



Daniel Pyykkö

## Biofore-konseptiauton AdBlue-järjestelmän kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

25.5.2022



## **Alkusanat**

Kiitos Pekka Hautalalle ja Metropolia ammattikorkeakoululle tämän insinööriyön mahdollistamisesta. Opin työn aikana paljon TKI-hankkeista.

Eryisesti suuret kiitokset projektissa auttamisesta ansaitsee Metropolian Niklas Zuban ja Markus Jahn, sekä Koskelo WorkShopin muu henkilökunta.

Järvenpäässä 25.5.2022

Daniel Pyykkö

## Tiivistelmä

Tekijä: Daniel Pyykkö  
Otsikko: Biofore-konseptiauton AdBlue-järjestelmän kehitys  
Sivumäärä: 18 sivua + 2 liitettä  
Aika: 25.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka  
Ammatillinen pääaine: Autosähkötekniikka  
Ohjaaja: Osaamisaluepäällikkö Pekka Hautala

---

Tämän insinöörintyön tarkoituksena oli päivittää Biofore-konseptiauton NO<sub>x</sub>-päästöjen selektiivinen pelkistyskatalysaattorijärjestelmä (SCR) sopimaan auton takaluukun alle pieneen tilaan. Projektin on jatkoa 2017 tehdylle insinöörintyölle ”Biofore-konseptiauton selektiivisen pelkistyskatalysaattorijärjestelmän suunnittelu, toteutus ja säätö”.

Työn tavoitteina oli saada järjestelmä toimimaan luotettavasti ilman vikoja tai vuotoja sekä alittaa Euro 5b -päästöjen raja-arvot käyttäen aikaisemmassa insinöörintyössä VTT:llä tehtyjen mittausten urealiuoksen suihkutuspäästöjä. SCR-järjestelmän sovittelemiseksi autoon oli järjestelmään suunniteltava jokaisen komponentin koko ja tila uudesta, minkä lisäksi ohjelmiston koodi oli kirjoitettava uusiksi. Insinöörintyö toteutettiin 2021–2022 aikana Metropolia Koskelo WorkShopissa Espoossa.

Työssä tutustutaan SCR-järjestelmän komponentteihin ja niiden toimintaan sekä järjestelmän toteuttamiseen Biofore-konseptiautossa.

Tavoitteisiin päästiin, sillä SCR-järjestelmä saatiin toimimaan halulla tavalla ja luotettavasti.

Avainsanat: AdBlue, Biofore-konseptiauto, SCR, NO<sub>x</sub>

## Abstract

Author: Daniel Pyykkö  
Title: Development of the AdBlue system for Biofore concept car  
Number of Pages: 18 pages + 2 appendices  
Date: 25 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Automotive Engineering  
Professional Major: Automotive Electronics Engineering  
Supervisor: Head of School, Pekka Hautala.

---

The objective of this Bachelor's thesis was to upgrade the NOx-emissions selective catalytic reduction (SCR) system of Biofore concept car and to fit it in a small space under the trunk of the car. The project is a continuation of the thesis done in 2017, "Design and Implementation of a Selective Catalytic Reduction system for the Biofore Concept Car".

The objectives of the work were to make the system operate reliably without faults or leaks and to go below the Euro 5b emission limit values using the urea solution spray rates of the measurements carried out at VTT during the previous Bachelor's thesis work. In order to fit the SCR-system into the car, the size of each component and the space required for each component had to be redesigned. In addition, the software code had to be rewritten. The thesis work was carried out during 2021–2022 at the Metropolia Koskelo WorkShop in Espoo.

The thesis discusses the components and their operation in the SCR System as well as the implementation of the system in the Biofore Concept Car.

The objectives were reached as the SCR-system worked as desired and reliably.

Keywords: AdBlue, Biofore Concept car, SCR, NOx

# Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoitteet	1
2	Dieselmoottorin päästömääräykset ja SCR-tekniikka	2
2.1	Päästömääräykset	2
2.2	SCR-järjestelmä	3
2.3	Vanha ratkaisu ja miten siihen päädytty	5
3	Uuden SCR-järjestelmän kehittäminen	5
3.1	SCR-järjestelmään tarvittavat komponentit	5
3.2	Mekaaninen toteutus	7
3.3	Ohjelmisto ja sähköjärjestelmä	10
3.3.1	Pumppu ja lämpöanturi	11
3.3.2	Paineanturi ja solenoidiventtiili	11
3.3.3	NOx-anturi ja suutin	11
3.3.4	EPEC	12
3.3.5	Ohjelmisto	13
4	Asennus ja järjestelmän kokeilu	15
4.1	Asennus	15
4.2	Toiminnan testaus	15
5	Yhteenveto ja päätelmät	16
	Lähteet	18
	Liitteet	
	Liite 1: SCR-järjestelmän kytkentäkaavio	
	Liite 2: Epec 3606-2 Input/Output	

## Lyhenteet

- NOx: Typen oksidit.
- SCR: *Selective Catalytic Reduction*. Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen.
- CAN: *Controller Area Network*. Autoissa käytetty tietoliikenneväylä.
- NEDC: *New European Driving Cycle*. EU:n kulutus- ja päästömittaustestiin määritetty ajo-ohjelma.
- CO: Hiilimonoksidi, häkä.
- HC: Hiilivedyt, esimerkiksi palamaton polttoaine.
- PM: Hiukkaspäästöt massan mukaan.
- DPF: *Diesel Particulate Filter*. Dieselpäästöjen hiukkasloukku, joka kerää palamattomia partikkeleita pakokaasusta.

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Biofore on UPM Oyj:n ja Metropolia ammattikorkeakoulun yhteistyöprojektina syntynyt konseptiajoneuvo, jota alettiin valmistamaan vuonna 2010. Ajoneuvon korissa on käytetty UPM:n biomateriaaleja korvaamaan tavallisemmin käytetty teräs ja hiilikuitu. Ajoneuvossa on Volkswagenin 1200 cm<sup>3</sup>:n turboahdettu dieselmoottori, jonka toimintaa ohjataan ruotsalaisella Nira i7r -moottorinohjainlaitteella. Ilman SCR-järjestelmää moottorin tuottamat pakokaasut eivät alita Euro 5b -päästöraja-arvoja (taulukko 1), jotka ovat välttämättömät tieliikenteeseen rekisteröintiä varten.

