



# **KANDIDAATINTYÖ**

**Formula Student -auton sähköjärjestelmän suunnittelu ja valmistus**

Leevi Halme

Ohjaaja: Jari Hannu

**ELEKTRONIIKAN JA TIETOLIIKENNETEKNIIKAN TUTKINTO-  
OHJELMA  
2021**

**Halme L. (2021) Kandidaatintyö.** Oulun yliopisto, Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan tutkinto-ohjelma. Kandidaatintyö, 23 s.

## TIIVISTELMÄ

Työssä tutustutaan Formula Student auton sähköjärjestelmän suunnitteluun ja valmistukseen. Kyseinen auto käyttää voimanlähteenään 4-sylinteristä 600 kuutioista moottoripyörän moottoria ja työssä perehdytään kyseisen moottorin ja MaxxECU PRO -moottorinohjaimen vaatimiin anturointeihin, toimilaitteisiin sekä itse johtosarjan suunnitteluun.

Työssä suunnitellaan sähköjärjestelmä alusta alkaen sekä myös valmistetaan koko paketti. Koska työssä joudutaan menemään budjetti edellä, tiettyjä välttämättömyyksiä on jouduttu karsimaan ja työssä keskitytään enemmän pakollisten toimilaitteiden ja anturien valintaan.

Lopputuloksena saatiin valmistettua toimiva sähköjärjestelmä, vaikkakin joitain parannuskohteita siitä löydettiin jo melko pian valmistuksen jälkeen. Tämän päälle on kuitenkin helppo lähteä suunnittelemaan seuraavaa kehitysversiota sekä telemetriapakettia.

**Avainsanat: Sähkötekniikka, Formula Student, sähköjärjestelmä, suunnittelu, valmistus.**

**Halme L. (2021) Bachelor's thesis.** Degree Program in Electronics and Communications Engineering, University of Oulu, Oulu, Finland. Bachelor's thesis, 23 p.

## **ABSTRACT**

This thesis dives into the world of designing and manufacturing an electrical system for Formula Student car. This race car uses 4-cylinder 600cc motorbike engine as its power source. In this thesis we take a look at sensors and electrical devices required by engine and MaxxECU PRO engine management unit. We also design our own wiring diagram for the whole system.

We design and manufacture the whole electrical system from the beginning. Since we need to keep our eyes on the budget whole time, we will need to drop out some unnecessary and focus on the necessary sensors and devices.

As result we got working electrical system. Some targets of improvement were found, but the base is good, and it will be easy to design new, even better version on top of this system.

**Key words: Electrical engineering, Formula Student, electrical system, design, manufacturing**

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT .....	3
SISÄLLYSLUETTELO .....	4
LYHENTEET.....	5
1. JOHDANTO.....	6
2. SÄHKÖJÄRJESTELMÄ .....	7
2.1. Sähköjärjestelmä kuluttaja- ja kilpa-ajoneuvossa .....	7
3. SÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....	8
3.1 Moottorinohjaus .....	8
3.1.1 Moottorinohjausyksikkö.....	8
3.1.2 Sytytyksen ohjausyksikkö .....	9
3.2 Anturoinnit .....	10
3.2.1 Rengasnopeusanturit .....	10
3.2.2 Lambda.....	13
3.2.3 Öljynpaine .....	13
3.2.4 Jäähdytinnesteen lämpötila .....	13
3.2.5 IAT – imuilman lämpötila-anturi .....	15
3.2.6 RPM – kierrosnopeuden mittaus .....	15
3.2.7 TPS – kaasuläpän asennon mittaus .....	15
3.2.8 Törmäysanturi .....	15
3.2.9 BOTS – jarrupolkimen ylimenokytin.....	16
3.2.10 Polttoaineen mittaus .....	17
3.2.11 Jarrupaineen mittaus.....	18
3.3 Toimilaitteet .....	19
3.3.1 Moottorin jäähdytysjärjestelmä.....	19
3.3.2 Latausjärjestelmä ja akku .....	19
3.3.3 Sytytys- ja polttoainejärjestelmä .....	19
3.3.4 Muut toimilaitteet.....	20
3.4 Johtosarja.....	20
3.4.1 Johdinten poikkipinta-alat .....	20
3.4.2 Johtosarjan valmistus .....	21
4. TOTEUTUS JA TULOKSET .....	23
5. YHTEENVETO .....	24
6. LÄHTEET .....	25
7. LIITTEET.....	26

## LYHENTEET

IAT	Intake air temperature, imuilman lämpötila
RPM	Revolutions per minute, kierrosnopeus
TPS	Throttle position sensor, kaasuläpän asentoanturi
ECU	Engine Control Unit, moottorinohjausyksikkö
BOTS	Brake Over Travel Switch, jarrupolkimen ylimenokytin
NTC	Negative temperature coefficient, negatiivinen lämpötilakerroin
MEMS	Micro Electromechanical Systems, mikrosysteemi
VR	Variable Reluctance, muuttuva reluktanssi
CAN	Controller Area Network, automaatioväylä
LiFePo4	Litium-rautafosfaatti

# 1. JOHDANTO

Työssä tutustutaan Formula Student auton sähköjärjestelmän suunnitteluun ja valmistukseen. Formula Student on kansainvälinen insinööritaitojen kilpailu, jota sponsoroivat eri autoalan yritykset sekä SAE International, joka on autoinsinööriiliittojen kattojärjestöjä.

Yhdysvalloista lähtönsä saanut kilpailu on levinnyt laajalti ympäri maailmaa, ja jo yli 800 tiimiä kilpailee korkeakouluopiskelijoille suunnatussa maailman suurimmassa insinööritaitoja mittaavassa kilpailussa. Jokainen talli suunnittelee ja valmistaa oman pienen formulatyylisen kilpa-auton, joilla kilpaillaan dynaamisissa ja staattisissa kilpailuissa, joissa sekä insinööri- että markkinointitaidot joutuvat koetukselle.

Auton suunnittelua on rajattu hyvin vahvasti säännöillä, joilla pyritään varmistamaan sekä kuljettajien turvallisuus, että tasapuolinen kilpailu, huolimatta erittäin suurista budjettieroista. Yksi tärkeimmistä säännöistä rajaa auton käytön vain yhteen vuoteen. Tällä tavoin pyritään varmistamaan kehitystyön jatkuminen myös tulevana kautena.

Sähköjärjestelmä itsessään on olennainen osa mitä tahansa modernia polttomoottorilla toimivaa kulkuneuvoa. Nykyaikainen sähköjärjestelmä sisältää usein paljon erilaisia antureita sekä toimilaitteita toiminnan kannalta välttämättömien laitteiden lisäksi.

Tavoite on suunnitella ja valmistaa luotettava sähköjärjestelmä, joka selviää tulevan kesän koeitoksista ja, jonka pohjalta on mahdollista jatkokehittää tulevien autojen sähköjärjestelmiä eteenpäin. Pyrkimys on pitää kokonaisuus mahdollisimman kevyenä, mutta kuitenkin budjetin sallimissa rajoissa. Tämä tarkoittaa, että ihan kaikkia haluamiamme anturointeja ei välttämättä voida toteuttaa, joten prioriteettina onkin välttämättömät anturoinnit ja toimilaitteet.

## 2. SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

### 2.1. Sähköjärjestelmä kuluttaja- ja kilpa-ajoneuvossa

Modernissa kuluttajakäyttöön tarkoitettussa autossa sähköjärjestelmällä on suuri merkitys ajoneuvon toiminnan ja miellyttävän ajokokemuksen kannalta. Nykyisin lähestulkoon jokaisessa polttomoottorikäyttöisessä autossa on sähköisesti ohjattu ruiskumoottori, jonka toiminnasta huolehtii moottorinohjainyksikkö. Moottorinohjainyksikkö on pienikokoinen tietokone, joka huolehtii moottorin toiminnasta eri tilanteissa.

Toimiakseen auton moottori vaatii muutamia antureita, jotka kertovat moottorinohjaimelle olennaisia tietoja, joiden avulla ohjain määrittää ruiskutuksen ja sytytyksen ajoitukset kohdilleen tiettyjen sille ohjelmoitujen karttojen avulla. Antureiden ja ohjainyksikön lisäksi moottori vaatii vähintään sytytys- ja polttoainejärjestelmän, joka yleisimmin koostuu suuttimista, puolista sekä polttoainepumpusta. Suurin osa kuluttaja-ajoneuvoista sisältää myös monia anturointeja, jotka eivät moottorin toiminnan kannalta ole välttämättömiä, mutta joiden avulla kuljettaja saa tietoa auton toiminnasta kullakin hetkellä. Esimerkiksi nopeustieto ja ulkoilmassa vallitseva lämpötila ovat tietoja, joita moottori ei tarvitse toimiakseen, mutta jotka ovat kuitenkin nähtävillä melkein kaikkien autojen kojetauluissa.

