Tampereen ammattikorkeakoulu

Raskaan kaluston päästöjen vähentäminen

Tatu Reinikainen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Ajoneuvotekniikka
Auto & korjaamotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Auto & korjaamotekniikka

Reinikainen Tatu
Raskaan kaluston päästöjen vähentäminen

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2021

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi raskaankaluston moottoritekniikan kehittymisen vaiheita ja -tarpeita. Työssä käydään läpi, miten raskaskalusto on kehittynyt nykypäivään asti moottoritekniikan kautta ja kuinka se voi kehittyä vaihtoehtoisten voimanlähteiden myötä tulevaisuudessa. Työ keskittyy vaihtoehtoisten voimanlähteiden tuomiin mahdollisuuksiin, sekä niiden haasteisiin.

Vaihtoehtoisissa voimanlähteissä käydään läpi polttomoottorilla käytettäviä vaihtoehtoisia polttoaineita sekä voimalinjoja, jotka toimivat sähköllä erilaisilla energiaratkaisuilla. Työssä käydään läpi eri ratkaisujen hyviä ja huonoja puolia, sekä pohditaan syitä, miksi niistä on vaikea luopua.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Vehicle Technology
Garage Engineering

Reinikainen Tatu
Reducing Heavy Equipment Emissions

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 2 pages
May 2021

In this thesis, the stages of the development of heavy vehicle engine technology and the needs for development are reviewed. The work examines how heavy-duty technology has evolved to the present day through engine technology and how it can evolve with alternative power sources in the future. The work focuses on the opportunities brought by alternative power sources, as well as their challenges.

Alternative power sources go through alternative fuels used in internal combustion engines, as well as powerlines that run on electricity with various energy solutions. The work reviews the pros and cons of different solutions and considers the reasons why it is difficult to abandon them.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6
2 AJONEUVOJEN PÄÄSTÖT JA NIIDEN ALENTAMINEN 7
2.1 Historia 7
2.2 Kehityksen tarve 8
2.3 Downsizing 10
3 VOIMANLÄHTEET 13
3.1 Voimanlähteiden etuja 13
3.1.1 Perinteinen Diesel 13
3.1.2 Kaasu 14
3.1.3 Biopolttoaineet 16
3.1.4 Hybridi 17
3.1.5 Sähköistäminen 18
3.1.6 Vety ja vetypolttokennot 20
3.2 Voimanlähteiden haittoja 23
3.2.1 Perinteinen Diesel 23
3.2.2 Kaasu 24
3.2.3 Biopolttoaineet 25
3.2.4 Hybridi 26
3.2.5 Sähköistäminen 27
3.2.6 Vety ja vetykennot 29
3.3 Voimanlähteiden tuomia uusia käytäntöjä 31
4 LIIKENTEEN TULEVAISUUS 33
4.1 Polttoaineet 33
4.2 Sähköistäminen 34
5 POHDINTA 35
LÄHTEET 36
LIITTEET 43
Liite 1. Polttoaineiden energia sisältöjä 43
Liite 2. Vedyn tuotanto tapoja. 44

LYHENTEET JA TERMIT

Downsizing	Moottorien kokoja pienentävä suuntaus
Common-rail	Dieselpolttoaineen ruiskutusjärjestelmä, jossa jatkuva tasainen yli 2000 baarin paine polttoaineputkistossa
Hybridi	Kahden järjestelmän yhdistelmä

1 JOHDANTO

EU:n asettamat päästötavoitteet ajoneuvoille pohjautuvat lujasti kansainväliseen Pariisin ilmastosopimukseen, jolla pyritään pitämään ilmastonlämpeneminen alle +2°C asteen ja tähdätään mahdollisesti alle +1,5°C lämpenemiseen. Tulevaisuuden päästövähennyksen tavoitteeksi on asetettu, että vuoteen 2030 mennessä päästöjä saataisiin vähennettyä 55 %:lla vuoden 1990 tasosta. Lisäksi EU on asettanut tavoitteeksi, että v. 2050 Euroopan unionin maat olisivat hiilineutraaleja. (Qontigo 2020)

Pariisin ilmastosopimus ja Euroopan unionin päästötavoitteet, kummatkin yhdessä ajavat ajoneuvojen päästöstandardeja ja -tasoa aina vain korkeammalle. Euro päästönormiluokkien tiukentuessa aina Euro 1:stä nykyiseen Euro 6 -luokitukseen ja tulevaisuudessa mahdollisesti v. 2025 astuvaan Euro 7 -luokkaan. Ajoneuvoista ilmeneviin päästöihin takerrutaan aina vain tiukemmin. (Electrive 2020)

Raskaankaluston tavarankuljettamiseen vaaditulla teholla ja päästöjen vähentämisellä on ollut tekniikan kehittymisessä selkeä vaikutus vuosikymmenten varrella. Mutta koska EU on asettanut tavoitteeksi hiilineutraalin liikenteen vuoteen 2050 mennessä, tarvitsee kuljetuskalusto uudenlaisia ratkaisuja voimalinjoikseen. Erilaisilla vaihtoehtoisilla voimanlähteillä on aina omat hyvät ja huonot puolensa, mutta jokin näistä tulee selkeästi nousemaan perinteisen dieselkäyttöisen voimalinjan korvaajaksi tulevaisuudessa. (Qontigo 2020)

Tässä työssä käsitellään, miten tarve raskaalle kalustolle on alkanut, ja millä tavoin sitä on kehitetty vuosien varrella, sekä millä tavoin ilmastoasiat ovat vaikuttaneet kehitykseen ja mihin suuntaan ne ohjaavat sitä tulevaisuudessa.

2 AJONEUVOJEN PÄÄSTÖT JA NIIDEN ALENTAMINEN

2.1 Historia

Raskaankaluston tarve on kehittynyt, kun tarve kuljettaa aina vain enemmän tavaraa tuottajilta kuluttajien tai tavaran jalostajien saataville on kasvanut. Tarve kehittämiselle on lähtenyt aina hevosvaunuista asti, joissa on ollut hyvin rajoitetusti kuormatilaa, tehoa, sekä ajo-ominaisuuksia. Ensimmäisen kuorma-auton myötä tilaa tuli vain hieman hevoskärryjä enemmän ja tarve on ollut lähinnä moottoritehon kasvattaminen. Myöhemmin kehityksen myötä on ajettu myös kuormatilan kasvattamista, moottoritekniikan kehityksen kanssa. Lopulta suurten ja raskaiden kuorma-autoyhdistelmien myötä, ajo-ominaisuuksien kehittämisestäkin on tullut tärkeä osa raskaankaluston kehitystä.

Ensimmäisten kuorma-autojen moottorit olivat iskutilavuudeltaan- ja sylinteriluvuiltaan hyvin pieniä. Vasta kuljettamisen tarpeen kasvaessa myös moottorin tehon tarve on kasvanut. Tämä on aluksi ajanut eteenpäin moottorin perustekniikan kehittämistä suuremmaksi, yksinkertaisesti vain moottorin iskutilavuutta ja sylinterilukua kasvattamalla. Kun käytännöllinen iskutilavuuden ja sylinterilukujen raja on saavutettu, on kehitys ohjattu moottorin hengitykseen imuilman ja pakoilman puolelle. Tehon tarpeen kasvaessa edelleen, sekä hyötykuorman kasvattaminen häviämättä polttoainetaloudellisuudessa, on moottorin ahtamistekniikasta tullut tärkeä kehityskohde erilaisten ahtimien ja välijäähdyttimien avulla. (Daimler, Volkswagen AG, Volvo)

Polttoainetaloudellisuuden takia myös ilmastopäästöjen vähentäminen on noussut aluksi kuorma-autovalmistajien itsensä, mutta myöhemmin myös kansainvälisten ilmastotavoitteiden tärkeimmäksi kehityskohteeksi. Tämä on ajanut kehityksen siihen pisteeseen, jossa kuorma-autovalmistajat joutuvat etsimään vaihtoehtoja perinteiselle dieselkäyttöiselle voimalinjalle. Tämä siitä syystä, että asetettuihin päästövaatimuksiin päästäisiin ja vältettäisiin saastuttaminen ja sanktiot sakkojen muodossa.

2.2 Kehityksen tarve

Moottoritekniikan kehittämisen tarve raskaassa kalustossa on aluksi tullut siitä, että saataisiin kuljetettua enemmän, nopeammin ja raskaampaa kuormaa liikenteessä mahdollisesti huonoilla teillä. Tämä on ajanut eteenpäin tarvetta suuremmalle moottoriteholle. Tämä tehon kasvattamisen trendi näkyy vielä tänäkin päivänä, mutta lähinnä vain sen takia että kuormaa saataisiin kuljetettua turvallisesti mahdollisimman paljon yksittäisellä kuorma-autolla. Kuljetuskalustoa on ollut olemassa jo 1800-luvun loppupuolella höyrykäyttöisten kuorma-autoa muistuttavien laitteiden muodossa, sekä Ford model T voidaan myös pitää eräänlaisena esivaiheena kuljetuskaluston kehittymiselle bensakäyttöisellä moottorillaan. Ensimmäinen raskaankaluston kehitykselle suunnan antanut automerkki on kuitenkin Mercedes-Benz, ensimmäisellä dieselkäyttöisellä moottorillaan vuonna 1923. (Daimler)

1920- ja 1930-lukujen kuorma-autojen moottorit olivat vielä pääosin 2–6-sylinterisiä ja iskutilavuudeltaan 2–7 litraisia ja ylittäen juuri ja juuri 100 hevosvoiman rajapyykin. Toinen maailmasota ajoi kuorma-autovalmistajien moottorikehitystä yksinkertaistettuun suuntaan, jolloin pienemmistä moottoreista luovuttiin. Linjastoon jäivät vain 6-sylinteriset mallit, joissa iskutilavuudet vaihtelivat tavallisesti 7–11 litran paikkeilla. 1950-luvulle tultaessa toisen maailmansodan aikana kehitettyihin moottoreihin alettiin asentaa turboahtimia, jolloin moottoreista saatiin huomattavasti enemmän tehoa. Ensimmäisten joukossa, jotka asensivat turboahtimen moottoreihinsa, olivat Scania ja Man, kummatkin vuonna 1951, ja joita pian perässä seurasivat Volvo ja Mercedes-Benz. Ennen ahtimia moottorien tavalliset teholukemat pyörivät 120–140 hevosvoiman luokassa, kun taas ahdettuina samoista moottoreista saatiin 160–190 hevosvoimaa. 1960-luvulla moottoreiden tehoja parannettiin taas kasvattamalla moottoreiden kokoa ja turboahdin tekniikkaa kehittämällä, jolloin moottoreiden teholukemissa päästiin aluksi reilusti yli 200 hevosvoiman. Volvon moottori tuotti 230 hevosvoimaa 1960-luvun puolivälissä pelkästään turbotekniikan parannuksella, mutta Scania päivitti moottorikseen 1960-luvun lopussa neljätoistalitraisen V8:n joka lopulta tuotti 350 hevosvoimaa, tehden reilusti välimatkaa tehoissa Volvoon, Maniin ja Mercedes-Benziin. (Volkswagen AG, Scania, Daimler, Volvo)

Ruotsissa lopulta kuorma-autojen kasvaneet moottoritehot johtivat siihen, että kuorma-autojen alkuperäiset 50 km/h nopeusrajoitukset nostettiin 70 km/h, koska kuorma-autot pystyivät pitämään kasvaneiden tehojen ansiosta nopeutensa paremmin ylämäissä. Tämä johti myös vähenevään henkilöautojen ohitustarpeeseen ja näin myös parantuneeseen liikenneturvallisuuteen. (Scania Group, 2020.)