Ajoneuvoon on tehty vuonna 2017 Marko Lindroosin ja Saku Närhen toimesta insinöörityönä (1) selektiivinen pelkistyskatalysaattorijärjestelmä, jonka jatkona tämä insinöörityö tehtiin. Insinöörityössä (1) perehdyttiin järjestelmän yleiseen toimintaan ja Biofore-konseptiauton päästöjen vähentämiseen SCR-järjestelmällä. Insinöörityön valmistumisen jälkeen vanhaa SCR-järjestelmää ei autoon ollut asennettu ja järjestelmästä oli komponentteja hävinnyt. Vanhasta järjestelmästä tarkoituksena tässä työssä oli säilyttää tarpeelliset komponentit järjestelmän toimimiseksi sekä päivittää tarpeettomia tai kadonneita komponentteja uusiin.

## 1.2 Tavoitteet

Insinöörityön toimeksiantaja on Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada ajoneuvon SCR-järjestelmä toimimaan luotettavasti ja alittaa Euro 5b -raja-arvot (taulukko 1) päästömittausten osalta järjestelmän vanhaa ohjelmistoa hyödyntäen. SCR-järjestelmän tavoite on vähentää typenoksideja pakokaasussa muuttaen ne pelkistyskatalysaattorissa vaarattomiksi typpi- ja vesimolekyyleiksi.



Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa tarkastellaan SCR-järjestelmän toimintaa, komponentteja ja ohjainlaitteita sekä niiden valmistamista ja asettelua Biofore-konseptiautoon sopivaksi. SCR-järjestelmän avulla Bioforen päästöt saadaan minimoitua Euro 5b -normin vaatimalle tasolle ajoneuvon yksittäisrekisteröintiä varten.

## 2 Dieselmoottorin päästömääräykset ja SCR-tekniikka

Dieselajoneuvojen päästöt ovat huomattavasti vaikeammin hallittavissa verrattuna bensiinimootoreihin, joissa päästöjä voi vähentää yksinkertaisilla katalysaattoreilla ja vähentämällä polttoaineen syöttömäärää.

### 2.1 Päästömääräykset

Nykyään autojen päästöjä rajoitetaan erilaisilla määräyksillä suurimmassa osassa maailmaa. Määräykset eivät ole täysin yhteneviä eri maanosissa, ja siksi auton valmistajat saattavat tehdä eri markkina-alueille eri päästötekniikalla varustettuja versioita samoista autoista. Euroopassa henkilöautojen terveydelle haitallisia päästöjä säädelään Euro-päästöluokilla (direktiivit) ja hiilidioksidipäästöjä niin sanotulla CO<sub>2</sub>-asetuksella, EY/443/2009 ja EY/333/2014. (2)

Henkilöautoissa bensiini- ja dieselmoottoreille on omat määräyksensä, joiden

tiukkeneminen vähentää päästöjä ja tuo uusiin autoihin entistä monimutkaisempaa tekniikkaa (taulukko 1).

Taulukko 1. Dieselmoottoireiden Euro-päästöluokkia (2).

Luokka	Voimaantulo	CO	PM	NOx	HC + NOx
Euro 5b	Syyskuu 2011	0,5	0,005	0,18	0,23
Euro 6	Syyskuu 2014	0,5	0,005	0,08	0,17

## 2.2 SCR-järjestelmä

Suurissa teollisuusuneissa selektiivisestä katalyyttisestä pelkistyksestä on tullut hyväksi havaittu menetelmä jätekaasujen denitrifikaatioon. SCR perustuu tiettyjen typen oksidien ( $\text{NO}_2$ ) pelkistämiseen hapen läsnä ollessa valituilla pelkistysaineilla. Selektiivinen tarkoittaa, että pelkistävä aine mieluummin hapettuu selektiivisesti typen oksidien sisältämän hapen kanssa, sen sijaan että se hapettuisi pakokaasujen happimolekyylien kanssa suuremmissa määrin.

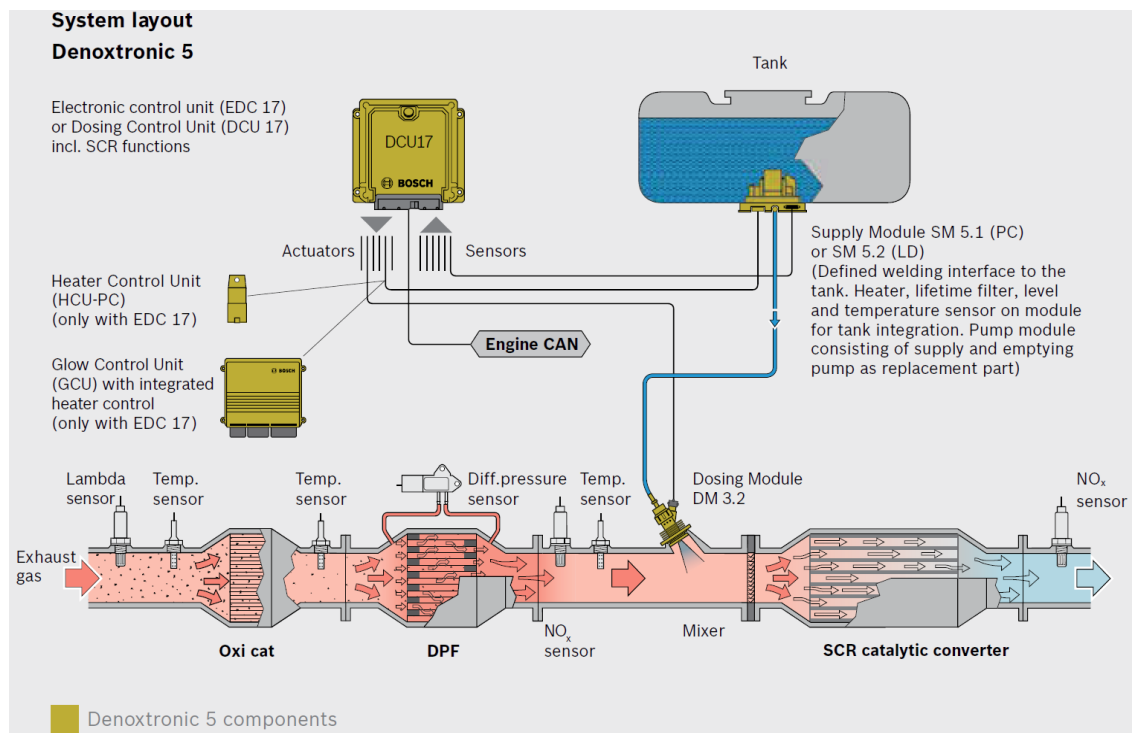
Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) on tässä tapauksessa osoittautunut erittäin selektiiviseksi pelkistimeksi. Henkilöautokäytössä tarvittavat  $\text{NH}_3$ :n määrät aiheuttaisivat turvallisuusongelmia kemikaalin myrkyllisyyden vuoksi.  $\text{NH}_3$ :ta voidaan kuitenkin valmistaa myrkyttömistä kantaja-aineista, kuten ureasta tai ammoniumkarbamaattista. Urea on osoittautunut hyväksi katalyytin kantajaksi.

