



SAVONIA

MOOTTORIPYÖRÄN DYNAMOMETRIN MITTAUSELEKTRONIIKAN SUUNNITTE- LU JA TESTAUS

Berat Polat

Opinnäytetyö

Valitse kohde.

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Elektroniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Berat Polat	
Työn nimi Moottoripyörän dynamometrin elektroniikan suunnittelu ja testaus	
Päiväys 24.4.2012	Sivumäärä/Liitteet 30
Ohjaaja(t) Kari Eskelinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, Tekniikka, Informaatiotekniikan kehitysyksikkö, Lekasteel Oy	
Tiivistelmä <p>Työn tavoite oli suunnitella, kehittää, rakentaa ja testata prototyyppi dynamometri. Työ on tehty Lekasteel Oy:lle. Dynamometrin kanssa ajetaan ajosimulaattoria oikealla moottoripyörällä. Dynamometri kerää moottoripyörästä ajonaikaista tietoa. Mittauskohteina ovat teho, vääntö, kierrosluku, nopeus ja moottorin seos-suhde. Laite soveltuu myös pyörien säätämiseen ja koeajoon, sillä säätömuutokset voidaan testata saman tien, ilman että pyörää tarvitsee irrottaa mittalaitteista.</p> <p>Ensimmäisenä tutustuttiin pyörimisliikkeen fysiikkaan ja Arduionon kehitysalustan käyttämiseen. Dynamometri valmistettiin, kehitettiin ja testattiin Savonia –ammattikorkeakoulun sekä Lekasteelin tiloissa.</p> <p>Dynamometri esitettiin Helsingissä Moottoripyörä mesuilla helmikuussa. Työn lopputuloksena saatiin toimiva prototyyppi.</p>	
Avainsanat Dynamometri, Arduino, sulautettu järjestelmä, anturi	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electronic Engineering			
Author(s) Berat Polat			
Title of Thesis Motorcycle dynamometer electronics desing and testing			
Date	24.4.2012	Pages/Appendices	30
Supervisor(s) Kari Eskelinen			
Client Organisation/Partners Savonia University of Applied Sciences, Lekasteel Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to engineer, develop, build and test the prototype of the dynamometer. The thesis was commissioned by Lekasteel Oy. Dynamometer is used with a driving simulator which is driven with a real motorcycle. Dynamometer collects runtime information from the motorcycle. The measuring ranges are power, torque, RPM, speed and the mixture ratio of the engine. The apparatus can be used to adjust and test-drive the motorcycle because adjustment settings can be tested right away without detaching the motorcycle from the indicator.</p> <p>Firstly, I was introduced to the movements in physics and Arduino development platform. Dynamometer was made, developed and tested in the premises of Savonia University of Applied Sciences and Lekasteel.</p> <p>This result of this thesis was a working prototype of dynamometer. It was presented motorcycle exhibition in Helsinki in February.</p>			
Keywords Dynamometer, Arduino, embedded system, sensor			

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	6
2 TYÖ JA SUNNITTELU.....	7
2.1 Anturit.....	8
2.1.1 Jarrupaineanturi.....	8
2.1.2 Dynamometrin jarru	9
2.1.3 Induktiivinen anturi	11
2.1.4 Optinen anturi	12
2.1.5 Kulma-anturi.....	13
2.1.6 Lambda-anturi	14
2.1.7 Lämpötila -anturi.....	15
2.2 Liitäntäkortti.....	16
2.3 Ohjelmointi	18
2.3.1 Kehitysalusta	18
2.3.2 Anturoiden luenta	19
2.3.3 Käyttöliittymä	21
2.3.4 Peli	22
2.4 Fysiikka	24
2.4.1 Vääntömomentti	24
2.4.2 Teho.....	24
2.4.3 Nopeus	24
2.5 Testaukset ja ongelmien ratkaisut.....	25
3 YHTEENVETO	27
LÄHTEET	29

LIITTEET

Liite 1 Esimerkki liitteestä

Liite 2 Toinen esimerkki liitteestä

1 JOHDANTO

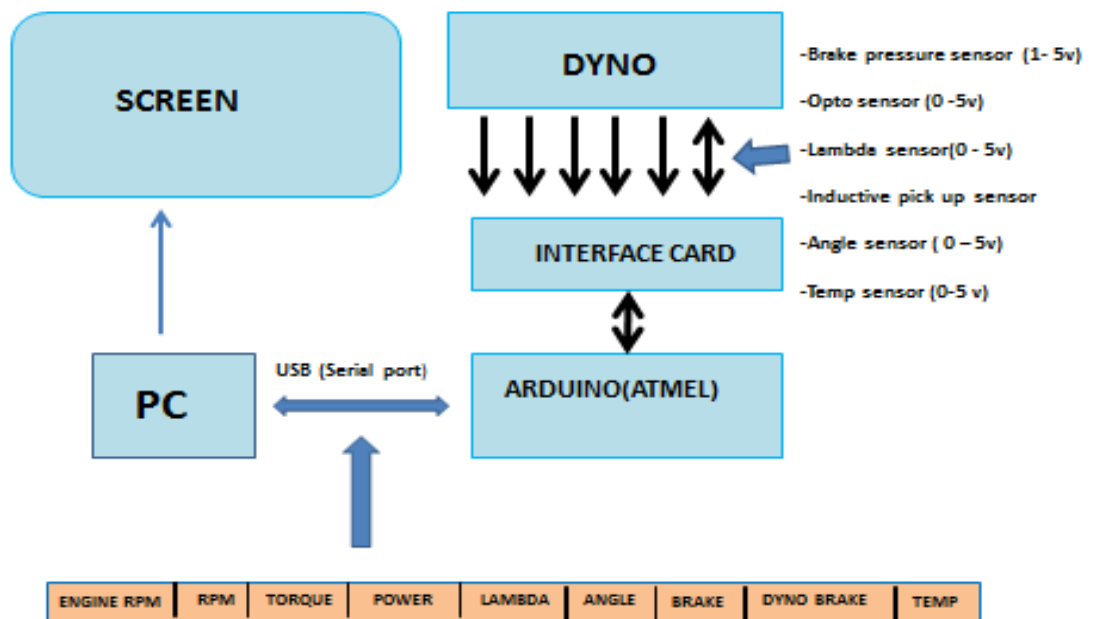
Työ on tehty Lekasteel Oy:lle. Lekasteelin pääasialliset palvelut ovat vaativat hitsattavat rakenteet, MP- ja autonrenkaiden myynti ja asennus, MP-huolto sekä konekorjaukset ja huollot. Yrityksessä suunnitellaan ja kehitetään uusia ja jo tuotannossa olevia tuotteita. Yritys tarjoaa myös hitsaus- ja koneistuspalveluita sekä polttoleikkeitä asiakkaiden tarpeiden mukaan. Lekasteelin tuotantotila on rakennettu vuonna 2000 ja se koostuu 450 m² kokoisesta hallitilasta ja 100 m² kokoisista tauko- ja työnjohtotiloista. Yritys sijaitsee Tuusniemellä, Kuopion ja Joensuun puolivälissä.

Työssä suunnitellaan, rakennetaan ja kehitetään Moottoripyörän dynamometria. Dynamometrin kanssa ajetaan ajosimulaattoria oikealla moottoripyörällä. Dynamometri kerää moottoripyörästä ajonaikaista tietoa. Mittauskohteina ovat teho, vääntö, kierrosluku, nopeus ja moottorin seos-suhde. Laite soveltuu myös pyörien säätämiseen ja koeajoon, sillä säätömuutokset voidaan testata saman tien, ilman että pyörää tarvitsee irrottaa mittalaitteista.

2 TYÖ JA SUNNITTELU

Työ koostui suunnittelusta, hardwaresta, anturoinnista, softwaresta, testaamisesta ja pelin grafiikasta. Työtiimissä oli 4 henkilöä. Minun osuuteni oli hardware ja dynamometrin anturoiminen. Pelin grafiikan tekemisestä huolehti toinen henkilö, joka oli aktiivinen omassa työssään.

Kokouksen jälkeen tein itselleni aikataulun. Jaoin nämä tehtävät ajan suhteen. Työ oli erittäin vaativa, koska näin laajaa ja vaikeaa projektia ei ole ollut aiemmin. Projektin aikana työn suunnittelu muuttui ja kehittyi koko ajan. Tuote oli prototyyppi, minkä vuoksi sitä oli vaikea testata ja verrata tuloksia oikein. Rakentamisessa ei ollut mitään ongelmia, mutta testaukset veivät paljon aikaa.



