

Sauli Kärkinen

# Modernin auton tietotekniikka

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikka

Insinööriytyö

20.11.2017

Tekijä(t) Otsikko	Sauli Kärkinen Modernin auton tietotekniikka
Sivumäärä Aika	35 sivua 20.11.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Ohjelmistotekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Outi Grotenfelt
<p>Nykyautoissa tietotekniikan osuus on suuri; lähes jokainen auton sisällä oleva osa käyttää hyödykseen jollakin tavalla tietotekniikkaa. Autojen tietotekniikka on kehittynyt aikana moottorin ohjauksesta monien järjestelmien ohjaukseen. Tietotekniikan tehtävänä autossa on huolehtia järjestelmien aikataulutetusta ja oikeanlaisesta toiminnasta, auton turvallisuudesta, viestimisestä kuljettajan ja auton välillä sekä monista muista toiminnallisuuksista. Auton sisäinen tietotekniikka lisääntyy koko ajan kovaa vauhtia uusien ominaisuuksien myötä. Kaikista nykyautoista löytyy jonkinlainen tiedonsiirtoväylä, koska väyliä on monenlaisia, näiden välille on kehitetty ympäristö, joka toimii kaikkien väylien välillä (AUTOSAR). Nykyautossa voi olla elektronisia ohjausyksiköitä noin 100 kappaletta.</p> <p>Insinööriyöni aloittaa kuvaus tietotekniikan historiasta autoissa; kuinka tietotekniikka on saanut alkunsa ajoneuvojen kehittyessä ja miten se on kehittynyt nykyaikaan tullessa. Lisäksi käsittelen nykyautojen tietoteknisiä ratkaisuja, joilla tarkoitetaan esimerkiksi erilaisia väyläjärjestelmiä (OBD-, CAN-, FlexRay-, LVDS-, Ethernet- ja IP- verkot sekä AUTOSAR-ympäristö). Kerron myös väylien moduuleista (elektroniset ohjausyksiköt), jotka kommunikoivat keskenään kaikista autoissa tapahtuvista tapahtumista. Työssäni kuvataan myös autojen tulevaisuutta tietotekniikan suhteen sekä tulevaisuuden haasteita ja tapahtumia. Lopuksi kerroin autojen tietoteknisistä turvallisuusratkaisuista, joita ovat muun muassa OnStar ja LoJack.</p>	
Avainsanat	Ajoneuvotietotekniikka, CAN-väylä, AUTOSAR-ympäristö

Author(s) Title	Sauli Kärkinen Information Technology of Modern Car
Number of Pages Date	35 pages 20 November 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information technology
Specialisation option	Software Engineering
Instructor(s)	Outi Grotenfelt, Senior Lecturer
<p>In the modern car there is a lot of Information Technology; almost every piece of a car makes use of it in some ways nowadays. Information technology of cars has evolved from engine control to many system controls. The task of information technology in the car is to take care of the schedules of the systems and the correct operation, car safety, communication between the driver and car, and many other functions. Information technology of car is quickly increasing with new features all the time. Every modern car has some communication bus and consequently there is a developed environment between many different communication buses. That environment works between all communication buses (AUTOSAR). The modern car may have about 100 electronic control units.</p> <p>The study provides a description of the history of cars information technology; how information technology come into being in the evolving of vehicles and how it has developed to this day, together with modern car information technology solutions, for example different bus systems (OBD, CAN, FlexRay, LVDS, Ethernet and IP networks, and the AUTOSAR environment). The study also introduces the bus modules (electronic control units), that communicate with each other about all car events. Furthermore, the paper also discusses the future of cars relative to information technology, and future challenges and events, too as well as. Modern car security solutions for information technology, including OnStar and LoJack.</p>	
Keywords	Vehicle information technology, CAN bus, AUTOSAR

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ajoneuvotietotekniikan historiaa	2
3	Tietotekniikka nykyään	4
3.1	Diagnostiikkajärjestelmä	5
3.2	CAN-väylä	7
3.3	FlexRay-väylä	13
3.4	LVDS-väylä	15
3.5	Ethernet- ja IP-lähiverkot	16
3.6	AUTOSAR-ympäristö	18
4	Moduulit	21
4.1	Moottorin ohjausyksikkö	22
4.2	Vaihteiston ohjausyksikkö	23
4.3	Moottorin ja vaihteiston ohjausyksikön yhteistoiminta	23
4.4	Jarrujen ohjausyksikkö	24
5	Tulevaisuus	25
6	Turvallisuus	28
6.1	OnStar-palvelu	29
6.2	LoJack-palvelu	30
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	32

## Lyhenteet

AUTOSAR	AUTomotive Open System ARchitecture. Järjestelmäarkkitehtuuri ajoneuvon ja ajoneuvontietotekniikan välillä.
CAN	Controller Area Network. Ajoneuvojen, koneiden ja teollisuuden automaatioväylä.
DFI	Digital fuel injection. Elektronisesti ohjattu polttoaineruiskutusjärjestelmä.
ABS	Anti-Lock Braking System. Lukkiutumaton jarrujärjestelmä.
CAN FD	Controller Area Network with Flexible Data-Rate. Automaatioväylä reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon.
ECU	Electronic Control Unit. Elektroninen ohjausyksikkö.
LIN	Local Interconnect Network. Ajoneuvoväylä.
MOST	Media Oriented System Transport. Ajoneuvoväylä.
LVDS	Low-Voltage Differential Signaling. Matalajännitteinen ajoneuvoväylä.
OBD	On-Board Diagnostics. Väylä ajoneuvotietokoneen tapahtumien, toiminnan ja virhetilanteiden tutkimiseen.
GPS	Global Positioning System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
CMS	CAN-based message specification. Määrittää CAN-moduulien tiedonsiirto-protokollat.
NMT	Network management service. Määrittää CAN-verkon järjestelmän protokollat.
DBT	Distributor service. Määrittää CAN-verkon tunnisteen protokollat.

ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
TDMA	Time Division Multiple Access. GSM-verkon aikajakokanavointi.
FTDMA	Flexible Time Division Multiple Access. GSM-verkon joustava aikajakokanavointi.
GSM	Global System for Mobile Communications. Maailmanlaajuinen matkapuhelin järjestelmä.
IP	Internet Protocol. Verkkoprotokolla.
AFDX	Avionics Full-Duplex Switched Ethernet. Lentokonetietoverkko.
OEM	Original Equipment Manufacturer. Alkuperäinen laitevalmistaja.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
DoIP	Diagnostics Over Internet Protocol. Elektroniikkakomponentti ajoneuvon kommunikointiin.
TCP	Transmission Control Protocol. Tietoliikenneprotokolla tietokoneen ja internetin välillä.
UDP	User Datagram Protocol. Tietoliikenneprotokolla.
DBC	CAN-väylän tiedonsiirtoformaatti.
FIBEX	Fieldbus Exchange Format. FlexRay-verkon tiedonsiirtoformaatti.
XML	Extensible Markup Language. Rakenteellinen kuvauskieli.
CPU	Central Processing Unit. Tietokoneen suoritin.
ECM	Electronic Control Module. Elektroninen ohjausyksikkö.

TCU	Transmission Control Unit. Vaihteiston ohjausyksikkö.
PCM	Power-train Control Module. Ohjausyksikkö, jossa yhdistettynä moottorinohjausyksikkö, sekä vaihteistonohjausyksikkö.
VSS	Vehicle Speed Sensor. Ajoneuvon nopeusanturi.
WSS	Wheel Speed Sensor. Renkaan nopeusanturi.
TPS	Throttle Position Sensor. Kaasupolkimen asentotunnistin.
TSS	Turbine Speed Sensor. Turbiinin nopeusanturi.
TFT	Transmission Fluid Temperature sensor. Vaihteistoöljyn lämpötila-anturi.
TCS	Traction Control System. Vakionopeudensäädin.
BCM	Body Control Module. Korin ohjausmoduuli.
ESC	Electronic Stability Control. Ajonvakautusjärjestelmä.
ESP	Electronic Stability Program. Ajonvakautusjärjestelmä.
DSC	Dynamic Stability Control. Ajonvakautusjärjestelmä.
HUD	Head-Up Display. Heijastusnäyttö.
EEE	Energy-Efficient Ethernet. Energiaa säästävä Ethernet-verkko.
V2X	Vehicle-to-Everything. Ajoneuvon ja ympäristön kommunikointi järjestelmä.
WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton lähiverkkotekniikka.
OTA	Over-The-Air. Langaton päivitystenjakojärjestelmä.
PIN	Personal Identification Number. Salasana järjestelmään tunnistautumiseen.

VIN

Vehicle Identification Number. Ajoneuvokohtainen valmistenumero.



## 1 Johdanto

Autotietotekniikka on kehitetty vastaamaan markkinoiden haasteisiin sekä helpottamaan ja tarkentamaan autossa tapahtuvia prosesseja sekä mahdollistamaan nykyinen mukavuustaso. Kun auton ominaisuudet ja lisävarusteet kehittyvät, auton tietotekniikkaa on kehitettävä samalla tahdilla. Tämän insinööriyön tavoitteena on tutkia tietotekniikan haasteita ja mahdollisuuksia autoissa sekä niitä helpotuksia, joita se on tuonut auton valmistajille.

Lähdemateriaali on suurelta osin englanninkielistä, koska lähes kaikki ajoneuvotietotekniikasta tehty tutkimus on kirjoitettu englanniksi. Kotimainen autoteollisuus on vähäistä, jonka seurauksena suomeksi ei ole juurikaan lähdemateriaalia.

Työn tarkoituksena on perehtyä ajoneuvotietotekniikan historiaan, ajoneuvojen nykyaikaisiin tietoteknisiin ratkaisuihin, elektronisten ohjauksyksiköiden (moduulit) toimintaan, tulevaisuuden sovellutuksiin ja tietotekniikan turvallisuuteen. Tavoitteenani on edetä tutkimuksessani siten, että aloitan ajoneuvotietotekniikan historiasta ja jatkan edellä mainitun listan mukaisessa järjestyksessä muiden asioiden käsittelyä.

Tietotekniikka on suhteellisen uusi tekniikka ajoneuvoissa erityisesti nykymuodossaan. Ajoneuvojen ja tietotekniikan yhteys on mielenkiintoinen, sillä se tarjoaa paljon uusia mahdollisuuksia ja erilaisia variaatioita. Mielenkiintoista on nähdä, millä tavoin ajoneuvotietotekniikka tulevaisuudessa kehittyy.

Työn tarkoituksena on antaa lukijalle mahdollisimman laaja, selkeä ja ymmärrettävä kuva autojen ja tietotekniikan yhteydestä. Tarkoituksenani on luoda samalla itselleni parempi ymmärrys tietotekniikasta ajoneuvoissa, sillä tahtoisin työllistyä tulevaisuudessa ajoneuvotietotekniikan pariin.

## 2 Ajoneuvotietotekniikan historiaa

Selvitän seuraavaksi ajoneuvotietotekniikan historiaa, jotta on helpompi nähdä tietotekniikan kehittyminen ajoneuvoissa aikojen saatossa. Ajoneuvotietotekniikan historia pohjautuu pitkälti CAN-väylän kehitykseen, sillä CAN-väylä on ollut yksi suosituimmista väyläratkaisuista. Kyseinen väylä hallitsee edelleen autojen väyläjärjestelmiä.

Toisen maailmansodan jälkeen vuonna 1950 Yhdysvaltojen talous alkoi vilkastua ja kehittyä. Tästä seurasi myös autoteollisuuden runsas kehittyminen. Kehitys eteni ja Chrysler päätti ottaa käyttöön DeSoto-mallissa Bendix Corporation -yhtiön lentokoneita varten kehitetyn tietokonepohjaisen moottorinohjausyksikön (Electrojector). Näiden automallien valmistus jäi pieneksi, koska niiden hinta oli suuri taantuman aikaan. Electrojector keräsi tietoja antureilta, joiden pohjalta se sääti suuttimien aukioloaikaa. Tiedot, joita tietokone käytti hyväkseen säädöissä, olivat moottorin lämpötila, kaasuläpän asento, imusarjan ilmanpaine ja imuilman tiheys. Bendix Corporationin Electrojectoria käytettiin ensin lentokoneissa, mutta se haluttiin saada toimimaan myös autoissa. [1.]

Vuonna 1975 GM (General Motors) otti vuosimallin 1976 Cadillac Sevilla -mallissa käyttöön kotimaisen massatuotetun polttoaineen ruiskutusjärjestelmän, jota ohjasi alkeellinen analoginen tietokone. Järjestelmä koostui analogisesta tietokoneesta, erilaisista antureista, kaasuttimesta sekä kahdeksasta polttoaineen suuttimesta, jotka olivat kiinnitetyinä polttoainekiskoon. Kiskoa pitkin polttoaine ohjattiin moottoriin. Tämä moottorinohjausyksikkö kehitettiin Bendix Corporationin, Robert Boschin ja GM:n yhteistyössä. [2.]

Chrysler otti käyttöön 1976 vuonna Lean Burn -järjestelmän. Järjestelmän tarkoituksena oli säätää saatujen anturiarvojen pohjalta polttoaineen sytytystä. Chrysler kehui tätä yhdeksi tärkeimmäksi moottorinohjauksen kehitysaskelleeksi 1920–1930 luvulta lähtien. Tuolloin manuaalinen sytytys korvattiin automaattisella. Lean Burn -järjestelmässä on kahdeksan anturia sekä elektroninen tietokone, joka säätää sytytystä ajo-olosuhteen mukaan. Tuo keksintö oli jo melko nykyaikainen, sillä tämän päivän autoissa käytetään automaattista polttoaineen sytytystä ja polttoaineen säätöä. [3.]

1980-luvun loppupuolella Cadillac otti käyttöön digitaalisen tietokoneohjauksen, jonka nimeksi tuli Digital Fuel Injection (DFI). Aluksi siitä oltiin kehittämässä monipisteruiskujärjestelmää, mutta kustannusten takia päädyttiin kaksoisruiskutusjärjestelmään kahdella polttoainesuuttimella. Järjestelmän digitaalinen ohjaus mahdollisti tarkemman polt-

toainevalvonnan erilaisten antureiden avulla sekä mahdollisti pienet polttoainejärjestelmän säädöt automaattisesti olosuhteiden muuttuessa. Digitaalinen tietokoneohjaus mahdollisti myös vikakoodien tallentamisen. Niitä voitiin sen jälkeen tutkia vianmäärityksessä. [2.]

