24	1	Valoanturi			0,179 kg
25	1	Lankarulla		PLA	0,079 kg
26	1	Lukitus holkki		PLA	0,010 kg

A Valmistukseen		TKA / 20.4.2018	
MUUTOS REV.	SÄILYTYS DESCRIPTION	SUUNNITTO DWG.CO	SUUNNITTELAUS DATE
270	90	Oulun Ammattikorkeakoulu Oy	Kone-Konstat Oy
Fysiikan Laboratorio		LETTYKÄÄNNE	
Hitaus- ja vääntömomentin tutkimuslaitteisto		LETTYKÄÄNNE	
SKED/SCALE	PROJEKTI/PROJECT	ARKISTOITUNUT	
	Opinnäytetyö		
TEKNOLOGIANTIE 4 B TEL +358 10 666 777 0		PIIRIKO/DWG	LEHTI SHEET
90560 OULU FINLAND		10000	MUUTOS REV. A

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö

1 (12)  
v0.1

## **HITAUS- JA VÄÄNTÖMOMENTIN TUTKIMUSLAITTEISTO**

### **Riskien arviointi**

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö2 (12)  
v0.1

<b>Versiohistoria</b>			
<b>Versio</b>	<b>Pvm.</b>	<b>Tekijä</b>	<b>Huomautukset</b>
0.1	18.4.2018	TKA	Luotu

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö3 (12)  
v0.1**Sisältö**

1. Perusteet .....	4
2. Koneen raja-arvot .....	4
2.1. Yleistä.....	4
2.2. Käyttörajat .....	4
2.3. Tilarajat.....	5
2.4. Aikarajat.....	5
2.5. Muut raja-arvot.....	5
3. Riskien arviointi.....	5
3.1. Perusteet .....	5
3.2. Seurausten vakavuuksien arviointi .....	6
3.3. Tapahtumien todennäköisyydet .....	8
3.4. Vaarojen tunnistaminen ja riskien suuruuksien laskenta .....	9
3.4.1. Käyttöönotto .....	9
3.4.2. Käyttö .....	10
3.4.3. Kunnossapito.....	11
3.4.4. Käytöstä poisto, purku ja hävittäminen .....	11
4. Riskien yhteenveto .....	12

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö4 (12)  
v0.1

## 1. Perusteet

Tämä riskien arviointi perustuu seuraaviin standardeihin:

- SFS-EN ISO 12100: KONETURVALLISUUS. YLEISET SUUNNITTELUPERIAATTEET, RISKIN ARVIOINTI JA RISKIN PIENENTÄMINEN. Safety of machinery. General principles for design. Risk assessment and risk reduction. 2010-12-13.
- SFS-ISO/TR 14121-2: KONETURVALLISUUS. RISKIN ARVIOINTI. OSA 2: KÄYTÄNNÖN OPASTUSTA JA ESIMERKKEJÄ MENETELMISTÄ Safety of machinery. Risk assessment. Part 2: Practical guidance and examples of methods. 2013-01-21.

Riskien arviointi koskee hitaus- ja vääntömomentin tutkimuslaitteistoa, piirustus 10000, versio A.

## 2. Koneen raja-arvot

### 2.1. Yleistä

Hitaus- ja vääntömomentin tutkimuslaite on tehty ammattikorkeakoulun fysiikan laboratorioon opetusvälineeksi. Laiteella tutkitaan 12 voltin sähkömoottorin vääntömomenttia sekä vauhtipyörän hitausmomenttia. Oppilaat käyttävät laitetta laboratoriossa opettajan valvonnassa.

### 2.2. Käyttörajat

Laitetta käytetään joko kiinteällä moottorilla, ulkoisella moottorilla (esim. porakone), tai käsikäytöllä punnuksen ja narun avulla.

Kiinteällä moottorilla käytettäessä kytketään 12 voltin tasajännite laitteessa oleviin liittimiin ja käynnistetään moottori laitteessa olevasta kytkimestä. Moottoria käytetään mittauksen ajan, joka on tavallisesti alle 10 sekuntia.

Käyttäjän täytyy käyttää suojalaseja, noudattaa normaalia varovaisuutta sekä varmistaa ennen moottorin päälle kytkemistä, ettei akselissa/vauhtipyörässä ole ylimääräisiä osia, kuten punnusta tai muuta akselin ympäri kiertynyttä tavaraa. Ennen moottori käyttöä on varmistettava myös, että vauhtipyörä (momenttilevy) pääsee pyörimään vapaasti ja pyöriminen on kevyttä. Käyttäjän täytyy sitoa pitkät hiukset ja varmistaa ettei vaatetus ole sellainen joka voisi takertua laitteeseen.

Mahdollisia väärinkäyttöjä ovat moottorin väärä jännite tai napaisuus. Väärästä jännitteestä voi seurata moottorin ylikuumentuminen ja jopa syttyminen. Väärä napaisuus kääntää akselin pyörimissuunnan eikä tästä ole mitään muuta haittaa.

Nämä käyttörajat koskevat niin kiinteällä moottorilla käyttöä kuin ulkoisella moottorilla käyttöä.

