

Sanna Öman

WLTP-MITTAUSSYKLIN ONROAD-MITTAUKSEN JATKOKEHITYS

Volvo XC60 T8 Twin Engine PHEV

WLTP-MITTAUSSYKLIN ONROAD-MITTAUKSEN JATKOKEHITYS

Volvo XC60 T8 Twin Engine PHEV

Sanna Öman
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Sanna Öman

Opinnäytetyön nimi: WLTP-mittaussyklin OnRoad-mittauksen jatkokehitys

Työn ohjaaja: Hannu Heikkilä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2022

Sivumäärä: 90 + 7 liitettä

Opinnäytetyön tilaajana toimi Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) tekniikan ja luonnonvara-alan yksikön autolaboratorio. Opinnäytetyön aiheena on WLTP-mittaussyklin OnRoad-mittauksen jatkokehitys. Tilaajalla oli tarve harjoitustyölle, jossa päästäisiin soveltamaan uudistuneella Automotive Powertrain Engineering -kurssilla opiskeltuja asioita käytännössä. Opinnäytetyön aihe pohjautuu kahden vaihto-opiskelijan syksyllä 2020 tekemään projektityöhön, joka sittemmin jatkojalostettiin valmiiksi harjoitustyöksi tuleville opiskelijoille tämän opinnäytetyön aikana.

WLTP-mittaus on nykyaikaisissa ajoneuvoissa käytetty maailmanlaajuisen teknillisen säädöksen nro 15 säätelämä päästöjen mittausmenetelmä. Menetelmä keskittyy hiilidioksidipäästöjen mittaamiseen laboratoriossa ja antaa näin kuluttajille puolueettoman vertailukohteen eri ajoneuvojen tuottamista päästöistä. Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, ja opinnäytetyö sisältääkin tietoa WLTP-mittauksen suoritustavasta ja sen vaatimuksista. Lisäksi työssä käydään läpi nykyaikana yleistyvää sähköautotekniikkaa.

Tavoitteena opinnäytetyölle asetettiin WLTP-mittaussyklin suorittaminen luotettavilla tuloksilla ja sen turvallinen suorittaminen muun liikenteen seassa. Suurimpana ongelmana oli ajantasaisen lambda-tiedon saaminen ajoneuvon lambda-anturilta, jotta laskennassa pystyttäisiin huomioimaan kaikki ajotilanteet ja niiden vaikutukset hiilidioksidipäästöihin. Ratkaisuna tähän ajoneuvoon päädyttiin asentamaan toinen lambda-anturi, jonka avulla saatiin ajantasainen tieto kulutetun polttoaineen määrästä. Ajotiedonkeruujärjestelmä päädyttiin lopulta asentamaan ajoneuvoon kiinteästi, jottei se vaurioituisi usean irti- ja takaisinkytkennän seurauksena. Tavoitteena asennukselle oli mahdollisimman huomaamaton asennus niin, että ajoneuvo säilyisi mahdollisimman alkuperäisessä kunnossa. Tavoitteet saavutettiin ja tilaaja oli tyytyväinen niin asennukseen kuin myös valmiiseen harjoitustyöhön ja sen oheisdokumentteihin.

Lopputuloksena työlle oli valmis harjoitustyö, joka sisältää harjoitustyöohjeen ja siihen liittyvät ohjevideot, teknisen dokumentin mittauslaitteistosta ja sen asennuksesta sekä mittauslaitteiston kiinteän asennuksen ajoneuvoon. Näiden lisäksi tuotettiin Oamkin opettajien käyttöön valmiit työpohjat MoTeC:n C125 Dash Manager ja i2 Pro -ohjelmiin. Harjoitustyöohje ja tekninen dokumentti tuotettiin sekä suomen- että englanninkielisinä ja ohjelmien käyttöön liittyvät ohjevideot englannin kielellä.

Suunniteltu harjoitustyö otettiin käyttöön syksyn 2021 opintojaksolla. Harjoitustyötä on mahdollista jatkokehittää etanolipitoisuusmittarin ja sähkömoottorin kuormitustiedon avulla vieläkin tarkemmaksi.

Asiasanat: WLTP, hiilidioksidipäästöt, PHEV-lataushybridi, sähköautotekniikka, opiskelumateriaali

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Mechanical Engineering, Option of Automotive Engineering

Author: Sanna Öman

Title of thesis: Development of WLTP -measurement cycle performed as an OnRoad measurement

Supervisor: Hannu Heikkilä

Term and year when the thesis was submitted: spring 2022

Number of pages: 90 + 7 appendices

The purpose of this thesis was to produce an exercise work for students of automotive engineering at Oulu University of Applied Sciences. An updated course in Automotive Powertrain Engineering had a need for the exercise work that helps students understand learned theory in real-life situations. The assignment was started by two exchange students in the fall of 2020. However, the results were not reliable, and the data acquisition system had not been permanently installed in the vehicle. Removable equipments posed a high risk for a damage to the data acquisition system during storage or during back-and-forth installations in the vehicle.

Thesis main purpose was to produce exercise work which is safe to implement in public roadways and has reliable results. Biggest problem was to get a real-time data from lambda sensor, so that every driving situations can be taken into account. As a solution to this another lambda sensor was installed to a vehicle together with the data acquisition system. Second purpose was to make the installation as unnoticeable as possible for the vehicle users. For this purpose, protective structures were designed and manufactured for the installed components.

As an end result of the thesis were ready exercise work with related instructional videos, technical document of the measurement equipments and their permanent installation to the target vehicle. In addition to these, fully functional templates were made for both of the used softwares, MoTeC C125 Dash Manager and i2 Pro. The templates were made mainly to a teacher's usage.

Keywords: WLTP, CO₂-emissions, PHEV, EV-technology, study material

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	WLTP-MITTAUS.....	9
2.1	NEDC:n ja WLTP:n erot	9
2.2	Mittausilanteen vaatimukset	11
2.3	Mitattavat kohteet	15
2.4	Ajovastusten määrittäminen	18
2.4.1	Ajovastukset.....	19
2.4.2	Rullaustesti	23
2.4.3	Tuulitunnelimittaus	28
2.4.4	Interpolointi- ja ajovastusmatriisiperhe	31
2.5	Ladattavan hybridiajoneuvon mittaaminen	33
2.5.1	Mittauksen suorittaminen	34
2.5.2	Sähkökäytönmittaus.....	36
2.5.3	Ilmoitettavat arvot.....	36
2.6	RDE-mittaustapa	37
3	PHEV-LATAUSHYBRIDI	40
3.1	Voimansiirtolinjan komponentit.....	41
3.2	Virrankulku ja lataus	43
3.3	Väylätekniikat	44
3.3.1	CAN-väylä.....	47
3.3.2	OBD-II.....	51
4	MITTAUSJÄRJESTELMÄN SAATTAMINEN TOIMINTAKUNTOON	56
4.1	Komponenttien valinta	56
4.2	Komponenttien asennus.....	57
4.3	Johdotus.....	62
4.4	Järjestelmän testaus	65
4.5	Harjoitustyössä käytettävät kanavat ja laskentakaavat.....	66
4.5.1	C125 Dash Manager	66
4.5.2	I2 Pro	68
5	TUOTETUT DOKUMENTIT	72
5.1	Harjoitustyöohje.....	75

5.2	Tekninen dokumentointi	77
6	TULOKSET.....	79
7	POHDINTA.....	82
	LÄHTEET.....	84
	LIITTEET	91

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tuotetaan harjoitustyöohje Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) tekniikan ja luonnonvara-alan yksikössä toimivan auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehdon käyttöön. Harjoitustyöohje on tarkoituksena ottaa käyttöön syksyn 2021 Automotive Powertrain Engineering -kursilla. Uudistuneella kurssilla on tarve harjoitustyölle, jolla kurssilla käsiteltäviä asioita voitaisiin havainnoida käytännössä. Tämän vuoksi harjoitustyön oppimistavoitteeksi asetettiin nykyaikaisen päästöjen mittausten tunnistaminen sekä hybridiajoneuvon eri ajotilojen ominaisuuksien havainnointi ja niiden soveltaminen käytännön tilanteissa.

Työn kohteena on Volvo XC60 T8 Twin Engine PHEV:n WLTP-mittaussyklin suorittaminen käytännön ajossa eli niin sanottuna OnRoad-mittauksena. Aloitushetkellä ajoneuvossa oli valmiina työn suorittamista varten irti kytkettävä MoteC L120 -tiedonkeruulaite sekä Excel-taulukko, jossa laskenta oli suoritettu. Alkuperäisen järjestelmän ongelmana oli lambda-tiedon saavuttamattomuus ajoneuvon CAN-väylästä. Siksi esimerkiksi moottorijarrutusten vaikutusta polttoaineenkulutukseen ei voitu huomioida laskettaessa CO₂-päästöjä. Lisäksi tilaajan toiveena oli suorittaa laskenta MoteCin i2 Pro -ohjelmalla, jotta opiskelijat pääsisivät tutustumaan entistä syvemmin ohjelman toimintoihin.

Opinnäytetyössä suunnitellaan asennettavat komponentit, suoritetaan niiden asennus käytössä olevaan ajoneuvoon sekä kootaan valmis työpohja MoteC i2 Pro -ohjelmaan tarvittavine laskenta-kaavoineen. Tämän lisäksi suunnitellaan suoja- ja kiinnitysrakenteet komponenteille sekä tuotetaan tekninen dokumentti asennetuista komponenteista kytkentäkaavioineen. Opinnäytetyön ehkä tärkeimpänä osana voidaan kuitenkin pitää valmista harjoitustyöohjetta sekä siihen liittyviä ohjevideoita.

WLTP-mittaus korvasi aikaisemmin käytössä olleen NEDC-mittauksen vuonna 2018, koska se on aikaisempaa mittaustapaa tarkempi ja antaa paremman kuvan ajonaikaisista päästöistä. Ajoneuvovalmistajien siirtyessä käyttämään uutta mittausten menetelmää on erityisen tärkeää ymmärtää mittaustavan periaatteet sekä sen tulokseen vaikuttavat tekijät. Lisäksi koko ajan yleistyvän sähköautotekniikan tuntemus on tärkeää alalla toimijoille, jotta he pystyisivät pitämään ammattitaitonsa ajan tasalla. Opinnäytetyön lukijan tulee huomioida, että WLTP-mittaus suoritetaan normaalisti

laboratorio-olosuhteissa, eikä siksi opinnäytetyössä esitetyt tulokset ole verrattavissa valmistajan ilmoittamiin tuloksiin.

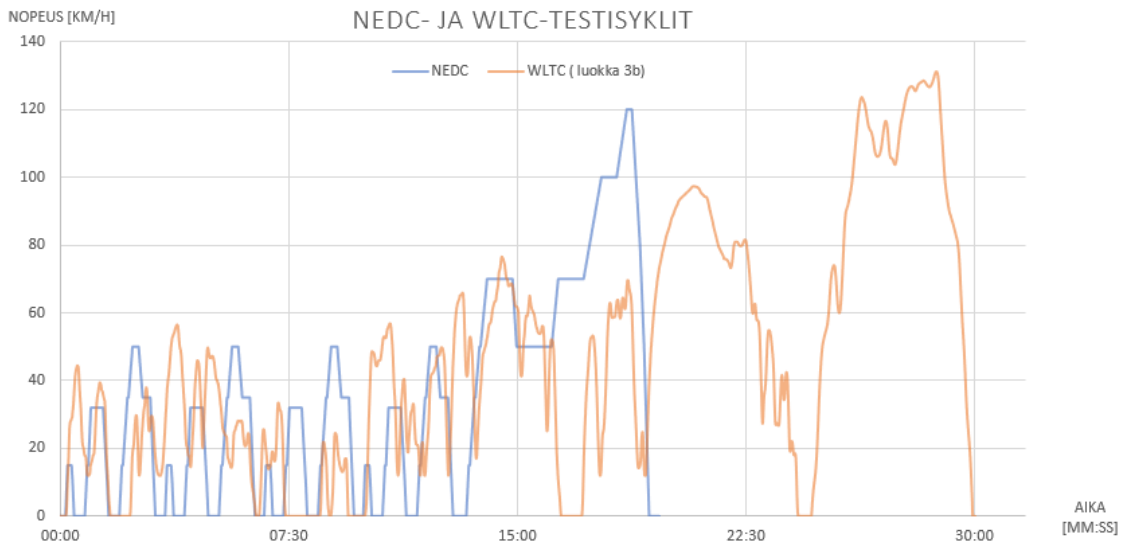
2 WLTP-MITTAUS

WLTP-mittauksella tarkoitetaan UNECE:n maailmanlaajuisen teknisen säännön nro 15, Global Technical Regulation No. 15, säätelemää päästöjen mittaustapaa (1, s. 1). Siirtymävaihe NEDC-mittauksesta WLTP-mittausmenetelmään aloitettiin 1.9.2017, jolloin sitä alettiin käyttämään uusissa ajoneuvotyypeissä ja kaikissa kevyissä ajoneuvoissa 1.9.2018 alkaen. 1.9.2019 katsottiin myös sarjan viimeisten ajoneuvojen, eli niin kutsuttujen häntäluvan saaneiden ajoneuvojen, olevan testattu WLTP-syklin mukaisesti. Tällöin nykyaikainen mittaustapa syrjäytti lopullisesti aikaisemmin käytössä olleen NEDC-mittaustavan. (2, s. L 175/679; 3.)

WLTP-mittaus kehitettiin, jotta laboratoriossa suoritettavat mittaukset vastaisivat paremmin ajonaikaisia CO₂-päästöjä. Ajettavan mittaussyklin kehittämiseen onkin käytetty eri ajoneuvoista kerättyä ajonaikaista dataa. (1, s. 3, 6.) Mittaustavan tarkoituksena on yhtenäistää maailmanlaajuisesti päästöjenhallintaa sekä antaa kuluttajille mahdollisuus vertailla ajoneuvojen päästöjä tasapuolisesti. Laboratoriossa suoritettu mittaus mahdollistaa tasa-arvoisen arvostelun, sillä testausolosuhteet ovat kaikille ajoneuvoille samanlaiset huolimatta siitä, missä maassa tai paikassa mittaus on suoritettu. WLTP-mittaus luo perustan uusien ajoneuvojen tyyppihyväksynnälle. Suomessa uusien ajoneuvojen ajoneuvoveron perusvero perustuu pääosin WLTP-mittauksen perusteella suoritettujen CO₂-pitoisuuksien määrään. Mikäli CO₂-arvoa ei ole saatavilla, ajoneuvon vero määräytyy ajoneuvon kokonaismassan perusteella. (1, s. 6–7; 4.)

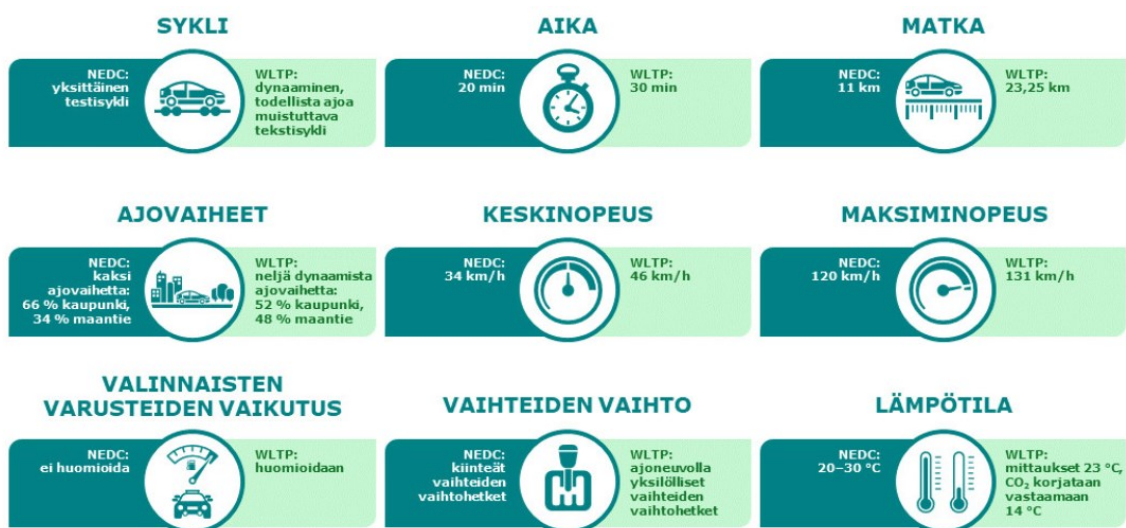
2.1 NEDC:n ja WLTP:n erot

Suurimpana erona NEDC-mittaustapaan on WLTP-mittaukseen lisätyt ajosykli, joiden vuoksi uudessa mittaustavassa on pidempi ajomatka ja -aika. NEDC-mittaussykliin keskittyessä suurimmilta osin kaupunkiajoon on nykyaikaisessa mittaustavassa pyritty tasaamaan testisyklin aikana maantiellä ja kaupungissa ajettavien matkojen pituuksia. Ajosyklien muutosten seurauksena myös keski- ja maksiminopeuteen on tullut muutoksia niiden ollessa uudessa mittaustavassa noin 10 km/h suurempia edelliseen mittaustapaan nähden. Näin ollen lisätyt testisykli saavat uudistuneen mittaustavan vastaamaan paremmin ihmisten jokapäiväistä ajoa (kuvio 1). (5.)



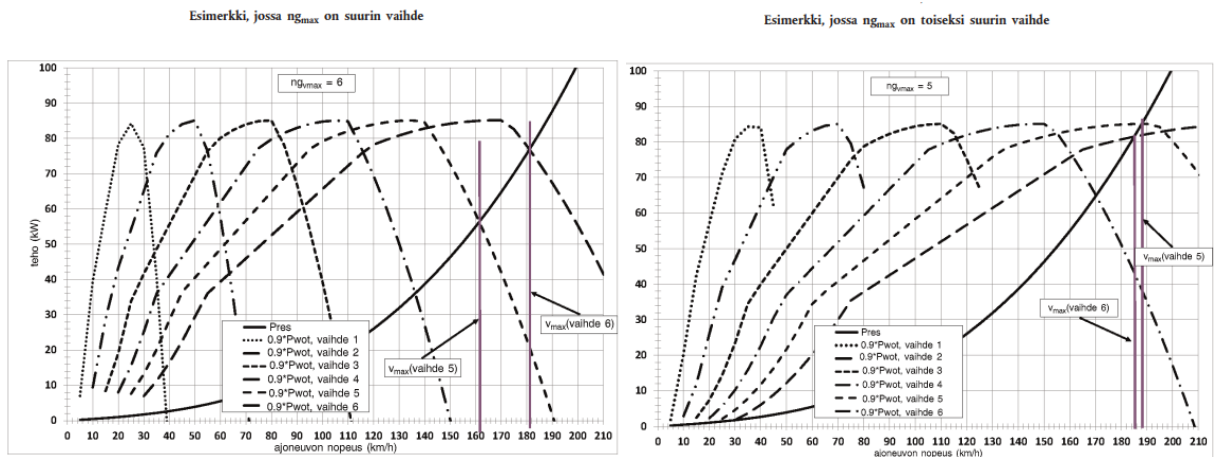
KUVIO 1. NEDC- ja WLTC-testisyklit (6, s. L 175/398–L 175/418; 7, s. 109–110)

Ajosyklien parantamisen lisäksi uudessa mittaustavassa on pyritty huomioimaan entistä paremmin ajoneuvoikohtaiset eroavaisuudet ottamalla huomioon eri ajoneuvoissa olevien lisävarusteiden vaikutukset polttoaineen kulutukseen, ja täten myös CO₂-päästöihin (5). Esimerkiksi lisävarusteena saatavilla korkeussäädettävillä ilmajousilla on vaikutusta niin ajoneuvon massaan kuin myös ilmanvastukseen (6, s. L 175/444; 8, s. 9). Muina merkittävänä lisävarusteina voidaan pitää ajoneuvon rengas-vannepaketteja, jotka kokonsa ja ominaisuuksiensa puolesta vaikuttavat ajoneuvon massaan ja vierintävastukseen (8, s. 17). Kuviossa 2 on esiteltyä tarkemmin NEDC- ja WLTP-mittaus-tapojen eroavaisuudet.



KUVIO 2. NEDC- ja WLTP-mittauksen erot (5)

Manuaalivaihteista ajoneuvoa testattaessa WLTP-mittauksessa ei myöskään ole enää käytössä määrättyjä vaihteiden vaihtamispisteitä, vaan ne määritetään erikseen jokaiselle ajoneuvolle (5). Määrittämisen kriteerinä on, että käytettävällä vaihteella tulee pystyä voittamaan ajovastus ja kiihdyttämään moottori vaadittavaan nopeuteen. Käytettävissä olevat vaihteet lasketaan moottorin kierrosluvun ja täyden kuorman tehokäyrien perusteella (kuvio 3). Testitilanteeseen valitaan näistä suurin käytettävissä oleva vaihde. (6, s. L 175/428, L 175/433–L 175/434.)



KUVIO 3. Käytettävän vaihteen määrittämiseen käytettävä teho-nopeuskäyrä, jossa Pres kuvaa ajovastusten voittamiseen vaadittavaa tehoa (6, s. L 175/430– L 175/431)

Käytettävä vaihde tulee kuitenkin valita niin, että vaihtosarja on mahdollista toteuttaa käytännön ajossa ajettavuuden säilyessä mahdollisimman hyvänä. Ajettavuuden maksimoimiseksi esimerkiksi liikkeellelähdöt tulee toteuttaa aina ykkösvaihteella. Jotta kiihdytyksien aikana vältettäisiin liian tiheät vaihtevaihdot tulisi jokaisella vaihteella ajaa vähintään kahden sekunnin ajan. Myöskään vaihteita ei saisi jättää välistä kiihdytyksen aikana, vaan ne tulisi vaihtaa nousevassa järjestyksessä esimerkiksi seuraavalla tavalla: 1-2-3. (6, s. L 175/434.)

2.2 Mittaustilanteen vaatimukset

GTR nro 15 -säännössä on kerrottu hyvin tarkkaan mittaustilanteen vaatimukset niin mittaus olosuhteiden kuin ajoneuvon mittauskunnan suhteen. Taulukossa 1 on esitettyinä mittausympäristön vaatimuksia. Taulukossa esitettyjen asioiden lisäksi mittaustilanteessa pyritään huomioimaan ajonaikaiset vastukset sekä tienpinnasta aiheutuva kitkavoima. Koska testiympäristön olosuhteet vaihtelevat tulee mitatut tulokset korjata taulukossa 1 olevien referenssiarvojen mukaan GTR nro

15 -säännössä esitettyjen korjauskertoimien laskukaavoilla. (6, s. L 175/357–L 175/358, L 175/437, L 175/453–L 175/454.)

TAULUKKO 1. Vertailuolosuhteet (6, s. L 175/358–L 175/359, L 175/438, L 175/441, L 175/465, L 175/525)

Kohde	Referenssiarvot	Vaatus	Mittaustarkkuus
Ilmanpaine	$p_0 = 100 \text{ kPa}$	-	Ajovastusten määrittäminen: $\pm 0,3 \text{ kPa}$ Testaussolu: $\pm 0,1 \text{ kPa}$
Laboratorion lämpötila	$T_0 = 20 \text{ °C}$	Tuulitunneli: $20 \pm 3 \text{ °C}$ Testaussolu: $23 \pm 5 \text{ °C}$	$\pm 1,5 \text{ °C}$
Ilmankosteus	-	$5.5 \leq X \leq 12.2$ g H ₂ O/kg dry air	$\pm 1 \text{ g H}_2\text{O /kg dry air}$
Ilmantiheys	$\rho_0 = 1,189 \text{ kg/m}^3$	-	-
Tuulen nopeus	0 m/s	Testiradalla: Max. 7 m/s Tuulitunnelissa: mahdollisuus min. 38,8 m/s	Ajovastusten määrittäminen: $\pm 0,3 \text{ m/s}$

Ajoneuvon tulee olla teknisesti hyvässä kunnossa, eikä sen pakokaasujärjestelmässä saa esiintyä vuotoja mittaustulosten vääristymisen ehkäisemiseksi. Myöskään ajoneuvon asetuksiin tai voimansiirtoon ei saa tehdä muutoksia vaan niiden tulee olla alkuperäisessä kunnossa. Ajovastuksia määritettäessä tulee ajoneuvolla olla ajettuna vähintään 10 000 km ja enintään 80 000 km, kuitenkin valmistajan erillisestä pyynnöstä vähimmäisajomäärä voidaan pudottaa 3 000 km. Testitilanteessa puolestaan ajoneuvolla tulee olla ajettu enintään 15 000 km ja vähintään 3 000 km. Testitilanne ja ajovastusten määrittäminen voidaan siis ajaa eri ajoneuvoilla, kuitenkin niin että ajoneuvot ovat samaa sarjaa keskenään. (6, s. L 175/444, L 175/526).

Renkaiksi tulee valita suurimman energia tarpeen omaavat renkaat, jotka ovat alkuperäisvarusteena ajoneuvossa. Mikäli renkaan vaikutukset ajovastuksiin eivät ole tiedossa, tulee käyttää suurinta odotettua arvoa kyseiselle rengas-vannepaketille. Yleensä suurinta vaikutusta ajovastuksiin voidaan odottaa sallittujen renkaiden -listan renkailta, joilla on suurin halkaisija ja leveys. Myös vanteen ulkonäöllä on vaikutusta ajovastusten muodostumiseen, sillä mitä avoimempi vanteen ulkonäkö on sitä suurempi on sen vaikutus ajovastuksiin. (6, s. L 175/442, L 175/527.) Renkaiden valmistus päivämäärä ei saa ylittää kahta vuotta ja niiden urasyvyyden tulee olla vähintään 80 % alkuperäisestä urasyvyydestä mitattuna mistä kohtaan tahansa renkaan kulutus pintaa. Ennen ajovastusten määrittämistä renkailla tulee olla ajettu vähintään 200 km. Tämän jälkeen renkailla saa ajaa enintään 500 km ennen varsinaisen testin suorittamista. Mikäli 500 km raja ylittyy, ajovastusten ja testitilanteen välillä, tulee renkaiden urasyvyys mitata uudelleen. Mikäli kulutus pinta on alle sallitun tulee ajoneuvoon asentaa uudet renkaat. Rengaspaineet tulee asettaa valmistajan ilmoittamista arvoista pienimpään mahdolliseen, ottaen huomioon rullaustestiä varten ilmoitettu testimassa. (6, s. L 175/445–L 175/446.) Kuitenkin itse testitilanteessa rengaspainetta voidaan nostaa 50 % yli valmistajan ilmoittaman vähimmäisarvon (6, s. L 175/527).

Kaikki pyörän asentokulmat tulee asettaa ensisijaisesti valmistaman ilmoittamiin arvoihin. Mikäli näitä arvoja ei ole saatavilla, tulee auras- ja camber-kulmat asettaa valmistajan antaman asteikon maksimi poikkeamaan ajoneuvon pitkittäisakselista katsottuna. Muut säädettävissä olevat kulmat säädetään arvoihin, jotka saadaan ottamalla aritmeettinen keskiarvo valmistajan ilmoittaman asteikon arvoista. (6, s. L 175/444.)

Mittauksen perustana on WLTC-mittaussyklit, jotka jaetaan ajoneuvon ominaismassa-tehosuhteen ja maksiminopeuden mukaan taulukossa 2 näkyviin luokkiin. Testisyklin aikana nopeusluokat ajetaan hitaimmasta nopeimpaan, joissa kussakin nopeusluokassa pyritään simuloimaan eri ajotilanteita, kuten ajoa kaupunki-, maantie- ja moottoritiealueilla. Ennen ajovastusten määrittämisen aloittamista tulee ajoneuvolle suorittaa lämmittelytoimenpiteitä, jotta voidaan varmistua ajoneuvon olevan vakaassa ajotilassa ja voidaan minimoida tulosten vääristyminen. Ennen lämmittelyajoa ajoneuvolla tulee suorittaa jarrutus kytkin irrotettuna, taikka automaattivaihteistolla vaihde vapaalla. Jarrutuksessa nopeuden tulee laskea 80 km/h:sta 20 km/h:ssa, ja sen tulee tapahtua 5–10 sekunnin aikana. Tämän jälkeen moottori tulee lämmittää ajamalla taulukossa 2 näkyviä lämmittelynopeuksia 20 minuutin ajan. Taulukossa olevat ajonopeudet vastaavat 90 % mittaussyklin aikana ajettavasta suurimmasta ajonopeudesta. (6, s. L 175/447.)

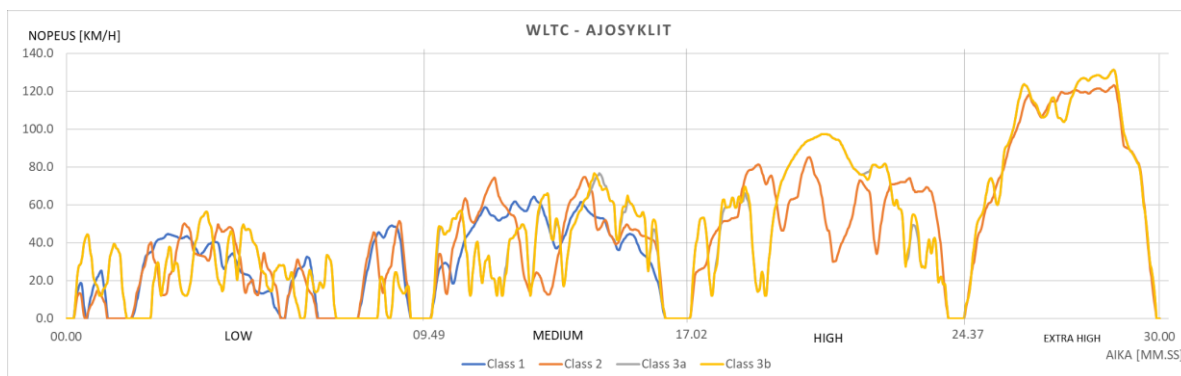
TAULUKKO 2. WLTC-mittausluokat ja niissä käytettävät lämmittelynopeudet (6, s. L 175/370–L 175/371, L 175/447)

WLTC-luokka	Teho-massa suhde [W / kg]	Ajoneuvon maksiminopeus [km/h]	Ajettavat nopeusluokat	Testisyklin lämmittelynopeus [km/h]
Luokka 1	≤ 22	-	1. Hidas 2. Keskinopea	58
Luokka 2	$22 < X \leq 34$	-	1. Hidas 2. Keskinopea 3. Nopea 4. Erittäin nopea*	111 / (77) **
Luokka 3a	> 34	< 120	1. Hidas 2. Keskinopea 3. Nopea 4. Erittäin nopea*	118 / (88) **
Luokka 3b	> 34	≥ 120	1. Hidas 2. Keskinopea 3. Nopea 4. Erittäin nopea*	118 / (88) **

* Ajosyklistä voidaan luopua sopijaosapuolten yhteisymmärryksessä

** Lämmittelynopeus mikäli ajoneuvolla ei ajeta viimeistä nopeusluokkaa

Kuten kuviosta 4 on nähtävissä, nopeudenmuutokset tihenevät suhteessa ajoneuvon massa-teho-suhteen kasvuun. Ajosykliden keskinopeudet on pyritty pitämään mahdollisimman tasaisina eri mittausluokkien kesken. Suurempitehoisilla ajoneuvoilla ajosyklin maksiminopeus on kuitenkin noin 10 km/h:ssa suurempi verrattuna mittausluokan 1 tai 2 ajoneuvoihin (taulukko 3).



