

Opinnäytetyö AMK

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2020

Tuomas Hölsä

KAASUAUTOT SUOMESSA

– Potentiaali ja tulevaisuus liikenteen päästöjen vähentämisessä

Tuomas Hölsä

KAASUAUTOT SUOMESSA

– Potentiaali ja tulevaisuus liikenteen päästöjen vähentämisessä

Tässä opinnäytetyössä pohdittiin metaania käyttävien kaasuautojen roolia liikenteen päästöjen vähentämisessä. Työssä tutkittiin Suomen biokaasuntuotantoa, tuotantopotentiaalia, kaasuautoja ja kaasuautoiluun vaikuttavaa Suomen ja EU:n lainsäädäntöä.

Ilmastonmuutoksen hillitseminen liikenteen päästöjen kautta on ollut suurena osana EU:n ilmastopolitiikkaa. EU:n ajama ilmastopolitiikka kuitenkin suosii epäsuorasti sähkö- ja sähköhybridautoja ja heikentää täten ajoneuvotekniikan teknologianeutraaliutta. Tämä vähentää bensiiniautojen kaasuvaihtoehtien tuottamisen kannattavuutta valmistajille. Monen autovalmistajan lopetettua maa- ja biokaasua käyttävien autovaihtoehtien valmistuksen jää tämän teknologian mahdollinen päästöjen vähennyspotentiaali osittain käyttämättä. Biokaasun elinkaaripäästöt voivat olla jopa 90 % bensiiniä pienemmät. Myös lähipäästöjä syntyy vähemmän.

Työn lopuksi pohdittiin syitä ja seuraamuksia EU:n ja Suomen nykyiselle ajoneuvopolitiikalle. Vaikka EU:n päästöpolitiikassa on paljon hyvää, on siinä myös kehitettävää. Jos EU ei päivitä päästöjen laskentamethodiaan kattamaan myös polttoaineen ja mahdollisesti myös ajoneuvon elinkaaripäästöjä, voi vähäinen kaasuautokanta tyrehtyä entisestään muiden vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävien polttomoottoriajoneuvojen ohella. Tällöin maa- ja biokaasun pienemmät elinkaaripäästöt jäisivät hyödyntämättä. Kannustamalla valmistajia tuottamaan kaasuautoja saataisiin resurssit paremmin hyödynnettyä ja vähennettyä liikenteen päästöjä.

ASIASANAT:

Biokaasu, Maakaasu, Pakokaasupäästöt, Lainsäädäntö, EU

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

2020 | 29 pages, 1 appendix page

Tuomas Hölsä

GAS VEHICLES IN FINLAND

– The potential and future of reducing the emissions in transportation

In this thesis the role of methane-powered gas cars was considered in reducing transportation emissions. The work examines Finnish biogas production, production potential, gas cars and the Finnish and EU legislation affecting gas cars.

Mitigating climate change through transport emissions has been a major part of the EU climate policy. However, the EU climate policy indirectly favors electric and hybrid electric cars and thus undermines the technological neutrality of transportation technology. This reduces the manufacturer profitability of producing gas variants for gasoline cars. After many car manufacturers stopped producing natural and biogas-powered car variants, the emission reduction potential of this technology will be partially untapped. Life cycle emissions from biogas can be up to 90 % lower than those of petrol. There will also be less local emissions.

At the end, reasons and sanctions were considered for the current vehicle policy of the EU and Finland. While there are advantages in the EU emissions policy, there is also room for improvement. If the EU does not update its emissions calculation method to cover fuel and possibly also vehicle life-cycle emissions, the small gas car strain could be further depleted alongside other alternative fuel using internal combustion engine vehicles. In this case, the lower life cycle emissions of natural gas and biogas would not be fully utilized. Encouraging manufacturers to produce gas cars would make better use of resources and reduce transportation emissions.

KEYWORDS:

Biogas, Natural gas, Exhaust emissions, Legislation, EU

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	5
1 JOHDANTO	6
2 BIOKAASU SUOMESSA	7
2.1 Tuotanto ja käyttö	8
2.2 Gasum	10
3 KAASUAUTOJEN VALMISTUS, MARKKINAOSUUS JA TULEVAISUUS	11
4 KAASUAUTOJEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	14
5 EU-LAINSÄÄDÄNNÖN VAIKUTUS ERI POLTTOAINEI-SIIN JA AUTOJEN KÄYTTÖVOIMIIN	17
5.1 Henkilö- ja pakettiautojen CO ₂ -päästötavoitteet EU:ssa	17
5.2 Tulevaisuuden tavoitteet	20
6 POHDINTA	22
7 YHTEENVETO	24
LÄHTEET	25

LIITTEET

Liite 1. VTT:n mittaamat ajamisen kustannukset käyttövoimittain

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
CBG	Compressed biogas. Paineistettu biokaasu
CNG	Compressed natural gas. Paineistettu maakaasu
LNG	Liquefied natural gas. Nesteytetty maakaasu
NEDC	New European Driving Cycle. Vanha ajoneuvon kulutuksen ja pakokaasupäästöjen mittaustapa
WLTP	Worldwide harmonised Light-duty Vehicles Test Procedures. Uusi NEDC:n syrjäyttänyt mittaustapa
CO ₂	Hiilidioksidi, merkittävin kasvihuonekaasu
CH ₄	Metaani, merkittävä kasvihuonekaasu
NO _x	Typen oksidit, ympäristöä happamoivia kaasuja
ZLEV	Zero & low emission vehicles. Nolla- ja vähäpäästöiset autot
Bifuel	Ajoneuvo, joka voi käyttää kahta polttoainetta esim. joko metaania tai bensiiniä, mutta vain yhtä kerrallaan.
Dualfuel	Kahta polttoainetta samanaikaisesti käyttävä ajoneuvo, esim. dieseliä ja metaania käyttävä ajoneuvo
Monofuel	Vain yhtä polttoainetta käyttävä ajoneuvo

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on avata bio- ja maakaasun käytön etuja vaihtoehtoisena, ympäristöä vähemmän kuormittavana polttoaineena. Uusiutuvia ja vähemmän ilmaansaasteita ja hiilidioksidia tuottavia polttoaineita käyttäviin ajoneuvoihin on panostettu, jotta niillä voitaisiin syrjäyttää uusiutumattomia energialähteitä ja niitä käyttäviä ajoneuvoja. EU:n asettamat päästötavoitteet eri muodoissaan pakottavat ajoneuvovalmistajat keskittämään resurssinsa kulutusta ja lähipäästöjä vähentävään teknologiaan. Aiheuttavatko nämä tavoitteet kuitenkin teknologian yksipuoleistumista ja mahdollisen hiilidioksidin eli CO₂:n vähennyspotentiaalin menettämistä? Lähipäästöjä vähentävä tekniikka kuitenkin saattaa lisätä hiilidioksidipäästöjen määrää ja kun samalla tavoitellaan entistä pienempää hiilidioksidipäästöä, joutuvat ajoneuvovalmistajat tiukille.

Lähes kaikki 95 g CO₂/km-päästötavoitteen alittavista ajoneuvoista ovat täyssähkö- tai hybridaajoneuvoja. Valmistajat ovat lähes poikkeuksetta joutuneet turvautumaan hybridi- tai täyssähköteknologiaan. Vain erittäin pienissä autoissa (Fiat 500, Citroen C1, Smart Fortwo) tavoite on niukasti saavutettu pelkkää polttomoottoria käyttäen.

EU antaa 50 g CO₂/km tai alle päästävistä ajoneuvoista helpotuksia päästötavoitteisiin. Tämä nostaa ongelman teknologianeutraaliuden kanssa, sillä kirjoitushetkellä vain vetyajoneuvo tai sähköistetty ajoneuvo täyssähkönä tai hybridinä saavuttaa näin pienen CO₂-arvon. Bensiiniautolla tämä vastaisi noin 2 l/100km kulutusta.

Trendinä on vähäpäästöisten ajoneuvojen pakkomyynti halvalla ja suurempipäästöisten ajoneuvojen hintojen korottaminen ja tuotannon vähentäminen. Suurimmat valmistajat ovatkin siirtäneet resurssejaan ajoneuvojen sähköistykseen muista projekteista, esim. kaasu-, diesel- ja vetyautoista. Volkswagen Group luopuu maa- ja biokaasua käyttävien ajoneuvojen kehittämisestä ja Mercedes-Benzä valmistava Daimler luopuu vetyautojen kehittämisestä henkilöautopuolella (Berman 2020). Honda lopettaa dieselajoneuvojen myymisen vuoteen 2021 mennessä ja laittaa vetyautojen kehittämisen jäihin määrittelemättömäksi ajaksi (Berman 2019).