Ureaa ( $\text{NH}_2$ )<sub>2</sub>CO tuotetaan teollisessa mittakaavassa lannoitteeksi ja rehuksi. Se on biologisesti yhteensopiva pohjaveden kanssa ja kemiallisesti

stabiili ympäristölle. Urea liukenee hyvin veteen, joten sitä voidaan lisätä pakokaasuun helposti sekoitettavana urea-vesiliuoksena. Kun massapitoisuus on 32,5 % ureaa vedessä minimilämpötilana -11 celsiusta, eutektinen liuos muodostuu. Urea-vesiliuosta on ollut saatavilla myyntinimellä AdBlue vuodesta 2003. AdBlue on standardin DIN 70 070 (3) alainen, joka määrittelee liuoksen ominaisuudet. (4, s. 338–339.)

SCR-järjestelmässä ajoneuvossa on pakokaasujen puhdistamiselle oma järjestelmä. Pakoputkeen suihkutetaan urealiuosta, joka pelkistyskatalysaattorissa vähentää NO<sub>x</sub>-päästöjä (kuva 1). Järjestelmä vaatii toimiakseen

- urealiuossäiliön
- urealiuossuuttimen pakoputkeen
- pelkistyskatalysaattorin
- NO<sub>x</sub> anturin
- ohjainlaitteen
- paineentuohtojärjestelmän



Kuva 1. Boschin AdBlue-järjestelmä.

## 2.3 Vanha ratkaisu ja miten siihen päädytti

Aikaisemmassa insinööriyössä (1) Bioforen typenoksidipäästöt olivat ylittäneet Euro 5b -raja-arvot. Päästöjen vähentämiseksi autoon oli kehitetty SCR-järjestelmä ja vähentää ajo vastuksia. SCR-järjestelmään valikoitui PSA-konsernin Citroën C4 Picasson 1.6HDi:n pelkistyskatalysaattori, AdBlue-ruiskutusyksikkö, sekoitin, säiliö ja pumppuyksikkö. Citroënin järjestelmästä ei käytetty pumppua, johtuen sen paineentuotto-ongelmasta.

SCR-järjestelmää oli säädetty hyvin ja saatu päästömittauksissa NO<sub>x</sub>-päästöjä vähennettyä noin 81 %. Muutoksien jälkeen auton päästöt alittivat VTT:llä tehdyssä virallisessa NEDC-ajosykli mittauksessa sille annetut Euro 5b -raja-arvot. Raja-arvo on 0,180 g/km, ja Bioforesta mitattiin 0,105 g/km. Autossa olevilla kahdella hiukkassuodattimella saatiin 98,2 % raja-arvoa pienemmät hiukkaspäästöt pakokaasusta. Insinööriyön jälkeen järjestelmä oli purettu autosta, järjestelmän säiliölle vaaditun suuren tilan takia.

## 3 Uuden SCR-järjestelmän kehittäminen

### 3.1 SCR-järjestelmään tarvittavat komponentit

Uutta järjestelmään suunnitellessa täytyi kartoittaa järjestelmään tarvittavat osat (taulukko 2). Työtä helpotti aikaisemmasta insinööriyöstä talteen jääneet komponentit.

SCR-järjestelmän suunnittelu alkoi säiliön paikan etsimisellä ja mitoituksella. Säiliöitä ei saanut suoraan kaupoista oikean kokoisena, joten sellainen päätettiin valmistamaan itse ruostumattomasta teräksestä. Terässäiliö 3D-mallinnettiin

Siemens NX -ohjelmistolla ja laserleikattiin levystä Metropolian laserleikkurilla. Valmiista paloista hitsattiin tiivis säiliö (kuva 2).

Taulukko 2. Järjestelmään vaadittavia komponentteja.

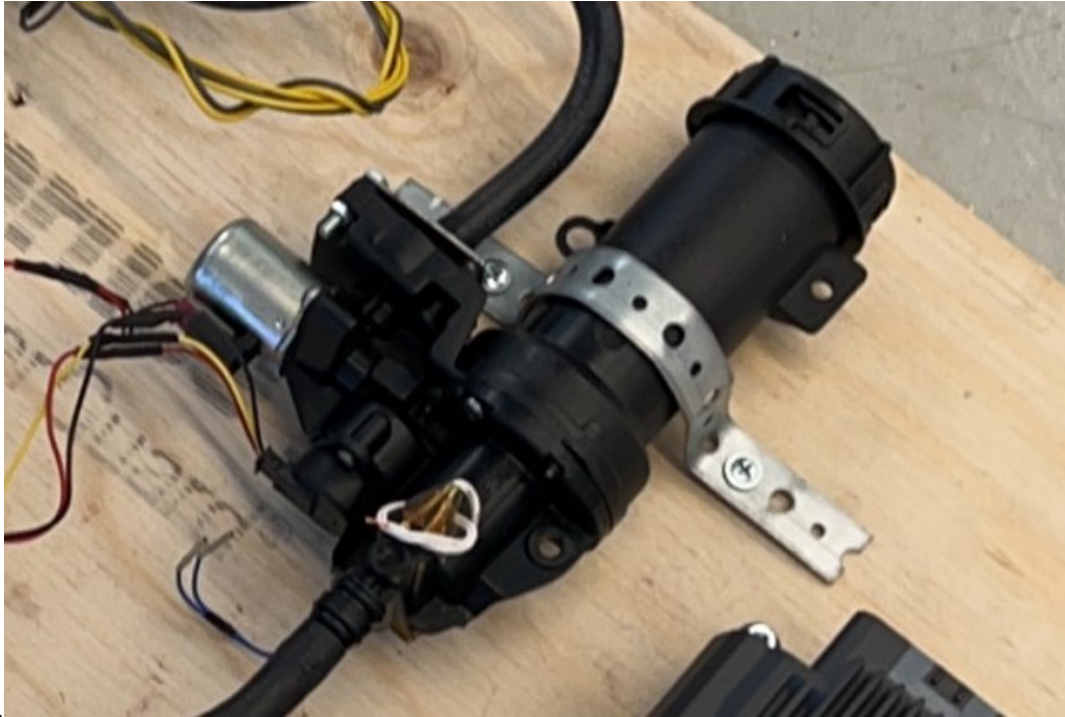
<b>Vanhasta järjestelmästä</b>	<b>Hankittava/valmistettava</b>
SCR-suutin	Paineentuottopumppu
Paineensäätöjärjestelmä	Letkut
Ohjainlaite	AdBlue-säiliö