Kuluttajan kannalta hyvin olennaisia asioita ovat myös käyttöä helpottavat toimilaitteet. Esimerkiksi starttimoottori, jonka avulla auto saadaan käynnistettyä virtalukossa avainta kääntämällä, tai tuulilasinpyyhkijät, ovat hyviä esimerkkejä toimilaitteista, jotka parantavat kuluttajan kokemusta auton parissa. Toimilaitteista kuitenkin tärkeimpiä moottorin toiminnan kannalta ovat puolien ja suuttimien lisäksi bensapumppu ja jäähdytysjärjestelmä, jotka yhdessä pitävät huolta moottorin toiminnasta.

Puhuttaessa kilpa-ajoneuvosta, joudutaan suunnittelussa ottamaan huomioon monia eri asioita kuin kuluttaja-ajoneuvon parissa. Kuluttajalle auton massalla ei ole samanlaista merkitystä kuin kilvanajossa, joten autoon voidaan sisällyttää edellä mainittuja käyttäjälle mieluisia ominaisuuksia. Kilpaillessa taas auton massa on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista, sillä tehopainosuhte pyritään maksimoimaan sekä tehoa kasvattamalla, että auton massaa vähentämällä. Kilpa-ajoneuvossa myös moottorinohjain eroaa jonkin verran kuluttajakäyttöön suunnitelluista ohjaimista ja muun muassa sen säätäminen on paljon vapaampaa ja helpompaa.

Kilpa-autoissa pyritään jättämään kaikki ylimääräinen pois ja pitäydytään vain tärkeimmissä anturoinneissa ja toimilaitteissa, joiden hyötypainosuhte on mahdollisimman suuri. Näitä ovat esimerkiksi jäähdytysjärjestelmä ja jarruvalo, joka on useassa kilpasarjassa pakollinen varuste. Sähköjärjestelmä tulee myös tehdä mahdollisimman yksinkertaiseksi toimivuuden vuoksi, sillä mitä useampia toimilaitteita tai antureita autoon asennetaan, sitä useampia mahdollisia vikakohteita autoon luodaan.

### 3. SÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Sähköjärjestelmän suunnittelu aloitettiin tarpeellisten anturointien ja toimilaitteiden määrittämisellä. Lyhyesti anturoinnit ja toimilaitteet voidaan jakaa kahteen osaan: toiminnan kannalta välttämättömät sekä datankeruun ja helppokäyttöisyyden kannalta hyödylliset. Moottorin toiminnan kannalta kriittisiä antureita ovat ne, jotka mittaavat moottorin ajoitusta, imuilman määrää, imusarjan painetta, pakokaasun happipitoisuutta, voimansiirron tulo- ja lähtönopeutta, sekä kaasuläpän asentoa [1, s. 2]. Toimilaitteista välttämättömiä ovat vain sytytyksen, polttoaineen syötön sekä jäähtyksen hoitavat laitteet. Kuitenkin moottorin tehokkaan toiminnan ja kestävyuden kannalta välttämättömien anturointien ja toimilaitteiden lisäksi on syytä lisätä muutamia muita antureita ja toimilaitteita, jotka tuottavat dataa. Saadun datan perusteella voidaan havaita moottorin vikatiloja ennen moottorin rikkoontumista tai jotka toimivat kuljettajan apuna ajon aikana. Hyviä esimerkkejä hyödyllisistä, joskaan ei välttämättömistä antureista ja toimilaitteista ovat öljynpaineanturi ja starttimoottori. Moottorinohjain itsessään ei tarvitse öljynpaine-tietoa toimintaan, mutta kuljettajalle öljynpaine on tärkeä tieto, jotta voidaan havaita mahdollinen vika moottorissa, ennen sen lopullista hajoamista. Samaten starttimoottori ei ole välttämätön, ajoneuvo voidaan käynnistää myös ulkoisella voimanlähteellä, kuten työntämällä tai erillisellä startterilla, joka korvaa moottorissa kiinni olevan starttimoottorin.

#### 3.1 Moottorinohjaus

##### 3.1.1 Moottorinohjausyksikkö

Moottorinohjausyksikkö ohjaa käytännössä kaikkea elektroniikkaa autossa. Se kerää antureilta dataa, jonka avulla ohjataan kaikkia auton toimilaitteita ja moottorin toimintaa.

Moottorinohjausyksiköksi valikoitui MaxxECU PRO -malli [2], jonka saimme sponsoriltamme käyttöön. Kyseinen moottorinohjausyksikkö, tai lyhennettynä ECU, sisälsi kaikki meidän tarvitsemamme ominaisuudet. Hyvä puoli oli myös moottorinohjaimen mukana tulevan helppokäyttöinen tietokoneohjelma, jonka avulla moottoria säädetään.

Kyseinen moottorinohjain on erittäin vapaasti säädettävä, ja se antaa lisäksi käyttäjälle todella laajat anturointimahdollisuudet, sekä mahdollisuuden tallentaa anturoinneista kerättävää dataa moottorinohjaimen muistiin myöhempää tarkastelua varten.



Kuva 1. MaxxECU Pro moottorinohjainyksikkö ohjaa auton elektroniikkaa

### ***3.1.2 Sytytyksen ohjausyksikkö***

Sytytyksen ohjausyksikkö luotiin korvaamaan mekaaniset katkojat polttomoottoreissa. Yksikkö toimittaa siis katkojan virtaa ja sen tehtävä on katkoa puolille menevää virtaa moottorinohjaimen lähettämän signaalin mukaisesti. Tämä signaali määrittää sytytysjärjestyksen, sytytyksen ajoituksen, sekä sen keston.

Sytytyksen ohjausyksikkö voitaisiin myös rakentaa suoraan moottorinohjaimen sisälle, mutta tämä ei yleensä ole suositeltavaa, sillä viallinen puola voi särkeä ohjausyksikön ja tällöin korjaaminen olisi vaikeampaa, kuin irrallisen yksikön kanssa. Pahimmassa tapauksessa vika voisi johtaa koko moottorinohjausyksikön vaihtoon.

Yleistymässä ovat myös sisäisen ohjauksen omaavat puolat, eli niin sanotut ”älypuolat”. Näissä katkontaan tarvittava elektroniikka on rakennettu jokaiseen puolaan erillisenä. Tällöin vikatilanteessa riittää yksittäisen puolan vaihtaminen.

Valintaan eri toteutustapojen välillä vaikuttaa useat seikat: ajoneuvon käyttötarkoitus, osien hinnat sekä komponenteille varattu tila. Meidän käytössämme sisäisen ohjauksen omaavat puolat olisivat olleet sekä tilan, että johdotuksen puolesta helpoin ratkaisu, mutta oli kustannustehokkaampaa käyttää jo olemassa olevia puolia sekä sytytyksen ohjausyksikköä.

## 3.2 Anturoinnit

Anturit muodostavat autolle ikään kuin hermoverkon, jonka avulla moottorinohjain ja kuljettaja saavat tärkeää tietoa auton toiminnasta. Osa antureista ovat välttämättömiä modernin polttomoottorin toiminnan kannalta. Osa antureista sen sijaan antaa informaatiota, jonka avulla moottorin toimintaa voidaan optimoida ja jonka avulla kuljettaja voi todeta kaiken olevan kunnossa tai kykenee havaitsemaan ongelman ennen kuin on liian myöhäistä.

Koska jouduimme menemään budjetti edellä, osa ei välttämättömistä antureista on jätetty pois, muun muassa jousituksen ja ohjausakselin anturoinnit jouduimme jättämään myöhempään kehitysversioon.

### 3.2.1 Rengasnopeusanturit

Rengasnopeusantureita käytimme autossa joka pyörälle. Näiden yhdistelmästä saadaan mittaristolle tieto auton hetkisestä nopeudesta. Renkaiden nopeustietoa voidaan käyttää myös luistonestojärjestelmän toteuttamiseen. Käytössä oleva ECU antaa mahdollisuuden toteuttaa luistoneston helposti oman ohjelmansa avulla, kun jokainen pyörä on anturoitu.