KUVIO 1. Työ ja Suunnittelu

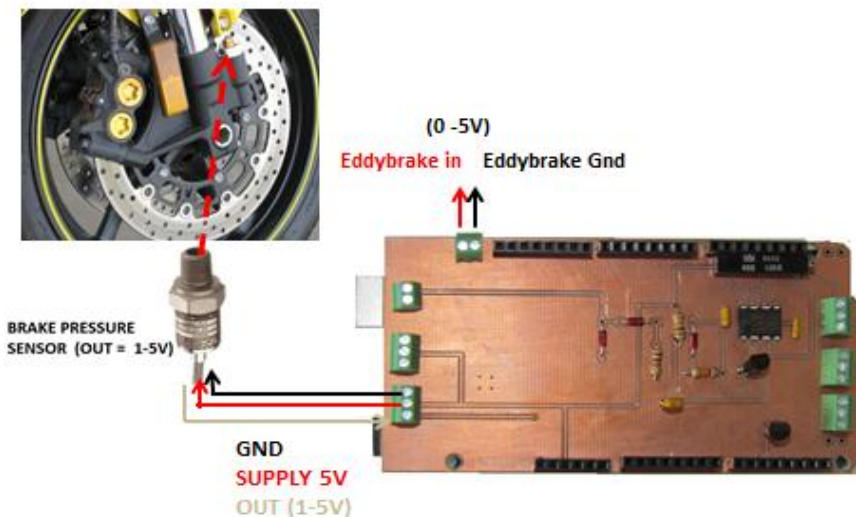
2.1 Anturit

Dynamometrissa käytettiin kuutta anturia: jarrupaine-, optohaarukka-, kulma-, lambda- ja lämpötila-anturia sekä induktiivista anturia. Tässä osassa käsitellään anturien tehtäviä ja kytkentää.

2.1.1 Jarrupaineanturi

Pelikäytössä dynamometrin pyörivää telaa ei voida jarruttaa moottoripyörän omalla jarrulla, koska telan pyörivä massa on suuri. Telan jarruttaminen toteutettiin erillisellä sähkömagneettisella jarrulla, jonka jarrutusvoimaa säädetään moottoripyörän jarrujärjestelmän paineella. Paineanturiksi valittiin MPS 300 -sarjan anturi MSP-300-2K5-P-4-N-1, koska se kyettiin kiinnittämään jarrujärjestelmän ilmausruuvin tilalle. Anturi toimii 5-30V käyttöjännitteellä ja ulostulo on 1 - 5 V, mikä vastaa painealuetta 0 - 170 bar. Moottoripyörien jarrupaineet vaihtelevat tyypillisesti välillä 0 – 60 bar, joten valittu anturi soveltuu hyvin tähän mittaustarpeeseen.

Pelikäytössä normaalin jarrutustarpeen lisäksi ilmanvastuksen ja ylämäkeen ajon vaikutukset simuloidaan säätämällä sähkömagneettista jarrua.



KUVA 1. Paineanturi (Valokuva, Berat Polat)

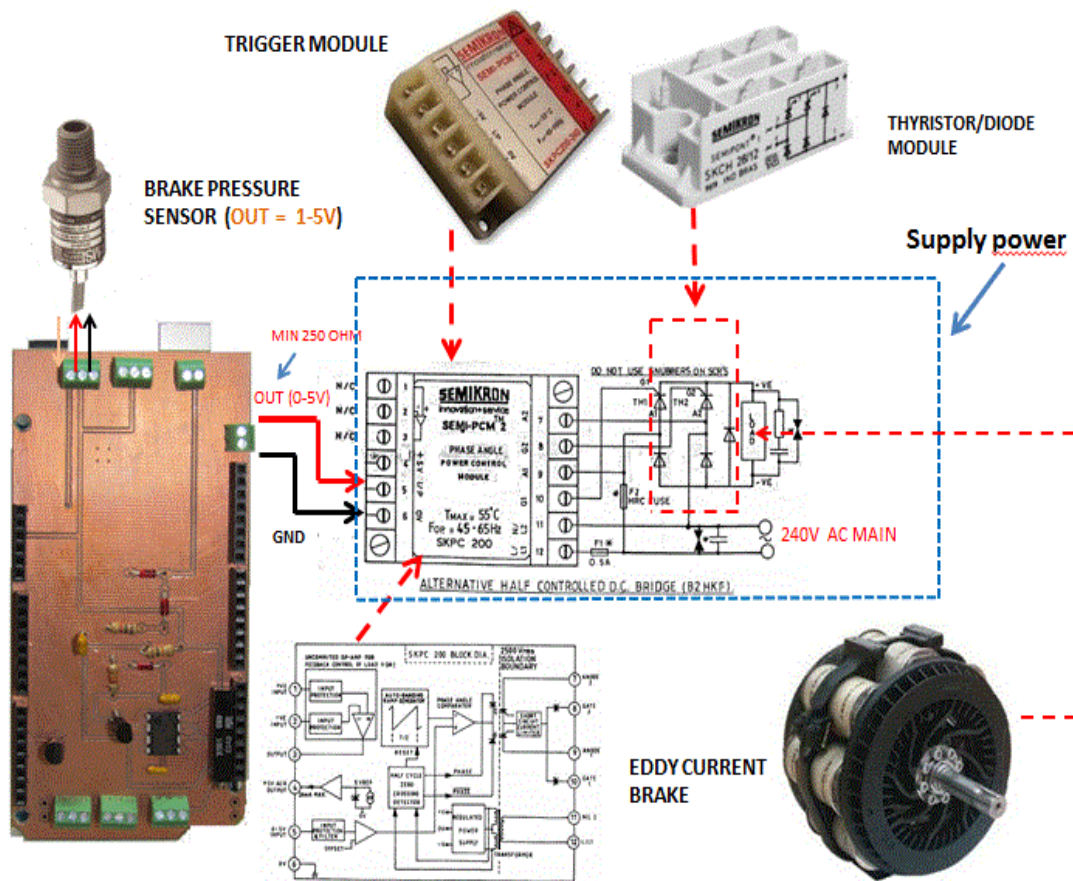
Kuviossa (KUVIO 2) näkyy, miten sensorin avulla ohjataan dynamometrin jarrujärjestelmää. Dynamometrin jarrujärjestelmän ohjaus riippuu jarrusta, nopeudesta ja kulmasta.



KUVIO 2. Paineanturi

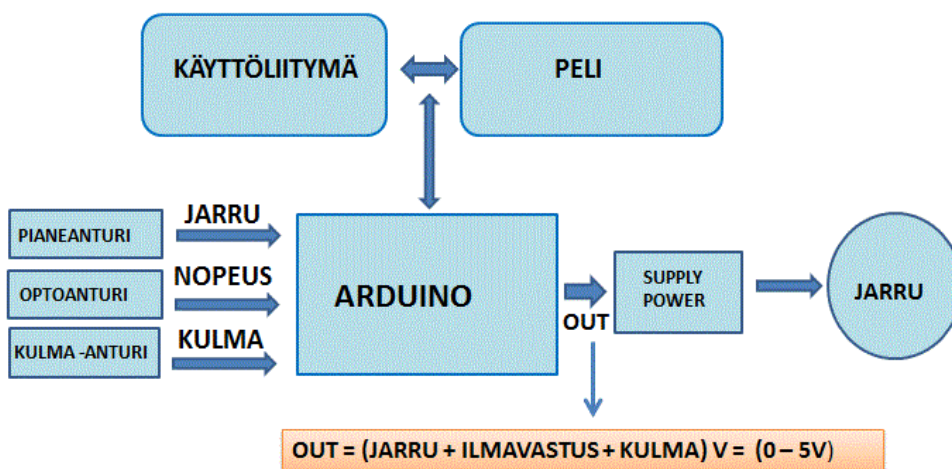
2.1.2 Dynamometrin jarru

Dynamometrin jarru on sähkömagneettinen jarru (Eddy brake current). Pelin ohjaimisen aikana dynamometria jarrutetaan välillä. Dynamometrin jarrun tehon täytyy olla suuri, koska sen avulla on kyettävä jarruttamaan 400 kg massaa. Dynamometrin jarrua ohjataan moottoripyörän jarrupaineen kanssa eli paineanturin avulla. Tässä prototyypissä ei otettu huomioon pelissä olevaa ilmanvastusta eikä kallistusta, jotka vaikuttavat jarruun. Eddy brake current on ostettu Kiinasta, joten sen saaminen kesti aika kauan. Jarrunteho on 400 kW. Jarrua ohjataan 192 V DC jännitteellä. Jarrun ohjaamista varten tarvitaan virtalähde semikron liipaisinmoduuli ja semikron diodityristorimoduuli. Alla olevassa kuvassa näkyy kytkentä.



