

Santeri Filppu

Riku Mustonen

DYNAMOMETRIN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN MOOTTORIPYÖ- RÄLLE

Dynamometrin suunnittelu ja rakennus

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikka
2025



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri
Tekijä/Tekijät	Santeri Filppu & Riku Mustonen
Työn nimi	Dynamometrin suunnittelu ja rakentaminen moottoripyörälle
Toimeksiantaja	XAMK
Vuosi	2025
Sivut	32 sivua
Työn ohjaaja(t)	Teemu Manninen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa sähkömoottoripyörän dynamometri. Työ aloitettiin tutustumalla erilaisiin dynamometreihin ja niiden toimintaan. Dynamometrin tarkoituksena on mitata erilaisten moottoripyörien tehoa sekä vääntömomenttia. Tavoitteena oli valmistaa toimiva dynamometri sähkömoottoripyörälle inertiaa hyödyntäen ja mahdollistaa se opetuskäyttöön. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu toimi aiheen antajana ja tilaajana.

Työssä perehdyttiin jarrullisiin ja inertiadynamometreihin sekä pyörimisliikkeen. Työssä käytettiin suunnittelutyökaluna SolidWorks -ohjelmaa, jolla tuotettiin laitteen rungon kasauskuvat ja kokoonpano. Mittauksessa käytetään Arduino Mega 2560 -ohjainta ja lopullisen ohjelman alustana käytetään Raspberry Pi:tä.

Työn aikana ilmeni erilaisia haasteita fysiikan sekä ohjelmoinnin kanssa. Fysiikan ja ohjelmoinnin tuli olla tarkkaa, jotta tuloksista saataisiin luotettavia.

Opinnäytetyön tuloksena valmistettiin opetuskäyttöön toimiva inertiadynamometri, jolla saadaan mitattua sähkömoottoripyörän tarkka teho sekä momentti. Dynamometriä pystytään myös hyödyntämään erilaisten kaksipyöraisten, kuten sähköpolkupyörän tai moottoripyörän, mittaamiseen.

Asiasanat: dynamometri, inertia, Raspberry Pi

Degree title	Bachelor of engineering
Author (authors)	Santeri Filppu & Riku Mustonen
Thesis title	Dynamometers designing & construction for motorcycle
Commissioned by	XAMK
Time	2025
Pages	32 pages
Supervisor	Teemu Manninen

ABSTRACT

The aim of the thesis was to design and build a dynamometer for an electric motorcycle. The thesis started by getting to know different dynamometers and their function. The purpose of the dynamometer is to measure the power and torque of various motorcycles. As a goal for the thesis was to make a functional dynamometer using inertia for an electric motorcycle and enable it for educational use. South-Eastern Finland University of Applied Sciences acted as the subject provider and subscriber.

In the thesis, there was researching about brake and inertia dynamometers and rotational movement. SolidWorks was used as a design tool to plan the assembly of the device and to produce the assembly drawings. The measurement uses the Arduino Mega 2560 controller, and the Raspberry Pi is used as the platform for the final program.

During the work, various challenges arose with physics and programming. Physics and programming had to be precise to get reliable results.

As a result of the thesis, an inertial dynamometer was produced for educational use, which can be used to measure the exact power and torque of an electric motorcycle. The dynamometer can also be used to measure various two-wheeled vehicles such as electric bicycles and motorcycles.

Keywords: dynamometer, inertia, Raspberry Pi

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	DYNAMOMETRIT.....	6
2.1	Inertiadynamometri.....	7
2.2	Jarrudynamometri.....	8
3	FYSIIKAN SUUREET.....	8
3.1	Momentti.....	8
3.2	Hitausmomentti.....	8
4	TYÖSSÄ KÄYTETYT OHJELMAT JA LAITTEET.....	9
4.1	Solidworks.....	9
4.2	FC-03- optinen lähetin.....	10
4.3	Raspberry Pi.....	11
4.4	Arduino.....	12
5	TURVALLISUUS.....	13
6	TOTEUTUS.....	14
6.1	Menetelmät.....	14
6.2	Toteutuksen suunnittelu.....	14
6.3	Koulun sähkömoottoripyörän mittaus Lahdessa.....	15
6.4	Vauhtipyörän suunnittelu ja toteutus.....	16
6.5	Solidworks-suunnittelu.....	18
6.6	Rungon kasaus.....	19
6.7	Sähköistys.....	23
6.8	Arduino IDE -ohjelmointi.....	24
6.9	Raspberry Pi:n käyttöönotto.....	25
6.10	Node-Red-ohjelmointi.....	25
6.11	Koeajo.....	29
7	LOPPUPOHDINTA.....	30
	LÄHTEET.....	32

SYMBOLIT

Alla esitetty opinnäytetyössä esiintyvät symbolit:

P	teho	[W]
M	momentti	[Nm]
ω	kulmanopeus	[rad/s]
α	kulmakiihtyvyys	[rad/s ²]
n	kierrostaajuus	[r/s]
t	aika	[s]
m	massa	[kg]
J	hitausmomentti	[kgm ²]
r	säde	[m]

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoitus on suunnitella ja rakentaa toimiva dynamometri sähkömoottoripyörälle. Dynamometri on suunniteltu käytettäväksi yhdessä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun aiemmin toteutetun sähkömoottoripyöräopinnäytetyön kanssa. Rakentaminen sisältää sekä mekaanisen kokoonpanon että laitteiston kasauksen ja ohjelmoinnin. Tavoitteena on tuottaa laite, jota on mahdollisuus hyödyntää opetuskäytössä ja joka voi toimia pohjana tuleville opinnäytetöille. Työn toimeksiantaja on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, ja työn ohjaajana toimii sähkötekniikan lehtori Teemu Manninen.

Dynamometri, toisin sanottuna ”tehopenkki”, on laite, jolla tyypillisesti mitataan ajoneuvon antamaa tehoa ja vääntömomenttia. Laitteella voidaan kuitenkin ohjelman mukaan mitata muitakin suureita, kuten nopeutta tai kiihtyvyyttä. Dynamometrejä käytetään yleisesti ajoneuvojen suorituskyvyn edistämiseen. Tarkkojen tehokuvaajien avulla voidaan säätää moottoria tarpeen mukaan. Laitteella voidaan suorittaa hallittuja mittauksia, joilla voidaan välttää mahdolliset tapaturmat, jotka olisivat riskejä esimerkiksi radalla testatessa. Lisäksi rata-ajossa ei voida saada läheskään yhtä tarkkaa mittaustulosta dynamometriin verrattuna. Tosin dynamometreillä ei voida tietää ajoneuvon käyttäytymisestä kaartelevassa ajossa, vaan sillä saadaan tietoa suorasta liikkeestä.

Työssä käytetään erilaisia fysikaalisia ja matemaattisia menetelmiä, jotka ovat tärkeässä roolissa osana työtä. Menetelmiä käytetään rungon rakentamisessa ja vääntövoimien laskennassa. Työssä käydään myös tutkimassa ammattivalmisteista dynamometriä moottoripyörälle paikan päällä. Työssä käydään läpi myös ohjelman toimivuutta, mittauksia ja mittaustuloksien tulkintaa.

2 DYNAMOMETRIT

Dynamometrit ovat laitteita, joita käytetään moottoripyörän tehon ja hyötysuhteen mittaamiseen, jolla simuloidaan käyttöjärjestelmän vastustusta ja kuormitusta. Dynamometrejä käytetään yleisesti ajoneuvojen moottoreiden suorituskyvyn testaamiseen. Moottoripyörät yleisesti hyödyntävät, joko inertia- tai jarrudynamometrejä. Dynamometrit eroavat toisistaan vauhtipyörän tai telojen toiminnalla. [1; 2; 3.]

2.1 Inertiadynamometri

Inertiadynamometrit perustuvat pyörimishitauden periaatteeseen, jossa vastus pyörimisnopeuden muutoksille on suoraan verrannollinen kuorman massaan ja sen säteeseen pyörimisakselista [1; 2].

Tämän periaatteen avulla inertiadynamometrit voivat mitata tarkasti tehon ja simuloida dynaamisia ajo-olosuhteita. Tunnetun massakuorman kiihdyttäminen antaa inertiadynamometreille mahdollisuuden laskea tarkasti ulostulotehon ottaen huomioon pyörimisnopeuden ja massan. [1; 2.]

Teho on suoraan verrannollinen vääntömomentille. Inertiadynamometrit ovat ihanteellisia pienten moottorien ja vaihteistojen testaamiseen. Ne toimivat mittaamalla pyörivän rummun tai vauhtipyörän kiihtyvyyttä moottorin tehon laskemiseksi, mikä tekee niistä sopivia nopeaan tehoarviointiin ja ongelmien diagnosointiin. Kiihtyvyyteen ja rummun nopeuteen keskittyvät inertiadynamometrit tarjoavat tarkat tehomittaukset. [1; 2.]

