

Tomi Mattila

# Digitaali-osaamisen ammattikouluopetuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinööri

26.4.2016

Tekijä(t) Otsikko	Tomi Mattila Digitaalioskilloskooppi ammattikouluopetuksessa
Sivumäärä Aika	32 sivua 26.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Vesa Linja-aho
<p>Insinööriyön aiheena oli selvittää nykyaikaisen, erityisesti autoalalle suunnitellun PicoScope 4420-digitaalioskilloskoopin ominaisuuksia ja soveltuvuutta ammattikoulukäyttöön.</p> <p>Työssä tarkastellaan oskilloskooppeihin liittyviä termejä käyttäen referenssinä PicoScope-järjestelmän ominaisuuksia. Nykyaikaisen digitaalioskilloskoopin toimintoja ajoneuvojen sähköisessä vianhaussa esitellään esimerkkimittausten kautta. Työssä kuvataan myös ajoneuvoissa yleisesti käytettävien tiedonsiirtoväylien, ohjainlaitteiden ja antureiden toimintaperiaatteita. Työn lopussa tarkastellaan ajoneuvoasentajan tutkintoon johtavan koulutuksen opintosuunnitelmaa Sataedun Ulvilan toimipisteen kannalta. Lisäksi pohditaan sitä, kuinka sähköisen vianhaun ja oskilloskoopin käytön opetus soveltuu autoalan opintosuunnitelmaan ja työelämän tarpeisiin.</p> <p>Työssä käytettiin lähteinä autosähköalan kirjallisuutta ja Internet-lähteitä. Insinööriyöstä on tarkoitus jäädä työn tilaajalle väline, jonka avulla voidaan kehittää sähköisen vianhaun opetusta.</p>	
Avainsanat	digitaalioskilloskooppi, ammattikoulutus, sähköinen vianhaku

Author(s) Title	Tomi Mattila Digital Oscilloscope in Vocational School Education
Number of Pages Date	32 pages 26 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to examine, especially in the automotive sector made, PicoScope 4420 digital oscilloscope features and suitability to vocational school use. This thesis was assigned by Sataedu Ulvila vocational school. The thesis is supposed to give the ordered a review of modern vehicle electronic systems and oscilloscopes as an electronic fault finding tool.</p> <p>The study was carried out as follows. The first chapters dealt with the communication buses, control devices and the most common sensors used in automobiles. The fourth chapter dealt with PicoScope oscilloscope features and general terms of oscilloscopes. The fifth chapter deals with the oscilloscope functions in practice. Practical measurements were carried out to determine, for example, operation of the charging system. The last chapter discusses the necessity of teaching the use of an oscilloscope.</p> <p>Thesis is intended to serve as a handbook for the subscriber. It can be used as an aid in teaching of electronic fault finding.</p>	
Keywords	digital oscilloscope, vocational school, electronic fault finding

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Väylätekniikka ja ohjainlaitteet	3
2.1	Tiedonsiirtoväylät ajoneuvokäytössä	3
2.1.1	CAN	4
2.1.2	LIN	6
2.1.3	MOST	7
2.1.4	Bluetooth	8
2.1.5	FlexRay	9
2.2	Ohjainlaitteet	10
3	Anturit ajoneuvoissa	11
3.1	Ilmamassamittarit	13
3.2	Ilmamäärämittari	14
3.3	Potentiometrianturit eli portaattomat säätövastukset	15
3.4	Lämpötila-anturit	16
3.5	Lambda-happianturi	17
3.6	Induktiiviset anturit	19
3.7	Hall-anturi	20
4	Oskilloskoopit ja niihin liittyvä termistö	21
4.1	Digitaalinen PicoScope-oskilloskooppi	22
4.2	Mittauskanavat	23
4.3	Liipaisu	24
4.4	Näytteenottotaajuus ja muisti	24
5	Käytännön mittauksia PicoScopella	24
5.1	Jäähdytysnesteen lämpötila-anturin mittaus	25
5.2	Potentiometriyppisen kaasuläpänasentoanturin mittaus	26
5.3	Latausjärjestelmän mittaaminen	26
5.4	Moottorin puristuspainetesti	27
6	Oskilloskooppimittaukset ja sähköinen vianhaku ammatillisessa koulutuksessa	28
	Lähteet	31

## Lyhenteet

OBD	On Board Diagnostics, on ajoneuvojen itsediagnostiikkajärjestelmä, jonka toiminta on standardoitu.
CAN	Controller Area Network, on ajoneuvoissa laajasti käytössä oleva tiedonsiirtoväylä. Sen toiminta on määritelty eri standardeissa.
LIN	Local Interconnect Network, on ajoneuvoissa 2000-luvun alussa käytöön otettu tiedonsiirtoväylä. Se toimii usein CAN-väylän alijärjestelmänä.
MOST	Media Oriented Systems Transport, on yleisin viihde- ja informaatiokäytössä olevista ajoneuvoväyläsovelluksista. Sen kehittäminen aloitettiin 1990-luvun lopulla.
POF	Polymer Optical Fibre, on optinen tiedonsiirtokuitu, jossa tiedonsiirto tapahtuu valopulsseilla. Se on käytössä MOST-järjestelmissä.
ISM	Industrial, Scientific and Medical, on maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa. Nimensä mukaisesti se alun perin kehitettiin teollisuuden, tieteen ja lääketieteen tarpeisiin.
TCU	Transmission Control Unit, on lyhenne, jolla tarkoitetaan automaattivaihteiston sähköistä ohjainlaitetta.
PSCU	Power Steering Control Unit, lyhenteellä viitataan sähköisen ohjaustehostimen ohjainlaitteeseen.

## 1 Johdanto

Tänä päivänä ajoneuvot ovat täynnä erilaisia sähköisiä komponentteja ja elektronisesti ohjattuja järjestelmiä. Nykyaikaisesta henkilöautosta on vaikea löytää järjestelmää tai osa-aluetta, johon sähköinen toiminta ei jotenkin vaikuttaisi. Toimilaitteita, joita ennen käytettiin mekaanisesti, ohjataan nyt sähköisesti. Tästä esimerkkinä ovat moottorinohjainjärjestelmät ja erilaiset matkustusmukavuuteen vaikuttavat järjestelmät, kuten automaattinen ilmastointi, navigaattori ja erilaiset pysäköintiavustimet.

Viimeisten 30 vuoden aikana esiteltyjä, uuteen moottoritekniikkaan, voimansiirtoon sekä turvallisuuteen ja mukavuuteen liittyviä järjestelmiä on ajan kuluessa kehitetty yhä eteenpäin ja monipuolisemmiksi. Esimerkiksi ensimmäiset 80-luvulla esitellyt turvavyöjärjestelmät sisälsivät johtimien ja turvavyön lisäksi vain kiihtyvyyssanturin ja varmuustunnistimen estämään turvavyön tarpeettoman laukeamisen. Nykyään turvavyöjärjestelmän toimintaan vaikuttaa monista eri antureista ja tunnistimista saadut tiedot. Muun muassa ajoneuvon nopeustiedosta, istuimen asentoanturilta, matkustajan havaitsemistunnistimelta, pyörähtämisanturilta ja sivutörmäysantureilta saadut tiedot vaikuttavat siihen, miten turvavyöjärjestelmän ohjainlaite säätelee nykyaikaisen turvavyöjärjestelmän toimintaa. Sähköisten järjestelmien lisääntymiseen on vaikuttanut kuluttajien vaatimustason nousun lisäksi myös ajoneuvolainsäädäntö ja tiukentuneet päästömääräykset. Päästömääräykset saavuttaakseen ovat ajoneuvovalmistajat joutuneet kehittämään entistä monipuolisempia polttoaineensuihkutus- ja sytytysjärjestelmiä sekä pakokaasujen puhdistusjärjestelmiä. [1, s. 2, 4.]

Kehityksen ansiosta on jouduttu valmistamaan erilaisia testilaitteita. Ajoneuvovalmistajilla on omat merkkikohtaiset testilaitteet, jotka ovat käytössä merkkikorjaamoilla. Näillä testilaitteilla pystytään esimerkiksi tarkistamaan toimilaitteiden toimintaa, lukemaan vikakoodeja ja mukauttamaan esimerkiksi valaistusjärjestelmien toimintaa. Tarjolla on myös niin sanottuja yleistestilaitteita, jotka toiminnaltaan ovat usein suppeampia kuin merkkikohtaiset testilaitteet. Näiden toiminta ei ole riippuvainen niinkään ajoneuvovalmistajasta, vaan toiminta perustuu pääasiassa OBD-standardin mukaisten vikakoodien lukemiseen. OBD-vikakoodit eivät aina yksiselitteisesti kerro vianaiheuttajaa, vaan ne ovat autonohjainlaitteiden näkemyksiä vikakohteesta, ja niihin tulisi suhtautua varauksella. Niistä on apua, kun rajataan vikakohteita, mutta kuinka nopeasti ja tarkasti vika saadaan paikallistettua ja korjattua, riippuu paljolti mekaanikon ammattitaidosta. Jotta

korjaamoilla välttään turhilta osien vaihtamiselta, tulisi mekaniikoilla olla riittävät taidot vianhaun suorittamiseen OBD-testilaitteiden lisäksi myös yleismittarilla ja oskilloskoopilla.

Autojen maahantuojat kouluttavat mekaniikkoja merkkikohtaisten testilaitteiden käyttöön ja vianhakuun niillä. Ammattikoulujen vastuulla on antaa uusille osaajille riittävät pohjatiedot, jotta he pääsevät alkuun työelämässä. Mekaniikolle ei enää riitä, että ymmärtää yksittäisen komponentin toiminnan, vaan pitää hallita ja ymmärtää suurempia järjestelmäkokonaisuuksia, johon komponentti esimerkiksi tiedonsiirtoväylän kautta liittyy.

Autoalan perustutkinnossa määritellään ne tiedot ja taidot, jotka autotekniikan osaamisalaan kuuluu. Autotekniikan osaamisalaan kuuluu pakollisena tutkinnon osana muun muassa käynnistinmoottorin ja generaattorin vianmäärityksen tekeminen. Lisäksi tutkintoon voi valinnaisena osana liittää sähkövarusteiden mittausta ja korjausta. Näin ollen tutkintokokonaisuuteen sopii myös oskilloskoopin käytön harjoittelua. [2.]

Työn tilaajana toimii Satakunnan koulutuskuntayhtymän eli Sataedun Ulvilan-toimipisteen auto-osasto. Sataedu järjestää toisen asteen ammatillista peruskoulutusta, sekä lisä- ja täydennyskoulutusta. Kaiken kaikkiaan Sataedussa on noin 3000 opiskelijaa yhdeksällä eri paikkakunnalla. Sataedun palveluksessa on lähes 400 henkilöä. [3.]

Opinnäytetyössä tarkastellaan nykyaikaisen digitaalioskilloskoopin käyttöä ammattikouluympäristössä. Lisäksi käydään läpi ajoneuvojen sähköisiä järjestelmiä ja tunnistimia sekä niiden mittaamista oskilloskoopilla. Työn on tarkoitus antaa tilaajalle katsaus nykyaikaisen auton sähköisiin järjestelmiin ja erilaisiin anturointeihin. Työn on tarkoitus myös toimia työkaluna sähköisen vianhaun ja oskilloskoopin käytön opettamisen kehittämiseen. Opinnäytetyötä varten tietoa kerättiin autoalan ammattikirjallisuudesta ja Internet-lähteistä sekä käytännön oskilloskooppimittauksista.

