

Miika Puolitaival

Järjestelmä Euro 6 -moottoreiden esilämmittä- miseksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka, autosähkötekniikka

Insinöörityö

17.11.2018

Tekijä Otsikko	Miika Puolitaival Järjestelmä Euro 6 -moottoreiden esilämmittämiseksi
Sivumäärä Aika	42 sivua + 5 liitettä 17.11.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Ammatillinen pääaine	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Vesa Linja-aho Tuotepäällikkö Juuso Pahlstén, Oy Kaha Ab
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella järjestelmä, joka mahdollistaa Euro 6 -päästö määräykset täyttävien moottoreiden esilämmittämisen polttoainekäyttöisillä esilämmittimillä. Euro 6 -moottoreiden esilämmittäminen aiheuttaa toisinaan vikakoodeja OBD-järjestelmään ja moottorin häiriövalon syttymisen. Pitkän seisonta-ajan jälkeen moottorin itsediagnostiikka vertailee lämpötunnistimien signaaleja. Jos yksi tunnistinsignaaleista poikkeaa muista signaaleista, itsediagnostiikka tulkitsee kyseisen tunnistimen vialliseksi. Moottorin esilämmittäminen vaikuttaa vain jäähdytysnesteeseen lämpötunnistimeen, jolloin auton seisonta-aikana tapahtuva esilämmittäminen aiheuttaa vikakoodin ja moottorin häiriövalon syttymisen. Esilämmittämisen haasteista huolimatta autoilijat haluavat usein esilämmittää moottorinsa.</p> <p>Työ tehtiin Webaston viralliselle maahantuojalla Kaha Oy:lle ja työssä tutkittiin eri menetelmiä esilämmittämisen mahdollistamiseksi ilman, että se aiheuttaisi vikakoodeja ja moottorin häiriövalon syttymistä. Mahdollisia vaihtoehtoja etsittiin systemaattisesti, minkä jälkeen vaihtoehtoille tehtiin menetelmävertailu. Siinä päädyttiin ohjainlaitteeseen, joka estää moottorin ohjainlaitetta havaitsemasta esilämmityksestä aiheutunutta vikatilannetta.</p> <p>Työn tuloksena syntyi toimiva prototyyppi autoon asennettavasta ohjainlaitteesta, jolla voidaan manipuloida jäähdytysnesteeseen lämpötunnistimen signaalia. Signaalimanipuloinnilla vaikutetaan moottorin ohjainlaitteen lukemaan jäähdytysnesteeseen lämpötilaan siten, ettei se havaitse esilämmittämisestä johtuvaa jäähdytysnesteeseen lämpötilan nousua. Ohjainlaitteen toimintaa testattiin OBD-simulaattorilla. Testausten perusteella todettiin, että ohjainlaite toimii suunnitellusti normaaleissa testausolosuhteissa. Tuotteen kaupallistaminen vaatisi lisätestausta ja jatkokehitystä.</p>	
Avainsanat	esilämmittäminen, polttoainekäyttöinen lämmitin, ohjainlaite

Author Title	Miika Puolitaival System for Preheating of Euro 6 Emission Regulation Cars
Number of Pages Date	42 pages + 5 appendices 17 November 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Professional Major	Automotive Electronics Engineering
Instructors	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer Juuso Pahlstén, Product Manager, Oy Kaha Ab
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to plan a system which allows preheating of Euro 6 emission regulation engines with a fuel operated preheater. In some cases, preheating of Euro 6 emission regulation engines will cause fault codes to the OBD system and the engine malfunction indicator will switch on. The engine self-diagnosis will crosscheck the temperature sensors' signal correctness after a long stand-by period. If one of the temperature sensors signals deviates from others, the self-diagnosis will deduce that the sensor is faulty. Preheating of the engine will heat up the coolant temperature sensor only, then preheating during a stand by period will cause a fault code and the engine malfunction indicator will switch on. Despite the challenges of preheating many motorists want their engines to be preheated, so a solution needed to be found.</p> <p>The thesis was carried out for the official Webasto importer, Kaha Oy. In the thesis various methods were investigated to allow preheating the engine without causing fault codes and without causing the engine malfunction indicator to switch on. Possible methods were researched systematically, followed by method comparison. The best solution found using method comparison was a control unit, which prevents the self-diagnosis to detect the preheating of the engine.</p> <p>The result of this thesis was a vehicle-mounted prototype of a well-functioning control unit, which was capable of manipulating the coolant sensor signal. The signal manipulation affects the ability of the engine control unit to detect a rise in the coolant temperature after preheating. The function of the control device was tested with the OBD simulator. According to the test the control unit operated as planned under normal test conditions.</p>	
Keywords	preheating, fuel operated heater, control unit

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esilämmittäminen	2
2.1	Lämmittimen toimintaperiaate	2
2.2	Euro-päästö määräykset	3
2.3	Tunnetut ratkaisut	4
2.3.1	Moottorinohjainlaitteen herättäminen	4
2.3.2	Lisätunnistinkytkentä	5
2.3.3	Cold Start Kit	7
3	Järjestelmän suunnittelu	8
3.1	Menetelmävaihtoehdot	8
3.2	Toteutusvaihtoehdot	9
3.2.1	Lämmitysajan rajoittaminen	10
3.2.2	Tunnistinsignaalin manipulointi	11
3.3	Toteutusvaihtoehdon valinta	11
4	Ohjainlaite	12
4.1	Vaatimukset	12
4.2	KytKentä	13
4.3	Jäähdytysnesteen lämpötunnistin	14
4.4	CAN-väylä	15
4.5	OBD	15
4.6	OBD-PID	16
4.7	Lämmittimen käyntitieto	17
4.8	Sopeuttaminen	17
4.9	Manipulointimenetelmä	17
5	Laitteisto	18
5.1	Mikrokontrolleri	18
5.2	Pääpiirikaavio	19
5.3	Jännitteensyöttö	19
5.4	Manipulointisignaali	21
5.5	Signaalirele	22

5.6	Ulkolämpötunnistin	23
5.7	Tulosignaalit	24
5.8	CAN-sovitin	24
5.9	Piirilevyn suunnittelu	25
5.10	Piirilevyn valmistus	26
6	Ohjelmisto	27
6.1	Ohjelman rakenne	27
6.2	Mikrokontrollerin toiminta	29
6.3	Ohjelman pääkoodi	31
6.4	Funktiot ja muuttujat	34
6.4.1	Ohjainlaitekohtaiset funktiot ja muuttujat	34
6.4.2	CAN-ohjain	35
6.4.3	D/A-muunnin	36
6.4.4	A/D-muunnin	36
7	Testaaminen	36
8	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Morfologinen taulukointi	
	Liite 2. Ratkaisuvaihtoehtojen valinta	
	Liite 3. Arvostelukriteerien painokertoimet	
	Liite 4. Komponentit	
	Liite 5. Pääpiirikaavio	

Lyhenteet ja käsitteet

Euro 6	Voimassa oleva EU:n ajoneuvoja koskevan direktiivin määräämä päästöluokitus.
Abstrahointi	Yleiskäsitteen muodostaminen ongelmasta pelkistämällä.
Galvaaninen erotus	Sähköisen järjestelmän eristäminen toisista sähköisistä järjestelmistä.
Sulautettu järjestelmä	Tietokoneen ohjaaman laitteisto, joka on suunniteltu suorittamaan ennalta määrätyt tehtävät.
CAN	Controller Area Network. Ajoneuvoissa yleisesti käytetty tiedonsiirtoväylä.
Mikrokontrolleri	Pieni ohjelmoitava tietokone.
OBD	On-Board Diagnostics. Järjestelmä, joka valvoo moottorin toimintaa käytön aikana.
PID	Parameter IDs. OBD-järjestelmästä luettavissa olevia parametritietoja.

1 Johdanto

Auton moottoreiden esilämmittämisellä on Suomessa pitkä perinne. Moottorin esilämmittäminen koetaan tärkeäksi erityisesti moottorin kestämissen kannalta. Monet autoilijat ovat käyttäneet perinteistä lohkolämmittintä, jonka käyttämiseen Suomessa on hyvät mahdollisuudet. Vaikka Suomessa on yli miljoona lämmitystolppaa, usein niitä ei ole asennettu julkisille pysäköintialueille (Koistinen 2018). Jos autoa halutaan esilämmittää alueella, jossa ei ole verkkosähköä saatavilla, jää ainoaksi mahdollisuudeksi käyttää polttoainekäyttöistä lämmittintä. Polttoainekäyttöiset lämmittimet olivat muutama vuosikymmen sitten lähinnä kalliimpien autojen varuste, mutta ne ovat yleistyneet ja nykyään niitä asennetaan kaikkiin autoluokkiin.

Aikaisemmin moottorin esilämmittäminen oli välttämätöntä moottorin käyntiin saamiseksi kovilla pakkasilla. Nykyautoissa merkittävimiksi tekijöiksi ovat tulleet pakokaasupäästöjen pieneneminen, turvallisuus ja mukavuus. Esilämmitetty moottori myös kuluu vähemmän. (Vältä kylmäkäynnistystä, muista esilämmitys 2013.)

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin mahdollisuuksia Euro 6 -päästömääräykset täyttävien henkilöautojen moottoreiden esilämmittämiseksi, soveltamalla systemaattista tuotekehitysprosessia. Moottorin esilämmittäminen aiheuttaa toisinaan vikakoodeja ja moottorin häiriövalon syttymisen. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää ratkaisu, joka mahdollistaisi Euro 6 -moottoroiden esilämmittämisen polttoainekäyttöisellä esilämmittimellä ilman, että se aiheuttaisi vikakoodeja. Opinnäytetyö tehtiin Webaston viralliselle maahantuojalle Kaha Oy:lle. Webasto on Suomessa hyvin tunnettu tuotemerkki, erityisesti polttoainekäyttöisten lämmittimien valmistajana.

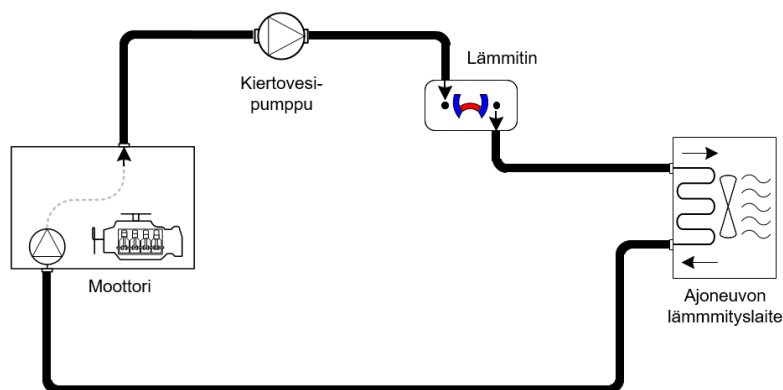
2 Esilämmittäminen

2.1 Lämmittimen toimintaperiaate

Polttoainekäyttöinen lämmitin tuottaa lämpöä polttamalla auton polttoainesäiliöstä otettavaa polttoainetta, ja se ottaa tarvitsemansa käyttövirran auton akusta. Polttoainekäyttöiset lämmitimet voidaan jakaa kahteen ryhmään käyttötapaansa mukaisesti:

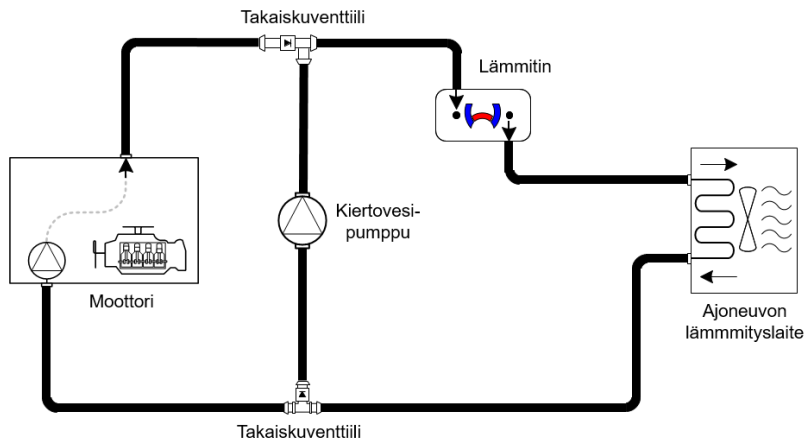
- Polttoainekäyttöiset esilämmittimet, joita käytetään auton esilämmittämiseksi ennen ajoa. Polttoainekäyttöisiä esilämmittimiä voidaan myös käyttää tuottamaan lisälämpöä ajon aikana.
- Polttoainekäyttöiset lisälämmittimet, joita käytetään ajon aikana tuottamaan lisälämpöä. Useat dieselkäyttöiset autot on varustettu tehdasasenteisella polttoainekäyttöisellä lisälämmittimellä. Polttoainekäyttöisiä lisälämmittimiä ei voida sellaisenaan käyttää esilämmittämiseen, mutta usein ne voidaan jälkikäteen muuttaa toimimaan myös esilämmittiminä.

Henkilöautojen esi- ja lisälämmittimet ovat tyypillisesti 4–5 kW:n tehoisia jäähdytysnestettä lämmittäviä lämmittimiä. Jäähdytysneste kierrätetään lämmittimeltä lämmityslaitteen kennolle ja moottorille (kuva 1). Esilämmityksen aikana järjestelmä käynnistää auton lämmityslaitteen puhaltimen, jolloin lämpö sisätiloihin siirtyy auton omien puhallussuuttimien kautta.



Kuva 1. Täyskierto, jolloin sisätilat ja moottori lämpenevät.

Osassa tehdasasenteisissa lämmitimissä jäähdytysnestekierto ohjataan vain lämmityslaitteen kennolle, jolloin moottori ei lämpene esilämmityksen aikana (kuva 2).



Kuva 2. Sisäkierto, jolloin vain sisätilat lämpenevät.

Usein sisäkierto voidaan jälkikäteen muuttaa siten, että nestekierto kulkee myös moottorin läpi, jolloin moottori saadaan lämpenemään.

2.2 Euro-päästö määräykset

EU:n ajoneuvoja koskevassa tyyppihyväksyntädirektiivissä säädetään raja-arvot ajoneuvojen haitallisille pakokaasupäästöille. Henkilöautoille Euro-luokat otettiin käyttöön vuonna 1989 ja nykyisin voimassa oleva Euro 6 -määräykset otettiin käyttöön syyskuussa 2014. (Euro-päästöluokat.)

Samalla kun päästö määräykset ovat kiristyneet, autovalmistajat ovat kehittäneet moottoritekniikkaa, jotta päästörajat voitaisiin täyttää. Euro 6 -päästö määräykset täyttävät autot tarkkailevat päästöihin vaikuttavien lämpötunnistimien toimintaa tarkemmin kuin aikaisempien päästö määräysten aikana. Osa näistä autoista tekee tunnistintarkistuksen pitkän, tyypillisesti 6–8 tunnin seisontajakson jälkeen. Tunnistintarkistus tehdään välittömästi syytysvirran kytkennän jälkeen, minkä aikana moottorinohjainlaite vertailee eri lämpötunnistimien signaaleja keskenään. Tunnistimet todetaan toimiviksi, jos ero tunnistinsignaalien kesken pysyy riittävän pienenä. Tyypillisesti eroa tunnistinsignaalien kesken sallitaan 20–25 °C. Tunnistinsignaalien eron ylittäessä raja-arvon siitä aiheutuu vikakoodi ja moottorinhäiriövalon syttyminen. (Webasto henkilöautolämmittimet 2018.)

2.3 Tunnetut ratkaisut

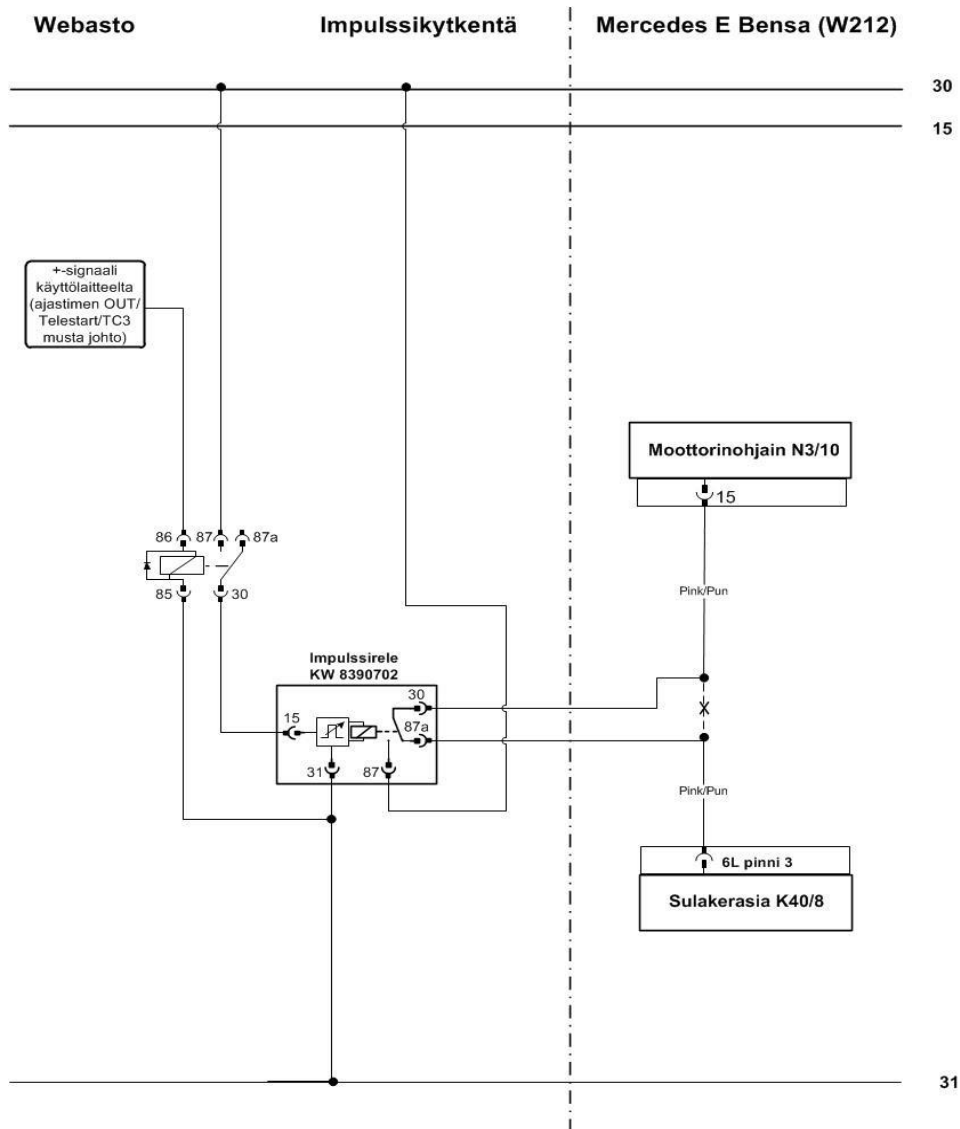
Polttoainekäyttöisellä lämmittimellä saavutetaan useiden kymmenien asteiden lämpötilan nousu jäähdytysnesteeseen, vaikka esilämmitysaika pidettäisiin lyhyenä. Esilämmittäminen aiheuttaa sen, että moottorin itsediagnostiikka tulkitsee jäähdytysnesteen lämpötunnistimen aiheettomasti vialliseksi ja sytyttää moottorinhäiriövalon.

