



Kaasutinkäyttöisen auton muuttaminen sähköohjatuille polttoaineenruiskutukselle

Johannes Leväsluoto

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Autotekniikka
Työkonetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Autotekniikka
Työkonetekniikka

Johannes Leväsluoto

Kaasutinkäyttöisen auton muuttaminen sähköohjatuille polttoaineenruiskutukselle
Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2025

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin 4-tahtisen moottorin toimintaan ja siihen liittyviin tärkeimpiin komponentteihin. Työssä selitettiin kaikki tarvittavat komponentit sähköisen moottorinohjauksen toimintaan ja selitettiin niiden toimintaperiaate.

Työssä tehtiin muutostyö Toyota Corolla KE20 -ajoneuvoon. Alkuperäisesti auto toimi kaasuttimella ja perinteisellä virranjakajalla, kaikki osat vaihdettiin sähköohjatun moottorinohjauksen tarpeisiin sopiviksi. Tavoitteena oli saada helposti käyntiin lähtevä ja toimiva auto.

Muutostyön autoon tehtiin kaikki tarvittavat muutokset polttoainejärjestelmään ja johdotuksiin. Johtosarja tehtiin kokonaan itse, ja moottoriin lisättiin kaikki tarvittavat anturit ja toimilaitteet. Myös auton polttoainejärjestelmä vaihdettiin kokonaan uuteen, polttoaineruiskutuksella varustettuun autoon sopivaksi. Viimeisenä auton moottorinohjaus säädettiin moottorille sopivaksi. Lopputuotteena on toimiva ja säädetty auto, joka lähtee helposti käyntiin ja on polttoainetaloudellisempi.

Asiasanat: moottorinohjaus, moottorinohjauksen säätö,

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering
Industrial Vehicle Engineering

LEVÄSLUOTO, JOHANNES:

Implementing an Electronic Fuel Injection System into a Carburetor-Powered Car

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 1 page

May 2025

The purpose of this thesis was to design and implement an electronic fuel injection system into a carburetor-powered car. Moreover, the objective was to examine the operation of a 4-stroke engine and its most important components, all the components necessary for the operation of electronic fuel injection and their operating principle.

The modification work was done on a Toyota Corolla KE20 vehicle. Originally, the car operated with a carburetor and a distributor. All the parts were changed to suit the needs of electronic fuel injection. The goal was to have a car that starts easily and runs great.

The car was modified with everything necessary for the fuel system and wiring. The wiring harness was made entirely homemade, and all the necessary sensors and actuators were installed in the engine. The fuel system was also completely replaced to suit the new fuel injection. Finally, the car's engine control was adjusted to suit the engine. The end product is a functional and efficient car that starts easily and is more fuel-efficient.

Key words: electronic fuel injection

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	Moottorin toiminta	7
	2.1 4-tahti bensiinimoottori	7
	2.2 Hall-anturi.....	8
	2.3 Lambda-anturi.....	8
3	Sähköohjattu polttoainejärjestelmä ja sen komponentit	10
	3.1 EFI	10
	3.2 ECU	10
	3.3 Anturit.....	11
	3.4 Polttoaineen ruiskutus.....	12
	3.5 Sytytysjärjestelmä	14
4	Toyota Corolla	16
	4.1 Ajoneuvon tiedot ja historiaa	16
	4.2 Moottori ennen muutoksia	16
	4.3 Asennettavat osat	17
	4.4 Muutostyön tekeminen	18
5	Moottorinohjauksen säätö.....	27
	5.1 Speeduino	27
	5.2 TunerStudio	27
	5.3 Säätötyö.....	28
	5.3.1 Sytytyskartta ja polttoainekartta.....	29
6	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET	32
	LIITTEET	33
	Liite 1. Tehonmittaustodistus	33

LYHENTEET JA TERMIT

EFI	Sähköinen polttoaineenruiskutus (Electronic Fuel Injection)
ECU	Moottorinohjainlaite (Engine Control Unit)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on muuttaa kaasutinkäyttöinen moottori sähköisesti ohjattuun polttoaineen ruiskutukseen. Työssä selvitetään kaikki tarvittavat komponentin muutoksen tekemiseen ja selitetään niiden toiminta. Muutostyö suunnitellaan ja toteutetaan vuoden 1973 Toyota Corolla ajoneuvoon.

Työssä perehdytään jälkiasenteisen moottorinohjaimen säätöön ja tehdään tarvittavat polttoaine- ja sytytyskartat. Työn tavoitteena on saada toimiva ja säädetty ajoneuvo, joka lähtee vanhaa kaasutinautoa paremmin ja luotettavammin käyntiin.

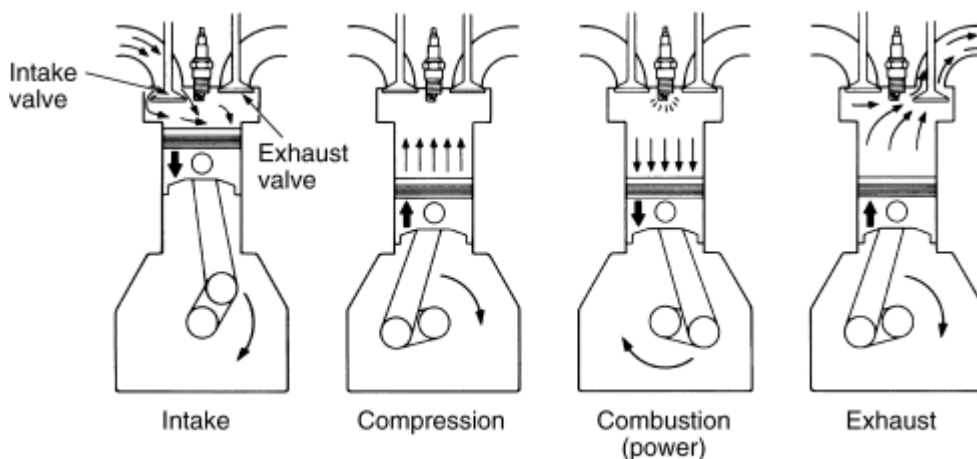
2 Moottorin toiminta

2.1 4-tahti bensiinimoottori

Bensiinimoottoreista 4-tahtinen on yleisin ja sitä käytetään autoissa, moottoripyörissä ja erilaisissa koneissa. Se toimii muuttamalla polttoaineen energiaa mekaaniseksi liikkeeksi. Tähän liikkeeseen liittyy moottorin nimessäkin olevat neljä tahtia: imu, puristus, teho ja pako. Tämäntyyppinen moottori pystyy tarjoamaan tasan tehon pienillä päästöillä. (Bosch 2011.)

Ensimmäisenä tahtina on imutahti. Tässä tahdissa mäntä liikkuu alaspäin ja imuventtiili aukeaa. Tällä tavalla ilman ja polttoaineen seos pääsee sylinterikammioon. Kun kammio on täytetty seoksella, tulee puristus. Puristuksessa mäntä liikkuu ala-asennosta takaisin ylös ja puristaa ilman ja polttoaineen seoksen. Tämä lisää painetta ja lämpöä sylinterikammioon, mikä tekee seoksesta helpommin sytyvää. (Bosch 2011.)

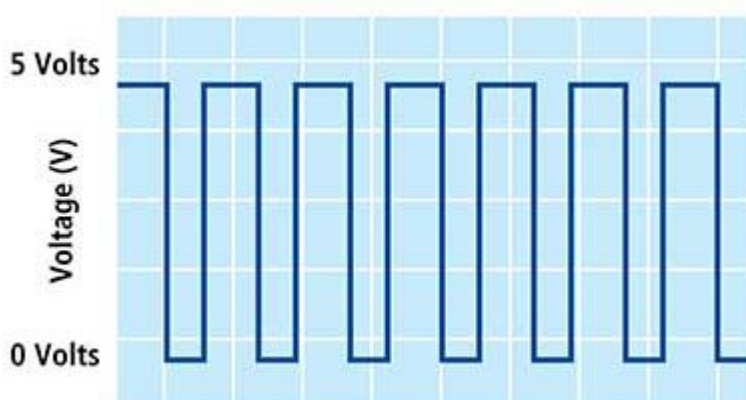
Kolmantena tulee tehotahti, joka on tärkein vaihe. Kun mäntä on oikeassa kohdassa, antaa sytytystulppa kipinän, sytyttäen ilman ja polttoaineen seoksen räjähdysmäisesti. Räjähdyks pakottaa männän liikkumaan alaspäin tuottaen voimaa kampiakselille. Tämä on tahdeista ainoa, joka tuottaa voimaa. Viimeisenä tapahtuu pakotahti. Kun mäntä liikkuu takaisin ylöspäin aukeaa pakoventtiili päästäen poltetun kaasun ulos pakosarjaan. Nämä neljä tahtia toistuvat jatkuvasti moottorin käydessä. (Bosch 2011.) Kuvassa 1 näkyy moottorin tahdit.



KUVA 1. moottorin tahdit. (SienceDireck 2007)

2.2 Hall-anturi

Hall-anturi on suosituin tapa mitata pyörimisnopeutta. Hall-anturin sisällä on Hall-elementti ja kestopagneetti. Elementti on anturin päässä ja sen takana on magneetti. Kun jotain magneettista näkyy anturin pään lähellä, syntyy jännitevaihtelu. Hall-anturiin syötetään jännite, joka kulkee anturin läpi. Ulostuleva jännite on joko syötetty jännite tai nolla. Tämä määräytyy siitä, onko anturin edessä jotain magneettista. Esimerkiksi kun auton kampiakselilla olevan triggeripyörän hammas kulkee anturin ohi, jännite muuttuu. (Dejan n.d.) Kuvassa 2 näkyy Hall-anturin antama signaali 5 voltin jännitteellä triggeripyörän pyöriessä.