## 2 Väylätekniikka ja ohjainlaitteet

### 2.1 Tiedonsiirtoväylät ajoneuvokäytössä

Ajoneuvojen johdinsarjojen ja tiedonsiirtoväylien tarkoituksena on varmistaa sähkönsyöttö ja tiedonsiirtoviestien kuljettaminen autossa. 2010-luvun alun autossa voi olla varustelusta riippuen 400 metristä 1600 metriin erilaisia kaapeleita. Ajomukavuutta ja turvallisuutta lisäämään sekä päästöjä vähentämään kehitetyt järjestelmät tarvitsevat toimiakseen antureita, ohjainlaitteita ja toimilaitteita. Näitä yhdistämään tarvitaan kommunikointiväyliä, joissa tiedonsiirto voi tapahtua analogisesti pulssien avulla tai digitaalisesti. Johdinsarjalla on vaikutus ajoneuvon kokonaisvalmistuskustannuksiin, koska niiden valmistaminen on monimutkainen prosessi, jota ei voida täysin automatisoida. Lisäksi johdinmateriaalina käytetään yleensä arvokasta kuparia. Elektroniikan osuus ajoneuvon kokonaisvalmistuskustannuksista onkin 2010-luvulla kohonnut noin 30 %:iin, kun se 1990-luvulla oli 15 %. Jos nykyaikaisen hyvin varustellun auton johdotus tehtäisiin perinteisesti eikä käytettäisi erilaisia tiedonsiirtoväyliä, pitäisi yksin kuljettajan oveen johtaa noin 50 johtimen kaapeli. Käytännössä tällaisen johdinsarjan käyttö ei ole mahdollista, koska läpivientien tekeminen olisi hankalaa, järjestelmään tulisi paljon häiriöille herkkiä liittimiä ja lisäksi johtimet aiheuttaisivat ympäristöönsä sähköisiä ja magneettisia häiriöitä. Myös vianhaku ja johtimien sijoittaminen ajoneuvon rakenteisiin olisi hyvin hankalaa. Ratkaisuna ajoneuvotekniikan kehityksen vaatimukseen on ruvettu käyttämään erilaisia tiedonsiirtoväyliä. [4, s. 180,184; 5, s. 394–395; 6]

Tiedonsiirtoväylän toiminnan perustana on tiedonsiirtoviestien digitalisointi. Tämä tarkoittaa sitä, että väylissä liikkuvat viestit muutetaan lukusarjoiksi, joissa käytetään numeroita 0 ja 1. Pienin mahdollinen tietoyksikkö on 0 tai 1 ja sitä kutsutaan bitiksi. Esimerkiksi kahden bitin kokoisella tietoyksiköllä voidaan kuvata neljää erilaista tilaa: 00, 11, 01,10. Väylään liitettyjä laitteita nimitetään usein solmuiksi. Yksittäisen väylään lähetetyn viestin, esimerkiksi ajonopeuden, voi käyttää hyväkseen useampi solmu, kuten esimerkiksi ajonvakautusjärjestelmän ohjainlaite, vakionopeudensäädin ja ajonopeuden mukaan säätyvä radion äänenvoimakkuus. Ajoneuvoissa on käytössä useita erilaisia väyläratkaisuja, joista ajoneuvovalmistajat valitsevat sopivat käyttötarkoituksen ja esimerkiksi tiedonsiirtonopeuden vaatimusten mukaan. Pääasiassa ajoneuvoissa on käytössä CAN-, LIN-, MOST- ja FlexRay-väyläprotokollat sekä näiden eri variaatiot ja Bluetooth-tiedonsiirto. Eri väyläprotokollat on määritelty standardeissa. Samassa ajoneuvossa voi olla käytössä useita eri väyläprotokollia, jotka eivät pysty suoraan kom-



munikoimaan toistensa kanssa. Väylien välisen kommunikaation mahdollistaa Gateway-ohjainlaite. Se on ohjainlaite, joka vastaanottaa viestejä väylistä, muuttaa ne toisen väylän käyttämään muotoon ja lähettää ne edelleen. Se on siis väylien välinen tulkki. [4, s. 180–181, 184; 7, s. 125; 5, s. 82, 87.]

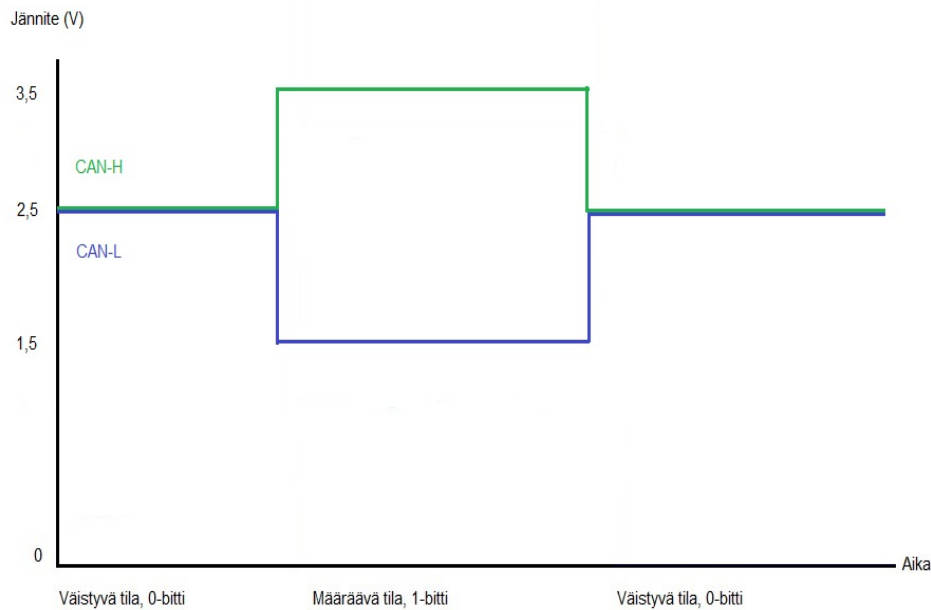
### 2.1.1 CAN

Ensimmäinen sarjavalmisteisessa autossa käytetty väyläprotokolla oli vuonna 1991 Mercedes-Benz 500E:ssä käytetty CAN-väylä. CAN-väylässä käytetään yleensä kahta toisiinsa kierrettyä johdinta, joista käytetään nimiä CAN-H ja CAN-L. Molemmissa johtimissa kulkee samanaikaisesti sama informaatio esitettynä vastakkaisilla jännitetasoilla. Näillä järjestelyillä saadaan suodatettua pois väylässä esiintyviä häiriöitä. Häiriöiden poistamiseksi on lisäksi CAN-H- ja CAN-L-johtimet yhdistetty päistään 120 ohmin vastuksilla. Vaihtoehtoisesti vastukset voidaan sisällyttää ohjainlaitteisiin, jolloin johtimien päihin ei tarvita erillisiä vastuksia. CAN-väylän on mahdollista pysyä toimivana, vaikka toinen johdin vioittuisi. Myös yhdellä johtimella toteutettu CAN-väylä on mahdollinen. Tällainen järjestelmä on herkempi häiriöille, ja lisäksi siinä tapahtuva tiedonsiirto on hitaampaa kuin kahdella johtimella toteutetussa verkossa, joten käytännössä sitä voidaan käyttää vain korielektronikassa ja mukavuustoiminnoissa. Yhdellä johtimella toteutetun väylän etuna on halvemmat valmistuskustannukset. [5, s. 82, 94–95; 8, s. 77.]

Rakenteeltaan CAN-väylä on niin sanottu usean isännän väylä. Siinä jokaisella väylään liitettyllä solmulla on yhtäläinen mahdollisuus lähettää ja vastaanottaa viestejä. Toisin sanoen jokainen solmu määrittelee itse, mitkä viestit ovat sen toiminnan kannalta tärkeitä. Väylässä kulkevat viestit ovat samanmuotoisia, ja jokainen viesti pitää sisällään muun muassa tunnistuskentän, joka määrittelee viestin sisällön. Jos useampi solmu haluaa lähettää viestin väylään samaan aikaan, ratkeaa viestien lähetysjärjestys tunnistuskentässä määritellyn prioriteetin mukaan. [7, s. 130; 9, s. 69–71.]

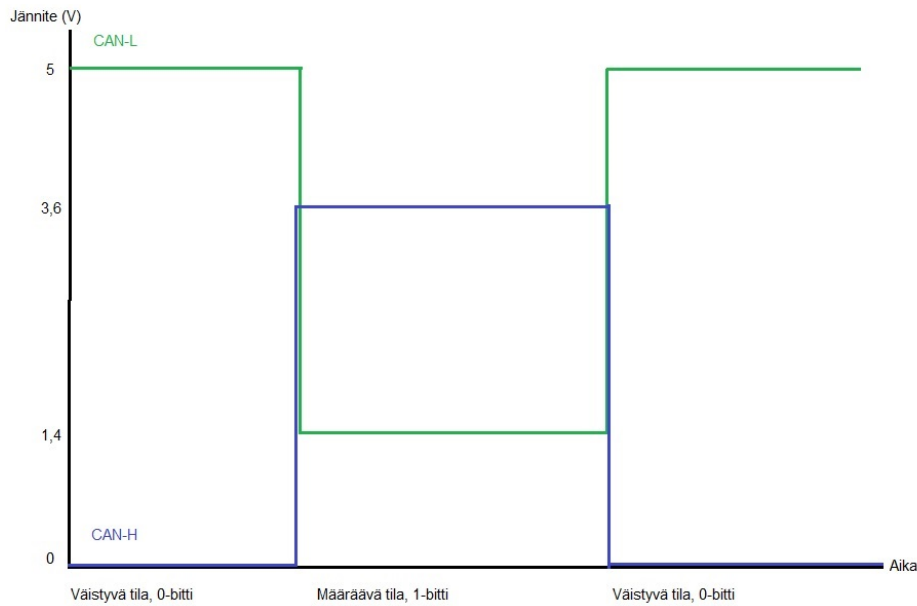
CAN-väylät jaetaan tiedonsiirtonopeuden mukaan kahteen eri luokkaan, CAN-C ja CAN-B. CAN-C on niin sanottu high speed CAN, ja sen tiedonsiirtonopeus vaihtelee 125 kBit/s ja 1 MBit/s välillä. Nopeutensa takia sitä käytetään esimerkiksi moottorinohjainjärjestelmissä, automaattivaihteiston sähköisessä ohjauksessa ja ajonvakautusjärjestelmien verkottamisessa. CAN-B:n tiedonsiirtonopeus vaihtelee välillä 5 ja 125 kBit/s. Tästä tulee nimitys low speed CAN. Hitaampi tiedonsiirto on riittävä moniin mukavuustoimintoihin ja korielektronikan tiedonsiirron tarpeisiin. Tällaisia ovat esimerkiksi

automaattisen ilmastoinnin ohjaus sekä sähkötoimisten ikkunoiden ja peilien säätö. CAN-C ja CAN-B käyttävät eri jännitetasoja viestien välittämiseen. Kun nopeassa väylässä välitetään 0-bitti (väistyvä tila), on kummankin johtimen jännite 2,5 voltia. 1-bittiä (määräävä tila) vastaavat jännitteet ovat CAN-H-johtimessa 3,5 voltia ja CAN-L-johtimessa 1,5 voltia. Seuraavassa kuvassa on havainnollistettu CAN-C-väylän jännitteiden vaihtelua johtimissa määräävän ja väistyvän tilan välillä.



Kuva 1. Nopean CAN-väylän johtimien jännitetasojen vaihtelu.

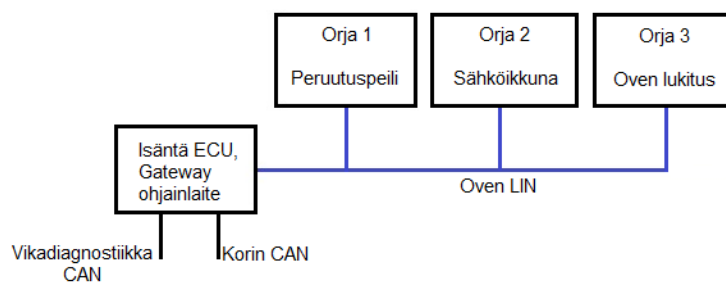
Hitaassa väylässä vastaavat jännitetasot ovat 0-bitille CAN-H-johtimen 0 voltia ja CAN-L-johtimen 5 voltia. 1-bittiä välitettäessä jännite-ero on 5 voltia. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 2 on selvennetty jännitetasojen vaihteluja CAN-B-väylässä.



Kuva 2. Hitaan CAN-väylän johtimien jännitetasot [5, s. 92–95].

