

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**2030-LUVUN MAASTOHENKILÖAUTON KÄYTTÖVOIMA ARKTISESSA
SOTILASKÄYTÖSSÄ**

Pro gradu -tutkielma

Yliluutnantti
Aku Saarelainen

Sotatieteiden maisterikurssi 7
Maasotalinja

Huhtikuu 2018

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 7	Linja Maasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Aku Saarelainen	
Tutkielman nimi 2030-luvun maastohenkilöauton käyttövoima arktisessa sotilaskäytössä	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Huhtikuu 2018	Tekstisivuja 69 Liitesivuja 13
TIIVISTELMÄ <p>Puolustusvoimien nykyisin käyttämät maastohenkilöautot ovat dieselkäyttöisiä. Polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen käyttöä Euroopan Unionin alueella tullaan kuitenkin lähitulevaisuudessa rajoittamaan kiristämällä ajoneuvojen päästöihin kohdistuvia rajoituksia. Tässä tutkimuksessa arvioitiin 2030-luvun maastohenkilöautoon saatavilla olevien käyttövoimien soveltuvuutta napapiirin pohjoispuoliseen sotilaskäyttöön. Tutkimus käsittelee ajoneuvojen rauhanaikaista sotilaskäyttöä, sillä Puolustusvoimien maastohenkilöautojen rooli poikkeusoloissa on vähäinen. Tämä johtuu siitä, että pääosa kenttäarmeijan kokoonpanoon sijoitetuista maastohenkilöautoista on siviiliväestöltä pakko-otettavaa kalustoa, joiden käyttövoimaan Puolustusvoimilla ei ole mahdollisuutta vaikuttaa.</p> <p>Tutkimuksen teoriapohja muodostettiin autotekniikan ja liikenne-energiateknologian esittelystä käyttäen tutkimusmenetelmänä kirjallisuustutkimusta. 2030-luvun maastohenkilöauton käyttövoimien ominaispiirteet selvitettiin tulevaisuudentutkimukseen kuuluvan trendianalyysin keinoin. Trendianalyysi kohdistettiin survey-kirjallisuustutkimuksena ensisijaisesti Tekniikan maailman ja Kauppalehden 2010-luvulla julkaistuihin liikenne-energiateknologiaa käsitteleviin internetjulkaisuihin. Trendianalyysin lähteinä käytettiin lisäksi muita esiin nousseita internetissä julkaistuja artikkeleita.</p> <p>Maastohenkilöautojen sotilaskäytön vaatimusten määrittämiseksi toteutettiin Jääkäriprikaatissa Sodankylän varuskunnassa syksyn 2017 ja kevään 2018 aikana käyttökysely. Kyselyssä selvitettiin ajoneuvojen päivittäisiä ajomatkoja, lepoaikoja sekä ajoneuvolla kuljetettuja kuormia. Käyttökyselyä tuettiin selvittämällä kuljetusalan tietojärjestelmästä kyselyn aikavälillä toteutuneiden ajotehtävien tiedot. Käyttökyselyn ja tietojärjestelmähaun tulokset analysoitiin tilastollisesti. Saatujen tunnuslukujen ja Ilmatieteen laitoksen säätietojen perusteella muodostettiin arktisen sotilaskäytön vaatimukset maastohenkilöautoille.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin, että 2030-luvun arvioitu teknologian kehitysaste ei mahdollista sähkökäyttöisen maastohenkilöauton arktista sotilaskäyttöä ilman merkittävää latausinfrastruktuurin kehittämistä tai ajoneuvojen käyttötapojen muutosta. Sen sijaan 2030-luvun sähköhybridikäyttöinen ajoneuvo soveltuu arktiseen sotilaskäyttöön hyvin ollen jopa polttomoottoriautoa suorituskykyisempi. Jatkotutkimustarpeena tutkimuksessa nousi esille muiden muassa tarve selvittää ajoneuvojen latausmahdollisuuksia sotaharjoituskäytössä.</p>	
AVAINSANAT Maastohenkilöauto, sähköauto, sähköhybridi, liikenne-energia, arktinen	

2030-LUVUN MAASTOHENKILÖAUTON KÄYTTÖVOIMA ARKTISESSA SOTILASKÄYTTÖSSÄ

Sisällysluettelo

1.	JOHDANTO.....	1
1.1.	Aihealueen esittely	1
1.2.	Tutkimustehtävä ja tutkimuksen tavoitteet.....	3
1.3.	Tutkimustilanne.....	3
1.4.	Tutkimuksen rakenne, näkökulma ja käsitteet.....	4
1.5.	Sotatekninen tulevaisuudentutkimus	8
2.	AUTOTEKNIIKAN JA LIIKENNE-ENERGIATEKNOLOGIAN TARKASTELU	12
2.1.	Ajoneuvon moottorin tehtävä ja hyötysuhde.....	12
2.2.	Maastohenkilöauton rakenne.....	14
2.3.	Dieselmoottorin rakenne ja toiminta	17
2.4.	Ottomoottorin rakenne ja toiminta	21
2.5.	Kaasu käyttövoimana	24
2.6.	Sähkökäyttöisen ajoneuvon rakenne ja toiminta	26
2.7.	Sähköhybridin rakenne ja toiminta.....	28
2.8.	Sähkön varastointi sähköautossa ja hybridiautossa	30
3.	LIIKENNE-ENERGIATEKNOLOGIAN KEHITYSNÄKYMÄT LÄHITULEVAISUUDESSA	36
3.1.	Energiapoliittisen kehityksen merkitys tekniselle kehitykselle	37
3.2.	Polttomoottorin ja sähköhybridin tekninen kehitys.....	40
3.3.	Sähköauton ja akkutekniikan kehitysnäkymät.....	42
3.4.	Polttokenno sähköautossa.....	45
3.5.	Päästörajoituksista poikkeaminen lainsäädännön kautta	46
3.6.	2030-luvun maastohenkilöauton käyttövoiman ominaispiirteet.....	47
4.	SOTILASKÄYTÖN VAATIMUKSET MAASTOHENKILÖAUTOLLE	52
4.1.	Ajoneuvojen hankkiminen koulutuskäyttöön Puolustusvoimissa	52
4.2.	Arktisen toimintaympäristön vaikutus ajoneuvon käyttöön	53
4.3.	Jääkäriprikaatissa suoritetun osatutkimuksen järjestelyt.....	55
4.4.	Käyttökyselyn tulosten analyysi.....	59
4.5.	Tietojärjestelmähaun tulosten analyysi.....	62
4.6.	Yhteenvedo sotilaskäytön vaatimuksista ajoneuvon käyttövoimalle	64
5.	TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	65
5.1.	2030-luvun maastohenkilöauto arktisessa sotilaskäytössä	65
5.2.	Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet.....	67
5.3.	Tulosten luotettavuus ja käytettävyys.....	68

LÄHTEET

LIITTEET

2030-LUVUN MAASTOHENKILÖAUTON KÄYTTÖVOIMA ARKTISESSA SOTILASKÄYTTÖSSÄ

1. JOHDANTO

1.1. Aihealueen esittely

Puolustusvoimien kansalliseen käyttöön on UAZ-469 -kalustosta luopumisen jälkeen hankittu lähinnä dieselkäyttöisiä maastohenkilöautoja. Land Rover Defenderit, Toyota Hiluxit ja Toyota Land Cruiserit ovat suoriutuneet 2000-luvun sotilaskäytössä pääsääntöisesti hyvin, mutta dieselmoottorin tulevaisuus kevyen kaluston voimanlähteenä on muuttuvan lainsäädännön johdosta epävarma. Tästä huolimatta jatkossakin rauhanaikaiseen toimintaan liittyen on olemassa tarve kuljettaa ihmisiä ja materiaalia, myös vaativissa olosuhteissa. Vaikka ajoneuvon yleisessä teknisessä rakenteessa ei tapahtuisikaan merkittävää kehitystä, aiheuttaa tiukentuva energiapolitiikka paineita nykyisten ajoneuvojen seuraajan valinnalle.

Tutkimuksessa tarkastellaan viittä eri käyttövoimavaihtoehtoa, dieseliä, bensiiniä, etanolia, kaasua ja sähköä, sekä näitä hyödyntäviä moottoriteknologioita. Käsiteltyjen teknologioiden kehitysnäkymiä arvioidaan seuraavan 10–15 vuoden ajanjaksolla. Arktisen sotilaskäytön vaatimukset maastohenkilöauton käyttövoimalle kartoitetaan mittaamalla ajoneuvojen todellista käyttöä Jääkäriprikaatin toiminnassa napapiirin pohjoispuolella. Saatuja tuloksia peilataan käsiteltyjen teknologioiden kehitysnäkymiin ja ominaisuuksiin.

Tutkimuksen näkökulma ei ole suurissa teknisissä innovaatioissa, sillä kaikki esitellyt teknologiat ovat olleet olemassa jo satoja vuosia. Nykyisenkaltainen kipinäsytytteinen nelitahtimoottori on otettu käyttöön 1800-luvun loppupuolella [86, s. 79], puristussytytteinen muutamia vuosikymmeniä myöhemmin [86, s. 85] ja ensimmäiset polttokennotkin on valmistettu jo 1800-luvun puolivälissä [86, s. 88]. Sähkömoottorin historia taas on vieläkin pidempi, teoria kehitettiin 1800-luvun alussa ja liikennekäytössä sähkömoottori on ollut 1830-luvulta lähtien [86, s. 123].

Gardner Hiscox on todennut vuonna 1900 teoksessaan *Horseless vehicles* seuraavasti:

”There is nothing of importance that we are waiting for to add to the automobile. No startling inventions are called for and none probably are coming to solve the motor problem. All the mechanical essentials have been devised seemingly complete and ready at hand.” [50, s. 27]

Kuten Ari Lampinen yleisesityksessään Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta on asian muotoillut, voidaan nyt sadan vuoden päästä todeta Hiscoxin olleen enemmän oikeassa kuin väärässä [86, s. 21]. Verrattuna esimerkiksi saman aikavälin viestintäteknologian kehitykseen ajoneuvojen teknistä kehitystä voidaan pitää vaatimattomana. Materiaalitekniikassa toki on tapahtunut kehitystä, mutta 1860-luvun sähköauton tekninen toimintaperiaate on suhteellisen samankaltainen kuin 2010-luvun sähköautollakin, eikä esimerkiksi karttanäytöllistä mittaristoa voida oikein pitää ajoneuvotekniikkaan liittyvänä teknologiaharppauksena.

Ajoneuvojen lähitulevaisuuden käyttömahdollisuuksia ohjaavat kuitenkin muutkin tekijät kuin suuriin innovaatioihin keskittyvä teknologinen kehitys. Viime vuosikymmenien aikana trendinä ei enää ole ollut suorituskyvyn näkökulmasta parhaan mahdollisen ajoneuvon kehittäminen, vaan soveltuvuus ympäröivään yhteiskuntaan ja vallitsevaan maailmankuvaan. 2000-luvulla tekniikan kehittämistä varjostaa pelko fossiilisten polttoaineiden tulevaisuudessa hämmäyttävästä ehtymisestä sekä ihmisen toiminnan mahdollisesta vaikutuksesta ilmastonmuutokseen. Puolustusvoimien on mukauduttava tässäkin asiassa muuhun maailmaan.

Tutkimuksessa tarkastellussa ajoneuvosegmentissä ei tutkimuksen laatimisajankohtana ole saatavilla juurikaan muita kuin polttomoottorikäyttöisiä autoja, eikä myöskään laatimisajankohdan lainsäädäntö edellytä vielä vähäpäästöisempiä teknologioita. Niinpä kattavaa vertailua nykypäivän tilanteesta on haastavaa ja myös tarpeetonta tehdä. Tästä johtuen tutkimuksen näkökulmaksi on valittu 2030-luku: vaikka lainsäädäntö ja käyttövoimavaihtoehtojen tarjonta muuttuisi tarkastelujaksolla oleellisesti, ei kohdeajankohta ole kuitenkaan niin kaukana tulevaisuudessa, etteikö sen suhteellisen luotettava ennustaminen olisi mahdollista.

Aihe on tutkijan esittämä.

1.2. Tutkimustehtävä ja tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa Puolustusvoimissa tapahtuvan maastohenkilöautojen hankinnan tueksi. Tällaista tietoa on muun muassa Jääkäriprikaatissa toteutetun ajoneuvojen käytön seurannan tuottamat tunnusluvut, sekä osin tutkimuksen tulevaisuudentutkimusosiossa tuotettu tieto moottoriteknologian lähitulevaisuuden kehitysnäkymistä.

Tutkimuksen tutkimustehtävä, aihetta käsittelevän uuden tiedon tuottaminen, on muotoiltu tutkimuskysymyksiksi. Tutkimuskysymykset koostuvat päätutkimuskysymyksestä sekä niitä tukevista alatutkimuskysymyksistä.

Tutkimuksen pääkysymys on:

Millä tavoin 2030-luvun maastohenkilöauton erilaiset käyttövoimaratkaisut soveltuvat arktiseen sotilaskäyttöön?

Pääkysymystä lähestytään seuraavien alakysymysten kautta:

Mitkä ovat nykyhetken eri käyttövoimaratkaisujen toimintaperiaatteet ja ominaisuudet?

Mitkä ovat liikenne-energiateknologian lähitulevaisuuden kehitysnäkymät?

Mitä vaatimuksia arktinen sotilaskäyttö asettaa maastohenkilöauton käyttövoimalle?

Tutkimukseen ei sisälly hypoteesia tutkimuksen lopputuloksesta.

1.3. Tutkimustilanne

Tutkijan tiedossa ei ole, että aihetta olisi tutkittu aikaisemmin. Maanpuolustuskorkeakoulussa on tutkittu vähäisesti muiden laitteiden ja ilmiöiden sotilaskäytön tulevaisuudennäkymiä.

Oskari Paavola on kartoittanut vuonna 2014 esiupseerikurssin tutkielmassaan *Jalkaväen taisteluajoneuvo 2030 – vaatimukset tulivoimalle* muun muassa ajoneuvojen taktista käyttöympäristöä 2030-luvulla. Paavolan selvityksen mukaan lähitulevaisuudessa joukon liikkeen merkitys säilyy ja jopa korostuu. [114]

Erkka Vesanen on selvittänyt vuonna 2015 pro gradu -tutkielmassaan *Puolustusvoimat 2030-luvun Suomessa* Puolustusvoimia koskevia lähitulevaisuuden kehitysnäkymiä. Vesanen näkee yhtenä trendinä ajoneuvojen käyttövoimaan kohdistuvan muutostarpeen, tosin pääosin öljyn hintaan ja saatavuuteen liittyvien epävarmuustekijöiden johdosta. [172]

Eri moottoritekniologioiden ja käyttövoimavaihtoehtojen tulevaisuudennäkymiä taas on tutkittu runsaammin sekä Suomessa että ulkomailla. Etenkin sähköautoihin ja niissä käytettävään akkutekniikkaan liittyvä tutkimus on yleistä. Alla on lueteltu joitain tutkimuksessa hyödynnettyjä aiheeseen liittyviä aikaisempia tutkimuksia.

- Nils-Olof Nylund: *Sähköautojen tulevaisuus Suomessa. Sähköautot liikenne- ja ilmastopoliitiikan näkökulmasta* (Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 12/2011)

- Lauri Liimatainen: *Käytetyimpien akkutyypin kehitys*. 2013 (AMK-opinnäytetyö)

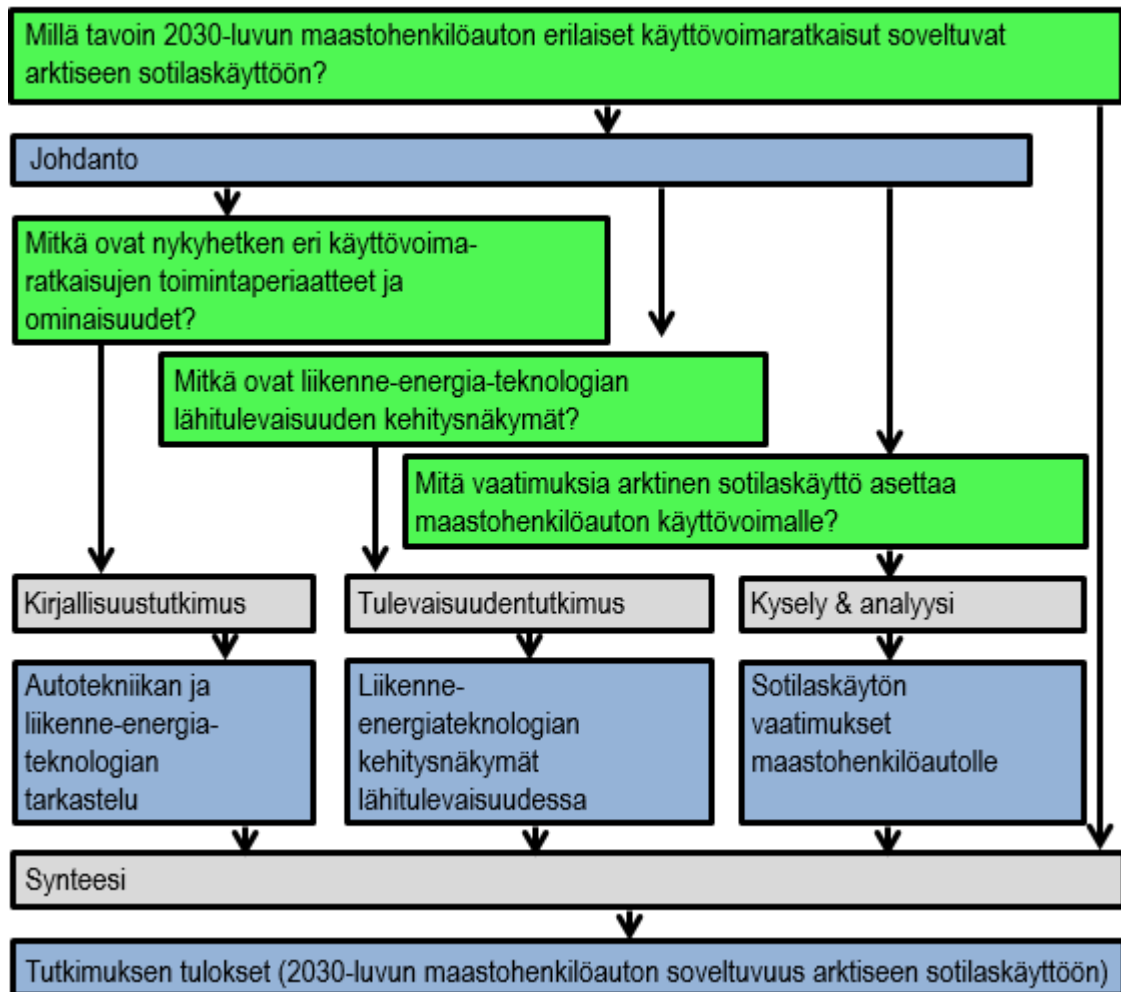
- Tugce Yuksel & Jeremy J. Michalek: *Effects of Regional Temperature on Electric Vehicle Efficiency, Range, and Emissions in the United States* 2015 (Artikkeli)

- Orhan B Alankus: *Technology Forecast for Electrical Vehicle Battery Technology and Future Electric Vehicle Market Estimation*. 2017 (Artikkeli)

Pohjois-Karjalan maakuntaliiton tulevaisuusrahaston rahoittamaan hankkeeseen *Liikennebiokaasun ja muiden liikenteen uusiutuvien energialähteiden ja investointien kehittämishanke – osa 1: valmisteluvaihe* liittyen on laadittu julkaisu *Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta*. Julkaisun projektipäällikkönä ja pääasiallisena kirjoittajana on toiminut Ari Lampinen. Vaikka julkaisussa on käsitelty liikenne-energian historiaa laajasti, teos on kirjoitettu hyvin vahvasti uusiutuvan energian näkökulmasta, eikä eri energiavaihtoehtojen käsittely ole tasapuolista. Esimerkiksi rehulle liikennepolttoaineena annetaan teoksessa suurempi käsittelyn painoarvo kuin ydinvoimalle. Julkaisussa ei aina tuoda riittävän tarkasti esille eroa historiallisten faktojen ja kirjoittajan näkökulmasta tehtyjen pohdintojen välillä, mutta kriittisesti luettuna teos mahdollistaa eri käyttövoimien nykytilanteen ymmärtämisen niiden historian kautta. [86]

1.4. Tutkimuksen rakenne, näkökulma ja käsitteet

Tutkimuksessa on viisi päälukua, joista ensimmäisessä esitellään tutkimuksen perusteet, pääluvuissa 2–4 vastataan tutkimuksen alatutkimuskysymyksiin ja pääluvussa 5 esitellään tutkimuksen tulokset. Tutkimuskysymysten, käytettyjen tutkimusmenetelmien ja tutkimuksen rakenteen suhde on esitetty seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 1. Kuvassa tutkimuskysymykset on merkitty vihreillä, pääluvut sinisillä ja tutkimusmenetelmät harmailla laatikoilla.



Kuva 1. Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen pääasiallisen teorian muodostava pääluke 2 on muodostettu kirjallisuustutkimusta käyttäen. Teoriapohjan esittelyä tuetaan kirjallisuustutkimuksessa saatujen tietojen perusteella tehdyillä laskutoimituksilla tilanteissa, joissa lähteistä ei ollut saatavilla suoraan tutkimuskysymyksiin vastaavia lukuarvoja. Luvun kirjallisuustutkimus on luonteeltaan kirjallisuusselvitystä [88] ja tähtää käsiteltyjen teknologioiden ominaispiirteiden referoimiseen. Lähteiden hankinnassa on hyödynnetty internethakujen lisäksi suomalaisten yliopistojen kirjastopalveluita sekä sosiaalisen median kanavia, kuten Twitteriä ja Jodelia.

Tutkimuksen pääluvussa 3 suoritetaan suppea tulevaisuudentutkimus, jonka toteutus on esitetty luvussa itsessään. Sotatekniikan piiriin kuuluvan tulevaisuudentutkimuksen tieteenfilosofiaa esitellään seuraavassa alaluvussa. Luvussa 3 tulevaisuudentutkimuksen yhteydessä toteutettavassa lähteiden käsittelyssä on survey-kirjallisuustutkimuksen piirteitä, sillä lähteitä taulukoi-tiin ja analysoitiin myös määrällisesti [88].

Pääluvussa 4 maastohenkilöautoon kohdistuvien vaatimusten selvittämiseen käytetään kirjallisuustutkimusta ja tilastollista analyysia. Aineisto tilastollista analyysia varten hankitaan kyselyillä. Kyselyn toteuttaminen ja tilastollinen analyysi on esitetty tarkemmin pääluvussa itsessään. Pääluvussa hyödynnetään myös Ilmatieteen laitoksen tuottamaa sääätietoa tarkasteltaessa ajoneuvojen soveltuvuutta arktiseen toimintaympäristöön. Saatuja raakatietoja on muotoiltu tilastollisesti tutkimuksen edellyttämään muotoon.

Alatutkimuskysymysten vastausten synteesi esitetään viidennessä pääluvussa. Tulosten havainnollistamiseen käytetään myös yksinkertaistettua simulaatiota, jonka toteutus on esitetty simulaation yhteydessä. Tässä pääluvussa esitetyt johtopäätökset vastaavat myös tutkimuksen pää-tutkimuskysymykseen, minkä lisäksi luvussa esitellään tutkimuksessa ilmenneitä jatkotutkimustarpeita ja tarkastellaan saatujen tulosten käytettävyyttä ja luotettavuutta.

Ajoneuvoteknisesti tutkimuksen keskiössä on käyttövoimavaihtoehtojen mahdollistama ajoneuvon liikkeeseen liittyvä suorituskyky, eikä tutkimuksessa tarkastella vaatimuksia, jotka kohdistuvat ajoneuvon muihin ominaisuuksiin, kuten vaikka suojaan. Tutkimuksen näkökulma on luonteeltaan tekninen: vertailussa ei keskitytä vaihtoehtojen ympäristöystävällisyyteen tai kustannuksiin, vaan pyritään selvittämään, onko tarkasteltua käyttövoimaa hyödyntävällä ajoneuvolla täytettävissä sotilaskäytön todellinen tarve. Käyttövoimavaihtoehtojen kustannustekijät ovat tutkimuksen tuottamia mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

Soveltuvuustarkastelussa käyttövoimia arvioidaan seuraavilla kriteereillä: käyttövoiman mahdollistama ajoneuvon toimintamatka, käyttövoiman vaatima tilantarve, ajoneuvon energiantäydennyksen järjestelyt sekä arktisen toimintaympäristön aiheuttamat rajoitteet. Soveltuvuustarkastelussa huomioidaan myös käyttövoiman energiainfrastruktuuriin edellyttämien muutosten suuruusluokka. Tutkimuksessa toimintamatkalla tarkoitetaan suurinta yhdensuuntaista ajomatkaa, joka ajoneuvolla voidaan ajaa täydellä polttoaine- tai energiatäytöllä.

Tutkimuksessa ajoneuvolla tarkoitetaan kaupallisesti saatavaa maastokelpoista henkilö- tai kaksoiskäyttöautoa, joka mahdollistaa kuljettajan lisäksi ainakin neljän matkustajan sekä ainakin näiden henkilökohtaisen materiaalin kuljettamisen. Esimerkki tämänlaisesta ajoneuvosta on Puolustusvoimien käyttämä seitsemännen mallisukupolven Toyota Hilux. Ajoneuvon tarkempi määritelmä on esitetty toisessa pääluvussa.

Käyttövoimalla tutkimuksessa tarkoitetaan ajoneuvon voimanlähteen sekä liikenne-energian varastoinnin ja jakelun muodostamaa kokonaisratkaisua. Esimerkiksi bensiiniä ja dieselöljyä tarkastellaan erillisinä käyttövoimina, mutta dieselhybridiä ja bensiinihybridiä tarkastellaan samassa yhteydessä, sillä molemmissa vaihtoehtoissa sähkömoottoriin liittyvä tekniikka on ratkaiseva muuttuja polttomoottorien soveltuvuuden tullessa käsitellyksi polttomoottorien soveltuvuustarkastelussa. Tutkimuksessa tarkastellut käyttövoimat on valikoitu liikenteen turvallisuusvirasto Trafín käyttämän jaottelun mukaan [15]. Jaottelua on yksinkertaistettu esimerkiksi lukemalla kaikki kaasukäyttöiset polttomoottoriajoneuvot yhdeksi ryhmäksi.

Arktisella sotilaskäytöllä tarkoitetaan ajoneuvon käyttöä Puolustusvoimien rauhan aikaisessa toiminnassa napapiirin pohjoispuolisessa toimintaympäristössä. Tutkimuksessa keskitytään lumipeitteiseen vuodenaikaan loka-helmikuussa, sillä kesäinen arktis ei varsinaisesti ajoneuvojen käyttövoiman kannalta eroa toimintaympäristönä esimerkiksi Keski-Euroopasta. Arktinen näkökulma on valittu tutkimukseen pohjoisen alueen sotilaallisen tärkeyden johdosta. Äärimmäiset sääolosuhteet asettavat lisäksi tekniikan käytölle haasteita, joita ei ilmene muilla käyttöalueilla.

Tutkimuksessa ei tarkastella ajoneuvojen käyttöä sodan aikana, sillä pääosa poikkeusolojen kokoonpanoon sijoitetuista ajoneuvoista on siviileiltä pakko-otettavaa kalustoa. Jääkäriprikaatin perustamien joukkojen maastohenkilöautoista noin 10 % on Puolustusvoimien ajoneuvoja [148]. Näin ollen Puolustusvoimien maastohenkilöautojen suorituskyky poikkeusoloissa ei ole ratkaisevaa. Nykymaailmassa siviiliväestön ajoneuvohankintojen ohjaamista Puolustusvoimien tarpeiden mukaan ei myöskään pidetä enää lainsäätäjän näkökulmasta tarkoituksenmukaisena [34]. Tutkija ei kyseenalaista Puolustusvoimien omistamien ajoneuvojen roolia mahdollisen kriisin alkuvaiheissa, mutta tarkasteltaessa koko kenttäarmeijan toimintaa on niiden merkitys vähäinen.

Tutkimuksessa oletetaan, että ajoneuvon rauhanaikainen käyttötarve ei muutu ratkaisevasti 2030-luvulle siirryttäessä. On todennäköistä, että Puolustusvoimien toiminnan painopisteiden mahdolliset muutokset vaikuttavat eri tyyppisten ajotehtävien esiintymistiheyteen. Tästä huolimatta myös tulevaisuudessa Puolustusvoimien maastohenkilöautoilla ajetaan samankaltaisia ajotehtäviä, kuin tutkimuksen kirjoitushetkelläkin.

1.5. Sotatekninen tulevaisuudentutkimus

”Te (Japanilaiset) ette tule koskaan kilpailemaan Yhdysvaltojen kanssa teknologian alalla.”

– John Foster Dulles, Yhdysvaltojen ulkoministeri (1950) [44, s. 150]

”Sähköautot eivät tule koskaan muodostamaan kolmasosaa maailman autokannasta.”

– Atsushi Horiba, Horiba-päästömittalaittevalmistajan toimitusjohtaja (2017) [19]

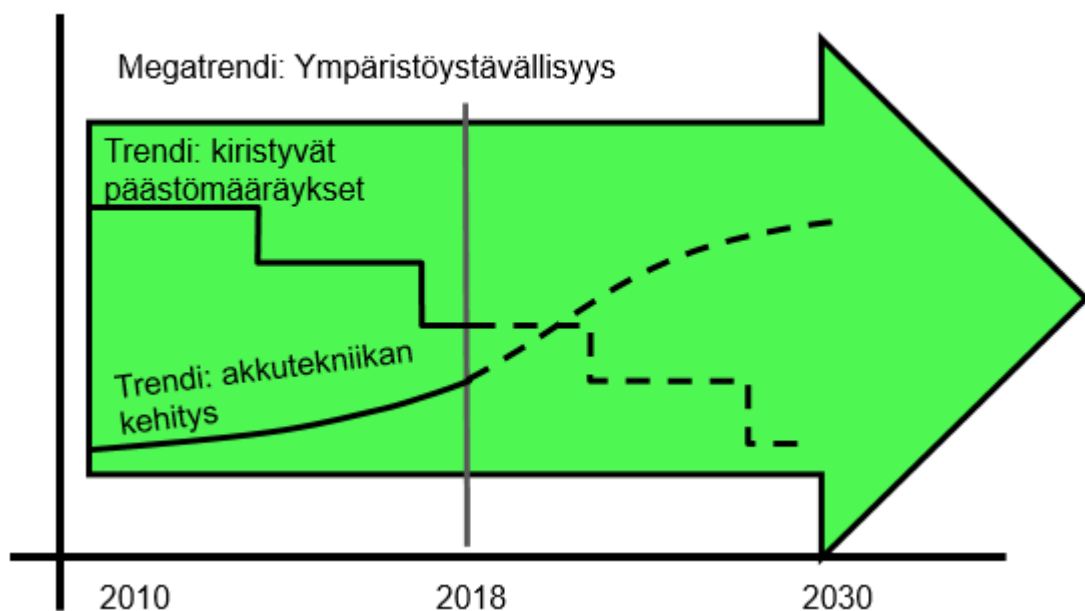
Tulevaisuudentutkimus tieteenalana on ilmeisen haasteellinen verrattuna aloihin, joissa tutkitaan jo olemassa olevia ilmiöitä. Vahvuutena muihin tutkimuskenttiin on kuitenkin tutkimustulosten oikeellisuuden todistettavuus: ajan myötä voidaan väistämättä todeta, osuttiinko ennusteessa oikeaan vai ei. Ennusteelle on tyypillistä ennusteen tarkkuuden käänteinen suhde sen toteutumistodennäköisyyteen. Muun muassa ulkoministeri Dullesin toteamus osoittaa, että ehdottomuuksia sisältävät ennusteet harvoin pitävät ajan saatossa. Toisaalta, vaikka suuri yleisluontoisuus helpottaisi ennusteen tulkinnallista toteutumista, on tällaisen ennusteen käyttöarvo matala. Optimaalinen ennusteen tarkkuus löytyy jostain ääripäiden väliltä.

Tutkimuksessa pyritään muodostamaan kuva 2030-luvun ajoneuvoteknologisesta ja energiapolitisesta tilanteesta trendianalyysin keinoin. Trendillä tarkoitetaan nykyhetkessä ilmenevää piirrettä, jolla on tunnistettavissa oleva kehityssuunta. Ilmiönä trendit ovat määriteltävissä laadullisesti, mutta trendien kehityksen tunnistamiseksi trendin ominaisuuksia on voitava määrittellä myös määrällisesti [133]. Sotateknisessä toimintaympäristössä määrällisesti mitattavissa oleva trendi voisi olla vaikkapa valonvahvistimen suorituskyvyn kehitys. Trendin kehityssuunta voi olla myös laskeva. Siviilipuolella esimerkiksi matkapuhelinten paino on noudattanut 1980-luvulta 2000-luvulle laskevaa trendiä.

Yksittäiset trendit voivat käsitellä melko vähäpätöisiäkin ilmiöitä. Merkittäviä, suurta joukkoa koskettavia, trendejä kutsutaan megatrendeiksi. Megatrendit ovat kehityksen suuria linjoja, joiden sisältä on jäljitettävissä useita pienempiä trendejä. [133] Sotateknisessä toimintaympäristössä esimerkki megatrendistä voisi olla vaikkapa sodankäynnin verkottuminen. Tämänlaisen megatrendin sisältämiä trendejä voisivat olla esimerkiksi taistelijan päätelaitteiden yleistyminen, tiedonsiirtonopeuksien kasvaminen ja johtamisviiveen vähentyminen.

Tulevaisuudentutkimuksella voidaan pyrkiä erilaisiin lopputuloksiin. Esimerkiksi luonteeltaan analyttistä tulevaisuudentutkimusta edustavassa ilmastonmuutoksen tutkimuksessa on muodostettu useita vaihtoehtoisia malleja. Tässä tutkimuksessa tulevaisuudentutkimuksella pyritään muodostamaan yksi tulevaisuuskäsitys. Tutkimuksen ote on luonteeltaan ennakoiva. Ennakoivalle tutkimukselle ominaista on tutkimuksen tavoite kehittää organisaation toimintaa. Ennakoiva tulevaisuudentutkimus soveltuu tilanteisiin, joissa aikajänne on lyhyt, eikä seurattavassa ilmiössä ole odotettavissa merkittäviä mullistuksia. [134]

Sen lisäksi, että yllättävän ja käänteentekevän tapahtuman ennustaminen itsessään on lähestulkoon mahdotonta, on se myös paradoksaalista. Mika Mannermaan mukaan luotettava ennuste, joka sisältää arvion lähitulevaisuudessa tapahtuvasta merkittävästä organisaation omaan toimintaan negatiivisesti vaikuttavasta muutoksesta, sisältää ristiriidan. Tämän kaltainen ennuste tekee itsensä toteutumattomaksi, sillä muutoksesta ennalta tiedon saava organisaatio kykenee varautumaan muutokseen, jolloin sitä ei tapahdu, tai sen vaikutukset jäävät minimaalisiksi. [94] Voidaan toisaalta myös spekuloida sillä, että kykenisikö Puolustusvoimien kokoinen organisaatio muuttamaan merkittävästi toimintaansa yksittäisen pro gradu -tutkimuksen tuottaman heikon signaalin perusteella?



Kuva 2. Trendianalyysin periaate

Tutkimuksessa suoritettujen trendianalyysien periaate on esitetty kuvassa 2. Trendianalyysiä ohjaavana megatrendinä tässä tutkimuksessa tarkastellaan liikenne-energiaan liittyvien ympäristövaikutusten huomioon otamista ja muiden tunnistettujen trendien kehitystä seurataan suhteessa siihen. Kuvassa esitellyt trendit akkutekniikan kehitys ja kiristyvät päästömääräykset ovat esimerkinomaisia, ja kuvaavat mahdollista kehityssuuntaa, jossa trendi voi muuttua. Trendien tulevan kehityksen arviointi perustuu kuluvan vuosikymmenen ajanjaksolla suoritettuun trendien monitorointiin [133].

Trendien monitoroinnissa hyödynnetään trendiekstrapolointia [74, s. 269]. Trendiekstrapoloinnin edellytys on kyky tunnistaa trendin kehityksen hahmo [74, s. 68]. Esimerkiksi akkujen energiatihedden kasvussa on havaittavissa sekä lineaarisen, että hyppäyksellisen hahmon piirteitä [109]. Ei ole syytä olettaa, etteikö sama ominaisuus päisi myös muihin tekniikan aloihin: yksittäistä teknologiaa kehitetään suhteellisen tasaisesti, kunnes keksitään parempi ratkaisu, jonka kehitys taas jatkuu.

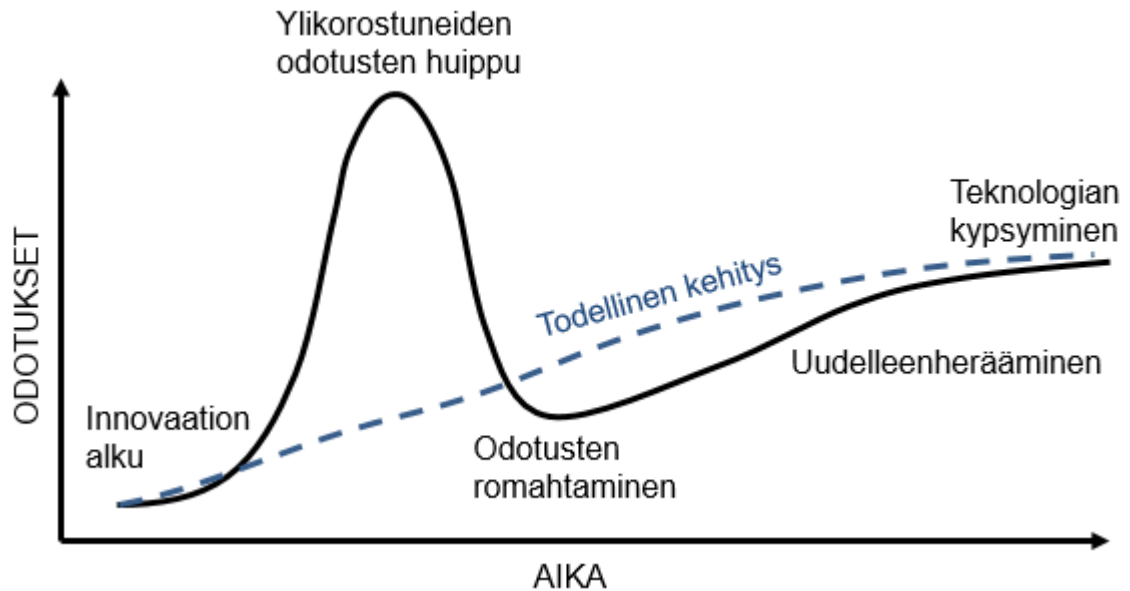
Mikäli alalla ei ole odotettavissa teknologiaaloikkia, voidaan muodostaa niin sanottu BAU-ennuste (Business As Usual). BAU-ennuste edellyttää, että tutkittavan aiheen nykyisten ominaisuuksien nähdään jatkavan historiatietoihin pohjautuvaa kehitystään, eikä alalla ole odotettavissa käänteentekevää mullistusta. Määrällisissä ilmiöissä BAU-ennusteen laatimisessa käytetään hyväksi tilastollisia menetelmiä. [134]

Aika on merkittävä muuttuja trendianalyysissä. Koska minkään ilmiön kehitys ei voi tapahtua ajattomassa tilassa, on tarkasteltava kehitys pystyttävä sitomaan aikaan. Aikaan sitominen mahdollistaa trendien kehityskaaren vaiheen jäljittämisen, sekä trendien seuraamisen eli monitoroinnin. Aikaan sitominen on oleellista siitäkin syystä, että trendien kehitys on harvoin lineaarista. [133] Siinä missä jonkin vakiintuneen teknisen ratkaisun suorituskyky voi kehittyä tasaisesti, noudattavat uusiin ilmiöihin keskittyvät trendit niin sanottua Amaran lakia.

Roy Amaran kehittämän toteamuksen mukaan

”Ihmiselle on tyypillistä yliarvioida teknisen kehityksen vaikutus lyhyellä aikavälillä, ja aliarvioida se pitkällä aikavälillä.” [132]

Amaran lakia havainnollistetaan tyypillisesti kuvassa 3 esitetyllä Gartner-tutkimusyhtiön laatimalla ”hype-kuvaajalla”, joka kuvaa ilmiöön kohdistuvan kiinnostuksen tasoa ajan funktiona [43]. Tulevan kehityksen arvioimiseksi olisi tärkeä tunnistaa nykytilan todellinen vaihe suhteessa kuvaajaan.