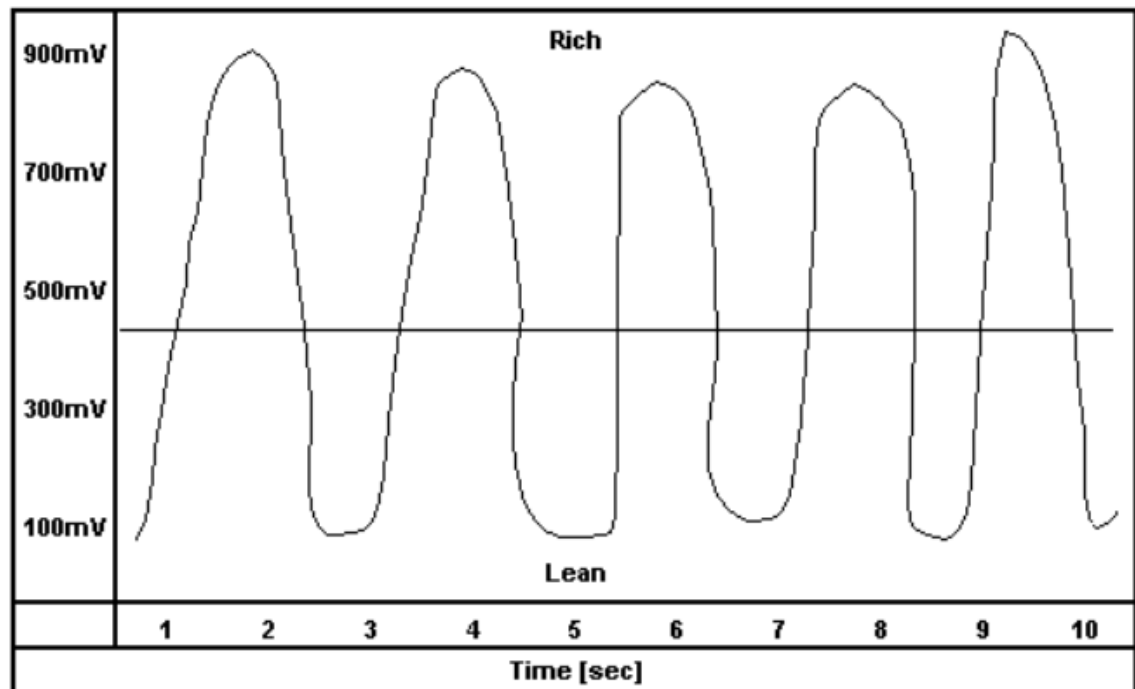
KUVA 2 Hall-anturin signaali. (Premierautotrade n.d.)

2.3 Lambda-anturi

Lambda-anturi on happitunnistin, joka mittaa pakoputkeen tulevan jäännöshapen määrää. Mittauksen tulos välitetään moottorinohjaimelle, joka korjaa polttoaineseosta saatujen tietojen mukaan. Kapeakaistaista Lambda-anturia on kahdella eri toimintaperiaatteella: zirkoniumdioksidiin ZrO_2 tai titaanidioksidiin TiO_2 . Nämä ovat puolijohteita. On myös laajakaistalambda-antureita, jotka toimivat zirkoniumdioksidin käyttämiseen. (Gerald Schneehage 2019.)

Lambda-anturi tarvitsee toimiakseen korkean lämpötilan, siksi anturissa on usein lämmityselementti sisällä. Tämä nopeuttaa lambda toiminnan alkua. Kapeakaistainen lambda-anturi tuottaa jännitteen välillä 0,1–0,9 voltia. Kun jännite on korkea, seos on rikas, ja kun jännite on matala, on seos laiha. Oskilloskoopilla saa

mitattua Lambda-anturin antaman signaalin. Tämän signaalin on vaihdeltava kuvassa 3 näkyvällä tavalla, jotta lambda anturi toimisi. (Gerald Schneehage 2019.)

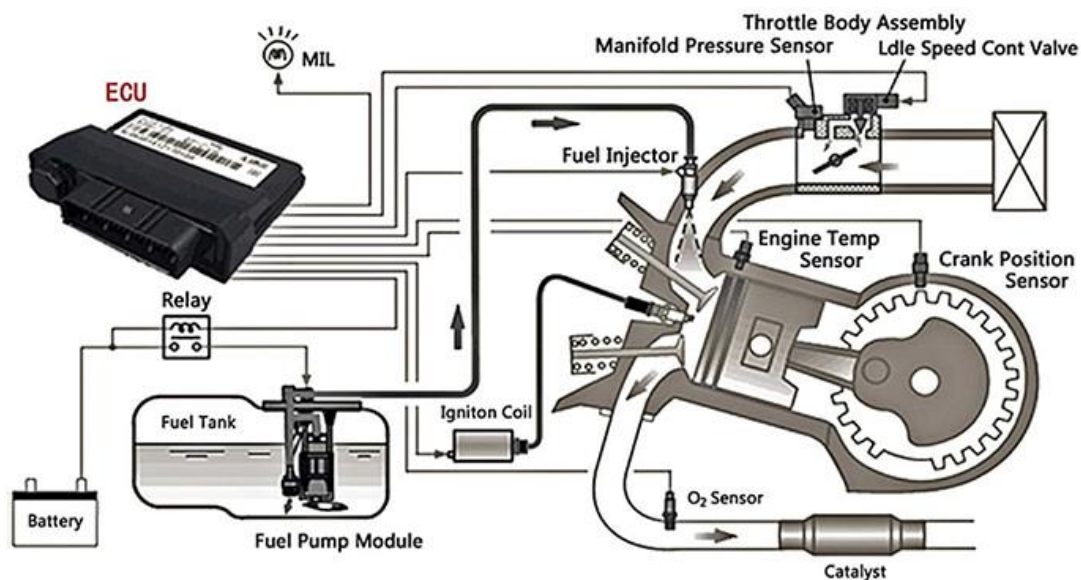


KUVA 3. Lambda-anturin signaali. (Bosch n.d)

3 Sähköohjattu polttoainejärjestelmä ja sen komponentit

3.1 EFI

EFI eli electronic fuel injection tarkoittaa sähköisesti ohjattua polttoaineen ruiskutusta. Kaikki ohjaus tapahtuu ECU:n kautta sähköisesti. polttoaine ruiskutetaan sähköohjattujen suuttimien kautta imusarjaan tai suoraan palotilaan. Polttoaineen ruiskutus tapahtuu polttoainekartan mukaan. Karttaan on syötetty arvoja, joita moottorinohjain seuraa ja muokkaa polttoaineseosta. Useasti sähköisessä polttoaineen ruiskutuksessa on sytytyksen ohjaus mukana. Sytytystä ohjataan samaan tapaan kuin polttoaineen syöttöä, eli omalla kartalla. (Kisho 2019.)



KUVA 4. EFI komponentit (Blue Stars Diesel 2019)

Kuvassa 4 näkyy kaikki tarpeelliset komponentit sähköiseen polttoaineenohjaukseen.

3.2 ECU

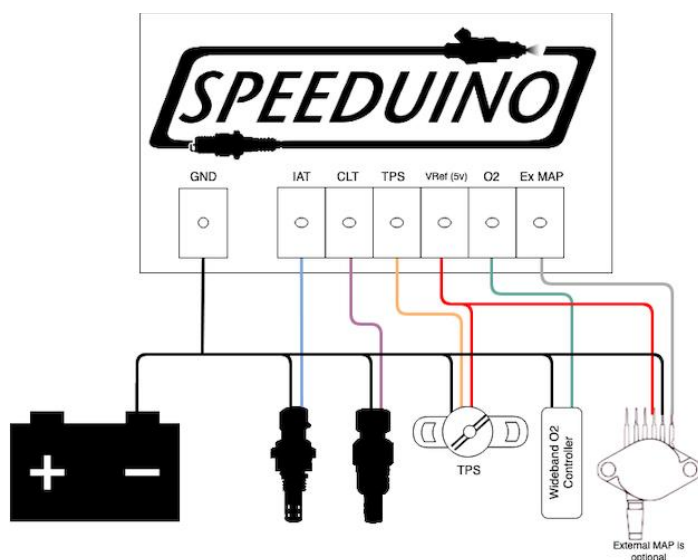
Moottorin ohjauksen aivoina toimii ECU. ECU ohjaa moottorin sytytystä ja polttoaineen ruiskutusta saamiensa anturitietojen avulla. Tietojen avulla se ohjaa moottoria. Säättämällä sytytyskohtaa ja polttoaineen ruiskutusaikaa, ECU varmistaa moottorin hyvän ja taloudellisen käynnin. (Wuling 2024.)

ECU muokkaa jatkuvasti seosta saamiensa tietojen avulla. Tavoitteena on stoikiometrisesti sopiva seos, eli bensiinin tapauksessa 14,7:1. Lisäksi nykyaikaisissa ECU:issa on OBD eli On Board Diagnostics. Tämä tarkoittaa, että autoon voidaan kytkeä diagnostiikkatyökalu. Tällä tavalla saadaan mahdolliset viat digitaalisesti selville.

Tästä voidaan todeta, että ECU:lla on tärkeä rooli moottorin suorituskyvyn, polttoainetalouden ja ympäristövaatimusten kannalta. Sen avulla nykyaikainen auto pystyy toimimaan taloudellisesti ja tehokkaasti tekemällä säätöjä reaaliajassa saatujen anturitietojen perusteella

3.3 Anturit

Jotta moottori saa oikean määrän polttoainetta ja sytyttää polttoaineen oikealla hetkellä, pitää moottorin ohjausyksikön tietää moottorista tärkeitä tietoja. Kuvassa 5 näkyy karkea piirros antureiden johdotuksesta. Kuvassa on kaikki tarvittavat anturit, lukuun ottamatta moottorin pyörimisnopeuden anturia.