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö5 (12)  
v0.1

### 2.3. Tilarajat

Laitteen mitat ovat: korkeus 290 mm, pituus 356 mm ja leveys 250 mm. Massa laitteella on 5,3 kg

Laitteen ympärillä on oltava riittävästi tilaa ja laite täytyy olla tukevalla ja tasaisella alustalla. Laitetta tulee käyttää aina laboratorio tilassa, jossa on asianmukaiset turvavälineet, kuten sammuttimet ja ensiapulaukku. Laite on suunniteltu vain sisäkäyttöön ja huonelämpötilaan.

### 2.4. Aikarajat

Koneella ei ole käyttöaika rajoitusta. Koneen kuluvia osia ovat moottori ja laakerit. Suositeltava huoltoväli on yksi (1) vuosi, jolloin tarvittaessa laakerit rasvataan ja moottori vaihdetaan. Samalla tarkistetaan ruuviliitokset ja suoritetaan tarvittaessa kiritys.

### 2.5. Muut raja-arvot

Jos laitetta käytetään muissa tiloissa kuin kohdassa 2.3 on mainittu, on käyttäjän varmistettava, että käyttö on turvallista ja tarvittavat turvavälineet saatavilla.

## 3. Riskien arviointi

### 3.1. Perusteet

Riskin suuruus arvioidaan käyttämällä numeerista pisteytystä. Eri tapauksiin liittyvät vaarat, vaaratilanteet, vaaralliset tapahtumat ja mahdolliset vahingot on kuvattu standardin ISO 12100:2010 kohdan 5.4 mukaisesti tuotteen elinkaaren eri vaiheissa:

- kuljetus, kokoonpano ja asennus
- käyttöönotto
- käyttö ja kunnossapito
- purku, käytöstä poisto ja hävittäminen.

Vaaratilanteissa syntyvien **seurausten vakavuuksille** on määritelty numeroarvot. Vakavuutta kuvaavalla muuttujalla on seuraavat vakavuuden pistemäärät (SS, Severity score):

- tuhoisa SS = 100,
- vaikea  $99 \geq SS \geq 90$
- kohtalainen  $89 \geq SS \geq 30$
- vähäinen  $29 \geq SS \geq 0$ .

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö6 (12)  
v0.1

Sen jälkeen on määritelty **tapahtumien todennäköisyyksien** lukuarvot. Todennäköisyyttä kuvaavalla muuttujalla on seuraavat todennäköisyyden pistemäärät (PS, Propability score):

- erittäin todennäköinen PS = 100 tapahtuu todennäköisesti tai varmasti
- todennäköinen 99 ≥ PS ≥ 70 voi tapahtua (mutta ei todennäköistä)
- epätodennäköinen 69 ≥ PS ≥ 30 todennäköisesti ei tapahdu
- erittäin epätodennäköinen 29 ≥ PS ≥ 0 tapahtumisen todennäköisyys on lähes nolla.

Riskin suuruuden laskenta perustuu riippuvuuteen:

**Riskin suuruus = Seurausten vakavuus (SS) + Todennäköisyys (PS)**

Kun riskien suuruudet on laskettu, riskit luokitellaan neljään luokkaan taulukon 1 mukaan.

Taulukko 1. Riskien luokittelu

Riskin suuruuden lukuarvo	Riskin luokitus
0 - 89	Merkityksetön
90 - 119	Pieni
120 - 159	Keskimääräinen
>= 160	Suuri

Luokiteltujen riskien pienentämiseksi tarvittavat toimenpiteet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Luokiteltujen riskien pienentämiseksi tehtävät toimenpiteet

Riskin luokitus	Tarvittavat toimenpiteet
Merkityksetön	Ei tarvita toimenpiteitä.
Pieni	Seuranta ja valvonta sekä myöhemmin uudelleen arviointi.
Keskimääräinen	Ryhdyttävä toimenpiteisiin riskin vähentämiseksi.
Suuri	Työtä ei saa aloittaa ja käynnissä oleva työ tulee keskeyttää ennen kuin riski vähennetty ainakin keskimääräiseksi.

### 3.2. Seurausten vakavuuksien arviointi

Seurausten vakavuuksien arviointi on esitetty lyhyiden kuvausten avulla tarkennettuina taulukossa 3.