Kuva 3. Gartnerin hype-kuvaaja [43]

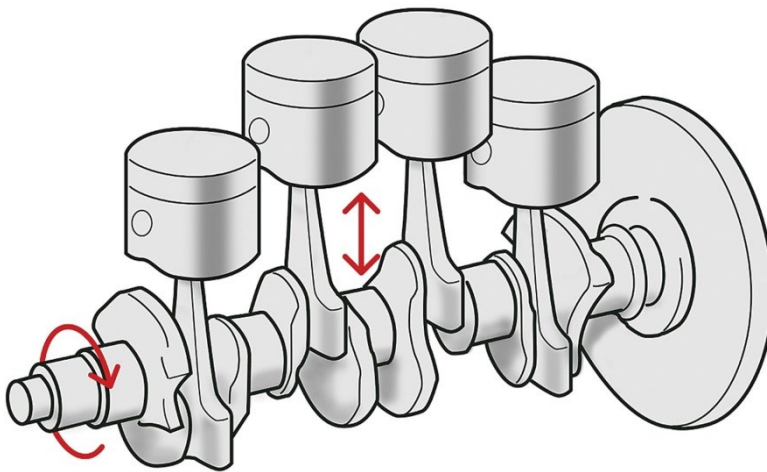
Hype-kuvaaja ei varsinaisesti kuvaa tekniikan kehittymistä, vaan siihen kohdistuvan kiinnostuksen kehittymistä. Suhteellisen tasaisesti kehittyväänkin tekniikkaan kohdistuva kiinnostus voi ”räjähtää” esimerkiksi tekniikan ohittaessa tietyn kypsyyden asteen. Vaikka kiihtyvän kiinnostuksen asettamat odotukset eivät lyhyellä aikavälillä realisoituisi, jatkuu tekniikan kehitys kuitenkin taustalla. Ilmiöön kohdistuvaa ”hypeä” voidaan mitata esimerkiksi aiheesta julkaistujen lehtiartikkelien määrällä. Hype-kuvaajan mukaan suuri näkyvyys ei välttämättä ole seurausta varsinaisen tekniikan todellisesta kehitysvaiheesta.

2. AUTOTEKNIIKAN JA LIIKENNE-ENERGIATEKNOLOGIAN TARKASTELU

2.1. Ajoneuvon moottorin tehtävä ja hyötysuhde

Ajoneuvon moottorin tehtävä on tuottaa ajoneuvon liikuttamiseen vaadittava voima. Esitellyistä teknologioista bensiini-, diesel-, kaasua- ja etanolikäyttöiset ajoneuvot perustuvat polttomoottoriin. Polttomoottorin tuottama voima ilmenee moottorin kampiakselin pyörimisliikkeenä, jolla polttomoottorissa käytetään sekä auton voimansiirtolinjaa että lisälaitteita.

Polttomoottorikäyttöisissä ajoneuvoissa voiman tuottaminen perustuu polttoaine-ilmaseoksen hallittuun polttamiseen moottorin palotiloissa. Joissain ajoneuvoissa käytetään Wankel-kiertömöntämoottoria, jossa mäntä on kolmiomainen ja palotila ovaalin muotoinen, mutta yleisin moottorityyppi on alla kuvattu mäntämoottori. Palotapahtumassa syntyvät kaasut saavat aikaan sylinterissä liikkuvaa mäntää alaspäin painavan voiman. Liikkuva mäntä kääntää kampiakselia, mikä muodostaa kampiakselille vääntömomentin. [105, s. 76–77] Kampiakselin ja sylinterien pääpiirteinen rakenne on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Kampiakseli, männät ja vauhtipyörä [39]

Kuvassa 4 esitetty rakenne on nelisylinterisen rivimoottorin kampikoneisto. Pienkoneissa ja kevyissä ajoneuvoissa voidaan käyttää 1–3-sylinterisiä moottoreita, mutta raskaampaan käyttöön tarkoitetuissa maastohenkilöautoissa moottorit ovat yleensä vähintään nelisylinterisiä. 6-, 8- ja 10-sylinterisissä moottoreissa käytetään tyypillisesti V-mallista sylinterien asettelua, mikä lyhentää moottorin kokonaispituutta ja näin ollen säästää tilaa ajoneuvon konetilasta [54, s. 362]. Eri moottoriteknologioita käsittelevissä alaluvuissa esitetään erityyppisten moottorien rakenteet ja toiminta tarkemmin.

Tyypillisessä maastohenkilöautossa moottori on ajoneuvon etuosassa pitkittäin, jolloin voimansiirtolinjastoon välitettävä voima ohjataan moottorin takapäältä ja lisälaitteita käyttävä etupäästä [105, s. 157]. Kampiakselilta otetulla voimalla hihnavälitteisesti käytettäviä lisälaitteita ovat esimerkiksi ajoneuvon sähköjärjestelmään energiaa tuottava laturi, ilmastoinnin kompressori sekä ohjaustehostimen pumppu. Lähiaikoina tosin on yleistynyt lisälaitteiden sähköistäminen [31, s. 510], ja aiemmin luetelluista laturi onkin ainoa lisälaitte, joka edelleen on ilmeisistä syistä poikkeuksetta moottorin tuottamalla voimalla käytetty.

Kampiakselin pyörintävoima käyttää polttomoottorissa lisälaitteiden lisäksi moottorin omaan toimintaan liittyviä laitteita, kuten öljypumppua, venttiilikoneistoa ja jäähdytysnesteen kiertästä vastaavaa vesipumppua [105, s. 81–96]. Kampiakselin pyörintävoiman lisäksi polttomoottorin voidaan katsoa tuottavan lämpöenergiaa polttoaineen palamisprosessin yhteydessä. Lämpimässä ilmastossa polttomoottorin tuottama lämpö on ongelmallista ja tällöin ajoneuvon jäähdytysjärjestelmän tehtävä on viilentää moottoria. Moottorin ylikuumentuminen voi aiheuttaa esimerkiksi moottorin voiteluaineiden palamista. [105, s. 94]

Kylmissä oloissa sen sijaan moottorin tuottamalla lämmöllä on oleellinen merkitys ajoneuvon käyttömukavuuden ja turvallisuuden kannalta. Esimerkiksi noin -20 celsiusasteen pakkasessa ajoneuvon ikkunat huurtuvat ja jäätyvät läpinäkymättömiksi ilman lämmitystä ajoneuvon matkustajien ulos hengittämän vesihöyryn johdosta jo muutamissa minuuteissa. Erittäin kylmissä keleissä lämmittämättömän ajoneuvon käyttäminen olisikin huomattavan epäkäytännöllistä. Perinteisissä ajoneuvojen rakenneratkaisuissa moottorin tuottama lämpö johdetaan ajoneuvon sisätiloihin moottorin jäähdytysjärjestelmän kautta [105, s. 94].

Moottorin jäähdytysjärjestelmän ajoneuvon sisätiloihin tuottaman lämmön määrä on riippuvainen moottorin hyötysuhteesta. Polttomoottorin mekaanisella hyötysuhteella kuvataan suhdetta, jolla polttomoottori kykenee muuttamaan polttoaineen kemiallisen energian mekaaniseksi energiaksi, eli tässä tapauksessa moottorin kampiakselin pyörintävoimaksi.

Hyötysuhde (η) ilmaistaan kaavalla

$$\eta = \frac{W_e}{W_B}$$

Missä W_B on koneeseen syötetyn polttonesteen sisältämä energia ja W_e on kampiakselilta saatava energia. [26, s. 14]

Esimerkiksi modernin dieselmoottorin hyötysuhde voi olla esimerkiksi noin 40 %, mikä tarkoittaa että 40 % polttoaineen energiasta saadaan muutettua kampiakselin pyörintävoimaksi ja 60 % kuluu erilaisiin häviöihin [54, s. 206]. Häviöt koostuvat muun muassa moottorin kierto-prosessissa itsessään ilmenevistä häviöistä, polttonesteen epätäydellisestä palamisesta sekä moottorin sisäisestä kitkasta ja apulaitteiden käytöstä muodostuvista häviöistä. Pääosa häviöistä ilmenee lämpönä. [26, s. 14] Ajoneuvon sisätilojen lämmittämiseen arktisissa olosuhteissa määrä ei välttämättä riitä, jolloin ajoneuvo on varustettava lisälämmittimellä [100].

Bensiini-, kaasu-, ja etanolikäyttöisten ajoneuvojen ottomoottorin hyötysuhde on kuitenkin niin alhainen, ettei ajoneuvon ajonaikainen lämmitys välttämättä vaadi lisälämmittimen käyttöä. Polttoainekäyttöisen lisälämmittimen käyttö parantaa myös muun tyyppisillä polttomoottoreilla varustettujen ajoneuvojen käytettävyyttä kylmissä oloissa esimerkiksi mahdollistamalla moottorin esilämmityksen tilanteessa, jossa sähkötoimisen moottorinlämmittimen käyttö ei ole mahdollista [170]. Sähkömoottorin hyötysuhde on niin korkea, ettei sähkömoottori tuota juurikaan hukkalämpöä. Näin ollen sähkömoottoria käyttävissä ajoneuvoissa sisätilojen lämmitys on järjestettävä sähkötoimisilla lämmitinlaitteilla [165].

Voimansiirron sekä moottorin sisäisten ja ulkoisten apulaitteiden lisäksi nykyaikaisessa maastohenkilöautossa moottorin tuottamaa voimaa ei käytetä muihin toimintoihin. Ennen 1990-lukua maahantuoduissa maastohenkilöautoissa oli tyypillisesti mahdollisuus voiman ulosottoon, mutta ominaisuus johtui Suomen verotuskäytännöstä, eikä ole enää yleinen [174].

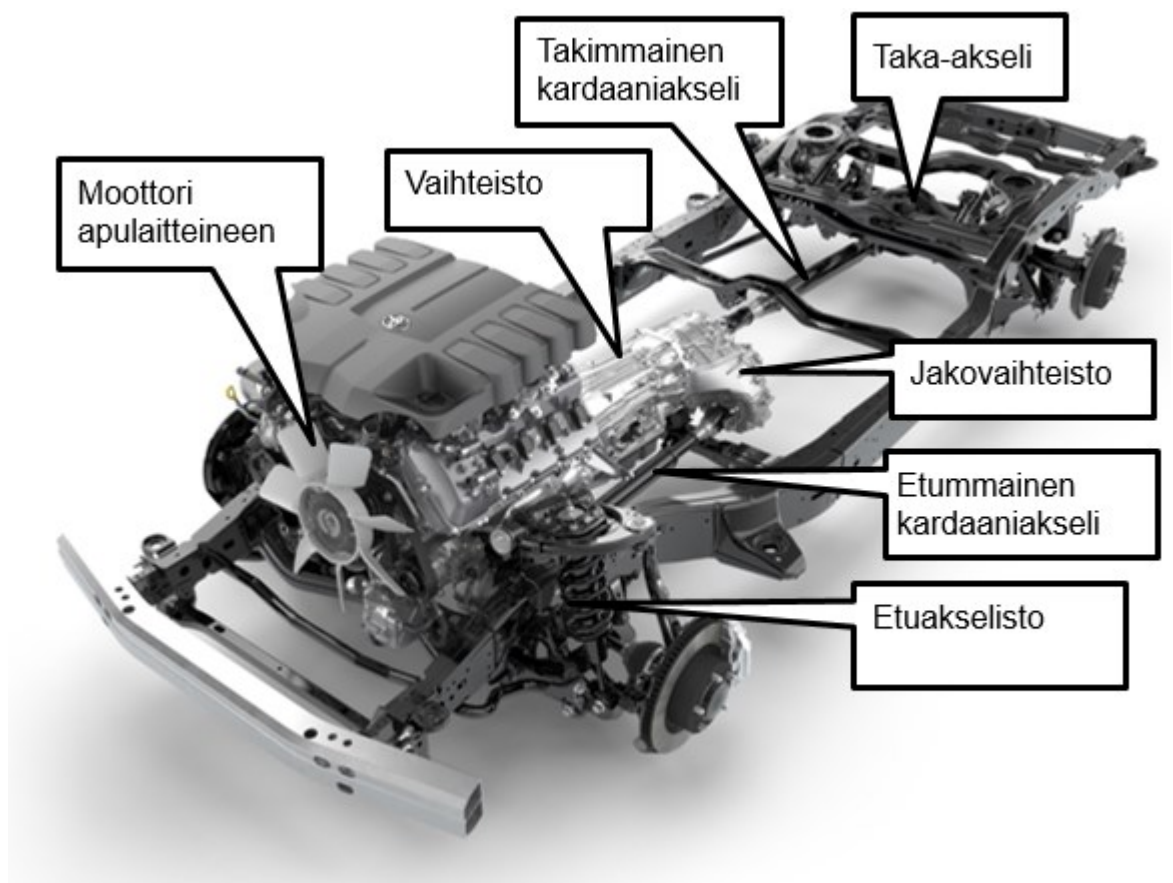
2.2. Maastohenkilöauton rakenne

Puolustusvoimien jaottelussa tutkimuksen määritelmän mukaisia maastohenkilöautoja ovat ajoneuvoluokat Maastohenkilöauto M₁G, Pakettiauto N₁G (alaluokka II) sekä Pakettiauto N₁G (kaksoiskäyttöauto). G-kirjain ajoneuvon luokkatunnuksessa tarkoittaa, että ajoneuvo on maastoauto. Kahteen jälkimmäiseen ajoneuvoluokkaan kuuluvat Puolustusvoimien ajoneuvot ovat 5-paikkaisia Toyota Hiluxeja, ensimmäiseen luokkaan kuuluvat muita maastohenkilöautoja. Ajoneuvon käyttäjän kannalta luokalla ei ole juuri merkitystä, sillä kaikki ajoneuvot mahdollistavat kuljettajan lisäksi neljän matkustajan ja kaikkien henkilökohtaisten varusteiden kuljettamisen.

Elokuuhun 2017 asti maastoajoneuvo määriteltiin kansallisessa lainsäädännössä, mutta uuden Ajoneuvolain myötä määrittely on jätetty Euroopan Komission asetukseen 678/2011. Komission asetuksessa G-luokitelluille ajoneuvoille kohdistuu vaatimuksia lähinnä ajoneuvojen vetotapaa ja mittoja kohtaan. Ote asetuksesta on esitetty liitteessä 1.

Maastohenkilöauton määritelmällinen maastoliikkuvuus saavutetaan tiekäyttöisistä ajoneuvoista poikkeavalla rakenteella. Maastohenkilöautossa voima välitetään kaikille pyörille, eli ajoneuvo on nelivetoinen. Jousitus ja akselisto ovat rakenteeltaan vahvempia ja jäykkien akselien käyttö on erillisjousitusta yleisempää. Voimansiirtoon liittymättömiä maastohenkilöauton erityispiirteitä ovat muun muassa suuri maavara ja jousituksen liikerata sekä karkeakuvioiset renkaat. [121]

Tutkimuksessa tarkastellussa ajoneuvosegmentissä käytetään erillisestä tikapuurungosta ja korista koostuvaa rakennetta. Tutkimuksessa sivutuissa crossover-luokan ajoneuvoissa käytetään pääsääntöisesti itsekantavaa korirakennetta. Korirakenteen tyypillä on vaikutusta etenkin sähkökäyttöisen ajoneuvon akkupaketin sijoitteluun. Luvuissa 2.6 ja 2.7 on esitetty alustaratkaisuja ajoneuvoista, joissa on pohjalevyyn perustuvaa itsekantava kori. Alla olevassa kuvassa 5 on esitetty tyypillinen tikapuurunkoon pohjautuva maastohenkilöauton alusta. Kuvassa on myös esitetty voimansiirron sijoittuminen ajoneuvon alustaan.



Kuva 5. 2016 Toyota Land Cruiser 200 -maastohenkilöauton alusta ja voimansiirto [116]

Polttomootorikäyttöisen maastohenkilöauton voimalinjassa on moottorin yhteydessä joko automaattinen vaihteisto tai kytkin ja käsikäyttöinen vaihteisto. Vaihteiston tehtävä on sovittaa moottorin kampiakselin pyörintänopeus halutulle ajoneuvon nopeusalueelle. [105, s. 163] Vaihteiston jälkeen maastohenkilöauton voimalinjassa on seuraavana jakovaihteisto. Jakovaihteiston tehtävä on välittää vaihteistolta tuleva voima auton etu- ja taka-akselistolle. Maastohenkilöautossa voima välitetään tyypillisesti kardaniakseleilla. Kardaniakselit yhdistyvät etu- ja taka-akselistojen tasauspyörästäihin. Esimerkkikuvan ajoneuvossa takatasauspyörästä on keskellä jäykkää taka-akselia ja etutasauspyörästä ajosuuntaan nähden monipistetuetun etuakseliston keskikohdan vasemmalla puolella.

Tasauspyörästä on akseliston osa, joka jakaa kardaniakselilta tulevan voiman oikean- ja vasemmanpuoleiselle pyörälle. Tasauspyörästä voi olla täysin avoin, mutta yleensä maastohenkilöauton tasauspyörästäissä on joko kytkettävissä oleva mekaaninen lukitus, jolla vääntöjakauma saadaan tasan 50–50 molemmille pyörille, tai rajoitetusti luistava lukitus, joka voi olla toteutettu esimerkiksi kitkalevyillä tai sähköhydraulisesti. Etu- ja taka-akselistojen lisäksi jakovaihteistossa voi olla kytkettävällä lukolla varustettu tasauspyörästä, tai vaihtoehtoisesti jakovaihteistosta voidaan kytkeä etuveto kokonaan pois. [105, s. 187–189]

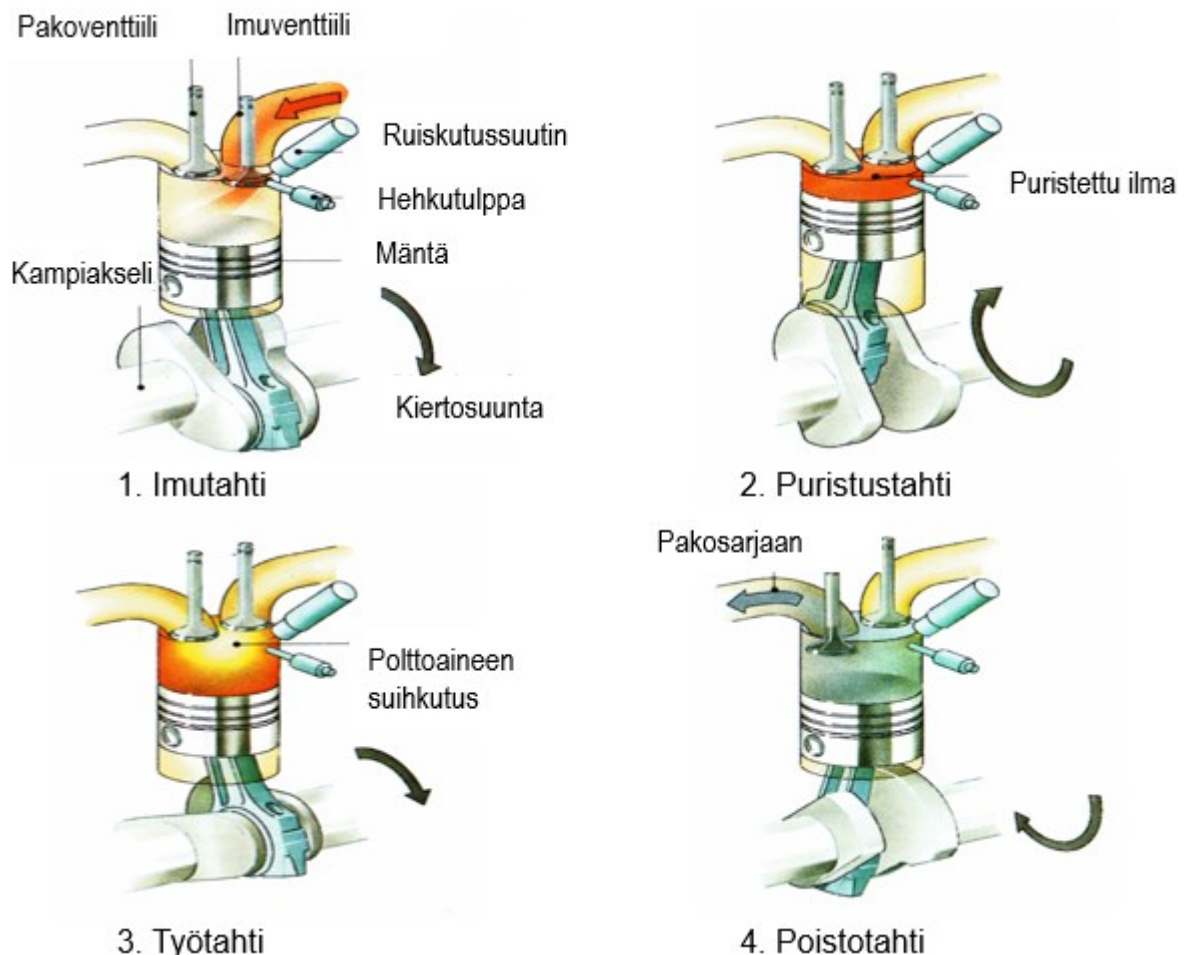
Jakovaihteistossa on tyypillisesti lisäksi erikseen kytkettävä maastovälitys. Maastovälityksen avulla ajoneuvon nopeutta voidaan hidastaa jopa alle kävelynopeuden. Tällä nostetaan pyörille välitettävää vääntömomenttia mahdollistaen jyrkkien nousujen ajamisen rasittamatta moottoria, manuaalivaihteisen auton kytkintä tai automaattivaihteisen auton momentinmuunninta taikka sitä vastaavaa järjestelmää. Hidas ajonopeus mahdollistaa myös tarkemman ajon epätasaisessa maastossa ja jättää ajoneuvon kuljettajalle enemmän reagointiaikaa. Vanhemmissa maastohenkilöautoissa jakovaihteiston toimintaa ohjataan erillisellä vaihdekepillä, mutta nykyisin kaupallisesti saatavilla olevissa maastohenkilöautoissa jakovaihteistoa ohjataan yleensä sähköisesti.

Sähkömootorikäyttöisen ajoneuvon voimansiirto poikkeaa rakenteeltaan polttomootorikäyttöisen ajoneuvon voimansiirrosta, sillä sähkömootorin edullinen kierroslukuarvo on laaja. Näin ollen sähkömootorin yhteydessä voidaan käyttää vain muutaman vaihteen käsittävää vaihteistoa, tai jopa kiinteää vaihdetta. [31, s. 110] Lisäksi sähkömootorin pieni koko mahdollistaa moottorin sijoittamisen lähemmäksi ajoneuvon pyöriä. Sähköhybridissä sähkömoottori voi olla joko akselien, vaihteiston tai polttomootorin yhteydessä. Sähköauton ja sähköhybridin voimansiirron ominaispiirteitä käsitellään alaluvuissa 2.6 ja 2.7.

Ylempänä esitellyn maastohenkilöauton voimansiirtojärjestelmän lisäksi ajoneuvojen toimintaan liittyy muita maasto-ominaisuuksia varten kehitettyjä osajärjestelmiä, kuten jousituksen ohjausjärjestelmiä tai rengaspaineidenvalvontajärjestelmiä. Ne eivät kuitenkaan liity ajoneuvon käyttövoimaan, joten tässä tutkimuksessa ei käsitellä niitä.

2.3. Dieselmoottorin rakenne ja toiminta

Maastohenkilöautoissa käytetyt dieselmoottorit ovat nelitahtisia. Nelitahtimoottorissa yksittäisen sylinterin työkierto koostuu imutahdistista, puristustahdistista, työtahdistista ja poistotahdistista. Polttomoottorin toiminnan aikautusta kuvataan kulmana suhteessa yläkuolokohtaan ja alakuolokohtaan, yksikkönä käytetään astetta. [26, s. 9] Yläkuolokohdalla tarkoitetaan männän liikkeen korkeinta kohtaa ja alakuolokohdalla matalinta kohtaa. Dieselmoottorin tarkempi toiminta on esitetty kuvassa 6.



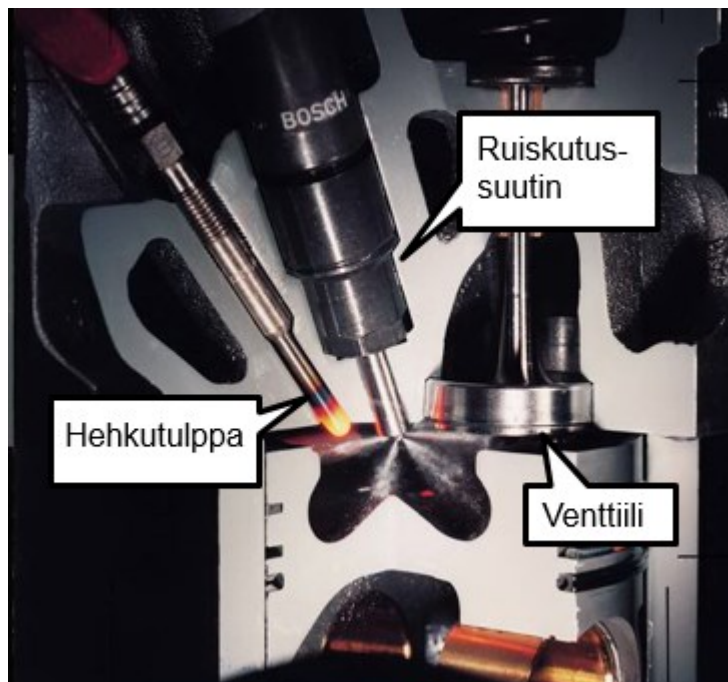
Kuva 6. Dieselmoottorin toiminta [1]

Yksittäisen sylinterin työkierto käynnistyy imutahdista. Imutahdin alkaessa imupuolen venttiili avautuu, jolloin sylinteriin pääsee virtaamaan ilmaa. Männän käytyä sylinterin alakuolokohdassa se alkaa jälleen liikkua kohti sylinterin yläosaa, mikä käynnistää puristustahdin. Puristustahdissa sylinterissä oleva ilmamassa puristuu kokoon ja kaasujen yleisen tilayhtälön mukaisesti lämpenee paineen noustessa. Puristustahdin lopulla ilmamassan lämpötila on noin 900 celsiusastetta. [26]

Muutamia asteita ennen yläkuolokohtaa ruiskutussuutin ruiskuttaa sylinteriin polttoainetta hienona sumuna, kuitenkin fysikaalisesti tarkasteltuna nestemäisenä [26, s. 9]. Dieselpolttoaineen keskimääräinen syttymislämpötila on noin 350 °C, joten polttoainesumu syttyy sylinterissä kuuman ilman sytyttämänä [26, s. 26]. Polttoaineen syttyminen sylinterissä käynnistää työtahdin. Työtahdissa polttoaineen syttymisen yhteydessä syntyvät palokaasut työntävät voimalla mäntää kohti kampiakselia. Tämä voima aikaansaa kampiakseliin vääntömomentin.

Männän käydessä jälleen alakuolokohdassa käynnistyy yksittäisen sylinterin työkierron viimeinen tahti, poistotahti. Poistotahdissa pakopuolen venttiili tai venttiilit avautuvat ja palotapahtumassa syntyneet pakokaasut poistuvat sylinteristä. Poistotahdin jälkeen sylinteri on jälleen valmis uuteen imutahtiin. [26, s. 9] Yhden työkierron aikana nelitahtimoottorin kampiakseli pyörii kaksi kierrosta, mutta venttiilien toimintaa ohjaava nokka-akseli tai -akselit pyörii yhden kierroksen. Näin ollen kampiakselin ja nokka-akselin välityssuhde on 2:1 [26, s. 10].

Koska dieselmoottorin sytytys perustuu sylinterissä ilman kokoonpuristumisen seurauksena syntyvään lämpöön, esiintyisi puhtaasti esimerkkikuvan mukaisessa dieselmoottorissa käynnistymisongelmia etenkin kylmässä säässä. Tämä johtuu siitä, että ilmaan sylinterissä muodostunut lämpö johtuu nopeasti kylmään sylinteriin, sekä siitä, että kylmässä koneessa männän sylinteriin tiivistämisestä vastaavat männänrenkaat eivät ole lämpölaajenneet vielä riittävästi tiiviyden saavuttamiseksi, jolloin sylinterissä tapahtuu paineen laskua aiheuttavaa ohipuhallusta. Näin sylinterissä olevan ilman lämpö ei välttämättä riitä sytyttämään polttoainesumua riittävästi. [26, s. 15] Kylmäkäynnistysongelmien ehkäisemiseksi dieselmoottorissa käytetään hehkutusjärjestelmää. Hehkutusjärjestelmän tärkein osa on sylinterin palotilassa ruiskutussuuttimen vieressä oleva hehkutulppa, joka lämmitetään ennen käynnistystä sähköllä jopa 1000-asteiseksi. Hehkutulppa lämmittää palotilassa olevan ilman polttoaineen syttymisen kannalta riittävän kuumaksi. [26, s. 110] Hehkutulppa ja suoraruiskutusdieselin palotila on esitetty seuraavalla sivulla kuvassa 7.



Kuva 7. Dieselmoottorin palotila, suutin ja hehkutulppa [38]

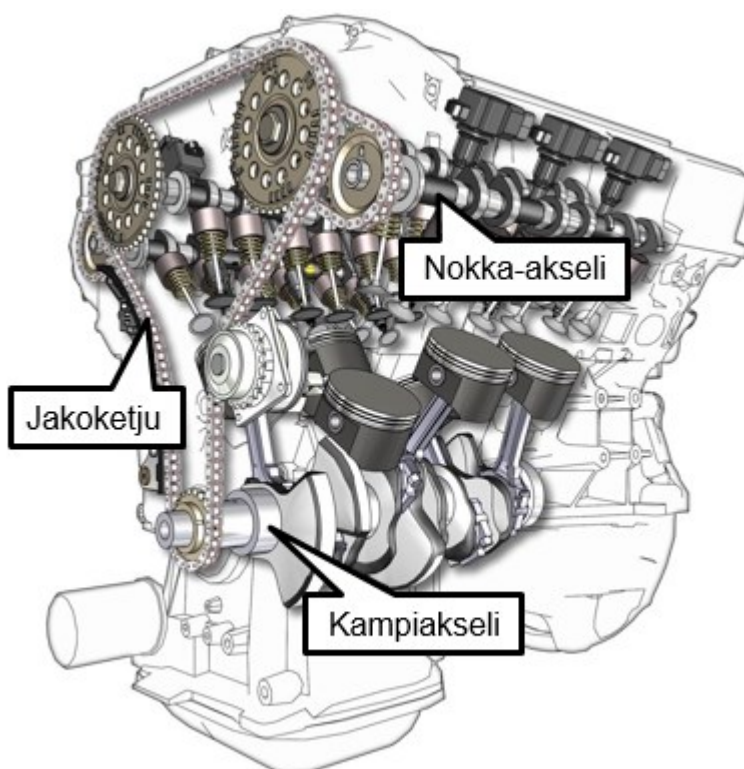
Nykyaikaisten maastohenkilöautojen dieselmoottorien toiminta perustuu yllä esitettyyn perusratkaisuun. Eroavaisuuksia moottorien toiminnassa sen sijaan esiintyy esimerkiksi pakokaasujen käsittelyssä, polttoaineen ruiskutuksessa ja venttiilien toiminnan ohjauksessa. Osa ominaispiirteistä on suunniteltu moottorin suorituskyvyn parantamiseksi, osa ajoneuvojen päästöjä rajoittavan lainsäädännön huomioimiseksi.

Nykyaikaisessa moottorissa pakokaasuja käsitellään päästöjen pienentämiseksi erilaisilla suodattimilla, mutta myös kierrättämällä niitä osin imupuolelle. Tämän tarkoituksena on polttaa palotapahtumassa vain osin palaneita yhdisteitä. [54, s. 227–228] Pakoputkistoon sijoitetussa SCR-katalysaattorissa (Selective Catalytic Reduction) taas muutetaan ammoniakkipitoisen urealiuoksen avulla ihmiselle haitallisia typen oksideita puhtaaksi typeksi [173].

Eräänlaisena pakokaasun käsittelynä voidaan pitää myös pakokaasuahdinta, jonka tarkoituksena on pakokaasun liike-energian avulla saada moottorin imupuolelle suurempi paine. Suuremman ahtopaineen ansiosta moottoriin saadaan imutahdin aikana enemmän ilmaa, jolloin työtahdin yhteydessä moottorissa voidaan polttaa myös suurempi polttoainemäärä. [26, s. 35] Pakokaasuahdin on yleinen lisälaitte nykyisissä dieselmoottoreissa, sillä se on verrattain helppo keino lisätä moottorin tehoa ja näin ollen myös pienentää polttoainekulutusta laajentamalla moottorin tehokasta kierrosnopeusalueita.

Dieselmootorin polttoaineen ruiskutukseen on olemassa muutamia erilaisia toteutustapoja. Polttoaineen ruiskutukseen vaadittava jopa 2200 baarin [26, s. 49] paine voidaan kehittää erillisessä polttoainepumpussa tai suuttimessa itsessään. Suutinta, jossa paine muodostetaan suuttimessa itsessään, kutsutaan pumppusuuttimeksi. Pumppusuutinmoottorissa ei ole erillistä syöttöpumppua. Vanhemmissa syöttöpumpullisissa dieselmootoreissa oli yleistä, että syöttöpumppu oli tahdistettu kampiakselin kanssa ja että ruiskutusajankohdat määritettiin mekaanis-hydraulisesti syöttöpumpussa itsessään. Nykyään yleisin järjestelmä on niin sanottu common rail -ruiskutusjärjestelmä, jossa polttoainepumpussa tuotetaan ruiskutusjärjestelmän yhteisputkistoon vaadittava paine, ja suuttimien aukioloa ohjataan ohjelmistopohjaisesti. [26]

Vanhemmissa moottoreissa venttiilien toimintaa ohjattiin työntötankovälitteisesti kampiakselin tuntumassa olevalta nokka-akselilta, mutta nykyisin käytetään pääsääntöisesti kannen yläpuolista nokka-akselia. Tällöin käytetään nokka-akselien lukumäärästä riippuen joko termiä SOHC (Single Overhead Camshaft) tai DOHC (Double Overhead Camshaft). Eroavaisuuksia on lähinnä siinä, välitetäänkö kampiakselin voima nokka-akseleille hihnalla vai ketjulla. [105, s. 83–86] Esimerkki kannen yläpuolisten nokka-akselien rakenteesta on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. V6-moottorin jakopään rakenne [47]

Puhtaan dieselöljyn lisäksi dieselmoottorin polttoaineena voidaan käyttää lisääineistettua etanolia (D95), mikäli moottoriin on tehty muutoksia. D95-polttoaineen lisääineistus on kallista ja käytettäessä sitä polttoaineen kulutus nousee. D95-polttoainetta käyttämään pystyviä moottoreita on asennettu lähinnä linja-autoihin ja muuhun raskaaseen kuljetuskalustoon. [110, s. 28–29]

Etanolilla seostetun dieselin lisäksi dieselmoottorissa voidaan käyttää kasviöljyistä, eläinrasvoista tai mikrobiöljyistä valmistettua biodieseliä. Biodiesel on moottoriteknisiltä ominaisuuksiltaan suhteellisen lähellä fossiilista dieseliä, mutta kokonaispäästöt ovat pienemmät. Biodieseliä voidaan pääsääntöisesti käyttää dieselmoottorilla varustetuissa autoissa ilman muutoksia moottoriin. [86, s. 170]

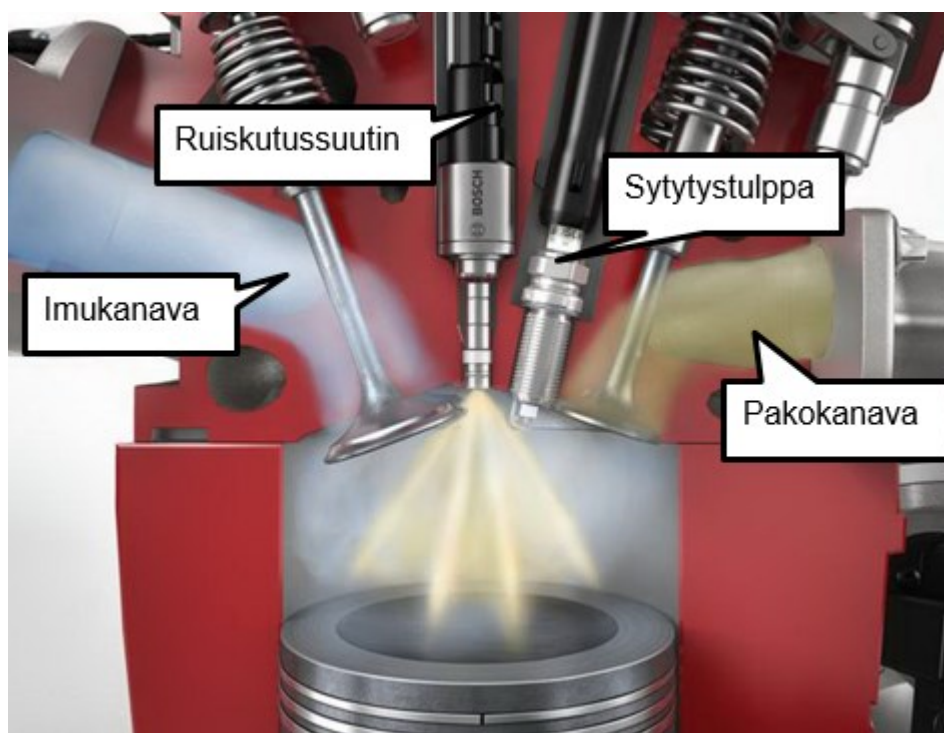
Tutkimuksessa tarkastellun ajoneuvosegmentin tyypillinen nykyaikainen edustaja on esimerkiksi vuosimallin 2018 Toyota Hilux, johon on saatavilla 2,8-litrainen 1GD-FTV-moottori. 1GD-FTW on nelisylinterinen, muuttuvageometrisella turboahtimella ja polttoaineen yhteispaineruiskutuksella varustettu dieselmoottori. 1GD-FTW kehittää 3 400 kierroksessa huipputehon 130 kW, ja 1 600–2 400 kierroksessa huippuväännön 450 Nm. Valmistajan ilmoituksen mukaan moottori on toimintakykyinen aina -40°C lämpötiloihin ja 4 500 metrin korkeuteen asti. [155] Kyseisellä moottorilla omamassaltaan noin 2 100 kg painava Hilux kuluttaa sekalaisessa ajossa noin 8,5 litraa polttoainetta, joten laskennallisesti täydellä 80 litran polttoainetäytöllä ajoneuvolla voidaan ajaa noin 940 kilometriä.

2.4. Ottomoottorin rakenne ja toiminta

Bensiiniä tai muita kipinäsytytteisiä polttoaineita käyttövoimanaan hyödyntävää nelitahtista moottoria kutsutaan kehittäjänsä Nicolaus Otton mukaan ottomoottoriksi [86, s. 79]. Nykyisissä maastohenkilöautoissa käytetään poikkeuksetta nelitahtisia moottoreita, kaksitahtimoottorien ollessa lähinnä pienkoneiden, pienien ajoneuvojen sekä takavuosien itäsaksalaisten henkilöautojen voimanlähteinä. Nykyaikaisen ottomoottorin toimintaperiaate on hyvin lähellä edellisessä kappaleessa esitellyn nelitahtisen dieselmoottorin toimintaperiaatetta, suurimman toimintaan liittyvän eron ollessa moottorin imutahdissa ja työtahdissa.