2 BIOKAASU SUOMESSA

Biokaasun pääkomponentti on metaani. Biokaasua syntyy mikrobien hajottaessa biomassaa hapettomassa tilassa. Reaktorissa tuotettu raaka biokaasu sisältää metaanin lisäksi pääosin hiilidioksidia. Pieninä pitoisuuksina raaka biokaasussa on myös typpeä, hääkää, happea, vetyä, rikkiä, ammoniakkaa, siloksaaneja ja halogenoituja hiilivetyjä. Kaatopaikalta kerätyssä raaka biokaasussa on jopa useita kertoja enemmän typpeä reaktorissa tuotettuun nähden. (Lampinen 2015.)

Taulukossa 1 näemme raakan biokaasun ja raakan kaatopaikkakaasun rakenteen verrattuna raakaan maakaasuun ja jalostettuun bio- ja maakaasuun. Raaka biokaasu on peräisin biokaasulaitosten mädätysreaktoreista ja kaatopaikkakaasu on kaatopaikalta kerättyä. Samalla jalostustekniikalla viimeisteltynä maakaasu ja biokaasu ovat identtisiä. EU:n raskaan kaluston metaanilla käyvien moottorien tyypikatsastuslainsäädäntö vaatii vähintään 84 % metaanipitoisuuden, mutta kevyille ajoneuvoille samanlaista standardia ei ole. Valmiin liikennekäyttöön tarkoitetun biokaasun metaanipitoisuus on tyypillisesti noin 95-98 %. (Kinnunen ja Rintala 2015.)

Taulukko 1. Raakan ja jalostetun kaasun koostumukset (Lampinen 2015)

	Raaka biokaasu	Raaka kaatopaikkakaasu	Raaka maakaasu	Jalostettu bio- ja maakaasu
Metaani (CH ₄)	45–75 %	20–55 %	44–98 %	> 84 %
Hiilidioksidi (CO ₂)	20–55 %	25–50 %	0–54 %	< 16 %
Typpi (N ₂)	0–5 %	10–25 %	0,2–26 %	< 16 %
Rikkivety (H ₂ S)	< 0,8 %	< 3 %	0–36 %	< 0,003 %

Suomessa käytetään pääosin siperialaista Urengoin kaasukentältä tulevaa maakaasua, joka on noin 98 % metaania. Tämä on merkittävästi enemmän kuin esimerkiksi Saksan Goldenstedtista tulevan maakaasun 88 % pitoisuus. Yhdysvaltojen Kansasista tulevan maakaasun metaanipitoisuus on vain 84,1 %. Muiden maiden maakaasun tyypipitoisuudet ovat myös huomattavasti korkeammat Urengoin maakaasuun verrattuna. (Maakaasukäsikirja 2014.)

Vuonna 2018 biokaasua tuotettiin Suomessa yhteensä 931 GWh (Tilastokeskus 2018). Vuonna 2018 arvioitu vuosituotantopotentiaali oli kuitenkin 17 000 GWh (Suomilammi 2018). Potentiaalista kasvuvaraa on siis runsaasti. Biokaasulaitoksia rakennetaan lisää ja olemassa olevia laajennetaan. Työ- ja elinkeinoministeriö maksaa uusiutuvan energian tuotantoon suunnattuja tukia (Business Finland 2020). Suomessa biojätteen määrä on ollut kasvussa. Tämä lisää tuotantopotentiaalia ennestään, jotta voitaisiin vastata vielä paremmin liikenteen ilmastovaatimukseen (Tilastokeskus 2020b). Biokaasun erottaminen biomassasta ei estä jäännösmassan käyttöä lannoitteena tai multana. Fosforia ja tyypeä sisältävä jäännös on hyvä lannoite (Gasum 2019b).

2.1 Tuotanto ja käyttö

Raaka biokaasu puhdistetaan ensin aiemmin mainituista epäpuhtauksista. Biokaasun puhdistuksessa tärkeimmät menetelmät ovat vesipesu, kemiallinen absorptio amiinilla, fysikaalinen adsorptio aktiivihieillä, kryojalostus ja kalvojalostus. Vesipesu on yleisin menetelmä sen yksinkertaisen ja suhteellisen halvan rakenteensa ja hyvän metaaninjalostuskykynsä vuoksi. Tyyppien erotteluun se ei kuitenkaan sovellu, joten kaatopaikalta tuleva biokaasu on puhdistettava myös jollakin muulla menetelmällä, esim. kryojalostamalla. (Lampinen 2015.)

Metaania käyttävät ajoneuvot ovat pääosin kahden käyttövoiman, bensiinin ja metaanin, ratkaisuja. Ajoneuvoissa on täten tankit kummallekin, ja kumpaakin polttoainetta voidaan käyttää erikseen. Tämä helpottaa varsinkin reitinsuunnittelua, jos ajetaan alueilla, joissa kaasun tankkauspisteitä ei ole. Metaanikäyttöiset ajoneuvot eivät ole vielä nousseet suureen suosioon, minkä voi selittää harvat tankkauspisteet, pienemmät tavaratilat, lisääntynyt paino ja usein korkeampi hinta.

Kahden tankin sisällyttäminen ajoneuvoon on tilaavievä ratkaisu, joka vie tavaratilaa ja lisää massaa. Kahden käyttövoiman autossa täytyy olla polttoainetankit kummallekin käyttövoimalle. Tällöin yhden isomman tankin sijasta joudutaan tyytymään kahteen pienempään tankkiin. Tämä voi tuottaa ongelmia vain kaasulla ajaville lyhyen tankkausvälin takia. Kaasusäiliöt voivat pienissä autoissa olla myös este vetokoukulle.

Skoda Scalán 1.0 Tsi bensiiniversiossa on 50 litran polttoainetankki. Kaasuersiossa kaasutankin koko on 13,8 kg ja bensiinitankin koko 9 litraa. Ilmoitetut kulutukset olivat kaasulla 5,5 m³/100km ja bensiinillä 5,5 l/100km. Näiden avulla lasketut täyden tankin kantamat ovat bensiiniversiolla noin 900 km ja kaasuersiolla kaasutankillisella noin 350 km ja bensiinitankillisella noin 160 km. (Skoda 2020.) Skoda ilmoitti kulutukset litroina tai kuutiometreinä sataa kilometriä kohden. Kaasusäiliön tilavuus kuitenkin ilmoitettiin kilogrammoina, joten ylläolevissa laskuissa käytettiin Gasumin maa- ja biokaasun käyttöturvallisuustiedotteesta saatua muuntosuhdetta 0,73 kg/m³ (Gasum 2017).

Kaasuautojen bensiinitankkien koko pieneni vuonna 2018 uuden WLTP-päästömittauksen tultua. WLTP-mittauksessa käytetään polttoaineena kunkin mallin pääasiallista polttoainetta. (Berkum 2019.) ISO 15501-1:2016-standardin mukaan paineistettua maakaasua pääasiallisesti käyttävässä ajoneuvossa saa olla varalla maksimissaan 15 litran bensiinisäiliö (ISO 2016). Kaasuautossa täytyy siis olla entistä pienempi bensiinitankki, jotta kaasua voidaan käyttää mittauksissa ja näin saada mitattua suotuisimmat päästöt. (Berkum 2019.)

Samanlaista kahden käyttövoiman järjestelmää kaasun ja dieselin kanssa eivät valmistajat ole vielä tehneet. Puristus-sytytteinen dieselmoottori ei käy pelkällä metaanilla, vaan tarvitsee helposti syttyvän polttoaineen, kuten dieselin. Useimmiten jälkiasenteisissa ratkaisuissa metaani syötetään palotilaan imusarjan kautta ja pientä määrää dieseliä käytetään sytyttämään seos. Kuormasta riippuen dieselin osuus käytetystä polttoaineesta voi alentua noin kymmeneen prosenttiin. (Motiva 2019.)

Bio- ja maakaasua voidaan käyttää bensiinimoottoreissa muutossarjan avulla. Ajoneuvon käyttövoiman muutoksastamalla joutuu maksamaan käyttövoimaveron, joka määräytyy sentteinä päivää ja alkavaa ajoneuvon sataa kilogrammaa kohden muodossa snt/pv/alkava 100kg. Kaasuautoksi muutoksastetun ajoneuvon käyttövoimaveroksi tulee 3,1 snt. Dualfuel-dieselauton vero pysyy ennallaan eli dieselin 5,5 snt. Jos kyseessä on muuta kuin bensiiniä käyttävä paketti- tai matkailuauto, käyttövoimaveron on 0,9 snt. (Veronmaksajat 2020.)