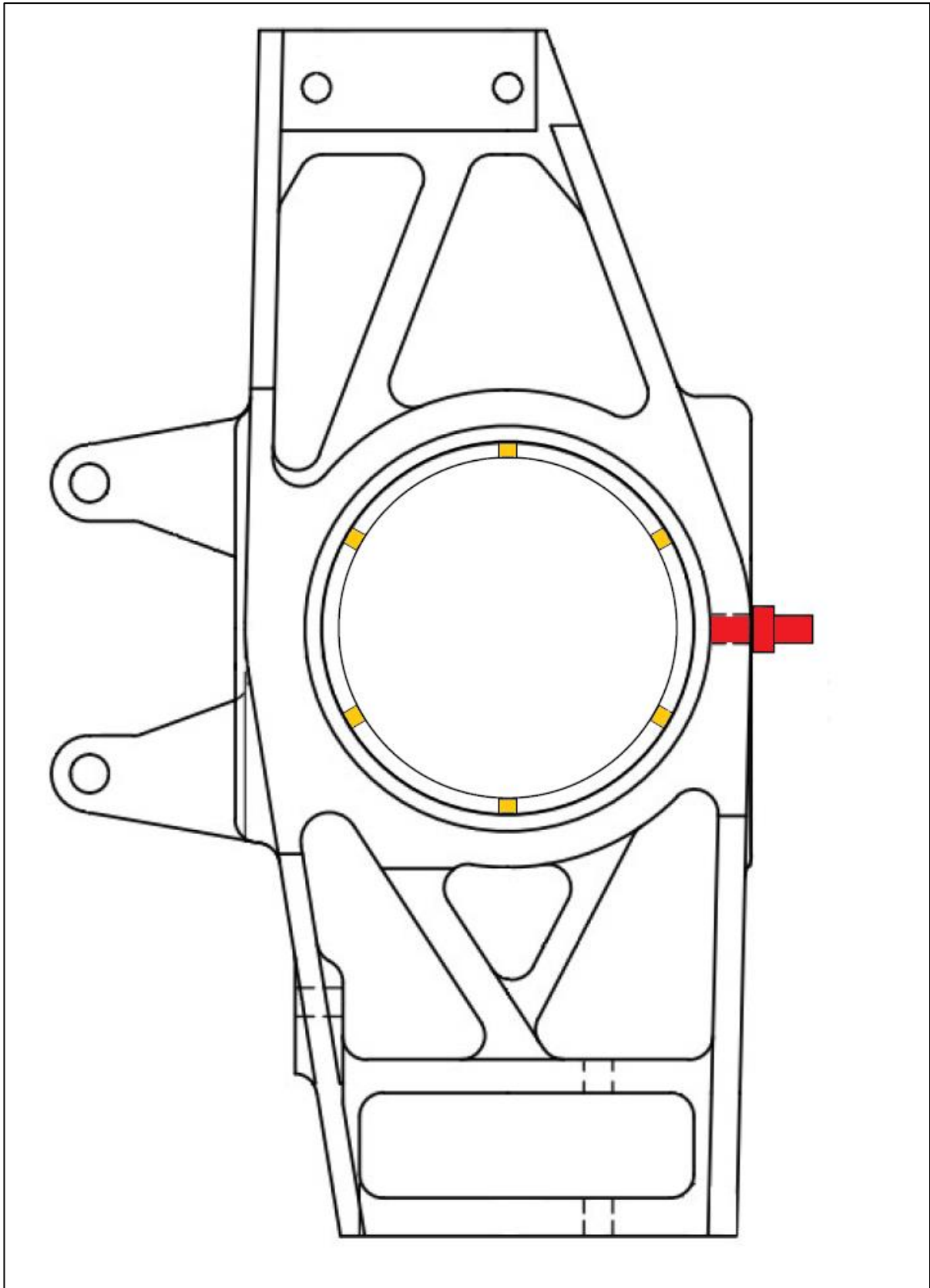
Käytännössä luistonesto lukee jokaisen renkaan nopeustiedon ja vertaa sitä muiden renkaiden nopeustietoon. Kun havaitaan, että vetävien pyörien nopeus on suurempi, kuin ei vetävien pyörien, ohjelmisto toteaa pyörien pyörivän osan ajasta tyhjää ja alkaa tällöin vähentämään moottorin tehoa suhteesta luiston määrään. Ohjelmiston avulla voidaan myös säätää luiston ja tehonleikkauksen välistä suhdetta.

Anturiksi valittiin NJK 5002C, joka on Hall-ilmiön avulla toimiva läheisyysanturi ja se tunnistaa magneetin aiheuttaman kentän 10–20 mm etäisyydeltä. Hall-ilmiössä magneettisen kentän lisääminen johtimeen, jossa kulkee magneetikenttään nähden kohtisuora sähkövirta, aiheuttaa pienehkön jännitteen syntymisen johtimeen. [3, Ch1] Syntyvän jännitteen polariteetti riippuu magneetikentän suunnasta.

Renkaan pyörivään napaan tehtiin triggerikehä, jossa on tasaisin välein kuusi magneettia. Kun magneetti tulee läheisyysanturin kohdalle, lähettää se signaalin eteenpäin moottorinohjaimelle ja sitä kautta myös mittaristolle. Signaalien välisestä ajasta saadaan selville renkaan pyörimisnopeus ja täten myös auton liikkumisnopeus tilanteessa, jossa kyseinen rengas ei luista.



Kuva 2. Anturi asennettuna paikalleen



Kuva 3. Piirroskuvassa anturi merkittynä punaisella ja magneetit keltaisella

### **3.2.2 Lambda**

Lambda-anturin, toiselta nimeltään happianturi, tehtävä on mitata pakokaasujen happipitoisuutta. Tätä tietoa moottorinohjain käyttää avukseen määrittäessään moottorille annettavan ilman ja polttoaineen seossuhdetta. Lambda anturiksi valittiin Boschin anturi osanumerolla 0258017025 [4]. Kyseinen anturi on laajakaista-anturi, jonka toiminta perustuu zirkoniumdioksidin käyttöön. Laajakaistaisen anturin hyöty tulee esille erityisesti moottorin säätöjä tehdessä, siinä missä kapeamman mittausalueen anturien toiminta optimaalisen seoksen lähiympäristössä on hyvin jyrkkää, laajakaistainen anturi antaa tässä tilanteessa tarkempaa tietoa seoksen laadusta myös siirryttäessä kauemmaksi stoikiometrisestä pisteestä. [5, s. 252]

Optimaalinen seos, eli niin sanottu stoikiometrinen piste ( $\lambda=1$ ) saavutetaan, kun polttoaine ja happi palaa täydellisesti.  $\lambda$  kuvaa seossuhdetta, kun arvo on pienempi kuin 1, kutsutaan seosta rikkaaksi ja vastaavasti yli 1 menevää suhdetta kutsutaan laihaaksi. Rikkaassa suhteessa polttoainetta on liikaa ja osa siitä jää palamatta, kun taas laihaassa suhteessa polttoainetta on liian vähän ja happiarvo anturilla kasvaa. [5, s. 10]

### **3.2.3 Öljynpaine**

Öljynpainetieto on yksi tärkeimmistä antureiden tuottamasta datasta, joka ei ole moottorin toiminnan kannalta välttämätön. Anturi antaa kuljettajalle tiedon, mikäli öljyn paine nousee liian korkeaksi tai laskee liian matalaksi, yleensä jälkimmäinen viittaa öljyvuotoon tai ongelmaan öljyn kierrossa. Anturina päätettiin käyttää Triumphin alkuperäisosaa, osanumeroltaan T1210527. Kyseessä oleva anturi on yksinkertainen painekeytkin, joka sulkee piirin paineen kasvaessa tarpeeksi suureksi tai laskiessa riittävän pieneksi. Piirin sulkeutuessa moottorinohjain saa tapahtumasta tiedon ja välittää sen mittaristolle ja merkkivalo syttyy, jotta kuljettaja huomaa lopettaa ajamisen.

### **3.2.4 Jäähdytinnesteen lämpötila**

Jäähdytinnesteen lämpötila-antureita autossa on kaksi kappaletta, joista toinen mittaa nesteen lämpöä moottorilla ja toinen jäähdyttimen päässä. Nesteen lämpötila kertoo moottorin yleisestä lämpötilasta ja sen avulla voidaan säätää jäähdytysjärjestelmän toimintaa. Moottorin ja jäähdytysjärjestelmän lämpötilan tarkkailu on tärkeää, sillä lämpötilan perusteella määräytyy milloin jäähdytysjärjestelmän tuulettimet ja vesipumppu käynnistyvät.

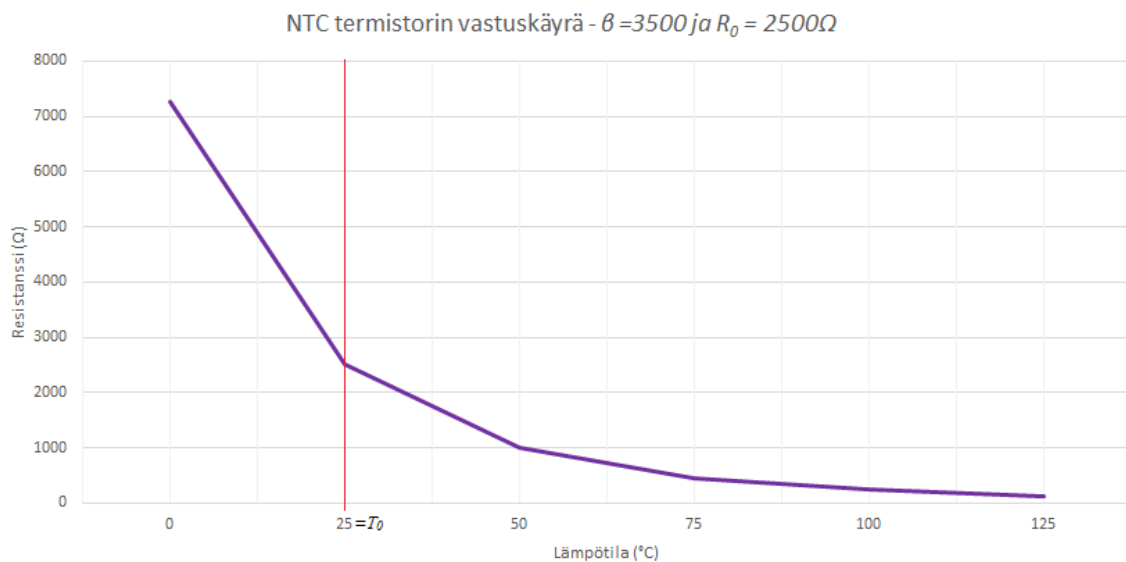
Moottorin päässä olevaksi anturiksi päätimme valita Triumphin alkuperäisen anturin, tällä tavoin vältimme yhteensopivuusongelmat. Valinta oli myös taloudellisesti järkevä, koska anturi tuli moottorin mukana. Jäähdyttimen päähän valitsimme anturiksi FACET:n 1.830.165 anturin[6, s. 59].