### 2.1.2 LIN

Lyhenne LIN tulee sanoista Local Interconnect Network. Nimensä mukaisesti yksittäisen LIN-väylän solmut sijaitsevat rajatussa tilassa, kuten esimerkiksi kuljettajan ovesa, minkä lisäksi LIN toimii usein CAN-väylän alijärjestelmänä. LINiä voidaan käyttää mm. sähköisen keskuslukituksen, sähköikkunan ohjauksen ja sähköisäätöisen peruutuspeilin toisiinsa verkottamisessa ja gateway-ohjainlaitteen kautta edelleen CAN-väylään, kuten alla olevassa periaatekuvassa (kuva 3) on havainnollistettu.

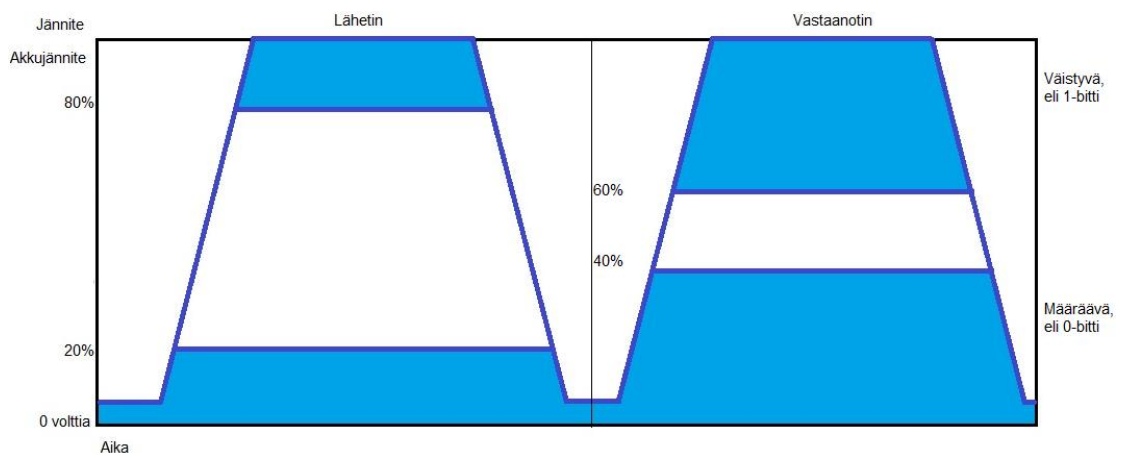


Kuva 3. Esimerkki LIN-väylän käytöstä.

LIN-protokollaa ruvettiin kehittämään 1990-luvun lopulla, kun autonvalmistajille tuli tarve saada kustannustehokas väyläjärjestelmä vaihtoehdoksi hitaalle CAN-väylälle. Osa LIN-väylän kustannustehokkuudesta syntyy siitä, että tiedonsiirto on toteutettu yksijohdin tekniikalla. Väylän tiedonsiirtonopeus on maksimissaan 20 kBit/s. Ensimmäisenä

sarjavalmistuksessa sen otti käyttöön Mercedes-Benz vuonna 2001. [7, s. 135; 5, s. 106–107.]

Koska LIN on rakenteeltaan yhden isännän ja usean orjan järjestelmä, tapahtuu kaikki tietoliikenne isännän aloitteesta. Orjia voi olla samassa väylässä maksimissaan 16 kappaletta. Orjan tehtävänä on toimia isännän viestin tunnisteessa olevan käskyn mukaan. Orja voi joko lähettää tai vastaanottaa tietoa tai olla tekemättä mitään. Viestien lähettäminen ja vastaanottaminen voi tapahtua joko isännän ja yhden orjan välillä, isännän ja useamman orjan välillä, isännän ja jokaisen orjan välillä tai isännän pyynnöstä orjien välillä. Viestintää varten väylällä on kaksi jännitetasoa. Määräävässä tilassa eli 0-bitissä jännite on noin 0 voltia, ja väistyvässä eli 1-bitissä jännite on noin akkujännite. Auton sähköjärjestelmän jännitetasot vaihtelevat, joten jännitetasoille on määritetty toleranssit. Ilman toleransseja jännitteen vaihtelut aiheuttaisivat viestintään häiriöitä. Viestiä vastaanottavan solmun toleranssit ovat suuremmat kuin lähettävän. Tällä järjestelyllä varmistetaan viestien perillemeno ja minimoidaan sähkömagneettisten häiriöiden aiheuttamat ongelmat. [7, s. 135–136; 5, s. 107–108.] Kuvassa 4 selvennetään LINin jännitetasoja ja niihin liittyviä toleransseja.



Kuva 4. LIN-väylän viestinnässä käytettävät jännitetoleranssit.

### 2.1.3 MOST

Vuonna 1998 aloitti toimintansa MOST-organisaatio, johon kuuluivat aluksi mm. saksalaiset autonvalmistajat BMW ja DaimlerChrysler. Nimitys MOST tulee sanoista Media Oriented Systems Transport. Se on yleisin viihde- ja informaatiokäytössä olevista väyläsovelluksista. MOST-organisaation tarkoituksena oli kehittää nopea ja tarkka tiedon-

siirtomenetelmä, joka vastaisi nykyaikaisten premium- sekä ylemmän keskiluokan autojen kasvaneisiin informaatio- ja viihdejärjestelmien vaatimuksiin. Näissä autoissa on perinteisten viihdejärjestelmien, kuten radion ja CD-soitimen, lisäksi yleistyneet esimerkiksi erilaiset multimediasoitimet, GPS-navigaattorit ja peruutuskamerat. [5, s. 112.]

Yksittäiseen MOST-väylään on mahdollista liittää enintään 64 laitetta. MOST-sovelluksissa yleisin väyläjohdinmateriaali on optinen muovikuitu eli POF. Verrattuna perinteiseen kuparijohtimeen sen hyviä puolia ovat keveys ja taipuisuus sekä riippumattomuus sähköisistä häiriöistä. On kehitetty myös sovelluksia, joissa johdinmateriaalina voidaan käyttää lasikuitua. Lasikuitujohdin mahdollistaa nopeamman tiedonsiirron, kuin POF. MOST-väyliä on käytössä kolmella eri tiedonsiirtonopeudella. MOST 25:n nopeus on 24,8 MBit/s, ja tätä nopeammat väylät ovat MOST 50 ja MOST 150, joiden nopeudet ovat loogisesti 50 MBit/s ja 150 MBit/s. Verkossa välitettävä tieto kulkee valon sykäyksinä: valon ollessa päällä, bitti on 1, ja kun valoa ei ole, bitti on 0. MOST-verkko on rakenteeltaan yhden isännän ringi, jossa jokainen väylän solmu on liitetty edeltäjänsä ja seuraajaansa sisääntulon ja ulosmenon kautta. Väylän isäntä toimii myös usein gateway-laitteena, joka yhdistää MOST-verkon esimerkiksi CAN-väylään. [5, s. 113–118; 10.]

#### 2.1.4 Bluetooth

Bluetooth-yhteyden kehittämisen aloitti vuonna 1994 tietoliikenneyritys Ericsson. Yrityksen tarkoituksena oli tutkia keinoja langattomaan tiedonsiirtoon matkapuhelimien ja niiden lisälaitteiden välillä. Vuonna 1998 perustettiin Bluetooth SIG eli Bluetooth-kehitysyhteisö, joka jatkoi Ericssonin aloittamaa työtä. Tuolloin yhteisöön kuului muun muassa Ericsson, Nokia ja Microsoft. Se asetti tavoitteeksi kehittää kansainvälisesti hyväksyttävän langattoman tiedonsiirtostandardin, joka olisi halpa valmistaa, kuluttaisi vähän energiaa eikä olisi herkkä häiriöille. Ensimmäinen Bluetooth-standardi julkaistiin vuonna 1999. Nyt Bluetooth SIG -yhteisöön kuuluu yli 28 000 jäsentä ja esimerkiksi 12 suurinta autovalmistajaa käyttää Bluetooth yhteyttä puhelimen hands free -toimintojen toteuttamiseen autoissaan. [5, s. 122–123; 11; 12.]

Ajoneuvoissa Bluetooth-yhteyttä käytetään pääasiassa erilaisissa multimedian siirtosovelluksissa, esimerkiksi puhelimen ja soitimen välillä. Se mahdollistaa myös ajoneuvon navigaatiojärjestelmän ja soitimen ohjaamisen esimerkiksi tabletilla. Sitä voidaan käyttää myös ajoneuvotestilaitteissa. Ajoneuvon OBD-testipistokkeeseen laitettun Blue-

tooth-sovittimen avulla saadaan luotua langaton yhteys auton OBD-järjestelmän ja esimerkiksi tietokoneen tai puhelimen välille. Bluetooth-yhteyden nopeudet vaihtelevat versiosta riippuen, esimerkiksi 2.0-version suurin tiedonsiirtonopeus on 3 MBit/s. [5, s. 123.]

Bluetooth-tiedonsiirto tapahtuu radioaaltojen avulla nimellistaajuudella 2,4 GHz. Tämä ns. ISM-taajuus on lisenssivapaa, joten se on vapaasti käytettävissä maailmanlaajuisesti. Lyhenne ISM tulee sanoista Industrial (teollinen), Scientific (tieteellinen), Medicine (lääketieteellinen). Lisenssivapaudesta johtuen esimerkiksi mikroaaltouunit ja kauko-ohjatut autotallinovat voivat toimia samalla taajuudella. Nämä eivät kuitenkaan aiheuta häiriötä tiedonsiirrolle, sillä Bluetooth tiedonsiirrossa 2,4 GHz:n taajuus jaetaan 79 eri kanavaan, joiden välillä lähetys hyppii 1600 kertaa sekunnissa. Häiriöiltä suojaamisen lisäksi kanavien nopealla vaihtelulla saavutetaan parempi tietosuojaa, sillä jatkuvasti vaihtuvaa taajuutta on vaikea kaapata. [5, s. 123–124; 13, s. 325–326.]

Bluetooth-laitteet on jaettu kolmeen eri teholuokkaan, joista laitteiden valmistajat voivat valita omiin sovelluksiinsa parhaiten sopivat:

- Teholuokka 1, lähetysteho on 100 mW ja kantavuus 100–150 metriin.
- Teholuokka 2, lähetysteho on 2,5 mW ja kantavuus 10–25 metriin.
- Teholuokka 3, lähetysteho on 1 mW ja kantavuus enimmillään 10 metriä.

Teholuokan 3 laitteiden toimintasäde riittää hyvin ajoneuvossa tapahtuvaan tiedonsiirtoon. [5, s. 124.]

### 2.1.5 FlexRay

FlexRay-verkko sai alkunsa vuonna 1999, kun saksalaiset ajoneuvovalmistajat BMW ja DaimlerChrysler perustivat FlexRay-yhteenliittymän. Yhteenliittymän tarkoituksena oli kehittää tiedonsiirtojärjestelmä, joka sietää hyvin vikoja, on nopea sekä soveltuu mahdollisimman monipuolisiin käyttötarkoituksiin. FlexRayn maksimitiedonsiirtonopeus on 10 MBit/s. FlexRay-väylä voidaan rakentaa toimimaan kahdella kanavalla, jolloin kumpikin kanava käyttää omaa johdinta. Tällä saadaan väylästä toimintavarmempi ja lisäksi maksimitiedonsiirtonopeudeksi voidaan nostaa 20 MBit/s. [5, s. 132; 14.]

Järjestelmä on aikasidonnainen, eli jokaisella väylään liittyvällä laitteella on oma toistuva vuoro, jolloin väylä on niiden käytettävissä. Väylässä on myös mahdollista lähettää viestejä aikasidonnaisuudesta riippumatta. Tämän mahdollistaa jaksottainen tiedonsiirto. Siinä jokaisessa jaksossa on kaksi osaa. Ensimmäinen osa, josta käytetään nimitystä staattinen, pitää sisällään aikasidonnaisen viestin. Toisessa osassa, jota nimitetään dynaamiseksi, on aikaikkunoita, joita voidaan käyttää viestin lähettämiseen tarpeen mukaan. Dynaamisen osan toimintaperiaate muistuttaa CAN-väylää. Siinä väylän solmu itse päättää käyttää vapaata väylää viestin lähettämiseen tarpeen mukaan. [5, s. 132; 14.]