1980-luvulla Boschin insinöörit pohtivat olemassa olevien sarjaväyläjärjestelmien sopivuutta henkilöautoihin. Kun tarpeeseen sopivaa sarjaväyläjärjestelmää ei insinöörien mielestä löytynyt, aloitti Uwe Kiencke Bosch -osakeyhtiöstä kehittää sellaista vuonna 1983. Helmikuussa 1986 Bosch esitteli CAN-sarjaväyläjärjestelmän Society of Automotive Engineers -kongressissa. [4.]

Uuden väyläprotokollan tarkoituksena oli mahdollistaa uusien toimintojen saatavuus uusissa autoissa. Tässä sivutuotteena saatiin johdinten lukumäärän vähentyminen, mikä ei ollut kuitenkaan alkuperäinen syy CAN-väylän kehitykseen. Mercedes-Benzin insinöörit osallistuivat jo alkuvaiheessa uuden sarjaväylän kehityksen määrittelyvaiheeseen, ja Intel mahdollisti väylän toteuttamisen tärkeimpänä puolijohdekomponenttijulkaisijana. Professori Dr. Wolfhard Lawrenz nimesi järjestelmän nimellä Controller Area Network (CAN). [4.]

Controller area network (CAN) on ajoneuvon tietotekninen viestintäjärjestelmä sen elektronisten laitteiden välillä. Näitä laitteita ovat esimerkiksi moottorinohjausyksikkö, ABS-jarrut, turvatyyny ja keskuslukitus. Robert Bosch -yhtiö aloitti vuonna 1983 nykyisen väylän (CAN) kehittämisen tarkoituksenaan parantaa autojen laatua, luotettavuutta, turvallisuutta ja polttoainetehokkuutta. Elektroniikka- ja puolijohdeteollisuudessa tapahtuneen kehityksen myötä mekaanisia järjestelmiä alettiin korvata vakaammalla elektroniikkajärjestelmällä, jonka suorituskyky oli parempi. Uusilla tekniikoilla, tuotteilla ja keksinnöillä saatiin sekä lisättyä että parannettua toimintoja. Siitä kehittyi uusi aikakausi autoteollisuudelle. Bosch loi CAN-protokollan, jonka avulla pystytään ymmärtämään elektronisten moduulien välistä viestintää. Tämä julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1986. [5.]

Intelin ja Philipsin valmistamat ensimmäiset CAN-ohjainpiirit tulivat markkinoille vuonna 1987. Ensimmäinen CAN-ohjainpiirillä varustettu tuotantoauto oli BMW:n 8-sarjan auto, joka sisälsi CAN-pohjaisen multipleksikaapelijärjestelmän. [6.]

Bosch julkaisi vuonna 1991 CAN 2.0 -version. Tässä versiossa on kaksi erilaista toteutusta. Nämä ovat CAN 2.0A, jonka tunnisteosa on 11-bittinen sekä CAN 2.0B, jonka tun-

nisteosa on 29-bittinen. Vuonna 1993 CAN-standardista luotiin standardi ISO (International Organization for Standardization) 11898, joka muutettiin myöhemmin kahteen osaan: ISO 11898-1:een, joka koskee tietoliikennekerrosta sekä ISO 11898-2:een, joka koskee fyysisen kerroksen suurta nopeutta käyttävää CAN-järjestelmää. Myöhemmin julkaistiin ISO 11898-3 -standardi, joka koskee CAN-fyysisen kerroksen pieni nopeuksista CAN-järjestelmää. [6.]

2011 vuoden alussa GM ja Bosch alkoivat kehittää yhteistyössä CAN-protokollaa tarkoituksenaan saada suurempi tiedonsiirtokyky. Autoteollisuus kärsi tiedonsiirron hitaudesta, sillä yhä useampia ohjelmistopaketteja ladattiin sähköisiin ohjausyksiköihin (ECU). Bosch ja monet CAN-asiantuntijat kehittivät uuden CAN FD -protokollan helpottaakseen tiedonsiirto-ongelmaa. Tämä CAN FD -protokolla esiteltiin virallisesti vuonna 2012 Saksan Hambachin linnoituksessa. CAN FD -protokollan käyttöönotolla on voitu pidentää 10-20 vuotta CAN-tekniikan käyttöikä. Tämä protokolla on hyväksytty käyttöön seuraavan sukupolven autoissa. Oletus on, että tulevat nykyautojen sovellukset käyttävät kyseistä yhteyskäytäntöä. CAN FD -protokollan hyötykuorman pituus on muokattavissa 0-64 tavun välillä. Kyseinen tiedonsiirtoväylä sallii suuremmat lähetysnopeudet sekä hyötykuormat (64 tavua) aikaisempiin verrattuna. [4.]

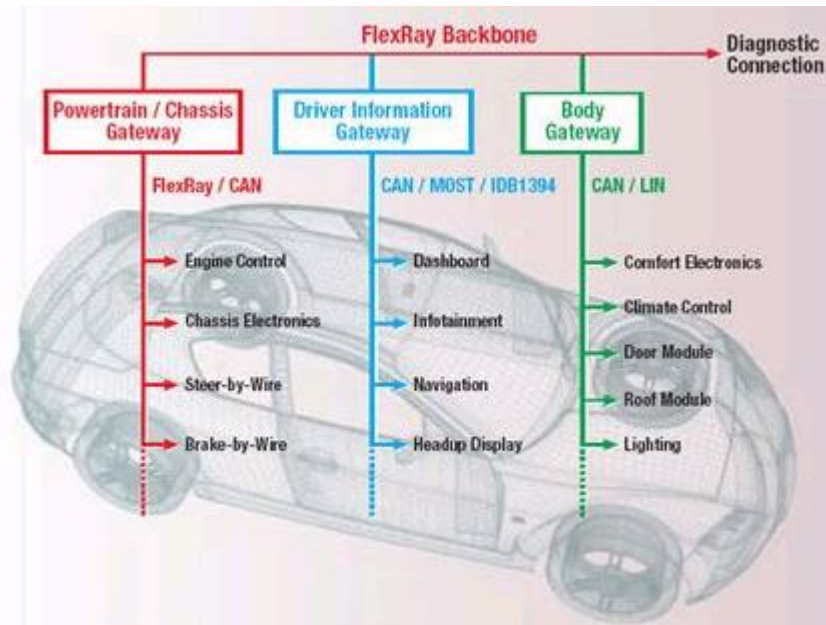
### **3 Tietotekniikka nykyään**

Erilaiset ajoneuvojen sisäiset verkot otettiin käyttöön 1990-luvun alkupuolella. Sisäinen verkko mahdollisti ohjausyksiköiden (ECU) kommunikoinnin toisten ohjausyksiköiden kanssa. Eri autonvalmistajat kehittivät monia erilaisia verkkoja niihin ominaisuuksiinsa, jotka tarvitsivat verkkoa toimintaansa. Näin kehittyi erilaisia verkkoja, kuten CAN, Flex-Ray, LIN, MOST ja J1850. Näistä yleisin on CAN-väylä. Tämän suurin haastaja on Flex-Ray, joka on järjestelmänä kalliimpi. [7.]

CAN-väylä on nykyäänkin käytössä ajoneuvoteollisuudessa arkkitehtuurien kaikilla alueilla voimansiirrosta koko koriin, vaikka se onkin vanha protokolla. LIN-väylätekniikka on kätevä yksinkertaiseen ja kustannustehokkaaseen tietoliikenteeseen alueilla, jotka eivät ole kriittisiä. Jos kaistanleveys ja reaaliaikaisuus eivät täytä vaatimuksia, CAN-väylän tilalta käytetään FlexRay- tai MOST-väylää, mikäli se on taloudellisesti perusteltua. [8.]

Kuvan 1 mukaisesti ajoneuvossa voi olla kannattavuuden mukaan yhdistettynä erilaisia väyläratkaisuja. Valmistajalle tulisi kalliiksi valmistaa esimerkiksi FlexRay-väylällä koko

ajoneuvo, sillä joihinkin kohtiin voi käyttää halvempaa LIN-verkkoa. Ajoneuvoverkko suunnitellaan siten, että se on mahdollisimman kustannustehokas ajoneuvon ominaisuuksien mukaan.



Kuva 1. Auton väyläratkaisu [9]

Edellä kuvailin, minkä nimisiä verkkoja ajoneuvovalmistajat ovat kehittäneet omiin tarpeisiinsa. Tarkoitukseni on kertoa näiden verkkojen pääpiirteistä sekä toimintatarkoituksista. CAN- ja FlexRay-verkot ovat suosituimpia verkkoja tällä hetkellä ajoneuvoteollisuudessa, joten kerron niistä vähän tarkemmin. Kerron myös LVDS-tekniikasta ja AUTOSAR-ympäristöstä. Lopuksi kerron suhteellisen tuoreesta ja tulevaisuudessa kehitettävistä Ethernet- ja IP-ratkaisuista. Alussa avaan OBD-diagnostiikkaväylää, koska se on tärkeä eri väylien tulkinnan kannalta.

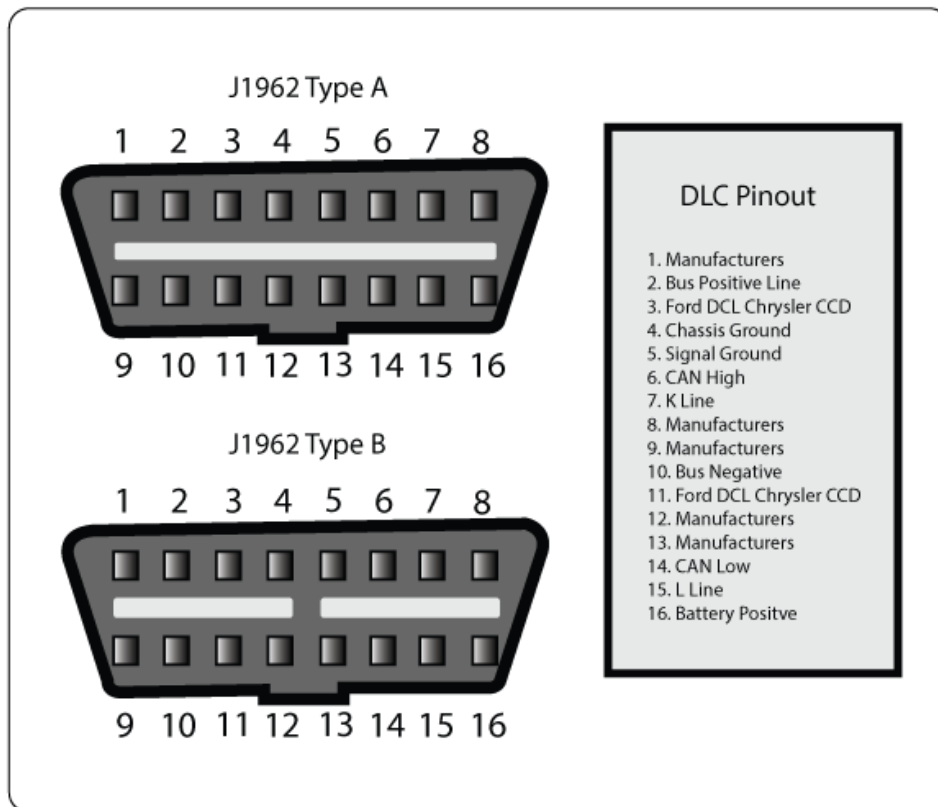
### 3.1 Diagnostiikkajärjestelmä

Diagnostiikkajärjestelmä on auton diagnosointijärjestelmä, jota kutsutaan nimellä OBD (on-board diagnostic). Diagnosointijärjestelmän tehtävänä on valvoa elektronisten ohjauksyksiköiden viestintää. Järjestelmä valvoo anturien toimintaa samaan aikaan, kun autoa käytetään. OBD-järjestelmä tallentaa auton vikatilanteet muistiin. Ajoneuvon virhehistorian voi lukea OBD-pistokkeen kautta tietokoneohjelmalla tai automerkille tarkoitetulla lukulaitteella. Järjestelmästä on kaksi eri versiota: vanhempi, josta käytetään nimi-

tystä OBD-I ja uudempi OBD-II. Tämä OBD-II on käytössä nykyautoissa. Jos ajoneuvossa on OBD-järjestelmä, sen täytyy olla kunnossa. Katsastuksessa katsastaja lukee OBD-portin kautta ajoneuvon vikamuistin. Mikäli siellä on merkintöjä, se johtaa yleensä hylkäävään katsastuspäätökseen. [10.]

Vikakoodinlukija saa OBD-liitäntän kautta käyttövirran, joten lukija ei tarvitse erillistä virtalähdettä. Liittimen kautta voidaan lukea ajoneuvon erilaisia parametreja sekä ohjelmoida ajoneuvolle uusia parametreja. OBD-järjestelmän vikakoodit ovat aina nelinumeroisia, joita edeltää kirjain. Kirjain kertoo, mitä aluetta ajoneuvossa vika koskee. P-kirjain kertoo moottorin ja voimansiirron (powertrain) viasta, B-kirjain kertoo ajoneuvon korin (body) viasta, C-kirjain kertoo alustan (chassis) viasta ja U-kirjain kertoo tietoliikenne (network) viasta. Diagnostiikkaliitin autoissa on naarastyypinen. Näitä on kahta mallia: A- ja B-tyyppi. Molemmat ovat kuvan 2 mukaisesti naaraspuolisia 16-nastaisia D:n muotoisia liittimiä, joissa on kahdessa rivissä kahdeksan nastaa. A-tyypin urosliitintä ei voi kytkeä B-tyyppiseen, mutta B-tyyppisen voi A-tyyppiseen. Tämä johtuu liittimen keskellä olevasta muotoilusta, koska 12V-järjestelmän lukija ei kestä 24V-järjestelmän jännitettä. A-tyypin liitintä käytetään 12V-järjestelmän omaavissa autoissa ja B-tyypin liitintä 24V-järjestelmän autoissa. OBD-II-liittimen on oltava 2 jalan (noin 60 cm) päässä ohjauspyörästä, ja usein se löytyykin kuljettajan jalkatilasta. [11.]