### 3.2 Mekaaninen toteutus



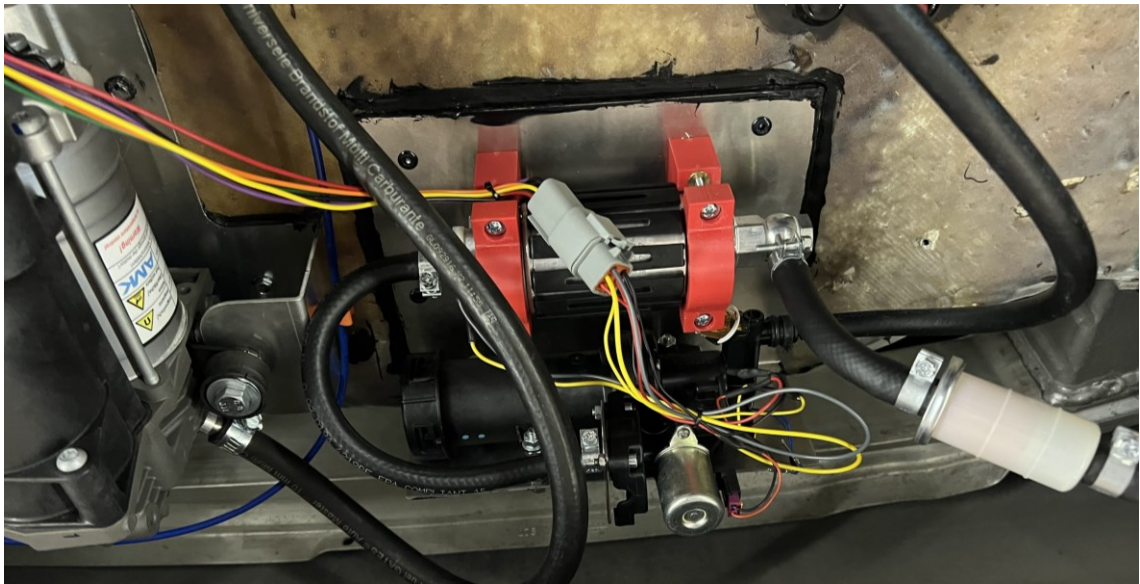
Kuva 2. Hitsattu säiliö.

Aikaisemmasta järjestelmästä oli säilynyt PSA-konsernin kompakti järjestelmä AdBlue-järjestelmän paineen säätelyä varten (kuva 3). Siinä on paineanturi, solenoidiventtiili ja paineakku, joka ylläpitää järjestelmässä painetta pumpun ollessa pois päältä. Pumpun tarkoituksena on "ladata" paineakkua. Paineakku on sylinterimäinen kappale, joka ylläpitää jousen avulla järjestelmän painetta.



Kuva 3. PSA:n AdBlue-paineohjaus.

Urealiuoksen paineentuottoyksikkö sijoitettiin itse valmistetussa alumiinitelineessä ajoneuvon takakontin pohjaan ajoneuvon alle (kuva 4). Pohjassa oli sopiva tila juuri tämänkokoiselle komponentille, ja sähköjen veto oli helposti hallittavissa. Ajoneuvon korin sähköjärjestelmää ja ureajärjestelmää ohjaavat ohjainlaitteet sijaitsevat ajoneuvon takakontissa (kuva 5).



Kuva 4. Paineentuottoyksikkö.