FlexRay-verkon pääasialliset käyttökohteet ovat voimansiirron ja aktiivisen turvallisuuden järjestelmien verkottaminen. Sitä voidaan kuitenkin käyttää myös korielektroniikan ja passiivisten turvalaitteiden verkottamiseen. Erityisesti erilaiset x by wire -sovellukset, joissa ajoneuvon mekaaniset, hydrauliset tai pneumaattiset yhteydet korvataan antureilla, ohjainlaitteilla ja säätömoottoreilla, on mahdollista toteuttaa FlexRay-verkolla. Tällainen toiminto on esimerkiksi brake by wire, jossa mekaaninen yhteys jarrupolkimen ja jarrupääsylinterin välillä puuttuu. [5, s. 132–133; 15.]

## 2.2 Ohjainlaitteet

Ohjainlaitteet ovat ajoneuvojen elektronisten järjestelmien keskuksia. Ne vastaanottavat antureilta saatavia signaaleja tai käyttäjältä saatavia käskyjä, arvioivat niitä ja laskevat niiden avulla toimilaitteiden ohjaukseen tarvittavat signaalit. Ohjainlaitteen toimintaa säätelee sen muistissa oleva ohjelmisto. Ohjainlaitteiden toimintaa on joissain tapauksissa mahdollista mukauttaa. Mukauttamisella pystytään vaikuttamaan ajoneuvon valmistuskustannuksiin, kun samoja komponentteja voidaan käyttää monella eri markkina-alueella. Esimerkiksi päiväajovaloja ja valoautomaatiikan toimintaa pystytään usein säätämään ajoneuvotestilaitteella, joten samat komponentit soveltuvat käytettäväksi monella eri alueella. Ohjainlaitteiden toimintaa on mahdollista seurata ajoneuvotestilaitteilla, mikä helpottaa vianhakua järjestelmistä. [5, s. 195–198.]

Nykyaikaisessa ajoneuvossa voi olla useita kymmeniä ohjainlaitteita, jotka ohjaavat esimerkiksi vaihteistoa (TCU) ja sähköistä ohjaustehostinta (PSCU). Ensimmäiset ajoneuvoihin kehitetyt ohjainlaitteet olivat 1960-luvun lopussa ja 1970-luvun alkupuolella käyttöön otetut moottorinohjainjärjestelmät, jotka aluksi ohjasivat vain polttoaineen

suihkutusta. Tällainen varhainen moottorinohjainjärjestelmä on vuonna 1973 käyttöön otettu Boschin K-Jetronic. Ohjainlaitteet voivat altistua toiminta-aikanaan vaativille olosuhteille, jotka tulee ottaa huomioon ohjainlaitetta ja sen sijoittamista ajoneuvoon suunniteltaessa. Kosteus, värähtelyt, suuret lämpötilan vaihtelut ja esimerkiksi jännitteen heilahtelut, rasittavat ohjainlaitetta. [5, s. 195–198; 9, s. 4–5.] Kuvassa 5 olevat moottorinohjainlaitteet sijaitsevat ajoneuvon sisällä, hansikaslokeron takana. Paikka on hyvin suojassa kosteudelta ja suurilta lämpötilan vaihteluilta.



Kuva 5. Toyotan käyttämiä moottorinohjainlaitteita 1990-luvulta.

### 3 Anturit ajoneuvoissa

Anturien käyttö ja määrä ajoneuvoissa on lisääntynyt käsi kädessä ohjainlaitteiden ja ajoneuvojen verkottumisen kanssa. Anturien tehtävänä on mitata ajoneuvoissa erilaisia fysikaalisia ja kemiallisia suureita, joiden avulla ohjainlaitteet säätävät toimilaitteita ja kuljettaja saa ajoneuvon toiminnasta tietoja. Mitattavia seikkoja voivat olla esimerkiksi pyörintänopeus, ajonopeus, kiihtyvyys, paine, lämpötila, virtausmäärä ja kaasun pitoisuudet. Useat mitattavat kohteet eivät ole sähköisiä, vaan anturit muuntavat ne sähköiseksi muuttujiksi. Ajoneuvokäytössä olevia antureita voidaan luokitella monella eri tavalla, esimerkiksi tehtävän mukaan: mukavuus, turvallisuus ja voimalinjan antureihin. Mukavuustoimintoihin liittyviä tunnistimia ovat esimerkiksi tuulilasinyppyhkimen sadeanturi, peruutustutkan etäisyysanturi ja automaattisen ilmastointilaitteen lämpötila-anturi. Passiivisten ja aktiivisten turvallisuusjärjestelmien käyttämiä antureita ovat muun muassa ajonvakautuksen ohjauskulma-anturi, ABS-jarruja varten nopeusanturi ja kiihty-



vyysanturi sekä ajovalojen automaattista suuntausta varten kallistusanturi. Voimalinjaan liittyvät anturit pitävät sisällään kaikki moottorinohjaukseen ja vaihteiston toimintaan vaikuttavat anturit sekä mittalaitteet. [16, s. 3–13.]

Ajoneuvokäyttöön tarkoitettujen antureiden tulee täyttää viisi vaatimusta, jotka otetaan huomioon anturia suunniteltaessa:

- alhaiset valmistuskustannukset
- korkea luotettavuus
- erittäin vaikeiden käyttöolosuhteiden kesto
- pienikokoisuus
- suuri tarkkuus.

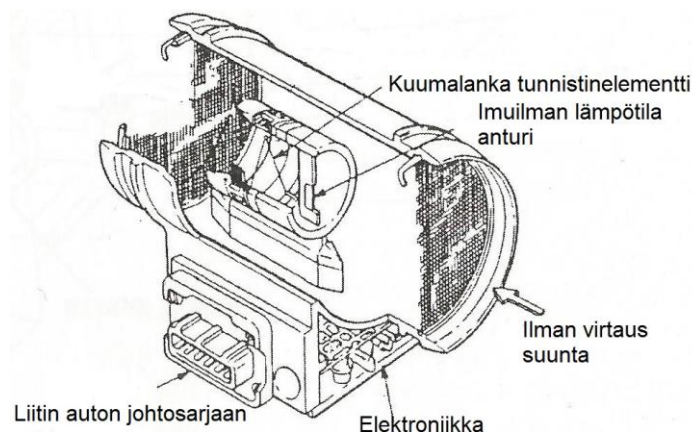
Nykyaikaisen ajoneuvon elektroniikkajärjestelmä voi sisältää yli sata anturia. Anturien suuri määrä korostaa yksittäisen anturin valmistuskustannusten merkitystä. Tavoitehinta, johon ajoneuvoanturien valmistajat pyrkivät vaihtelee 1-30 euron välillä. Valmistusprosessin tehokas automatisointi ja suuret volyymit pienentävät yksittäisen anturin hintaa. Autoissa käytettävät anturit on jaettu kolmeen luotettavuusluokkaan sen mukaan, kuinka tärkeitä ne ovat ajoturvallisuuden kannalta. Korkeimpaan luokkaan kuuluvat ohjaus-, jarrutus- ja turvalaitejärjestelmien anturit. Näiltä vaaditaan samaa luotettavuutta, kuin avaruusteollisuudessa käytettäviltä komponenteilta. Kuten ohjainlaitteet, myös anturit voivat joutua toimimaan vaikeissa käyttöolosuhteissa. Ne voivat joutua sietämään mekaanista rasitusta (tärinää), suuria lämpötilan vaihteluita, erilaisia kemikaaleja (polttoaineet, öljyt ja tiesuola) ja sähkömagneettisia häiriöitä. Polttoaineen kulutuksen pienentäminen eli auton painon minimointi ja tehokas tilan käyttö, vaativat kehittämään pienempikokoisia antureita. Ajoneuvoantureiden tarkkuusvaatimukset ovat väljiä, mutta elektronisten järjestelmien monimutkaistuminen lisää tarkkuusvaatimuksia. Ajoneuvoantureiden sallitut poikkeamat mittausalueesta ovat yleensä noin 1 %. [16, s. 18–25.]

Ajoneuvojen anturitekniikka on hyvin laaja alue. Erityyppisiä antureita on paljon ja niiden käyttökohteet ovat moninaiset. Työssä nostetaan esille joitain yleisesti käytössä olevia antureita, joita korjaamoilla työskentelevät mekaanikot kohtaavat jokapäiväisessä työssään.

### 3.1 Ilmamassamittarit

Ilmamassamittari sijaitsee moottorin imuilmaputkessa, ilmansuodattimen ja kaasuläpän välissä. Ottomoottorissa sen päätehtävä on toimia moottorinohjaimen kuormantunnistuksen komponenttina. Dieselmoottorin ohjainlaite taas käyttää ilmamassamittarilta saatua tietoa muun muassa pakokaasujen takaisinkierätyksjärjestelmän säätämiseen. Ilmamassamittari mittaa nimensä mukaisesti moottorin käyttämän ilman massavirtaa (kg/h). Autoissa on käytössä kahta eri tyyppiä ilmamassamittareita: kuumalankailmamassamittari ja kuumafilmi-ilmamassamittari. Näissä perustoimintaperiaate on sama, mutta kuumafilmi-ilmamassamittari pystyy tunnistamaan myös ilman virtaussuunnan. [9, s. 14–15; 17, s. 39.]

Kuumalankailmamassamittarissa lämmitettävä tunnistinelementti on ohut platinalanka ja kuumafilmi-ilmamassamittarissa tunnistinelementti on platinafilmivastus. Näiden mittareiden toiminta perustuu tunnistinelementin vakiolämpöisenä pitämiseen. Tunnistinelementtiä lämmitetään vakiolämpöiseksi imuilmaa korkeampaan lämpötilaan, esimerkiksi 100 °C. Mittarin läpi virtaava ilma pyrkii jäähdyttämään kuumaa tunnistinelementtiä. Jotta tunnistinelementin lämpötila saadaan pysymään vakiona, lämmitysvirtaa joudutaan kasvattamaan. Lämmitysvirta muutetaan signaalijännitteeksi, jonka perusteella moottorinohjainlaite tulkitsee, kuinka suuri on moottoriin kulkeutuva ilman massa. [9, s. 14–15; 17, s. 42–43; 1, s. 109–110.] Kuvassa 6 on kuumalanka-tyyppisen ilmamassamittarin halkileikkauskuva.

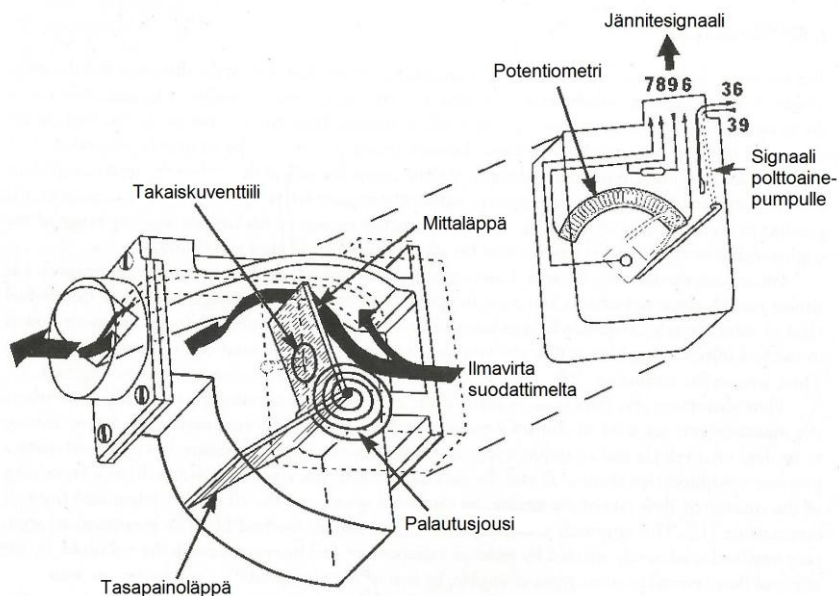


Kuva 6. Kuumalanka-tyyppinen ilmamassamittari [1, s. 110].