Seuraavan vuosikymmenen alkaessa eurooppalaisten kuorma-autovalmistajien ilmoittamat kokonaismassat olivat kasvaneet toisesta maailmansodasta asti huomattavasti, kuitenkaan moottorien tehoissa ei ollut tapahtunut yhtä huomattavaa muutosta. Tästä syystä Euroopan maissa alettiin keskustella vähimmäishevosvoimamäärästä jokaista kuljetettavaa tonnia kohti. Aivan 1960-luvun lopussa ja 1970-luvun alussa Saksassa otettiin tämä lainsäädännöksi. Tämä johti siihen, että kuorma-autovalmistajat läpi Euroopan alkoivat kasvattaa moottoriensa tehoja. Ruotsissa tämä johti kevyempien 11–14 litraisten ja tavallisesti 6- ja 8-sylinteristen turboahdettujen moottorien kehittymiseen. Saksassa taas kallistuttiin vielä suurempien ja raskaampien, jopa 14–22 litraisten ja 6–12-sylinteristen vapaasti hengittävien moottorien kehittymiseen. (Volkswagen AG, Daimler, Scania, Volvo)

2.3 Downsizing

Moottorikokojen ja -tehojen kasvaessa 1970- ja 1980-luvuilla huomattiin, että suurikokoisimmat moottorit, lähinnä V10 ja V12 moottorit Manin ja Mercedes-Benzin valikoimasta eivät täyttäneet halutunlaisia tuloksia. Moottorit olivat suurikokoisia, painavia ja vähemmän taloudellisia. Pienemmät kuusi- ja kahdeksansylinteriset turboahdetut moottorit selvisivät samassa tehtävässä, kuten suuremmatkin moottorit. Myös moottoritekniikan kiihtyvä kehittyminen alkoi ajaa tarvetta suurista moottoreista pienempiin moottoreihin. Lopulta tarpeen suuremmille moottoreille poisti Euroopan ensimmäinen raskaalle kalustolle ajettu päästönormi vuonna 1988. Tästä siirryttiin luontevasti muutamaa vuotta myöhemmin taulukon 1 mukaisiin Euro-päästönormeihin, kuten ensimmäiseen Euro I -päästöluokkaan vuonna 1992 ja pian tämän jälkeen Euro II -luokkaan vuonna 1996. Eurooppalaisten kuorma-autojen päästönormit täyttävät moottorit olivat pääosin 6–8-sylinterisiä, tehot vaihtelivat 200–650 hevosvoiman välillä ja iskutilavuudet 11–16 litran välillä, kun Euro II -päästöluokat tulivat voimaan. (Volkswagen AG, Daimler, Transportpolicy)

TAULUKKO 1. Päästönormit

Table 1. EU Emission Standards for HDV Diesel Engines

Tier	Date	Test	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PN (#/kWh)	PM (mg/kWh)	Smoke (m^{-1})
Euro I	1992 (< 85 kW)	R-49	4.5	1.1	8.0	–	612	–
	1992 (> 85 kW)		4.5	1.1	8.0	–	360	–
Euro II	October 1996		4.0	1.1	7.0	–	250	–
	October 1998		4.0	1.1	7.0	–	150	–
Euro III	*Voluntary EEV (October 1999 to January 2013)*	*ESC & ELR*	*1.5*	*0.25*	*2.0*	–	*20*	*0.15*
	October 2000	ESC & ELR	2.1	0.66	5.0	–	100	0.8
Euro IV	October 2005		1.5	0.46	3.5	–	20	0.5
Euro V	October 2008		1.5	0.46	2.0	–	20	0.5
Euro VI	January 2013	WHSC	1.5	0.13	0.4	8.0×10^{11}	10	–

Note: EEV – enhanced environmentally-friendly vehicles

https://www.transportpolicy.net/standard/eu-heavy-duty-emissions/

Euroopan ensimmäinen raskaankaluston päästönormi vuonna 1988 sekä Euro I ja II -päästöluokat vuosina 1992 ja 1996 keskittivät kuorma-autovalmistajien moottorimallistoa vähäisempään valikoimaan, jotta moottorien päästöluokkien

tavoittamiseen tarvitut kustannukset eivät nousisi liian suuriksi. Kuitenkin valikoimaan jäi silti muutama sylinterimuodostelmaltaan, sekä -luvultaan erilainen moottori, kun uusi ja tiukempi Euro III -päästöluokka astui voimaan vuonna 2000. Seuraavista päästöluokista Euro III ja Euro V -luokan välillä muutamien kuorma-autovalmistajien valikoimista löytyi moottoreita, joiden muodostelmat saattoivat vaihdella vielä V8, V6 ja rivi-6 mallien ja iskutilavuudeltaan 11–16 litraisten tehoiltaan edelleen 200–650 hevosvoiman välillä. Päästötasojen täyttämiseksi Euro III ja Euro V -luokan välillä, on pääasiallisesti valmistajilla riittänyt perustekniikan pitäminen samana, mutta lisäämällä moottoriteknisiä päivityksiä, kuten pakokaasun kierrätysjärjestelmä, urea puhdistusjärjestelmä ja kolmivaihekatalysaattorijärjestelmät moottorivalikoimiinsa. (Transportpolicy, Scania, Daimler, Volvo, Volkswagen AG)

Euro VI -päästötasoja vastaamaan asetetut tavoitteet saivat monet eurooppalaiset kuorma-autovalmistajat vähentämään vielä entisestään moottori valikoimaansa, hieman ennen niiden voimaanastumista. Moni moottorinvalmistaja valitsi ainoastaan rivi-6 moottorin, muutamalla eri iskutilavuudella. Ainoa valmistaja, joka taistelee vielä tätä trendiä vastaan, on Scania omalla tehokkaimmalla V8-moottorillaan. Euro VI -luokan astuessa voimaan vuonna 2013, valmistajat ovat joutuneet lisäämään suunnattomasti erilaisia päästöjä vähentäviä laitteita ja kehittämään perustekniikkaa aina vain pidemmälle. Nykyiset päästöjä vähentävät laitteet koostuvat pakokaasujen kierrätysjärjestelmästä, pakokaasujen jälkikäsittelystä, dieselpartikkelifiltteristä, kaksivaihe ahtamisesta välijäähdyttimen kanssa, hyvin korkeapaineisesta common-rail ruiskutusjärjestelmästä, sekä vaihtelevasti biodieselin käyttöjärjestelmästä, AdBlue urea puhdistusjärjestelmästä tai hybridijärjestelmästä. Eurooppalaisten kuorma-autojen tehot vaihtelevat Euro VI -luokan diesel moottoreissa 200–770 hevosvoiman välillä, saavuttaen hybridijärjestelmällä hetkellisesti jopa 900 hevosvoiman huipputehon. (Scania, Transportpolicy, MAN, Volvo, Daimler, Sisu)

Downsizing trendi on ajanut vuosikymmenten varrella kuorma-autovalmistajien moottoreita pienemmäksi iskutilavuudeltaan. Mercedes-Benzillä jopa 22-litraisesta V12-moottorista on luovuttu suurimman moottorin ollessa nyt 15,6-litrainen rivi-6. Kun taas Scanialla moottorimallistoa on lisätty pienemmillä moottoreilla 9-litraiseksi rivi-5 moottoriksi, suurimman moottorin pysyessä ennallaan

16-litraisena V8-moottorina. Nämä ääripäät, tosin eri valmistajien suurimman ja pienimmän välillä, joista 22-litrainen V12 kuuluu 1970- ja 1980-luvun Mercedes-Benzin valikoimaan ja 9-litrainen rivi-5 moottori kuuluen Scanian viimeisimpään valikoimaan. (Daimler, Scania)

Pääasiallisesti trendi on ohjannut kuorma-autovalmistajat kalliiden ja korkeasti kehittyneiden rivi-6 moottorien pariin, mutta jotta Euro VII -päästötasoihin päästään on selvää, että nykyisistä moottoreista tulee vielä kalliimpia sisältäen paljon enemmän teknologiaa. Polkuja kehittymiselle ovat vielä etenevä downsizing ja vaihtoehtoiset voimalinjat. Raskaankaluston voimalinjoissa tulee näkymään valtava muutos, koska EU:n tavoitteena on hiilineutraali liikenne vuoteen 2050 mennessä. Se, mitä etuja ja haittoja mahdollisilla vaihtoehtoisilla voimanlähteillä on, ja mihin tulevaisuuden trendi kuorma-autoteollisuutta ajaa, on tämän opinnäytetyön keskeinen aihe. (Qontigo 2020)

3 VOIMANLÄHTEET

3.1 Voimanlähteiden etuja

3.1.1 Perinteinen Diesel

Raskaankaluston kehityshistorian myötä diesel on yleisimmin käytetty, ja helpoiten saatavilla oleva energialähde kuljetuskalustossa. Kaikki moottoritekninen kehitys tähän päivään asti on tapahtunut diesel voimalinjan tarpeiden myötä. Se miksi diesel on toistaiseksi tänäkin päivänä kaikista suosituin voimanlähde, on helppo ymmärtää. Raakaöljy on fossiilisista polttoaineista yksi eniten talteen otettuja ja jalostettuja tuotteita, se on yksi markkinatalouden tärkeimmistä tuotteista, joka myös määrää monen muun tuotteen hinnan. Sen lisäksi että diesel määrää kaikissa tapauksissa kuljetuskaluston käytön myötä tuottamat kuljetuskustannukset, on se myös energiavarastona verraton etsittäessä uusia vaihtoehtoisia energian lähteitä.