Ottomoottorin imutahdissa tuodaan sylinteriin ilman lisäksi myös polttoaine. Ennen 1990-lukua bensiinikäyttöisissä ajoneuvoissa oli yleistä käyttää polttoaineilmaseoksen muodostamiseen erillistä kaasutinta, mutta nykyautoissa käytetään poikkeuksetta bensiinin suorasuihkutusta tai -ruiskutusta. Suorasuihkutuksessa polttoaine suihkutetaan suihkutussuuttimella imusarjaan. Suoraruiskutuksen toimintaperiaate taas on suhteellisen samanlainen kuin dieselmoottorissa tapahtuvassa polttoaineen ruiskutuksessa. [105, s. 114–115] Puristustahti on ottomoottorissa polttoaineen syttymistä lukuun ottamatta samanlainen kuin dieselmoottorissa, mutta ottomoottorissa polttoaine tuodaan sylinteriin pääsääntöisesti imutahdin aikana. Ottomoottoreissa polttoaine tuodaan sylinteriin kaasumuodossa, oli kyse sitten kaasutin- tai suoraruiskumoottorista. [31, s. 68]

Ottomoottorin työtahdin käynnistymisen edellyttävä polttoaineen syttyminen aikaansaadaan sylinterin palotilassa olevan sytytystulpan tuottamalla kipinällä. Ottomoottorissa käytettävissä polttoaineissa puristussyttyminen ei ole polttoaineen normaalia toimintaa, eikä toivottavaa, vaikka väärin säädetyissä moottoreissa sitä saattaa esiintyä. Ilmiötä kutsutaan nakutukseksi. [31, s. 80] Työtahti ei käynnistymisensä jälkeen eroa muutoin dieselmoottorin työtahdistä. Ottomoottorissa ei ole samanlaisia sisäsyntyisiä kylmäkäynnistykseen liittyviä ongelmia kuin dieselmoottorissa, joten siinä ei tarvita erillisiä hehkutulppia. Bensiinimoottorin palotila, ruiskutussuutin ja sytytystulppa on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Suoraruiskutteisen bensiinimoottorin palotila [41]

Aikaisemmin ottomoottorin sytytysten tahdistus toteutettiin kampiakseliin tahdistetulla sähkömekaanisella virranjakajalla, mutta samoin kuin dieselmoottorissa, nykyaikaisessa ottomoottorissa polttoaineen sytytys on ohjelmistollisesti ohjattua [105, s. 126–127]. Ottomoottorissa ei synny samanlaisia haitallisia pienhiukkaspäästöjä kuin dieselmoottorissa, joten siinä ei myöskään vaadita yhtä kattavaa pakokaasujen jälkikäsittelyä [26, s. 120]. Aiemmassa luvussa esitelty pakokaasuahdin on tyypillinen myös ottomoottorin yhteydessä.

Bensiinin oktaaniluvulla kuvataan polttoaineen puristuskestävyyttä prosentteina verrattuna n-heptaaniin ja iso-oktaaniin. Puristuskestävyydellä tarkoitetaan polttoaineen kykyä kestää puristusta ilman itsesyttymistä, eli aiemmin käsiteltyä nakutusta. [112] Yleisin Suomessa tällä hetkellä käytössä olevista ottomoottorin polttoaineista on 95-oktaaninen moottoribensiini (95E10), joka sisältää 10 tilavuusprosenttia etanolia. Tämän lisäksi on saatavilla 98-oktaanista bensiiniä, jossa etanolia on maksimissaan 5 tilavuusprosenttia. [27]

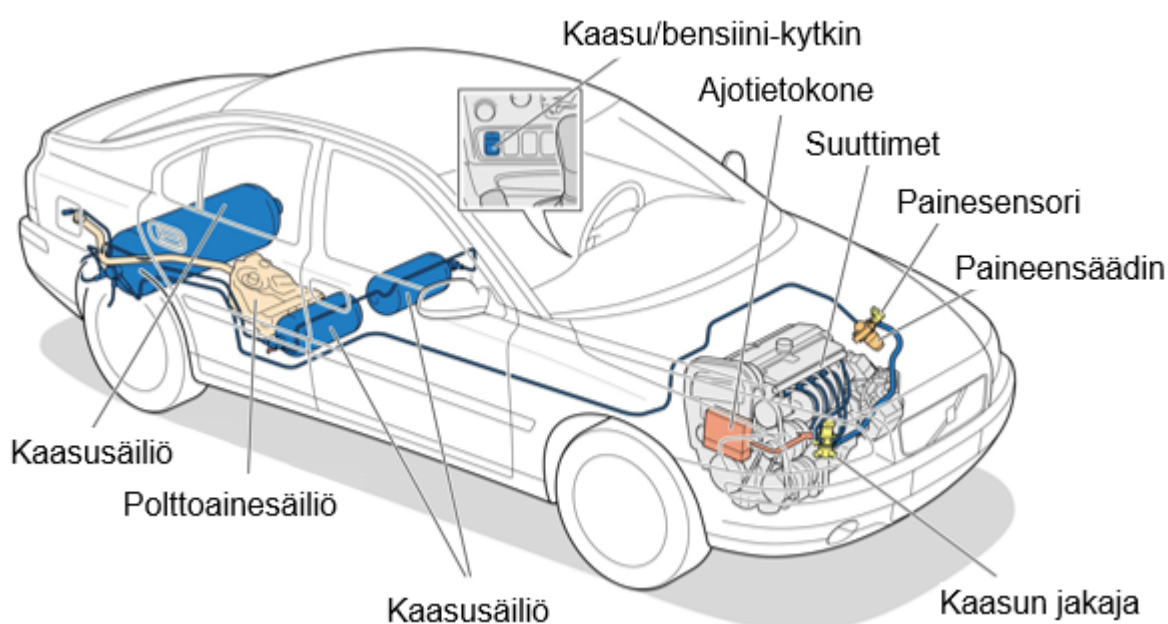
85 tilavuusprosenttia etanolia sisältävästä bensiinipohjaisesta polttoaineesta käytetään kauppanimeä E85. Pääosa bensiinikäyttöisistä ajoneuvoista on mahdollista muuttaa käyttämään E85-polttoainetta. Koska etanoli poikkeaa ominaisuuksiltaan hieman bensiinistä, muun muassa korkeamman puristuskestävyyden osalta, joudutaan auton moottorinohjaukseen tekemään muutoksia. Samoin tulee varmistua siitä, polttoainelinjastossa käytetyt letkut ja tiivisteet kestävät etanolia. [86, s. 318–320] Nykyaikaisen ajoneuvon elektroninen ohjausjärjestelmä kykenee tunnistamaan ajoneuvon polttoainesäiliössä olevan polttoaineen ja säätämään moottorinohjausta käytössä olevan polttoaineen mukaan. Tämänlaista tavallista bensiiniä ja bensiinietanoliseosta polttoaineenaan käyttämään pystyvää ajoneuvoa kutsutaan flexifuel-autoksi. Flexifuel-auton moottorissa ei ole varsinaisesti muita mekaanisia eroja bensiinimoottoriin nähden. [86, s. 206–207]

Tutkimuksessa tarkastellun ajoneuvosegmentin tyypillinen nykyaikainen edustaja on esimerkiksi vuosimallin 2018 Toyota Hilux, johon on saatavilla 4,0-litrainen 1GR-FE-moottori. 1GR-FE on vapaastihengittävä muuttuvalla imupuolen venttiilinajoituksella varustettu V6-bensiinimoottori. 1GR-FE kehittää huipputehon 175 kW 5 200 kierroksessa, ja huippuväännön 376 Nm 3 800 kierroksessa. [93] Ajoneuvon keskikulutus 1GR-FE-moottorilla käytettäessä bensiiniä on noin 11,8 l/100 km, joten täydellä 80 litran polttoainetäytöllä ajoneuvolla voidaan ajaa noin 670 kilometriä. Aiheesta tehtyjen tutkimusten mukaan E85-polttoainetta käytettäessä ajoneuvon kulutus kasvaa noin 28 % etanolin pienemmästä energiasisällöstä johtuen. [51 s. 44] Näin ollen Hiluxilla voitaisiin ajaa E85-polttoaineella täydellä polttoainetäytöllä noin 520 kilometriä.

2.5. Kaasu käyttövoimana

Ottomoottorilla varustettu ajoneuvo on suhteellisen helposti muutettavissa käyttämään polttoaineenaan kaasua. Kaasukäyttöiseksi muuntaminen vaatii muun muassa paineensäätimen, kaasusäiliön, kaasuinjektorien ja ohjausyksikön asentamisen. Muutettaessa bensiinikäyttöinen ajoneuvo kaasukäyttöiseksi jätetään yleensä paikalleen myös bensiinin käyttämiseen tarvittava laitteisto (polttoainesäiliö, polttoainelinjat) paikoilleen, jolloin käyttövoima voidaan valita bensiinin ja kaasun väliltä, jopa ajoneuvon liikkua. [84]

Ajoneuvoja, joissa pystytään käyttämään käyttövoimana sekä kaasua että bensiiniä, kutsutaan bifuel-ajoneuvoiksi. Useilla valmistajilla on myynnissä bifuel-käyttöiseksi suunniteltuja ajoneuvoja. Kaasukäytöllä saavutetaan korkeita toimintasäteitä kaasun suhteellisen hyvästä energiatiheydestä johtuen, mutta kaasun heikon kylmäkäynnistyvyyden ja harvan jakeluverkon takia bensiinijärjestelmästä kaasukäyttöisessä ajoneuvossa ei voida yleiskäyttöisessä ajoneuvossa luopua. [86] Esimerkki bifuel-käyttöiseksi rakennetusta henkilöautosta ja sen polttoainejärjestelmästä on esitetty kuvassa 10. Maastohenkilöautossa järjestelmä voitaisiin toteuttaa pääpiirteittäin samalla tavalla.



Kuva 10. Bifuel-järjestelmä Volvo S60 -henkilöautossa [46]

Vaikka kaasukäyttöisessä moottorissa voitaisiin käyttää lähestulkoon mitä palavaa kaasua tahansa, käytetään Suomessa tyypillisesti metaania. Käytettävä kaasu jaotellaan alkuperänsä mukaan maakaasuun ja biokaasuun. Maakaasu on fossiilinen polttoaine, jonka syntymisprosessi on samankaltainen kuin raakaöljyllä. Biokaasu on ihmisen valmistamaa kaasua, jota tuotetaan esimerkiksi kaatopaikoilta. [83] Ero on terminologinen, eikä loppukäyttäjän kannalta ole merkitystä kumpaa kaasua käytetään.

Myös dieselmoottorilla varustetuissa ajoneuvoissa voidaan käyttää toissijaisena polttoaineena kaasua, jolloin puhutaan dualfuel-järjestelmästä. Dualfuel-moottorin toiminta eroaa hieman tavallisesta dieselmoottorista. Kaasu johdetaan sylinteriin sylinterin imutahdin aikana, mutta koska kaasu ei syty puristussytytteisesti, ruiskutetaan sylinteriin hetki ennen yläkuoloa kohti pieni määrä dieselpolttoainetta, mikä sytyttää ilmasta, dieselsumusta ja kaasusta koostuvan seoksen. Dualfuel-järjestelmät eivät ole kovinkaan yleisiä ja nykyaikaisissa ratkaisuissa niitä on valmistettu lähinnä raskaan liikenteen voimanlähteiksi. Dualfuel-järjestelmässä käytetään kaasuna tyypillisesti metaania. [86, s. 325–326]

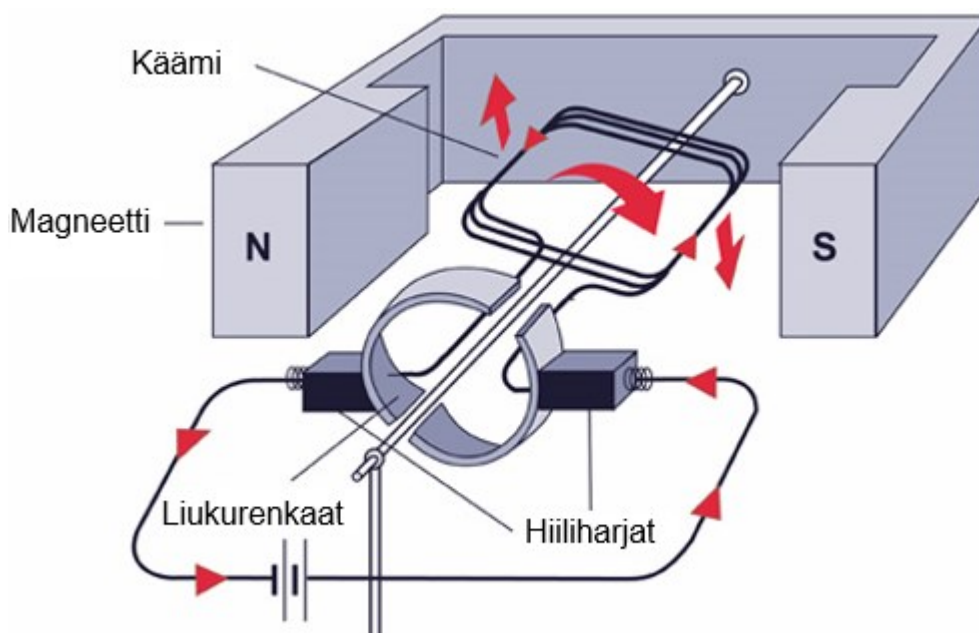
Suomessa ei tällä hetkellä myydä tutkimuksessa tarkasteltuun ajoneuvosegmenttiin kuuluvia ajoneuvoja valmiiksi kaasukäyttöisinä, mutta esimerkiksi aiemmassa kappaleessa tarkasteltu Toyota Hilux 4,0-litraisella bensiinikäyttöisellä 1GR-FE-moottorilla olisi muutettavissa kaasukäyttöiseksi. Australialainen maastoautoharrastajien aikakauslehti 4x4Australia on verrannut elokuussa 2014 4,0-litraisella kaasukäyttöiseksi muutetulla V6-bensiinimoottorilla varustettua Hiluxia muuntamattomaan bensiinimoottoriseen, sekä dieselmoottorilla varustettuun Hiluxiin. Lehden suuntaa-antavien testien mukaan kaasua kului litroissa mitattuna noin 36 % enemmän kuin bensiiniä [149].

Artikkelista ei käynyt ilmi ajoneuvoon asennetun kaasusäiliön kokoa, mutta esimerkiksi suomalainen Terragas tarjoaa kevytkuorma-autoihin kahta 90 litran kaasusäiliötä [157]. Koska kaasukäytön rajoitteiden johdosta bifuel-käytössä ajoneuvon alkuperäinen polttoainesäiliö jätetään paikoilleen, voidaan arvioida, että Hiluxiin olisi asennettavissa yksi 90 litran kaasusäiliö ilman kuormakapasiteetin merkittävää heikennystä. Tällä lisäsäiliöllä voitaisiin ajoneuvon toimintamatkaa pidentää noin 560 kilometriä.

2.6. Sähkökäyttöisen ajoneuvon rakenne ja toiminta

Sähkömoottori eroaa rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan ratkaisevasti aiemmin esitellyistä polttomoottoreista. Sähkömoottorissa on vain vähän mekaanisesti toisiinsa välittyviä osia, mikä tuo polttomoottoriin verrattuna muutamia ratkaisevia etuja: huomattavasti korkeampi hyötysuhde verrattuna polttomoottoreihin (jopa 90 % hyötysuhde) sekä alhaisempi huoltotarve. Sähkömoottorin edullinen kierroslukualue on laaja, mikä helpottaa ajoneuvon voimansiirron suunnittelua. [86, s. 123–133]

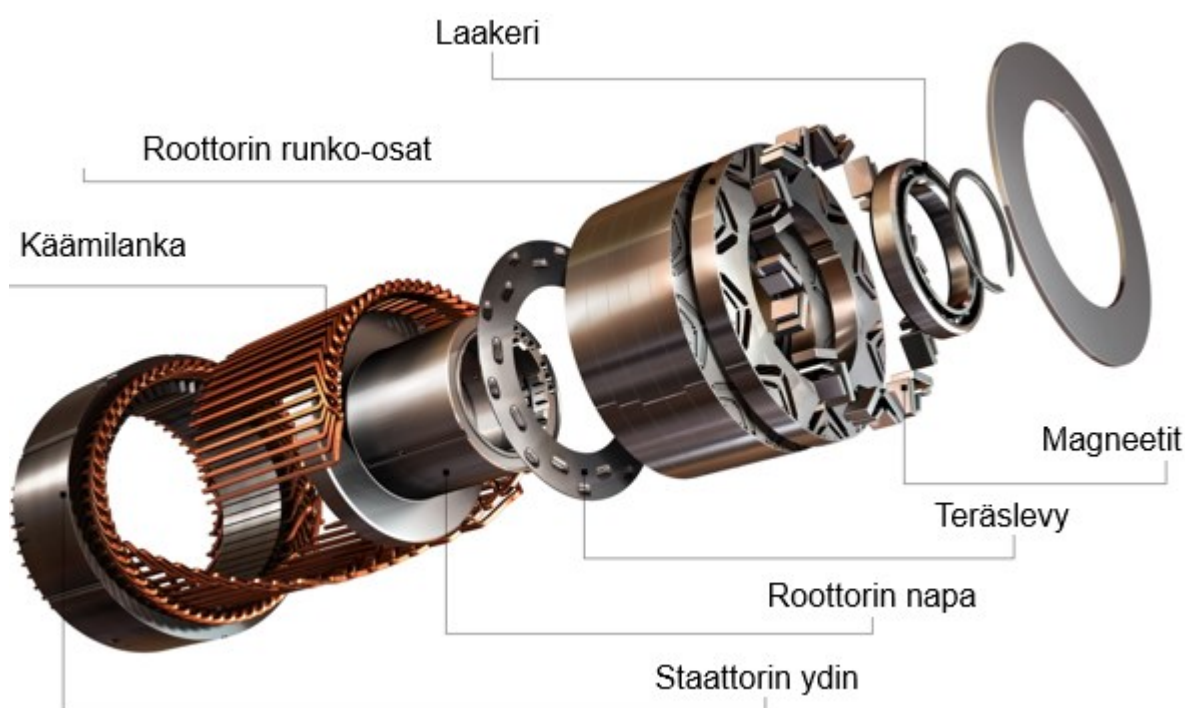
Yksinkertaisimmillaan sähkömoottori koostuu myös moottorin runkona toimivasta staattorista, sekä moottorin akseliksi rakennetusta roottorista. Näistä toisessa on muuttumaton magneettikenttä, joka voi olla toteutettu kestmagneeteilla tai sähkömagneeteilla. Toisessa taas on sähkömagneeteilla toteutettu kenttä, joka voidaan kytkeä päälle tai pois. [31, s. 154–155] Alla olevassa kuvassa 11 staattori on rakennettu kestmagneetista ja roottorissa on sähkömagneetilla toteutettu muuttuva magneettikenttä.



Kuva 11. Yksinkertaisen sähkömoottorin toimintaperiaate [90]

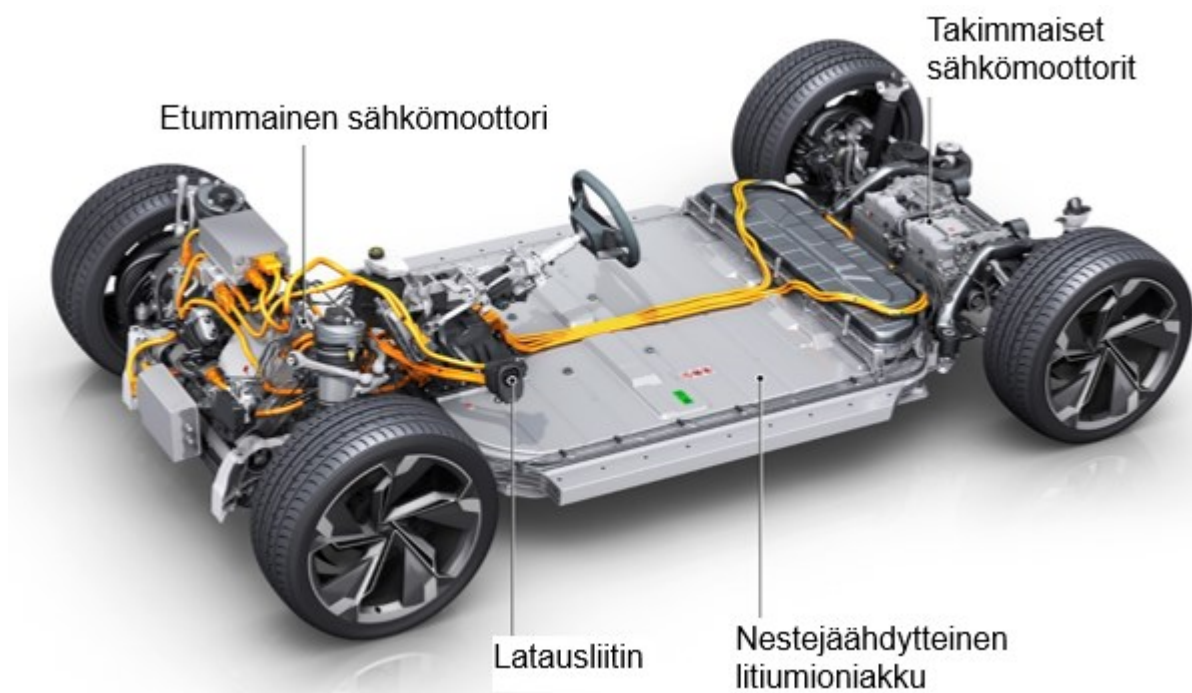
Ajoittamalla roottorin virran suunta oikein saadaan roottorin käämi hakeutumaan vuoroin staattorin pohjoisnapaa ja vuoroin etelänapaa kohden, mikä aiheuttaa roottorin pyörimisliikkeen. Havainnekuvan moottorissa virta välitetään roottorille hiiliharjojen ja liukurenkaiden välityksellä, mistä tulee moottorityypin nimi: hiiliharjallinen moottori. Rakenne on yleinen sähkömoottoreissa, joissa tarvitaan suuri vääntömomenti moottorin käynnistyksen yhteydessä tai moottorin aiottu käyttöikä ei ole suuri. [31, s. 155] Polttomoottoriajoneuvojen käynnistinmoottorit ovat yleensä rakenteeltaan kuvatun kaltaisia.

Sähköajoneuvoissa käytetään yleisesti niin sanottuja hiiliharjattomia sähkömoottoreita. Hiiliharjattomassa moottorissa muuttuva magneettikenttä muodostetaan staattorissa, jolloin sähkövirtaa ei tarvitse välittää pyörivälle roottorille. Näin moottorin kestoikä saadaan pidennettyä, sillä harjattomassa moottorissa ei ole laakeroinnin lisäksi muita toisiinsa mekaanisessa yhteydessä olevia osia. Siinä missä harjallisessa moottorissa sähkömagneettisen kentän muutos toteutetaan sähkömekaanisesti, tarvitaan harjattomassa moottorissa elektroninen ohjauspiiri tuottamaan moottorille tahdistettu sähkövirta. [31, s. 153] Esimerkkikuva ajoneuvokäyttöön valmistetusta hiiliharjattomasta sähkömoottorista on esitetty alla.



Kuva 12. Kestomagneeteilla toteutettu ajoneuvokäyttöön tarkoitettu hiiliharjaton sähkömoottori [20]

Sähköajoneuvo poikkeaa voimalinjan rakenteeltaan polttomoottorikäyttöisistä ajoneuvoista. Sähkömoottori voidaan pienen kokonsa johdosta viedä lähelle etu- ja taka-akselistoja, jolloin voimalinjassa ei tarvita suuria kardaniakseleita. Sähkömoottorille ominaisen laajan tehokkaan kierroslukualan johdosta ajoneuvosta voidaan jättää pois sekä pää- että jakovaihteisto. Nykyisellä teknologialla voimansiirrossa saavutettu painosäästö häviää ajoneuvon akkupaketissa. Nykyaikaisen akun energiatiheys on häviävän pieni verrattuna polttomoottoriautojen polttoaineen energiatiheyteen: kilosta bensiiniä saadaan 43–47 MJ moottorin hyödynnettävissä olevaa kemiallista energiaa, siinä missä kilosta litiumioniakkua saadaan vain 0,54–0,72 MJ sähköenergiaa [86, s. 429–430]. Esimerkki nelivetoisen sähköajoneuvon voimansiirron komponenttien sijoittelusta on esitetty seuraavalla sivulla olevassa kuvassa.



Kuva 13. Nelivetoisen sähköauton voimansiirron rakenne [145]

Kuvan ajoneuvossa taka-akselilla on kaksi sähkömoottoria ja edessä on yksi sähkömoottori. Akkupaketin tilantarve on suuri, joten se on yhdistetty ajoneuvon pohjalevyyn. Verrattuna esimerkiksi seuraavassa alaluvussa esitettyyn kuvaan hybridiajoneuvon pohjalevyn rakenteesta tulee sähköauton rakenteesta huomioida moottorin pieni tilantarve.

Tutkimuksessa tarkastellussa ajoneuvosegmentissä ei toistaiseksi ole tarjolla täyssähkökäyttöisiä ajoneuvoja. Vertailukohteeksi voidaan ottaa katumaasturiluokkaan sijoittuva Tesla Model X 90D. Model X:ssä on molemmilla akseleilla erilliset sähkömoottorit, joiden yhteisteho on noin 315 kW. 2 500 kg painavan 90D:n akun kapasiteetti on 90 kWh ja toimintamatka noin 489 kilometriä. [141] Valmistajan ilmoituksen mukaan ajoneuvon akkuun saadaan ladattua tunnissa 32-ampeerisesta virtalähteestä 54 kilometrin ajomatkaa vastaava energiamäärä [89].

2.7. Sähköhybridin rakenne ja toiminta

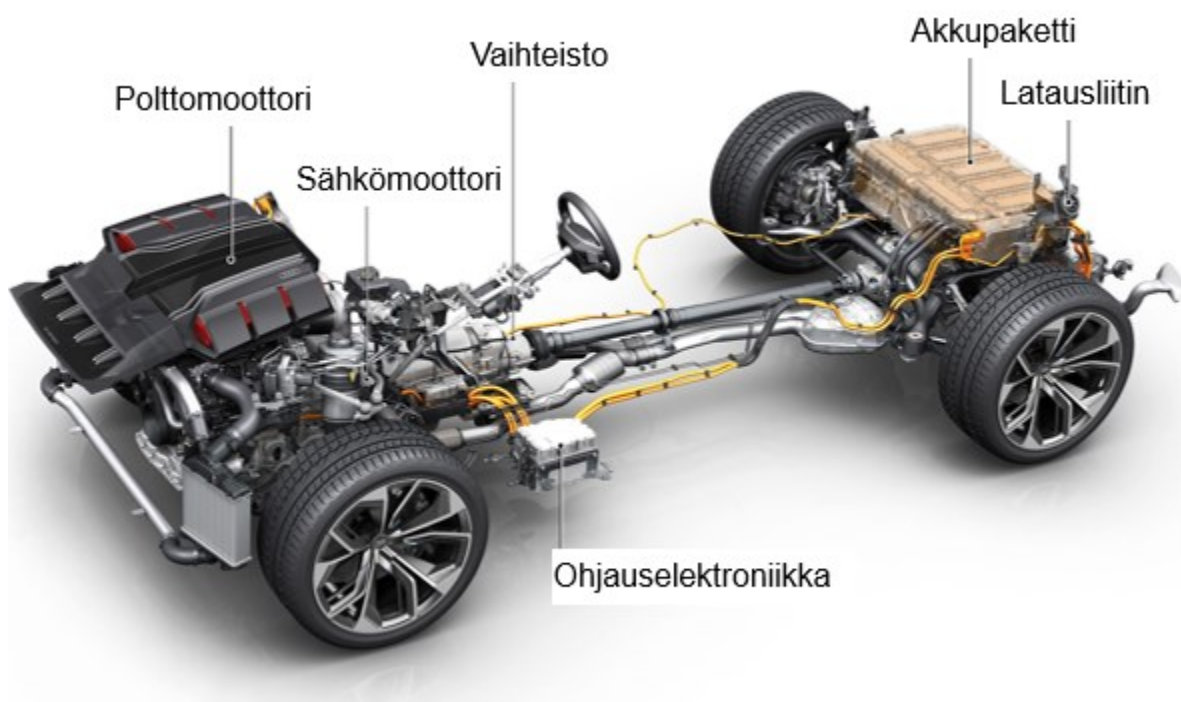
Sähköhybridikäyttöisessä ajoneuvossa on ajoneuvon liikuttamiseen tarkoitettu sähkömoottori ja tämän lisäksi jotain toista käyttövoimaa hyödyntävä moottori. Määritelmällisesti hybridissä voidaan käyttää ajoneuvon liikuttamiseen sähkömoottoria, polttomoottoria tai näitä molempia. [86, s. 327] Polttomoottorin käyttövoima voi olla mikä tahansa aiemmin luetelluista, mutta tyyppillisesti nykyään saatavilla olevat ajoneuvot ovat bensiinihybridejä. Ajoneuvoteknologiassa käytetään pääsääntöisesti kolmea eri toteutustapaa: sarjahybridejä, rinnakkaishybridejä sekä pistokehybridejä.

Sarjahybridissä ajoneuvon varsinainen liikkumiseen tarvittavan voimanlähde on yksittäinen sähkömoottori tai useita sähkömoottoreita. Sarjahybridissä sähkömoottorin tarvitsema sähköenergia tuotetaan ajoneuvossa itsessään erillisellä polttomoottorilla. [31, s. 128] Myös ajoneuvo, jossa sähkömoottorin tarvitsema energia tuotetaan vedystä polttokennolla, on määritelmällisesti sarjahybridi, vaikka yleensä käytetään termiä vetyauto. Sarjahybridi ei täytä täysin hybridin määritelmää, sillä sarjahybridissä polttomoottorilla tai polttokennolla ei voida liikuttaa ajoneuvoa sähkömoottorin toiminnasta riippumatta. Vaikka sarjahybrideitä käytetään laajasti raideliikenteessä, ovat ne tällä hetkellä harvinaisia maastohenkilöautoissa. [86, s. 328] Sarjahybridin voimansiirron rakenne on samanlainen kuin sähköautossa. Polttomoottorin ja generaattorin välissä on kiinteä vaihde.

Rinnakkaishybridissä ajoneuvon varsinainen moottori on polttomoottori, jonka lisäksi autossa on joko yksi tai useampia avustavia sähkömoottoreita. Rinnakkaishybridissä on pienehkö akkupaketti, jota ladataan ainoastaan joko auton polttomoottorin tuottamalla tai jarrutuksessa talteen otetulla energialla. Rinnakkaishybridin akkua ei siis voi ladata ulkoisesta virranlähteestä. [31, s. 130] Rinnakkaishybridin toimintamatka pelkällä sähköllä on yleensä vaatimaton, vain joitain kymmeniä kilometrejä, eikä sähkömoottorin teho riitä kaikissa toteutuksissa taajamanopeuksien ulkopuolelle. Kuitenkin käyttämällä sähköä ajotilanteissa, joissa ajomatkaan suhteutettu polttoaineen kulutus olisi korkea, päästään rinnakkaishybridillä noin 20 % polttoainesäästöön polttomoottoriin verrattuna. [86, s. 328]

Rinnakkaishybridin voimansiirron toteuttamiseen on useita keinoja. Polttomoottorin ja sähkömoottorin kytkemiseksi voimansiirtoon voidaan välissä käyttää eri määrä erilaisia vaihteistoja ja momentinmuuntimia. [31, s. 134–140] Voimansiirtotapojen tarkemmat yksityiskohdat eivät kuulu tämän tutkimuksen piiriin.

Pistokehybridi on hybridityypeistä lähimpänä hybridin määritelmää. Pistokehybridi on muutoin samanlainen kuin rinnakkaishybridi, mutta sen lataaminen on mahdollista myös ulkoisesta virranlähteestä. Mikäli ajoneuvolla ajo koostuu lähinnä lyhyistä matkoista ja ajoneuvoa on mahdollista ladata ajoneuvon lepoaikoina, voidaan pistokehybridillä ajaa lähes pelkällä sähköllä. Ajoneuvossa oleva polttomoottori mahdollistaa kuitenkin ajon myös silloin, kun vaatimus toimintasäteestä tai matkanopeudesta on suurempi. [86, s. 328] Pistokehybrideistä käytetään myös nimitystä plug-in -hybridi, tai PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Esimerkki pistokehybridin rakenteesta on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Hybridikäyttöisen maastohenkilöauton alusta ja voimalinja [14]

Tutkimuksessa tarkastellussa segmentissä ei toistaiseksi ole kaupallisesti tarjolla hybridiajoneuvoja. Vertailukohteeksi voidaan ottaa katumaasturiluokkaan kuuluva nelivetoinen Range Rover P400e -pistokeyhyridi. Range Roverissa on 220-kilowattisen bensiinimoottorin lisäksi 85-kilowattinen sähkömoottori, jonka energiaa säilövän akun kapasiteetti on 13,1 kWh. Valmistajan ilmoituksen mukaan täyteen varatulla akulla ajoneuvolla voidaan ajaa 51 kilometriä pelkän sähkömoottorin voimin, mikäli ajoneuvon nopeus ei ylitä 136 km/h. Akun täyteen lataamisessa kestää valmistajan ilmoituksen mukaan 2,75 tuntia mikäli käytössä on 32-ampeerinen syöttö. Ajoneuvon omamassa on noin 2 500 kiloa. [53]

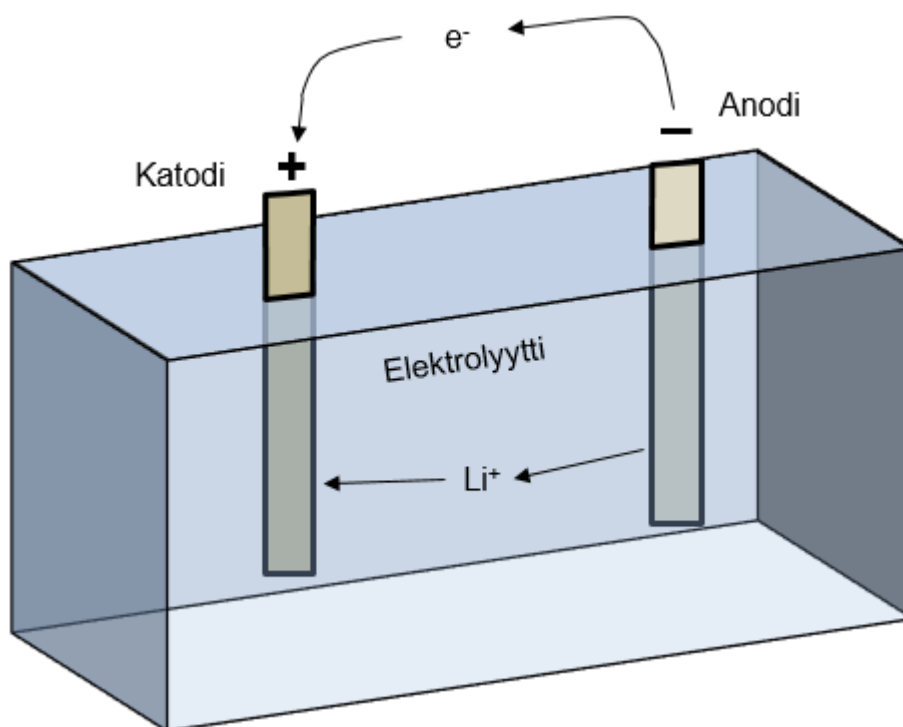
2.8. Sähkön varastointi sähköautossa ja hybridiautossa

Sähköauton ja hybridiauton liikuttamiseen tarvittava sähköenergia varastoidaan sähköauton akussa. Yleisesti akku voi yksinkertaisimmillaan koostua yhdestä akkukennosta, kuten vaikkapa taskulampussa, mutta sähköautoissa käytetään poikkeuksetta useasta toisiinsa kytketystä kennosta koostuvaa akkupakettia. [177, s. 33] Yksittäisen kennon rakenne kaikissa akkutyypeissä periaatteellisella tasolla sama. Akkua suojaava komponentti on runko, jonka sisään on rakennettu kaksi elektrodia, anodi ja katodi, sekä näiden välissä oleva elektrolyytti. [80]

Akun komponentit ovat pysyneet toiminnoiltaan samoina noin 250 ennen Kristusta peräisin olevasta Baghdadin paristosta lähtien [95, s. 35–37]. Innovaatiot ovat viimeisen 2000 vuoden aikana liittyneet materiaalitekniikkaan. Nykyisin yleisesti sähköautokäytössä olevan litiumioniakun katodi on valmistettu litiumoksidista ja anodi on hiilipohjainen. Elektrolyytti voi olla esimerkiksi etyleenikarbonaattia. [177, s. 29]

Litiumioniakun luovuttaessa virtaa tapahtuu akun sisällä kemiallinen reaktio, jossa anodi hapettuu ja luovuttaa elektroneja (e^-). Samalla anodista irtautuu litiumioni (Li^+), joka kulkeutuu elektrolyytin kautta katodiin. Katodi taas pelkistyy ja vastaanottaa elektroneja. Virta kulkee akusta elektroneihin nähden päin vastaiseen suuntaan, eli katodista muodostuu akun positiivinen napa ja anodista negatiivinen. Akkua varatessa reaktiot tapahtuvat päinvastoin. [177, s. 29]

Akun rakenne ja toiminta luovuttaessa virtaa on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Litiumioniakun rakenne ja toiminta akkua purkaessa

Yksittäisen akkukennon jännite on tyypillisesti noin 1–6 voltia. Jotta akkupaketin jännite saadaan nostettua sähköauton sähköjärjestelmän vaatimaan korkeampaan jännitteeseen, täytyy akkupaketissa olla useita sarjaan kytkettyjä akkuja. Vaikka sarjaan kytkemällä akkupaketin jännite saadaan nousemaan, on kapasiteetti silti sama kuin yksittäisessä kennossa. Tästä johtuen esimerkiksi 48 voltin järjestelmää käyttävän sähköauton koko akkupaketti koostuu useasta rinnan kytketystä 48 voltin akkupaketista.

Jännitteen ja kapasiteetin lisäksi oleellisia akun ominaisuuksia kuvaavia tunnuslukuja ovat ominaisenergia, tehotiheys, elinikä ja hyötysuhde. Ominaisenergia kuvaa akun kapasiteettia painon tai tilavuuden suhteen. Ajoneuvokäytössä paino on yleensä merkittävämpi rajoite. Tehotiheys kuvaa sitä, kuinka paljon tehoa akku kykenee antamaan painoyksikköä kohti. Eliniällä tarkoitetaan joko akun käyttöikää vuosina tai käyttösykliä määrää. Hyötysuhteella kuvataan akusta purettavissa olevan energian suhdetta akun koko kapasiteettiin. [177, s. 20]

Akkujen kehitys on tasapainottelua akulta toivottavien ominaisuuksien välillä. Vaikka uuden tyyppisen akun ominaisenergia ja hyötysuhde olisivat hyviä, voi heikko elinikä estää tuotteen jalkauttamisen. [177, s. 33] Akkutekniikan nykyistä kehityssuuntaa voidaan kuvata pyrkimyksenä pitää elinikä, hyötysuhde ja tehotiheys nykyisellä tasolla samalla pyrkien kehittämään akun ominaisenergiaa.

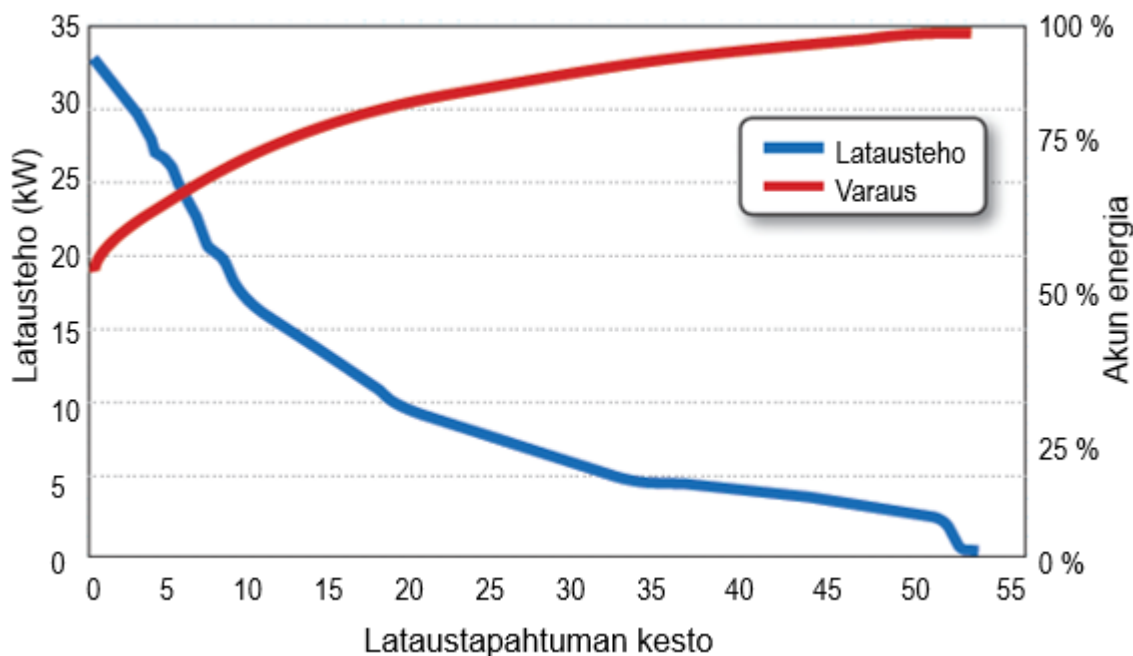
Toinen sähköenergian varastointiin käytetty laite on kondensaattori. Kondensaattorien ominaisenergia on vielä varsin vaatimaton, mutta ajoneuvokäytössä niitä on jo muun muassa moottorikelkan sähköjärjestelmän energiavarastona sekä kylmäkäynnistykseen tarkoitetuissa apuvirtalähteissä [11; 36]. Kondensaattori koostuu kahdesta toisistaan eristetyistä elektrodista jotka varastoivat samansuuruisen mutta erimerkkisen varauksen.