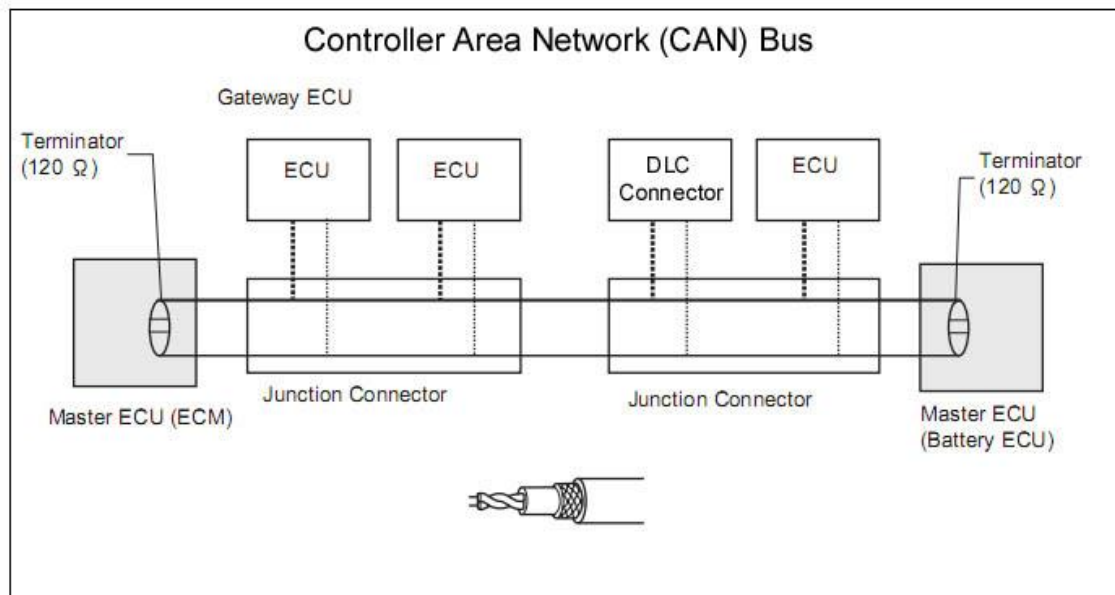
Kuvassa 2 on määritykset liittimien pinneille, joiden järjestys on standardimuotoinen. Autoista vikakoodeja pystyy myös lukemaan yhdistämällä liittimen pinnit tietyllä tavalla, jolloin ajoneuvon vikavallo aloittaa vilkkumisen kojelaudassa. Vilkkumisen määrästä ja nopeudesta voidaan päätellä, mitä vikakoodia vilkutus tarkoittaa. Liitin on pääsääntöisesti tarkoitettu luettavaksi erillisellä lukijalla.



Kuva 2. OBD-II-väylän liittimet ja pinnijärjestys sekä pinnien selitys [12]

### 3.2 CAN-väylä

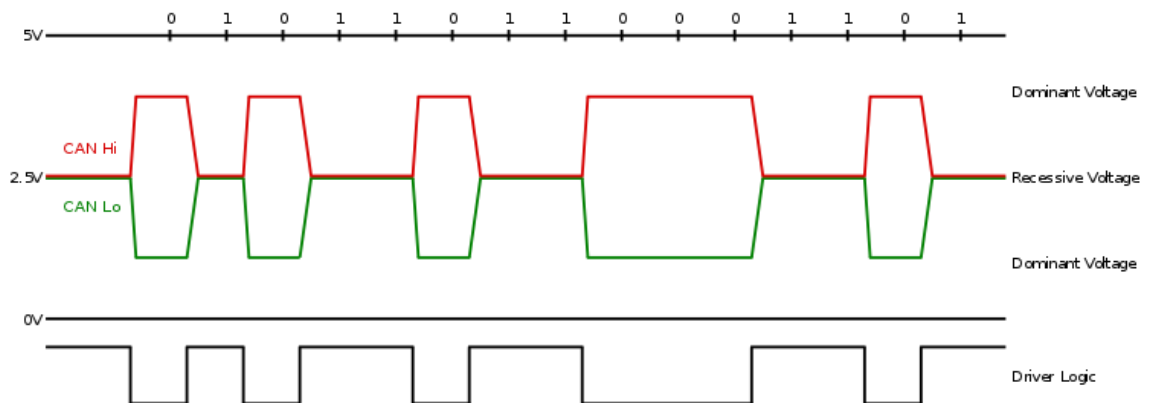
CAN-väylä (controller area network) on ajoneuvoväylästandardi, jossa elektroniset ohjausyksiköt (ECU) voivat välittää tietoja keskenään ilman varsinaista päätietokonetta. ECU tunnetaan myös nimellä solmu. Väylä pitää sisällään aina kaksi tai useampia solmuja. Liitettävän laitteen monimutkaisuus voi vaihdella I/O-laitteesta (input/output laite) sulautettuun tietokoneeseen, jossa on CAN-liitäntä ja jonkinlainen ohjelmisto. Yleensä autoissa on yksi solmu (OBD), jota voidaan käyttää yhdyskäytävänä tietokoneen USB- tai Ethernet-portin ja auton välillä. Solmut ovat liitetty toisiinsa yleensä kierrettyllä parikaapelilla, jossa on 40 kierrosta metriä kohti. Kaapeleista käytetään nimitystä CAN Hi ja CAN Lo. Parikaapelin molemmissa päissä on 120  $\Omega$ :n vastus ja kaikki ohjausyksiköt jäävät näiden välille (kuva 3). [6.]



Kuva 3. CAN-väylän rakennekuva [13]

CAN-väylän toimintaperiaatteena on, että nollabitti kumoo aina ykkösbittin eli nollabitti on dominoiva (tietokehys) ja ykkösbitti on resessiivinen (kyselykehys). Kun yksi solmu kirjoittaa väylälle ykkösbittin ja toinen solmu nollabittin, nollabittin kirjoittanut solmu jää näkyviin väylälle. Tällöin ykkösbittin kirjoittanut solmu huomaa väylästä menettäneensä valtuuden väylään ja voi yrittää myöhemmin uudestaan. [14.]

Jännite vaihtelee CAN Hi- ja CAN Lo -kaapeleiden välillä sen mukaan, mikä on CAN-verkon tilanne. Jos verkossa lähetetään 0-bitti, niin high-johdossa on jännite 3,5 V ja low-johdossa 1,5 V. Kun verkossa lähetetään 1-bitti, molemmissa johdoissa on sama jännite, joka on 2,5 V (kuva 4). [6.]



Kuva 4. CAN-verkon arvon ja jännitteen muutos [15]



CAN-verkon kehysrakenne määrittelee, minkälaisessa muodossa tieto lähetetään verkkoon, jotta muut solmut saavat siitä omiin toimiin tarvittavat tiedon. Tietokehyksestä on kaksi formaattia: standardi-formaatti ja laajennettu formaatti. Kehyksiä on neljä erilaista: sanomakehys, kyselykehys, virhekehys ja ylikuormituskehys. Kuvassa 5 näkyy sanomakehys (data frame). Kehyksen tärkeimpiä kenttiä ovat tunniste-, RTR-, DLC- ja tietokenttä. Tunnistekentän tarkoituksena on kertoa solmuille, mistä viesti on lähtöisin, jotta muut solmut tietävät, tarvitseeko heidän ottaa vastaan viesti. Jokainen solmu tietää, minkä solmujen viestit vaikuttavat solmun omaan toimintaan. Kehyksestä löytyy RTR-bitti, joka kertoo kehyksen tyypin. Mikäli bitti on 0, viesti on dominoiva (tietokehys). Bitin ollessa 1 viesti on resessiivinen (kyselykehys). Kehyksen tietokentän pituuden kertoo DLC-kenttä. Viestin tietokentän koko on 0-8 tavua. Sanomakehys voi olla myös laajennettu, jolloin tunnistekentän pituus on 29 bittiä normaalin 11 bitin sijaan. Kyselykehys (remote frame) ei paljon poikkea sanomakehyksestä. Kyselykehyksellä voidaan lähettää väylälle kyselyitä jollain tietyllä tunnistenumeraalla, jolloin kyseisen tunnistenumeron omistaja lähettää väylälle pyydettyä dataa. Kyselykehyyksen RTR-bitti on aina 0 (resessiivinen), eli jos jonkun toisen solmun RTR-bitti on 1 (dominoiva), niin silloin kyselykehys häviää väylältä. [14.]



Kuva 5. CAN-verkon sanomakehys, jollaisia solmut lähettävät verkkoon. [14]

Virhekehys (error frame) lähetetään väylälle, kun jokin solmu havaitsee vian. Tällä tavoin se auttaa myös muita solmuja havaitsemaan saman vian. Vikaviestin lähettäjä yrittää automaattisesti lähettää viestiä uudelleen, joten väylälle on kehitetty virhelaskurit, joilla varmistetaan, että virhesanomalla ei voida tukkia koko väyläliikennettä. Virhekehys on erikoinen kehys, sillä se rikkoo CAN-väylän kehysääntöjä. Virhekehys koostuu virhelipusta (error flag), jossa on kuusi samanlaista dominoivaa bittiä (rikkoo bitin täyttöä (bit-stuffing) koskevaa sääntöä) sekä virheilmoituksen lopettaa kahdeksan resessiivistä bittiä. [16.]

Ylikuormituskehyyksen (overload frame) lähettää väylälle solmu, joka ei ehdi käsitellä kaikkia vastaanottamia viestejä. Kehyksen tarkoituksena on antaa lisää aikaa solmulle viestien käsittelemiseen. Ylikuormituskehys on hyvin samanlainen kuin virhekehys. Kehykseen sisältyy kaksi kenttää: overload flag, joka virhekehyyksen tavoin koostuu kuu-

desta dominoivasta bitistä sekä overload delimiter, joka koostuu kahdeksasta resessiivisestä bitistä. Ylikuormituskehys ei pidä virhelaskuria niin kuin virhekehys. Keskeytyksen aikana yksikään solmu ei saa aloittaa lähetystä. Väylän muut solmut odottavat niin kauan, että ylikuormituskehysten aiheuttanut solmu lähettää jotakin väylälle. [17.]

CAN-protokollaan on rakennettu sisäinen virheidenkäsittelytoiminto. Tämä on ehdoton CAN-väylän suorituskyvyn kannalta. Kaikki solmut pyrkivät havaitsemaan virheet väylällä. Jos virhe löytyy, hallitseva solmu lähettää virheilmoituksen, joka tuhoaa väylän liikenteen kokonaan, ettei väärä viesti aiheuttaisi ongelmia. Kun muut solmut havaitsevat virheen, joka aiheutti virheilmoituksen, solmut poistavat sillä hetkellä käsittelyssä olevan viestin. Jokainen solmu ylläpitää kahta virhelaskuria: lähetysvirhelaskuria ja vastaanot-  
tovirhelaskuria. Solmu kasvattaa laskureita sen mukaan, minkä verran havaitsee virheitä lähettäessään ja vastaanottaessaan viestejä. Kun toinen arvoista nousee arvon 127 yläpuolelle, solmu muuttuu passiiviseksi. Kun laskurin arvo nousee yli 255, solmu lopettaa toimintansa väylällä eikä se enää kommunikoi väylällä ennen kuin se on taas korjattu. [18.]

CAN-protokolla määrittää vähintään viisi tapaa virheiden havaitsemiseen. Kaksi tapaa toimivat bittitasolla: valvonta ja täyttäminen. Kolme muuta toimivat viestitasolla: kehyksen tarkistus, kuittaustarkistus sekä syklinen redundanssitarkeistus. Sykliset redundanssivirheet havaitaan käyttäen lähettimen laskemaa 15-bittistä CRC-arvoa hyväksi. Jokainen CAN-väylän lähetin valvoo saapuvan kehyksen CRC-arvoa (kuva 5) lähetettyyn arvoon. Mikäli arvot eroavat toisistaan, lähetetään virhekehys väylälle. Kehyksen tarkastus toimii siten, että bittivirheitä tutkitaan vastaanotetun viestin kehyksen CRC-, ACK-, EOF- ja INT-kentistä. Jos solmu havaitsee näissä jonkin virhearvon, tulee tästä virheilmoitus. Kuittaustarkistus tarkoittaa sitä, että jokainen solmu merkitsee aina ACK-kenttään kuittauksen viestin vastaanottamisesta. Jos joltain solmulta ei tule kuittausta, tulee tästä virheilmoitus. Bittien valvonta tapahtuu siten, että lähetin lukee jokaisen lähetetyn bitin. Jos todellisen lukeman arvo eroaa lähetetystä arvosta, tässä havaitaan bittivirhe. Bitin täyttäminen tarkoittaa sitä, että solmu lähettää viisi perättäistä bittiä samasta tasosta ja lisää kuudennen bitin vastakkaiselle tasolle lähtevälle bittivirrälle. Vastaanottimet poistavat tämän kuudennen bitin. Tämä täyttö antaa vastaanottimelle mahdollisuuden havaita virheitä. Mikäli väylällä on enemmän kuin viisi perättäistä bittiä samalla tasolla, täyttövirhe lähetetään. [17.]

CAN-väylää tarvitaan, jotta saadaan kaikki sähköiset tapahtumat tapahtumaan oikeaan aikaan oikeassa järjestyksessä. Esimerkiksi ruiskumoottori tarvitsee kipinän sytyttämään

ilman ja polttoaineseoksen sylinterissä tiettyyn aikaan tehon ja polttoainetehokkuuden parantamiseksi. Myös automaattivaihteiston ohjausyksikkö tarvitsee tietoa nopeuden ja voiman muutoksista, jotta se voi vaihdella vaihdetta sen mukaan. Ennen kuin CAN otettiin käyttöön autoissa, kaikki elektroniset laitteet olivat kytketty toiseen laitteeseen johdinten avulla. Tämä toimi hyvin järjestelmien toimintojen ollessa rajoitettuja. Auton valmistajien yksi suurimmista ongelmista on ollut elektronisten ohjausyksiköiden yhdistäminen siten, että ohjausyksiköt voivat kommunikoida keskenään reaaliajassa. CAN-protokolla suunniteltiin tämän ongelman ratkaisemiseksi. [5.]