Traficommin tilastotietokannan mukaan liikennekäytössä Suomessa on 4 349 metaania käyttävää ja 6 789 bensiiniä ja metaania käyttävää henkilöautoa vuoden 2020 toisella neljänneksellä. Dieseliä ja metaania käyttäviä ajoneuvoja ei ole liikennekäytössä kirjoitushetkellä kuin 4. Määrät ovat melko vähäisiä verrattuna muihin käyttövoimiin. Bensiini-autoja on liikenteessä 1 910 017, Dieseleitä 750 671 ja sähköhybridejä 29 944. (Traficom 2020.)

Suomessa on tekeillä kansallinen biokaasuohjelma, jotta biokaasun hyödyt saataisiin käyttöön. Suunnitelmissa olisi biokaasun lisääminen jakeluverkoston piiriin, tekniikkaan investoiminen, mahdolliset tuotantotuet sekä biokaasun ja sen sivutuotteiden markkinoiden eheyttäminen ja kehittäminen. Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuonna 2035. Tämän jälkeen pyritään hiilinegatiivisuuteen. (Valtioneuvosto 2019.)

2.2 Gasum

Gasum on Suomen valtion omistama yritys ja yksi johtavista pohjoismaisista biokaasun tuottajista ja biojätteiden käsittelijöistä. Vuonna 2019 Gasumin liikevaihto oli 1 128 miljoonaa euroa ja se työllistää noin 380 henkeä Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Gasum vastaa valtaosasta Suomen liikennebiokaasuntuotannosta. (Gasum 2019a.) Gasum omistaa 32 henkilöautoille tarkoitettua kaasutankkausasemaa Suomessa, joka on noin kaksi kolmasosaa Suomen kaikista 47 asemasta. Kirjoitushetkellä rakenteilla on kaksi asemaa. (Gasum 2020b.)

3 KAASUAUTOJEN VALMISTUS, MARKKINAOSUUS JA TULEVAISUUS

Kaasuautojen valmistuskustannukset on pelkästään bensiiniä polttavaan autoon nähden suuremmat. Kuitenkin kaasuautojen kokonaishinnat vaihtelevat melko samoina bensiiniautojen kanssa. Tämä johtuu kaasuautojen kevyemmästä verotuksesta noin neljänneksen pienemmän g CO₂/km-päästönsä vuoksi.

Esimerkkinä Audi A5 Sportback varustelutasona Business advanced. Bensiini- ja kaasuersiossa on kummassakin kahden litran ottomoottorit ja seitsemänvaihteinen S-tronic-automaattivaihteisto. Ainoana erona käyttövoiman lisäksi on bensiiniversioon lisätty MHEV-kevythybridijärjestelmä, joka tuo bensiiniauton hintaa ylöspäin. G-tron kaasuersion autoveroton hinta on 43 640 € ja bensiiniversio 41 020 €, eli G-tron version hinta on 2 620 € kalliimpi. Arvioitu kokonaishinta autoveroineen on G-tronilla 48 143,78 € ja bensiinillä 49 302,86 €. Kokonaishinnaltaan bensiiniversio jäisi siis noin 1159,08 € kalliimmaksi. G-tronin teho on 125 kilowattia ja bensiiniversiossa on 140 kilowattia. (Audi 2020a; Audi 2020b.)

Maa- ja biokaasulla ajamisen kustannukset ovat yleensä vain hieman bensiiniautoa suuremmat keskiverto bensiiniauton vuosittaisella ajomäärällä, joka on noin 11 000 km (Tilastokeskus 2020a). Kun kilometrejä tulee vuodessa, alkaa näiden käyttövoimien kuluero vähentyä ja lopulta kääntyä kaasuautojen eduksi. Tämä käy ilmi VTT:n suorittamasta suuntaa antavasta laskelmasta liitteessä 1. VTT:n laskennassa otettiin huomioon arvon-alenema, valtion mahdollisesti myöntämät tuet, polttoainekustannukset ja verot.

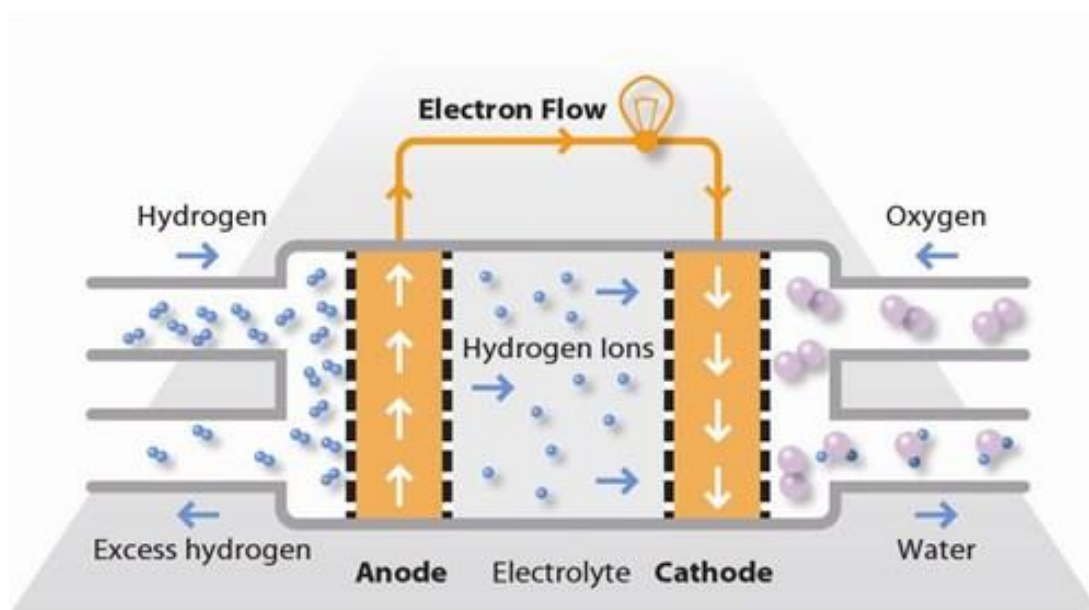
Ajokustanteet vaihtelevat merkeittäin ja malleittain, riippuen onko autossa painotettu halpoja kustannuksia, suorituskykyä vai ajomukavuutta. Esimerkiksi vain sähköllä ajaessa lataushybridin kulut ovat huomattavasti polttomoottoriajoneuvoja halvemmat.

Suomessa oli kokeilumuotoinen romutuspalkkiokampanja viimeeksi vuonna 2018, jonka tarkoituksena oli kierrättää yli kymmenvuotiaita ajoneuvoja. Tällä pyrittiin uudistamaan suomen ajoneuvokantaa. Romutuspalkkio 1 500 euroa maksettiin tukena ajoneuvon hankintaan, jonka hiilidioksidipäästöt olivat 110 g CO₂/km tai alle. Tarjolla oli myös 2 500 euron tuki sähkö-, hybridi- ja bifuelajoneuvoille, jotka käyttivät joko korkeaseosetanolia tai metaania. (Autoalan tiedotuskeskus 2018a.)

Kirjoitushetkellä Suomessa ei ole aktiivista romutuskampanjaa. Täyssähköajoneuvoille on kuitenkin olemassa hankintatuki 30.11.2021 asti. Tuki on tarkoitettu yksityishenkilöille. Tuen määrä on 2 000 euroa ja tukea maksetaan, kun hankittavan ensirekisteröimättömän M1/M1G-luokan ajoneuvon (henkilöauto) kokonaishinta verollisena on 50 000 euroa tai vähemmän. Hankintatuen voi saada myös vähintään kolmen vuoden leasingeihin. (Autoalan tiedotuskeskus 2018b.)

Metaania on mahdollista käyttää polttomoottorien lisäksi myös polttokennoissa. Vaikka kaikki kirjoitushetkellä saatavissa olevat polttokennoajoneuvot käyttävät vain vetyä, on hiilivedyllisiä polttoaineita käyttävien kennojen teknologiassa tapahtunut kehitystä (Mraz 2018). Kuvassa 1 näkyy yleisimmän polttokennon toiminta. Polttokenno ei nimensä mukaisesti polta polttoainetta, vaan muodostaa vedystä ja hapesta palamistuotetta eli vettä.