Erityisesti kuumalankailmamassamittarin ongelma on tunnistinelementin likaantuminen. Likaantuminen voi aiheuttaa mittaustuloksen vääristymistä, jolloin moottoria kuormitettaessa se saattaa tuntua tehottomalta ja moottorin käynnissä saattaa olla häiriöitä. Moottorin sammuttamisen jälkeen kuumalankaa lämmitetään hetkellisesti jopa 1000 °C:seen. Tällä moottorinohjainjärjestelmä pyrkii polttamaan kuumalangan pinnalta pois mittaustuloksia vääristäviä epäpuhtauksia. Kuumalangan puhdistamiseksi on kehitetty myös kemikaaleja, joilla voidaan anturin irrottamisen jälkeen poistaa sen pintaan kertynyttä likaa. [1, s. 110; 18.]

### 3.2 Ilmamäärämittari

Kuten ilmamassamittari myös ilmamäärämittari sijaitsee moottorin imuilmaputkessa ilmansuodattimen jälkeen. Ilmamäärämittari mittaa moottorin käyttämän ilman tilavuusvirtaa ( $m^3/h$ ). Ottomoottorissa moottorinohjainlaite käyttää ilmamäärämittarilta saatavaa signaalia polttonesteen suihkutusmäärän ja sytytysennakon määrittelyyn. Dieselmootoreissa ilmamäärämittarin signaalia käytetään pakokaasujen takaisinkierätyksen ja polttoaineen ruiskutusmäärän säätämiseen. [9, s. 14; 17, s. 35.] Alla olevassa kuvassa 7 näkyy ilmamäärämittarin toimintaperiaate ja komponenttien sijoittelu anturin sisällä.



Kuva 7. Boschin valmistaman ilmamäärämittarin periaatekuva [1, s. 108].

Ilmamäärän tunnistamiseen käytettävä elementti on potentiometri. Moottoriin virtaava ilma liikuttaa jousikuormitteista mittaläppää. Mittaläppä aukeaa sen mukaan, kuinka suuri tilavuusvirta moottoriin on. Mitä suurempi on mittaläpän liike, sitä suurempi on läppään kiinnitetyn potentiometrin resistanssin muutos. Tätä muuttuvaa jännitesignaalia moottorinohjainlaite tulkitsee. [1, s. 108; 9, s. 14.]

Ilmamäärämittaritkin ovat herkkiä lialle. Mittaläppään ja sen akselille kertyvä lika saattaa häiritä läpän liikettä, jolloin moottorinohjainlaite ei saa todellista tietoa moottorin käyttämästä ilmamäärästä. Vanhemmiten myös potentiometrin liukupinnat voivat kulua ja tämä aiheuttaa jännitesignaaliin epäjohdonmukaisuuksia ja vaikuttaa moottorin käyntiin. [1, s. 108–109.]

### 3.3 Potentiometrianturit eli portaattomat säätövastukset

Ajoneuvoantureita, jotka käyttävät tunnistinelementtinä potentiometriä, ovat esimerkiksi kaasupolkimen asentoanturi, kaasuläpän asentoanturi, ilmamäärämittari ja polttoaineen tason anturi sekä muut sovellukset, joissa mitataan liikettä tai kulma-asemaa. Portaattomissa säätövastuksissa on kolme liitännänapaa. Kaksi liitännää on yhdistetty vastuksen kumpaankin päähän ja kolmas liitäntä on yhteydessä niin kutsuttuun pyyhkijään. Pyyhkijä liikkuu vastuksen päällä ja sen asento määrittelee potentiometrin vastuksen ja siitä ulos saatavan jännitteen suuruuden. [16, s. 30–31; 19.]

Esimerkiksi sähköisissä kaasupoljinyksiköissä on kaksi erillistä potentiometriä. Usein kaasupoljinyksikköön syötetään 5 voltin tasajännitettä. Ohjainlaite tulkitsee polkimen potentiometreiltä saatavan jännitteen polkimen liikematkaksi. Kaasupoljinyksiköissä käytetään kahta potentiometriä vikatilanteiden varalle ja vikadiagnostiikan tarpeisiin. [5, s. 328.]

Yleisesti potentiometreillä on enemmän etuja, kuin epäkohtia. Hyviä puolia ovat muun muassa

- alhainen hinta
- yksinkertainen rakenne
- ei vaadi ohjainelektronikkaa

- hyvä häiriöiden sietokyky
- laaja käyttölämpötila, jopa 250 °C.

Potentiometriin käyttöön mahdollisesti liittyviä ongelmia ovat

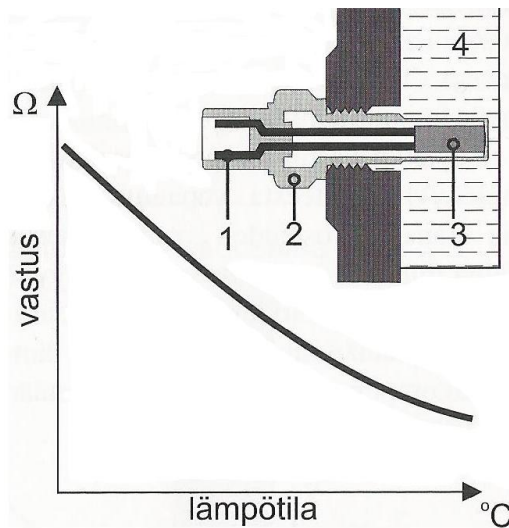
- hankauksesta johtuva mekaaninen kuluminen
- vaikeudet nesteessä toimiessa
- värinän mahdollinen vaikutus pyyhintään
- likaantumisen vaikutus pyyhkijän toimintaan.

[16, s. 30.]

### 3.4 Lämpötila-anturit

Ajoneuvoissa lämpötilaa mitataan monesta eri kohteesta, ja lämpötilan mittaamiseksi on käytössä erilaisia antureita. Mitattuja lämpötilatietoja käyttävät muun muassa eri ohjainlaitteet ja kuljettajan informaatiojärjestelmä. Moottorin ja automaattivaihteiston ohjainlaitteet voivat käyttää toimintaansa lämpötilatietoja, joita saadaan moottoriöljystä ja automaattivaihteistoöljystä, jäähdytysnesteestä, imuilmasta, polttoaineen lämpötilasta ja pakokaasujen lämpötilasta. Mukavuusjärjestelmistä automaatti-ilmastointi käyttää puhallustehon ja lämpötilan määrittelemiseen ulko- ja sisälämpötila-antureita sekä puhalluskanavassa sijaitsevaa lämpöanturia. [7, s. 162–163; 1, s. 85–87.]

Ajoneuvoissa lämpötilan mittaamiseksi käytössä olevat anturit voidaan pääsääntöisesti jaotella kolmeen eri tyyppiin. Nämä ovat termoelementti-, vastus- ja puolijohdeanturit, joista yleisimmin käytössä on vastusanturit. Jäähdytysnesteen lämpötila-anturit ovat usein vastusantureita ja ne on sijoitettu moottorin sylinterikanteen tai esimerkiksi termostaattikoteloon. Niiden mittausalue on noin -10 °C–130 °C. Moottorinohjaimen kannalta jäähdytysnesteen lämpötila vaikuttaa sytytysjärjestelmän ja polttoaineen suihkutusjärjestelmän säätämiseen, esimerkkinä polttoaineseoksen kylmärikastus. Vastusanturien toiminta perustuu metallin sähkönjohtavuuden riippuvuuteen lämpötilasta. Anturin tunnistuselementtinä toimii ohut metallilanka tai kalvo, jonka materiaalina on useimmiten nikkeli tai platina. Vastusantureihin luetaan myös termistorit (kuva 8), jotka ovat puolijohdemateriaalista tehtyjä vastuksia. [17, s. 58–59; 16, s. 131; 7, s. 163–165.]



Kuva 8. NTC-tyyppinen jäähdytysnesteen lämpötila-anturi sekä kuvaaja, josta näkyy vastuksen muutos suhteessa lämpötilaan. Nro 1 liitin; 2 anturin runko; 3 tunnistinelementti; 4 jäähdytinneste. [7, s. 165.]

Termistoreja on käytössä NTC- ja PTC-tyyppisiä. Näistä NTC:n vastus pienenee lämpötilan kasvaessa. PTC-vastus toimii päinvastoin eli sen vastus kasvaa lämpötilan noustessa. [7, s. 163–165.]

### 3.5 Lambda-happianturi

Ottomoottorinohjainlaite käyttää lambda-anturilta saatavaa signaalia polttonesteen suihkutusmäärän laskemiseen. Dieselmootoreissa lambda-anturinsignaalin perusteella määritellään hiukkassuodattimen regeneroinnissa käytettävä jälkisuihkutusmäärä, sekä ohjataan pakokaasujen takaisinkierrätysjärjestelmää. Käytännössä lambda-anturi mittaa pakokaasuissa jäljellä olevan hapen määrää. Ottomoottorin tehokkaan toiminnan ja pakokaasupäästösäädöksiä täyttämisen kannalta on tärkeää, että moottorin käyttämä ilman ja polttonesteen suhde on oikea. Tätä suhdetta tarkkaillaan pakoputkeen asennetuilla lambda-antureilla. [17, s. 104; 7, s.166–167.]

Ilman ja polttonesteen seossuhdetta kuvaamaan on määritetty lambda-arvo, josta käytetään lyhenteenä kreikkalaisten aakkosten kirjainta  $\lambda$ . Rikkaalla seoksella  $\lambda < 1$  ja laihalla seoksella, kun polttoainetta on suhteessa ilmaan vähemmän,  $\lambda > 1$ . Katalysaattorilla varustettuja ottomoottoreita pyritään ajamaan lambda-arvolla 1, jolloin katalysaattorin toiminta on tehokasta. Lambda-arvo 1 voidaan ilmaista myös stoikiometrisenä arvona 14,7:1. [7, s. 166–167; 1, s. 247–248.]

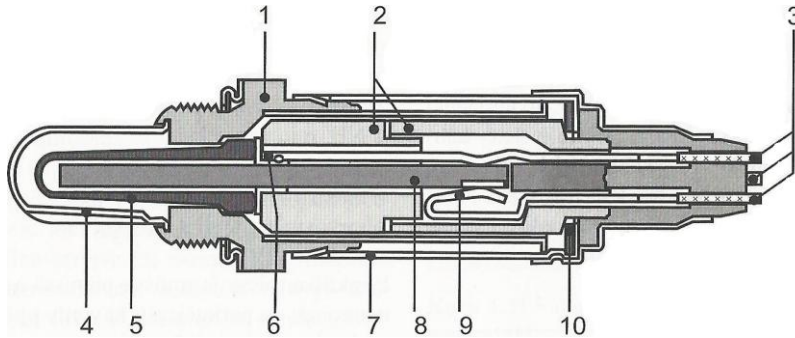
Lambda-antureita on käytössä erityyppisiä, kuten zirkoniumdioksidi-lambdatunnistin, titaanidioksidi-lambdatunnistin ja laajakaistatunnistin. Laajemmin lambda-anturit voidaan jakaa kahteen eri luokkaan, kaksitasoisein (kuva 9) ja laajakaistaisiin. [17, s. 104–107; 16, s.154.]



Kuva 9. Kaksitasoinen lambda-anturi

Kaksitasoinen lambda-anturi vertaa pakokaasujen jäännöshapen määrää anturin sisällä vertailutilassa olevan ilman happipitoisuuteen. Pakokaasujen happipitoisuuden muutokset aiheuttavat anturin tunnistinelementeissä jännitettä, jota mitataan. Kaksitasoinen lambda-anturi rupeaa toimimaan luotettavasti vasta saavutettuaan 350 °C:n lämpötilan. Anturin toimintalämpötilan saavuttamisen nopeuttamiseksi anturissa voi olla sisäänrakennettuna kuumennusosa. Kaksitasoisen happianturin ulostulojännite rikkaalla seoksella 800–1000 mV ja seoksen ollessa laiha on jännite vain noin 100 mV. Lambda-arvolla 1 voi jännite olla noin 200–600 mV. Lämpötila vaikuttaa kaksitasoisen anturin ulostulojännitteeseen, esimerkiksi optimitoimintalämpötilassa 600 °C ja laihaalla seoksella ulostulojännite on 950 mV. Lämpötilan kasvaessa jännite laskee ja on 900 °C enää 800 mV. Lisäksi alhaisilla lämpötiloilla kaksitasoisten anturien vasteajat ovat pitkiä, jopa sekunteja. Tämän vuoksi sillä pystytään vain seuraamaan, onko seos rikas vai laiha. [16, s. 154; 7, s.168–169.]