CAN-väylän rakenteeseen kuuluu piirejä, joiden sisällä on erilaisia ajoneuvon laitteita. Esimerkiksi CD/DVD-soittimet, GPS-järjestelmä, näytöt ja muut muodostavat yhden piirin. Toisena ryhmänä ovat ilmastointi, ilmastointilaitte, kojelauta ja valaisimet, jotka muodostavat oman piirin. Tällä tavalla kaikki ajoneuvon elektroniset laitteet voidaan luokitella eri piireihin (kuva 6). [5.]

Domain (piiri)	Application Area (toiminta-alue)	Examples (esimerkit)
Power train (voimansiirto)	Moottorin ja vaihteiston toiminta.	Moottorin ohjaus.
Chassis (alusta)	Aktiivinen turvallisuus, ajomekaniikka ja apulaitteet.	ABS, ASC, jousitus.
Body (kori)	Ajoneuvon mukavuus toiminnot.	Ilmastointi, pyyhkijät.
Telemetric (telelaitteet)	Ajoneuvon viihdeyksiköt.	CD/DVD/AUX-soitin, GPS.
Passive safety (turvallisuus)	Ajoneuvon turvallisuus mekanismit.	Pyörimisanturit, Airbag -järjestelmä, turvavyöt.

**Kuva 6. CAN-väylän piirit. [5]**

Alun perin CAN-väylä on suunniteltu autojen sähköisten ohjausjärjestelmien reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon. Tällaista väylää käyttävät ajoneuvon monet yksiköt, kuten moottorinohjausyksikkö, ABS-jarruysikkö ja monet muut yksiköt kommunikoidakseen keskenään. CAN on siis ajoneuvoväylä. Nykyään CAN-väylää sovelletaan kaikkialla muuallakin, esimerkiksi teollisuuskoneissa. CAN-verkon tehtävä on tuoda muut ohjainyksiköt toisilleen näkyväksi. [14.]

CAN-väylä on suunniteltu sitä varten, että suuri määrä johtoja saadaan pois ajoneuvon rakenteista. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi oveen menee kaksi johtoa ovimoduulille, joka kommunikoi muiden moduulien kanssa. Väyläratkaisu tuottaa valmistajalle asennus-, kustannus- ja painosäästöä. Järjestelmältä vaaditaan suurta vastustuskykyä

sähköhäiriöitä kohtaan sekä taitoa diagnosoida ja korjata virheitä itse. Nämä ominaisuudet ovat vaikuttaneet CAN-järjestelmän suureen suosioon eri aloilla. [19.]

Standardisoimisjärjestö ISO on luonut kaksi perusstandardia CAN-väylälle. Standardit ovat ISO 11519-2 ja ISO 11898. Ensimmäinen standardi koskee matalanopeuksista CAN-väylää ja jälkimmäinen suurinopeuksista CAN-väylää. [14.]

Nykyään ISO 11519-2 on korvattu uudella ISO-standardilla. Uusi standardi on ISO 11898-3. Sen ominaisuuksiin kuuluvat pieni nopeus <125 Kbit/s sekä vikasietoisuus. Aikaisemmassa standardissa ei ollut vikasietoisuutta. [20.]

ISO 11898-standardin määrittelyn mukaan standardiin kuuluu oikosulkusuojaus. Standardin mukaan lähettimet eivät hajoa, vaikka väylän johdot olisivat oikosulussa suhteessa toisiinsa, virtalähteeseen tai maadoitukseen. Lähettimet säilyvät ehjinä, vaikka kaapeleiden navat menevät väärin päin, kaapeli hajoaa, syntyy pieni tai suuri virtapiikki tai väylällä ilmenee jokin muu vika. Oikosulkusuojan tarkoitus on suojata rajattomasti. Kun ongelmakohta korjataan, laitteet toimivat suunnitellulla tavalla normaalisti. Laitteet, jotka eivät täytä tämän standardin määrittelyn mukaista toimintaa, saattavat pysyvästi vahingoittua, ja ne joudutaan vaihtamaan. [19.]

CAN-protokolla voidaan luokitella monien muiden verkkoprotokollien tavoin seuraaviin abstraktikerrokseen: sovelluskerrokseen, objektikerrokseen, siirtokerrokseen ja fyysiseen kerrokseen. Objektikerroksen tehtävänä on suodattaa viestejä sekä hoitaa viestien ja tilan käsittelyä. Suurin osa CAN-standardin määrittelyistä koskee siirtokerrosta. Siirtokerroksen tehtävänä on esimerkiksi vastaanottaa fyysiseltä kerrokselta viestejä sekä lähettää niitä eteenpäin objektikerrokselle. Siirtokerros myös suorittaa vianetsintää, virheentunnistusta, viestinvalidointia, tunnustusta, välimiesmenettelyä, viestin kehystämistä, siirtonopeuden ja ajoituksen hallintaa sekä informaation reititystä. [6.]

CAN-protokollan sovellustaso on jaettu kolmeen osaan, joista ensimmäinen on CMS (CAN-based message specification). Se määrittää CAN-moduulien välillä protokollat tiedonsiirtoa varten. Toinen sovellustason osa on NMT (network management service), joka määrittelee protokollat järjestelmän sammutuksen ja käynnistyksen osalta sekä virheiden kirjautumiset ja paljon muita asioita. Kolmas osa DBT (distributor service) määrittelee puolestaan protokollat tunnisteiden jakamisesta järjestelmän eri moduuleihin. [21.]

Fyysinen kerros toimii todellisena väylänä eri solmujen (ECU) välillä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi kaapelointia ja muita fyysisiä laitteita, jotka ovat solmujen välillä yhdistämässä solmuja toisiinsa. Fyysinen kerros hoitaa signaalien lähetyksen käytännössä. Sen vuoksi fyysisen kerroksen tehtäviin kuuluu signaalien bitinajoitus, bitinkoodaus ja synkronisointi. [22.]

### 3.3 FlexRay-väylä

FlexRay on autoteollisuuden verkkokommunikaatioprotokolla, joka ohjaa ajoneuvotietojärjestelmiä. Kyseinen protokolla on suunniteltu nopeammaksi ja luotettavammaksi kuin CAN-protokolla, mutta se on myös tätä reilusti kalliimpi. [23.]

Protokollan kehitys aloitettiin vuonna 1999 autoteollisuuden yritysten yhteenliittymällä. Vuodesta 1999 alkaen monet autoteollisuuden yritykset ovat liittyneet mukaan kehitystyöhön. Tarkoituksena on ollut kehittää ajoneuvoverkkoprotokolla, joka olisi nopea, joustava ja vikasietoinen viestintäprotokolla. FlexRay-verkko otettiin ensimmäisenä käyttöön BMW:n X5 -vuosimallin 2007 autossa. [24.]

FlexRayn kehittänyt yritysten yhteisö hajosi vuonna 2009, mutta FlexRaysta on tehty standardi joukko ISO-standardien joukkoon: ISO 17458-1 - 17458-5. FlexRayn kehityksessä oli mukana ydinosajajina mm. Freescale semiconductor, Robert Bosch -yhtiö, NXP-puolijohteet, BMW, Volkswagen, Daimler ja General Motors. [23.]

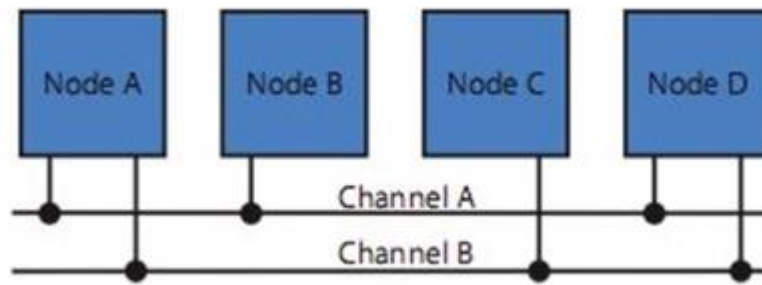
FlexRayn tiedon siirtonopeus on 10 kertaa suurempi kuin CAN-väylän nopeus. FlexRay tukee nopeutta 10 Mbit/s, kun taas CAN-väylä tukee vain 1 Mbit/s. FlexRaylla voi olla kaksi erilaista datakanavaa sen vuoksi, että kyseinen väylä olisi vikasietoisempi. Kun toinen kanava menee vikatilaan, viestittäminen onnistuu toista kanavaa pitkin. Yhdellä kanavalla tieto liikkuu vähän hitaammin, koska kaikki tieto siirretään samaa kanavaa pitkin. Väylä toimii aikajaksolla, joka jaetaan kahteen osaan: staattinen segmentti ja dynaaminen segmentti. [23.]

FlexRayn viestintäjakson aikana staattisella segmentillä on tärkeä rooli: se takaa tasaisen tiedonsiirron, joka on tärkeä hajautettujen ohjausjärjestelmien kannalta. Tämä taa-taan staattisen segmentin taustalla olevalla TDMA-menetelmällä. Kerron TDMA-menetelmästä lisää myöhemmin. Staattiset segmentit on järjestetty useiksi aikaväleiksi, joiden

pituus on sama. Staattisille aikaväleille osoitetut FlexRay-solmut voivat lähettää staattisille aikaväleille osoitetut viestit jaksollisen kommunikation aikana. Edellytyksenä tälle prosessille ovat synkronoidut paikalliset laskurit, joista jokainen kasvaa staattisen lähe-tyksen alussa. Laskurin arvo viittaa tiettyyn staattiseen sanomaan ja FlexRay-solmuun. Kun FlexRay-väylällä on kaksi kanavaa, kanavat voivat toimia viestittämisen nopeutta-jina. Kun molemmat kanavat ovat käytössä, voidaan kanaville asettaa solmut. Solmut voidaan yhdistää molempiin kanaviin tai vain toiseen tarkoituksen mukaan. Mikäli solmut ovat yhdistetty vain yhteen kanavaan, saadaan aikaan nopeampi verkko, sillä tällöin jo-kainen solmu ei lähetä viestejään molemmille kanaville. Mikäli solmu yhdistetään mo-lempiin kanaviin, solmu pystyy viestittämään, vaikka toinen kanava vikaantuisikin. Sol-mun, jonka viestit vastaavat ajoneuvon turvallisuudesta olisi hyvä pystyä viestittämään vikasietoisesti eli vaikka toinen kanava vikaantuisi, turvallisuus ei vaarannu. Vikasietoi-suuden ja datanopeuden valinta tehdään jokaiselle solmulle erikseen. [25.]

Dynaaminen segmentti perustuu FTDMA-menetelmään, jonka ytimenä toimii TDMA-me-netelmä. Vaikka dynaaminen segmentti perustuukin FTDMA-menetelmään, se mahdol-listaa joustavan tiedonsiirron. Dynaamisen segmentin viestintä perustuu ajoitettuihin viestipaikkoihin. Jos lähetetään viesti, viestipaikka kasvaa viestille tarvittavan kokoiseksi. Muutoin viestipaikat pysyvät käyttämättöminä eivätkä kuormita verkkoa. Viesti lähete-tään vain silloin, kun viestillä on sisältöä, toisin kuin staattinen segmentointi lähettää viestejä tietyin väliajoin, vaikka niissä ei olisikaan varsinaista sisältöä. Molemmat kana-vat voivat käyttää itsenäisiä viestijonoja, mikä mahdollistaa nopeamman tiedonsiirron. [25.]

Kuva seitsemän havainnollistaa FlexRayn solmujen (Node) yhdistymistä toisiinsa kana-vien (Channel) kautta. Kuvan 7 mukaisesti solmuille määritellään, ovatko ne yhteydessä yhteen vai kahteen kanavaan. Kuten kuvasta näkyy, solmu A on yhteydessä sekä kana-vaan A että kanavaan B. Vuorostaan solmu B on yhteydessä vain kanavaan A.



Kuva 7. FlexRay-solmujen yhdistyminen kanaviin A ja B [24]

Väylän jokaisella solmulla on väyläajuri, joka toimii solmun ja väylän välissä ja on vastuussa näiden välisestä yhteydestä. Ajuri sekä lähettää tietoa väylälle että vastaanottaa tietoa väylältä. [24.]

FTDMA (flexible time division multiple access) on tekniikka, joka on tarkoitettu käytettäväksi henkilöautoissa. Sen kehitystä ovat ohjannut autotekniikan järjestelmien uudet tarpeet, joita nykyiset ratkaisut eivät voineet täyttää. Tekniikka suunniteltiin ensisijaisesti CAN-verkon rajoitusten voittamiseksi ja korkean suorituskyvyn reaaliaikaisen viestinnän tukemiseksi. Järjestelmä soveltuu pääasiassa ei-reaaliaikaisiin lähetyksiin, mutta sitä voidaan käyttää myös synkronisiin lähetyksiin. [26.]

TDMA (time division multiple access) on tekniikka, jota käytetään matkapuhelimissa esimerkiksi Yhdysvalloissa. Tämä on GSM-tekniikka, jossa kanava jaetaan moniin aikaväleihin eri käyttäjiä varten. Aikavälit ovat erittäin lyhyitä, jolloin onnistuu mahdollisimman moni puhelu samanaikaisesti. [27.]

### 3.4 LVDS-väylä

LVDS (low-voltage differential signaling) on pienjännitetedirektiivi, joka tunnetaan myös nimellä TIA / EIA-644. Tämä on sarjaliikenneprotokolla, joka käyttää differentiaalista signaalointia. LVDS toimii alhaisella virrankulutuksella, ja sillä päästään suuriin tiedonsiirtonopeuksiin edullisilla kuparikaapeleilla. Tämä protokolla on otettu käyttöön vuonna 1994. [28.]

Pääosin LVDS-protokollaa käytetään ajoneuvojen kamera- ja videodatan kuljettamiseen. Protokollan haittapuolena on se, että kuhunkin LVDS-väylän liitäntään voidaan yhdistää vain yksi kamera- tai videolähtö. [29.]