Tästä elektrokemiallisesta reaktiosta syntyy sähköä, jota voidaan käyttää sähkömoottorissa. Polttokenno on vedyllä käytettäessä lähipäästötön, sillä palamistuotteena on vain vesi. Polttokennoajoneuvoissa yleisesti käytettyjen PEMFC-kennojen käyttölämpötila vaihtelee noin sadasta kahteen sataan celsiusasteeseen. (FuelCellToday 2014.) Typen oksideja ei pääse käytännössä syntymään, sillä typen oksideja alkaa muodostumaan huomattavasti vasta 2 800 fahrenheitin eli noin 1 500 celsiusasteen yläpuolella (Kumar 2002).



Kuva 1. PEMFC-polttokenno (FuelCellToday 2014)

Kaasumoottorien optimointi

Metaanin suorituskyky polttoaineena ei ole yhtä hyvä kuin bensiinin. Bensiinissä on suurempi energiasisältö, pienempi stoikiometrinen ilman ja polttoaineen suhde ja sillä on suurempi palamisnopeus (Ramasamy, Kadirgama, Rahman, Zainal 2015). Metaanin puristuskestävyys on kuitenkin yleisesti käytössä olevaa 95-oktaanista bensiiniä parempi. Jalostetun biokaasun oktaaniluku on 130-140 (Lampinen). Suuremman puristuskestävyytensä takia moottoria voidaan virittää tehokkaammaksi ja energiatehokkaammaksi ilman, että moottorin palotapahtuma häiriintyy.

Moottoria voidaan virittää sytytystapahtumaa aikaistamalla, ahtopainetta nostamalla tai puristussuhdetta kasvattamalla. Kaasuautot ovat bifuel-ajoneuvoja. Täten moottorin puristussuhde on maltillinen, sillä ajoneuvo on säädettävä toimivaksi myös 95-oktaanisella bensiinillä. Puristussuhteen muuttaminen ilman moottorin purkamista on ollut ennen käytännössä mahdotonta, mutta vuonna 2018 Nissan kehitti moottorin, jonka puristussuhdetta voidaan portaattomasti muuttaa (Nissan 2020). Tätä tekniikkaa hyödyntämällä bifuel-ajoneuvoista voitaisiin saada huomattavasti nykyistä energiatehokkaampia, sillä korkeampaa puristusta sallivalla metaanilla puristussuhteen voisi nostaa korkeammaksi. Nykyisellä teknologialla usein bensiini- ja kaasuauton suorituskyvyt ovat lähellä toisiaan yleensä bensiinimoottorin ollessa hieman tehokkaampi.

4 KAASUAUTOJEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Bensiini koostuu pääosin hiilivedyistä C₄-C₁₂ (Työterveyslaitos 2016). Näitä ovat butaani C₄H₁₀, pentaani C₅H₁₂, heksaani C₆H₁₄, heptaani C₇H₁₆, oktaani C₈H₁₈, nonaani C₉H₂₀, dekaani C₁₀H₂₂, undekaani C₁₁H₂₃ ja dodekaani C₁₂H₂₆ (Napari 2007). Maa- ja biokaasu koostuu pääosin metaanista CH₄ (Kinnunen ja Rintala 2015). Metaanissa on suhteessa enemmän vetyä hiileen verrattuna kuin bensiinissä. Kun vetyä palaa suhteessa hiiltä enemmän, syntyy palamistuotteina huomattavasti enemmän vettä hiilidioksidin sijaan. Metaania poltettaessa lähipäästöt (NO_x, HC ja CO) ovat bensiiniä pienemmät ja hiukkaspäästöt lähes olemattomat (U.S. DOE 2020). Tällöin myös moottorin nokeentuminen ja siitä aiheutuva kuluminen tai hyötysuhteen lasku voivat vähentyä.

Maa- ja biokaasu ovat kemiallisesti lähes identtisiä, joten lähipäästöissä ei ole niiden välillä mitattavaa eroa. Hiilidioksidin elinkaaripäästöissä on kuitenkin huomattava ero. Maakaasun elinkaaripäästöt ovat noin 20 % bensiiniä pienemmät, mutta biokaasulla voidaan saavuttaa jopa 90 % pienemmät elinkaaripäästöt bensiiniin verrattuna. (Gasum 2020a.) Käsittelemätön biomassa voi tuottaa typpioksiduulia ja metaania. Metaanin ilmastoa lämmittävä vaikutus on 21-28-kertainen hiilidioksiidiin nähden, mutta typpioksiduulin (N₂O) vaikutus on jopa 265-310-kertainen. (Tilastokeskus 2015.) Biomassan hallitulla mädättämisellä biokaasuksi myös näitä päästöjä saataisiin mahdollisesti pienennettyä.

Biokaasun etuja fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna ovat kotoperäinen saatavuus, stabiilimpi hinta, lyhyemmät toimitusmatkat Suomessa käytettäessä, ympäristöystävällisyys ja tuotannon tuoma työllisyys. Fossiilisten polttoaineiden hinta ja saatavuus voivat vaihdella, mutta biokaasun saatavuus on taattua kotimaisen tuotannon takia ja hinta on pysynyt irrallaan muista polttoaineista.

Vähäpäästöisin kaasuauto syksyllä 2020 on Skoda Scala 1.0 TSI G-Tec 98 g CO₂/km kulutuksella 5,5 m³/100 km, ja vastaava bensiiniversio päästää 125 g CO₂/km 5,5 l/100km keskikulutuksella. Bensiiniversion hiilidioksidipäästöt ovat siis 27,5 % suuremmat. (Skoda 2020.)

Termisiä hyötysuhteita voidaan likimain arvioida ajoneuvojen kulutuksista, kun polttoaineiden energiasisällöt ovat tiedossa. Maa- ja biokaasun energiasisältö on noin 50 MJ/kg eli 13,8 kWh/kg tai 10 kWh/m³ ja bensiinin noin 8,88 kWh/l (Kaasuautoilijat 2019). Kulutus kilowattitunteina sataa kilometriä kohden saadaan siis kaavasta $\frac{kWh}{100km} = \frac{kWh}{l} * \frac{l}{100km}$.

Bensiiniauton tarvitsema energia lasketaan $8,88 \frac{kWh}{l} * 5,5 \frac{l}{100km} = 48,8 \frac{kWh}{100km}$, eli bensiiniauto tarvitsee noin 48,8 kWh energiaa polttoaineesta kulkeakseen 100 km. Vastaavaa kaavaa kaasujoneuvoon soveltamalla saadaan $10 \frac{kWh}{m^3} * 5,5 \frac{m^3}{100km} = 55 \frac{kWh}{100km}$. Kaasujoneuvo tarvitsee siis saman matkan kulkemiseen noin 55 kWh energiaa, joka olisi noin 12-13 % enemmän kuin bensiiniajoneuvolla.

Skodan mukaan kaasuversion ilmanvastus ja massa ovat suurempia bensiiniversioon nähden. Nämä ainakin teoreettisesti ajatellen lisäävät energiankulutusta. Huonompi hyötysuhde voi olla hyödyksi esimerkiksi moottorin käyntilämmön nopeampana saavuttamisena, jolloin kylmäkäynnistyspäästöt vähenevät. Negatiivisia vaikutuksia taas voi tulla ylimääräisen lämmön haihduttamisesta kuumissa ilmastoissa. Näin pienen eron takia käytännön vaikutuksia kuitenkin ei luultavasti ole. (Skoda 2020.)

Helsingissä on otettu käyttöön Suomen ensimmäisenä alennus pysäköinnistä, joka myönnetään vähäpäästöisille ajoneuvoille. Jos ajoneuvo täyttää taulukossa 2 olevat kriteerit, myönnetään 50 % alennus kadunvarteen pysäköidessä. Alennusta voivat hakea myös kaikki muuallakin asuvat suomalaiset. (Helsingin kaupunki 2020).

Taulukko 2. Pysäköintialennuksen kriteerit (Helsingin kaupunki 2020)

Polttoaine/ energiälähde	Hiilidioksidi- päästö (CO ₂)*		EU-päästötaso
	NEDC	WLTP	
bensiinihenkilöautot (ml. hybridit)	enintään 95 g/km	enintään 126 g/km	vähintään Euro 6
dieselhenkilöautot (ml. hybridit)	enintään 50 g/km	enintään 70 g/km	vähintään Euro 6
bifuel-autot (kaasuautot)	enintään 150 g/km	enintään 180 g/km	vähintään Euro 6
Lisäksi:			
täyssähköautot			
täyssähkökäyttöiset tieliikennekäyttöön rekisteröidyt L-luokan ajoneuvot			
* Kriteerin täyttämiseksi tulee ajoneuvon täyttää vähintään toinen CO ₂ -kriteereistä			

5 EU-LAINSÄÄDÄNNÖN VAIKUTUS ERI POLTTOAINEISIIN JA AUTOJEN KÄYTTÖVOIMIIN

EU julkaisi henkilö- ja pakettiautojen hiilidioksidipäästötavoitteet vuonna 2009. Niiden tarkoituksena oli vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä, jotka vastasivat henkilöautojen osalta 12 % ja pakettiautojen osalta 2,5 % koko Euroopan kokonaishiilidioksidipäästöistä. (Euroopan komissio 2020a.)