KUVIO 4. WLTC-testisyklin ajonopeudet eri luokissa (6, s. L 175/372–L 175/418)

TAULUKKO 3. Ajosyklien keski- ja maksiminopeudet (6, s. L 175/372–L 175/418)

Ajosykli	Keskinopeus [km/h]				Maksiminopeus [km/h]			
	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3a	Luokka 3b	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3a	Luokka 3b
Hidas	20	19	19	19	49	51	57	57
Keskinopea	40	39	39	40	64	75	77	77
Nopea	-	54	56	57	-	85	97	97
Erittäin nopea	-	90	93	93	-	123	131	131

2.3 Mitattavat kohteet

Mitataan hiukkasmassaa (PM) ja -määrää (PN), hiilimonoksidi- (CO) ja hiilidioksidi- (CO₂) päästöjä sekä muita ajoneuvon tuottamia haitallisia yhdisteitä, kuten hiilivetyjä (HC) ja typen oksideja (NO_x). Haitallisten aineiden lisäksi ajoneuvoista mitataan myös polttoaineenkulutusta sekä sähkö- ja hybridiajoneuvoista sähkökäytönkulutusta (kuvio 5). (6, s. L 175/519, L 175/554.)

47.1.2.1. Projected frontal area of air entrance of the front grille (if applicable):	-	cm ²	
47.1.3. Road load coefficients			
47.1.3.0. R ₀ :	182.65645	N	
47.1.3.1. R ₁ :	0.00000	N/(km/h)	
47.1.3.2. R ₂ :	0.07760	N/(km/h) ²	
47.2. Driving cycle			
47.2.1. Driving Cycle class:	3b		
47.2.2. Downscaling factor (f _{disc}):	-		
47.2.3. Capped speed:	Yes		
48. Exhaust emissions:			
Number of the base regulatory act and latest amending regulatory act applicable:	715/2007; 2018/1832AR		
	see 26.	see 26.	Petrol/Diesel
1.2. test procedure: Type 1 (Euro)			6
CO:	-	-	117.1
THC:	-	-	mg/km
NMHC:	-	-	mg/km
NO _x :	-	-	49.3
THC + NO _x :	-	-	65.4
NH ₃ :	-	-	ppm
Particulates (mass):	-	-	1.43
Particulates (number):	-	-	0.07
2.2. test procedure: WHTC (EURO VI)			
CO:	-	-	mg/kWh
NO _x :	-	-	mg/kWh
NMHC:	-	-	mg/kWh
THC:	-	-	mg/kWh
CH ₄ :	-	-	mg/kWh
NH ₃ :	-	-	ppm
Particulates (mass):	-	-	mg/kWh
Particulates (number):	-	-	10 ⁶ /kWh
48.1. Smoke corrected absorption coefficient:			0.500
48.2. Declared maximum RDE values (if applicable)			
Complete RDE trip: NO _x :	-	-	178.8
Particulates (number) :	-	-	6.0
Urban RDE trip: NO _x :	-	-	178.8
Particulates (number) :	-	-	6.0
49. CO ₂ emissions/fuel consumption/electric energy consumption:			
1. all power trains, except pure electric vehicles (if applicable)			
NEDC values CO ₂ emissions			
Urban conditions:	-	-	187
Extra-urban conditions:	-	-	170
Combined:	-	-	178
Weighted, combined:	-	-	g/km
NEDC values Fuel Consumption			
Urban conditions:	-	-	7.0
Extra-urban conditions:	-	-	6.4
Combined:	-	-	6.7
Weighted, combined:	-	-	l/100 km
Deviation factor (if applicable)	-	-	-
Verification factor (if applicable)	-	-	-
2. Pure electric vehicles and OVC hybrid electric vehicles (if applicable)			
Electric energy consumption (weighted, combined)	-	-	Wh/km
Electric range	-	-	km
3. Vehicle fitted with eco-innovations(s):			
3.1. General code of the eco-innovation(s):	-	-	No
3.2. Total CO ₂ emissions savings due to the eco-innovation(s)	-	-	-
3.2.1. NEDC savings (if applicable):	-	-	g/km
3.2.2. WLTP savings (if applicable):	-	-	g/km
4. All power trains, except pure electric vehicle, under Commission Regulation (EU) 2017/1151 (if applicable)			
WLTP Values CO ₂ emissions			
Low:	-	-	209
Medium:	-	-	177
High:	-	-	174
Extra High:	-	-	237
Combined:	-	-	202



Weighted, Combined:	-	-	g/km
WLTP Values Fuel consumption			
Low:	-	-	8.0
Medium:	-	-	6.8
High:	-	-	6.7
Extra High:	-	-	9.0
Combined:	-	-	7.7
Weighted, Combined:	-	-	l/100 km
5. Pure electric vehicles and OVC hybrid electric vehicles, under Commission Regulation (EU) 2017/1151 (if applicable)			
5.1. Pure electric vehicles or (if applicable)			
Electric energy consumption:	-	-	Wh/km
Electric range:	-	-	km
Electric range city:	-	-	km
5.2. OVC hybrid electric vehicles or (if applicable)			
Electric energy consumption (ECAC, weighted):	-	-	Wh/km
Electric range (EAER):	-	-	km
Electric range city (EAER city):	-	-	km
50. Type-approved in accordance with the design requirements for transporting dangerous goods of UN Regulation No 105 of the Economic Commission for Europe of the United Nations:			No
51. For special purpose vehicles: designation in accordance with point 5 of Part A of Annex 1 to Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council:			-
52. Remarks:			-
29. optional w/ speedlimiter: 130/140			-
Alternative tyres with deviant emission figures			
18S/75R16C 104/102S 5.5x16H2x50.0 (1)			-
21S/60R17C 109/107T 6.0x17H2x60.0 (1+2)			-
21S/60R17C 109/107T 7.0x17H2x55.0 (1+2)			-
21S/65R16C 109/107T 6.5x16H2x60.0 (1+2)			-

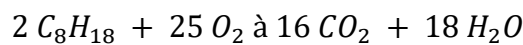
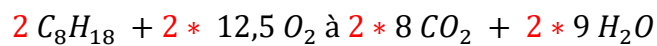
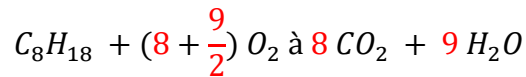
KUVIO 5. Erään ajoneuvon vaatimustenmukaisuustodistukseen merkityt päästöarvot (9. s. 3–4)

Bensiini- ja dieselpolttoaineiden aiheuttamat päästöt vaihtelevat käytettävän polttoainetyypin mukaan. Kipinäsytytteisen bensiinimoottorin muodostamista päästöistä valtaosa on CO- ja HC-päästöjä, kun taas puristusyttytteisen dieselmootorin ongelmana ovat NO_x- ja PM-päästöt. Yhteistä molemmille moottorityypeille on kuitenkin niiden tuottamat CO₂-päästöt. (10, s. 5; 11, s. 17–19.)

Haitallisimpana yhdisteenä ajoneuvon tuottamista päästöistä pidetään CO₂-päästöjä, joiden katsotaan olevan merkittävin ihmisen toiminnasta johtuva tekijä ilmaston lämpämiseen ja siitä seuraavaan ilmastomuutokseen. Ilmakehässä oleva hiilidioksidi yhdessä muiden kasvihuonekaasujen kanssa estää maanpinnalta heijastuvan auringon valon pääsyn takaisin avaruuteen, jonka seurauksena ilmaston lämpötila kasvaa. (12.)

CO₂-päästö ja polttoaineenkulutus ovat suoraan verrannollisia toisiinsa, sillä polttoaineen sisältämä hiili (C) ja sen palamisen edellytyksenä oleva happi (O₂) muodostavat kyseisen yhdisteen

palamisreaktion tuloksena. Kuvio 6 havainnollistaa CO₂-yhdisteen muodostumista yhdessä toisen palamisreaktiossa syntyvän tuotoksen, veden (H₂O) lisäksi. (13, s. 5.)



KUVIO 6. Polttoaineen palamisreaktio (13, s. 5–6)

Kuviosta 6 tulee huomioida, että todellisuudessa palaminen on lähes aina epätäydellistä. Epätäydellisessä palamisreaktiossa syntyy aina myös muita ihmiselle ja ympäristölle haitallisia yhdisteitä. Esimerkiksi ilma-polttoaineseosuhde sekä näiden kahden yhdisteen sekoittuminen toisiinsa, palamislämpötila ja sytytyksen ajoitus vaikuttavat merkittävästi siihen, kuinka täydellinen tai epätäydellinen palamistapahtuma todellisuudessa on. (11, s. 17.)

CO-päästöjä esiintyy etenkin kiihdytystilanteissa ja käynnistyksen yhteydessä. Silloin ilma-polttoaineseos ei ole optimaalinen vaan kone käy niin sanotusti rikkaalla, eli $\lambda < 1$. Koska ilmaa ei ole palamistapahtumassa saatavilla tarpeeksi kaikki hiili ei pysty muuntautumaan CO₂:ksi. CO-päästö on terveydelle vaarallinen yhdiste sen sitoessa veressä olevaa happea, ja näin ollen aiheuttaen pahimmillaan tukehtumisen. (11, s. 17.)

HC-päästöt ovat seurausta palamattomasta polttoaineesta. Päästöjen muodostumiseen vaikuttaa liian alhainen palamislämpötila, jota esiintyy etenkin sylinterin seinämien läheisyydessä. HC-päästöjä muodostuu pääosin kevyellä kuormituksella, jolloin $\lambda > 1$. Moottorin käydessä laihalla seoksella palamistapahtuma on hitaampi, jolloin sylinterin seinämien läheisyydessä oleva ilma-polttoaineseos ei välttämättä kerkeä palamaan kokonaisuudessaan. Myös mekaaniset viat, kuten vuotavat suuttimet, voivat aiheuttaa korkeita HC-päästöjä. HC-päästöt ovat vaarallisia niin ihmiselle kuin ympäristöllekin, sillä ne edesauttavat alailmakehässä olevan haitallisen otsonin muodostumista ja voivat ärsyttää hengitysteitä sekä aiheuttaa syöpää. (11, s. 17–18.)

Palamislämpötila ei myöskään saa olla liian suuri, sillä yli 1600 °C lämpötila saa ilman sisältämän typen (N) reagoimaan hapen (O₂) kanssa muodostaen haitallista NO_x-yhdistettä. Yhdisteen muodostuminen on pääosin dieselkäyttöisten ajoneuvojen ongelma, mutta yhdistettä muodostuu myös jonkin verran bensiinimoottoreissa. HC-päästöjen tavoin NO_x-päästöt ovat haitallisia sekä ympäristölle että terveydelle. Ympäristö vaikutuksista merkittävimpiä ovat happosateet sekä alailmakehän otsonin ja savusumun muodostuminen, terveysvaikutuksista puolestaan erilaiset keuhkosairaudet. (11, s. 18–19.)

Hiukkasmassaa muodostuu erityisesti dieselmoottoreissa polttoaineen sisältämien hiilivetyjen ja voiteluöljyn epätäydellisessä palamisessa. Suurin osa polttomoottoreiden tuottamasta hiukkasmassasta ilmenee nokena, joka onkin havaittavissa mustana savuna pakoputkesta. Hiukkasmassan hengittäminen on terveydelle vaarallista aiheuttaen muun muassa astmaa, keuhkosityöpää sekä sydän- ja verisuonisairauksia. Yhdisteen aiheuttamina ympäristöhaittoina voidaan pitää ilmassa, vedessä ja maaperässä esiintyviä saasteita sekä vaikutusta ilmastonmuutokseen. Kuitenkin näkyvimpinä haittoina voidaan pitää esimerkiksi noen aiheuttamaa rakennusten likaantumista ja näkyvyyden heikkenemistä. (11, s. 18.)

2.4 Ajovastusten määrittäminen

WLTP-mittaus suoritetaan laboratorion testaussolussa alustadynamometrillä ajaen. Ennen varsinainen mittaussyklien ajamista tulee määrittää ajoneuvokohtaiset ajovastukset dynamometriä varten. (6, s. L 175/437, L 175/523.) Ajovastukset sisältävät ajoneuvon aerodynaamisen vastuksen, mekaaniset ajovastukset sekä testiradan kaltevuudesta aiheutuvan gravitaatiovastuksen (6, s. L 175/451–L 175/452). Ajovastukset voidaan määrittää joko testiradalla rullaustestillä taikka tuulitunnelin ja hihna- tai alustadynamometrin yhdistelmänä. (6, s. L 175/358, L 175/463.) Ajovastusten laskentaan käytettävän kaavan yleinen muoto esitellään kaavassa 1 (14, s. 940).

$$F_W = F_L + F_{Ro} + F_{St}$$

KAAVA 1

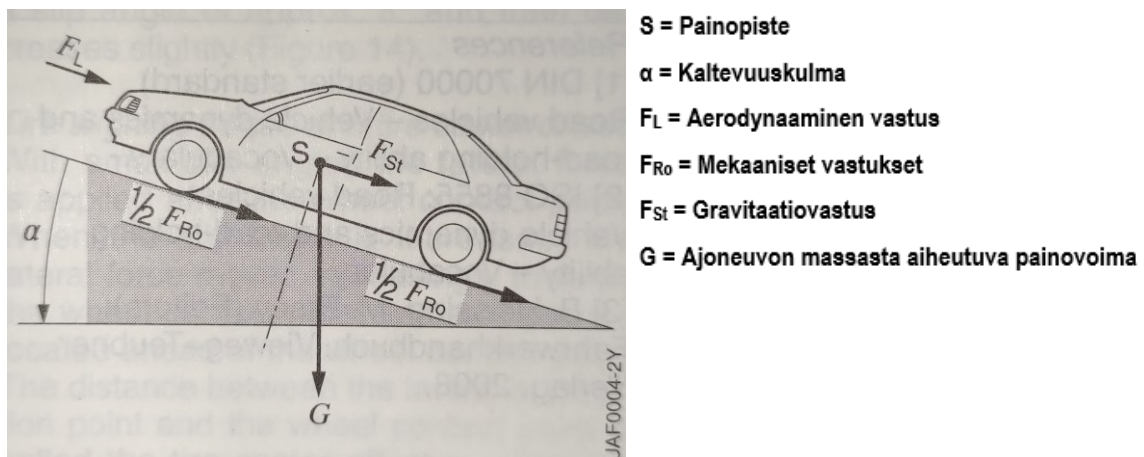
F_W = kokonaisajovastus [N]

F_L = aerodynaaminen vastus [N]

F_{Ro} = mekaaniset vastukset [N]

F_{St} = gravitaatiovastus [N]

Kuviossa 7 on nähtävissä, kuinka kaavassa 1 esitetyt ajovastukset vastustavat ajoneuvon liikettä, kun ajoneuvolla ajetaan ylämäkeen. Kiihdyttääkseen nopeutta ajoneuvon tulee tuottaa kokonaisajovastuksia suurempi voima, ja hidastaakseen vauhtia ajoneuvon tuottaman voiman tulee olla puolestaan pienempi. (14, s. 945.)



KUVIO 7. Ajoneuvon vaikuttavat ajovastusvoimat (14, s. 940)

2.4.1 Ajovastukset

Aerodynaamisen vastuksen merkittävimpiä tekijöitä ovat ajoneuvon otsapinta-ala, ilmanvastuskerroin sekä ilman tiheys yhdessä ajoneuvon nopeuden kanssa. Aerodynaaminen vastus kasvaa ajoneuvon nopeuden kasvun myötä etenkin ajettaessa suurilla nopeuksilla. Kuten kaavasta 2 on nähtävillä, kyseinen ajovastusvoima kasvaa suhteessa nopeuden neliöön. Käytännössä tämä tarkoittaa, että ajoneuvon nopeuden kaksinkertaistuuessa, aerodynaaminen vastus nelinkertaistuu. Aerodynaaminen vastus voidaan laskea alla olevan kaavan 2 mukaan. (14, s. 941–942.)

$$F_L = \frac{1}{2} * \rho * c_w * A * (v + v_0)^2$$

KAAVA 2

F_L = ilmanvastus [N]

ρ = ilman tiheys [kg/m³]

A = ajoneuvon otsapinta-ala [m²]

v = ajoneuvon nopeus [m/s]

v_0 = vastatuulen nopeus [m/s]

c_w = ilmanvastuskerroin

WLTP-mittauksessa ilmanvastuskerroin c_w määritetään suhteellisen tuulenkulman ja data-analyysissä määritettyjen vakio kertoimien mukaan, tuulenkulman funktiona (6, s. L 175/452). Aerodynaamisen vastuksen mittaus tulee suorittaa, joko tuulitunnelissa vähintään 60 sekunnin ajan tai erillisellä tuulimittarilla mikäli ajovastustesti tehdään rullausmenetelmällä (6, s. L 175/441, L 175/466). Alustadynamometriä käytettäessä mittaukseen voidaan yhdistää myös mekaanisten ajovastuksien mittaus tai ne voidaan suorittaa erikseen erillisessä mittaussolussa (6, s. L 175/463).

Mekaaniset ajovastukset pitävät sisällään inertiaista ja kitkasta johtuvan voimansiirron tehohäviön sekä tienpinnasta renkaihin vaikuttavan vierintävastuksen (6, s. L 175/452). Tämän vuoksi GTR nro 15 -säännössä on tarkkaan määritelty ajoneuvon renkaiden kunto sekä niissä vaikuttava ilmanpaine (6, s. L 175/445–L 175/446).

Inertialla tarkoitetaan voimansiirron ja moottorin pyöriä osien pyörimisnopeuden muutoksia vastustavaa inertiamomenttia eli niin sanottua hitausmomenttia. Inertiamomentti on riippuvainen pyöriä osien massasta, sillä sitä suurempi voima inertiaan voittamiseen tarvitaan mitä painavampia pyöriä osat ovat. (14, s. 38, 40.) Inertiamassan vaikutus ajovastusvoimiin otetaan huomioon lisämällä sen paino käytettävään testimassaan rullaustesteissä. Mikäli ajovastusten mittaus suoritetaan alustadynamometrillä, inertia-asetuksiin asetetaan inertiamassan osuudeksi ajoneuvon testimassa. Mikäli mittaustulokseen vaikuttaa dynamometrillä vain toinen akseli, lisätään testimassaan mittaustuloksiin vaikuttamattoman akselin inertiamassa. Vaihtoehtoisesti on mahdollista käyttää myös 50 % lisäystä koko inertiamassasta testimassaan. (6, s. L 175/437–L 175/438.)

Tehohäviöt ovat puolestaan seurausta kitkasta, jota esiintyy kaikkialla missä pinnat ovat kosketuksissa toisiinsa, etenkin laakerointipisteissä. Kitkan aiheuttamia tehohäviöitä esiintyy aina, mutta

niiden suuruuteen pyritään vaikuttamaan muun muassa käsittelemällä kosketuksissa olevat pinnat mahdollisimman sileiksi sekä käyttämällä erilaisia voiteluaineita. (14, s. 45–47.)

Vierintävastus voidaan määrittää kaavan 3 mukaan käyttämällä taulukossa 4 esitettyjä, yleisiä tiedossa olevia eri pintamateriaalien kitkakertoimia (14, s. 940–941).

$$F_{Ro} = F_r * G * \cos \alpha$$

KAAVA 3

F_{Ro} = vierintävastus [N]

F_r = kitkakerroin

$G = m * g$, eli kappaleen painosta (m) ja putoamiskiintyvyydestä (g) aiheutuva voima [N]

α = kaltevuuskulma

TAULUKKO 4. Ajoneuvon renkaan ja yleisimpien tiepintojen välisiä kitkakertoimia (14, s. 941)

Tien pinta	Kitkakerroin
Mukulakivikatu	0,011
Asfaltti	0,008
Valssattu sora	0,02
Päällystämätön tie (hiekk)	0,05
Pelto	0,1 - 0,35

Mikäli WLTP-mittauksessa ajovastusten määrittämiseen käytetään rullaustestiä, saa yllä oleva kaava kaavassa 4 esitetyn muodon. Kaavassa 4 esitetty muoto huomioi vierintävastuksen lisäksi akseleilla vaikuttavan tehohäviön (6, s. L 175/452).

$$D_{mech} = D_{tyre} + D_f + D_r$$

KAAVA 4

D_{mech} = mekaaniset ajovastukset [N]

D_{tyre} = vierintävastus [N]

D_f = etuakselin kitkahäviöt [N]

D_r = taka-akselin kitkahäviöt [N]

Rullaustestillä mitatut ajovastukset mallinnetaan mekaanisiksi ajovastuksiksi määrittämällä data-analyyseistä saatavat kertoimet nopeuden funktiona kaavan 5 mukaisesti (6, s. L 175/451–L 175/452).

$$D_{mech} = A_m + B_m * v + C_m * v^2$$

KAAVA 5

D_{mech} = mekaaniset ajovastukset [N]

A_m = mekaanisen vastuksen kerroin [N]

B_m = mekaanisen vastuksen kerroin [N/(km/h)]

C_m = mekaanisen vastuksen kerroin [N/(km/h)²]

v = ajoneuvon nopeus [km/h]

Gravitaatiovastus syntyy, kun työtä joudutaan tekemään myös korkeussuuntaisesti painovoimaa vastaan, jolloin ajoneuvoon kertyy potentiaalienergiaa. Potentiaalienergia on siis energiaa, joka on syntynyt ajoneuvoon sen muuttaessa sijaintinsa korkeutta ja muutosta varten tehdystä nostotyöstä. Mikäli tien kaltevuus on ylöspäin, gravitaatiovastusvoima on tällöin positiivinen. Jos kaltevuus on puolestaan alaspäin, on vastusvoima vastaavasti negatiivinen. (14, s. 39, 943–944.) Negatiivinen vastusvoima johtuu potentiaalienergian purkautumisesta, joka muuttaa muotoaan liike-energiaksi ja avustaa ajoneuvon liikettä (15, s.164–165).

Tekniikan taulukkokirjassa esitetty energian säilymlaki sekä kaava energian säilymisestä (kaava 6) havainnollistavat energian muodon muuttumista (15, s.164–165):

Kokonaisenergian säilymisen periaate:

Eristetyn systeemin energia voi muuttua muodosta toiseen, mutta se ei häviä eikä sitä synny tyhjästä.

Mekaanisen energian säilymlaki:

Jos systeemiin vaikuttavien ulkoisten, konservatiivisten voimien tekemä työ on nolla, niin systeemin mekaaninen energia säilyy eli potentiaalienergian ja liike-energian summa alussa (a) on sama kuin niiden summa lopussa (l).

$$E_{pa} + E_{ka} = E_{pl} + E_{kl}$$

KAAVA 6

E_{pa} = potentiaalienergia alussa

E_{ka} = liike-energia alussa

E_{pl} = potentiaalienergia lopussa

E_{kl} = liike-energia lopussa

Gravitaatiovastus voidaan laskea kaltevuuskulman ja ajoneuvon massan avulla kaavassa 7 esitetyllä tavalla (14, s. 943).

$$F_{st} = G * \sin \alpha$$

KAAVA 7

F_{st} = gravitaatiovastus [N]

$G = m * g$, eli kappaleen painosta (m) ja putoamiskiintyvyydestä (g) aiheutuva voima [N]

α = kaltevuuskulma

WLTP-mittauksessa gravitaatiovastus jätetään huomioimatta, jos testiradan kaltevuus on pienempi kuin 0,1 % sen koko pituudelta (6, s. L 175/452).

2.4.2 Rullaustesti

Rullaustesti suoritetaan testiradalla, ajaen mahdollisuuksien mukaan testirataa molempiin suuntiin. Testiradan tulee olla tasainen ja sen pinnan on vastattava kaupunkialueilla ja moottoriteillä olevia tiepintoja. Edellä mainittujen lisäksi sen on täytettävä vaaditut puhtauteen ja kaltevuuteen liittyvät kriteerit. (6, s. L 175/442.)

Testissä käytettävä pienin vertailunopeuspiste on 20 km/h ja suurin, joko 130 km/h tai käytössä olevan WLTC-testisyklin suurinta nopeutta seuraava vertailunopeuspiste. Määritettäessä suurinta vertailunopeuspistettä tulee kuitenkin huomioida ajoneuvon maksiminopeus, ja siksi suurimman nopeuspisteen tulee olla vähintään 14 km/h pienempi kuin ajoneuvon maksiminopeus. (6. L 175/437.)

Rullaustestit tulisi suorittaa ilman katkoja vaihteiston ollessa vapaalla. Vapaan rullauksen aikana ei saa käyttää ajoneuvon jarruja. Myöskään ohjauspyörän liikkeitä ei tulisi käyttää muulloin kuin pakonomaisissa tilanteissa. Rullaus suoritetaan kiihdyttämällä ajoneuvo 5 km/h nopeampaan nopeuteen kuin käytettävä vertailunopeus, ja hidastamalla nopeus tästä vapaalla rullauksella vertailunopeutta 5 km/h pienempään nopeuteen. Rullausaika mitataan ja hidastuvuuteen kuluneen ajan perusteella määritetään ajoneuvon kohdistuvat ajovastukset. Rullaustestit voidaan tehdä joko käyttäen kiinteästi radalle asetettavaa taikka ajoneuvon asennettavaa tuulimittaria käyttäen. Mitatustavat eroavat toisistaan rullaustestien määrän ja ajovastusten määrittämistavan suhteen. (6, s. L 175/447–L 175/448.)

Mikäli rullaustesti tehdään ajoneuvon asennetun tuulimittarin avulla tulee jokaista vertailunopeuspistettä kohden tehdä rullaustestejä yhteensä kymmenen kappaletta, viisi kertaa suuntaansa. (6, s. L 175/450.) Koska tuulimittari on asennettu kiinteästi ajoneuvon tulee data-analyysiä varten kerätä myös tiedot tuulen nopeudesta ja suunnasta. Ajovastukset määritetään kohdassa 2.4.1 esitettyjen kaavojen 2 - 5 ja 7 mukaisesti GTR nro 15 -sääöksessä määrättyllä data-analyysillä, ja korjataan vastaamaan määrättyjä vertailuolosuhteita (6, s. L 175/451–L 175/454). Lopullinen ajovastusyhtälö saa kaavassa 8 esitetyn muodon, jossa ajovastukset on esitetty ajonopeuden funktiona. Ajovastusyhtälön määrittämisen jälkeen yhtälö tulee vielä korjata vastaamaan vertailuolosuhteita. (6, s. L 175/437, L 175/453–L 175/454.)

$$F = f_0 + (f_1 * v) + (f_2 * v^2)$$

KAAVA 8

F = yksittäisen ajoneuvon ajovastukset [N]

f_0 = vakioajovastuskerroin [N]

f_1 = ensimmäisen asteen ajovastuskerroin [N / (km/h)]

f_2 = toisen asteen ajovastuskerroin [N / (km/h)²]

v = ajoneuvon nopeus [km/h]

Termejä f_0 , f_1 ja f_2 vastaavat arvot määritetään pääsääntöisesti lineaarisella regressiolla käyttäen pienimmän neliösumman menetelmää. Lukuun ottamatta tilannetta, jossa käytetään ajovastusmatriisiperhettä edustavaa ajoneuvoa. Tässä tapauksessa $f_1=0$ ja f_0 - ja f_2 -kertoimet määritetään uudeen pienimmän neliösumman menetelmällä. (6, s. L 175/449, L 175/452, L175/457.)

Kiinteässä tuulimittauksessa tuulimittari asetetaan kiinteästi testausradan varteen sellaiselle paikalle missä tuuliolosuhteet ovat optimaalisimmat (6, s. L 175/441). Kiinteää tuulimittausta voidaan käyttää vain, jos tuuliolosuhteet täyttävät vaaditut kriteerit tuulen nopeuden suhteen (6, s. L 175/441). Ajettavien rullaustestien määräksi riittää kaksi hyväksyttyä tilastollisen tarkkuuden täyttävää mittausparia vertailunopeutta kohden (6, s. L 175/447–L 175/448). Ajovastus lasketaan nopeuden hidastumiseen kuluvan ajan perusteella ajoneuvon massan ja rullaustesteistä saatujen tulosten keskiarvojen perusteella kaavan 9 mukaisesti (6, s. L 175/449).

$$F_j = \frac{1}{3,6} * (m_{av} + m_r) * \frac{2 * \Delta v}{\Delta t_j} \quad \text{KAAVA 9}$$

F_j = vertailunopeutta vastaavan kokonaisajovastusvoiman aritmeettinen keskiarvo [N]

m_{av} = keskiarvo ajoneuvon painosta, mitattuna ennen ja jälkeen testitilanteen [kg]

m_r = inertiamassa [kg]

Δv = ajonopeuksien muutos, eli vapaan rullauksen maksimi ja minimi nopeuden erotus [km/h]

$\Delta t_j = \frac{2}{\frac{1}{t_{ja}} + \frac{1}{t_{jb}}}$, eli rullausaikojen harmoninen keskiarvo, jossa on huomioituna vertailunopeuskoh-

taisten ajojen aritmeettiset keskiarvot molemmista ajosuunnista (t_{ja} ja t_{jb}) [s]

Määritetään saadusta datasta kaavassa 8 esitettyyn ajovastusyhtälöön kertoimet f_0 , f_1 ja f_2 . Kertoimien määrittämisen jälkeen yhtälö korjataan vastaamaan vertailuolosuhteita kaavan 10 mukaisesti (6, s. L 175/458–L 175/459).

$$F^* = ((f_0 - w_1 - K_1) + f_1 * v) * (1 + K_0 * (T - 20)) + K_2 * f_2 * v^2 \quad \text{KAAVA 10}$$

F^* = Korjattu ajovastus [N]

f_0 = vakioajovastuskerroin [N]

f_1 = ensimmäisen asteen ajovastuskerroin [N / (km/h)]

f_2 = toisen asteen ajovastuskerroin [N / (km/h)²]

K_0 = vierintävastuksen korjauskerroin [K⁻¹]

K_1 = testimassan korjauskerroin [N]

K_2 = ilmanvastuksen korjauskerroin

w_1 = tuulivastuskorjaustekijä (ei käytetä mikäli tuulimittari on asennettu kiinteästi ajoneuvoon) [N]

T = Ympäristön lämpötilan aritmeettinen keskiarvo [°C]

v = ajoneuvon nopeus [km/h]

Vaihtoehtona rullausmittauksille voidaan käyttää niin sanottua vääntömomenttimittausta. Mittauksessa asennetaan vääntömomenttimittari jokaisen vetävän akselin pyörännavan ja vanteen väliin, ja mitataan vääntömomentti tasaisella nopeudella 5 sekunnin ajan. Mittaukset tulee tehdä ajaen jokainen vertailunopeuspiste suurimmasta pienimpään. Jokaista vertailunopeuspistettä kohden tulee ajaa vähintään kolme mittatulosparia, jotka sisältävät mittauksen kumpaankin ajosuuntaan testiradalla. Kuten rullaustestissä, myös vääntömomenttimittaria käytettäessä ohjausliikkeitä ja jarrupolkimen käyttöä tulisi välttää testihetkellä. (6, s. L 175/454–L 175/456.)