Inertiamittauksessa inertiadynamometrit toimivat peruseriaatella, jolla voi mitata tehoa kiihdyttämällä tunnettua massakuormaa, tarvittavan voiman tarkkaan laskemiseen. Lähtöteho lasketaan kulmanopeuden ja vääntömomentin tulona, mikä mahdollistaa moottorin ominaisuuksien tarkan mittauksen. Inertiadynamometrit voidaan luokitella eri tyyppeihin, joista jokaisella on ainutlaatuiset ominaisuudet ja sovellukset. [1; 2.]

Matalainertiaiset dynamometrit, joissa on pienemmät ja kevyemmät vauhtipyörät pyörimishitauden minimoimiseksi, sopivat ihanteellisesti nopeaan testaukseen. Suuren inertian dynamometrit, joissa on isommat ja raskaammat vauhtipyörät, soveltuvat hitaisiin, nopeisiin ja suuren vääntömomentin sovelluksiin. [1; 2.]

2.2 Jarrudynamometri

Jarrudynamometrin peruseriaate on kuormittaa testattavaa moottoria sen tehon mittaamiseksi. Tämä tehdään tyypillisesti kytkemällä moottoripyörä dynamometriin, joka käyttää kitkajarrua käyttöjärjestelmän kuormituksen simulointiin. [3.]

Saatavilla on useita erilaisia jarrudynamometrejä, joista jokaisella on omat ominaisuudet ja edut. Yksi yleinen tyyppi on pyörrevirtajarrudynamometri, joka käyttää sähkömagneettista kenttää tuottamaan vastusvoiman perinteisen levyjarrun sijaan. Toinen tyyppi on vesijarrudynamometri, joka käyttää vettä väliaineena simuloimaan moottorin kuormitusta. [3.]

3 FYSIIKAN SUUREET

3.1 Momentti

Momentti on fysikaalinen suure, joka esiintyy jokapäiväisessä arjessa. Tämä ilmiö esiintyy muun muassa pyörällä polkiessa, ruuvia vääntäessä sekä auton rattia kääntäessä. Näissä kaikissa esimerkeissä toistuu sama kaava, jossa voiman vääntövaikutusta kutsutaan momentiksi ja se kuvastaa voiman kykyä aiheuttaa kappaleen liikkumista. Momentti on lisäksi perusominaisuus, ja se määritellään vipuvarren pituudella sekä voimalla. Momenttia tulee tutkia tilanteissa, joissa kappaleen pyöriminen tai kiertyminen on oleellista. Sen merkitys korostuu erityisesti, kun tarkastellaan kappaleiden tasapainoa, pyörimistä ja liikettä. [4; 5.]

3.2 Hitausmomentti

Hitausmomentti eli inertia on kappaleeseen tai osaan liittyvä mekaniikan suure, joka kuvastaa sen vastustusta liikkeen muutosta tietyn pisteen tai akselin yli. Hitausmomentti on riippuvainen kappaleen massasta sekä sen jakautumisesta pyörimisakselin suhteen. Yksinkertaistettuna inertiaalla kuvataan, kuinka haastavaa kappaleen tai osan liikkeen aloittaminen tai pysäyttäminen on. Näin voidaan todeta mitä kauempana ollaan pyörimisakselista sekä mitä suurempi massa, sitä isompi hitausmomentti. Hitausmomenttia pystytään hyö-

dyntämään erityisesti mekaniikassa sekä tekniikassa. Mekaniikan sekä tekniikan alat hyödyntävät inertiaa pyöreiden kappaleiden suunnitteluun. Hitausmomenttia hyödyntää muun muassa erilaiset ajoneuvot, tuulivoimalat sekä työkalut. [5; 6; 7.]

4 TYÖSSÄ KÄYTETYT OHJELMAT JA LAITTEET

4.1 Solidworks

Solidworks on laaja 3D-CAD-ohjelmisto, jota hyödynnetään erilaisten monimutkaisten mekaanisten osien, kokoonpanojen ja piirustuksien suunnitteluun. Solidworks-ohjelmistoa käyttävät miljoonat insinöörit ja suunnittelijat sadoissatuhansissa yrityksissä, ja se on yksi markkinoiden suosituimmista suunnittelu- sekä insinööriohjelmista. Laajan ominaisuusvalikoimansa ja korkean toiminnallisuutensa ansiosta ohjelma on käytössä monilla eri toimialoilla, kuten ilmailu- ja autoteollisuudessa, teollisessa suunnittelussa sekä muilla tekniikan aloilla. [8.]

Ohjelma hyödyntää parametripohjaista suunnittelutapaa, minkä vuoksi se on tehokas työkalu insinööreille sekä suunnittelijoille. Parametrimalleja ohjataan esimerkiksi mitoilla ja rajoituksilla, joilla pystytään skaalaamaan kappaleen kokoa. Tällöin suunnittelija voi nähdä, miten muutokset vaikuttavat viereisiin osiin tai jopa koko ratkaisuun. Esimerkiksi, jos yhden komponentin kokoa kasvatetaan, se vaikuttaa siihen liittyvään liitokseen tai reikään. Tämän ansiosta suunnittelijat ja insinöörit voivat havaita ja korjata ongelmat helposti sekä nopeasti. [8.]

Solidworks-ominaisuuksia ovat muun muassa renderöinti, simulointi, suunnittelu sekä helppo valmistus. Renderöinnissä käytetään Solidworks Visualize -sovellusta, joka mahdollistaa esityskelpoisten, valokuvatarkkojen renderöintien luomista. Tällöin CAD-tiedostot voidaan avata suoraan Solidworks-ohjelmassa ja renderöidä tarkkojen tekstuurien, heijastusten ja valaistuksen avulla. Tämä on ominaisuus, jota useammat käyttävät, mutta se on erityisen hyödyllinen tuotesuunnittelijoille, sillä sen avulla he voivat esitellä lopullisen konseptinsa ennen tuotantoon siirtymistä. [8.]

Simuloinnissa hyödynnetään Solidworks Simulation -ohjelmaa, joka antaa suunnittelijoille sekä insinööreille mahdollisuuden testata mallejaan ja tunnistaa virheet nopeasti ja tarkasti. Ohjelma tarjoaa erittäin tarkkaa dataa, jonka avulla suunnitelmaa voidaan muokata ennen fyysisien prototyyppien valmistusta. Tällöin voidaan säästää paljon aikaa, rahaa sekä vaivaa havaitsemalla suunnittelu ongelmat jo prosessin alkuvaiheissa. [8.]

Suunnittelutyökalu mahdollistaa suunnittelijalle minkä tahansa suunnittelun osa-alueen, kuten 2D-esityksen nopean luomisen sekä mittojen lisäämisen yhden napin painalluksella. Tämä on hyödyllinen toiminto suunnittelijoille, insinööreille sekä arkkitehdeille, sillä se tarjoaa mahdollisuuden perusteelliseen arviointiin. [8; 9.]

Kun suunnittelu on valmis ja suunnittelija on poistanut simulaatiossa ja arvioinnissa tunnistetut mahdolliset riskit, voidaan valmistaa prototyyppi. Solidworks CAM tuottaa suunnittelutiedostot, jotka voidaan lähettää suoraan tuotantoon. Ohjelmisto sisältää myös haettavan tietokannan 3D-tulostimista, jotka luovat 2D-leikkaustietoja kiinteästi geometrisesti. Lisäksi 3DEXPERIENCE Marketplace mahdollistaa prototyyppien ja osien valmistuksen ulkoistamisen suoraan käyttöliittymästä UI. [8; 9.]

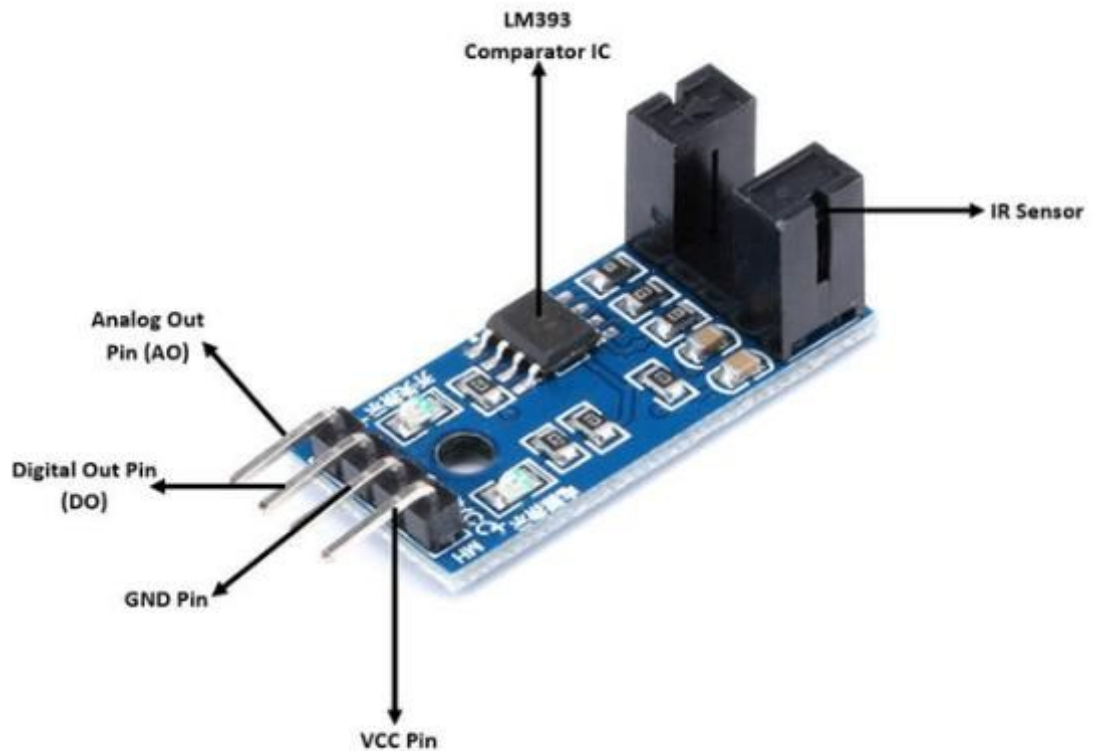
4.2 FC-03- optinen lähetin

Työssä käytetään mittauksena FC-03-tyyppistä optista lähetintä. (kuva 1)