Molemmat anturit ovat NTC-termistoreja eli negatiivisen lämpötilakertoimen omaavia vastuksia, joiden resistanssi riippuu lämpötilasta. Lämpötilan noustessa vastusarvo laskee ja moottorinohjaimella huomataan muutos virrassa. Termistorit eivät ole tarkimpia antureita lämmön mittaukseen, mutta niiden tarkkuus riittää kuitenkin hyvin jäähdytysjärjestelmän käyttöön. [1, s. 88–89]

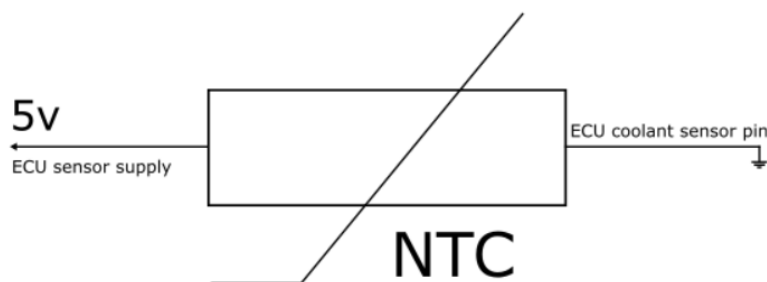
Termistorin resistanssin suhde yliolevaan jännitteeseen ei ole lineaarinen, vaan se noudattaa kaavaa

$$R = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}, \quad (1)$$

jossa  $R$  on resistanssi ohmeina lämpötilassa  $T$ , joka ilmaistaan Kelvineinä. Referenssilämpötila  $T_0$  on tyypillisesti 298 K ja referenssiarvo resistanssille  $R_0$  on resistanssi kyseisessä lämpötilassa.  $\beta$  on termistorin materiaalista riippuva vakio, jonka arvo on usein 3000 ja 5000 välillä. Kun  $T$  lähestyy arvoa  $T_0$ , kaavan 1 käyrä alkaa olla lähestulkoon lineaarinen. Derivoimalla kaavaa 1, voitaisiin johtaa kaava resistanssin lämpötilakertoimelle. Johtamalla saatu lämpötilakerroin pätee kuitenkin vain lämpötilan 298 K läheisyydessä ja vain pienille lämpötilan muutoksille. Suurin ongelma termistorien käytössä onkin niiden epälineaarisuus. [1, s. 88–89]



Kuva 4. Esimerkki NTC-termistorin vastuskäyrästä kaavan 1 mukaan.



Kuva 5. Vedenlämpöanturin kytkentä.

Molemmat jäähdytinnesteen lämpötila-anturit saavat käyttöjännitteensä moottorinohjaimen viiden voltin lähdöstä, joka on tarkoitettu eri antureita varten. Toinen pää anturista kytkettiin moottorinohjaimen lämpötila-anturille tarkoitettuun pinniin, joka toimittaa maan virkaa ja

mittaa kytkennässä tapahtuvaa virran muutosta, jonka avulla yksikkö saa selville resistanssin ja lopulta kaavan yksi avulla laskee lämpötilan.

### ***3.2.5 IAT – imuilman lämpötila-anturi***

IAT-anturi, eli imuilman lämpötila-anturi on samantyyppinen NTC-termistori kuin jäähdytysnesteen lämpötila-anturikin. Toimintaperiaate ja kytkentä ovat täysin samanlaiset. Fyysisesti imuilman lämpöanturi on kytketty imusarjaan imukotelon kohdalle. Ilman lämpötilatiedon pohjalta ECU arvioi ilman tiheyden ja tätä tietoa ECU käyttää polttoaine/ilma seossuhteen määrittämiseen.

### ***3.2.6 RPM – kierrosnopeuden mittaus***

RPM-anturi (Revolutions Per Minute), joka tässä tapauksessa on kampiakselin asentoanturi, mittaa moottorin kierrosnopeutta. Kampiakselin asentoanturilta saatua tietoa moottorinohjain käyttää muun muassa sytytyksen ajoituksen määrittämiseen sekä polttoaineen syötön määrän määrittämiseen. Asentoanturi kertoo myös moottorin kierrosnopeuden. Tämä tieto on myös nähtävissä mittaristolta. Anturina päätettiin käyttää moottorin mukana tullutta alkuperäisosaa osanumeroltaan T1290131.

Kyseinen anturi on niin sanottu VR-anturi (Variable Reluctance), eli anturi havaitsee reluktanssin muutoksen. Anturityyppi on halvempi, kuin Hall-anturi, mutta epätarkempi erittäin alhaisilla kierrosnopeuksilla. Meidän käytössämme tämä ei tosin haittaa, sillä kierrosnopeudet pysyvät moottorissa melko korkeina myös tyhjäkäynnillä.

### ***3.2.7 TPS – kaasuläpän asennon mittaus***

TPS, eli Throttle Position Sensor, kertoo moottorinohjaimelle kaasuläpän asennon, joka on polttoaine/ilma seossuhteen määrittämistä varten tärkeä tieto. TPS-antureita löytyy yleisesti kahdenlaisia, mekaanisia, joissa potentiometri on yhdistetty mekaanisesti kaasuläppään ja kaasuläpän asennon muuttuessa potentiometrin arvo muuttuu mekaniikan ansiosta ja Hall-teknologiapohjaisia, joissa ei ole mekaanista potentiometriä, vaan arvot saadaan magneettikentän muutoksen avulla. Käytössämme oli jälkimmäisen tyyppinen Penny & Giles TPS280DP anturi [7, s. 19–21], joka on nimenomaisesti suunniteltu moottoriurheilun vaatimuksia silmällä pitäen.

### ***3.2.8 Törmäysanturi***

Törmäysanturin valinta tapahtui täysin sääntöjen sanelemana: “Jokaisessa kilpailevassa kulkuneuvossa tulee olla törmäysanturi/-kytkin, jonka tulee törmäyksen sattuessa sammuttaa sytytys, polttoaineen syöttö, sekä polttoainepumppu. Virrankatkaisu saa tapahtua releen kautta.” [8, T10.5 ja CV 4.1]. Myös anturin tyyppi on määritelty hyvin tarkkaan säännöissä. Sääntöjen mukaan anturin tulee olla “Sensata Resettable Crash Sensor” tai muu vastaava.

Päädyimme valitsemaan manuaalisesti resetoitavan mallin kyseisestä anturista, jonka saimme hankittua käytettynä, mutta toimivana.

Anturi tunnistaa törmäyksen mistä tahansa suunnasta. Käytännössä anturin sisällä on pieni paino, joka irtaoo törmäyksen voimasta ja avaa kytkimen, jolloin virta lakkaa kulkemasta. Anturin päällä on kuminen pinta, jonka läpi painon voi painaa takaisin paikalleen, jolloin kytkin sulkeutuu ja virta pääsee taas kulkemaan. Pääasiassa anturin tarkoitus on vähentää tulipaloriskiä törmäyksen yhteydessä, kuluttaja-ajoneuvoissa anturiin voidaan yhdistää GPS-paikannussignaalin lähetys törmäyksen varalle. [9]



Kuva 6. Törmäysanturi paikalleen asennettuna.

Säännöt sallivat kuljettajan resetoida törmäysanturin itse, joten asensimme anturin ohjaamon sisäpuolelle kuljettajan reiden vasemmalle puolelle, jossa se on kuljettajan ulottuvissa. Tällä tavoin on pienehkön törmäyksen sattuessa ajoa vielä mahdollista jatkaa, vaikka anturi siihen reagoisikin. Sähköisesti anturi on asennettu sarjaan jarrukytkimen ja hätäseis-kytkimen kanssa, jotka yhdessä ohjaavat polttoaine- ja sytytysjärjestelmälle menevän releen ohjaussignaalia.

### ***3.2.9 BOTS – jarrupolkimen ylimenokytkin***

BOTS, eli Brake Over Travel Switch on osa sammutuspiiriä ja se täytyy sääntöjen mukaan löytyä jokaisesta kilpailuissa ajavasta autosta. Säännöt määrittävät melko tarkasti minkälainen BOTS:n tulee olla ja kuinka sen tulee toimia.