Uutena myytyjen henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt ovat pitkään jatkuneen laskun jälkeen olleet kuitenkin lievässä kasvussa jo muutaman viime vuoden ajan. Tälle suunnanmuutokselle ei ole virallista selitystä, mutta analytiikkayhtiö JATO:n mukaan sen voi selittää dieselautojen korvaantuminen bensiiniautoilla sekä raskaampien katumaasturien suosion kasvu. JATO:n keräämän datan mukaan Suomeen 2019 uutena myytyjen autojen keskimääräinen hiilidioksidipäästö laski 2,4 % vuoteen 2018 nähden. Vuoden 2018 keskiarvo oli 118,4 g CO₂/km ja 2019 puolestaan 115,6 g CO₂/km. (JATO 2020.)

Euroopan ympäristökeskuksen mukaan vuonna 2018 rekisteröidyistä henkilöautoista 60 % oli bensiinikäyttöisiä, 36,4 % dieselkäyttöisiä ja loput muita polttoaineita käyttäviä. Uusista rekisteröidyistä autoista vain 0,43 % eli 64 786 kpl oli metaania käyttäviä kaasuautoja. (Euroopan ympäristökeskus 2020.)

5.1 Henkilö- ja pakettiautojen CO₂-päästötavoitteet EU:ssa

Vuoden 2020 alusta lähtien henkilöautovalmistajien kaikkien myytyjen autojen päästöarvojen keskiarvotavoite EU:ssa on 95 g/km, joka vastaa bensiinijoneuvolla kulutusta 4,1 l/100km ja dieselajoneuvolla kulutusta 3,6 l/100km. Jos ja kun tavoitearvoon ei päästä, sakotetaan valmistajaa ylityksestä 95 €/g CO₂/myyty henkilöauto. Vuonna 2020 pätee siirtymäaika, jossa keskiarvon laskennassa käytetään 95 % vähäpäästöisintä myytyä ajoneuvoa. Siten kaikkein päästävimmit ajoneuvot voidaan rajata laskennan ulkopuolelle. (Euroopan komissio 2020a.)

Vuonna 2021 siirtymäaika poistuu ja kaikki valmistetut ajoneuvot lasketaan. Tämä pätee kaikille suurivolyymisille henkilöautovalmistajille. Alle kolmesataatuhatta autoa vuodessa rekisteröiviltä keskiarvoon lasketaan vain 45 % vähäpäästöisimmistä ajoneuvoista. Vuosina 2025-2028 on siirtymäaika, jonka päätteeksi tämä helpotus poistetaan. Alle tuhat ajoneuvoa vuodessa rekisteröiville tavoitearvo on toistaiseksi täysin vapaaehtoinen. Alle 50 g CO₂/km päästävä auto lasketaan vuonna 2020 kahtena, 2021 1,67 ja 2022 1,33 ajoneuvona. Näitä kutsutaan ZLEV-ajoneuvoiksi (zero & low emission vehicles). (Euroopan komissio 2020b.)

Ajoneuvovalmistajat voivat myös hakea laskennallisia vähennyksiä ekoinnovaatioista. Ekoinnovaatiot ovat teknologisia innovaatioita, jotka ovat ennenkäyttämättömiä ratkaisuja, jotka parantavat oleellisesti ajoneuvon polttoainetaloudellisuutta turvallisuudesta tinkimättä. Hyväksytyistä ekoinnovaatioista valmistaja voi saada jopa 7 g CO₂/km vähennyksen. Tällä hetkellä hyväksyttäviä parannuksen kohteita ovat vain pakolliset varusteet poislukien mukavuustekniikka, esimerkiksi ilmastointi tai audiojärjestelmä. Taulukossa 3 nähdään hyväksytyjä ekoinnovaatoratkaisuja. Näitä ovat esim. valoihin ja laturiin liittyvät ratkaisut. (Euroopan komissio 2020b.)

Taulukko 3. Hyväksytyjä eko-innovaatioita vuonna 2018 (Tietge 2018)

ID	Company	Description	Type
01	Audi	LED lights	Lights
02	Valeo	Efficient alternator	Alternator
03	Daimler	Engine compartment encapsulation system	Thermal
04	Bosch	Adaptive state of charge control in hybrids	Kinetic
05	Automotive Lighting Reutlingen	LED lights	Lights
06	DENSO	Efficient alternator	Alternator
07	Webasto Roof & Components	Solar roof	Solar
08	Bosch	Efficient alternator	Alternator
09	Bosch	Efficient alternator	Alternator
10	Daimler	LED lights	Lights
11	Asola Technologies	Solar roof	Solar
12	Mitsubishi Electric Corporation	Efficient alternator	Alternator
13	Porsche	Coasting function	Kinetic
14	DENSO	Efficient alternator	Alternator
15	Toyota	LED lights	Lights
16	Mitsubishi Electric Corporation	Efficient alternator	Alternator
17	Bosch	Efficient alternator	Alternator
18	Valeo	Efficient alternator	Alternator
19	MAHLE Behr	Enthalpy storage tank	Thermal
20	Honda	LED lights	Lights
21	Mazda	LED lights	Lights
22	Toyota	LED lights	Lights
23	a2solar	Solar roof	Solar
24	Valeo	Efficient alternator	Alternator
25	BMW	Coasting function	Kinetic

Valmistajat voivat myös yhdistää tuotantonsa laskennallisesti yhteen pooliin. Fiat-Chrysler Automobiles eli FCA suostui maksamaan sähköajoneuvoja valmistavalle Teslalle satoja miljoonia dollareita, jotta yhtiö voisi laskea Teslan ajoneuvot omiin ajoneuvoihinsa. Teslan mallisto koostuu vain sähköajoneuvoista, joten tämä tuonee FCA:n keskiarvopäästölukemaa huomattavasti alaspäin. (Mcgee 2019.)