Kondensaattoreissa pystytään varastoimaan suuria sähkövarauksia, niiden varaaminen ja purkamisen voidaan suorittaa nopeasti, mutta niihin säilötty sähköenergia purkautuu itsestään suhteellisen nopeasti. Tästä johtuen kondensaattori ei sovellu sähköenergian pitkäaikaiseen varastointiin. Tyypillinen rakenne on rullalle kieritetty levykondensaattori. [82]

Sähkökäyttöisen ajoneuvon lataustapahtuma jaetaan latausnopeuden mukaisesti kolmeen eri tsoon. Tason 1 lataaminen tarkoittaa ajoneuvon lataamista suoraan joko 1-vaiheisesta tai 3-vaiheisesta syöttöpisteestä ajoneuvon sisäisellä laturilla. [92] Tason 1 lataamisella suurin mahdollinen latausteho on ajoneuvon sisäisen laturin latausteho, esimerkiksi Tesla X:n tapauksessa 11 kW. Mikäli tason 1 lataus suoritetaan 1-vaiheisesta syötöstä, on suurin latausteho syöttöpisteen rajoittama 3 kW [89]. Mikäli ajoneuvon sisäinen laturi on esimerkkinä käytetyn Tesla X:n laturia tehokkaampi, on ajoneuvoa mahdollista ladata 3-vaiheisesta syötöstä nopeammin. Rajoitettava tekijä joka tapauksessa on joko ajoneuvon laturin tai syöttöpisteen korkein mahdollinen teho. Ajoneuvojen sisäisten laturien kasvattaminen ei ole itsetarkoitus tehokkaamman laturin korkean hinnan takia, vaan pyrkimyksenä on sen sijaan laajentaa tasojen 2 ja 3 latausverkkoa [104].

Tason 2 lataamisella tarkoitetaan ajoneuvon lataamista 3-vaiheisesta syöttöpisteestä erillisellä laturilla. Tässä tapauksessa latauksen suurinta tehoa rajoittaa syöttöpisteen suurin teho ja syöttöpisteen virta, esimerkiksi Tesla X:n kohdalla tason 2 latauksella saavutetaan valmistajan ilmoituksen mukaan 16,5 kW teho [89]. Kaupallisessa käytössä tason 2 latausasemia on sijoitettuna muun muassa ostoskeskusten pysäköintihalleihin. Tason 2 latausasemien yleistymistä hidastaa latauslaitteiden korkea hinta [104]. Tason 3 lataamisella tarkoitetaan ajoneuvon lataamista erilliseltä suurteholatausasemalta. Tasolle 3 ei ole yhtenäistä standardia, mutta suurteholatausasemien teho vaihtelee tutkimuksen kirjoitushetkellä välillä 50–300 kW [104].

Tasojen 1–2 lataustapahtuma on suhteellisen lineaarinen, mutta tason 3 latauksessa tehoa lasketaan latauksen edetessä ajoneuvon akun säästämiseksi. Tästä johtuen tason 3 latauksessa saavutetaan suhteellisen nopeasti noin 80 % varaus, mutta täyteen lataaminen kestää kauemmin. [137] Ilmiötä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 16, jossa esitetään Nissan Leafin lataustapahtuman kesto minuutteina varaustilanteesta 50 % varaustilanteeseen 100 % tason 3 latausasemalla. Lataustehoa ilmaisevasta kuvaajasta voidaan todeta, että jo 15 minuutin latauksen jälkeen teho laskee suuruuteen, joka on mahdollista saavuttaa myös ajoneuvon sisäisellä laturilla normaalista 3-vaiheisesta syöttöpisteestä.



Kuva 16. Nissan Leaf -sähköauton lataustapahtuma varaustilanteesta 50 % tilanteeseen 100 % tason 3 latauspisteestä [137]

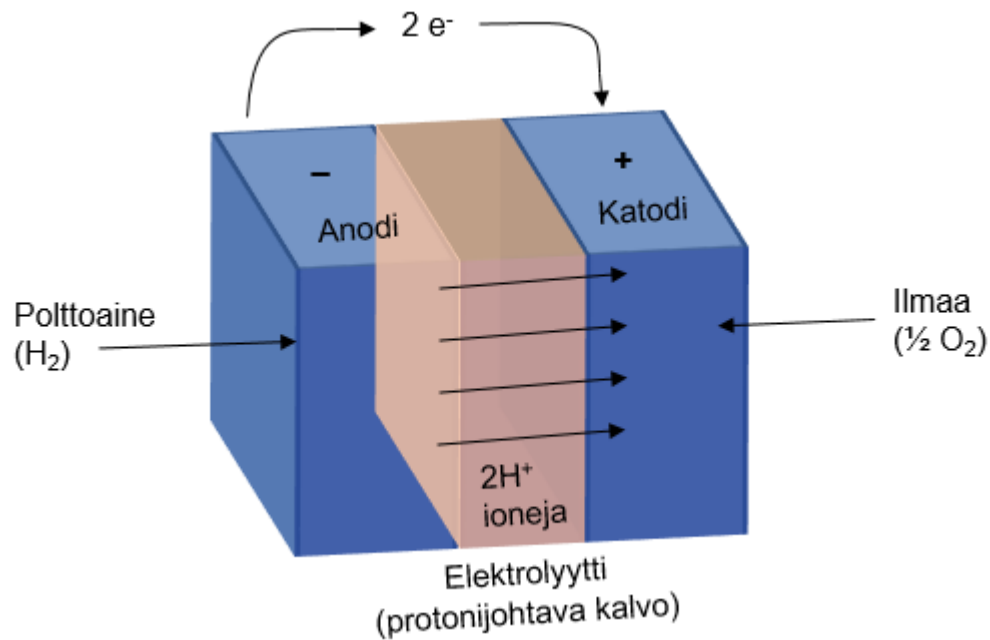
Sähkökäyttöisen ajoneuvon energian varastoinnin lisäksi merkittävää ajoneuvon sotilaskäytön kannalta on sähkön tuottaminen. Mikäli ajoneuvon latauspisteet suunnitellaan tukeutumaan pelkästään Suomen kantaverkkoon, on ajoneuvojen lataaminen esimerkiksi syrjäisillä harjoitusalueilla ongelmallista. Mikäli ajoneuvoja ladataan harjoitusoloissa sähkövoimakoneilla, on toiminta tehotonta merkittävän osan polttoaineen energiasta kuluessa erilaisiin siirtohäviöihin. Energian tuottamista ei tutkita tässä tutkimuksessa, mutta mikäli tulevaisuudessa sähkökäyttöisten ajoneuvojen hankintaa harkitaan, on energian tuottamisen järjestelyt myös selvitettävä.

Akun ja kondensaattorin lisäksi sähköauton energiaa voidaan varastoida esimerkiksi vetyyn, jonka sisältämä kemiallinen energia muutetaan sähköenergiaksi polttokennossa. Vedyn ongelmia ovat muun muassa vedyn varastointiin liittyvät riskit [55]. Vetyä ei myöskään esiinny maapallolla luonnollisesti, vaan vety on aina muodostettava esimerkiksi vedestä, mikä itsessään vie sähköenergiaa vedyn tuotantolaitoksessa. Vedyn yleisin muoto on kaksiatominen molekyyli, H_2 . Polttokennon ja vetysäiliöiden lisäksi vetykäyttöinen ajoneuvo ei juurikaan eroa sähköautosta. Voimalinjan rakenne on samanlainen ja myös vetykäyttöiseen ajoneuvoon kuuluu akku, joskin pienempi kuin normaalissa sähköautossa.

Polttokenno itsessään on suhteellisen vanha keksintö. Ensimmäisiä polttokennoja on ollut ajoneuvokäytössä jo 1800-luvulla [86, s. 88] ja nykyhetken merkittävistä käyttökohteista voidaan mainita esimerkiksi avaruusasemat. Polttokennojen yleistymistä on hidastanut toistaiseksi teknologian korkea hinta. Verrattuna polttomoottoreihin polttokennon selkeä etu on korkea hyötysuhde.

Tyypillinen sähköautossa käytettävä polttokennotyyppi on protonijohtavaan kalvoon perustuva polttokenno (PEM, Polymer Electrolyte Membrane) [166]. PEM-kenno on sähkökemialliseen reaktioon perustuva laite, joka koostuu samoista komponenteista kuin akku: anodista, katodista ja elektrolyytistä. Elektrolyytinä PEM-kennossa on polymeerikalvo, joka sallii vain protonien läpikulun [166].

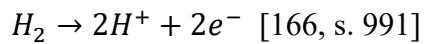
Polttokennoon tuodaan vetykaasua anodille, jossa katalyyttisessä reaktiossa vetyatomit hajoavat kahdeksi protoniksi ja kahdeksi elektroniksi. Protonit kulkeutuvat katodille elektrolyytin läpi ja elektronit polttokennon ulkoisen virtapiirin läpi. Elektronien kulku aiheuttaa polttokennon anodin ja katodin välille jännitteen. Katodille tuodaan lisäksi happea, jolloin polttokennossa jännitteen sivutuotteena syntyy vettä ja lämpöä. Yksittäisen polttokennon jännite on tyypillisesti noin 1 V, joten riittävän jännitteen saavuttamiseksi polttokennoja kytketään sarjaan. [166] Polttokennon rakenne ja toiminta on kuvattu seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 17.



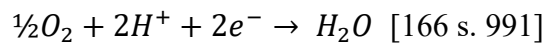
Kuva 17. PEM-polttokennon rakenne ja toiminta

Polttokennossa tapahtuva kemiallinen reaktio voidaan kuvata kaavamuodossa.

Vedyn reaktiot anodilla:



Reaktiot katodilla:



Tutkimuksessa tarkastellussa ajoneuvosegmentissä ei tutkimuksen kirjoitushetkellä ole kaupallisesti tarjolla polttokennokäyttöisiä ajoneuvoja. Toyotan kokeellisella FCHV-vetyhybridiajoneuvolla on saavutettu 830 kilometrin ajomatka. FCHV perustuu Toyotan Highlander -crossoveriin. FCHV:n voimalinja on samankaltainen, kuin Toyotan bensiinihybridiajoneuvoissa, mutta polttomoottori on korvattu 90 kW tehoisella polttokennolla. [75]

3. LIIKENNE-ENERGIATEKNOLOGIAN KEHITYSNÄKYMÄT LÄHITULEVAISUUDESSA

Tämä pääluke on muodostettu tulevaisuudentutkimukseen kuuluvan trendianalyysin keinoin. Trendianalyysi perustuu mediaseurantaan, jonka kohteena on suomalainen internetissä julkaistu media. Tutkimuksessa toteutettu mediaseuranta on jaettu kahteen vaiheeseen. Ensimmäisen vaiheen mediaseuranta oli luonteeltaan kartoittavaa ja sen tarkoitus oli muodostaa käsitys ajoneuvojen käyttövoimateknologiaa määrittävistä trendeistä. Ympäristöystävällisyys oli jo tässä vaiheessa tunnistettu yleistä teknologista kehitystä ohjaavaksi megatrendiksi [67; 107], joten ensimmäisessä vaiheessa pyrittiin jäljittämään ympäristöystävällisyyteen liittyviä ajoneuvoalan trendejä. Ensimmäiseen vaiheen mediaseuranta toteutettiin seuraamalla elokuun 2017 ja tammikuun 2018 ajan käyttövoimateknologiaan liittyvää uutisointia.

Kartoittavan vaiheen lopputuloksena tutkimuksessa tarkasteltaviksi ajoneuvoalan kehitystrendeiksi tunnistettiin polttomoottorin ja sähköhybridien tekninen kehitys, akkutekniikan kehitys sekä polttokennon käyttö sähköautossa. Saksassa kaasukäyttöisten ajoneuvojen ensirekisteröinnit ovat olleet laskussa viimeisen viiden vuoden tarkastelujaksolla, mikä antaa ymmärtää, että kuluttajien kiinnostus kaasukäyttöisiin ajoneuvoihin on laskenut [102]. Laskenut kysyntä siirtänee valmistajien tuotekehityksen painopistettä sellaisiin teknologiaratkaisuihin, joissa kysyntä on kasvussa. Lisäksi kaasukäyttöisten ajoneuvojen tekniikan perustuessa polttomoottoriin voidaan olettaa polttomoottorin kehityksen näkyvän myös kaasuautoissa.

Akkutekniikan kehitys itsessään tarkoittaa käytännössä sähkökäyttöisten autojen teknistä kehitystä. Sähkömoottorit toimivat jo nyt suhteellisen korkealla hyötysuhteella, joten akku on sähköauton tämänhetkisen suorituskyvyn kannalta kriittisin komponentti [9]. Tilanne ei tosin siinänsä ole juuri muuttunut viimeiseen sataan vuoteen. Polttomoottori taas on suhteellisen kypsä teknologia, joten kaikkien polttomoottorityyppien teknistä kehitystä voidaan tarkastella kokonaisuutena. Koska hybriditekniikka nimensä mukaisesti yhdistää polttomoottorikäyttöisen auton ja sähköauton tekniikkaa on molempien trendien kehitys samalla myös hybridauton kehitystä.

Tarkempi mediaseuranta suoritettiin kahdelle suurelle suomalaiselle aikakauslehdelle: Tekniikan maailmalle ja Kauppalehdelle. Syy nimenomaan suomalaisten lehtien valinnalle perustuu oletukseen, jonka mukaisesti mikä tahansa maailmalla tapahtuva merkittävä ilmiö uutisoidaan nykyaikaisen nopean tiedonvälityksen aikana myös Suomessa. Kahden hieman eri alaa edustavan lehden valinta tuo mediaseurantaan redundanssia ja mahdollistaa seurannan sekä puhtaan teknisestä että taloudellisesta näkökulmasta.

Tarkennettu mediaseuranta toteutettiin suorittamalla edellä mainittujen julkaisujen internetissä julkaistujen artikkeleiden tietokantaan asiasanahakuja. Asiasanoina käytettiin mediaseurannan ensimmäisen vaiheen yhteydessä löydettyissä artikkeleissa tiheästi esiintyviä asiasanoja. Hakuun käytetyt asiasanat on esitelty trendikohtaisissa alaluvuissa. Haku rajattiin 2010-luvulla julkaistuihin artikkeleihin, jotta lähdeaineiston määrä pysyy hallinnassa. Tutkimuksessa oletetaan, että seuraavien vuosikymmenten kehityssuunnista on uutisoitu jo kuluvalle vuosikymmenellä.

Tutkimuksessa on viitattu mediaseurannan kautta ilmi tulleen uutisen alkuperäislähteeseen, mikäli sellainen on ollut saatavilla. Usein mediaseurannan kautta esille tulleet ilmiöt ovat johtaneet hakemaan aiheesta tietoa myös laajemmin. Näin ollen mediaseurannassa havaittuja ilmiöitä on arvioitu erikseen seuratun kahden julkaisun lisäksi muidenkin lähteiden perusteella. Mediaseurannassa esille tulleiden tietojen merkittävyyttä on arvioitu paikoin ilmiöstä kirjoitettujen artikkelien määrällä. Tutkimusmenetelmälle tyypillinen käytäntö aiheuttaa osaltaan tutkimuksessa käytettyjen lähteiden suuren määrän.

3.1. Energiapoliittisen kehityksen merkitys tekniselle kehitykselle

Maailma jakaantuu automarkkinoiden osalta muutamaankin toisistaan eroavaan markkina-alueeseen. Johtuen markkina-alueiden erilaisesta lainsäädännöstä myydään eri alueilla eri tyyppisiä autoja: esimerkiksi Afrikassa vaatimukset ajoneuvojen turvallisuudelle ja päästöille ovat huomattavasti muita markkina-alueita matalammat, mistä johtuen siellä myydään laajasti vanhempaan tekniikkaan perustuvia ajoneuvoja [120]. Afrikkalaisen autonvalmistajan ei siis tarvitse tehdä päästöjen pienentämiseen tähtäävää tuotekehitystä, toisin kuin markkina-alueilla joissa lainsäädäntö on tiukempaa.

Eurooppaa voidaan pitää suhteellisen yhtenäisenä markkina-alueena, sillä vaikka eri maiden kesken ajoneuvojen käyttötarpeet hieman vaihtelevat, on etenkin ympäristövaikutuksiin liittyvä lainsäädäntö suhteellisen yhtenäistä koko Euroopan alueella [37]. Euroopassa on suuria autonvalmistajia, joiden suurin markkina-alue on omalla mantereella [18], joten kotimarkkina-alueen kysyntä vaikuttaa merkittävästi tuotantoon tulevien ajoneuvojen tyyppiin. Kysyntää taas ohjaa muiden tekijöiden ohella ajoneuvon hinta kuluttajalle, johon yhtenäisellä markkina-alueella voidaan vaikuttaa verotuksella.

Lainsäädännön vaikutus liikenne-energiateknologian kehitykseen tapahtuu siis sekä välillisesti että välittömästi. Muuttamalla ajoneuvojen päästörajoja koskevaa lainsäädäntöä pakotetaan autovalmistajat pienentämään myymiensä ajoneuvojen päästöjä, sillä ilman määräystenmukaisuutta ei ajoneuvoa saada myyntiin. Esimerkiksi EURO 5 -päästörajoihin siirtyminen vuonna 2012 myös jo markkinoilla olevien ajoneuvomallien osalta johti Toyota Hiacen myynnin ja valmistuksen lopettamiseen Toyotan ollessa haluton kehittämään päästömääräykset täyttävää moottoria [136].

Välillinen kehitys taas näkyy ihmisten ostoskäyttäytymisessä. Todellisuudessa ekologisin mahdollinen teko autoilijalta olisi olla ostamatta autoa ollenkaan tai ostaa vähän polttoainetta kulluttava käytetty auto. Kuitenkin ajoneuvojen, joiden ajonaikaiset päästöt ovat pienet, kysyntä on jatkuvassa kasvussa verotuksen suosiessa niitä, vaikka ajoneuvon ajonaikaiset päästöt eivät anna todellista kuvaa ajoneuvon koko elinkaaren ympäristövaikutuksista [15].

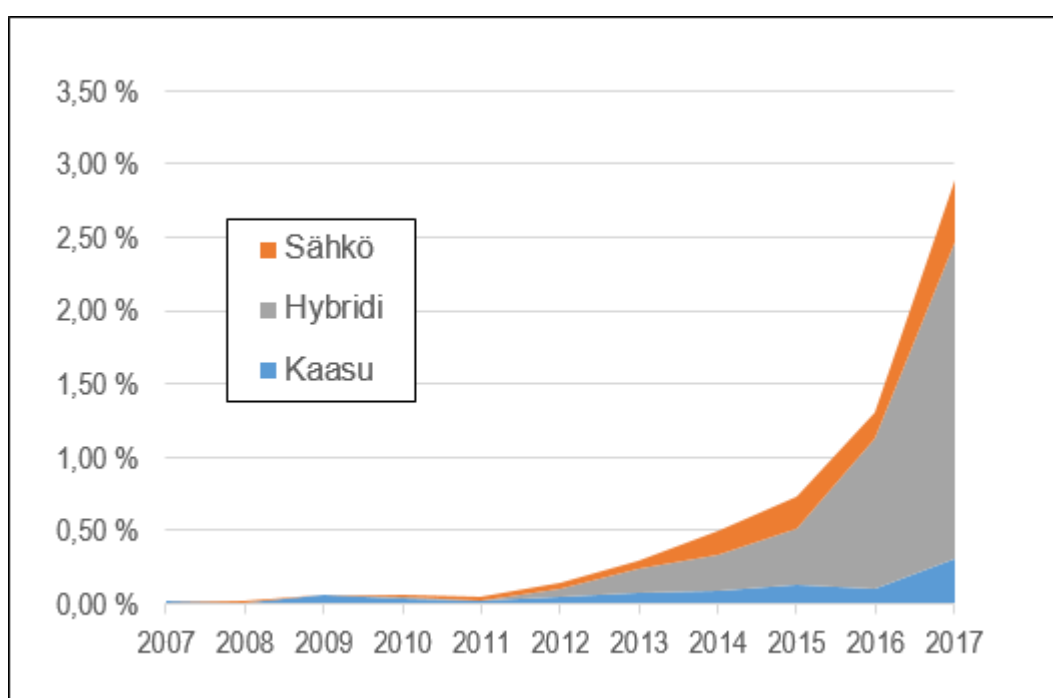
Ylempänä mainituilla EURO-päästörajoituksilla on pyritty vähentämään ajoneuvojen pienhiukkaspäästöjä. EURO-luokituksen piiriin kuuluu yksilölliset määräykset eri ajoneuvotyypeille ja käyttövoimille. Alla olevasta taulukosta ilmenee uusille dieselkäyttöiselle N₁-luokan ajoneuvolle asetettujen EURO 3–6 -luokkien voimaantuloajankohdat sekä rajoitukset eri päästötyypeille.

Taulukko 1. EURO 3–6 -päästöluokat N₁-luokan dieselkäyttöisille ajoneuvoille [7; 24]

Päästöluokka	Käytössä alkaen	Häkä (CO)	Hiilivety (THC)	Typenoksidit (NO _x)	THC + NO _x	Hiukkaset (PM)
EURO 3	Tammikuu 2001	0,95	-	0,78	0,86	0,1
EURO 4	Tammikuu 2006	0,74	-	0,39	0,46	0,06
EURO 5	Syyskuu 2010	0,74	-	0,28	0,35	0,005
EURO 6	Syyskuu 2015	0,74	-	0,125	0,215	0,005

Taulukon yksiköt ovat grammaa kilometrillä. Mahdollisen EURO 7 -päästöluokan voimaantuloista ei tutkimuksen kirjoitushetkellä tehty päätöstä. Uuden päästöluokan kuitenkin arvioidaan olevan valmistelussa niin, että etenkin typen oksideja rajoittamaan pyrkivä päästöluokka tulisi voimaan 2020–2021 [103, s. 10–14].

Suomessa on 2008 tapahtuneen autoverouudistuksen myötä siirrytty ajoneuvon käytön aikaisten hiilidioksidipäästöjen mukaan porrastettuun verotukseen [48]. Verotuksellisista syistä vähäpäästöisiä ajoneuvoja kohtaan kasvanut kiinnostus tulee ilmi ajoneuvojen ensirekisteröintien 2000-luvun tilastoa tarkastellessa: vaikka nykyisenkaltaisia vähäpäästöisiä hybridejä on ollut yleisesti saatavilla jo vuosituhannen vaihteesta asti, on ensimmäiset hybridiajoneuvot ensirekisteröity Suomessa vasta vuonna 2010 [15]. Kehitys on ollut samanlaista myös muualla Euroopassa: Saksassa sähköautojen ja sähköhybridien suhteellinen osuus myydyistä ajoneuvoista on kasvanut 2010-luvulla n. 460 % [102]. Hybridi-, kaasu- ja sähköautojen ensirekisteröintimäärien suhteellinen kehitys 2010-luvulla Suomessa on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Sähkö-, hybridi- ja kaasukäyttöisten autojen osuus kaikista Suomessa 2010-luvulla ensirekisteröidyistä ajoneuvoista [15]

Ajoneuvoteknologian ympäristöystävällisyyteen tähtäävä kehitys on siinä mielessä poikkeavaa, että toisin kuin muissa ominaisuuksissa, kehitys ei välttämättä johda suorituskyvyn kasvuun [30]. Esimerkiksi henkilöautovalmistajat ovat viime vuosina tuoneet myyntiin yhä pienemmän sylinteritilavuuden moottorilla varustettuja autoja, suorituskyvyn pysyessä samana tai laskiessa verrattuna aikaisempiin mallisukupolviin. Raskaammissa dieselkäyttöisissä ajoneuvoissa on taas jouduttu ottamaan käyttöön erilaisia typen oksideja vähentämään pyrkiviä osajärjestelmiä, jotka ”ylimääräisinä” osina lisäävät koko ajoneuvon vikaantumistiheyttä [175].

Se, että ympäristöystävällisyyteen tästä huolimatta keskitytään, osoittaa, että ajoneuvon ympäristöystävällisyys on merkittävä ominaisuus autolle. Ajoneuvovalmistajat ovat yksityisiä yrityksiä, joiden tarkoitus on tuottaa voittoa omistajilleen. Valmistaja tuottaa voittoa silloin, kun sen tuotteet saavuttavat tai ylittävät myyntitavoitteet. Tuotekehityksen kohteeksi valmistajat ottavat kehityssuuntia, joita tavoittelemalla voidaan tuottaa enemmän voittoa. Näin ollen kulu-
tustottumusten ja lainsäädännön perusteella polttoaineen kulutuksen ja päästöjen vähentäminen on tällä hetkellä yksi merkittävimmistä kehityssuunnista ajoneuvotekniikan alalla.

3.2. Polttomoottorin ja sähköhybridin tekninen kehitys

Polttomoottorin teknistä kehitystä arvioitiin tutkimuksessa ensimmäisen vaiheen mediaseurannassa. Ensimmäisen vaiheen mediaseurannan perusteella pystyttiin muodostamaan käsitys polttomoottorin tulevista kehityssuunnista, joten polttomoottorin osalta ei suoritettu toisen vaiheen mediaseurantaa. Tutkimuksen perusteella pääosa polttomoottorin lähitulevaisuuden kehityksestä vaikuttaisi olevan liikenne-energiapolitiikan sanelemaa, eikä siis näin ollen liity varsinaiseen tekniseen edistykseen.

Polttomoottorin kehitystyössä on viime vuosina ollut painopisteessä moottorin kulutuksen ja päästöjen pienentäminen. Bensiinimoottorissa tähän pyritään muun muassa kehittämällä polttoaineen sytytystä. Mazdan kehittämä SPCCI-tekniikka (Spark Controlled Compression Ignition) hyödyntää bensiinimoottorissa dieselmoottorille ominaista polttoaineen itsesyttymistä riittävän korkeassa lämpötilassa ja paineessa. SPCCI-tekniikassa homogeeninen palorintama käynnistetään sytytystulpan antamalla sysäyksellä. [111]

Mazda käyttää SPCCI-moottoristaan nimeä Skyactiv-X. Puristussyttyminen mahdollistaa pienemmän polttoaineen kulutuksen, sillä sylinterissä oleva polttoaine syttyy yhtenäisen palorintaman johdosta tasaisemmin ja nopeammin. Puristussyttyminen edellyttää erittäin laihaa polttoaineseosta, joka tuotetaan moottorin mekaanisen ahtimen avustuksella. Skyactiv-X:n moottorinohjaus kykenee vaihtamaan moottorin myös perinteiseen kipinäsytytykseen ajotilanteissa, joissa erittäin laiha seoksen käyttäminen ei ole mahdollista, kuten suurella kuormalla ajettaessa ja kovissa kiihdytyksissä. Mazda aikoo tuoda moottorin sarjatuotantoon vuoden 2019 aikana. [111] Mazda arvioi, että Skyactiv-X -moottorin hyötysuhde olisi jopa 56 %. Mazdan laskelmien mukaan ajoneuvon päästöt olisivat sähköautoa pienemmät, mikäli huomioidaan energiantuotannon yhteydessä syntyneet päästöt. [118] Valmistajan ilmoitukseen moottorin mahdollisesta hyötysuhteesta tulee suhtautua varovaisesti, sillä riippumattomia testejä moottorista ei ole vielä tehty.

Toyota taas on pyrkinyt parantamaan bensiinimoottorin tehokkuutta perinteisin menetelmin. 2-litraisessa Dynamic Force -moottorissa on ajoilanteen mukaan säätyvä polttoaineen suihkutuskoko imukanavasta, suoraan sylinteriin tai näiden yhdistelmällä. Jäähdytysnesteen kierto on sähköisesti ohjattua ja materiaalitekniikassa on keskitytty vähentämään kitkaa. Toyota arvioi moottorin saavuttavan 41% hyötysuhteen hybridikäytössä. [2]

Polttomoottorien taloudellisuutta on jo pitkään parannettu muuttamalla venttiilien ajoitusta, mutta toistaiseksi säätö on toteutettu mekaanisesti tai hydraulisesti. Ruotsalainen Freevalve kehittää tekniikkaa, jossa yksittäisiä venttiileitä ohjataan sähkö-hydraulis-pneumaattisesti. Freevalven venttiilikoneistoja on ollut moottorin imupuolella koekäytössä vuodesta 2009 ja järjestelmän avulla on saavutettu jopa 12–17 % säästöä polttoaineen kulutuksessa. Yksittäisten venttiilien ohjaukseen perustuvaa järjestelmää ei ole toistaiseksi sarjatuotannossa. [42]

Dieselmoottorille lisääikää voi tuoda Loughboroughin yliopistossa kehitetty ACCT (Ammonia Creation and Conversion Technology). ACCT perustuu jo nyt typen oksidien vähentämiseen tarkoitetun AdBlue-urealiuoksen muuttamiseen erityisen ammoniakkipitoiseksi nesteeksi ajoneuvon pakoputkiston yhteydessä olevassa järjestelmässä. Tavalliseen SCR-järjestelmään verrattuna ACCT toimii myös pakokaasun lämpötilan ollessa matala, minkä johdosta ACCT kykenee Loughboroughin yliopiston mukaan vähentämään pakokaasun typen oksideista jopa 98 %. Kehitystiimin arvion mukaan keksintö voisi olla tuotteistettavissa noin 2020. [22] Uutinen järjestelmästä tuli esille vasta aivan tutkimuksen loppupuolella, eivätkä ajoneuvovalmistajat ole vielä ehtineet reagoimaan asiaan. Järjestelmän toimintaa ei myöskään ole todennettu yliopiston ulkopuolella. Mikäli järjestelmä osoittautuu toimivaksi, on mahdollista, että dieselmoottoareiden valmistus jatkuu, sillä dieselmoottorissa on ottomoottoria pienemmät hiilidioksidipäästöt, joiden vähentäminen on kuitenkin yleisesti merkittävä pitkän tähtäimen tavoite.

Aiemmin mainittujen tulossa olevien teknisten ratkaisujen käyttö on todennäköistä myös hybridiajoneuvoissa. Hakusanalla ”hybridi” tunnistettiin Tekniikan Maailman verkkoartikkeleista 9 ja Kauppalehden verkkoartikkeleista 6 artikkelia, jotka käsittelevät hybriditekniikan tulevaisuudennäkymiä. Varsinaisten korkealla jännitteellä (yli 300 voltia) toimivien pistokehybridien lisäksi hybriditekniikkaa tuodaan 48 voltin jännitteellä avustamaan hetkellisesti ajoneuvon bensiinimoottoria soveltuvissa ajoilanteissa. Näissä niin sanotuissa kevythybrideissä sekä generaattorin että sähkömoottorin tehtävää hoitaa sama komponentti, jonka käyttövoima saadaan hihnavälitteisesti ajoneuvon polttomoottorin kampiakselilta. Kevythybridien ajoakun energiasisältö on tyypillisesti alle 1,0 kWh ja järjestelmällä on ensisijaisesti tarkoitus laskea ajoneuvon päästöjä ja kulutusta täyssähköajon mahdollistamisen sijaan. [52; 71]

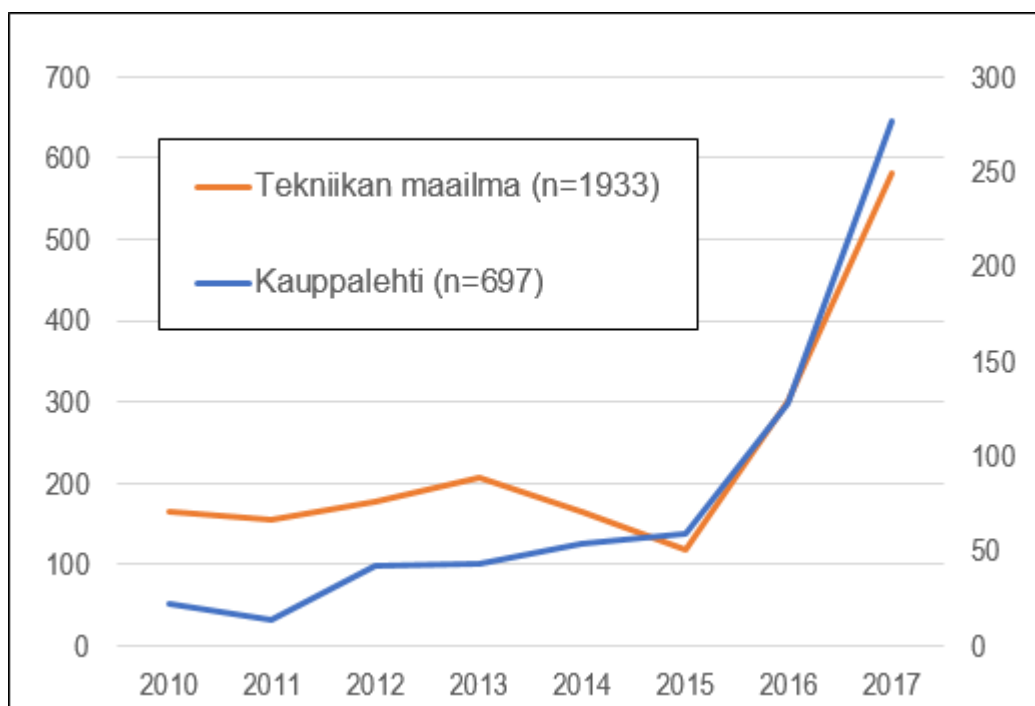
Hybriditekniikassa ei ole odotettavissa selkeitä muutoksia, jotka eivät liittyisi joko polttomootorin tai akkutekniikan kehittymiseen. Akkukennojen hinnan laskiessa ja päästömääräysten kiristyessä etenkin kevythybriditekniikka on valmistajille houkutteleva tilaisuus mahdollistaa tuotteen saaminen markkinoille. Hybridien yleistymisen esteenä eivät myöskään ole sähköautokantaa vaivaavat vaatimukset latausasemille ja sähköverkon yleiselle infrastruktuurille.

Pääosa uusista hybridiajoneuvoista ovat voimalinjansa rakenteen perusteella erilaisia rinnakkaishybridin toteutusratkaisuja. Sarjahybriditekniikka vaikuttaa jäävän lähinnä raideliikenteen käyttövoimaksi. Tutkimuksen kirjoitushetkellä rinnakkaishybriditekniikalla päästään noin 10–80 % säästöön polttoaineen kulutuksessa verrattuna pelkkään polttomootorikäyttöön [32]. Vaikka säästön huippuarvoa ei pystyttäisi parantamaan, on akkutekniikan kehityksellä mahdollista saada polttoaineen säästön keskiarvoa suuremmaksi.

Dodge on tuomassa kevythybridimallin konservatiivisena pidetyille kevytkuorma-autojen markkinoille vuonna 2019 [167], ja Toyotan huhutaan esittelevän hybridivoimalinjan vuonna 2023 seuraavan sukupolven Hiluxissa [115]. Hiluxin yhdysvaltaisen sisarmallin Tacoman hybridiversiota odotetaan saapuvaksi jo 2019, mutta Toyota ei ole vahvistanut huhuja [4; 125]. Arviota tukee Toyotan jättämä patenttihakemus tikapuurunkoratkaisulle, jossa on huomioitu akkupaketin viemä tila. Tikapuurunkoa Toyota on perinteisesti käyttänyt avolavoissa sekä maastohenkilöautoissa. Toyota on myös ilmoittanut, että vuonna 2025 kaikista sen malleista on tarjolla myös sähköinen tai hybridiversio [65].

3.3. Sähköauton ja akkutekniikan kehitysnäkymät

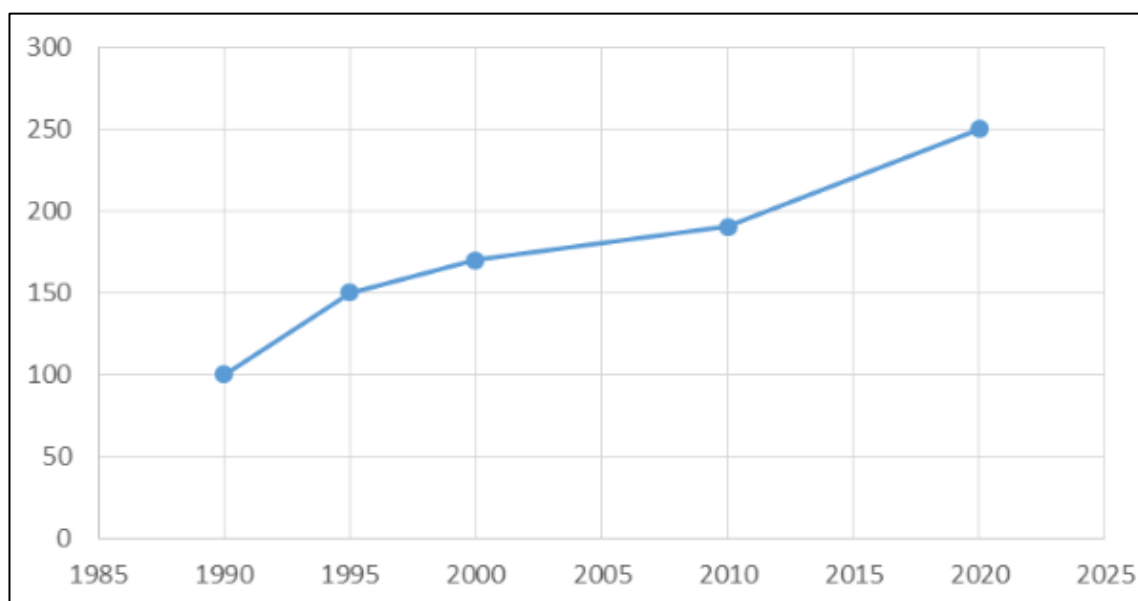
Akkutekniikan ja sähköauton kehitystä tutkittiin suorittamalla Tekniikan maailman ja Kauppalehden internet-artikkelitietokantaan hakuja käyttämällä hakusanoja ”sähköauto” ja ”akku”. Hakusana ”akku” tuotti tuhansia artikkeleita, jotka käsittelevät itse akkuteknologian lisäksi erilaisia akuilla toimivia laitteita. Näistä artikkeleista tutkimuksen kannalta relevanteiksi tunnistettiin 15 Kauppalehden ja 14 Tekniikan maailman artikkelia. Hakusana ”sähköauto” tuotti Tekniikan Maailman verkkoartikkeleista 1933 ja Kauppalehden verkkoartikkeleista 697 tulosta. Näistä relevanteiksi tunnistettiin 19 ja 21 artikkelia. Aiheeseen liittymättömät artikkelit koostuivat lähinnä sähköautoon liittyvistä tuntemuksista, energiapolitiikasta sekä sellaisista artikkeleista, joissa ei ilmaistu käyttövoimaan liittyviä tunnuslukuja. Sähköautoja käsittelevä 2010-luvun uutisointi on esitetty graafisesti kuvassa 19.



Kuva 19. Hakutulokset hakutermillä ”sähköauto”

Tutkimuksen oheishavaintona todettakoon sähköautoja käsittelevien artikkeleiden määrän eksponentiaalinen kasvu viime vuosina. Gartnerin hype-teorian mukaan on mahdollista, että mikäli sähköautoja kohtaan osoitetut odotukset eivät lähivuosina realisoidu, voi kiinnostus taantua hetkellisesti. Samaan johtopäätökseen on päätenyt Yhdysvaltalainen Trends Research -tulevaisuudentutkimusyriitys [49]. Myös Suomessa vastaavia arvioita esitetään, mutta kritiikin tullessa fossiilisiin polttoaineisiin keskittyviltä yrityksiltä ei väitteiden objektiivisuudesta voida varmistua [123]. Viitteitä sähköautojen vaatimattomasta suorituskyvystä tutkimuksen kirjoitushetkellä on muun muassa Norjasta, jossa sähköautojen ja hybridien myynti ylitti polttomoottorikäyttöisten autojen myynnin vuonna 2017 [156]. Ongelmia on esiintynyt sähköverkon kapasiteetissa ja ajoneuvojen lataamisessa kylmällä säällä [17; 108].

Sähköajoneuvojen akkutyypiksi on 2000-luvulla vakiintunut litiumioniakku. Litiumioniakun merkittävin kehityskohde on akun energiatiheys [109]. Korkeampi energiatiheys mahdollistaa nykyistä suuremmat toimintamatkat nykyistä kevyemmillä akuilla. Li-ion -akun energiatiheden yleisesti arvioidaan kasvavan lähivuosina suhteellisen lineaarisesti (Kuva 20) [10; 16], vaikkakaan suuret akkuvalmistajat kuten Panasonic eivät ole kehityksen suhteen yhtä optimistisia [109]. Panasonicin arvion mukaan Li-ion -akkuun parannusta energiatihetyteen on arvioitu tulevan muun muassa uusien elektrodimateriaalien käyttöönotolla [25; 109]. Myös muissa yhteyksissä on päädytty elektrodien materiaalin kehittämisen parantavan uusien akkujen energiatihettä [58; 60; 164].