FC-03 koostuu LED-diodista ja valodiodista, jotka käyttävät infrapunasäteilyä. Anturi tunnistaa, kun diodien väliin tulee kappale, jolloin säteily niiden välissä keskeytyy. Mittausalue on halkaisijaltaan 5 mm. [10.]

Anturi toimii jännitevälillä 3.3–5 V tasajännitettä. Tämän ansiosta se sopii hyvin erilaisten mikro-ohjainten kanssa, kuten Raspberry Pi:n, jonka käyttöjännite on 3.3 V, sekä Arduinon, jonka käyttöjännite on 5 V. [10.]

Laitteen on mahdollista lähettää digitaalista signaalia sekä analogista. Työssä käytetään digitaalista lähtöä, joka lähettää signaalia HIGH tai LOW. HIGH-signaali saadaan, kun diodien välissä on kappale, ja LOW, kun väli on tyhjä. [10.]



Kuva 1. FC-03 optinen lähetin [10.]

4.3 Raspberry Pi

Ensimmäinen Raspberry Pi kehitettiin Yhdistyneessä kuningaskunnassa Foundation ja Broadcomin yhteistyönä. Projektin tavoitteena oli tarjota edullinen väline tietotekniikan perusteiden opetukseen kouluissa ja kehitysmaissa. Ensimmäinen malli julkaistiin markkinoille vuonna 2012, jonka jälkeen niistä on julkaistu kehittyneempiä versioita. [11.]

Raspberry Pi on yksilevyisten tietokoneiden sarja, joka sisältää suorittimen, muistin, grafiikkapiirin sekä tallennustilan. Pi edesauttaa tietojenkäsittelyä ja helpottaa erilaisissa laitteissa sekä ohjelmissa. Raspberry Pi:tä voidaan hyödyntää myös ohjelmointitaitojen oppimiseen, laitteistoprojektien rakentamiseen, kodin automatisointiin sekä teollisiin sovelluksiin. Sen pääasiallinen ohjelmointikieli on python, mutta se tukee myös monia muita kieliä, kuten Java, C++ ja Scratch, mikä tekee siitä joustavan monenlaisiin projekteihin. [11; 12.]

Raspberry Pi toimii kuten tavallinen tietokone, mutta pienemmässä mittakaavassa. Mikrotietokone hyödyntää Wi-Fiä, Ethernetiä sekä USB-liitettöjä laitteita, kuten näppäimistöjä, hiiriä, muistitikkuja, kaiuttimia, ohjaimia sekä kameeroita. Tietokoneessa on myös GPIO (General-Purpose Input/Output)-nastat, joiden avulla Pi voi olla vuorovaikutuksessa ulkoisen elektroniikan, kuten antureiden, moottoreiden sekä muiden tietokoneiden kanssa. (kuva 2) Näiden ominaisuuksien ansiosta Pi soveltuu käytettäväksi esimerkiksi IoT-laitteissa, robo-teissa sekä retro-pelikonsoleissa. [11.]

Raspberry Pi:llä voidaan kerätä tietoa yhteensopivien antureiden avulla, kuten kosteutta, lämpötiloja, liikkeitä sekä videokuvaa. Näin voidaan tietokonetta hyödyntää ympäristöolosuhteiden seurantaan, turvajärjestelmiin tai muihin reaaliaikaisiin sovelluksiin, joissa kerätty tieto lähetetään pilvipalveluihin tai tallennetaan paikallisesti. [11; 12.]



Kuva 2. Raspberry Pi 5 tietokone

4.4 Arduino

Arduino on avoimen lähdekoodin elektroniikka-alusta, joka perustuu helppokäyttöisiin laitteistoihin ja ohjelmointeihin. Sitä käytetään erityisesti elektroniikkaprojektien suunnitteluun ja toteuttamiseen. Arduino-alustaa voi hyödyntää

monissa sovelluksissa, kuten automaatioissa, robotiikassa sekä anturijärjestelmissä. [13.]

Arduino-kehitysalustat ovat helppokäyttöisiä, ja niissä yhdistyy sekä laitteisto, että ohjelmisto. Tyypillinen Arduino-laite sisältää mikro-ohjaimen sekä liitäntöjä antureille, moottoreille ja muille komponenteille (kuva 3). [13.]

Ohjelmointi tapahtuu yleensä Arduino IDE -ohjelmistoympäristössä, jossa käytetään yksinkertaista ja aloittelijaystävällistä ohjelmointikieltä. Arduinon avoin lähdekoodi mahdollistaa myös laajan yhteisön tuen ja valtavan määrän lisäosia ja kirjastoja. [13.]



Kuva 3. Arduino Mega 2560

5 TURVALLISUUS

Laitteen käytössä tulee aina huomioida turvallisuus. Turvallisuus koostuu monesta eri tekijästä, kuten oikeanlaisesta työympäristöstä, laitteen oikeaoppisesta käytöstä sekä käyttäjien riittävästä osaamisesta. Tämän lisäksi myös laitteen säännöllinen huolto sekä mahdollisten runkoalkeamien havainnointi on todella tärkeää lisävahinkojen välttymiseltä.

Dynamometrin rakennuksen aikana työympäristöjen tulee olla tilavia, palonkestäviä sekä puhtaita. Ympäristössä tulee olla tarpeeksi tilaa, jotta laitetta

pystytään liikuttamaan turvallisesti ja kulkuväylät pidettävä vapaana. Nostimelle tulee olla varattuna tila, josta sen saa nopeasti ja helposti käyttöön. Ympäristön sekä lattian tulee olla vapaa turhalta tavaralta tai roskalta, jotta vältetään mahdollisilta liukastumisilta sekä kaatumisilta. Tilat tulee varustaa vaahdosammuttimella paloturvallisuuden ylläpitämiseksi. Työssä esiintyvät nostotyöt toteutetaan nostimella, jotta vältetään tuki- ja liikuntaelinongelmilta.

Dynamometrin käyttäjien tulee olla perehtyneitä sekä opastettuja laitteen käyttöön. Käyttäjien riittävällä perehtymisellä vältetään mahdollisilta onnettomuuksilta ja virhetoiminnoilta. Laitteiston käyttämiseen suunniteltiin käyttöohjeet, joilla olisi tarkoitus käyttää laitetta oikein ja turvallisesti ilman vahinkoja. Ohjeet on tehty helpoiksi niin, että maallikkokin ymmärtäisi työssä tapahtuvat vaiheet ja riskit.

6 TOTEUTUS

6.1 Menetelmät

Työn mekaaninen rakentaminen toteutettiin koulun Mikpolin materiaalilaboraatiossa. Laboraatio mahdollisti erilaiset nostot, hitsaukset, työkalut, tekniikan koneet ja turvallisen ympäristön. Ympäristö oli tilava, jossa runkoa pystyttiin siirtämään tarpeen vaatiessa. Laboraatio myös mahdollisti laitteen helpon maalaamisen nostimen avulla. Kun runko oli saatu valmiiksi, se siirrettiin koulun sähkölaboraatiotiloihin sähköistö kokoonpanoa varten sekä ohjelmoitavaksi. Laitteen ohjelmointi toteutettiin Arduino IDE -ohjelmalla, joka suorittaa mittauksia, ja Raspberry Pi:n Node-Red -ohjelmalla, joka laskee mittauksista lopulliset tulokset.