Dieselin vahvuuksia on sen helppo saatavuus, sekä sen korkea energiatiheys tilavuutta kohti. Koska ajonevojen moottorit voivat käyttää polttoaineena vain nestemäisessä tai kaasumaisessa olomuodossa olevia polttoaineita, diesel on pysynyt tähän asti tärkeimpänä. Helpon saatavuutensa, halvan hintansa, sekä jo pitkälle kehitetyn dieselmoottoritekniikan takia, on tästä voimanlähteestä vaikea olla luopumatta. Monenlaisten pakokaasujen kierrätys-, jälkikäsittely-, puhdistusjärjestelmien, sekä katalysaattoreiden takia moottorit on saatu pysymään päästötavoitteissaan vielä toistaiseksi. Tekniikan kehittyessä moottoreita on voitu pienentää niin sylinterimäärältään, kuin iskutilavuudeltaan. Tiettyyn pisteeseen asti tällä on ollut positiivisia vaikutuksia, mutta on myös selvää, että liian pitkälle vietynä downsizing alkaa tuottamaan myös ongelmia. Dieselkäyttöistä voimalinjaa on hyvä pitää vertailukohteena muille vaihtoehtoisille voimanlähteille, kun mietitään näiden ominaisuuksia. Liite 1 sisältää tavallisimpia eri polttoainelaatuja niiden energiasisältöineen, ja joihin perinteistä dieseliä verrataan etsittäessä vaihtoehtoisia ratkaisuja. (MAN, Daimler)

3.1.2 Kaasu

Ajoneuvokäytössä polttoaineena käytettäviä kaasuja on useampaa eri laatua ja näidenkin eri laatujen varastointitapa vaihtelee korkeapaineisesta nesteytettyihin kaasuihin. Polttoaineen käyttöominaisuudet eivät muutu, vaikka se olisi korkeapaineistetussa säiliössä tai vaihtoehtoisesti nesteytetyssä muodossa. Ainut ratkaiseva asia näissä vaihtoehdoissa on se, kuinka polttoainetta saadaan tehokkaasti kuljetettua suuria määriä mukana. Tavallisesti korkeapaineistettuna käytetty kaasu on metaani. Metaania voidaan kerätä perinteisesti öljynporauksen sivutuotteena, mutta sitä saadaan myös karjatalouden lannasta pienjalostamoilla aikaan. Muita polttoaineena tavallisesti käytettyjä kaasuja ovat propaani ja butaani, jotka lukeutuvat nesteytettäviin kaasuihin ja joita taas saadaan enemmissä määrin öljyn pumppauksen sivutuotteena. (Food and Farming technology, CTCN, Diffen)

Näistä kaasuista ainoastaan metaania voidaan pitää myös uusiutuvana energiavarana, koska sitä kyetään valmistamaan useammalla eri metodilla. Sen lisäksi että metaania saadaan öljynporauksesta ja haluttaessa karjatalouden sivutuotteena jalostettuna, sitä voidaan valmistaa myös erilaisista talousjätteistä, joita voivat olla esimerkiksi pilaantuneet viljasadot tai ruuantähteet. Niin paineistetulla, kuin myös nesteytetylläkin kaasulla on omat ominaisuutensa. Kummankin kaasutyypin käyttäminen raskaankaluston polttoaineena vaatii moottoritekniikalta vähemmän kuin diesel, mutta polttoaineen säilyttämiseltä vaatii hieman enemmän. Kaasua polttoaineena käyttävä moottori on lähempänä bensiinikäyttöisen moottorin tekniikkaa, joka säästää kustannuksissa dieselkäyttöiseen verrattuna. (CTCN, Gasum, Diffen, CNG United)

Korkeapaineistetun metaanin hyviä puolia on sen selvästi halvempi hinta dieseliin verrattuna, tavoittaen joissain tapauksissa jopa vain kolmasosan dieselin jakeluhinnoista. Metaani myös palaa huomattavasti puhtaammin, tuottaen vähemmän päästöjä kuin diesel. Metaanilla on myös korkeampi oktaaniluku, joka bensiiniin verrattuna johtaa siihen, että moottori saadaan käymään korkeammalla puristussuhteella tehokkaammin, jolloin moottorista saadaan enemmän tehoa irti. (Food and Farming technology)

Nesteytetyt kaasut kuten propaani ja butaani, joita myös käytetään, omaavat joitain eriäviä, ja joitain samoja ominaisuuksia kuin metaani. Kummatkin ovat lähes puolet halvempia ratkaisuja polttoaineena verrattuna dieseliin. Päästöjen osalta päästään lähes kokonaan, eli 99 %:n vähennykseen dieselin tuottamista pienpartikkeleista, sekä typen oksideissakin pudotus on jopa 96 %. Myös hiilidioksidipäästöt laskevat 10 %, sekä moottoreista saadaan paljon hiljaisempia dieselkäyttöisiin moottoreihin verrattuna. Propaani ja butaani voidaan kuljettaa nesteytetyn olomuotonsa takia myös paljon kompaktimmin kuin metaania. Nesteytetyillä kaasuilla saadaankin lähes samanlainen kantama kuin dieselkäyttöisellä raskaalla ajoneuvolla. Kaikkia kaasuja yhdistää kuitenkin niiden varmempi kylmäkäynnistyvyys dieseliin verrattuna. (Begasmotor)

Scania on yksi raskaankaluston valmistaja, joka on ollut kiinnostunut kehittämään perinteisten dieselmoottoriensa rinnalle jokaisesta moottorimallista myös kaasulla toimivan vaihtoehdon. Kaasuvaihtoehto on saatavilla Scanian niin 9-litraiseen 5-sylinteriseen rivimoottoriin kuin myös 16-litraiseen V8-versioon. Tämä siksi, että Scania haluaa olla kilpailukykyinen useamman vaihtoehtoehdon myötä, erilaisten tehontarpeiden takia. (Diesel-inernational)

3.1.3 Biopolttoaineet

Biopolttoaineista puhuttaessa voidaan tarkoittaa useampaa eri sekoitussuhteista polttoainetta. Kuitenkin yleisimmin tarkoitettaan joko B100 tai B20 -laatuisia polttoainesekoituksia. Nämä B-merkityt polttoaineet sisältävät siis prosentuaalisesti kyseisen määrän kierrätetyistä materiaaleista tehtyä biopolttoainetta. Laatuja on vielä useampi, mutta tavallisimmin käytetyt ovat B100 ja B20, sekä lisäksi hieman vähemmän käytetty, mutta maininnan arvoinen B5. Seuraavaksi biopolttoaineet jaetaan vielä kahteen luokkaan, jotka ovat uusiutuva diesel ja biodiesel. Uusiutuva diesel on paremmin tunnettu vetykäsiteltynä kasviöljynä. Sekä biodiesel, joka on paremmin tunnettu rasvahappometyyliesterinä. Kumpikin on eloperäisestä biomassasta käyttämällä ja jalostamalla saatuja diesel-laatuja. Polttoaineet eroavat kuitenkin valmistusprosessin ja tuotteen ominaisuuksien osalta. (Neste 2016)

Kummallakin on positiivisia vaikutuksia päästöjen kannalta verrattuna perinteiseen fossiiliseen dieseliin. Mutta erityisesti uusiutuvalla dieselillä on enemmän positiivisia vaikutuksia ilman haittavaikutuksia, kuin biodieselillä. Uusiutuva diesel käy sellaisenaan mihin tahansa dieselkäyttöiseen moottoriin, ilman minkäänlaisia muutoksia. Uusiutuvan dieselin kylmänkestävyys on samaa luokkaa parhaiden fossiilisten diesel-laatujen kanssa, uusiutuvan dieselin korkean setaaniluvun takia, joka on 75–95. Se saadaan palamaan paljon puhtaammin, tuottaen enemmän tehoa verrattuna täysin fossiiliseen dieseliin, jonka setaaniluku on vastaavasti 40–55 välillä. Myös moottorin kylmäkäynnistys helpottuu kovemmilla pakkasilla verrattuna perinteiseen dieseliin. Uusiutuvan dieselin käyttö sellaisenaan 100 %:na seoksena ilman, että sitä seostetaan fossiiliseen dieseliin, voidaan päästöjä vähentää huomattavasti, ilman minkäännäköisiä negatiivisia vaikutuksia. Neste My uusiutuvalla dieselillä voidaan vähentää pienhiukkas- ja hiilivetypäästöjä 30 %, hiilimonoksideja 24 % ja typen oksideja 9 % ja yhteensä Neste My dieselillä voidaan vähentää kokonaisuutena 90 % päästöistä fossiiliseen dieseliin verrattuna. (Neste 2016)

3.1.4 Hybridi

Hybridi voimalinja koostuu yleisesti perinteisen diesel voimalinjan lisäksi vielä sähköllä toimivasta avustavasta voimalinjasta. Tällaisen hybridi voimalinjan etuja ovat, että voidaan käyttää pelkistetympää dieselmoottoria ilman, että siihen tarvitsee lisätä suuria määriä päästöjä vähentävää tekniikkaa. Dieselmoottoria avustavan sähkömoottorin etuja ovat esimerkiksi tarpeen vaatiessa käytettävä sähkömoottorin tuottama lisäteho ja -vääntö. Sähkömoottorin lisätehoa voidaan käyttää myös paikkaamaan dieselmoottorissa tietyillä kierrosalueilla ilmeneviin tehovajeisiin. Tavallisin käytännön tarve tieliikenteessä on raskaasti kuormatun rekkayhdistelmän kiihdyttäminen matkanopeuteen. Tällöin tavallisesti turboahdetun dieselmoottorin käydessä matalilla kierroksilla ja turboahdinten vielä kerätessä kierrosnopeutta, jotta moottori tuottaisi tarpeeksi tehoa, on helppo kiihdyttää ja paikata tehon tarvetta sähkömoottorilla. (Sisu, Veho)