Kuva 20. Litiumioniakkukennojen energiatihyden (Wh/kg) kehitys [10]

Esimerkiksi markkinoille vuonna 2010 tulleen Nissan Leafin akkupaketin paino säätölaitteen on noin 218 kg ja kapasiteetti 24 kWh, joten koko akkupaketin energiatiheys on noin 110 Wh/kg ja yksittäisen kennon 140 Wh/kg [171]. Uudemmissa sähköautoista voidaan käyttää esimerkkinä Teslan S P100D -mallia, jonka 100 kWh akkupaketin arvioidaan painavan noin 540 kg (valmistaja ei ilmoita akkupaketin painoa) [91; 142]. Näillä lähtöarvoilla Teslan akkupaketin energiatihyden voidaan laskea olevan noin 180 Wh/kg. Yksittäisen akkukennon energiatihyden ilmoitetaan olevan noin 250 Wh/kg [85]. Tutkimuksen kirjoitushetken tekniikalla yksittäisen Li-ion -akkukennon energiatihydeksi voidaan Panasonicin mukaan saavuttaa noin 300 Wh/kg ja koko akkupaketin energiatihydeksi noin 150–250 Wh/kg [109].

Yksi merkittävä puute nykymuotoisissa Li-ion -akuissa on nestemäisen elektrolyytin aiheuttamat turvallisuusongelmat, joita pyritään ehkäisemään akuston rakenteella, kuten kennojen väliseinillä. Turvallisuuslaitteistot vievät suhteellisen suuren osan koko akkupaketin koosta ja painosta, mikä rajoittaa akkupaketin kokonaisenergiatiheyttä. [154] Akkua tukevien rakenteiden vähentämiseksi pyritään kehittämään kiinteäelektrolyyttistä Li-ion -akkua. Kiinteä elektrolyytti mahdollistaisi varsinaisen akuston osuuden kasvattamisen suhteessa koko akkupakettiin [40; 70; 76; 154].

Pääosin sähköautojen ajomatkasta kertovissa valmistajien lupauksissa arvioidaan 2020-luvulle mennessä noin 500–600 km ajomatkan olevan henkilöautomaailmassa tyypillinen [66; 72; 73; 131; 135; 159; 162]. Toyota arvioi tuovansa 2020-luvun puolivälissä markkinoille kiinteäelektrolyyttisen akun, jolla ajomatka kaksinkertaistuisi [70], mutta tekniikan toteutuskelpoisuutta epäillään [57].

Muita perinteisten akkujen kehityssuuntia ovat litium-ilma-akku [61; 62] ja litium-rikki-akku [59]. Niitä odotetaan saapuvaksi markkinoille myös 2020-luvulla. Tällöin niiden energiatiheys voisi olla kaksinkertainen nykyisiin akkuihin nähden. [59] Koska uudet akkutyypit ovat vasta kehitysasteella, on epätodennäköistä, että niiden täysi potentiaali olisi saavutettu jo 2030-luvulla. Mahdollista on, että litium-ilma-akun ja litium-rikkiakun energiatiheys 2030-luvulla on vastaava tai hieman parempi kuin 2030-luvun kiinteäelektrolyyttisen Li-ion -akun [10].

Toinen akkutekniikan merkittävä kehityskohde on lataustapahtuman nopeuttaminen. Latauksen nopeuttamiseen pyritään elektrodien materiaaleja kehittämällä [58; 60] ja myös kiinteän elektrolyytin odotetaan nopeuttavan latausta [70]. Perinteisen akun latausnopeutta rajoittava tekijä on kuitenkin latauspisteen teho [104]. Sotilaskäytössä sähköauton lataamisnopeus ei kehity ilman latausinfrastruktuurin lisärakentamista. Kasarmirakennusten ympäristössä ja maasto-olosuhteissa lataus tapahtuisi nykytilassa yksivaiheisesta verkkovirrasta tai sähkövoimakoneesta.

Vaihtoehtoinen lähestymistapa lataustapahtuman nopeuttamiseen on virtausakkuteknologia, jossa lataus tapahtuu vaihtamalla ajoneuvon akun käyttämä nestemäinen elektrolyytti uuteen ”valmiiksi ladattuun” elektrolyyttiin. [124] Järjestelmän laajamittainen käyttöönotto vaatisi oman jakelujärjestelmän elektrolyyttille sekä yhtenäisen standardin. Toistaiseksi virtausakku-teknologian käyttöönotto ei vaikuta todennäköiseltä.

3.4. Polttokenno sähköautossa

”Daimler-Bentz AG läntisellä Saksanmaalla kokeilee vetyautoja - - [ja] väittää vetyauton kehityksen olevan niin pitkällä, että kaupallinen hyödyntäminen on jo lähellä.”

– Tekniikan Maailma (1978) [78, s. 71]

Vetyautojen yleistyminen on edennyt hitaammin, kuin 70-luvulla tai edes vuonna 2010 arvioitiin. Toisin kuin muissa esitellyissä teknologioissa, polttokennokäyttöisissä ajoneuvoissa ei ole tuotu 2010-luvulla merkittäviä sovelluksia markkinoille. Sarjavalmistuksessa on tähän asti ollut lähinnä Toyotan ja Huyndain ajoneuvoja, mutta tuotantomäärät ovat olleet pieniä [163]. Polttokenno itsessään on suhteellisen kypsä teknologia, minkä on osoittanut muun muassa tuhansien vetyautojen pääosin ongelmaton käyttö yleisessä liikenteessä Japanissa. Toyotan 2017 suorittama laaja vetyautojen takaisinkutsu johtui ohjelmistoviasta, eikä polttokennotekniikasta itsessään [163]. Vetyautojen tekninen kehitys onkin 2010-luvulla painottunut teknologian hinnan laskemiseen. Tässä ei ole täysin onnistuttu; Toyota epäonnistui hieman 50 000 dollarin hintatavoitteessaan [79; 153] ja aiemmin Nissanin ja Fordin kanssa vetyautoja kehittämään pyrkinyt Daimler vetäytyi toistaiseksi vetyautomarkkinoilta [56; 64; 81].

Vetyautoilun hinnan laskemiseen pyritään myös kehittämällä edullisempia keinoja valmistaa vetyä. Uusi valmistustapa perustuu uudenlaiseen katalyyttimateriaaliin. [77] Aikaisemmin vedyn erotukseen käytetty platina on kallista ja 70 % tunnetuista varoista sijaitsee nykyään epävakaaaksi muuttuneessa Etelä-Afrikassa [33]. Läpimurtoa ei kuitenkaan ole vielä lähivuosina näkyvissä.

Merkittävä este vetykäyttöisten ajoneuvojen suuremmalle yleistymiselle on vedynjakeluasemien vähyys. Saksalaisten arvioiden mukaan maa olisi valmis vetyautoilulle 500 jakeluasemalla. Määrän arvioidaan täyttyvän 2020-luvun puolivälissä. [160] Suomessa kaasuyhtiö Woikoski arvioi 20 vedynjakeluaseman mahdollistavan vetyautojen käytön yleistymisen. Asemien rakentamista hidastaa niiden kallis hinta; noin 1–3 miljoonaa euroa. [106]

General Motors ja Yhdysvaltain maavoimat ovat tutkimuksen kirjoitushetkellä kehittämässä maavoimien käyttöön vetykäyttöistä maastoautoa. Prototyyppiasteella oleva Chevrolet Coloradoon pohjautuva ZH2 kykenee tällä hetkellä valmistajan ilmoituksen mukaan noin 110 km/h huippunopeuteen ja 320 kilometrin toimintamatkaan. Ajoneuvossa on myös mahdollisuus käyttää polttokennon tuottamaa energiaa sotilaiden sähkölaitteiden varaamiseen. Polttokennon tuottaman veden jatkokäyttöä juomavedeksi harkitaan myös. Ajoneuvon mahdollisen sarjatuotannon aloittamisesta ei ole tietoa. [180]

3.5. Päästörajoituksista poikkeaminen lainsäädännön kautta

Nykyisin Puolustusvoimien käytössä oleva ajoneuvokalusto suoriutuu sotilaskäytöstä pääsääntöisesti hyvin. 1990–2000-lukujen moottoritekniikka on suorituskykynsä osalta melko pitkälle hiottua, mutta silti käyttövarmaa ja yksinkertaista. Kuitenkin aikaisemmin esitellyt päästöjenhallintaan tarkoitettut auton toiminnan kannalta ei-kriittiset järjestelmät muodostavat sotilaskäytössä kunnossapidollisia haasteita.

Puolustusministeriössä on herätty monimutkaistuvan päästönhallintateknologian tuomiin rajoitteisiin ja tutkimuksen laatimisen aikana on tullut voimaan asetus sotilasajoneuvoista annetun puolustusministeriön asetuksen muuttamisesta. Asetuksen mukaan Puolustusvoimilla on mahdollista hankkia sotilaskäyttöön M₁G- ja N₁G-luokkien ajoneuvoja joiden päästöluokka on EURO 3. [6] Asetuksen sisältö on esitetty liitteessä 2.

Asetusmuutoksesta annetuissa lausunnoissa perustellaan muutoksen tarvetta muun muassa vanhemman moottoriteknologian luotettavalla luonteella, kansainvälisen kriisinhallinnan toimintaympäristön asettamilla erityisillä vaatimuksilla, sekä Puolustusvoimien hallinnoimien ajoneuvojen epätyypillisellä käyttöprofiililla. Lausunnoissa viitataan myös VTT:n laatimaan luottamukselliseen selvitykseen, jossa todetaan Puolustusvoimien kuorma-autokaluston aiheuttavan alle yhden prosentin Suomen kaikista liikenteen aiheuttamista päästöistä. [122]

EURO 3 -luokan ajoneuvojen saatavuudesta tulevaisuudessa ei ole varmuutta. Merkittävä osa eurooppalaisista ajoneuvovalmistajista ei oman ilmoituksensa mukaan valmista enää 2020-luvulle siirtymisen jälkeen pelkän polttomoottorin voimalla liikkuvia kaupallisia ajoneuvoja. Mercedes-Benz valmistaa maastohenkilöautoistaan erillisiä sotilaskäyttömalleja, joita on saatavilla myös EURO 3 -luokiteltuina [126].

Euroopan ulkopuolisista valmistajista ainakin Toyota valmistaa kehittyvien maanosien markkinoille EURO 3 -luokiteltuja ajoneuvoja. Sivuhuomiona todettakoon, että tutkijan havaintojen mukaan näitä ajoneuvoja on ollut suomalaisilla joukoilla sotilaskäytössä: vuonna 2016 EUTM MALI -operaatioon (European Union Training Mission) osallistuneen suomalaisen osaston ajoneuvokalusto koostui lähinnä 3,0-litraisella vapaastihengittävällä 5L-dieselmootorilla varustetuista Toyota Hiluxeista. Tässä yhteydessä ei kuitenkaan voida puhua arktisesta sotilaskäytöstä.

3.6. 2030-luvun maastohenkilöauton käyttövoiman ominaispiirteet

Tässä luvussa hahmotellaan esimerkkejä eri käyttövoimalla toimivien 2030-luvun maastohenkilöautojen tutkimuksen kannalta merkityksellisistä ominaisuuksista: toimintamatkasta ja ajoneuvon energiantäydennysjärjestelyistä. Polttomoottorikäyttöisten ja sähköhybridien osalta tunnusluvut ovat melko helposti johdettavissa tutkimuksen kirjoitushetkellä myynnissä olevien vastaavanlaisten maastohenkilöautojen ominaisuuksista. Koska tutkimuksen kirjoitushetkellä ei ole saatavilla tutkimuksen määritelmän täyttäviä sähkökäyttöisiä maastohenkilöautoja, vaatii 2030-luvun sähkökäyttöisen maastohenkilöauton ominaisuuksien arviointi hieman laskentaa.

Sähköajoneuvon akkupaketin ominaisenergian maksimoimiseksi on akkupaketti suunniteltava mahdollisimman suureksi. Alun perin polttomoottorikäyttöiseksi valmistetun ajoneuvon alustaa ei voida täysimääräisesti hyödyntää sähköisen voimalinjan sijoitteluun, joten suorituskykyinen 2030-luvun sotilaskäyttöön hankittava sähkökäyttöinen maastohenkilöauto on oltava suunniteltu puhtaasti sähköautoksi.

Tutkimuksen kirjoitushetkellä lähtökohtaisesti sähköautoksi suunnitelluista ajoneuvoista voidaan käyttää esimerkkinä Tesla X -katumaasturia, joka painaa 100 kWh akulla varustettuna noin 2 500 kg ja ajoneuvon toimintamatkaksi luvataan noin 560 km [97]. Näin ollen Tesla X:n energiankulutus on noin 180 Wh/km. Valmistaja ei ilmoita akkupaketin painoa, mutta Teslan S -mallissa olevan vastaavankokoisen akun arvioidaan painavan noin 540 kg. X-mallin vetokyky on 2 270 kg [96].

2018-vuosimallin Toyota Hilux 2.8 1 1GD-FTV -moottorilla painaa noin 2 075 kiloa [140]. Hiluxin vetokyky on 3 500 kg [140]. Valmistaja ei ole ilmoittanut kaksimoottorisen Tesla X:n yksittäisen moottorin painoa, mutta moottoreiden arvioidaan olevan samankaltaisia kuin S-mallissa [129], jonka yksittäisen moottorin arvioidaan painavan noin 30–50 kiloa [45; 98; 99]. Hiluxin moottorin painoksi arvioidaan nesteineen noin 270–300 kiloa [150], joten ilman moottoria ja 80 litran vetoista polttoainesäiliötä ajoneuvon paino lieenee 1 700–1 800 kg. Näin ollen, mikäli Hiluxin tyyppinen ajoneuvo suunniteltaisiin nykyistä akkuteknologiaa käyttämällä sähkökäyttöiseksi, ei noin 2 500 kg omamassa noin 500 kiloa painavalla 100 kWh akulla olisi mahdollisuus.

Hiluxista ei ole toistaiseksi olemassa sähkökäyttöistä versiota, mutta saksalainen autopaja Extrem-Fahrzeuge muuttaa Toyotan Land Cruiser -avolavapakettiautoja sähkökäyttöiseksi. Electric Cruiseriksi nimetty ajoneuvo on valmistettu asentamalla 79-sarjan Land Cruiseriin sähkömoottori, 46 kWh akkupaketti sekä sähkömoottoria varten sovitettu vaihteisto. Maastoajon mahdollistamiseksi ajoneuvossa on alennusvaihe, jonka voimahäviöt heikentänevät ajoneuvon energiatehokkuutta. Akkupaketti on sijoitettu ajoneuvon konepellin alle ja koska ajoneuvoa ei ole suunniteltu sähkökäyttöä varten ei polttomoottorin ja polttoainetankin poistamisen jättämisen tilan lisäksi ajoneuvossa ole juuri mahdollisia akkupaketin sijoituspaikkoja. Electric Cruiserin toimintamatkaksi tiellä luvataan 150 km. [152] Näin ollen ajoneuvon energiankulutus on noin 300 Wh/km.

Ajoneuvon rakennetta ei kuitenkaan pysty juuri muuttamaan ilman että muutos vaikuttaa ajoneuvon kykyyn suoriutua sille tarkoitetuista tehtävistä. Newtonin vastuslain mukaan ajoneuvon ilmanvastukseen vaikuttaa ajoneuvon nopeus, ilman tiheys, ilmanvastuskerroin sekä ajoneuvon poikkipinta-ala [101]. Avolavarakenteisen vuosimalli 2018 Hiluxin ilmanvastuskerroin on noin 0,39 ja poikkipinta-ala noin 3,37 m² [151]. Tesla X:n ilmanvastuskerroin on noin 0,24 [143] ja poikkipinta-ala noin 3,81 m² [117]. Hiluxin kokonaisilmanvastus on siis näin ollen noin 1,4-kertainen Teslan X -malliin verrattuna.

Koska korkeamman ilmanvastuksen ja maastoajon mahdollistaman voimalinjan häviöiden voittamiseksi tarvitaan enemmän energiaa, kasvaa ajoneuvon ajon aikainen energiankulutus. Aiemmin mainitun Electric Cruiserin poikkipinta-ala on noin $3,65 \text{ m}^2$ [87], ja vaikka valmistaja ei ilmoita ilmanvastuskerrointa, voidaan sen suhteellisen laatikkomaisella ajoneuvolla olettaa olevan melko korkea. 1GR-FE -moottorilla Land Cruiserin polttoaineen kulutus on noin 22 % korkeampi kuin samalla moottorilla varustetun Hiluxin [87], joten sähkökäyttöisen Hiluxin energiankulutus olisi todennäköisesti vastaavassa suhteessa Electric Cruiserin energiankulutusta pienempi. Tutkimuksessa käytetään yllä esitettyihin perusteluihin nojaten arvioitun 2030-luvun maastohenkilöauton energiankulutuksen arvona 240 Wh/km .

Tutkimuksen perusteella pidetään mahdollisena, että 2030-luvulla on saatavilla sähkökäyttöinen Hiluxia vastaava ajoneuvo, jonka paino on alle $2\,500 \text{ kg}$. Ajoneuvon vetokyky on yli $2\,000 \text{ kg}$. Ajoneuvossa on noin 500 kg painava akku, jonka kokonaisenergiatiheys on 300 Wh/kg , jolloin akun ominaisenergia on 150 kWh . Tällöin ajoneuvon suurin toimintamatka kesäkelissä 240 Wh/km energiankulutuksella täydellä latauksella on noin $600\text{--}650 \text{ km}$. Ajoneuvon akku on mahdollista ladata suurteholaturilla täyteen alle tunnissa, mutta tavallisesta verkkovirrasta ladatessa nopeus ei ole ratkaisevasti suurempi kuin tutkimuksen kirjoitushetkellä: yksivaiheisesta verkkovirrasta 3 kW ja kolmivaiheisesta verkkovirrasta 11 kW .

Tutkimuksen perusteella ei pidetä todennäköisenä tulevat päästömääräykset täyttävän polttomoottorikäyttöisen maastohenkilöauton hankkimista rauhan ajan koulutuskäyttöön 2030-luvulla. Useat valmistajat ovat kertoneet aikomuksista päättää lähivuosina polttomoottorikäyttöisten autojen myynti ja valmistaminen, kuten esimerkiksi Volvo 2019 aikana [168], Jaguar Land Rover 2020 lähtien [169]. Toyota on ilmoittanut, että se ei enää vuoden 2018 jälkeen kehittä henkilöauton dieselmootoreita tai myy dieselkäyttöisiä henkilöautoja Euroopassa [35].

Radikaaleimmissa suunnitelmissa on esillä jo kaikkien polttomoottoriajoneuvojen kielto Euroopan Unionin alueella vuodesta 2030 alkaen [139], mutta tavoitetta ei pidetä realistisena [138]. Näyttäisi kuitenkin siltä, että viimeistään vuoteen 2040 mennessä uusien polttomoottoriajoneuvojen kielto Euroopassa on mahdollista, sillä tähän tavoitteeseen ovat sitoutuneet esimerkiksi Iso-Britannia ja Ranska [13]. Tilannetta voi muuttaa luvussa 3.2 esitellyn ACCT-järjestelmän yleistymisen, mutta toistaiseksi tästä ei ole viitteitä.

Huolimatta polttomoottorikäyttöisten maastohenkilöautojen mahdollisesta myynnin päättymisestä Euroopassa valmistus kuitenkin jatkunee muita markkina-alueita varten. Avolavapaketti-autot ovat suosittuja kehittyvissä maissa sekä huonon tiestön alueilla. Nämä markkina-alueet ovat yleensä Eurooppaa sallivampia liikenteen päästöjen suhteen. Esimerkki segmentin suosiosta on Toyota Hiluxin kärkisija myydyimmän automallin listalla Argentiinassa, Australiassa, Botswanassa, Costa Ricassa, El Salvadorissa, Etelä-Afrikassa, Fijillä, Guatemalassa, Hondurasissa, Kamerunissa, Keniassa, Laosissa, Liberiassa, Malawissa, Mosambikissa, Namibiassa, Nicaraguassa, Paraguayssa, Samoassa, Sudanissa, Tongalla, Ugandassa, Vanuatussa ja Venezuelassa [146].

Näin ollen polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon hankkiminen vaatisi päästörajoituksista poikkeamista ja erityisjärjestelyitä ajoneuvon valmistajan kanssa. Tätä mahdollisuutta on tarkasteltu aiemmin tutkimuksessa. Tällainen ajoneuvo ei eroaisi ominaispiirteiltään tutkimuksen kirjoitushetkellä markkinoilla olevista polttomoottorikäyttöisistä ajoneuvoista.

Tutkimuksen perusteella pidetään mahdollisena, että 2030-luvulla on saatavilla tutkimuksen määritelmän mukaisia maastohenkilöautoja erilaisilla sähköhybridivoimalinjoilla. 2030-luvun pistokehybridi-maastohenkilöauton akku on fyysisiltä mitoiltaan saman kokoinen kuin tutkimuksen kirjoitushetkellä myynnissä olevissa ajoneuvoissa, mutta akkukennojen kasvaneen energiatihedyn johdosta akun kapasiteetti on 20–30 kWh. 2018-vuosimallin Hiluxin kokoisella ja painoisella ajoneuvolla voidaan kesäkelissä ajaa täydellä latauksella noin 80–120 km täyssähköajoa yhdellä latauksella ajettaessa alle 100 km/h nopeudella. Kokonaistoimintamatka ajoneuvolla on noin 800–900 km. Ajoneuvon ajoakun latausaika on riippuvainen käytettävästä latausasemasta. Pikalataus on mahdollista 5–15 minuutissa, mutta verkkovirrasta lataus ei ole merkittävästi nykyhybridejä nopeampi.

Pistokehybridin lisäksi 2030-luvulla on saatavilla maastohenkilöautoja kevythybridivoimalinjalla sekä tavallisena rinnakkaishybridinä ilman erillistä latausmahdollisuutta. Näiden käyttövoimien perusajatuksena on sähkömoottorin toiminta polttomoottorin avustajana. Rinnakkaishybridillä voi olla mahdollista ajaa lyhyitä matkoja pelkällä sähkömoottorilla, mutta kevythybridissä sähkömoottori kykenee ainoastaan avustamaan polttomoottorin ollessa käynnissä. Etu pelkkään polttomoottoriin on silti merkittävä, sillä sähkömoottorilla saadaan lisävääntöä tilanteisiin, joissa polttomoottori ei ole parhaimmillaan, kuten liikkeellelähtöön. Lisäksi hybridiajoneuvon polttoaineen kulutus on polttomoottoriautoa merkittävästi pienempi. Kevythybridin tutkimuksen kriteerien mukainen suorituskyky vastaa polttomoottorisen ajoneuvon suorituskykyä.

Tutkimuksen perusteella ei pidetä todennäköisenä, että 2030-luvulla Pohjois-Euroopassa olisi kaupallisesti saatavilla vetykäyttöisiä maastohenkilöautoja tai että vedyn jakeluverkko Suomessa vielä riittäisi vetykäyttöisten ajoneuvojen sotilaskäyttöön. 2030-luvulla muilla markkina-alueilla mahdollisesti saatavilla olevat vetykäyttöiset ajoneuvot ovat teknisesti suhteellisen samanlaisia kuin tutkimuksen kirjoitushetkellä testikäytössä olevat ajoneuvot, kuten Toyota FCHV-adv ja Chevrolet ZH2. 2030-luvun vetykäyttöisen maastohenkilöauton toimintamatka on noin 600–800 kilometriä ja ajoneuvon vetysäiliön täyttäminen vie muutamia minutteja. Yhteenvedo tutkimuksessa arvioitujen 2030-luvun maastohenkilöautojen ominaispiirteistä on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. 2030-luvun maastohenkilöautojen ominaisuudet käyttövoimittain

Käyttövoima	Ajoneuvon toimintamatka	Energiatäydennystapahtuman kesto	Muuta
Sähkö	650 km	1-vaihevirta: Yli 1 vrk 3-vaihevirta: Yli 12 h Suurnopeuslataus: alle 1 h	Vaatii latausinfrastruktuurin kehittämistä
Sähköhybridi	900 km, josta 120 km täys-sähköajoa	Polttoainekäyttö: alle 10 min Sähkökäyttö: 1-vaihevirta: Noin 10 h 3-vaihevirta: Noin 3 h	Vaatii latausinfrastruktuurin kehittämistä
Kevythybridi	900 km	Alle 10 min	-
EURO 3 -diesel	900 km	Alle 10 min	-
Kaasu	Yli 900 km	Alle 10 min	Vaatii kaasunjakeluverkon kehittämistä
Vety	800 km	Alle 10 min	Vaatii vedynjakeluverkon mittavaa kehittämistä

4. SOTILASKÄYTÖN VAATIMUKSET MAASTOHENKILÖAUTOLLE

4.1. Ajoneuvojen hankkiminen koulutuskäyttöön Puolustusvoimissa

Tutkimuksen kirjoitushetkellä Puolustusvoimille ostetaan rauhan ajan koulutuskäyttöön ajoneuvoja Suomen valtion yhteishankintayhtiö Hansel OY:n kautta. Ajoneuvojen hankinnasta on valmisteltu puitesopimus, jonka liitteenä olevassa hankinnan kohteiden kuvaus ja vaatimukset-asiakirjassa on esitelty eri ajoneuvoluokkiin kohdistuvat vaatimukset. Vaatimukset ajoneuvoille on valmisteltu yhteistoiminnassa Puolustusvoimien Logistiikkalaitoksen alaisen Järjestelmäkeskuksen, Rajavartiolaitoksen, Tullin, Rikosseuraamuslaitoksen ja Poliisihallituksen kanssa [176].

Tutkimuksen kirjoitushetkellä voimassa oleva puitesopimus kattaa vuodet 2017–2019. Sopimuksessa on määritelty kolme tutkimuksessa käytetyn maastohenkilöauton määritelmän täyttävää ajoneuvoluokkaa: *Pick-up autot*, *katumaasturit* sekä *maastoautot*. Ajoneuvoluokkien kirjoitusasut ovat suoria lainauksia sopimuksesta. Tutkimuksessa tarkasteltujen ominaisuuksien osalta sopimuksessa ajoneuvoluokille määritetään taulukossa 3 esitellyt vaatimukset.

Taulukko 3. Puitesopimuksen vaatimukset Puolustusvoimien ajoneuvoluokille

Ajoneuvoluokka	CO ₂ -päästöt enintään (EU-yhdistetty kulutus)	EURO-päästöluokka	Lisävaatimukset
Pick-up autot	270 g/km	Vähintään EURO6	-Sallittu perävaunumassa jarruin 3 200 kg -Dieselmoottori
Katumaasturit	320 g/km	Vähintään EURO6	
Maastoautot	400 g/km	Vähintään EURO6	

Muut vaatimukset kohdistuvat ajoneuvojen luokkiin ja mittoihin. Vaatimus nelivedosta on joko sisällytetty ajoneuvon luokan vaatimukseen tai siitä on katumaasturien tapauksessa mainittu erikseen. Puitesopimuksen otteet saatiin tutkimuksen käyttöön Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen Järjestelmäkeskukselta. Puitesopimuksen liitteen tarkka sisältö käsiteltyjen ajoneuvoluokkien kuvausten osalta on esitetty liitteessä 3.

4.2. Arktisen toimintaympäristön vaikutus ajoneuvon käyttöön

Tutkimuksessa tarkasteltu alue ei varsinaisesti kuulu Köppenin luokittelun mukaiseen arktiseen ilmastoon, vaan pikemminkin subarktiseen ilmastovyöhykkeeseen [21; 119]. Luonnontieteellinen jaottelu ei tutkimuksen kannalta kuitenkaan ole tarkoituksenmukainen, sillä tutkimuksessa tarkasteltuja ajoneuvoja käytetään pääsääntöisesti tiestöllä, eikä alueen maastolla ole ajoneuvojen käytön kannalta merkitystä. Näin ollen maantieteellinen, pohjoiseen napapiiriin perustuva, luokittelu on tutkimuksen kannalta riittävä [12].

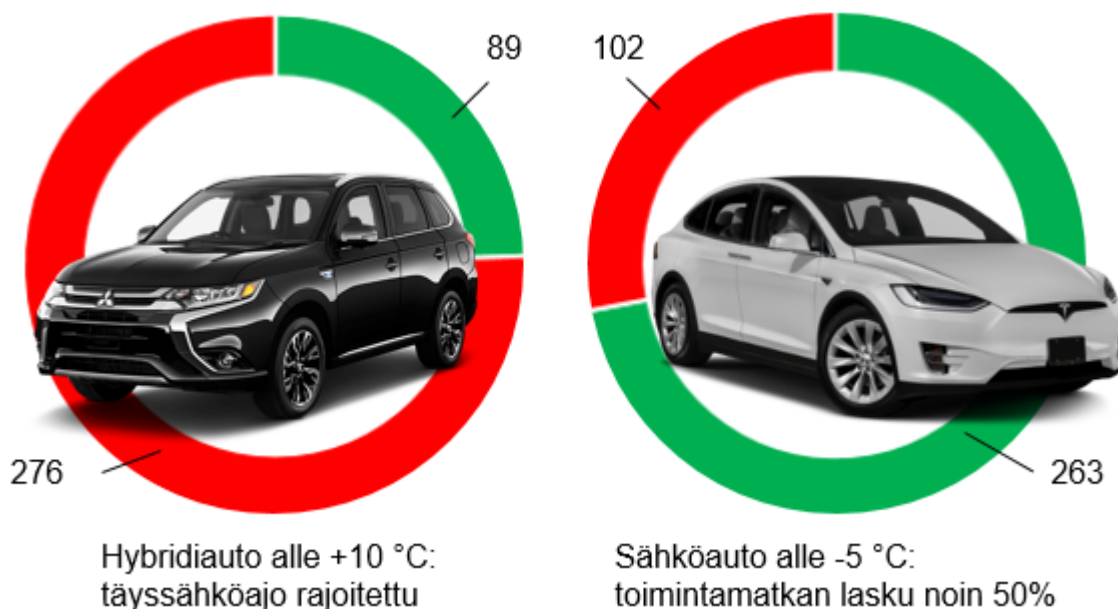
Arktisella alueella ajoneuvojen käyttöön vaikuttavat esimerkiksi tiestön laajuus, laatu ja kunto sekä lumipeite. Koska tutkimuksen näkökulma on rajattu käsittelemään ajoneuvon käyttövoiman soveltuvuutta, on muuhun Suomeen verrattuna suurin merkitys ilman lämpötilalla. Erityisen kylmällä tai erityisen lämpimällä kelillä osa ajoneuvon energiasta joudutaan käyttämään joko ohjaamon lämmitykseen tai sen viilennykseen [178].

Polttomoottorikäyttöisellä ajoneuvolla etenkin kylmä keli ei aiheuta merkittäviä haittoja, sillä polttomoottori tuottaa joka tapauksessa toimiessaan ylimääräistä lämpöä, jota voidaan käyttää ohjaamon lämmitykseen. Sähkömoottorin voimalla ajettaessa ohjaamo sen sijaan joudutaan lämmittämään käyttämällä ajoneuvon akusta saatavaa energiaa. Sama koskee sekä sähköautoa että sähköhybridiä ajettaessa pelkällä sähköllä. Lisäksi kylmä akku ei ota virtaa vastaan, joten akun varaaminen esimerkiksi jarrutusenergian talteenotolla mahdollistuu vasta akun lämmentyessä ajossa [29]. Tämä lyhentää sähköauton toimintamatkaa entisestään.

Saksassa sähköautojen käyttöä talviolosuhteissa on tutkittu ja testattu viime vuosina usein. Dekra-tutkimuslaitoksen vuonna 2012 suorittamien tutkimusten mukaan mukaan sähköauton ajomatka laskee -5°C lämpötilassa hieman alle puoleen alkuperäisestä [128]. ADAC-autokerhon testien mukaan toimintamatkan heikkeneminen on hitaissa nopeuksissa suurempaa: siinä missä 0°C lämpötilassa 50 km/h nopeudella ajettaessa päästään noin 67 % ajoneuvon toimintamatkasta 20 celsiusasteessa, on 30 km/h keskinopeudella toimintamatka vain 49 % [28]. AutoBild -lehden suorittamien testien mukaan talvella suoritetussa käyttötestissä päästiin viidellä eri sähköautolla ilmoitettuun ajomatkaan nähden noin 35–41 % tulokseen [127; 161]. Toimintamatkan lasku selittynee osin akun toiminnan rajoitteista kylmässä säässä [158], mutta laskutoimitusten yksinkertaistamiseksi tutkimuksessa käytetään jatkossa arviota, jonka mukaan -5°C lämpötila kaksinkertaistaa ajoneuvon kesäkelissä mitatun energiankulutuksen. Arvio perustuu ylempänä mainittujen tutkimusten lisäksi ajoneuvojen sotilaskäytön tyypilliseen luonteeseen, jossa ajomatkat ovat lyhyitä ja ne ajetaan pääsääntöisesti hitailla nopeuksilla.

Hybridiauton käytölle viileillä keleillä on ajomatkan lyhentymisen lisäksi muitakin rajoitteita. Sähköhybridien ohjausjärjestelmä käynnistää kylmällä kelillä myös polttomoottorin liikkeellelähdon yhteydessä. Ohjaamon lämmittämisen lisäksi toiminnon tarkoituksena on lämmittää polttomoottori ajokuntoiseksi siltä varalta, että ajotapahtuman yhteydessä polttomoottorin käyttöä vaaditaan [32]. Ajoneuvon käyttäjät ovat havainneet bensiinimoottorin käynnistyvän jo alle 10°C lämpötiloissa [113]. Rajoite on ohjelmistollinen ja sen poisto lienee mahdollista, mutta ajoneuvon valmistajien halu tähän on kyseenalainen. Kylmät alueet ovat maailmanlaajuisesti pieni markkina-alue, eikä ajoneuvon moottorin rikkoutumista haluta riskeerata tilanteessa, jossa kylmän polttomoottorin tehoa tarvitaan esimerkiksi kiihdytyksen yhteydessä. Hybridiajoneuvon kylmäkäytön rajoite ei välttämättä ole yhtä merkittävä sarjahybridissä, sillä polttomoottorin käyttäessä ainoastaan generaattoria ei rasiutus muodostune yhtä kovaksi, kuin vaikka rinnakkais-hybridillä kovassa kiihdytystilanteessa.

Sodankylän keskustasta noin 5 kilometriä etelään sijaitsevan Tähtelän havaintoasemalla kerättyjen säätietojen mukaan kuukausittaiset keskilämpötilat tarkastelujaksolla 2010–2017 ovat tammikuun -13,7 celsiusasteen ja heinäkuun 15,4 celsiusasteen välillä. Taulukko aikavälin kuukausittaisista keskilämpötiloista on esitetty liitteessä 4. Tarkastelujaksolla sähköautolle ratkaisevaa -5°C ja sähköhybridille ratkaisevaa 10°C päivittäisen lämpötilan keskimääräistä alittumista vuodessa havainnollistetaan alla olevassa kuvassa 21.



Kuva 21. Sähköauton ja sähköhybridin lämpötilaan liittyvät käytön rajoitteet Sodankylän ilmastossa

Tarkastellut rajoitteet eivät ole keskenään vertailukelpoisia, sillä sähköhybridi on myös kylmässä kelissä käytettävissä polttomoottorikäytöllä. Rajoitukset ilmenevät täyssähköajon onnistumattomuutena ja tätä kautta polttoaineenkulutuksen nousuna. Myös tällöin ajoneuvon toimintamatka lyhenee, mutta lasku ei ole yhtä merkittävä kuin sähköautolla.

Jotta kaasukäyttöinen ajoneuvo saavuttaisi kylmässä kelissä riittävän moottorin käyntilämpötilan, käytetään ajotapahtuman alussa polttoaineena bensiiniä. Vasta moottorin lämmitettyä ajoneuvo siirtyy kaasukäytölle. Näin ollen kaasuauton käyttö kylmässä lisää ajoneuvon bensiinin kulutusta. Kylmässä säässä ajoneuvon kaasun sisältämät pienet voiteluainepitoisuudet jäähmettyvät, mikä voi aiheuttaa kaasujärjestelmän toimintahäiriöitä. [179]

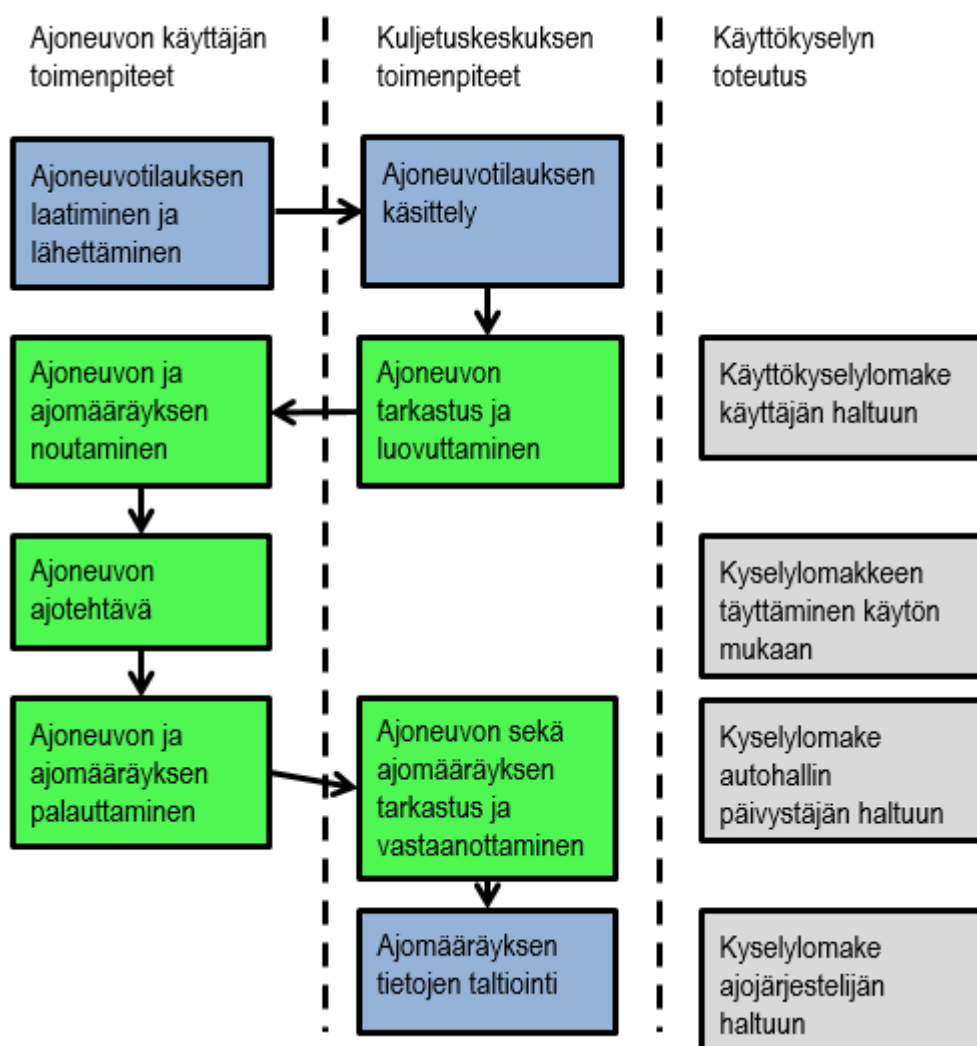
Toyotan ilmoituksen mukaan kylmällä säällä ei ole vaikutuksia sen polttokennoajoneuvojen toimintaan. Aihetta ei ole laajemmin testattu, mutta yksittäisten kokeilujen perusteella ei ole syytä epäillä väitteen paikkansapitävyyttä. [23; 63]

4.3. Jääkäriprikaatissa suoritettun osatutkimuksen järjestelyt

Tutkimuksen osana suoritettiin Jääkäriprikaatissa ajoneuvojen käyttöä kartoittava kysely vuosina 2017 ja 2018. Kyselyn tavoite oli tuottaa käsitys maastohenkilöauton tyypillisestä käytöstä rauhan ajan sotilaskäytössä.