BOTS:n tehtävänä on katkaista sytytys ja polttoaineensyöttö, mikäli jarrupoljin menee rikki, tai painuu pohjaan jarrupaineen kadotessa. Kytkimen tulee olla lukkiutuva kaksiasentoinen paino- tai keinukytkin, eikä se saa olla kuljettajan resetoitavissa. [8, T5.2]

Poljinjärjestelmän rakenteen kannalta vaihtoehtoista keinukytkin on järkevämpi. Sen avulla on helpompi täyttää sääntö, jonka mukaan toistuvat painallukset eivät saa resetoida kytkintä ja sulkea piiriä, eikä kuljettajan saa olla mahdollista resetoida kytkintä ohjaamosta käsin. Valitsimme siis yksinkertaisen kaksiasentoinen keinukytkimen, jonka asensimme sarjaan

hätäseis-kytkimen ja törmäysanturin kanssa ohjaamaan polttoaine- ja sytytysjärjestelmän releen ohjaussignaalia.

Kun jarrupoljin rikkoutuu tai painuu jostain muusta syystä pohjaan, kuten jarrupaineen katoamisen vuoksi, kytkin menee OFF asentoon, jolloin piiri aukeaa ja polttoaine- ja sytytysjärjestelmän releen ohjaussignaali katkeaa. Tällöin rele avautuu ja virta lakkaa kulkemasta bensapumpulle, suuttimille ja puolille, jolloin moottori sammuu välittömästi.

### ***3.2.10 Polttoaineen mittaus***

Polttoaineesta halusimme saada kaksi tietoa, paineen ja lämmön. Paineen avulla saamme samalla myös tiedon polttoaineen määrästä. Lämpötieto on tärkeä, sillä polttoainetankki on sijoitettu kuljettajan selän taakse, pakosarjan etupuolelle, melko lähelle pakosarjaa. Paikka on siis altis korkealle lämpötilalle, jonka vuoksi polttoaineen lämpötilaa on tärkeää tarkkailla myös ajon aikana. Valitsimme anturiksi Boschin valmistaman anturipaketin, joka sisältää sekä paine-että lämpöanturit. Osanumeroltaan 0 261 230 112 [10], oleva anturi sisältää lämmön mittaamista varten NTC-termistorin, jonka toimintaperiaate on esitelty jo aiemmin tässä työssä (ks. kohta 3.2.5 – Vedenlämpö). Lämpöanturin lisäksi anturipaketti sisältää piipohjaisen paineanturin.

Kyseinen anturi on MEMS-komponentti (Micro Electro Mechanical Systems), eli mikrorakenne, jossa yhdistetään mekaniikkaa ja sähköisiä signaaleja. Paineen mittaamiseen ajoneuvotekniikassa käytetään yleensä kalvotekniikkaa, jossa kalvo on taipuisa levy tai aaltolevy, joka kiinnitetty reunoistaan. Paineen lisääntyessä kalvon muoto muuttuu ja silloin taipuman suuruus on verrannollinen paineeseen. Näin ollen paine määritetään mittaamalla kalvon pintaan muodostunutta taipumaa tai venymää esimerkiksi resistiivisesti tai kapasitiivisesti [1, s. 38–39]

### 3.2.11 Jarrupaineen mittaus

Jarrupaineanturi on yksinkertainen painekytkin, joka sulkeutuu havaitessaan raja-arvon ylittävän paineen. Kytkimeksi valitsimme Goodridgen BL775-03C [11] mallisen jarruvalolle suunnitellun painekytkimen.



Kuva 7. Jarrupaineanturi kytkettynä jarrusylinterin banjopulttiin.

Jarrupaineanturin tarkoitus on vain kytkeä jarruvalo päälle, kun jarrua painetaan. Anturi kiinnitettiin jarrusylinteriin tulevan jarrunesteletkun banjoliittimeen, jolloin se havaitsee paineenmuutokset letkussa, ja paineen ylittäessä raja-arvon, se kytkee virran jarruvalon piiriin.

### 3.3 Toimilaitteet

Anturointien lisäksi autosta löytyy useita muita sähköllä toimivia laitteita, joita kutsutaan yleisesti toimilaitteiksi. Kuluttajakäyttöön myytävissä autoissa toimilaitteiden tarkoitus on helpottaa auton käyttöä arkielämässä, luoda kuljettajalle ja matkustajalle mukavuutta, sekä parantaa auton turvallisuutta. Nykyisin useimmista autoista löytyy muun muassa vilkut, turvatyyny, radio ja ilmastointi. Sen sijaan kilpa-autossa toimilaitteiden pääasiallinen tarkoitus on varmistaa auton moitteeton toiminta eri tilanteissa. Esimerkiksi moottorin jäähdytysjärjestelmä pitää huolta, että moottori toimii myös lämpötilan kasvaessa, kun taas latausjärjestelmä varmistaa, että akusta ei lopu virta kesken ajon. Suurin rajoittava tekijä toimilaitteiden suhteen painon ja hinnan lisäksi tuli sähköjärjestelmästä, käyttöjännitteen tulee pysyä 12 voltissa.

#### 3.3.1 Moottorin jäähdytysjärjestelmä

Moottorin jäähdytysjärjestelmä koostuu kolmesta osasta: vesipumpusta, flektistä eli tuulettimesta ja jäähdyttimestä. Jäähdyttimenä käytetään moottorin mukana tullutta Triumphin alkuperäisosaa, myös flektinä käytettiin Triumphin alkuperäisosaa. Valintojen pääasiallinen syy löytyy budjetista. Vesipumpun mitoituksen jälkeen päädyimme Boschin vesipumppuun, osanumero 0392023004 [12], jonka saimme suoraan sponsorin kautta.

#### 3.3.2 Latausjärjestelmä ja akku

Laturina käytettiin moottorin alkuperäisosaa, joka on vaihtovirtalaturi. Laturista saatava virta tasasuunnataan diodisillalla ja siitä tasoitetaan jännitepiikit regulaattorin avulla ennen sen syöttämistä sähköjärjestelmään.

Akuksi valitsimme moottoripyörä käyttöön tarkoitetun LiFePo<sub>4</sub>, eli litium-rautafosfaattiakun. Valinnan taustalla olevat syyt koostuivat pääasiassa akun keveydestä verrattuna perinteiseen lyijyakkuun ja helppokäyttöisyydestä, sillä akulla voi suoraan korvata lyijyakun ilman muutoksia sähkö- tai latausjärjestelmässä.

Yleistyvä tapa Formula Student autoissa, on jättää laturi kokonaan pois ja korvata tämä isommalla akulla. Tällä tavoin autoa saadaan kevennettyä ja moottorilta saadaan poistettua pyörivää massaa. Päätimme kuitenkin jättää laturin paikalleen ja valita käyttöömmme pienemmän akun.

#### 3.3.3 Sytytys- ja polttoainejärjestelmä

Sytytys- ja polttoainejärjestelmä koostuu pääasiassa osista: puolista, suuttimista ja polttoainepumpusta. Sytytyksenohjausyksikkö on käsitelty jo aiemmassa kappaleessa 3.1.2 samoin kuin moottorinohjausyksikkö kappaleessa 3.1.3.

Kyseiset osat ovat välttämättömiä moottorin toiminnan kannalta, joten ne tulivat moottorin mukana. Moottorin mukana tulleet puolat vaativat sytytyksenohjausyksikön toimiakseen.

Vaihtoehtona oli myös korvata puolat sisäisen ohjauksen omaavilla puolilla, mutta oli kokonaisvaltaisesti edullisempaa käyttää alkuperäisiä osia.

### 3.3.4 Muut toimilaitteet

Muita toimilaitteita olivat starttimoottori, mittaristo sekä vaihteen vaihtoa ohjaavat solenoidit. Näistä starttimoottori toimitettiin osana moottoria. Mittaristo sen sijaan valmistettiin itse kurssityönä muutaman tiimiläisen toimesta.

Vaihteisto toteutettiin kahdella ratin takana olevalla mikrokytkimellä sekä solenoidilla. Moottorinohjain mahdollisti puoliautomaattisen vaihteiston toteutuksen, mikä tarkoittaa, että kuljettajan ei tarvitse itse käyttää kytkintä vaihdon aikana. Mekaanisesti vaihtaminen tapahtuu paineilman avulla, jota solenoidiventtiilit säätelevät.

## 3.4 Johtosarja

Itse johtosarjaan käytettiin perinteisiä kuparijohtimia. Budjettisyistä johdotuksissa jouduttiin tekemään kompromissiratkaisuja, eli emme voineet käyttää kaikkiin johtimiin optimaalista poikkipinta-alaa. Sen sijaan valitsimme muutama eri paksuutta, joihin sitten eri johtimet skaalattiin. Käytännössä tämä tarkoitti, että kaikille signaaleille käytettiin 0,35 mm<sup>2</sup> johtimia ja toimilaitteille laskettiin halutut kaapelien poikkipinta-alat. Kaikki liittimet johtosarjaa varten valitsimme suoraan sponsorimme valikoimista.

### 3.4.1 Johdinten poikkipinta-alat

Poikkipinta-alojen laskemista varten tarvittiin seuraavat tiedot: linjan käyttöjännite, hyväksyttävä jännitehäviö, virta, johtimen pituus ja johtimen ominaisresistanssi. Hyväksyttäväksi jännitehäviöksi päätettiin 2 % käyttöjännitteestä kaikkien toimilaitteiden kohdalla.