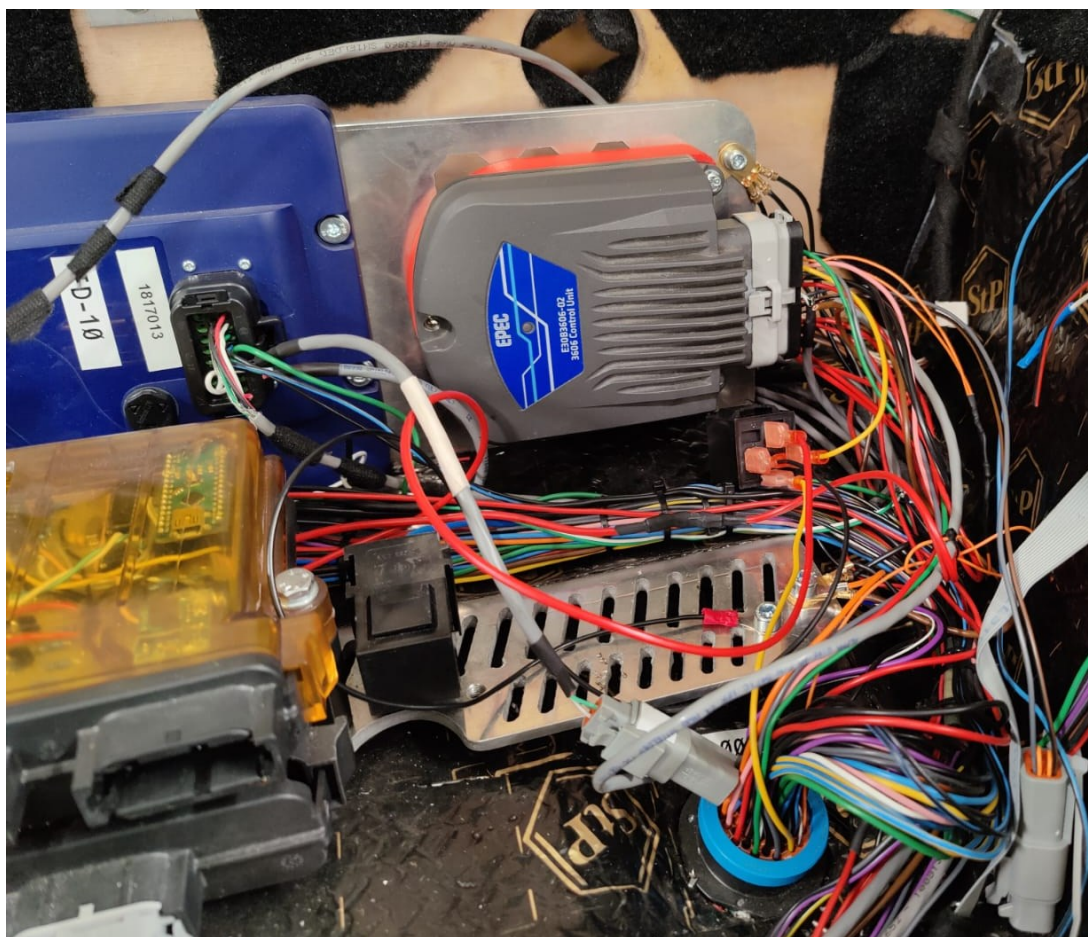
Kuva 5. Biofore-auton takapään sähköjärjestelmä.

AdBlue-järjestelmään valittiin pumpuksi etanolikestävä polttoainepumppu (kuva 4), mutta se ei takaa järjestelmälle täydellistä kestävyyttä ammoniakkin

syövyttävyyden takia. Pumpussa on sisällä korroosiota kestäättömiä metallisia komponentteja, jotka ajan myötä hapettuvat rikki. Saatavilla oli erittäin vähän tai ollenkaan jälkiasenteisiin SCR-järjestelmiin tarkoitettuja pumppuja. Oulun ammattikorkeakoulun opiskelija oli löytänyt sopivan pumpun insinööriyöhönsä (5), mutta pumpun tiedot oli salattu.

### 3.3 Ohjelmisto ja sähköjärjestelmä

SCR-järjestelmän ohjauksella käytettiin kahdella CAN-väylällä varustettua EPEC 3606-2 -ohjainlaitetta (kuva 6). Järjestelmän sähköisiä komponentteja ovat pumppu, solenoidiventtiili, paineanturi, lämpöanturi, NOx-anturi ja suutin.



Kuva 6. Epec 3606-2 -ohjainlaite.

### 3.3.1 Pumppu ja lämpöanturi

Pumpun ohjaus on toteutettu erillisellä releellä ohjainlaitteen kautta, koska Epec-ohjainlaite ei pysty itsestään tuottamaan pumpulle vaadittavaa virtaa. Pumpulla siirretään urealiuosta tankista paineakulle ja tuotetaan järjestelmään haluttu paine. Oikean järjestelmäpaineen synnyttyä pumppu sammutetaan, kunnes järjestelmän paine on laskenut hystereesin sallimaan pienimpään toimintapaineeseen.

Järjestelmään kytketty ulkolämpötila-anturi mittaa ajoneuvon ulkolämpötilaa, ja sillä ohjainlaite määrittelee, onko SCR-järjestelmän päälle kytkeminen turvallista. Urealiuos alkaa kiteytymään alle  $-11$  celsiusasteen lämpötilassa ja kiteytyessään se voi vaurioittaa komponentteja. Ureasäiliöön ei asennettu lämmitintä, joka tavallisissa tuotanto SCR-järjestelmissä on. Biofore-konseptiautoa ei ole suunniteltu käytettäväksi kylmällä säällä, joten lämmittimen puuttuminen ei ollut ongelma.

### 3.3.2 Paineanturi ja solenoidiventtiili

Paineanturi ja solenoidiventtiili sijaitsee vierekkäin järjestelmässä heti pumpun jälkeen. Paineanturi seuraa järjestelmässä olevaa painetta ja Epec-ohjainlaite seuraa, milloin järjestelmässä on maksimi- tai minimipaine. Solenoidiventtiilin tarkoitus on katkaista paineen vuotaminen järjestelmässä taaksepäin pumpulle. Venttiili aukeaa aina, kun pumppu siirtää urealiosta paineakulle, ja sulkeutuu samalla, kun pumppu lopettaa paineen tuoton.

### 3.3.3 NOx-anturi ja suutin

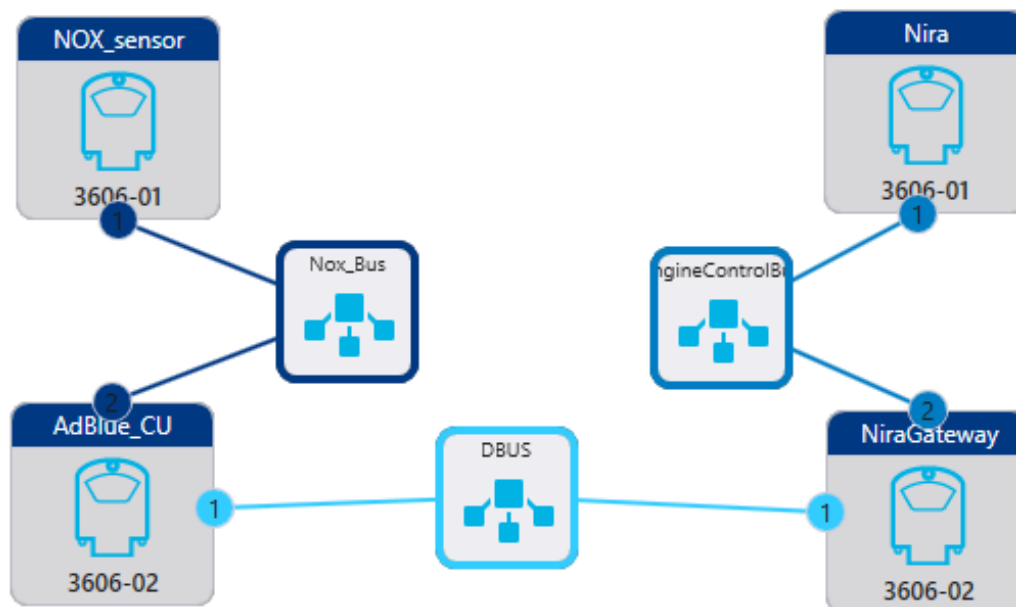
Pakoputkeen pelkistyskatalysaattorin jälkeen kytkettiin NOx-anturi mittaamaan pakokaasussa pelkistysreaktion jälkeen jäänyttä NOx-määrää. NOx-anturi on malliltaan samantyylinen kuin tavallinen lambda-anturi. NOx-anturilla on oma pieni ohjainlaite, joka muuntaa anturilta tulevan datan CAN-väylään sopivaksi