Esilämmittämisen haasteista huolimatta useat autoilija haluavat moottorinsa esilämmittää. Äärimäisissä tapauksissa autokauppa on jäänyt toteutumatta, kun asiakkaalle on selvinnyt, ettei kyseisen auton moottorin esilämmittäminen ole mahdollista. Satunnaisissa tapauksissa myös lämmitinkauppa on jäänyt toteutumatta tai jo tehty lämmitinkauppa on purettu. Kyseiset tilanteet ovat erityisen huonoja asiakastytyvyyden kannalta, ja siksi Kaha haluaa tarjota asiakkailleen mahdollisuuden moottorin esilämmittämiseen polttoainekäyttöisillä lämmitimillä. Valitettavasti tällä hetkellä Kahalla ei ole tarjota ratkaisuja kaikkien Euro 6 -moottoreiden esilämmittämiseksi.

Euro 6 -päästömääräykset täyttävien moottoreiden esilämmittäminen vaatii lisäkytkentöjä, jotta se ei aiheuttaisi vikakoodeja. Tunnettuja ratkaisuja moottorin esilämmittämiseksi on tällä hetkellä kolme. Moottorinohjainlaitteen herättäminen, lisätunnistinkytkentä ja Cold Start Kit.

2.3.1 Moottorinohjainlaitteen herättäminen

Impulssirelekytkennällä moottorinohjainlaite herätetään tekemään tunnistintarkistus ennen moottorin esilämmittämistä. Esilämmittämisen alussa impulssirele kytkee hetkellisesti sytytysvirran moottorinohjainlaitteelle (kuva 3). Moottorin ohjainlaite herää ja suorittaa tunnistintarkistuksen. Esilämmittämisen jälkeen sytytysvirran kytkentä ei aiheuta toista tunnistintarkistusta, ellei esilämmittämisestä ole kulunut 6–8 tunnin määräaika.



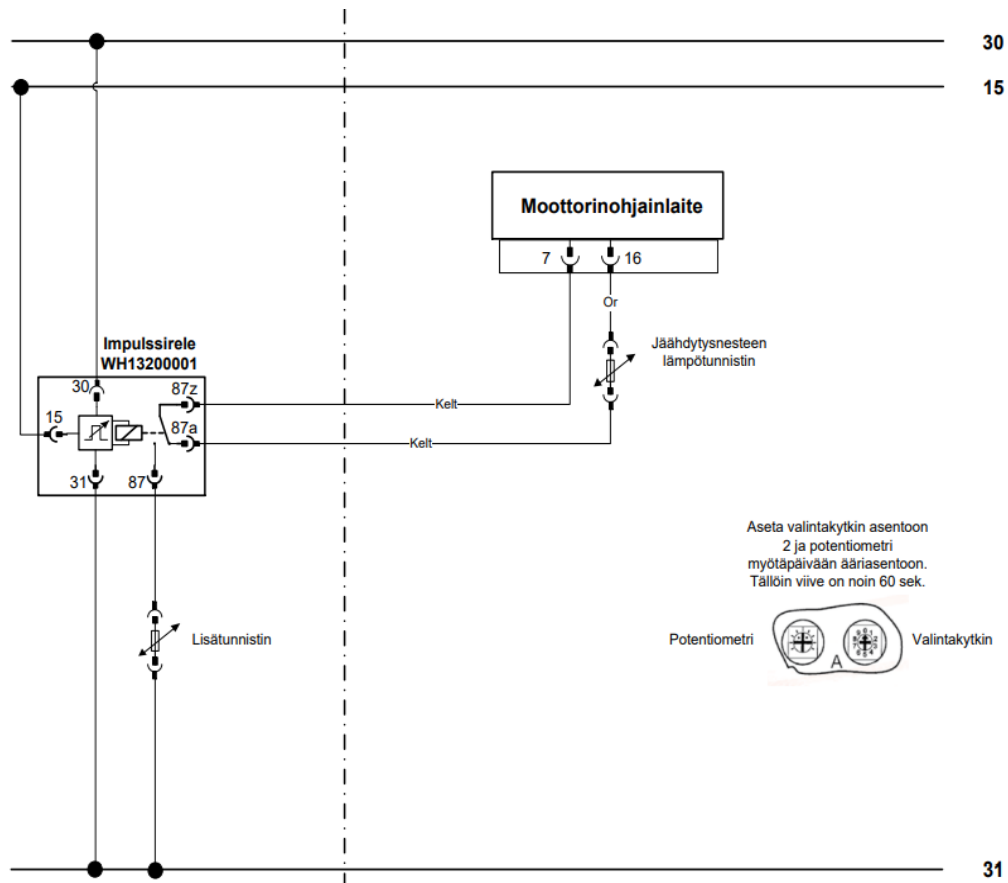
Kuva 3. Impulssirelekytkentä, moottorinohjainlaite herätetään ennen esilämmitystä.

Impulssirelekytkentä toimii vain tietyissä automalleissa ja ei siksi sovellu ainoaksi ratkaisuksi. Monissa tapauksissa moottorinohjainlaitteen sytytysvirran kytkentä ei aiheuta tunnistintarkistusta. Niissä tapauksissa, joihin Kahalla on impulssireleratkaisu olemassa, kyseinen kytkentä toimii hyvin ilman häiriöitä.

2.3.2 Lisätunnistinkytkentä

Lisätunnistinkytkennässä moottorinohjainlaite vaihdetaan lukemaan toista jälkiasenteista jäähdytysnesteen lämpötunnistinta tunnistintarkistuksen ajaksi (kuva 4). Tällöin moottorinohjainlaite ei lue todellista jäähdytysnesteen lämpötilaa, vaan lisätunnistimen

antamaa arvoa. Lisätunnistin asennetaan moottoritilaan kohtaan, jossa se mittaa ulkoilman lämpötilaa. Viivereleellä asetetaan moottorinohjainlaite lukemaan lisätunnistinta määrääjaksi, heti sytytysvirran kytkennän jälkeen. Kytkennän ansiosta moottorinohjainlaite ei havaitse eroa eri lämpötunnistimien signaalien kesken.

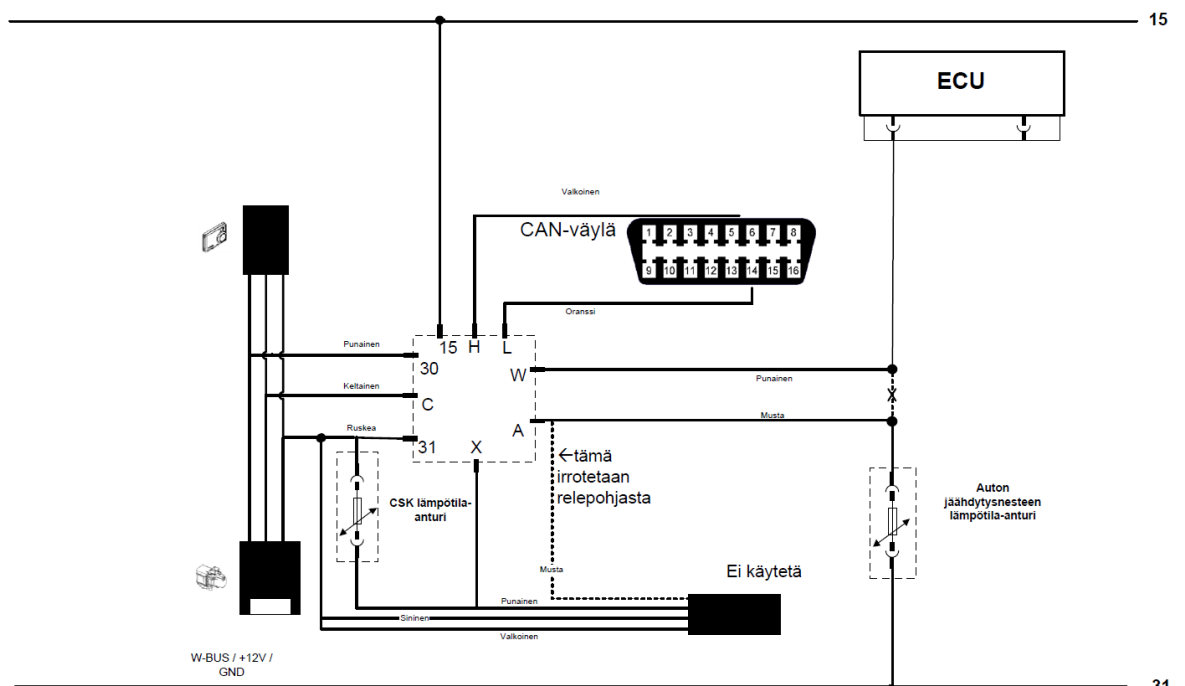


Kuva 4. Lisätunnistinkytkentä, moottorinohjainlaite lukee lisätunnistinta tarkistuksen aikana.

Lisätunnistinkytkentä on Kahan tarjonnasta lähes poistunut, muutamista häiriötilanteista johtuen. Kyseinen kytkentä vaihtaa moottorinohjainlaitteen lukemaan lisätunnistinta aina sytytysvirran kytkennän jälkeen, vaikka moottoria ei olisi esilämmitetty. Toisinaan kytkentä aiheuttaa hetkellisiä moottorin käyntihäiriöitä. Nopeasti sytytysvirran kytkennän jälkeen ajoon lähdeäessä, kuljettaja saattaa huomata moottorin käyttäytymisessä muutoksen, kun viiverele vaihtaa takaisin alkuperäiselle tunnistimelle. Kyseisen kytkennän käyttäminen saattaisi aiheuttaa myös vikatilanteen, kun jäähdytysnesteen lämpötilatunnistimen arvo muuttuu nopeasti kesken moottorin käynnin.

2.3.3 Cold Start Kit

Cold Start Kit -kytkennässä käytetään Webaston valmistamaa mallikohtaista sarjaa, joka sisältää ohjainlaitteen. Ohjainlaite kytketään moottorin jäähdytysnesteen lämpötunnistimen signaalijohdon kanssa sarjaan (kuva 5). Esilämmittämisen jälkeen suoritettavan tunnistintarkistuksen aikana Cold Start Kit syöttää lämpötilatietoa moottorinohjainlaitteelle. Moottorinohjainlaite ei tällöin lue todellista jäähdytysnesteen lämpötilaa, vaan Cold Start Kitin syöttämää arvoa. Tunnistintarkistuksen jälkeen Cold Start Kit asettaa moottorinohjainlaitteen lukemaan moottorin jäähdytysnesteen lämpötunnistinta.



Kuva 5. Cold Start Kit -kytkentä.

Kyseinen sarja on aina automallikohtainen eikä sen toiminnasta ole tiedossa olevia häiriötapauksia. Cold Start Kit vaatii toimiakseen Webaston väyläyhteyden, eikä sitä voida käyttää tehdasasenteisten lämmittimien kanssa. Kyseistä sarjaa on saatavana vain osaan automalleista.

3 Järjestelmän suunnittelu

Vaikka olemassa olevia ratkaisuja Euro 6 -moottoreiden esilämmittämiseksi on useita, jää moni automalli ilman toimivaa ratkaisua. Lisäksi olemassa olevat ratkaisut ovat tapauskohtaisia ja niiden käyttämisessä on omat rajoituksensa. Kaha suorittaa omia malliasennuksia niihin automalleihin, joihin Webasto ei ratkaisua tarjoa. Moottorin esilämmittämisen mahdollistavien ratkaisujen etsintä on erityisen aikaa vievää, kun erilaisia kytkentöjä ja niiden toimivuutta joudutaan testaamaan useita kertoja. Euro 6 -moottoreiden esilämmittämiseksi pyrittiin löytämään paras mahdollinen ratkaisu soveltamalla systemaattista tuotekehitysprosessia kirjan Engineer Design A Systematic Approach mukaisesti. (Pahl ym. 2007: 145–225.)

3.1 Menetelmävaihtoehdot

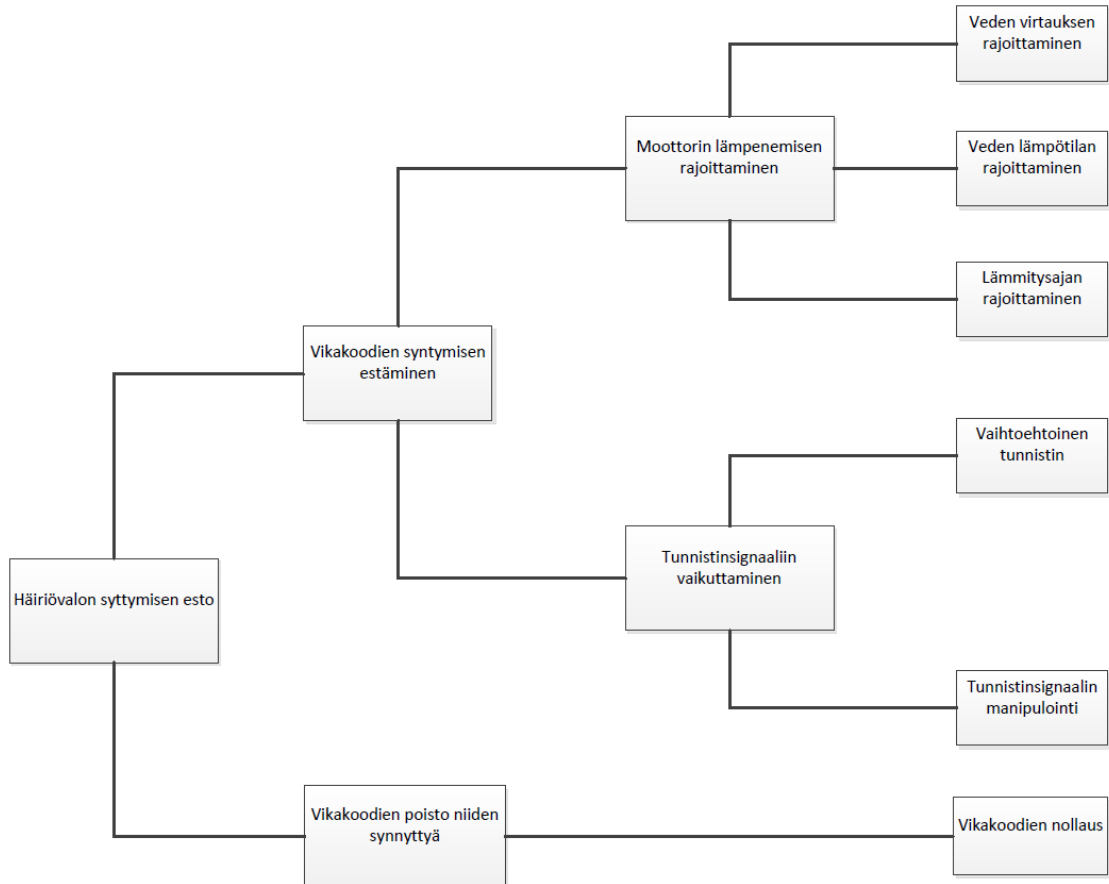
Järjestelmän suunnittelun aluksi laadittiin vaatimuslista, jonka perusteella suunnittelu aloitettiin (taulukko 1).

Taulukko 1. Järjestelmän vaatimuslista

V/T	Vaatus / Toivomus
T	Asennusaika enintään 3 h.
V	Sisätilojen tulee esilämmitä kohtuullisesti puolen tunnin esilämmittämällä.
V	Esilämmittämisen on poistettava jää tuulilasista puolen tunnin esilämmittämällä.
V	Esilämmittämisen on lämmitettävä moottorin vähintään 0 °C:n lämpötilaan.
T	Esilämmittämisen on lämmitettävä moottorin vähintään 20 °C:n lämpötilaan.
V	Vikatilanteet eivät saa vaikuttaa moottorin toimintaan.
T	Tuotantomallin suositushinta asennettuna enintään 500 euroa.
V	Ei saa vaikuttaa normaaliin lämmittimen käyttämiseen.
V	Järjestelmän tulee toimia automaattisesti.
V	Tulee toimia pölyisissä ja öljyisissä olosuhteissa auton normaaleissa käyttöolosuhteissa.
T	Virrankulutus enintään 2 A.
T	Tulee olla yleismallinen ja toimia useimmissa tapauksissa.