Ennen laskemista toimilaitteille valittiin paikat rungosta. Moottorinohjain sijoitettiin keskelle, kuljettajan jalkatilaan. Tällä pyrittiin lyhentämään keskimääräistä johtimien pituutta, sekä tuomaan painopistettä alemmaksi. Vasemmalle kyljelle sijoitettiin sulakerasia, releet, sekä jäähdytysjärjestelmä. Tähän syynä oli oikealle kyljelle sijoitettu pakoputkisto.

Toimilaitteiden ja antureiden sijoittelujen jälkeen, johtimien matkat mitattiin. Tämän jälkeen kaikki vaadittava tieto oli hallussa ja laskutoimitukset voitiin suorittaa kaavalla:

$$A_{cable} = \frac{L * \rho}{U_{loss} * I} * 10^6 \quad (2)$$

jossa L on johtimen pituus,  $\rho$  on johtimen ominaisresistanssi ohmimetreinä,  $U_{loss}$  on hyväksyttävä jännitehäviö prosentteina, U on käyttöjännite ja I on virta. Kerroin  $10^6$  muuntaa lopputuloksen yksikköön mm<sup>2</sup>.

Laskettuja tuloksia pyöristettiin tarpeen mukaan ylöspäin, jotta ne saatiin skaalattua valituille johtimille. Tulokset taulukoitiin johtosarjan valmistusta varten. Tätä taulukkoa

käytettiin apuna johtosarjan valmistuksessa. Laskemalla saatiin esimerkiksi vesipumpun johtimien poikkipinta-alaksi 0,52 mm<sup>2</sup> ja veden lämpöanturille 0,17mm<sup>2</sup>, käytettäväksi valittiin näistä seuraavat käytettävissä olevat johdinten paksuudet, jotka tässä tapauksessa olivat 0,75 mm<sup>2</sup> vesipumpulle ja 0,35 mm<sup>2</sup> vedenlämpöanturille.

### 3.4.2 Johtosarjan valmistus

Kun johdinten pituudet ja poikkipinta-alat oli laskettu ja toimilaitteille oli löydetty paikat, oli aika valmistaa itse johtosarja. Värit valittiin seuraavan kaavion mukaan.

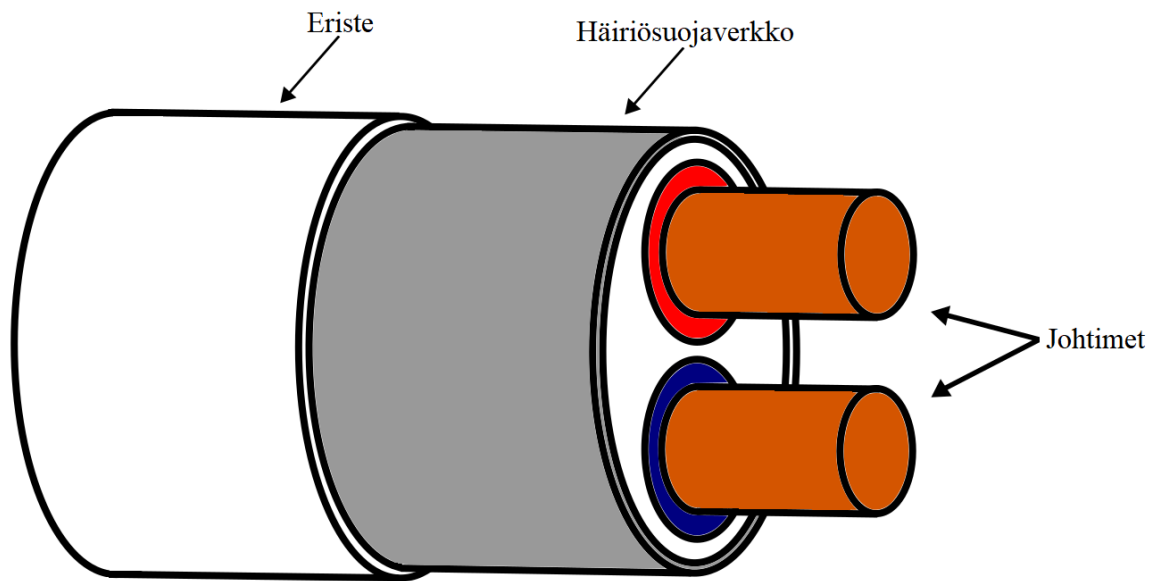
Taulukko 1. Käytettyjen johtimien värit

Käyttöjännite	Punainen
Maa	Ruskea
Signaali 1	Sininen
Signaali 2	Vihreä
Signaali 3	Keltainen
Suojatut	Valkoinen
Puolat	Harmaa
CAN H	Sininen
CAN L	Vihreä

Tällä jaolla pyrimme valmistuksen lisäksi helpottamaan oikeiden johdinten löytymistä vikatilanteessa. Yleisen tavan mukaan käyttöjännitteen väriksi valittiin punainen ja maan väriksi ruskea kaikille toimilaitteille ja antureille. Signaaleille valittiin kolme pääväriä, joita kierrätettiin niin, että vierekkäisille johtimille ei tulisi samaa väriä.

Suojattujen signaalien väriksi valikoitui valkoinen ihan käytännön syistä – muuta ei ollut saatavilla. Suojattu kaapeli koostuu kahdesta johtimesta, eristeistä, sekä niitä ympäröivästä metallisesta häiriösuojasta. Häiriösuoja kytkettiin moottorinohjaimen päässä suojamaa pinniin. Tämän tarkoitus on estää ulkoisten häiriöiden esiintymistä signaalissa. Suojattuja johtimia tarvittiin lambda-anturille ja RPM-anturille. Kuvassa kahdeksan on esitelty johdon poikkileikkaus.

Näiden lisäksi häiriösuojasta vaatii CAN-väylän signaalit. CAN eli Controller Area Network on automaatioväylä, joka on laajalti käytössä ajoneuvotekniikassa. Käytimme väylää mittariston ja moottorinohjaimen väliseen kommunikointiin. Toisin kuin edellä mainittujen signaalien kohdalla, käytimme tässä kierrettyä parikaapelia, jossa oli noin 40 kierrosta metriä kohden.



Kuva 8. Piirroskuvassa näkyy suojatun johdon rakenne, punaisella ja sinisellä merkittynä johtinten eristeet.

Valmistus alkoi johtinten leikkaamisella taulukon mukaisiin mittoihin, sen jälkeen ne reititettiin omille paikoilleen ja sukutettiin. Käytimme sukittamiseen nylonverkkoa, joka vedettiin johdinnippujen päälle ja teipattiin päästä kiinni purkautumisen estämiseksi. Isompien nippujen kohdalla suojasimme johtimet muovisella spiraaliputkella fyysisen rasituksen estämiseksi. Johtinten päihin kiinnitettiin liittimet ja ne kytkettiin paikoilleen.

## 4. TOTEUTUS JA TULOKSET

Suunnittelun jälkeen anturit, toimilaitteet ja johtosarjaan tarvittavat johtimet sekä liittimet tilattiin tai haettiin sponsoreilta. Antureiden ja toimilaitteiden paikat merkattiin runkoon ja ne kiinnitettiin paikalleen mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi kaikki moottorin pään anturoinnit joutuivat tosin odottamaan moottorin kiinnitystä.

Kun moottorinohjain, anturit ja toimilaitteet olivat saaneet paikkansa, mitoitettiin johdot ja aloitettiin johtosarjan valmistus. Valmistus itsessään oli melko nopea prosessi, mitattiin johto, liitettiin liittimeen molemmista päistä ja vedettiin se ennalta sovittua reittiä perille sekä niputettiin yhteen muiden johtojen kanssa. Sama toistettiin loppujen johtojen kohdalla.

Johtosarjasta tuli toimiva, siitä todisteena auto liikkui ja sitä käytettiin Alankomaissa kilpailemassa. Ongelmakohdiksi jälkikäteen havaittiin toimimaton öljynpaineanturi, joka olisi ollut havaittavissa testaamalla, mikäli tähän olisi ollut enemmän aikaa. Myös auton laturi oli huono paikka säästää, sillä se rikkoutui kisamatkan aikana.

Tulevia parannuksia ajatellen olisikin järkevää jättää laturi kokonaan pois ja ottaa käyttöön isomman kapasiteetin akku. Myös moottorinohjaimen paikkaa olisi suotavaa miettiä uudelleen. Tähän on kaksi syytä, toinen on mekaaninen rasitus, jota moottorinohjain saa osakseen kuljettajan noustessa autoon ja autosta, sillä kuljettaja astuu moottorinohjaimen päälle joka kerta näin tehdessään. Toinen syy löytyy johtosarjan optimoinnista, koska auton keulaan menee erittäin vähän johtimia verrattuna perään, jossa moottori sijaitsee, olisi järkevä sijoittaa sekä moottorinohjain, että sulake- ja releasiat mahdollisimman lähelle moottoria. Tällä saataisiin johtojen pituuksia lyhennettyä ja säästettäisiin painossa mahdollisesti useita kiloja.

Järkevää olisi myös siirtyä seuraavassa kehitysversiossa CAN-väylän käyttöön sähköjärjestelmässä. Tällä muutoksella päästäisiin eroon useista ylimääräisistä johtimista ja tällä tavoin voitaisiin keventää autoa ja yksinkertaistaa johdotusta.