Kuva 2. Jarrujärjestelmä

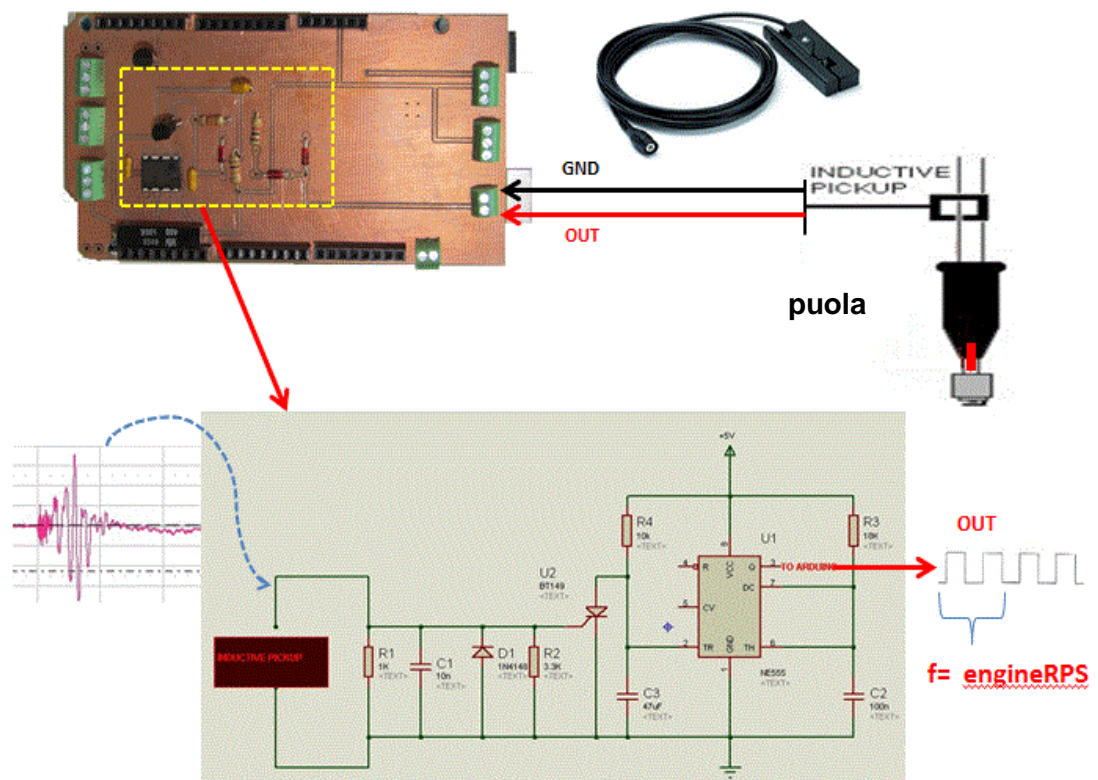
Projektin aika ei riittänyt ilmanvastuksen ja kallistusten vaikuttamien jarruarvojen koodaamiseen. Projektissa selvitettiin vain moottoripyörän jarrupaineen vaikuttamat arvot. Kuviossa (KUVIO 3) näkyy, millainen jarruohjaus tulisi olemaan.



KUVIO 3. Jarrujärjestelmä

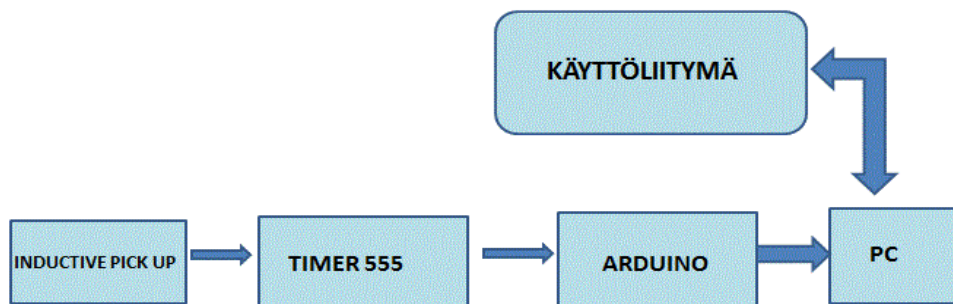
2.1.3 Induktiivinen anturi

Tämän sensorin avulla mitataan moottoripyörän moottorin kierroslukuja ja vääntömomenttia. Sensori antaa ulos epämääräisiä pulsseja. Ennen kaikkea piti saada prosessorille puhdas digitaalinen signaali, jonka prosessori pystyisi käsittelemään. Signaalin käsittelyä varten käytettiin diodeja ja ajastinpiirin monostabiili –kytkennän ominaisuutta.



KUVA 3. Anturin kytkentä (Valokuva, Berat Polat)

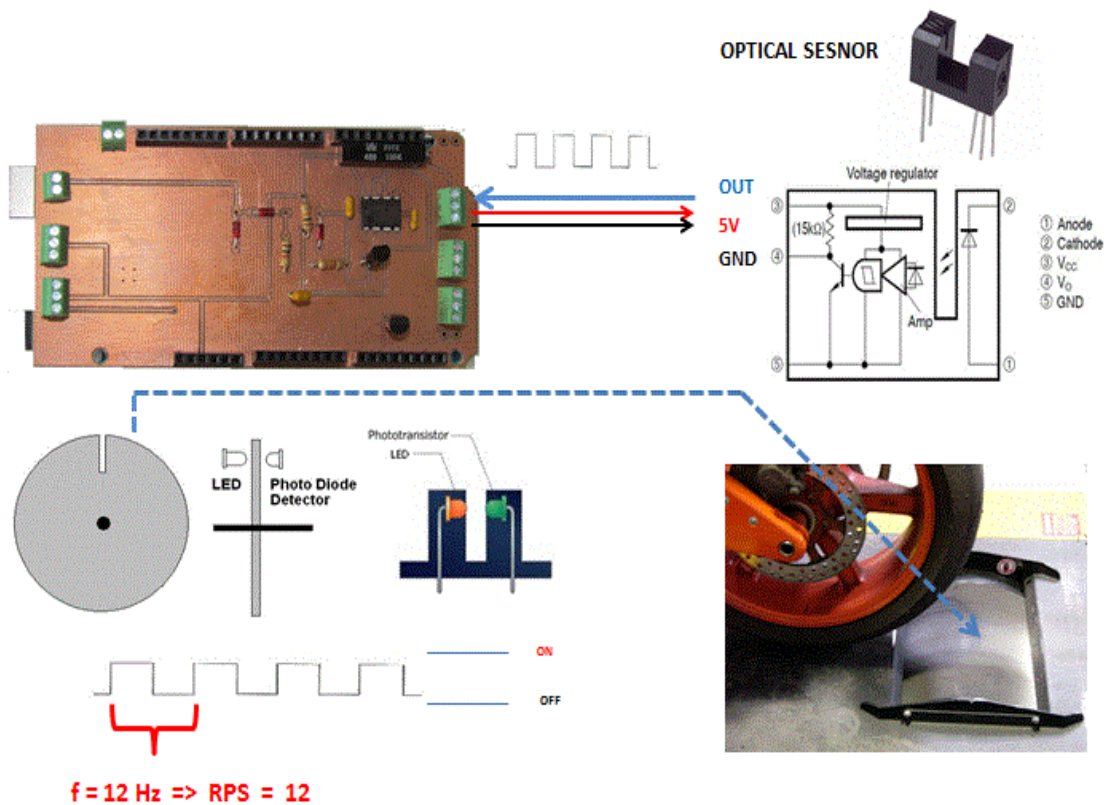
Kuviossa (KUVIO 4) näkyy induktiivisen sensorin käyttö kortin ja PC:n kanssa.



KUVIO 4. Anturin kytkentä

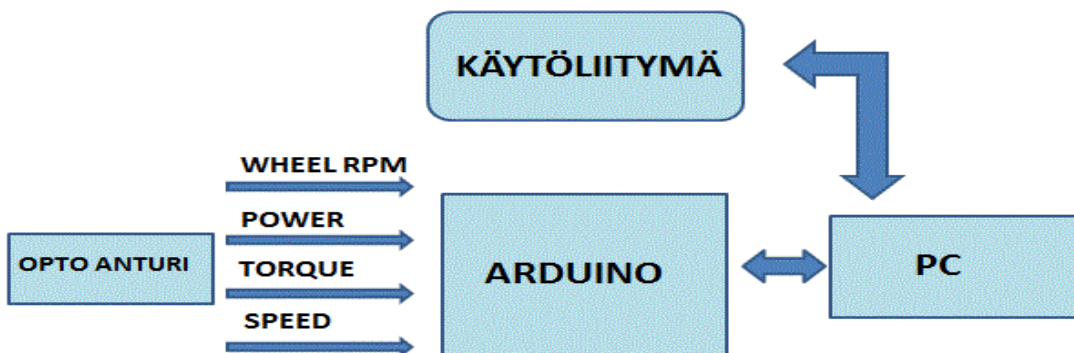
2.1.4 Optinen anturi

Dynamometrin telan pyörimistä seurataan optisella anturilla. Saadusta tiedosta määritetään telan pyörimisnopeus, kiihtyvyys, vääntömometti ja teho. Sensorina käytettiin Sharpin sensoria GP1A53HR. Kuvassa (KUVA 4) näkyy sensorin kytkentä.