Jääkäriprikaati on Maavoimien joukko-osasto, joka toimii Lapissa kahdella paikkakunnalla. Rovaniemellä sijaitseva Rovaniemen ilmatorjuntapatteristo kouluttaa valtakunnallisia ilmatorjuntajoukkoja, kun taas Sodankylässä sijaitseva Lapin jääkäripataljoona kouluttaa alueellisia joukkoja sekä Rajavartiolaitoksen joukkoja. Sodankylän varuskunnassa toimii Lapin jääkäripataljoonan lisäksi Jääkäriprikaatin esikunta ja toimintoja muun muassa Puolustushallinnon rakennuslaitoksesta, Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkeskuksesta sekä Sotilaslääketieteen keskuksesta. [69] Jääkäriprikaatista osatutkimukseen osallistui Sodankylän varuskunnan henkilöstöä.

Tyypillinen maastohenkilöauton käyttötapahtuma on prosessi, joka on jaettavissa neljään eri vaiheeseen: ajoneuvotilauksen laatiminen, ajoneuvon käyttöönotto, ajoneuvon käyttö ajotehtävässä ja ajoneuvon palautus. Ajoneuvojen käyttö Jääkäriprikaatissa on kuvattu normissa HK1114 Jääkäriprikaatin kuljetuspalveluohje [68]. Tutkimuksessa esitetty käyttötapahtuman kuvaus perustuu tähän normiin sekä tutkijan omaan kokemukseen. Koska käyttökyselyllä pyrittiin selvittämään ajoneuvon varsinaista käyttöä ajotehtävässä, katsottiin käyttökyselyn toteutuksen olevan hyvin sidottavissa ajoneuvon koko käyttötapahtumaan. Maastohenkilöauton käyttötapahtuma ja kyselyn toteutus on esitetty seuraavalla sivulla kuvassa 22.



Kuva 22. Ajoneuvon käyttötapahtuman prosessi

Kaaviossa on esitetty sinisellä värillä tietojärjestelmissä tapahtuva toiminta ja vihreällä värillä fyysisen maailman toiminta. Ensimmäisessä vaiheessa ajoneuvon käyttäjä, esimerkiksi perusyksikön varapäällikkö, laatii ajoneuvosta ajoneuvotilauksen käyttäen Kulti-tietojärjestelmää. Ajoneuvon käyttäjä määrittelee tilauksessa vaaditun ajoneuvotyypin, ajotehtävän ajallisen sekä matkallisen pituuden, ajoneuvoa kuljettavat henkilöt ja paikan, josta ajoneuvo otetaan käyttöön. Sodankylän varuskunnan tapauksessa ajoneuvo otetaan tyypillisesti ajoon varuskunnassa toimivasta Kuljetuskeskus 1:stä. Kuljetuskeskus 1:n henkilökuntaan kuuluva ajojärjestelijä käsittelee saapuneen ajoneuvotilauksen omalla työasemallaan. Ajojärjestelijä määrittää käytettävän ajoneuvon sekä tulostaa Puolustusvoimien määräysten mukaisen ajomääräyksen ajotehtävää varten. Ajomääräys toimitetaan autohallin varusmiespäivystäjille.

Seuraava vaihe ajoneuvon käyttötapahtumassa on ajoneuvon noutaminen kuljetuskeskuksen autohallilta. Ajoneuvon käyttäjä, tai hänen määrittämänsä henkilö, siirtyy autohallin päivystäjän työpisteelle ja saa ajoneuvon käyttäjän nimen ilmoittamalla haltuunsa tilatun ajoneuvon ajomääräyksen. Yksi autohallin päivystäjistä lähtee ajoneuvon käyttäjän mukaan tarkastamaan ajoneuvoa joko autohalliin tai ulkotiloissa olevalle ajoneuvokentälle riippuen siitä, mikä kyseisen ajoneuvon säilytyspaikka on. Yhteistoiminnassa autohallin päivystäjän kanssa ajoneuvon käyttäjä suorittaa ajoneuvolle ajoonlähtötarkastuksen, jossa ajoneuvosta tarkistetaan ja todetaan muun muassa hallintalaitteiden ja valojen toiminta, voiteluaineiden ja muiden nesteiden määrä sekä ajoneuvossa mahdollisesti jo valmiiksi olevat vauriot, kuten maalipinnan vauriot. Tarkastuksen yhteydessä hallipäivystäjä täyttää ajoneuvon tarkastuslomakkeen, joka arkistoidaan autohallille ajotehtävän ajaksi.

Kolmas vaihe on ajoneuvon varsinainen käyttö ajotehtävässä, joka voi olla käyttöä päivittäiskoulutuksessa, sotaharjoituksessa, operatiivisissa tehtävissä (kuten virka-apu), varuskunnallisissa ajotehtävissä tai virkamatkaan liittyvässä siirtymisessä. Ajoneuvon käyttö sotilaskäytössä on tyypillisesti henkilöstön ja materiaalin siirtämistä. Erityisesti sotaharjoituskäytössä ajoneuvoa saatetaan myös käyttää pienten materiaalmäärien tilapäiseen varastointiin ja erilaisten elektronisten laitteiden, kuten kenttäradioiden, päätelaitteiden ja matkapuhelinten virtalähdemuutokseen. Tarkempi analyysi tyypillisestä ajoneuvon sotilaskäytöstä on esitetty seuraavissa alaluvuissa.

Neljäs vaihe ajotehtävässä on ajoneuvon palauttaminen autohallille käytön jälkeen. Jääkäriprikaatin sisäisen ohjeistuksen mukaan ajoneuvon palauttajan tulisi olla sama henkilö, joka ajoneuvon on alun perin noutanut ajoon autohallilta. Palautuksen valmistelut aloitetaan yleensä jo käytön loppupuolella siivoamalla ajoneuvon sisätiloista roskat ja muu käyttäjän materiaali. Jääkäriprikaatin toimintamallin mukaisesti maastohenkilöauton palauttamiseen liittyvä ajoneuvon pesu suoritetaan Sodankylän kirkonkylässä sijaitsevalla yksityisellä huoltoasemalla pesuautomaatissa. Ennen palautusta käyttäjän velvollisuuksiin kuuluu vielä ajoneuvon polttoaineen täydentäminen. Mikäli polttoainetäydennys tehdään Sodankylän varuskunnan omalla polttoainemasemalla käyttäen ajoneuvokohtaista tunnistetta, rekisteröity käyttetty polttoainemäärä automaattisesti tietojärjestelmään. Mikäli jostain syystä käyttäjä täydentää ajoneuvon polttoaineen yksityiseltä huoltoasemalta käyttäen henkilökohtaista maksuaikakorttiaan kirjaa käyttäjä tiedot ajomääräykseen, josta ajojärjestelijä kirjaa tiedot järjestelmään manuaalisesti.

Palautuksen yhteydessä autohallin päivystäjä suorittaa ajoneuvolle tarkastuksen yhteistoiminnassa ajoneuvon käyttäjän kanssa. Tarkastuksessa todetaan mahdolliset ajoneuvolle ajotehtävän aikana syntyneet vauriot verraten ajoneuvon vaurioita ajoneuvon noutamisen yhteydessä täytettyyn lomakkeeseen. Samalla tarkistetaan ajoneuvon siisteys ja polttoainetilanne.

Osatutkimuksella pyrittiin selvittämään tyypillisestä ajotehtävästä seuraavat tiedot: päivittäinen ajomatka, päivittäinen ajoneuvon pisin yhtäjaksoinen lepoaika sekä päivittäisen ajon aikana suurin ajoneuvolla kuljetettu arvioitu kuorma ajoneuvon kuljettaja mukaan luettuna. Tietojen keräämistä varten suunniteltiin yksisivuinen kyselylomake. Esimerkki tutkimuksessa vastaanotetusta lomakkeesta on esitetty liitteessä 5. Kyselylomakkeessa mahdollistettiin päivittäisen ajomatkan ilmoittaminen tarkan arvon lisäksi arvioituna matkana, jotta kynnys lomakkeen täyttämiseen olisi mahdollisimman pieni. Samasta syystä lomake pyrittiin muutenkin muotoilemaan yksinkertaiseksi täyttää, sillä tutkijan havaintojen mukaan sotilaat jättivät mielellään tekemättä ylimääräiset aikaa vievät kirjalliset tehtävät, mikäli ei ole aivan pakko.

Tyhjiä lomakkeita toimitettiin runsaasti Kuljetuskeskus 1:n autohallin päivystäjille. Osatutkimuksessa keskityttiin seuraamaan käyttöä, joka kohdistuu Sodankylän varuskunnan kolmeen käytössä olevaan maastohenkilöautomalliin: Toyota Hiluxiin, Toyota Land Cruiseriin ja Land Rover Defenderiin. Näin ollen autohallin varusmiespäivystäjille annettiin ohjeeksi jakaa ajomääräyksen mukana kyselylomake jokaiselle edellä mainitun ajoneuvon käyttäjälle ajoneuvon noutamisen yhteydessä. Ajoneuvojen käyttäjät palauttivat täytetyt lomakkeet ajotehtävän jälkeen ajomääräyksen mukana hallipäivystäjille, josta ajojärjestelijä kävi aika ajoin keräämässä täytetyt lomakkeet.

Osatutkimus oli aktiivisena 1.10.2017–28.2.2018, joten otanta kattaa lumipeitteisen vuodenajan erikois-, joukko- ja peruskoulutuskaudet. Osatutkimuksen käynnistämisen yhteydessä Sodankylän varuskunnan henkilöstölle lähetettiin sähköpostisanoma, jossa kerrottiin tutkimuksesta ja sen tavoitteista, ohjeistettiin lomakkeen täyttäminen sekä motivoitiin tutkimukseen osallistumiseen. Motivointi toteutettiin lupaamalla arpoa osallistuneiden kesken nestemäinen palkinto, mikä osoittautui jälkikäteen toimivaksi ratkaisuksi, sillä kaikki kyselyn aiheuttamat tutkijalle suunnatut yhteydenotot olivat luonteeltaan positiivisia ja sivusivat palkintoarvontaa. Tutkimuksen päätyttyä tutkimukseen osallistuneille lähetettiin sähköpostisanoma, jossa esitettiin kiitokset osallistumisesta sekä käsiteltiin keskeisiä havaintoja. Tutkimukseen liittyvä tiedottaminen on esitetty liitteessä 6.

4.4. Käyttökyselyn tulosten analyysi

Kyselytutkimuksessa palautettiin kaikkiaan 24 lomaketta. Ajoista 18 oli ajettu Toyota Hiluxilla, 5 Toyota Land Cruiserilla ja 1 Volkswagen Transporterilla. Transporterilla ajettua ajotehtävää ei huomioitu käyttökyselyn tulosten analyysissä. Tutkimuksessa huomioidut lomakkeet kattoivat kaikkiaan 90 ajopäivää. Koko otannan joukossa oli muutamia lomakkeita, joihin oli merkitty osa tiedoista puutteellisesti, mutta kaikki lomakkeet kyettiin yksilöimään Kultista saatujen tietojen perusteella. Kyselylomakkeet ovat tutkijan hallussa.

Koko tarkastellulla aikavälillä kuljetuskeskus 1 kirjoitti yhteensä 411 toteutunutta ajomääräystä tutkituille ajoneuvoille, joten palautuneiden lomakkeiden edustus on 5,6 % kaikista maastohenkilöautojen ajotehtävistä. Ensimmäinen lomakkeessa ilmoitettu ajotapahtuma on alkanut 2.10.2017 ja viimeinen päättynyt 3.1.2018. Syy lomakkeiden puuttumiseen käyttökyselyn loppupuolen ajalta ei ole tiedossa. Fyysisten lomakkeiden täyttöä vaativan tutkimuksen toteutumisen seuranta on haasteellista, mikäli vastaavalla tutkijalla ei ole mahdollisuutta itse oleilla suorituspaiikkakunnalla tutkimuksen aikana. 2.10.2017–3.1.2018 toteutuneita ajotehtäviä oli 244 kappaletta, joten kyselyssä palautuneiden lomakkeiden edustus on silti vain noin 9,5 % kyseisellä ajanjaksolla toteutuneista ajoista.

Matala aktiivisuus kyselyyn vastaamiseen ei ollut varsinaisesti yllätyksellistä. Kyselylomake oli ymmärretty pääsääntöisesti tutkijan tarkoittamalla tavalla. Vaihtelevia käytäntöjä esiintyi ajoneuvon lepoajan merkintätavassa. Lepoajan merkitsemiseen tarkoitettu kenttä olisi voinut olla selkeämpi.

Käyttökyselyn yhteydessä täytettyjen lomakkeiden tiedot koottiin Excel-taulukkoon. Lomakkeet arkistoitiin tutkijan haltuun ja jokaiselle lomakkeelle annettiin yksilöllinen diaarionumero. Tietojen analyysiä varten koostettu Excel-taulukko mahdollistaa ajopäivien luokittelun ryhmiin ajomatkan, kuorman ja ajoneuvon lepoajan perusteella. Lisäksi taulukosta ilmenee ajomatkarhymissä olevien arvioitujen tietojen osuus.

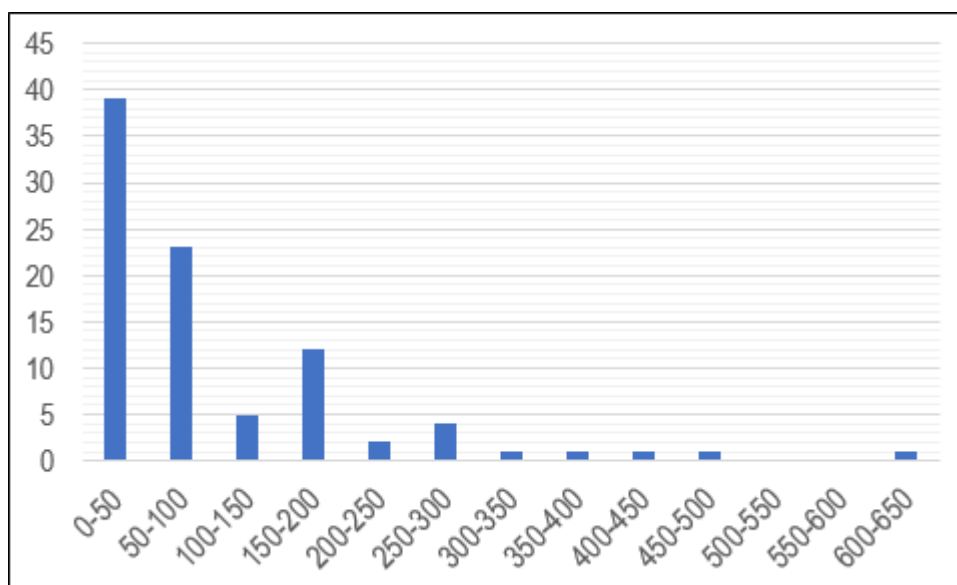
Tuloksista erottui kolme selkeästi erilaista ajoneuvon käyttötapaa: päivittäiskoulutus kasarmiolosuhteissa, sotaharjoitukset ja muu toiminta. Muu toiminta sisältää esimerkiksi operatiivisen maastontiedustelun ja kilpailutapahtumat. Käyttötapauksien laatu on varmistettu Kultista vertaamalla käyttökyselyn lomaketta vastaavan ajotehtävän ajomääräykseen merkittyyn ajon tarkoitukseen.

Päivittäiskoulutuksessa päivittäiset ajomatkat ovat lyhyitä (noin 20–60 km) ja ajoneuvon lepoajat pitkiä (noin 12–14 h). Päivittäiskoulutuksessa perävaunun vetäminen ajoneuvolla ei ole tyypillistä. Varsinaisen ajon lisäksi on mahdollista, että autoa käytetään tyhjäkäynnillä paikallaan kouluttajahenkilökunnan taukotilana. Lämmittelykäytön todellista määrää ei pyritty selvittämään tutkimuksessa, sillä koska yli 2 minuutin kestoinen tyhjäkäynti on Suomessa lainvastaista [5], ei ollut odotettavissa, että tutkimukseen osallistujat vastaisivat totuudenmukaisesti ja näin ollen kriminalisoisivat itsensä.

Sotaharjoituskäytössä päivittäiset ajomatkat ovat vastaavia tai hieman pidempiä kuin päivittäiskoulutuksessa, mutta pääsääntöisesti alle 100 km. Poikkeuksen muodostavat lähiharjoitusalueiden ulkopuolella, kuten Rovajärvellä, järjestettävät harjoitukset, joissa ensimmäisen ja viimeisen harjoituspäivän ajomatkat muodostuvat pitemmiksi. Ampumarjoituksissa ajoneuvolla voidaan vetää maalilaitteperävaunua. Ajoneuvon yhtenäiset lepoajat sotaharjoituskäytössä jäävät lyhemmiksi kuin päivittäiskoulutuksessa, mikä johtuu sotaharjoitusten ympärivuorokautisesta luonteesta. Tyypillinen ajoneuvon lepoaika sotaharjoituksessa on 7–9 h.

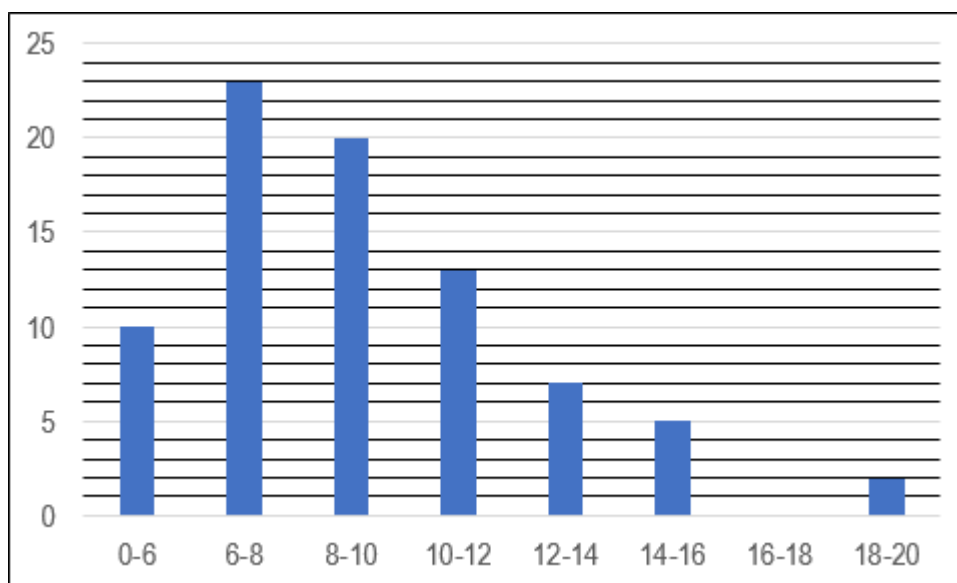
Muista käyttötapauksista ajoneuvon käyttö operatiivisessa maastontiedustelussa muodostaa selkeimmän yksittäisen alaryhmän. Lapin alueella maastohenkilöauton käyttäminen operatiiviseen maastontiedusteluun on yleistä, sillä sulan maan aikana tiestön kunto ja talvella lumitalanne edellyttää nelivetoisen korkealla maavaralla varustetun ajoneuvon käyttöä. Operatiivisessa maastontiedustelussa ajoneuvolla ajettut päivittäiset ajomatkat ovat pitkiä, yleensä satoja kilometrejä. Maastontiedustelukäytössä on tyypillistä, että ainakin osana ajopäivistä ajoneuvolla vedetään perävaunua, jossa on maastoskooteri tai moottorikelkka.

Ajoneuvon käyttötapauksista selkeimmin kertoo yksittäisten ajopäivien tunnusluvut. Suurin käyttäjän ilmoittama yksittäisenä ajopäivän ajettu matka oli 620 km ja pienin 5 km. Suurin käyttäjän ilmoittama kuorma oli 450 kg ja pienin ilmoitettu kuorma 40 kg. Käytännöt kuormien ilmoittamisessa vaihtelivat ja oli ilmeistä ettei kaikkiin merkintöihin oltu laskettu kuljettajaa mukaan. Pisin käyttäjän ilmoittama yhtäjaksoinen lepoaika oli 20 h ja lyhin 5 h. Lomakkeisiin kirjattuihin kuormiin ei ollut laskettu mukaan perävaunun massaa. Keskimääräinen ajomatka oli 110 km, keskimääräinen kuorma 180 kg ja keskimääräinen lepoaika 9 h 45 min. Päivittäisten ajomatkojen pituuksien jakautuminen 50 km porrastuksella on esitetty seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 23.



Kuva 23. Ajopäivien lukumäärä luokiteltuna 50 km porrastuksella

Tutkimuksessa esille tulleista yksittäisten ajopäivien kokonaisajomatkoista pääosa on alle 100 km suuruisia. 0–50 kilometrin pituiset ajomatkat muodostivat suurimman yksittäisen ryhmän kaikista päivittäisistä ajomatkoista. Nämä ajomatkat olivat tyypillisiä päivittäiskoulutuksessa ja sotaharjoitusten aikana. Yli 300 km mittaiset päivittäiset ajomatkat liittyivät joko operatiiviseen maastontiedusteluun tai hyvin kaukana toteutettuun sotaharjoitukseen. Alle 8 tunnin päivittäiset ajoneuvon lepoajat liittyivät sotaharjoitustoimintaan. Virkamatkaperusteisissa maastontiedustelutapahtumissa lepoajat olivat pidempiä. Yli 12 tunnin lepoajat olivat tyypillisiä päivittäiskoulutuksessa, jossa ajoneuvoja käytetään pääsääntöisesti virka-aikana. Päivittäisten pisinten yhtäjaksoisten lepoaikojen jakautuminen on esitetty kuvassa 24.



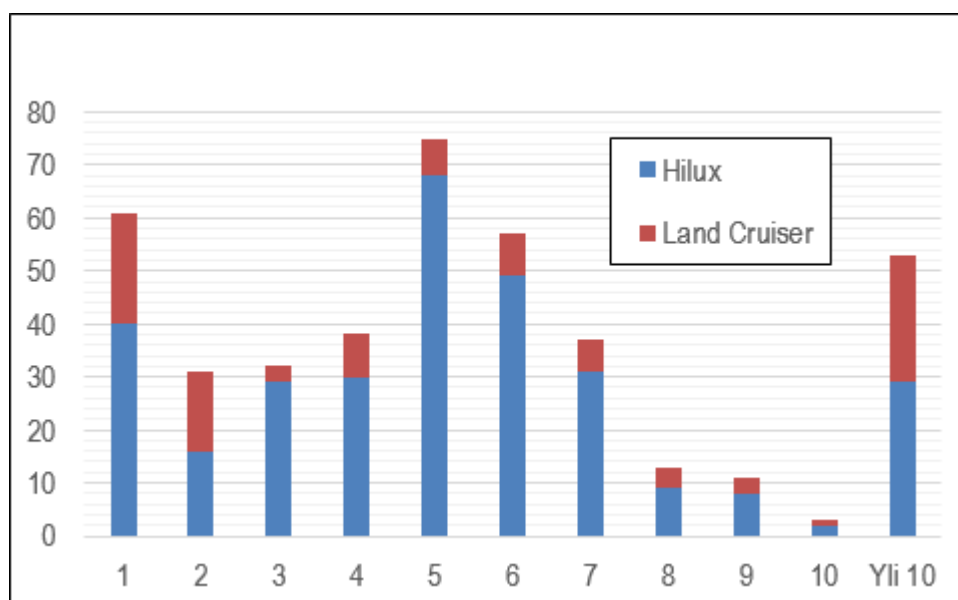
Kuva 24. Päivittäiset lepoajat

4.5. Tietojärjestelmähaun tulosten analyysi

Tutkimuksen tietojärjestelmähaussa kuljetusalan tietojärjestelmä Kultista poimittiin kaikkien tarkasteluajavälillä Jääkäriprikaatissa Kuljetuskeskus 1:ssä Toyota Hiluxeille ja Toyota Land Cruisereille laadittujen ajomääräysten tiedot. Jääkäriprikaatin Kuljetuskeskus 1 oli luopunut jo ennen tutkimuksen aloitusta Land Rover Defenderien käytöstä, mistä tutkija ei ollut aiemmin tietoinen. Tietojen poimimisessa tutkijaa tuki tutkimuksen toinen ohjaaja, Jääkäriprikaatin kuljetustoimialan johtaja. Aineistosta poistettiin perutut ajomääräykset.

Ennen tiedon siirtämistä tutkijan käyttöön aineistosta poistettiin ajotehtävien ajoreitit, jotta aineiston suojaustaso ei nousisi mahdollisten operatiiviseen ajoon liittyvien ajomääräyksiä johdosta. Näin aineiston suojaustaso saatiin rajoitettua suojaustasoon IV (Käyttö rajoitettu). Tässä tutkimuksessa esitellään aineistosta vain valikoituja osia, jotka tutkija on luokitellut julkiseksi. Suojaustasoon IV muokattu aineisto on tutkijan hallussa.

Tutkimuksen tarkasteluvälillä Hiluxeille laadittiin 311 ja Land Cruisereille 100 ajomääräystä. Ajomääräysten keskimääräinen pituus Hiluxeilla oli 10,0 päivää ja Land Cruisereilla 3,2 päivää. Ajomääräyksiä, joihin oli liitetty perävaunu, oli Hiluxeilla 14 ja Land Cruisereilla 8 kappaletta. Ajomääräysten pituuksien jakautuminen yhden päivän porrastuksella on esitetty alla olevassa kuvassa 25.



Kuva 25. Ajomääräysten pituudet

Erot ajomääräyksien pituuksien välillä eri ajoneuvoilla selittyvät osin Jääkäriprikaatin organisaatiokulttuurista, jossa Land Cruiserit ovat pääsääntöisesti joukko-osaston esikunnan, joukkoyksikön esikunnan ja huoltokeskuksen käytössä. Tästä johtuen Land Cruisereille kirjoitetaan paljon sekä muutaman päivän että koko kuukauden mittaisia ajomääräyksiä. Hiluxit ovat pääsääntöisesti kouluttajien käytössä ja näin ollen niille kirjoitettujen ajomääräysten pituus noudattelee varusmiesten koulutusrytmiä.

Yli arkiviikon mittaisten ajomääräysten suuri osuus Hilux-kalustolla selittyy osittain Jääkäriprikaatissa 2016–2017 toteutetulla palvelusjaksottelukokeilulla ”10+4”, jossa pyrittiin rytmittämään varusmiesten palvelus 10 palveluspäivän ja 4 vapaapäivän jaksoihin. Kokeilu päätettiin vuoden 2017 lopussa ja tammikuusta 2018 alkaen palattiin jälleen viiden palveluspäivän ja kahden vapaapäivän jaksotteluun. Vuoden 2018 tammi- ja helmikuussa ajettujen ajomääräysten keskimääräinen pituus Hiluxeilla oli 6 päivää, jota nostaa talvisodankäynnin peruskurssille varatut ajoneuvot (4 kpl, pituus 17 päivää) sekä sotilaspoliisikäytössä olleet Hiluxit (ajomääräyksen kokonaispituus yksi kalenterikuukausi). Ilman edellä mainittuja ajotehtäviä alkuvuoden 2018 ajomääräysten keskimääräinen pituus oli 5 vuorokautta.

Kultin ajopalautte-toiminnolla on mahdollista tarkastella suoritettujen ajotapahtuman tietoja, jotka perustuvat täytettyyn ajomääräykseen ja ajoneuvolle mahdollisesti suoritettuihin polttoainetäydennyksiin. Tutkimuksen kannalta merkittävä tieto ajopalautteessa oli ajoneuvolla ajomääräyksen voimassaoloaikana ajettu kokonaismatka. Ajopalautteen kokonaismatka muodostuu kyseisen ajotehtävän ajomääräykseen merkittyjen lähtökilometrien ja loppukilometrien erotuksesta. Matkamittarilukeman ajotehtävän päättyessä ilmoittaa ajoneuvon käyttäjä. Ajoneuvon lähtökilometrit tulostuvat ajomääräykseen automaattisesti. Lähtökilometrien tieto haetaan järjestelmästä ajoneuvon edellisen ajomääräyksen päättölukemasta. Mikäli käyttäjä havaitsee lähtölukeman virheelliseksi ajoonlähtötarkastuksen yhteydessä on käyttäjällä ohjeistus korjata lukema todelliseksi. Tutkijan havaintojen mukaan lähtökilometrien korjaaminen on kuitenkin harvinaista.

Tutkimuksessa palautui 9 lomaketta, joissa ajomatka oli ilmoitettu tarkaksi (ajoneuvon matkamittarista varmistetuksi). Huolelliseksi tunnettujen virkamiesten tarkaksi ilmoittamia ajomatkoja voidaan pitää varmennettuna tietona. Kaikkien näissä lomakkeissa käsiteltyjen ajotapahtumien tietojen nouto Kultti-järjestelmästä onnistui joko lomakkeen merkityn rekisteritunnuksen, aikavälin, kuljettajan tai näiden yhdistelmien perusteella. Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon 4 on listattu lomakkeissa ilmoitettu kokonaismatka, Kultin ajopalautteesta saatu tieto sekä lukemien absoluuttinen ja suhteellinen ero.

Taulukko 4. Kultin ajopalautteen ajomatkan ja todellisen ajomatkan ero

Diaario-nro	24	20	17	15	12	11	5	4	2
Lomake, km	260	562	297	246	224	900	1075	868	920
Kulti, km	272	717	298	200	227	903	1097	806	925
Ero, km	12	155	1	-46	3	3	22	-62	5
Ero, %	5 %	28 %	0 %	-19 %	1 %	0 %	2 %	-7 %	1 %

Virhe Kultin ajopalautteessa ei ole systemaattinen. Yksi mahdollinen virheen aiheuttaja on tilanne, jossa ajoneuvolla ajetaan esimerkiksi kunnossapitoon liittyviä ajoja ajomääräysten välissä ja uusi käyttäjä ei korjaa ajomääräykseen lähtölukemaa. Virhe voi mahdollisesti syntyä myös tilanteessa, jossa ajomääräys tulostetaan huomattavan ajoissa ajotehtävään nähden ja ajoneuvolla ajetaan toinen ajotehtävä ajomääräyksen tulostamisen jälkeen. Virheen syntymekanismista huolimatta johtopäätös on, että Kultin ajopalaute-toiminnolla haettu kokonaisajomatka ei ole riittävän tarkka ajoneuvon käytön arviointiin sotatieteellisen tutkimuksen tarpeisiin.

4.6. Yhteenveto sotilaskäytön vaatimuksista ajoneuvon käyttövoimalle

Maastohenkilöautolle tyypillistä sotaharjoitusikäytössä on viiden vuorokauden mittainen ajotehtävä, jossa ensimmäisen sekä viimeisen päivän ajomatka on 150–250 km ja muu päivittäinen ajomatka 100 km tai alle. Ajoneuvon on suoriuduttava tämänlaisesta ajotehtävästä siten että ajoneuvon käyttövoiman energiatäydennykseen on päivittäin aikaa 6 h.

Jääkäriprikaatissa maastoajoneuvojen kuljetukseen käytettyjen jarrullisten perävaunujen omassa on 750 kg [147] ja sotilaskäytössä tyypillisen maastoskootterin paino noin 500 kg [3], joten maastoajoneuvojen kuljetusta varten ajoneuvon vetokyvyn on oltava vähintään 1 300 kg. Puolustusvoimissa on käytössä painavampiakin perävaunuja, kuten Jaster-maalilaitteperävaunu (2 000 kg) ja E-asemaperävaunu (1 800 kg), joiden vetäminen monipuolistaa ajoneuvon käytettävyyttä, mutta ei ole todetun käytön kannalta välttämättömyys. Ajoneuvon kantavuuden tulee kattaa kuljettajan lisäksi neljä matkustajaa ja kaikkien henkilökohtaiset varusteet. Kuljettaja mukaan lukien tämä tarkoittaa noin 600 kiloa.

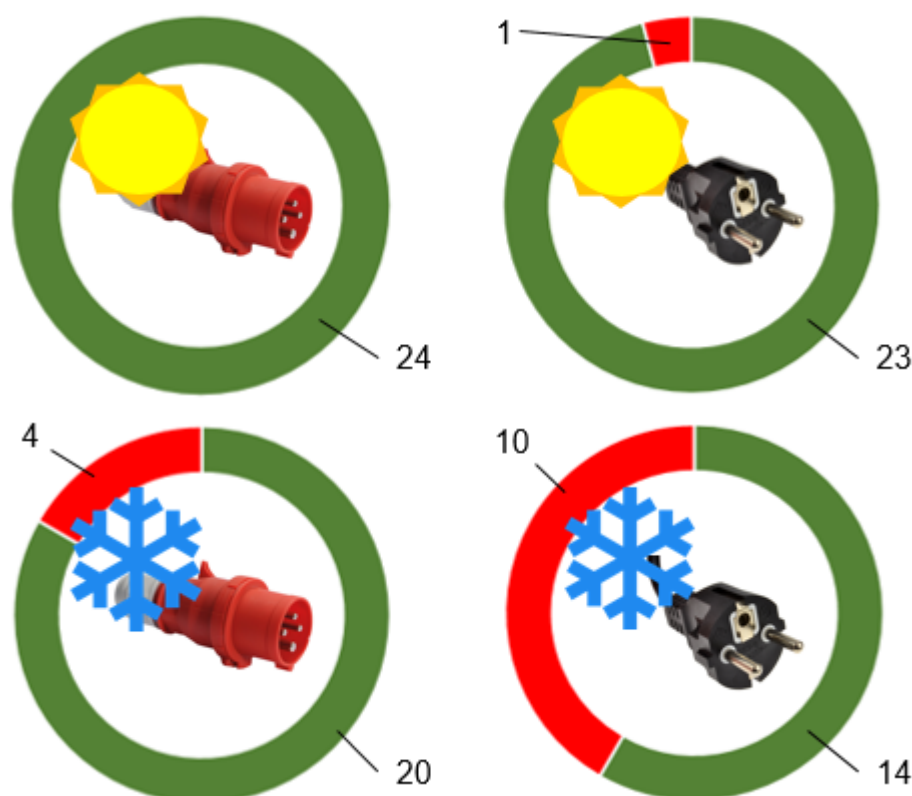
Ajoneuvon maastontiedustelukäyttö Pohjois-Suomessa suuntautuu alueille, joissa on harva asutus ja heikko infrastruktuuri. Ajoneuvon on kyettävä noin 600 kilometrin päivittäisiin matkoihin siten, että sen ajoenergian täydentäminen onnistuu lyhyiden taukojen (noin tunti) puitteissa toimintaympäristön infrastruktuuriin tukeutuen. Ajoneuvon on oltava käytettävissä luvussa 4.2 käsitellyissä sääolosuhteissa.

5. TUTKIMUKSEN TULOKSET

5.1. 2030-luvun maastohenkilöauto arktisessa sotilaskäytössä

Tutkimuksessa hahmotellun 2030-luvun sähkökäyttöisen maastohenkilöauton soveltuvuutta voidaan arvioida vertaamalla ajoneuvon arvioitua suorituskykyä kaikkiin Jääkäriprikaatissa suoritetun käyttökyselyn aikana toteutuneisiin ajotehtäviin (24 kpl). Koska kyselyssä palautuneissa lomakkeissa oli kirjattu ajomatka ja ajoneuvon lepoaika päivän tarkkuudella, voidaan sähköajoneuvon energian riittävyttä ajotehtävän suorittamiseen simuloida laskemalla.

Yksinkertaistetussa simulaatiossa vähennetään päivittäin ajoneuvon akkupaketin lähtöenergiasta ajomatkan mukainen kulutettu energia käyttämällä energiankulutuksen arvona joko kesäkelin 240 Wh/km tai talvikelin 480 Wh/km. Tämän jälkeen lisätään ajoneuvon pisimmän lepoajan mittaisen lataustapahtuman tuottama energia. Latausteho verkkovirrasta on 3 kW ja kolmivaihevirrasta 11 kW. Lataustehon arvoina käytetään tutkimuksen kirjoitushetkellä kaupallisesti saatavilla olevan sähköauton valmistajan ilmoittamia tietoja [89], sillä tutkimuksen perusteella pidetään todennäköisenä, että verkkovirrasta tai kolmivaihevirrasta suoritettujen latausten teho ei muutu 2030-luvulle siirryttäessä. Simulaatiossa kaikissa tapauksissa ajoneuvon lähtöenergia ajotehtävän alkaessa on luvun 3 mukainen 150 kWh. Simulaation tulokset on esitetty alla olevassa kuvassa 26.



Kuva 26. Ajotehtävien onnistuminen simuloitulla sähköautolla

Vaikka simulaatio on hyvin yksinkertaistettu ja olettaa sekä energiankulutuksen että lataustapahtuman täysin lineaariseksi, on se kuitenkin suuntaa antava. Kuvaajassa punainen sektori osoittaa ajotehtäviä, joissa simulaation perusteella ajoneuvon energia olisi loppunut kesken ajoitehtävän. Simulaation yksityiskohtainen toteutus on esitetty tutkimuksen liitteessä 7.

Simuloinnin perusteella ei pidetä mahdollisena 2030-luvun sähkökäyttöisen maastohenkilöauton käyttöä kaikkien arktisessa sotilaskäytössä esiintyvien ajotehtävien hoitamiseen. Kylmänä vuodenaikana tutkimuksessa hahmotellulla 2030-luvun sähköajoneuvolla ajoneuvon akun energia loppuisi 17 prosentissa tutkimuksessa todetuista ajotehtävistä, vaikka ajoneuvoa olisi sen lepoaikojen puitteissa mahdollista ladata kolmivaihevirrasta.

Osan tutkimuksessa havaittujen ajotehtävien suorittaminen sähköajoneuvolla vaatisi joko akkuteknologiaa, joka ei tutkimuksen perusteella näytä mahdolliselta vielä 2030-luvulla tai ajoneuvon lataamista kesken ajotehtävän suurteholatausasemilta. Ajoneuvojen kuljettajien latauskäyttäytymisen muutos on mahdollista, sillä sama muutos on tapahtunut matkapuhelimien akkujen lataamistavoissa älypuhelinien yleistyttyä. Suurteholatausasemaverkon mahdollista kattavuutta 2030-luvulla ei arvioitu tutkimuksen puitteissa, mutta asemien riittävyys alueella, jossa Jääkäriprikaati toimii, ei vaikuta todennäköiseltä.

Tutkimuksessa ei tullut ilmi käyttövoimaan kohdistuvia rajoitteita hybridikäyttöisen maastohenkilöauton käytölle, vaan sen sijaan hybridikäyttöisellä ajoneuvolla olisi saavutettavissa säästöjä ajoneuvon polttoainekustannuksissa. Tarkkoja säästölukemia ei ole tutkimuksen puitteissa laskettu, koska sotataloudellinen näkökulma ei kuulu tutkimuksen piiriin. Tutkimuksessa ei myöskään selvitetty hybridiajoneuvojen vikaantumista, mutta on mahdollista, että hybridiajoneuvoilla on monimutkaisemman teknologian johdosta keskimäärin korkeampi vikaantumisitiheys kuin polttomoottorikäyttöisillä, etenkin EURO 3 -luokitelluilla, ajoneuvoilla.

EURO 3 -luokiteltujen polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen tutkimuksen kriteerien puitteissa toteutuva soveltuvuus sotilaskäyttöön on ilmeistä, sillä kriteerit on laadittu samankaltaisilla ajoneuvoilla toteutuneen todellisen käytön perusteella. Mahdollisesta korkeammasta vikaantumistodennäköisyydestä huolimatta 2030-luvun hybridi tai kevythybridi on tutkimuksen perusteella EURO 3 -luokan ajoneuvoa paremmin sotilaskäyttöön soveltuva. Hybridin matala polttoaineenkulutus mahdollistaa pidemmän toimintamatkan, suurempi akku helpottaa sähkölaitteiden latausta myös ajoneuvon moottorin ollessa sammutettuna, ja sähkömoottorilla saadaan tuotettua lisävääntöä tilanteisiin, joissa polttomoottori ei ole parhaimmillaan.

Tutkimuksessa ei pidetä todennäköisenä, että 2030-luvulla on saatavilla päästömääräykset täyttäviä puhtaasti polttomoottorikäyttöisiä ajoneuvoja. Myöskään vetykäyttöisen ajoneuvon käyttö ei vaikuta mahdolliselta johtuen vaatimattomasta polttoaineenjakeluinfrastruktuurista. Yhteenveto tutkimuksessa tarkasteltujen käyttövoimien soveltuvuudesta on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 5. Tutkimuksen tulosten yhteenveto

Käyttövoima	Soveltuvuus arktiseen sotilaskäyttöön	Käyttövoimatyyppin edellyttämät muutokset omaan toimintaan
EURO 3 -diesel (poikkeusluvalla)	Soveltuu rajoituksetta.	Ei vaadi muutoksia.
Pistokehybridi	Soveltuu rajoituksetta.	Latausinfraan kehittäminen vähentää polttoainekuluja. Ajoneuvotyyppin käyttöönotto ei varsinaisesti vaadi muutoksia.
Kevythybridi / hybridi	Soveltuu rajoituksetta.	Ei vaadi muutoksia
Täyssähkö	Soveltuu rajoitetusti osaan ajotehtävistä.	Vaatii latausinfraan kehittämistä ja toimintatapojen muutosta.
Vety-polttockenno sähkömoottorilla	Soveltuu rajoituksetta.	Vaatii polttoaineenjakeluinfran muutoksen.
Kaasukäyttöinen ottomoottori	Soveltuu rajoitetusti.	Vaatii polttoaineenjakeluinfran muutoksen.