KUVA 5. Antureiden johtosarja. (Speeduino 2020)

Ohjausyksikön tulee tietää imusarjassa vallitseva paine, tästä vastaa imuilmän paineanturi. Tämä anturi on sijoitettu imusarjaan kaasuläpän painekotelon puolelle.

Toisena tärkeänä anturina on Lambda-anturi. Lambda mittaa pakoputkessa olevaa jäännöshapen määrää. Jäännöshapen mukaan lambda muuttaa tiedon jännitteeksi. Lambda-antureita on kahta eri laatua. Kapeakaistainen lambda, jonka asteikko on 0V-1V. Toinen vaihtoehto on laajakaistalambda, jonka asteikko on 0V-5V. Näistä yleensä virituskäytössä on laajakaistalambda, koska sen antama asteikko on tarkempi. (Wuling 2024.)

Yhtä tärkeänä on Hall anturi, eli kampiakselin asentotunnistin. Tämä anturi kertoo moottorinohjausyksikölle, missä asennossa kampiakseli on missäkin kohtaa. Tämä on tärkeä anturi olla kalibroitu hyvin, sillä jos moottorinohjain ei tiedä moottorin asemaa, voi seuraukset olla katastrofaaliset. (Wuling 2024.)

Lisäksi moottorinohjain tarvitsee lämpötilatietoja moottorilta, ainakin imuilman lämpötilan ja jäähdytysnesteen lämpötilan. Imuilman lämpötila-anturi sijaitsee imusarjassa ja nimensä mukaan mittaa imusarjaan tulevan ilman lämpötilaa. Jäähdytysnesteen lämpötila-anturi puolestaan mittaa moottorin sisällä olevan nesteen lämpötilaa. (Wuling 2024.)

Siitä, kuinka paljon ilmaa menee moottoriin, vastaa kaasuläppä. Moottorinohjaimen pitää tietää paljonko ilmaa menee moottoriin, siksi tarvitaan kaasun asentotunnistin. Kaasun asentotunnistin on kiinni kaasuläpässä ja mittaa kuinka paljon kaasuläppä on auki missäkin kohtaa. (Wuling 2024.)

3.4 Polttoaineen ruiskutus

Polttoaineen ruiskutuksen oleellinen komponentti on suutin. Suutin määrittää sen, kuinka paljon polttoainetta sekoitetaan ilmaan, joka menee sylinterikammioon. Suuttimia on yksi per sylinteri ja niitä ohjaa moottorinohjain. Moottorinohjain antaa jokaiselle suuttimelle signaalin ruiskuttaa polttoainetta tietyssä kohtaa moottorin kiertoa.

Polttoaine tulee suuttimille suutinkiskosta, jossa on polttoaineen tulolinja ja paluulinja. Paluulinjan alussa suutinkiskossa on paineensäädin, joka säätelee painetta suutinkiskossa. Sähköinen polttoainejärjestelmä tarvitsee suuremman paineen kuin kaasutin. Polttoaineruiskutuksessa on käytössä, joko polttoainetan-

kissa tai sen lähetyvillä, polttoainepumppu. Polttoainepumppu kierrättää polttoainetta tankista suodattimen läpi painelijaa pitkin polttoainekiskolle. Kuvassa 6 näkyy polttoainekisko ja suuttimet. Ylimääräinen polttoaine palautetaan paluulinjaa pitkin takaisin tankkiin.



KUVA 6. Polttoainekisko ja suuttimet (Jalopnik)

Polttoaineen ruiskutus tapahtuu polttoainekartan mukaan. Polttoainekartassa näkyy toisella akselilla moottorin kierrosluku ja toisella imusarjan ilmanpaine. Moottoreissa, joissa ei ole turbo- tai remmiahdinta, loppuu polttoainekartan imusarjan paine ilmakehässä vallitsevaan paineeseen. Tällöin ECU tutkii alipaineen vaikutuksia imusarjassa ja ohjaa muiden antureiden tietojen mukaan seosta. Kuvassa 7 on esimerkkikuva polttoainekartasta. Kuvassa olevat luvut soluissa tarkoittaa ilmamäärää sylinterissä.

F u e l L o a d : k P a	100	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	95
	96	93	93	93	93	93	93	93	90	90	90	90	91	92	93	93	93
	90	93	93	93	93	93	92	90	88	86	86	86	87	88	89	89	90
	86	93	93	93	93	93	90	88	86	84	83	83	83	84	85	85	86
	76	87	91	91	88	86	84	82	80	78	76	76	76	77	78	78	78
	70	81	85	86	84	82	80	78	76	74	72	72	72	73	74	74	74
	66	74	80	81	79	77	75	73	72	70	68	68	69	69	70	70	71
	60	67	74	76	75	73	71	69	68	66	64	65	65	66	66	67	67
	56	60	67	70	70	68	67	65	63	62	61	61	61	62	63	63	63
	50	54	61	64	66	64	62	61	59	58	57	57	58	58	59	59	59
	46	48	54	58	61	59	58	56	55	54	53	54	54	54	55	55	55
	40	44	49	52	56	55	54	52	51	50	50	50	50	51	51	51	52
	36	42	45	47	51	51	49	48	47	46	46	46	47	47	47	48	48
	30	40	42	43	46	46	45	44	43	42	42	43	43	43	44	44	44
	26	40	40	41	42	42	41	40	39	39	39	39	39	40	40	40	40
	16	39	39	39	39	39	38	37	36	35	34	33	33	33	33	33	33
↳	500	700	900	1400	2000	2800	3600	4500	5200	5500	5800	6200	6500	6800	6900	7000	
	RPM																

KUVA 7. Polttoainekartta

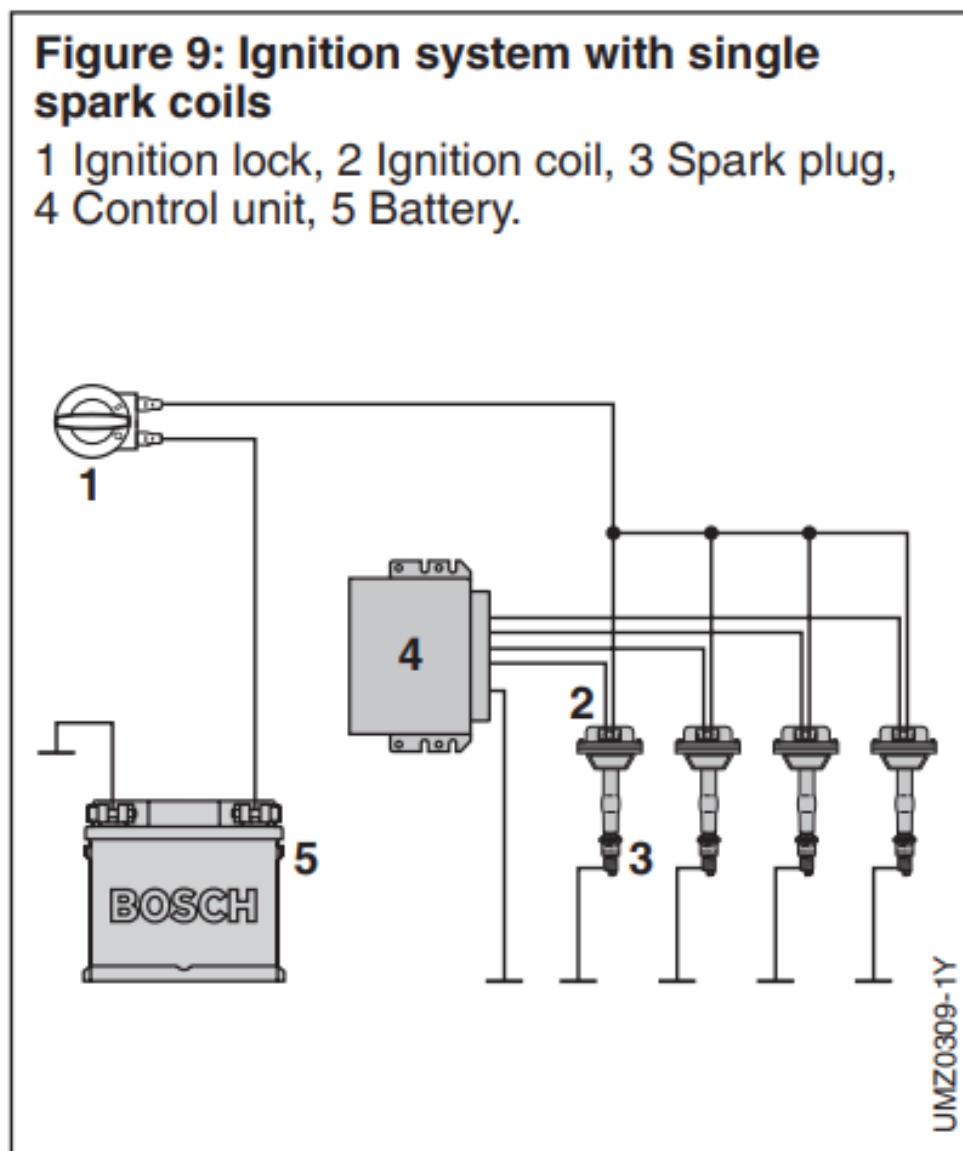
3.5 Sytytysjärjestelmä

Sytytysjärjestelmä on vastuussa polttoaineen ja ilman seoksen sytyttämisestä. Sytytysjärjestelmään kuuluu pääasiassa sytytystulpat ja puolat. Järjestelmään kuuluu myös akku ja virtalukko, jotka antavat ja ohjaavat virran puolille ja sitä kautta tulpille. Sytytysjärjestelmä saa signaalin moottorinohjaimelta, joka määrittää kipinän hetken ja sytytysennakon. Sytytysennakko määräytyy kuvassa 8 olevan sytytyskartan mukaan. Kuvassa olevissa soluissa näkyy sytytysennakko asteina.