Asennettaessa hybridivoimalinja avustamaan dieselmoottorin toimintaa, joka on jo kehitetty täyttämään päästönormit, voidaan päästä huomattaviin polttoaine säästöihin ja parantuneeseen suorituskykyyn. Tavallisesti hybridin kehittäminen on halvin ratkaisu paikkaamaan moottorin päästötavoitteita pienimmällä vaivalla, vaikka valmistajan koko moottorilinjastoon. Pienellä akustolla päästään pieniin kustannussäästöihin, mutta superkondensaattoreilla voidaan päästä paljon merkittävämpiin säästöihin paremmilla tuloksilla. (Sisu)

Scania on vienyt kehitystä eteenpäin trailerivalmistajien kanssa kehittämällä yhdessä kehittyneempiä puoliperävaunuja. Nämä Scanian suunnittelemat puoliperävaunut on päällystetty kokonaan aurinkopaneeleilla, jolloin Scanian hybridirekat lataavat akkuja aina, kun se sääolosuhteiden mukaan on mahdollista. (Scania)

3.1.5 Sähköistäminen

Täysin sähköistetyssä ratkaisussa puhutaan silloin akkukäyttöisestä ja sähkömoottorilla toimivasta ajoneuvosta. Tällöin missä tahansa tilanteessa voidaan olla varmoja nolla lähipäästöistä. EU:n ajaman hiilineutraalin liikenteen tavoitteen saavuttamiseksi vuoteen 2050 mennessä sähköistäminen jossain muodossa tulee olemaan välttämätön tekniikkaa eteenpäin ajava trendi. Daimler on jo panostanut sähköiseen liikkumiseen useamman merkkinsä voimin nimenomaan kaupunkiliikenteessä. Niin tavaran- kuin henkilökuljetuksen puolella eri mantereilla toimivat Daimlerin alaisuudessa olevat merkit ovat keskittyneet puhtaaseen liikkumiseen kaupunkiliikenteessä. Näin Daimler toteuttaa ajatustaan Mercedes-Benzin avulla Euroopassa, Mitsubishi Fuson avulla Aasiassa ja Freightlinerin avulla Amerikassa. Daimler uskoo, että kaupungissa ajettavilla sähköajoneuvoilla voidaan päästöttömän liikenteen myötä päästä myös huomattavasti alentuneisiin käyttökustannuksiin. (Daimler)

Sähköisessä voimalinjassa on selkeitä hyötyjä verrattuna polttomoottoritekniikkaan, kunhan sähkötekniikan ratkaisut sähkön varastoinnissa saadaan ratkaistua niin, että sähköä riittää yhtä pitkille matkoille kuin polttomoottoriajoneuvoilla polttoainetta. Akkujen lataamisen ja latauspaikkojen tulisi olla myös yhtä helposti saatavilla, jotta liikenteen sähköistäminen etenisi niin, että polttomoottoreista alettaisiin todella siirtymään sähköistettyihin ajoneuvoihin. (Hotcars 2020, CCJ 2020)

Sähkömoottorin yksinkertaisuuden ja -tehokkuuden takia, se on selkeä polttomoottorin korvaaja tulevaisuudessa. Koska sähkömoottorissa on vähemmän osia, on sillä pienempi huoltamisen tarve, koska mahdollisia hajoavia osia on vähemmän. Myös sähkömoottorin selkeästi korkeampi hyötysuhde, joka on jo saatu käytännössä 95 %:iin, on markkinoiden ajonevojen juuri 40 %:a täyttäviä polttomoottoreita huomattavasti parempi hyötysuhde. Sähkömoottorin välittömästi tuottama maksimi vääntömomentti ja teho, ovat myös huomattavasti käytännöllisempiä kuin polttomoottoreiden vain tietyillä kierrosluvuilla antamat huipputeho ja vääntömomentti. (Hotcars 2020, CCJ 2020)

Parhaassa tapauksessa hyvin rakennetun sähkömoottorin sijoittelun ja -tekniikan myötä voidaan myös luopua polttomoottorin tapauksessa tarvittavasta perinteisestä voimansiirrosta kokonaan. Tavasta riippuen, jos sähkömoottori vain vaihdettaisiin polttomoottorin tilalle, voitaisiin vaihteistosta joko luopua kokonaan tai yksinkertaistaa sitä, mutta kuitenkin voimansiirron akselit pitäisi vielä säilyttää, jotta veto saataisiin jokaiselle tarvittavalle pyörälle. Toinen mahdollisuus on se, että sähkömoottorit sijoitetaan suoraan pyörän navan läheisyyteen niin, että voimansiirron akseleista voitaisiin luopua myös kokonaan. Tällaisella ratkaisulla voidaan toteuttaa jokaiselle pyörälle veto ilman, että runkorakenteisiin tarvitsee asentaa minkäänlaisia voimansiirron akseleita, vaan pelkästään akkuja. (The Driven 2020, Borgwarner 2021)

Koska hiilineutraali liikenne on EU:n pitkänajan tavoite, ajaa se myös akkuteollisuuden kehitystä uskomatonta vauhtia eteenpäin. Koska yhä vain useampi raskaankaluston valmistaja on alkanut sijoittaa ajoneuvojensa sähköistämiseen, on varmaa, että akkutekniikka tulee kehittymään ja akkujen hinnat tulevat ajan myötä painumaan alas. Kun ajoneuvo olisi sähkökäyttöinen voitaisiin myös hyödyntää sähköajoneuvoja tukevaa tekniikkaa, kuten esimerkiksi aurinkokennoin varusteltuja puoli- ja täysperävaunuja, jolloin enemmän kehitettynä aurinkokennoilla voitaisiin tuottaa tarpeeksi sähköä joillekin lyhyemmille matkoille. Myös induktoidut tiet voisivat olla vastaus enemmän kuljetuilla väylillä liikkuville sähköajoneuvoille, jos valtion budjeteilla tuettaisiin sähköistymistä tien korjauksien yhteydessä. Pidemmän ajan tähtäimellä sähköistäminen tulee olemaan merkittävin tapa ratkaista hiilineutraali liikkuminen ja varma tapa nolla lähipäästöihin. (Scania, Autoevolution 2021)

3.1.6 Vety ja vetypolttokennot

Vety on maailmankaikkeuden yleisin alkuaine, sekä ainoa polttoaine ilman hiiliyhdisteitä. Vety on tulevaisuuden kannalta hyvin merkittävä ja kiinnostava aine siinä määrin, mitä sen ominaisuudet ovat polttoaineena. Vetyä voidaan käyttää polttoaineena samaan tapaan kuin kaasuja bensiinikäyttöisessä moottorissa. Näin käytettynä moottorissa vedyn palamisreaktion tuottamat päästöt olisivat täysin harmittomia, koska palamisen sivutuote olisi vain vettä. Tosin vedyn käyttäminen polttoaineena suoraan moottorissa ei ole tehokasta, vaan vetyä käytetään tavallisesti polttokennoissa. Vedyn käyttäminen kemiallisen reaktion kautta sähköksi polttokennoilla on tehokkain tapa käyttää vetyä. Polttokennotekniikalla vedyn käyttämisen sivutuote on sama kuin tavallisella palamisreaktiollakin eli vettä. (FCHEA)

EU:n hiilineutraalisuuden tavoite vuoteen 2050 mennessä on saanutkin useamman kuorma-autovalmistajan kiinnostumaan erityisesti vetykäyttöisistä polttokennoista voimalinjana. Vaikka moni valmistaja onkin osoittanut kiinnostustaan polttokennotekniikkaa kohtaan, vain muutama on aloittanut tekniikan kehittämisen kalustoaan varten. Näitä merkkejä, jotka ovat ottaneet etumatkaa vetykäyttöisten polttokennorekkojen valmistukseen ovat Hyundai, MAN, Hino emoyhtiö Toyotan kanssa, sekä Daimler AG:n omistamat Mercedes-Benz ja Mitsubishi Fuso. (Hyundai, Green Car Congress, Toyota, InsideEVs)

Koska EU:n tavoitteena on hiilineutraali liikenne ja tätä myötä myös hiilineutraali Eurooppa, on tärkeää millä tavoin vety tuotetaan. Tärkeimmiksi ja tavoitelluimmiksi tavoiksi nousevat ”vihreä” ja ”sininen” tai joissain lähteissä ”turkoosi” vedyn tuottaminen. Tästä tarkemmin liitteessä 2. Jolloin tarkoitetaan uusiutuvilla luonnonvaroilla tuotettua tai metaanista termisesti halkaistua vetyä, jossa hiilidioksidipäästöt otetaan talteen. Vety varastoidaan paineenalaisena samaan tapaan kuin korkeapaineistettu metaanikin, mutta huomattavasti korkeammalla paineella. Vastuullisesti tuotetulla vedyllä on alusta asti hyviä puolia raskaankaluston polttoaineena. (FuelCellWorks 2020, Petrofac)

Koska vety tarvitsee mahdottoman paineen ja kylmyyden edes nesteytyäkseen, vetyä käytettäessä ei tarvitse pelätä sen kylmäkäynnistys ominaisuuksia. Vedyllä ei siis ilmene käyttöongelmia kylmällä kelillä. Korkeaan paineeseen saatu vety kaventaa dieselin energiasisältöetua vetyyn verrattuna. Raskaassa kalustossa vedyn suurin kilpailuvaltti on sen energiasisältö painoonsa nähden, koska vety sisältää kolminkertaisen määrän energiaa yhtä kiloa kohti dieseliin verrattuna, on se huomattava etu tavaraa kuljetettaessa, koska yleisin kuljetuksia rajoittava tekijä on ajoneuvon massa. Vedyn käyttämisen suuri etu vetypolttokennoajoneuvossa on se, että saadaan sähköajoneuvon parhaat ominaisuudet itse moottoritekniikasta, ja myös polttoaineen ominaisuuksista, verrattu muihin voimalinjoihin. Myös vedyn tankkaus voidaan suorittaa muutamassa minuutissa, verrattuna sähkön latausnopeuteen, joka tavallisesti vie useammasta kymmenestä minuutista jopa tunteihin. Kuitenkaan unohtamatta sähkövoimalinjan välitöntä vastauskykyä tehon tarpeeseen.

Vetypolttokennon hyötysuhde on sellaisenaan jo parempi, kuin muilla vaihtoehtoisilla polttoaineilla käytettäessä polttomoottoria. Tekniikan kehittyessä polttokennojen hyötysuhdetta on helpompi ja jopa halvempi kehittää kuin polttomoottoreita. Vetykäyttöisen polttokennon ja polttomoottorin teoreettisesti parhaan hyötysuhteen maksimi on lähestulkoon sama, eli hieman reilu 80 %. Vaikka polttokennoajoneuvo tarvitsee sähköisen voimalinjan rinnalleen kulkeakseen, on tämän hyötysuhde jo käytännössä korkeampi. Tekniikan kehittyessä niin sähkömoottoreissa ja polttokennotekniikassa, käytännössä saavutettavat hyötysuhteet ovat paljon korkeammat kuin polttomoottoreilla tullaan koskaan saavuttamaan tieliikenteessä.