Kokonaisuudessaan sähköjärjestelmästä tuli toimiva ratkaisu, jonka päälle on helppo suunnitella uusi, entistä parempi sähköjärjestelmä. Tavoitteena olisi myös tulevaisuudessa lisätä erillinen telemetria -järjestelmä autoon, jolla saataisiin kerättyä testiajojen aikana tietoa auton käyttäytymisestä ja kuljettajan toiminnasta.

## 5. YHTEENVETO

Työssä käytiin läpi kilpa-autoilun näkökulmasta sähköjärjestelmän pääasiat, kuten mitkä toimilaitteet ovat välttämättömiä, sekä mitä anturointeja auto vaatii toimiakseen. Työn tavoite oli perehtyä sähköjärjestelmän suunnitteluun ja sekä suunnitella, että valmistaa sähköjärjestelmä Formula Student -autoon.

Työ toteutettiin yhteistyössä Formula Student Oulun kanssa ja kyseinen sähköjärjestelmä pääsi testiin myös tosipaikassa, kun auto kävi kilpailemassa Alankomaissa Formula Student -kilpailussa.

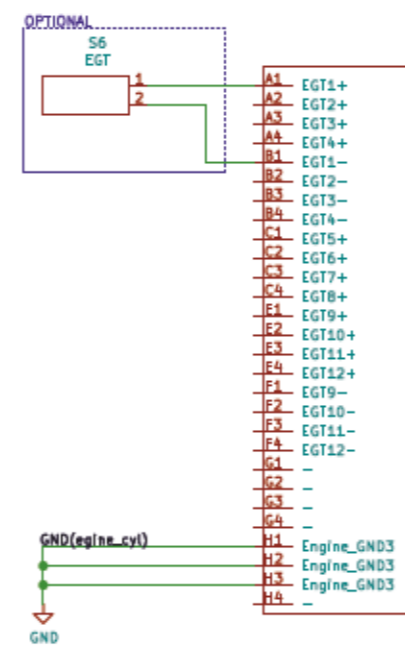
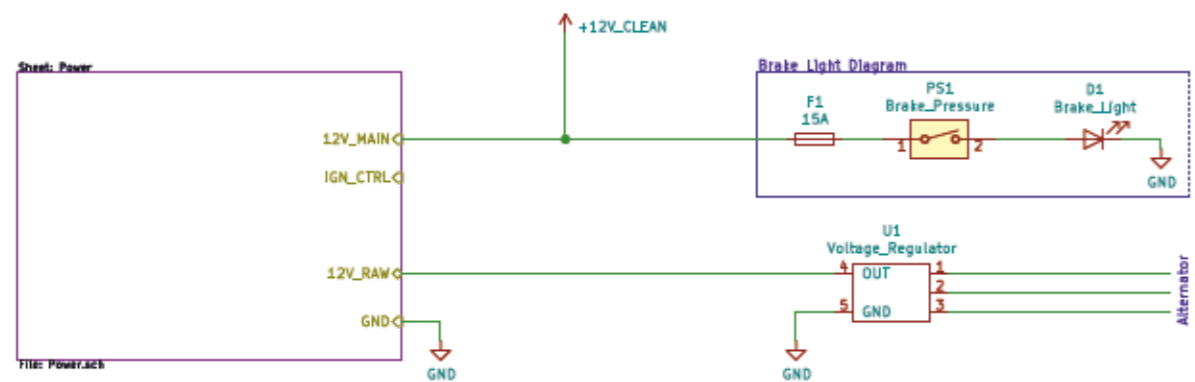
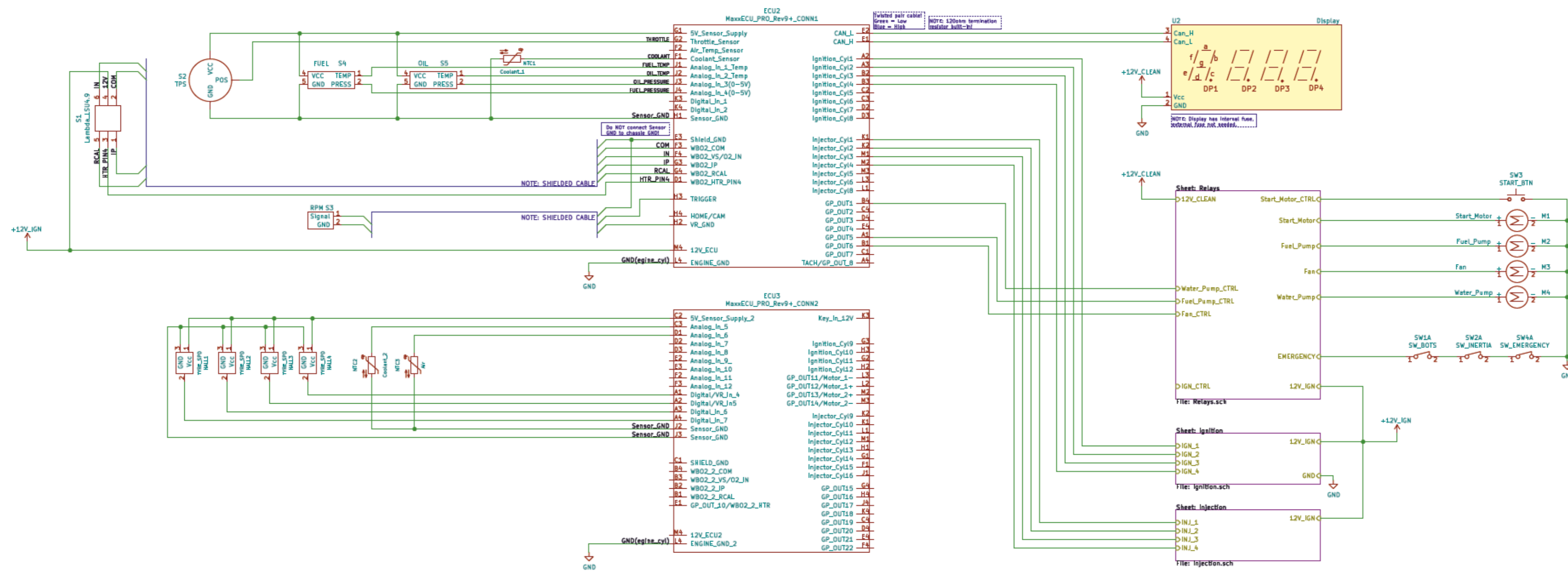
Kokonaisuudessaan työ oli varsin onnistunut, vaikka tiettyjä kehityskohtia jälkikäteen havaittiinkin. Suunniteltu sähköjärjestelmä on hyvä pohja tulevaisuutta ajatellen ja sen päälle onkin helppo suunnitella uusi, entistä parempi järjestelmä.

## 6. LÄHTEET

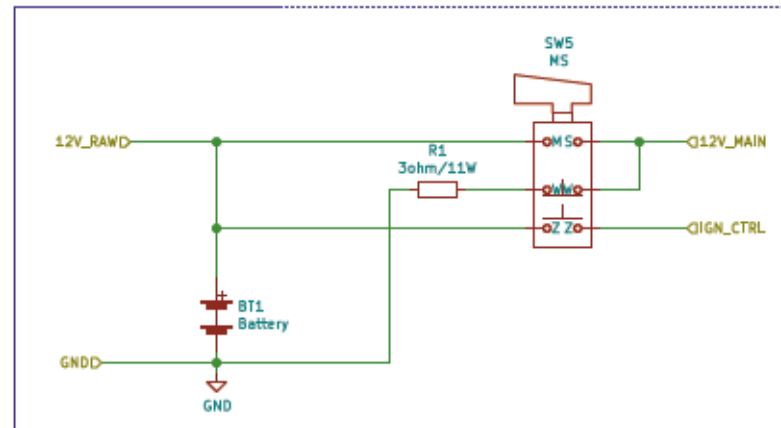
- [1] Turner, J. D. (2009) Automotive Sensors
- [2] MaxxECU PRO wirings (luettu 5.10.2021) URL:  
[https://maxxecu.com/files/Documentation/Wirings/MaxxECU%20PRO%20\(REV10+\)%20-%20Wiring-en.pdf](https://maxxecu.com/files/Documentation/Wirings/MaxxECU%20PRO%20(REV10+)%20-%20Wiring-en.pdf)
- [3] Ramsen E. (2006) Hall-effect sensors: theory and applications
- [4] Lambda-anturin datasheet (luettu 5.10.2021) URL:  
[https://imfsoft.com/files/Lambda\\_Sensor\\_LSU\\_49\\_Datasheet\\_51\\_en\\_2779147659pdf.pdf](https://imfsoft.com/files/Lambda_Sensor_LSU_49_Datasheet_51_en_2779147659pdf.pdf)
- [5] Reif K. (2014) Gasoline Engine Management: Systems and Components
- [6] Facet katalogi (luettu 5.10.2021) URL:  
<https://www.facet.eu/site/assets/files/1245/eps-tm19q4-pf.pdf>
- [7] TPS- anturin datasheet (luettu 5.10.2021) URL:  
[https://www.cw-industrialgroup.com/getattachment/42e067a7-d2f3-4b9c-962f-8490230a72ff/srh-tps-nrh\\_brochure](https://www.cw-industrialgroup.com/getattachment/42e067a7-d2f3-4b9c-962f-8490230a72ff/srh-tps-nrh_brochure)
- [8] FSG -säännöt (luettu 19.3.2018). URL:  
[https://www.formulastudent.de/fileadmin/user\\_upload/all/2018/rules/FS-Rules\\_2018\\_V1.1.pdf](https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf)
- [9] Törmäysanturin datalehti, Sensata Technologies (luettu 19.3.2018). URL:  
[www.sensata.com/download/resettable-crash.pdf](http://www.sensata.com/download/resettable-crash.pdf)
- [10] Polttoaineen mittauksessa käytetyn anturipaketin datalehti (luettu 5.10.2021) URL:  
<https://www.finjector.com/documents/4e8df63978503/0261230112.pdf>
- [11] Jarrupaineanturin datalehti (luettu 5.10.2021) URL:  
[https://www.merlinmotorsport.co.uk/files/transfer/technical/doc/goodridge\\_banjo\\_bolt\\_with\\_switch.pdf](https://www.merlinmotorsport.co.uk/files/transfer/technical/doc/goodridge_banjo_bolt_with_switch.pdf)
- [12] Vesipumpun datalehti (luettu 5.10.2021) URL:  
<https://www.finjector.com/documents/4d8f7afec9beb/BOSCH-0392023004.pdf>