KUVA 4. Anturin kytkentä (Valokuva, Berat Polat)

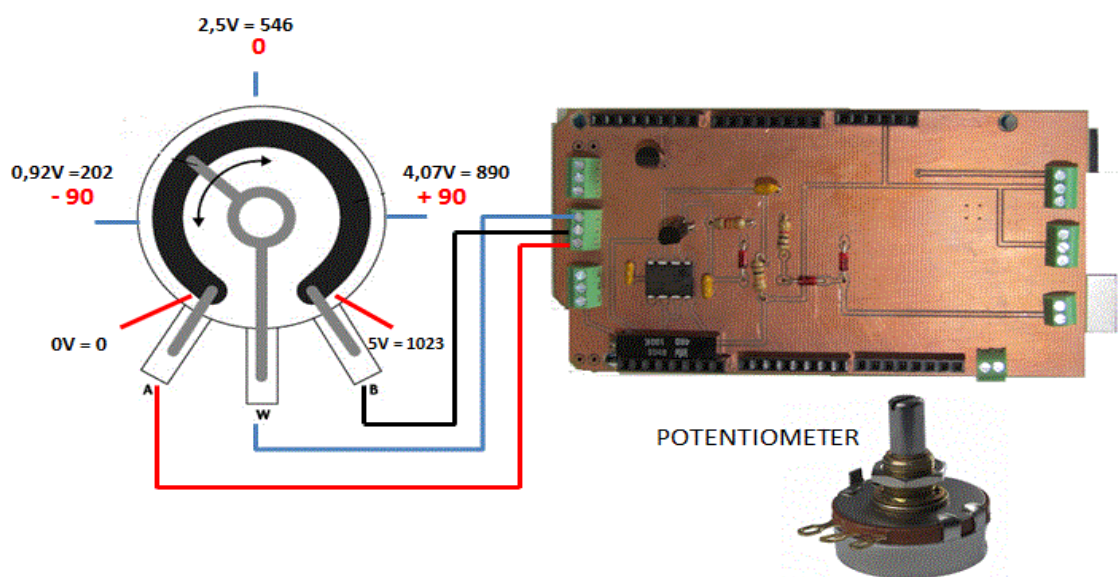
Kuviossa (KUVIO 5) näkyy anturin datayhteys käyttöliittymän kanssa. Tehoon ja vääntömomenttiin liittyvää fysiikkaa käsitellään eri osassa.



KUVIO 5. Anturin kytkentä lohkokkaavio

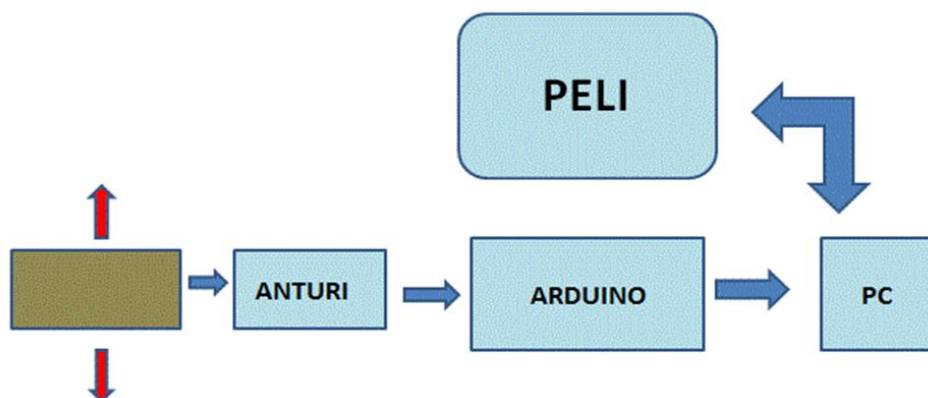
2.1.5 Kulma-anturi

Tätä anturia käytetään pelissä. Pelissä kuljettaja ohjaa moottoripyörää rataa pitkin. Ohjaus on toteutettu pyörää kallistamalla. Maksimissaan kallistus voi olla 20 astetta vasemmalle tai oikealle. Projektin alkuvaiheessa käytettiin ”Three-Axis Accelometer EVAL-ADX325Z ” kiihtyvyyssanturia, mutta se oli liian herkkä dynamometrin penkille. Projektin aikana etsin kulma-anturia, joka ei olisi niin herkkä penkin tärisemiselle. Tein lopulta potentiometristä kulma-anturin, joka toimi paremmin. Kuvassa (KUVA 5) näkyy anturin kytkentäkaavio.



KUVA 5. Anturin kytkentä

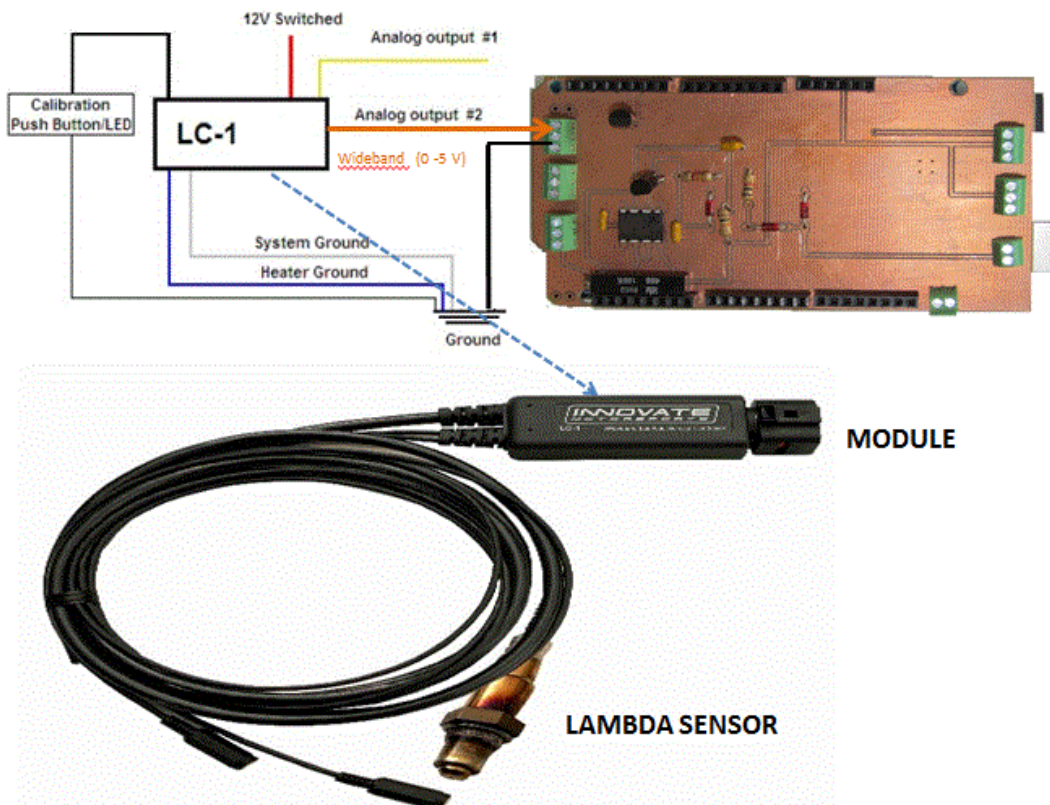
Kuviossa (KUVIO 6) näkyy anturin yhteys pelin kanssa. Projektin jatkossa tullaan kehittämään hydraulinen pelinohjaus.



KUVIO 6. Anturin lohkokkaavio

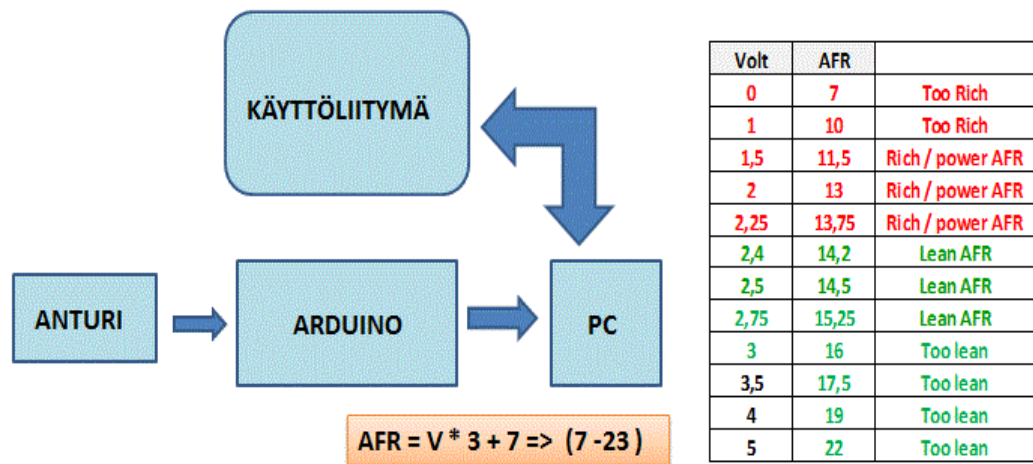
2.1.6 Lambda-anturi

Lambda -anturin avulla mitataan moottorin seossuhde. Bosch LSU 4.2 laajakaista lambda -anturi on tarkka ja sen vaste on riittävän nopea tähän sovellutukseen. Se on yhteensopiva Innovate Motorsports'in kehittämän ja valmistaman moduulin kanssa ja sen avulla anturi voidaan liittää myös suoraan tietokoneeseen. Moduuli antaa 5V analogisen ulostulon. Anturi on helposti asentavissa pakoputkeen. Kuvassa (KUVA 6) on esitetty anturin kytkentäkaavio.