LVDS käyttää differentiaalisignalointia. Tämä tarkoittaa sitä, että se välittää tietoa jännite-eroilla parikaapelia pitkin. Vastaanotin vertailee parikaapelin johtimien jännitettä, josta vastaanotin pääättelee, mitä viesti pitää sisällään. [28.]

LVDS-protokollassa signaali terminoidaan asettamalla noin 100 ohmin vastus parikaapelin päähän. Kaapeleiden eromuotoinen jännite on 350 mV. LVDS:n siirtonopeus on 1 Gbit/s. Etuna tällä signaloinnilla on pienet tehohäviöt johtuen pienestä jännite-erosta. Eromuotoisen signaalisiirron takia häiriöt ovat myös pieniä. [30.]

### 3.5 Ethernet- ja IP-lähiverkot

Ethernet on lähiverkkoratkaisu (local area network). Ethernet-verkko on yksi yleisimmistä lähiverkkoratkaisuista ja ensimmäisenä ympäri maailman hyväksytty lähiverkkotekniikka. Ethernet käyttää OSI-mallin kerroksia 1 ja 2 (fyysinen- ja siirtokerros). Tämä verkkoratkaisu tukee valokuitu- sekä kuparikaapeliyhteyksiä ja verkon suurin mahdollinen siirtonopeus on jopa 10 Gbit/s. [31.]

Ethernet on ollut pidemmän aikaa vakiintunut standarditekniikka toimistotietoliikenteessä, teollisuustekniikassa (ODVA-standardit, Ethernet / IP ja ProfileNet) sekä ilmailuteollisuudessa (AFDX). Nykyaikana Ethernet-verkkoa on paljon tutkittu ja kehitetty, jotta se soveltuisi ajoneuvotekniikkaan. Verkko haluttaisiin ajoneuvoihin käyttöön, koska se mahdollistaa suuremmat tiedonsiirtomäärät ja nopeudet. Kamerapohjaiset ohjausjärjestelmät käyttävät Ethernet-pohjaista verkkoratkaisua. [8.]

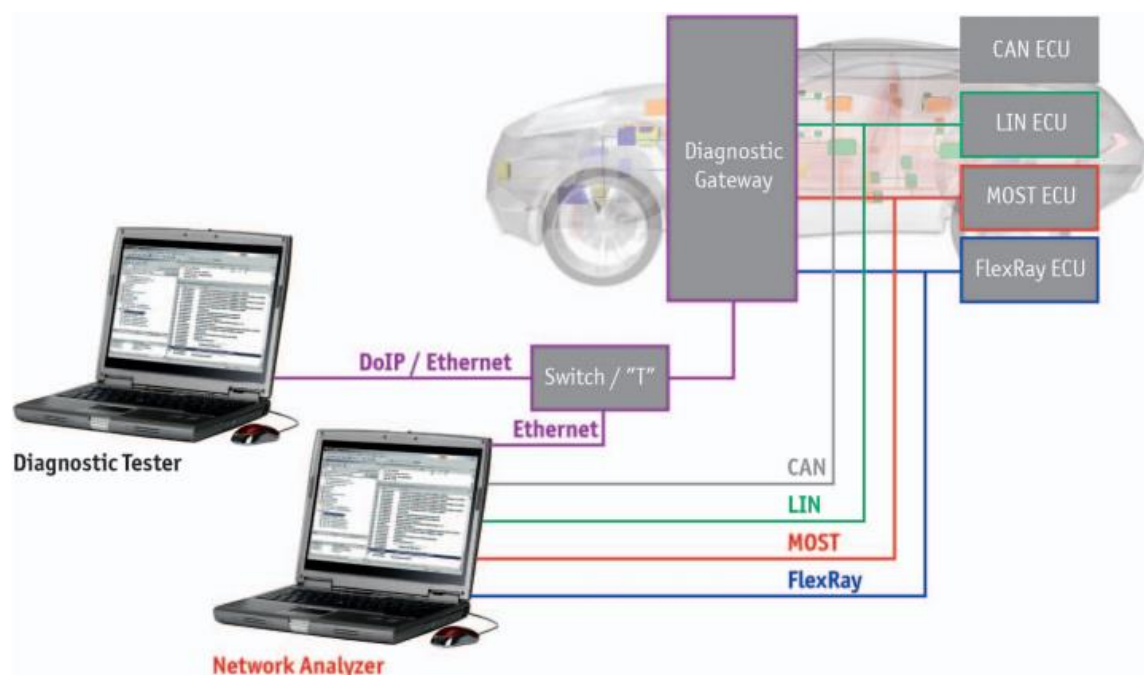
BMW:n kamerapohjainen ohjausjärjestelmä on ensimmäinen ajoneuvotuotannon toteutus IP:n ja Ethernetin yhteiskäytöstä ajoneuvon järjestelmäverkostona. OEM:t (original equipment manufacturer) ja toimittajat käyttävät uutta BroadR-Reach-fyysistä kerrosta painon ja kustannusten säästämiseksi. Tällä kerroksella saadaan aikaan paljon säästöjä painon ja kustannusten suhteen verrattuna nykyiseen LVDS-tekniikkaan. [8.]



BroadR-Reach-tekniikka on fyysisen tason standardi Ethernet-verkossa. Tämä on suunniteltu autoteollisuuden sovelluksiin käytettäväksi. Kyseisen tekniikan käyttö autoteollisuudessa mahdollistaa siirtymisen suljetuista sovelluksista yhdeksi avoimeksi, skaalautuvaksi Ethernet-pohjaiseksi verkoksi. Verkon ansiosta autonvalmistajat voivat sisällyttää autoon useita sähköisiä laitteita ja järjestelmiä, kuten turvaominaisuuksia (360-asteinen surround-järjestelmä, takavalokamerat, törmäyksenestojärjestelmät), mukavuutta sekä tiedotus- ja viihdejärjestelmiä. Ajoneuvoihin soveltuva BroadR-Reach:n Ethernetin fyysisen kerroksen standardi voidaan yhdistää IEEE 802.3 -yhteensopivaan kytkinteknologiaan, joka tuottaa 100 Mbit/s nopeuden suojaamattomaan kierrettyyn parikaapeliin. [32.]

Kuvan 8 tavoin DoIP-tekniikalla (diagnostics over internet protocol) voidaan olla yhteydessä kaikkiin ohjausyksiköihin (ECU), jotka ovat liitettynä eri väyläjärjestelmiin Ethernet-liitännällä. Ajoneuvossa voi olla erilaisia väyläjärjestelmiä erilaisiin tarkoituksiin, kuten kuvassa 8 näkyy (CAN, LIN, MOST, FlexRay, joihin kaikkiin saadaan yhteys samaan aikaan ja samaa linjaa pitkin DoIP-tekniikalla). [8.]

DoIP-tekniikka on autoteollisuuden elektroniikka komponentti, joka toimii diagnostiikka-palveluiden siirtoprotokollana. Määritykset komponentille on määritelty ISO-standardissa 13400-2. [33.]



Kuva 8. Ethernet ja DoIP. [8]

ISO 13400-2 -määrittys mahdollistaa diagnostiikkaviestinnän ulkoisten testauslaitteiden ja ajoneuvon elektronisten komponenttien välillä internetprotokollan (IP), siirtoprotokollan (TCP) ja yhteydettömän protokollan (UDP) avulla. Standardi määrittelee ominaisuudet, joilla ajoneuvo havaitaan verkossa sekä yhdyskäytävän ja sen alikomponenttien viestintämahdollisuudet ajoneuvon erilaisten tilojen aikana. Ominaisuudet on jaettu kahteen tyyppiin: pakollisiin ja vapaaehtoiisiin. Pakollisia ominaisuuksia ovat ajoneuvon verkon integrointi (IP-osoitteen määrittäminen), ajoneuvon ilmoitus ja ajoneuvon löytäminen, ajoneuvon tilatietojen haku (esim. diagnostiikkavirran tila), yhteyden muodostus (samanlaiset viestintäyritykset), yhteyden ylläpito ja ajoneuvon yhdyskäytävän ohjaus, tiedon reititys ajoneuvon alikomponenteille sekä virheiden käsittely. Valinnaisia ominaisuuksia ovat DoIP-yksikön tilanvalvonta ja DoIP-yksikön palomuurin ominaisuudet. [34.]

Ajoneuvotietotekniikassa on tärkeää määritellä tiedonsiirtoformaatti kehitysokalua silmällä pitäen, jotta koodin tuottaminen ja lukeminen olisivat helpompaa. CAN-verkoissa käytetään DBC-formaattia, mutta FlexRay-verkon kehittämisessä käytetään vuorostaan FIBEX-formaattia. DBC-formaatti ei ole enää riittävän nykyaikainen tietokannan formaatti Ethernet- ja IP-pohjaisten järjestelmäverkkojen tapauksessa. Kehitysokalujen toimittajien näkökulmasta olisi hyvä, jos autonvalmistajilla olisi määritelty yhteinen tekninen muotoilu. Tekniseen muotoiluun sopivia formaatteja olisivat FIBEX 4.0 ja AUTOSAR. [8.]

FIBEX (fieldbus exchange format) on tiedonsiirtoformaatti viestipohjaisille väyläjärjestelmille. FIBEX perustuu XML-formaattiin. [35.]

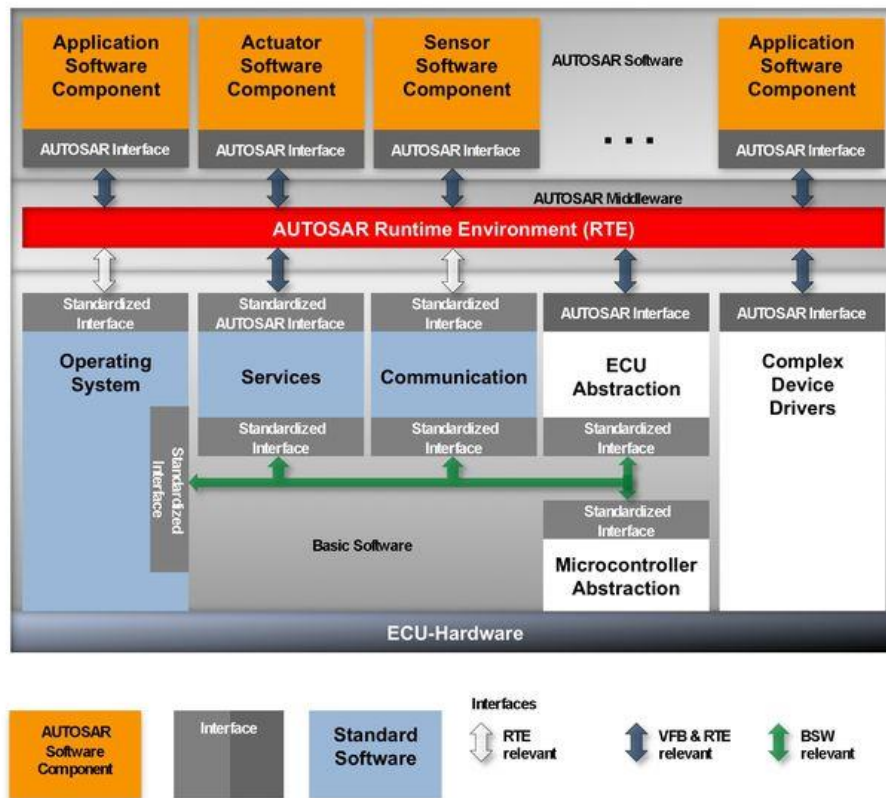
### 3.6 AUTOSAR-ympäristö

AUTOSAR (automotive open system architecture) on auton avoin järjestelmäarkkitehtuuri. AUTOSAR perustettiin vuonna 2003. Tarkoituksena luoda ja vakiinnuttaa avoin ja standardoitu ohjelmistoarkkitehtuuri autojen elektronisille ohjausyksiköille (ECU). Arkkitehtuurin tavoitteena on skaalautuvuus erilaisiin ajoneuvoihin ja alustan vaihtoehtoihin, ohjelmiston siirrettävyys, saatavuuden ja turvallisuusvaatimusten huomioiminen, eri kumppaneiden välinen yhteistyö, luonnonvarojen kestävä hyödyntäminen ja huollettavuus tuotteen koko elinkaaren ajan. AUTOSAR tarjoaa teknisiä tietoja, jotka kuvaavat perusohjelmiston moduulit, määrittelevät sovellusrajapinnat ja luovat yhteisen kehitysmenetelmän, joka perustuu standardoituun vaihtomuotoon. Arkkitehtuuri on suunniteltu

edistämään innovatiivisia sähköisiä järjestelmiä, jotka parantavat suorituskykyä, turvallisuutta ja ympäristöystävällisyyttä sekä helpottavat ohjelmistojen ja laitteiden vaihtoa ja päivitystä ajoneuvon käyttöiän ajan. [36.]

Arkkitehtuurin päätavoitteena on luoda standardoitu kerros sovellusohjelmistojen ja elektronisten ohjausyksiköiden välille (ECU). Arkkitehtuurin tehtävä on toimia riippumatta auton valmistajasta ja ohjausyksiköistä, jotta sitä voitaisiin käyttää erilaisien ohjausyksikköjärjestelmien kanssa. [37.]

AUTOSAR käyttää kolmikerroksista arkkitehtuuria, jota kuvataan tarkemmin kuvassa 9. Sen ensimmäinen osa on perusohjelmisto (standard software), johon kuuluvat standardoidut ohjelmistomoduulit. Niillä ei ole toiminnallista tarkoitusta, mutta ne tarjoavat palveluita, jotka ovat tarpeen ylemmän ohjelmistokerroksen toiminnallisen osan suorittamisessa. Toinen osa on ajonaikainen ympäristö (runtime environment). Se sisältää väliohjelmiston (middleware), joka tiivistää verkon rakenteen ECU-jen väliseen tiedonsiirtoon sovellusohjelmistokomponenttien, perusohjelmistojen ja sovellusten välille. Kolmas osa on sovelluskerros (application layer). Siihen sisältyy sovelluksien ohjelmistokomponentit, jotka toimivat vuorovaikutuksessa käyttöympäristön kanssa. [36.]