Ajovastuksen laskeminen tapahtuu määrittämällä vertailunopeuspisteissä yhteen suuntaan tehdyistä mittauksista ajonopeuden ja vääntömomentin aritmeettiset keskiarvot. Vääntömomentin keskiarvon määrittämisessä otetaan huomioon inertiamassa, käyttämällä laskennassa nopeudenvaihtelua kompensoivaa termiä C_{js} . Termi lasketaan ajoneuvon massan, johon on sisällytetty inertia-massa, kiihtyvyyden ja renkaan dynaamisen säteen tulosta. Kun suuntakohtaiset keskiarvot on määritetty, lasketaan ajonopeuden ja vääntömomentin vertailunopeuskohtaiset keskiarvot kaavaa 11 käyttäen. (6, s. L 175/455–L 175/457.)

$$V_{jm} = \frac{1}{2} * (v_{jma} + v_{jmb})$$

KAAVA 11

ja

$$C_{jm} = \frac{1}{2} * (C_{jma} + C_{jmb})$$

V_{jm} = ajonopeuden aritmeettinen keskiarvo [km/h]

C_{jm} = vääntömomentin aritmeettinen keskiarvo [Nm]

v_{jma} ja v_{jmb} = ajonopeuden suuntakohtaisten mittaustulosten aritmeettinen keskiarvo [km/h]

C_{jma} ja C_{jmb} = vääntömomentin suuntakohtaisten mittaustulosten aritmeettinen keskiarvo [Nm]

Muodostetaan keskiarvoista liikevastuskäyrä ja määritetään ajovastusyhtälöön kertoimet c_0 , c_1 ja c_2 , jotka vastaavat kaavan 8 termejä f_0 , f_1 ja f_2 . Samoin kuin aikaisemmin mainituissa mittaustavoissa, myös vääntömomenttimittarilla tehtävät mittaukset tulee korjata vastaamaan vertailuolosuhteita kaavan 12 mukaisesti. (6, s. L 175/457, L 175/460.)

$$C^* = ((c_0 - w_2 - K_1) + c_1 * v) * (1 + K_0 * (T - 20)) + K_2 * c_2 * v^2 \quad \text{KAAVA 12}$$

C^* = Korjattu liikevastus [Nm]

c_0 = vakioliikevastuskerroin [Nm]

c_1 = ensimmäisen asteen liikevastuskerroin [Nm / (h/km)]

c_2 = toisen asteen liikevastuskerroin [Nm / (h/km)²]

K_0 = vierintävastuksen korjauskerroin [K⁻¹]

K_1 = testimassan korjauskerroin [N]

K_2 = ilmanvastuksen korjauskerroin

w_2 = tuulivastuskorjaustekijä, kun käytetään vääntömomenttimittausta [N]

T = Ympäristön lämpötilan aritmeettinen keskiarvo [°C]

v = ajoneuvon nopeus [km/h]

Vertailuolosuhde korjauksen lisäksi ajovastuskerroin c_2 tulee korjata huomioimaan ajoneuvon ulkopuolelle asennettävien mittauslaitteiden vaikutus ajoneuvon aerodynaamisiin ominaisuuksiin kaavan 13 mukaisesti (6, s. L 175/460).

$$c_{2corr} = K_2 * c_2 * \left(1 + \frac{\Delta(C_D * A_f)}{(C_D * A_f)}\right)$$

KAAVA 13

c_{2corr} = korjattu toisen asteen liikevastuskerroin [Nm / (h/km)²]

K_2 = ilmanvastuksen korjauskerroin

c_2 = toisen asteen liikevastuskerroin [Nm / (h/km)²]

$\Delta(C_D * A_f)$ = toisen asteen liikevastuskerroin [Nm / (h/km)²]

$C_D * A_f$ = ilmanvastuskertoimen ja otsapinta-alan tulo (vääntömomenttimittari asennettuna) [m²]

$C_D * A_f$ = ilmanvastuskertoimen ja otsapinta-alan tulo (ilman vääntömomentin mittaussaitetta) [m²]

Rullaus- tai vääntömomenttimittauksesta saaduista korjatuista ajo- ja liikevastusyhtälöistä voidaan määrittää kertoimet A_t , B_t ja C_t , joita käytetään tavoiteajovastuskertoimina WLTP-mittauksessa käytettävän alustadynamometrin ajovastuksen määrittämiseen (6, s. L 175/459, L 175/461).

$$A_t = ((f_0 - w_1 - K_1) * (1 + K_0 * (T - 20))) \text{ tai } (c_0 - w_2 - K_1) * (1 + K_0 * (T - 20))$$

$$B_t = (f_1 * (1 + K_0 * (T - 20))) \text{ tai } (c_1 * (1 + K_0 * (T - 20)))$$

$$C_t = (K_2 * f_2) \text{ tai } (c_{2corr} * r)$$

2.4.3 Tuulitunnelimittaus

Alustadynamometrillä tehtävä mekaanisten ajovastusten mittaus suoritetaan käyttäen toista kuviossa 8 esitetystä alustadynamometreistä mitaten samanaikaisesti molemmilta akseleilta (6, s. L175/464). Mikäli mittaus suoritetaan rulladynamometriä käyttäen tulee mitattu tulos korjata vastaamaan tasaisella tien pinnalla ajettua tulosta (6, s. L 175/469).



KUVIO 8. Vasemmalla hihna- (16) ja oikealla rulladynamometri (17)

Dynamometreillä tehtävät mittaukset mittaavat pelkästään mekaanista ajovastusta, siksi ilmanvastusmittaus on tehtävä tuulitunnelissa (6, s. L 175/470). Mekaanisten vastusten mittaukseen voidaan käyttää joko rullausmenetelmää tai vaihtoehtoisesti vääntömomentin mittaukseen perustuvaa mitausta vakautuneilla nopeuksilla. Mittaustapahtumat ja laskelmat ovat lähestulkoon samanlaiset riippumatta siitä kumman tyylinen dynamometri on käytössä. Ainoana poikkeuksena voidaan pitää rulladynamometriltä saatua ajovastusvoimaa f_{Dyno} , joka tulee korjata maantieajoa vastaavaksi (f_j) ennen lopullista vertailuolosuhteisiin korjausta. (6, s. L 175/ 467–L 175/469.)

Mikäli mittaus tehdään rullausmenetelmää käyttäen poikkeaa se hieman testiradalla tehdystä mittauksesta. Itse mittaustapahtuma on molemmissa sama, mutta dynamometrillä mittauksia ei tarvitse tehdä vastakkaisiin suuntiin. Lisäksi dynamometrillä tehtyjä mittauksia riittää kaksi kappaletta, jos mittausten hyväksyntäkriteeri täyttyy. Mikäli rullausajojen voima vaihtelee ± 10 N, tulee mittauksia suorittaa vähintään kolme niin, että ne täyttävät testiradalla suoritettujen mittauksien kriteerit. Lasketaan saaduista tuloksista ajovastusvoima f_j , poistamalla vertailunopeuspisteessä mitattujen voimien keskiarvosta simuloitu ilmanvastusvoima kaavan 14 mukaisesti. (6, s. L 175/468.)

$$f_j = f_{\text{Decel}} - c_d * v_j^2$$

KAAVA 14

f_j = vertailunopeuspistekohtainen ajovastusvoima [N]

f_{Decel} = Kaavan 9 mukaisesti laskettu voima F_j vertailunopeuspisteessä [N]

c_d = esivakautuksessa käytetty dynamometrin kuormitus kerroin [N / (km/h)²]

v_j = ajonopeus [km/h]

j = käytetty vertailunopeuspiste

Valmistajan pyynnöstä voidaan asettaa mittauksen ja ajovastusvoiman laskemisen ajaksi kertoimen c_d arvoksi nolla (6, s. L 175/468).

Vääntömomenttimittausta käytettäessä ajetaan tasaisesti vertailunopeuspistekohtaista ajonopeutta vähintään 6 sekunnin ajan. Lasketaan jokaiselle vertailunopeuspisteelle mitatun voiman aritmeettinen keskiarvo, joka vastaa termiä f_j . (6, s. L 175/467.)

Lopuksi voima f_j korjataan vastaamaan vertailuolosuhteita kaavan 15 mukaisesti huolimatta siitä kummalla mittaustavalla mittaus on suoritettu (6, s. L 175/470–L 175/471).

$$F_{Dj} = (f_j - K_1) * (1 + K_0 * (T - 293))$$

KAAVA 15

F_{Dj} = korjattu ajovastus [N]

$f_j = f_{jD_{yno}}$, eli vertailunopeuspisteessä mitattu voima [N]

j = vertailunopeuspiste

K_0 = vierintävastuksen korjauskerroin [K^{-1}]

K_1 = testimassan korjauskerroin [N]

T = testaussolun lämpötilan aritmeettinen keskiarvo [K]

Ilmanvastus mitataan tuulitunnelissa vertailunopeuskohtaisesti. Ilmanvastus lasketaan kaavan 16 mukaisesti, eli mitatun ilmanvastuskertoimen, ajoneuvon otsapinta-alan ja vertailuolosuhteita vastaavan ilmantiheyden mukaan. Kaava 16 poikkeaa aikaisemmin esitetystä ilmanvastuksen laskentakaavasta (kaava 2) siten, että kaavassa 16 nopeutena (v) käytetään vertailunopeuskohtaista ajonopeutta suhteellisen tuulennopeuden sijasta. (6, s. L 175/358, L 175/470.)

$$F_{Aj} = (C_D * A_f)_j * \frac{\rho_0}{2} * \frac{v_j^2}{3,6^2}$$

KAAVA 16

F_{Aj} = tuulitunnelissa mitattu ilmanvastus [N]

$(C_D * A_f)_j$ = ilmanvastuskertoimen ja otsapinta-alan tulo [m^2]

$\rho_0 = 1.189$, eli vertailuolosuhteiden mukainen kuivan ilman tiheys [kg/m^3]

v_j = ajonopeus [km/h]

j = vertailunopeuspiste

Lopuksi vertailunopeuspistekohtainen kokonaisajovastus F^* lasketaan kaavan 1 mukaisesti laske-
malla mekaaniset vastukset (F_{Dj}) ja ilmanvastus (F_{Aj}) yhteen. Gravitaatiovastusta ei tässä tapauk-
sessa huomioida, koska mittaus tehdään tasaisella alustalla missä kaltevuutta ei ole. Ajovastusyh-
tälön kertoimet f_0 , f_1 ja f_2 määritetään vertailupistekohtaisista ajovastuksista samoin kuin muissa
edellä mainituista ajovastuksien mittaustavoista. (6, s. L 175/470) Kertoimet f_0 , f_1 ja f_2 aiemmin
mainittuja tavoiteajovastuskertoimien termejä A_t , B_t ja C_t (6, s. L 175/473–L 175/474).

2.4.4 Interpolointi- ja ajovastusmatriisiperhe

Valmistajan pyynnöstä voidaan käyttää myös interpolointimenetelmää, mikäli ajoneuvo täyttää interpolointiperheen vaatimukset. Ajovastuskertoimet määritetään kahden interpolointiperheeseen kuuluvan testiajoneuvon tietojen perusteella. Testiajoneuvoiksi valitaan suurimman (testiajoneuvo H), ja pienimmän (testiajoneuvo L) syklikohtaisen energiantarpeen omaavat ajoneuvot. (6, s. L 175/442.) Kertoimet lasketaan alla olevien kaavojen 17 - 19 mukaisesti (6, s. L 175/560–L 175/562).

$$f_{0,ind} = f_{0,H} - \Delta f_0 * \frac{(TM_H * RR_H - TM_{ind} * RR_{ind})}{(TM_H * RR_H - TM_L * RR_L)} \quad \text{KAAVA 17}$$

$f_{0,ind}$ = yksittäisen ajoneuvon vakioajovastuskerroin [N]

$f_{0,H}$ = testiajoneuvo H:n vakioajovastuskerroin [N]

$\Delta f_0 = f_{0,H} - f_{0,L}$, eli testiajoneuvojen H:n ja L:n vakioajovastuksien muutos [N]

TM_H = testiajoneuvo H:n WLTP-testimassa [kg]

RR_H = testiajoneuvo H:n renkaiden vierintävastus

TM_{ind} = yksittäisen ajoneuvon WLTP-testimassa [kg]

RR_{ind} = yksittäisen ajoneuvon renkaiden vierintävastus

TM_L = testiajoneuvo L:n WLTP-testimassa [kg]

RR_L = testiajoneuvo L:n renkaiden vierintävastus

$$f_{1,ind} = f_{1,H} \quad \text{KAAVA 18}$$

$f_{1,ind}$ = yksittäisen ajoneuvon ensimmäisen asteen ajovastuskerroin [N / (km/h)]

$f_{1,H}$ = testiajoneuvo H:n ensimmäisen asteen ajovastuskerroin [N / (km/h)]

$$f_{2,ind} = f_{2,H} - \Delta f_2 * \frac{(\Delta[C_D * A_f]_{LH} - \Delta[C_D * A_f]_{ind})}{(\Delta[C_D * A_f]_{LH})}$$

KAAVA 19

$f_{2,ind}$ = yksittäisen ajoneuvon toisen asteen ajovastuskerroin [N / (km/h)²]

$f_{2,H}$ = testiajoneuvo H:n toisen asteen ajovastuskerroin [N / (km/h)²]

$\Delta f_2 = f_{2,H} - f_{2,L}$, eli testiajoneuvojen H:n ja L:n toisen asteen ajovastuskertoimien muutos [N / (km/h)²]

$\Delta[C_D * A_f]_{LH}$ = testiajoneuvojen H:n ja L:n ilmanvastuskertoimen (C_D) ja otsapinta-alan (A_f) tulojen muutos [m²]

$\Delta[C_D * A_f]_{ind}$ = yksittäisen ajoneuvon ja testiajoneuvo L:n ilmanvastuskertoimen (C_D) ja otsapinta-alan (A_f) tulojen muutos, joka johtuu eroista lisävarusteissa ja korimuodoissa [m²]

Interpolointimenetelmällä määritetään siis vain ajovastuskertoimet eikä kokonaisajovastusta. Siksi myös interpolointimenetelmällä saatu ajovastusyhtälö tulee korjata vastaamaan vertailuolosuhteita, sillä tavalla kuin testiajoneuvojen L ja H ajovastuskertoimien määrittystapa edellyttää. (6, s. L 175/562.)

Ajovastusmatriisiperheeseen voivat kuulua ajoneuvot, joiden suurin teknisesti sallittu kokonaismassa on vähintään 3 000 kg. Lisäksi ajoneuvoilla on oltava sama lukumäärä vetäviä akseleita sekä niiden on käytettävä samaa vaihteistotyyppiä. (6, s. L 175/368) Edustava ajoneuvo valitaan soveltuvien ajoneuvojen joukosta sen perusteella millä on sama korimuotoilu ja lisävarusteiden massa. Mikäli soveltuvia ajoneuvoja on useampia, valitaan näistä heikoimman C_D -kertoimen omaava (6, s. L 175/443).

Ajovastusmatriisi perheeseen kuuluvan yksittäisen ajoneuvon ajovastusvoiman laskemiseen käytetään tietoja perhettä edustavasta ajoneuvosta sekä testattavana olevasta yksittäisestä ajoneuvosta. Laskenta tapahtuu hakemalla maksimi arvo kahden eri kertoimilla olevan yhtälön väliltä. Yhtälöiden tuloksiin vaikuttavat ajoneuvojen testimassat, renkaiden vierintävastukset, otsapinta-alat sekä ajovastusmatriisiperhettä edustavan ajoneuvon ajovastuskertoimet. Mikäli edustavan ajoneuvon ajovastuskertoimien määrittämiseen on käytetty vääntömomenttimittaukseen perustuvaa mittaustapaa, tulee yhtälöissä huomioida renkaan dynaaminen säde nopeudessa 80 km/h sekä kompensoida ajolaitteesta aiheutuvat häviöt käyttämällä määrättyä likiarvo kerrointa. (6, s. L 175/461– L 175/463.)

Lopuksi muodostetaan kaavan 8 mukainen ajovastusyhtälö, ajoneuvolle määritettyjen ajovastuskertoimien f_0 ja f_2 avulla, kertoimen f_1 saadessa arvon nolla (6, s. L 175/461). Saatu ajovastuskäyrä

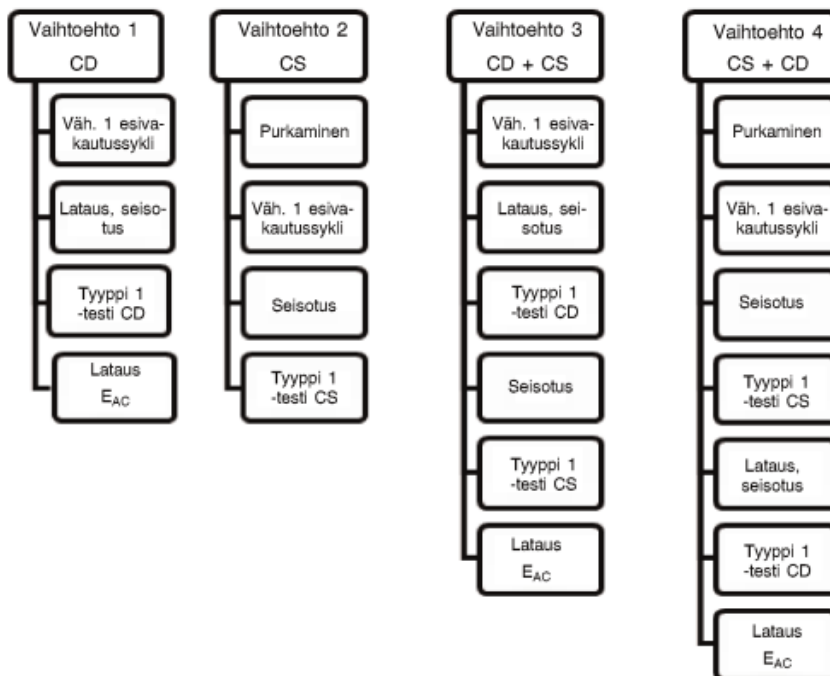
korjataan vastaamaan vertailuolosuhteita ja siitä määritetään tavoiteajovastuskertoimet (6, s. L 175/459.)

2.5 Ladattavan hybridiajoneuvon mittaaminen

Kaikki hybridi- ja sähköajoneuvot sekä polttokennoa energian lähteenä käyttävät ajoneuvot katsotaan kuuluvan WLTC-luokkaan 3 (6, s. L 175/574). Näin ollen ajoneuvoille tulee suorittaa taulukon 2 mukaisesti joko luokan 3a tai 3b mukainen testisykli. Lisäksi ladattavat hybridit ja täyssähköajoneuvot tulee testata myös WLTC City -testisyklin mukaan, joka keskittyy kaupunkialueella ajamiseen ja pitää sisällään ainoastaan matalan ja keskinopean osion (6, s. L 175/371).

Ladattavien hybridien, eli OVC-HEV:n taikka tutummin PHEV:n, WLTP-mittaus eroaa muiden hybridiajoneuvojen mittauksesta siten, että niiden mittaukset tulee suorittaa varausta ylläpitävän tilan (CS) lisäksi myös varausta purkavassa tilassa (CD) (6, s. L 175/575). Testijaksot voidaan suorittaa joko erikseen ajamalla, tai samalla testikerralla ajamalla osiot peräkkäin kuvion 9 mukaisesti.

OVC-HEV-ajoneuvon testauksessa mahdolliset testisekvenssit

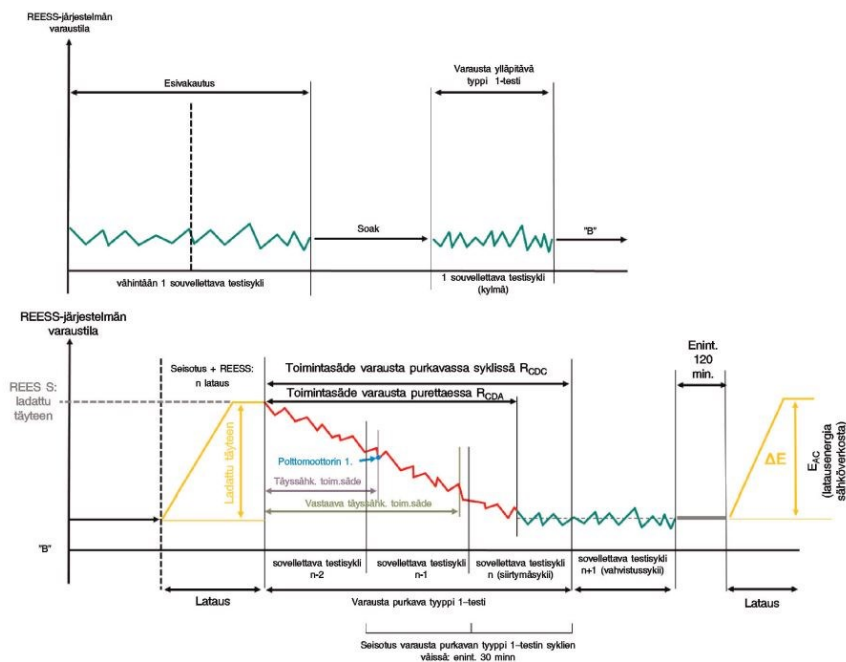


KUVIO 9. Ladattavan hybridin testisekvenssit (6, s. L 175/576)

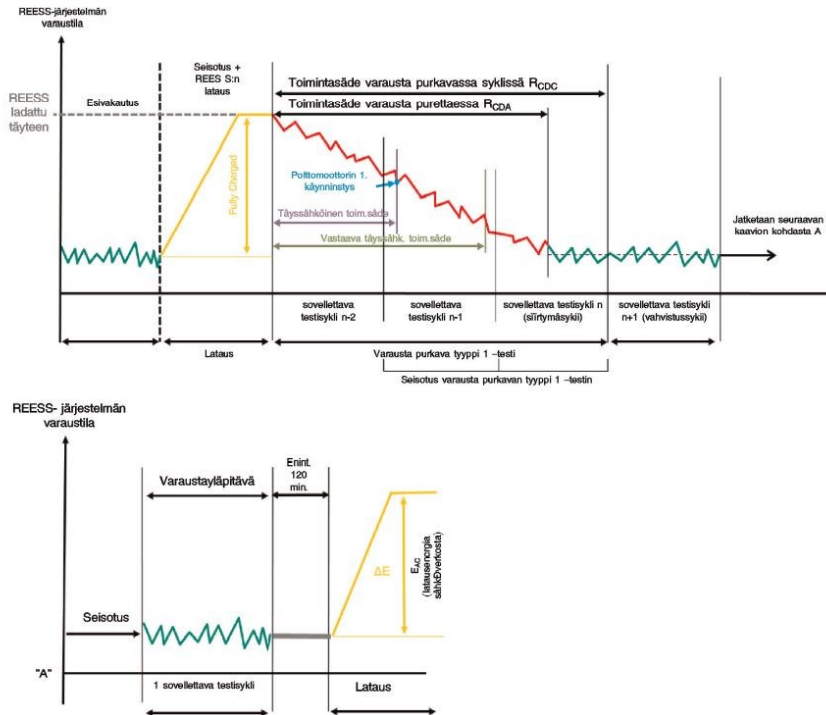
2.5.1 Mittauksen suorittaminen

Mitattavan ajoneuvon akustolla eli REES-järjestelmällä tulee olla ajettuna vähintään 300 km. Lisäksi hybridi ajoneuvojen on täytettävä myös aiemmin kohdassa 2.2 mainitut yleiset vaatimukset ajoneuvon kunnosta. Testaustilanteessa on huolehdittava REES-järjestelmän pysymisestä käyttölämpötila-alueella. Mikäli on aiheellista olettaa lämpötilan nousevan valmistajan ilmoittamaa käyttölämpötilaa suuremmaksi, tulee järjestelmän jäähtytyksestä huolehtia käyttämällä valmistajan suosittelemia jäähtytysmenetelmiä. Jäähtytysmenetelmien käyttö edellyttää kuitenkin valmistajan toimittamaa todistusta lämmönsäätöjärjestelmän toimintakunnosta. (6, s. L 175/574.)

REES-järjestelmä tulee ennen testisekvenssien aloittamista ladata valmistajan ilmoittamaan varaustilaan, jonka jälkeen ajoneuvolle suoritetaan esivakautus. Vakautuksen jälkeen ajoneuvolle suoritetaan joko varausta ylläpitävä testisykli, tai sen akusto ladataan täyteen varausta purkavaa testisykliä varten (kuviot 10 ja 11). (6, s. L 175/618–L 175/619.)



KUVIO 10. Varausta ylläpitävän ja sitä seuraavan varausta purkavan typpi 1 -testin vaiheet (6, s. L175/619)



KUVIO 11. Varausta purkavan ja sitä seuraavan varausta ylläpitävän tyyppi 1 -testin vaiheet (6, s. L175/618)

Sähkökäyttöistä toimintasädettä varten sovellettavat testisyklit tulee suorittaa peräjälkeen niin monta kertaa, että säädöksissä mainittu lopetuskriteeri täyttyy ja REES-järjestelmän varaustila on palautunut esivakautuksessa määritettyyn varaustilaan. Tämän jälkeen suoritetaan vielä vahvistussykli, jonka jälkeen ajoneuvoa seisotetaan ennen siirtymistä seuraavaan vaiheeseen. Mittaus voidaan myös päättää tähän vaiheeseen ja siirtyä latausenergian mittaamiseen, mikäli varausta ylläpitävä testi on suoritettu ennen varausta purkavaa testiä. (6, s. L175/577, L175/617–L 175/619.)

Mikäli ajoneuvossa on erilaisia kuljettajan valittavissa olevia ajotiloja, tulee näistä valita sellainen, jolla on mahdollista suorittaa vertailutestisyklin nopeuden muutokset annettujen toleranssien mukaisesti. Huomioiden kuitenkin, että pääsääntöisesti tulee käyttää pääajotilaa aina kun se on mahdollista. Mikäli pääajotilaa ei voida käyttää, tulee varausta purkavaa testisykliä varten valita muista sopivista ajotiloista eniten sähköenergiaa kuluttava ajotila. Kuitenkin pois lukien sellaiset ajotilat, joita ei käytetä päivittäisessä ajossa, kuten vuoristoajo- tai huoltotilat. Eniten sähköenergiaa kuluttava ajotila valitaan myös silloin, mikäli mikään ajotiloista ei mahdollista testisyklin noudattamista. (6, s. L 175/636–L 175/637.)

Varausta ylläpitävän testisyklin aikana, mikäli pääajotilaa ei voida käyttää, valmistaja voi valita käytettävän joko huonoimmalla ajotilalla saatua testitulosta tai huonoimman ja parhaimman ajotilan testitulosten aritmeettista keskiarvoa. Mikäli ajoneuvolla ei pystytä millään ajotilalla noudattamaan hyväksyttävästi testisykliä, käytetään tällöin muunneltua testisykliä ja valitaan sopiva ajotila. Ajotilat valitaan seuraavan järjestyksen mukaisesti: pääajotila, huonoin ajotila, tai mikäli kumpikaan edellä mainituista ei toteudu, valitaan suurimman energiantarpeen omaavista ajotiloista huonoin. (6, s. L 175/638).

2.5.2 Sähkökäytönmittaus

Ladattavista hybrideistä mitataan ajoneuvon sähkökäyttöä toimintasäteiden ja sähkökulutuksen (EC) osalta. Pääsääntöisesti sähkökäyttöön liittyvät mittaukset suoritetaan varausta purkavan mittauksen aikana. Pois lukien EC, joka mitataan varausta purkavan mittaussyklin jälkeen suoritettavan latauksen aikana (kuviot 10 ja 11). EC-arvo perustuu ajoneuvon sähköverkosta ottamaan energiamäärään, jonka se tarvitsee ladatakseen REES-järjestelmän täyteen varaukseen. (6, s. L 175/596, L 175/618–L 175/619.)

Täyssähköisten toimintasäteet (AER ja AER_{city}) kuvaavat matkaa, jonka ajoneuvo pystyy kulkemaan pelkän sähkömoottorin avulla. Mittausjakso alkaa ensimmäisen testisyklin alusta ja päättyy siihen pisteeseen kun polttomoottori käynnistyy ensimmäisen kerran. AER ilmoittaa toimintasäteen WLTP-testisyklin ja AER_{city} WLTP-kaupunkisyklin aikana. (6, s. L 175/599).

Lisäksi varausta purkavilla toimintasäteillä mitataan REES-järjestelmän toimintamatkaa kuormituksen aikana. Todellinen varausta purkava toimintasäde (R_{CDA}) saadaan mitattaessa matka, jossa REES-järjestelmän varaustilan katsotaan olevan purkautunut. R_{CDC} puolestaan kertoo koko varausta purkavan testijakson pituuden testin alusta vahvistussyklin alkuun asti. Näin ollen R_{CDC}:n aikana REES-järjestelmä on voinut toimia myös varausta ylläpitävässä tilassa siirtymäsyklin aikana. (6, s. 175/618–L 175/619, 175/359).

2.5.3 Ilmoitettavat arvot

Tyyppihyväksyntätodistukseen merkitään varausta ylläpitävän tilan osalta erikseen WLTC-luokan jokaisen mittaus osion sisältämät sekä koko testisyklin aikana tuotetut CO₂-päästöt. Varausta

purkavassa tilassa merkitään vain WLTC-mittaussyklin yhdistetyt päästöt (kuvio 12). CO₂-päästöjen lisäksi hybridiajoneuvoista mitataan myös polttoaineen- ja energiankulutusta sekä sähkökäytöstä toimintasädetä. (6, s. L 175/63–L 175/43766.)

Varausta ylläpidettäessä syntyvien CO₂-päästöjen massa

Ajoneuvo H

CO ₂ -päästöt [g/km]	Testi	Hidas	Keskinopea	Nopea	Moottoritie	Yhdistetty
M _{CO₂p,5} / M _{CO₂c,5}	1					
	2					
	3					
M _{CO₂p,H} / M _{CO₂c,H}						

Varausta purettaessa syntyvien CO₂-päästöjen massa

Ajoneuvo H

CO ₂ -päästöt [g/km]	Testi	Yhdistetty
M _{CO₂,CD}	1	
	2	
	3	
M _{CO₂,CD,H}		

KUVIO 12. Tyypihyväksyntätodistukseen merkittävät CO₂-arvot (6, s. L 175/63)

Hybridiajoneuvojen CO₂-päästöjen suuruuteen vaikuttaa pääosin ajoneuvon energianhallintajärjestelmä (EMS) sekä sen voimansiirtolinjan hyötysuhde (18, s. 2). Lisäksi myös suurjänniteakun varaustila on otettava huomioon, sillä alhaisen varaustilan aikana ajoneuvo käyttää polttomoottoria ladatakseen akustoa, jonka seurauksena CO₂ -päästöt kasvavat (18, s. 6–7). Ladattavista hybridiajoneuvoista mitatut tulokset tulee painottaa käyttötekijöiden mukaan, jotka perustuvat muun muassa käyttötiheydestä, päivittäisestä ajomatkoista ja eri ajoneuvoluokista saatuihin tietoihin (6, s. L 175/634). Ajoneuvovalmistajat ilmoittavat hybridiajoneuvojen tuottamat päästöt pääsääntöisesti käyttämällä painotettua, yhdistetyn testijakson tulosta (19).