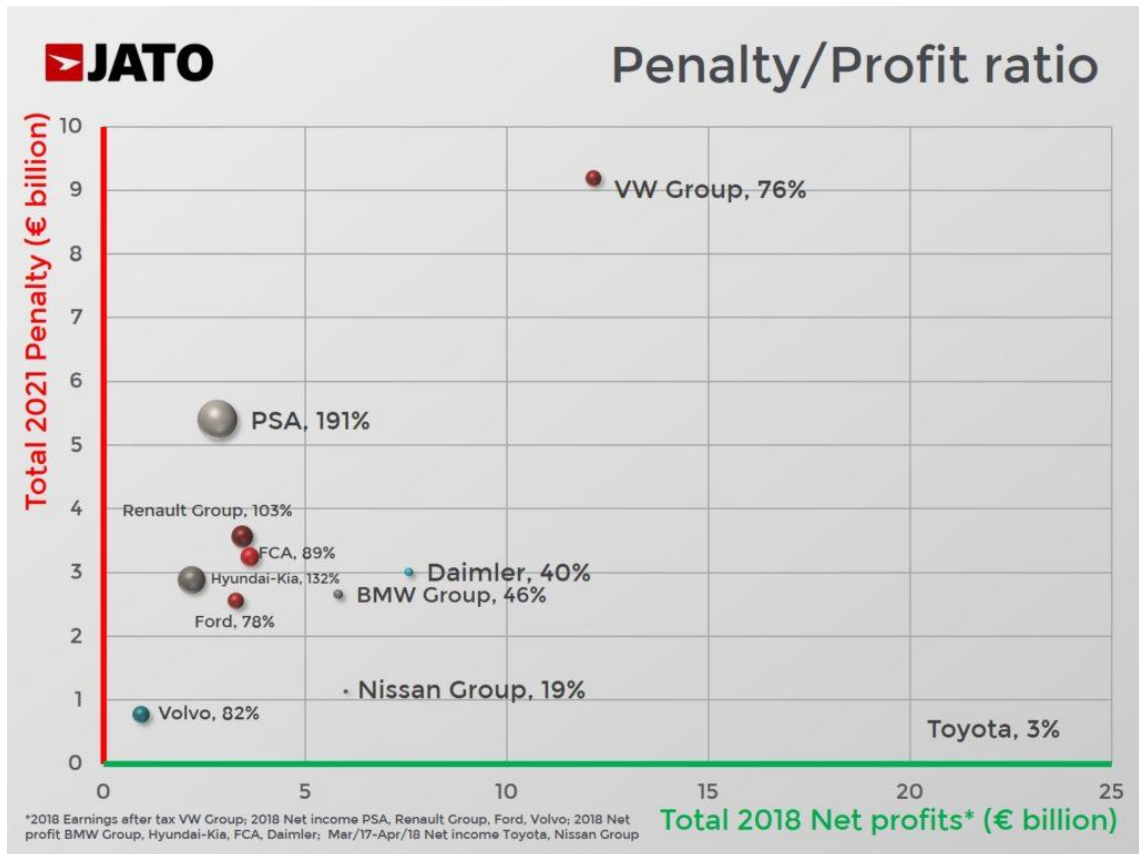
5.2 Tulevaisuuden tavoitteet

EU on luonut tavoitteet vuosille 2025 ja 2030. Vuonna 2025 henkilöautoissa pyritään 15 % g CO₂/km vähennykseen 2021 tasosta (95 g CO₂/km) ja 2030 37,5 % vähennykseen. Pakettiautoissa tavoitteet ovat 2025 15 % ja 2030 31 % vähennykset pakettiautojen vuoden 2020 tavoitteesta 147 g CO₂/km. Uusissa tavoitteissa pyritään suosimaan ZLEV-ajoneuvoja, joiden päästöt ovat 50 g CO₂/km tai alle. Näille ajoneuvoille annetut painokertoimet poistuvat 2025 ja tilalle tulee järjestelmä, jossa annetaan helpotuksia, kun ZLEV-ajoneuvoja rekisteröidään riittävästi muuhun tuotantoon verrattuna. Vuonna 2025 niitä tulisi olla 15 % henkilöautoista ja vuonna 2030 35 %. Prosenttiyksikön ylitys ZLEV-ajoneuvojen määrässä antaisi valmistajalle prosenttiyksikön korotuksen valmistajakohtaiseen 95 g CO₂/km-tavoitteeseen ja tämä pätee viiteen prosenttiin saakka. Esimerkkinä 16 % ZLEV-autojen määrä nostaisi valmistajan päästötavoitteen 96 g CO₂/km. (Euroopan komissio 2020b.)

Tavoitteet pyritään kuitenkin tekemään teknologianeutraalimmin esim. ekoinnovaatiojärjestelmän jatkamisella ja laajentamalla se koskemaan myös ilmastointijärjestelmiä. Vuoteen 2023 mennessä tutkitaan mahdollisuutta ottaa ajoneuvon käyttövoiman tuomat elinkaari päästöt huomioon päästötarkastelussa. Tällöin uusiutuvia polttoaineita hyödyntävät ajoneuvot voitaisiin ottaa pätevällä tavalla huomioon päästölainsäädännössä. (Euroopan komissio 2020b.)

Tämä voisi vähentää uusiutuvien polttoaineiden ja niitä käyttävien ajoneuvojen verotusta ja ilmastosakkomaksuja. Tällöin ajoneuvovalmistajilla voisi taas olla pätevä syy panostaa niihin. Myös valmistuksesta johtuvien päästöjen huomioon ottamista päästötarkastelussa olisi syytä miettiä. Sähköautojen valmistuksen päästöt ovat usein suuremmat polttomoottoriautoihin verrattuna. Suomen ilmastopaneelin mukaan keskiverto sähköauton päästöt valmistuksen vaikutus mukaanlukien ovat kuitenkin vastaavaa bensiiniversioon pienemmät jo noin kolmen käyttövuoden kohdalla.

Kaaviossa 1. y-akselilla näkyy eri autonvalmistajille lankeavat sakot vuonna 2021, jos toimintamallit jatkuvat samanlaisina kuin vuonna 2018 eikä riittäviä muutoksia saada aikaan.



Kaavio 1. Jaton projisoima sakko/liikevoitto-suhde (Munoz 2019)

X-akselilla nähdään konsernien vuoden 2018 liikevoitot. Nimien jälkeen näkyy sakkojen prosenttiosuus koko liikevoitosta, mikä on PSA:lla, Renault Groupilla ja Hyundai-Kialla yli 100 %. Varsinkin näiden konsernien on muutettava toimintamallejaan pysyäkseen tuottoisana myös tulevaisuudessa. Myös isot toimijat kuten VW Group, FCA, Volvo ja Ford joutuisivat maksamaan yli puolet voitoistaan pois sakkoina. Nissan ja Toyota ovat panostaneet vähäpäästöisiin teknologioihin ja heidän sakkonsa ovat täten huomattavasti muita maltillisempia.

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli avata kaasujoneuvojen potentiaalia ilmastonmuutoksen torjumisessa ja kestäväen kehityksen parantamisessa. Työssä tarkasteltiin myös Suomen ja EU:n asettamia lakisäädöksiä ja niiden vaikutusta teknologianeutraaliuteen ja mahdollisten päästövähennysten potentiaaliin. Tiettyjen asioiden priorisointi lajeja säättäessä on rajallisten resurssien pätiessä perusteltua. Liian usean asian yhtäaikaisessa yrittämisessä piilee vaarana se, ettei mitään saada tehtyä kunnolla. EU:n toimeenpanema politiikka ajaa kuitenkin vahvasti liikenteen sähköistämistä, jolloin uusiutuvien polttoaineiden potentiaali voi jäädä osittain tai jopa kokonaan hyödyntämättä.

Kaasujoneuvojen yleistymisen esteenä on monia asioita. Tähän mennessä pääsyyinä on ollut vielä liian harvakseltaan sijoitetut tankkausasemat. Tämän takia valmistajat ovat joutuneet tekemään kaasuautonsa bifueleina eli kahden käyttövoiman ajoneuvoina. Tällöin moottori on jouduttu muokkaamaan toimivaksi kummallakin käyttövoimalla. Tällöin metaanin koko potentiaalia ei ole saatu täysin valjastettua. Tekniikan kehittyessä optimointiongelmien voivat tuki hävitä. Bifuel-ajoneuvot eivät ole välttämättä yhtä haluttavia pelkästään bensiiniä käyttäviin verrokkeihin verrattuna pienempien sisätilojen, lisääntyneen massan, pienempien polttoainesäiliöiden ja mahdollisesti korkeamman hintansa takia.

On kuitenkin mahdollista, että tulevaisuudessa markkinoille tulisi vain metaania käyttäviä monofuel-kaasujoneuvoja. Tankkausasemien rakentaminen on kiihtynyt ja tankkausasemia alkaa olla niin paljon, että yhä useammat pystyisivät ajamaan kaasulla ilman suurempaa reittisuunnittelua. Monofuel-kaasujoneuvot myös mahdollistaisivat paremman ajoneuvon optimoinnin kaasulle sopivaksi. Näin saataisiin vähennettyä ajoneuvon massaa, lisättyä sisätilaa, pienennettyä kustannuksia, suurennettua polttoainesäiliön kokoa ja lisättyä moottorin tehoa sekä taloudellisuutta. Suuremmalla kaasusäiliöllä ja taloudellisemmalla moottorilla tankkauskantama voisi olla nykyistä suurempi.

Toinen suuri syy kaasujoneuvojen vähyyteen on EU:n ilmastotavoitteet ja niiden tuomat hiilidioksidisakot. Ajoneuvovalmistajilla ei ole varaa käyttää resursseja kaasujoneuvojen kehittämiseen, sillä ajoneuvokannan sähköistämällä välttään parhaiten CO₂-vääntimukseen ylityksistä aiheutuville sakoilta. Rahaa kuluu paljon myös päästöpoolisopimukseen. EU kuitenkin tarvitsee tuloja, joita sakot tuovat runsaasti.

Sekä Suomi että EU ovat kuitenkin ainakin osittain valveutuneita uusiutuvien polttoaineiden hyödyistä. EU tarkastelee vuonna 2023 mahdollista elinkaari päästöjen huomioonottoa, joka voisi helpottaa ajoneuvovalmistajien kaasuajoneuvojen kehittämistä ja tuotantoa. Suomessa tekeillä oleva kansallinen biokaasuohjelma ja mennyt romutuskampanja auttavat Suomea kohti uusiutuvia käyttövoimia liikenteessä.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää kaasuautojen roolia ja potentiaalia tulevaisuuden liikenteessä liikennepäästöjen vähentämisessä ja uusiutuvan energian käytön lisäämisessä. Tarkoituksena oli kerätä dataa, jonka avulla voitaisiin avata syitä nykyiseen ajoneuvo-tekniikkapolitiikkaan. Työssä pohdittiin myös ongelmakohtia ja mahdollisia keinoja tilanteen parantamiseksi.