Laajakaistalambda-anturin (kuva 10) tunnistaa siihen menevistä johtimista. Laajakais-  
ta-anturi on toteutettu viidellä tai kuudella johtimella, kun perinteisissä lamda-antureissa  
on yhdestä neljään johdinta. Laajakaistalambdalla saadaan mitattua tarkkaa seossuh-  
detta sekä laihan että rikkaan seoksen alueella. Laajakaista-anturin toimintalämpötila  
on 660–900 °C, joka saavutetaan nopeasti anturiin integroidulla lämmittimellä.



Kuva 10. Lämmitettävän lambda-anturin halkileikkauskuva. Nro 1 kotelo; 2 keraaminen suoja-  
putki; 3 sähköliittimet; 4 reiällinen suojaputki; 5 keraaminen tunnistinelementti; 6 liitos; 7  
suojus; 8 lämmitinelementti; lämmittimen liitos; 10 tiivisterengas. [7, s. 169.]

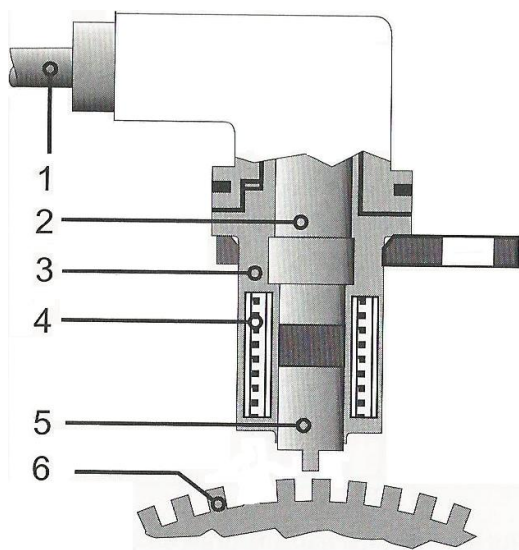
Anturi vaatii toimiakseen säätöelektroniikan, joka tuottaa anturin signaalin ja säätelee  
anturin lämmittintä, sekä ohjaa anturissa olevaa happipumppukennoa. Pakokaasut vir-  
taavat anturin pumppukennon kautta mittatilaan. Mittatilaan tai sieltä pois johdettujen  
happi-ionien liikuttamiseen tarvittavan pumppuvirran suuruus kertoo moottorinohjain-  
laitteelle tarkan lambda-arvon. Seoksen ollessa laiha pumppukenno pumppaa happi-  
ioneja pois anturista eli tuottaa positiivista pumppausvirtaa. Rikkaalla seoksella toiminta  
on päinvastaista. Kun  $\lambda = 1$ , happi-ioneja ei tarvitse pumpata ja pumppausvirta on nol-  
la. [17, s. 106–121; 16, s. 158–159.]

### 3.6 Induktiiviset anturit

Induktiivisia antureita käytetään mittaamaan pyörimisnopeutta tai pyörivän kappaleen  
asentoa. Ajoneuvoissa käytännön sovelluksia induktiivisista antureista voivat olla esi-  
merkiksi moottorin pyörintänopeus eli kampiakselin nopeusanturi, pyörän nopeusanturi  
ja nokka-akselin asentoanturi. Induktiivisten antureiden toiminta perustuu muuttuvaan  
magneettiseen vastukseen. Anturin keskellä on kestoplaneetti ja mittakärki, joiden  
ympäri kiertää käämitys. Anturin mittauskärki sijoitetaan kohti hammaspyörää.  
Hammaspyörän ja anturin välillä on noin yhden millimetrin ilmarako. Pyörivä hammas-  
pyörä saa aikaan mitattavan jännitteen indusoitumisen mittauskäämiin. Pyörivän kap-



paleen asennon tunnistamiseksi hammaspyörästä on jätetty yksi hammas pois (kuva 11). Näin esimerkiksi kampiakselin asentoanturi pystyy tunnistamaan milloin sylinteri on yläkuolokohdassa. [17, s. 97–103; 16, s. 60–62; 7, s. 172.]



Kuva 11. Kampiakselin asentoanturin halkileikkauskuva. Nro 1 johdin; 2 kestmagneetti; 3 kotello; 4 käämi; 5 kärki; 6 hammaspyörä. [7, s. 172.]

Induktiivisten anturien hyviä puolia ovat niiden laaja käyttölämpötila, edulliset valmistuskustannukset, yksinkertainen rakenne ja se, etteivät ne tarvitse toimiakseen ulkoista energiaa. Niiden huonoja ominaisuuksia on esimerkiksi herkkyys ilmavälin vaihtelulle ja se, että ulostulosignaali riippuu pyörintänopeudesta eli induktiiviset anturit eivät sovellu hitaille pyörintänopeuksille. [16, s. 62; 7, s. 172.]

### 3.7 Hall-anturi

Hall-antureiden käyttökohteet ovat samanlaiset, kuin induktiivisten antureiden. Niitä käytetään esimerkiksi nopeuden mittaamiseen, kampiakselin asennon tunnistamiseen ja hammastuksen havaitsemiseen. Hall-anturit tarvitsevat toimiakseen jännitteen, tästä syystä niitä kutsutaan aktiivisiksi antureiksi. [7, s. 171; 5, s. 310.]

Hall-anturin tunnistinelementti on levymäinen puolijohdekide, johon syötetään vakiojännitettä. Anturiin kuuluu myös kestmagneetti ja mittaamisen mahdollistava hammaspyörä. Signaali syntyy, kun kestmagneetin ja pyörivän hammaspyörän välissä olevan Hall kiteen jännite vaihtelee sen mukaan, onko hammaspyörän hammas koh-

dalla vai ei. Jännitteen muutoksen suuruus on suoraan verrannollinen kestromagneetin magneettikentän voimakkuuden muutokseen. [8, s. 36; 7, s. 171; 5, s. 310–311.]

Hall-anturin käytöllä saavutettavia hyviä puolia on sen nopea mitattavan asennon ja pyörimissuunnan tunnistus. Hall-anturilla saadaan pienilläkin pyörimisnopeuksilla käyttökelpoista tietoa eri ohjainlaitteille. Lisäksi Hall-anturilla saavutetaan suuri mittatarkkuus (< 1 mm.) Induktiiviseen anturiin verrattuna Hall-anturin heikkouksia ovat hieman kalliimmat valmistuskustannukset ja toiminnan riippuvuus syöttöjännitteestä. [1, s. 189–190; 5, s. 310–311.]

#### **4 Oskilloskoopit ja niihin liittyvä termistö**

Digitaalinen yleismittari on korjaamoilla jokapäiväisessä käytössä oleva monipuolinen työkalu. Se soveltuu kuitenkin huonosti nopeasti muuttuvien suureiden ja esimerkiksi pulssimuotoisen tiedonsiirron mittaamiseen sekä pitkäkestoiseen suureiden tarkkailuun. Oskilloskooppi mahdollistaa kattavamman sähköisten suureiden mittaamisen, mihin yleismittarilla ei pystytä. Aikaisemmin korjaamoilla oli käytössä analogisia oskilloskooppeja, joiden toiminta perustui kuvaputkeen. Kuvaputki muistuttaa televisioissa käytettyjä kuvaputkia. Kuvaputkeen ruiskutetaan elektronisuihku, joka saa sen loistamaan siltä kohtaa, johon elektronisuihku osuu. Kuvaputken ympärillä ovat poikkeutuslevyt, joilla elektronisuihkun liikettä ohjataan. Mitattava jännite siirtää suihkua pystysuunnassa ja vaakasuunnassa siirto tapahtuu määrääjassa. Elektronisuihku piirtää kuvaputken pintaan viivaa, josta pystytään lukemaan jännitteen vaihtelut ja kulunut aika. Korjaamoilla digitaaliset oskilloskoopit ovat syrjäyttäneet yleisesti analogiset oskilloskoopit. Digitaaliset oskilloskoopit vastaavat ominaisuuksiltaan paremmin nykyajan vaatimuksiin ja niiden etuja ovat mm. seuraavat:

- Laitteistot ovat pienikokoisia eivätkä ne ole riippuvaisia verkkovirrasta, joten niitä voidaan käyttää ajonaikaiseen vianhakuun.
- Tehtyjä mittauksia voidaan tallentaa ja tarkastella myöhemmin.
- Oskilloskoopissa voi olla jo valmiiksi ohjelmoituja toimintoja eri mittauksiin, jolloin laitteiden käyttö helpottuu ja mittaustulosten tulkitseminen sujuvoituu.
- Mittaustulokset ovat selkeitä värillisen, graafisen kuvaajan ansiosta.

Digitaalinen oskilloskooppi voidaan sisällyttää myös esimerkiksi ajoneuvovalmistajan omiin merkkikohtaisiin testilaitteisiin. [9, s. 132; 7, s. 18; 4, s. 100–102.]

#### 4.1 Digitaalinen PicoScope-oskilloskooppi

Opinnäytetyön tilaajan käyttöön hankittu digitaalioskilloskooppijärjestelmä on Pico Technologyn valmistama PicoScope 4425. Järjestelmä on Windows-pohjainen, ja siihen kuuluu vakiona mm. erilaisia testikaapeleita, pihtivirtamittarit ja coil-on-plug-mittapää. Kuvassa 12 on tärkeimmät järjestelmään kuuluvat osat.



Kuva 12. PicoScope 4425 digitaalioskilloskooppijärjestelmän tärkeimmät osat. Vasemmalta coil on plug mittapää, Picoscope, tabletti, jolla oskilloskooppiohjelmia käytetään, kaksi erilaista pihtivirtamittaria ja erilaisia mittakaapeleita sekä mittapäitä.

PicoScope 4425:llä voidaan mitata jännitteitä aina 200 volttiin asti. Tämä on riittävä jännitetaso korjaamoiden vianhaun tarpeisiin. Oskilloskoopin mukana toimitettavassa ohjelmistossa on valmiina yli 150 valmiiksi ohjelmoitua ajoneuvomittausta yksinkertaisesta lämpötila-anturin mittauksesta monimutkaisempiin mittauksiin, kuten esimerkiksi tiedonsiirtoväylien mittaukset. Ohjelmoitujen mittauksien lisäksi käyttäjälle tarjotaan mitattavasta kohteesta esimerkkikuvaaja ja taustatietoa siitä, kuinka mitattavan kohteen

tulisi toimia. Ohjelma opastaa myös askel askeleelta tarvittavien kytkentöjen tekemisessä.

Lisäksi opinnäytetyöntilajalla on käytössä PicoScope-järjestelmään lisävarusteena saatava WPS500X-paineenmittausadapteri. Paineenmittausadapterilla saadaan laajennettua oskilloskoopin käyttömahdollisuuksia. Se mahdollistaa ajoneuvojen erilaiset painemittaukset, esimerkiksi puristuspainemittauksen (kuva 13), pakoputken painepulssien mittauksen, polttoainejärjestelmän painemittaukset ja automaattivaihteistojen painetestit.



Kuva 13. WPS500X-paineenmittausadapteri kytkettynä oskilloskooppiin sylinterinpuristus-painetestiä varten.

#### 4.2 Mittauskanavat

PicoScope 4425:ssä on neljä mittauskanavaa eli sillä voi mitata samanaikaisesti neljää eri kohdetta, esimerkiksi kahta kaksijohtimista CAN-väylää. Usein korjaamoille riittää mahdollisuus kahden kanavan samanaikaiseen mittaamiseen. Useamman kanavan yhtäaikainen mittaaminen voi kuitenkin nopeuttaa vianhakua, kun mittajärjestelyä ei

tarvitse muuttaa kesken mittausten. Lisäksi monen kohteen yhtäaikainen mittaaminen selkeyttää tulosten tarkastelua, kun saadaan samanaikaisesti näkymään kaikki käyrät oskilloskoopin näytölle.