Kuva 9. AUTOSAR-ympäristön rakenne [38]

Verkoille tehdään suorituskyvyn testaus, jolla tarkistetaan verkon toteutus sekä yhdenmukaisuus. Verkon täytyy protokollan mukaisesti noudattaa verkon vaatimuksia. Yhdenmukaisuuden testaamisella voidaan taata käyttöön otetun toteutuksen noudattavan asetettuja standardeja. Autoteollisuudessa käytetään seuraavia yhdenmukaisuustestejä: TCP / UDP / IP-yhdenmukaisuustestit autojen kokonaisuudelle ja komponenteille, AUTOSAR-yhteensopivuus, AVB-yhteensopivuus, IET-yhteensopivuus, IEEE-yhteensopivuus. [29.]

Verkolle suoritetaan myös protokollan validointi ja suorituskyvyn testaus. Tämä testaus on verkolle äärimmäisen tärkeä, sillä se takaa sovellusten toiminnan todellisissa olosuhteissa. Se puolestaan edesauttaa laadukasta käyttäjäkokemusta. Nämä testit sisältävät seuraavat toiminnantestaukset: sovellusten suorituskyky, 802.1AS-ajastussynkronointi (tarkkuus ja suorituskyky), A / V -laatu (MOS-pisteytys), IET-suorituskyky ja ajoitus, AUTOSAR-suorituskyky. [29.]

Ajoneuvon Ethernet-kytkimet on testattava uusilla AVB- ja IET-tukiominaisuuksilla. Seuraavilla testeillä suoritetaan kytkimien testaus: jonon varausprotokollien testaus, odottavan paketin menetys, kaistanleveys ja latenssi kaikille palveluluokille, käyttäytyminen, mikäli kytkimeen kytketty laite ei toimi oikein, sekä negatiiviset testitapaukset. [29.]

Komponenteille tehdään stressi- ja luotettavuustestejä. Luotettavuus on ajoneuvoteollisuuden osissa kriittinen, joten jokainen komponentti on testattava normaaleissa käyttöolosuhteissa. Tämä vaatii usein komponenttien testausta laajennetuissa lämpötiloissa tai olosuhteissa laitteen ollessa käynnissä sekä todellisten ohjelmistojen ollessa käynnissä pitkiä aikoja. [29.]

Komponenttien turvallisuuttakin testataan. Autoissa lisääntyy koko ajan yhteydet sekä ohjelmistot. Joillekin automerkeille on jo kehitetty hakkerointikäsikirjoja, joten turvallisuus on kriittisempää kuin koskaan aikaisemmin. Auton valmistajien on varmistettava, että ajoneuvossa on etenkin voimansiirtoalueella useita vikavirtasuojakytkimiä tunkeutumista vastaan, jotta tunkeutuminen olisi mahdollisimman vaikeaa. [29.]

Valmiille ajoneuville suoritetaan valmistustesti. Auton komponenteille, johdinsarjalle ja koko autolle on tehtävä valmistustesti, jolla vahvistetaan auton toimivuus. Autolle suoritetaan seuraavat testit: yhteyksien oikeintoimivuus, liitäntöjen luotettava toiminta (oikea vastus, oikea nopeus, ei tietojen häviämistä), CPU:iden toiminta ja kaikkien edellisten testien toimivuus erilaisissa olosuhteissa. [29.]

Myös ajoneuvon diagnostiikkajärjestelmän toiminta tarkastetaan. Ajoneuvon diagnostiikka voi olla ajoneuvossa sisällä oleva diagnostiikka. Tämä voi olla verkossa oleva ohjausyksikkö, joka toimii muiden ohjausyksiköiden tavoin. Diagnostiikka voi olla myös ajoneuvon ulkopuolinen diagnostiikka, jolloin se yhdistetään ajoneuvoon verkon tunnistamisen avulla. Diagnostiikkalaitteella voidaan diagnosoida koko autoa tai sen osia. Diagnostisten testien on kyettävä simuloimaan laitteita sekä viestimään laitteiden kanssa kaikilla ajoneuvon alueilla. [29.]

#### **4 Moduulit**

Moduulit ovat elektronisia ohjausyksiköitä (ECU), mutta näillä on monenlaisia erilaisia lyhenteitä, joilla kaikilla on erilaisia ominaisuuksia. Nämä ovat kiinteitä laitteita, jotka yh-

distetään jollakin väyläteknikalla toisiinsa. Ohjausyksikön tehtävä on ohjata yhtä tai useampaa sähköjärjestelmää tai sähköjärjestelmän osia. Joissakin nykyautoissa ohjausyksiköitä on jopa 80 kappaletta. [39.]

Jokaisella moduulilla on oma tehtävänsä. Siksi niitä on monia nykyajan ajoneuvoissa. Kun ajoneuvojen elektroniset laitteet ja muut ominaisuudet sekä varusteet lisääntyvät, tarkoittaa se myös moduulien lisääntymistä. Moduuleilla voi olla myös alimoduuleita, jotka toimivat päämoduulin alaisina. Kerron alapuolella tarkemmin muutamista moduuleista.

#### 4.1 Moottorin ohjausyksikkö

Moottorin ohjausyksiköstä käytetään nimitystä ECU, joka tulee englanninkielien sanoista Engine Control Unit. Voidaan myös kutsua nimellä moottorin ohjausmoduuli (ECM). ECU-termiä tässä yhteydessä ei pidä sekoittaa elektroniseen ohjausyksikköön, vaikka lyhenne onkin sama. ECU:n ja ECM:n tehtävänä on ohjata monia sähköisiä laitteita polttomoottorissa optimaalisen suorituskyvyn takaamiseksi. Se lukee arvoja lukuisilta antureilta ja tulkitsee saamia arvoja. Näiden pohjalta yksikkö säätää moottorin säätöarvoja sopiviksi (ilma-polttoaineseos, sytytyksen ajoitus ja joutokäyntinopeus). [40.]

Toimintaperiaatteena on, että happi-anturit kertovat polttoaineen ja ilman suhteen moottorin käydessä. Tämä selvittää sen, käykö moottori rikkaalla vai laihalla. Kaasupolkimen anturi ilmoittaa ECU:lle, minkä verran kaasupoljinta on painettu. Ilmamassamittari puolestaan ilmoittaa, paljonko ilmaa virtaa moottoriin kaasuläpän kautta. Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila-anturi mittaa moottorin lämpenemistä ja jäähdytystä. Mikäli moottori on kylmä, ECU lisää polttoainetta, jotta moottori pysyisi paremmin kylmänä käynnissä. [40.]

Ajoneuvon kierroslukua voidaan tarkkailla kampiakselin asentotunnistimen kautta, jolla on ensisijainen rooli moottorin ajoituksen toiminnoissa, kuten polttoaineen ruiskutuksessa sekä sytytyksen ja venttiilien ajoituksessa. [40.]

## 4.2 Vaihteiston ohjausyksikkö

Vaihteiston ohjausyksiköstä käytetään nimitystä TCU, joka tulee englanninkielen sanoista Transmission Control Unit. Tämän tehtävänä on ohjata autojen sähköisiä automaattivaihteistoja. TCU käyttää auton antureita ja moottorinohjausyksikön (ECU) antamia tietoja laskelmiin: milloin ja miten vaihdetaan auton vaihteita, jotta ajo olisi mahdollisimman suorituskykyistä, polttoainetaloudellista sekä laadukkaimman oloista. Nykyaikaisten automaattivaihteistojen kehitys ja sähköinen valvonta ovat edistyneet huomattavasti viime vuosina. Automaattivaihteisto pystyy toimimaan polttoainetaloudellisemmin, vähentämään päästöjä, vaihtamaan jouhevammin ja nopeammin vaihteita ja parantamaan ajoneuvon käsittelyä. TCU:n suuri ohjelmoitavuusalue mahdollistaa automaattivaihteistojen toimivuuden eri tarkoituksiin sopivilla siirto-ominaisuuksilla. Joissain sovellutuksissa TCU ja ECU yhdistetään yhdeksi yksiköksi voimansiirron moduuliksi (PCM). [41.]

TCU käyttää vaihteiden vaihdossa seuraavia anturitietoja: ajoneuvon nopeusanturia (VSS), pyörän nopeusanturia (WSS), kaasupolkimen asentotunnistinta (TPS), turbiinin nopeusanturia (TSS), vaihteistoöljyn lämpötila-anturia (TFT), kaasupolkimen pohjaan painamista (kick down), jarruvalokytkintä (aktivoituu moottorijarrutus) ja vakionopeuden säädintä (TCS). [41.]

## 4.3 Moottorin ja vaihteiston ohjausyksikön yhteistoiminta

Joissain autoissa käytetään moottorin ja vaihteiston ohjaukseen yhteistä ohjausyksikköä, josta käytetään nimeä PCM. Tämä lyhenne tulee englanninkielen sanoista Powertrain Control Module. PCM käyttää tavallisesti kahta alijärjestelmää: moottorin ohjausyksikköä (ECU) ja vaihteiston ohjausyksikköä (TCU). Moottorin ohjausyksikön tarkoitus on varmistaa optimaalinen suorituskyky moottorille säätämällä moottorin käymiseen vaikuttavia laitteita. Vaihteistonohjausyksikkö vuorostaan ottaa vastaan anturitietoja moottorin antureilta tai TCU:lta. Näiden arvojen perusteella vaihteita vaihdetaan optimaalisesti moottorin suorituskyvyn ja polttoainetehokkuuden kannalta. PCM:n ohjaamia järjestelmiä ovat muun muassa polttoaineen syöttö, automaattivaihteisto, ABS-jarrut jne. PCM:n tarkoitus on myös lähettää kuljettajalle vikailmoitus eli sytyttää vikavalomittaristoon, mikäli se havaitsee vian jossain alijärjestelmissään. [42.]

#### 4.4 Jarrujen ohjausyksikkö

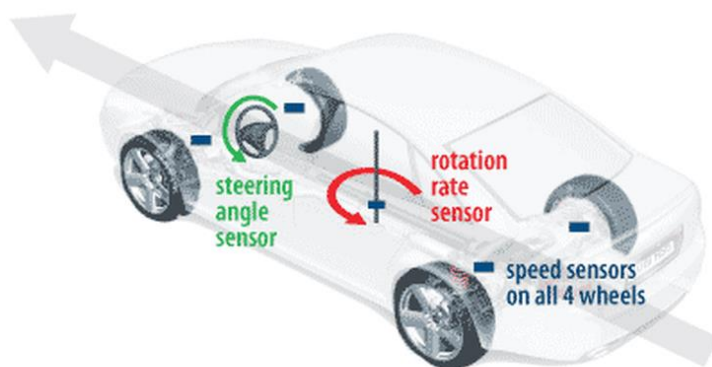
Jarrujen ohjausyksiköstä käytetään nimitystä BCM. Tämä lyhenne muodostuu englanninkielien sanoista Brake Control Module. Ohjausyksikkö huolehtii esimerkiksi ABS-jarrujärjestelmän ja ajonvakausjärjestelmän toiminnasta (ESC, ESP, DSC). [39.]

ABS (anti-lock braking system) on jarrujärjestelmä, joka estää ajoneuvon renkaiden lukkiutumisen jarruttaessa. Järjestelmä lyhentää huomattavasti jarrutusmatkoja sekä mahdollistaa ajoneuvon kääntymisen oikeaan suuntaan kovemmassakin jarrutuksessa, sillä renkaat eivät menetä pitoa kokonaan, koska eivät mene lukkoon. Kun jarrujen ohjausyksikkö havaitsee renkaan lukkiutumisen, se löysää jarrua ja jarruttaa uudestaan. Näin saadaan aikaan lyhyemmät jarrutusmatkat ajoneuvon ollessa koko ajan hallittavissa. Viimeisimmät versiot elektronisista jarrujärjestelmistä pystyvät muuttamaan jarrutusvoimaa tilanteen mukaan etu- ja takapyörien välillä. [43.]

ESC (electronic stability control), ESP (electronic stability program) ja DSC (dynamic stability control) ovat tietoteknisiä tekniikoita, joiden tarkoituksena on parantaa ajoneuvon vakautta tunnistamalla ajoneuvon epävakaa liikkuminen ja reagoimalla sen mukaan pyörienvetoa vähentämällä tai jarruilla jarruttamalla. Kun ajonvakautusjärjestelmä havaitsee ajoneuvon hallinnan menettämisen, se käyttää ajoneuvon jarruja suoristaakseen ajoneuvon kulkusuunnan ohjauspyörän näyttämään suuntaan. Järjestelmän aktivoituessa järjestelmä voi jarruttaa jokaista pyörää erikseen haluamansa verran, jotta ajoneuvon vakaus palautuisi. Joissain ajonvakautusjärjestelmissä on ominaisuus moottorin tehon vähentämiselle siihen saakka, kunnes haluttu vakaus on saavutettu. Ajonvakautusjärjestelmän tarkoitus on minimoida ajoneuvon hallinnan menetykset. Vakuutuslaitoksien ja Yhdysvaltojen kansallisen liikenneturvallisuuslaitoksen mukaan kolmasosa kuolemaan johtaneista onnettomuuksista voitaisiin välttää käyttämällä kyseistä tekniikkaa. [44.]

Tavallisesti ajonvakautusjärjestelmä tarkkailee ajoneuvon liikkeitä erilaisten anturien pohjalta ja on valmiina puuttumaan poikkeustilanteisiin. Järjestelmän tehtävänä on tarkkailla ajoneuvon ohjausta ja ajosuuntaa. Järjestelmä vertaa kuvan 10 mukaisesti kuljettajan suunniteltua suuntaa ajoneuvon todelliseen suuntaan. Se tarkoittaa sitä, että ohjauspyörän kulmaa verrataan ajoneuvon sivuttaiskiivyyteen, ajoneuvon pyörimisliikkeeseen ja yksittäisien pyörien pyörimisnopeuteen. [44.]