KUVA 6. Anturin kytkentä (Valokuva, Berat Polat)

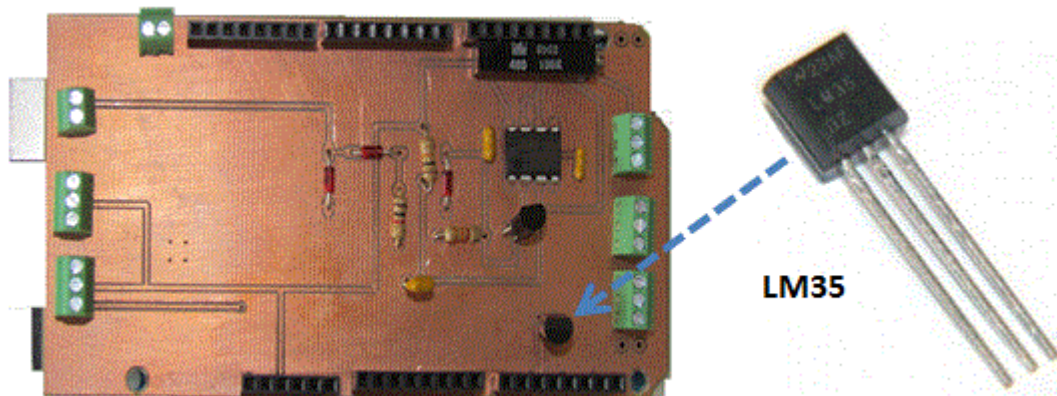
Laajakaista lambda seossuhteet on kalibroitu volttien määrän kanssa. Optimaalinen seossuhde on 14,7. Puhtaan ilman seossuhde on 20,7. Lambda alue on määriteltä käyttöliittymässä 7 - 23.



KUVIO 7. Anturin kytkentä lohkokaavio

2.1.7 Lämpötila-anturi

Dynamometrin tuottama tehokäyrä on lämpötilariippuvainen. Mittausjärjestelmään on liitetty analoginen lämpötila-anturi LM35, jolla mitataan testaustilan lämpötila. Lämpötilan avulla varmistetaan se, että saadaan tarkka ja vertailukelpoinen tieto moottorin tehosta.

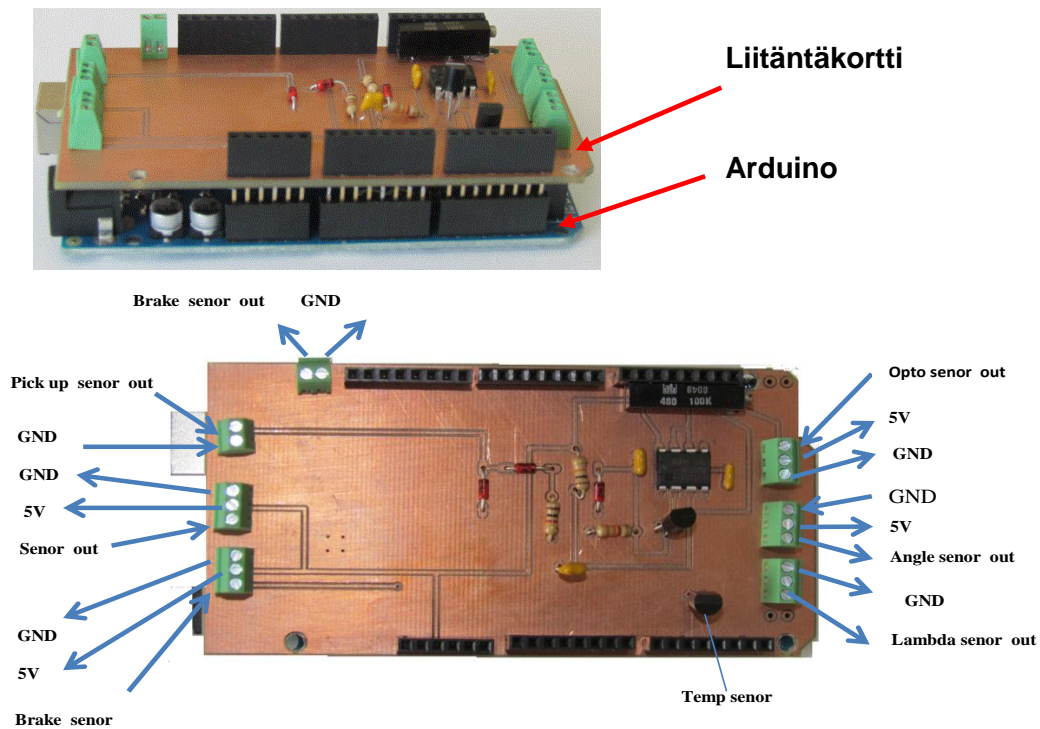


KUVIA 7. Anturin kytkentä (Valokuva, Berat Polat)

LM35 -anturin alue on 0 - 150 astetta, mikä sopii hyvin huoneen lämpötilan mittaamiseen.

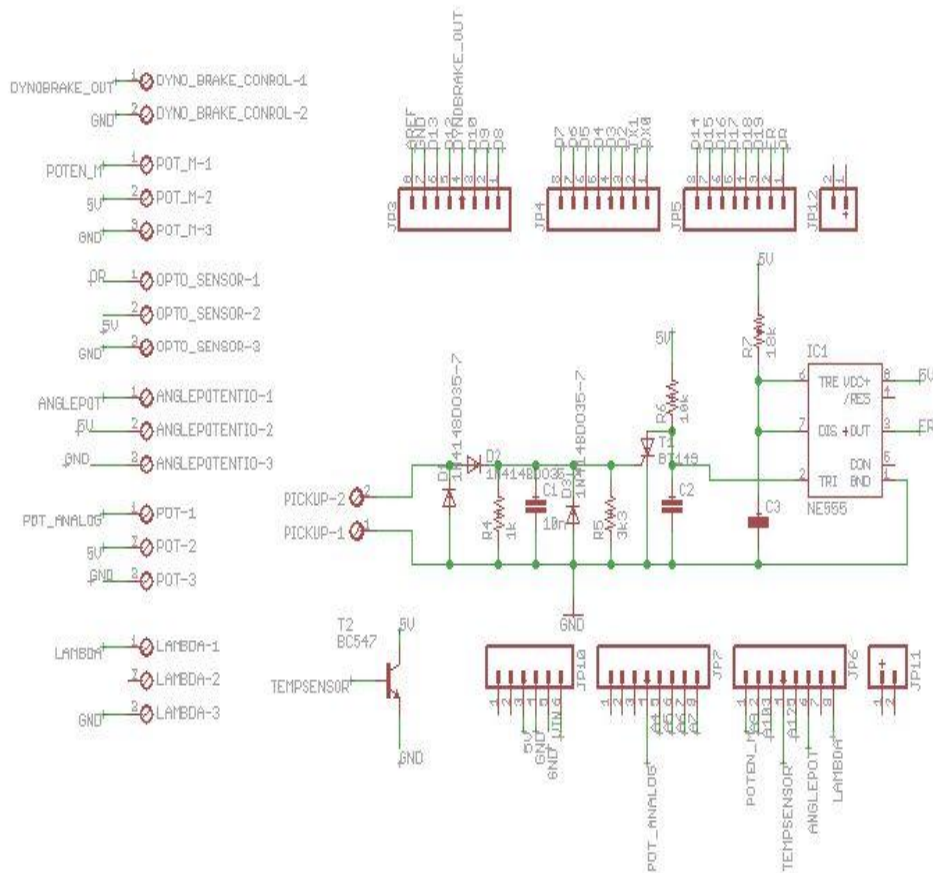
2.2 Liitäntäkortti

Liityntäkortti yhdistää anturit kehitysalustana toimivalle Arduino -kortille, ja sen kautta anturit saavat mm. käyttöjännitteensä. Kortti sisältää lisäksi mm. induktiivisen anturin lähtösignaalin muokkaukseen käytetyn ajastinpiirin 555 monostabiili-kytkennän ja lämpötila-anturin LM35. Liityntäkortti on sijoitettu suoraan Arduino-kortin päälle (KUVA 8).



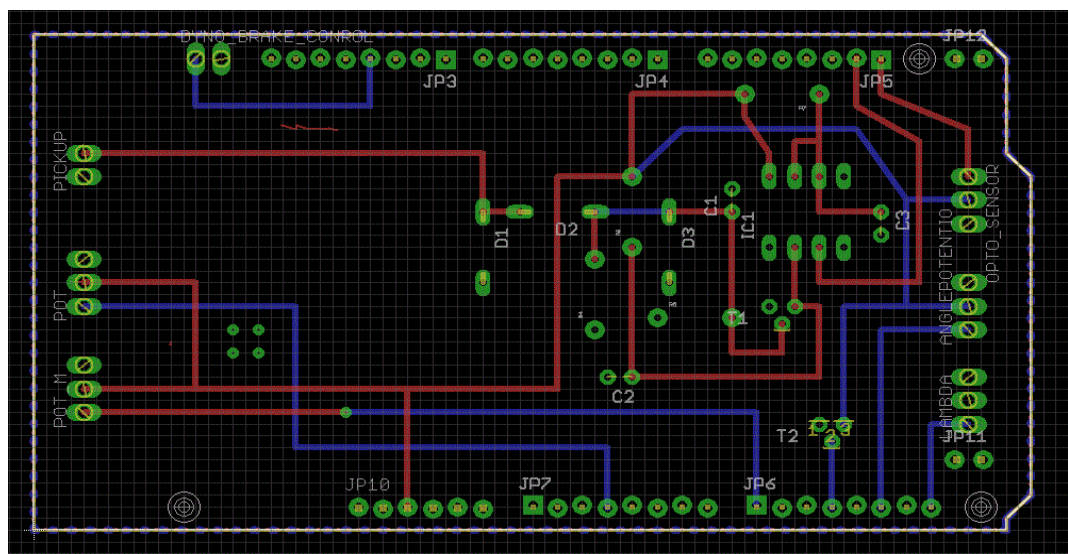
KUVA 8. Anturin kytkentä (Valokuva, Berat Polat)

Piirilevyn suunnitteluun käytin Eagle- suunnitteluohjelmaa. Eagle ohjelman käyttäminen oli helppoa. Koska minulla ei ollut aiempaa omakohtaista suunnittelukokemusta, piirilevyn suunnittelu vei aikaa. Koen kuitenkin, että opin oman suunnittelu myötä lisää elektroniikan suunnitteluun liittyviä käytännön taitoja. Protopiirilevy on tehty Savonian omalla kaivertavalla piirilevyjen valmistuslaitteistolla. Jos dynamometrin myöhemmin tuotteistetaan, on piirikortti päällystettävä suoja-pinnoitteella, johon lisätään tuotteelta vaadittava tekstipainatus.