### 4.3 Liipaisu

Liipaisua säätämällä saadaan toistuva signaali tahdistettua näytölle. Tämä tarkoittaa että kuvaruudulla signaalin piirto alkaa aina signaalin samasta vaiheesta. Liipaisua säätämällä saadaan myös suljettua pois mittauksen kannalta epäolennaiset osat. PicoScopella tehtävissä ajoneuvomittauksissa liipaisun säätämisen tarve on minimoitu tarjoamalla käyttäjälle ennalta määritellyjä mittaushjelmia ja automaattista liipaisun säätöä. [21, s. 4–6.]

### 4.4 Näytteenottotaajuus ja muisti

Oskilloskoopin näytteenottotaajuudella tarkoitetaan sitä kuinka monta mittausta sekunnissa oskilloskooppi pystyy tekemään. Suurella näytteenottotaajuudella varmistetaan signaalin tarkka ja vääristymätön esittäminen. PicoScope 4425:n näytteenottotaajuus on  $400 \frac{\text{Ms}}{\text{s}}$  eli 400 miljoonaa mittausta sekunnissa. Tämä riittää myös tulevaisuudessa yhä nopeutuvien ajoneuvojen tiedonsiirtoverkkojen mittaamiseen. Ajoneuvojen vianhaussa voidaan joutua tekemään useilla kanavilla pitkiäkin samanaikaisia mittauksia, jotta vikakohde saadaan paikallistettua. Esimerkiksi sytytyskatkoksia tutkittaessa käytössä voi olla samanaikaisesti nokka-akselin ja kampiakselin asentoantureiden sekä sytytyspuolan ja polttoainesuuttimien mittaukset. Tällöin on tärkeää, että oskilloskoopissa on riittävän suuri muisti. Muisti antaa mahdollisuuden käydä läpi mittausta pitkältä aikaväliltä ja löytää tuloksista mahdolliset epäjohtonmukaisuudet. PicoScopella on mahdollista tallentaa 250 miljoonaa mittanäytettä. [21, s. 89–91; 22.]

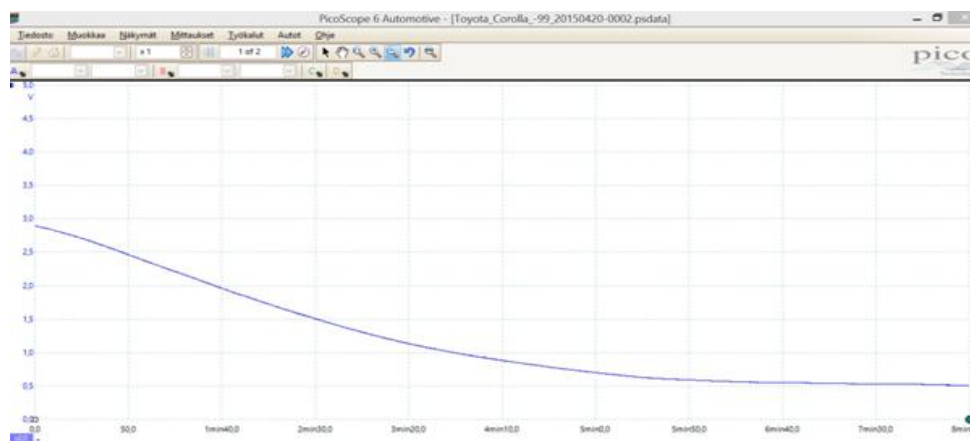
## 5 Käytännön mittauksia PicoScopella

PicoScope 4425 valmiiksi ohjelmoiduista ajoneuvomittauksista käydään läpi esimerkkinä muutaman tunnistimen mittaus sekä puristuspainemittaus Pico WPS500X -paineenmittaussarjan avulla. Kaikki mittaukset tehtiin vuosimallin 1999 Toyota Corol-

laan nelisylinterisellä 4a-fe-bensiinimoottorilla. Kuvaajista on suodatettu pois moottorin johtosarjasta kantautuvia häiriöitä, jotta kuvaajia olisi helpompi tulkita.

### 5.1 Jäähdytysnesteen lämpötila-anturin mittaus

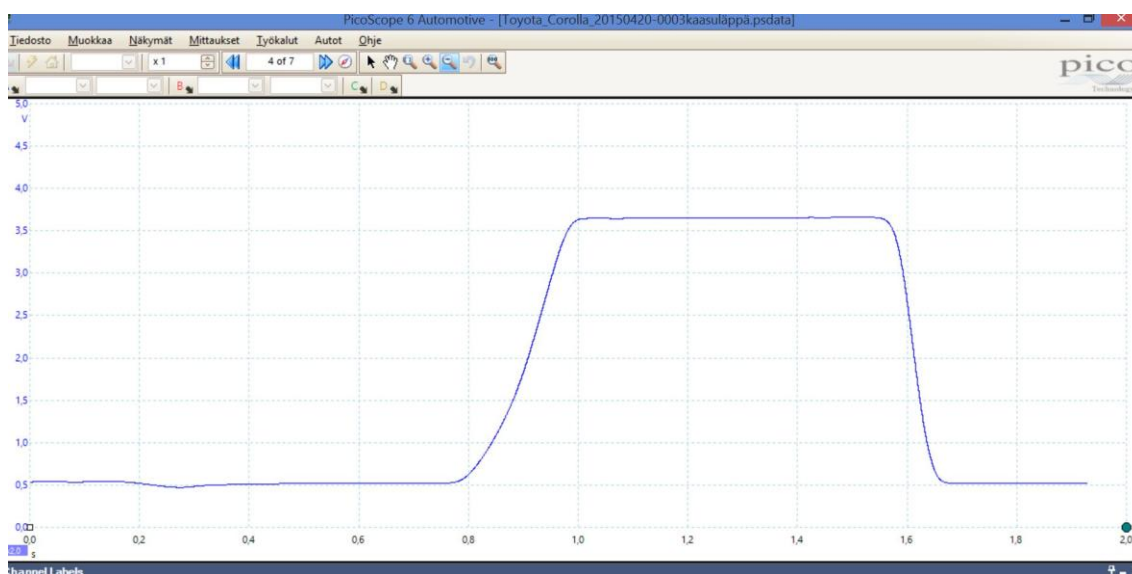
Jäähdytysnesteen lämpötila-anturin viat voivat aiheuttaa moottorin käyntihäiriöitä ja lisääntyneitä pakokaasupäästöjä, jos moottorinohjainlaite saa virheellistä tietoa lämpötilasta. Lämpötila-anturin mittaus kannattaa suorittaa kylmälle moottorille, jolloin saadaan kokonaiskuva anturin toiminnasta. Mittaus aloitetaan paikallistamalla oikea lämpötila-anturi moottorin kyljestä, sillä esimerkiksi mittaristolle ja moottorinohjainlaitteelle saattaa olla eri anturit. Oskilloskooppiin kytketään ohjelman neuvojen mukaan oikea johdin ja hauenleukapuristin sekä koetinpiikki. Hauenleukapuristin kiinnitetään hyvään maapisteeseen, esimerkiksi akun miinusnapaan, ja koetinpiikki työnnetään anturin liittimeen. Auton moottorin käydessä oskilloskooppi piirtää kuvaajaa sitä mukaan, kun moottori lämpenee. Mittauksen alussa jäähdytysnesteen lämpötila oli noin 5 celsiusastetta ja lopuksi noin 85 astetta. Vastaavasti anturilta saatu jännitesignaali laski 2,8 voltista 0,3 volttiin. Mittauksen kesto oli noin 10 minuuttia. Ehjällä anturilla kuvaajan tulisi olla alla olevan kaltainen (kuva 14), loivasti laskeva tai nouseva riippuen anturin tyypistä. Äkilliset muutokset signaalijännitteessä tarkoittavat, että anturissa on vikaa.



Kuva 14. Jäähdytysnesteen lämpötila anturin mittaus

## 5.2 Potentiometrityyppisen kaasulämpän asentoanturin mittaus

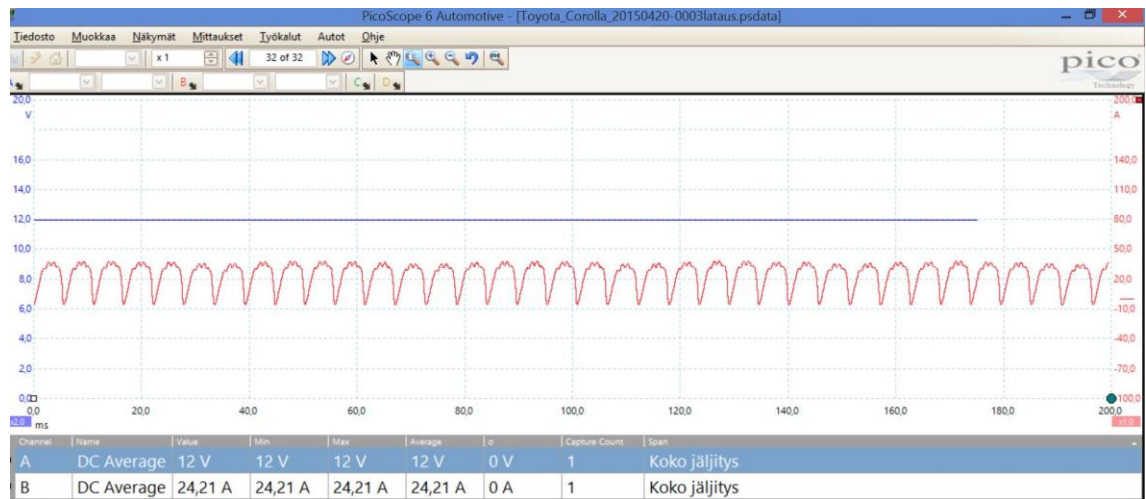
Kaasulämpän asentoanturin viat ilmenevät usein moottorin hitaana kaasuun vastaavuutena ja kaasua painettaessa moottorin epäröintinä nostaa kierroksia. Kaasulämpän potentiometrin mittausta varten oskilloskooppiin kiinnitetään tarvittavat mittakaapelit ja mittapäät. Kaasulämpän asentoanturiin liittyy kolme johdinta syöttöjännite, maadoitus ja signaalijohdin, johon oskilloskoopin mittapiikki kiinnitetään. Oskilloskooppi piirtää kuvaajaa signaalijohtimen jännitteestä. Kuvasta 15 nähdään, että mitattava kaasulämpän asentoanturi on kunnossa, sillä jännitekäyrä käyttäytyy kaasua painettaessa johdonmukaisesti. Kaasun ollessa pois signaalijännite pysyy tasaisesti 0,5 voltissa. Kaasua painettaessa jännite nousee 3,6 volttiin ja pysyy siellä polkimen vapauttamiseen asti, jolloin jännite putoaa 75 ms:ssa takaisin 0,5 volttiin.



Kuva 15. Kaasulämpän asentoanturin mittaus.

## 5.3 Latausjärjestelmän mittaaminen

Latausjärjestelmän toimintaa mitattaessa voidaan käyttää hyväksi kahden eri kanavan samanaikaista mittausta. Oskilloskoopin A-kanava on liitetty auton akkuun ja sillä mitataan akun jännitettä. B-kanavaan on kytketty pihtivirtamittari, jonka avulla nähdään laturin tuottaman virran suuruus. Kuvan 16 tilanteessa auto on juuri käynnistetty ja penkinlämmittimet sekä takalasinlämmitin on kytketty päälle. Suuren kuorman takia laturi ei jaksaa moottorin tyhjäkäynnillä nostaa jännitettä normaalille 13,5–15,0 voltin tasolle.