Kuva 10. Ajonvakautusjärjestelmän anturit [45]

Ajonvakautusjärjestelmä on tarkoitettu toimimaan kaikilla alustoilla kuivasta liukkaaseen. Se reagoi hallinnan menetykseen tehokkaammin kuin ihminen, usein järjestelmä korjaa ajoneuvon vakautta jo ennen kuin kuljettaja edes huomaa hallinnan menetystä. Yleensä järjestelmä ilmoittaa kuljettajalle, kun järjestelmä on puuttunut ajoneuvon kulkuun, jotta kuljettaja tietää ajoneuvon kulkevan hallittavuuden äärirajoilla. Useimmat ajoneuvot syyttävät kojelautaan merkkivalon tai antavat hälytysäänen. [44.]

## 5 Tulevaisuus

Seuraavaksi ajoneuvojen kehitys suuntautuu ajoneuvojen yhteistoimintaan, eli auto pysyy kommunikoimaan toisten autojen kanssa ja vastaanottaa tietoa esimerkiksi liikenteestä. Seuraavina kehitystavoitteina on ruuhka-ajon automatisointi. Tämä tarkoittaisi sitä, että auto osaisi itsestään pysähtyä ja lähteä etenemään automaattisesti ruuhkassa. Kehitteillä on myös ominaisuus, jossa ajoneuvo kytkeytyy automaattisesti muiden autojen kanssa jonoon. Tämän mahdollistaa ajoneuvojen keskinäinen viestittäminen. Kyseinen ominaisuus lisää turvallisuuksi ja vähentäisi päästöjä. Tulevaisuudessa ajoneuvojen on tarkoitus ajaa itsestään. Tällä hetkellä kehitys on jo pitkällä itsestään ajavien autojen suhteen. Autojen prototyyppinä on jo kehitetty monelle eri automerkille. [46.]

Itseajavia autoja kehittävät muun muassa General Motors, Volkswagen, Audi, BMW, Volvo ja Google. Ajoneuvoilla on ajettu testiajaja yleisillä teillä, mutta ohjaamossa täytyy olla koko ajan matkustajan valmiudessa puuttumaan auton toimintaan. Itseohjautuvilla autoilla on ajettu liikenteen seassa yhteensä noin puoli miljoonaa kilometriä testiajaja ilman yhtään auton aiheuttamaa tapaturmaa. [47.]

Tulevaisuudessa autoon pääsemiseen ei tarvitse käyttää avainta, sillä autoon voidaan tehdä matkapuhelimen tavoin sormenjälkitunnistin, jolla saadaan sekä ovet auki että auto käyntiin. Nykyautoissa on HUD-näyttöjä (head-up display), joille saadaan heijastettua informaatiota, kuten navigaattorin opasteita. Tuulilasi tulee olemaan kokonaan aktiivista lasia, johon voi heijastaa mitä tahansa. Auto voi tulevaisuudessa seurata kuljettajan ja matkustajien terveydentilaa ja mahdollisesti hälyttää apua hätätilanteessa. Tulevaisuudessa autolla voi olla monta erilaista automallia, ja nappia painamalla saadaan esimerkiksi henkilöauto muutettua maastoautoksi. [48.]

Autojen tietotekniikan tulevaisuudessa Ethernet-verkosta on tarkoitus kehittää ajoneuvoihin energiatehokas Ethernet-verkko EEE (energy-efficient ethernet). Yleensä ottaen autossa kaikki sähkökomponentit eivät sammu, vaikka moottori sammutetaan. Kun auto on sammutettu, akku ei varaudu, joten virran kulutus pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi. EEE:n tarkoituksena on katkaista verkko energian säästämiseksi sähkökomponenteilta, joita ei tarvitse sammutetussa autossa. [29.]

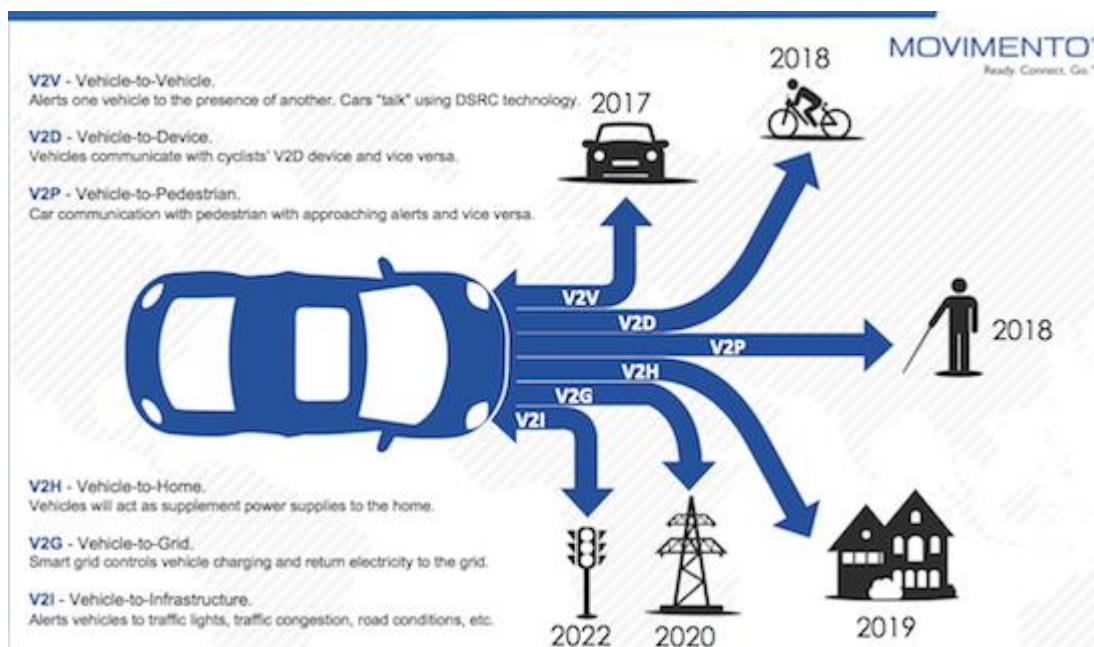
Yritys Frost & Sullivan ennustaa, että vuoteen 2020 mennessä 40 % myydyistä autoista käyttää autoteollisuuden Ethernet-verkkoa. Heidän arviointinsa on, että vuonna 2020 myydään 300 miljoonaa Ethernet-porttia autoissa. Vuoteen 2025 mennessä Ethernet -portillisten autojen määrän odotetaan nousevan 80 %:iin. [29.]

Tietotekniikka yhtiö Intel kehittää tällä hetkellä ajoneuvoihin sopivaa 5G-verkkoa. Tämä verkko mahdollistaisi uskomattoman suuren kaistanleveyden sekä pienen latenssin (paketin edestakainen matka verkossa). 5G-verkko avaa ovet nopeisiin ja turvallisiin verkko-yhteyksiin sekä V2X-sovellutuksiin. [49.]

V2X (vehicle-to-everything) -viestintä tarkoittaa tiedonsiirtoa ajoneuvosta mihin tahansa muualle tai päinvastoin, esimerkiksi ajoneuvo voi viestitellä ympärillä olevien autojen tai infrastruktuurin kanssa (kuva 11). Viestinnän tarkoituksena on saavuttaa turvallisuutta ja energian säästöä liikenteessä. Viestintäjärjestelmällä on yhtenä keskeisenä tavoitteena mahdollistaa itsestään ajavat autot. [50.]

Kuvassa 11 havainnollistetaan V2X-viestintäjärjestelmää, jossa näkyy kaikki järjestelmän osalliset mahdollisine valmistumisvuosineen. Järjestelmä koostuu ajoneuvon lisäksi seuraavista kuudesta alijärjestelmästä:

- V2V (vehicle-to-vehicle) on autosta autoon -järjestelmä, joka varoittaa toisen auton läsnäolosta. Autojen tiedonvälitykseen käytetään DSRC-tekniikkaa.
- V2D (vehicle-to-device) on ajoneuvosta laitteeseen viestintä ja toisin päin.
- V2P (vehicle-to-pedestrian) on ajoneuvossa oleva järjestelmä, joka hälyttää jalankulkijoista ja kulkijoille.
- V2H (vehicle-to-home) on järjestelmä, jossa auto toimii kodin varavirtalähteenä ja toisin päin.
- V2G (vehicle-to-grid) järjestelmä palauttaa auton ylimääräisen sähkön sähköverkkoon takaisin.
- V2I (vehicle-to-infrastructure) on järjestelmä infrastruktuurille, jolloin ajoneuvot keskustelevat esimerkiksi liikennevalojen kanssa tai jakavat tielosuhdetietoja ja muita vastaavia ympäristön asioita.



Kuva 11. V2X-viestintäjärjestelmän kokonaiskuva. [51]

## 6 Turvallisuus

Ajoneuvoissa tietotekniikka lisääntyy hurjaa vauhtia, joten myös tietotekniikan turvallisuuden on lisääntyttävä. Nykyajan autoissa ja kehitteillä olevissa itseohjautuvissa autoissa on paljon laitteita havaitsemassa ympäristöä. Tämä on turvallisuushaaste. Haasteena ovat esimerkiksi liikennevalot. Tunnistaako auto oikein liikennevalon värin, entäpä jos ajoneuvolle langattomasti lähetetään väärää signaalia oikeana? Järjestelmien turvallisuus täytyy pyrkiä toteuttamaan siten, että signaali, jonka ajoneuvo havaitsee, on aito ja oikea eikä huijattu. [52.]

Kun ajoneuvoja aletaan kytkemään toisiinsa ja niitä automatisoidaan, turvallisuus muuttuu suureksi huolenaiheeksi hakkereiden suhteen. Ajoneuvoja pitäisi pystyä suojaamaan kaikilla tasoilla: laitteistossa, ohjelmistossa, verkossa sekä pilvipalveluissa. Intel on lupautunut kehittämään turvallisuustekniikoita näille osa-alueille. [49.]

Seuraavan sukupolven autoissa hakkereiden kohteiksi joutuvat älypuhelimien ja auton integroituminen sekä avaimeton auton käyttö. Kaikki uuden sukupolven uudet ominaisuudet tuovat mukanaan uuden ECU:n, joka tarjoaa mahdollisen hyökkäysrajapinnan ja mahdollisen kytkeytymispisteen. [49.]

Intel pyrkii varmistamaan televiestintäalan johtajien kanssa, että autoteollisuuden liitännätarvikkeet ovat 5G-verkolle turvallisia. Yrityksen kehittämä turvallinen käynnistys-järjestelmä (secure boot) todistaa aidoksi kaikki ohjelmistokomponentit käynnistyksen aikana, jotta mukaan ei ole päässyt ylimääräisiä haittaohjelmia. Kuvan 12 mukaisesti Intelin tarkoituksena on tarjota ohjelmistopäivityksiä turvallisesti pilvestä WLAN-verkon yli (OTA), analysoida ajoneuvon toimintaa sekä ylläpitää asiakastyytyvyyttä. [49.]



Kuva 12. OTA-yhteys [53]

Nykyaikana valmistunut auto saattaa sisältää 100 miljoonaa riviä koodia. Tosiasiassa koodiin sisältyy aina jonkinlaisia virheitä. Esimerkiksi älypuhelimien ohjelmistovirheet tekevät puhelimesta epämukavan käyttää, mutta autoissa ohjelmistovirhe saattaa vaarantaa matkustajan. Nykyään autonvalmistajat voivat kuitenkin langattomasti lähettää uusia ohjelmistopäivityksiä (OTA) autoihin korjaamaan ohjelmistovirheitä. [49.]

Nykyaikana autovarkauksia varten on kehitetty monta erilaista turvaratkaisua, näitä ovat esimerkiksi OnStar, LoJack, ja DNA-tunnistusjärjestelmät. Kerron OnStar- ja LoJack-järjestelmistä lisää alla.

### 6.1 OnStar-palvelu

OnStar-lisävaruste on toiminnassa Yhdysvalloissa. OnStar toimii digitaalisen solukko-verkon kautta ja tämän lisävarusteen asiakkaat voivat ottaa yhteyttä palveluun ympäri vuorikauden, jossa puhelimeen vastaa asiakaspalvelija. Lisävaruste pitää sisällä kolme erilaista palvelumuotoa, jotka saadaan nappia painamalla. Nappejakin on kolme; sininen, punainen ja musta nappi. Sinisellä napilla saadaan yhteys asiakaspalveluun. Punaisellakin napilla saa yhteyden asiakaspalveluun, mutta tällä napilla puhelu ohittaa muut asiakkaat (häätäpuhelu) ja mustalla napilla kuljettaja voi salata ajoneuvon sijainnin (salaus vaatii PIN-koodin). Häätätilanteessa OnStar-varustettu auto havainnoi antureiden

avulla ajoneuvon kuntoa ja sijaintia. Järjestelmällä voidaan esimerkiksi avata auton ovet (OnStar-ohjelma matkapuhelimella), mikäli auton avaimet ovat menneet hukkaan. Tämä seuraa myös GPS-paikannuksen avulla ajoneuvon liikkeitä. Lisäksi operaattorit voivat estää auton käynnistymisen tai nopean ajon. Näitä erilaisia palveluita voidaan ohjata matkapuhelimen avulla eli matkapuhelimesta voidaan esimerkiksi avata ja lukita ovet. Mikäli OnStar-varustellun auton sisäiset anturit huomaavat autoon kohdistuneen onnettomuuden, järjestelmä soittaa automaattisesti hätäpuhelun OnStar-palveluun. Jos autoon ei saada yhteyttä, hälyttää asiakaspalvelija virkavallan paikalle. Asiakaspalvelija voi luovuttaa virkavallalle auton tarkan sijainnin ja kulkusuunnan sekä vauriokuvauksen anturitietojen mukaan. [54.]