6.2 Toteutuksen suunnittelu

Dynamometrin suunnittelu aloitettiin tutkimalla erilaisia dynamometrejä moottoripyörälle ja niiden komponentteja, jonka takia päädyttiin toteuttamaan dynamometrin inertialla. Suurin osa tutkituista dynamometreistä toimi inertiaa hyödyntäen, joka sopii huipputehon mittaamiseen erittäin hyvin. Jarrudynamometriä varten olisi vauhtipyörän lisäksi pitänyt hankkia laitteelle sopiva jarru, jonka saatavuudessa olisi voinut ilmetä haasteita. Kokonaisuudessaan inertialla toimiva dynamometri on yksinkertaisempi kuin jarrudynamometri. Laitteesta tuli

suunnitella A3-kokoiset kuvat ja suunnitella dynamometrille mitat, jotka saimme selville erilaisista dynamometrimalleista. Dynamometri oli suunniteltava siten, että se olisi koulun tiloihin sopiva ja mahdollisesti siirrettävissä eri paikkoihin. Työn tärkeässä roolissa oli myös painon huomiointi kokonaisuudessa. Vauhtipyörä tuli suunnitella tarpeeksi painavaksi, jotta se kompensoisi moottoripyörän tehoa. Runko suunniteltiin tarpeeksi kestäväksi ja painavaksi, jotta se kestäisi vauhtipyörän painon sekä moottoripyörän painon. Rungon tulisi kestää myös erilaisia vääntöjä sekä tärinöitä.

6.3 Koulun sähkömoottoripyörän mittaus Lahdessa

Ennen kuin dynamometrin rakentaminen aloitettiin, päädyttiin viemään koulun sähkömoottoripyörä koestettavaksi, jotta saisimme enemmän tietoa dynamometrin rungosta, mittauksesta sekä laitteessa hyödynnetyistä komponenteista. Alustava suunnitelma oli mitata sähkömoottoripyörä Mikkelissä, mutta paikallisen yrityksen tilat olivat remontissa, jonka takia suuntasimme MP Servicelle Lahteen. MP Service:llä päästiin tutkimaan moottoripyörän dynamometriä ja esittämään erilaisia kysymyksiä.

Yrityksellä oli käytössään Dynolabs-valmisteinen alustadynamometri, jolla pystyttiin suorittamaan mittaus inertiaa käyttäen (kuva 4). Mittauksen olisi myös voinut suorittaa pyörrevirtajarrua käyttäen kuormaa vasten, mutta se ei ollut tarpeellista. Koulun sähkömoottoripyörän teho oli vain laskettu, eikä sitä ollut koskaan mitattu, joten oli hyvä tietää, kuinka paljon tehoa pyörässä on. Mittauksissa kuitenkin tuli haasteita, sillä laitteella piti saada kiihdytyksen jälkeen moottoripyörä ”rullaamaan” vetämällä kytkin pohjaan, jolloin se laskisi momentin. Sähkömoottoripyörässä ei ollut vaihteistoa, joten tämä ei onnistunut. Tämän takia ohjelma ei toteuttanut mittausta loppuun, eikä tuloksia saatu tulostettua.

Teho kuitenkin saatiin luettua laitteen näytöltä, ja tehoksi saatiin noin 40 kW, jonka uskotaan pitävän paikkansa, sillä pyörän moottorin nimellisteho on 48 kW. Lisäksi moottoripyörän huippunopeudeksi saatiin lähes 250 kmh. Mittausten ohella tutkimme myös dynamometriä ja sen rakennetta. Rakenteelta dynamometri näytti vankalta ja painavalta, josta saatiin ajatus, olisiko dynamometri

mahdollista rakentaa niin, että se olisi helposti siirrettävissä. Dynolabs-mallissa käytettiin säädettävää etupyörän kiinnitystä, jolla voidaan ottaa huomioon eri moottoripyörien akselivälit. Rakennettavaan dynamometriin suunniteltiin samanlainen kiinnitys etupyörälle.



Kuva 4. MP-Service:n dynamometri

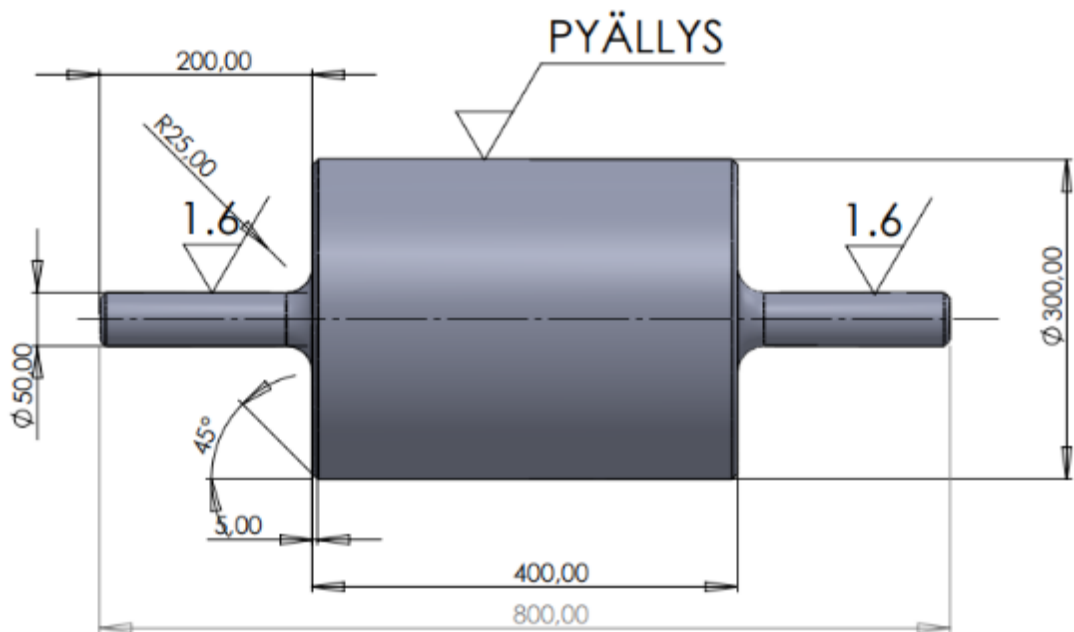
6.4 Vauhtipyörän suunnittelu ja toteutus

Inertiadynamometreissä tehon mittauksessa hyödynnetään vauhtipyörää riittäväällä massalla. Vauhtipyörän suunnittelussa lähtötietona toimi moottoripyörän sähkömoottorin nimellisteho 49 kW. Suunnittelu aloitettiin laskemalla vauhtipyörän tarvittavat mitat. Laskennan pohjatietona käytettiin tietoa MP-Service:n vauhtipyörästä. Tiedettiin vauhtipyörän painon olevan noin 300 kg. Työn käyttötarkoitukseen 300 kg vauhtipyörä olisi varmasti riittävän painava, mutta kevyempikin riittäisi.

Laskentoja varten koulun sähkötekniikan koulutusjohtaja Kari Dufva loi Excel-pohjaisen laskentaohjelman, johon oli syötetty koulun sähkömoottoripyörän tiedot. Ohjelma laski vauhtipyörän painon ja kuinka kauan moottoripyörällä

menisi kiihdyttäessä vauhtipyörä moottorin nimelliskierrosnopeuteen. Vauhtipyörälle annettiin leveydeksi 400 mm ja säteeksi 150 mm. Näin painoksi tulisi noin 220 kg ja moottoripyörän kiihdytysajaksi tulisi noin 5 sekuntia. Kiihdytysaikaa pidettiin sopivan pituisena mittausten kannalta. Todellisuudessa aika on pidempi, koska moottoripyörässä syntyy tehohäviöitä.

Vauhtipyörän molemmille puolille tulisi 200 mm pitkät akselit, jotka lisäisivät painoa yhteensä noin 25 kg. Lisäksi vauhtipyörän pintaa piti karhentaa, jotta kiihdyttäessä moottoripyörän takarengas ei luistaisi pinnan päältä. Karhennus suunniteltiin toteutettavaksi matalalla ristipyällyksellä, jolloin pitoa tulisi tarpeeksi, mutta rengas ei kuluisi liikaa. (kuva 5)



Kuva 5. Vauhtipyörän suunnitelma

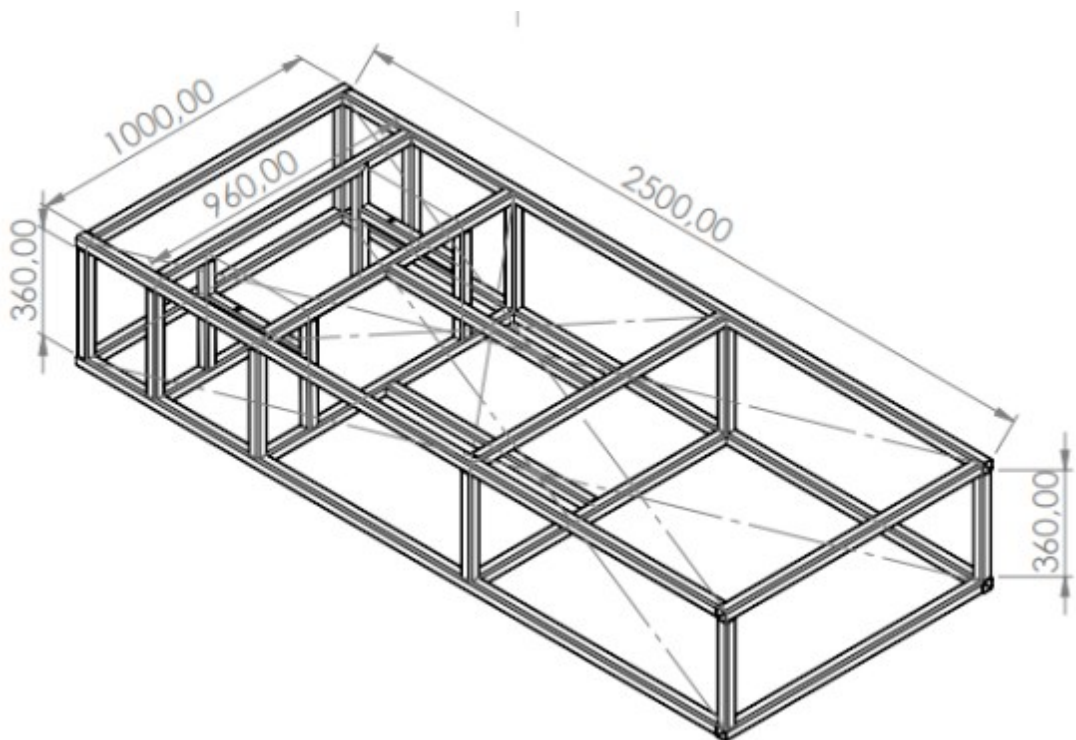
Vauhtipyörän suuresta koosta ja massasta johtuen se piti tilata erikseen, koska koulun tiloissa ei ollut mahdollisuutta sorvata niin isoa kappaletta. Kappaleen hankinta toteutettiin Kotila Engineering Oy -yrityksen kautta.

Rullan saavuttua oli tärkeää varmistaa rullan paino, koska tietoja hyödynnetään tulevissa mittauksissa. Tällöin saadaan kaavoista paikkaansa pitävät ja tarkat, jotka helpottavat tulosten sekä virheiden arviointia. Rullan painoksi lopulta tuli 235 kg.

6.5 Solidworks-suunnittelu

Dynamometrin runko päätettiin valmistaa hitsaamalla yhteen teräsputkia muodostaen kehikon, jonka jälkeen putkien päälle asennettaisiin alumiinilevyt. Tällöin runko saataisiin pidettynä mahdollisimman kevyenä, mutta samalla tarpeeksi kestäväenä.

Suunnitteluun käytettiin Solidworks-ohjelmaa. Ohjelmaan ensin piirrettiin kaksiulotteinen pohja, jonka jälkeen pohjaan piirrettiin pystyputkia. Näiden päälle kopioitiin aiempi pohja, jolloin pohjasta ja kannesta tuli identtiset. Kun viiva-kaavio rungosta oli valmis, asetettiin ohjelman tietokannasta teräsputket viivojen päälle. Solidworks-ohjelman "Weldment" -toiminnolla voidaan täyttää malleja käyttämällä ISO-standardista löytyviä yleisiä materiaaleja. Toiminto voidaan asettaa tekemään leikkauspinnat putkiin sekä hitsaukset saumoihin, mutta mallin suunnitelmassa kaikkien putkien leikkauspinnat ovat suoria ja hitsausaumojen suunnittelusta ei nähty hyötyä työssä. Toiminnolla putkiin tuli yhteentörmäyksiä, mutta muutaman yrityksen jälkeen mallista saatiin puhdas. (kuva 6)



Kuva 6. Rungon suunnitelma

6.6 Rungon kasaus

Dynamometrin rungon täytyi olla kestävä ja tukeva, jonka pohjalta päädyimme valitsemaan materiaaliksi 40x40x8 cm suorakulmaista teräsputkea. Teräsputki oli siitä hyvä vaihtoehto, koska se oli helposti saatavilla ja hintakin oli sopiva. Rungossa täytyi ottaa huomioon 245 kg painava rulla ja sen tukipisteet. Päädyimme suunnittelemaan rullan ympärille kehikon, joka kestäisi moottoripyörän väännön ja erilaiset kampeamiset runkoon.

Ennen työn aloittamista tuli löytää mahdollinen hitsaustila rungon kasaamiselle. Tilan täytyi olla tarpeeksi suuri, jotta runkoa pystyttäisiin hyvin liikuttelemaan ja kääntelemään. Rungon kasaamista varten saimme Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun materiaalilaboratoriosta tulityötilan. Tila täytyi varmistaa paloturvalliseksi siirtämällä kaikki ylimääräinen tilasta pois. Suljimme tilasta kaasut ja varmistimme, että vaahtosammutin on helposti löydettävissä. Työturvallisuuden varmistamiseksi käytimme suojalaseja ja hanskoja.

Työ aloitettiin mittaamalla pohja- ja pintarungon ristimita. Koko työn virhemarginaaliksi olimme antaneet 10 mm, jonka sisällä pitäisi pysyä, jotta välttyttäisiin virheiltä ja siltä, että runko ei olisi vino. Mitattuamme rungot Manninen hitsasi rungon metallipalat yhteen. Tämän jälkeen mittasimme välikappaleiden sijainnit sekä tarkistimme niiden tasapainoisuuden. Mittauksen jälkeen hitsasimme rungon välikappaleet paikoilleen. Lopuksi Manninen hitsasi rungon jokaisen kulman paikoilleen. (kuva 7)



Kuva 7. Putkirunko hitsattuna

Seuraavaksi rakennettiin vauhtipyörän kehikko. Alustavasti vauhtipyörä nostettiin liinoilla ilmaan, jotta se voitaisiin sovittaa oikeaan korkeuteen. Vauhtipyörä tuli mitata tarkasti paikalleen sitä ei asentuisi vinoon ja sitä kautta synnyttäisi sivuttaisvääntöä. Ristimitan virhemarginaaliksi sovittiin 5 mm. (kuva 8) Kun vauhtipyörä oli saatu kohdilleen, Manninen hitsasi kehikon paikalleen. Kehikkoon lisättiin vielä lisätukea hitsaamalla teräsputkea 45 asteen kulmassa suoraan vauhtipyörän alle.



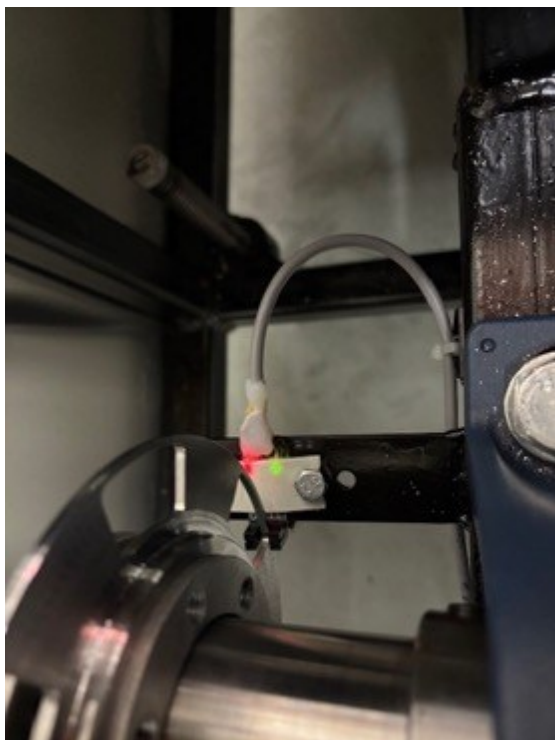
Kuva 8. Vauhtipyörä sovitettuna runkoon

Työn aikana tuli myös lisäideoita ja tarpeita, joita piti tehdä. Dynamometriin asennettiin renkaat, jotta sitä pystyttäisiin siirtämään helposti paikasta toiseen. Renkaille tehtiin putkista tukipisteet, joihin ne oli helppo kiinnittää. Dynamometrille tehtiin myös tukijalat käyttämällä trapetsikierretankoa, joiden varassa laite on mittausten ajan ja joista sen korkeutta voidaan säätää. Eturenkaan teille tehtiin hahlot, jolla voidaan säätää rengaslukkoa eri kohdille. (kuva 9)



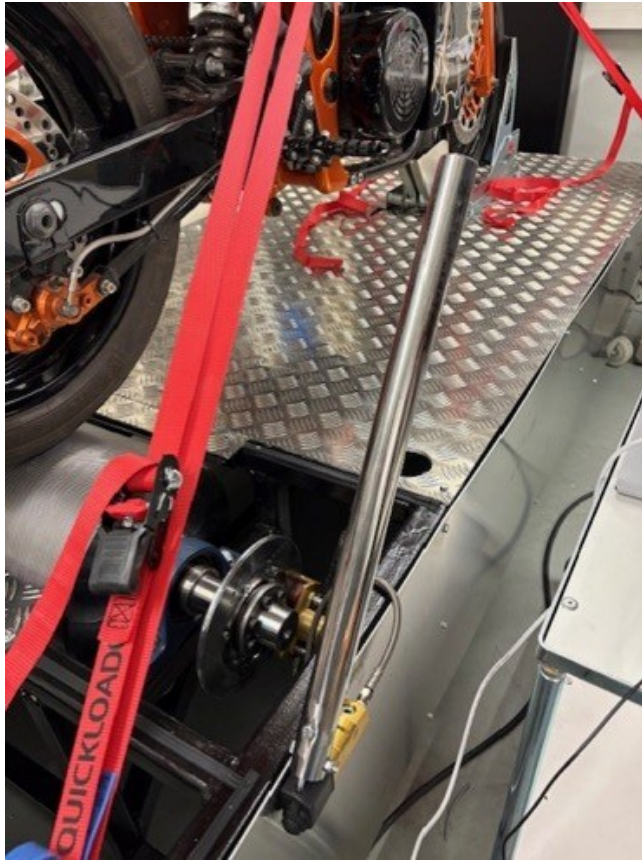
Kuva 9. Dynamometri runko

Runkoon rakennettiin neljä liinareikää. Näin saatiin moottoripyörä sidottua alustaan kiinni ja vältyttiin moottoripyörän paikaltaan lähdöltä. Vauhtipyörän viereen koneistettiin kiekko, josta mitataan vauhtipyörän nopeus. Optiselle anturille valmistettiin tasainen alusta, jotta se pystyisi mittaamaan kiekon mitauspisteitä. Alusta pehmustettiin anturin kohdalta ja kiinnitettiin muovisella listalla, joka pitäisi anturin paikallaan mittauksista aiheutuvista värinäistä. (kuva 10)



Kuva 10. FC-03 anturin teline sekä mitauspistekiekko

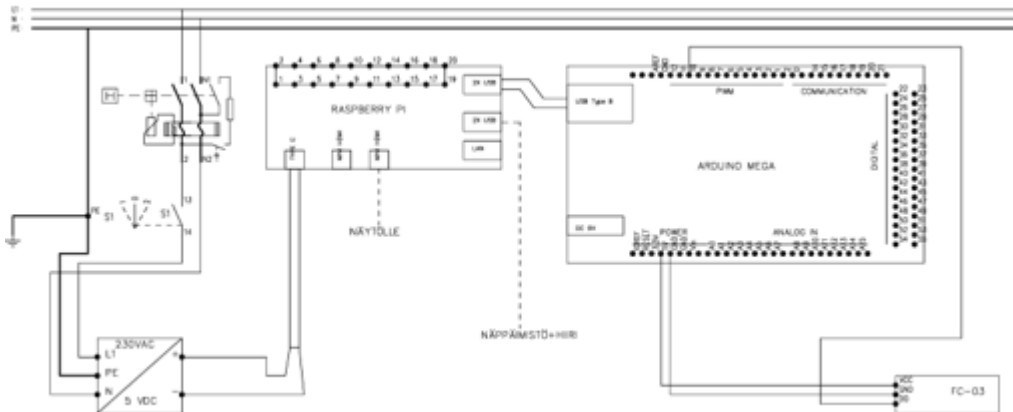
Työn aikana ilmeni, että rulla tulisi pysäyttää hätätilanteissa, jos rullan väliin joutuisi jotain. Vauhtipyörälle tuli suunnitella teline johon jarru pystyttäisiin kiinnittämään. Jarruna käytimme mikroauton hydraulista levyjarrua. Jarrun teline tehtiin metalliputkista, joista tehtiin tukeva, jotta se kestäisi vääntöä jarruttaessa. Jarrulevyille koneistettiin oikean kokoinen sovite. Jarrulle tehtiin myös vipu, josta jarru vedetään kiinni. (kuva 11) Ennen peltien paikoilleen laittamista runko maalattiin panssari maalilla ja asensimme tiivistenauhat välttääksemme räminän. Kansipeltiin tehtiin reiät jaloille, josta pystyttiin vääntämään jalat maahan.



Kuva 11. Runkoon asennettu hätäjarru

6.7 Sähköistys

Rungon kasaamisen jälkeen aloitettiin laitteen sähköistys. Työstä tuli suunnitella piirikaavio, jotta pystyttiin havaitsemaan komponentteja, mitä tarvittiin. Piirikaavio tuli suunnitella selkeäksi, jotta työ pysyisi selkeänä ennen työn toteutusta. (kuva 12)



Kuva 12. Sähköjärjestelmän piirikaavio

Asennuskoteloon asennettiin ensin vikavirtasuojalla varustettu johdonsuojakatkaisija, johon kytkettiin pistotulpalla toimiva syöttökaapeli. Katkaisijalta eteenpäin vedettiin johtimet kääntökytkimelle. Kytкин toimii laitteen päävirtakytkimenä ja sillä ohjataan laite päälle sekä pois. Kun sähköt on laitettu päälle, kytkimeltä lähtee sähkö muuntajalle, josta muuntaja muuntaa käyttöjännitteen viideksi voltiksi tasajännitettä. Muuntaja syöttää tasajännitteen Raspberry Pi:lle. Arduino saa jännitteen Raspberry Pi:ltä USB kaapelia pitkin, jota käytetään myös viestien välittämiseen. Lopuksi FC-03 anturi kytkettiin Arduinoille. (kuva 13)



Kuva 13. Sähkökotelo laitteen perässä.

6.8 Arduino IDE -ohjelmointi

Työssä haluttiin pitää mittauspuolen ohjelmointi mahdollisimman yksinkertaisena, jotta mahdollisuudet laskentavirheille pysyisivät vähäisinä. Raspberry:n ohjelmaa suunniteltiin niin että Arduinosta tarvittaisiin kaksi mitattua arvoa: mittausten välinen aika ja kierrostaajuus.

Ajan mittaukseen käytettiin Arduinon funktiota pulseIn. Funktio lukee määritetyn pinnan tilaa ja mittaa aikaa nanosekunteina. Työssä tätä käytetään mittaamaan optisen anturin lähettämän viestin aikaa. Lisäksi mitataan aikaa, kun anturi ei lähetä viestiä. Nämä ajat yhdistämällä saadaan mittaustapahtuman kokonaispituus eli kahden anturin viestin alun välinen aika.

Kierrostaajuuden laskemiseen tarvittiin kierrosten määrä tietyllä ajalla tai aika, joka kuluu yhden kierroksen aikana. Käyttämällä mittausten välistä aikaa ja kertomalla se mittauspisteiden määrällä saadaan aika, joka toteutuu yhden kierroksen aikana. Jakamalla yksi kierros tällä ajalla saatiin kierrostaajuus.

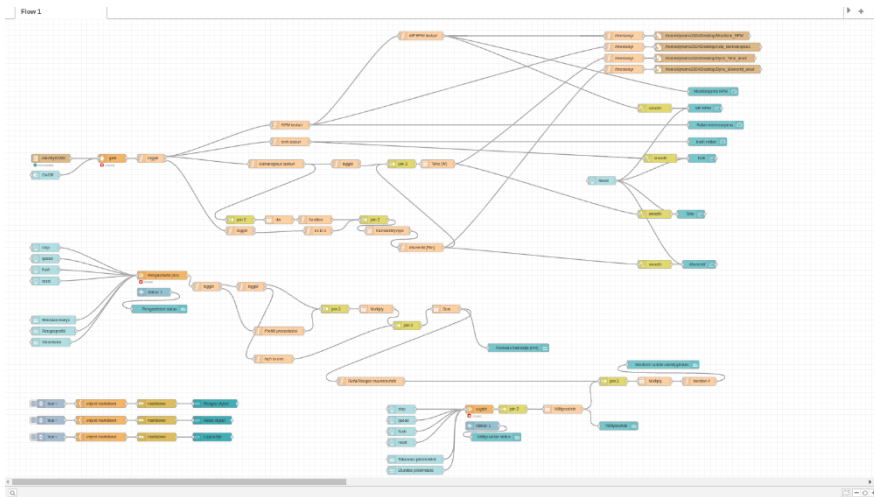
Arduino lopuksi ohjelmoitiin niin, että se lähettää kierrostaajuuden ja viestien välisen ajan sarjaporttia pitkin, josta viestejä voidaan myöhemmin vastaanottaa.

6.9 Raspberry Pi:n käyttöönotto

Ennen Node-Red-ohjelmoinnin aloittamista tuli käyttöönottaa Raspberry Pi ja sen muistikortti. Muistikortille ladattiin viimeisin käyttöjärjestelmä Raspberry Pi:n nettisivuilta. Latauksen jälkeen käynnistettiin Raspberry Pi, jossa annettiin laitteen malli, käyttöjärjestelmä sekä tallennustila. Tietojen jälkeen oli aika muokata laitteen OS-asetuksia. Asetuksissa annettiin laitteelle käyttäjänimi, salasana, laitteen nimi sekä näppäimistön kieli. Tämän jälkeen Raspberry Pi lataa annetut tiedot, jonka jälkeen laitteelle asetettiin sijainti, kieli ja aika-vyöhyke. Lopuksi Raspberry tuli yhdistää Wi-Fi verkkoon ja päivittää ohjelmisto, jonka jälkeen tietokone oli valmis käytettäväksi.

6.10 Node-Red-ohjelmointi

Suurin osa opinnäytetyön ohjelmoinnista on toteutettu Raspberry Pi:n Node-Red-ohjelmalla. Ohjelma käyttää Arduinon lähettämää dataa ja mitattavan moottoripyörän tietoja. Näistä saadaan ulos moottoripyörän tuottama vääntömomentti ja hetkellinen teho. (kuva 14)

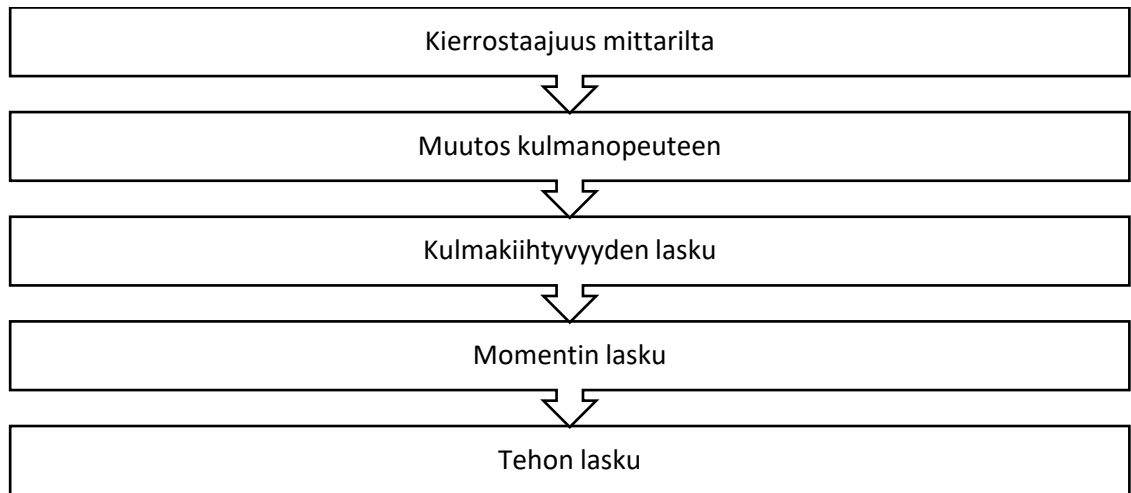


Kuva 14. Node-Red-ohjelman ohjelmointipuoli

Node-Red asennettiin Raspberry Pi:n suositeltujen ohjelmien valikosta. Tämän jälkeen sitä pystyttiin ohjaamaan konsolikomennoilla. Ohjelma käynnistettiin taustalle käyttäen laitteen konsolikomentoja. Lisäksi konsoli antoi URL-osoitteen, jonka syöttämällä nettiselaimen päästiin aloittamaan Node-Red:n käyttö. Konsoliin myös ohjelmoitiin, että Node-Red käynnistyy aina laitteen käynnistyessä, jolloin ohjelman lopulliseen käyttöikkunaan pääsee suoraan ilman, että konsolia täytyy avata.

Ohjelmaan ladattiin työhön tarvittavat kirjastot. Yksi näistä kirjastoista oli ”node-red dashboard”, jota hyödyntämällä luotiin laitteelle käyttöikkuna. Käyttöikkunaa lopuksi käytettiin mitattujen ja laskettujen arvojen esittämiseen kuvaajina ja mittareina.

Alla olevalla kaaviolla esitetään yksinkertaistetusti Arduinin lähettämien viestien reitti, jonka lopputuloksena syntyy moottoripyörän tuottama momentti ja teho (kuva 15).



Kuva 15. Mitattujen arvojen polku Node-Red-ohjelmassa

Ohjelmassa ensimmäisenä on portti, jonka tilaa ohjataan käyttöikkunasta auki tai kiinni On/Off-painikkeesta. Auki-tilassa viestit kulkevat vapaasti ja ohjelma tulostaa arvoja. Kiinni-tilassa viestit eivät kulje portin ohi ja ne poistetaan saapuessa. Tätä käyttämällä voidaan rajoittaa mittausta, jotta tuloksia on helpompi tarkastella.

Portin jälkeen käytetään funktio `-nodea`, joka on ohjelmoitu vuorottelemaan viestejä eri ulostuloille. Viestin saapuessa node vaihtaa käytettävän ulostulon toiseen ja toistaa tämän jokaisella viestillä. Funktiolle on annettu työssä nimi ”toggle”. Tätä käytetään työssä suodattimena, jotta saadaan kierrostaajuus ja mittausten välinen aika erilleen. Kun Arduinon lähettämät arvot saatiin erilleen, laskettiin kulmanopeus kierrostaajuudesta käyttäen yhtälöä 2:

$$\omega = 2\pi n \quad (2)$$

jossa	ω	kulmanopeus	[rad/s]
	n	kierrostaajuus	[r/s]

Kulmanopeuden jälkeen ohjelmassa käytetään `join -nodea`, joka asetettiin yhdistämään kaksi peräkkäistä viestiä yhdeksi viestiksi. Yhdistetty viesti ohjattiin laskimeen, joka laskee viestin arvoista erotuksen. Näin saadaan kahden peräkkäisen kulmanopeusarvon ero. Kulmanopeuden rinnalla, jotta saadaan viestien määrä samaksi, käytetään `toggle -funktio`lle ohjelmoitua `nodea`, joka suodattaa Arduinon lähettämistä mittausten välisistä ajoista vain joka toisen

eteenpäin. Lopulta saadaan laskettua hetkellinen kulmakiihtyvyys käyttämällä yhtälöä 3:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (3)$$

jossa	α	kulmakiihtyvyys	[rad/s ²]
	t	aika	[s]

Momentin laskemiseen tarvittiin kulmakiihtyvyyden lisäksi vauhtipyörän hitausmomentti. Hitausmomentti ei ole muuttuva arvo, joten se syötettiin suoraan osaksi yhtälöä, kun laskettiin momenttia.

$$J = \frac{1}{2}mr^2 \quad (4)$$

jossa	J	hitausmomentti	[kgm ²]
	m	massa	[kg]
	r	säde	[m]

Käyttämällä laskettua vauhtipyörän hitausmomenttia ja kulmakiihtyvyyttä saadaan laskettua moottoripyörän tuottama momentti käyttäen yhtälöä 4:

$$M = J\alpha \quad (4)$$

jossa	M	momentti	[Nm]
-------	-----	----------	------

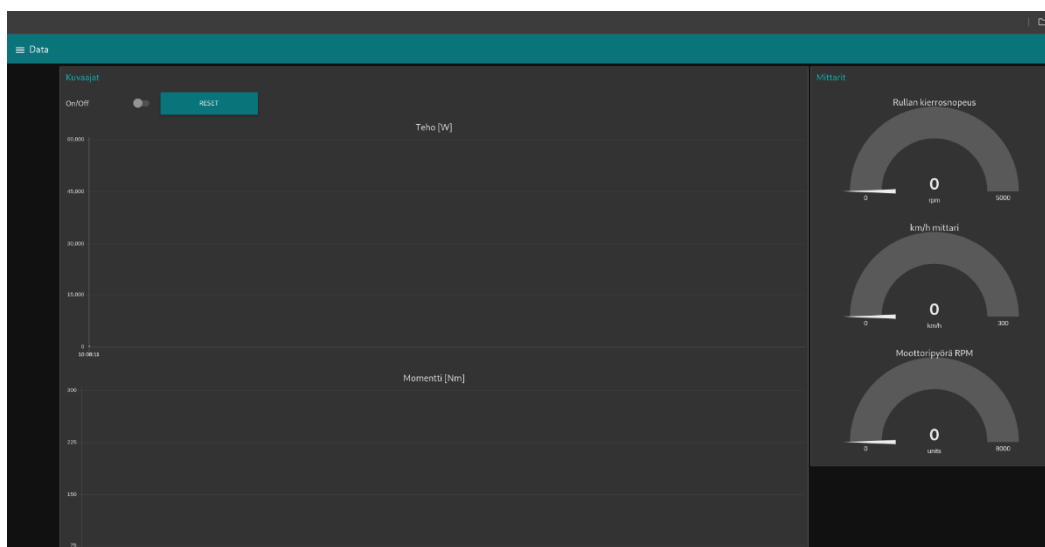
Tehon laskemiseen käytetään momentin laskettua arvoa ja kulmanopeutta. Jotta viestit saadaan samaa aikaan laskimelle, syötetään kulmanopeus toggle-funktiolle, jonka jälkeen arvot yhdistetään join -nodella ja viedään eteenpäin laskimelle. Moottoripyörän tuottama teho saadaan yhtälöstä 5:

$$P = M\omega \quad (5)$$

jossa	P	teho	[W]
-------	-----	------	-----

Ohjelman käyttöikkunaan haluttiin tehon ja momentin kuvaajien lisäksi muita tietoja moottoripyörästä, joita voitaisiin mittausten aikana tarkastella. Käyttöikkunaan lisättiin kolme mittaria: vauhtipyörän kierrosnopeus, nopeusmittari, jonka yksikkönä km/h, sekä moottoripyörän laskennallinen kierrosnopeus. Mittarit lisättiin vain havainnollistaviksi tekijöiksi ja niillä ei ole roolia ohjelman laskennassa. Moottoripyörän kierrosnopeus on laskettu koulun sähkömoottoripyörän arvoilla suhteessa vauhtipyörän kierrosnopeuteen. Jos dynamometrillä mitataan muita moottoripyöriä, pitää kierrosnopeuden suhde laskea uudelleen.