5.2. Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet

Koska tutkimuksen perusteella ei tullut ilmi rajoitteita hybridiajoneuvojen sotilaskäytölle, tulisi jatkossa harkita puitesopimuksissa esitettyjen ajoneuvon kohdistettujen vaatimusten muuttamista muotoon, joka mahdollistaisi hybridikäyttöisten ajoneuvojen hankkimisen. Pitäytyminen pelkästään dieselmääräyksissä maastohenkilöautoissa voi johtaa tilanteeseen, jossa käyttöön hyvin soveltuva käyttövoimaratkaisu rajataan hankinnan ulkopuolelle.

Puolustusvoimien tulee seurata siviilimisteisen maastohenkilöautokannan eri käyttövoimien ensirekisteröintiosuuksien kehitystä. Mikäli on nähtävissä, että yksityishenkilöiden maastohenkilöautoissa jokin uusi käyttövoima yleistyy merkittävästi, olisi syytä selvittää saman käyttövoiman käyttöönottoa myös Puolustusvoimissa. Mikäli koko kenttäarmeijassa on sama suhdelu sotasotilas- ja ottoajoneuvojen määrien välillä kuin Jääkäriprikaatin perustamissa joukoissa, on käyttöönotettavien siviiliajoneuvojen huollon ja energiatäydennyksen järjestelyt huomiotava jo rauhan aikana.

Tutkimuksen perusteella on todennäköistä, että ensimmäiset sotilaskäytön vaatimukset täyttävät hybridikäyttöiset maastohenkilöautot saapuvat markkinoille viimeistään 2020-luvun puolivälissä. Vastaavasti 2020-luvun dieselkäyttöisissä ajoneuvoissa käytetään ajoneuvon huoltotarvetta nostavia SCR-järjestelmiä. Tällöin poikkeusolojen kokoonpanoihin ottoajoneuvoja suunniteltaessa on erityisen tärkeää huomioida ajoneuvojen käyttövoima ja pyrkiä sijoittamaan ensisijaisesti hybridiautoja.

Tutkimuksessa ei pyritty selvittämään todellista mahdollisuutta ladata sähköajoneuvon akkua erilaisten käyttötapauksien lepoaikojen yhteydessä. Todennäköistä on, että kasarmiolosuhteissa akkujen lataaminen on helpommin järjestettävissä kuin sotaharjoituksissa tai operatiivisessa maastontiedustelussa. Yksi tutkimuksen aiheuttama mahdollinen jatkotutkimustarve on sähköauton latausmahdollisuus edellä mainituissa käyttötapauksissa. Sotaharjoituskäytössä ajoneuvon latausmahdollisuutta voisi laskea esimerkiksi johtamispaikkojen sähkövoimakoneiden tuottamaa tehoa ja johtamispaikkakonttien energiankulutusta vertaamalla. Mahdollinen jatkotutkimustarve on myös sähköjakeluverkon kapasiteetin riittävyys kenttäarmeijan ajoneuvojen lataamiseen.

Tutkimuksessa havaittiin, että Kultin ajopalaute-toiminto ei tuota luotettavia tietoja ajoneuvolla ajetusta kokonaismatkasta ajotehtävän aikana. Paperilomakkeella tapahtuva tietojen kerääminen taas ei tarjoa riittävää kattavuutta, jotta tutkimus olisi täysin luotettava. Mikäli ajoneuvojen todellista käyttöä olisi tarve seurata Puolustusvoimissa laajemmin kannattaisi seuranta toteuttaa keräämällä tiedot ajotapahtumista suoraan ajoneuvon CAN-väylästä. Esimerkiksi tanskalaisen CSS Electronicsin valmistama noin 400 euron hintainen CANLOGGER3000-talennin kykenee tallentamaan käyttäjän valitsemat ajotapahtuman tiedot Excel-muotoon verkkolevyille täysin automaattisesti [144].

5.3. Tulosten luotettavuus ja käytettävyys

Tutkimuksessa ei voida katsoa saadun selvitettyä ajoneuvojen käytön tunnuslukuja luotettavasti. Tämä johtuu käyttökyselyn yhteydessä palautuneiden kyselylomakkeiden vähäisestä määrästä verrattuna kaikkiin toteutuneisiin ajotapahtumiin. Yli 90 % tutkimuksen aikavälillä toteutuneista ajotehtävistä jäi mittaamatta ja kerätyissä tiedoissakin oli käyttäjien ilmoitusten mukaan 54 % arvioituja lukemia.

Käyttökyselyssä havaittiin kuitenkin tiettyjä ajotapahtumia, joita ei osalla tutkimuksessa hahmotelluista 2030-luvun maastohenkilöautoista pystyisi suorittamaan. Tämä mahdollistaa tiettyjen käyttövoimien soveltuvuuden poissulkemisen, sillä yksiselitteisesti voidaan todeta, että esimerkiksi sähkökäyttöinen ajoneuvo ei sovellu kaikkiin Jääkäriprikaatissa suoritettaviin ajotehtäviin. Näiden erityisen pitkiä päivittäisiä ajomatkoja sisältävien ajotehtävien todellinen yleisyys jää silti valitettavasti hämärän peittoon ja voi olla, että suppean aineiston johdosta näiden yksittäisten ajotapahtumien merkitys tutkimuksessa korostuu liiallisesti.

Kultin tietokantaan kohdistuneessa tietojärjestelmähaussa oli mukana tietoja myös sellaisista ajomääräyksistä, jotka eivät kuvaa ajoneuvon todellista käyttöä. Esimerkiksi valmiussyistä tietyille käyttäjille kirjoitetaan täyden kalenterikuukauden mittaisia ajomääräyksiä, vaikka todellisuudessa on todennäköistä, että ajoneuvo ei ole ajossa esimerkiksi viikonloppuisin. Tällaisten ajomääräysten tunnistaminen ja poistaminen aineistosta olisi muuttanut jonkin verran ajomääräyksistä muodostettuja tunnuslukuja.

Tutkimuksessa esitetty arvio 2030-luvun maastohenkilöautojen käyttövoimatekniikan ominaispiirteistä perustuu malliin, jossa ajoneuvoteknologinen kehitys jatkaa nykyisenkaltaisena. Mikäli tutkimuksen kirjoitushetken jälkeen keksitään yllättäen jokin mullistava liikenne-energiaan liittyvä teknologia, menettää tutkimuksen tulos osittain merkityksensä. Tulevaisuuden ennustamisen haasteellisuutta on käsitelty laajemmin luvussa 1.5 Sotatekninen tulevaisuudentutkimus.

Tutkimuksen käytettävyys ilmenee edellisessä luvussa esitetyistä suosituksista. Tutkimuksessa esitetään myös malli, jonka perusteella eri käyttövoimien soveltuvuutta voidaan arvioida tuoreilla tiedoilla, kun seuraava suuri ajoneuvohankinta tulee ajankohtaiseksi. Tutkimuksessa toteutettu ajoneuvojen käyttökysely ja tietojärjestelmähaaku on sellaisenaan toteutettavissa myös Jääkäriprikaatin ulkopuolella. Uudelleen suoritettuna kyselyn laatua nostaisi tässä tutkimuksessa todettujen ongelmien huomiointi.

Vaikka tutkimuksen näkökulma kohdistuu rauhan ajan toimintaan, on aiheella liittymäpinta myös sodankäynnin kannalta oleelliseen logistiseen haasteeseen. Erwin Rommel kirjoitti marraskuussa 1942 Afrikasta vaimolleen Saksaan siitä, miten bensiinin puute saa miehen kyyneliin [130, s. 354]. Tutkimuksen perusteella huoli liikenne-energian saatavuudesta sotilaskäytössä ei tule lähivuosina ainakaan vähentymään.

LÄHTEET

- [1] *2 Stroke vs 4 Stroke Engines* [Blogi]. Diesel Engine Registry. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <https://dieselenjineregistry.wordpress.com/2-stroke-vs-4-stroke-engines/>
- [2] *2.0-liter Dynamic Force Engine, a New 2.0-liter Direct-injection, Inline 4-cylinder Gasoline Engine* [Valmistajan tiedote]. Toyota Japan. 26.2.2018 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://newsroom.toyota.co.jp/en/powertrain2018/engine/>
- [3] *2016 Sportsman 800 EFI 6X6 - EUT* [Valmistajan tiedote]. Polaris Suomi. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.polaris.fi/monkijat/monkijat-2016/traktori-maasto-ja-tieliikennemallit/2016-sportsman-800-efi-6x6-eut>
- [4] *2019 Toyota Tacoma Hybrid Still Uncertain for US* [Uutisartikkeli]. Pickup Truck Reviews. 6.12.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://2019trucks.com/2019-toyota-tacoma-hybrid/>
- [5] A 1266/2002 Valtioneuvoston asetus moottorikäyttöisten ajoneuvojen joutokäynnin rajoittamisesta.
- [6] A 143/2018 Puolustusministeriön asetus sotilasajoneuvoista annetun puolustusministeriön asetuksen muuttamisesta.
- [7] A EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EY) N:o 715/2007 moottoriajoneuvojen tyyppihyväksynnästä kevyiden henkilö- ja hyötyajoneuvojen päästöjen (Euro 5 ja Euro 6) osalta ja ajoneuvojen korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuudesta
- [8] A KOMISSION ASETUS (EU) N:o 678/2011 puitteiden luomisesta moottoriajoneuvojen ja niiden perävaunujen sekä tällaisiin ajoneuvoihin tarkoitettujen järjestelmien, osien ja erillisten teknisten yksiköiden hyväksymiselle annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2007/46/EY (Puitedirektiivi) liitteen II korvaamisesta ja liitteiden IV, IX ja XI muuttamisesta.
- [9] *Akku on edelleen sähköauton heikoin lenkki* [Verkkajulkaisu]. ETN. 8.11.2016 [Viitattu 7.4.2018]. Saatavissa: <http://etn.fi/index.php/13-news/5369-akku-on-edelleen-sahkoauton-heikoin-lenkki>
- [10] Alankus, O. *Technology Forecast for Electrical Vehicle Battery Technology and Future Electric Vehicle Market Estimation. Advances in Automobile Engineering* [Artikkeli]. OMICS International. 2017. [Viitattu 23.9.2018]. Saatavissa: <https://www.omicsonline.org/open-access/technology-forecast-for-electrical-vehicle-battery-technology-and-futureelectric-vehicle-market-estimation-2167-7670-1000164.pdf>

- [11] *Apukäynnistin kondensaattori 12V MAX 700A* [Kaupallinen tiedote]. Isojoen Konehalli OY. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.ikh.fi/fi/apukaynnistin-kondensaattori-12v-max-700a-tel700>
- [12] *Arktisen alueen määritelmät* [Verkkójulkaisu]. Arktinen keskus, Lapin yliopisto. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.arcticcentre.org/FI/arktinenalue/maaritelma>
- [13] Asthana, A. & Taylor, M. *Britain to ban sale of all diesel and petrol cars and vans from 2040* [Uutisartikkeli]. The Guardian. 25.7.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.theguardian.com/politics/2017/jul/25/britain-to-ban-sale-of-all-diesel-and-petrol-cars-and-vans-from-2040>
- [14] *Audi Q8 – konseptimaistiainen vuodesta 2018* [Verkkójulkaisu]. Moottori. 10.1.2017 [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <https://www.moottori.fi/ajoneuvot/jutut/audi-q8-konseptimaistiainen-vuodesta-2018/>
- [15] *Autojen ensirekisteröinnit käyttövoimittain* [Tilasto]. Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi). [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain
- [16] *Battery Status Tracker* [Verkkójulkaisu]. Emvalley. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.emvalley.com/>
- [17] Berggreen, J. *Norwegian Grid Struggling To Keep Up With Growing EV Fleet* [Uutisartikkeli]. EV Obsession. 5.10.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://evobsession.com/norwegian-grid-struggling-keep-growing-ev-fleet/>
- [18] *Breakdown of BMW Group's worldwide automobile sales in FY 2017, by region* [Verkkójulkaisu]. Statista. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www-statista.com/statistics/267252/key-automobile-markets-of-bmw-group/>
- [19] Buckland, K. & Horie, M. *Diesel's death 'overstated,' says man whose gear found VW fraud* [Uutisartikkeli]. Automotive News Europe. 5.9.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://europe.autonews.com/article/20170905/ANE/170909903/diesels-death-overstated-says-man-whose-gear-found-vw-fraud?>
- [20] *Chevrolet Showcases Spark EV Electric Motor* [Valmistajan tiedote] Chevrolet. 26.10.2011 [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: http://media.gm.com/media/us/en/chevrolet/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2011/Oct/1026_spark_elec_mtr.html
- [21] *Continental subarctic climate* [Verkkójulkaisu]. Encyclopaedia Britannica. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.britannica.com/science/continental-subarctic-climate>

- [22] Cropley, S. *Diesel-saving' technology could make it to market in two years* [Uutisarikkeli]. Autocar. 22.3.2018 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.autocar.co.uk/car-news/industry/diesel-saving-technology-could-make-it-market-two-years>
- [23] Crowe, P. *Toyota's Fuel Cell Vehicles Can Handle The Cold* [Uutisarikkeli]. Hybrid Cars. 3.2.2014 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.hybridcars.com/toyotas-fuel-cell-vehicles-can-handle-the-cold/>
- [24] D EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 98/69/EY moottoriajoneuvojen päästöjen aiheuttaman ilman pilaantumisen ehkäisemiseksi toteutettavista toimenpiteistä ja neuvoston direktiivin 70/220/ETY muuttamisesta
- [25] Dahlin, G. & Strøm, K. *Lithium Batteries: Research, Technology and Applications*. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2010. 226 p. 978-1-6074-1722-4.
- [26] *Dieselmoottorin ohjausjärjestelmät*. Painos 2010. Robert Bosch GmbH, 2010. 135 s. ISBN 978-951-9155-26-5
- [27] *E10-bensiini* [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <http://www.e10bensini.fi/e10-bensiini>
- [28] *E-Autos im Winter: Heizen verringert die Reichweite (Sähköautot talvella: Lämmitys pienentää toimintamatkaa)* [Verkkojulkaisu]. ADAC. 17.11.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/verkehr/e-autos-im-winter-heizen-verringert-die-reichweite.html>
- [29] *Effects of Winter on Tesla Battery Range and Regen* [Uutisarikkeli]. Teslarati. 24.11.2014 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.teslarati.com/effects-winter-tesla-battery-range/>
- [30] *EGRn toiminta ja sen ongelmat* [Kaupallinen tiedote]. Optimoi autosi Loimaa. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.optimoiautosiloimaa.fi/egr-poisto>
- [31] Ehsani, M., Gao, Y. & Emadi, A. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. Second Edition. Taylor and Francis Group, LLC, 2010. 534 s. ISBN 978-1-4200-5398-2
- [32] Elonheimo, P. *Kolmekymmentä sähköistä kilometriä - Mitsubishi Outlander PHEV* [Uutisarikkeli]. Iltalehti. 17.4.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: http://www.iltalehti.fi/autotestit/2016041321312949_at.shtml
- [33] *Engineering for growth* [Kaupallinen tiedote]. Platinum Group Metals. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.platinumgroupmetals.net/home/default.aspx>

- [34] *Ensirekisteröinnin jälkeinen autovero / Pakettiauto* [Tiedote]. Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi). 10.10.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.trafi.fi/tieliikenne/verotus/ensirekisteroinnin_jalkeinen_autovero/pakettiauto
- [35] *Ervasti, A. Toyota luopuu diesel-henkilöautojen myynnistä Euroopassa* [Uutisartikkeli]. HS-lehti. 6.3.2018 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.hs.fi/autot/art-2000005593513.html>
- [36] *E-TEC SHOT -käynnistin* [Valmistajan tiedote]. Ski-Doo Suomi. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.ski-doo.com/fi/teknologiat/shot.html>
- [37] *Euro emission standards explained* [Verkkojulkaisu]. Car Keys. 29.9.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.carkeys.co.uk/guides/euro-emission-standards-explained>
- [38] *Ferenc, F. 75 éves a Bosch dízel befecskendezés (75 vuotta Boschin dieselruiskutusta)* [Valmistajan tiedote]. Robert Bosch GmbH. 10.10.2002 [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <http://www.boschmediaservice.hu/pressRelease/Page/id/113>
- [39] *Ferrara, M. Rotating Assembly 101: Rods, Pistons, and Crank*. Issue #105 [Verkkojulkaisu]. Dsport Performance + Tech Magazine. [Viitattu 7.10.2017]. Saatavissa: <http://dsportmag.com/the-tech/rotating-assembly-101-rods-pistons-and-crank/>
- [40] *Fisker patentoi radikaalin akun – lataa sähköauton minuutissa ja pidentää kantamaa 800 kilometriin* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 15.11.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/fisker-patentoi-radikaalin-akun-lataa-sahkoauton-minuutissa-ja-pidentaa-kantamaa-800-kilometriin/>
- [41] *Flaig, F. Gasoline Injection Systems* [Valmistajan tiedote]. Robert Bosch GmbH. 10.9.2013 [Viitattu 24.10.2017] Saatavissa: <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/gasoline-injection-systems-42304.html>
- [42] *Freevalve Technology* [Valmistajan tiedote]. Freevalve. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.freevalve.com/technology/freevalve-technology/>
- [43] *Gartner Hype Cycle* [Verkkojulkaisu]. Gartner. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>
- [44] *Gomes, H. Quality Quotes*. Milwaukee, Wisconsin: ASQC Quality Press, 1996. 249 p. 0-87389-407-3.
- [45] *Grabianowski, E. How the Tesla Roadster Works* [Verkkojulkaisu]. How Stuff Works. 24.10.2006 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://auto.howstuffworks.com/tesla-roadster1.htm>

- [46] Gustafsson, C. *Fifty per cent of the Volvo car models can be powered by renewable energy sources* [Valmistajan tiedote]. Volvo Car Group. 10.6.2006 [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/5148>
- [47] Haining, C. *What do engine sizes actually mean?* [Verkkójulkaisu]. Carbuyer. 27.9.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.carbuyer.co.uk/tips-and-advice/146778/what-do-engine-sizes-actually-mean>
- [48] *Henkilöauto - CO2-verotaulukot* [Tiedote]. Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi). 29.12.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/auto/autoverotus/autoveron_maara/henkiloauto_co2verotauluko/
- [49] Herrala, O. *Tunnettu trenditutkija: Sähköautoihin ladattu lähinnä turhaa hypeä* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 18.12.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/tunnettu-trenditutkija-sahkoautoihin-ladattu-lahinna-turhaa-hypea/xEPDYDTe>
- [50] Hiscox, G. *Horseless Vehicles - Automobiles, motor cycles operated by steam, hydrocarbon, electric and pneumatic motors*. New York: Munn & Company, 1900. 488 s.
- [51] Hollmén, I. *E85-muutossarjan testauksen tutkimustulokset*. [Raportti]. Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto MTK ry. 2016. [Viitattu 23.9.2018]. Saatavissa: https://www.mtk.fi/jasenyys/jasenedut/energia_edut/fi_FI/E85/_files/96775764045284469/default/E85-muutossarjan_testauksen_tutkimustulokset-raportti-lida_Hollm%C3%A9n_korjattu.pdf
- [52] Honkanen, V. *Kevythybridit tulevat vauhdilla – Hintakaan ei ole paha* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 16.6.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/kevythybridit-tulevat-vauhdilla-hintakaan-ei-ole-paha/>
- [53] Horncastle, R. *The Range Rover Sport has gone hybrid* [Uutisartikkeli]. Top Gear. 4.10.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.topgear.com/car-news/first-look/range-rover-sport-has-gone-hybrid>
- [54] Huhtamaa, P., Rantala, J. & Setälä, R. *Auto- ja kuljetusalan erikoistumisoppi 2: Moottori*. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otavan painolaitokset, 1996. 384 s. ISBN 951-1-13143-5
- [55] *Hydrogen Storage Challenges* [Verkkójulkaisu]. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage-challenges>

- [56] Hänninen, K. *Autojätit suunnittelevat halpaa polttonennoa* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 29.1.2013 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/autojätit-suunnittelevat-halpaa-polttonennoa/6zR82AdT>
- [57] Hänninen, K. *Elon Musk hymähtää Toyotan akkukeksinnölle: "Olemme maailman suurin, sitä olisi tarjottu meille"* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 25.8.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/elon-musk-hymahtaa-toyotan-akkukeksinnolle-olemmemaailman-suurin--sita-olisi-tarjottu-meille/2yPY3hTh>
- [58] Hänninen, K. *Huippulaboratoriossa kehitettiin erittäin nopea ja pitkäikäinen akku – ihmeaineena vesi* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 30.1.2018 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/huippulaboratoriossa-kehitettiin-erittain-nopea-ja-pitkaikainen-akku--ihmeaineena-vesi/LVuYh2tb>
- [59] Hänninen, K. *Mersun akkulupaus: tehot tuplaksi, hinnat puoleen* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 17.6.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/mersun-akkulupaus-tehot-tuplaksi--hinnat-puoleen/BgfVy7ad>
- [60] Hänninen, K. *Toshibalta superakku: auto latautuu kahvitauon aikana* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 11.10.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/toshibalta-superakku-auto-latautuu-kahvitauon-aikana/U5DxZe4H>
- [61] Hänninen, K. *Tämä erittäin tehokas akku voi mullistaa sähköautoilun* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 18.2.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/tama-erittain-tehokas-akku-voi-mullistaa-sahkoautoilun/waYna953>
- [62] *Ilma-akuilla pitkälle* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 9.2.2012 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/ilma-akuilla-pitkalle/>
- [63] Ingram, A. *Toyota Touts Cold-Weather Performance Of Hydrogen Fuel Cells* [Uutisartikkeli]. Green Car Reports. 3.2.2014 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.greencarreports.com/news/1090078_toyota-touts-cold-weather-performance-of-hydrogen-fuel-cells
- [64] Jalovaara, T. *Daimlerin innostus polttonennoautoille on loppumassa* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 7.4.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/daimlerin-innostus-polttonennoautoille-loppumassa/>
- [65] Jalovaara, T. *Toyota paljasti autojensa sähköistämisen askelmerkit* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 19.12.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/toyota-paljasti-autojensa-sahkoistamisen-askelmerkit/>

- [66] Jalovaara, T. *Tältä näyttää Henrik Fiskerin uusi sähköautoluomus* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 12.6.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/talta-nayttaa-henrik-fiskerin-uusi-sahkoautoluomus/>
- [67] Jokinen, J. *Megatrendejä ei voi sivuuttaa* [Verkkojulkaisu]. Directors' Institute Finland. 13.6.2017 [Viitattu 7.4.2018]. Saatavissa: <https://dif.fi/teema-artikkelit/2017/q1-2017-hallitus-ja-megatrendit/megatrendeja-ei-voi-sivuuttaa/>
- [68] Jääkäriprikaatin kuljetuspalveluohje, JPROHJEK KULJETUSPALVELUT, HK1114. Sodankylä: Jääkäriprikaatin esikunta, 2015.
- [69] Jääkäriprikaatin toimintakäsäky 2018, MN26277. Sodankylä: Jääkäriprikaatin esikunta, 2017
- [70] Kainulainen, J. *Toyotalta tulossa sähköautoilun mullistava akku – "vallankumouksellinen"* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 1.11.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/toyotalta-tulossa-sahkoautoilun-mullistava-akku--vallankumouksellinen/qy3fgcGE>
- [71] Kainulainen, J. *Uuden tekniikan lupaus: hybridautoista tulee edullisia kansanautoja* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 10.9.2015 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/uuden-tekniikan-lupaus-hybridautoista-tulee-edullisia-kansanautoja/5x8v79wR>
- [72] Kainulainen, J. *Vihdoinkin sähköauto, jossa on oikeasti järkeä: hinta alas, toimintamatka pitkäksi* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 30.9.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/vihdoinkin-sahkoauto--jossa-on-oikeasti-jarkea-hinta-alas--toimintamatka-pitkaksi/qrPtzUnY>
- [73] Kainulainen, J. *VW:n ihmeuutus: Täyssähköauto Golfin hinnalla* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 29.9.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/vwn-ihmeuutus-tayssahkoauto-golf-hinnalla/5NkkQyKU>
- [74] Kamppinen, M. & al. *Tulevaisuudentutkimus: Perusteet ja sovellukset*. Helsinki: Kirjakauppa/Tallprint, 2002. 928 s. 951-746-389-8
- [75] Kantola, K. *Toyota FCHV Hydrogen Hybrid Vehicle* [Uutisartikkeli]. Hydrogen Cars Now. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.hydrogencarsnow.com/index.php/toyota-fchv/>

- [76] Karkimo, A. *94-vuotiaalta akkupioneerilta uusi mullistava keksintö - kriitikot: rikkoo luonnonlakeja* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 23.5.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/94-vuotiaalta-akkupioneerilta-uusi-mullistava-keksinto---kriitikot-rikkoo-luonnonlakeja/BzeCYwha>
- [77] Kauhanen, E. *Tutkimus: Vetyä entistä halvemmalla* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 13.11.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/tutkimus-vetya-entista-halvemmallalla/>
- [78] Kervinen, S. *Ja taas yritetään! Vety auton polttoaineena* [Lehtiartikkeli]. Tekniikan maailma. 1978 Nro. 1. [Viitattu 23.9.2018].
- [79] Khoury, A. *Toyota announces 2017 Mirai pricing and a range of incentives* [Uutisartikkeli]. Digital Trends. 25.9.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.digitaltrends.com/cars/2017-toyota-mirai-pricing-announced/>
- [80] Kiehne, H. *Battery Technology Handbook*. 2nd edition. New York: Marcel Dekker Inc., 2003. 0-8247-4249-4.
- [81] *Kolmikko alkaa tehdä polttokennoautoja* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 7.2.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/kolmikko-alkaa-tehda-polttokennoautoja/>
- [82] Koski, P. *Katsaus uudenaikaisiin energialähteisiin*. Tampere: Juvenes Print Oy, 2011. 85 s. 978-951-25-2243-9.
- [83] *Kysymyksiä ja vastauksia kaasuautoilusta* [Kaupallinen tiedote]. Gasum. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <https://www.gasum.com/yksityisille/valitse-kaasuauto/kysymyksiä-kaasuautoilusta/>
- [84] *Laitteiston asennus* [Kaupallinen tiedote] Terragas. [Viitattu 24.10.2017] Saatavissa: <http://www.terragas.fi/asennus.html>
- [85] Lambert, F. *Elon Musk on Tesla/Panasonic's new 2170 battery cell: 'highest energy density cell in the world...that is also the cheapest'* [Uutisartikkeli]. Electrek. 2.11.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://electrek.co/2016/11/02/tesla-panasonic-2170-battery-cell-highest-energy-density-cell-world-cheapest-elon-musk/>
- [86] Lampinen, A. *Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta*. Tampere: Tampereen Yliopistopaino - Juvenes Print Oy, 2009. 437 s. ISBN 978-951-604-100-4
- [87] *Land Cruiser 79 Specifications* [Valmistajan tiedote]. Toyota South Africa. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.toyota.co.za/ranges/land-cruiser-79#specifications>

- [88] Lappalainen, E. & Jormakka J. *Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa*. 1. painos. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikanlaitos, 2004. ISBN 951-25-1540-7.
- [89] *Latauslaitteiston asentaminen kotiin* [Valmistajan tiedote]. Tesla Suomi. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.tesla.com/fi_FI/support/home-charging-installation
- [90] Lavonen, J. & al. *Fysiikan menetelmät ja kvalitatiiviset mallit: Sähkö*. Helsinki, 2006. [Verkkójulkaisu] [Viitattu 24.10.2017] Saatavissa: http://www.edu.helsinki.fi/astelope/sahko/sahko_moottori.htm
- [91] *Leilani Münter reveals Tesla race car's 1,100 lb weight reduction helped by biocomposites* [Uutisartikkeli]. Teslarati. 16.3.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.teslarati.com/leilani-munter-reveals-tesla-race-cars-1100-lb-weight-reduction-helped-biocomposites/>
- [92] *Levels of Charging* [Verkkójulkaisu]. EVtown. [Viitattu 7.4.2018]. Saatavissa: <http://www.evtown.org/about-ev-town/ev-charging/charging-levels.html>
- [93] Lithgow, I. *1GR-FE Toyota engine* [Verkkójulkaisu]. Australian Car Reviews. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://australiancar.reviews/1GR-FE-engine.php>
- [94] Mannermaa, M. *Heikoista signaaleista vahva tulevaisuus*. Porvoo: WS Bookwell Oy, 2004. 249 s. 951-0-28372-X.
- [95] Mills, A. *The 'Baghdad Battery'* [Lehtiartikkeli]. Bulletin of the Scientific Society. 2001 No. 68.[Viitattu 23.9.2018]. Saatavissa: <http://www.ampere.cnrs.fr/histoire/files/original/b44242819898378f3f40ea294e923e5c.pdf>
- [96] *Model X* [Valmistajan tiedote]. Tesla Suomi. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.tesla.com/fi_FI/modelx/design
- [97] *Model X Specifications* [Valmistajan tiedote]. Tesla USA. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.tesla.com/support/model-x-specifications>
- [98] Morris, C. *Elon Musk: Cooling, not power-to-weight ratio, is the challenge with AC induction motors* [Uutisartikkeli]. Charged Electric Vehicles Magazine. 4.11.2014 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://chargedevs.com/newswire/elon-musk-cooling-not-power-to-weight-ratio-is-the-challenge-with-ac-induction-motors/>
- [99] *Motors for electric cars* [Verkkójulkaisu]. Electronic Products. 14.5.2012 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.electronicproducts.com/Electromechanical_Components/Motors_and_Controllers/Motors_for_electric_cars.aspx

- [100] *Mukavan lämmintä alhaisissa lämpötiloissa* [Kaupallinen tiedote]. Webasto. [Viitattu 21.10.2017]. Saatavissa: <https://www.webasto.com/fi/tuotteet-ja-markkinat/henkiloe-autot/laemmitysjaerjestelmaet-valmistajille/esilaemmitin/>
- [101] Mäkelä, M. & al. *Tekniikan kaavasto*. 6. painos. Hämeenlinna: Karisto Kirjapaino Oy, 2008. 209 s. 978-952-5491-48-7.
- [102] *Neuzulassungen von Pkw in den Jahren 2007 bis 2016 nach ausgewählten Kraftstoffarten (Henkilöautojen ensirekisteröinnit vuodesta 2007 vuoteen 2016 valittujen käyttövoimien mukaan)* [Tilasto]. Kraftfahrt-Bundesamt. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n_umwelt_z.html?nn=652326
- [103] *Next generation engines*. [Artikkeli]. Transport Engineer. Maaliskuu 2016. [Viitattu 23.9.2018]. Saatavissa: http://www.transportengineer.org.uk/article-images/116005/Next_generation_engines.pdf
- [104] Nieminen, J. *Missä viipyy sähköauton lataus 10 minuutissa?* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 20.4.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/missa-viipyy-sahkoauton-lataus-10-minuutissa/>
- [105] Nieminen, S. *Auton rakenne 1: Moottori ja tehonsiirto*. 1. painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö, 2005. 203 s. ISBN 951-0-26999-9
- [106] Nikula, P. *Vetyautoille tankkausketju Suomeen* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 23.1.2014 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/vetyautoille-tankkausketju-suomeen/6wVvpwGG>
- [107] Nissinen, H. *Sitran trendilista vuodelle 2016 on valmistunut* [Verkojulkaisu]. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra. 14.1.2016 [Viitattu 7.4.2018]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/uutiset/sitran-trendilista-vuodelle-2016-valmistunut/>
- [108] *Norwegian Winter And Its Grid Are Powering Down The Tesla Model S* [Uutisartikkeli]. Inside Evs. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://insideevs.com/norwegian-winter-and-its-grid-is-powering-down-the-tesla-model-s/>
- [109] Nozawa, T. *New battery technologies still years away* [Uutisartikkeli]. Nikkei Asian Review. 2.4.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://asia.nikkei.com/Tech-Science/Tech/New-battery-technologies-still-years-away?page=2>
- [110] Nylund, N. & Laurikko, J. *Tieliikenteen uusiutuva energia ja kasvihuonepäästöjen vähentäminen vuoteen 2020 mennessä. Tutkimusraportti*. Espoo, 2012. Teknologian tutkimuskeskus VTT, 99 s.

- [111] *Nyt se on varmaa: Mazda tuo puristussytytyksen bensiinimoottoreihin* [Uutisartikkeli]. Moottori. 9.8.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.moottori.fi/ajoneuvot/jutut/nyt-se-varmaa-mazda-tuo-puristussytytyksen-bensiinimoottoreihin/>
- [112] *Oktaaniluku kertoo puristuskestävyyden*. [Verkkajulkaisu]. Tieteen kuvalehti. 1.9.2009 [Viitattu 24.10.2017] Saatavissa: <http://tieku.fi/liikenne/autot/oktaaniluku-kertoo-puristuskestavyden>
- [113] *Outlander PHEV talvikäyttö* [Keskustelupalsta]. Mitsubishi Club Finland. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.mitsubishiclubfinland.com/keskustelu/index.php?topic=50638.0>
- [114] Paavola, O. *Jalkaväen taisteluajoneuvo 2030 - Vaatimukset tulivoimalle*. Esiupseerikurssin tutkielma. Helsinki, 2014. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 68 s.
- [115] Parikh, S. *Next gen Toyota Hilux could get hybrid powertrain – Report* [Uutisartikkeli]. Indian Autos Blog. 24.9.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://indianautoblog.com/2016/09/next-gen-toyota-hilux-could-hybrid-powertrain-242857>
- [116] *Partially Redesigned Land Cruiser 200 Debuts Toyota's Latest Safety and Driver Assistance Features* [Valmistajan tiedote]. Toyota Japan. 17.8.2015 [Viitattu 7.10.2017]. Saatavissa: <http://newsroom.toyota.co.jp/en/detail/9045793>
- [117] Parviainen, E. *Ovelat ovet ja tulevaisuuden tila-auto – Tesla Model X P90D* [Uutisartikkeli]. Moottori. 7.8.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.moottori.fi/ajoneuvot/jutut/ovelat-ovet-ja-tulevaisuuden-tila-auto-tesla-model-x-p90d/>
- [118] Perkins, C. *Mazda Says Its Next-Generation Gasoline Engine Will Run Cleaner Than an Electric Car* [Uutisartikkeli]. Road & Track. 29.1.2018 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.roadandtrack.com/new-cars/car-technology/a15912314/mazda-skyactiv-3-gas-clean-as-ev/>
- [119] *Pohjoinen luonto: aluejakoja ja luonnonmaantiedettä* [Verkkajulkaisu]. Oulun yliopisto. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www oulu.fi/northnature/finnish/Suomi/luma3.html>
- [120] Posada, F. *South Africa's New Passenger Vehicle CO2 Emission Standards: Baseline Determination and Benefits Assessment* [White paper]. International Council on Clean Transportation. 2017. [Viitattu 23.9.2018]. Saatavissa: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/South-Africa-PV-emission-stds_ICCT-White-Paper_17012018_vF.pdf

- [121] Pouta, A. *Lain mukaan maastoauton on oltava oikeasti maastoauto* [Blogi] Nelivetoa. 9.3.2014 [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <http://www.nelivetoa.fi/2014/03/lain-mukaan-maastoauton-on-oltava-oikeasti-maastoauto/>
- [122] Pääesikunnan lausunto sotilasajoneuvoista annetun Puolustusministeriön asetuksen muuttamisesta, AO1907. Helsinki: Pääesikunnan oikeudellinen osasto, 2018.
- [123] Rainisto, S. *St1:n Anttonen AL:ssä: ”Ennustan, että Tesla menee konkurssiin” – Sähköautot jäävät marginaaliin* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 2.2.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/st1n-anttonen-alsa-ennustan-etta-tesla-menee-konkurssiin-sahkoautot-jaavat-marginaaliin/>
- [124] Rainisto, S. *Yhtä nopeaa kuin bensatankin täyttö – Tutkijat kehittävät sähkö- ja hybridiautoihin ”välittömästi” ladattavan akun* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 2.6.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/yhta-nopeaa-kuin-bensatankin-taytto-tutkijat-kehittavat-sahko-ja-hybridiautoihin-valittomasti-ladattavan-akun/>
- [125] Ramsey, J. *Hybrid Toyota pickup still under consideration* [Uutisartikkeli]. Autoblog. 30.9.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.autoblog.com/2017/09/30/toyota-tacoma-hybrid-pickup-planning/>
- [126] *Ready for Future Operations* [Valmistajan tiedote]. Mercedes-Benz Defence Vehicles. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: http://www.mb-defence-vehicles.com/downloads/broschures/Ready_for_Future_Operations_Mercedes-Benz_2016.pdf
- [127] *Reichweite schmilzt (Toimintamatka sulaa)* [Verkkajulkaisu]. Auto Bild. 3.1.2014 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.autobild.de/artikel/elektroautos-im-winter-test-4508538.html>
- [128] *Reichweite von Elektroautos (Sähköautojen toimintamatka)* [Verkkajulkaisu]. Dekra. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.dekra-elektromobilitaet.de/de/reichweite>
- [129] Riswick, J. *Tesla Model X vs Model S: What's the Difference?* [Verkkajulkaisu]. Autotrader. 1.7.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.autotrader.com/car-reviews/tesla-model-x-vs-model-s-whats-the-difference-255734>
- [130] Rommel, E. & Liddell-Hart B. *The Rommel Papers*. 1st American ed. New York: Harcourt Brace, 1953. 545 p.