## 7. LIITTEET

Liite 1 Sähkökaavio



Main switch



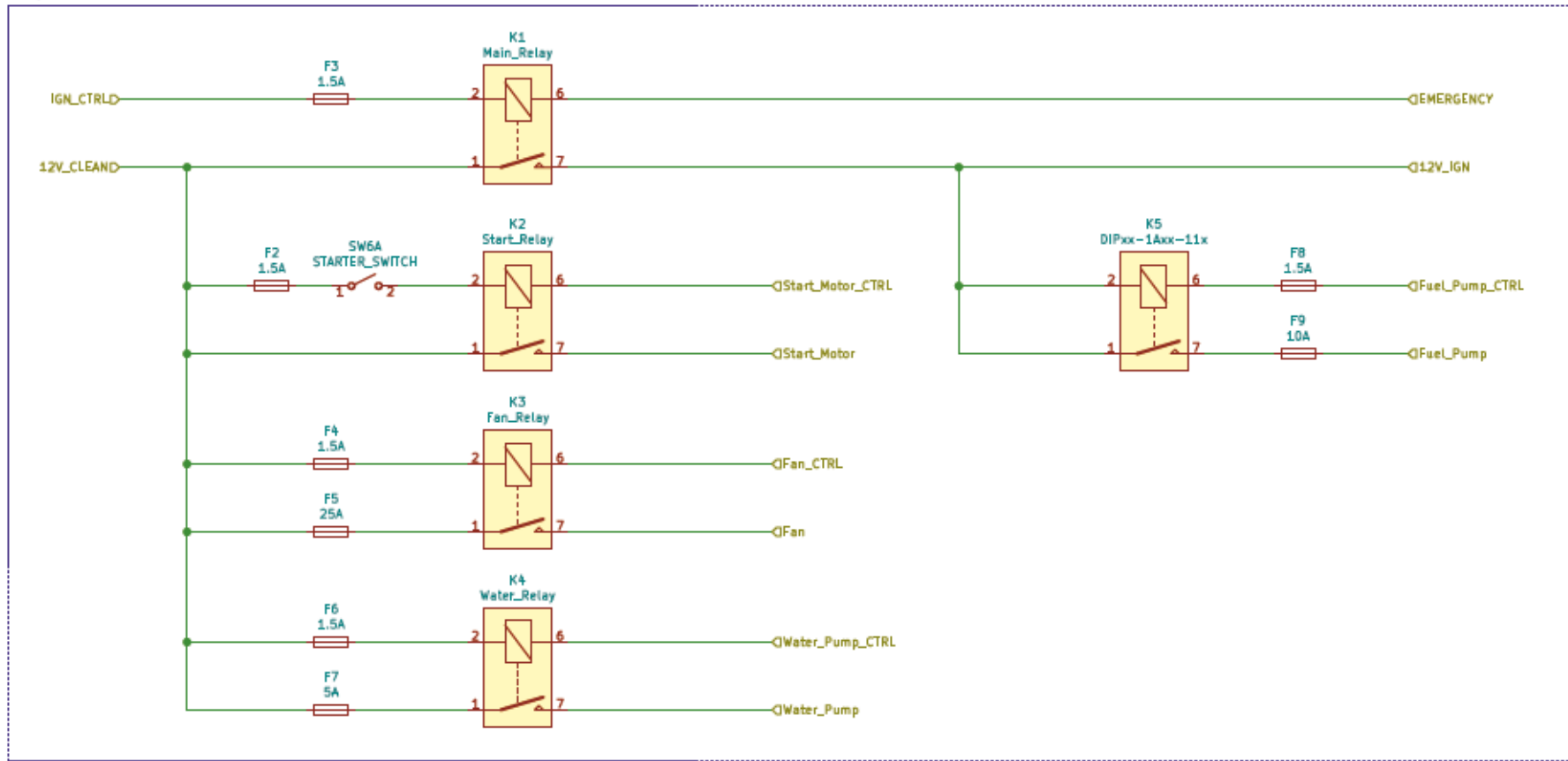
Leevi Halme  
Formula Student Oulu  
Sheet: /Power/  
File: Power.sch

**Title: Main switch**

Size: A4 Date: 2021-10-01  
KiCad E.D.A. kicad (5.1.10)-1

Rev: REV\_1  
Id: 2/5

Relays and fuses



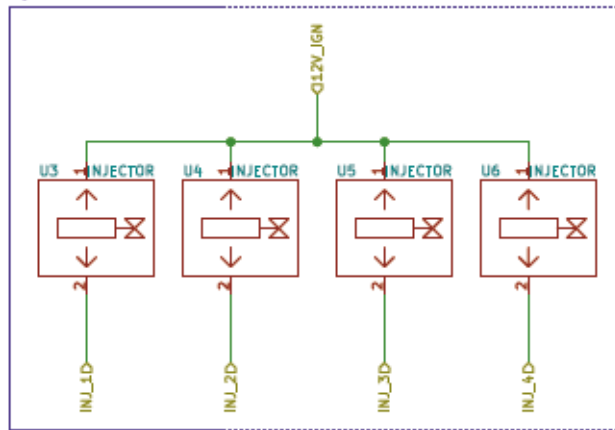
Leevi Halme  
 Formula Student Oulu  
 Sheet: /Relays/  
 File: Relays.sch

**Title: Relay/Fuse Box**

Size: A4 Date: 2021-10-01  
 KiCad E.D.A. kicad (5.1.10)-1

Rev: REV\_1  
 Id: 3/5

Injectors

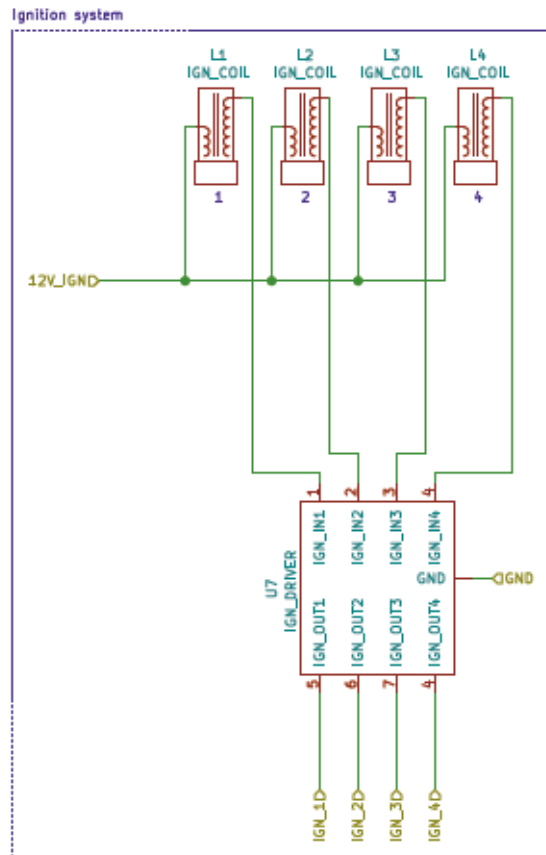


Leevi Halme  
Formula Student Oulu  
Sheet: /Injection/  
File: Injection.sch

**Title: Injectors**

Size: A4 Date: 2021-10-01  
KiCad E.D.A. kicad (5.1.10)-1

Rev: REV\_1  
Id: 4/5



Leevi Halme  
 Formula Student Oulu  
 Sheet: /Ignition/  
 File: Ignition.sch

**Title: Ignition system**

Size: A4 Date: 2021-10-01  
 KiCad E.D.A. kicad (5.1.10)-1

Rev: REV\_1  
 Id: 5/5