Vaatimuslistan laatimisen jälkeen ongelma abstrahoitettiin, minkä tuloksena syntyi käsitteellinen kuvaus järjestelmästä: tulee suunnitella ja valmistaa helposti autoon asennettava järjestelmä, joka estää esilämmittämisestä johtuvan moottorinhäiriövalon syttymisen.

Seuraavaksi ongelmaan lähdettiin etsimään menetelmävaihtoehtoja laatimalla kaavio mahdollisista menetelmistä (kuva 6).



Kuva 6. Menetelmävaihtoehdot

Menetelmävaihtoehtoja pyrittiin etsimään käsitteellisesti ottamatta liiaksi kantaa niiden toteutukseen.

3.2 Toteutusvaihtoehdot

Mahdollisten menetelmävaihtoehtojen löydyttyä, etsittiin morfologisella taulukoinnilla mahdollisia toteutusvaihtoehtoja (liite 1). Toteutusvaihtoehtoja löytyi useita ja niistä valittiin parhaiten soveltuvat karsimalla vaihtoehtoja valintalistalla (liite 2).

Tarkempaan vertailuun valittiin toteutusmenetelmät, jotka täyttivät vaatimuslistan vaatimukset ja toivomukset. Vertailuun valittiin myös kaksi toteutusvaihtoehtoa lämmitysajan rajoittamisesta (taulukko 2).

Taulukko 2. Valitut ratkaisuvaihtoehdot

Vaihtoehtonumero ja menetelmä	Ratkaisu
3.1 Lämmitysajan rajoittaminen	magneettiventtiili, vakioviive
3.4 Lämmitysajan rajoittaminen	erillinen pumppu, vakioviive
5.1 Tunnistinsignaalin manipulointi	rinnan, sytysvirta, muuttuva, jännite, analoginen
5.2 Tunnistinsignaalin manipulointi	rinnan, sytysvirta, muuttuva, säädettävä vastus, analoginen
5.3 Tunnistinsignaalin manipulointi	sarjaan, sytysvirta, muuttuva, jännite, analoginen
5.4 Tunnistinsignaalin manipulointi	sarjaan, sytysvirta, muuttuva, säädettävä vastus, analoginen

Vaihtoehdot 3.1 ja 3.4 eivät täytä kaikkia vaatimuslistan mukaisia vaatimuksia, mutta niiden asennettavuus on helppo ja järjestelmä on mahdollista toteuttaa valmiilla ja edullisilla komponenteilla.

3.2.1 Lämmitysajan rajoittaminen

Lämmitysajan rajoittamisen toiminta perustuu siihen, että esilämmityksen alussa kierrätetään jäähdytysnestettä lämmityslaitteen kennolla ja moottorilla. Kun moottori on hie-man esilämmennyt, muutetaan jäähdytysnestekierto siten, että jäähdytysneste kiertää vain lämmityslaitteen kennolla. Sinä aikana, kun jäähdytysneste kiertää vain lämmityslaitteen kennolla, moottorin lämpötila tasaantuu. Nestekierron muutos voidaan toteuttaa magneettiventtiilillä tai erillisellä kiertovesipumpulla. Viivereleellä voidaan asettaa aika, jolloin jäähdytysnesteen kierrättäminen moottorilla halutaan keskeyttää. Jotta järjestelmän toiminta voidaan taata, tulee jokaisen esilämmitysjakson olla riittävän pitkä. Mikäli sytysvirta kytketään esilämmityksen alussa, voi moottorissa kiertävän jäähdytysnesteen lämpötila olla liian korkea, mikä aiheuttaisi moottorinhäiriövalon syttymisen.

3.2.2 Tunnistinsignaalin manipulointi

Menetelmän toiminta perustuu siihen, että tunnistintarkistuksen aikana syötetään moottorinohjainlaitteelle manipuloitua tietoa jäähdytysnesteen lämpötilasta. Tunnistintarkistuksen aikana moottorinohjainlaite ei havaitse eroa eri lämpötunnistimien kesken, minkä jälkeen järjestelmä vaihtaa moottorinohjainlaitteen lukemaan alkuperäistä tunnistinsignaalia. Järjestelmän toteutus on haastava ja tarvitsee toimiakseen ohjelmoitavan ohjainlaitteen.

3.3 Toteutusvaihtoehdon valinta

Toteutusvaihtoehtojen valinnan jälkeen määriteltiin vaihtoehtoilta arvostelukriteerit ja niille painokertoimet (liite 3). Valitut toteutusvaihtoehdot pisteytettiin painokertoimilla, minkä tarkoituksena oli löytää paras mahdollinen ratkaisu ongelmaan. Pisteytyksessä parhaat pisteet sain toteutusvaihtoehto 5.3, joka valittiin ratkaisuksi ongelmaan (taulukko 3).

Taulukko 3. Toteutusvaihtoehtojen pisteytys

Arvostelukriteerit	Painokerroin [g]	Vaihtoehto											
		3.1		3.4		5.1		5.2		5.3		5.4	
		Arvo	Arvo * g	Arvo	Arvo * g	Arvo	Arvo * g	Arvo	Arvo * g	Arvo	Arvo * g	Arvo	Arvo * g
Vianetsintä	0,1	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3	0,3	3	0,3	4	0,4
Korjaaminen	0,1	3	0,3	3	0,3	5	0,5	5	0,5	5	0,5	3	0,3
Oireet	0,1	3	0,3	3	0,3	2	0,2	2	0,2	2	0,2	3	0,3
Rakenne	0,1	3	0,3	3	0,3	2	0,2	2	0,2	3	0,3	3	0,3
Komponenttien määrä	0,1	2	0,2	2	0,2	4	0,4	4	0,4	4	0,4	2	0,2
Hinta	0,05	2	0,2	2	0,2	4	0,4	4	0,4	4	0,4	2	0,2
Osien saatavuus	0,025	3	0,3	4	0,4	2	0,2	2	0,2	2	0,2	3	0,3
Yksinkertaisuus	0,025	4	0,4	4	0,4	3	0,3	2	0,2	3	0,3	4	0,4
Aika	0,1	2	0,2	2	0,2	3	0,3	3	0,3	4	0,4	2	0,2
Helppous	0,1	4	0,4	4	0,4	2	0,2	2	0,2	3	0,3	4	0,4
Käytettävyys	0,2	1	0,1	1	0,1	5	0,5	4	0,4	5	0,5	1	0,1
Summa			3,1		3,2		3,5		3,3		3,8		3,1

Arvo	Selite
0	sopimaton
1	puutteellinen
2	hyväksyttävä
3	riittävä
4	hyvä
5	ideaali

Moottorin lämmitysaikaa rajoittavat vaihtoehdot olisivat olleet mahdollisia, jos käytettävyyden painokerrointa olisi laskettu. Järjestelmän kuitenkin haluttiin toimivan siten, ettei käyttäjän tarvitse muuttaa lämmittimen käyttötapaa.

4 Ohjainlaite

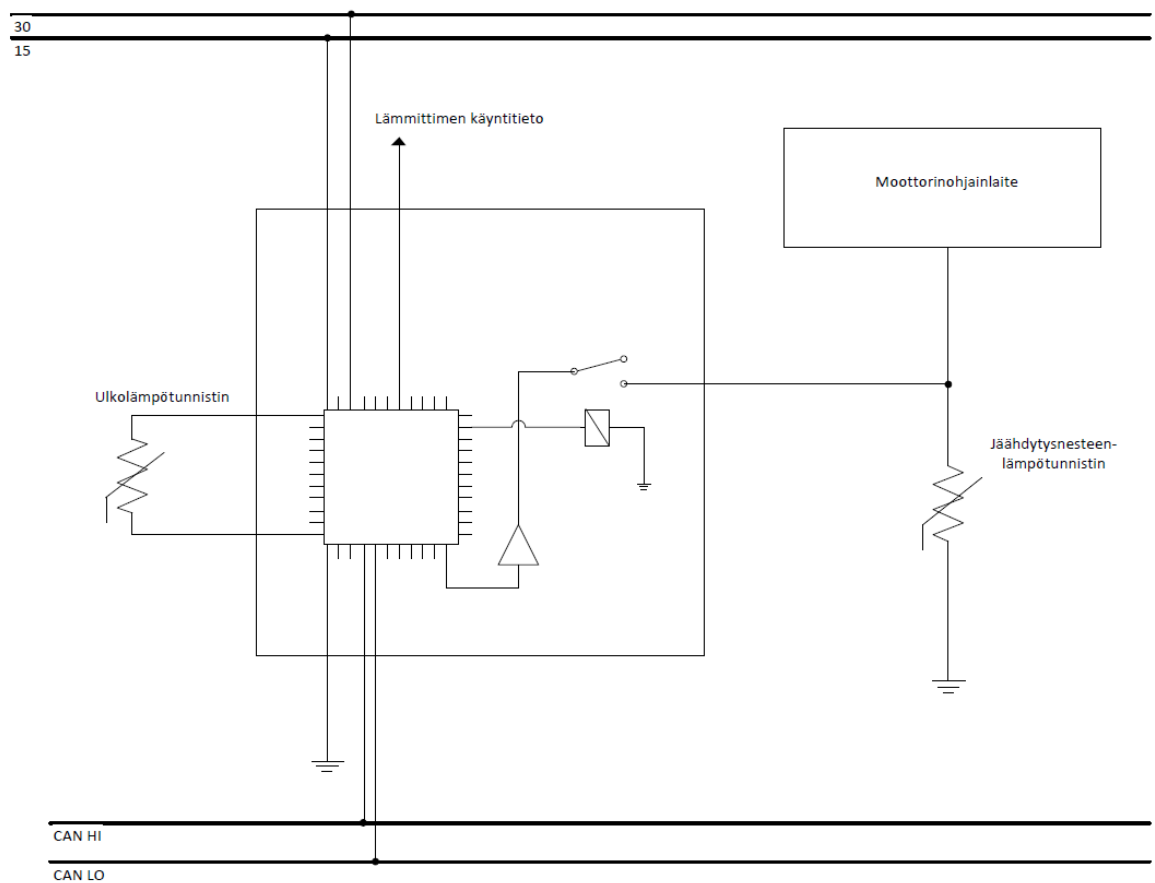
4.1 Vaatimukset

Ennen järjestelmän tarkkaa suunnittelua kartoitettiin mahdollisuuksia käyttää olemassa olevia ohjainlaitteita. Ohjainlaitteessa tulee olla säädettävä jännitelähtö tunnistinsignaalin manipuloimiseksi. Ohjainlaitteen pitää olla yleismallinen, jolloin sen toiminnan tulee olla sopeutettavissa asennuskohteeseen asentajan toimesta. Valmista soveltuva ohjainlaitetta ei kuitenkaan löytynyt. Ongelman ratkaisemiseksi päätettiin suunnitella ja toteuttaa ohjainlaitteesta prototyyppi, jossa olisi kaikki tarvittavat liitännät. Minimivaatimuksena on, että laitteistosta löytyy seuraavat tulot ja lähdöt:

- digitaalinen tulo lämmittimen käyntitietoa varten
- digitaalinen tulo sytytysvirtatietoa varten
- digitaalinen lähtö kytkentärelettä varten
- analoginen tulo ulkolämpötilaa varten
- säädettävä analoginen jännitelähtö tunnistinsignaalin manipuloimiseksi
- CAN-väyläliitännät ohjainlaitteen sopeuttamiseksi asennuskohteeseen.

4.2 KytKentä

Ensimmäisenä suunniteltiin ohjainlaitteen yleiskytkentä sekä periaatteellinen ohjainlaitteen sisäinen rakenne (kuva 7). Ohjainlaite saa käyttöjännitteen, maadoituksen sekä esilämmitystiedon lämmittimen käyttölaitteen johtosarjasta. Sytytysvirtatieto kytketään ta-pauskohtaisesti auton johtosarjaan. CAN-väyläliityntä tehdään OBD-liittimen takana liittämällä ohjainlaitteen väyläjohtimet ajoneuvon CAN-väylään. Ohjainlaitteeseen kytketään erillinen ulkolämpötunnistin, jonka johtimet kytketään suoraan ohjainlaitteen liittimeen. Manipulointisignaali kytketään signaalireleen kautta moottorin jäähdytysnesteen lämpötunnistimen rinnalle. Signaalirele mahdollistaa ohjainlaitteen sähköisen erottamisen auton lämpötunnistimelta, kun manipulointia ei suoriteta.

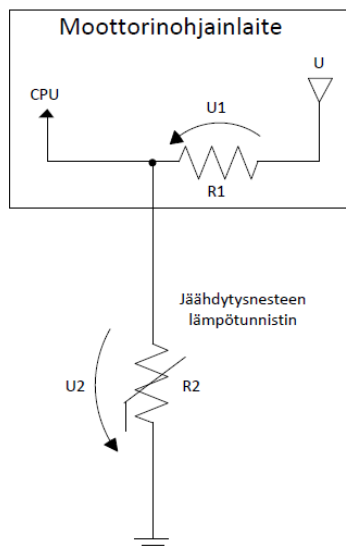


Kuva 7. Ohjainlaitteen kytkentä sekä periaatteellinen sisäinen rakenne.

Signaalimanipuloinnin aikana muutetaan moottorinohjainlaitteen lukemaa jäähdytysnesteen lämpötunnistimen signaalia. Ohjainlaitteen signaalilähtö määrää jännitteen signaalijohdossa, jolloin se joko syöttää virtaa tai ottaa sitä vastaan. Ohjanlaite toimii sellaisten lämpötunnistimien kanssa, joiden vastus riippuu lämpötilasta.

4.3 Jäähdytysnesteen lämpötunnistin

Autotekniikassa jäähdytysnesteen lämpötunnistimina käytetään yleisesti NTC-vastuksia. NTC-vastus on kytketty moottorinohjainlaitteen sisäisen ylösvetovastuksen kanssa sarjaan, jolloin jännitejakosäännön mukaisesti vastuksen yli oleva jännite muuttuu lämpötilan suhteen (kuva 8). Moottorinohjainlaite lukee tunnistinjännitteen perusteella tunnistimen lämpötilan.



Kuva 8. Lämpötilatunnistimen kytkentä, jossa U2 on tunnistimen jännite.

Moottorinohjainlaitteen sisäinen ylösvetojännite on tunnetuissa tapauksissa 5 V ja signaalijohdin on suojattu kestäämään oikosulkutilanteet. Vastuksen yli oleva jännite saadaan kaavasta

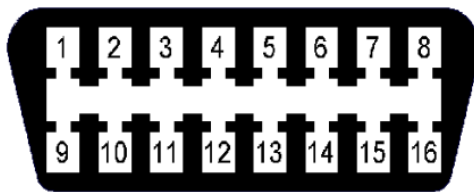
$$U_2 = R_2 \frac{U}{R_1 + R_2}$$

4.4 CAN-väylä

CAN-väylä on autoissa yleisesti käytössä oleva sarjamoiton tiedonsiirtoväylä. Fyysiseltä rakenteelta väylä on kierretty parikaapeli, jonka molemmissa päissä on päätevastukset. Väyläjohtimia kutsutaan CAN-high- ja CAN-low-johtimiksi. Väylään voidaan kytkeä käytännössä vapaasti tarvittava määrä ohjainlaitteita. Ohjainlaitteet voivat kuunnella ja lähettää viestejä väylään. Jokainen väylään lähetettävä viesti sisältää oman viesti ID:n, josta kuuntelevat ohjainlaitteet tietävät mitä tietoa viesti sisältää.

4.5 OBD

On-Board Diagnostics (OBD) on järjestelmä, joka valvoo auton moottorin ja sen komponenttien toimintaa käytön aikana. Euroopassa bensiinikäyttöisissä autoissa OBD-järjestelmä on ollut pakollinen vuodesta 2001 ja dieselkäyttöisissä autoissa vuodesta 2004. Liityntä OBD-järjestelmään tapahtuu SAE J1962 -standardissa määritellyn 16-napaisen liittimen kautta, yleisesti puhutaan OBD-liittimestä (kuva 9). Vuodesta 2008 alkaen on OBD-liitynnässä käytetty pääasiassa ISO 15765 CAN-protokollaa, jolloin liityntä CAN-väylään on mahdollista tehdä OBD-liittimellä. (98/69/EY.)



1	Valmistajan optio
2	PWM & VPM + signaali (SAE J1850)
3	Valmistajan optio
4	Maadoitus
5	Signaalimaa
6	CAN-H (ISO 15765-4 & J2284)
7	K-Line (ISO 9141-2 & ISO 14230-4)
8	Valmistajan optio
9	Valmistajan optio
10	SAE J1850 -signaali
11	Valmistajan optio
12	Valmistajan optio
13	Valmistajan optio

14	CAN-L (ISO 15765-4 & J2284)
15	L-Line ISO (9141-2 & 14230-4)
16	Akkujännite

Kuva 9. OBD-liitin edestä kuvattuna ja pinniselosteet.