signaaliksi. NOx-anturin ohjainlaite on kytkettynä Epec-ohjainlaitteeseen omalla CAN-väylällään.

Urealiuossuutin sijaitsee pakoputkistossa DPF:n ja pelkistyskatalysaattorin välissä. Sen tarkoitus on annostella urealiuosta pelkistyskatalysaattoriin sekoittimen läpi. Suutin on kytkettynä Epec-ohjainlaitteeseen (liite 2).

### 3.3.4 EPEC

Epec Oy on suomalainen Ponsse-konserniin kuuluva ohjainlaitteita tuottava yritys (6), jonka ohjainlaitteita on käytetty paljon Metropolian erilaisissa projekteissa. Biofore-konseptiautossa on kaksi Epec 3606-2 -ohjainlaitetta (kuva 8). Molemmissa ohjainlaitteissa on kaksi CAN-väylää. NiraGateway-nimisen Epec 3606-2 -ohjainlaitteen tarkoitus on muuttaa Nira i7r -moottorinohjainlaitteelta tulevat CAN-tiedot muille ohjainlaitteille tulkittavaan versioon, esimerkkinä moottorin kierrosnopeus ja lämpötila. Toinen Epec 3606-2 -ohjainlaite AdBlue\_CU lukee ajoneuvon väylästä tarvittavia tietoja SCR-järjestelmän toimintaan, ja toinen väylä on kytkettynä NOx-anturin ohjainlaitteeseen. Jokaista SCR -järjestelmään liittyvää sähköistä komponenttia ohjataan AdBlue\_CU-ohjainlaitteella (liite 2).



Kuva 7. Ohjainlaitteiden järjestys MultiTool-ohjelmalla esitettynä.

### 3.3.5 Ohjelmisto

SCR-järjestelmän Epec-ohjainlaitteelle kirjoitettiin uusi käyttöohjelmisto vanhan koodin pohjalta (kuva 9). Uudessa ohjelmistossa ei enää lämmitetä urealiuosta johtuen Bioforen vähäisestä käytöstä ja siitä, ettei ajoneuvoa ole suunniteltu käytettäväksi urealiuokselle haitallisissa pakkaslämpötiloissa. Uusi ohjelmiston koodi on toteutettu yksinkertaisemmin, ja järjestelmää on myös mahdollista ohjata tietokoneella CAN-väylän kautta.

```

PROGRAM MAIN
0001 EngGasFlowR := CANI_NiraGateway_EngGasFlowRatio * 0.05; (* kg / h *)
0002 ExhTemp1 := CANI_NiraGateway_ExhaustTemp * 0.03125 - 273; (* C *)
0003 ExhTemp2 := CANI_NiraGateway_ExhaustTemp2 * 0.03125 - 273; (* C *)
0004 Fuel_Mass := CANI_NiraGateway_FIC_Fuelmass_Stroke * 0.01; (*mg/stroke*)
0005 RPM := CANI_NiraGateway_RPM / 8 + fakeRPM;
0006
0007 IF RPM <> 0 OR ForceManual THEN
0008     IF DewPointDebounce + T#100ms < TIME() THEN
0009         CANO_Nox_DewPoint := 4;
0010     END_IF
0011 ELSE
0012     CANO_Nox_DewPoint := 0;
0013     DewPointDebounce := TIME();
0014 END_IF
0015
0016 IF Fuel_Mass < setFuelMassLOW THEN
0017     FUELMASS_ := setFuelMassLOW;
0018 ELSIF Fuel_Mass > setFuelMassHIGH THEN
0019     FUELMASS_ := setFuelMassHIGH;
0020 ELSE
0021     FUELMASS_ := Fuel_Mass;
0022 END_IF
0023
0024 IF EngGasFlowR < setEngGasFlowRLOW THEN
0025     EGFR_ := setEngGasFlowRLOW;
0026 ELSIF EngGasFlowR > setEngGasFlowRHIGH THEN
0027     EGFR_ := setEngGasFlowRHIGH;
0028 ELSE
0029     EGFR_ := EngGasFlowR;
0030 END_IF
0031
0032
0033 NOX_value := ROL(CANI_NOX_sensor_NoxValue,8) * 0.05-200;
0034 Oxygen_value := ROL(CANI_NOX_sensor_OxygenValue,8)*0.000514 -12;
0035
0036 (* -----*)
0037 IF ExhTemp2 < Temp1 THEN
0038     TempMul := 0;
0039 ELSIF ExhTemp2 >= Temp1 AND ExhTemp2 <= Temp2 THEN
0040     TempMul := (ExhTemp2-Temp1) / (Temp2-Temp1);
0041 ELSE
0042     TempMul := 1;
0043 END_IF
0044
0045 (* -----*)
0046 NoxMul := (NOX_VALUE-TargetNox)/(NoxLimit-TargetNox)+1.0;
0047 IF NoxMul > 2.0 THEN
0048     NoxMul := 2.0;
0049 ELSIF NoxMul < 0.0 THEN
0050     NoxMul := 0.0;
0051 END_IF
0052
0053 (* -----*)
0054 PWM_RATIO := (NoxMul * TempMul * ( FuelMul * FUELMASS_ + EGFRMul * EGFR_ + Offset)) + RatioManual;
0055 PWM_RATIO := PWM_RATIO * 10.0;
0056
0057
0058 IF PWM_RATIO > PWM_MAX_RATIO THEN
0059     PWM_RATIO := PWM_MAX_RATIO;
0060 ELSIF PWM_RATIO < 0 THEN
0061     PWM_RATIO := 0;
0062 END_IF
0063
0064 IF RPM < 100 THEN
    <

```

Kuva 8. Ote SCR-järjestelmän koodista.