I g n i t i o n L o a d : k p a	100	15	15	15	13	10	10	10	10	10	10	10	8	8	8	8	8
	96	16	16	16	14	11	11	11	11	11	11	11	9	9	9	9	9
	88	18	18	18	16	13	13	13	13	12	12	12	11	11	11	11	11
	80	18	18	18	18	16	16	16	16	15	15	15	14	14	14	14	14
	74	18	18	18	18	17	17	17	17	16	16	16	15	15	15	15	15
	66	18	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	16	16	16	16	16
	56	18	18	18	18	20	20	20	20	19	19	19	18	18	18	18	18
	50	18	18	18	18	21	21	21	21	21	21	21	20	19	20	20	20
	46	17	20	20	20	21	22	22	23	24	25	26	27	28	28	29	30
	40	17	20	20	20	21	23	23	24	25	26	27	28	29	29	30	31
	36	17	20	20	20	21	24	25	26	27	28	29	30	30	30	31	32
	30	17	22	22	20	21	24	25	26	28	28	30	31	31	31	32	33
	26	17	20	21	20	21	24	25	27	28	28	30	31	31	31	32	33
	20	17	18	19	20	21	24	25	27	28	29	30	31	32	32	33	34
	16	17	18	19	20	21	24	25	27	28	29	30	31	32	32	33	34
	10	17	18	19	20	21	24	25	27	28	29	30	31	32	32	33	34
↩	500	700	1200	1700	2200	2700	3200	3700	4200	4700	5200	5700	6200	6700	7200	7700	
	RPM																

KUVA 8. Sytytyskartta

Yksinkertaisuudessaan sytytysjärjestelmä käsittää kuvan 9 komponentit. Kuvan komponentit ovat nelisylinterisestä moottorista. Jännite tulee suoraan virtakytkimen kautta ja moottorinohjaus säätelee puolien maadoitusta.



KUVA 9. Sytytyspuolat (Bosch 2011)

4 Toyota Corolla

4.1 Ajoneuvon tiedot ja historiaa

Työn auto on Toyota Corolla KE20. Autossa on alkuperäinen 3K- moottori ja K40 vaihdelaatikko. Auto on takavetoinen ja painaa 780 kg. 3K-moottori on 1,2 litrainen nelisylinterinen moottori. Alkuperäisesti moottori on yhdellä kaasuttimella toimiva. Moottorin sytytyspuolena on toiminut kärjellinen virranjakaja.

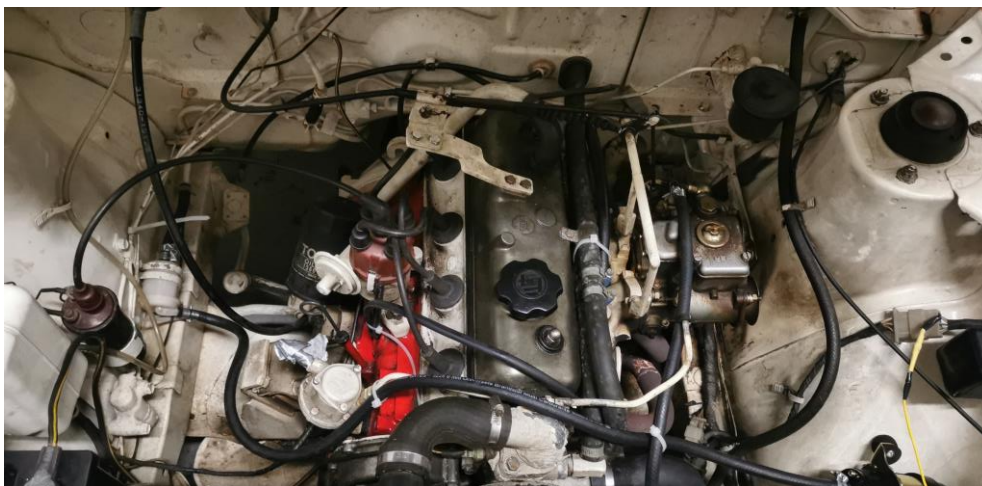
Tässä insinööriyössä esiintyvä auto on ollut suvussamme uudesta asti. Auto ostettiin uutena Tammer autosta keväällä 1973. Autoharrastajana auton omistaja rakenteli auton tähän kuntoon vuosina 1985–1986. Auto on purettu ja rakennettu täysin uudelleen. Auton on maalattu kaksikerrosvärillä ja lakkakerroksia on useita. Auton pohja on hiekkapuhallettu. Pohja ja rengaskotelot on maalattu valkoisella Epox-maalilla. Auton kaikki alustan osat on maalattu valkoisiksi, lukuun ottamatta lehtijousia, jotka maalattiin punaisiksi. Auton penkit on verhoiltu ruskealla mohair villakankaalla, penkkien tereet mukaan lukien. Auton sivupaneelit ja hattuhylly ovat valkoista nahkaa. Penkeissä ja valkoisissa verhoiluissa on nappitus.

4.2 Moottori ennen muutoksia

Autossa oleva moottori on viritetty ensimmäistä kertaa 1980-luvulla. Silloin moottoriin on vaihdettu kestävämmät männät ja 290-asteinen nokka-akseli. Lisäksi moottorin kanteen on tehty kanavien suurennus, kantta on laskettu 1 mm ja venttiilin jousien alle on laitettu korokelevyjä. Korokelevyjen tarkoitus on jämäköittää jousia, täten saaden moottori kiertämään alkuperäistä enemmän.

Vauhtipyörä on kevennetty ja sen jälkeen se on tasapainotettu. Kiertokanget on viimeistelty ja ne on tehty saman painoisiksi. Moottorista poistettiin alkuperäinen tuuletin ja tilalle asennettiin sähkökäyttöinen tuuletin. Tuulettimen ohjausanturi asennettiin jäähdyttäjän ylävesiletkuun.

Moottoriin on laitettu vakiokaasuttimen tilalle Weber DCOE -kaasutin, eli kak-sikurkkuinen vaakaimukaasutin. Lisäksi siihen on itse valmistettu pakoputkisto ja pakosarja. Kuvassa 10 näkyy moottori ennen muutostyön aloittamista.



KUVA 10. Moottoritila kaasuttimella

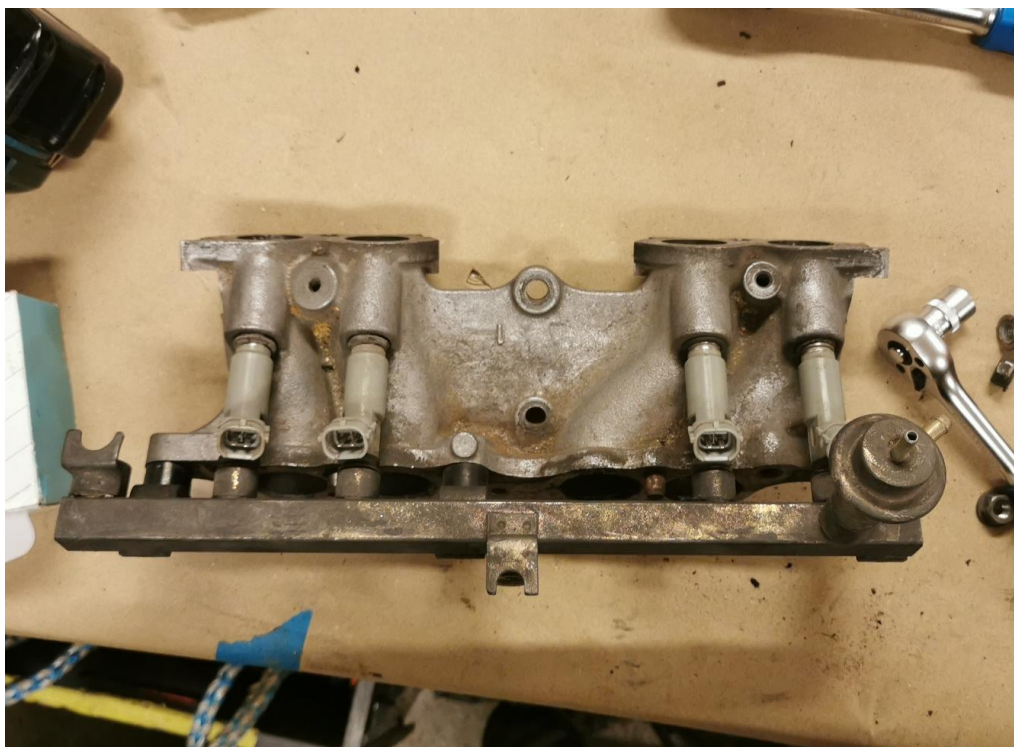
4.3 Asennettavat osat

Ajoneuvoon on tavoitteena asentaa vanhan kaasuttimen tilalle polttoaineenruis-kutusjärjestelmä. Järjestelmään vaadittavat komponentit ovat imu- ja nesteen-lämpötila-anturit, Lambda-anturi ja imuilman paineanturi. Kaasuläpän asennon selvittämiseen tarvitaan kaasun asentotunnistin.