4.6 OBD-PID

SAE J1979 -standardi määrittelee joukon parametritietoja (PID, Parameter IDs), joita voidaan kysyä OBD-järjestelmältä. Parametritiedot ovat niitä tunnistin- ja toimilaitetietoja, joita OBD-järjestelmä tarkkailee käytön aikana (taulukko 4). Parametritietoja voidaan muun muassa lukea yleisesti saatavissa olevilla OBD-lukulaitteilla. Lähettämällä standardissa J1979 määrätyn muotoinen kysely auton diagnoosiliittimellä olevaan CAN-väylään, vastaa OBD-järjestelmän piirissä olevat ohjainlaitteet vastausviestillä, joka sisältää vastaavan parametritiedon. OBD-järjestelmästä voidaan kysyä kahden tyyppisiä parametritietoja, joko tämänhetkinen tieto tai tallennettu tieto. Tilanteessa, jossa OBD-järjestelmään on tallentunut vikakoodi, tallennettu parametritieto sisältää tiedon senhetkisestä tilanteesta, kun kyseistä tunnistinta tai toimilaitetta koskeva vikakoodi on tallentunut. (SAE J1979 2017.)

Taulukko 4. Esimerkki standardissa SAE J1979 määritellyistä parametritunnisteista.

PID	Tavuja palaute-taan	Kuvaus	Minimiarvo	Maksimiarvo	Yksiköt	Kaava
5	1	Jäähdytysnesteen lämpötila	-40	215	°C	$A - 40$
10	1	Polttoaineen paine	0	765	kPa	$3A$
11	1	Imusarjan absoluuttinen paine	0	255	kPa	A
12	2	Moottorin pyörintänopeus	0	16,383.75	rpm	$\frac{256A + B}{4}$
13	1	Ajoneuvon nopeus	0	255	km/h	A
14	1	Sytytysennakko	-64	63.5	°ennen ykk	$\frac{A}{2} - 64$
15	1	Imuilman lämpötila	-40	215	°C	$A - 40$

4.7 Lämmittimen käyntitieto

Tieto esilämmityksestä saadaan Webaston käyttölaitteelta. Kaikki Webaston polttoainekäyttöisille lämmittimille tarkoitetut käyttölaitteet sisältävät kaksi lähtöä (kuva 10). Ensimmäinen lähdöstä antaa Webaston W-bus-väylätiedon, jota käytetään lämmittimen ohjaamiseen. Toinen lähtösignaaleista on analoginen ohjausjännite, jota voidaan kuormittaa korkeintaan 500 mA:n virralla. Lämmittimen käyntitieto voidaan lukea käyttölaitteen analogisesta ohjaussignaalista. (Webasto henkilöautolämmittimet 2018.)



Näkymä takaa

① Liitäntäjohdin		
Liitin		4-napainen
Pin 1	keltainen	W-Bus / Low Switch /Diagnoosi
Pin 2	musta	Analoginen ohjaussignaali, max. kytkentävirta: 500mA
Pin 3	punainen	Plus, +30
Pin 4	ruskea	Maadotus, -31

Kuva 10. Multicontrol-ajastin (Webasto henkilöautolämmittimet 2018.)

4.8 Sopeuttaminen

Autojen jäähdytysnesteen lämpötunnistimien toiminta vaihtelee mallikohtaisesti, jotta ohjainlaite voisi toimia asennuskohteessa oikein, tulee se asettaa asennuksen yhteydessä sopeutustilaan. Sopeutustilassa ohjainlaite tekee 0–5 voltin jännitepyyhkäisyn jäähdytysnesteen lämpötunnistimen signaalijohtoon. Jännitepyyhkäisyn aikana ohjainlaite lukee OBD-järjestelmän kautta jäähdytysnesteen lämpötilaa ja tallentaa taulukon mistä selviää lämpötila ja sitä vastaava signaalijännite.

4.9 Manipulointimenetelmä

Esilämmittämisen jälkeen tunnistintarkastuksen aikana ohjainlaite suorittaa lämpötilasignaalin manipuloimisen. Ohjainlaite lukee vallitsevan ulkolämpötilan ja hakee sopeutuksen yhteydessä tallennetusta taulukosta lämpötilaa vastaavan jännitearvon. Taulukosta haettu jännite syötetään jäähdytysnesteen lämpötunnistimen signaalijohtoon. Näin syö-

tetty manipulointiarvo vastaa manipuloinnin alussa ulkolämpötilaa, jolloin moottorinohjainlaite ei havaitse moottorin esilämmittämistä. Ohjainlaite jatkaa manipulointia nostamalla tasaisesti manipulointilämpötilaa. Kun manipulointilämpötilaa on nostettu 25 °C:seen, katkaistaan manipulointisignaalin syöttäminen ja moottorinohjainlaite siirtyy lukemaan todellista jäähdytysnesteen lämpötilaa.

5 Laitteisto

Laitteiston suunnittelu toteutettiin avoimeen lähdekoodiin perustuvalla Kicad-nimisellä piirilevyjen suunnitteluohjelmalla. Ohjelmistoon päädyttiin, koska se on ilmainen ja vapaasti verkosta ladattavissa ja siinä on kaikki tarvittavat ominaisuudet piirilevyn suunnittelemiseksi.

Piirilevyn suunnittelu muodostui kahdesta erillisestä työvaiheesta. Ensimmäisenä suunniteltiin piirikaavio komponentteineen. Komponenttivalinnat tehtiin komponentin ominaisuuksien ja ulkoisten mittojen perusteella. Komponentit valittiin riittävän suuriksi, jotta niiden käsin juottaminen piirilevylle olisi mahdollista. Valitut komponentit on esitetty liitteessä 4. Piirikaavion suunnittelu jaettiin useaan erilliseen pienempään piirikaavioon toimintokohtaisesti, jotta suunnittelusta tulisi modulaarinen. Modulaarisia toimintokokonaisuuksia on mahdollista hyödyntää tulevissa projekteissa. Toisena työvaiheena suunniteltiin komponenttien sijainti ja niiden väliset johdinyhteydet piirilevyllä.

5.1 Mikrokontrolleri

Mikrokontrolleri on pieni ja heikkotehoinen ohjelmoitava tietokone, joka sisältää prosessorin, muistia ja I/O-portteja. Mikrokontrollereita käytetään laajasti sulautetuissa järjestelmissä. Ohjainlaitteeseen valittiin Microchipin valmistama ATmega16M1-mikrokontrolleri, josta löytyy riittävä määrä liitäntöjä ja jossa on valmius CAN-väyläviestintään. ATmega16M1 mikrokontrollerin keskeiset ominaisuudet ovat seuraavat:

- 16 kilotavua Flash-ohjelmamuistia, jonne suoritettava ohjelmakoodi ja vakiomuuttujat tallennetaan
- 1 kilotavua SRAM-datamuistia, jonne tallennetaan ohjelman suorituksen aikana muuttujien arvoja, joiden ei tarvitse säilyä virrankatkaisun yli

- 512 tavua EEPROM-muistia, jonne tallennetaan ohjelman suorituksen aikana muuttujien arvoja, joiden tulee säilyä virrankatkaisun yli
- CAN-väylä ominaisuus kuudella viestioliolla. Viestioliot ovat mikrokontrolleriin rakennettu menetelmä väyläviestien lukemiseen ja lähettämiseen
- 10-bittinen A/D-muunnin, joka on mikrokontrollerin toiminto jännitteen lukemiseksi muuttujaan
- 10-bittinen D/A-muunnin, joka muuntaa muuttujan arvon lähtöjännitteeksi
- 24 I/O-pinniä, jotka ovat mikrokontrollerin lähtö- ja tuloliitäntöjä. Osalla I/O-pinneistä on erikoistoimintoja, kuten mahdollisuus sarjaviestintään.

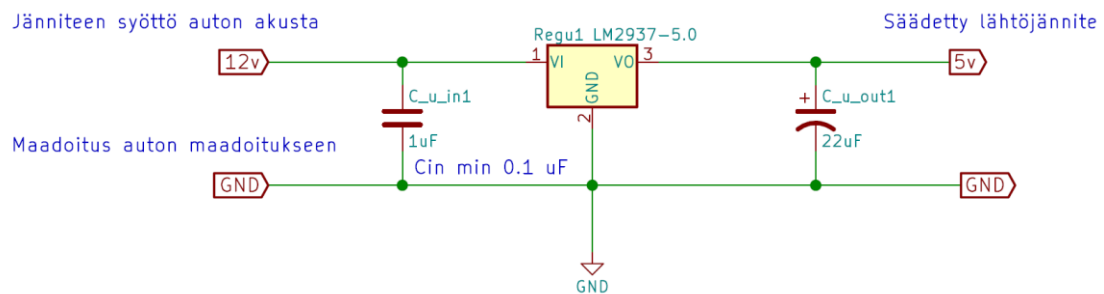
5.2 Pääpiirikaavio

Piirikaavioon suunniteltiin tulo- ja lähtöyhteydet muihin erillisiin osatoimintoihin, ohjanlaitteen liittimeen sekä mikrokontrollerin toiminnan kannalta välttämättömiin ulkoisiin komponentteihin (liite 4). A/D- ja D/A-muuntimet tarvitsevat toimiakseen yhteisen käyttö- ja vertailujännitteen. Muunnostarkkuuden parantamiseksi käyttöjännite suodatettiin LC-piirillä. Vertailujännitteenä päätettiin käyttää mikrokontrollerin sisäistä vertailujännitettä, jonka suodattamiseksi tuli mikrokontrollerin AREF-liitäntä kytkeä kondensaattorin kautta maadoitukseen. Valittu mikrokontrolleri sisältää sisäisen oskillaattorin, joten toiminnan kannalta ulkoinen kideoskillaattori ei ole välttämätön. Kideoskillaattorin käyttämisestä kuitenkin suositellaan, kun halutaan käyttää CAN-väyläviestintää. Piiriin valittiin 8 MHz:n kideoskillaattori, mikä kytkettiin mikrokontrolleriin kahden 20 pF:n kondensaattorin kanssa. (ATmega16M1/32M1/64M1 datasheet 2016.) Mikrokontrollerin ohjelmointia varten piiriin suunniteltiin 6-napainen ohjelmointiliitin. Ohjelmointiliitintä käytetään myös sopeutustilaan siirtymiseen kytkemällä kaksi liittimen pinniä jumpperilla toisiinsa. Piiriin suunniteltiin myös LED-merkkivalo ilmaisemaan laitteen eri toimintatiloja.

5.3 Jännitteensyöttö

Piirikaavioon suunniteltiin jänniteregulaattori ja sen vaatimat kondensaattorit (kuva 11). Mikrokontrollerin käyttöjännitealue on 2,7–5,5 V. Käyttöjännitteeksi valittiin viisi voltia, mikä vaaditaan myös CAN-väyläsovittimelle ja manipulointilähdön vahvistimelle. Kun kaikki piirin osat toteutettiin samalla jännitteellä ei piiriin tarvinnut suunnitella useita jännitelähteitä. Regulaattoriksi valittiin Texas Instrumentsin valmistama LM2937-regulaattori. Regulaattorin valintaan päädyttiin sen riittävien ominaisuuksien vuoksi ja kyseistä komponenttia oli valmiiksi omassa varastossa. Regulaattori on kyseiseen käyttöön hyvä,

sen lämpö- ja oikosulkusuojausten puolesta. Lisäksi valitulla regulaattorilla on korkea 500 mA:n virranantokyky. Ohjainlaitteen suurin laskennallinen virrankulutus on 67 mA, joten valittu regulaattori täyttää virrananto vaatimuksen (liite 4). Regulaattorin tulokondensaattoriksi valittiin 1 μF :n keraaminen kondensaattori ja lähtökondensaattoriksi 0,88 Ω :n resistanssilla oleva 22 μF :n elektrolyyttikondensaattori. Kondensaattoreiden ominaisuudet ylittävät vähimmäisvaatimukset moninkertaisesti. (LM2937 datasheet 2014.)



Kuva 11. Jännitteensyöttöpiiri

Regulaattorissa tapahtuu piirin komponenteista suurin tehohäviö. Tehohäviö on suurimmillaan 0,81 W, kun manipulointisignaali johdin on oikosulussa maadoitukseen. Komponentin tehohäviö voidaan laskea kaavalla

$$Pd = (Vi * Is) + (Vi - Vo) * Io$$

Vi on syöttöjännite

Is on komponentin lepovirta

Vo on lähtöjännite

Io on lähtövirta

Tehohäviö aiheuttaa komponentin lämpenemistä ja liiallinen komponentin lämpeneminen voi vaurioittaa komponenttia. Valitun regulaattorin puolijohdeliitoksen lämpötilan nousu ilman jäähdytysaluetta on pahimmassa tapauksessa 140 °C. Suurin sallittu puolijohdeliitoksen lämpötila on 150 °C, jolloin regulaattorin lämpösuojaus kytkee sen pois päältä. Suositeltu suurin puolijohdeliitoksen lämpötila on kuitenkin vain 85 °C, joten komponentti tulee sijoittaa piirilevylle siten, että piirilevy toimii jäähdytysalueena. Jos piirilevyn jäähdyttävä pinta-ala on 300 mm², puolijohdeliitoksen lämpötilan nousu on enää noin 65 °C ja siten hyväksyttävissä. Kun vielä huomioidaan se, että regulaattorin

suurin tehohäviö aiheutuu vain vikatilanteessa ja kestää tällöinkin vain muutaman minuutin, voidaan tarvittaessa jäähdyttävää pinta-alaa pienentää. (LM2937 datasheet 2014; Thermal Resistance 2000: 32.)

Komponentin puolijohdeliitoksen lämpötilanmuutos voidaan laskea kaavalla

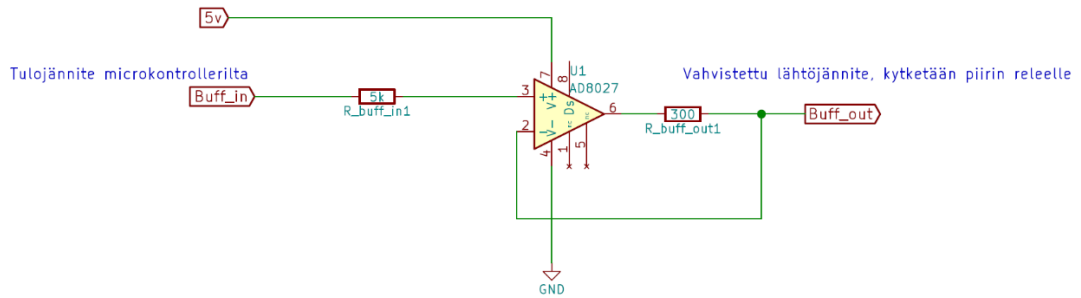
$$\Delta T = Pd * \theta_j$$

Pd on tehohäviö

θ_j on lämpöresistanssi

5.4 Manipulointisignaali

Mikrokontrollerin säädettävää jännitelähtöä ei voida sellaisenaan käyttää manipulointisignaalina, vaan se on tarkoitettu kytkettäväksi vahvistinpiiriin (AT-mega16M1/32M1/64M1 datasheet 2016: 348). Vahvistinkytkentä toteutettiin operaatiovahvistimen negatiivisella takaisinkytkennällä, mikä saa operaatiovahvistimen toimimaan jänniteseuraajana (kuva 12). Tällöin operaatiovahvistimen lähtöjännite pysyy yhtä suurena kuin tulojännite ja kytkentä vahvistaa vain virtaa jännitteen pysyessä vakiona. Kyseisellä vahvistinkytkennällä voidaan kytkeä suuri-impedanssinen tulo matalaimpedanssiseen kuormaan, joten jäähdytysnesteen lämpötunnistimelle kytkettävä signaali ei aiheuta kuormaa mikrokontrollerille. Operaatiovahvistimeksi valittiin Analog Devicesin valmistama AD8027 rail-to-rail -operaatiovahvistin. Valitun operaatiovahvistimen suurin lähtövirta on 105 mA viiden voltin syöttöjännitteellä, mikä on riittävän suuri manipuloidaan tunnustinsignaalia. Operaatiovahvistimen lähtöön kytkettiin 300 Ω :n sarjavastus rajoittamaan manipulointivirtaa oikosulutilanteessa. Suurin mahdollinen lähtövirta on tällöin noin 17 mA signaalijohtimen ollessa oikosulussa maadoitukseen ja 47 mA signaalijohtimen ollessa oikosulussa akkujännitteeseen. Tilanteessa, jossa signaali johdin on oikosulussa akkujännitteeseen, tehohäviö operaatiovahvistimessa on noin 0,7 W. Komponentin ollessa piirilevyllä tehohäviö aiheuttaa noin 87 °C lämpötilan nousun puolijohdeliitokseen. Puolijohdeliitoksen suurin sallittu lämpötila on 175 °C, joten ympäröivän ilman lämpötilan ollessa alle 88 °C komponentti ei vaurioidu. (AD8027/AD8028 datasheet Rev.D.)

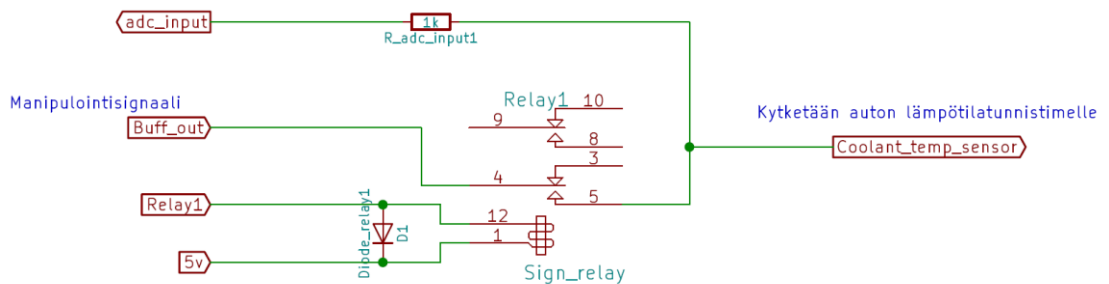


Kuva 12. Vahvistinkytkentä

Operaatiovahvistimen Ei-invertoivaan (+) tuloon kytkettiin 5 k Ω sarjavastus suojamaan mikrokontrollerin jännitelähtöä. Operaatiovahvistimen tulon ottama virta on korkeintaan 6 μ A, joten 5 k Ω :n sarjavastus aiheuttaa enintään 30 mV:n jännitehäviön. Operaatiovahvistimen suurin mahdollinen lähtöjännite laskee sarjavastuksen jännitehäviön verran, mikä on niin pieni, ettei se vaikuta ohjainlaitteen suorituskykyyn.