Dieselkäyttöisen polttomoottorin hyötysuhde raskaassa kuljetuskalustossa vaihtelee tavallisesti 40–45 % välillä, kun taas vetypolttokennolla on saavutettu sama tehokkuus, vaikka puhutaankin uudesta tekniikasta. Vetypolttokennoille ennustetaan jo nyt, että niiden hyötysuhde saadaan käytännöllisesti parannettua jopa 60:een prosenttiyksikköön ja mahdollisesti sen yli. Sähkömoottoritekniikan yleistyessä akkukäyttöisten ajoneuvojen takia, saadaan sähkömoottoreidenkin hyötysuhdetta parannettua, niiden vaihdellessa nykyisin 90–97 %:n hyötysuhteen välillä. Vetykennollisen ajoneuvon hyötysuhde tulee olemaan siis perinteisen polt-

tomoottoriajoneuvon ja sähköisen ajoneuvon välissä. Vetykennoilla toimiva kuljetuskalusto on pidemmällä aikavälillä toimiva tapa hiilineutraaliin liikkumiseen, sekä nolla lähipäästöihin. (Energy.gov, Sciencedirect, Dieselnet, Large.stanford, Borgwarner 2021)

3.2 Voimanlähteiden haittoja

3.2.1 Perinteinen Diesel

Koska dieselin palamisreaktiossa syntyy useita haitallisia palamisen sivutuotteita, on EU:n asettamilla päästöluokilla pyritty kehittämään tekniikkaa, joilla palaminen saataisiin toteutettua puhtaammin ja vähäpäästöisemmin. Vaikka diesel on erityisesti energialähteenä helposti saatava, tehokas ja helposti varastoitava polttoaine, dieselistä ei sellaisenaan saada täysin päästötöntä energianlähdettä. Vaikka tekniikan myötä polttomoottoreita ajava downsizing trendi jatkuisikin ja tekniikkaa saataisiin vielä kehitettyä huomattavasti, moottoreiden kehittämisestä tulisi liian kallista verrattuna siihen, että siirryttäisiin toisenlaisiin polttoaineisiin tai koko tekniikkaa vaihdettaisiin toisenlaiseen. Euro VI -luokan mukana tulleet tarkennetut alaluokitusten päästörajat ovat tuoneet myös jokainen omia haasteita diesel voimalinjaan, sekä itse ajoneuvon päällysrakenteiden muokkaamiseen.

TAULUKKO 2. Euro VI alaluokat

Table 5
Euro VI stages and OCE/ISC requirements

Stage	Implementation Date		OCE/ISC Requirements				
	Type approval (new types/all vehicles)	Last date of registration	PEMS power threshold	Cold start included in PEMS	OCE NTE g/kWh	PEMS CO, HC, NMHC, CH_4 CF	PEMS PN CF
A	2013.01/2014.01	2015.08	20%	No	NOx 0.60 THC 0.22 CO 2.0 PM 0.016	1.50	-
B (CI)	2013.01/2014.01	2016.12					
B (PI)	2014.09/2015.09	2016.12					
C	2016.01/2017.01	2017.08					
D	2018.09/2019.09	2021.12	10%				
E	2020.09/2021.09	-		Yes			1.63[a]

[a] For PI engines and type 1A and 1B dual fuel engines in dual fuel mode, PN CF applies 2023.01/2024.01

https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php

Euro päästöluokituksen kiristyessä, esimerkiksi Mercedes-Benzin kuorma-autojen ohjeistukseksi taulukon 2 Euro VI D-luokan mukana on tullut, että päästölaitteita tai edes pakoputken paikkaa ei saa enää vaihtaa jälkikäteen vuoden 2020 mallista alkaen edes Mercedes-Benzin merkkiliikkeessä, vaan muutokset pitää tilata jo tehtaalta, jotta voidaan olla varmoja, että päästöt ovat hyväksyttävällä tasolla. Tämä tuo haasteita kuorma-auton päällysrakenteiden asentamiselle. (Veho)

3.2.2 Kaasu

Korkeasti paineistetussa ratkaisussa polttoaineen säilöminen vie paljon enemmän fyysistä tilaa. Koska kaasu on kaasumaisessa tilassa eikä nesteytettynä, vie tämän dieselin polttoainetankkiin verrattuna huomattavasti enemmän tilaa. Tavallinen raskaankaluston metaanitankkien paine vaihtelee 200–250 barin välillä. Tällaiselta kaasusäiliöltä, joka on virittyneenä tällaiseen paineeseen, vaaditaan hyvää kestävyyttä ja ennen kaikkea turvallisuutta. Myös nesteytetyssä olomuodossa olevat propaani ja butaani vaativat säiliöltä paineenkestävyyttä vaikkei aivan niin paljoa kuin metaani. Propaanin säiliöpaine jää vain vähän reiluun kahteen bariin, kun butaanin se nousee 22:een bariin. Kaikissa tapauksissa tarvitaan siis paineen kestäviä säiliöitä, joidenka tulee olla turvallisia kuorma-auto käytössä. (Diffen, CNG United, Begasmotor)

Kaikkien kaasujen tapauksessa puhutaan säästöistä polttoainekuluissa. Metaanin tapauksessa hinnan jäädessä vain kolmasosaan dieselin kuluista ja propaanin ja butaanin tapauksessa vastaavasti puoleen dieselin kuluista. Polttoainekuluissa säästäminen jää kuitenkin käytännössä hieman vähäisemmäksi sillä kaikkien kaasujen tapauksissa polttoaineen kulutus kasvaa kuitenkin suunnilleen 10 %. Metaanin kohdalla tämä ei vaikuta lopulliseen hintaan juuri merkittävästi, mutta propaanin ja butaanin kohdalla säästöt jäävät esimerkiksi 40–45 %:n paikkeille alkuperäisestä noin 50 %:n polttoaineen hinnasta verrattuna dieseliin. (Diffen, CNG United, Begasmotor)

Vaikka kaasuilla ja erityisesti metaanilla saataisiinkin huomattavasti vähäisemmät päästöt dieseliin verrattuna, kaikissa jää silti ongelmaksi se, että ajoneuvosta ei saada täysin päästötöntä. Jotta EU:n asettamaan hiilineutraalisuus tavoitteeseen päästään vuoteen 2050 mennessä, ei kaasuista ole pitkänajan tähtäimellä käytännölliseksi polttoaineeksi raskaassa kalustossa, vaikka ne olisivatkin luonteva siirtymävaihe lyhyellä tähtäimellä.

3.2.3 Biopolttoaineet

Biodieselistä johtuvat ongelmat ovat hyvin sidonnaisia siihen, millä tapaa se on valmistettu. Tietynlaisella prosessilla voidaan saada täysin ongelmaton polttoaine aikaiseksi, mutta silloinkin ongelmat voivat siirtyä raaka-aineiden hankkimisen eettisyyteen. Rasvahappometyyliesteripohjaisilla biopolttoaineilla esteröinti prosessi rajoittaa heikkolaatuisten ja epäpuhtaiden raaka-aineiden käyttöä, mikä myös vaikuttaa laadun tasaisuuksien heittelyihin. Esteripohjaista biodieseliä käytettäessä myös moottoria pitää muokata, jotta käyttö olisi ongelmatonta. Tämä taas nostaa kustannuksia käytettäessä vähäpäästöisempää esteripohjaista biodieseliä. Samassa esteripohjaisessa biodieselissä on myös huomattu kylmäkäynnistyvyys ongelmia jo +5 Celsius asteessa, kun vetykäsitellyillä kasviöljyillä tätä ei ilmene. Lisäksi esteripohjaisten biodieselien ongelmana on havaittu pitkään säilyttäessä leväkasvuston ilmenemistä riippuen biodieselin laadusta, jolloin polttoainelinjat tukkeutuvat kokonaan huonossa tapauksessa. (Neste 2016)

Biodieselin suurimmat ongelmat eivät kuitenkaan ole itse polttoaineessa, vaan sen raaka-aineissa. Eniten maailmalla käytetty biopolttoaineen raaka-aine tuottaa silti maailmanlaajuista huolta. Palmuöljyn viljely biodieselkäyttöön tuhoaa luontoa enemmän, kuin vähäpäästöisillä polttoaineilla sitä yritetään pelastaa. Tarpeen vielä kasvaessa biopolttoaineille, raaka-ainetta tarvittaisiin vielä huomattavasti enemmän, jolloin biopolttoaineen eettisyydestä tulee ongelmallisin asia. Biopolttoaineen valmistamiseen voidaan kuitenkin käyttää ruoan valmistamisesta jääneitä tähteitä ja muita vastaavia biomassaltaan käyttämiseen soveltuvia aineita. Tällöin ongelmaksi jää vain biopolttoaineen valmistusmäärien vähäisyys suurissa määrin. Vaikka biodieseleillä saadaankin vähennettyä päästöjä huomattavissa määrin kaikissa tapauksissa, se ei ole silti täysin päästötön ratkaisu. Biodieselilläkään ei päästä täysin hiilineutraaliksi ratkaisuksi.
(Transportenvironment)

3.2.4 Hybridi

Hybridiajoneuvot koostuvat perinteisen polttoaineella kulkevan polttomoottorin lisäksi vielä vaihtelevan kokoisesta akustosta, tai superkondensaattorista ja sähkömoottorista. Nämä kasvattavat ajoneuvon painoa entisestään siihen verrattuna, mitä ajoneuvo olisi pelkällä polttomoottorilla varustettuna. Vaikka hybridijärjestelmä säästää polttoainekuluissa kaupunkiajossa, pitkää matkaa ajettaessa akustoon varattu sähkö voi loppua jo muutaman sadan kilometrin jälkeen. Tämän jälkeen akustosta ja sähkömoottorista tulee vain turhaa lisäpainoa, jota pitää kuljettaa mukana. Raskaan kuljetuskaluston kohdalla on oltu jo hyvissä ajoin huolissaan, että mitä ajoneuvon todellisesti aiheuttamat päästöt ovat, kun ajoneuvon täytyy kulkea tyhjällä akulla lisääntyneen massan kanssa useita satoja kilometrejä.