## 4 Asennus ja järjestelmän kokeilu

### 4.1 Asennus

SCR-järjestelmä sijoitettiin auton pohjaan, takaluukun kohdalle. Kiinnitykseen osille valmistettiin omat telineet. Urealiuossäiliö on sijoitettuna takarenaan viereen ja kiinnitettynä kolaripalkin pulteilla turvallista ja kestävä kiinnitystä varten (kuva 3).

Järjestelmässä säiliöltä menee letku pumpulle, joka on sijoitettuna telineellä paineakun viereen. Telineeseen 3D-tulostettiin pumpulle kiinnikejalat, jotta pumpun värinä ei vaikuttaisi muihin komponentteihin ja ääni saataisiin mahdollisimman pieneksi. Alumiininen teline on takapuolelta äänieristetty bitumieristeellä ja liimattu auton pohjaan mustalla Sikaflex 221 -liima- ja tiivistysmassalla. Paineakulta menee letku ajoneuvon moottorin takaosaan, missä urealiuoksen suutin on kiinnitettynä auton oman katalysaattorin jälkeen.

Järjestelmän Epec-ohjainlaite on sijoitettuna ajoneuvon sisälle takaluukun pohjalevyn alle, missä myös osa auton muista ohjainlaitteista ja akku sijaitsevat (kuva 5). Järjestelmän komponenteilta johdot tuodaan ohjainlaitteelle vesitiiviin läpiviennin kautta (kuva 6).

### 4.2 Toiminnan testaus

Järjestelmän toimivuus todettiin testaamalla jokaisen komponentin toiminta tietokoneella ja samalla seurattiin tarkasti järjestelmästä mahdollisia vuotoja. Testauksessa ei vuotoja löytynyt ja kaikki komponentit toimivat halutulla tavalla, joten voitiin kokeilla ureasuihkutusohjelmiston toimintaa. Testissä käytettiin tislattua vettä mahdollisten vuotojen varalta ja sen estämiseksi, että pelkistyskatalysaattori menisi tukkoon ureasta. Testauksessa ohjelmisto toimi halutulla tavalla. Ohjelmiston koodauksessa käytettiin suurta tarkkuutta, jotta kaikki urean suihkutusajat ja -määrät pysyivät samoina kuin VTT:n tekemissä mittauksissa.

Järjestelmä todettiin toimivaksi, ja SCR-järjestelmän avulla Biofore alittaa Euro 5b -raja-arvot.

## 5 Yhteenveto ja päätelmät

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada ajoneuvon SCR-järjestelmä toimimaan luotettavasti ja alittaa Euro 5b -raja-arvot. Työssä hyödynnettiin aikaisemman insinööriyön komponentteja vanhasta SCR-järjestelmästä sekä valmistettiin ja hankittiin kokonaan uusia komponentteja.

Järjestelmän rakenne saatiin vastaamaan liikenteessä olevien dieselautojen pakokaasujen pelkistysjärjestelmää ja sen luotettavuutta parannettua. Järjestelmän asennuksessa hyödynnettiin vanhan järjestelmän kiinnittimiä ja kannakkeita sekä valmistettiin paljon uutta. Järjestelmän ohjelmisto muokattiin sopimaan uusille komponenteille ja säädettävyyttä parannettiin ohjelmistosta.

Toimivuuden testauksessa käytettiin tislattua vettä, jotta mahdollisten vuotokohtien väleistä ei haitallista urealiuosta päädy maahan. Järjestelmä toimi ohjelmiston antamien käskyjen mukaan, joilla arvoilla Biofore-konseptiauto on VTT:llä suoritettussa mittauksessa alittanut Euro 5b- raja-arvo päästöluokitukset.

Dieselajoneuvojen päästöt ovat huomattavasti vaikeammin hallittavissa kuin bensiinimoottoreissa, joissa päästöjä voi vähentää yksinkertaisilla katalyysaattoreilla ja vähentämällä polttoaineen syöttömäärää. SCR-järjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon erilaisten antureiden ja toimilaitteiden sijainti järjestelmässä sekä urean vaikutukset erilaisiin metalleihin ja muoveihin. Urealiuoksen syöttöä pelkistyskatalyysaattoriin helpottivat aikaisemmin tehdyt mittaukset, joista selvisi urealiuoksen määrät erilaisilla moottorin kierroksilla ja kuormitusasteilla.

Biofore-konseptiautoin AdBlue-järjestelmään ei löytynyt sopivaa pumppua, joka täyttäisi kaikki kriteerit ammoniakille vaaditusta materiaalikestävyydestä. Jatkokehityksenä järjestelmä tarvitsisi AdBlue-järjestelmälle tarkoitetun pumpun, joka