2.6 RDE-mittaustapa

RDE eli Real Driving Emissions -testi on kehitetty täydentämään WLTP-testin tuloksia. Onkin huomattu, että ajoneuvon tuottamat ajonaikaiset päästöt ovat etenkin NO_x-päästöjen osalta huomattavasti suurempia kuin laboratorio olosuhteissa mitatut arvot. (20, s. L 82/1). Testi suoritetaan ajamalla ajoneuvolla määrätty testimatka tien päällä käyttäen PEMS-testilaitetta (Portable Emission Measurement System). Alkujaan RDE-testit otettiin käyttöön pelkästään seuranta varten vuonna 2015. Vuonna 2016 RDE-testit kehittyivät seuranta tarkoituksesta osaksi kansainvälisiä tyypihyväksyntä vaatimuksia ja niiden ensikosketus virallisesti vaadittaviksi testeiksi tapahtui 1.9.2017,

jolloin se tuli pakolliseksi kaikille uusille ajoneuvotyypeille. 1.9.2019 käyttö laajeni koskemaan kaikkia tämän päivämäärän jälkeen ensirekisteröitäviä uusia ajoneuvoja. (21, s. 6–7).

RDE-testissä isoin muutos laboratorioissa suoritettaviin testeihin on testauslämpötila, joka laajimmillaan asettuu -7 ja +35 °C välille (6, s. L175/115). Lisäksi testi ottaa huomioon testiympäristön epätasaisuudesta ja tien pinnan muutoksista aiheutuvat vaikutukset ajovastuksiin, esimerkiksi määrän tien pinnan vaikutuksen tiestä aiheutuviin kitkavoimiin sekä tien kaltevuuden muutokset. Lisävaikutuksia päästöihin luo myös kuljettajan ajotapa, liikenteen ruuhkaisuus sekä ajokeli, joita ei pystytä laboratorio olosuhteissa ottamaan huomioon sillä tavoin kuin ne todellisissa ajotilanteissa esiintyvät. (21, s.4). RDE-testissä on huomioitu myös WLTP-testimassaa suurempi ajoneuvon kuormaus, sen salliessa lisättävän testausmassan lisäksi keinotekoista hyötykuormaa. Testausmassan ja hyötykuorman yhteenlaskettu massa saa kuitenkin olla enintään 90 % sallitun hyötykuormaan ja matkustajien massan summasta (6, s. L175/115). Taulukossa 5 on nähtävillä WLTP- ja RDE-testiolosuhteiden eroja.

TAULUKKO 5. WLTP- ja RDE-testaustilanteiden erot (6, s. L 175/115, L1 75/117, L 175/358, L 175/370–L 175/437371, L 175/531)

Kohde	WLTP	RDE
Lämpötila	23 °C	0-30 °C (-7 - (+)35 °C) *
Korkeus	-	≤ 700 m (700 - 1300 m) *
Testimassa	WLTP-testimassa	WLTP-testimassa + max. 90 % hyötykuormaa
Testimatkan kesto	17 - 30 min	90 - 20 min

* Kun käytössä laajennetut testausolosuhteet

RDE-testin tulee vastata normaalia ajotilannetta niin ajo-olosuhteiden, ajotavan kuin hyötykuormankin osalta. Tämän vuoksi ajomatkan tulee kattaa kaupunki-, maantie- ja moottoritieajoa todellisilla ajoreiteillä. Testireittiä suunniteltaessa on huomioitava myös, että lopetus- ja aloituskohdan korkeusero ei saa ylittää 100 m. Ajettavien testiosuuksien vähimmäispituus on 16 km testiosuutta kohden ja RDE-testiosuuksien kokonaiskeston tulisi olla 90 ja 120 minuutin välillä. Lopullinen

testireitti tulee määrittää hyväksyntäviranomaisen taholta topografisen kartan avulla, josta on nähtävillä muun muassa reitillä vallitsevat korkeuserot. (6, s. L 175/115–117.)

Testin aikana on noudatettava paikallisia nopeusrajoituksia, enimmäisnopeuden ollessa normaali-tilanteessa enintään 145 km/h. Testin enimmäisnopeus saa kuitenkin ylittyä enintään 15 km/h, mutta ylityksen kesto ei saa ylittää 3 % moottoritieosuuden kokonaisajomatkasta. Taulukossa 6 on esitetty testireitillä käytettäviä ajonopeuksia. (6 s. L 175/115, L 175/117.)

TAULUKKO 6. RDE-testisyklissä ajettavan matkan vaatimuksia (6, s. L 175/117)

Testisykli	Ajonopeus [km/h]		Osuus kokonaismatkasta * [%]	Huomiot
	Min.	Max.		
Kaupunki	0	60	34	- Keskinopeus 15 - 40 km/h - Pysähdysten osuus testijaksosta 6 - 30 % - Useita 10 - 180 s. mittaisia pysähdyksiä
Maantie	60	90	33	-
Moottoritie	90	145	33	- Enimmäisnopeus saa ylittyä max. 15 km/h enintään 3 % ajan testijakson pituudesta - Ajonopeus nouseva vähintään 110 km/h - Ajonopeus >100 km/h 5 min. ajan

* Sallitaan ± 10 % poikkeama taulukossa esitetystä prosentiosuudesta. Pois lukien kaupunki- osuus, jonka oltava vähintään 29 % kokonaisajomatkasta (6, s. L 175/116).

3 PHEV-LATAUSHYBRIDI

Hybridiajoneuvon eduiksi voidaan katsoa pienempi polttoaineenkulutus yhdistettynä parempaan ajettavuuteen. Sähkömoottorin antaessa suuren väännön pienillä nopeuksilla, helpottaa se liikkeelle lähtöä esimerkiksi lähdettäessä liikkeelle liikennevaloista. Samalla se vähentää polttoaineenkulutusta osallistumalla ajoneuvon liikkuttamiseen, joko täysin tai avustamalla polttomoottoria. Kuten aikaisemmin on todettu, polttoaineenkulutus on suoraan verrannollinen ajoneuvon tuottamiin CO₂-päästöihin. Näin ollen hybridiajoneuvon käytöllä on myös positiivinen vaikutus ympäristöön. (14, s. 812–813.)

Ladattavalla hybridillä tarkoitetaan hybridiajoneuvoa, jota on mahdollista ladata myös ulkoisesta lähteestä. PHEV on aina täyshybridi, tarkoittaen että sillä voi ajaa myös pelkän sähkömoottorin voimalla. (14, s. 815.) Täyshybridin voimansiirtolinjan rakenne voi olla toteutettu joko rinnan- tai sarjakytkentänä. Rinnankytkentää käytettäessä polttomoottori on kytkettynä voimansiirtolinjaan. Tämän vuoksi järjestelmässä tulee käyttää joko kahta erillistä kytkintä tai asettaa polttomoottori ja sähkömoottori käyttämään eri akseleita. Sarjakytkennässä puolestaan polttomoottori ei ole kytketty voimansiirtolinjaan, vaan järjestelmässä on kaksi sähkömoottoria. Toinen sähkömoottoreista toimittaa generaattorin virkaa ja tuottaa polttomoottorin avulla virtaa toiselle sähkömoottorille, joka toimii voimanlähteenä vetäville pyörille. Lisäksi on kehitetty näiden kahden kytkentätavan yhdistelmiä, joiden avulla saadaan käyttöön molempien tekniikoiden hyödyt. (14, s. 824–828.)

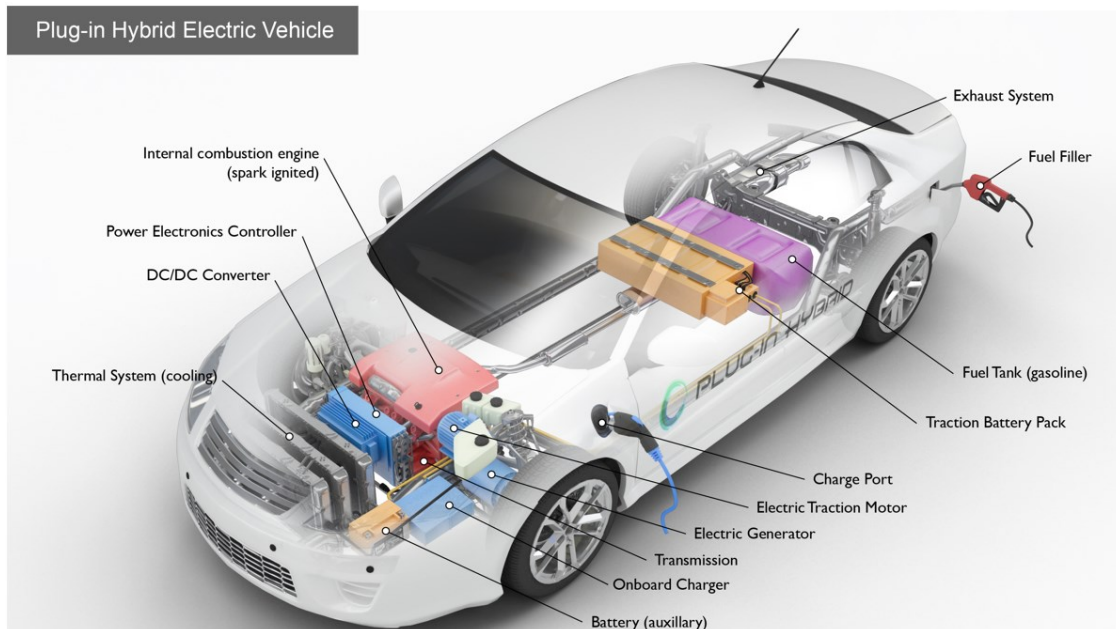
Opinnäytetyön kohteena olevassa Volvo XC60 Twin Enginessä on valittavissa viisi erilaista ennalta määritettyä ajotilaa: Hybrid, Pure, Power, Off Road sekä Constant AWD. Hybrid-tilassa ajoneuvo käyttää sekä sähkö- että polttomoottoria yhdessä tai erikseen. Tila on optimoitu matalalle energiatasolle ja se on ajoneuvon perusajotila. Pure-ajotila on ajoneuvon ekologisimmin ajotila, mahdollistaen maksimaalisen sähkömoottorin käytön ja näin ollen ajotiloista pienimmät hiilidioksidipäästöt. Tila ei kuitenkaan ole käytettävissä, ellei ajoneuvon korkeajänniteakun varaus ole tarpeeksi korkea. Lisäksi niin sanotuista normaaleista ajotiloista käytössä on myös Power-tila, joka on optimoitu maksimaaliseen tehoon, ja se käyttää sähkö- ja polttomoottoria samaan aikaan. Koska tilan avulla saadaan ajoneuvo käyttäytymään tehokkaammin, on siinä myös suurin polttoaineenkulutus. (22.)

Lisäksi käytössä on kaksi erityisolosuhteisiin määritettyä ajotilaa Off Road- ja Constant AWD-tilat. Off Road-tila on konfiguroitu käytettäväksi hankalassa maastossa, ja se onkin käytettävissä vain

nopeuden ollessa alle 40 km/h. Toinen täysi nelivetotila on Constant AWD, jota suositellaan käytettäväksi liukkaalla kelillä tai vedettäessä perävaunua. Myös tässä ajotilassa on käytössä sekä poltto- että sähkömoottori, joka lisää polttoainekulutusta. (22.)

3.1 Voimansiirtolinjan komponentit

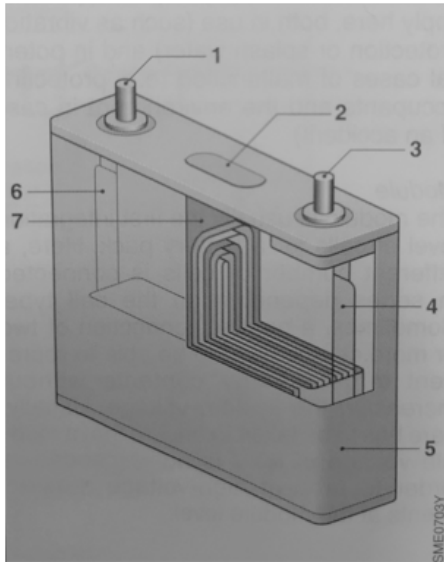
Perinteisten polttomoottorilla toimivan ajoneuvon voimansiirtolinjan komponenttien, kuten vaihteiston ja jäähdytysjärjestelmän lisäksi, PHEV:n voimansiirtolinja sisältää erinäisiä komponentteja sähkökäyttöä varten. Kuviossa 13 on nähtävillä PHEV:n voimansiirtolinjan rakenne ja siihen kuuluvia yleisimpiä komponentteja. (23.)



KUVIO 13. PHEV:n voimansiirtolinjan komponentit (23)

Komponentit voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen, matalajännite- ja korkeajännitepuolen komponentteihin. Matalajännitepuolelle kuuluvat matalajänniteakku ja ajoneuvon 14 V:n -järjestelmään kuuluvat toimilaitteet. Korkeajännitepuolelle puolestaan kuuluvat korkeajänniteakuston lisäksi sähkömoottori sekä invertteri, joka muuntaa akulta tulevan DC-virran sähkömoottorin käyttämäksi AC-virraksi. Lisäksi korkeajännitekomponentteja ovat AC/DC- ja DC/DC-muuntimet sekä lataukseen käytettävä generaattori, joka voi olla joko erillinen tai integroitu sähkömoottoriin. (14, s. 832, 844, 1304–1307.)

Korkeajänniteakkuina käytetään pääsääntöisesti Li-ion-akkuja, eli litiumioniakkuja. Akusto koostuu useista moduuleista, jotka puolestaan koostuvat sarjaan kytketyistä akkusoluista. Yksi solu pitää sisällään positiivisen katodin ja negatiivisen anodin (kuvio 14), joiden välillä litiumionit kulkevat. Yhden solun jännite on noin 3,7 V ja koko akuston jännite voi olla jopa 800 V. (14, s. 812, 1323, 1326.)



- 1: Positiivinen napa (+)
- 2: Varoventtiili
- 3: Negatiivinen napa (-)
- 4: Metallifilmi
- 5: Kotelo
- 6: Metallifilmi
- 7: Käämitys (sis. anodi, katodi ja eriste)

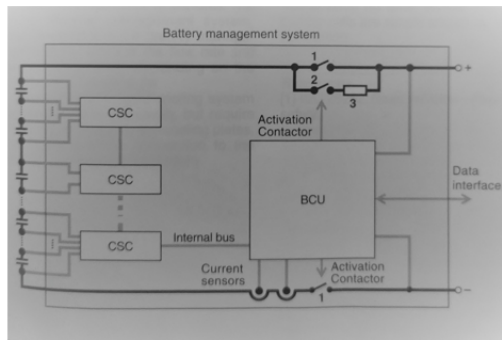
KUVIO 14. Akkusolun rakenne (14, s. 1325)

Vanhemmissa hybrideissä voi olla käytössä myös nikkelimetalliakkuja, mutta Li-ion-akustot ovat syrjäyttäneet vanhat akut lähes kokonaan. Li-ion tekniikan etuina vanhempaan tekniikkaan verrattuna on sen parempi energiatiheys sekä pidempi varausaika. (14, s. 1323.)

Akuston lataamiseen käytettäviä korkeajännitekomponentteja ovat sähkögeneraattori ja sisäinen latausjärjestelmä, mukaan lukien AC/DC- ja DC/DC -muuntimet. Sähkögeneraattoria käytetään siirtämään jarrutettaessa muodostunut jarrutusenergia korkeajänniteakkuun. AC/DC-muunninta taas käytetään muuntamaan ulkoisesta latauspisteestä tuleva AC-virta korkeajänniteakkuun varastoitavaksi DC-virraksi. DC/DC-muunninta puolestaan käytetään muuntamaan korkeajänniteakustolta tuleva virta sopivaksi matalajännitepuolen toimilaitteille sekä lataamaan matalajänniteakkuja. Lisäksi sisäinen latausjärjestelmä valvoo lataustapahtumaa estäen muun muassa yllä lataamisen sekä akuston ylikuumentumisen (14, s. 1305, 1307; 23).

Hybriditoiminnan ja lataamisen ohjaamiseen tarvitaan lisäksi erillisiä ohjainlaitteita. Tavallisten polttomoottorijärjestelmässä käytettävien ohjainlaitteiden lisäksi hybridirakenteeseen onkin lisätty akun

toimintaa ja elektronista voimansiirtoa säätelevät ohjainlaitteet. Sisäisen latausjärjestelmän toimintaa valvoo BMS (Battery Management System), joka tarvittaessa kytkee akuston irti järjestelmästä. Kuten kuvista 15 on nähtävillä, BCU (Battery Control Unit) voi tarvittaessa kytkeä positiivisen- ja negatiivisenlinjan kytkimet auki asentoon ja näin irrottaa akuston päälinjasta. (14, s. 829, 1327–1328.)



- 1: Pääkatkaisija
- 2: Latauksen katkaisija
- 3: Esilatauksen vastus
- BCU: Akuston ohjainlaite
- CSC: (Cell Supervisory Circuit) Solujen valvontapiiri

KUVIO 15. Esimerkki BMS-järjestelmän rakenteesta (14, s. 1327)

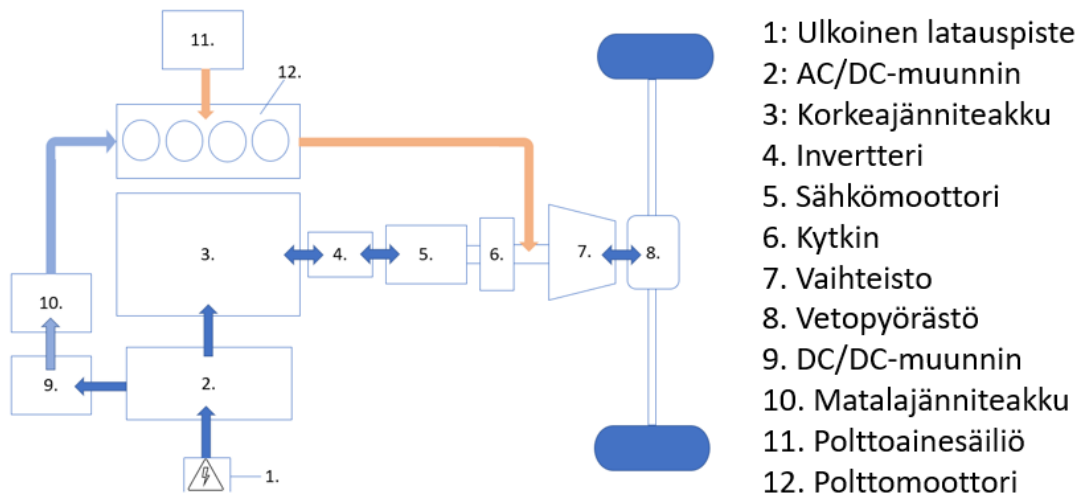
3.2 Virrankulku ja lataus

PHEV-ajoneuvoa voidaan ladata joko ulkoisesta lähteestä tai käyttämällä sisäistä lataamista. Sisäisen lataamisen toteuttamiseen on kaksi tapaa, jarrutusenergian regenerointi sekä polttomoottorin tuottaman energian käyttäminen lataukseen. Polttomoottorilla tapahtuva lataus suoritetaan tuottamalla sillä enemmän energiaa kuin on tarpeen ajoneuvon liikuttamiseksi, ja siirtämällä ylimääräinen energia korkeajänniteakkuun. (14, s. 812–814.)

Regenerointi suoritetaan yleensä sähkömoottorilla, joka toimii generaattorina silloin kun sitä ei tarvita ajoneuvon liikuttamiseen. Regenerointi tapahtuu keräämällä jarrutuksen aikana syntynyt lämpöenergia talteen ja muuntamalla se ajoneuvon käyttöön sopivaan muotoon korkeajänniteakkuun. Ajoneuvossa voi myös olla erillinen sähkögeneraattori tätä varten. (14, s. 832; 23.)

Ulkoisesta lähteestä lataamisella tarkoitetaan ajoneuvon yhdistämistä latausjohdolla kotitalouksien käytössä olevaan sähköverkkoon, josta saatava sähkö on vaihtovirtaa (AC). Korkeajänniteakkuun varastoitu virta puolestaan on tasavirtaa (DC), joten korkeajänniteakun ja latauspistokkeen väliin tarvitaan AC/DC-muunnin. Korkeajänniteakusta virta jatkaa kohti invertteriä ja siitä edelleen

sähkömoottoriin. Sähkömoottori muuttaa virran rotaatioenergiaksi, joka välitetään vetäville pyörille ja siitä edelleen ajoneuvon liikkeeksi. Kuvio 16 havainnollistaa PHEV-ajoneuvon virrankulkua ja latausta. (14, s. 814, 1307; 23.)



KUVIO 16. Energiankulku rinnankytketyssä PHEV-ajoneuvossa (14, s. 824, 1307)

Myöskin matalajänniteakku saa virtansa korkeajänniteakulta. Koska korkeajänniteakun jännite on huomattavasti suurempi kuin matalajänniteakun käyttämä jännite, tulee väliin asettaa DC/DC-muunnin. Muunnin tasaa jännitteen matalajänniteakulle sopivaksi 14 V jännitteeksi, josta ajoneuvon toimilaitteet ja anturit saavat tarvitsemansa käyttövirran. (14, s. 1307; 23.)

3.3 Väyläteknikat

Opinnäytetyössä keskitytään väyläteknikkojen osalta CAN-tekniikkaan sekä datan tulkitsemiseen käytettävään OBD-tekniikkaan. Lisäksi sivutaan toimilaitteiden yhdistämiseen käytettyä LIN-tekniikkaa ja pääosin multimedia käytössä olevaa Ethernet-tekniikkaa. Edellä mainittujen lisäksi nykyaikaisissa ajoneuvoissa voidaan käyttää myös TTCAN-tekniikkaan perustuvaa FlexRay-tekniikkaa sekä etenkin Airbagin ohjauksessa käytettyä PSI5-tekniikkaa (14, s. 1463, 1471).

LIN (Local Interconnect Network) kehitettiin 1990-luvun lopulla komponenttien ja toimilaitteiden väliseen kommunikointiin, josta se kehittyi LIN 2.0-sovellutukseksi vuonna 2003. Järjestelmän etuja ovat sen edullisuus, käytön perustuessa vain yhden johdon tekniikkaan. Tekniikkaa voidaan

käyttää kaikkialla missä ei tarvita suuria tiedonsiirtonopeuksia. LIN-tekniikka perustuu master-slave-periaatteeseen, jossa on yksi isäntä ja jopa 15 vastaanottavaa solmua. Tekniikassa isäntä lähettää pyynnön tai toimintakäskyn, johon vastaanottava solmu reagoi vastaamalla tai toimimalla isännän haluamalla tavalla. CAN-väylästä poiketen LIN-väylään lähetettyjen viestien tärkeysjärjestystä ei tarvitse määrittää, sillä lähetettäviä solmuja on vain yksi. (14, s. 1466–1468; 24.)

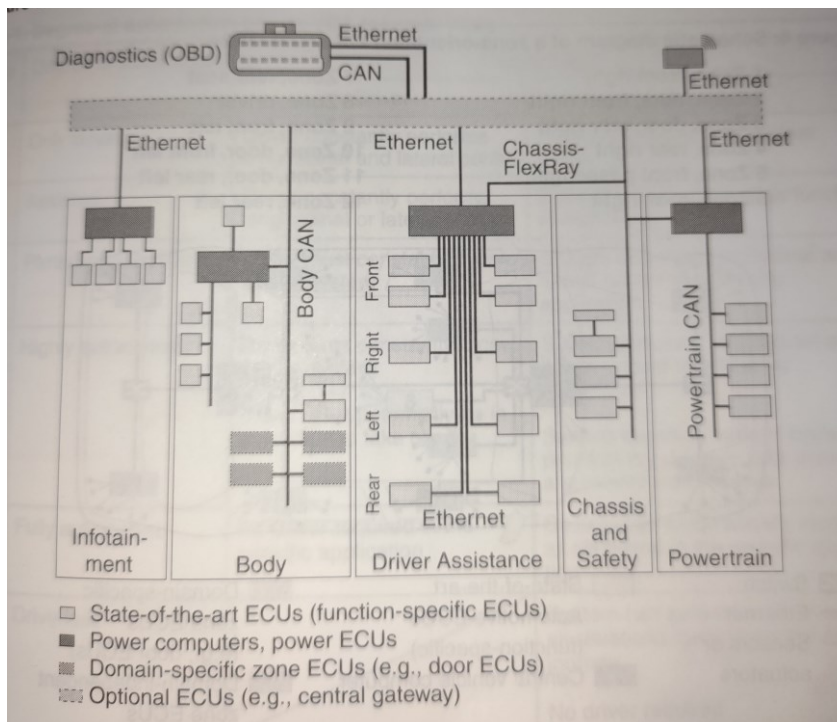
Ethernet-yhteyden käyttö ajoneuvoissa kehitettiin nopeuttamaan päivitysten asentamista ajoneuvojen ohjainlaitteisiin, josta se jatkokehitettiin ajoneuvon sisäisen elektroniikan kuten infotainment-järjestelmien käyttöön. Myös kuljettajan ja jalankulkijoiden turvallisuuteen vaikuttavien antureiden ja toimilaitteiden-yhteydet vaativat nopeaa tiedonsiirtoyhteyttä, joka kestää suuren datakuorman. Ethernet-tekniikka onkin omiaan käytettäväksi näissä tilanteissa, sen tiedonsiirtonopeuden yltäessä jopa 10 Gbit/s. Lisäksi etuna on järjestelmän yhdistämiseen käytettävien kaapeleiden paino. Kaapeleina käytetään kieritettyä parikaapelia, joka on huomattavasti kevyempää ja kustannustehokkaampaa, kuin toisen infotainment-käytössä olevan MOST-tekniikan raskaat koaksiaalikaapelit. (25.)

Väylätekniikkaa käytetään antureista saatavan tiedonsiirtoon eri ohjainlaitteiden välillä. Esimerkiksi pyörintänopeusantureilta saatava ajoneuvon nopeustieto käsitellään ABS/ESP-ohjainyksikössä ja lähetetään CAN-väylään, josta muut kyseistä tietoa tarvitsevat ohjainlaitteet sen saavat. Tiedonsiirtonopeudet vaihtelevat 1 kbit/s - 10 Gbit/s, riippuen siitä mikä väylätekniikka on kyseessä (14, s. 1450, 1467, 1469). Taulukossa 7 on esiteltyä ajoneuvoissa käytettävien väylätekniikoiden vaatimuksia.

TAULUKKO 7. Väyläteknikoiden luokitukset (14, s. 1458)

Luokka	Tiedonsiirtonopeus	Tekniikka	Vaatus	Käyttökohteet
A	Matala ≤ 10 kbit/s	LIN, PSI5		Toimilaitteiden ja antureiden yhdistäminen
B	Keskitaso ≤ 125 kbit/s	CAN-B	Monimutkainen virheen käsittely	Mukavuusjärjestelmät
C	Korkea ≤ 1 Mbit/s	CAN-C	Reaaliaikainen tiedonsiirto	Voimansiirto ja moottorinohjaus
C+	Erittäin korkea ≤ 10 Mbit/s	FlexRay	Reaaliaikainen tiedonsiirto	Voimansiirto ja moottorinohjaus
D	Erittäin korkea ≥ 10 Mbit/s	MOST, Ethernet		Multimedia- ja Infotainment-järjestelmät

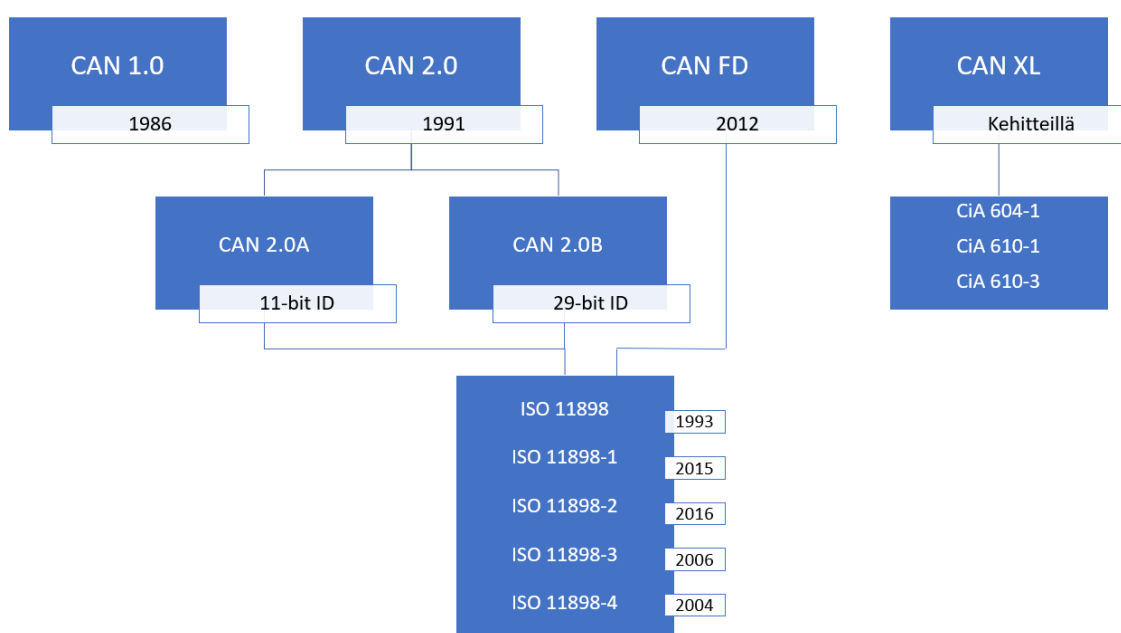
Taulukossa 7 esitettyjä asioita voidaan havainnoida kuvion 17 avulla. Kuviossa 17 on esitettyä kuvitteellisen ajoneuvon väyläyhteyksien toteutus.



KUVIO 17. Kuvitteellinen toteutus ajoneuvon väyläyhteyksistä (14, s. 1485)

3.3.1 CAN-väylä

Ajoneuvoissa käytettävä CAN-väylä (Controller Area Network) on Robert Bosch GmbH:n kehittämä tiedonsiirtotapa. Järjestelmän kehitys aloitettiin alun perin jo vuonna 1983 mahdollistamaan uusien toimintojen käyttöönottoja sekä yksinkertaistamaan ajoneuvoissa käytettävän elektroniikan johdotuksia. Vuonna 1986 ensimmäinen versio CAN-väylästä julkistettiin. Ajoneuvokäyttöön CAN-väylä tuli uudistettuna CAN 2.0 -sovellutuksena vuonna 1991 ja vuonna 1993 se sai ensimmäiset kansainväliset standardinsa koskien tiedonsiirtoa ja sen fyysisiä vaatimuksia. Kuviosta 18 on nähtävissä CAN-väylätyyppien kehitys sekä niihin vaikuttavat standardit. (26.)