Hybridijärjestelmä on vain polttomoottorin toimintaa tukeva järjestelmä, jonka lisääminen tuo kuitenkin vain lisäkustannuksia ja huoltotarpeita, pääjärjestelmän kuitenkin toimien vain perinteisellä dieselillä tai biodieselillä. Biodieselin tarvitsemat muokkaukset moottoriin voivat nostattaa hintaa vielä entisestään. Huonossa tapauksessa hybridijärjestelmän akut ovat vanhentuneet tai superkondensaattori on vioittunut, eivätkä pidä suunnitellusti enää lataustaan ja nostattavat näin polttoaineen kulutusta vielä entisestään kaupunkiliikenteessä. Vieläpä niin, että vaihtoakkuja tai kondensaattoreita on huonosti saatavilla ja kustantavat huomattavan osan ajoneuvon alkuperäisestä hinnasta. (Veho)

Hybridijärjestelmän tuottama hyöty jää lopulta hyvin vähäiseksi, eikä auta pitkän ajan tähtäimellä hiilineutraalin liikenteen saavuttamisessa. Kuorma-autovalmistajat ovatkin hylännyt suunnitelmansa hybridisoiduista malleista ja siirtynyt suoraan kehittämään täysin sähköisiä tai vetykennoilla toimivia malleja, Sisun ollessa ainut, joka on kehittänyt mallistoonsa toimivan hybridijärjestelmän. (Sisu, Veho)

3.2.5 Sähköistäminen

Täysin sähköistetyssä ratkaisussa katoavat monet huolet itse ajoneuvon tekniikasta ja sen saastuttamisesta lähiympäristössä. Koska EU:n asettama hiilineutraalin liikenteen tavoite tulisi täyttyä vuoteen 2050 mennessä ja polttomoottorilla toimivien ajoneuvojen myyminen kiellettäisiin jo ennen tätä eri EU maissa, maiden omaan parhaaksi näkemäänsä tahtiin. Tämä tuo sähköiselle kuljetuskalustolle suuren mahdollisuuden olla tulevaisuuden voimalinja. Ongelmat alkavat kuitenkin sähköautojen akuston materiaalien eettisyydestä. Vaikka ajoneuvo itse olisi hiilineutraali ja kykenevä nolla lähipäästöihin, ajoneuvon akustoon tarvittavien materiaalien louhinta on vähintäänkin epäilyttävää toimintaa. Akkumateriaalien suurimmat varannot löytyvät Australiasta, Etelä-Amerikasta, Afrikasta ja Kiinasta. Epäilyttävää materiaalien kaivamisessa on siihen käytetyt työlaitteet ja työmenetelmät, ja miten ja missä niitä kaivetaan. Kyseenalaista on se, miten materiaalit on kaivettu Etelä-Amerikassa, Afrikassa ja Kiinassa. (NSenergy, BBC 2019)

Sähköistetyillä ajoneuvoilla ei ole suoranaisia päästöjä, koska ne toimivat sähköllä, mutta jos sähkö tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla kuten kivihiilellä, menettää sähköajoneuvo taas etuansa täysin päästöttömänä ajoneuvona. Raskaan kuljetuskaluston käyttöiän venyessä huomattavasti pidemmäksi, kuin tavallisten kansalaisten autojen, on myös odotettavaa, että akkuja voidaan joutua vaihtamaan muutamaankin kertaan tavarankuljetusajoneuvoon. Jokaisen vaihtoakun tuottamiseen tarvitaan taas energiaa, joka tuottaa huonossa tapauksessa taas huomattavasti lisää päästöjä. Sähköajoneuvo voi siis olla täysin päästötön, jos se rakennetaan vastuullisesti ja suositaan uusiutuvia energia muotoja. Mutta pahimmassa tapauksessa se voi saastuttaa moninkertaisesti enemmän kuin perinteinen dieselkäyttöinen koko elämänsä aikana. (DW, BBC 2019)

Sähköajoneuvot tarvitsevat myös kunnollisen latausinfrastruktuurin, jotta ajoneuvoilla pystytään ajamaan joka paikassa. Toistaiseksi latauspaikkoja on hyvin vaihtelevasti, kun suuremmista kaupungeista niitä löytyy hyvinkin tiheästi, niin haja-asutusalueilla niitä ei ole vielä keritty rakentaa merkittävissä määrin. Latausinfrastruktuuriakin kehitetään koko ajan, jotta akkujen lataus saataisiin toteutettua

yhtä nopeasti kuin dieselin tankkaus. Koska latausinfrastruktuurikin on vielä kehityksen alla, ei voida olla täysin varmoja, kuinka paljon sen rakentaminen tulee lopullisesti maksamaan. Vielä toistaiseksi raskaan kuljetuskaluston akkujen lataus kestää akkujen koosta riippuen useampia tunteja. Kuten Mercedes-Benzin eActrosin latausajaksi ilmoitetaan kaksi tuntia, jolla voi ajaa 200 kilometriä yhdellä latauksella. Jotta kuljetuskalusto kykenisi läheskään samaan kuin perinteiset dieselillä kulkevat, tarvitsee akkujen lataustekniikan kehittyä vielä huomattavasti eteenpäin, että lataus saataisiin suoritettua esimerkiksi joissain kymmenissä minuuteissa. Kun latauksen hitauden ongelmat saadaan ratkaistua ja akkumateriaalien kaivaminen, sekä sähkön tuottaminen tehdään vastuullisesti, on sähköajoneuvoilla mahdollisuus olla tulevaisuudessa merkittävin liikkumisen tapa. (BBC 2019, Green Car Congress)

3.2.6 Vety ja vetykennot

Vedyn käyttäminen raskaankaluston polttoaineena saa yhä useamman kuormaautovalmistajan kiinnostumaan tekniikasta, kun polttomoottorikäyttöisille ajoneuvoille asetetaan yhä vain tiukentuneempia rajoituksia. Vedyn valmistamisen tehokkuus ja -kustannukset ovat parantunut viimeisen vuosikymmenen aikana huomattavasti siitä, mitä ne ovat alun perin ollut. Mutta vedyn vastaava kilohinta verrattuna dieselin litrahintaan maailmanlaajuisesti, on vaihtelevasti vielä 3–4 kertainen. Vedyn kilohinnan tippumiseen tarvitaan vielä lisää vedyn valmistajia, sekä tehokkaampia valmistusmenetelmiä. (Power)

Koska vetyä voidaan käyttää polttomoottorissa sekä polttokennoissa, on tärkeää osata käyttää vetyä tehokkaimmalla mahdollisella tavalla. Vedyn käyttämistä polttomoottorissa ei ole kokeiltu raskaassa kalustossa koskaan, mutta joitain henkilöautoja löytyy, jotka ovat kokeilleet vedyn käyttämistä polttomoottorin polttoaineena. Vedyn käyttämistä polttoaineena ovat kokeilleet BMW mallillaan Hydrogen 7 ja Toyota mallillaan GR Corolla, joista BMW malli sijoittuu vuoteen 2006 ja Toyotan vuoteen 2021. BMW kokeili 6-litraisen V12-moottorin suorituskykyä vedyllä, joka onnistui päästöjen osalta mainiosti, mutta polttoaineenkulutukseltaan todella huonosti. Moottorin kulutus nousi bensiinin verrattuna jopa nelinkertaiseksi, minkä takia mallin kehitys lopetettiin. Kun taas Toyotan malli on niin tuore, ettei tuloksia ole vielä kertynyt. (BMW Blog 2016, Motor1 2021)

Vedyn käyttäminen polttomoottorissa, yhdistettynä nelinkertaisella polttoaineen jakajahinnalla ja nelinkertaisella polttoaineen kulutuksella, ei ole kyllin tehokas tapa kuljettaa tavaraa raskaalla kalustolla. Mutta vetyä voidaan käyttää myös vetykennoilla sähköksi, jolloin tehokkuus on parempi, kuin parhaimmilla markkinoiden polttomoottoriajoneuvoilla, mutta huonompi kuin sähköajoneuvoilla, asettuen suunnilleen puoleen väliin näitä kahta ratkaisua. Sähköajoneuvoon verrattuna, koska vetykennoilla tuotetaan sähköä, tarvitsee ajoneuvo käytännössä tavallisen sähköajoneuvon voimalinjan ja kevennetyn akuston, mutta lisäksi itse vetykennostot ja vetysäiliöt. Tämä tuo vetykäyttöiseen ajoneuvoon hieman lisäkustannuksia ja monimutkaisuutta, täysin sähköiseen voimalinjaan

verrattuna, mutta vetysäiliöt ja niiden välitön läheisyys ovat ajoneuvon vaarallisinta aluetta. Vety säilötään 350–700 barin paineeseen ja nesteytetyssä tapauksessa vielä -253 celsius asteen lämpötilaan, vaatien vedyn säilömiseltä teknisesti paljon. Säiliöiden tulee siis olla ennen kaikkea kunnossa, ettei paineistettu vety säiliön räjähtäessään aiheuta suuria vahinkoja, eikä nesteytetyssä tapauksessa pääse missään tapauksessa kosketuksiin ihmisen kanssa. (Energy.gov, FuellCellWorks, Sciencedirect)

3.3 Voimanlähteiden tuomia uusia käytäntöjä

Koska raskaassa kalustossa käytetään nyt jo useampia erilaisia voimalinjoja, ovat ne alkaneet vaikuttaa pelastustilanteissa toimimiseenkin eri tavalla. Koska raskaassa kalustossa voi olla hyvin vaikea tunnistaa päällepäin millä voimalinjalla ajoneuvo on varustettu, tätä halutaan selkeyttää pelastustilanteiden varalle. Maailmanlaajuinen palo- ja pelastusalan komissio CTIF haluaa varustaa tulevaisuudessa kaikki kuorma-autot kuvan 1 mukaisilla käyttövoimatarroilla, joista selviää ajoneuvon käyttämä voimalinja.