KUVA 9. Rajapinnan kytkentä (Valokuva, Berat Polat)

Arduinolla on valmiiksi mitattu piirilevyn koko. Sen perusteella oli helppo tehdä piirilevy.



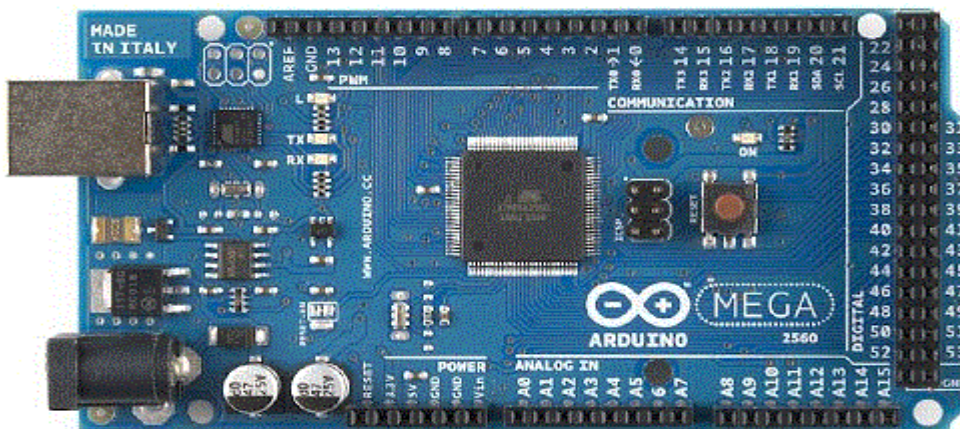
KUVA 10. Liitântäkortin kytkennän piirilevy (Valokuva, Berat Polat)

2.3 Ohjelmointi

Ohjelmointi on tärkeä osa dynamometrijärjestelmää. Tässä työssä keskityttiin kehitysalustan, antureiden ja käyttöliittymän ohjelmointiin sekä pelin grafiikkaa..

2.3.1 Kehitysalusta

Avoimeen lähdekoodiin tukeutuvana Arduino on monipuolinen ja mielenkiintoinen mikroprosessorien kehitysalusta. Sen avulla on mahdollista toteuttaa niin yksinkertaisia kuin vaativiakin laiteprototyyppisiä. Arduino-alustat ovat yleisesti ottaen helppoja ohjelmitavia, sillä useista versioista löytyy FTDI:n USB -sarjajohdonpiiri. Erillistä ohjelmointikaapelia (esim. ICSP) ei tarvita, joten ainoa investointi Arduino-levyn lisäksi on USB -kaapeli. Arduino-ympäristö soveltuu muiltakin osin aloittelijoille. Koko Arduino-projektin idea on ollut helppokäyttöisyys sekä koodin ja ohjeiden esteetön jakaminen. Valmistaa koodia löytyykin paljon, ja mikäli kehittäjä törmää ylitsepääsemättömään ongelmaan, apua voi aina kysyä. Arduinon sivuilta löytyy kaikkien avuksi kasattu Playground-osio, johon käyttäjät voivat postittaa omia koodinpätkiä ja ohjeitaan. Arduino-ohjelmointialustojen ytiminä ovat Atmelin AVR-mikrokontrollerit. Eri alustoilla käytetään eri mikrokontrollereita, mutta yhteistä kaikille variaatioille on helppokäyttöisyys ja taattu yhteensopivuus ohjelmointiympäristön kanssa (KUVA 11). (Arduino, 2012)



KUVA 11. Arduino Mega (www.arduino.cc)

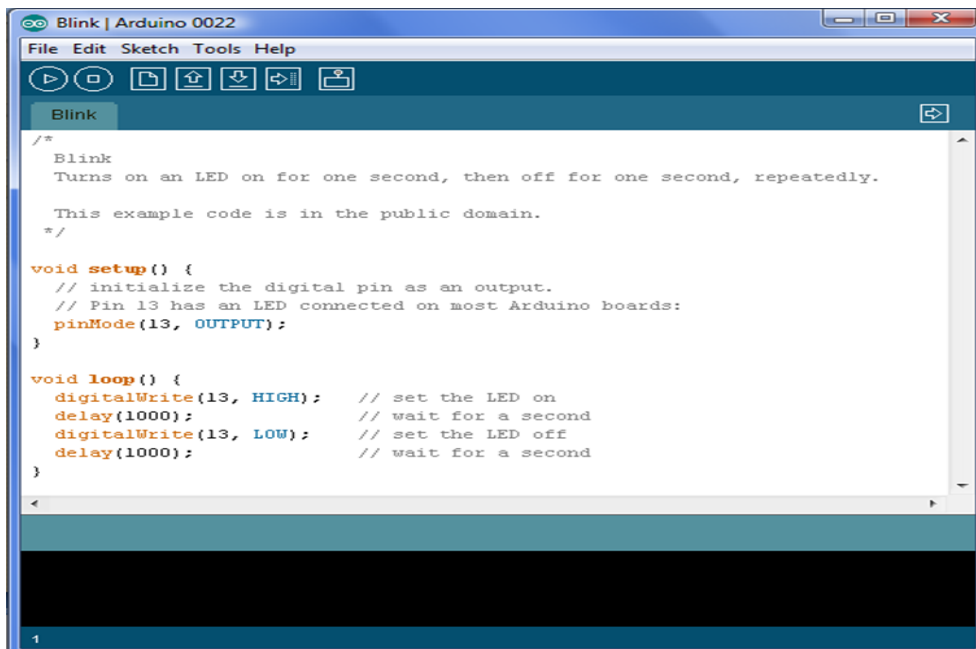
Arduino Megan tekniset tiedot :

- Mikrokontrollerikehitysalusta
- Mikrokontrolleri: Atmel ATmega1280

- Toimintajännite: 5V
- Suositeltu sisääntulojännite ulkoista virransyöttöä käytettäessä: 7-12V
- 16 analogista sisääntuloa (ADC)
- 128 kilotavua flash-muistia, joista neljä kilotavua varattu Arduino-bootloaderille
- SPRAM: 8 kilotavua
- EEPROM: 4 kilotavu
- Kellotaajuus 16 MHz

2.3.2 Antureiden luenta

Arduinon kehityskortteja voidaan ohjelmoida helppokäyttöisessä kehitysympäristössä, joka on saatavilla Windows-, Linux- ja Mac OS X –käyttöjärjestelmille (kuva x). Arduino IDE:n tarjoaa runsaan joukon makrotason funktioita, joilla pääsee helposti alkuun. Ohjelmointia ei tehdä rekisteritasolla, mikä helpottaa selvästi aloittelijan elämää. Ohjelmointi tapahtuu C-kielellä, mutta myös konekielisten käskyjen liittäminen C-koodin joukkoon on mahdollista.



```

Blink | Arduino 0022
File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

  This example code is in the public domain.
  */

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);           // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  delay(1000);          // wait for a second
}

```

KUVA 12. Arduino ohjelmointi ohjelma (www.arduino.cc)

Sekä optohaarukalta että induktiiviselta anturilta saatavat tieto on digitaalista pulssi-tietoa. Anturit luetaan käytetään input capture- keskeytystoimintoa. Arduino Megas-

sa on tähän tarkoitukseen 4 keskeytystuloa: numerot 2 (pin21), 3 (pin20), 4 (pin19) ja 5 (pin18). Luenta tehdään makrofunktiolla ”**attachInterrupt (interrupt, function, mode)**”. Ulkoisen keskeytyksen tapahtuessa kutsutaan määritelty funktio. Parametrit ovat interrupt, funktio ja mode. (Arduino, 2012)

interrupt: Keskeytyksen pinnin numero.

funktio: Tämä funktio kutsutaan kun keskeytys tapahtuu. Tämä funktio ei saa ottaa parametrejä tai palauttaa mitään.

mode: Määrittää milloin keskeytys pitäisi käynnistää. Neljä vakiota on ennalta määritetty päteviksi arvoiksi.