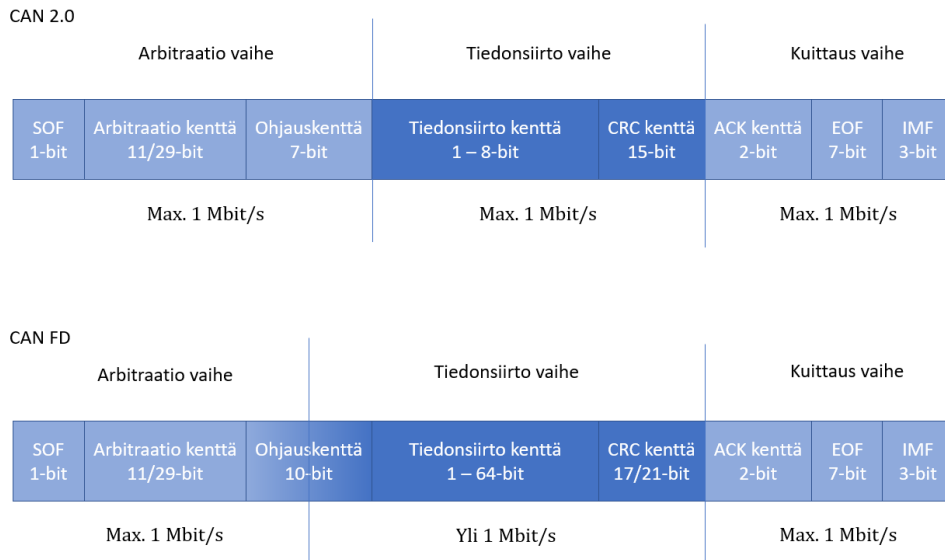


KUVIO 18. CAN-väylä tyypit ja niitä koskevat standardit (26; 27; 28; 29)

Nykyaikaisissa ajoneuvoissa käytetään sekä CAN 2.0- että CAN FD -yhteyksiä. CiA:n vuonna 2016 julkaiseman artikkelin mukaan CAN FD -tekniikkaa aletaan käyttämään vuosimallien 2019 tai 2020 ajoneuvoissa ja tekniikka tulee pikkuhiljaa syrjäyttämään vanhan CAN 2.0 -tekniikan (30). Mikäli käytössä ovat molemmat yhteydet, täytyy CAN FD -tekniikkaa käyttävien ohjainlaitteiden tukea myös CAN 2.0 -tekniikkaa (31).

Kuten kuviosta 19 on nähtävillä, CAN FD -järjestelmän datakehys on laajempi mikä mahdollistaa pidemmän viestin lähettämisen. Lisäksi CAN FD -järjestelmässä tiedonsiirtovaihe on laajempi, eikä

sen nopeus ole enää rajoitettu 1 Mbit/s. Edellä mainitut asiat yhdessä lisäävät järjestelmän suorituskykyä tehden siitä tehokkaamman CAN 2.0 -järjestelmään verrattuna. (31.)



SOF = Viestin aloitus

Arbitraatio kenttä = Tärkeysjärjestyksen määrittäminen

Ohjauskenttä = Määrittää kuinka monta bittiä Data-kenttä sisältää

Tiedonsiirto kenttä = Viestin sisältämä tieto

CRC = Tarkistuskenttä, jossa tarkistetaan viestin oikeellisuus

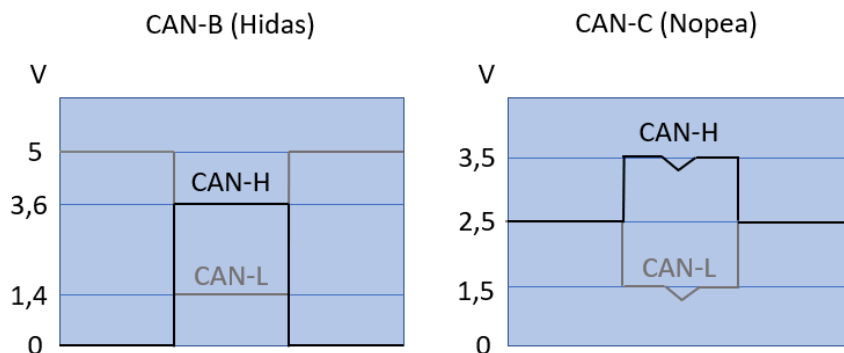
ACK = Kuittauskenttä, vastaanottajat kuittaavat saaneensa virheettömän viestin

EOF = Viestin lopetus

IMF = Erottaa viestin seuraavasta viestistä

KUVIO 19. CAN 2.0 ja CAN FD -datakehysten erot (14, s. 1460–1461; 31; 32.)

Pääsääntöisesti väyläyhteys toteutetaan kahdella toistensa ympärille kieritetyllä johdolla. Johtojen kieritystä käytetään suodattamaan ulkopuolisia häiriöitä. Tällä tavoin häiriö vaikuttaa molempiin signaaleihin samalla hetkellä ja on näin suodatettavissa pois datasta (kuvio 20). (14, s. 1458–1459.)

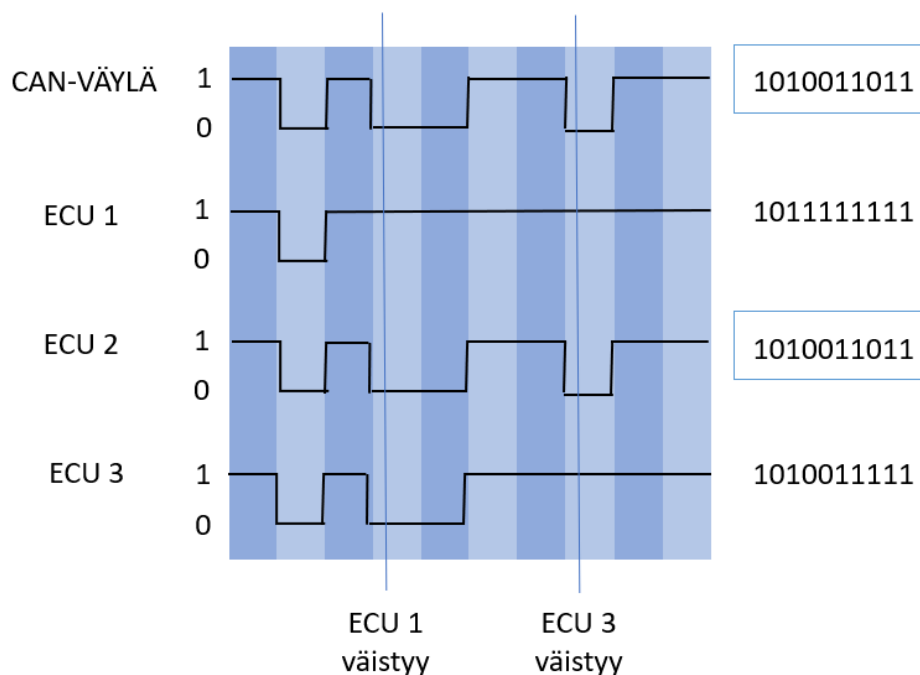


KUVIO 20. CAN-signaalien jännitteet eri väyläyhteys luokissa. CAN-C signaaleissa nähtävissä ulkoinen häiriö (14, s. 1459)

Johdoissa kulkeva data on symmetristä, joskin eri jännitetasoilla kulkevaa tietoa. Johtoja kutsutaan CAN-H ja CAN-L -väyliksi, joista B-luokan väyläyhteystyyppillä CAN-H signaalin jännite on 0 - 3,6 V välillä ja CAN-L signaalin jännite puolestaan 1,4 - 5 V välillä. C-luokan väyläyhteydellä jännite on 2,5 - 3,5 V (CAN-H) tai 1,5 - 2,5 V (CAN-L). (14, s. 1459.)

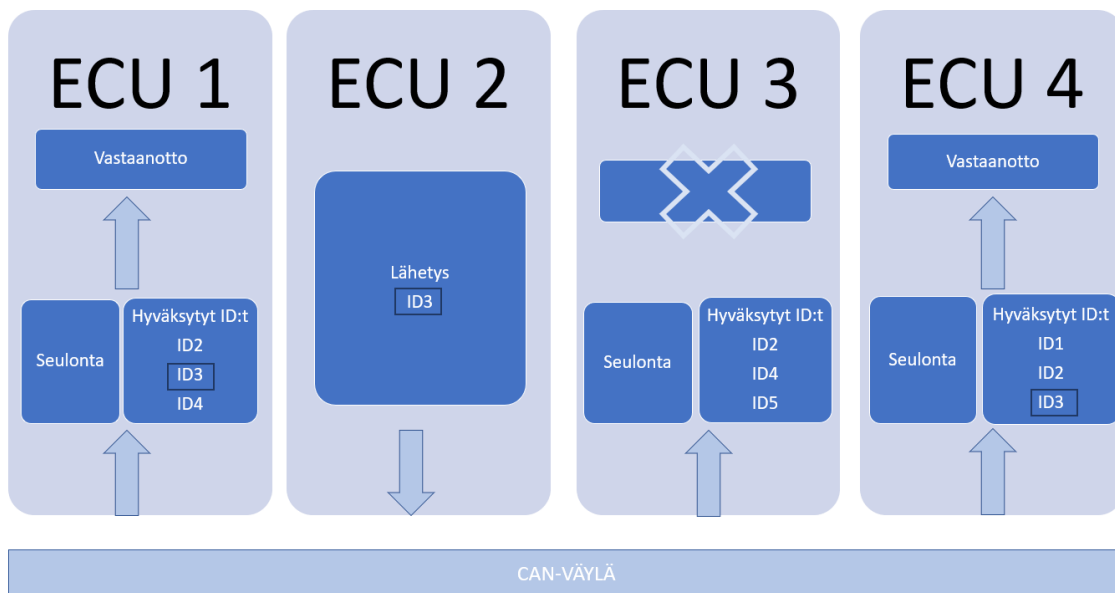
CAN-väylä perustuu multi-master-periaatteeseen, jossa jokainen solmu voi toimia hallitsevassa roolissa (14, s. 1454). Näin ollen jokainen solmu voi aloittaa datan lähettämisen samaan aikaan. Solmut eli ajoneuvojen tapauksessa ohjainlaitteet, voivat siis olla sekä lähettäviä että vastaanottavia solmuja. Solmujen tila määräytyy sen perusteella, kuinka tärkeää niiden lähettämä viesti on. Käytännössä CAN-väylässä voi olla kerrallaan yksi lähettävä ohjainlaite, ja tällöin muut ohjainlaitteet siirtyvät vastaanottavaan tilaan. (14, s. 1450, 1460–1461.)

CAN-väylä käyttää binäärijärjestelmään perustuvaa koodausta, jossa 0 on hallitseva ja 1 väistyvä merkki. Eli toisin sanoen viestien lähetysjärjestyksen määrää datan alussa oleva arbitraatio-kenttä, joka määrittää sen kuinka tärkeää tietoa data sisältää. Mitä pienempi kentän arvo on, sitä tärkeämpää on sen sisältämä viesti, syrjäyttäen näin isomman arvon sisältämän viestin tärkeysjärjestyksessä (kuvio 21). Käytännössä suuremman binääriarvon sisältämä viesti vapauttaa kaistan tärkeämmälle viestille ja jää odottamaan kaistanvapautumista. (14, s. 1460–1461.)



KUVIO 21. Viestin tärkeysasteen määrittäminen (14, s. 1460)

Koska solmut lähettävät datan yleiseen jakoon CAN-väylään, tulee vastaanottavien solmujen päättää tarvitsevatko ne kyseistä tietoa vai eivät. Vastaanotettavan datan seulominen perustuu niin sanottuun message oriented -tekniikkaan, jossa tunniste on viestin sisällä. CAN-viestin ollessa kyseessä tunniste sijaitsee viestin arbitraatio-kentässä ja on pituudeltaan joko 11- tai 29-bittiä. Vastaanottava solmu vastaanottaa viestin, mikäli viestin tunniste on tallennettu solmun vastaanotettavien viestien tunnisteiden listaan (kuvio 22). (14, s. 1455, 1460–1461.)



KUVIO 22. Viestin vastaanotto prosessi (14, s. 1455, 1460)

Mikäli joku vastaanottavista solmuista havaitsee virheen lähetetyssä datassa, ilmoittaa se siitä ACK-kentän aikana, jolloin kyseinen viesti perutaan ja siitä lähetetään virheviesti. Antaen näin käskyn jättää vastaanotettu data huomioimatta. Virheviestillä vältytään tilanteelta, jossa kaksi eri ohjainlaitetta saa eri arvon esimerkiksi ajoneuvon nopeudesta. Muita virheellisen viestin havainnointi tapoja ovat CRC-kentässä lähetetyn tarkistuskoodin epäloogisuus, datakehysten pituuden ja rakenteen tarkistus sekä lähetävän solmun tekemä reaaliaikainen tarkistus. Lisäksi käytössä on vielä niin sanottu Bit Stuffing -tekniikka, jossa lisätään täytebittejä datan sekaan. Täytebittejä käytetään mikäli saman arvon omaavia bittejä on viisi peräkkäin. Lähettävä solmu lisää tässä tapauksessa yhden vastakkaista arvoa olevan bitin dataan, jonka vastaanottavat solmut poistavat vastaanotetusta datasta. (27.)

3.3.2 OBD-II

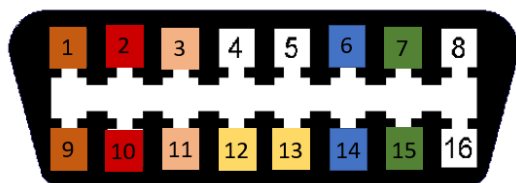
OBD:llä (On-Board Diagnostic) tarkoitetaan ajoneuvon sisäistä valvonta järjestelmää. Järjestelmä on kehitetty valvomaan päästöjen hallintaan liittyvien komponenttien toimintaa, mutta sitä käytetään myös muiden komponenttien vikatilojen havaitsemiseen. Järjestelmä tallentaa vikamuistiin esimerkiksi moottorinohjauksessa tapahtuneet virhetilanteet, ja sytyttää tarpeen mukaan moottorin häiriövalon (MIL). (14, s. 914; 33.)

OBD-II-järjestelmistä on useita eri standardien säätlemiä variaatioita ja niiden käyttö riippuu ajoneuvon valmistusvuodesta sekä valmistusmaasta. Käytössä olevat sisäisen valvonnan protokollat on lueteltu taulukossa 8.

TAULUKKO 8. OBD-II-protokollat (34).

Protokolla	Yhteystyyppi	Nopeus [kB/s]	Protokollaa käyttävät ajoneuvot
ISO 15765-4	CAN-väylä	62,5 / 31,25	Yleinen vm. 2008 →
ISO 14230-4 (KWP2000)	K-Line	1,3	Yleinen vm 2003 →
ISO 9141-2	K-Line / (L-Line)	1,3	Eurooppalaiset ajoneuvot vm. 2000–2004
SAE J1850 VPW	Bus +	10,4	General Motors
SAE J1850 PWM	Bus + / Bus -	41,6	Ford

OBD-liittimen tulee olla standardin SAE J1962 mukainen. Kuviossa 23 on esitettyä standardissa määrätty pinnijärjestys. Pinnikaaviosta tulee huomioida, että todellisuudessa kaikkia pinnejä ei kytetä, vaan käytössä olevat pinnit riippuvat täysin siitä mitä protokollaa kyseinen ajoneuvo käyttää. Kaikille yhteisiä pinnejä ovat kuitenkin pinnit numero 4 ja 5, jotka ovat yhteydessä maahan sekä pinni numero 16 joka on yhteydessä akun + -liitäntään. (35.)



PIN	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
1		Ethernet RX +
2	BUS +	
3	Ethernet RX +	
4	Chassis	
5	Signal Ground	
6	CAN-H	
7	K-Line	
8		
9		Ethernet RX -
10	BUS -	
11	Ethernet RX -	
12	Ethernet TX +	Ethernet TX +
13	Ethernet TX -	Ethernet TX -
14	CAN-L	
15	L-Line	
16	Battery +	

KUVIO 23. OBD-liittimen pinnikaavio (35.)

Järjestelmä käyttää 16-kantaluvun heksadesimaalijärjestelmää, sillä järjestelmällä pystytään ilmaisemaan lyhyesti pidempiä desimaalilukuja tai binäärikoodoja. Heksadesimaalijärjestelmän kantaluku on 16, tarkoittaen että järjestelmässä on käytössä 16 merkkiä. Käytössä on 10 numeroa välillä 0 - 9, ja lisäksi 6 kirjainta väliltä A - F. Käytettävän järjestelmän ilmoittamiseen käytetään joko alaindeksinä järjestelmän kantalukua taikka vaihtoehtoisesti taulukossa 9 mainittua etuliitettä. Esimerkiksi ajonopeuden ilmoittamiseen käytetty heksadesimaalikoodi ilmoitetaan muodossa: 0x0D.

TAULUKKO 9. Tietokoneyhteyksissä käytettävien järjestelmien tietoja (36; 37).

Järjestelmä	Kantaluku	Merkit	Etuliite	Esimerkki
Desimaali	10	0-9	-	13
Binääri	2	0,1	0b	1101
Heksadesimaali	16	0-9, A-F (10-15)	0x	0D ($0 * 16^1 + 13 * 16^0$)

OBD-järjestelmässä yleisesti käytettävien parametrien tunnistekoodit (PID), sekä diagnostiikassa käytetyt toiminto-osoitteet (Service Mode) on määritelty ISO ja SAE standardeissa. Toimintaosoitteiden määrä riippuu siitä kumpi standardeista on käytössä. Kuten taulukosta 10 on nähtävissä, toiminto-osoitteen tunnuksen etumerkinä käytetään \$-merkkiä. Yhteensä toiminto-osoitteita on joko 9 tai 10 kappaletta, riippuen käytössä olevasta standardista.

TAULUKKO 10. Diagnostiikassa käytetyt toimintaosoitteet (38).

Service Mode	Kuvaus	Standardi
\$01	Pyyntö ajantasaisesta voimansiirtolinjan diagnostiikasta	SAE / ISO
\$02	Pyyntö voimansiirtolinjan parametreistä vian ilmestymishetkellä	SAE / ISO
\$03	Pyyntö tallennetuista päästöihin liittyvistä vikakoodeista	SAE / ISO
\$04	Tyhjennä päästöihin liittyvä diagnostiikka	SAE / ISO
\$05	Pyyntö happitunnistimen valvontaan liittyvien testien tuloksista	SAE / ISO
\$06	Pyyntö sisäisen valvontajärjestelmän ennalta määrättyjen testien tuloksista	SAE / ISO
\$07	Pyyntö meneillään olevan tai viimeisimmän ajosyklin päästöihin liittyvistä vikakoodeista	SAE / ISO
\$08	Sisäisen valvonnan, yksittäisen testin tai komponentin toiminnan aktivointi	SAE / ISO
\$09	Pyyntö ajoneuvon tiedoista	SAE / ISO
\$09A	Pyyntö pysyvistä vikakoodeista	SAE

Toiminto-osoitteiden kautta voidaan hakea muistiin tallennettuja vikatietoja, tyhjentää vikamuisti taikka tarkistaa ajantasaisia tai vikahetkellä olleita ajoneuvon parametrejä. Lisäksi testilaitteen avulla voidaan kytkeä erilaisia komponentteja ja toimintoja päälle tai pois päältä vianhaun helpottamiseksi. (38.)

Parametrien tunnistetiedoilla voidaan yksilöidä tarkasteltavaksi haluttava parametri, joita on standardoitu yli 100 kappaletta. Osa tunnisteista on niin sanotusti pakollisia ja osa vapaaehtoisia, jotka riippuvat moottorin rakenteesta. Taulukossa 11 on esitettyinä opinnäytetyössä käytettävien parametrien tiedot.

TAULUKKO 11. Opinnäytetyössä käytettävien parametrien tietoja (38; 39).

Parametri	PID	Yksikkö	Kaava*
Ajonopeus	0D	km/h	A
Ilman massavirta	10	g/s	$\frac{256A + B}{100}$
Kierrosluku	0C	rpm	$\frac{256A + B}{4}$
Lambda	34	suhde	$\frac{2}{65536} (256A + B)$

* A:lla ja B:lla tarkoitetaan vastauksena saatua heksadesimaali arvoa ilmoitettuna desimaalilukuna, jossa A on vastauksen ensimmäinen tavu ja B toinen (39).

Luettaessa haluttuja tietoja lähetetään sisäiseen valvontajärjestelmään pyyntö tiedoista, lisäämällä parametrin tunnistetiedon eteen haluttu toiminto-osoite. Esimerkiksi mikäli halutaan ajantasainen tieto lambda-arvosta, lähetetään valvontajärjestelmään koodi 0134, jossa 01 on toiminto-osoite ja 34 parametrin tunnistetieto. Vastauksena valvontajärjestelmä lähettää 4134 alkuisen datakehyyksen, jossa 41 merkitsee vastausta ja 34 parametrin tunnistetietoa. Vastauksen tunniste muodostuu arvosta 40 johon on lisätty toiminto-osoitteen arvo, tässä tapauksessa siis 40+01=41. (38.)

Käydään edellä mainitut asiat läpi esimerkin kautta. Esimerkissä pyydetään ajantasainen arvo lambda-anturilta ja saadaan vastaukseksi arvo 1,01. Kuviossa 24 on nähtävissä CAN-väylään lähetetyn pyynnön sekä saadun vastauksen datakehyykset.

	CAN ID	TAVU 0	TAVU 1	TAVU 2	TAVU 3	TAVU 4	TAVU 5	TAVU 6	TAVU 7	
Pyyntö	7DF	02	01	34	AA	AA	AA	AA	AA	Can ID: Can-väylän tunniste Tavu 0: Merkitsevien tavujen määrä Tavu 1: Toiminto-osoite / vastaus toiminto-osoitteeseen Tavu 2: PID Tavu 3: Parametrin arvo Tavu 4-6: Parametrin arvo (valinnainen) AA: Ei käytössä
Vastaus	7E8	04	41	34	80	FF	AA	AA	AA	

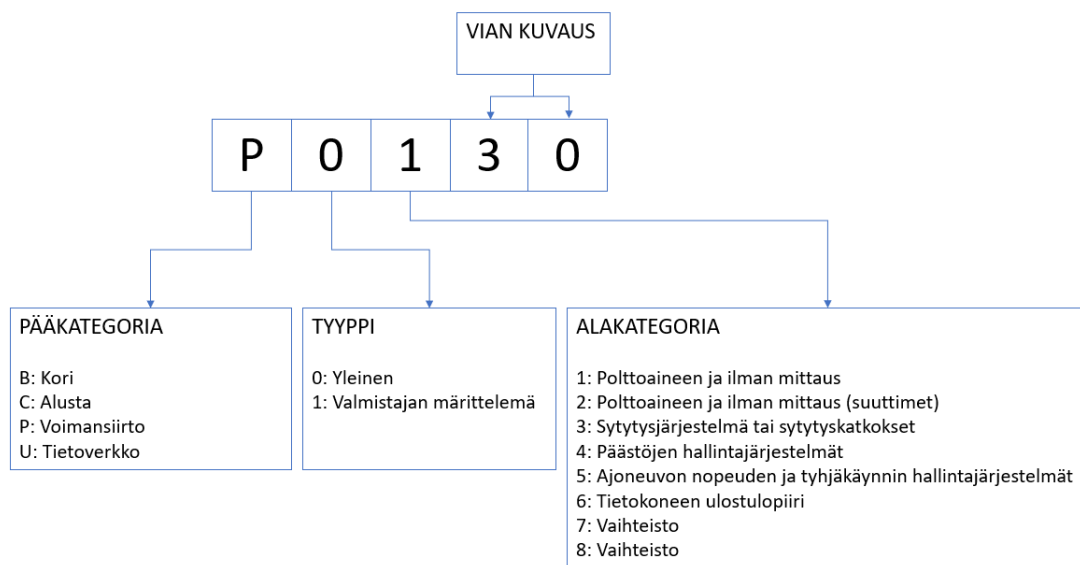
KUVIO 24. Esimerkki tapauksen pyyntö- ja vastauskehyykset (39; 40)

Muunnetaan tavujen 3 - 4 arvot desimaali muotoon, eli 80=128 ja FF=255. Lasketaan taulukossa 11 esitetyn lambda-arvon laskenta kaavan (kaava 20) avulla lambda-arvo saadusta datasta, alla olevalla tavalla.

$$\frac{2}{65536} * (256 * 128 + 255) \approx 1,01$$

KAAVA 20

Järjestelmään tallennetut vikakoodit ovat viisi merkkiä pitkiä, joista jokaisella merkillä on oma tarkoituksensa. Kuviossa 25 on esitettyä eräs lambda-anturin toimintaan liittyvä vikakoodi sekä vikakoodin rakenne. (41.)

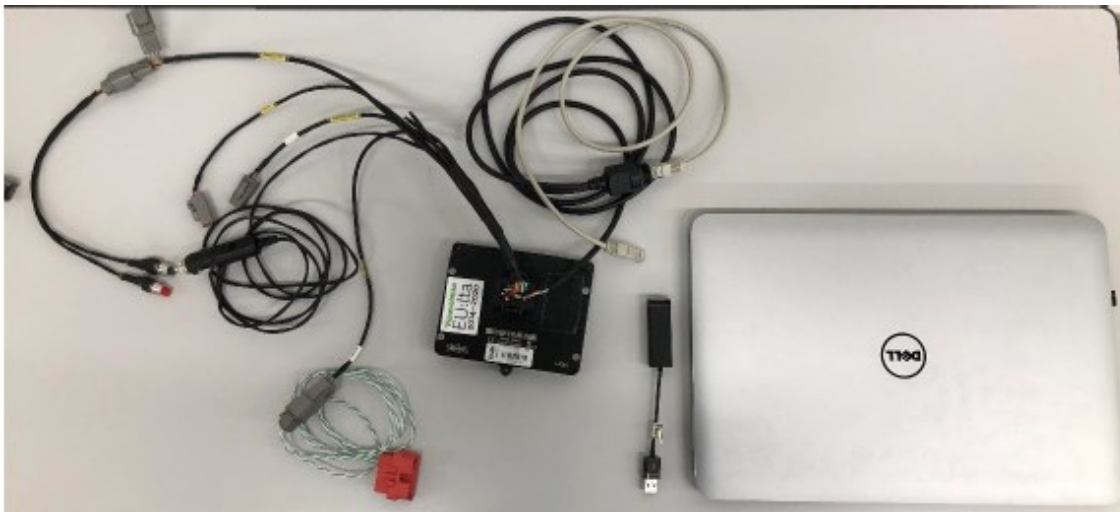


KUVIO 25. Vikakoodin rakenne (41)

Mikäli muistiin tallentunut vikakoodi on päästöihin liittyvä, ja sen seurauksena ajoneuvon tuottamat päästöt ylittävät 1,5-kertaisesti laissa säädellyn rajan, sytyttää järjestelmä moottorin häiriövalon (MIL). Valo voi palaa vain hetkittäin tai se voi jäädä palamaan pysyvästi riippuen vian tyypistä. (41.) Valo nollautuu itsestään, kun moottori on suorittanut kolme täyttä ajosykliä ilman kyseistä vikaa. Valo voidaan myös nollata testilaitteella tai irrottamalla akun maakaapeli. Kyseiset menetelmät eivät kuitenkaan ole pysyviä, sillä vian aktivoituminen sytyttää häiriövalon uudelleen. (41; 42.)

4 MITTAUSJÄRJESTELMÄN SAATTAMINEN TOIMINTAKUNTOON

Mittauksessa käytettyä tiedonkeruujärjestelmää ei ollut alun perin asennettu ajoneuvoon kiinteästi, vaan se oli kytkettävä joka testaukelta uudelleen (kuvio 26). Tämän lisäksi järjestelmää säilytettiin varastohuoneessa, joten oli suuri riski johdotuksien ja liittimien vaurioitumiseen. Käytännöllisyyden ja komponenttien kestävyuden maksimoimiseksi mittausjärjestelmä päädyttiin asentamaan ajoneuvoon kiinteästi.



KUVIO 26. Mittausjärjestelmä alkuperäisessä kunnossa (43, s.8)

4.1 Komponenttien valinta

Tiedonkeruujärjestelmän kiinteän asennuksen lisäksi ajoneuvoon päädyttiin asentamaan MoteC:n LTC-moduuli sekä ylimääräinen Bosch LSU 4.9 -lambda-anturi. Alkuperäisissä laskentakaavoissa käytettiin jokaisessa ajotilanteessa lambda-arvoa $\lambda = 1$. Tästä johtuen esimerkiksi moottorijarrutuksen vaikutusta ei huomioitu laskennassa. Asennuksella pyrittiin minimoimaan mittaustuloksen vääristyminen sekä tuomaan esille eri ajotilanteiden ja -tyylien vaikutus polttoaineenkulutukseen.

Opinnäytetyön toteutukselle oli alun perin kaksi vaihtoehtoa. Ajoneuvoon asennettava polttoaineenvirtausmittari, jolla saataisiin ajantasainen tieto käytetystä polttoaineesta tai polttoaineenkulutuksen laskeminen lambda-anturilta saatavan tiedon avulla. Valittiin saatavilla olevista

komponenteista kolme eri vaihtoehtoa, joiden väliltä tehtiin lopullinen valinta toteutustavasta ja asennettavasta laitteistosta. Vertailuun komponenteiksi valikoitui AIC:N ja Max Machineryn valmistamat polttoaineenvirtausmittarit sekä MoTeC:n valmistama LTC-moduuli ja sen kanssa asennettava lambda-anturi. Komponenttien vertailussa apuna käytettiin taulukossa 12 esitettyjä tietoja, joiden perusteella valinta suoritettiin.

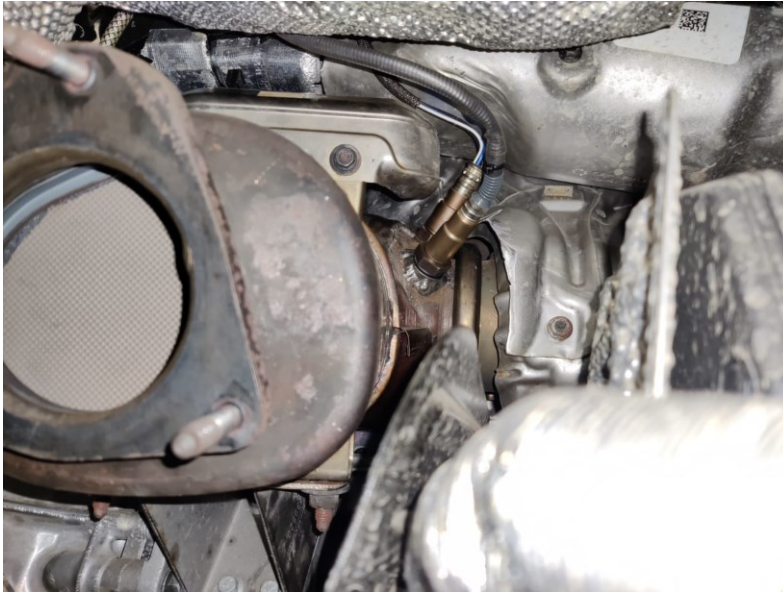
TAULUKKO 12. Komponenttien valintaperusteita (44; 45; 46).