Kustannusten pienentämiseksi päätettiin ostaa halvempi Speeduino mootto-rinohjain. Moottorinohjaimen sydämenä toimii Arduino mega. Johtosarja päätet-tiin myös tehdä kokonaan itse.

Autossa ei ollut ruiskulle sopivaa imusarjaa. Sopiva imusarja löydettiin Japanin markkinoiden autosta, jossa oli saman moottorisarjan moottori. Imusarjan kaasu-läppä ei ollut soveltuva viritetylle moottorille, joten siihen jouduttiin etsimään suu-rempi ja tähän piti tehdä välilaippa.

Antureiden lisäksi autoon piti asentaa suuttimet ja puola. Suuttimiksi valikoituivat Toyotan toisen moottorin 4AFE:n suuttimet, joiden tuotto on 176cc minuutissa. Kuvassa 11 nähdään suuttimet imusarjan alkuosaan asennettuna.



KUVA 11. Imusarjan alkuosa suuttimilla ja polttoainekiskolla

4.4 Muutostyön tekeminen

Ennen varsinaisen muutostyön aloittamista piti kartoittaa tarvittavat komponentit ja muutokset moottoriin ja auton polttoainejärjestelmään. Saman tyyppisessä moottorissa on ollut yksinkertaista nelipisteruiskua. Tällaisen ruiskun imusarjaa hyödynnettiin työssä.

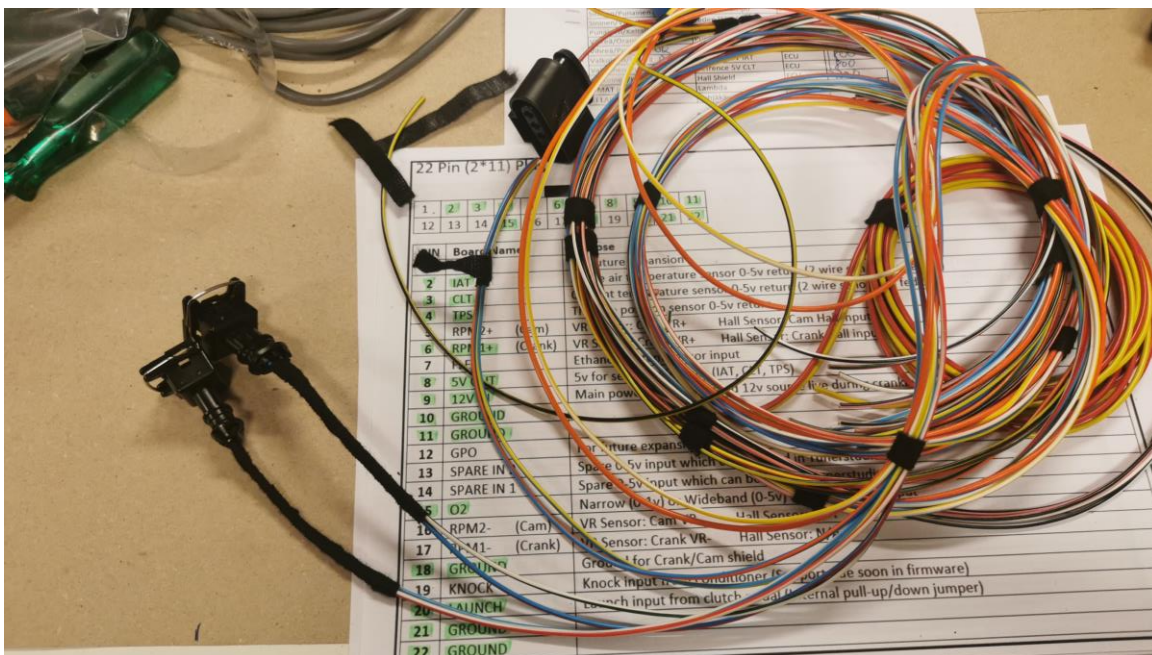
Kun osat oli saatu haalittua kasaan, päästiin aloittamaan kasaus. Antureille mietittiin sopivat paikat ja sovitetiin imusarjaa paikoilleen. Kuvassa 12 näkyy imusarja sovitusvaiheessa. Tässä kohtaa huomattiin imusarjan osuvan pakosarjaan ja muutostöitä oli tehtävä. Pakosarjaa päädyttiin muokkaamaan hieman vääntämällä yhtä putkea alaspäin ja puristamalla sitä samalla litteämmäksi. Muokkausten jälkeen pakosarja ei osunut imusarjaan. Tässä kohtaa moottorilassa oli vielä kaasuttimeen liittyviä osia kuten polttoaineen siirtopumppu ja alkuperäinen puola.



KUVA 12. Imusarjan sovitus

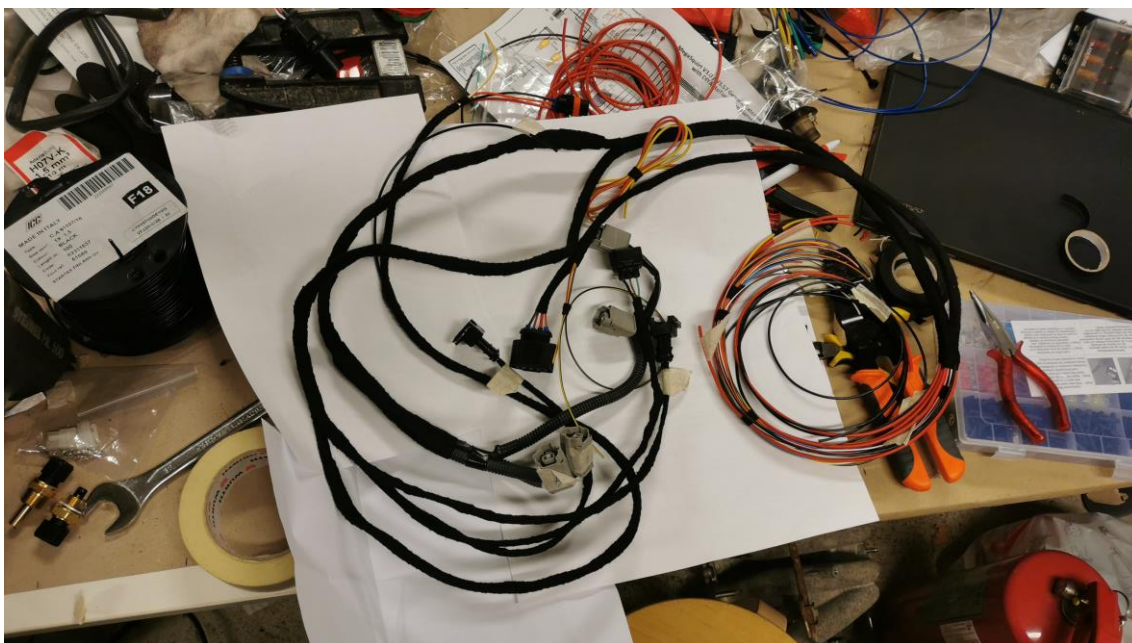
Antureiden paikkaa miettiessä aloitettiin purkamaan alkuperäisiä sytytysosia ja ruvettiin miettimään uudelle puolalle paikkaa. Puolana toimii hukkakipinäpuola, joka sijoitettiin alkuperäisen puolan paikalle. Lisäksi samaan paikkaan asennettiin päärele ECU:n laitteiden päävirralle. Kaikki moottorinohjaukseen liittyvä sähkö kulkee tämän releen kautta. Myös sulakerasia asennettiin auton sisäpuolelle.

Kun antureiden ja toimilaitteiden paikat olivat selvillä, ruvettiin tekemään johtosarjaa. Johtosarja tehtiin kokonaan itse irtojohdoista. Työ aloitettiin mittaamalla tarvittavien johtojen pituudet. Johtojen piti riittää anturilta moottorinohjaimelle auton sisäpuolelle. Kuvassa 13 näkyy johtosarja, jossa on kolme liitintä valmiina.