- [131] Rouhiainen, N. *Brittilehti: Volvolta ensimmäinen täyssähköauto vielä tänä vuonna – ”Akkukesto mitataan tulevaisuudessa päivissä”* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 30.1.2018 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/brittilehti-volvolta-ensimmainen-tayssahkoauto-viela-tana-vuonna--akkukesto-mitataan-tulevaisuudessa-paivissa/XW79dEf7>
- [132] *Roy Amara 1925–2007 American futurologist* [Verkkajulkaisu]. Oxford Reference. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/ac-ref/9780191826719.001.0001/q-oro-ed4-00018679>
- [133] Rubin, A. *Trendianalyysi tulevaisuudentutkimuksen menetelmänä* [Verkkajulkaisu]. TOPI - Tulevaisuudentutkimuksen oppimateriaali. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tulevaisuus.fi/menetelmat/toimintaympariston-muutosten-tarkastelu/trendianalyysi-tulevaisuudentutkimuksen-menetelmana/>
- [134] Rubin, A. *Tulevaisuuksientutkimus tiedonalana ja tieteellisenä tutkimuksena* [Verkkajulkaisu]. Metodix. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://metodix.fi/2014/12/02/anita-rubin-tulevaisuuksientutkimus-tiedonalana-ja-tieteellisena-tutkimuksena/#Tulevaisuuksientutkimuksen%20%C3%A4hestymistavat>
- [135] Räisänen, P. *Mercedekseltä tulossa kokonainen sähköautojen mallisto* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 7.8.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/mercedekselta-tulossa-kokonainen-sahkoautojen-mallisto/w2YNzNpf>
- [136] Salin, K. *Euro5:n tulo jättää pakettiautomarkkinoille Toyota Hiacen menevän aukon* [Uutisartikkeli]. Tekniikka & talous. 25.10.2011 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/arkisto/2011-10-25/Euro5n-tulo-j%C3%A4tt%C3%A4pakettiautomarkkinoille-Toyota-Hiacen-menev%C3%A4n-aukon-3305056.html>
- [137] Saxton, T. *DC fast charging billing models and encouraging efficient usage* [Verkkajulkaisu]. Charged Electric Vehicles Magazine. 23.1.2014 [Viitattu 7.4.2018]. Saatavissa: <https://chargedevs.com/features/dc-fast-charging-billing-models-and-encouraging-efficient-usage/>
- [138] Schmitt, B. *German Transport Minister: ICE Ban By 2030 "Utter Nonsense"* [Uutisartikkeli]. Forbes. 11.10.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/bertelschmitt/2016/10/11/german-transport-minister-ice-ban-by-2030-utter-nonsense/#2c740f9e9668>

- [139] Schmitt, B. *Germany's Bundesrat Resolves End Of Internal Combustion Engine* [Uutisartikkeli]. Forbes. 8.10.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/bertelschmitt/2016/10/08/germanys-bundesrat-resolves-end-of-internal-combustion-engine/#79d3ff4960bd>
- [140] *SR5 4x4 Double-Cab Pick-Up 2.8L Turbo-diesel Manual* [Valmistajan tiedote]. Toyota Australia. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.toyota.com.au/hilux/specifications/sr5-4x4-double-cab-pick-up-28l-turbo-diesel-manual>
- [141] Suomala, T. *Koeajo: Tesla Model X - "Tarjoaa todellista insinööripornoa"* [Uutisartikkeli]. Tuulilasi. 6.6.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.tuulilasi.fi/koeajot/koeajo-tesla-model-x-tarjoaa-todellista-insinooripornoa>
- [142] *Tesla Model S Weight Distribution* [Verkkójulkaisu]. Teslarati. 19.7.2013 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.teslarati.com/tesla-model-s-weight/>
- [143] *Tesla Model X* [Verkkójulkaisu]. Net Car Show. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: https://www.netcarshow.com/tesla/2017-model_x/
- [144] *The #1 WiFi CAN Bus, OBD2 & J1939 Analyzer: CANLogger3000* [Valmistajan tiedote]. CSS Electronics. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.csselectronics.com/screen/page/wifi-can-bus-obd2-j1939-analyzer-canlogger3000>
- [145] *The architecture of e mobility: Audi e-tron Sportback concept* [Valmistajan tiedote]. Audi Newsroom. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <https://media.audiusa.com/en-us/releases/158>
- [146] *The World's Top Selling Car Model in Every Country* [Blogi]. Indigo. 23.10.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://uk.parkindigo.com/en/news/blog/the-worlds-top-selling-car-model-in-every-country>
- [147] Tietokantahaku Jääkäriprikaatin hallinnoimalle perävaunulle WJB-351. [Viitattu 29.3.2018] Saatavissa: <https://asiointi.trafi.fi/fi/web/asiointi/henkiloasiakkaat/tieliikenne/tarkista-ajoneuvon-rekisteritiedot>
- [148] Tietokantahaku Jääkäriprikaatin perustamien joukkojen materiaalitietoihin
- [149] Torrens, G. *Fuel Comparison: Diesel, petrol or LPG?* [Verkkójulkaisu]. 4X4 Australia. 14.1.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.4x4australia.com.au/gear/1701/fuel-comparison-diesel-petrol-or-lpg>
- [150] *Toyota GD series diesel engines* [Verkkójulkaisu]. Toyota-club. 1.9.2015 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: http://toyota-club.net/files/faq/15-10-20_faq_gd-engine_eng.htm

- [151] *Toyota Hilux technical specifications* [Valmistajan tiedote]. Toyota UK. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: http://media.toyota.co.uk/wp-content/files_mf/1467979069160531MHiluxtechspec.pdf
- [152] *Toyota Land Cruiser - Toyota Electric Cruiser* [Valmistajan tiedote]. Extrem Fahrzeug. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.extremfahrzeuge.com/electriccruiser.html>
- [153] *Toyota siirtyy polttokennoon* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 16.5.2010 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/toyota-siirtyy-polttokennoon/>
- [154] *Toyotan pääjohtaja varoittaa sähköautojen kolmen vuoden ongelmasta – uskoo mullistavaan kiinteän olomuodon akkuteknologiaan* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 2.11.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/toyotan-paa-johtaja-varoittaa-sahkoautojen-kolmen-vuoden-ongelmasta-uskoo-mullistavaan-kiinteän-olomuodon-akkuteknologiaan/>
- [155] *Toyota's Revamped Turbo Diesel Engines Offer More Torque, Greater Efficiency and Lower Emissions* [Valmistajan tiedote]. Toyota Japan. 19.6.2015 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://newsroom.toyota.co.jp/en/detail/8348091>
- [156] Tsang, A. & Libell, HP. *In Norway, Electric and Hybrid Cars Outsell Conventional Models* [Uutisartikkeli]. New York Times. 4.1.2018 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.nytimes.com/2018/01/04/business/energy-environment/norway-electric-hybrid-cars.html>
- [157] *Tuotteet ja hinnat* [Valmistajan tiedote]. Terra Gas. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.terragas.fi/tuotteet.html>
- [158] Turner, J. *Lithium battery performance in cold temperatures* [Verkköjulkaisu]. Optibike. 10.12.2009 [Viitattu 7.4.2018]. Saatavissa: <https://optibike.com/lithium-battery-performance-in-cold-temperatures/>
- [159] Turtiainen, J. *Daimler paljasti huikean sähköautoprojektinsa* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 29.11.2016 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/daimler-paljasti-huikean-sahkoautoprojektinsa/i6bNg8ru>
- [160] Turtiainen, J. *Kaikki tähtäävät vetyyn* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 16.10.2015 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/kaikki-tahtaavat-vetyyn/etYfgyuA>

- [161] Turtiainen, J. *Sähköautolla matka katkeaa talvella lyhyeen* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 4.1.2014 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/sahkoautolla-matka-katkeaa-talvella-lyhyeen/aBa32DNX>
- [162] Turtiainen, J. *Tulevat täyssähköautot kulkevat todella pitkälle* [Uutisartikkeli]. Kauppalehti. 2.11.2015 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/tulevat-tayssahkoautot-kulkevat-todella-pitkalle/bV5mJUAK>
- [163] *Uusi isku vetyautoille: Toyota kutsuu kaikki Mirai-polttokennoautonsa korjattaviksi* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 15.2.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/uusi-isku-vetyautoille-toyota-kutsuu-mirai-polttokennoautonsa-korjattaviksi/>
- [164] *Uusi läpimurto akkuteknologiassa voi kolminkertaistaa sähköautojen toimintamatkan* [Uutisartikkeli]. Tekniikan maailma. 12.12.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/uusi-lapimurto-akkuteknologiassa-voi-kolminkertaistaa-sahkoautojen-toimintamatkan/>
- [165] *Uusia lämmitysratkaisuja* [Kaupallinen tiedote]. Webasto. [Viitattu 21.10.2017]. Saatavissa: <https://www.webasto.com/fi/tuotteet-ja-markkinat/henkiloeautot/laemmitysja-erjestelmaet-valmistajille/vehicle-heaters/>
- [166] Wang, Y. & al. *A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research*. US Department of Energy Publications [Artikkeli]. University of Nebraska - Lincoln. 2011. [Viitattu 23.9.2018]. Saatavissa: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1131&context=usdoepub>
- [167] Warner, R. *2019 Ram 1500 eTorque system: What it is and how it works* [Uutisartikkeli]. Autoweek. 19.1.2018 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://autoweek.com/article/technology/2019-ram-etorque-system-torque-down-low>
- [168] Vaughan, A. *All Volvo cars to be electric or hybrid from 2019* [Uutisartikkeli]. The Guardian. 5.7.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.theguardian.com/business/2017/jul/05/volvo-cars-electric-hybrid-2019>
- [169] Vaughan, A. *Jaguar Land Rover to make only electric or hybrid cars from 2020* [Uutisartikkeli]. The Guardian. 7.9.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.theguardian.com/business/2017/sep/07/jaguar-land-rover-electric-hybrid-cars-2020>

- [170] *Webasto Means Feel Good Climate* [Valmistajan tiedote]. Webasto. [Viitattu 21.10.2017]. Saatavissa: https://www.webasto.com/fileadmin/webasto_files/documents/international/car/brochure/car-parking-heater-brochure.pdf
- [171] Weessler, P. *Leaf to be sold with battery pack at C-segment price* [Uutisartikkeli]. SAE International. 11.3.2010 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://articles.sae.org/7714/>
- [172] Vesanen, E. *Puolustusvoimat 2030-luvun Suomessa*. Pro gradu -tutkimus. Helsinki 2015. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 85 s.
- [173] *What is SCR?* [Verkojulkaisu]. Diesel Technology Forum. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/what-is-scr>
- [174] Virolainen, P. *Maastureilla menee lujaa* [Uutisartikkeli]. Tekniikka & talous. 28.4.2005 [Viitattu 9.4.2018]. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metalli/2005-04-28/Maastureilla-menee-lujaa-3283598.html>
- [175] *Väsynyt AdBlue-ongelmiin? Meiltä löytyy ratkaisu* [Kaupallinen tiedote]. Finntuning. [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://www.finntuning.fi/palvelut/adblue-off>
- [176] Yksityinen sähköpostikeskustelu: Jarno Hiltunen, Järjestelmäkeskus, Maajärjestelmäosasto
- [177] Young, K. & al. *Electric Vehicle Battery Technologies*. New York: Springer, 2013. 325 p. 978-1-4614-0134-6.
- [178] Yuksel, T & Michalek, J. *Regional Effects of Ambient Temperature on Electric Vehicle Efficiency, Range, and Emissions in the US*. [Artikkeli]. Environmental Science & Technology. 2015 Vol. 49 (6), s. 3974–3980. [Viitattu 23.9.2018]. Saatavissa: <https://cedmcenter.org/wp-content/uploads/2014/05/24-Yuksel.pdf>
- [179] Zloty, P. *LPG cars in winter - low temperatures* [Verkojulkaisu]. Gazeo. 10.2.2014 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <http://gazeo.com/up-to-date/news/2014/LPG-cars-in-winter-low-temperatures,news,7513.html>
- [180] ZumMallen, R. *Chevrolet ZH2 Truck Brings Hydrogen Closer to the Battlefield* [Uutisartikkeli]. Trucks.com. 3.4.2017 [Viitattu 29.3.2018]. Saatavissa: <https://www.trucks.com/2017/04/03/chevrolet-zh2-hydrogen-truck/#/item=1>

LIITTEET

LIITE 1: Euroopan komission asetus 678/2011

LIITE 2: Puolustusministeriön asetus sotilasajoneuvoista annetun Puolustusministeriön asetuksen muuttamisesta (143/2018)

LIITE 3: Hansel OY: n kanssa solmitun puitesopimuksen liite 1

LIITE 4: Kuukausittaiset keskilämpötilat Sodankylässä 2010–2017

LIITE 5: Esimerkki käyttökyselyssä palautetusta lomakkeesta

LIITE 6: Käyttökyselyn yhteydessä toteutettu viestintä

LIITE 7: Simulaation toteutus

LIITE 1: Euroopan komission asetus 678/2011

KOMISSION ASETUS (EU) N:o 678/2011,

annettu 14 päivänä heinäkuuta 2011,

puitteiden luomisesta moottoriajoneuvojen ja niiden perävaunujen sekä tällaisiin ajoneuvoihin tarkoitettujen järjestelmien, osien ja erillisten teknisten yksiköiden hyväksymiselle annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2007/46/EY (Puitedirektiivi) liitteen II korvaamisesta ja liitteiden IV, IX ja XI muuttamisesta

[—]

”LIITE II

YLEISET MÄÄRITELMÄT, AJONEUVOLUOKITUKSESSA KÄYTETTÄVÄT

PERUSTEET, AJONEUVOTYYPIT JA KORITYYPIT

JOHDANTO-OSA

Yleiset määritelmät ja yleiset määräykset

[—]

4. Perusteet ajoneuvojen luokittelulle maastoajoneuvojen alaluokkaan

4.1 M1- tai N1-luokan ajoneuvot on luokiteltava maastoajoneuvojen alaluokkaan, jos ne täyttävät samanaikaisesti seuraavat edellytykset:

a) Vähintään yksi etu- ja vähintään yksi taka-akseli on suunniteltu vetämään samanaikaisesti, riippumatta siitä, voidaanko yksi vetoakseli kytkeä irti.

b) Ajoneuvossa on vähintään yksi taseuspyörästäön lukitusjärjestelmä tai vastaava järjestelmä.

c) Ajoneuvon mäestälähtökyky ilman perävaunua on vähintään 25 prosenttia.

d) Viisi seuraavista kuudesta vaatimuksesta täyttyy:

i) Lähestymiskulman on oltava vähintään 25 astetta.

ii) Jättökulman on oltava vähintään 20 astetta.

iii) Ylityskulman on oltava vähintään 20 astetta.

iv) Maavaran etuakselin kohdalla on oltava vähintään 180 mm.

v) Maavaran taka-akselin kohdalla on oltava vähintään 180 mm.

vi) Maavaran akselien välillä on oltava vähintään 200 mm. [—] ” [8]

LIITE 2: Puolustusministeriön asetus sotilasajoneuvoista annetun Puolustusministeriön asetuksen muuttamisesta (143/2018)

PUOLUSTUSMINISTERIÖN ASETUS SOTILASAJONEUVOISTA ANNETUN PUOLUSTUSMINISTERIÖN ASETUKSEN MUUTTAMISESTA (143/2018)

Puolustusministeriön päätöksen mukaisesti:

muutetaan sotilasajoneuvoista annettuun puolustusministeriön asetuksen (180/2006) 19 a §:n 3 momentti, sellaisena kuin se on asetuksessa 1237/2015, sekä

lisätään 19 a §:ään, sellaisena kuin se on asetuksessa 1237/2015, uusi 4 momentti seuraavasti:

19 a §

Eräiden sotilasajoneuvojen pakokaasupäästöt

M₁G-, N₁G-, N₂G- tai N₃G-luokan sotilasajoneuvon pakokaasupäästöjen tulee täyttää direktiivin 1999/96/EY mukaiset EURO III -tason tai direktiivin 98/69/EY mukaiset Euro 3 -tason vaatimukset sen mukaan, mitä direktiiviä autoon sovelletaan.

Pakokaasupäästörajoituksia ei sovelleta yksittäistapauksessa käytettynä maahantuotuun sotilasajoneuvon, jos sen ensirekisteröinti on tapahtunut ensimmäisessä rekisteröintimaassa ennen direktiivin 1999/96/EY tai direktiivin 98/69/EY voimaantuloa ja poikkeaminen on perusteltua sotilasajoneuvon operatiivisen käyttötarkoituksen takia.

Tämä asetus tulee voimaan 21 päivänä helmikuuta 2018. [6]

AUTOT PALVELUINEEN 2017–2019 (2021)

AUTOT

HANKINNAN KOHTEEN KUVAUS JA VAATIMUKSET

[–]

11 OSA-ALUE: PICK-UP AUTOT**11.1 PICK-UP AUTOT****Yleiset vaatimukset sopimusmallistolle**

Sopimusmalliston tulee täyttää sopimuskaudella alla olevat yleiset vaatimukset. Yleisten vaatimusten täyttymisen tulee perustua auton tyyppihyväksyntätietoihin tai mikäli tiedot eivät ilmene niistä, valmistajan tai maahantuojan ilmoittamiin tietoihin.

Yleiset vaatimukset ovat seuraavat

- Ajoneuvolain (1090/2002) 10 §:n ja Liikenne- ja viestintäministeriön asetuksen autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista (1248/2002) 6 §:n mukainen M₁G-luokan maastohenkilöauto tai N₁G-luokan maastopakettiauto tai kokonaismassaltaan yli 3,5 tn, kuitenkin enintään 7 tn N₂G-luokan maastokuorma-auto
- Auton pituus (ilman vetokoukkaa) vähintään 5100 mm
- Euro-päästöluokitus vähintään Euro6*
- Korimalli pick-up
- Neliveto
- CO₂-päästöt M₁-luokan henkilöautoille ja N₁-luokan pakettiautoille enintään 270 g/km (EU-yhdistetty kulutus)
- Tyyppihyväksytty käytettäväksi Suomessa ja rekisteröitävissä Liikenteen turvallisuusviraston Ajoneuvoliikennerekisteriin

[–]

*Puolustusvoimilla on oikeus hankkia puolustusministeriön sotilasajoneuvoista antaman asetuksen (180/2006) perusteella alhaisempia kuin Euro6-päästöluokitukseltaan olevia autoja.

Lisävaatimukset vertailuhinnoiteltavalle autolle

Vertailuhinnoiteltavan auton tulee täyttää sopimuskaudella yleisten vaatimusten lisäksi sille alla esitetyt lisävaatimukset. Lisävaatimusten täyttymisen tulee perustua auton tyyppihyväksyntätietoihin tai mikäli tiedot eivät niistä ilmene, valmistajan tai maahantuojan ilmoittamiin tietoihin.

- Dieselmoottori
- Rekisteröity viidelle (5) henkilölle
- Sallittu perävaunumassa jarruin vähintään 3200kg

[--]

12 OSA-ALUE: KATUMAASTURIT JA MAASTOAUTOT

Osa-alue koostuu seuraavista autoluokista:

- Katumaasturit
- Maastoautot

[--]

12.1 KATUMAASTURIT

Yleiset vaatimukset sopimusmallistolle

Sopimusmalliston tulee täyttää sopimuskaudella alla olevat yleiset vaatimukset. Yleisten vaatimusten täyttymisen tulee perustua auton tyyppihyväksyntätietoihin tai mikäli tiedot eivät ilmene niistä, valmistajan tai maahantuojan ilmoittamiin tietoihin.

Yleiset vaatimukset ovat seuraavat

- Ajoneuvolain (1090/2002) 10 §:n mukainen M₁-luokan henkilöauto tai M1G-luokan maastohenkilöauto
- Auton pituus (ilman vetokoukkuja) 4300 mm – 4970 mm
- Auton korkeus 1600 mm – 1870 mm

- Kuormaamattoman auton maavara vähintään 170mm autoon tyyppihyväksytyin renkain
- Saatavana myös nelivetoisena
- Euro-päästöluokitus vähintään Euro6*
- Rekisteröity vähintään viidelle (5) henkilölle
- CO₂-päästöt enintään 320 g/km (EU-yhdistetty kulutus)
- Tyyppihyväksyty käytettäväksi Suomessa ja rekisteröitävissä Liikenteen turvallisuusviraston Ajoneuvoliikennerekisteriin

[– –]

*Puolustusvoimilla on oikeus hankkia puolustusministeriön sotilasajoneuvoista antaman asetuksen (180/2006) perusteella alhaisempia kuin Euro6-päästöluokitukseltaan olevia autoja.

Lisävaatimukset vertailuhinnoiteltavalle autolle

Vertailuhinnoiteltavalle autolle ei ole asetettu lisävaatimuksia.

12.2 MAASTOAUTOT

Yleiset vaatimukset sopimusmallistolle

Sopimusmalliston tulee täyttää sopimuskaudella alla olevat yleiset vaatimukset. Yleisten vaatimusten täyttymisen tulee perustua auton tyyppihyväksyntätietoihin tai mikäli tiedot eivät ilmene niistä, valmistajan tai maahantuojan ilmoittamiin tietoihin.

Yleiset vaatimukset ovat seuraavat

- Ajoneuvolain (1090/2002) 10§:n ja Liikenne- ja viestintäministeriön asetuksen autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista (1248/2002) 6§:n mukainen M₁G-luokan maastohenkilöauto tai N₁G-luokan maastopakettiauto tai kokonaismassaltaan yli 3,5 tn, kuitenkin enintään 7 tn N₂G-luokan maastokuorma-auto
- Auton pituus (ilman vetokoukkuja) 4400 mm – 5100 mm
- Euro-päästöluokitus vähintään Euro6*
- Rekisteröity vähintään neljälle (4) henkilölle
- Erityisen hitaasti, raskaalla kuormalla tai vaativassa maastossa ajettaessa käyttöön kytettävissä oleva vaihde tilanteisiin, jossa tarvitaan suurta vääntömomenttia

- Neliveto
- CO₂-päästöt M₁G-luokan maastohenkilöautoille ja N₁G-luokan maastopakettiautoille enintään 400 g/km (EU-yhdistetty kulutus)

[--]

*Puolustusvoimilla on oikeus hankkia puolustusministeriön sotilasajoneuvoista antaman asetuksen (180/2006) perusteella alhaisempia kuin Euro6-päästöluokitukseltaan olevia autoja.

Lisävaatimukset vertailuhinnoiteltavalle autolle

Vertailuhinnoiteltavalle autolle ei ole asetettu lisävaatimuksia.

[--]

Tutkijan huomautus: Toisin kuin puitesopimuksessa todetaan, Puolustusvoimien oikeus hankkia alhaisempia kuin EURO 6-päästöluokituksen ajoneuvoja ei perustu Puolustusministeriön sotilasajoneuvoista antamaan asetukseen 180/2006, vaan asetusmuutokseen 143/2018, jota ei ollut vielä vahvistettu puitesopimusta laadittaessa.

LIITE 4: Kuukausittaiset keskilämpötilat Sodankylässä 2010–2017

Taulukko 6. Kuukausittaiset keskilämpötilat (°C) Sodankylässä 2010–2017

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tammikuu	-14,6	-13,4	-12,5	-11,5	-15,1	-14,1	-18,1	-10,2
Helmikuu	-17,5	-19	-15,8	-9,4	-4	-6,5	-6,3	-10,1
Maaliskuu	-10,3	-6	-5,4	-13,2	-3,9	-2,3	-4	-5,6
Huhtikuu	1,2	2,6	-2,2	-0,9	-0,2	0,9	1,1	-2,5
Toukokuu	8,1	6,5	5,9	9,5	5,4	6,3	9	2,6
Kesäkuu	10,9	14,5	10,7	14,2	10,6	10,2	12	10,3
Heinäkuu	15,8	16,5	13,9	14,6	18,3	12	16,8	15,1
Elokuu	11,4	12,5	12,1	13,9	13,9	13,5	12,2	11,9
Syyskuu	6,9	8,7	6,9	9,1	7,6	9,5	8,5	7,2
Lokakuu	2	2,9	-0,1	0,4	-1	0,6	1,7	0,4
Marraskuu	-11,4	-2,1	-4,1	-5,9	-5,7	-2,5	-6,1	-5,5
Joulukuu	-15,2	-3,7	-14,5	-8,2	-8,4	-8,9	-9,1	-10,1

Taulukko on koottu Ilmatieteen laitoksen säähavaintojen latauksen mahdollistavasta internet-palvelusta saatujen tietojen perusteella. Palvelu on saatavissa osoitteesta <http://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

LIITE 5: Esimerkki käyttökyselyssä palautetusta lomakkeesta

15

Tutkijan merkintöjä

200km

MAASTOHENKILÖAUTO 2030

"Minkälainen moottori löytyy vihreästä maastohenkilöautosta 10 vuoden päästä?"

Täytä tähän kyselylomakkeeseen tietoja kuljettamasi Puolustusvoimien ajoneuvon käytöstä, niin voin esittää kysymykseen vastaukseni 2018 keväällä. Palauta täytetty lomake ajon päätyttyä ajomääräyksen mukana hallipäivystäjälle.
LISÄTIETOJA: YLIL Aku Saarelainen / JPRES aku.saarelainen@mil.fi

VIIKKO: 43AJONEUVON REKISTERITUNNUS: 4JY-353

PÄIVÄ	AJOMATKA	ARVIO <input type="checkbox"/>	TARKKA <input checked="" type="checkbox"/>	KUORMA (arvio)	AUTON PISIN LEPO-AIKA
MAANANTAI 23.10	<u>0</u> km	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>0</u> kg	klo <u>00:00</u> - <u>23:59</u>
TIISTAI 24.10	<u>62,2</u> km	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>n. 100</u> kg	klo <u>00:00</u> - <u>8:00</u>
KESKIVIIKKO 25.10	<u>58,1</u> km	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>n. 100</u> kg	klo <u>07:30</u> - <u>17:00</u>
TORSTAI 26.10	<u>36,2</u> km	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>n. 100 kg</u> kg	klo <u>16:15</u> - <u>07:45</u>
PERJANTAI 27.10	<u>22,0</u> km	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>n. 100</u> kg	klo <u>16:25</u> - <u>07:45</u>
LAUANTAI 28.10	<u>68,4</u> km	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>n. 100</u> kg	klo <u>12:30</u> - <u>16:30</u>
SUNNUNTAI 29.10	<u>0</u> km	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>0</u> kg	klo _____ - _____

LAATIJA:

Lomakkeen palauttajan nimi

ARVO JA NIMI

ps. täyttämällä lomakkeen osallistut arvontaan, jonka palkinnon suuruudesta tulet hämmästyämään!

LIITE 6: Käyttökyselyn yhteydessä toteutettu viestintä

Käyttökyselyn käynnistämisen yhteydessä lähetetty sanoma:

Lähettäjä: Saarelainen Aku PV JPR

Lähetetty: 29. syyskuuta 2017 10:45

Vastaanottaja: PV_JL_JPR_E_henkilöstö; PV_JL_JPR_LAPJP_henkilöstö

Aihe: Maastohenkilöautojen käyttöön liittyvä tutkimus Sodankylässä

Herra eversti, hyvä muu Sodankylän väki!

Kulkeeko meidän maastohenkilöautot 10 vuoden päästä dieselillä, kaasulla, sähköllä vai jollain muulla?

En vielä tiedä mutta aion ottaa selvää!

Teen maisteriopintoihini kuuluvaa pro gradu -tutkimusta moottoritekniikan lähitulevaisuuden kehitysnäkymistä. Osana tutkimusta kartoitan ajoneuvojen käyttöä Jääkäriprikaatissa.

Tutkimukseeni liittyen tullette loppusyksyn ja alkukevään aikana kuljetuskeskus 1:stä maastohenkilöauton noutaessanne saamaan mukaan kyselylomakkeen. Tutkimustani, ja näin ollen sotakoulusta valmistumistani, edistäisi teiltä työkavereilta saatu apu kyselylomakkeen täyttämisen muodossa!

Lomakkeessa pyydetään muutamia tietoja ajoneuvon käytöstä, kuten päivittäistä ajomatkaa, suurinta päivän käytön aikana ajoneuvossa kuljetettua kuormaa (matkustajat mukaan lukien), sekä pisintä päivän käyttöjaksoon osunutta auton lepoaikaa.

Jotta tutkimukseen osallistumisesta jäisi muutakin kuin hyvä mieli, suoritan tutkimuksen päätyttyä osallistuneiden kesken arvonnän, jossa tulee olemaan mittava lasiseen kuoreen pakattu palkinto!

YLIL Aku Saarelainen

JPRE-KOULOS

Tutkimuksen päättämisen yhteydessä lähetetty sanoma:

Lähetäjä: Saarelainen Aku PV JPR

Lähetetty: 16. maaliskuuta 2018 12:11

Vastaanottaja: (Kyselyssä lomakkeen täyttäneet henkilöt)

Kopio: (Kyselyssä tukenut Kuljetuskeskus 1: n henkilökunta)

Aihe: Maastohenkilöautojen käyttökysely päättyy

Herra everstiluutnantti, hyvät työkaverit!

Olen päättänyt maastohenkilöautojen käyttöä kartoittavan kyselyn Sodankylässä. Kiitos avusta tutkimuksessani!

Vastaanotin tutkimuksen tarkasteluvälillä kaikkiansa 24 lomaketta teiltä tämän sanoman vastaanottajilta. Samaan aikaan Kuljetuskeskus 1 kirjoitti tarkastelluille ajoneuvoille 411 ajomääräystä, eli ihan hyvä suoritus. Viestin loppuun olen liittänyt muutamia lomakkeittenne perusteella piirtämiäni taulukoita. Niille keitä asia kiinnostaa.

Muutamia poimintoja ja erityismainintoja:

[--] onnistui ylivertaisen genetiikkansa johdosta kirjaamaan ajomatkat sadan metrin tarkkuudella. Hyvä [--]!

[--] kykeni saman viikon aikana ajamaan kolmella eri autolla ja palauttamaan kaikista ajoistaan lomakkeen. Yksi ajoneuvoista oli VW Transporter, jonka käyttöä tutkimuksessa ei selvitetty.

Pulloarvonta osui tällä kertaa näillä näytöillä [--]. Noudettavissa [--], ota pyyhe mukaan.

YLIL ASAA

Tutkijan huomautus: Sanoman liitteenä oli joitain samoja kuvaajia, joita on esitetty luvuissa 4 ja 5.

LIITE 7: Simulaation toteutus

				+20 C, 3-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,24	Lataus- nopeus kW/h 11	-10 C, 3-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,48	Lataus- nopeus kW/h 11	+20 C, 1-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,24	Lataus- nopeus kW/h 3	-10 C, 1-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,48	Lataus- nopeus kW/h 3
Ajo- tehtävä nro	Päivä nro	Ajo- matka km	Lepo- aika h	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)
1	1	200	11	150,0	48,0	48,0	150,0	96,0	96,0	150,0	48,0	33,0	150,0	96,0	33,0
	2	200	0	150,0	48,0	0,0	150,0	96,0	0,0	135,0	48,0	0,0	87,0	LOPPU	
				102,0	0,0	0,0	54,0	0,0	0,0	87,0	0,0	0,0	0,0		
2	1	620	11	150,0	148,8	121,0	150,0	LOPPU		150,0	148,8	33,0	150,0	LOPPU	
	2	300		122,2	72,0	0,0				34,2	LOPPU				
				50,2	0,0	0,0									
3	1	5	20	150,0	1,2	1,2	150,0	2,4	2,4	150,0	1,2	1,2	150,0	2,4	2,4
	2	500	6	150,0	120,0	66,0	150,0	LOPPU		150,0	120,0	18,0	150,0	LOPPU	
	3	5	20	96,0	1,2	55,2				48,0	1,2	60,0			
	4	10	11	150,0	2,4	2,4				106,8	2,4	33,0			
				150,0	0,0	0,0				137,4	0,0	0,0			
4	1	188	14	150,0	45,1	45,1	150,0	90,2	90,2	150,0	45,1	42,0	150,0	90,2	42,0
	2	150	7	150,0	36,0	36,0	150,0	72,0	72,0	146,9	36,0	21,0	101,8	72,0	21,0
	3	160	7	150,0	38,4	38,4	150,0	76,8	76,8	131,9	38,4	21,0	50,8	LOPPU	
	4	170	7	150,0	40,8	40,8	150,0	81,6	77,0	114,5	40,8	21,0			
	5	200	7	150,0	48,0	48,0	145,4	96,0	77,0	94,7	48,0	21,0			
				150,0	0,0	0,0	126,4	0,0	0,0	67,7	0,0	0,0			
5	1	188	14	150,0	45,1	45,1	150,0	90,2	90,2	150,0	45,1	42,0	150,0	90,2	42,0
	2	200	11	150,0	48,0	48,0	150,0	96,0	96,0	146,9	48,0	33,0	101,8	96,0	33,0
	3	143	11	150,0	34,3	34,3	150,0	68,6	68,6	131,9	34,3	33,0	38,8	LOPPU	
	4	294	13	150,0	70,6	70,6	150,0	141,1	141,1	130,6	70,6	39,0			
	5	250		150,0	60,0	0,0	150,0	120,0	0,0	99,0	60,0	0,0			
				90,0	0,0	0,0	30,0	0,0	0,0	39,0	0,0	0,0			
6	1	32	10	150,0	7,7	7,7	150,0	15,4	15,4	150,0	7,7	7,7	150,0	15,4	15,4
	2	40	6	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	19,2	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	18,0
	3	20	6	150,0	4,8	4,8	150,0	9,6	9,6	150,0	4,8	4,8	148,8	9,6	10,8
	4	40	6	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	19,2	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	18,0
	5	65	6	150,0	15,6	15,6	150,0	31,2	31,2	150,0	15,6	15,6	148,8	31,2	18,0
	6	60	6	150,0	14,4	14,4	150,0	28,8	28,8	150,0	14,4	14,4	135,6	28,8	18,0
	7	50	7	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	124,8	24,0	21,0
				150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	121,8	0,0	0,0
7	1	270		150,0	64,8	0,0	150,0	129,6	0,0	150,0	64,8	0,0	150,0	129,6	0,0
				85,2	0,0	0,0	20,4	0,0	0,0	85,2	0,0	0,0	20,4	0,0	0,0
8	1	30	9	150,0	7,2	7,2	150,0	14,4	14,4	150,0	7,2	7,2	150,0	14,4	14,4
	2	30	10	150,0	7,2	7,2	150,0	14,4	14,4	150,0	7,2	7,2	150,0	14,4	14,4
	3	60	9	150,0	14,4	14,4	150,0	28,8	28,8	150,0	14,4	14,4	150,0	28,8	27,0
	4	60	7	150,0	14,4	14,4	150,0	28,8	28,8	150,0	14,4	14,4	148,2	28,8	21,0
	5	60	9	150,0	14,4	14,4	150,0	28,8	28,8	150,0	14,4	14,4	140,4	28,8	27,0
				150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	138,6	0,0	0,0
9	1	50	10	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0
	2	50	10	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0
	3	50	9	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0
				150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0
10	1	25	9	150,0	6,0	6,0	150,0	12,0	12,0	150,0	6,0	6,0	150,0	12,0	12,0
	2	22	10	150,0	5,3	5,3	150,0	10,6	10,6	150,0	5,3	5,3	150,0	10,6	10,6
	3	40	10	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	19,2	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	19,2
	4	45	10	150,0	10,8	10,8	150,0	21,6	21,6	150,0	10,8	10,8	150,0	21,6	21,6
	5	40	10	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	19,2	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	19,2
				150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0

				+20 C, 3-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,24	Lataus- nopeus kW/h 11	-10 C, 3-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,48	Lataus- nopeus kW/h 11	+20 C, 1-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,24	Lataus- nopeus kW/h 3	-10 C, 1-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,48	Lataus- nopeus kW/h 3
Ajo- tehtävä nro	Päivä nro	Ajo- matka km	Lepo- aika h	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)
11	1	410	8	150,0	98,4	88,0	150,0	LOPPU		150,0	98,4	24,0	150,0	LOPPU	
	2	40	15	139,6	9,6	20,0				75,6	9,6	45,0			
	3	40	11	150,0	9,6	9,6				111,0	9,6	33,0			
	4	40	11	150,0	9,6	9,6				134,4	9,6	25,2			
	5	370	9	150,0	88,8	88,8				150,0	88,8	27,0			
				150,0	0,0	0,0				88,2	0,0	0,0			
12	1	42	8	150,0	10,1	10,1	150,0	20,2	20,2	150,0	10,1	10,1	150,0	20,2	20,2
	2	52	8	150,0	12,5	12,5	150,0	25,0	25,0	150,0	12,5	12,5	150,0	25,0	24,0
	3	50	7	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	149,0	24,0	21,0
	4	50	5	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	146,0	24,0	15,0
	5	30		150,0	7,2	0,0	150,0	14,4	0,0	150,0	7,2	0,0	137,0	14,4	0,0
				142,8	0,0	0,0	135,6	0,0	0,0	142,8	0,0	0,0	122,6	0,0	0,0
13	1	30	15	150,0	7,2	7,2	150,0	14,4	14,4	150,0	7,2	7,2	150,0	14,4	14,4
	2	50	15	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0
				150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0
14	1	50	15	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0
	2	50		150,0	12,0	0,0	150,0	24,0	0,0	150,0	12,0	0,0	150,0	24,0	0,0
				138,0	0,0	0,0	126,0	0,0	0,0	138,0	0,0	0,0	126,0	0,0	0,0
15	1	62	8	150,0	14,9	14,9	150,0	29,8	29,8	150,0	14,9	14,9	150,0	29,8	24,0
	2	58	14	150,0	13,9	13,9	150,0	27,8	27,8	150,0	13,9	13,9	144,2	27,8	33,6
	3	36	15	150,0	8,6	8,6	150,0	17,3	17,3	150,0	8,6	8,6	150,0	17,3	17,3
	4	22	15	150,0	5,3	5,3	150,0	10,6	10,6	150,0	5,3	5,3	150,0	10,6	10,6
	5	68		150,0	16,3	0,0	150,0	32,6	0,0	150,0	16,3	0,0	150,0	32,6	0,0
				133,7	0,0	0,0	117,4	0,0	0,0	133,7	0,0	0,0	117,4	0,0	0,0
16	1	50	11	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0
	2	70	7	150,0	16,8	16,8	150,0	33,6	33,6	150,0	16,8	16,8	150,0	33,6	21,0
	3	100	8	150,0	24,0	24,0	150,0	48,0	48,0	150,0	24,0	24,0	137,4	48,0	24,0
	4	100	10	150,0	24,0	24,0	150,0	48,0	48,0	150,0	24,0	24,0	113,4	48,0	30,0
	5	70	6	150,0	16,8	16,8	150,0	33,6	33,6	150,0	16,8	16,8	95,4	33,6	18,0
				150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	79,8	0,0	0,0
17	1	57	9	150,0	13,7	13,7	150,0	27,4	27,4	150,0	13,7	13,7	150,0	27,4	27,0
	2	66	11	150,0	15,8	15,8	150,0	31,7	31,7	150,0	15,8	15,8	149,6	31,7	32,0
	3	40	8	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	19,2	150,0	9,6	9,6	150,0	19,2	19,2
	4	68	8	150,0	16,3	16,3	150,0	32,6	32,6	150,0	16,3	16,3	150,0	32,6	24,0
	5	76		150,0	18,2	0,0	150,0	36,5	0,0	150,0	18,2	0,0	141,4	36,5	0,0
				131,8	0,0	0,0	113,5	0,0	0,0	131,8	0,0	0,0	104,9	0,0	0,0
18	1	35	8	150,0	8,4	8,4	150,0	16,8	16,8	150,0	8,4	8,4	150,0	16,8	16,8
	2	42	7	150,0	10,1	10,1	150,0	20,2	20,2	150,0	10,1	10,1	150,0	20,2	20,2
	3	45	5	150,0	10,8	10,8	150,0	21,6	21,6	150,0	10,8	10,8	150,0	21,6	15,0
	4	20	5	150,0	4,8	4,8	150,0	9,6	9,6	150,0	4,8	4,8	143,4	9,6	15,0
	5	23		150,0	5,5	0,0	150,0	11,0	0,0	150,0	5,5	0,0	148,8	11,0	0,0
				144,5	0,0	0,0	139,0	0,0	0,0	144,5	0,0	0,0	137,8	0,0	0,0
19	1	200	8	150,0	48,0	48,0	150,0	96,0	88,0	150,0	48,0	24,0	150,0	96,0	24,0
	2	70	8	150,0	16,8	16,8	142,0	33,6	41,6	126,0	16,8	24,0	78,0	33,6	24,0
	3	50	8	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	133,2	12,0	24,0	68,4	24,0	24,0
	4	50	8	150,0	12,0	12,0	150,0	24,0	24,0	145,2	12,0	16,8	68,4	24,0	24,0
	5	70	8	150,0	16,8	16,8	150,0	33,6	33,6	150,0	16,8	16,8	68,4	33,6	24,0
	6	200		150,0	48,0	0,0	150,0	96,0	0,0	150,0	48,0	0,0	58,8	LOPPU	
				102,0	0,0	0,0	54,0	0,0	0,0	102,0	0,0	0,0			

				+20 C, 3-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,24	Lataus- nopeus kW/h 11	-10 C, 3-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,48	Lataus- nopeus kW/h 11	+20 C, 1-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,24	Lataus- nopeus kW/h 3	-10 C, 1-vaihe- lataus	Energian kulutus kWh/km 0,48	Lataus- nopeus kW/h 3
Ajo- tehtävä nro	Päivä nro	Ajo- matka km	Lepo- aika h	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)	Akun energia (kWh)	Energian kulutus (kWh)	Lataus (kWh)
20	1	230	9	150,0	55,2	55,2	150,0	110,4	99,0	150,0	55,2	27,0	150,0	110,4	27,0
	2	80	12	150,0	19,2	19,2	138,6	38,4	49,8	121,8	19,2	36,0	66,6	38,4	36,0
	3	115	11	150,0	27,6	27,6	150,0	55,2	55,2	138,6	27,6	33,0	64,2	55,2	33,0
	4	137	8	150,0	32,9	32,9	150,0	65,8	65,8	144,0	32,9	24,0	42,0	LOPPU	
					150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	135,1	0,0	0,0		
21	1	70	12	150,0	16,8	16,8	150,0	33,6	33,6	150,0	16,8	16,8	150,0	33,6	33,6
	2	5	9	150,0	1,2	1,2	150,0	2,4	2,4	150,0	1,2	1,2	150,0	2,4	2,4
					150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0	0,0
22	1	200	13	150,0	48,0	48,0	150,0	96,0	96,0	150,0	48,0	39,0	150,0	96,0	39,0
	2	60	10	150,0	14,4	14,4	150,0	28,8	28,8	141,0	14,4	23,4	93,0	28,8	30,0
	3	120	13	150,0	28,8	28,8	150,0	57,6	57,6	150,0	28,8	28,8	94,2	57,6	39,0
	4	60	13	150,0	14,4	14,4	150,0	28,8	28,8	150,0	14,4	14,4	75,6	28,8	39,0
	5	200		150,0	48,0	0,0	150,0	96,0	0,0	150,0	48,0	0,0	85,8	LOPPU	
					102,0	0,0	0,0	54,0	0,0	0,0	102,0	0,0	0,0		
23	1	350		150,0	84,0	0,0	150,0	LOPPU		150,0	84,0	0,0	150,0	LOPPU	
					66,0	0,0				66,0	0,0	0,0			
24	1	260		150,0	62,4	0,0	150,0	124,8	0,0	150,0	62,4	0,0	150,0	124,8	0,0
					87,6	0,0		25,2	0,0		87,6	0,0		25,2	0,0