Komponentti	Mitat [mm]	Paino [kg]	Tarkkuus [%]	Käyttöpaine [bar]	Mittausväli [L/h]	Hinta [€]	Toimitusaika [vko]
AIC: L1208	200x80x100	1,2	> 1	≤ 6	4-200	*****	3-4
Max Machinery: P214	160x122x171	3,8	> 0,2	≤ 210	0,3-600	*****	2-3
Motec LTC	38x26x14	0,062	± 1,5	-	-	***	-

Vertailuun valittujen komponenttien valmistajille lähetettiin tarjouspyynnöt, joiden perusteella koottiin yllä oleva taulukko 12. Valinta painottui komponenttien hintaan ja toimitusaikaan, sillä mittaus-tarkkuus oli jokaisella komponentilla riittävä. LTC-moduuli tarvikkeineen osoittautui huomattavasti halvemmaksi kuin vertailussa olleet polttoaineenvirtausmittarit. Lisäksi komponenttia oli heti saatavilla eräässä Oulussa sijaitsevassa yrityksessä. LTC-moduulin valintaan vaikutti myös, ettei ajoneuvon polttoainelinjaan tarvinnut kajota, vaan laitteisto on helposti poistettavista ajoneuvosta käytötarpeen päätyttyä

4.2 Komponenttien asennus

Lambda-anturin Asennuspaikan yksi vaatimuksista oli, että anturin tuli sijaita ennen ajoneuvon katalyysaattoria. Kolmitoimikatalyysaattori käyttää happea päästöjen puhdistukseen, joten mikäli anturi olisi sijoitettu sen jälkeen, anturin ilmoittama lambda-arvo ei olisi ollut luotettava (14, s. 690). Koska ajoneuvon alkuperäisen lambda-anturin vieressä oli hyvin tilaa toiselle lambda-anturille, päädyttiin anturi asentamaan hiukkasloukussa paikkaan minkä valmistaja oli katsonut parhaaksi lambda-anturille (kuvio 27). Näin voitiin varmistua myös anturin valmistajan vaatimusten täyttymisestä, ja siitä että asennuspaikka olisi mahdollisimman optimaalinen (taulukko 13).



KUVIO 27. Lambda-anturi ja hiukkasloukku paikoillaan ajoneuvossa

TAULUKKO 13. Lambda-anturin asennuspaikan vaatimukset (47, s. 4; 48, s. 3).

Kohde	Vaatus
Anturin asennuskulma	10 - 90° pystylinjasta
Mitat	Kiinnitysholkista ulos jäävä osa 100 mm
Sijainti	<ul style="list-style-type: none"> - vähintään 1 m moottorin pakokanavista - vähintään 1 m pakoputken päädystä - välttä asennusta pakoputken liitokohtien läheisyyteen
Lämpötila	Käyttölämpötila max. 930 °C, hetkellinen 1030 °C

Anturin asennuksessa hiukkasloukkuun tuli porata halkaisijaltaan 23 mm reikä, johon kiinnitettiin hitsaamalla anturin kiinnitysholkki. Asennuksen suoritti kokonaisuudessaan Oulun ammattikorkeakoulun autolaboratorion työntekijä (kuvio 28).



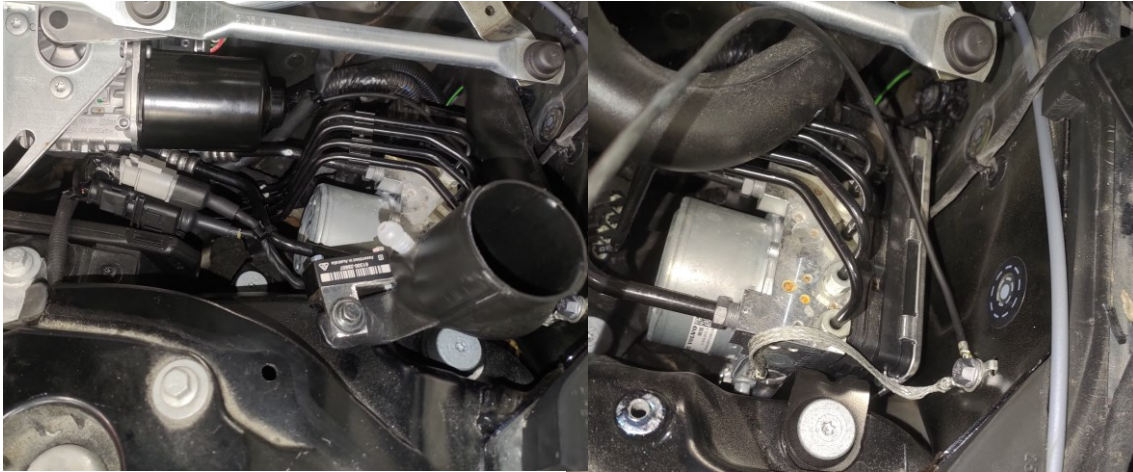
KUVIO 28. Hiukkasloukku ennen ja jälkeen lambda-anturin kiinnitysholkin asennuksen

LTC-moduuli päädyttiin asentamaan pyyhkijöiden alapuolella olevaan tilaan tuulilasipesunestesäiliön kiinnityspistettä hyväksikäyttäen. Kiinnitystä varten moduulille valmistettiin kuviossa 29 näkyvä kiinnitysrauta.



KUVIO 29. LTC-Moduulin kiinnitystarvikkeet

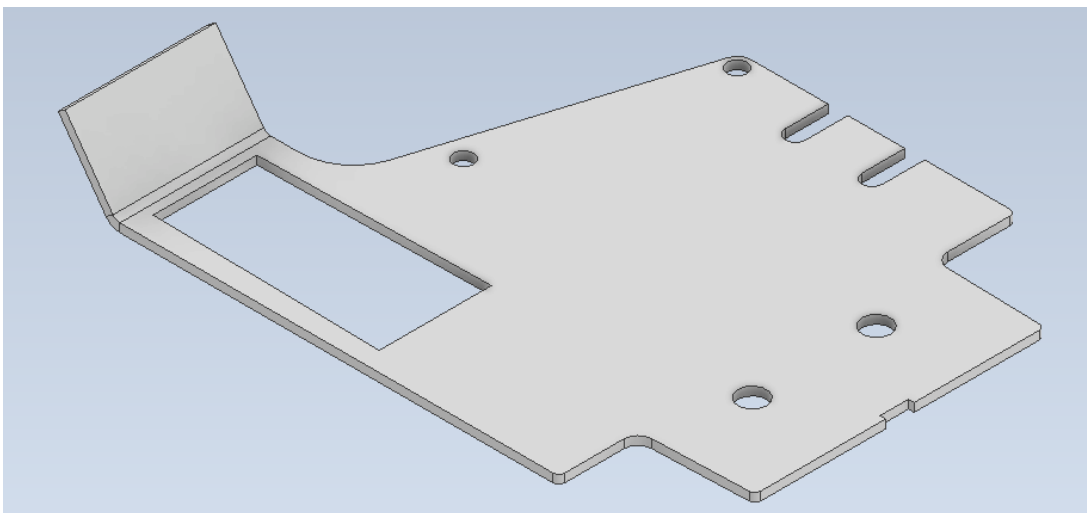
Moduulin asennuspaikan edellytyksenä oli, että se saataisiin tukevasti kiinni ja se sijaitisi mahdollisimman lähellä virta- ja CAN-väylä-johtojen läpivientä matkustamoon. LTC-moduulin maapisteinä päädyttiin käyttämään ABS-yksikön maapistettä, joka sijaitsee kiinnityspisteen läheisyydessä ajoneuvon korissa (kuvio 30).



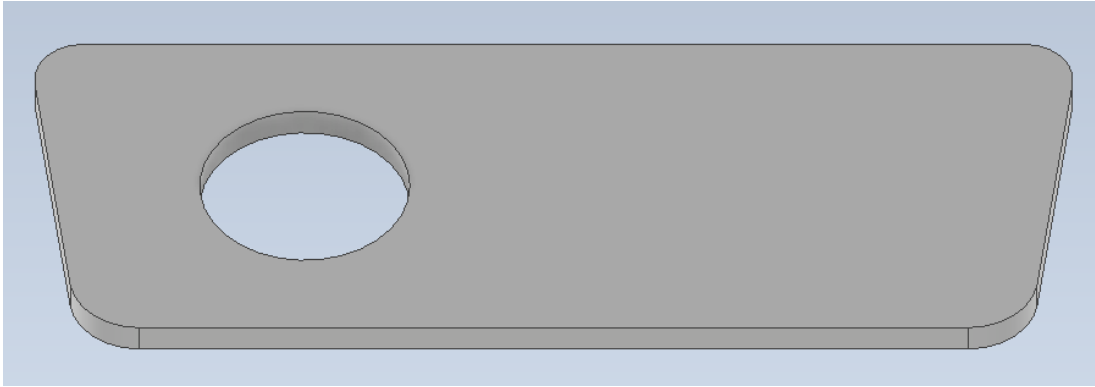
KUVIO 30. LTC-moduulin ja maapisteen sijainti

Tiedonkeruujärjestelmän asennuksen tavoitteena oli mahdollisimman huomaamaton asennus, joka ei häiritsisi ajoneuvon muuta käyttöä. Ajoneuvon käsinojan säilytyslokerosta löytyi sopiva tila tiedonkeruu yksikölle. Myös johdot pystyttiin vetämään säilytyslokeron ajoneuvon USB-liitännän takaa, jolloin ei tarvinnut porata ylimääräisiä läpivientejä keskikonsoliin. Ajoneuvossa oli valmiina kaksi reikää käsinojan takana, joista toinen otettiin käyttöön Ethernet-pistoketta varten. Näin ollen myöskään Ethernet-pistoketta varten ei tarvinnut vaurioittaa ajoneuvoa vaan ajoneuvon sisätila pysyi alkuperäisessä kunnossa.

Koska asennuksesta haluttiin mahdollisimman huomaamaton, päädyttiin valmistamaan vielä kuvio 31 ja 32 mukaiset suojalevyt komponenteille.



KUVIO 31. Tiedonkeruujärjestelmän suojarakenne.



KUVIO 32. Ethernet-pistokkeen suojalevy.

Tiedonkeruu järjestelmän suojalevyn tarkoituksena oli suojata tiedonkeruuyksikköä säilytyslokeron mahdollisesti laitettavilta tavaroilta. Suojalevyyn tehtiin reiät tiedonkeruujärjestelmän käynnistys- ja pysäytyspainikkeille sekä reikä ajoneuvon USB-liitäntälle. Ethernet-pistokkeen alle tuleva suojalevy tehtiin puhtaasti ulkonäöllisistä syistä peittämään toinen ajoneuvossa valmiina ollut reikä. Kaikki komponentit suojarakenteita varten valmistettiin 3D-tulostamalla ja komponenttien piirustukset (liitteet 1 - 5) laadittiin Inventor Professional 2021 -ohjelmalla. Liitteessä 3 oleva tiedonkeruujärjestelmän suojarakenteen pohjalevyn piirustus tuli tehdä sheet metal -toiminnolla, jotta tulostetun osan taivutus tulisi oikein valmistusvaiheessa. Kuviossa 33 on nähtävissä valmiit suojarakenteet asennettuna ajoneuvon.



KUVIO 33. Suojarakenteet asennettuna paikoilleen

4.3 Johdotus

Tiedonkeruu järjestelmän käyttövirta päädyttiin ottamaan matkustamon +12 V -pistokkeen virtajohdosta. Ennen kytkemistä tuli varmistua, ettei kyseiseen johtoon tule jännitettä ajoneuvon jännitetilan ollessa 0-tilassa. Varmistus tuli tehdä, jottei tiedonkeruujärjestelmä olisi tyhjentänyt ajoneuvon akkua esimerkiksi yön aikana. Selvitystyö aloitettiin tutustumalla ajoneuvon omistajan käsikirjaan ja ajoneuvon eri jännitetilojen toimintoihin. Vielä ennen matalajänniteakun irtikytkemistä, varmistuttiin asiasta mittaamalla jännite matkustamon +12 V -pistokkeesta ajoneuvon eri jänniteteiloissa.

Seuraavaksi tuli mitoittaa ja valmistaa eri komponenteille tarvittavat johdot. Johtojen paksuus laskettiin kaavan 21 mukaisesti (49).

$$d = \frac{I \cdot s}{16}$$

KAAVA 21

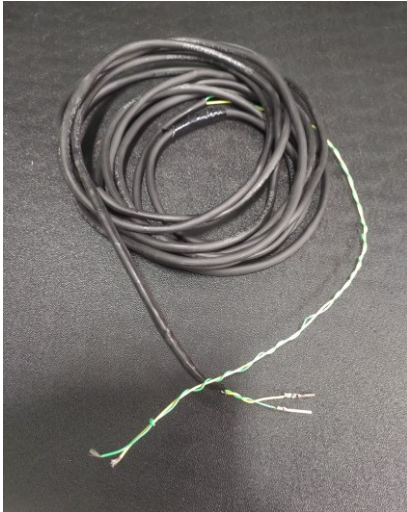
d = johtimen paksuus [mm²]

I = virta [A]

s = johtimen pituus [m]

Koska johtimien läpi kulkeva virta on pieni ja johtimen pituus maksimissaan 1,5 m, päädyttiin johdotus toteuttamaan halkaisijaltaan 0,5 mm²-paksuisella johdolla. Tiedonkeruujärjestelmän, LTC-moduulin ja lambda-anturin yhteenlaskettu käyttövirta on maksimissaan noin 3A, jolloin virta johdon väliin asennettiin 5A -sulake.

Lisäksi LTC-moduulille tuli valmistaa CAN-väyläyhteyttä varten tiedonsiirtokaapeli. Kaapeli valmistettiin kierittämällä kahta 0,25 mm halkaisijaltaan olevaa johtoa toistensa ympärille ja liittämällä johtojen päähän D4TM-liittimet (kuvio 34).



KUVIO 34. CAN-väylän tiedonsiirtokaapeli ilman DTM4-liittimiä

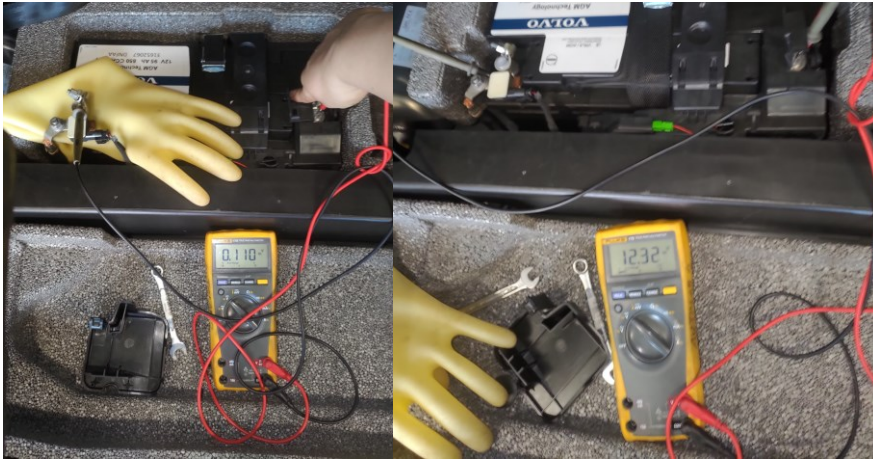
Johto kytkettiin LTC-moduulin liittimen ja tiedonkeruujärjestelmän johtosarjassa olevaan CAN1 -liittimeen. CAN-väyläjohtojen lisäksi LTC-moduulille tulevaan liittimeen kytkettiin myös LTC-moduulin virta- ja maadoitusjohdot. Kaikki liitokset tehtiin juottamalla ja valmistetut johdot suojattiin kutistesukalla.

Ennen virta- ja maadoituskytkentöjen suorittamista tuli matalajänniteakun miinuskaapeli kytkeä irti, sekä varmistua ettei DC/DC-muunnin lataa matalajänniteakkua tai päästä korkeajännitettä läpi matalajännitepuolelle. Varmistus suoritettiin Oulun ammattikorkeakoululta saatujen ohjeiden mukaan mittaamalla jännite akun + ja - -napojen väliltä ennen ja jälkeen miinuskaapelin irrotuksen (kuvio 35).



KUVIO 35. Jännitteen mittaus ennen ja jälkeen matalajännite akun irtikytkennän

Kun tarvittavat kytkennät oli saatu tehtyä, kiinnitettiin maakaapeli takaisin matalajänniteakkuun. Kaapelin kytkemisen jälkeen tuli vielä varmistua kytkennän onnistumisesta mittaamalla jännite akun napojen väliltä kuvion 36 mukaisesti.



KUVIO 36. Jännitteen mittaus ennen ja jälkeen matalajänniteakun takaisinkytkennän

Mittauksissa tulee huomioida, että ajoneuvon tulee olla 0-tilassa eivätkä avaimet saa olla ajoneuvossa sisällä. Lisäksi alkumittauksen ja tarkistusmittauksen välillä tulee odottaa kolme minuuttia, jotta voidaan varmistua tuloksen oikeellisuudesta. Taulukossa 14 on nähtävissä ohjearvot joiden sisällä jännitteen tulisi olla, jotta kaapelin irrottaminen ja takaisinkytkentä on turvallista suorittaa. (50, s. 4, 10–12.)

TAULUKKO 14. Ohjearvot. (50, s.10–12, 29–30)

Mittaus	Ohjearvo	Toimenpide
Ennen irtikytkentää	12 - 13V	Akku kunnossa, voit irrottaa maakaapelin
	13 - 14V	DC-DC muunnin lataa akkua, ajoneuvoon on kytketty virrat taikka se on ulkoisessa latauksessa → Odota että akku on ladattu, sammuta ajoneuvon virta sekä poista avaimet ajoneuvosta tai irrota ulkoinen latausjohto → Suorita jännitemittaus uudestaan
	> 14V	DC-DC muunnin vuotaa korkeajännitettä matalajännitepuolelle, älä irrota maakaapelia tai jatka työskentelyä ajoneuvon kanssa
Jännitteen tarkistus*	< 2V	Irti kytkentä onnistunut
	> 2V	DC-DC muunnin aktiivinen tai vuotaa → Odota hetki ja suorita mittaus uudestaan, mikäli arvo ei ole sallitun rajoissa älä jatka työskentelyä ajoneuvon kanssa
Jännitteen tarkistus	< 2V	Voit kytkeä maakaapelin matalajänniteakkuun
	12 - 14V	DC-DC muunnin aktiivinen, älä kytke maakaapelia
	> 14V	DC-DC muunnin viallinen, älä kytke maakaapelia
Takaisinkytkennän jälkeen	12 - 13V	Kytkentä onnistunut

* Odota 3 minuuttia ennen kuin siirtymistä jännitteen tarkistus vaiheeseen

4.4 Järjestelmän testaus

Asennuksen jälkeen järjestelmälle oli tarkoitus suorittaa lyhyt testiajo, jolla varmistuttaisiin tiedonkeruujärjestelmän oikeanlaisesta toiminnasta. Ensimmäinen ongelma ilmeni Ethernet-yhteyden muodostamisessa tiedonkeruulaitteeseen. Vian syyksi paljastui alkuperäisen kytkennän väärinpäin kytketyt Ethernet-pistokkeen TX- ja RX-johdot, sillä kaikki tietokoneet eivät osaa kääntää signaaleja automaattisesti oikeinpäin. Kytkennät käännettiin oikein, jonka jälkeen yhteyden muodostaminen onnistui useilla eri mallisilla tietokoneilla.

Testi-ajon jälkeen huomattiin, että lukema ilman massavirrasta ei tallentunut tiedonkeruujärjestelmään CAN-väylästä. Konfiguraatio-tiedosto tarkistettiin ja huomattiin, että ohjelman valmiista OBD-II -pohjasta puuttui pyyntö ilmassamittarin signaalista. Taulukossa 15 näkyvä ilman massavirta-parametri tietoisesti lisättiin konfiguraatiodostoon, jonka jälkeen tiedonkeruujärjestelmä tallensi kaikki tarvittavat kanavat oikein.

Kun oli varmistettu järjestelmän oikeanlaisesta toiminnasta, suoritettiin WLTC-testisyklin mukainen koeajo. Koeajo suoritettiin sekä Power- että Hybrid-ajotiloilla harjoitustyöohjeen liitteeksi tehdyllä nopeusvideon mukaisesti, kahden eri kuskin toimesta. Koeajojen jälkeen kirjattiin muistiin ajoneuvon ilmoittamat keskipäätökset, joiden avulla tarkistettiin laskukaavojen oikeellisuus.

4.5 Harjoitustyössä käytettävät kanavat ja laskentakaavat

CO₂-päästöjen laskemista varten tarvittiin tiedot ajonopeudesta, ilman massavirrasta sekä jäännöshapesta eli lambda-arvosta. Jälkimmäinen arvo ei ollut saatavissa ajoneuvon CAN-väylästä millään tiedossa olevalla parametrilla, joten ajoneuvoon päädyttiin asentamaan toinen lambda-anturi. Ajantasaisen lambda-arvon saaminen oli tarpeellista, jotta kulutettu polttoaine pystyttiin laskemaan mahdollisimman tarkasti.

4.5.1 C125 Dash Manager

Lambda-parametrien tiedot olivat valmiina ohjelman pohjassa nimeltä LTC #1 (CAN ID 460). Taulukossa 15 olevat tiedot lisättiin CAN2-välilehdelle ja LTC-moduulilta saatava tieto lambda-arvosta CAN1-välilehdelle.

TAULUKKO 15. Harjoitustyössä käytettävien parametrien tiedot.

Parametri	Tunnistetiedot, vastaus (Service 01 Reply Comp)	Kanavan tiedot (Service 01 Reply Comp)	Tunnistetiedot, pyyntö (OBDII_Tx)
Ajonopeus	Offset: 1 ID: 410D ID Mask: FFFF	Default value: 0.0 km/h Offset: 3 Length: 1 Output length: Auto Bit mask (HEX): FF	Offset: 1 ID: 010D ID Mask: FFFF
Illan massavirta*	Offset: 1 ID: 4110 ID Mask: FFFF	Default value: 0.0 g/s Offset: 3 Length: 2 Output length: Auto Bit mask (HEX): FFFF	Offset: 1 ID: 0110 ID Mask: FFFF
Kierroslukku	Offset: 1 ID:410C ID Mask: FFFF	Default value: 0 rpm Offset: 3 Length: 2 Output length: Auto Bit mask (HEX): FFFF	Offset: 1 ID: 010C ID Mask: FFFF

*Parametrin pyyntötiedot lisättävä manuaalisesti OBD-II pohjaan.

Kun tarvittavat parametrit oli lisätty, tuli seuraavaksi määrittää tiedonkeruuasetukset. Lisäksi tuli määrittää kanavat, joilta ajotiedonkeruujärjestelmä tallentaa tiedot. Harjoitustyön suorittamiseen tarvittavat kanavat ovat nähtävillä taulukossa 16.

TAULUKKO 16. Konfiguraatio-tiedostoon lisättävien kanavien tiedot

Kanava	Tiedonkeruunopeus
Vehicle speed	20/s
Mass air flow	20/s
LTC lambda	20/s
Engine RPM	20/s

Taulukossa 16 olevien kanavien lisäksi tuli määrittää tiedonkeruun aloitus- ja lopetustapa vastaamaan laitteeseen liitettyjä aloitus- ja lopetuspainikkeita. Painikkeiden toimintakuntoon saattaminen tuli tehdä seuraavaa polkua pitkin ja seuraavat tiedot tuli lisätä tummennettuina esitettyihin kohtiin: polku: **Logging setup → Start/Stop Condition → Remove → Add → Select:**

- ensimmäisenä valitaan **Start** ja lisätään seuraavat tiedot:
 - **Channel:** Next Button
 - **Is:** True
 - **For:** 0.00 seconds
- seuraavaksi valitaan **Stop** ja lisätään seuraavat tiedot:
 - **Channel:** Reset Button
 - **Is:** True
 - **For:** 0.00 seconds.

4.5.2 I2 Pro

I2-ohjelmaan tulee tehdä uusi työtila kerätyn datan tarkastelemiseksi sekä tarvittavien laskentojen suorittamista varten. Alun perin laskenta suoritettiin muuntamalla kerätty data .csv-tiedostomuotoon ja suorittamalla laskenta Excel-ohjelmalla. Kuitenkin ajantasaisen lambda-arvon saannin mahdollistamisen jälkeen, laskenta oli järkevintä suorittaa suoraan i2-ohjelmassa. Laskenta i2-ohjelmalla muodostui ongelmalliseksi kumulatiivisten arvojen osalta, joita tarvittiin testiajolla kulutetun polttoaineen kokonaismäärän selvittämiseksi. Ratkaisuksi ongelmaan löytyi ohjelman integrointi ajan mukaan -toiminto, jonka avulla saatiin laskettua kumulatiivinen arvo halutusta kanavasta. CO₂-päästöjen laskemista varten tarvitaan tiedot testiajon aikana kulutetusta polttoaineesta, ajetusta matkasta sekä polttoaineen sisältämän hiilen massaosuus ja hiilidioksidin ja hiilen massasuhte. (43, s. 23.)

Laskenta aloitetaan hetkittäisen ilma-polttoaine-suhteen (AFR) selvittämiseksi. Tätä varten tarvitaan ajantasainen lambda-arvo, joka tulee kertoa Stökiometrisellä ilma-polttoaine-suhteella. Laskenta suoritetaan kaavan 22 mukaisesti (51).

$$AFR = \lambda * AFR_{st\ddot{o}ki\ddot{o}metrinen}$$

KAAVA 22

AFR = todellinen ilma-polttoaineseoksen suhde

λ = lambda-arvo

$AFR_{st\ddot{o}ki\ddot{o}metrinen}$ = teoreettinen ilma-polttoaineseoksen suhde

AFR :n selvittämisen jälkeen saadaan siitä helposti johdettua polttoaineen massavirta kyseisellä hetkellä. Polttoaineen massavirran selvittämiseen tarvitaan AFR :n lisäksi myös tieto ilman massavirrasta, jonka jälkeen polttoaineen massavirta voidaan laskea kaavan 23 avulla (51).

$$\dot{m}_{fuel} = \dot{m}_{air} * AFR$$

KAAVA 23

\dot{m}_{fuel} = polttoaineen massavirta [g/s]

\dot{m}_{air} = ilman massavirta [g/s]

AFR = todellinen ilma-polttoaine-suhde

Testiajon aikana kulutettu polttoaine voidaan nyt laskea integroimalla polttoaineen massavirta ajan suhteen (kaava 24). I2-ohjelmassa tämä tapahtuu käyttämällä "integrate"-komentoa ja valitsemalla kanava, johon komentoa halutaan käyttää. (15, s. 82.)

$$m_{fuel} = \int \dot{m}_{fuel} dt$$

KAAVA 24

m_{fuel} = polttoaineen massa [g]

\dot{m}_{fuel} = polttoaineen massavirta [g/s]

t = aika

Kaavassa 24 mainittu laskutoimitus antaa kumulatiivisen arvon kulutetusta polttoaineesta ja "stat_end"-komentoa käyttämällä saadaan polttoaineen massa -tieto lisättyä laskentakaavaan i2-ohjelmassa. Kyseinen käsky palauttaa viimeisimmän arvon halutusta kanavasta, jolloin saadaan kulutetun polttoaineen kokonaismäärä. Myös corrected distance -kanavaan tulee käyttää stat_end-komentoa kuljetun matkan pituuden saamiseksi.

Yksinkertaistettuna bensiini on hiilen ja vedyn yhdiste, jonka kemiallinen kaava on C_8H_{18} . Kemiallisessa kaavassa ei ole 95E10 -polttoainelaadun sisältämää etanolipitoisuutta. (13, s. 5; 14, s. 345.) Etanolipitoisuus jätettiin huomioimatta, koska kaava haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena asiasisällön hahmottamisen helpottamiseksi. Kaavalla 25 voidaan laskea polttoaineen sisältämän hiilen massaosuus yhdisteestä, kun hiilen massaluku on 12 ja vedyn 1. (15, s. 236, 429).

$$m - \%_C = \frac{C_{mol} * x}{C_{mol} * x + H_{mol} * y} \quad \text{KAAVA 25}$$

eli

$$m - \%_C = \frac{12 * 8}{12 * 8 + 1 * 18} * 100 = 84\%$$

$m - \%_C$ = hiilen massaosuus [%]

$C_{mol} * x$ = hiilen moolimassa yhdisteessä [g/mol]

$H_{mol} * y$ = vedyn moolimassa yhdisteessä [g/mol]

Hiilidioksidin ja hiilen välinen massasuhte puolestaan saadaan jakamalla hiilidioksidin moolimassa (44 g/mol), hiilen moolimassalla (12 g/mol) (43, s. 23.).