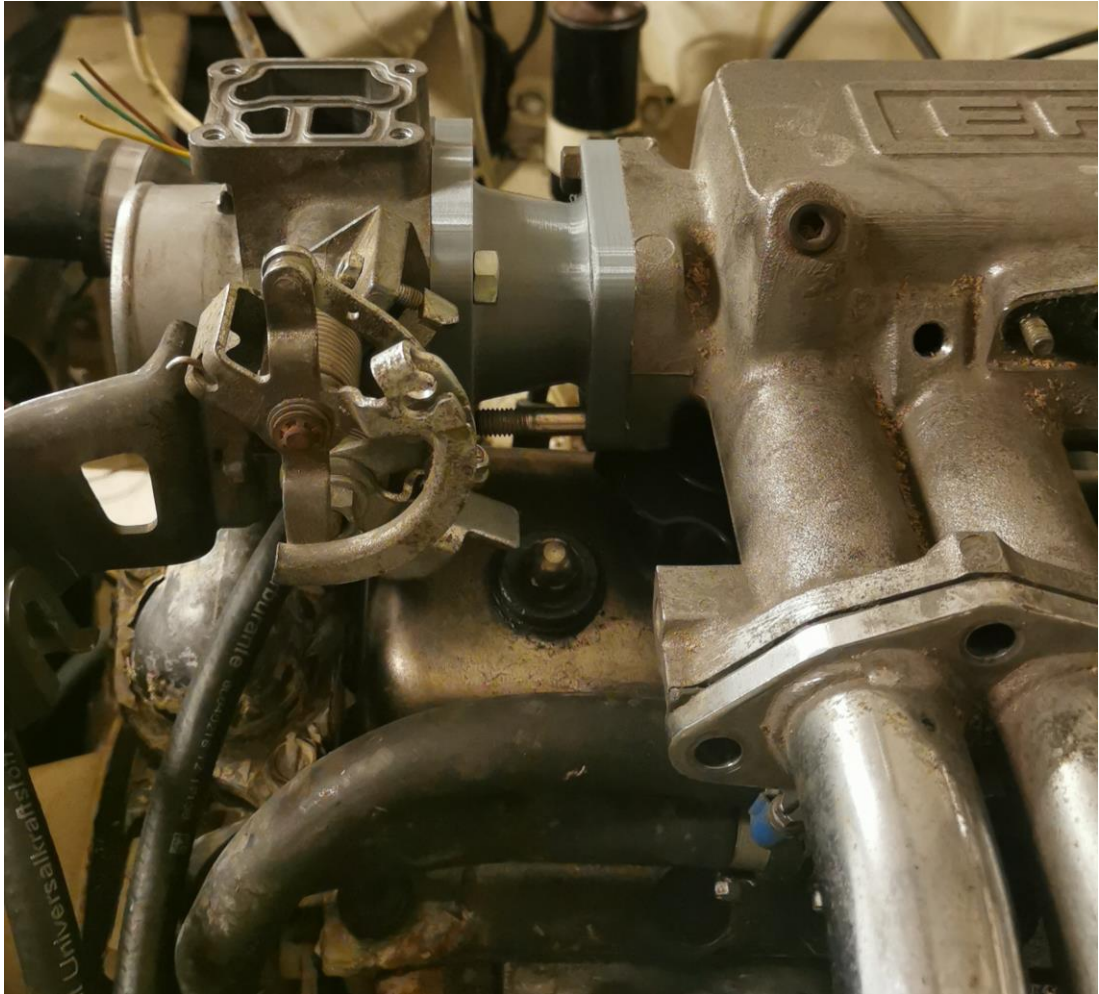
KUVA 13. Johtosarja alkuvaiheessa.

Johtosarjan tekeminen osoittautui aika työlääksi. Onneksi johtoja oli varattu ylimääräisiä, niin ikäviltä yllätyksiltä vältyttiin. Jokaisella anturilla ja laitteella oli oma värinsä johtosarjassa. Kaikki kahdentoista voltin johdot olivat punaisia ja maajohdot mustia. Kuvassa 14 on johtosarja ECU:n liittimiä vaille valmis.



KUVA 14. Lähes valmis johtosarja

Johtosarjan valmistuttua ruvettiin muokkaamaan imusarjaa. Imusarjaan piti tehdä pieniä muokkauksia ja tulpata ylimääräisiä lähtöjä. Imusarjan mukana tullut kaasuläppä ei ollut soveltuva viritettyyn moottoriin, joten se jouduttiin korvaamaan toisella. Tätä varten jouduttiin mallintamaan ja 3D tulostamaan adapterikappale, joka muokkaa uuden kaasuläpän tähän imusarjaan sopivaksi. Lisäksi kaasuläpän alkuperäistä tyhjäkäynninsäädintä ei pystytty hyödyntämään sen suuren koon vuoksi. Kuvassa 15 näkyy kaasuläppä imusarjaan liitettynä adapterin avulla.



KUVA 15. Kaasuläppä imusarjassa adapterin avulla

Adapterista tehtiin ensin PLA muovista kokeiluversio ja myöhemmin tulostettiin PA12 nylon versio, joka kestää olosuhteet konetilassa. Samaan aikaan mallinnettiin triggeripyörälle adapteri. Tämä tehtiin samalla tavalla ensin heikommasta muovista ja myöhemmin nylonista. Tyhjäkäynnin säätimen kohtaan tehtiin alumiinista peitelevy. Kuvassa 16 näkyy Triggeripyörä asennettuna kampiakselinsiimapyörälle.



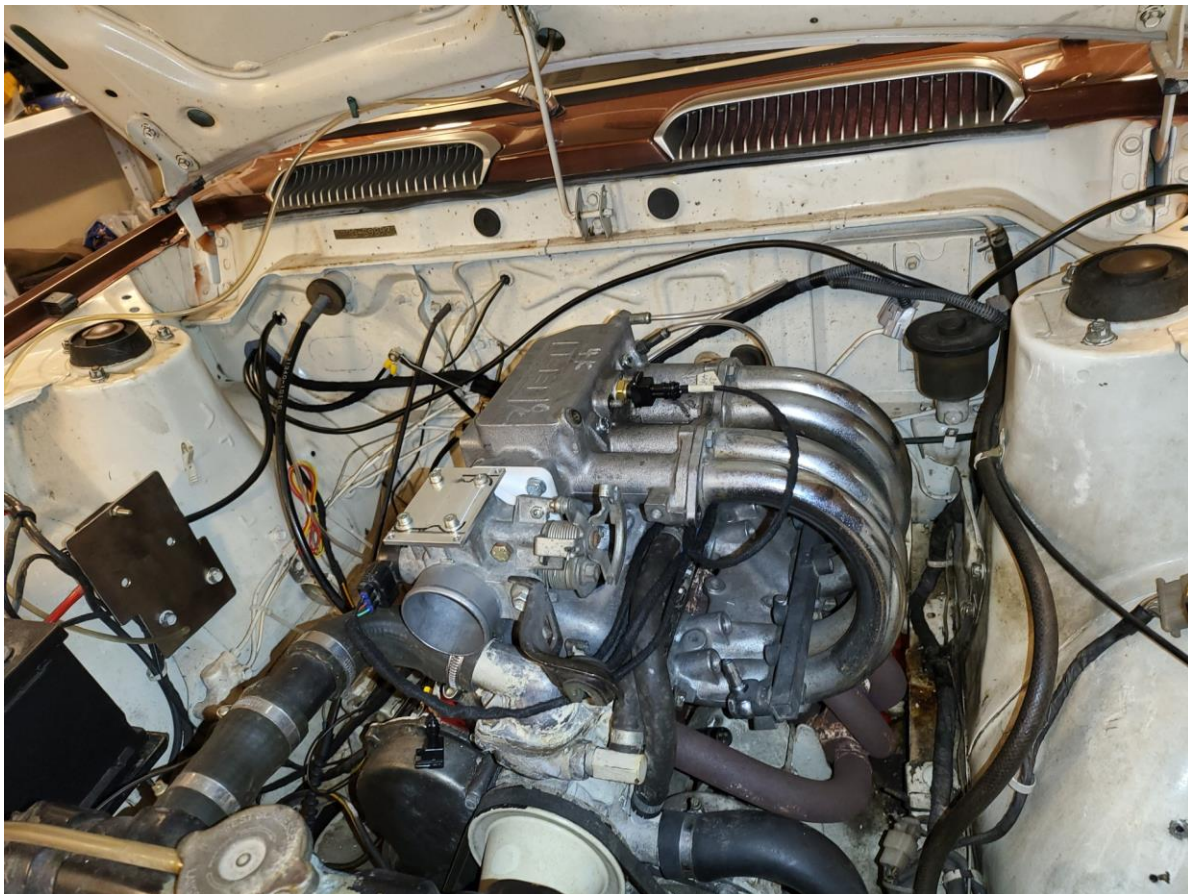
KUVA 16. Triggeripyörä asennettuna

Kampiakselin asentotunnistimen paikka tuotti hieman vaikeuksia, koska konetilassa ei ollut paljoa tilaa tehdä telinettä sille. Sopiva paikka löydettiin ja anturin telinettä ruvettiin tekemään. Kuvassa 17 näkyy triggeripyörä ja kampiakselin asentotunnistimena toimiva Hall-anturi.



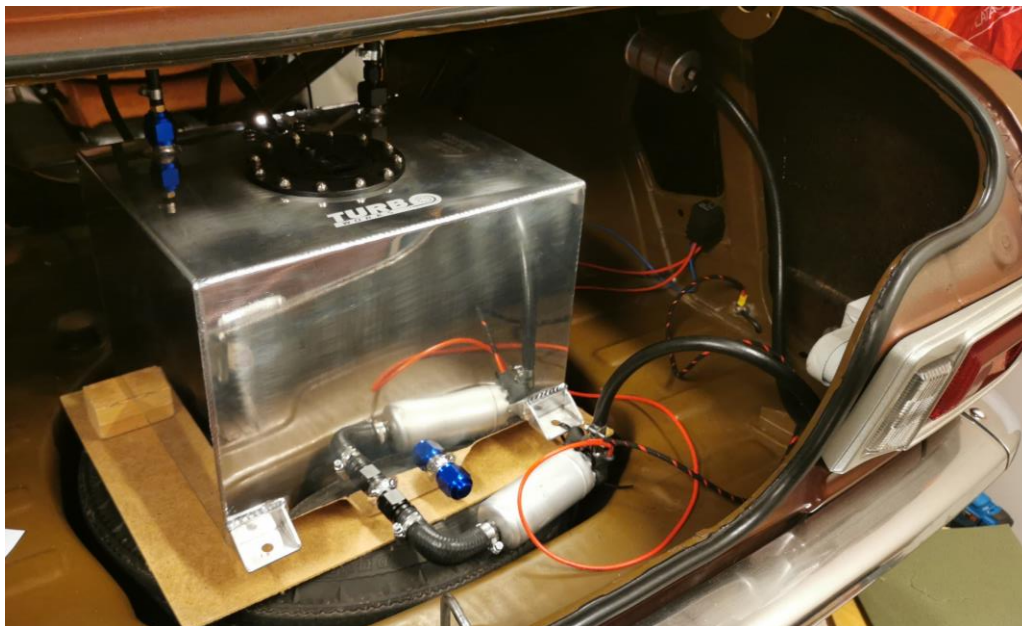
KUVA 17. Hall-anturin teline

Seuraavaksi koekasattiin kaikki osat paikoilleen. Kun imusarjan osat olivat paikoillaan, kokeiltiin, sopiiko tehty johtosarja. Johtosarjan sovituksen näkee kuvassa 18.