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö7 (12)  
v0.1

Taulukko 3. Seurausten vakavuus

Seurausten vakavuus		
	Kuvaus	Lukuarvo
Vähäisiä seurauksia	Ei seurauksia	1
	Naarmuja tai mustelmia (laastari riittää, työtä voi jatkaa)	10
Kipua ja työstä poissaoloa aiheuttavia vammoja	Suurehkoja haavoja (käynti ensiavussa, lyhyt sairausloma) Pienehkö sijoiltaanmeno (tukiside) Huimausta, paha olo	20
	Lyhyehköä sairaalahoitoa vaativat vammat (parantuu ennalleen)	30
	Pala pois sormesta (ei luiden vahingoittumista)	40
	Käden tai jalan pitkien luiden murtuminen (pitkä sairausloma, parantuu lähes ennalleen) Vaikea sijoiltaanmeno	50
Vakavia vammoja. Työssä jatkaminen voi hankaloitua.	Raajan toimintakyvyn heikkeneminen (nivelten liikealue pienentynyt) Silmän menettäminen Pienempi palovamma	60
	Pahoja ruhjevammoja (luunmurtumia, sairaalahoitoa) Huomattava kuulon heikentyminen Palovamma Sormen menettäminen	70
Vakavia pysyviä vammoja. Työssä jatkaminen mahdotonta tai hyvin vaikeaa.	Raajan menettäminen tai sen toimintakyvyn menettäminen Kahden tai useamman sormen menettäminen tai niiden toimintakyvyn menettäminen	80
	Neliraajahalvaus Alaraajojen halvautuminen Sokeutuminen Pitkäaikainen tajuttomuus Pysyvä aivovamma	90
Kuolema	Kuolema	100

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö8 (12)  
v0.1

### 3.3. Tapahtumien todennäköisyydet

Tapahtumien todennäköisyyksien lukuarvot on esitetty lyhyiden kuvausten avulla tarkennettuina taulukossa 4.

*Taulukko 4. Tapahtumien todennäköisyyksien arvot*

Todennäköisyys	
Kuvaus	Lukuarvo
Erittäin epätodennäköinen, ei pitäisi käytännössä tapahtua	10
Hyvin epätodennäköinen, kuitenkin ajateltavissa oleva.	20
Hyvin epätavallinen	30
Epätavallinen. Tapahtuu satunnaisesti, mutta tapahtumista ei normaalisti odoteta.	40
Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen on yhtä todennäköistä	50
Todennäköinen	70
Usein tapahtuva ja odotettavissa oleva	80
Tapahtuu varmasti	90
Tapahtuminen on käytännössä varma koneen elinkaaren aikana	100

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö9 (12)  
v0.1

### 3.4. Vaarojen tunnistaminen ja riskien suuruuksien laskenta

#### 3.4.1. Käyttöönotto

Taulukossa 5 on käyttöönottoon liittyvät vaaratekijät sekä niiden seuraukset, arvioidut vakavuudet ja todennäköisyydet sekä lasketut riskien suuruudet.

Taulukko 5. Riskien suuruudet: Käyttöönotto

1 Käyttöönotto					
	Vaaratekijä -Tapahtuma	Seuraus	Vakavuus SS	Todennäköisyys PS	Riskin suuruus
1.1	Koko laite - Laite putoaa alustalta -> Jalka tai käsi jää alle	Käden tai jalan pitkien luiden murtuminen (pitkä sairausloma, parantuu lähes ennalleen) Vaikea sijoittaanmeno	50	20	70

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö10 (12)  
v0.1**3.4.2. Käyttö**

Taulukossa 6 on laitteen käyttöön liittyvät vaaratekijät sekä niiden seuraukset, arvioidut vakavuudet ja todennäköisyydet sekä lasketut riskien suuruudet.

*Taulukko 6. Riskien suuruudet: Käyttö*

2	Käyttö				
	Vaaratekijä -Tapahtuma	Seuraus	Vakavuus SS	Todennäköisyys PS	Riskin suuruus
2.1	Pyörivät osat – Takertuminen -> Hiukset jäävät kiinni	Lyhyehköä sairaalahoitoa vaativat vammat (parantuu ennalleen)	30	20	50
2.2	Vauhtipyörä – Käsi osuu vauhtipyörään -> Haava	Naarmuja tai mustelmia (laastari riittää, työtä voi jatkaa)	10	20	30

Tero Karvonen

OAMK/Konetekniikka  
T009015 Opinnäytetyö11 (12)  
v0.1**3.4.3. Kunnossapito**

Taulukossa 7 on laitteen kunnossapitoon liittyvät vaaratekijät sekä niiden seuraukset, arvioidut vakavuudet ja todennäköisyydet sekä lasketut riskien suuruudet.

*Taulukko 7. Riskien suuruudet: Kunnossapito*

3 Kunnossapito					
	Vaaratekijä -Tapahtuma	Seuraus	Vakavuus SS	Todennäköisyys PS	Riskin suuruus
3.1	Koko laite – käsityökalujen käyttö -> haava käteen	Naarmuja tai mustelmia (laastari riittää, työtä voi jatkaa)	10	20	30

**3.4.4. Käytöstä poisto, purku ja hävittäminen**

Taulukossa 8 on laitteen käytöstä poistoon liittyvät vaaratekijät sekä niiden seuraukset, arvioidut vakavuudet ja todennäköisyydet sekä lasketut riskien suuruudet.

*Taulukko 8. Riskien suuruudet: Käytöstä poisto, purku ja hävittäminen*

4 Käytöstä poisto, purku ja hävittäminen					
	Vaaratekijä -Tapahtuma	Seuraus	Vakavuus SS	Todennäköisyys PS	Riskin suuruus
4.1	Koko laite – käsityökalujen käyttö -> haava käteen	Naarmuja tai mustelmia (laastari riittää, työtä voi jatkaa)	10	20	30
4.2					