KUVA 1. Käyttövoimatarrat ja niiden merkitykset

GREY	DIESEL
RED	GASOLINE
GREEN	GAS
WHITE	CRYOGEN LNG
BLUE	HYDROGEN
ORANGE	HIGH VOLTAGE

Tarrjoen väri kertoo käyttövoiman. Harmaa = diesel, punainen = bensiini, vihreä = erilaiset kaasut, sininen = vety, oranssi = hybridi- ja täyssähkö, hybridissä salaman päällä polttoainepumppu Kuva: CTIF

Kuvakaappaus uutisesta: https://yle.fi/uutiset/3-11607338

Kyseiset voimalinjatarrat tulisi näkymään kuorma-autoissa sivuilla, nokassa, hytin takana, sekä vielä katolla, jotta pahemmissa kolaritilanteissa saadaan selvyys ajoneuvon käyttövoimasta, niin että pelastustoiminta voidaan tehdä turvallisesti. (Yle Kaasubusseista tuli palomiehen painajainen 25.10.2020)

Myös sähköistetyllä voimalinjalla kulkevilla ajoneuvoilla on omat käytäntönsä. Koska vetykennoilla, sekä hybridivoimalinjallakin kulkeva ajoneuvo on käytännössä sähköajoneuvo, näitä yhdistää SFS 6002 -standardin mukainen sähkötyöturvallisuus osaaminen. Ajoneuvon huoltamisen saa tehdä vain koulutuksen saanut henkilö, erityisesti sähkötöihin tehdyillä sähköeristetyillä suojavarusteilla ja työkaluilla. Lisäksi korkeajännitteiset kaapelit tulee olla merkitty asianmukaisesti oranssilla värillä. SFS 6002 -standardi ohjeistaa myös ensiapukoulutusta ja toimintaa pelastustilanteessa, mitkä helpottavat huomattavasti käyttövoimatarrojen kanssa pelastustilanteessa toimimista. Yhdessä käyttövoimatarroilla ja SFS 6002 -sähköturvallisuus koulutuksella pidetään huolta siitä, että onnettomuustilanteessa osataan toimia niin, että pelastushenkilökunnalle, pelastettavalle tai muille ulkopuolisille henkilöille ei sattuisi mitään. (SFS 6002-sähköturvallisuusverkkokoulu)

4 LIIKENTEEN TULEVAISUUS

4.1 Polttoaineet

Tulevaisuuden tavoitteen takia on selvää, että polttomoottori ratkaisusta halutaan pitkällä aikavälillä kokonaan eroon. Kuitenkin raskaaseen kalustoon investoidaan huomattavia rahasummia, eikä niistä haluta luopua vain muutaman vuoden jälkeen ostamisesta. Myös erilaiset harrastushenkiset ihmiset ostavat vielä huomattavasti vanhempiakin kuorma-autoja, vaikka ne eivät sovellu enää mihinkään käytännön toimintaan. Tästä syystä, vaikka puhutaan hiilineutraalista liikenteestä vuoden 2050 jälkeen, se ei tule käytännössä olemaan täysin mahdollista. Myös polttoaineiden tarjonta tulee varmasti säilymään, koska kaikilla ei ole välttämättä varaa siirtyä sähköiseen liikenteeseen välittömästi suunniteltuna aikana.

Myös polttoaineiden monimuotoisuus tulee näkymään jakeluvelvoitteen takia, kun hiilineutraaliin liikenteeseen siirrytään vähäpäästöisemmän liikenteen kautta. Polttoaineiden monimuotoisuus tulee pysymään myös yleisen ja sotilaallisen huoltovarmuuden takia, jos sotilaallinen uhka tai muu kriisi vaatii yhteiskunnan toimintavarmuuden epävarmoinakin aikoina. Raskaskalusto, jonka on mahdollista liikkua useammalla eri polttoaineella, parantaa huoltovarmuutta kriisiaikana, jos jostain polttoaineesta on pulaa.

Vaikka vähäpäästöisemmät polttoaineet ovat väliaikainen ratkaisu ennen päästötöntä liikennettä, sotilaallinen vastauskyky ulkoiseen uhkaan on silti täysin riippuvainen fossiilisesta dieselistä. Koska Pohjoismaiden, sekä koko Euroopan sotilaallinen logistiikkakalusto perustuu mahdollisimman yksinkertaiseen ja toimintavarmimpaan ratkaisuun on vaikea uskoa, että dieselistä päästään eroon täysin vielä vuonna 2050. Niin kauan kuin sotilaallinen kuljetuskalusto tarvitsee fossiilisia polttoaineita toimiakseen, on sotilaallisen huoltovarmuuden nimissä mahdotonta luopua polttomoottoreista ja dieselistä polttoaineena. Vasta kun sotilaskalusto muuttuu sähköistetyksi, on dieselistä luopuminen mahdollista. Toistaiseksi ainoa voimanlähde, johon katseet siirtyvät on yhä useammin vety. Vety on ainut polttoaine vetykennotekniikan myötä, joka voi täyttää hiilineutraalin liikenteen tarpeet tehokkaasti.

4.2 Sähköistäminen

Liikenteen sähköistäminen on välttämätöntä päästöttömän tulevaisuuden kannalta. Jotta ilmastonlämpeneminen ja suurien kaupunkien huono ilmanlaatu saataisiin kuriin, siihen tarvitaan liikenteen sähköistämistä. Kun sähköistämisen haasteet ja vaatima infrastruktuuri saadaan toteutettua vastuullisesti, sekä vedyn kannalta tarpeeksi tehokkaasti, on ajoneuvoilla edellytys toimia päästöttömästi tulevaisuudessa.

Sähköistetyn liikenteen ongelmaksi on kuitenkin akkukäyttöisten sähköajoneuvojen kohdalla noussut epäilys niiden lopullisesta päästöttömyydestä. Se kuinka paljon sähköajonevojen akut tarvitsevat materiaaleja, sekä materiaalien kaivaminen ja työstäminen lopullisiksi akuiksi tuottaa huomattavasti enemmän päästöjä kuin tavallisten polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen rakentaminen. Myös sähköajoneuvojen lopullisen hyötysuhteen paremmuutta on alettu epäillä, kun katsotaan sähkön tuottamista, joka lopulta päätyy pitkän ketjun jälkeen auton käytettäväksi. Akkukäyttöisen raskaankaluston myötä huoleksi nousee niiden huomattavasti suurempi tarve akkumateriaaleille ja tätä myötä myös niiden riittävyys ympäri Euroopan, ja myös ympäri maailman. Maailman akkumateriaalivarannot eivät riitä tuottamaan sähköisiä kuorma-autoja jokaiselle tarvitsevalle.

Sähköistäminen on noussut niin kovaksi tavoitteeksi lähinnä vain tarpeesta päästä eroon fossiilisten polttoaineiden tuomisesta Eurooppaan. Euroopan maiden yhteisenä tavoitteena on päästä energian tuoton omavaraisuuteen, ja päästöttömään tulevaisuuteen. Jotta Euroopan omavaraistalouteen päästäisiin, pitäisi fossiilisen öljyn- ja akkumateriaalien tuonnista päästä eroon pidemmällä aikavälillä. Tästä syystä vedyllä ja vetypolttokennotekniikalla on selkeästi vahvimmat perusteet olla tulevaisuuden polttoaine niin Euroopassa, kuin ympäri maailman. Vetypolttokennotekniikka yhdistää polttomoottoristen autojen helpon käytettävyyden ja sähköistettyjen ajoneuvojen päästöttömän liikkumisen parhaat puolet yhteen, yhdistäen vielä energian tuoton omavaraisuuden. (Automotive News Europe 2020)

5 POHDINTA

Vety ja vetypolttokennotekniikka herättää yhä useammissa kuorma-autovalmistajassa kiinnostusta ja melko varmasti voisi sanoa, että vety tulee olemaan suuri seuraava kehitystä eteenpäin vievä tekniikka päästöttömässä liikenteessä. Vedyllä saadaan ratkaistua Euroopan päästöttömyystavoite, vähennettyä riippuvuutta materiaalien ostamiseen Euroopan ulkopuolelta ja mahdollistetaan energiaomavaraisuus.

Sotilaallisen uhan ja muiden ulkoisten kriisien varautumisen varalle on vaikea uskoa, että fossiilisesta dieselistä tai muista vaihtoehtoisista polttoaineista luovuttaisiin, vaan ne tulevat jäämään jakeluvelvoitteeseen myös 2050 jälkeen. Vaikka polttoaineiden jakelu tulee mahdollisesti kallistumaan ja vähenemään, ei niistä voida luopua kokonaan.

Teknologia tulee myös näkymään uusien moottorien kehityksessä, kun päästöjä halutaan vähentää. Polttomoottoreissa tämä voi näkyä joko vielä jatkuvana downsizingina eli sylinterimääriä voidaan vielä vähentää, tai myös täysin uusina innovaatioina, kun perinteisestä dieselistä ei haluta luopua raskaassa kalustossa.

Synteettiset polttoaineet voivat olla myös osaratkaisu päästöjen vähentämisessä, kun tekniikka kehittyy ja ympäristöstä kerätään hiilidioksidi talteen, voidaan talteenotettu hiilidioksidi tehdä synteettisesti takaisin polttoaineeksi. Tällöin ympäristöön päässyt hiilidioksidin määrä ei ainakaan lisäänny.

Selkeän asetetun päästötavoitteen takia sähköistäminen tulee olemaan merkittävä ratkaisu päästöjen vähentämiseen. Akulliset kuorma-autot tulevat ottamaan oman markkinaosuutensa, mutta johtava tekniikka tulee olemaan vety ja vetykennot.

Vedyllä on niin paljon mahdollisuuksia ja potentiaalia, että tarpeeksi suurimittaisen vedyn tuotannon myötä ja alemmaksi painetun hinnan myötä olisi mahdollista käyttää sitä jopa polttoaineena, jolloin polttomoottoreista ei tarvitsisi luopua.

LÄHTEET

Johdanto:

Qontigo, 17.6.2020 Rules to combat climate change. Luettu 5.1.2021
https://qontigo.com/eu-introduces-new-benchmark-rules-to-combat-climate-change/

Electrive, 11.12.2020 EU announces stricter climate targets for 2030. Luettu 5.1.2021
https://www.electrive.com/2020/12/11/eu-announces-stricter-climate-protection-targets-for-2030/#:~:text=The%20EU%20has%20adopted%20more,per%20cent%20compared%20with%201990.&text=The%20EU%20has%20set%20itself,envisaged%20as%20an%20interim%20step.

Ajoneuvojen päästöt ja niiden alentaminen:

Daimler, Luettu 18.1.2021
https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Debut-of-diesel-engines-in-tractors-and-trucks.xhtml?oid=9361501#:~:text=1923%20%E2%80%93%20The%20world's%20first%20diesel,45%20hp)%20at%201000%20rpm.