## 6.2 LoJack-palvelu

LoJack on yksi tunnetuimmista auton turvallisuuspalveluista. Se käyttää radioseurantaa, joten se helpottaa löytämään varastetun ajoneuvon. Useimmissa seurantavälineissä on sama toimintatapa: pienet lähetin-vastaanottimet on piilotettu autoon ja nämä voidaan jäljittää ulkoisella laitteella, joka käyttää oikeaa taajuutta. Järjestelmällä on tiivis yhteys lainvalvontaorganisaatioiden kanssa, sillä kaikki LoJackin käyttäjät näkyvät poliisin tietokonejärjestelmissä ja jokainen käyttäjä on tunnistettu ajoneuvon tunnusnumerolla (VIN). Kun auto (ajoneuvon VIN-numero) ilmoitetaan varastetuksi, poliisin tietokoneet käynnistävät LoJack-yksikön automaattisesti varastetussa ajoneuvossa. Tällä tuotteella on 24 tunnin takuu, eli jos varastettua autoa ei löydy 24 tunnin kuluessa, palvelun käyttäjä saa rahat takaisin. Tämä järjestelmä on erittäin kallis käytössä. [55.]

## 7 Yhteenveto

Perehdyin insinöörityössäni tietotekniikan ja autojen yhteistyöhön. Löysin siitä hyötyjä, haittoja ja mahdollisuuksia. Tietotekniikka on nykyään integroitunut täysin autoihin emmekä tulisi enää toimeen ilman sitä. Tietotekniikka mahdollistaa monien lisävarusteiden, turvallisuusvarusteiden, aputoimintojen ja mukavuuksien toiminnan. Yksi tietotekniikan suurimmista hyödyistä autoissa on johdotuksien vähentyminen väyläjärjestelmien ja tietoteknistymisen myötä. Autonvalmistajat ovat saaneet vähennettyä tällä reilusti auton massaa, mutta todellisuudessa tietoteknistyminen on tuonut autoihin paljon lisä-, mukavuus- ja turvallisuusvarusteita, jotka lisäävät auton massaa huomattavasti. Ilman tieto-

tekniikkaa autojen varustelu olisi erilaista, koska monet varusteet eivät toimi ilman tietokoneohjausta. Auton ostajalla on yhä enemmän vaatimuksia auton järjestelmien suhteen, mikä pakottaa valmistajat kehittämään uusia järjestelmiä täyttääkseen asiakkaidensa toiveet.

Tämä tutkimus oli helppo aloittaa auton ja tietotekniikan yhteisellä historialla, johdattaen pikkuhiljaa lukijan aiheeseen. Mielestäni historian jälkeen on hyvin luontevaa jatkaa tämänhetkisen autotietotekniikan parissa. Seuraavana kirjoitin ajoneuvoverkon moduuleista, koska se liittyi mielestäni oleellisesti nykytietotekniikan ratkaisuihin. Hyvänä historian jatkumona kirjoitin seuraavaksi tietotekniikan tulevaisuudesta. Sen vuoksi, että turvallisuus ei sinänsä kuulu - tai ainakaan sen ei kuuluisi kuulua - vain historiaan, päätin jättää sen viimeiseksi aiheeksi työssäni.

Työn aiheeksi valikoitui modernin auton tietotekniikka, koska olen erittäin kiinnostunut sekä autoista että tietotekniikasta. Tämän vuoksi halusinkin sovittaa aiheet yhdeksi kokonaisuudeksi. Työn aihepiiri on erittäin monipuolinen ja aiheesta olisi saanut paljon suuremmankin työn aikaiseksi, mikäli aika ei olisi ollut rajallinen. Mielestäni tavoitteet tämän insinööriyön suhteen täytyivät melko hyvin, mutta olisin halunnut tutkia aihetta vielä lisää ja tehdä työstä monipuolisemman. Paremmalla aikataululla olisin mahdollisesti päässyt paremmin tuohon tavoitteeseen.

## Lähteet

- 1 George Mattar. 2005. 1958 DeSoto Electrojector. Verkkodokumentti. <<http://www.allpar.com/cars/desoto/electrojector.html>>. Luettu 20.7.2017.
- 2 Fuel injection history. Verkkodokumentti. <<http://chevythunder.com/fuel%20injection%20history.htm>>. Luettu 20.7.2017.
- 3 The Chrysler Lean Burn engine control system. Verkkodokumentti. <<http://www.allpar.com/mopar/lean-burn.html>>. Luettu 20.7.2017.
- 4 History of the CAN technology. Verkkodokumentti. <<https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>>. Luettu 19.8.2017.
- 5 Bijal Parikh. What is CAN protocol. Verkkodokumentti. <<https://www.engineers-garage.com/article/what-is-controller-area-network>>. Luettu 12.9.2017.
- 6 2017. CAN bus. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)>. Luettu 12.9.2017
- 7 Navet N., Simonot-Lion F. 2009. Trends in Automotive Communication Systems. Verkkodokumentti. <<https://hal.archives-ouvertes.fr/inria-00439105/document>>. Luettu 7.9.2017.
- 8 Hans-Werner Dhaal. 2012. IP and Ethernet in Motor Vehicles. Verkkodokumentti. <[https://vector.com/portal/medien/cmc/press/PON/Ethernet\\_IP\\_Elektro-nikAutomotive\\_201204\\_PressArticle\\_EN.pdf](https://vector.com/portal/medien/cmc/press/PON/Ethernet_IP_Elektro-nikAutomotive_201204_PressArticle_EN.pdf)>. Luettu 21.10.2017.
- 9 Ajoneuvoverkko. Verkkodokumentti. <<https://m.eet.com/media/1052376/fujiitsu0.gif>>. Luettu 9.11.2017.
- 10 2013. OBD. Verkkodokumentti. <<http://www.autowiki.fi/index.php/OBD>>. Luettu 31.10.2017.
- 11 2017. On-board diagnostics. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/On-board\\_diagnostics](https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics)>. Luettu 31.10.2017.
- 12 OBD diagnostic clip. Verkkodokumentti. <<https://www.freeasestudyguides.com/graphics/dlc-data-link-connector.png>>. Luettu 9.11.2017.
- 13 Controller Area Network. Verkkodokumentti. <<https://priuschat.com/proxy.php?image=http%3A%2F%2Fingerix.com%2Fpic%2F%3Fpriuscanbus&hash=c1cedc0b8ab3b949a3b31a1f538ac209>>. Luettu 13.11.2017.



- 14 Alanen J. 2000. CAN-ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. <[http://www.oamk.fi/~eero/ko/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet\\_AlasenMateriaalia.pdf](http://www.oamk.fi/~eero/ko/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlasenMateriaalia.pdf)>. Luettu 20.7.2017.
- 15 2017. CAN hi and CAN lo. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/File:ISO11898-2.svg>>. Luettu 12.9.2017.
- 16 CAN Remote Frame Message. Verkkodokumentti. <<https://www.kvaser.com/about-can/the-can-protocol/can-messages-23/>>. Luettu 16.8.2017.
- 17 Cook J. A., Freudenberg J. S. 2008. Controller Area Network. Verkkodokumentti. <[http://www.eecs.umich.edu/courses/eecs461/doc/CAN\\_notes.pdf](http://www.eecs.umich.edu/courses/eecs461/doc/CAN_notes.pdf)>. Luettu 17.8.2017.
- 18 CAN Bus Error Handling. Verkkodokumentti. <<https://www.kvaser.com/about-can/the-can-protocol/can-error-handling/>>. Luettu 16.8.2017.
- 19 Corrigan S. 2016. Introduction to the Controller Area Network. Verkkodokumentti. <<http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>>. Luettu 21.9.2017.
- 20 2015. CAN-väylä. Verkkodokumentti. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/CAN-väylä>>. Luettu 14.9.2017.
- 21 CAN Application Layer & CANopen. Verkkodokumentti. <<https://www.kvaser.com/about-can/higher-layer-protocols/canopen/>>. Luettu 21.9.2017.
- 22 1995. CAN Specification. Verkkodokumentti. <<http://esd.cs.ucr.edu/webres/can20.pdf>>. Luettu 25.9.2017.
- 23 2017. FlexRay. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/FlexRay>>. Luettu 30.9.2017.
- 24 Kafa W. 2014. The FlexRay protocol. Verkkodokumentti. <<https://www.slideshare.net/wissamkafa/the-flex-ray-protocol>>. Luettu 14.10.2017.
- 25 Introduction to FlexRay. Verkkodokumentti. <[https://elearning.vector.com/index.php?&wbt\\_ls\\_seite\\_id=490516&root=378422&seite=vl\\_flexray\\_introduction\\_en](https://elearning.vector.com/index.php?&wbt_ls_seite_id=490516&root=378422&seite=vl_flexray_introduction_en)>. Luettu 30.9.2017.
- 26 2006. On the Properties of the Flexible Time Division Multiple Access Technique. Verkkodokumentti. <[https://www.researchgate.net/publication/3453538\\_On\\_the\\_Properties\\_of\\_the\\_Flexible\\_Time\\_Division\\_Multiple\\_Access\\_Technique](https://www.researchgate.net/publication/3453538_On_the_Properties_of_the_Flexible_Time_Division_Multiple_Access_Technique)>. Luettu 3.10.2017.
- 27 Heikkilä J., Korhonen P., Paavola M. 1999. Matkapuhelinten sukupolvet. Verkkodokumentti. <<https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s99/htyo/47/2sp.shtml>>. Luettu 30.9.2017.

- 28 2017. Low-voltage differential signaling. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Low-voltage\\_differential\\_signaling](https://en.wikipedia.org/wiki/Low-voltage_differential_signaling)>. Luettu 26.10.2017.
- 29 2014. Automotive Ethernet: An Overview. Verkkodokumentti. <[https://support.ixiacom.com/sites/default/files/resources/whitepaper/ixia-automotive-ethernet-primer-whitepaper\\_1.pdf](https://support.ixiacom.com/sites/default/files/resources/whitepaper/ixia-automotive-ethernet-primer-whitepaper_1.pdf)>. Luettu 26.10.2017.
- 30 2013. LVDS. Verkkodokumentti. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/LVDS>>. Luettu 31.10.2017.
- 31 2017. Ethernet. Verkkodokumentti. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Ethernet>>. Luettu 21.10.2017.
- 32 2017. BroadR-Reach. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/BroadR-Reach>>. Luettu 21.10.2017.
- 33 2015. DoIP. Verkkodokumentti. <<https://de.wikipedia.org/wiki/DoIP>>. Luettu 24.10.2017.
- 34 2012. ISO 13400-2:2012. Verkkodokumentti. <<https://www.iso.org/standard/53766.html>>. Luettu 24.10.2017.
- 35 FIBEX. Verkkodokumentti. <[https://vector.com/vi\\_fibex\\_en.html](https://vector.com/vi_fibex_en.html)>. Luettu 25.10.2017.
- 36 2017. AUTOSAR. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/AUTOSAR>>. Luettu 25.10.2017.
- 37 AUTOSAR. Verkkodokumentti. <<https://www.elektrobit.com/products/ecu/technologies/autosar/>>. Luettu 26.10.2017.
- 38 AUTOSAR Runtime Environment. Verkkodokumentti. <<https://www.autosar.org/about/technical-overview/ecu-software-architecture/autosar-runtime-environment/>>. Luettu 26.10.2017.
- 39 2017. Electronic control unit. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_control\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_control_unit)>. Luettu 4.11.2017.
- 40 2017. Engine control unit. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Engine\\_control\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Engine_control_unit)>. Luettu 4.11.2017.
- 41 2017. Transmission control unit. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Transmission\\_control\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_control_unit)>. Luettu 4.11.2017.
- 42 What Is A Powertrain Control Module (PCM) In Cars. Verkkodokumentti. <<http://drivinglife.net/powertrain-control-module-pcm-cars/>>. Luettu 4.11.2017.

- 43 2017. Anti-lock braking system. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-lock\\_braking\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-lock_braking_system)>. Luettu 4.11.2017.
- 44 2017. Electronic stability control. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_stability\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_stability_control)>. Luettu 6.11.2017.
- 45 ESC-anturit. Verkkodokumentti. <<http://carsafetydesignfeatures.weebly.com/uploads/2/9/1/9/29199549/1937608.gif?727>>. Luettu 9.11.2017.
- 46 Rämä P., Sihvola N., Luoma J., Koskinen S., Aittoniemi E., Kulmala R. 2008. Ajoneuvojen telemaattisten järjestelmien turvallisuusvaikutukset Suomessa. Verkkodokumentti. <<https://www.trafi.fi/filebank/a/1321969256/14bc4add52ad5487bc3fcb785dcc574a/1318-AKE1108Telemaattisetjarjestelmat.pdf>>. Luettu 1.11.2017.
- 47 2017. Robottiauto. Verkkodokumentti. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Robottiauto>>. Luettu 1.11.2017.
- 48 Brauer K. 2015. Top 10 Advanced Car Technologies by 2020. Verkkodokumentti. <<https://www.forbes.com/sites/kbrauer/2015/01/19/top-10-advanced-car-technologies-by-2020/#51e41da26705>>. Luettu 1.11.2017.
- 49 2017. Car of the Future. Verkkodokumentti. <<https://www.intel.com/content/www/us/en/automotive/automotive-security-best-practices-white-paper.html>>. Luettu 8.11.2017.
- 50 2017. Vehicle-to-everything. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-everything>>. Luettu 9.11.2017.
- 51 Vehicle-to-everything. Verkkodokumentti. <[http://eecatalog.com/automotive/wp-content/blogs.dir/67/files/2016/05/Movimento\\_new.png](http://eecatalog.com/automotive/wp-content/blogs.dir/67/files/2016/05/Movimento_new.png)>. Luettu 9.11.2017.
- 52 Itse ajava auto turvallisuuskriittisessä maailmassa. Verkkodokumentti. <<http://galaxychips.yunstock.com/fi/news/Driverless-car-security-in-a-safety-critical-world.html>>. Luettu 1.11.2017.
- 53 OTA. Verkkodokumentti. <[https://d23rjziej2pu9i.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/09/28103154/Prod\\_Int\\_Diagr\\_Conn\\_Car\\_618x468.jpg](https://d23rjziej2pu9i.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/09/28103154/Prod_Int_Diagr_Conn_Car_618x468.jpg)>. Luettu 9.11.2017.
- 54 OnStar-10 Amazing Car Security Systems. Verkkodokumentti. <<https://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/aftermarket-accessories-customization/10-car-security-systems1.htm>>. Luettu 2.11.2017.
- 55 LoJack-10 Amazing Car Security Systems. Verkkodokumentti. <<https://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/aftermarket-accessories-customization/10-car-security-systems2.htm>>. Luettu 2.11.2017.