- **LOW** käynnistää keskeytyksen, kun tulo on alhaalla.
- **CHANGE** käynnistää keskeytyksen aina, kun tulo muuttaa arvoa.
- **RISING** käynnistää keskeytyksen aina, kun tulossa on signaalin nouseva reuna.
- **FALLING** käynnistää keskeytyksen aina, kun tulossa on signaalin laskeva reuna

Esimerkkikoodi:

```
int pin = 13;
volatile int state = LOW;
void setup()
{
    pinMode(pin, OUTPUT);
    attachInterrupt(0, blink, CHANGE);
}
void loop()
{
    digitalWrite(pin, state);
}
void blink()
{
    state = !state;
}
```

Lambda-, jarrupaine-, lämpötila- ja kulma-antureiden lähtösignaalit ovat analogisia. Arduionolla on valmiita funktioita, joilla pystytään lukemaan analogisia tuloja. Käytettävä AD – muunnin on 10 bittinen. AD- muuntimen tulojännitealueena käytetään 0 – 5 voltia, mikä tarkoittaa sitä, että resoluutio on 5V / 1023 eli noin 4.9mV. Arduinolla on myös sellaisia funktioita, joilla pystytään antamaan ulos PWM signaaleja. Alla olevassa esimerkissä näkyy, että miten koodissa käytetään näitä funktiota. (Arduino, 2012)

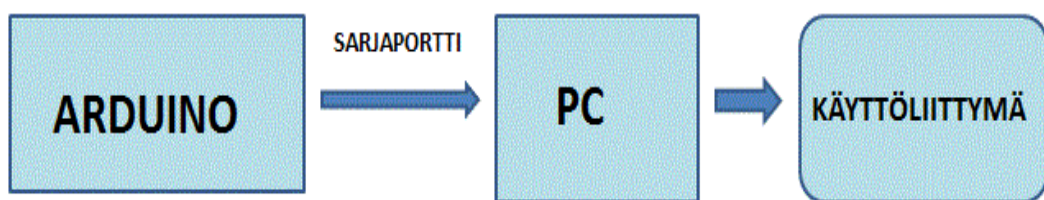
```

int ledPin = 9; // LED on kytketty digitaaliseen pinniin.
int analogPin = 3; // potentiometri on kytketty analogiseen pinniin 3
int val = 0; // Muuttujalle tallennetaan lukuarvoja
void setup()
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // asettaa pinnin ulostulon 0- 5v
}
void loop()
{
  val = analogRead(analogPin); // lukee sisään tulevaa jännitettä
  analogWrite(ledPin, val / 4); // kirjoittaa pinnin 9 analogRead:sta tuleva arvot 0 - 1023
  analogWrite seen 0 - 255(0-5v).
}

```

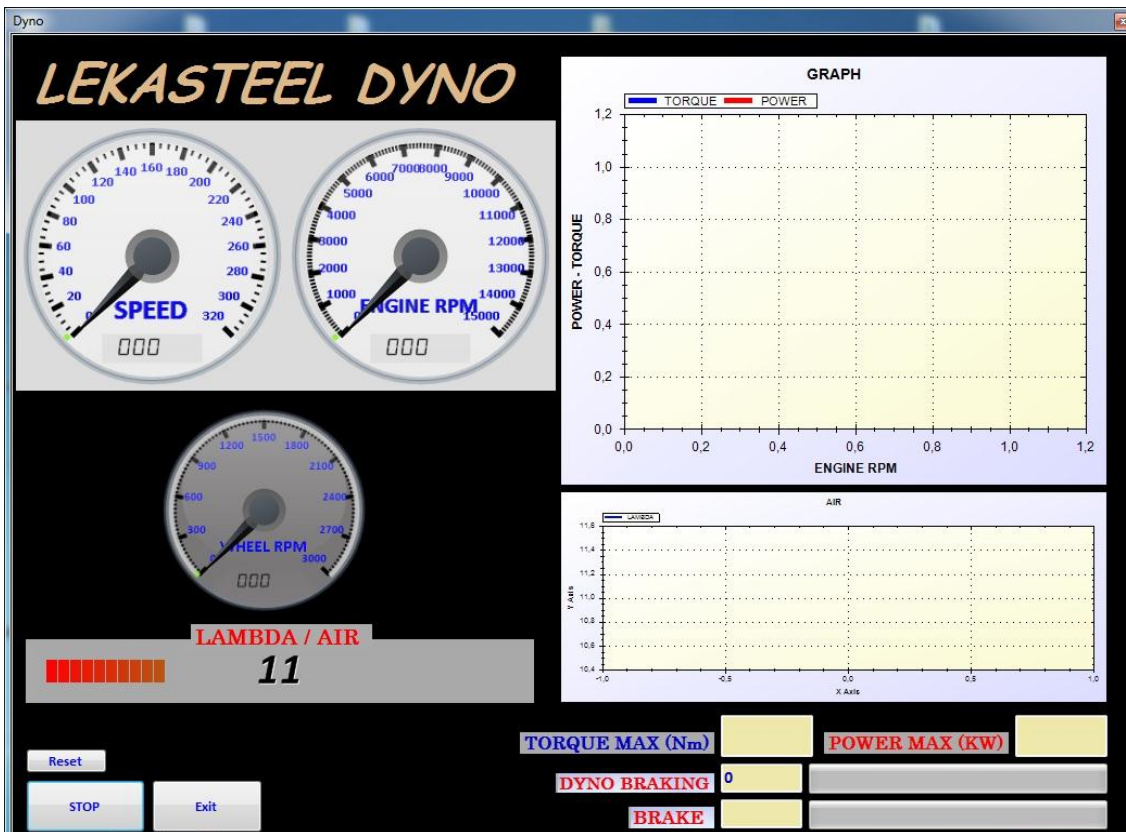
2.3.3 Käyttöliittymä

Käyttöliittymän suunnittelussa käytettiin Microsoft Visual Studio 2010 ohjelmaa. Ohjelmassa käytettiin koodi kielenä C sharp . Arduinon ja Pc:n välinen datayhteys käyttää sarjaporttia. Arduinolta tuleva data on merkkijono. Siirto-ohjelman avulla niitä siirrettiin käyttöliittymälle (KUVIO 8).



KUVIO 8. Käyttöliittymän lohkokaavio

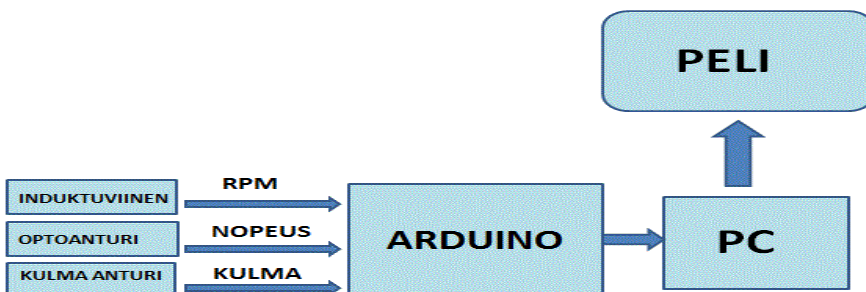
Työhöni liittyvässä käyttöliittymässä esitetään teho, vääntömomentti, lambda -anturin lukema, moottorin kierrosnopeus, moottoripyörän nopeus, jarrupaine ja jarrun tilanne. (KUVA 13). Teho, vääntömomentti ja lambda esitettiin graafisesti, muut arvot numeeroina.



KUVA 13. Käyttöliittymän näkymä (Valokuva, Berat Polat)

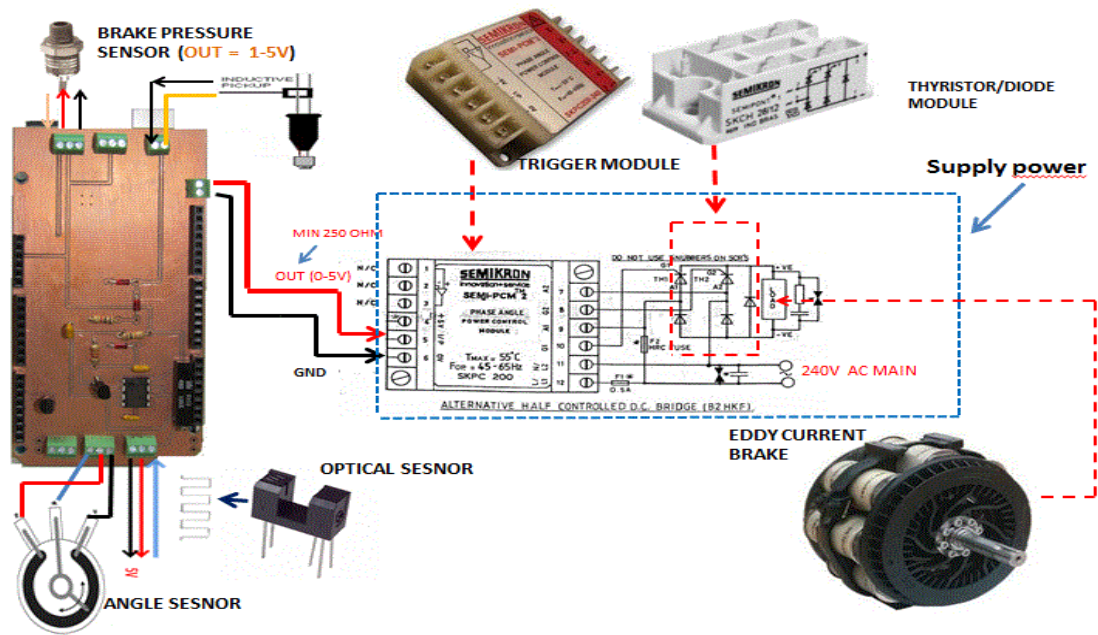
2.3.4 Peli

Peliä varten dynamometrissä siirretään ohjelmalle moottorin pyörimisnopeus, pyörän kallistuskulma ja jarrutukseen liittyvää tietoa. Itse pelin on ohjelmoinut toinen oppilas ja ohjelmointikielenä on käytetty unity3d-ohjelmaa.