Ohjelmoinnin lähestyttyä valmistumista, haluttiin vielä lisätä mahdollisuus tutkia ”raakoja” arvoja tekstimuodossa. Ohjelmaan lisättiin nodet, jotka kirjoittavat tulevan viestin tekstitiedostoon. Ennen tätä, käytettiin funktio -nodea, joka lisää viestiin aikaleiman millisekuntien tarkkuudella. Näin voidaan arvoista myöhemmin tuottaa tarkkoja laskelmia. Kirjoitettaviksi arvoiksi tuli momentti, teho vauhtipyörän kierrosnopeus ja moottoripyörän kierrosnopeus. Arvojen tekstitiedostoista myöhemmin varmistettiin ohjelman toimivuus.



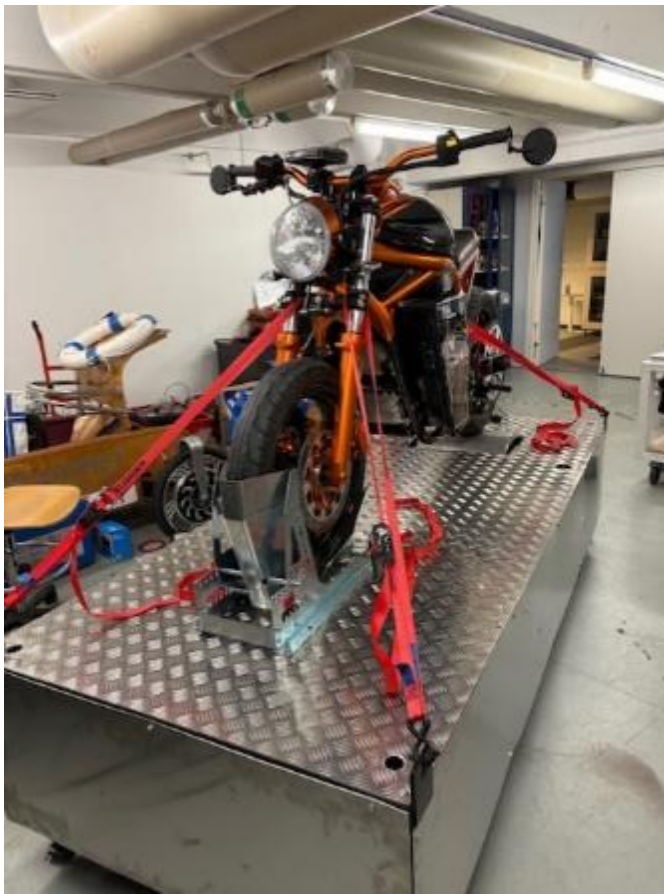
Kuva 16. Node-Red -ohjelman käyttöikkuna

6.11 Koeajo

Koeajot olivat tärkeässä roolissa osana työtä. Koeajoilla pystyttiin varmistamaan vauhtipyörän paikallaan pysyminen, hitsauksien kestävyys, turvallinen käyttö sekä ohjelman toiminta.

Ensimmäisten testien tarkoitus oli varmistaa hitsauksien kestävyys, turvallisuus sekä kaikki kiinnitykset. Koeajojen jälkeen pystyttiin toteamaan kaiken olevan kunnossa. Myös vauhtipyörän jarru pysäytti rullan kovasta vauhdista.

Kun kestävyys varmistettiin, oli aika aloittaa ohjelmien koeajot. Koeajoilla tarkoitus oli varmistaa laitteen oikeanlainen laskenta. Useiden koeajojen aikana onnistuttiin saamaan ohjelman eri vaiheita toimimaan, jonka jälkeen ne tuli yhdistää keskenään. Ohjelman virheiden havainnoinnin ja korjausten jälkeen lopulta ohjelma kasattiin yhteen ja saatiin toimiva dynamometri (kuva 17).



Kuva 17. Valmis dynamometri

7 LOPPUPOHDINTA

Työn aihe oli alusta alkaen kiinnostava ja sopivan haastava. Aihe ja toteutustavat eivät olleet kummallekaan aiemmin tuttuja, joten työ toimi loistavasti tutkinnon opinnäytetyönä.

Toteutuksen aikana suurimpia haasteita olivat kokemattomuus mekaanisen puolen asennuksista sekä pitkät toimitusajat. Esimerkiksi vauhtipyörän odotus

viivästytti kokoamisen edistymistä huomattavasti. Lisäksi tutustuttiin täysin uusiin ohjelmiin ja niiden käyttöön. Kaikki tämä kuitenkin kehitti oppimista ja ongelmanratkaisutaitoa, jotka ovat elintärkeitä työelämässä.

Kun opinnäytetyön toteutusta suunniteltiin, määritettiin ensisijaiseksi valmistustavoitteeksi joulukuu 2024 ja toissijaiseksi toukokuu 2025. Ensisijaiseen tavoitteeseen ei päästy työn mekaanisen osuuden haastavuuksien ja pitkien toimitusaikojen takia, mutta työn viimeiset koeajot suoritettiin huhtikuun ensimmäisellä viikolla, jonka ansiosta toissijaiseen tavoitteeseen päästiin hyvin.

Lopullista työn tuotosta katsoessa ei ehkä uskoisi, että kyseessä on sähkötekniikan opinnäytetyö. Mekaanisen puolen tavaratilaukset ja kokoonpanon olisi voinut ulkoistaa ja keskittyä sillä aikaa sähkö- ja automaatiotekniikan puoleen. Työtä olisi niin sanotusti voitu ”hifistellä” enemmän. Mutta kaikkein tärkeimpänä tavoitteet mitä alussa asetettiin, tulivat toteen. Laitteella pystytään onnistuneesti mittaamaan moottoripyörän tuottamaa tehoa ja momenttia. Laitteen ohjelmisto on myös jätetty avoimeksi, jotta sitä voi muokata ja hyödyntää opeuskäytössä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

1. Hyper Hpi Power. Inertia Dynamometers: Principles and Operation Explained. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://hyper-power.net/inertia-dynamometers-how-they-work/#:~:text=Inertia%20dynamometers%20unlock%20the%20secrets> [viitattu 25.3.2025].
2. Infomoto. Spannerman. Motorcycle dyno myths and how it really works. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.1.2024. Saatavissa: <https://infomoto.com.au/features/spannerman-motorcycle-dyno-myths-and-how-it-all-works> [viitattu 25.3.2025].
3. MiniPro. What is a Brake Dyno. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.minipro.com/blogs/articles/brake-dynamometers-dyno?srsId=AfmBOoqGaSshfsExoNH9OHVr2H5XY7t6Zhj4W79IRx89LYsCqeOR4Slw> [viitattu 1.4.2025].
4. Peda.net. 3.4 Momentti. WWW- dokumentti. Saatavissa: <https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/lukiot/espoo/eyl/fysiikka/hellsten/arkisto-22-23/kertaus-kurssi23/ee1f093ccb4f11eaae06509a4c62f386/ce90ea8ecb5111eab23d509a4c62f362> [viitattu 25.3.2025].
5. The Physics Classroom. Inertia and Mass. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.physicsclassroom.com/class/newtlaws/Lesson-1/Inertia-and-Mass> [viitattu 25.3.2025].
6. Georgia State University. Nave, C.R. Hyperphysics. WWW-dokumentti. 2000. Saatavissa: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html> [viitattu 25.3.2025].
7. EDN. Dunn, J. What is moment of inertia? WWW-dokumentti. Päivitetty 18.9.2023. Saatavissa: <https://www.edn.com/what-is-moment-of-inertia/> [viitattu 25.3.2025].
8. Technia. What is Solidworks. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.technia.com/blog/what-is-solidworks/> [viitattu 25.3.2025].
9. Ekeeda. Moderator, E. What is SolidWorks? Its features, Uses and applications. Blogi. Päivitetty 11.5.2020. Saatavissa: <https://ekeeda.com/blog/what-is-solidworks-its-features-uses-and-applications> [viitattu 25.3.2025].

10. TechMaze. Encoder Speed Optical Coupling Sensor Module FC-03. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://techmaze-romman-dev-s.learm.ae/en/product/99187844> [viitattu 25.3.2025].
11. Butts, J. What Is Raspberry Pi. How-To Geek. WWW-dokumentti. Julkaistu 28.9.2021. Saatavissa: <https://www.howtogeek.com/754492/what-is-raspberry-pi> [viitattu 25.3.2025].
12. Robots.net. Spindler, M. Raspberry Pi: What Is It and How Does It Work? WWW-dokumentti. Päivitetty 19.12.2020. Saatavissa: <https://robots.net/tech/raspberry-pi-what-is-it-and-how-does-it-work> [viitattu 25.3.2025].
13. Arduino. What is Arduino. WWW-dokumentti. Päivitetty 5.2.1018. Saatavissa: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> [viitattu 25.3.2025].