CO_2 -päästöt voidaan nyt laskea kaavalla 26. Kaavassa lasketaan kulutettu polttoainemäärä kilometriä kohden, josta lasketaan palamisreaktion tuloksena syntyvä hiilidioksidimäärä. (43, s. 23.)

$$CO_2 = \frac{m_{fuel}}{s * 10^{-3}} * \frac{m - \%_C}{100 \%} * \frac{44}{12} \quad \text{KAAVA 26}$$

CO_2 = hiilidioksidi päästöt [g/km]

m_{fuel} = polttoaineen massa [g]

s = kuljettu matka [m]

$m - \%_C$ = hiilen massaosuus polttoaineessa [%]

$\frac{44}{12}$ = hiilen ja hiilidioksidin välinen massasuhte

Hybridi ajoneuvojen eri ajotilojen erojen hahmottamiseksi lasketaan vielä keskikulutus kilogrammoina sekä litroina 100 kilometriä kohden, kaavojen 27 ja 28 mukaisesti

$$f_{kulutus} = \frac{m_f * 10^{-3}}{s * 10^{-3}} * 100 \text{ km}$$

KAAVA 27

$f_{kulutus}$ = polttoaineen kulutus 100 km kohden [kg/100 km]

m_f = kulutetun polttoaineen kokonaismassa [g]

s = kuljettu kokonaismatka [km]

Litroina 100 kilometriä kohden kulutus voidaan laskea jakamalla edellä laskettu keskikulutus polttoaineen tiheydellä $750 * 10^{-3}$ kg/km, kaavan 28 mukaisesti (14, s. 345; 52).

$$f_{kulutus} [l] = \frac{f_{kulutus}}{\rho_{Gasoline} * 10^{-3}}$$

KAAVA 28

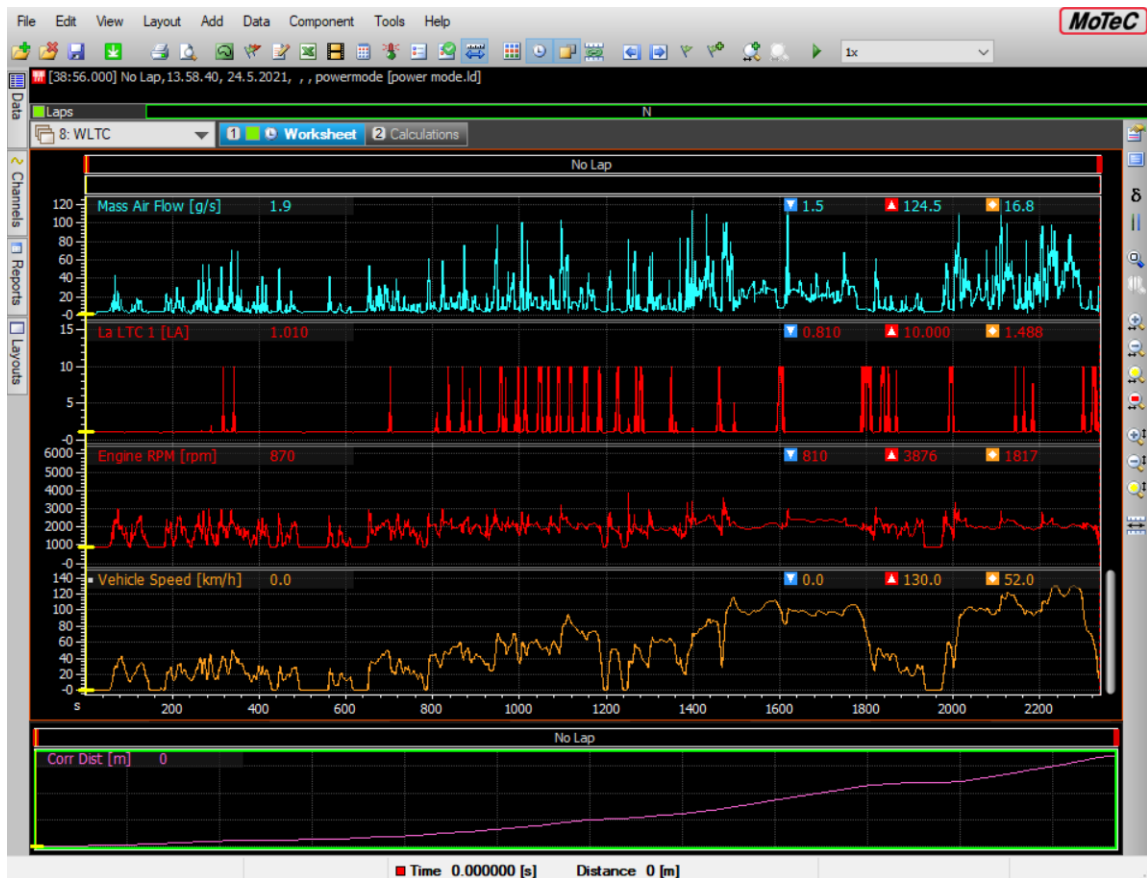
$f_{kulutus} [l]$ = polttoaineen kulutus litroina [l/100 km]

$f_{kulutus}$ = polttoaineen kulutus 100 km kohden [kg/100 km]

$\rho_{Gasoline}$ = polttoaineen tiheys [kg/km]

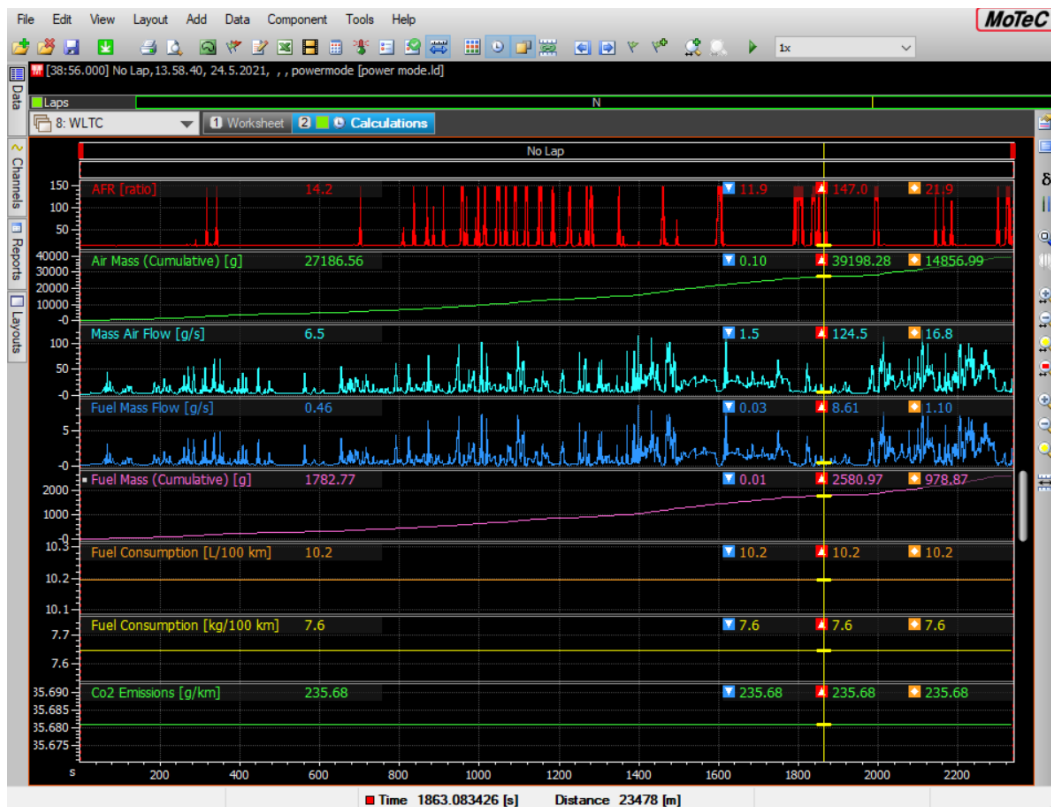
5 TUOTETUT DOKUMENTIT

Harjoitustyön suorittamista varten opiskelijoiden tulee tehdä konfiguraatitiedosto C125 Dash Manager -ohjelmaan. Konfiguraatitiedostolla määritetään parametrit, joista halutaan tallentaa data ajonaikana. Konfiguraatitiedosto lähetetään tiedonkeruulaitteeseen ennen mittaus syklin suorittamista. Lisäksi opiskelijoiden tulee tehdä työpohja i2-ohjelmaan, jonka ensimmäisellä välilehdellä näkyy tiedonkeruujärjestelmän tallentamien kanavien data (kuvio 37)



KUVIO 37. Harjoitustyössä käytettävä työpohja datan käsittelyyn

Toiselle välilehdelle kootaan laskentakaavoista muodostuneet kanavat datan käsittelyä varten (kuvio 38). Kanavat tehdään käyttämällä ohjelman "maths" -toimintoa, jolla voidaan luoda järjestelmään omia kaavoja tallennetun datan tulkitsemiseen.



KUVIO 38. Laskentakaavat sisältävä työpohja i2-ohjelmassa.

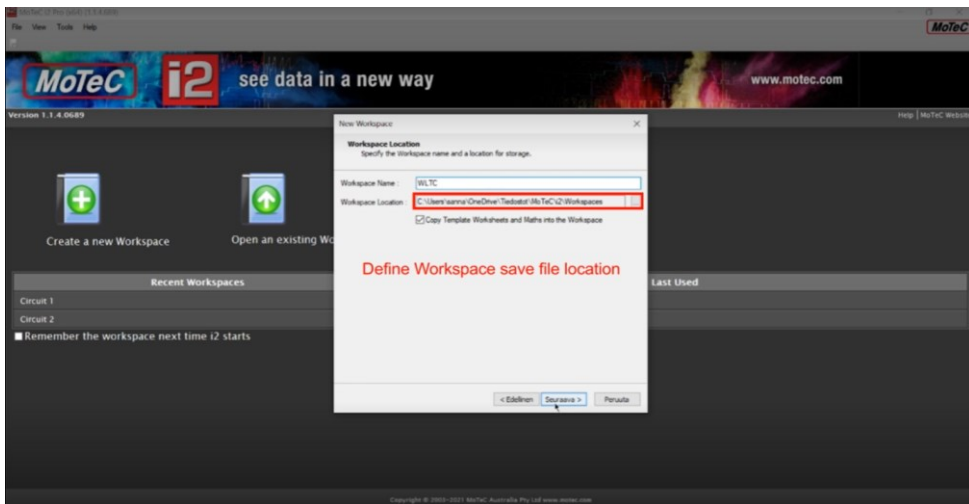
Molemmat tiedostot, mukaan lukien tallennetut ajodatatiedostot, palautetaan opettajalle. Lisäksi opiskelijat laativat kirjallisen raportin, jonka sisältö on nähtävissä kuviossa 39.

Raportin sisältö/ Palautettavat tiedostot

- ▶ Oppimistavoite:
 1. Opiskelija oppii tunnistamaan nykyaikaisen päästöjen mittaus menetelmän
 2. Opiskelija oppii tunnistamaan hybridi käyttöisen ajoneuvon eri ajotilojen edut ja haitat sekä soveltamaan kyseisiä ajotiloja eri tilanteisiin.
- ▶ Sisältö:
 1. Harjoitustyö tehdään 4 opiskelijan ryhmissä
 2. WLTP- mittaus suoritetaan Power (maksimaalinen suorituskyky) ja Hybrid (poltto ja/ tai sähkömoottori) - ajotiloilla
 3. Lasketaan CO₂ -päästöt [g/km]
 4. Raportti:
 - Teoria osuus WLTP - mittauksesta ja Hybridi käyttöisen ajoneuvon voimalinjastosta
 - Työn suoritus
 - Käytetyt kaavat
 - Mitattujen tulosten esittely
 - Power- ja Hybrid-ajotilojen vertaaminen
 5. Palautetaan I2-workspace kansio ja C125 konfiguraatio-tiedosto (.c125v64)

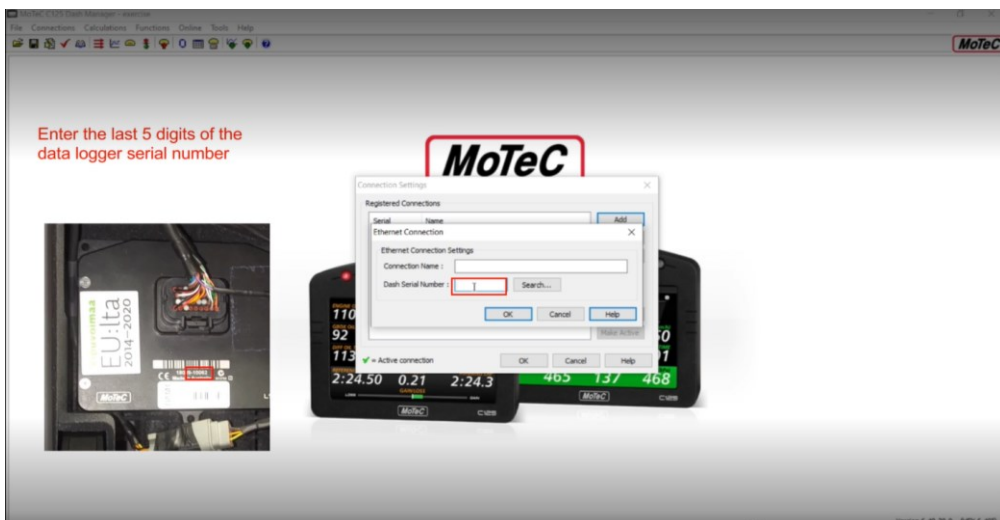
KUVIO 39. Harjoitustyöstä laadittavan raportin sisältö.

Harjoitustyön suorittamista varten tehtiin yksityiskohtaiset ohjevideot molempien ohjelmien käytöstä. Kuviossa 40 on esimerkki i2 Pro -ohjelman ohjevideosta. Videoiden teossa käytettiin selostavia tekstejä sekä punaisia huomioruutuja korostamaan painikkeita tai ikkunassa näkyviä kohteita.



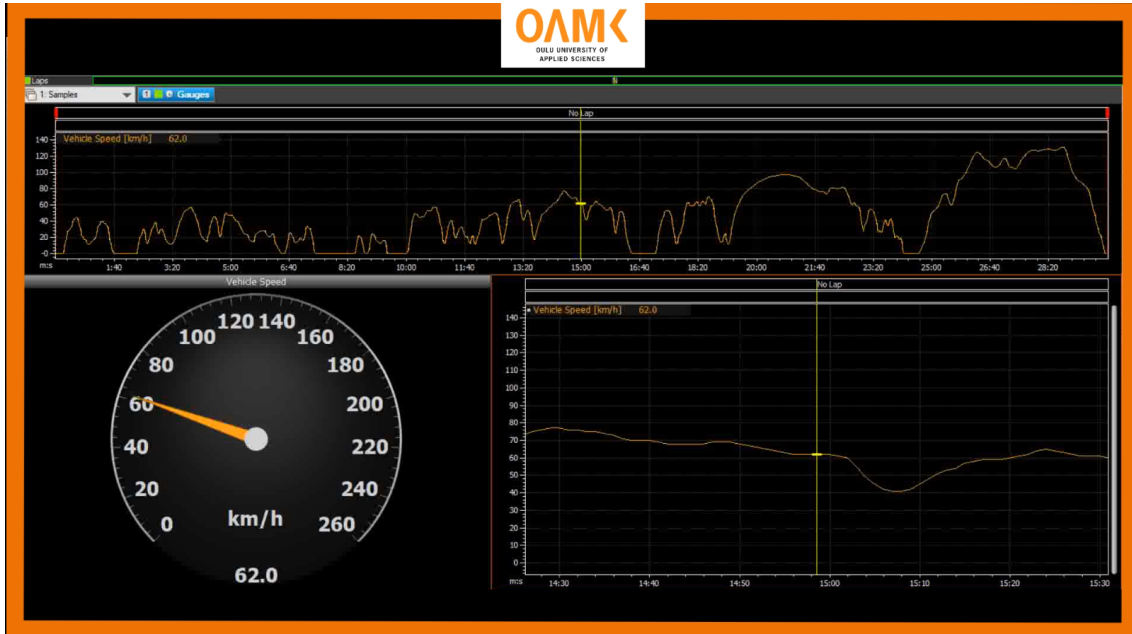
KUVIO 40. Kuvakaappaus i2 Pro -ohjevideosta

Kuviossa 41 on nähtävissä kuvakaappaus tiedonkeruulaitteen konfiguraatio-tiedoston tekemiseen käytettävästä C125 Dash Manager -ohjelman ohjevideosta. Kuvioon 41 otettussa esimerkissä kerrotaan kuinka luodaan yhteys tietokoneen ja ajoneuvossa olevan tiedonkeruujärjestelmän välille.



KUVIO 41. Kuvakaappaus C125 Dash Manager -ohjevideosta

Lisäksi tehtiin kuvion 42 mukainen ajonopeusvideo, joka on tehty WLTC 3b -luokan testisykiliä vastaavaksi. Videolla on nähtävissä koko ajosykli, vaadittava ajonopeus sekä suurennettu käyrä nopeussyklistä, jonka avulla on helpompi ennakoida tulevat nopeuden muutokset.



KUVIO 42. Kuvakaappaus ajonopeusvideosta

Nopeussykli tehtiin i2-ohjelmalla, jonka jälkeen nopeussykli videoitiin. Kaikkien edellä mainittujen videoiden editointiin on käytetty VSDC-ohjelmaa.

5.1 Harjoitustyöohje

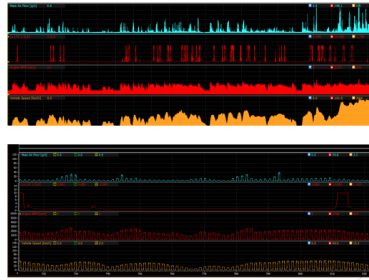
Harjoitustyöohje tehtiin sekä suomen- että englanninkielisinä versioina Power Point -ohjelmalla. Ohje sisältää seuraavat kokonaisuudet: turvallisuus, esivalmistelut, työn suoritus sekä palautettavat tiedostot.

Turvallisuus osiossa käydään läpi turvallinen tapa suorittaa harjoitustyö, ja painotetaan aluekohtaisten nopeusrajoitusten noudattamista. Lisäksi opiskelijoiden tulee huomioida muut tien käyttäjät ja siksi nopeuden vaihtelut tuleekin suorittaa tarkkaa harkintaa käyttäen.

Esivalmistelu osiossa käydään läpi yleismallisesti molempiin ohjelmiin tarvittavien tiedostojen teko. Lisäksi osiossa kehoitetaan suorittamaan lyhyt koeajo ja tarkistamaan laadittujen tiedostojen oikeaoppinen toiminta (kuvio 43).

Esivalmistelut: I2 pro

- ▶ Luo uusi työtila (circuit). Käytä Työtilan ja laskukaavojen luomiseen *test.ld* tiedostoa.
- ▶ Valitse näytettävät kanavat ja määritä kanavien asteikot.
- ▶ Lisää tarvittavat laskukaavat
- ▶ Lähetä Loggaus-asetukset tiedonkeruujärjestelmään ja suorita noin 30 s. koeajo. Tarkista, että asetukseksi ovat oikein ja tiedonkeruujärjestelmä tallentaa kaikki tarvittavat kanavat.



Vääristynyt signaali

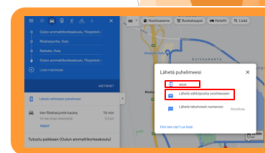
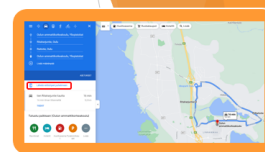
KUVIO 43. Kuva harjoitustyöohjeesta

Esivalmisteluosio pitää sisällään myös ajettavan reitin suunnitteluohjeen. Osioon on kerätty tiedot syklikohtaisten ajoaikojen kestosta ja käytettävistä ajonopeuksista helpottamaan ajettavan reitin suunnittelua (kuvio 44).

Esivalmistelut: Reitin suunnittelu

- ▶ Huomioi reitin suunnittelussa, että nopeuden muutoksia ei välttämättä voi suorittaa täysin samoilla hetkillä mittaussyklin mukaan. Tämän vuoksi nopeus syklien vähimmäisaikaan on hyvä lisätä muutama minuutti ylimääräistä ajoaikaa.
- ▶ Voit lähettää ajoreitin puhelimeesi oikealla näkyvän ohjeen mukaisesti
 - ▲ Avaa lähettämäsi reittiohje vasta aloituspaikalla, jotta saat navigoinnin käyttöön
- ▶ Mittaussykli ajetaan seuraavan neljän vaiheen mukaisesti

AJOSYKLI	NOPEUS [km/h]	AIKA [mm:ss]
Matala	0 - 57	09:49
Keskinopea	0 - 76	07:14
Nopea	0 - 98	07:34
Erittäin nopea	0 - 132	05:20



KUVIO 44. Ohje ajoreitin suunnitteluun

Työn suoritus osiossa käydään läpi konfiguraatiodiedoston lähettäminen ajotietokoneeseen sekä tallennetun ajodata-tiedoston siirtäminen tiedonkeruulaitteelta tietokoneeseen. Lisäksi osio sisältää neuvoja työn suoritukseen, kuten aloitus ja pysäytyspainikkeiden käyttämisestä sekä moottorijarrutuksen hyödyntämisestä testiajon aikana (kuvio 45).



Työn suoritus: Testisykli

- ▶ Varmistu, että tiedonkeruulaitteen OBD -pistoke on kytkettynä ajoneuvon OBD -pistokkeeseen.
- ▶ Käytä vihreää -nappia aloittaaksesi ja punaista -nappia lopettaaksesi tiedonkeruun

Huomiot

- ⚠ Käytä koeajolla mahdollisimman paljon moottorijarrutusta mittauksen vääristymisen ehkäisemiseksi
- ⚠ Mikäli auto lataa akustoa pottomoottorilla, saamasi mittausolos voi vääristyä
- ⚠ Pysäytä nopeusvideo ja tiedonkeruu mikäli nopeuden muutokset eivät ole mahdollisia. Dataa ei voi muokata jälkikäteen!

KUVIO 45. Kuva harjoitustyöohjeen työn suoritus -osiosta

5.2 Tekninen dokumentointi

Tilaaajan toiveena oli saada tekninen dokumentti ajoneuvoon lisätyistä komponenteista sekä kytkentäkaavio asennuksesta. Dokumentti tehtiin .pdf-tiedostomuotoon ja sen sisältämät asiat ovat nähtävissä liitteessä 6 olevasta teknisen dokumentin sisällysluettelosta. Myös tämä dokumentti tuotettiin sekä suomen- että englanninkielisinä versioina.

Tekniseen dokumenttiin dokumentoitiin tiedot asennetuista komponenteista, kuten niiden raja-arvot ja käyttövirran suuruudet. Lisäksi teknisestä dokumentista löytyy huolto-ohjeita, kuten ohje lambda-anturin Free Air -kalibrointiin. Komponenttien sijaintipaikat ajoneuvossa ilmoitettiin kuvien kera (kuvio 46).

Sulake ja L120 -yksikön maapiste

Tiedonkeruujärjestelmä sulake sijaitsee keskikonsolin alla, samassa paikassa L120-yksikön maapisteen kanssa. Päästäksesi käsiksi sulakkeeseen tai maapisteeeseen, irrota vasemmalla sijaitseva muovisuoja etumatkustajan jalkatilasta, vetämällä suoja itseesi päin.



Sulakkeen ja L120 -yksikön maapisteen sijainnit.

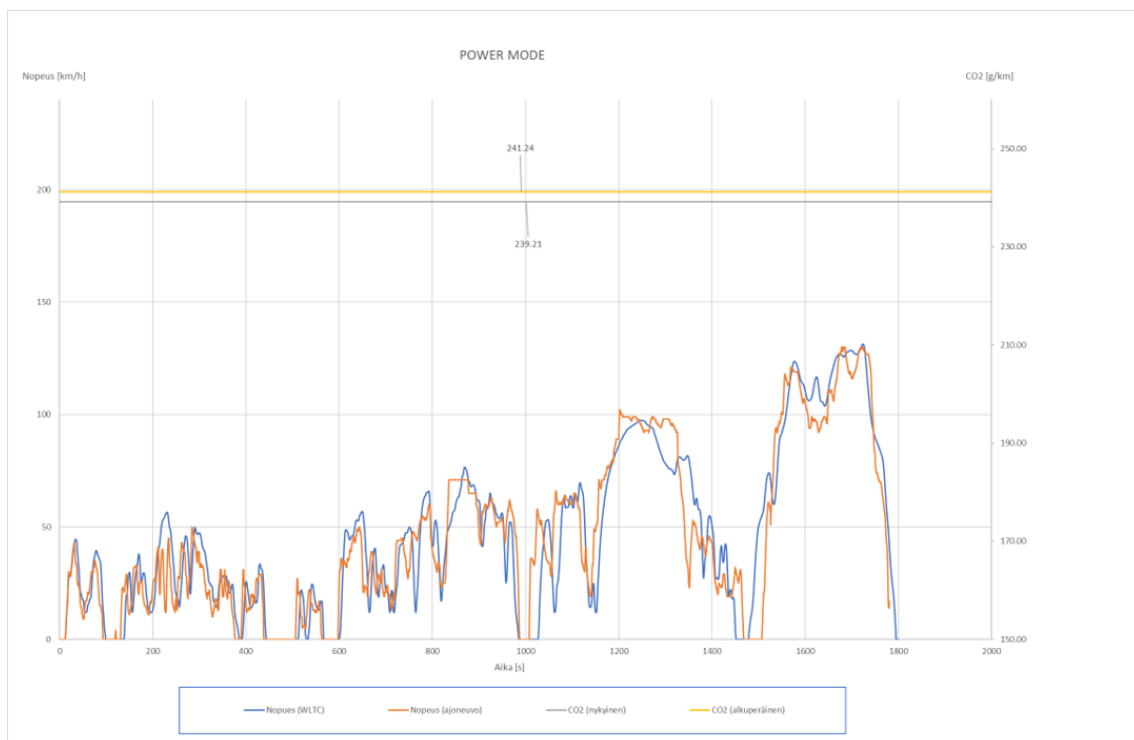
KUVIO 46. Kuva teknisen dokumentin komponenttien sijainti -osiosta

Teknisten tietojen lisäksi dokumentista löytyy harjoitustyössä tarvittavien parametrien tiedot sekä tarvittavat laskukaavat. Dokumenttiin on lisäksi tehty osio i2-ohjelmassa käytössä olevista pikanäppäimistä ohjelman käytön helpottamiseksi.

Dokumentin sisältämä kytkentäkaavio on nähtävillä liitteestä 7. KytKentäkaavion piirtämiseen käytettiin Inventor Professional 2021 -ohjelmaa ja se pitää sisällään kaikkien komponenttien kytkennän toisiinsa sekä ajoneuvoon. KytKentäkaaviota täydentämään dokumenttiin tehtiin pinnikaaviot jokaisesta komponentista.

6 TULOKSET

Kuviossa 47 ja 48 on esitettyinä yhden testiajokerran tulos. Kaavioissa on esitettyä alkuperäinen CO₂-arvo (keltainen) ja lambda-anturin lisäämisen jälkeen testiajolla saatu CO₂-arvo (harmaa). Lisäksi kaavioissa on ajoneuvon nopeuskäyrä (oranssi) ja WLTC-testisyklin mukainen tavoite-nopeuskäyrä (sininen).



KUVIO 47. Testiajolla saatu tulos, kun käytetty Power-ajotilaa



KUVIO 48. Testiajolla saatu tulos, kun käytetty Hybrid-ajotilaa

Kuten kuvioista on nähtävissä tulos ei juurikaan muuttunut lambda-anturin lisäämisen jälkeen. Syynä tähän on mahdollisesti se, että testiajon aikana ei juurikaan käytetty moottorijarrutusta vaan jarrutukset suoritettiin pääsääntöisesti jarrupoljinta painamalla. Tämän vuoksi lambda-anturin lisäämisen hyöty ei näy saaduissa tuloksissa. Taulukossa 17 on nähtävillä alkuperäiset ja testiajolla saadut tulokset.

TAULUKKO 17. Alkuperäiset ja testiajolla saadut tulokset.

Mittauskohde	Alkuperäinen		Testiajo	
	Power	Hybrid	Power	Hybrid
CO2 [g/km]	241,24	154,23	239,21	189,24
Keskikulutus (yhdistetty) [l/100 km]	10,30	6,59	10,35	7,97
Kulutettu polttoaine [kg]	1,72	1,10	1,76	1,37

Moottorijarrutuksella tarkoitetaan ajoneuvon hidastamista moottorin tuottaman jarrutusenergian avulla. Jarrutusenergiaa syntyy alipaineen aiheuttamasta vastuksesta moottorin pyörimiseen, joka puolestaan aiheutuu ilmanottoventtiilin sulkeutumisesta. Jarrutusenergia hidastaa moottorin kierroksia ja siten hidastaa myös ajoneuvon liikettä. (53.)

Ilmanottoventtiili sulkeutuu kun jalka nostetaan kaasupolkimelta. Kaasunpolkimen vapautuminen aikaansaa samalla myös polttoaineensyötön katkeamisen. Sama efekti tapahtuu myös jarrutettaessa normaalisti jarrupoljinta painamalla, mutta tällöin jarrutusaika on lyhyempi. Lyhyempi jarrutusmatka tarkoittaa, että tällöin myös aika milloin polttoainetta ei kuluteta on lyhyempi. Koska moottorijarrutus pienentää polttoaineenkulutusta, on sillä samalla pienentävä vaikutus CO₂-päästöihin ja siten myös positiivinen vaikutus ympäristöön. (53.)

Kuviossa 49. On nähtävissä konkreettisesti kaasuläpän sulkeutuminen ja polttoaineensyötön katkeaminen (53). Kuvion 49 tumman- ja vaaleansiniset käyrät edustavat polttoaineen- ja ilman massavirtoja, joista on nähtävillä niiden romahtaminen moottorijarrutuksen alkaessa.



KUVIO 49. Polttoaineensyöttö moottorijarrutuksen aikana. Keltainen pystyviiva edustaa aktiivisen vaiheen aloituskohtaa ja vihreä puolestaan lopetuskohtaa

Polttoaineenmassavirta moottorijarrutuksen aikana on keskimäärin 0,11 g/s, kun sen maksimi arvo saman testiajon aikana oli 8,61 g/s. Punainen käyrä puolestaan edustaa lambda-arvoa, jonka arvosta on havaittavissa radikaali nousu arvoon 10.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui WLTP-mittauksen suorittaminen OnRoad-mittauksena muun liikenteen seassa. Työn aihe on ajankohtainen, ja siinä pääsee hyvin tutustumaan nykyaikaiseen päästöjen mittaustapaan. Työn teoriaosuus sivuaakin nykyään paljon keskusteluissa olevaa ilmastomuutosta ja siihen vaikuttavia hiilidioksidipäästöjä. Aihe valikoitui osaksi myös työn kohteena olevan hybridiajoneuvon vuoksi. Voidaan sanoa, että opinnäytetyön tekijän oma kokemus sähköautotekniikasta ei ollut ennen opinnäytetyön tekemistä kovinkaan vahva. Opinnäytetyön tekeminen toi siis myös arvokasta kokemusta hybridiajoneuvon kanssa työskentelystä ja teoriapohjaista tietämystä sähköautotekniikasta.

Työn tarkoituksena oli jatkokehittää vaihto-opiskelijoiden vuonna 2020 tekemä projektityö kompaktiksi ja helposti toteutettavaksi harjoitustyöksi Oulun ammattikorkeakoulussa auto- ja työkonetekniikkaa opiskeleville opiskelijoille. Harjoitustyön päätavoitteena oli käytännönläheisyys opiskeltavaan aiheeseen sekä opittujen asioiden soveltaminen ja asiayhteyksien huomaaminen jokapäiväisissä ajotilanteissa. Käytännönläheisyyden lisäksi harjoitustyön tavoitteena on tutustua nykyaikaiseen päästöjen mittaustapaan ja suorittaa maailmanlaajuisen teknillisen säädöksen nro 15 säätelemä mittaussykli (1, s.1) sekä laskea sen aikana tuotetut hiilidioksidipäästöt. WLTP-mittauksen lisäksi harjoitustyö tuo esille otto- ja sähkömoottorin etuja, sillä harjoitustyössä mittaussykli ajetaan erikseen kahdella eri ajotilalla.

Tuloksena työssä tuotettiin valmis harjoitustyö ohjevideoineen ja tekninen dokumentti mittauslaitteistosta sekä suoritettiin komponenttien kiinteä asennus ajoneuvoon. Lisäksi työn aikana suoritettu laskenta siirrettiin Excel-pohjasta käytännöllisempään MoTec i2 Pro -ohjelmaan, ja laskentakaavat muutettiin huomioimaan saatavilla oleva lambda-arvo. Lambda-anturin lisääminen ja siten sen arvon käyttäminen laskennassa toivat hyvin esille mitä tapahtuu moottorijarrutuksen aikana ja kuinka se vaikuttaa ajoneuvon päästöihin. Koeajoilla saaduissa tuloksissa asia ei näy konkreettisesti, sillä koeajoilla ei juurikaan käytetty moottorijarrutusta vaan vaadittavat nopeuden hidastukset suoritettiin pääasiassa jarrupoljinta painamalla.

Itse työn suorituksen osalta tärkein asia voidaan katsoa olevan WLTC 3b -luokan mukainen ajonopeusvideo, jossa ajonopeus muuttuu reaaliaikaisesti mittaussyklin vaatimien ajonopeuksien mukaan. Video yhdessä ajotiedonkeruulaitteen start- ja stop-painikkeiden kanssa tekee harjoitustyön

suorittamisesta mahdollisimman todenmukaisen.

Kaikki asennukset pyrittiin tekemään mahdollisimman huomaamattomiksi ajoneuvon käyttäjille sekä niin, että ajoneuvon rakenteisiin jouduttaisiin kajoamaan mahdollisimman vähän. Tavoitteessa onnistuttiin hyvin, sillä johtojen läpivienneissä ja pistokkeiden asennuksissa pystyttiin käyttämään hyväksi ajoneuvossa valmiina olevia reikiä. Näin ollen ajoneuvon sisätilat säilyivät alkupe- räisessä kunnossa. Lisäksi erikseen valmistetut suojalevyt piilottivat asennetut komponentit kat- seilta, ja lopputuloksesta tuli siisti ja huomaamaton. Ainoastaan lambda-anturin asennuksessa jou- duttiin hiukkasloukkuun poraamaan ylimääräinen reikä. Reikä on kuitenkin tulpattavissa jos/kun järjestelmä joskus poistetaan ajoneuvosta. Näin ollen voidaan katsoa myös hiukkasloukun säily- neen koskemattomana. Kaikilta osin tilaaja ja opinnäytetyön tekijä olivat tyytyväisiä opinnäytetyön lopputuloksiin, ja harjoitustyö otettiin käyttöön heti syksyn 2021 opinnoissa.