5.5 Signaalirele

Manipulointisignaali kytketään signaalireleen kautta auton jäähdytysnesteen lämpötunnistimelle (kuva 13). Signaalireleeksi valittiin Tyco Electronicsin valmistama Axicom V23079. Releen ohjausjännite on 5 V ja ohjausvirta 28 mA, joten releen voi ohjata suoraan mikrokontrollerin lähdöllä. Releen käämin rinnalle kytkettiin korkeanopeuksinen diodi poistamaan releen ohjauksesta aiheutuva itseinduktiopulssi. (P2 Relay V23079 datasheet 2018; ATmega16M1/32M1/64M1 datasheet 2016: 394.)



Kuva 13. Signaalireleen kytkentä, 1 k Ω :n vastus on optio, joka jätettiin kytkemättä.

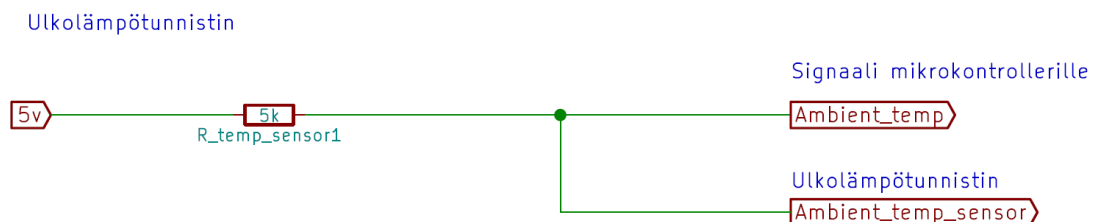
5.6 Ulkolämpötunnistin

Ulkolämpötunnistimeksi valittiin VDO:n valmistama NTC-ulkolämpötunnistin. Kaha Oy tuo valittua tunnistinta maahan, joten tuote ja sen tekniset tiedot olivat helposti saatavilla. Piirillä signaalijohdin kytkettiin ylösvetovastuksella piirin käyttäjännitteeseen, jolloin signaalijohtimen jännite muuttuu lämpötilan suhteen (taulukko 5).

Taulukko 5. VDO ulkolämpötunnistin vastustaulukko (VDO Mittarit ja mittarivarusteet 2003: 35).

VDO:n ulkolämpötunnistin		
Lämpötila [°C]	Vastus [Ω]	Jännite [mV] @ 5 v/5 kΩ:n ylös veto
30	460	421
25	571	512
20	713	624
15	899	762
10	1143	930
5	1464	1132
0	1892	1373
-5	2470	1653
-10	3257	1972
-15	4329	2320
-20	5821	2690
-25	7894	3061
-30	10840	3422

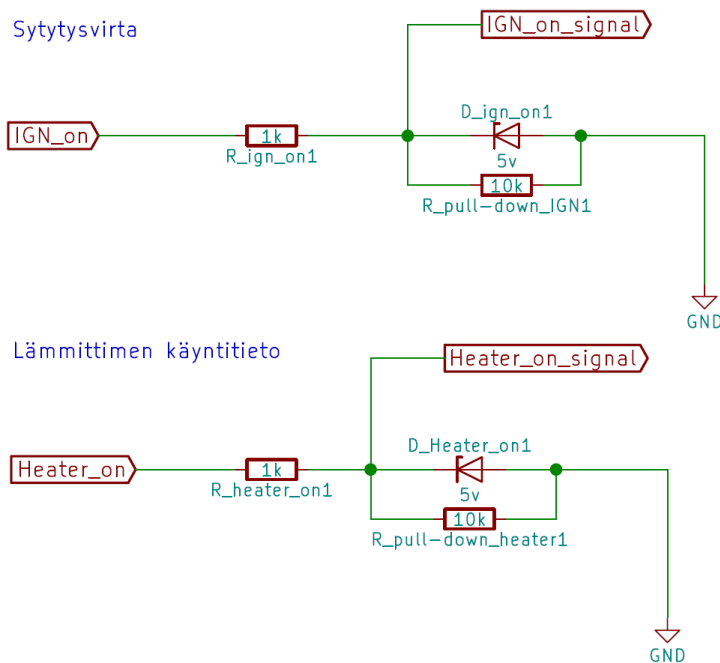
Ylösvetovastuksen mitoituksessa päädyttiin 5 kΩ:n vastukseen, mikä on lähellä tunnistimen vastusalueen puoliväliä (kuva 14).



Kuva 14. Ulkolämpötunnistin

5.7 Tulosignaalit

Sytyysvirran ja lämmittimen käyntitiedon jännitteet ovat suuruudeltaan lähellä akkujännitettä. Suurin sallittu jännite, jonka voi kytkeä mikrokontrollerin tuloon on käyttöjännite +0,5 V (ATmega16M1/32M1/64M1 datasheet 2016: 394). Tulosignaalien jännitteiden rajoittaminen toteutettiin 1 k Ω :n sarjavastuksilla ja 5,1 V:n zenerdiodeilla. Jännitteen nousussa piirillä 5,1 V:n, siirtyy zeneriodi johtavaan tilaan ja estää jännitteen nousun tätä suuremmaksi. 1 k Ω :n sarjavastukset rajoittavat zeneriodien virtoja nousemasta liian suuriksi. Lisäksi molemmat tulopiirit kytkettiin 10 k Ω :n vastusten kautta maadoitukseen, jonka tarkoitus on purkaa johtimiin ja piirille mahdollisesti muodostuvat vuoto- ja induktiojännitteet (kuva 15).

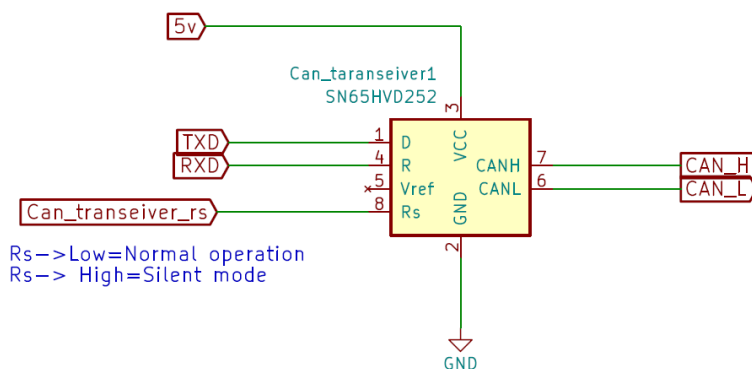


Kuva 15. Signaalitulot

5.8 CAN-sovitin

CAN-sovitin toimii vastaanotto- ja lähetyspiirinä mikrokontrollerin ja CAN-väylän välillä. CAN-sovitin toimii myös galvaanisena erottimena ja muuttaa CAN-väylästä luetun jännitteen mikrokontrollerille sopivaksi kuormittamatta CAN-väylää. Ohjainlaitteeseen valittiin Microchipin valmistama MCP2551-CAN-sovitin. CAN-sovitin tarvitsee toimiakseen käyttöjännitteen ja maadoituksen sekä yhteydet mikrokontrollerin sarjaportin RX- ja TX-

liityntöihin (kuva 16). Valittu CAN-väyläsovitin on mahdollista ohjata lepotilaan Rs-pinnin kautta, jolloin sovitin ei lähetä väylään tietoa vaan ainoastaan kuuntelee sitä. (MCP2551 datasheet 2007.)



Kuva 16. CAN-sovitin

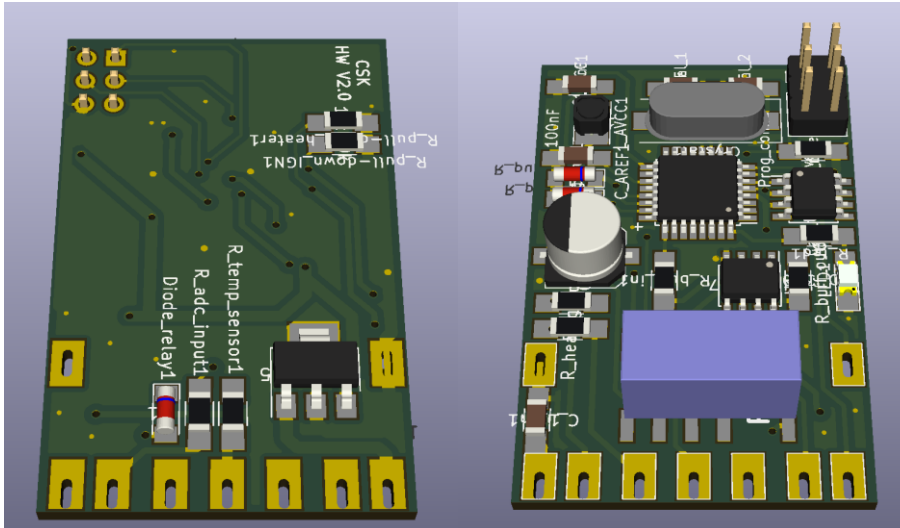
5.9 Piirilevyn suunnittelu

Ohjainlaite päätettiin koteloida yleisesti käytössä olevaan minirelekoteloon ja liittimeksi valittiin 9-napainen relekanta. Kotelointi määrää piirilevyn mitat, jolloin piirilevyn leveydeksi tulee 28 mm ja korkeudeksi 45 mm.

Piirilevyn suunnittelussa etsittiin komponenteille sopivat paikat ja reititettiin komponenttien väliset johdinyhteydet. Piirilevyksi valittiin kaksikerroksinen levy, jolloin johdinyhteyksiä voidaan reitittää molemmille puolille piirilevyä. Johdinyhteyksien risteämiskohdissa johdinyhteys voidaan siirtää läpiviennin kautta kulkemaan piirilevyn toisella puolella. Valmistamisen kannalta on suositeltavaa sijoittaa kaikki komponentit piirilevyn samalle puolelle, jota kutsutaan ladontapuoleksi. Kaikkia tarvittavia komponentteja ei saatu mahtumaan ladontapuolelle, joten niitä jouduttiin sijoittamaan molemmille puolille piirilevyä. Kicad-ohjelmassa on toiminnot automaattiseen komponenttien sijoitukseen ja johdinyhteyksien reitittämiseen. Piirilevyn pinta-ala oli niin pieni, ettei automaattisia toimintoja voinut käyttää.

Piirilevyn komponenttisijoittelussa pyrittiin siihen, että häiriölle herkät komponentit ja niiden johdinyhteydet sekä signaalijohtimet olisivat kaukana korkeavirtaisista piirin osista.

Regulaattori sijoitettiin siten, että lämpö johtuu siitä riittävän hyvin piirilevyn rakenteeseen. Kicad-ohjelmistossa on mahdollista tarkkailla valmistuvaa piirilevyä 3D-näky-
mässä, jolloin voidaan varmistua siitä, että komponentit voidaan juottaa niille tarkoitettuihin kohtiin (kuva 17).



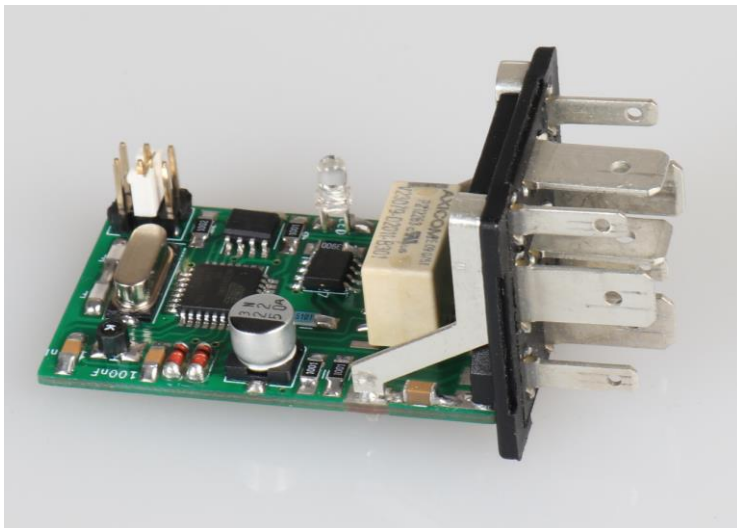
Kuva 17. Piirilevyn 3D-kuvat johdinpuolesta ja ladontapuolelta.

Kun komponenttien sijoittelu ja johdinyhteyksien piirtäminen oli saatu valmiiksi, suoritettiin piirilevyn kuparitäyttö. Piirilevyn kuparitäytössä kaikki tyhjät kohdat täytetään kupari-kerroksella ja kytketään maadoitukseen. Kuparitäyttö parantaa ohjainlaitteen häiriönsietoa ulkoisilta häiriösignaaleilta ja vähentää ohjainlaitteen sähkömagneettista säteilyä ympäristöön.

5.10 Piirilevyn valmistus

Piirilevyn piirtämisen jälkeen Kicad-ohjelmalla luotiin Gerber-valmistustiedostot, jotka sisältävät tarkat tiedot piirilevyn rakenteesta. Gerber-formaatti on yleisesti käytössä piirilevyjä valmistavilla yrityksillä, joten piirilevyjen tilaaminen oli helppoa. Piirilevyn valmistajaksi valittiin kiinalainen ITEAD, joka tarjoaa mahdollisuuden piirilevyjen tilaamiseen verkkokaupan kautta. Piirilevyjen minimitalaus määrä oli 10 kpl, mutta hinta oli niin edullinen, että tilaus kannatti tehdä. Tilauksen maksamisen jälkeen valmistajalle lähetettiin Gerber-tiedostot ja piirilevyt saapuivat postissa kahden viikon kuluttua tilauksesta.

Piirilevyille tulevista komponenteista suurin osa löytyi jo valmiina ja omaa varastoa täydennettiin tilaamalla puuttuvat komponentit Mouserin verkkokaupasta. Piirilevyjen saamisen jälkeen, komponentit juotettiin piirilevyille (kuva 18).



Kuva 18. Valmis ohjainlaite.

6 Ohjelmisto

Ohjelma kirjoitettiin C-ohjelmointikielellä Atmel Studio 7.0 -ohjelmointiympäristössä. Microchip tarjoaa kyseisen ohjelmistoympäristön vapaasti verkosta ladattavaksi ja se on tarkoitettu Atmel-mikrokontrollereiden ohjelman kirjoittamiseen, virheiden etsintään ja ohjelman siirtämiseen mikrokontrollerin muistiin. Ohjelmistoympäristössä on tuki Atmel-ohjelmointilaitteelle, jolla ohjelma siirrettiin mikrokontrollerin muistiin.

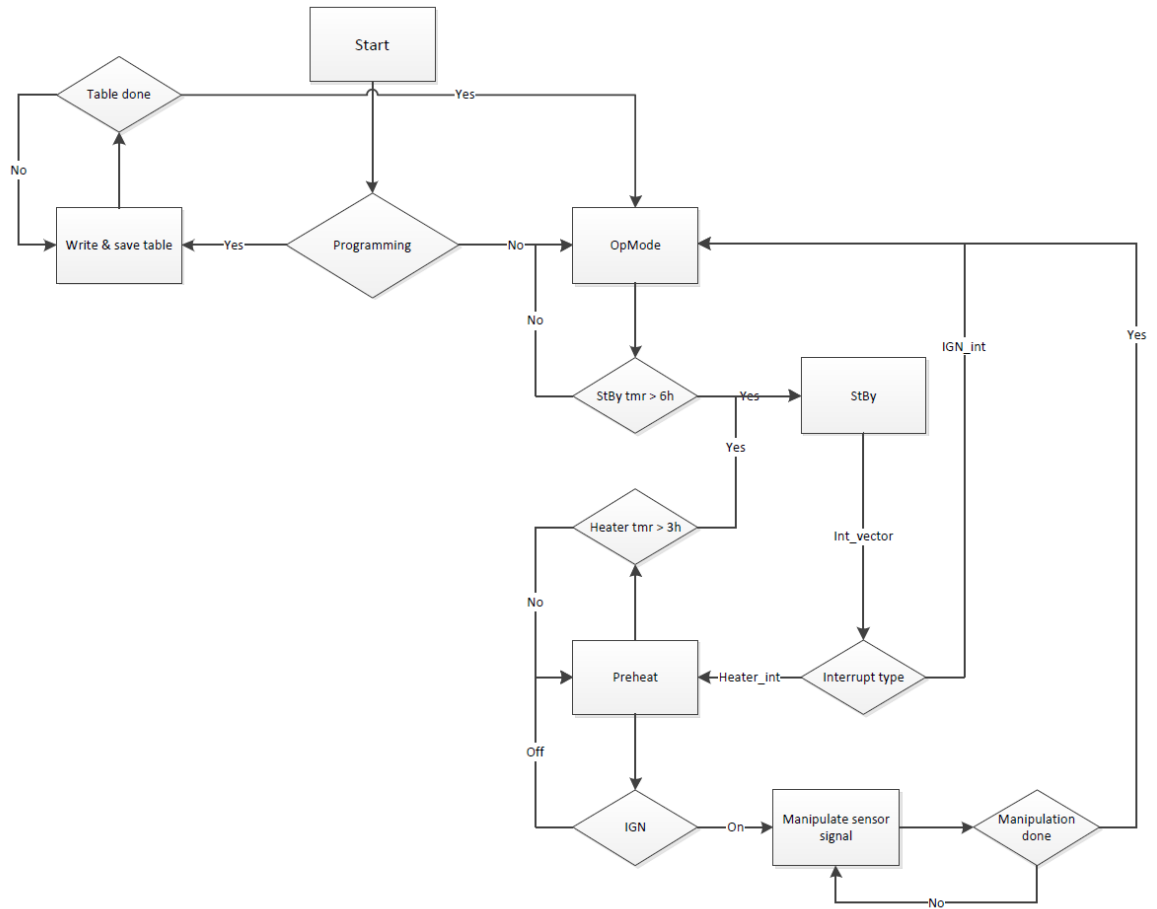
6.1 Ohjelman rakenne

Ennen ohjelmakoodin kirjoittamista laadittiin ohjelman toiminnasta kaavio, helpottamaan koodin kirjoittamista (kuva 19).

Ohjelman käynnistyy, kun ohjainlaitteeseen kytketään virta. Jos sopeutusjumpperi on asetettu, ohjelma suorittaa jännitepyyhkäisyn ja kirjoittaa jännite-lämpötila-taulukon EEPROM-muistiin, minkä jälkeen ohjelma siirtyy OpMode-tilaan. Jos sopeutusjumpperia ei ole asetettu, ohjelma siirtyy suoraan OpMode-tilaan.

OpMode-tilassa pysytään niin kauan, kunnes auto on ollut virrattomana yli kuusi tuntia. Kun kuusi tuntia on kulunut, ohjelma siirtyy StBy-tilaan.

StBy-tilassa ohjelma menee virransäästötilaan ja jää odottamaan sytytysvirran kytkentää tai lämmittimen käyntitietoa. Jos autoon kytketään sytytysvirta, ohjelma siirtyy OpMode-tilaan odottamaan seuraavaa kuuden tunnin virratonta jaksoa. Jos lämmitin käynnistetään ohjelman ollessa StBy-tilassa, siirtyy ohjelma Preheat-tilaan.



Kuva 19. Ohjelman toimintorakenne.

Preheat-tilassa ohjelma jää odottamaan sytytysvirran kytkentää. Jos sytytysvirtaa ei kytketä kolmen tunnin kuluessa, ohjelma siirtyy takaisin StBy-tilaan. Jos sytytysvirta kytketään kolmen tunnin aikana ohjelma suorittaa signaalimanipuloinnin ja siirtyy OpMode-tilaan.

6.2 Mikrokontrollerin toiminta

Kaikille mikrokontrollerissa oleville toiminoille on olemassa ohjausrekisterit, joiden arvoja muuttamalla mikrokontrollerin toimintaa ohjataan. Ohjausrekisterien arvot voidaan asettaa ohjelmakoodissa valmiiksi tai ohjelma voi niitä asettaa ja muuttaa ohjelman suorituksen aikana. Ohjausrekisterien arvojen muuttamista ohjelman suorituksen aikana kutsutaan rekisterien manipuloinniksi. Mikrokontrollerissa on ohjausrekistereitä, joita on mahdollista manipuloida ja rekistereitä, joiden arvot ovat vain luettavissa.

Jokainen mikrokontrollerin käytettävissä oleva I/O-portti sisältää kahdeksan I/O-pinniä, joita jokaista voidaan ohjata erikseen. Osaan I/O-pinneistä on mahdollisuus kytkeä erikoistoimintoja, kuten esimerkiksi A/D-muunnin tai sarjaväylä. Esimerkiksi kytkettäessä A/D-muunnin I/O-porttiin, portin tulosignaali ohjataan ohjausrekistereillä mikrokontrollerin A/D-muuntimelle. A/D-muunnin tallentaa luetun tiedon A/D-muuntimen rekisteriin, josta se on luettavissa muuttujaan.

Otettaessa I/O-pinniä käyttöön, kyseisen portin suuntarekisterissä tulee käydä asettamassa tai nollaamassa pinniä vastaava bitti riippuen siitä, halutaanko pinniä käyttää tulona vai lähtönä (kuva 20).

Name: DDRB
Offset: 0x24
Reset: 0x00
Property: When addressing as I/O Register: address offset is 0x04

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	DDRB7	DDRB6	DDRB5	DDRB4	DDRB3	DDRB2	DDRB1	DDRB0
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Kuva 20. B-portin suuntarekisteri (ATmega16M1/32M1/64M1 datasheet 2016: 115).

Jos pinniä vastaava suuntarekisterin bitti on asetettu tuloksi, pinnin tila voidaan lukea kyseisen portin tulorekisteristä. Tuloksi määriteltyyn pinniin voidaan myös kytkeä mikrokontrollerin sisäinen ylös vetovastus (kuva 21).

Name: PINB
Offset: 0x23
Reset: N/A
Property: When addressing as I/O Register: address offset is 0x03

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	x	x	x	x	x	x	x	x

Kuva 21. B-portin tulorekisteri (ATmega16M1/32M1/64M1 datasheet 2016: 116).

Jos pinni on suuntarekisterissä määritelty lähdöksi, pinnin tila voidaan asettaa käyttöjännitteeseen tai maadoitukseen. Pinnin tilan muuttaminen tehdään asettamalla tai nolllaamalla pinniä vastaava ohjausrekisterin bitti (kuva 22).

Name: PORTB
Offset: 0x25
Reset: 0x00
Property: When addressing as I/O Register: address offset is 0x05

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Kuva 22. B-portin ohjausrekisteri (ATmega16M1/32M1/64M1 datasheet 2016: 114).

Vastaavalla tavalla rekisteriarvoja manipuloimalla voidaan ohjata mikrokontrollerin kaikkia käytettävissä olevia toimintoja. Ohjainlaitteessa käytetään seuraavia toimintoja, joiden käyttöönotto vaatii ohjausrekistereiden manipuloimista:

- ajastin
- keskeytykset
- a/d-muunnin
- d/a-muunnin
- CAN-väylä viestioliot.

Ajastin on mikrokontrollerin toiminto, jolla voidaan mitata aikaa. Esimerkiksi ajastimia käyttämällä ohjelmaan voidaan tehdä kello.

Keskeytykset ovat mikrokontrollerin toimintoja, jotka keskeyttävät välittömästi suoritettavana olevan ohjelman suorittamisen ja siirtää ohjelman suorittamisen keskeytysfunktioon. Keskeytyksiä voidaan käyttää aikakriittisten toimintojen suorittamiseen sekä mikrokontrollerin herättämiseen lepotilasta.

A/D-muunnin lukee tulopinniin tulevan jännitteen ja tallentaa luetun arvon muuttujaan. Muunnostapahtumassa luettua jännitettä verrataan vertailujännitteeseen, joka määrittää suurimman mahdollisen luettavan tulojännitteen. Vertailujännitteeksi asetettiin mikrokontrollerin sisäinen viiden voltin vertailujännite. Muunnostapahtumassa 0–5 V:n jännite muutetaan binääriarvoksi 0–1023.

D/A-muunnin käyttää yhteistä vertailujännitettä A/D-muuntimen kanssa. Muunnostapahtumassa muutetaan 0–1023 binääriarvo 0–5 V:n lähtöjännitteeksi.

6.3 Ohjelman pääkoodi

Ohjelman pääkoodi pyrittiin pitämään mahdollisimman lyhyenä jakamalla ohjelmakoodi useisiin kooditiedostoihin. Pääkodissa käytettävät komennot määriteltiin makroiksi koodin luettavuuden parantamiseksi (esimerkkikoodi 1).

```
#define CAN_listening_mode (PORTB |= (1<<(PORTB0)))
// CAN-väyläsovitin lepotila
#define CAN_normal_mode (PORTB &= ~(1<<(PORTB0)))
// CAN-väyläsovitin normaalitila
#define RELAY_off (PORTB |= (1<<(PORTB6)))
// Signaalirele off
#define RELAY_on (PORTB &= ~(1<<(PORTB6)))
// Signaalirele on
#define IGN_status bit_is_set(PINC,6)
// Sytytys virta tiedon lukeminen
#define Heater_status bit_is_set(PINB,3)
// Lämmittimen käyntitiedon lukeminen
#define LED_on (PORTD |= (1<<(PORTD1)))
// LED on
#define LED_off (PORTD &= ~(1<<(PORTD1)))
// LED off
#define Prog_mode_flag bit_is_clear(PIND,3)
// Sopeutusjumpperin tilan lukeminen
```

Esimerkkikoodi 1. Pääkoodissa määritellyt makrot.

Pääkoodin main()-funktio on koodin osa, joka suoritetaan vain kerran ohjelman käynnistyttyä (esimerkkikoodi 2). Main()-funktiossa suoritetaan seuraavat toiminnot:

- Asetetaan tarvittavien pinnien suuntarekisteri.
- Asetetaan ylösvetovastus sopeutusjumpperia varten.
- Asetetaan lähdöiksi määritellyille pinneille alkuarvot.
- Kutsutaan CAN-väylän alustus-funktio.
- Tutkitaan, onko sopeutusjumpperi asetettu ja tarvittaessa siirrytään sopeutustilaan.
- Kutsutaan ajastimen käynnistys-funktio ajan mittaamiseksi.

```

int main(void)
{
    cli();

    DDRB |= (1<<(PORTB0)) | (1<<(PORTB6));
    // B-portin suuntarekisteri output CAN_trnsvr. & Rele
    DDRB &= ~(1<<(PORTB3)) & ~(1<<(PORTB5));
    // B-portin suuntarekisteri input Heater_on & Buff_error_flag
    PORTB |= (1<<(PORTB5));
    // Buff_error_flag pullup
    DDRC &= ~(1<<(PORTC6)) & ~(1<<(PORTC4));
    // C-portin suuntarekisteri input IGN_on & Ambient_temp
    DDRD |= (1<<(PORTD1));
    // D-portin suuntarekisteri output LED
    DDRD |= (1<<(PORTD4));
    // D-portin suuntarekisteri output SCK, Prog_mode jumper
    PORTD &= ~(1<<(PORTD4));
    // D-portin suuntarekisteri LOW-state SCK, Prog_mode jumper
    DDRD &= ~(1<<(PORTD3));
    // D-portin suuntarekisteri input MOSI, Prog_mode jumper
    PORTD |= (1<<(PORTD3));
    // D-portin suuntarekisteri Pull-up

    CAN_normal_mode;
    RELAY_off;
    CAN_INIT(500);

    if (Prog_mode_flag)
    {
        Write_Table();
        Save_Table();
    }
    else
    {
        Read_Table();
    }

    Start_timer();

    sei();
}

```

Esimerkkikoodi 2. Pääkoodin main()-funktio

Main()-funktion suorituksen jälkeen ohjelma siirtyy ikuiseseen while-silmukkaan, jossa olevaa koodia suoritetaan niin kauan, kunnes ohjelma sen pysäyttää (esimerkkikoodi 3). While-silmukassa olevassa koodissa suoritetaan seuraavat toiminnot:

- Sytytetään LED-merkkivalo.
- Jos sytytysvirta on kytketty, nollataan ajastin.
- Jos ajastimen aikaa on kulunut kuusi tuntia, sammutetaan LED-merkkivalo, asetetaan keskeytykset, pysäytetään ajastin ja asetetaan ohjainlaite virransäästötilaan.

```

while (1)
{
LED_on;

    if (IGN_status)
    {
        Reset_timer();
    }

    if (Timer_hour>=6)
    {
        cli();
        LED_off;
        set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
        PCINT14_IGN_enable();
        PCINT3_Heater_enable();
        Stop_timer();
        RELAY_off;
        CAN_listening_mode;
        sei();
        sleep_mode();
    }
}
return 1;

```

Esimerkkikoodi 3. While-silmukka

Pääkoodissa määritellään myös keskeytys-funktiot, joilla ohjainlaite herätetään virransäästötilasta (esimerkkikoodi 4). Ohjainlaite herätetään joko sytytysvirran kytkennällä tai käynnistämällä lämmitin. Jos keskeytyksen ohjaa sytytysvirran kytkentä, ohjainlaite jatkaa while-silmukassa määritellyn ohjelman suorittamista, kunnes seuraava kuuden tunnin virraton jakso on täyttynyt. Mikäli ohjainlaite herää lämmittimen käynnistymisen johdosta, ohjelma siirtyy Preheat-tilaan. Preheat-tilassa sytytysvirran kytkentä käynnistää signaalimanipuloinnin.

```

ISR (PCINT0_vect)    // Lämmitin
{
    PCIFR = 0xF;           // reset PCINT flags
    _delay_ms(50);        // switch bounce timer
    if (Heater_status)
    {
        Start_timer();
        PCINT14_IGN_disable();
        PCINT3_Heater_disable();
        Preheat_state();
    }
    else
    {

```

```

        Start_timer();
    }
}
ISR (PCINT1_vect)    // Sytytysvirta
{
    PCIFR = 0xF;        // reset PCINT flag
    Start_timer();
    Timer_sek = 0;
    PCINT14_IGN_disable();
    PCINT3_Heater_disable();
}

```

Esimerkkikoodi 4. Keskeytys-funktiot

6.4 Funktiot ja muuttujat

Ohjelmisto kirjoitettiin siten, että jokaista erillistä toimintoa varten on oma funktio. Funktioita kutsumalla ohjelma tekee aina halutun toimintokokonaisuuden. Funktiot on kirjoitettu useaan eri koodi-tiedostoon siten, että vain tätä ohjainlaitetta koskevat funktiot ovat omassa tiedostossa. Lisäksi erilliset kooditiedostot ovat CAN-väyläviestintää, A/D-muunninta ja D/A-muunninta varten.

6.4.1 Ohjainlaitekohtaiset funktiot ja muuttujat

Ohjainlaitekohtaisista muuttujista kaksi on taulukkomuuttujia. Ensimmäinen taulukkomuuttujista on vakio, johon on tallennettu ulkolämpötunnistimen lämpötilat ja niitä vastaavat jännitearvot. Toiseen taulukkomuuttujista tallennetaan sopeutuksen aikana lämpötunnistimen manipuloimisessa tarvittava jännitteet ja lämpötilat. Lisäksi käytössä on kolme muuttujaa, joita käytetään ajan mittaamiseen (esimerkkikoodi 5).

```

extern volatile const int Ambient_temp_sensor[15][2];
extern volatile int Temperature_table [46][2];
extern volatile unsigned char Timer_sek;
extern volatile unsigned char Timer_min;
extern volatile unsigned int Timer_hour;

```

Esimerkkikoodi 5. Ohjainlaitekohtaiset muuttujat

Kooditiedostossa kirjoitetut funktiot suorittavat ohjainlaitteen päätoiminnot, kuten ohjelmointitilassa tarvittavan jännitepyyhkäisyn ja tunnistintaulukon kirjoittamisen sekä manipulointi toiminnot. Myös ajastimen käytölle sekä keskeytysten ohjaamiseen on omat funktiot. Ulkolämpötunnistimen taulukko on kirjoitettu datalehden mukaan 5 °C:n välein.

Taulukon arvoja interpoloidaan lineaarisesti interpolation()-funktiolla tarkan lämpötilan mittaamiseksi (esimerkkikoodi 6).

```
void Start_timer(void);
void Stop_timer(void);
void Reset_timer(void);
void Write_Table(void);
void Read_Table(void);
void Save_Table(void);
void Manipulate_sensor(void);
int Read_ambient_temp(void);
void PCINT3_Heater_enable(void); // PCINT0_vect, HEATER_ON input
void PCINT3_Heater_disable(void); // PCINT0_vect, HEATER_ON input
void PCINT14_IGN_enable(void); // PCINT1_vect, IGN_ON input
void PCINT14_IGN_disable(void); // PCINT1_vect, IGN_ON input
float interpolation(int x0, int y0, int x1, int y1, int x);
void Preheat_state(void);
```

Esimerkkikoodi 6. Ohjainlaitekohtaiset funktiot

6.4.2 CAN-ohjain

Kooditiedostoon on kirjoitettu CAN-väyläviestinnässä tarvittavat muuttujat ja funktiot. Ennen väyläohjaimen käyttöönottoa ohjain tulee alustaa käyttöön. Alustusta varten on kirjoitettu oma funktio, jolle kerrotaan parametrina haluttu väylänopeus.

Väyläviestintää varten on valitussa mikrokontrollerissa käytettävissä kuusi viestioliota, joista viisi varattiin viestin lukemiseen ja yksi viestin lähettämiseen. MOBx_init()-funktiolla asetetaan haluttu viestioliio tarkkailemaan yhtä tai useampaa viesti ID:tä. Parametreina funktiolle annetaan tarkkailtava viesti-ID ja maski. Maskia käytetään, jos halutaan tarkkailla useampaa kuin yhtä viesti-ID:tä. Kun valittu viestioliio on alustettu, saapuva viesti tallentuu kyseisen viestioliion rekisteriin. Uuden viestin saavuttua, asettuu siitä kertova lippu merkiksi, että viesti on luettavissa. Saapunut viesti luetaan muuttujaan ReceiveByMOBx()-funktiolla. SendByMob5()-funktiolla lähetetään viesti väylään ja sille kerrotaan parametreina viesti-ID sekä kahdeksan tavua sisältävä viesti.

Jäähdytysnesteen lämpötilan lukemiseksi OBD-järjestelmästä kirjoitettiin Read_ECT_PID()-funktio. Funktio lähettää PID-kyselyn CAN-väylään ja jää odottamaan vastausta. Vastausviestin saavuttua funktio palauttaa OBD-järjestelmästä luetun jäähdytysnesteen lämpötilatiedon.

6.4.3 D/A-muunnin

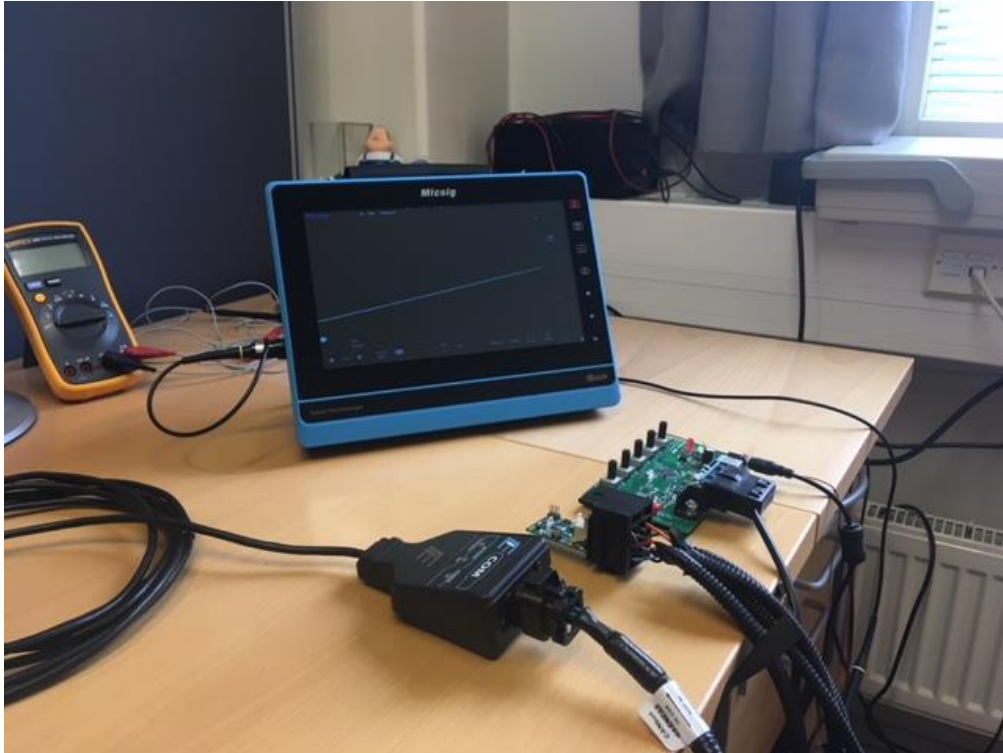
Digitali-analogiamuuntimen päälle- ja poiskytkentää varten kirjoitettiin enable_DAC()- ja disable_DAC()-funktiot. D/A-muuntimen päälle kytkennän jälkeen Set_analog_out_data()-funktioilla voidaan haluttu lähtöarvo asettaa D/A-muuntimelle. D/A-muunninta käytetään ohjaamaan manipulointisignaalin vahvistinta.

6.4.4 A/D-muunnin

Analogia-digitalimuuntimen toimintaa ohjataan enable_ADC_ambien_temp()- ja disable_ADC_ambien_temp()-funktioilla. Muuntimen arvo muuttuun luetaan read_ADC_value_mV()-funktioilla. A/D-muuntimella luetaan ulkolämpötunnistimen signaali.

7 Testaaminen

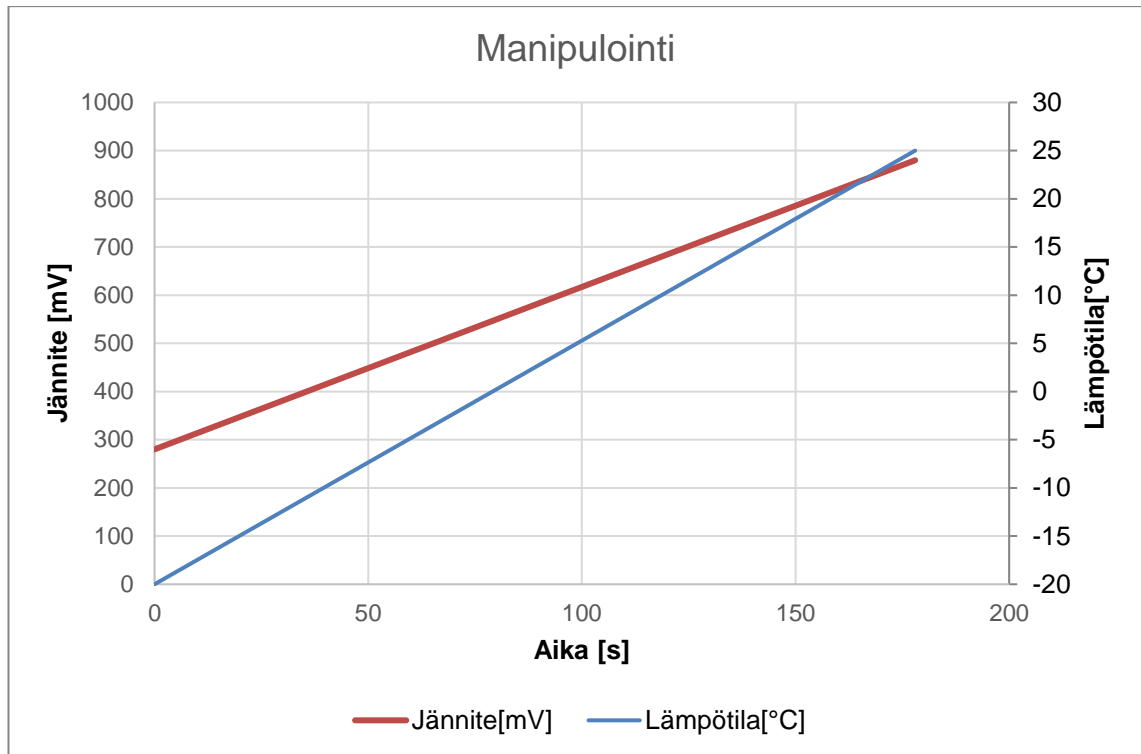
Ohjainlaitteen toiminnan testaamisessa käytettiin Scantool ECUsim 2000-OB-simulaattoria. ECUsim 2000-OB-simulaattorilla voidaan simuloida moottorinohjainlaitteen toimintaa eri tilanteissa. Simulaattorissa on monipuoliset toiminnot ja tarvittaessa sen toimintaa voidaan ohjelmoida. Perustoimintoina simulaattorissa löytyy potentiometreillä säädettävät moottorin käyntiparametrit, mukaan lukien jäähdytysnesteen lämpötila. Potentiometreillä asetettuja parametreja voidaan lukea simulaattorissa olevan OBD-liittimen kautta. ECUsim-simulaattori poikkeaa moottorinohjainlaitteista siinä, että tunnistinsignaalit luodaan potentiometreillä, jolloin tunnistinsignaalit eivät täysin vastaa todellista tilannetta. Esimerkiksi lämpötunnistimen toiminta ei ole lineaarista, kuten se on potentiometrillä totutettuna. Simulaattorin prosessorin käyttöjännite on 3,3 V. Testaamista varten ohjainlaitteen ohjelmaa muokattiin siten, että manipulointisignaali voi vaihdella 0–3,3 voltin välillä. Jäähdytysnesteen lämpötilaa säätävän potentiometrin rinnalle kytkettiin ohjainlaitteen manipulointilähtö, jolloin ohjainlaitteen manipulointisignaali voidaan vaikuttaa potentiometrillä tuotettuun lämpötunnistinsignaaliin. Ohjainlaitteen toiminnan aikaista CAN-väyläviestintää tarkkailtiin ECOM-CAN-väylä-analysaattorilla yhdessä CANCapture-ohjelman kanssa. CANCapture-ohjelma asetettiin lukemaan jäähdytysnesteen lämpötilaviestiä ja tallentamaan viestin sisältämä tieto muuttuun, jonka arvo on luettavissa ohjelman käyttöliittymästä (kuva 23).



Kuva 23. Ohjainlaitteen testausjärjestelyt. Kuvassa vasemmalta alkaen Ecom-CAN-väylä analyysaattori, testattava ohjainlaite, ECUsim 2000-OBD-simulaattori ja oskilloskooppi.

Ensimmäisenä tutkittiin ohjelmointitilan toiminta. Ohjanlaite asetettiin sopeutusjumperilla ohjelmointitilaan, jolloin ohjanlaite suoritti jännitepyyhkäisyn ja tallensi taulukon OBD-liittimen kautta luettujen tietojen perusteella. Jännitepyyhkäisyn aikaista manipulointisignaalia tarkkailtiin oskilloskoopilla ja samanaikaisesti simulaattorin lukemaa lämpötilatietoa luettiin CANCapture-ohjelmalla.

Ohjelmointitilan toiminnan testaamisen jälkeen testattiin manipuloinnin toiminta. Testaamista varten ohjelmakoodia muutettiin siten, että ohjelma siirtyy StBy-tilaan 30 sekunnin kulutta sytytysvirran katkaisusta. Ohjainlaitteen ulkolämpötunnistin jäähdytettiin noin -20 °C:n lämpötilaan, jonka jälkeen annettiin lämmittimen käyntitietosignaali ja kytkettiin sytytysvirta. Ohjainlaitteen toimintaa tarkkailtiin oskilloskoopilla ja CANCapture-ohjelmalla. Manipulointi alkoi ulkolämpötilatunnistimen lämpötilasta ja nousi tasaisesti. Kun manipulointisignaali vastasi 25 °C:n lämpötilaa, signaalirele irrotti ohjainlaitteen simulaattorin potentiometriltä, jolloin simulaattorin lukema lämpötila vaihtui potentiometrin signaalia vastaavaksi. Sekä ohjelmointitilan, että manipulointitilan toimintaa testattiin useita kertoja. Testausolosuhteissa ohjanlaite toimi suunnitellusti (kuva 24).



Kuva 24. Ohjainlaitteen manipulointijännite ja simulaattorilta luettu lämpötila manipuloinnin aikana.

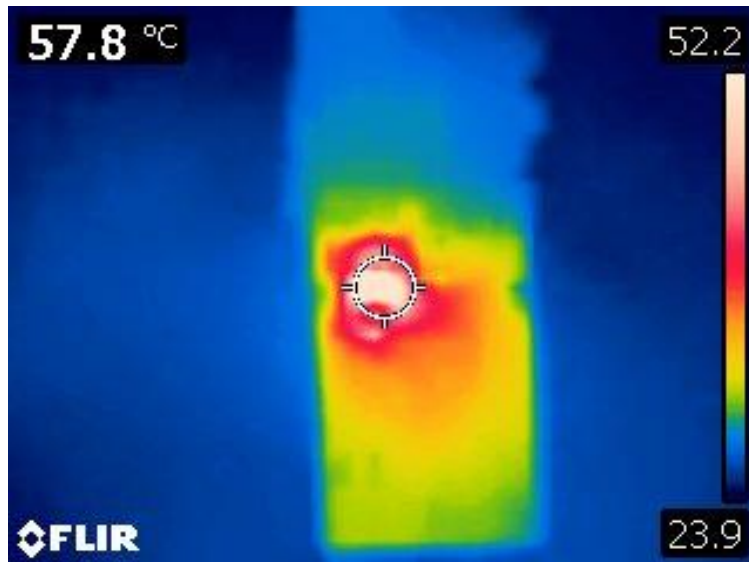
Ohjainlaitteelle tehtiin rasiustestaukset siten, että manipulointijohto kytkettiin oikosulkuun maadoitukseen ja syöttöjännitteeseen. Rasiustestauksessa ohjainlaite asetettiin manipulointitilaan, jonka aikana piirilevyn ja sen komponenttien lämpenemistä tarkkailtiin lämpökameralla (kuva 25). Signaalihohtimen ollessa oikosulussa maadoitukseen regulaattorin pintalämpötila oli noin 60 °C, jolloin puolijohdeliitoksen lämpötila on 66 °C. Kun komponentin pintalämpötila ja tehohäviö tunnetaan, puolijohdeliitoksen lämpötila voidaan laskea kaavalla. (LM2937 datasheet. 2014; Semiconductor and IC Package Thermal Metrics 2016: 8)

$$T_j = T_c + (\psi * P_d)$$

T_c on komponentin lämpötila

ψ on lämpöresistanssia kuvaava parametri

P_d on tehohäviö



Kuva 25. Lämpökamerakuva ohjainlaitteesta rasiustestauksen aikana.

Rasiustestauksen aikana, kun signaalijohdin oli kytkettynä syöttöjännitteeseen, ohjainlaitteessa ilmeni vikatilanne ja ohjelman suoritus pysähtyi. Vikatilanteen aikana regulaattorin pintalämpötila oli noin 90 °C. Lisämittauksissa selvisi, että operaatiovahvistin ei kyennyt vahvistamaan manipulointisignaalia riittävästi aiheuttaen jännitevuodon ohjainlaitteen käyttöjännitteeseen. Ohjainlaitteen käyttöjännite nousi hieman yli 9 V:iin, mikä aiheutti mikrokontrollerin toimintahäiriön. Häiriötilanteesta aiheutunut ylijännite ei kuitenkaan vaurioittanut ohjainlaitetta. Operaatiovahvistimen negatiivinen takaisinkytkentä aiheutti ylijännitteen operaatiovahvistimen ei-invertoivan tulon, jolloin operaatiovahvistin ei toiminut oikein.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tuloksena syntyi toimiva prototyyppi suunnitellusta ohjainlaitteesta. Ohjainlaitteen toiminnassa ei havaittu virheitä normaaleissa testaustilanteissa. Rasiustestauksen aikana havaittiin, että manipulointisignaalihohtimen ollessa oikosulussa syöttöjännitteeseen ohjainlaitteen toiminta pysähtyi. Syy ohjainlaitteen häiriöön löytyi operaatiovahvistimen ei-invertoivan tulon takaisinkytkennästä. Takaisinkytkentään tulisi lisätä sarjavastus, jolla rajoitettaisiin operaatiovahvistimen tulovirtaa. Suositeltavaa olisi myös rajoittaa takaisinkytkennän jännite zenerdiodilla, jolla varmistettaisiin operaatiovahvistimen toiminta kaikissa tilanteissa.

Tällä hetkellä kaupallinen tilanne vaikuttaa siltä, ettei ohjainlaitetta tulla kaupallistamaan. Ennen kuin ohjainlaitteen voisi kaupallistaa, sen tulisi täyttää tyyppihyväksyntävaatimukset. Tämä vaatisi useiden tuhansien eurojen ulkopuoliset tutkimukset. Jotta tuote kannattaisi kaupallistaa, tulisi tuotteistamisesta aiheutuvat kulut kattaa tuotteen myynnillä, joka tällä hetkellä vaikuttaa mahdottomalta. Jos tuote kuitenkin päätetään kaupallistaa, tulisi komponenttivalinnat tehdä uusiksi siten, että kaikki komponentit täyttäisivät autoteollisuuden vaatimukset ja olisivat mahdollisimman edullisia. Toisaalta tuotantomallissa komponenttien kokoa voisi pienentää, kun komponentteja ei tarvitsisi käsin latoa ja juottaa piirilevyille. Ohjainlaitteen tulojen ja lähtöjen suojauksia sekä häiriön sietoa tulisi tarkastella uusiksi ja varmistua siitä, etteivät ylijännitteet aiheuta ohjainlaitteen toimintaan häiriöitä. Ohjelmistoa tulisi kehittää havaitsemaan mahdollisia häiriötilanteita ja tarkkailemaan ohjelman oikeaa suorittamista. Esimerkiksi jos autossa olisi jäähdytysnesteen lämpötunnistimeen liittyviä vikakoodeja, ohjainlaitteen tulisi olla poissa käytöstä. Ennen kaupallistamista järjestelmän toimintaa tulisi testata laajasti kenttätesteissä. Ohjainlaitteen testaaminen oikeassa käyttöympäristössä vaatisi vähintään yhden talven kestävän testijakson, joten sen suorittaminen tässä yhteydessä ei ollut mahdollista. Vaikka ohjainlaite todettaisiin toimivaksi kaikissa olosuhteissa, sen asentamista testaamattomaan autoon tulisi välttää.

Opinnäytetyö oli haastava, ja siinä yhdistyi aiemmin hankittu kokemus moottoroiden esilämmittämisestä, elektroniikan osaaminen, piirilevyn suunnittelu ja laiteläheinen sulautettujen järjestelmien ohjelmointi. Ohjelman kirjoituksen aikana syntyi yli 1000 koodiriviä, joista hieman alle puolet muodostui CAN-väylä viestinnän toteuttamisesta. Ohjelmakoodi sekä piirikaaviot toteutettiin modulaarisesti siten, että niitä voidaan hyödyntää tulevilla projekteilla. Erityisen aikaa vievää oli löytää komponenteille sopivat paikat piirilevyllä siten, että johdinyhteyksien reitittäminen olisi mahdollista tehdä. Opinnäytetyön aikana tuli perehdyttyä tarkasti mikrokontrollerin toimintaan, CAN-väylä viestintään sekä tuotekehitysprosessiin.

Lähteet

98/69/EY. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI. Verkkoaineisto. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9ee5d16b-1a4a-4a72-ac90-5e3a0bb1d745.0002.02/DOC_1&format=PDF> Luettu 1.8.2018.

AD8027/AD8028 datasheet. Rev.D. Verkkoaineisto. Analog Devices. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8027_8028.pdf> Luettu 21.7.2018.

ATmega16M1/32M1/64M1 datasheet. 2016. Verkkoaineisto. Microchip Technology Inc. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8209-8-bit%20AVR%20ATmega16M1-32M1-64M1_Datasheet.pdf> Luettu 19.7.2018.

Euro-päästöluokat. Verkkoaineisto. AUTOTUOJAT JA -TEOLLISUUS. <http://www.autotuojat.fi/uutishuone/autoalan_termistoa/euro-paastoluokat> Luettu 2.8.2018.

Koistinen Antti. 2018. Verkkoaineisto. Yle uutiset. <<https://yle.fi/uutiset/3-10388906>> Luettu 12.8.2018.

LM2937 datasheet. 2014. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2937.pdf>> Luettu 20.7.2018.

MCP2551 datasheet. 2007. Verkkoaineisto. Microchip Technology Inc. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667E.pdf>> Luettu 20.7.2018.

P2 Relay V23079 datasheet. 2018. Verkkoaineisto. Tyco Electronics Corp. <http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=show-doc&DocId=Specification+Or+Standard%7F108-98002%7FW%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_SS_108-98002_W_P2.pdf%7F5-1393788-8> Luettu 22.7.2018.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.H. 2007. Engineering Design A Systematic Approach. 3rd edition. London: Springer-Verlag.

SAE J1979. 2017. E/E Diagnostic Test Modes. Standardi. SAE international

Semiconductor and IC Package Thermal Metrics. 2016. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <<http://www.ti.com/lit/an/spra953c/spra953c.pdf>>. Luettu 2.8.2018.

Thermal Resistance. 2000. Theory and Practice. Verkkoaineisto. Infineon technologies. <<https://www.infineon.com/dgdl/smd-pack.pdf?fileId=db3a304330f6860601311905ea1d4599>> Luettu 2.8.2018.

VDO Mittarit ja mittarivarusteet. 2003. Tuoteluettelo. Oy Kaha Ab.

Vältä kylmäkäynnistystä, muista esilämmitys. 2013. Verkkoaineisto. Motiva.
<https://www.motiva.fi/files/11861/Valta_kylmakaynnistysta_muista_esilammitys.pdf>
Luettu 11.8.2018.

Webasto henkilöautolämmittimet. 2018. Koulutusmateriaali. Oy Kaha Ab. Luettu
11.8.2018.

Morfologinen taulukointi

Menetelmä 1, jäähdytysnesteen virtauksen rajoittaminen				
Osatoiminto:	1	2	3	4
Jäähdytysnesteen kierrättäminen	Erillinen pumppu	Lämmittimen pumppu	-	-
Virtauksen mekaaninen rajoitus	Magneettiventtiili	Kuristin	Pumpun nopeuden säätäminen	Termostaatti
Virtauksen ohjaus	Muuttuva	Vakio	-	-

Valitut ratkaisuyhdistelmät:

1. erillinen pumppu, pumpun nopeuden säätäminen, muuttuva
2. lämmittimen pumppu, magneettiventtiili, muuttuva
3. lämmittimen pumppu, kuristin
4. lämmittimen pumppu, termostaatti

Menetelmä 2, veden lämpötilan rajoittaminen		
Osatoiminto:	1	2
Nesteen kierrättäminen	Erillinen pumppu	-
Lämpötilan säätö	Magneettiventtiili	Sekoitinventtiili
Lämpötilan ohjaus	Muuttuva	Vakio

Valitut ratkaisuyhdistelmät:

1. erillinen pumppu, magneettiventtiili, muuttuva
2. erillinen pumppu, magneettiventtiili, vakio
3. erillinen pumppu, sekoitinventtiili

Menetelmä 3, moottorin lämmitysajan rajoittaminen				
Osatoiminto:		1	2	3
Jäähdytysnesteen kierron mekaaninen ohjaus		Magneettiventtiili	Erillinen pumppu	-
Jäähdytysnesteen kierron ohjaustapa		Vakioviive	Muuttuva viive	Lämpötilakynnys

Valitut ratkaisuyhdistelmät:

1. magneettiventtiili, vakioviive
2. magneettiventtiili, muuttuva viive
3. magneettiventtiili, lämpötilakynnys
4. erillinen pumppu, vakioviive
5. erillinen pumppu, muuttuva viive
6. erillinen pumppu, lämpötilakynnys

Menetelmä 4, vaihtoehtoinen tunnistin		
Osatoiminto:	1	2
Lämpötilatunnistin	Alkuperäistä vastaava	Yleismallinen
Kytkeäntä aika	Vakio	Muuttuva
Kytkeäntä heräte	Sytytysvirta	CAN-väylä
Esilämmitys tieto	W-bus	Analoginen

Valitut ratkaisuyhdistelmät:

1. alkuperäistä vastaava, vakio, sytytysvirta, analoginen
2. alkuperäistä vastaava, muuttuva, sytytysvirta, analoginen

Menetelmä 5, tunnistinsignaalin manipulointi			
Osatoiminto:	1	2	3
KytKentä tapa	Rinnan	Sarjaan	-
KytKentä heräte	Sytys virta	CAN-väylä	-
Manipuloinnin kesto	Muuttuva	Vakio	-
Manipulointi tapa	Jännite	Kiinteä vastus	Säädettävä vastus
Esilämmitys tieto	W-bus	Analoginen	-

Valitut ratkaisuyhdistelmät:

1. rinnan, sytytysvirta, muuttuva, jännite, analoginen
2. rinnan, sytytysvirta, muuttuva, säädettävä vastus, analoginen
3. sarjaan, sytytysvirta, muuttuva, jännite, analoginen
4. sarjaan, sytytysvirta, muuttuva, säädettävä vastus, analoginen

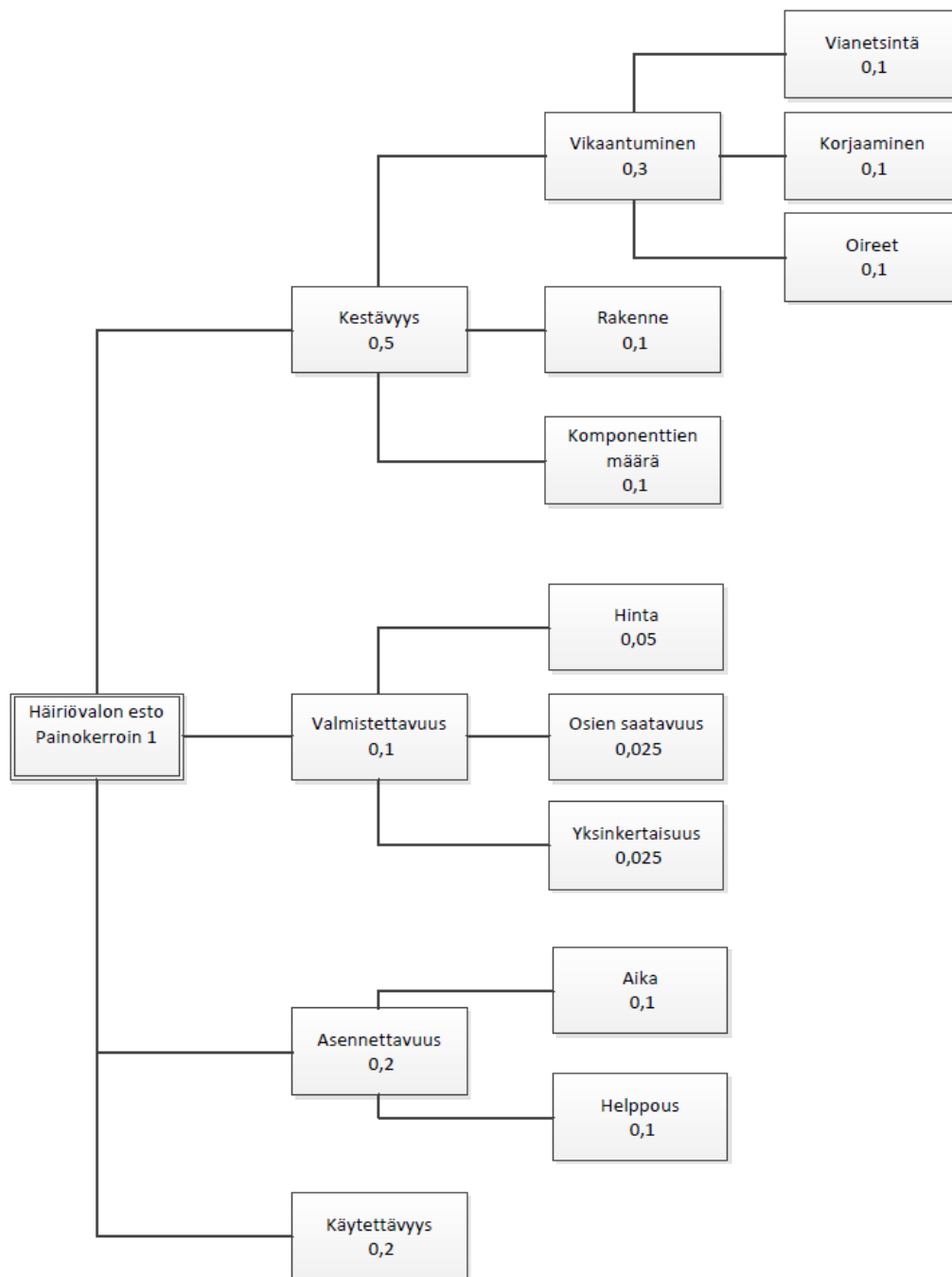
Menetelmä 6, vikakoodien nollaus		
Osatoiminto:	1	2
Esilämmitystieto	W-bus	Analoginen
Herätetieto	Sytysvirta	CAN-väylä

Valittu ratkaisuyhdistelmä:

1. analoginen, sytytysvirta

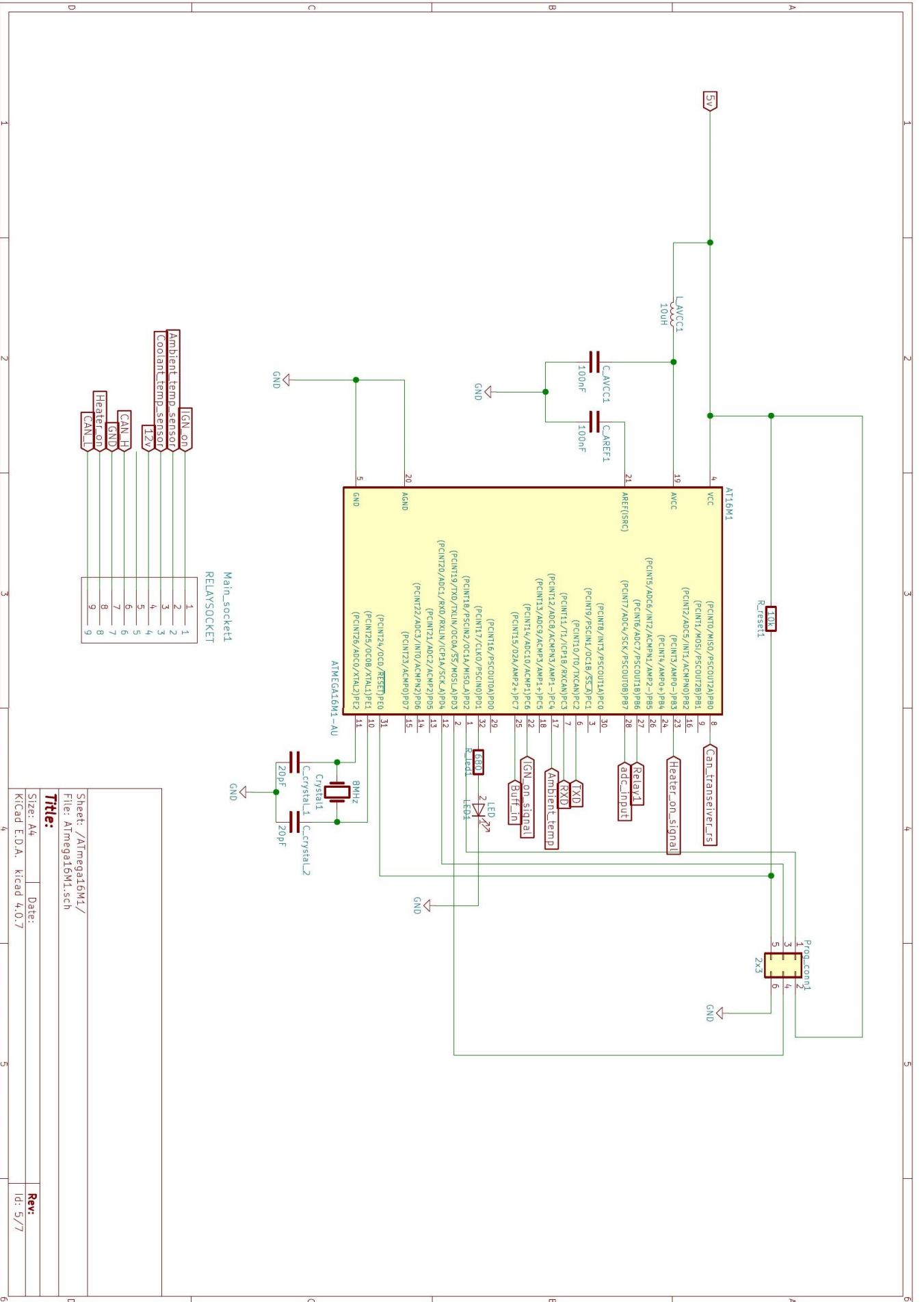
Ratkaisuvaihtoehtojen valinta									
Menetelmä numero	Ratkaisuvaihtoehto	Merkkien selitykset						Tulos	
		(+) Kyllä	(-) Ei	(?) Ei varmuutta	Vaatimukset täytetty			(+) Pisteetykseen	(-) Hylätään
					Toivomukset täytetty				
					Edullinen				
					Helppo toteuttaa				
					Helppo asennettavuus				
					Hyvä toimintavarmuus				
							Kommentti		Tulos
1	1	-	-	-	-	+	+	Tunnistimen lämpenemisen hallinta mahdoton	-
1	2	-	-	-	-	+	+	Tunnistimen lämpenemisen hallinta mahdoton	-
1	3	-	-	+	+	+	+	Tunnistimen lämpenemisen hallinta mahdoton	-
1	4	-	-	+	+	+	+	Tunnistimen lämpenemisen hallinta mahdoton	-
2	1	+	-	-	-	+	+	Kallis ja ei toteuta toivomuksia	-
2	2	-	-	-	+	+	+	Kallis ja ei toteuta toivomuksia	-
2	3	+	-	-	+	-	+	Mahdoton asentaa ahtaisiin moottoritiloihin	-
3	1	+	-	+	+	+	+	Edullinen ja helppo toteuttaa ja asentaa	+
3	2	+	-	-	-	+	+		-
3	3	+	-	-	-	+	+		-
3	4	+	-	+	+	+	+	Edullinen ja helppo toteuttaa ja asentaa	+
3	5	+	-	-	-	+	+		-
3	6	+	-	-	-	+	+		-
4	1	+	-	+	-	+	+	Vaatii mallikohtaisen tunnistimen	-
4	2	+	-	+	-	+	+	Vaatii mallikohtaisen tunnistimen	-
5	1	+	+	+	-	+	+	Toteuttaa vaatimukset ja toivomukset	+
5	2	+	+	+	-	+	+	Toteuttaa vaatimukset ja toivomukset	+
5	3	+	+	+	-	+	+	Toteuttaa vaatimukset ja toivomukset	+
5	4	+	+	+	-	+	+	Toteuttaa vaatimukset ja toivomukset	+
6	1	+	-	-	-	+	+	Ei toimi kaikissa autoissa	-

Arvostelukriteerien painokertoimet



Komponentit

	Komponentti	Arvo	Virrankulutus [mA]	Hinta [EUR]
Jännitteensyöttö:				
Regulaattori	LM2937-5.0	5 V	15	1,57
Keraaminen kondensaattori	X7R	1 μ F		0,53
Elektrolyytti kondensaattori	50CE22AX	22 μ F		0,44
Manipulointisignaali vahvistin:				
Operaatiovahvistin	AD8027		25	
Metallikalvovastus	SMD1206	5,1 k Ω		0,1
Metallikalvovastus	SMD1206	300 Ω		0,1
Rele:				
Signaalirele	AXICOM		28	1,51
Diodi	LL914B			0,1
Tulot:				
			1	
Metallikalvovastus	SMD1206	10 k Ω		0,1
Metallikalvovastus	SMD1206	10 k Ω		0,1
Metallikalvovastus	SMD1206	5 k Ω		0,1
Metallikalvovastus	SMD1206	1 k Ω		0,1
Metallikalvovastus	SMD1206	1 k Ω		0,1
Zenerdiodi	BZV55	5,1 V		0,1
Zenerdiodi	BZV55	5,1 V		0,1
CAN-sovitin:				
Lähetin/vastaanotin	MCP2551			1,2
Pääpiirikaavio:				
Mikrokontrolleri	AT16M1		8	3,6
LED	SDM 1206		5	0,5
Metallikalvovastus	SMD1206	10 k Ω		0,1
Metallikalvovastus	SMD1206	1 k Ω		0,1
Kela	WE-TPC	10 μ H		2,33
Keraaminen kondensaattori	X7R	100 nF		0,1
Keraaminen kondensaattori	X7R	100 nF		0,1
Keraaminen kondensaattori	X7R	22 pF		0,1
Keraaminen kondensaattori	X7R	22 pF		0,1
Kide	ATS08ASM	8 MHz		2,37
Ohjelmointiliitin	2x3/2,54 mm	6-nap.		0,3
Piirilevy	28x45 mm			1,5
Pääliitin	GP9	9-nap.		5
Kotelo	HP4			1,2
Summa			67 mA, ilman regulaattoria	23,65



Sheet: /Atmega16M1/
File: Atmega16M1.sch

Title:

Size: A4 Date:

KiCad E.D.A. KiCad 4.0.7

Rev:

Id: 5/7