Tässä työssä käsiteltiin ja analysoitiin dataa ajoneuvovalmistajilta, lainsäätäjiltä, tilastokeskukselta, Gasumilta ja erilaisilta internetistä löytyviltä tieteellisiltä artikkeleilta. Paine ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on ajanut päästöpolitiikan tilaan, joka suosii sähköistettyjä ajoneuvoja joko täyssähkö- tai sähköhybridinä. Vaikka sähköautojen lisäämisellä päästöjä saadaan vähennettyä, ei sen pitäisi olla ainut keino, johon panostetaan. Jatkamalla polttomoottoriautojen käyttöä uusiutuvilla polttoaineilla, saadaan säästettyä akkujen valmistukseen käytettäviä harvinaisia raaka-aineita ja hyödynnettyä uusiutuvien polttoaineiden ympäristöhyötyjä.

Biokaasu ja muut uusiutuvat polttoaineet sopivat hyvin päästöjen vähentämiseen osin jopa sähköä paremmin, sillä uusiutuvat polttoaineet eivät yleensä vaadi koko tekniikan uusimista. Useat uusiutuvat polttoaineet käyvät vanhaan kalustoon joko suoraan tai konversiosarjalla. Maakaasu ei ole uusiutuva polttoaine, mutta sen elinkaaripäästöt ovat bensiiniä alhaisemmat ja se helpottaa siirtymistä biokaasuun.

Nykyisellä EU:n päästöpolitiikalla muiden kuin täyssähkö- ja hybridiautojen kehittäminen ja valmistaminen tulisivat kalliiksi. Näiden autojen myynnillä voidaan alentaa CO₂-keskiarvoa vain vähän, jolloin sakotettavaksi joutumisen riski kasvaa. EU:n tulisi muokata nykyistä päästöjen mittaustapaa, joka ei tällä hetkellä ota huomioon polttoaineiden elinkaaripäästöjä. Jos elinkaaripäästöt otettaisiin huomioon, ajoneuvovalmistajat voisivat jatkaa kaasuautojen kehittämistä ja valmistamista. Tällöin saataisiin valjastettua niiden potentiaali lähi- ja kasviuonepäästöjen vähentämisessä.

LÄHTEET

Audi 2020a. Audi A5 Sportback g-tron Hinnasto [https://content.audi.fi/Extra/Hinnasto.nsf/0/E872BEC7C2C423ECC225853E003AA8AA/\\$file/Audi%202020%2004%2003%20A5%20Sportback%20g-tron%20nro%2064.pdf](https://content.audi.fi/Extra/Hinnasto.nsf/0/E872BEC7C2C423ECC225853E003AA8AA/$file/Audi%202020%2004%2003%20A5%20Sportback%20g-tron%20nro%2064.pdf). Viitattu 8.7.2020.

Audi 2020b. Audi A5 Sportback Hinnasto [https://content.audi.fi/Extra/Hinnasto.nsf/0/7F48A5B33B4D76E7C225853E003A76BD/\\$file/Audi%202020%2004%2003%20A5%20Sportback%20Business%20Advanced%20nro%2062.pdf](https://content.audi.fi/Extra/Hinnasto.nsf/0/7F48A5B33B4D76E7C225853E003A76BD/$file/Audi%202020%2004%2003%20A5%20Sportback%20Business%20Advanced%20nro%2062.pdf). Viitattu 8.7.2020.

Autoalan tiedotuskeskus 2018a. Romutuspalkkiokampanja 2018 http://www.aut.fi/etusivu_vanha/ajankohtaista/romutuspalkkiokampanja_2018. Viitattu 7.7.2020.

Autoalan tiedotuskeskus 2018b. Täyssähköautojen hankintatuki 2018-2021 http://www.aut.fi/etusivu_vanha/ajankohtaista/tayssahkoautojen_hankintatuki_2018-2021. Viitattu 7.7.2020.

Berkum, M. 2019. The positive impact of WLTP <https://www.pit-pointcleanfuels.com/blog/wltp-positive-impact/>. Viitattu 24.11.2020.

Berman, B. 2019. Honda works on second EV, quits diesel, and puts hydrogen on hold. <https://electrek.co/2019/11/10/honda-works-on-second-ev-quits-diesel-and-puts-hydrogen-on-hold/>. Viitattu 11.6.2020.

Berman, B. 2020. Daimler ends hydrogen car development because it's too costly. <https://electrek.co/2020/04/22/daimler-ends-hydrogen-car-development-because-its-too-costly/>. Viitattu 2.6.2020.

Business Finland 2020. Energiatuki <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>. Viitattu 19.11.2020

Euroopan komissio 2020a. Reducing CO₂ emissions from passenger cars- before 2020 https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en. Viitattu 9.6.2020.

Euroopan komissio 2020b. CO₂ emission performance standards for cars and vans (2020 onwards) https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en. Viitattu 27.6.2020.

Euroopan ympäristökeskus 2020. CO₂ emissions from new passenger cars

http://co2cars.apps.eea.eu-ropa.eu/?source=%7B%22query%22%3A%7B%22bool%22%3A%7B%22must%22%3A%5B%7B%22constant_score%22%3A%7B%22filter%22%3A%7B%22bool%22%3A%7B%22must%22%3A%5B%7B%22bool%22%3A%7B%22should%22%3A%5B%7B%22term%22%3A%7B%22year%22%3A2019%7D%7D%5D%7D%7D%2C%7B%22bool%22%3A%7B%22should%22%3A%5B%7B%22term%22%3A%7B%22scStatus%22%3A%22Provisional%22%7D%7D%5D%7D%7D%5D%7D%7D%7D%7D%5D%7D%7D%2C%22display_type%22%3A%22tabular%22%7D. Viitattu 26.6.2020.

FuelCellToday 2014. PEMFC. <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/pemfc>. Viitattu 30.6.2020.

Gasum 2017 Maa- ja biokaasun käyttöturvatieote: <https://www.gasum.com/globalassets/pdf-files/maakaasu.pdf>. Viitattu 2.6.2020.

Gasum 2019a. Gasum lyhyesti <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/organisaatio/gasum-lyhyesti/>. Viitattu 10.6.2020.

Gasum 2019b. Suomi on jäämässä kierrätystavoitteista <https://www.gasum.com/ajassa/tulevaisuuden-energia/2019/suomi-on-jaamassa-kierratystavoitteista/>. Viitattu 7.7.2020.

Gasum 2020a. Kaasuauton päästöt <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/miksi-biokaasu/kaasuauton-paastot/>. Viitattu 7.7.2020.

Gasum 2020b. Tankkausasemat suomessa <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkausasemat/>. Viitattu 25.6.2020.

Helsingin kaupunki 2020. Vähäpäästöisten autojen pysäköintimaksujen alennus https://www.hel.fi/helsinki/fi/kartat-ja-liikenne/pysakointi/vahapaastoisten_alennus. Viitattu 9.6.2020.

ISO 2020. ISO 15501-1:2016. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15501:-1:ed-3:v1:en>. Viitattu 24.11.2020.

Jato 2020. New car CO₂ emissions hit the highest average in Europe since 2014 <https://www.jato.com/wp-content/uploads/2020/03/CO2-Europe-2019-Release-Final.pdf>. Viitattu 10.6.2020.

Kaasuautoilijat 2019. Kysymyksiä ja vastauksia kaasuautosta <https://kaasuautoilijat.fi/2019/07/01/kysymyksiä-ja-vastauksia-kaasuautosta/>. Viitattu 3.8.2020.

Kadrigama, R. & Ramasamy & Zainal 2015. Analysis of compressed natural gas burn rate and flame propagation on a sub-compact vehicle engine https://www.researchgate.net/publication/281688022_Analysis_of_compressed_natural_gas_burn_rate_and_flame_propagation_on_a_sub-compact_vehicle_engine. Viitattu 25.6.2020.

Kinnunen, V. & Rintala, J. 2015. Biokaasualan monet mahdollisuudet. Teoksessa Kymäläinen, Pakarinen (Toim.) Biokaasuteknologia Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, Luku 1. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf. Viitattu 20.6.2020.

Kumar, S. 2002. How is NO_x formed. <http://cleanboiler.org/workshop/how-is-nox-formed/>. Viitattu 30.6.2020.

Lampinen, A. 2015. Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa Kymäläinen, Pakarinen (Toim.) Biokaasuteknologia Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, Luku 7. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf. Viitattu 20.6.2020.