KUVIO 9. Käyttöliittymän lohkokaavio

Peliä varten dynamometrissä käytetään induktiivista, optista, kulmaa ja paine anturoita (KUVA 14).



KUVA 14. Pelin näkymä (Valokuva, Berat Polat)

Pelissä oleva nopeus, RPM ja kulman lukemat ovat moottoripyörän todelliset arvot. (KUVA 15).



KUVA 15. Pelin näkymä (Valokuva, Berat Polat)

Laitteen prototyyppi on Suomessa ensimmäinen laatuaan oleva ajosimulaattori, joka yhdistää oikean moottoripyörän virtuaalimaailmaan. Dynamometrillä voidaan testata erilaisia pyörätyyppejä, sillä asiakkaan pyörä on helposti kiinnitettävissä säädettävään alustaan. Rata-ajon simuloinnissa moottoripyörä toimii ohjaimena ja pyörää ohjataan kallistamalla. Myös nopeus ja moottorin kierrosluvut tulevat todellisen no-

peuden ja kierroslukujen mukaan, jarruttamisen varten dynamometrissa on ajajan hallittava jarru. Dynamometri mahdollistaa myös kilpailun kahdella pyörällä vierekäin.

2.4 Fysiikka

Tehon, vääntömomentin ja nopeuden laskemista varten tarvittiin joukko fysiikan kaavoja.

2.4.1 Vääntömomentti

Vääntömomenttia laskettiin alla olevien kaavojen avulla. Tässä osassa on kaksi vääntöä; takapyörän ja moottorin. Moottorin väännön laskemista varten pitää laskea ensin takapyörän vääntö.

$$\text{Kulmanopeus : } \omega = 2\pi * RPS(\text{Kierros per sekunti}) \quad (1)$$

$$\text{Kulmakiiktyvyys: } \alpha = \frac{w_2 - w_1}{\Delta t} \quad (2)$$

$$\text{Takapyörän vääntömomentti: } = \alpha * J (\text{hitausmomentti}) \quad (3)$$

2.4.2 Teho

Teho-dynon teho lasketaan takapyörän vääntömomentin ja hetkellisen kulmanopeuden avulla. Takapyörän ja moottorin tehot ovat yhtä suuria. Teho lasketaan alla olevan kaavan mukaisesti. Moottorin vääntömomentti lasketaan tehon ja moottorin kulmanopeuden kanssa.

$$\text{Teho: } P = T * w_2 \quad (4)$$

$$\text{Moottorin vääntömomentti: } T_M = \frac{P}{2\pi * RPS_{\text{engine}}} \quad (5)$$

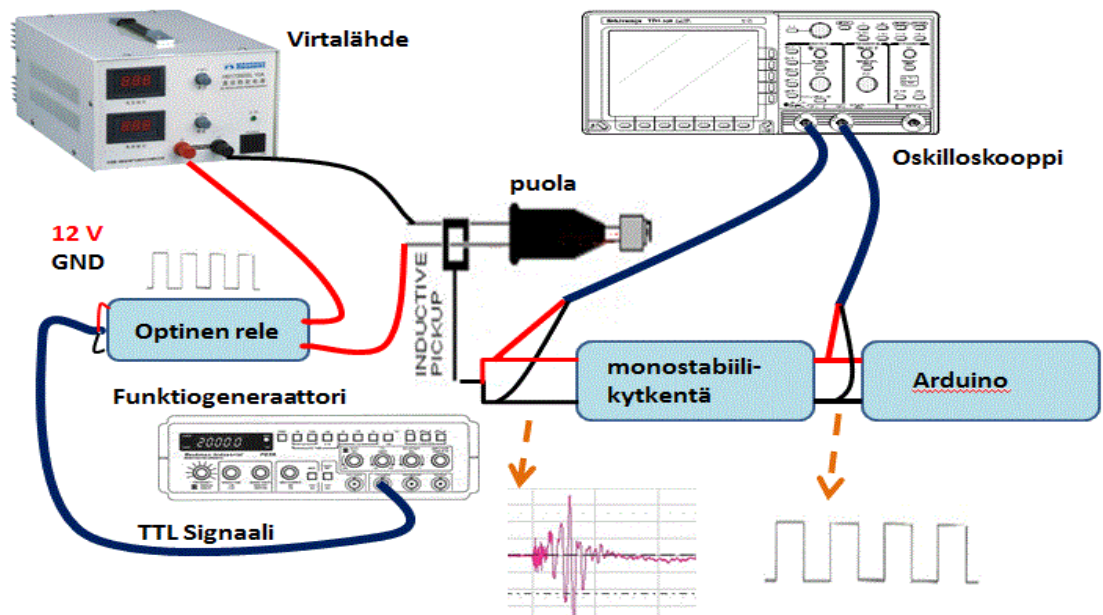
2.4.3 Nopeus

Nopeus lasketaan takapyörän pyörimisnopeuden RPS:n ja renkaan halkaisijan avulla. Tässä projektissa teho-dynon halkaisija oli 2,04 m.

Nopeus: $V = 2,04 * 3,6 * RPS$ (6)

2.5 Testaukset ja ongelmien ratkaisut

Testaamisesta muodostui kehitystyön vaativin ja aikaavievin osa. Testaukset jakautuvat kahteen osaan, laboratoriossa toteutettaviin todellista tilannetta simuloiviin testeihin ja varsinaisiin käyttöympäristössä tehtäviin testeihin. Ajallisesti testaukset vaativat kokonaistyöajasta noin 70 %. Erityisen vaativaksi osoittautui induktiivisen moottorin pyörimisnopeuden anturin liitännän testauksineen (Kuva 16).



KUVA 16. Induktiivisen anturin laboriotesti (Valokuva, Berat Polat)

Todelliset käyttötestit tehtiin Lekasteel Oy:n tiloissa Tuusniemellä. Lekasteel on 60 km päässä Kuopiosta. Välimatkan vuoksi Lekasteelilla toteutettiin 5 päivän mittaista testijaksoa.

Ongelmien ratkaisemiseksi käytettiin sekä elektroniikkaa liittyviä ratkaisuja että ohjelmallista häiriön suodatusta. Selvien häiriöpiikkien eliminointiin sovelsimme mediaanisuo datusta. Alla olevassa koodissa ja lukusarjalla näkyy mediaanisuo jauksen algoritmi.

Esitetään lukusarjalla kolmen pisteen mediaanisuo datuksen periaate:

Mittaustulokset: 9, 8, 10, 22, 12, 15, 13

1) Kolme ensimmäistä mittaustulosta ovat 9, 8 ja 10. Mediaaniarvo on **9**. Se sijoitetaan ajallisesti tuloksen 8 paikalle.

2) Liu'utetaan yksi pykälä eteenpäin, nyt alkuperäiset näytteet ovat: 8, 10 ja 22. Mediaaniarvo on **10**.

3) Liu'utetaan taas yksi pykälä eteenpäin, näytteet ovat nyt 10,22 ja 12. Mediaani on **12**.

Jolloin suodatettu mittausarja on **9, 10, 12** jne. Nyt nähdään, esimerkiksi arvo 22 suodattuu pois.

```
int mode(int *x,int n){

    int i = 0;
    int count = 0;
    int maxCount = 0;
    int mode = 0;
    int bimodal;
    int prevCount = 0;
    while (i<(n-1)) {
        prevCount=count;
        count=0;
        while (x[i]==x[i+1]) {
            count++;
            i++;
        }
        if (count>prevCount&count>maxCount) {
            mode=x[i];
            maxCount=count;
            bimodal=0;
        }
        if (count==0) {
            i++;
        }
        if (count==maxCount) { //If the dataset has 2 or more modes.
            bimodal=1;
        }
        if (mode==0 || bimodal==1) { //Return the median if there is no mode.
            mode=x[(n/2)];
        }
        return mode;
    }
}
```

3 YHTEENVETO

Opinnäytetyön lopputuloksena oli varsin hyvin toimiva moottoripyörän dynamometri pelisovellutuksineen. Järjestelmä oli mm. esillä helmikuun alussa moottoripyörämessuilla Helsingissä. Järjestelmän pienen lisäkehityksen myötä Lekasteel kykenee aloittamaan palveluna moottoripyörien kuntotestauksen. Lisäksi kehitetty järjestelmä luo mahdollisuuden käynnistää varsinaisen tuotteen kehittämisen, jos markkinanäkymät tätä puoltavat

Ongelmia opinnäytetyössä tuotti se että projekti muuttui koko ajan ja lisää vaatimuksia tuli koko ajan enemmän. Myös opinnäytetyöhön varattu aika oli suunniteltu huonosti.

LÄHTEET

Arduino. [www-sivu]. [Viitattu 12.01.2012] Saatavissa:
<http://www.arduino.cc>

Atmel. [www-sivu]. [Viitattu 16.01.2012] Saatavissa: