

Teemu Mattila

## **ADBLUE-SIIRTOPUMPPUJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU**

# **ADBLUE-SIIRTOPUMPPUJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU**

Teemu Mattila  
Opinnäytetyö  
Kevät 2020  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

---

Tekijä: Teemu Mattila

Opinnäytetyön nimi suomeksi: AdBlue-siirtopumppujärjestelmän suunnittelu

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Design of AdBlue Transfer Pump System

Työn ohjaajat: Lauri Moilanen, Jaakko Kurikka, Perttu Niskanen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 45 + 0 liitettä

---

Kiristyvien päästövaatimusten vuoksi jälkiasennettujen pakokaasupuhdistuslaitteistojen kysyntä kasvaa. Lisäaine AdBlue, joka Selective Catalytic Reduction -katalysaattorin kanssa puhdistaa yli 90 prosenttia NOx-päästöistä, tarvitsee raskaassa kalustossa noin 40 litran säiliön, jota ei aina saada optimaalisesti sijoitettua järjestelmän toiminnan kannalta. Huonon sijoituksen vuoksi nykyisen pumpun teho ei ole riittävä pitkälle pumpausmatkalle, mikä johtaa urean vajaaruiskutukseen. Tätä varten työssä suunniteltiin siirtopumppujärjestelmä, jonka ansiosta päätankin sijoituksella ei ole väliä. Suunniteltu järjestelmä asennetaan ruiskutusjärjestelmän ja päätankin välille. Itsenäinen toiminta varmistaa AdBluen saatavuuden jatkuvasti ruiskutusjärjestelmään.

Ennalta olevan järjestelmän rinnalle suunniteltiin ja asennettiin välitankki, joka täyttyy ohjatusti päätankista, kun nestepinta laskee asetetun rajan alle. Tästä välitankista AdBluen ruiskutuslaite UDA (urea dosing unit air-assisted) saa aina ruiskutettavaa ainetta. Välitankin lisäksi suunniteltiin myös pumppu ja pumpun ohjaus.

Työssä kehitettiin laitteesta toimiva prototyyppi, joka asennettiin linja-autoon. Jatkokehitys jatkuu työn jälkeen. Kehitettävää jäi koteloinnin vesitiiveyteen ja ulkonäön parantamiseen.

---

Asiasanat: AdBlue, siirtopumppujärjestelmä, retrofit, ohjelmointi, CAN-väylä, välitankki

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical and Production, Vehicle and Transportation Engineering

---

Author: Teemu Mattila

Title of thesis: Design of AdBlue Transfer Pump System

Supervisors: Lauri Moilanen, Jaakko Kurikka, Perttu Niskanen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 45 + 0 attachments

---

Due to constantly tightening emission laws, the demand for retrofit emission cleaning systems is rising. The AdBlue additive, which combined with the Selective Catalytic Reduction catalysator cleans over 90 % of the NOx emissions, requires a 10-gallon tank in heavy-duty vehicles. Due to its size, it cannot be placed optimally every time. The pump in the existing system is working inadequately because of the long pumping distances, which leads to insufficient urea dosing. For this thesis, a transfer pump system is designed and manufactured so that the location of the main tank is not that important. The system is placed between the urea dosing system and the main tank. The surge tank and pump can work independently, which ensures that AdBlue is always available for injection.

The transfer pump system is installed alongside the existing system. It is filled from the main tank by a control unit every time the urea level drops below the set limit. From this transfer tank, the Air-assisted Urea Dosing System always has urea on-demand for injection. In addition to the surge tank, this system requires a pump and a pump controlling unit, which both are designed in the thesis.

In this thesis, a working prototype was made which was installed on a vehicle. Further development of the control unit and its casing continues afterwards.

---

Keywords: AdBlue, transfer pump system, retrofit, CAN bus, programming, surge tank

## **ALKULAUSE**

Kiitos Proventia Oy:lle mahdollisuudesta tutkia aihetta opinnäytetyönäni. Opin paljon ohjelmoinnista ja tuotekehityksestä työn aikana.

Suuri kiitos Oulun ammattikorkeakoulun järjestelmäsuunnittelija Arto Niskaselle, joka auttoi Arduinolla ohjatun prototyypin rakentamisessa, ja Proventian insinööri Olli Kantolalle, joka auttoi CAN-ohjauksen tekemisessä. Kiitos myös muille Proventian työntekijöille sekä ystävilleni, jotka auttoivat ideoimisessa.

Oulussa 2.6.2020

Teemu Mattila

# SISÄLLYS

|  |    |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ  | 3  |
| ABSTRACT   | 4  |
| ALKULAUSE  | 5  |
| SISÄLLYS   | 6  |
| SANASTO  | 8  |
| 1 JOHDANTO   | 9  |
| 1.1 Lähtötiedot ja tavoitteet                                | 9  |
| 1.2 Proventia Oy   | 9  |
| 2 PAKOKAASUJEN PUHDISTUS                                     | 10 |
| 2.1 Päästöjen vähentämistavat                                | 10 |
| 2.2 NO <sub>x</sub> -päästöt                                 | 10 |
| 2.3 AdBlue-lisäaine  | 11 |
| 2.4 AdBlue päästöjen vähentämisessä                          | 12 |
| 2.5 AdBluen käytön ongelmat                                  | 13 |
| 2.5.1 Kapea käyttölämpötila-alue                             | 13 |
| 2.5.2 Urean ruiskutus  | 14 |
| 2.5.3 Korroosion aiheuttaminen                               | 15 |
| 2.5.4 Kapillaarisuus   | 15 |
| 2.5.5 Herkkyys epäpuhtauksille ja ilmalle                    | 15 |
| 2.6 Muut vaihtoehdot   | 15 |
| 2.6.1 Ammonia Storage and Delivery System                    | 16 |
| 2.6.2 Ammonia Creation and Conversion Technology             | 16 |
| 3 PUMPUN VALINTA   | 17 |
| 3.1 Pumppujen testausmenetelmä                               | 17 |
| 3.2 Auton mäntäpumppu  | 17 |
| 3.3 Raskaan ajoneuvon kalvopumppu                            | 18 |
| 3.4 Pienikokoinen kalvopumppu                                | 18 |
| 3.5 Prototyyppitestauksessa käytetty pumppu                  | 19 |
| 4 VÄLITANKKI   | 20 |
| 4.1 Tankki ilman kohoa ja lämmitinelementtiä                 | 20 |
| 4.2 Tankki sisäänrakennetulla koholla ja lämmitinelementillä | 21 |

|   |    |
|---|----|
| 4.3 Välitankin kiinnitys                          | 22 |
| 5 PUMPUN OHJAUS                                   | 23 |
| 5.1.1 CAN-väyläohjaus                             | 23 |
| 5.1.2 Ohjelmointi ja toiminta                     | 24 |
| 5.1.3 Lämpötilan seuranta                         | 25 |
| 5.1.4 Nestetason seuranta                         | 26 |
| 5.1.5 Pumpun ohjauksen hienosäätö                 | 26 |
| 5.1.6 CAN-ohjauksen kytkentäkaavio                | 27 |
| 5.1.7 CAN-ohjauksen piirilevy ulkoisella releellä | 28 |
| 5.1.8 CAN-ohjauksen osalista ja hinta             | 28 |
| 5.2 Ohjaus mikro-ohjaimella                       | 29 |
| 5.2.1 Arduinon ohjelmointi                        | 29 |
| 5.2.2 Arduino-ohjauksen kytkentäpiiri             | 32 |
| 5.2.3 24 V:n muuntaminen 5 V:ksi                  | 32 |
| 5.2.4 24 V:n muuntaminen 12 V:ksi                 | 33 |
| 5.2.5 Anturit                                     | 33 |
| 5.2.6 Pumpun ohjausrele                           | 34 |
| 5.2.7 Loiskumisen esto Arduinolla                 | 34 |
| 5.2.8 Osalista ja hinta                           | 34 |
| 5.3 Peruskomponenteista rakennettu ohjaus         | 36 |
| 6 KOTELOINTI                                      | 37 |
| 6.1 Ensimmäinen versio                            | 37 |
| 6.2 Toinen versio                                 | 37 |
| 6.3 Prototyyppi                                   | 38 |
| 6.4 Koteloinnin vaihtoehtoinen toteutus           | 39 |
| 7 ASENNUS JA TESTAUS                              | 40 |
| 7.1 Asennus                                       | 40 |
| 7.2 Testaus                                       | 41 |
| 8 YHTEENVETO                                      | 43 |
| LÄHTEET   | 44 |

## SANASTO

|                |  |
|----------------|--|
| AdBlue         | kaupallinen nimitys ureasta ja kemiallisesti puhdistetusta vedestä valmistettavalle liuokselle   |
| CAN-väylä      | Controller Area Network, automaatioväylä, jonka avulla mikro-ohjaimet voivat keskustella keskenään ilman päätietokonetta   |
| DEF            | Diesel Exhaust Fluid, ureasta ja kemiallisesti puhdistetusta vedestä valmistettu liuos, tunnetaan myös nimellä AdBlue  |
| etsaus         | painomenetelmä, jolla haluttu kuva syövytetään hapon avulla painolaattaan  |
| Military Grade | elektroniikan käyttölämpötilan arvosteluasteikko, jossa military grade on korkein arvosana $-55...+125\text{ °C}$ :n kestävyydellään   |
| NOx            | typenoksidit, syntyvät moottorin sylinterissä tapahtuvan palamisen aikana  |
| OEM            | Original Equipment Manufacturer, kutsutaan myös omamerkki valmistukseksi, tarkoittaa alkuperäistä laitevalmistajaa.  |
| PM2.5          | lyhenne indexille, joka mittaa terveydelle vaarallisia pienhiukkasia ilmakehässä, mitkä ovat halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometrin kokoisia; indexin laskennassa otetaan huomioon rikkidioksidin ( $\text{SO}_2$ ), typpioksidin ( $\text{NO}_2$ ), otsonin ( $\text{O}_3$ ) sekä hiilimonoksidin ( $\text{CO}$ ) pitoisuudet |
| rele           | elektronisesti ohjattava kytkin  |
| SCR            | Selective Catalytic Reduction, katalysaattori, joka muuntaa pakokaasut urean avulla harmittomaksi typeksi ja vedeksi   |
| UDA            | Urea Dosing System Air Assisted, Emitecin valmistama urean ruiskutusjärjestelmä  |
| V              | voltti, jännitteen yksikkö   |



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Lähtötiedot ja tavoitteet

Opinnäytetyössä suunnitellaan pakokaasujen puhdistusjärjestelmään kustannustehokas, itsenäisesti toimiva ja toimintavarma AdBlue-siirtopumppujärjestelmä, joka jälkiasennetaan raskaan kaluston ajoneuvoon. Tuote suunnitellaan ensisijaisesti Hong Kongin raskaan kaluston markkinoille, mutta tuotteen olisi hyvä toimia myös pohjoisissa olosuhteissa.

Ratkaistavia ongelmia on monia: sopivan pumpun löytäminen sekä sen toiminnan ohjauksen suunnittelu. Pumpun valintaa vaikeuttivat erityisesti AdBluen hankalat ominaisuudet sekä pitkä pumppausmatka. Työhön kuuluu myös välitankin suunnittelu, jossa tankille selvitetään materiaali, koko ja sijainti.

Lopputuloksena valmistuu keväällä 2020 toimiva laite osalistoineen, asennusohjeineen sekä sähkökaavioineen. Työ tehdään Oulunsalossa toimivalle Proventia Oy:lle.

## 1.2 Proventia Oy

Proventia on vuonna 1994 perustettu yhtiö, joka tuottaa pakokaasujen puhdistusteknologioita ja siihen liittyviä testaus- ja suunnittelupalveluita raskaisiin dieselmootoreihin niin OEM- kuin jälkiasennuspaketteinakin. Proventia tuottaa myös lämmöneristysratkaisuja ja testiyksiköitä sähköajoneuvojen, moottoreiden, voimalinjojen, hybridijärjestelmien ja akustojen testaukseen. (1.)

## 2 PAKOKAASUJEN PUHDISTUS

Tiukentuvien päästövaatimusten vuoksi ovat insinöörit joutuneet keksimään erilaisia tapoja puhdistamaan päästöjä. Vuonna 2017 USA:ssa kevytliikenne tuotti 17,11 % maan päästöistä ja 23,78 % päästöistä raskasliikenne mukaan luettuna. Tämä on yhteensä noin 1 253 megatonnia hiilidioksidipäästöjä. Suomen liikenteestä johtuneet päästöt vuonna 2010 olivat 13,4 % päästöistä ja 8,6 megatonnia hiilidioksidia. (2; 3; 4.)

### 2.1 Päästöjen vähentämistavat

Päästöjen vähentämiselle on selvästi tarvetta, ja liikenteessä tätä on alettu ratkomaan erilaisin keinoin. Seuraavaksi on esimerkkejä tavoista, joilla päästöjä on vähennetty viimeisen vuosikymmenen aikana:

- moottorinohjauksen ja polttoaineen syötön tarkka säätö, jolla on saavutettu huomattava parannus päästöihin verrattuna 1990-luvun moottoreihin (5, s. 61)
- moottorin litratilavuuden pienentäminen tai sylinterimäärän vähentäminen ahtamiseen yhdistettynä sekä edistykset moottorin sisäisessä suunnittelussa, jotka parantavat moottorin hyötysuhdetta ja siten vähentävät päästöjä (7)
- sähkömoottorien lisääminen polttomoottorin rinnalle tai polttomoottorin poistaminen kokonaan sähköisten tieltä
- EGR, joka kierrättää ja polttaa pakokaasuja uudelleen raikkaan ilman seassa (8)
- erilaiset katalysaattorit yhdistettynä tarkan polttoaineen ja ilman seostuksen kanssa muuntavat kemiallisesti haitallisia ainesosia vähemmän haitallisiksi. (5.)

### 2.2 NO<sub>x</sub>-päästöt

Kun typpi yhdistyy polttoaineen palaessa hapen kanssa, muodostuu typpimonodiksidia (NO). Tämä yhdistyy edelleen muodostaen typpidioksidia (NO<sub>2</sub>) ja muita typpiyhdisteitä (NO<sub>x</sub>). Typpidioksidin hengittäminen suurina määrinä kasvattaa riskiä sydänkohtauksille, vaurioittaa hengityselimien kudoksia sekä verisuonistoa. Se aiheuttaa savusumua ja maaperää heikentävää happosadetta. Kevytliikenteestä eniten typpidioksidia tuottavat dieselautot. (8; 9.)

Pitoisuuksia pidetään epäterveellisinä, kun ne ylittävät  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Eurooppalainen raja-arvo on  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Suomessa pitoisuus on noin  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mikä voi kivuta talvikausina 80:een  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kuvassa 1 näkyy maailman PM2.5 ilmanlaatu 14.1.2020 kello 14:40. Vihreä on alle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja violetti yli  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (10.)



KUVA 1. Reaaliaikainen ilmanlaatuindeksi (10)

## 2.3 AdBlue-lisäaine

AdBlue on ureasta valmistettavan liuoksen kaupallinen nimi. AdBluessa on 32,5 % ureaa ja 67,5 % kemiallisesti puhdistettua vettä. Tämä seossuhde on valittu niin, että saavutetaan mahdollisimman alhainen, noin  $-11 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :n jäätymispiste. Urea ei ole dieselin sekaan laitettavaa lisäainetta, kuten usein virheellisesti luullaan. AdBlueta kutsutaan useasti myös ureaksi tai DEF-lisäaineeksi. AdBlue on läpinäkyvää, hajutonta, leimahtamatonta ja vaaratonta iholle. (11.)

Ainetta suihkutetaan dieselautojen pakoputkistoon, jossa liuos muuttuu höyrystyessään ammoniakkikaasuksi, joka vähentää katalysaattorin ja muiden komponenttien avulla päästöjä yli 90 prosenttia. Tämä on nykyisen Euro VI:n päästövaatimukseen yltämiseen välttämätöntä. Valmistajilla on ollut erilaisia versioita järjestelmästä, joita esitellään myöhemmin työssä. (11; 12.)

Urealle on oma erillinen tankkinsa, joka yleensä sijaitsee auton perässä. Tankkia lämmitetään kylmillä alueilla joko auton omalla jäähdytinnestekierrolla tai erillisellä lämmitysvastuksella tankin pohjassa. (12.)

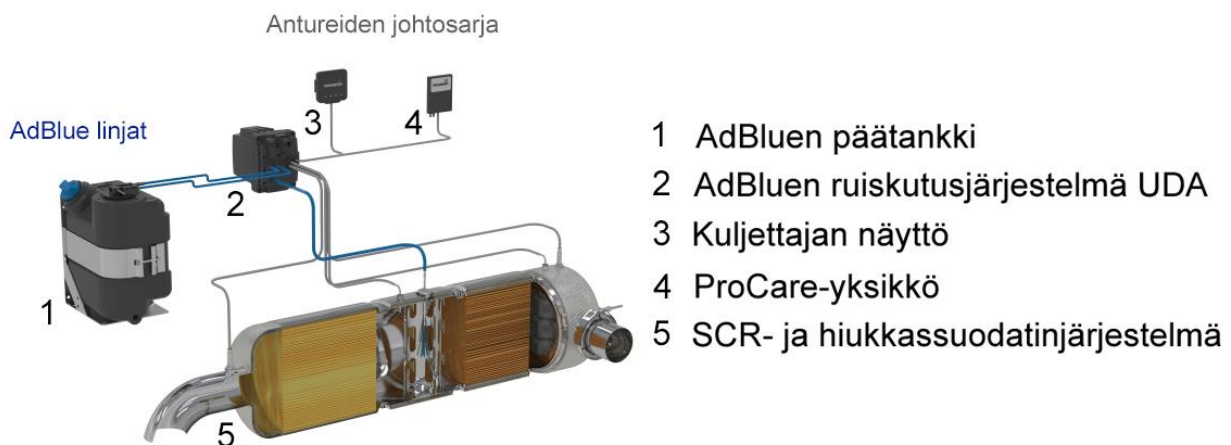
AdBlueta lisätään ajoittain yhteensopiviin dieselautoihin. Sen litrahinta vaihtelee 0,50...3,10 €/l:n välillä ostopaikan ja kanisterin koon mukaan (13). Helpoiten yhteensopivuuden huomaa kuvan 2 sinisestä korkista polttoainekorkin vieressä. Dieselpistooli ei mahdu AdBluen täyttöreikään, eikä aineita saa sekoittaa keskenään. Ureaa ei saa laimentaa vedellä. Urea on erittäin herkkä epäpuhtauksille, ja ureasuuttimen pienen koon vuoksi pienetkin partikkelit tukkivat suuttimen toiminnan. (12.)



KUVA 2. AdBluen sininen täyttökorkki

## 2.4 AdBlue päästöjen vähentämisessä

Kuvassa 3 on rakenne-esimerkki AdBlue-järjestelmästä. AdBlue suihkutetaan kuumien pakokaasujen joukkoon. Suihkutettavan määrän ohjaavat pakoputkistoon asennetut anturit yhdessä moottorinohjauksen kanssa tai Proventian NOxBusterin tapauksessa alkuperäisen moottorinohjauksen rinnalle asennettu itsenäinen ohjaus. (12.)



KUVA 3. Päästöjen puhdistusjärjestelmä (1)

Pakokaasujen lämmittämänä urea hajoaa ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi. Ammoniakki reagoi typen oksidien kanssa SCR-katalysaattorissa, jossa päästöt pelkistyvät vaarattomaksi typpikaasuksi ja vesihöyryksi. Tällä tavoin päästöt vähenevät yli 90 prosenttia ja Proventian NOxBusterin avulla on päästy jopa 99 prosentin vähenemiin. (11; 12.)

Ureaa kuluu suhteessa vähän, noin 1 litra tuhatta kilometriä kohti henkilöautoissa, joissa lisäys suoritetaan yleensä öljynvaihdon yhteydessä. Raskaankaluston ajoneuvoissa kulutus on usein 3...5 % dieselin kulutuksesta. Tällä kulutusmäärällä ureaa joudutaan tankkaamaan dieselin yhteydessä. Kiristyvien päästörajojen vuoksi AdBluen ruiskutusta joudutaan lisäämään ja sen kulutus tulee kasvamaan noin kaksinkertaiseksi tulevaisuudessa. (11; 14.)

## **2.5 AdBluen käytön ongelmat**

Ongelmakohtia AdBluessa on monia: kapea käyttölämpötila-alue, useimpia materiaaleja korrosoivat ominaisuudet, kapillaarisuus, ilmaan sekoittuessaan kristalloituminen sekä säilymisaika, joka on noin 18 kuukautta. Näitä asioita huomioitiin opinnäytetyössä niin materiaalien valinnassa kuin vesitiiveyden varmistamisessakin. (12.)

### **2.5.1 Kapea käyttölämpötila-alue**

Aine on tärkeää moottorin toiminnan kannalta, koska uusien autojen on oltava päästörajojen sisällä aina. AdBluen loputtua auton käyttö rajoitetaan mateluvauhtiin, etteivät päästörajoitukset ylity. (12.)

### **Jäätymispiste**

Suomen ja muiden pohjoisten maiden talven vuoksi päästörajojen noudattaminen on kuitenkin erittäin vaikeaa, koska AdBlue jäätyy  $-11$  celsiusasteessa. Tätä on yritetty korjata lisäämällä lämmitinelementti tankin pohjaan tai kierrättämällä ajoneuvon jäähdytysnestettä tankin ympärillä, mutta urean sulamiseen menee usein kymmeniä minutteja. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, ettei lyhyillä matkoilla AdBlueta kulu ollenkaan, mikä kasvattaa NOx-päästöjä huomattavasti. Ureatankin lämpötila ei myöskään saisi nousta yli  $60$  celsiusasteen, koska AdBlue alkaa hajota kemiallisesti ja kaasuuntua jo näissä lämpötiloissa. (12.)

## Höyrystymispiste

Urean optimaalinen, tehokkaan ruiskutuksen, lämpötila on 250 celsiusasteesta ylöspäin. Kun pakokaasut saavuttavat tämän lämpötilan, voi ruiskuttaminen alkaa. Tähän lämpötilaan pääseminen kesäolotiloissa vie useita minuutteja ja kylmissä olosuhteissa vielä kauemmin. Proventian kehittämällä ureamikserillä ruiskutus voidaan aloittaa jo 170 celsiusasteessa. AdBluen ruiskutuksen aikaisemmin aloittamista on koitettu ratkaista muillakin tavoilla. (12.)

### 2.5.2 Urean ruiskutus

Urean tarkka ruiskutuksen ohjaaminen on myös tärkeää. Ruiskutusmassan määrä voidaan laskea kaavan 1 mukaan.

$$\dot{m}_{AdBlue} = \frac{\dot{Q}_{exh}}{(h_{water} * f_{water} + h_{urea} * f_{urea})}$$

*KAAVA 1. Teoreettinen ruiskutusmassan määrä (15, s. 18)*

$\dot{m}_{AdBlue}$  = massan määrä, joka voidaan suihkuttaa pakoputkistoon niin, että AdBlue käytetään mahdollisimman tehokkaasti

$\dot{Q}_{exh}$  = tarvittavan energian määrä pakokaasussa, jotta AdBlue saavuttaa määrätyn lämpötilan

$h_{water}$  = tarvittavan energian määrä, jotta vesi höyrystyy

$h_{urea}$  = tarvittavan energian määrä, jotta urea jakautuu ainesosiinsa

$f_{urea}$ ,  $f_{water}$  = liuoksen yhden komponentin massan suhde liuoksen kokonaismassaan, AdBluen tapauksessa vesi 67,5 %, urea 32,5 %

Liiallinen ruiskutus johtaa siihen, että urea ei kerkeä höyrystyä kunnolla ja se alkaa kerrostua SCR:n pinnalle. Tämä aiheuttaa pakoputken tukkeutumista, mikä taas aiheuttaa tehon menetystä ja jopa moottorin rikkoutumista. Kerrostumaa on erittäin hankalaa saada pois kovettumisen jälkeen. (12.)

### **2.5.3 Korroosion aiheuttaminen**

Vaikka urea on vaaraton käsiteltäväksi, on sillä korrosoivia ominaisuuksia. AdBlue-järjestelmässä on vältettävä tiettyjen aineiden kuten kuparin tai messingin, nikkelin, sinkin ja sinkkipäälystettyjen metallien, hiili- ja galvanoidun teräksen, lyijyn, miedon raudan tai alumiinin ja alumiiniseosten käyttöä. Tämä rajaa käytettäväksi pumpun, tankin ja nestelinjojen materiaaleiksi pelkästään ruostumattoman teräksen tai suuritiheyksiset muovit. (16; 17.)

### **2.5.4 Kapillaarisuus**

Kapillaarisuus eli ilmiö, jossa neste etenee kapeassa rakenteessa tai putkessa, on myös ongelma. Jos liitinkohdat vuotavat tai nestettä pääsee jonkin syyn vuoksi johtosarjaan, nousee AdBlue pitkälle johtoon tai jopa ohjausyksikköön asti. Seuraukset johtojen tai ohjauksen korrosoitumisesta ovat vakavat. Järjestelmän tiiveys on siis tärkeää.

### **2.5.5 Herkkyys epäpuhtauksille ja ilmalle**

AdBlue kristallisoituu valkoisiksi kiteiksi päästessään kosketuksiin ilman kanssa. Tätä kristallisoitumista näkyy usein vuotavissa liitoksissa. Epäpuhtaudet pilaavat herkästi AdBlue-järjestelmän toimivuuden. Epäpuhtauksia saattaa päästä järjestelmään erilaisten syiden takia:

- väärin toimivan tai vuotavan suihkutussuuttimen kautta
- AdBluen sakkautuminen linjoihin ajamisen päätyttyä
- pakoputkiston antureiden rikkoutumisesta johtuva vääränlainen suihkutetus
- huonolaatuisen dieselin mukana, jossa on paljon rikkiä, mikä aiheuttaa peruuttamattomia vaikutuksia SCR-järjestelmän katalyytissä. (18.)

## **2.6 Muut vaihtoehdot**

AdBluen ominaisuuksien takia, myös muita vaihtoehtoja on etsitty pakokaasujen jälkikäsittelyyn. Tästä esimerkkeinä kokeiluasteelle jäänyt ammoniakkikaasu sekä nykyisen AdBlue-järjestelmän rinnalle asennettava lisäjärjestelmä ACCT (Ammonia Creation and Conversion Technology).

### **2.6.1 Ammonia Storage and Delivery System**

Ammoniakkia urean vaihtoehtona on kehitetty Amminex-yhtiössä. He ovat koittaneet ratkaista AdBluen ongelmat alhaisissa ulko- ja pakokaasun lämpötiloissa. ASDS-järjestelmässä (Ammonia Storage and Delivery System) käytetään vaihdettavia patruunoita, jotka varastoivat ammoniakkia kiinteään strontiumamiinin muodossa ja vapauttavat sitä kaasumaisena tarpeen mukaan. Kaasumaista ammoniakkia voidaan sen alemman toimintalämpötilan vuoksi käyttää aikaisemmin ajossa, mikä vähentää päästöjä.

Järjestelmä otettiin käyttöön muutamissa kaupunkibusseissa vuonna 2016 Englannissa, mutta valtion päätöksestä siirtyä sähkömoottorillisiin busseihin on Amminexin toiminta nykyään lopetettu suurimmaksi osin. Yhtiö jatkaa ammoniakkikaasupatruunoiden valmistamista jäljellä oleviin busseihin. (19.)

### **2.6.2 Ammonia Creation and Conversion Technology**

Loughboroughin yliopiston kehittämä ACCT-järjestelmä (Ammonia Creation and Conversion Technology) voidaan asentaa olemassa olevan AdBlue-järjestelmän rinnalle. ACCT käyttää hukkalämpöä muuntaakseen pienen määrän ureaa uudeksi aineeksi, joka antaa tarvittavan määrän ammoniakkia alhaisissa, jopa 50...100 celsiusasteen lämpötiloissa. Näin AdBlueta voidaan ruiskuttaa pakokaasujen sekaan aikaisemmin kylmissä olosuhteissa, vähentäen päästöjä.

Järjestelmässä on saatu ajotesteissä vähennettyä kokonaispäästöjä yli 98 prosenttia, verrattuna 46 prosenttiin verrokkina olleella AdBlue-järjestelmällä. Yliopisto odottaa raskeankaluston valmistajaa sijoittajakseen ja ottamaan käyttöön heidän järjestelmänsä. (20.)



### 3 PUMPUN VALINTA

Pumppu valittiin pääosin AdBluen kestävyys perusteella. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että pumppu täytyy olla ruostumatonta terästä tai tiheää polyeteenimuovia. Prototyypin ohjauksen suunnittelua ja testausta varten hankittiin myös halpa, muovinen pumppu, jota ei käytetty enää jatkokehityksessä.

#### 3.1 Pumppujen testausmenetelmä

Pumput testattiin ensin pumppaamalla AdBlueta kaksi päivää putkeen, mikä vastaa noin 200 000 km oikean elämän ajamista. Tämän jälkeen testattiin vaakatason pumppauskykyä 8,5 m matkalla, niin imemällä kuin pumppaamalla tyhjiä linjoja pitkin. Kolmanneksi testattiin yhdistettyä korkean ja vaakatason pumppaamiskykyä, jossa pumpattiin AdBlueta lattiatasolta varastohyllyn päälle sekä 2 m vaakatasossa hyllyn päällä.

#### 3.2 Auton mäntäpumppu

Ensimmäinen pumppu valittiin testaukseen sen pienen koon, materiaalin ja järkevän hinnan perusteella. Testeissä kävi ilmi hyvä imukyky, laaja toimintalämpötila-alue ja sopiva painealue. Tästä mallista ei ollut 24 V:n jännitteellä toimivaa versiota mutta huomattiin, että RST-sisäosat oli mahdollista vaihtaa ristiin messinkisen pumpun kanssa. Näin pumpua pystyi ajamaan raskaan ajoneuvon 24 V:n käyttöjännitteellä ongelmitta.

Pumpussa oli mainostuksesta poiketen kuitenkin sisällä rautainen palautusjousi, joka ruostui ja katkesi pidemmän testaamisen jälkeen (kuva 4). Tämä johti tehon laskemiseen sekä pumpun hylkäämiseen jatkokehitystä ajatellen.



KUVA 4. Mäntäpumppu ja katkennut palautusjousi

### 3.3 Raskaan ajoneuvon kalvopumppu

Toiseksi vaihtoehdoksi valittiin raskaissa ajoneuvoissa käytetty kalvopumppu (kuva 5). Pumppu löytyy jo valmiiksi Mercedes-Benz Atego kuorma-auton AdBlue-järjestelmästä, joten käyttövarmuus on testattu jo valmiiksi. Tämä malli toimii 24 V:n jännitteellä, joten ei tarvita erillistä jännitteenmuutosyksikköä.



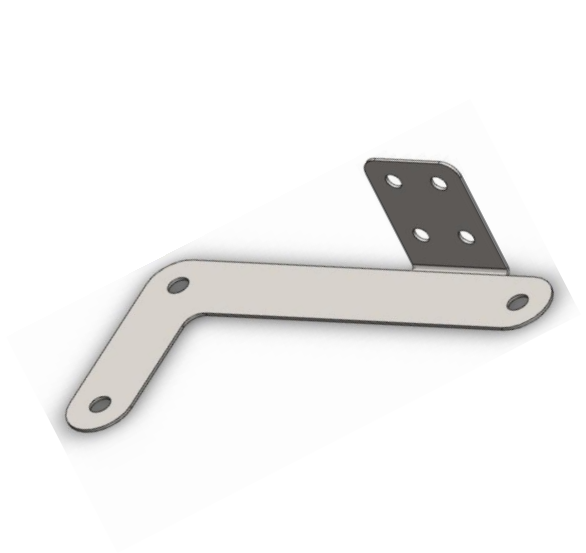
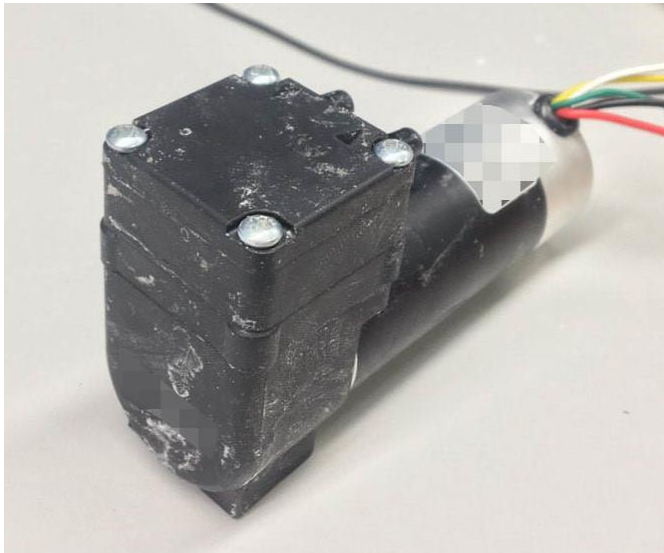
*KUVA 5. Kalvopumppu*

Pumppu osoittautui kuitenkin kalliiksi, isokokoiseksi sekä tehokkaaksi, joten pumppua ei valittu. Tämän pumpun vuoksi jatkettiin kalvopumppujen etsimistä, koska ne osoittautuivat yksinkertaisiksi ja kestäviksi käyttötarkoitukseen.

### 3.4 Pienikokoinen kalvopumppu

Raskaan ajoneuvon kalvopumppu osoittautui mekaanisesti hyväksi, joten alettiin etsiä pienempää kalvopumppua samoilla valmistusmateriaaleilla. Etsimisen jälkeen päädyttiin eurooppalaisen yhtiön valmistamaan pienikokoiseen kalvopumppuun. Yhtiö ilmoitti ostaessa, että pumppu on tarkoitettu vesitiiviin koteloinnin sisälle, jota ei toimiteta pumpun mukana. Ohjausyksikön pakollisen vesitiiviin koteloinnin vuoksi tästä ei tullut isoa ongelmaa. Pumpun voisi integroida samaan koteloon, samalla vähentäen ajoneuvoon asennettavia komponentteja.

Testien jälkeen todettiin kuvan 6 pumpun AdBlueta kestäväksi sekä teholtaan sopivaksi. Rakenne on myös yksinkertainen ja hajoavia osia ei ole montaa. Tämä pumppu valittiin jatkokehitykseen ja kiinnike koteloointiin valmistettiin.



*KUVA 6. Kalvopumppu ja kiinnike*

### **3.5 Prototyyppitestauksessa käytetty pumppu**

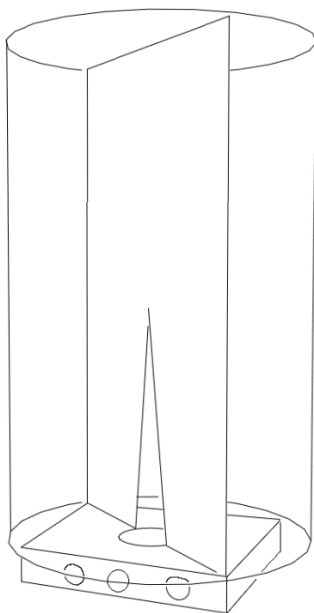
Ohjelmistokoodin testausta varten prototyypissä valittiin lisäksi yleismallinen muoviraken-  
teinen pumppu. Tämä pumppu on alitehoinen ilman minkäänlaista kuivaimukykyä, mutta  
se sopi hyvin toimintaidean testaamiseen edullisen hintansa vuoksi.

## 4 VÄLITANKKI

Välitankin suunnittelussa pitää myös ottaa huomioon AdBluen ominaisuudet. Tämän vuoksi tankin materiaali pitää olla joko ruostumattomasta teräksestä tai tiheästä polyeteenimuovista. Neste ei myöskään saa loiskua tankissa liikaa, koska se sekoittaisi nestetason seurauksen ja pumpun ohjauksen.

### 4.1 Tankki ilman kohoa ja lämmitinelementtiä

Tankki on tilavuudeltaan kaksi litraa ja alhaalla on kolme liitintä, imevä ja paluulinja UDA:lle sekä pumpun kautta tulolinja päätankilta (kuva 7). Tankiin hitsataan levy loiskumisen estämiseksi. Alhaalla vielä erillinen pieni liitäntäkappale, johon urealinjat kiinnitetään. Tämäkin estää loiskumista ja pumpun kuivana käymistä, kun ajoneuvo heiluu eri ajotilanteissa. Ensimmäistä prototyyppiä voi kallistaa noin 70 asteen kulmaan, ennen kuin lähtölinja alkaa imemään ilmaa.



*KUVA 7. Välitankin pikamallinnus sekä prototyyppi*

Nestepintaa seurattaisiin tankin kyljessä olevissa, tankin pinnasta eristetyillä, pulteilla. Alimpaan johdettaisiin virta ja ylempien pulttien virranjohtamisen mukaan Arduino tietää nestetason.

#### 4.2 Tankki sisäänrakennetulla koholla ja lämmitinelementillä

Toinen versio tankista on ulkoisesti samanlainen, mutta siihen ei laiteta sisälle loiskelevyä, koska yksikön koho sekä neste- ja lämmityslinjat tulevat eteen (kuva 8). Yhden kolmesta nestelähdöstä tankissa voi myös poistaa, koska yksikössä on valmiiksi imu- ja paluulinja.



KUVA 8. Kohoyksikkö

Nestetason seuranta tapahtuu koholla, joka antaa tietyn vastusarvon tason mukaisesti. Tämän avulla CAN-ohjain käynnistää pumpun, kun taso laskee tarpeeksi alas.

Kohoyksikkö olisi valmiiseen tuotteeseen parempi, koska talvisissa olosuhteissa lämmitys on tärkeä lisäominaisuus. Lämmitys toimii kierrättämällä jäähdytinnestettä U-muotoisen elementin läpi kunnes AdBlue saavuttaa halutun lämpötilan. Kylmien olosuhteiden markkinoita ajatellen paluulinjan nippa on hitsattava niin, että adbluelle jätetään 10 % laajentumisvara jäätymistilanteessa.

### 4.3 Välitankin kiinnitys

Välitankin kiinnitys tehtiin pannalla (kuva 9), joka puristaa tankin sisäseinämää sekä lattiaa vasten. Panta on edullista valmistaa sekä pantaan voi mahdollisesti toteuttaa kiinnityksen ohjauksen kotelolle.



*KUVA 9. Välitankin kiinnityspanta*

## 5 PUMPUN OHJAUS

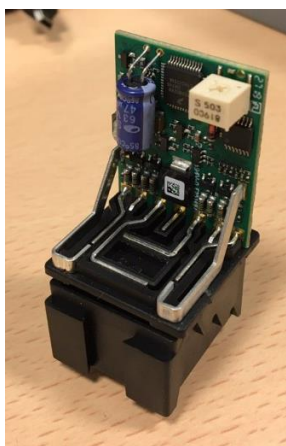
Pumpun ohjauksesta päätettiin tehdä kolme versiota. Halvin ja yksinkertaisin perustuu peruskomponenteista valmistettuun ohjaukseen. Toinen Arduinoon perustuvaan ohjaukseen. Kolmas CAN-väyläohjaukseen, jonka voi yhdistää suoraan Proventian ProCare-pilvipalveluun, johon on yhdistetty muutkin ajoneuvossa olevat Proventian laitteistot.

CAN-väylällä ja Arduinolla ohjattavan järjestelmän etuina ovat parempi ohjelmoitavuus, pumpun välitankin nestepinnan seuranta sekä loiskumisen suodatus. CAN-väylän etuna on myös vikakoodin ilmoittamismahdollisuus ProCareen.

Komponenteista tehdyn järjestelmän etuja on yksinkertaisuus ja edullinen hinta. Huonoa on loiskumisesta johtuvat turhat pumpun käynnistymiset, koska loiskumisen suodatus ei ole mahdollista tässä versiossa. Tätä ei myöskään voi yhdistää Proventian ennalta olevaan järjestelmään.

### 5.1.1 CAN-väyläohjaus

Parhaaksi vaihtoehdoksi valittiin Proventian varastosta jo valmiiksi löytyvä CAN-ohjain. Se näyttää päällepäin releeltä ja sopii normaaliin relekantaan. Sisällä on kuitenkin pieni piirilevy, jota voidaan ohjelmoida moniin erilaisiin käyttökohteisiin (kuva 9).



KUVA 10. CAN-ohjain ilman ulkokuorta

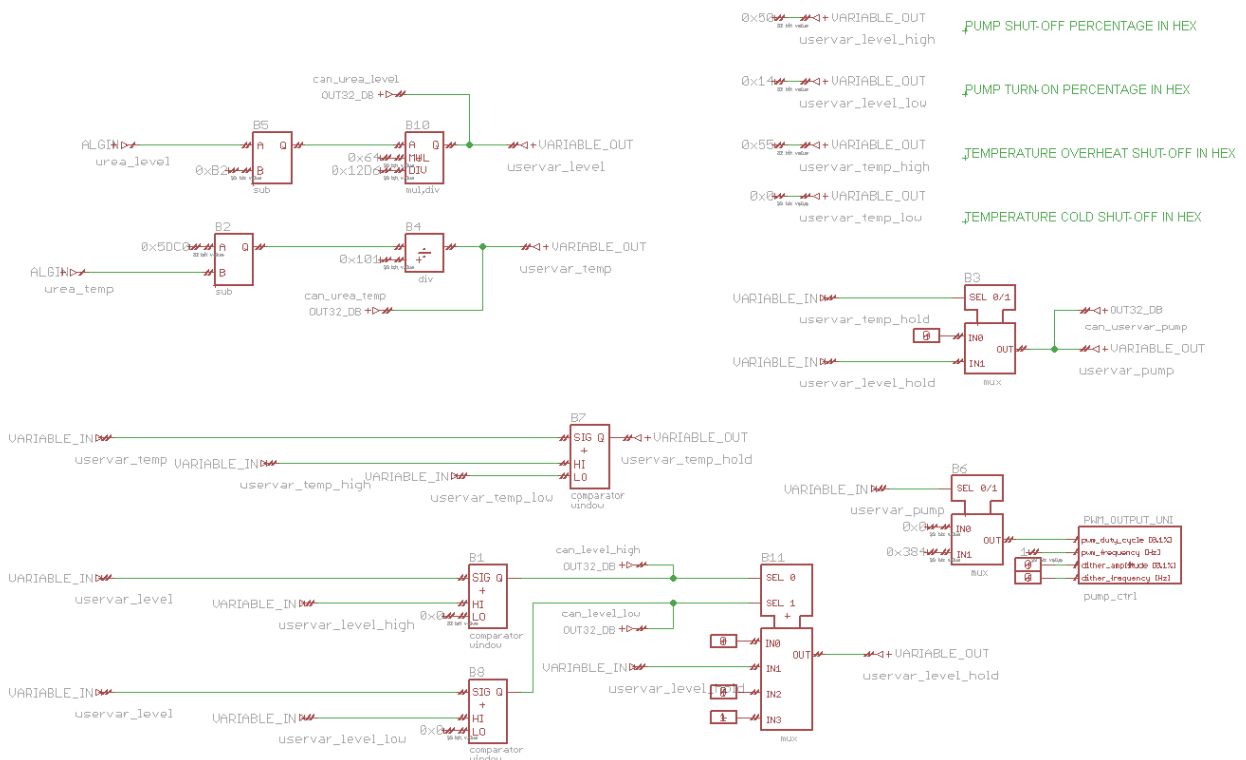
Tästä ohjaimesta käytettiin jatkokehityksessä sisäisellä releellä varustettua versiota. Tällä tavoin saatiin erillinen releytys pumpulle kokonaan pois, yksinkertaistaen rakennetta ja halventaen hintaa.



### 5.1.2 Ohjelmointi ja toiminta

Ohjelmointi tehtiin ohjaimen valmistajan omalla työkalulla, joka perustuu graafiseen ohjelmointiin, englanniksi Function Block Diagram. Toisinkuin seuraavaksi esitellyssä Arduinossa, jonka ohjelmointi tapahtuu C-kieltä kirjoittaen.

Ohjelma oli helppo oppia käyttämään opastuksen jälkeen. Valikosta valitaan kuvassa 11 punaisella ulkoviivalla näkyvät komennot, jotka yhdistetään toisiinsa vihreillä "neteillä". Piirikaavion muokkaamisen helpottamiseksi pumpun toimintaa ohjaavat arvot laitettiin oikeaan ylänurkkaan. Näitä muuttamalla voidaan säätää pumpun tasopinnan tunnistuksen ylä- ja alarajaa prosentteina sekä päälle lähdön ja sulkemislämpötilaa celsiusasteina.



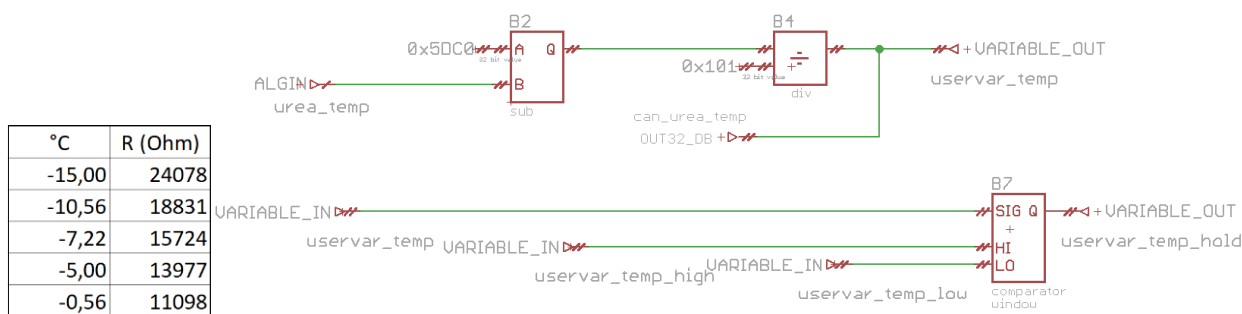
KUVA 11. CAN-ohjauksen piirikaavio

Toiminta perustuu siihen, että urea\_temp ja urea\_level antavat joko arvon 1 tai 0 ulos. Kun lämpötila on asetettujen arvojen sisällä ja nestetaso tarpeeksi alhaalla, antavat ne yhden. Kun molemmat antavat yhden, pumppu käsketään päälle.



### 5.1.3 Lämpötilan seuranta

Kuvassa 12 näkyy urea\_temp-komento, joka tarkistaa, että urean lämpötila on yli  $-0,5$  tai alle  $+85$  celsiusastetta. Tällä ehkäistään pumpun käyttö silloin, kun AdBlue on jäässä tai liian kuumaa ruiskutettavaksi.



KUVA 12. 3,3 k $\Omega$  NTC vastuksen referenssi taulukko sekä urea\_temp-komento

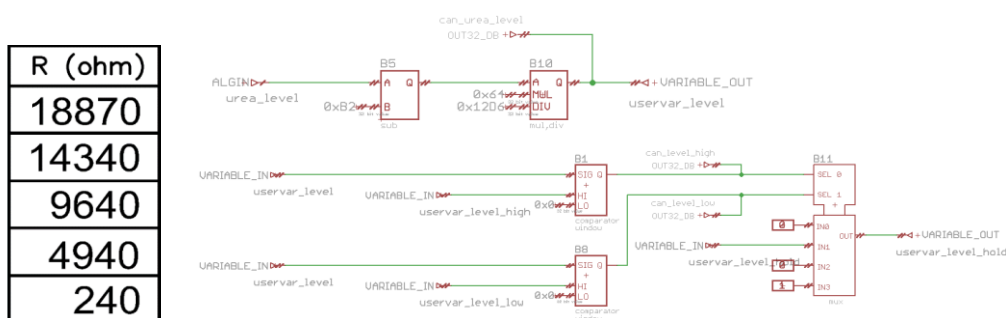
Lämpötilan tunnistus toimii siten, että haetaan kohoelementissä käytettävälle 3,3 k $\Omega$  NTC vastukselle vertailuarvo  $-0,5$  celsiusasteen lämpötilassa. Kuvan 11 referenssi taulukosta näkee, että elementti tuottaa  $-0,5$  asteessa 11 k $\Omega$  vastuksen.

Vertailuvastus toimii pull-up-tyyliin. Vastus ja muuttuva NTC-lämpövastuksen johdot laitetaan sarjaan, vastuksen puolelle jännitteen syöttö ja lämpövastus maahan. CAN-ohjaimelle menevä signaali johto laitetaan vastusten keskelle. Kun lämpötila kasvaa, vastus pienenee ja CAN-ohjaimelle ohjautuvan jännitteen määrä kasvaa. Kun lämpötila saavuttaa  $-0,5$  celsiusasteen, on niin vertailuvastuksen, kuin muuttuvan lämpötilavastuksenkin arvo 11 k $\Omega$ . Tämä tarkoittaa sitä, että puolet tai enemmän jännitteestä ohjautuu CAN-ohjaimelle, jolloin B2-komento antaa arvon yksi ulos seuraavalle komennolle. Lämpötilan kasvaessa ja vastuksen pienentyessä, enemmän jännitettä ohjautuu CAN-ohjaimelle, pitäen komennon arvon yhdessä.

Lämpötilan sallittu maksimiarvo haettiin upottamalla kohoelementti  $+85$  celsiusasteiseen veteen ja mittaamalla ohjaimelle menevä jännite, joka asetettiin ylärajaksi. Kohoelementin vastus nousee logaritmisesti, joten ääriarvojen välillä lämpötila on suuntaa antava. Tämä kuitenkin todettiin riittävän tarkaksi mittaustavaksi.

### 5.1.4 Nestetason seuranta

Kuvassa 13 näkyvä komento on nestetason tarkastelua varten. Nestetasoa seurataan pull-down-tyylillä. Kun koho laskeutuu, laskee myös vastus ja CAN-ohjaimelle ohjautuva virta kasvaa. Kohossa on viisi vastusaskelta, joilla on eri vastusarvot. Toiseksi alimman askeleen valittiin käskemään pumpppu päälle ja toiseksi ylin käskemään pumpppu pois päältä. Referenssivastukset löytyvät kohon teknisistä piirustuksista (kuvassa vasemmalla). Vertailuvastuksiksi valittiin standardivastus 15 k $\Omega$ , mikä on lähimpänä referenssiarvoa 14 340  $\Omega$ .

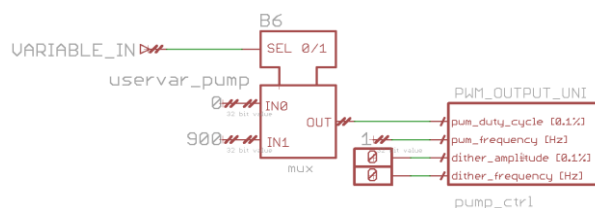


KUVA 13. Kohon vastuksen referenssi taulukko sekä urea\_level koodi

Kun urea\_low on matalalla, laitetaan pumpppu päälle, kunnes saavutetaan urea\_high, jolloin pumpppu sammutetaan. Tämän jälkeen nestepinta saa laskea, kunnes urea\_low saavutetaan, mikä taas ohjaa pumpun päälle. Tätä toistetaan jatkuvasti virran päällä ollessa, kunhan urea\_temp-komento toteutuu.

### 5.1.5 Pumpun ohjauksen hienosäätö

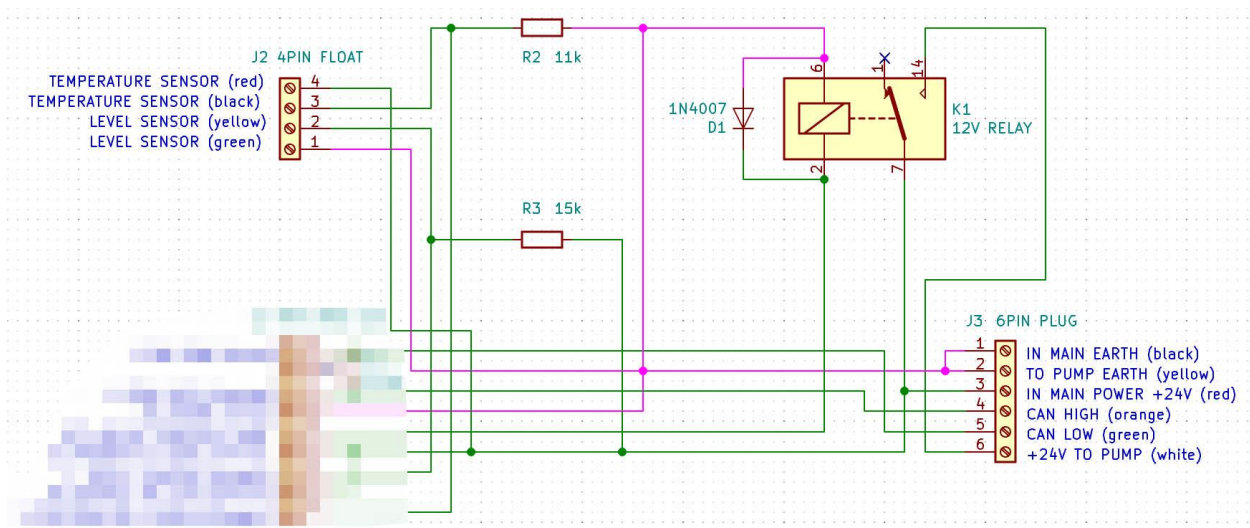
Kuvassa 14 näkyy pumpun ohjauksen hienosäätö. Tällä voitaisiin säätää pumpppu toimimaan eri pumppausnopeuksilla, mutta tässä sovelluksessa tarvitaan vain yksinkertainen ON/OFF käsky. Tämä antaa 900 mV jännitteen releelle, joka taas kytkee pumpun päälle.



KUVA 14. Pumpun hienosäätö

### 5.1.6 CAN-ohjauksen kytkentäkaavio

KytKentäkaavio on melko yksinkertainen, releen pinnistä lähtee ohjausvirta releelle. Tästä erillisenä on lämpötilan sekä nestetason tarkkailuun tarvittavat vertailuvastukset, sekä ohjelmointiväylien väliin vaadittava vastus. Ruuvattavat terminaalit kuvastavat liittimiä kohoyksiköltä ja releeltä sekä virta- ja ohjelmointiliitintä. Vaaleanpunaisella on korostettu maalinjat, lukevuuden helpottamiseksi. CAN-ohjain tulee piirilevyn kanssa kotelon sisälle, joten vain kaksi liitintä on näkyvillä (kuva 15).

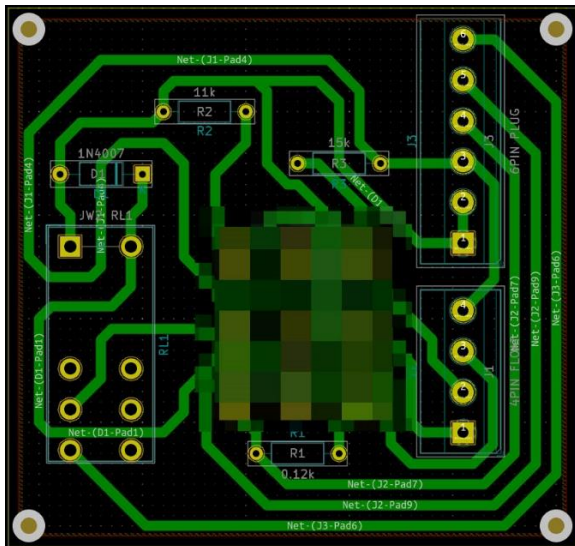


KUVA 15. KytKentäkaavio

Lopulliseen tuotteeseen ei tarvita ulkoista relettä. Pumppu myös upotetaan samaan koteloon, joten ulospäin tulevia liittimiä on vain pumpulle menevä neljäpinninen sekä virralle tarvittava kaksipinninen liitin. Ohjelmointi suoritetaan ennen kotelointia, joten ohjelmointiväylille ei myöskään tarvitse liitintä.

### 5.1.7 CAN-ohjauksen piirilevy ulkoisella releellä

Opinnäytetyön tekemisen aikana koronavirus hidasti osien saatavuutta huomattavasti, joten piirilevy (kuva 16) piti yksinkertaistaa yksipuoliseksi ja sellaiseksi, että sen voi etsiä kotiloissa. Tämä hieman suurentaa piirilevyn kokoa, koska reitit eivät saa osua toisiinsa ja jotkin pinnit pitää yhdistää pitkän mutkan kautta.



KUVA 16. CAN-ohjauksen yksipuolinen piirilevy

### 5.1.8 CAN-ohjauksen osalista ja hinta

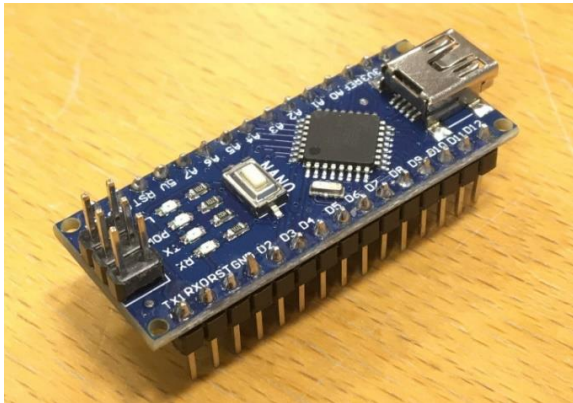
CAN-ohjauksen hinnaksi tuli hieman alle 300€ (kuva 17). Hinta on laskettu niin, että komponentit tilataan kymmenen kappaleen erissä. Tällä on korkein hinta eri ohjainversioista, mutta CAN-ohjaus on myös parhaiten suoritettava. Tämä on lopullisen version tuotteen hinta, ilman ulkoista releitä ja sen tarvikkeita.

| CAN-ohjaus                   |         |
|------------------------------|---------|
| Nimi                         | Hinta   |
| CAN-ohjain                   |         |
| Kohoyksikkö                  |         |
| Pumppu                       |         |
| Tankki RST (arvio)           | 30,00 € |
| Kotelo+resiiniupotus (arvio) | 30,00 € |
| Urea pikaliittimet           | 10,00 € |
| AMP Super Seal liittimet     | 4,00 €  |
| 15k $\Omega$ resistori       | 0,10 €  |
| 11k $\Omega$ resistori       | 0,10 €  |
| yht.                         |         |

KUVA 17. CAN-ohjauksen osalista

## 5.2 Ohjaus mikro-ohjaimella

Kolmas vaihtoehto on mikro-ohjain Arduino Nanoon (kuva 18) perustuva ohjaus. Tämä on toiminnaltaan samanlainen kuin CAN-väylällä toteutettukin, mutta ilman Proventian muuhun järjestelmään yhdistämismahdollisuutta. Arduinon ympärille joutuu rakentamaan koko kytkentäpiirin uusiksi.



KUVA 18. Arduino Nano

### 5.2.1 Arduinon ohjelmointi

Ohjaus toimii samalla lailla kuin CAN-ohjauskin. Tyhjää välitankkia aletaan täyttämään, kunnes nestepinta nousee ylimpään anturiin asti. Tämän jälkeen pumppu sammuu ja antaa nestepinnan laskea keskimmäiseen anturiin, joka kytkee pumpun päälle ja aloittaa kierron alusta.

```
#include <LiquidCrystal.h>
int level1=A1;
int level2=A2;
int motor=6;
int a;
int b;
int r;
int m=0;
int z=111;

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup()
{
  pinMode(level1,INPUT);
  pinMode(level2,INPUT);
  pinMode(motor,OUTPUT);
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.clear();
}
```

KUVA 19. Koodin alkuosan "setup"

Kuvassa 19 ja 20 on demoversion koodi, jossa on pieni LCD-näyttö, joka kertoo mitä Arduino tekee. Lopulliseen versioon ei tule näyttöä tilan ja resurssien säästämiseksi. Koodin alussa haetaan kirjasto, josta luetaan näytön ohjaukseen tarvittavat komennot. Tämän jälkeen määritetään nimet Nanon A1, A2 ja D6 pinneille. Nämä määritetään sitten joko tietoa vastaanottaviksi (anturit A1 ja A2) tai tietoa lähettäväksi (pumppua ohjaava pinni D6). Myös alimman tasoanturin ohjausvirta (z) määritetään. Arvo pitää valita väliltä 0...1023 jossa 0 on 0V ja 1023 on 5 V. Valittiin yleisesti käytetty arvo 111 ( $((111/1023)*5V=0,5V)$ ). Tämä antaa vähäiselle jännitteen vaihtelulle välin, ennen kuin Arduino tunnistaa anturin kytkeytyneeksi.

Koodin seuraava osa on itse looppi, jota Arduino kiertää päällä ollessaan (kuva 19). Alussa printataan demoversion näyttöön prototyypin versio ja tekijän nimi. Tämän jälkeen antureiden ja pumpun ohjauksen arvoja seurataan.



```
void loop()
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("PROTOTYYPPI v0.06");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("MATTILA DUO");
  r=digitalRead(motor);
  a=analogRead(level1);
  b=analogRead(level2);

  if(b>z)
  {
    {
      digitalWrite(motor,LOW);
    }
    lcd.setCursor(1,2);
    lcd.print("100% FULL");
  }

  else
  {
    if(a>z)
    {
      lcd.setCursor(2,2);
      lcd.print("50% FULL");
    }

    else
    {
      {
        if(a<z)
        {
          {
            digitalWrite(motor,HIGH);
          }
          lcd.setCursor(3,2);
          lcd.print("0% FULL");
        }

        }}}
    if(r==LOW)
    {
      lcd.setCursor(0,3);
      lcd.print("PUMP (OFF)");
    }

    else
    {
      lcd.setCursor(0,3);
      lcd.print("PUMP (ON)");
    }
    {
      delay(100);
      lcd.clear();
    }
  }
}
```

KUVA 20. Koodin määrittelyt ja looppi

Seuraavaksi tulevat ehtolauseet (kuva 20) jotka määrittävät arduinon toimintaa. Jos ylin anturi (b) on nesteessä, on sen arvo yli ohjausraja-arvon z ja pumppu sammuu. Näytölle tulostetaan teksti "100% FULL, PUMP (OFF)".

Jos tämä ei ole totta, siirrytään seuraavaan kohtaan. Jos keskimmainen anturi (a) on nesteessä, on sen arvo yli ohjausraja-arvon z. Tällä anturilla ei ole niinkään tehtävää, se on asennettuna vain loiskumisesta johtuvien häiriöiden suodattamiseen. Näytölle tulostetaan teksti "50% FULL, PUMP (OFF)".

Jos tämäkään ehto ei ole totta, eli nestepinta on niin alhaalla että jännite ei kierrä keskimmaisen ja alimman anturin välillä, niin keskimmaisen anturin (a) arvo on alle ohjausraja-arvon z. Tämä ehto käskee Arduinon tuottamaan ohjausvirran releelle transistorin kautta, mikä kytkee pumpun päälle. Näytölle tulostetaan teksti "0% FULL, PUMP (ON)".

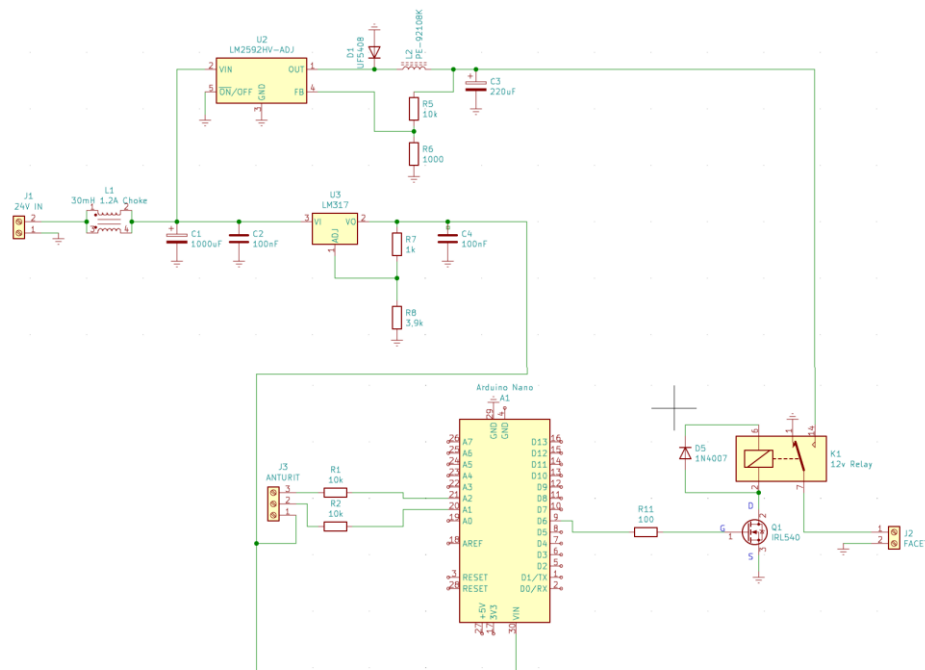
Tämän jälkeen pumppu pysyy päällä 50% FULL merkin ohi, koska tämä ehto ei käske pumppua pois päältä. Kun nestepinta saavuttaa ylimmän anturin, ehto  $b > z$  toteutuu, eli ylimmän ja alimman anturin välillä kiertää jännite, ja pumppu sammuu. Tämän jälkeen looppi alkaa alusta. Demoversiossa on vielä kaksi lisäkohtaa näytön ohjaamiseksi.

Pumpun status printataan näytölle tarkistamalla releelle menevä ohjausjännitte. Jos ohjausjännitettä on, on pumppukin päällä, joten PUMP (ON) tulostetaan näytölle. Jos taas ohjausjännitettä ei ole, on pumppu pois päältä. Tällä tavalla vältetään kirjoittamasta jokaisen anturin kohdalla tämän teksti, jos antureita olisi esimerkiksi kymmenen.

Lopussa näkyy `delay(100)`, joka kertoo Arduinon ja näytön päivitystahdin millisekunneissa. Luku 100 tarkoittaa, että Arduino tarkastelee antureiden arvoja 100 millisekunnin välein. Liian tiheä päivitystahti antaisi mahdollisia haamupysäytys- ja käynnistyskäskyjä ja liian hidas ei kerkeäisi reagoida tankin täyttymiseen ja aiheuttaisi turhaa AdBluen paluukiertoa.

### 5.2.2 Arduino-ohjauksen kytkentäpiiri

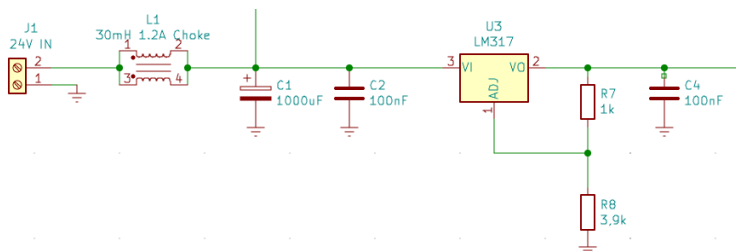
Kuvassa 21 näkyy koko piiri, joka koostuu kolmesta osakokonaisuudesta. Ylimpänä näkyvät jännitteen muuntimet, releohjaus oikealla alhaalla sekä Arduinosta lähtevät anturit vasemmalla alhaalla.



## KUVA 21. Arduino-ohjauspiiri

### 5.2.3 24 V:n muuntaminen 5 V:ksi

Koska raskaan liikenteen ajoneuvot toimivat 24 V:lla ja Arduino 5 V:n jännitteellä, joudutaan jännite muuttamaan sopivaksi. Regulaattori, vastusten ja kondensaattorin kanssa, tekee pääasiallisen jännitteen muuntamisen (kuva 22). Osa valittiin sillä perusteella, että ohjainyksikkö olisi yhteensopiva myös pienemmällä jännitteellä toimivissa ajoneuvoissa, esimerkiksi henkilöautojen 12 V:n järjestelmissä.



## KUVA 22. Jännitteen muuntaminen sopivaksi

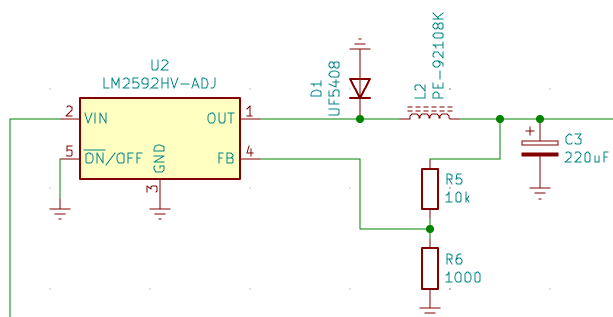


Regulaattori ”syö” 3 V, ja Arduino 5 V. Ohjainyksikköä voidaan siis käyttää 9 V...24 V järjestelmissä. Regulaattori tuottaa noin 6 W verran lämpöä muuntaessaan 24 voltia viideksi, joten jäähdytysriipa on pakollinen. Tämän vuoksi regulaattori tulisi sijoittaa piirilevyn reunaan, jotta jäähdytysriipa voitaisiin sijoittaa kotelon ulkopinnalle.

Toroidiydinkuristin yhdessä kondensaattorien kanssa häivyttää mahdolliset jännitepiikit esimerkiksi starttimoottorin käytöstä ja mahdollisista huonoista maadoituksista johtuvista piikeistä 1 500 volttiin asti.

#### 5.2.4 24 V:n muuntaminen 12 V:ksi

Koska kaikista pumpusta ei ole 24 V:sta versiota, jouduttiin rakentamaan erikseen vielä muuntaminen pumpun vaatimaan 12 V:iin (kuva 23). Järjestelmä toimii samalla periaatteella kuin ylempänä esitelty, mutta osat ovat mitoitettu uudelleen suuremman ulosjännitteen vuoksi.



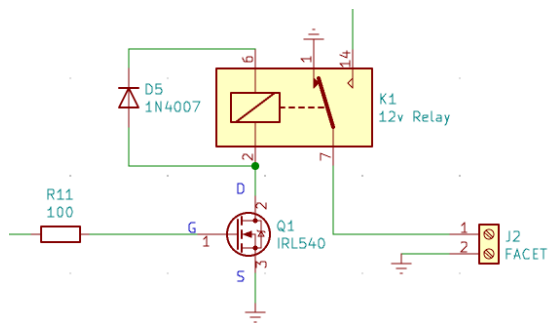
KUVA 23. Jännitteen muuttaminen 12 V:ksi

#### 5.2.5 Anturit

Anturit tehdään ruostumattomasta teräksestä ja sijoitetaan välitankkiin niin, että vältetään AdBluen kapillaarisuudesta johtuvia häiriöitä ja haamutunnistuksia. Anturit ovat pultteja, jotka ruuvataan tankista lävitse, eristäviä tiivisteitä käyttäen. Arduino vertaa ylimpään kahteen anturiin tulevan jännitteen määrää alimpaan anturiin syötettävään 5 V:n ohjainjännitteeseen. Edellisessä kappaleessa tähän viitattiin anturilla z. AdBluen sähkönjohtavuus mahdollistaa tämän tyyllisen, yksinkertaisen nestepinnan tunnistuksen. Anturit todettiin toimivaksi, mutta mahdolliseksi heikoksi kohdaksi vuotamisen vuoksi. Arduinon ohjauksen voi myös muokata toimimaan yhdessä kohoyksiköllä, mutta tämän version päätarkoitus oli rakenteen yksinkertaistaminen.

### 5.2.6 Pumpun ohjausrele

Pumpun ohjaus tapahtuu 12 V:n releen ja eristehilatransistorin kautta (kuva 24). Vastus auttaa häivyttämään transistorin aukeamisesta johtuvat radioaaltovärähtelyt, jotka voivat aiheuttaa häiriötä esimerkiksi lähellä sijaitsevilla radiolähettimillä ja sydämentahdistimissa. Transistori valittiin sen pienen avausjännitteen vuoksi, koska Arduino ei pysty antamaan kuin 200mA virtaa ohjaamalleen laitteelle.



KUVA 24. Releohjaus

### 5.2.7 Loiskumisen esto Arduinolla

Keskimmäisellä anturilla voidaan säätää loiskumisen aiheuttamia häiriöitä. Jos sen sijoittaa keskikorkeudelle tankkia, voi ajoneuvo heilua melko paljon, ennen kuin UDA pystyisi imemään ilmaa tankin pohjassa olevasta liittimestä. Isossa heilumisessa tämä taas aiheuttaisi paljon lyhyitä pumpun kytkeytymisiä, koska nesteen pinta tippuisi helposti keskikorkeudessa olevan anturin alapuolelle.

Jos keskianturi sijoitetaan välitankin alareunaan, vältetään turhilta pumpun kytkeytymisiltä. Huonossa tilanteessa tosin UDA voi imeä ilmaa, jos nestepinta on matalalla ja ajoneuvo heilahtelee paljon. Näistä valitaan sopiva kompromissi.

### 5.2.8 Osalista ja hinta

Kokonaishinnaksi Arduinolla tehdyille ohjaukselle tuli 50,36€ (kuva 25). Tähän vaikuttaa suuresti se, että komponentit ostetaan yksittäin ja vaatimustasona on military grade lämpötilakestävyys. Verrattuna CAN-ohjaukseen, tähän versioon tulee paljon osia, mikä monimutkaistaa valmistusprosessia. Listattuun hintaan ei sisälly tankin tai kotelon valmistuskustannuksia tai liittimiä.

**Osalista****24v muuntaminen -> 5v arduinolle**

| Nimi                               | Hinta   | Määrä | Linkki  |
|------------------------------------|---------|-------|---|
| Toroidiydinkuristin 30mH 1.2A      | 8,09 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Wurth-Elektronik/7448021">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Wurth-Elektronik/7448021</a>   |
| Elektrolyyttikondensaattori 1000µF | 0,59 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Panasonic/EEU-FK0J102B?">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Panasonic/EEU-FK0J102B?</a>     |
| Kondensaattori 0,1µF               | 0,45 €  | 2     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-BC-Components/K1">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-BC-Components/K1</a>     |
| LM317 Regulaattori TO-220          | 2,21 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Texas-Instruments/LM317">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Texas-Instruments/LM317</a>     |
| 537-95AB jäähdytysripa             | 3,77 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Wakefield-Vette/537-95AE">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Wakefield-Vette/537-95AE</a>   |
| Resistori 1,0kΩ                    | 0,16 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-Holsworth">https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-Holsworth</a> |
| Resistori 3,9kΩ                    | 0,11 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-BC-Components/SF">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-BC-Components/SF</a>     |
| yht.                               | 15,83 € |       |   |

**24v muuntaminen -> 12v pumpulle**

| Nimi                       | Hinta  | Määrä | Linkki  |
|----------------------------|--------|-------|---|
| PE-92108NL Kela            | 3,21 € | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Pulse-Electronics/PE-92108">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Pulse-Electronics/PE-92108</a> |
| LM2592HV-ADJ Jännitesäädin | 6,17 € | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Texas-Instruments/LM2592">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Texas-Instruments/LM2592</a>     |
| UF5408 Tasasuuntaaja       | 0,38 € | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/UF">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/UF</a>     |
| 10kΩ Resistori             | 0,10 € | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/KOA-Speer/MOS1CT528A1">https://www.mouser.fi/ProductDetail/KOA-Speer/MOS1CT528A1</a>           |
| 1kΩ Resistori              | 0,16 € | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-Holsworth">https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-Holsworth</a>   |
| 220µF Kondensaattori       | 0,28 € | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Panasonic/EEU-FR0J2212q">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Panasonic/EEU-FR0J2212q</a>       |
| yht.                       | 9,60 € |       |   |

**Anturit**

| Nimi                 | Hinta  | Määrä | Linkki  |
|----------------------|--------|-------|---|
| Resistori 3,9kΩ      | 0,20 € | 3     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-BC-Components/SF">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-BC-Components/SF</a>     |
| 4093 CMOS Mikropiiri | 0,43 € | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Texas-Instruments/CD4093">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Texas-Instruments/CD4093</a>   |
| LED                  | 0,24 € | 2     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Kingbright/WP710A10SYC">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Kingbright/WP710A10SYC</a>       |
| Resistori 2,2kΩ      | 0,37 € | 2     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-Holsworth">https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-Holsworth</a> |
| yht.                 | 2,25 € |       |   |

**Pumpun ohjaus**

| Nimi                              | Hinta   | Määrä | Linkki  |
|-----------------------------------|---------|-------|---|
| Piirilevy rele 12v                | 8,12 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-PB/T90N5">https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-PB/T90N5</a>       |
| 1N4007 Diodi                      | 0,16 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/1N">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/1N</a>       |
| IRL540N Eristehilatransistori     | 1,16 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Infineon-Technologies/IRL5">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Infineon-Technologies/IRL5</a>   |
| Resistori 0,1kΩ                   | 0,10 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/KOA-Speer/MOS1CT528R1">https://www.mouser.fi/ProductDetail/KOA-Speer/MOS1CT528R1</a>             |
| LED                               | 0,24 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Kingbright/WP710A10SYC">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Kingbright/WP710A10SYC</a>           |
| Resistori 2,2kΩ                   | 0,37 €  | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-Holsworth">https://www.mouser.fi/ProductDetail/TE-Connectivity-Holsworth</a>     |
| FACET 40304 Pumppu +postituskulut | 69,98 € | 1     | <a href="https://www.glencoeltd.co.uk/facet-fuel-pumps/facet-solid-state">https://www.glencoeltd.co.uk/facet-fuel-pumps/facet-solid-state</a> |
| yht.                              | 80,13 € |       |   |

**Ohjain**

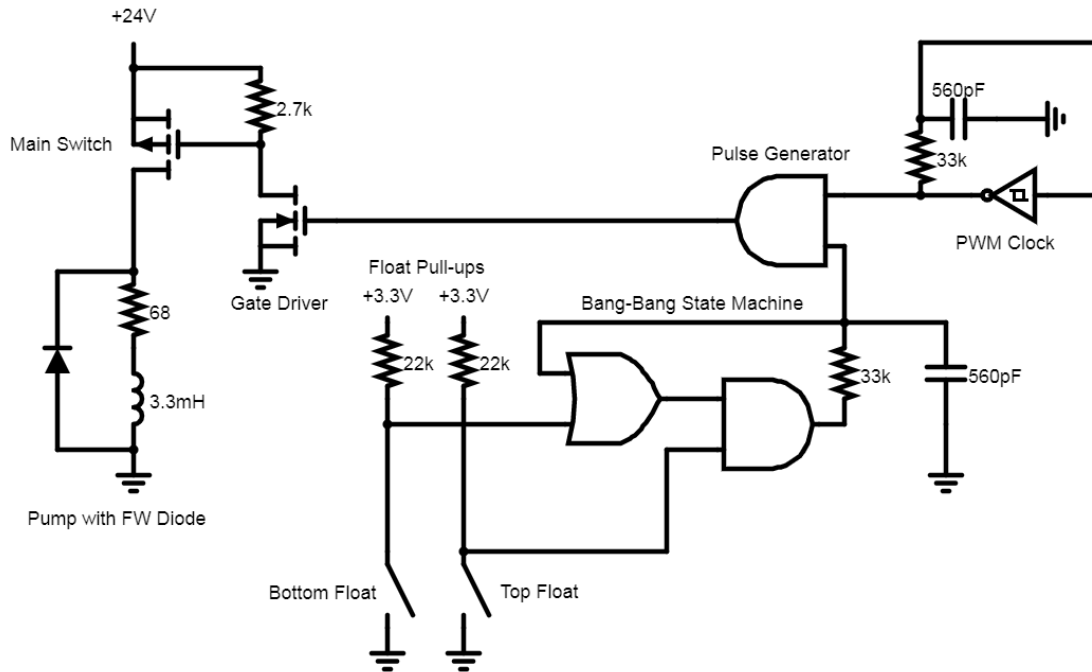
| Nimi                               | Hinta   | Määrä | Linkki  |
|------------------------------------|---------|-------|---|
| Arduino Nano atmega328P            | 12,53 € | 1     | <a href="https://www.mouser.fi/ProductDetail/Arduino/ABX00033?qs=sG">https://www.mouser.fi/ProductDetail/Arduino/ABX00033?qs=sG</a> |
| Arduino Nano atmega328P (kiinasta) | 1,93 €  |       | <a href="https://www.aliexpress.com/item/32341832857.html?spm=a2g0">https://www.aliexpress.com/item/32341832857.html?spm=a2g0</a>   |
| yht.                               | 12,53 € |       |   |

Kaikki yhteensä 120,34 €

*KUVA 25. Osalista mikro-ohjaimella toimivalle ohjaukselle*

### 5.3 Peruskomponenteista rakennettu ohjaus

Yksinkertainen ohjaus toimii kahden kohon avulla, jotka aktivoisivat releen riippuen nestetasosta. Tähän ei saa loiskumisen suodatusta eikä sitä voi yhdistää Proventian ennalta olevaan järjestelmään ja hinta ei ole tarpeeksi pieni verrattuna toisiin versioihin. Tämän vuoksi tätä ei kehitetty enempää kuin kuvassa 26 näkyvän ohjauskaavion verran.

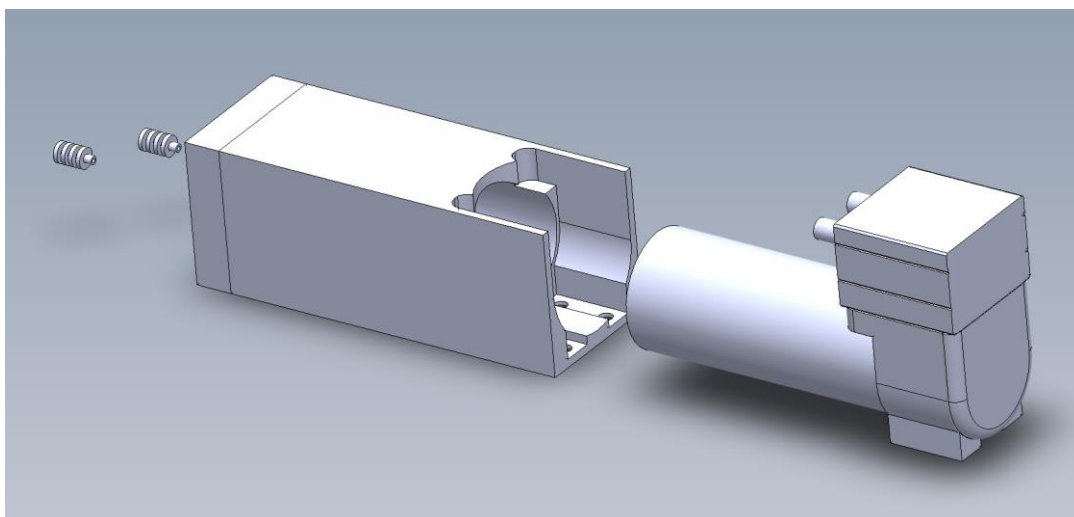


KUVA 26. Yksinkertainen ohjaus

## 6 KOTELOINTI

### 6.1 Ensimmäinen versio

Koteloinnin pitää kestää vesiroiskeita sekä ajoittaisia ajossa tulevia iskuja. Sen pitää olla myös melko yksinkertainen, ettei sille tule paljoa hintaa. Ensimmäisessä versiossa pumppu koitettiin pitää purettavana ja huollettavana päältäpäin (kuva 27). Kotelo ujutetaan moottorin päälle ja muodot tulevat tiiviisti pumpun ulkokuoreen. Sähköjohdot vedetään päädyssä olevien reikien ja tiivisteidensä läpi. Pumppu ruuvataan pohjasta neljällä kartioruuvilla koteloonsa, jottei kotelo pääse liukumaan paikaltaan.



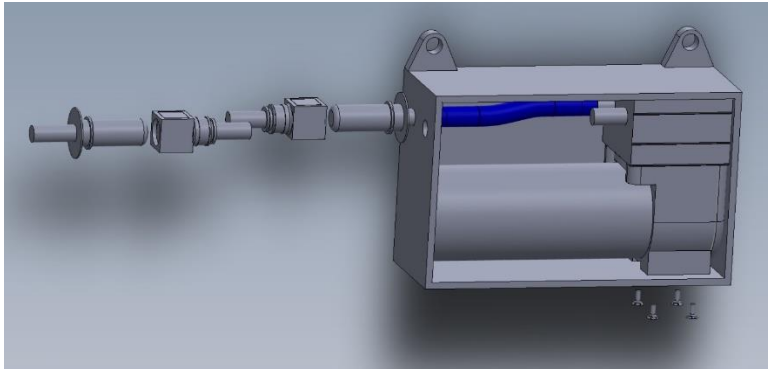
KUVA 27. Ensimmäinen versio

Kotelo olisi pakko valmistaa muotilla, joka tulee liian kalliiksi. Kotelon muotoilua voisi yksinkertaistaa, jolloin epätiivit pinnat voitaisiin täyttää silikonilla tai muulla vastaavalla massalla. Tämä taas johtaisi valmistamisen vaikeutumiseen, joten idea hylättiin.

### 6.2 Toinen versio

Toisessa versiossa keskityttiin koteloinnin yksinkertaistamiseen (kuva 28). Päädyttiin yksinkertaiseen rasiaan, jonka sisälle pumppu kiinnitetään. Tässä versiossa on parempaa myös se, että AdBluen pikaliittimet voidaan liimata suoraan kotelon kylkeen, joten asiakas ei näkisi ylimääräisiä liitoksia pumpun ja liittimien välillä. Tätä päätettiin skaalata suuremmaksi, jolloin kotelon sisälle voi asentaa myös CAN-ohjausyksikön.

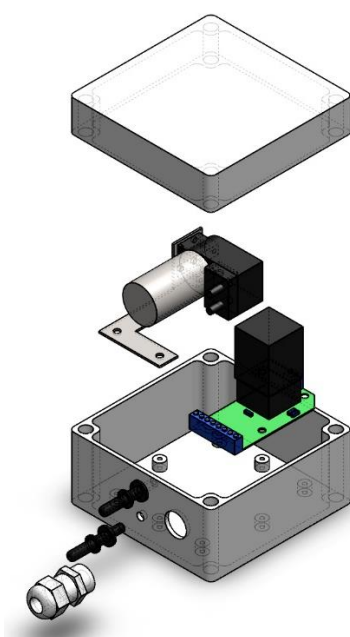
Koteloja yksinkertaistettiin vetämällä pumpun sekä ohjaimen sähköjohdot läpivientikumin lävitse, jolle tarvitsee vain porata reikä. Näin koteloon ei tarvitse tehdä kahdelle pienelle tiivisteelle muotoa, eikä erillistä reikää ohjaimen virtajohdoille. Pumppu pysyy paikoillaan valumassalla, joten koteloon ei tarvita ylimääräisiä reikiä pohjaan kiinnitystä varten.



KUVA 28. Toinen versio koteloinnista

### 6.3 Prototyyppi

Toisesta kotelointimallista rakennettiin prototyyppi (kuva 29), jonka sisälle pumppu, rele ja CAN-ohjain asennettiin. Kotelo täytettiin valumassalla iskunkestävyyden sekä tiiveyden parantamiseksi. Komponenttien kolot peitettiin teipillä massan pääsyn estämiseksi. Tätä kotelointia käytetään ensimmäiseen testiin asiakasautossa.



KUVA 29. Prototyyppi koteloituna

#### 6.4 Koteloinnin vaihtoehtoinen toteutus

Kotelointia ideoitiin myös integroitavaksi tankin kanssa samaan pakettiin (kuva 30). Tankin pohjalle voisi joko tehdä alalokeron, jonne komponentit sijoitetaan tai tankin päälle voisi myös tehdä hatun. Tällöin kohoyksikön johdot voisi liittää ohjainyksikköön niin, ettei johtoja näy sylinterin ulkopuolella lainkaan. Mallista ideoitiin myös irrotettavaa versiota, jonka voisi kiinnittää halutessaan tankin päälle tai tankin läheisyyteen ajoneuvon sisäseinään.

Vaihtoehto tehtiin prototyypiksi, mutta painoi valettuna paljon, eikä korkea sylinteri välttämättä mahtuisi raskasajoneuvojen ahtaisiin tiloihin. Irrotettavalla versiolla ei ollut mitään etuja verrattuna toiseen koteloituun prototyyppiin, joten ideaa ei jatkokehitetty enempää.



KUVA 30. Tankin alalokeron ideointi ja valettu yksikkö ilman metallista kuorta



## 7 ASENNUS JA TESTAUS

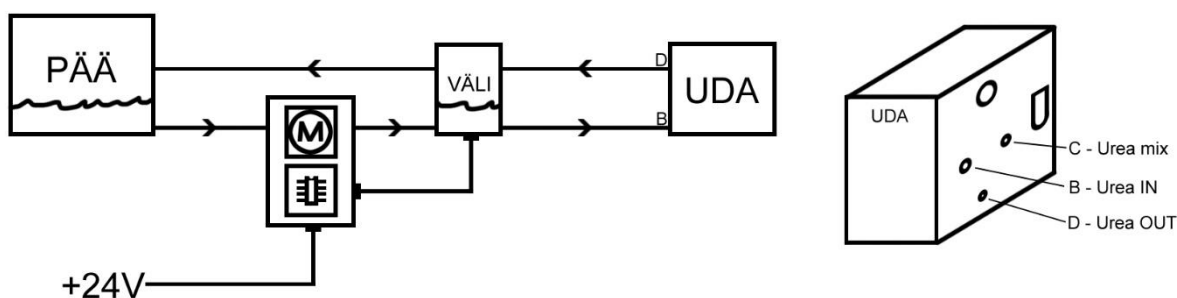
Prototyyppi asennettiin Koskilinjan linja-autoon, niin ettei alkuperäiseen asennukseen jää jälkiä testaamisesta. Komponentit on myös saatava helposti ulos ja asennus on voitava muuttaa alkuperäiseen muotoon nopeasti testauksen jälkeen.

### 7.1 Asennus

Prototyypin asennus oli vaivatonta ja aukaistavan luukun (kuva 33) vuoksi työskentelytilaa oli riittävästi. Testauksen jälkeistä purkamista helpotettiin tekemällä adapterin virtaliittimelle Proventian johtosarjaan (kuva 31) ja käyttämällä urealinjoissa pikaliittimiä. Välitankki asennettiin päätankin ja UDA:n väliin kuvan 32 osoittamalla tavalla. Välitankille ei ollut kovin hyvää paikkaa, mutta nippusiteillä saatiin tankin liikkumattomuus varmistettua.



KUVA 31. Prototyypin virtaliittimen adapteri



KUVA 32. Asennuskaavio

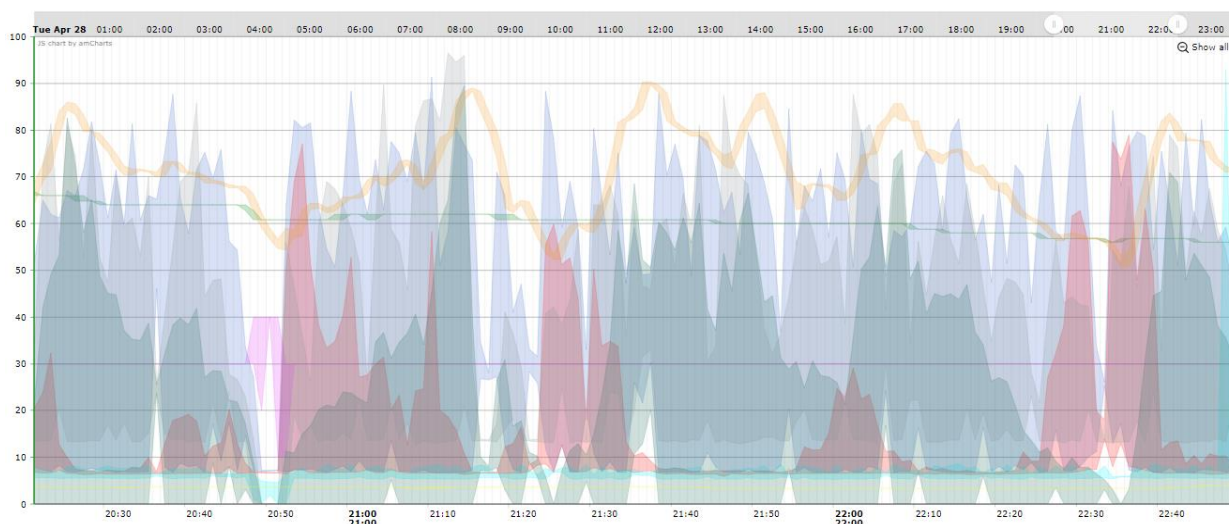




KUVA 33. Linja-auto johon prototyyppi asennettiin

## 7.2 Testaus

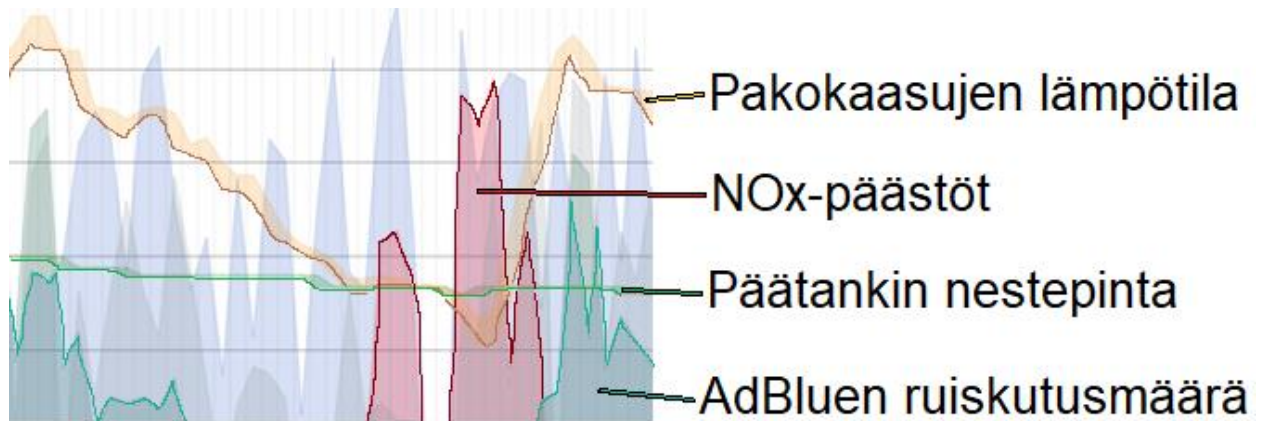
Järjestelmän testaus viivästyi, koska linja-auton korjaukseen tarvittavat osat eivät tulleet ajallaan. Testaus päästiin aloittamaan vasta viimeisinä päivinä, joten alun perin suunniteltua monen viikon testausta ei pystytty järjestämään. Toimintaa seurattiin Proventian pilvipalvelu ProCaren kautta (kuva 34), jolla voidaan seurata tarkasti järjestelmän toimintaa etänä.



KUVA 34. ProCare näkymä linja-auton toiminnasta

Ensimmäisessä käynnistyksessä ProCare ilmoitti, ettei UDA saa tarpeeksi AdBlueta. Etänä tehdyn kalibroinnin jälkeen järjestelmä alkoi toimimaan. Toimintaa seurattiin viimeiset kolme päivää ja järjestelmä toimii tällä hetkellä. Seuranta jatketaan kesään asti.

Kuvan 35 suurennetussa taulukossa näkyy päätankin nestepinnan aleneminen. Tämän ansiosta tiedetään, että prototyypin pumppu toimii. NOx alenemat ruiskutuksen jälkeen kertovat, että välitankilta AdBlue pääsee UDA:lle asti. Punaisella näkyvät NOx piikit johtuvat lämpötilan alenemisesta alle 200 celsiusasteen, jolloin AdBluen höyrystyminen ei ole tehokasta ja sen ruiskutusmäärää joudutaan rajoittamaan.



KUVA 35. Suurennettu taulukko

## 8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tuottaa itsenäisestä AdBlue-siirtopumppujärjestelmästä prototyyppi, joka helpottaisi hankaliin paikkoihin asennettujen urearuiskutusjärjestelmien toimintaa. Tuotetun järjestelmän avulla päätankin sijoituksella ei ole väliä ja ureaa saadaan luotettavasti UDA:lle sekä taataan AdBlue-ruiskutusjärjestelmän toiminta. Järjestelmään sisältyi ohjauksen, koteloinnin ja tankin suunnittelu sekä sopivan pumpun löytäminen.

Lopulliseen tuotteeseen valittiin komponentit valmistajilta, joihin Proventialla oli jo ennalta suhde ja tietotaitoa, mikä helpotti tuotteen valmistamista. CAN-ohjainyksiköt osoittautuivat helposti ohjelmoitaviksi sekä olivat jo ennalta osoittautuneet kestämaan sääolosuhteita. Ohjauksen logiikkaohjelma tehtiin Function Block Diagram -kielellä. Tankin kohoyksikkö löytyy monesta Proventian tuotteesta, ja eri versiot tankista oli helppoa kokeilla ruostumattomasta teräksestä. Eurooppalaisen yhtiön pumput kestivät laboratoriotestauksen sekä Koskilinjojen linja-autoihin asennetun testin ajan. Resiiniin upotettu kotelointi kesti odotetusti, mutta hankalan valmistettavuuden vuoksi jatkokehityksessä tullaan kotelointi tekemään eri tavoin.

Suurimmat ongelmat kohdattiin tuotekehityksen alussa, jossa sopivan pumpun löytymisen osoittautui vaikeaksi. Tuotekehitystä hidasti myös ohjauksen uudelleen suunnittelu, kun Arduino ei osoittautunut halutunlaiseksi. Viimeisen prototyypin testissä ilmeni ongelmia ensikäynnistyksessä, mutta kalibroinnin jälkeen prototyyppi toimi moitteetta.

Työssä kehitettiin laitteesta prototyyppi, ja jatkokehitys jatkuu työn jälkeen. Tehty työ on hyvä lähtökohta tuotteen edistämiseksi. Opinnäytetyö onnistui mielestäni hyvin ja tuote vastasi tavoitteita. Oli mielenkiintoista oppia ohjelmointia, jota en ollut koskaan ennen tehnyt. Opinnäytetyö avasi silmät myös siihen, kuinka monivaiheinen prosessi tuotekehitys on.

## LÄHTEET

1. Innovative technologies for cleaner air. 2019. Proventia. Saatavissa: <https://www.proventia.com/company>. Hakupäivä 21.10.2019.
2. Fast facts on transportation greenhouse gas emissions. 2017. EPA. Saatavissa: <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions>. Hakupäivä 22.10.2019.
3. Fossil Fuel Emissions. 2017. Global Carbon Atlas. Saatavissa: <http://www.global-carbonatlas.org/en/CO2-emissions>. Hakupäivä 22.10.2019.
4. Hiilidioksidipäästöt Suomessa 1990-2010. 2010. Tilastokeskus. Saatavissa: [https://tilastokeskus.fi/til/khki/2010/khki\\_2010\\_2012-04-26\\_tau\\_003\\_fi.html](https://tilastokeskus.fi/til/khki/2010/khki_2010_2012-04-26_tau_003_fi.html). Hakupäivä 22.10.2019.
5. Woodyard, Doug 2009. Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines. Ninth Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
6. Three is the new four as engines downsize. 2011. Wired. Condé Nast. Saatavissa: <https://www.wired.com/2011/09/three-is-the-new-four-as-engines-downsize/>. Hakupäivä 22.10.2019.
7. Turbocharging, Supercharging to Help in Engine Downsizing, Emissions Compliance. 2017. Auto Tech Review. Saatavissa: <https://autotechreview.com/technology/tech-update/turbocharging-supercharging-to-help-in-engine-downsizing-emissions-compliance>. Hakupäivä 22.10.2019.
8. Ziemann, Marcus 2018. Pakokaasujen terveyshaitoista uutta tietoa. Yle 22.2.2018. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10086339>. Hakupäivä 14.1.2020.
9. Nitrogen Oxide Pollution. 2011. Icopal. Saatavissa: <http://www.icopal-noxite.co.uk/nox-problem/nox-pollution.aspx>. Hakupäivä 14.1.2020.
10. Air Quality Index Scale and Color Legend. 2020. Aqicn. Saatavissa: <https://aqicn.org/scale/>. Hakupäivä 14.1.2020.

11. Seitsemän kysymystä AdBluesta. 2019. Neste. Saatavissa: <https://www.neste.fi/artikkeli/seitseman-kysymysta-adbluesta>. Hakupäivä 21.10.2019.
12. Kantola, Olli – Moilanen, Lauri – Tuomas Tihinen 2019. Proventialla pidetty haastattelu. Oulunsalo: Proventia. Tekijän hallussa.
13. Royal Dutch Shell Plc. 2020. Sisäinen dokumentti.
14. About clean diesel: What is SCR. 2019. Dieselforum. Saatavissa: <https://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/what-is-scr>. Hakupäivä 21.10.2019.
15. Holmström, Tobias 2014. Investigation of urea deposit formation in vehicles with Selective Catalytic Reduction system. Pro gradu -tutkielma. Chalmers University of Technology. Saatavissa: <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/207396/1/207396.pdf>. Hakupäivä 23.10.2019.
16. Standards for AdBlue® containers. 2014. VDA. Saatavissa: <https://www.vda.de/dam/vda/Medien/DE/Themen/Innovation-und-Technik/AdBlue/AdBlue-Markenliste-und-Lizenznehmerliste/2014-05-11-VDA-267-AdBlue-5L/2014-05-11%20VDA%20267%20AdBlue%205L.pdf>. Hakupäivä 21.10.2019.
17. ISO 22241-1:2019. Diesel engines – NOx reduction agent AUS 32. 2019. ISO. Saatavissa: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22241:-1:ed-1:v1:en> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 21.10.2019.
18. Three Main Reasons for Crystallization Plugging in AdBlue® Machine. 2019. EverAdBlue. Saatavissa: [https://www.everadblue.com/blog/three-main-reasons-for-crystallization-plugging-in-adblue-machine\\_b21](https://www.everadblue.com/blog/three-main-reasons-for-crystallization-plugging-in-adblue-machine_b21). Hakupäivä 23.10.2019.
19. Faurecia to support existing fleets with Amminex retrofits. 2019. Dieselnet. Saatavissa: <https://www.dieselnet.com/news/2019/05faurecia.php>. Hakupäivä 23.10.2019.
20. ACCT Novel NOx emission reduction system. 2019. Loughborough University. Saatavissa: <https://www.lboro.ac.uk/enterprise/acct/thetechnology/>. Hakupäivä 23.10.19.