Jatkokehitysideana työlle voisi olla erilaiset huoltotoimenpiteet ennen mittaus syklin suorittamista esimerkiksi rengaspaineiden tarkastamisen osalta. GTR nro 15:ssä onkin hyvin tarkkaan säädelty renkaiden kunto sekä käytettävät rengaspaineet, sillä niiden katsotaan olevan merkittävä tekijä ajo- vastusten muodostumiseen ja siten myös polttoaineenkulutuksen kasvuun (6, s. L 175/445–L 175/446.). Mikäli opiskelijat suorittaisivat rengaspaineiden tarkistukset, mittautulosten vääristymi- nen minimoituisi ja samalla myös ajovastusten muodostuminen hahmottuisi käytännössä opiskeli- joille.

Toinen jatkokehitysidea voisi olla etanolipitoisuusmittarin lisääminen ajoneuvoon ja sähkömoottorin kuormitustiedon lisääminen ajonaikana tallennettavaan dataan. Etanolipitoisuusmittari antaisi ar- vokasta tietoa käytetyn polttoaineen sisältämästä etanolin määrästä, joka voitaisiin siten ottaa las- kennassa huomioon ja saataisiin näin ollen tarkempi tulos. Nykyisellään laskennassa ei huomioida polttoaineen sisältämää etanolipitoisuutta, mikä osaltaan vääristää hiilen määrää kulutetussa polt- toaineessa ja näin ollen myös suurentaa hiilidioksidipäästöjä. Toisaalta mikäli etanolipitoisuus otet- taisiin huomioon, tulisi laskukaavasta monimutkaisempi ja asian hahmottaminen opiskelijan näkö- kulmasta vaikeutuisi. Sähkömoottorin kuormitustiedon lisääminen puolestaan auttaisi hahmotta- maan paremmin, minkälaisissa tilanteissa ajoneuvo käyttää samanaikaisesti sähkö- ja polttomoot- toria. Nykyisellään sähkömoottorin toimintaa on mahdollista havainnoida ainoastaan moottorin kier- rosluvun perusteella, josta voidaan havaita, milloin polttomoottori ei osallistu ajoneuvon liikuttami- seen.

LÄHTEET

1. UNECE 2017. Global technical regulation No. 15, Global technical regulation on Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP), ECE/TRANS/180/Add.15/Amend.1. Konsolidoitu versio. Hakupäivä 28.9.2021. <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a15am1e.pdf#:~:text=Addendum%2015%3A%20Global%20technical%20regulation%20No.%2015%20Global,the%20below%20reproduced%20consolidated%20version%20of%20the%20gtr.>
2. Asetus 2017. Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2017/1153, annettu 2 päivänä kesäkuuta 2017, menetelmän vahvistamisesta sääntömääräisen testausmenettelyn muuttamisen huomioon ottamiseksi tarvittavien korrelaatioparametrien määrittämiseksi ja asetuksen (EU) N:o 1014/2010 muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 7.7.2017. Hakupäivä 28.9.2021. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1153&from=EN.](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1153&from=EN)
3. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Poikkeuslupa sarjan viimeisille ajoneuvoille (ns. häntälupa). Hakupäivä 28.9.2021. [https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/poikkeuslupa-sarjan-viimeisille-ajoneuvoille-ns-hantalupa.](https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/poikkeuslupa-sarjan-viimeisille-ajoneuvoille-ns-hantalupa)
4. Valtiovarainministeriö. Ajoneuvovero. Hakupäivä 28.9.2021. [https://vm.fi/ajoneuvovero.](https://vm.fi/ajoneuvovero)
5. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2019. WLTP-päästömittaus. Hakupäivä 10.11.2021. [https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/wltp-paastomittaus.](https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/wltp-paastomittaus)
6. Asetus 2017. Komission asetus (EU) 2017/1151, annettu 1 päivänä kesäkuuta 2017, moottoriajoneuvojen tyyppihyväksynnästä kevyiden henkilö- ja hyötyajoneuvojen päästöjen (Euro 5 ja Euro 6) osalta ja ajoneuvojen korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuudesta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 715/2007 täydentämisestä, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2007/46/EY, komission asetuksen (EY) N:o 692/2008 ja komission asetuksen (EU) N:o 1230/2012 muuttamisesta ja komission asetuksen (EY) N:o 692/2008 kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 7.7.2017.

- Hakupäivä 28.9.2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1151&qid=1635230672043&from=FI>.
7. UNECE 2015. Regulation No. 83, Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants according to engine fuel requirements, E/ECE/324/Rev.1/Add.82/Rev.5–E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.82/Rev.5. Hakupäivä 28.9.2021. <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R083r5e.pdf>.
 8. Veho Oy Ab 2019. GLC Coupé-sarja Facelift. Hinnasto. Hakupäivä 10.11.2021. https://www.veho.fi/globalassets/hinnastot/glc_coupe_facelift.pdf.
 9. Beyer, Joerg 2021. EC Certificate Of Conformity For Complete Vehicles. Köln: Management board Ford Werke GmbH.
 10. Al-Arkawazi, Shamil Ahmed Flamarz 2019. Springer Nature Switzerland AG. Analyzing and predicting the relation between air–fuel ratio (AFR), lambda (λ) and the exhaust emissions percentages and values of gasoline-fueled vehicles using versatile and portable emissions measurement system tool. SN Applied Sciences 1 (1370). Hakupäivä 30.12.2021. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1392-5>.
 11. Reşitoğlu, Ibrahim Aslan, Altinişik, Kemal & Keskin, Ali 2014. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. Clean Technologies and Environmental Policy 17 (1), 15–27. Hakupäivä 10.12.2021. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0793-9>.
 12. Rutledge, Kim, Ramroop, Tara, Boudreau, Diane, McDaniel, Melissa, Teng, Santani, Sprout, Erin Costa, Hilary, Hall, Hilary & Hunt, Jeff 2011. National Geographic Society. Greenhouse Effect. Hakupäivä 2.12.2021. <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/greenhouse-effect/>.
 13. Saaristo, Jaana. Reaktioyhtälö. Dia-esitys, diat 5 - 6. Hakupäivä 30.1.2022. <https://slideplayer.fi/slide/13447130/>.

14. Robert Bosch GmbH 2018. Automotive Handbook. 10th edition. Toim. Dietsche, Karl-Heinz, Reif, Konrad & noin 200 julkaisijaa teollisuuden, yliopiston ja korkeakoulun aloilta. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.
15. Valtanen, Esko 2016. Tekniikan taulukkokirja. 21. painos. Jyväskylä: Genesis-kirjat Oy.
16. AIP Automotive. AIP GmbH & Co. KG. Valokuva. Flat Track Dynamometer FRDM 20L / NewtonFinder. Hakupäivä 4.1.2022. <https://www.aip-automotive.de/en/Products/Test-Stands/RESEARCH-DEVELOPMENT/NewtonFinder>.
17. Ken 2006. Valokuva. Spinning wheel. Flickr-päivitys. Hakupäivä 4.1.2022. <https://www.flickr.com/photos/16577536@N00/237459685/>.
18. Cubito, Claudio, Millo, Federico, Boccardo, Giulio, Di Pierro, Giuseppe, Ciuffo, Biagio, Fontaras, Georgios, Serra, Simone, Otura Garcia, Marcos, & Trentadue, Germana 2017. Impact of Different Driving Cycles and Operating Conditions on CO2 Emissions and Energy Management Strategies of a Euro-6 Hybrid Electric Vehicle. Energies 10 (10), 1590. Hakupäivä 2.12.2021. <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/10/1590/>.
19. Volvo Car Corporation 2020. Polttoaineenkulutus ja CO2-päästöt. Hakupäivä 10.11.2021. <https://www.volvocars.com/fi/support/manuals/xc60-twin-engine/2019w46/erittelyt/erittelyt/polttoaineenkulutus-ja-co2-paastot>.
20. Asetus 2016. KOMMISSION ASETUS (EU) 2016/427, annettu 10 päivänä maaliskuuta 2016, asetuksen (EY) N:o 692/2008 muuttamisesta kevyiden henkilö- ja hyötyajoneuvojen päästöjen (Euro 6) osalta. Euroopan unionin virallinen lehti 31.3.2016. Hakupäivä 2.12.2021 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0427&qid=1639657327756&from=FI>.
21. ECG - The Association of European Vehicle Logistics 2019. WLTP, RDE and automotive emissions targets. Version 3. Hakupäivä 15.1.2022 <https://www.ecgassociation.eu/wp-content/uploads/2019/10/19.10-WLTP-briefing-paper-v3-Draft-v1-Web.pdf>.

22. Volvo Car Corporation 2020. Ajotilat. Hakupäivä 10.11.2021. <https://www.volvocars.com/fi/support/manuals/xc60-twin-engine/2018w46/kaynnistys-ja-ajo/ajotilat/ajotilat>.
23. U.S Department of Energy. How Do Plug-In Hybrid Electric Cars Work? Hakupäivä 30.1.2022 <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>.
24. CSS Electronics 2021. LIN Bus Explained - A Simple Intro [2021]. Hakupäivä 30.1.2022. <https://www.csselectronics.com/pages/lin-bus-protocol-intro-basics>.
25. Levi, Ziv 2018. Automotive Ethernet: The Future of In-Car Networking?. Hakupäivä 30.1.2022. <https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21806349/automotive-ethernet-the-future-of-incar-networking>.
26. CAN in Automation. History of CAN technology. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>.
27. CAN in Automation. Classical Controller Area Network (CAN). Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/classical-can/>.
28. CAN in Automation. CAN data link layers: Three generations. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-data-link-layers/>.
29. ISO – International Organization for Standardization. Hakusana: ISO 11898. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.iso.org/>.
30. CAN in Automation 2016. CAN 2020: The future of CAN technology. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.can-cia.org/news/cia-in-action/view/can-2020-the-future-of-can-technology/2016/3/21/>.
31. CAN in Automation 2016. CAN 2020: CAN FD - The basic idea. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-fd/>.
32. Pico Technology. CAN and CAN FD bus decoding. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.picoauto.com/library/picoscope/can-bus-serial-protocol-decoding>.

33. Kvaser. Introduction to the OBD II Standard. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.kvaser.com/about-can/can-standards/introduction-to-obd-ii/>.
34. OBDTester.com. OBD2 protocols. Hakupäivä 22.1.2022. http://www.obdtester.com/obd2_protocols.
35. OBDTester.com. OBD2 connector. Hakupäivä 22.1.2022. http://www.obdtester.com/obd2_connector.
36. X-engineer.org. Numbers Representation Systems – Decimal, Binary, Octal and Hexadecimal. Hakupäivä 22.1.2022. <https://x-engineer.org/numbers-representation-systems-decimal-binary-octal-hexadecimal/>.
37. RapidTables. Hexadecimal to Decimal converter. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.rapidtables.com/convert/number/hex-to-decimal.html>.
38. X-engineer.org. On-Board Diagnostics (OBD) – introduction to the Modes of Operation (Diagnostic Services). Hakupäivä 22.1.2022. <https://x-engineer.org/on-board-diagnostics-obd-modes-operation-diagnostic-services/>.
39. Alex, E. 2018. TotalCarDiagnostics.com. OBD2 PIDs for Programmers (Technical). Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.totalcardiagnostics.com/support/Knowledgebase/Article/View/104/0/obd2-pids-for-programmers-technical>.
40. CSS Electronics. OBD2 PID Overview [Lookup/Converter Tool, Table, CSV, DBC]. Hakupäivä 22.1.2022. <https://www.csselectronics.com/pages/obd2-pid-table-on-board-diagnostics-j1979>.
41. Trouble Codes. Trouble Codes Turn On Your Check Engine Light. Hakupäivä 22.1.2022. <http://www.trouble-codes.com/>.
42. X-engineer.org. What is an on-board diagnostic OBD system. Hakupäivä 22.1.2022. <https://x-engineer.org/obd-system/>.

43. Liebmann, David & Micheu, Jacob 2020. Kuvakaappaus. PowerPoint-diasarja. Automotive Powertrain Engineering Project, final presentation. Harjoitustyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö.
44. Hohler, Tatiana 2021. AIC 1200 fuel flow meter. Henkilökohtainen sähköpostiviesti 2.4.2021. Vastaanottaja: Sanna Öman.
45. Shouse, Darrell 2021. Max Request For Quotation. Henkilökohtainen sähköpostiviesti 10.4.2021. Vastaanottaja: Sanna Öman.
46. Lehtonen, Arto 2021. Hintakysely. Henkilökohtainen sähköpostiviesti 2.4.2021. Vastaanottaja: Sanna Öman.
47. MoTeC Pty Ltd. Bosch LSU 4.9 sensor. Tuote-esite. Hakupäivä 30.09.2021. <https://www.motec.com.au/ac-sn-lambda/sn-lambda-ov/>.
48. Bosch Motorsport 2020. Lambda Sensor LSU 4.9. Tuote-esite. Hakupäivä 30.09.2021. https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/Resources/pdf/Data%20Sheet_69034379_Lambda_Sensor_LSU_4.9.pdf.
49. Autosähkötalo Auton.fi. Kaapelin mitoitus, johdon paksuus, 6-24V järjestelmät. Hakupäivä 27.1.2022. <https://auton.fi/kaapelin-mitoitus/>.
50. Haataja, Mikko & Turpeinen Joel 2021. Volvon jännitteettömäksi ja takaisin jännitteelliseksi tekeminen. PowerPoint-diasarja. EMobiili – Hybridi- ja sähköajoneuvojen alueellisen koulutuksen uudistaminen. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
51. X-engineer.org. Air fuel ratio. Hakupäivä 27.1.2022. <https://x-engineer.org/air-fuel-ratio/>.
52. Inch Calculator. Kilograms to Liters Conversion Calculator. Hakupäivä 27.1.2022. <https://www.inchcalculator.com/convert/kilogram-to-liter/>

53. UTI – Universal Technical Institution 2021. What is engine braking and how does it work?.

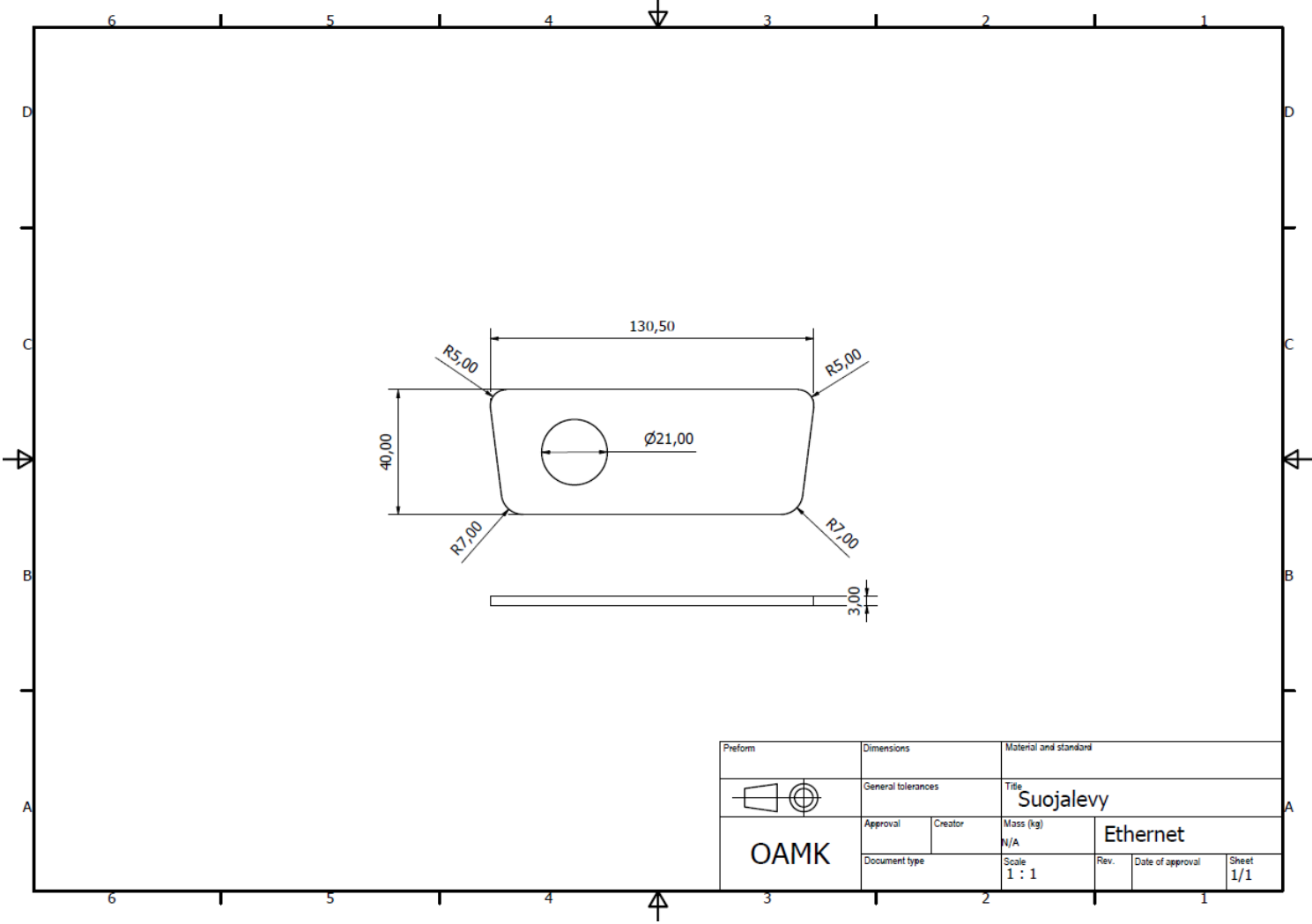
Hakupäivä 1.2.2022. <https://www.uti.edu/blog/automotive/what-is-engine-braking>.

LIITTEET

Ethernet-pistokkeen suojalevy	liite 1
Tiedonkeruulaitteen suojan kokoonpano	liite 2
Tiedonkeruulaitteen suojan pohjalevy	liite 3
Suojalevyn jalka 1	liite 4
Suojalevyn jalka 2	liite 5
Teknisen dokumentin sisällysluettelo	liite 6
Laitteiston kytkentäkaavio	liite 7

ETHERNET-PISTOKKEEN SUOJALEVY

LIITE 1

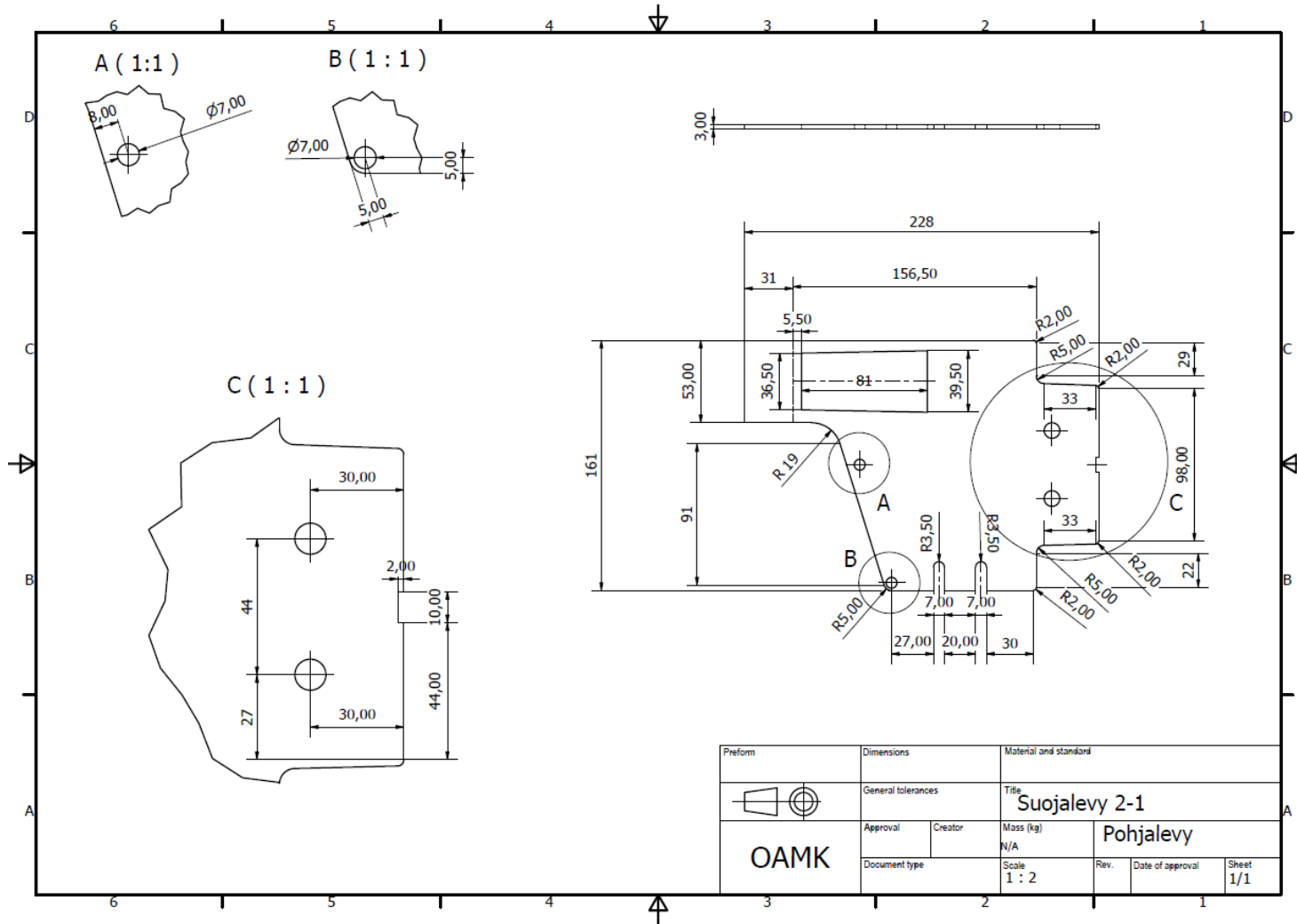


TIEDONKERUULAITTEEN SUOJAN KOKOONPANO

LIITE 2

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Pohjalevy	
2	2	Jalka 2	
3	2	Jalka 1	

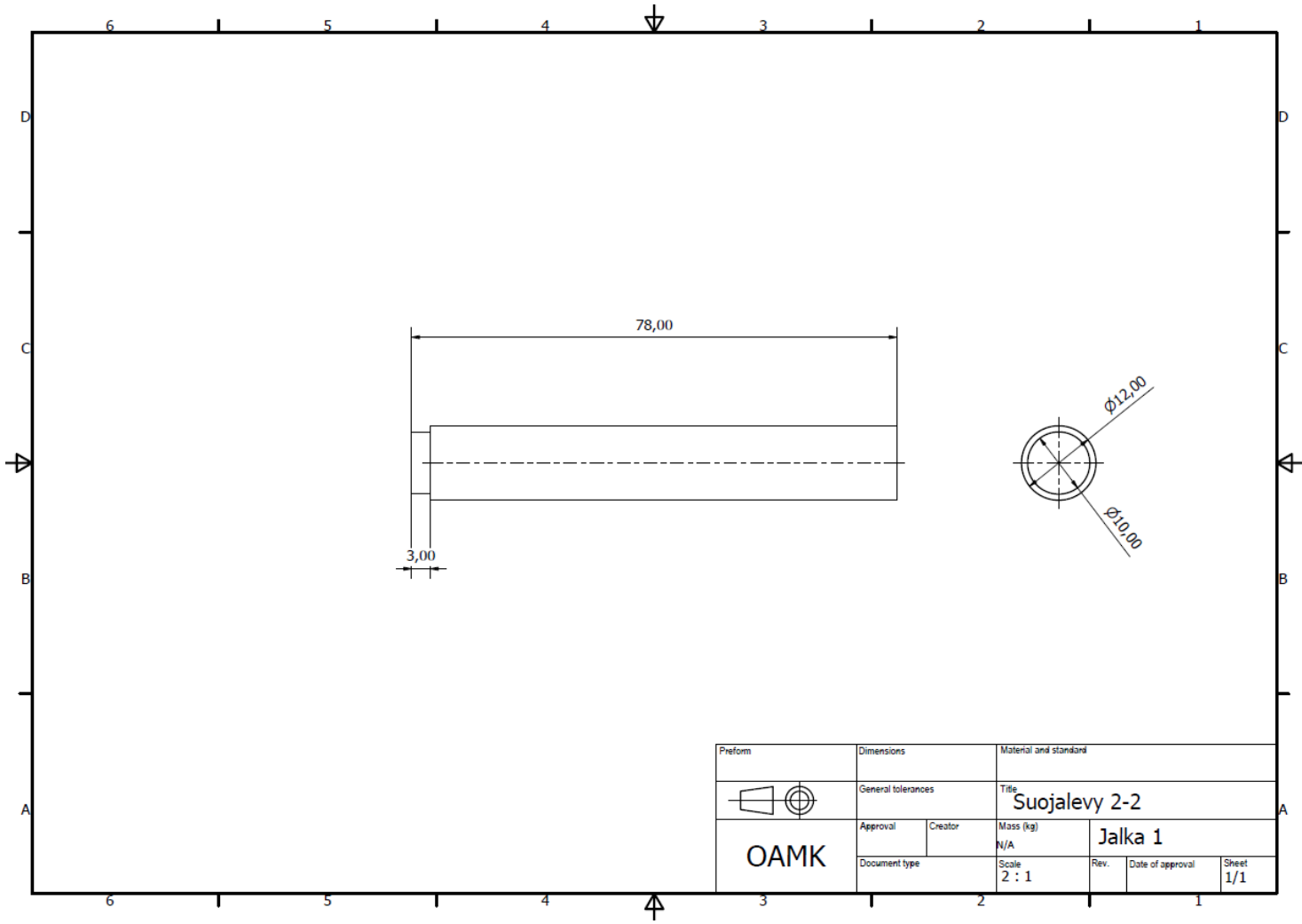
Preform		Dimensions		Material and standard	
General tolerances		Title			
OAMK		Suojalevy 2			
Approval	Creator	Mass (kg)	Kokoonpano		
Document type		Scale	Rev.	Date of approval	Sheet
		1 : 2			1/1



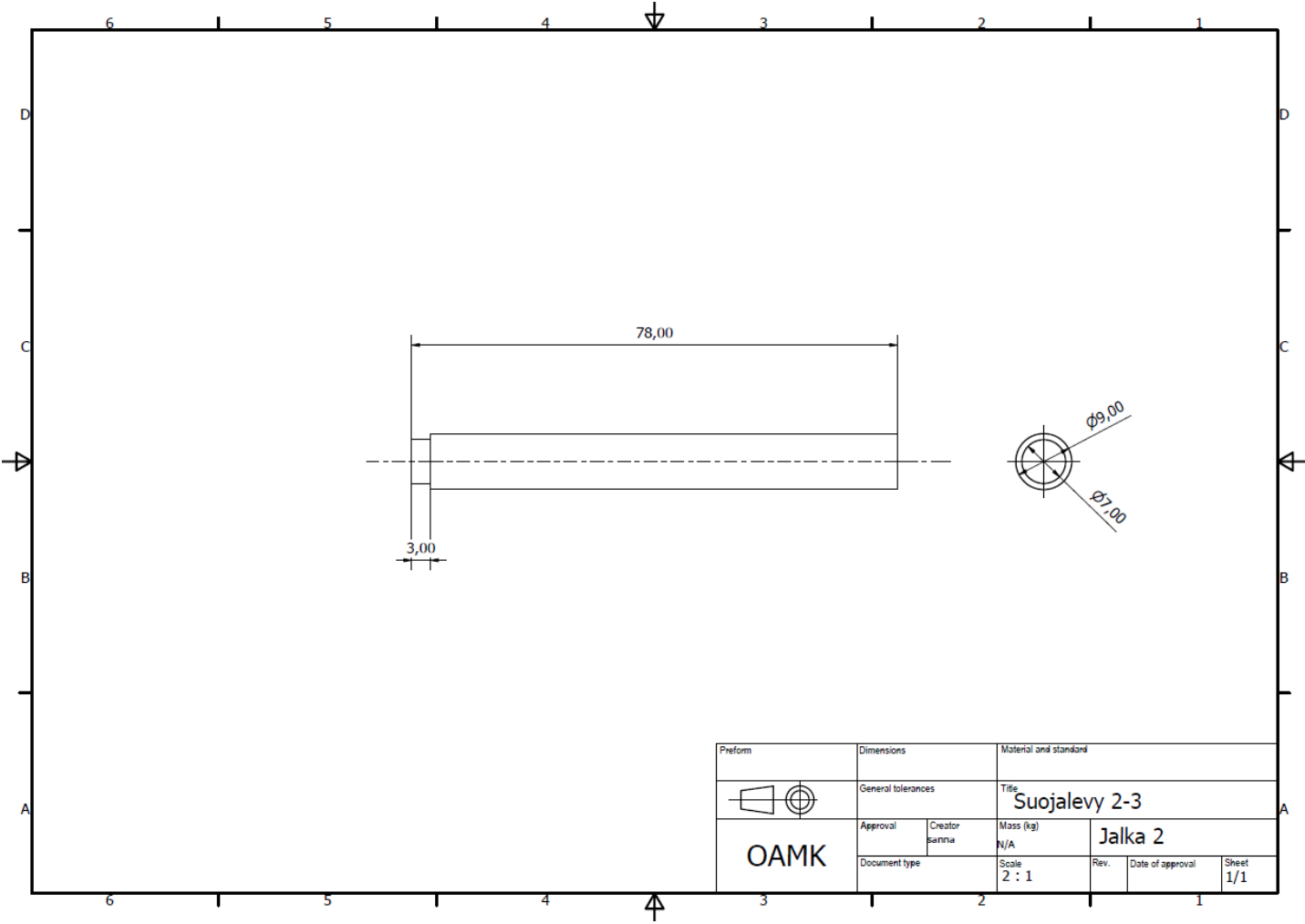
Preform	Dimensions	Material and standard			
	General tolerances	Title: Suojalevy 2-1			
OAMK	Approval	Creator	Mass (kg)	Pohjalevy	
	Document type	Scale	N/A	Rev.	Date of approval
			1 : 2		Sheet 1/1

SUOJALEVYN JALKA 1

LIITE 4



Preform		Dimensions		Material and standard		
		General tolerances		Title: Suojalevy 2-2		
		Approval	Creator	Mass (kg)	Jalka 1	
OAMK		Document type		Scale	Rev.	Date of approval
				2 : 1		



SISÄLLYS

1	AJONEUVO JA ASENNETUT KOMPONENTIT	3
1.1	Ajoneuvon tiedot	3
1.2	Asennetut komponentit	3
1.2.1	Komponenttien tekniset tiedot	4
1.2.2	Asennus ja huolto-ohje	7
1.2.3	Free-air -kalibrointi	8
1.3	Komponenttien sijainti	9
1.4	Pinni- ja kytkentäkaaviot	13
2	PARAMETRIT JA LASKUKAAVAT	15
2.1	Lisätyt parametrit	15
2.2	Tiedonkeruu kanavat	16
2.3	I2:n työtila	17
2.4	Vakiot	17
2.5	Laskukaavat	18
2.6	Pikanäppäimet	19
	LIITTEET	23