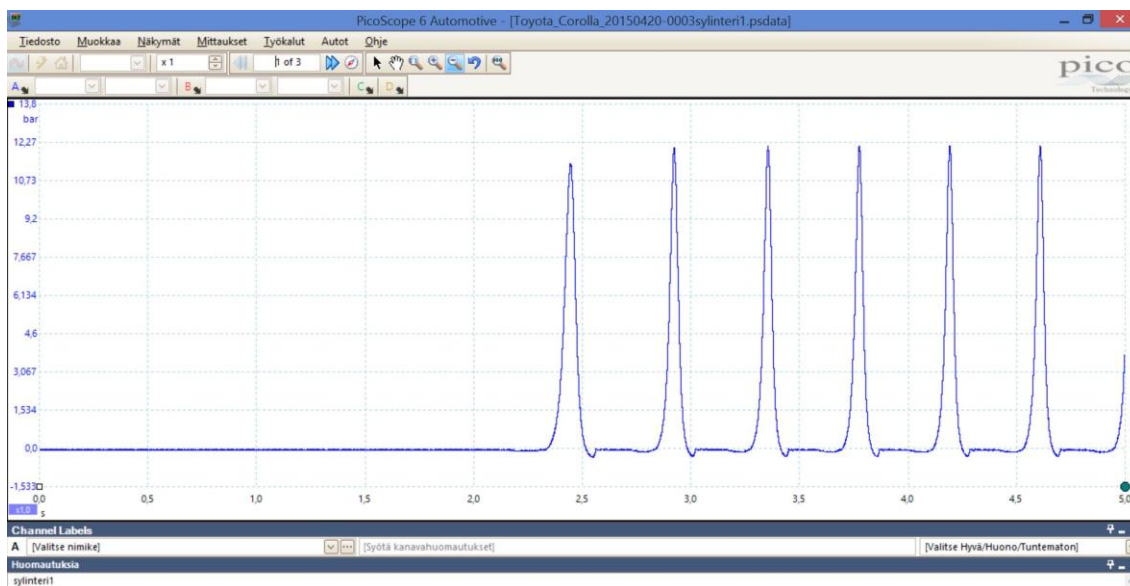
Kuva 16. Latausjärjestelmän mittaus, jossa sininen kuvaaja on akun jännite ja punainen kuvaaja laturin tuottama virta.

#### 5.4 Moottorin puristuspainetesti

Jotta PicoScopella voidaan mitata puristuspainetta pitää oskilloskooppiin liittää WPS500X-painettestisarja. Puristuspainetestillä saadaan kohtalaisen helposti selvitettyä moottorin kunto ja pystytään paikallistamaan mahdollinen mekaaninen vikakohta. Puristuspainemittauksessa käyntilämpöisen moottorin sytytystulpat irrotetaan ja polttoainesuuttimien toiminta estetään esimerkiksi avaamalla liittimet. Puristuspainetestilaitte kierretään sytytystulpan tilalle, minkä jälkeen moottoria pyöritetään käynnistinmoottorilla. Tämä toistetaan jokaisen sylinteriin erikseen. Mittausta suoritettaessa tulee huomioida myös akun kunto, heikko akku ei välttämättä jaksaa pyörittää käynnistinmoottoria vaadittavalla nopeudella. Puristuspainemittausten tuloksista pystytään tulkitsemaan sylintereiden ja männänrenkaiden kulumisen, venttiilivuodot ja kannentiivisteiden rikkoutuminen. [20, s. 10–11.]



Kuvassa 17 on testitulos 1. sylinteristä. Jokaisella puristustahdilla tulos on tasaisesti yli 12 bar. Muissa kolmessa sylinterissä tulokset olivat samanlaiset, joten moottorin kuntoa voidaan pitää hyvänä.



Kuva 17. Moottorin puristuspaine testi

## 6 Oskilloskooppimittaukset ja sähköinen vianhaku ammatillisessa koulutuksessa

Opetushallitus on määritellyt autoalan perustutkinnon perusteet. Ammatillisen perustutkinnon laajuus on 180 osaamispistettä. Autoalan perustutkinto muodostuu ammatillisista tutkinnonosista (135 osaamispistettä), yhteisistä tutkinnonosista (35 osaamispistettä) ja vapaasti valittavista tutkinnonosista (10 osaamispistettä). Autoalan perustutkinto sisältää kuusi eri osaamisalaa:

- autotekniikan osaamisalan (ajoneuvoasentaja)
- autokorinkorjauksen osaamisalan (autokorinkorjaaja)
- automaalauksen osaamisalan (automaalari)
- automyynnin osaamisalan (automyyjä)
- varaosamyynnin osaamisala (varaosamyyjä)
- moottorikäyttöisten pienkoneiden korjauksen osaamisalan (pienkonekorjaaja).

Autotekniikan osaamisalan ammatilliset tutkinnonosat, yhteensä 135 osaamispistettä jakautuvat auton ja moottoripyörän huoltamiseen (45 osaamispistettä), auton korjaamiseen (45 osaamispistettä). Loput 45 osaamispistettä muodostuvat valinnaisista tutkinnon osista. [2.]

Opetushallituksen määrittelemien ammattitaitovaatimusten mukaan tutkinnon suorittaneen kuuluu hallita mm. käynnistinmoottorin ja latausgeneraattorin kunnan määrittämisen ja vaihtamisen. Tutkintoon kuuluvia valinnaisia osia ovat esimerkiksi sähkövarusteiden mittaaminen ja korjaaminen (15 osaamispistettä) sekä auton korin sähkövarustetyöt (15 osaamispistettä). [2.]

Opetushallituksen määrittelemä tutkinnon sisältö pyrkii vastaamaan mahdollisimman hyvin työelämän asettamiin vaatimuksiin. Työelämässä mekaniikoilta vaaditaan yhä enemmän sähköisten järjestelmien toiminnan ymmärtämistä ja käytännön lisäksi myös teoriaa ilmiöiden taustalla tulee ymmärtää. Sähkötekniikan yhä lisääntyessä ja monipuolistuessa autokorjaamoilla tarvittavien ammattilaisten tarve tulevaisuudessa tuskin vähenee. Ammatillisessa koulutuksessa opiskelijoille saadaan työnantajien silmissä kasvatettua lisäarvoa, kun heillä on valmiudet tehdä sähköistä vianhakua ja vaadittavat taidot esimerkiksi oskilloskoopin käyttöön. Näin ollen sähkötekniikan opetuksen tärkeyttä ei voi liiaksi korostaa. Ammattikouluopetuksessa käytettävänä oleva aika on rajallinen, ja sähkötekniikan perusasiat sekä mittaukset tulee jokaisen opiskelijan hallita hyvin. Tästä huolimatta uusia ja jo jonkin aikaa käytössä olleita tekniikoita, kuten erilaiset väylätekniikat, ei saisi opetuksessa ohittaa.

Käytännön harjoittelussa tulisi opiskelijoille painottaa oikeiden vikadiagnoosien tekemisen tärkeyttä. Esimerkiksi tilanne, jossa moottorinvikavalon on syttynyt ja OBD-vikakoodit luettaessa järjestelmä kertoo vian olevan lambda-anturissa, tulisi oskilloskooppimittauksella varmistaa anturin toiminta. Saattaa olla, että todellinen vika on muualla ja auton järjestelmä tulkitsee vian aiheuttajan väärin. Näin opiskelijoille saadaan luotua toimintamalleja, joita käyttää hyväksi myös työelämässä. Pelkän vikakoodin perusteella tehtävät komponenttien vaihdot voivat aiheuttaa korjaamoille ja asiakkaille turhia kuluja. Opiskelijoille tulisi painottaa sen tärkeyttä, että asiakkaan auto saataisiin kuntoon kerralla.

Käytännön harjoitusten tekeminen oskilloskoopilla voi motivoida opiskelijoita tutustumaan autojen sähköjärjestelmiin enemmän ja syventää tätä kautta heidän tietojensa

esimerkiksi erilaisten antureiden toiminnasta. Motivoijana sähköisiä järjestelmiä kohtaan toimii myös tieto siitä, että koulussa pääsee käyttämään samoja nykyaikaisia laitteita, kuin korjaamoilla ja tutkittavat vikakohteet ovat samankaltaisia kuin työelämässä vastaan tulevat. Tekemällä oppiminen on iso osa ammattikoulutusta ja tätä tukee PicoScope-järjestelmän käyttäjää ohjaava ja opastava luonne. Lisäksi PicoScope-ohjelmistoa pystytään käyttämään off-line-tilassa, jolloin mittauksia pystytään simuloimaan esimerkiksi luokkahuoneessa ilman varsinaista mittauskohdetta. Oskilloskoopin käyttö ja käytön opetus soveltuu ajoneuvoasentajien koulutukseen niin opetushallituksen määrittelemissä kriteereissä kuin myös työelämän asettamien vaatimusten kannalta.

## Lähteet

- 1 Turner, John. 2009. Automotive Sensors. New Jersey: Momentum Press.
- 2 Autoalan perustutkinto. 2014. Verkkodokumentti. Opetushallitus. [http://www.oph.fi/download/162450\\_autoalan\\_pt\\_01082015.pdf](http://www.oph.fi/download/162450_autoalan_pt_01082015.pdf). Luettu 2.11.2015.
- 3 Satakunnan koulutuskuntayhtymä esittely. 2014. Verkkodokumentti. Sataedu. <https://sataedu.fi/sataedu>. Luettu 3.11.2015.
- 4 Nieminen, Simo. 2008. Auton sähkölaitteet. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit.
- 5 Automotive Electrics, Automotive Electronics. 2007. Robert Bosch GmbH. 5th edition. Cambridge: Bentley Publishers.
- 6 Automotive electronics cost as a percentage of total car cost worldwide from 1950 to 2030. 2015. Verkkodokumentti. Statista. <http://www.statista.com/statistics/277931/automotive-electronics-cost-as-a-share-of-total-car-cost-worldwide/>. Luettu 24.11.2015.
- 7 Juhala Matti, Lehtinen Arto, Suominen Matti & Tammi Kari. 2005. Moottorialan sähköoppi, 8. uudistettu painos. Jyväskylä: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- 8 Larsson, Sven. 2006. Autosähkö. Iisalmi: IS-VET.
- 9 Seppälä, Juha. 2006. Bensiinimoottorin ohjaus: Motronic-järjestelmät. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- 10 MOST Cooperation technology introduction. 2016. Verkkodokumentti. The MOST Cooperation. <http://www.mostcooperation.com/technology/introduction/>. Luettu 1.2.2016.
- 11 List of Bluetooth SIG members. 2016. Verkkodokumentti. The Bluetooth SIG. <https://www.bluetooth.com/membership-working-groups>. Luettu 8.2.2016.
- 12 Bluetooth in the automotive industry. 2016. Verkkodokumentti. The Bluetooth SIG. <https://www.bluetooth.com/marketing-branding/markets/automotive-cars>. Luettu 8.2.2016.
- 13 Safety, Comfort and Convenience Systems with communication systems. 2006. Robert Bosch GmbH. Cambridge: Bentley Publishers.

- 14 FlexRay communications system protocol specification version 3.0.1. 2010. Verkkodokumentti. FlexRay Consortium. <https://svn.ipd.kit.edu/nlrp/public/FlexRay/FlexRay%E2%84%A2%20Protocol%20Specification%20Version%203.0.1.pdf>. Luettu 10.2.2016.
- 15 Electrical brake system increases traffic safety and handling of trucks. 2011. Verkkodokumentti. Volvo. [http://www.volvogroup.com/group/global/en-gb/\\_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=104517&News.Language=en-gb](http://www.volvogroup.com/group/global/en-gb/_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=104517&News.Language=en-gb). Luettu 10.2.2016.
- 16 Autojen anturit. 2009. Robert Bosch GmbH. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy.
- 17 Schneeage, Gerald. 2013. Moottorinohjaus. Tunnistimet, rakenne, toiminta ja testaus oskilloskoopilla. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy.
- 18 Tee se itse: Ilmamassamittarin puhdistus. 10.1.2009. Verkkodokumentti. TL-verkkotoimitus. <http://www.tuulilasi.fi/uutiset/tee-se-itse-ilmamassamittarin-puhdistus>. Luettu 1.3.2016.
- 19 Potentiometer, what is a potentiometer? 2016. Verkkodokumentti. Resistor Guide. <http://www.resistorguide.com/potentiometer/>. Luettu 2.3.2016.
- 20 Nieminen, Simo & Aalto, Urho. 2000. Auton moottorin peruskorjaus. Helsinki: WSOY.
- 21 Hickman, Ian. 2001. Oscilloscopes fifth edition. Oxford: Newnes.
- 22 Overview of PicoScope oscilloscopes. 2016. Verkkodokumentti. Pico Technology. <https://www.picoauto.com/products/automotive-oscilloscope-kit/overview>. Luettu 24.4.2016.