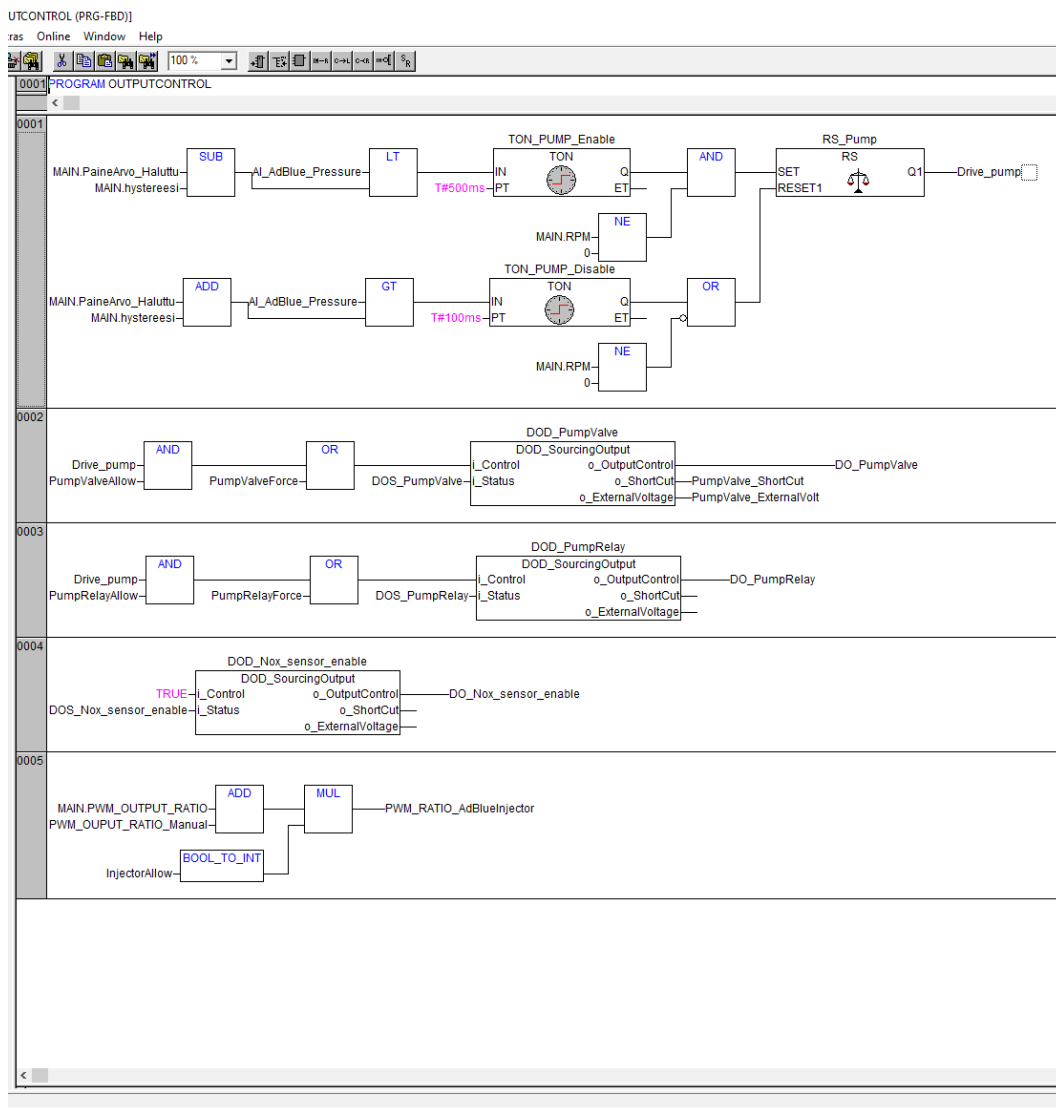
pystyy tuottamaan tarpeeksi suuren paineen eikä sisällä ammoniakille herkkiä materiaaleja.

## Lähteet

- 1 Närhi, Saku & Lindroos, Marko. 2017. Biofore-konseptiauton selektiivisen pelkistyskatalysaattorijärjestelmän suunnittelu, toteutus ja säätö. Insinööri-työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 2 Henkilöautojen päästö määräykset. 2022. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/va-litse\\_auto\\_viisaasti/henkiloautojen\\_paastomaaraykset](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/va-litse_auto_viisaasti/henkiloautojen_paastomaaraykset)>. Luettu 28.4.2022.
- 3 AUS32 Specifications as per DIN70070. Verkkoaineisto. DIN70070. <http://din70070.com/>. Luettu 28.4.2022.
- 4 Bosch, Diesel-Engine Management. 4<sup>th</sup> Edition. 2005. Plochingen: Robert Bosch GmbH.
- 5 Mattila, Teemu. 2020. AdBlue-siirtopumppujärjestelmän suunnittelu. Insinööri-työ. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 Epec 3606 Control Unit. Verkkoaineisto. Epec Oy. <<https://epec.fi/products/control-system-products-3606/>>. Luettu 28.4.2022.

# SCR-järjestelmän kytkentäkaavio

Codesys-sovelluksesta otettu ruutukaappaus.



## Epec 3606-2 Input/Output

Multitool 7.2 -sovelluksesta otettu ruutukaappaus.

Network Editor | AdBlue\_CU

Biofore\_AdBlue\_2022 \* - Mul

Connector / Pin	Variable Name	Modes
1		
I1.1	X1_1	GND
I1.2	X1_2	DI DO PWM Step Motor
I1.3	Nox_sensor_enable	DI DO PWM Step Motor
I1.7	X1_7	DI DO PWM Step Motor
I1.8	PumpValve	DI DO PWM Step Motor
I1.9	PumpRelay	DI DO PWM Step Motor
I1.10	X1_10	DI DO PWM Step Motor
I1.11	AdBlueInjector	DI DO PWM Step Motor
I1.12	X1_12	DI DO PWM Step Motor
I1.14	X1_14	DI PI 1-ch pulse count PI 1-ch + reset channel PI 1-ch width + count PI 1-ch frequency + count
I1.15	X1_15	DI PI 1-ch pulse count PI 1-ch + reset channel PI 2-ch pulse count PI 2-ch + reset channel PI 1-ch frequency + count
I1.20	AdBlue_Pressure	DI AI
I1.21	Ambient_Temp	DI AI
I1.22	X1_22	FB
I1.23	X1_23	FB
I1.25	X1_25	DI PI 1-ch pulse count PI 1-ch + reset channel PI 1-ch width + count PI 1-ch frequency + count
I1.26	X1_26	DI PI 1-ch pulse count PI 1-ch + reset channel PI 1-ch frequency + count
I1.27	X1_27	DI PI 1-ch pulse count PI 1-ch + reset channel PI 2-ch pulse count PI 2-ch + reset channel PI 1-ch frequency + count
I1.28	X1_28	5 V REF
I1.29	X1_29	5 V REF
I1.30	X1_30	GND
I1.31	X1_31	DI AI
I1.32	X1_32	DI AI
I1.33	X1_33	GND
I1.34	X1_34	FB
I1.35	X1_35	FB