Maakaasun käsikirja 2014. <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/>. Viitattu 15.10.2020.

Mgee, P. 2019 Fiat Chrysler pools fleet with Tesla to avoid EU emissions fines. <https://www.ft.com/content/7a3c8d9a-57bb-11e9-a3db-1fe89bedc16e>. Viitattu 2.7.2020.

Motiva 2019. Kaasuautot https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/kaasuautot. Viitattu 7.7.2020.

Mraz, S. 2018. Breakthrough Fuel Cell Runs on Methane at Practical Temperatures. <https://www.machinedesign.com/materials/article/21837280/breakthrough-fuel-cell-runs-on-methane-at-practical-temperatures>. Viitattu 30.6.2020.

Munoz, F. 2019. 2021 CO2 targets would generate €34 billion euros in penalty payments within Europe <https://www.jato.com/2021-co2-targets-would-generate-e34-billion-euros-in-penalty-payments-within-europe/>. Viitattu 25.6.2020.

Napari, P. 2007. Orgaaninen kemia. 7., tarkistettu painos. Helsinki: Edita.

Nissan Motor Corporation 2020. VC-Turbo engine https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vc_turbo_engine.html. Viitattu 26.6.2020.

Skoda 2020 Skoda Scala tekniset tiedot <http://web.skoda.fi/lataukset/scala/scala/SCALA-tekniset-tiedot.pdf>. Viitattu 2.6.2020.

Suomilampi, A. 2018. Biokaasun liikennekäytön tulevaisuuden näkymät <http://biobis-nesta.fi/wp-content/uploads/2018/01/Gasum-Oy.pdf>. Viitattu 7.7.2020.

Tietge, U. 2018. Overview and evaluation of eco-innovations in European passenger car CO₂ standards. https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU_Eco_innovations_Briefing_20180712.pdf. Viitattu 19.8.2020.

Tilastokeskus 2015. Laatuseloste: Kasvihuonekaasut https://www.stat.fi/til/khki/2015/khki_2015_2016-05-25_laa_001_fi.html. Viitattu 1.7.2020.

Tilastokeskus 2018. Biokaasun tuotanto ja kulutus laitostyypeittäin http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehk/stat-fin_ehk_pxt_127t.px/table/tableViewLayout1/. Viitattu 7.7.2020.

Tilastokeskus 2020a. Vuonna 2019 henkilöautoilla ajettiin saman verran kuin vuotta aiemmin – raskaan liikenteen kilometrit vähenivät http://www.stat.fi/til/tiet/2019/tiet_2019_2020-04-15_tie_001_fi.html. Viitattu 18.11.2020.

Tilastokeskus 2020b. Yhdyskuntajätettä kertyi vuonna 2018 aiempia vuosia enemmän http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-01-15_tie_001_fi.html. Viitattu 7.7.2020.

Traficom 2020. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot

http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi_Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/040_kanta_tau_104.px/table/tableViewLayout1/. Viitattu 7.7.2020.

Työterveyslaitos. 2016. Moottoribensiini <https://www.ttl.fi/ova/moottben.html>. Viitattu 1.7.2020.

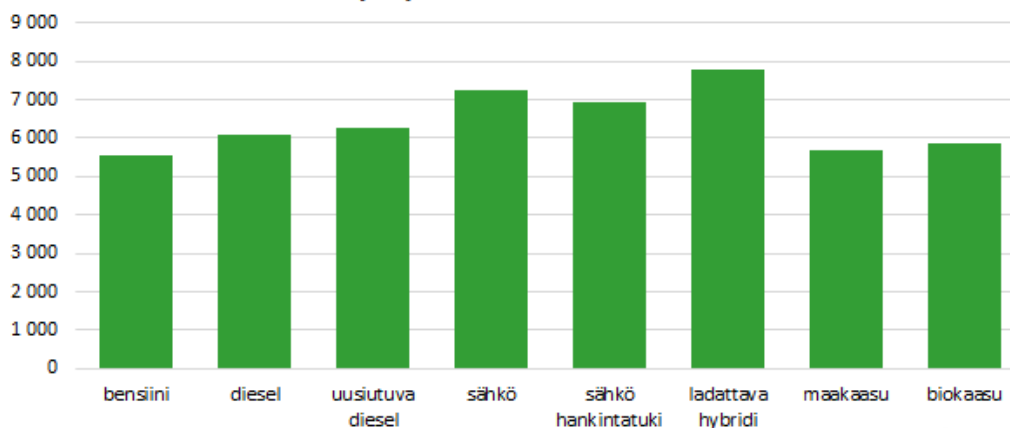
U.S. Department of Energy 2020. Natural gas vehicle emissions https://afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas_emissions.html. Viitattu 7.7.2020.

Valtioneuvosto 2019. Hallitusohjelma 3.1 Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava suomi. <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>. Viitattu 3.6.2020.

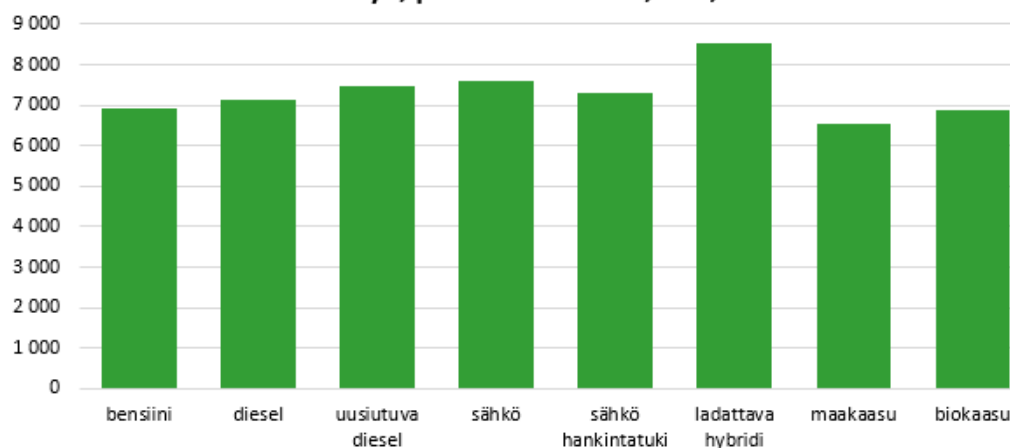
Veronmaksajain keskusliitto 2020. Ajoneuvovero: Perusvero ja käyttövoimavero <https://www.veronmaksajat.fi/Asunto-ja-auto/Ajoneuvovero/#40edae80>. Viitattu 8.6.2020.

VTT:n mittaamat ajamisen kustannukset käyttövoimittain

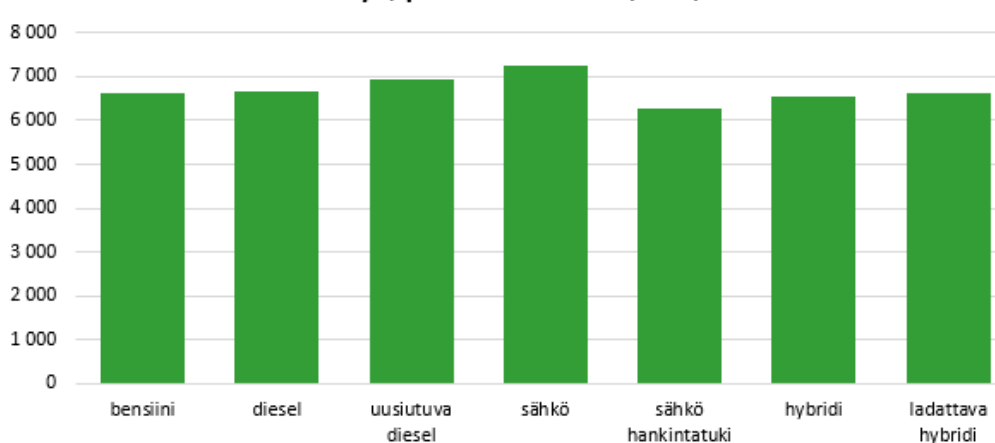
Ajamisen vuotuiset kustannukset, €
15 000 km/v, pitoaika 5 vuotta, VTT, auto A



Ajamisen vuotuiset kustannukset, €
30 000 km/v, pitoaika 5 vuotta, VTT, auto B



Ajamisen vuotuiset kustannukset, €
30 000 km/v, pitoaika 5 vuotta, VTT, auto C



<https://www.traficom.fi/fi/ajavaihtoehtoa/vttn-laskelma-autoilun-kustannuksista>