KUVA 18. Johtosarjan ja imusarjan kokeilu.

Kun moottoritilaan tarvittavat muutokset olivat suoritettu, alettiin tehdä polttoainepuolta. Autosta otettiin kaikki alkuperäiseen polttoainepuoleen liittyvät osat irti. Alun perin oli suunnitelmassa käyttää alkuperäistä tankkia ja laittaa tankin viereen välisäiliö, josta polttoainepumppu saisi koko ajan polttoainetta, mutta alkuperäisen tankin huonon kunnon takia päädyttiin vaihtamaan koko tankki ja korvaamaan se uudenaikaisella alumiinitankilla. Kaikki polttoaineputket vaihdettiin kuparisiin putkiin ja loppupätkät tehtiin letkulla. Kuvassa 19 näkyy polttoainetankki takaluukussa.



KUVA 19. Polttoainetankin kokeilu takaluukkuun.

Seuraavaksi alettiin kasaamaan moottoritalan osia viimeistä kertaa. Polttoainepuolelle vaihdettiin kaikki tiivisteet ja asennettiin suuttimet paikoilleen. Sytytyspuolelle laitettiin tarvittavat maadoitukset puolalle ja laitettiin tulpanjohdot paikoilleen. Vielä ennen viimeisen imusarjan osan asentamista, säädettiin autosta venttiilinvälkykset. Kuvassa 20 näkyy viimeistä kertaa kasattu imusarja ja pakosarja.



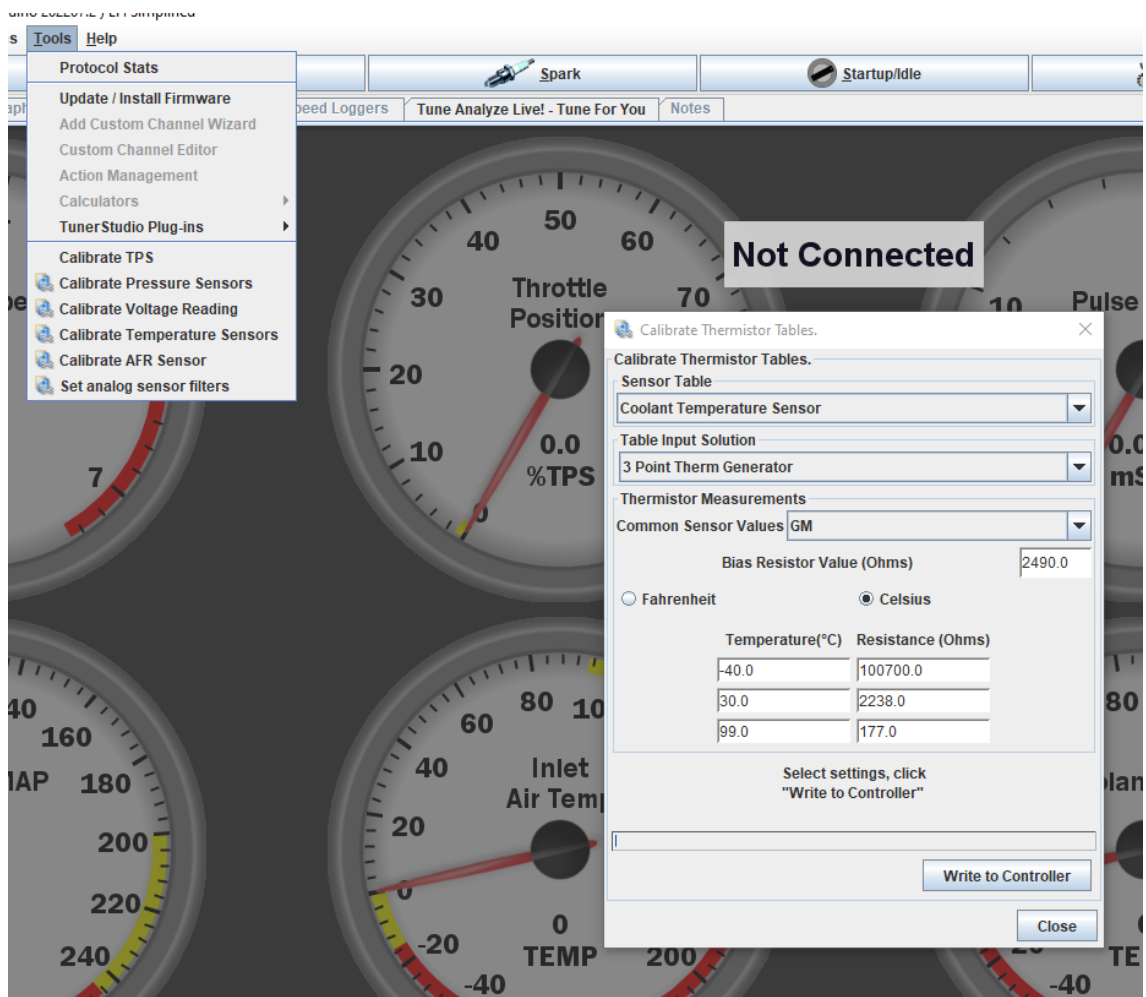
KUVA 20. johdotukset ja imusarja asennettu.

Seuraavana vaiheena oli saada kaasuvaijeri asennettua. Tämä päätettiin toteuttaa jatkamalla vanhaa vaijeria uudella. Vaijeri asennettiin alkuperäisen vaijerin telineeseen, joka löytyy imusarjan kyljestä. Kuvassa 21 näkyy jatkettu ja valmis kaasuvaijeri.



KUVA 21. kaasuvaijeri.

Antureiden kalibrointi aloitettiin, kun kaikki mekaaninen asennus oli valmis. Anturit kalibroitiin niiden mukana tulleiden arvojen mukaan. Lisäksi Hall-anturiin piti laittaa Pull-up-vastus, jotta se saatiin näyttämään oikeaa arvoa. Kaasun asentunnistimen kalibrointi tapahtui painamalla kaasu pohjaan ja ottamalla molemmista ääriasetuksista arvo ohjelmaan. Kuvassa 22 näkyy TunerStudio ohjelman sivu, jossa on antureiden säätöasetuksia.



KUVA 22. Nesteen lämpötila-anturin kalibrointiarvot.

Antureiden ja laitteiden kalibroinnin jälkeen voitiin kokeilla autoa käyntiin. Väärien triggeriasetusten takia ensimmäisellä yrityksellä saatiin aikaiseksi kunnan pamaus pakoputkeen. Kun asetukset olivat oikein, päästiin kokeilemaan käynnistystä uudestaan. Puutteellisten tyhjäkäyntisäätöjen takia ensimmäiset käynnistykset ovat melko lyhyitä, mutta auto käynnistyi hetkeksi ja kaikki näyttää olevan valmista säätöä varten.

5 Moottorinohjauksen säätö

5.1 Speeduino

Moottorinohjaimeksi valikoitui helposti muokattavissa oleva vapaan lähdekoodin moottorinohjain. Ohjaimen toiminta perustuu Arduino Mega:n prosessorin hyödyntämiseen. Speeduino -moottorinohjaimessa on kaikki tarvittavat 4 - 8 sylinteristen moottoreiden ohjaamiseen ja on hyvä valinta, jos budjetti on pieni. Speeduino on hyvin lähellä Megasquirt moottorinohjainta, molemmat hyödyntävät TunerStudio nimistä säätöohjelmaa. (Speeduino wiki.)

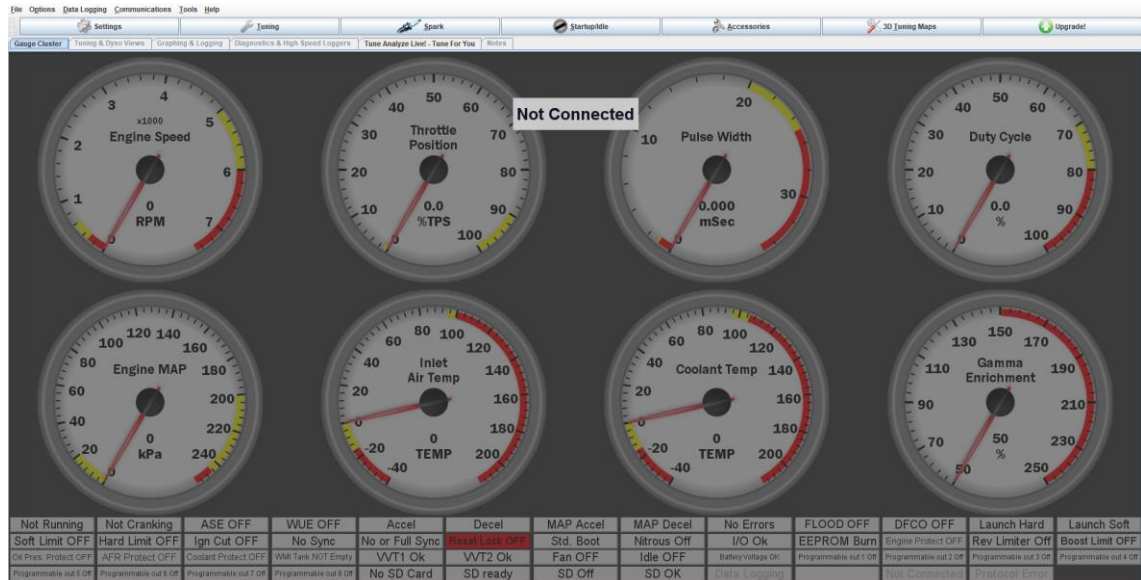


KUVA 23. Speeduino ECU

5.2 TunerStudio

TunerStudio on EFI Analytics- nimisen yrityksen tekemä ohjelmisto, joka on tarkoitettu jälkiasennetun moottorinohjauksen säätöön. Se on erittäin suosittu MegaSquirt- moottorinohjainta ja Speeduino- moottorinojausta käyttävien keskuudessa. Ohjelmiston avulla käyttäjä voi seurata moottorin anturitietoja reaaliajassa ja säätää niitä tarpeen mukaan, parantaen moottorin suorituskykyä. (EFI Analytics.)

TunerStudio on täynnä hyviä työkaluja moottorin säätämiseen. Yksi tärkeimmistä on suunnattu uusille säätäjille ja se on VE Analyze Live. Tällä säätötyökalulla ohjelma pystyy automaattisesti säätämään polttoainekarttaa moottorin ollessa käynnissä. Lisäksi ohjelmassa on muokattavissa oleva kojetaulunäkymä, mistä säätäjä voi päättää mitkä tiedot haluaa näkyviin. Kuvassa 24 näkyy perusnäkö, jossa näkyy kaikki tarpeelliset moottoritiedot. (EFI Analytics.)



KUVA 24. Kuvakaappaus TunerStudio ohjelmasta.

TunerStudiosta on saatavilla montaa eri versiota. Ilmainen versio Lite- versio ja maksulliset versiot MS ja MS Ultra. Ilmaisisessa versiossa on kaikki tarpeellinen moottorin säätöön, mutta silti aika rajoitettu pääsy säätötyökaluihin. Maksullisissa versioissa on kaikki edistyneet säätöominaisuudet saatavilla, esimerkiksi tuki alustajarrudynamometrissä auton säätämiseen. (EFI Analytics.)

5.3 Säätötyö

Säätötyö aloitettiin varmistamalla kampiakselin asentotunnistimen asema. Asemaksi valittiin 270 astetta ennen yläkuoloa, tämä asteluku kertoo kohdan, jossa ensimmäinen hammas puuttuvien hampaiden jälkeen ohittaa asentotunnistimen. Sytytysennakko laitettiin kiinteäksi 20 astetta ja katsottiin ajoituslampulla, oliko ennakko oikea. Ennakko oli oikea ja päästiin säätämään muita karttoja.

Ensimmäiseksi säädettiin ilman ja polttoaineen suhdekarttaa. Kartan arvot koitettiin saada mahdollisimman lähelle sosiometrasta arvoa, eli 14,7:1. Kuitenkin pitäen mielessä tarve saada lisää polttoainetta isommilla kierroksilla kaasuläpän ollessa kokonaan auki. Kartasta saatiin sopiva ja moottori kävi hyvin, tosin hieman rikkaalla, koska polttoainekarttaa ei ollut vielä säädetty.

Varsinainen säätötyö tehtiin Special Tuning Harinen Oy:n tiloissa ja yrityksen henkilökunnan avustuksella. Ensimmäisenä auto peruutettiin rullien päälle ja laitettiin tarvittavat mittarit ja anturit kiinni. Autoon laitettiin toinen Lambda-anturi pakoputken päähän ja nakutusanturi lohkon kylkeen. Seuraavaksi auto laitettiin kiinni tehonmittauspenkkiin sidontaliinoilla. Säätötyön mittauspenkinä toimii pyörrevirtajarrudynamometri. Tämäntyyppinen tehonmittauspenkki toimii sähköisellä jarrulla ja voima-anturin avulla.

5.3.1 Sytytyskartta ja polttoainekartta

Ennen varsinaista säätöä tehtiin suuntaa antava sytytyskartta, jota muokattiin moottorin tarpeiden mukaan. Kuvassa 25 näkyy auto säätöpenkissä valmiina säätöä varten. Vielä ennen säätöä, sytytystulpat vaihdettiin, koska suojaamattomat tulpat tuottivat liikaa häiriöitä.



KUVA 25. Auto säätöpenkissä

Moottorin korjausarvoja säädeltiin kuntoon ennen vaihteiden kytkemistä. Kun kaikki oli valmiina, voitiin ruveta säätämään polttoainekarttaa. Polttoainekartan säätäminen aloitettiin alkuun pienillä kierroksilla. Tämä tehtiin siksi, ettei moottorille tullut paljoa kuormaa.

Kun polttoainekartan arvoja oli korjattu oikeaan suuntaan, alettiin säätämään moottoria oikean ilma-polttoainesuhteen saavuttamiseksi kaikilla kuormituksen vaiheilla. Kesken säädön huomattiin venttiilinjousien olevan kuoleentunut. Tästä syystä moottoria ei voinut kierrättää yli 5800 kierroksen.

Kun polttoainekartta ja sytytyskartta saatiin säädettyä, oli säätötyö valmis. Tehoa ei moottorista kauheasti vakiota enempää saatu, mutta työssä haettiin auton muiden toimintojen parantamista ja kylmäkäynnistyksen helpottamista. Tavoitteet siis saavutettiin ja kuvassa 26 näkyy valmiin ja säädetyin auton moottoritila. Liitteessä 1 on tehonmittaustodistus, jossa näkyy moottorin teho ja vääntömomentti. Tehoa moottorissa on 51,1 KW ja vääntömomentti on 106,8 Nm.



KUVA 26. Moottoritila säädön jälkeen

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena on tutustua sähköisesti ohjattuun polttoaineen ruiskutukseen ja sytytykseen ja muuttaa kaasutinkäyttöinen moottori tällaiseen järjestelmään.

Muutostyö onnistui hyvin ja kaikki anturit saatiin asennettua. Yllätyksenä tuli johtosarjan tekemisen haastavuus. Johtosarja saatiin kuitenkin valmiiksi. Toisena isona haasteena oli auton alkuperäinen polttoainetankki ja polttoainelinjat. Tankki oli huonossa kunnossa ja se jouduttiin vaihtamaan. Myös kaikki polttoainelinjat vaihdettiin.

Muutostöiden suorittamisen jälkeen moottoriin asennetut anturit piti kalibroida, jotta moottorinohjus osaisi niitä hyödyntää. Tämä tehtiin TunerStudio ohjelmalla. Kalibroinnin jälkeen ruvettiin säätämään moottorinohjausta. Moottori saatiin säädettyä ja autosta tuli helppokäyttöisempi, kylmäkäynnistys parani ja auto saatiin vastaamaan kaasuun tasaiseksi. Tavoitteisiin siis päästiin.

Työ onnistui toivotulla tavalla, mutta muutaman asian olisi voinut tehdä paremmin. Johtosarjan signaalijohtimet ja virtajohtimet laitettiin samaan nippuun, tämä tuotti häiriöitä ja johtoja jouduttiin erottelemaan. Toisena Hall-anturin teline osoitautui liian löysäksi, kun moottori on lämmin. Teline olisi voinut olla jäykempi. Lopuksi olisi voinut tutustua sytytystulppien eroihin kaasutinauton ja polttoaineruiskutteisen moottorin välillä.

Työ toteutettiin omakustanteisesti.

LÄHTEET

Blue Stars Diesel 2019. Fuel injection has evolved from mechanical systems to a variety of electronically operated (EFI) system Viitattu 17.3.2025

<https://www.commonrailparts.net/2019/01/25/fuel-injection-has-evolved-from-mechanical-systems-to-a-variety-of-electronically-operated-efi-system/>

Wuling. 2024. What is Electronic Fuel Injection (EFI) in Car Engines? Viitattu 1.2.2025.

<https://wuling.id/en/blog/autotips/what-is-electronic-fuel-injection-efi-in-car-engines>

ScienceDireck 2007. Four-Stroke Cycle Viitattu 28.3.2025 <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/four-stroke-cycle>

HowStuffWorks. 2024. How Fuel Injector Systems Work. Viitattu 1.2.2025.

<https://auto.howstuffworks.com/fuel-injection.htm>

Pistonheads. 2018. What is electronic fuel injection? PH Explains. Viitattu 11.2.2025.

<https://www.pistonheads.com/news/general-pistonheads/what-is-electronic-fuel-injectionph-explains/37434>

Jalopnik. 2023. How Electronic Fuel Injection Works. Viitattu 6.2.2025.

<https://jalopnik.com/how-electronic-fuel-injection-works-499902815>

Kisho. 2019. Kuinka EFI-moottori toimii? Viitattu 11.2.2025. <https://fi.kisho-nano-coating.com/news/how-does-the-efi-engine-work-28143407.html>

Speeduino Manual Viitattu 3.3.2025. https://wiki.speeduino.com/en/wiring/Sensor_wiring

Bosch handbook 2011 sivu 860. Viitattu 17.3.2025

Bosch handbook 2011 sivu 664. Viitattu 26.3.2025

Gerald Schneehage Moottorin tunnistimet sivu 119. Viitattu 30.3.2025

Dejan n.d. What is Hall Effect and How Hall Effect Sensors Work. Viitattu 30.3.2025 <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/hall-effect-hall-effect-sensors-work/>

Premierautotrade n.d. HALL Sensors and Pickups. Viitattu 30.3.2025

<https://premierautotrade.com.au/news/hall-sensors-and-pickups.php>

EFI ANALYTICS n.d EFI Analytics TunerStudio Viitattu 10.4.2025

<https://www.tunerstudio.com/index.php/tuner-studio>

LIITTEET

Liite 1. Tehonmittaustodistus