Daimler, Luettu 18.1.2021
https://www.daimler.com/company/tradition/truck-milestones.html

Daimler, Luettu 18.1.2021
https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/1974-The-New-Generation-heavy-duty-trucks-from-Mercedes-Benz-make-their-debut.xhtml?oid=9914645

Motor car, Mercedes-Benz diesel engines. Luettu 18.1.2021
https://motor-car.net/mercedes-engines/item/20056-mercedes-401-404

Daimler, Luettu 18.1.2021
https://www.mercedes-benz-trucks.com/en_GB/models/new-actros/technical-data/engine-performance-data.html

Volkswagen AG, Luettu 18.1.2021
https://www.volkswagenag.com/en/news/2015/7/t_100_man.html#:~:text=MAN%20built%20the%20first%20trucks,to%20MAN's%20plant%20in%20Nuremberg.

MAN, Luettu 18.1.2021
https://www.engines.man.eu/global/en/fascination-and-technology/scr-system/SCR-System.html

Volvo, Luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history.html

Volvo, Luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/1920s.html

Volvo, Luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/1930s.html

Volvo Luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/1940s.html

Volvo, luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/1950s.html

Volvo, luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/1960s.html

Volvo, luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/1970s.html

Volvo, luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/1980s.html

Volvo, luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/1990s.html

Volvo, luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/2000s.html

Volvo, luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/about-us/history/2010s.html

Volvo, Luettu 19.1.2021
https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2020/feb/pr-200227-fh.html

Scania, Luettu 20.1.2021
http://www.scania.com/scania-group/history-of-scania/

Scania Group, 2020. Why Scania created the legendary Scania V8 engine Youtube-video. Julkaistu 13.3.2020. Katsottu 20.1.2021
https://www.youtube.com/watch?v=fm4HmLWuc7s

Scania, Luettu 20.1.2021
https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/press-releases/press-release-detail-page.html/3781813-introducing-the-new-scania-v8-range

Transportpolicy EU: heavy-duty: emissions. Luettu 20.1.2021
https://www.transportpolicy.net/standard/eu-heavy-duty-emissions/

Sisu, Luettu 20.1.2021
https://sisuauto.com/sisu-polar-hybrid-mallisto-vie-kuorma-autojen-huipputehot-uuteen-luokkaan/

Työkokemus Veho hyötyajoneuvot

Voimanlähteet:

Diesel:

Dieselnet, Luettu 5.2.2021
https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php

Kaasu:

CTCN, Liquefied Natural Gas in trucks and cars. Luettu 8.2.2021.
https://www.ctc-n.org/technologies/liquefied-natural-gas-trucks-and-cars

Gasum, LNG and LBG help heavy transport and logistics to reduce emissions. Luettu 8.2.2021. https://www.gasum.com/en/sustainable-transport/road-transport/transport-with-lng/

Diffen, CNG vs. LPG. Luettu 8.2.2021. https://www.diffen.com/difference/CNG_vs_LPG#:~:text=CNG%20is%20Compressed%20Natural%20Gas,pressure%20of%201.7%20%2D%207.5%20bar.&text=CNG%20is%20cheaper%20and%20cleaner,has%20a%20higher%20calorific%20value.

Food and Farming technology, 24.8.2020. How farms are making use of methane to target net zero. Luettu 8.2.2021. https://www.foodandfarmingtechnology.com/features/how-farms-are-making-use-of-methane-to-target-net-zero.html

CNG united, The advantages and disadvantages of CNG conversion kit. Luettu 8.2.2021. https://www.cngunited.com/advantages-disadvantages-of-cng-conversion-kits/#:~:text=Natural%20gas%20produces%20far%20fewer,as%20longer%20lasting%20spark%20plugs.

Begasmotor, What is LPG/AutoGas? What advantages does it have? Frequent questions. Luettu 8.2.2021. https://www.begasmotor.com/what-is-lpg-autogas-what-advantages-does-it-have-frequent-questions/

Diesel-international, Scania OC16 biogas step by step. Luettu 8.2.2021.
https://www.diesel-international.com/alternatives/scania-oc16-biogas/

Biodiesel:

Neste, Luettu 10.2.2021
https://www.neste.com/fi/mita-eroa-uusiutuvalla-dieselilla-ja-perinteisella-biodieselilla-vai-onko-mitaan

Neste, Luettu 10.2.2021
https://www.neste.com/fi/tiedotteet-ja-uutiset/renewable-solutions/neste-my-uusiutuva-diesel-soveltuu-raskaan-kaluston-paastojen-vahentamiseen-myos-jatkossa-puhtaiden

Transportenvironment, Luettu 4.3.2021
https://www.transportenvironment.org/what-we-do/biofuels/why-palm-oil-biodiesel-bad

Hybridi:

Sisu, Luettu 15.2.2021
https://sisuauto.com/sisu-polar-hybrid-mallisto-vie-kuorma-autojen-huipputehot-uuteen-luokkaan/

Sisu, Luettu 15.2.2021
https://sisuauto.com/polar-etusivu/

Scania, Luettu 15.2.2021
https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2020/truck-trailers-with-solar-panels-can-save-fuel.html

Sähköistäminen:

Hotcars, Luettu 16.2.2021
https://www.hotcars.com/evaluating-true-efficiency-tesla-semi-truck/#:~:text=Depending%20on%20the%20model%2C%20Tesla,of%20%24150%2C000%20or%20%24180%2C000%20respectively.&text=In%20the%202019%20Advanced%20Truck,diesel%20which%20remained%20at%2046%25.

CCJ, Luettu 16.2.2021
https://www.ccjdigital.com/business/article/14939858/the-debate-over-hydrogen-as-the-fuel-of-truckings-future

Daimler, Luettu 16.2.2021
https://www.daimler-truck.com/innovation-sustainability/efficient-emission-free/into-the-future-by-electric-bus-and-truck.html

The Driven, Luettu 16.2.2021
https://thedriven.io/2020/09/25/mercedes-benz-to-begin-eactros-battery-truck-series-production-2021/

Autoevolution, Luettu 17.2.2021
https://www.autoevolution.com/news/sweden-successfully-tests-wireless-charging-road-set-to-revolutionize-mobility-155137.html

Borgwarner, Luettu 22.2.2021
https://www.borgwarner.com/newsroom/press-releases/2021/02/10/borgwarner-launches-800-volt-electric-motor-for-the-commercial-vehicle-segment

Scania, Luettu 15.2.2021
https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2020/truck-trailers-with-solar-panels-can-save-fuel.html

BBC, Luettu 28.4.2021
https://www.bbc.com/news/uk-49578790

DW, Luettu 29.4.2021
https://www.dw.com/en/china-generated-half-of-global-coal-power-in-2020-study/a-57044984

NSenergy, Luettu 28.4.2021
https://www.nsenergybusiness.com/features/top-lithium-producing-countries/

Green Car Congress, Luettu 29.4.2021
https://www.greencarcongress.com/2020/08/20200807-eactros.html#:~:text=Lithium%2Dion%20batteries%20with%20240,hours%20(at%20150%20kW).

Vety ja Vetykennot:

FCHEA, Luettu 22.2.2021
https://www.fchea.org/fuelcells#:~:text=A%20fuel%20cell%20is%20a,an%20electrochemical%20reaction%2C%20not%20combustion.&text=A%20typical%20fuel%20cell%20works,molecules%20into%20electrons%20and%20protons.

Hyundai, Luettu 22.2.2021
https://hyundai-hm.com/en/2020/07/08/worlds-first-fuel-cell-heavy-duty-truck-hyundai-xcient-fuel-cell-heads-to-europe-for-commercial-use/

Green Car Congress, Luettu 22.2.2021
https://www.greencarcongress.com/2020/10/20201020-man.html

Electrive, Luettu 22.2.2021
https://www.electrive.com/2020/10/20/man-takes-a-closer-look-at-hydrogen-drives/

Toyota, Luettu 22.2.2021
https://global.toyota/en/newsroom/corporate/32024083.html

Green Car Congress, Luettu 22.2.2021
https://www.greencarcongress.com/2020/09/20200917-daimlertrucks.html

InsideEVs, Luettu 22.2.2021
https://insideevs.com/news/378613/daimler-fuso-vision-f-cell-tokyo/

Petrofac, Luettu 22.2.2021
https://www.petrofac.com/en-gb/media/our-stories/the-difference-between-green-hydrogen-and-blue-hydrogen/

FuelCellWorks, Luettu 22.2.2021
https://fuelcellsworks.com/news/nacfe-releases-guidance-report-on-hydrogen-fuel-cell-heavy-duty-trucks/

Energy.gov, Luettu 22.2.2021
https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage

Sciencedirect, Luettu 22.2.2021
https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fuel-cell-efficiency

Dieselnet, Luettu 22.2.2021
https://dieselnet.com/tech/engine_efficiency.php

Large.stanford Luettu 22.2.2021
http://large.stanford.edu/courses/2011/ph240/goldenstein2/

Borgwarner, Luettu 22.2.2021
https://www.borgwarner.com/newsroom/press-releases/2021/02/10/borgwarner-launches-800-volt-electric-motor-for-the-commercial-vehicle-segment

Power, Luettu 4.5.2021
https://www.powermag.com/how-much-will-hydrogen-based-power-cost/

BMW Blog, Luettu 4.5.2021
https://www.bmwblog.com/2016/08/17/bmw-stop-making-hydrogen-7-model/

Motor 1, Luettu 4.5.2021
https://www.motor1.com/news/504287/toyota-corolla-hydrogen-combustion-engine/

Voimanlähteiden tuomia uusia käytäntöjä:

Yle Kaasubusseista tuli palomiehen painajainen 25.10.2020, Luettu 4.5.2021
https://yle.fi/uutiset/3-11607338

Verkkokoulu SFS 6002 sähköturvallisuus, Luettu 6.5.2021
https://verkkokoulu.com/verkkokurssit/sfs-6002-sahkotyoturvallisuus/#:~:text=SFS%206002%20%E2%80%93%20s%C3%A4hk%C3%B6ty%C3%B6turvallisuuskoulutus%20on%20kaikille,k%C3%A4ytt%C3%B6%2D%20ja%20asiantuntijateht%C3%A4viss%C3%A4%20toimivat%20henkil%C3%B6t.

Liikenteen tulevaisuus:

Automotive News Europe 2020, Luettu 13.5.2021
https://europe.autonews.com/automakers/bmw-re-affirms-position-against-electric-only-platform

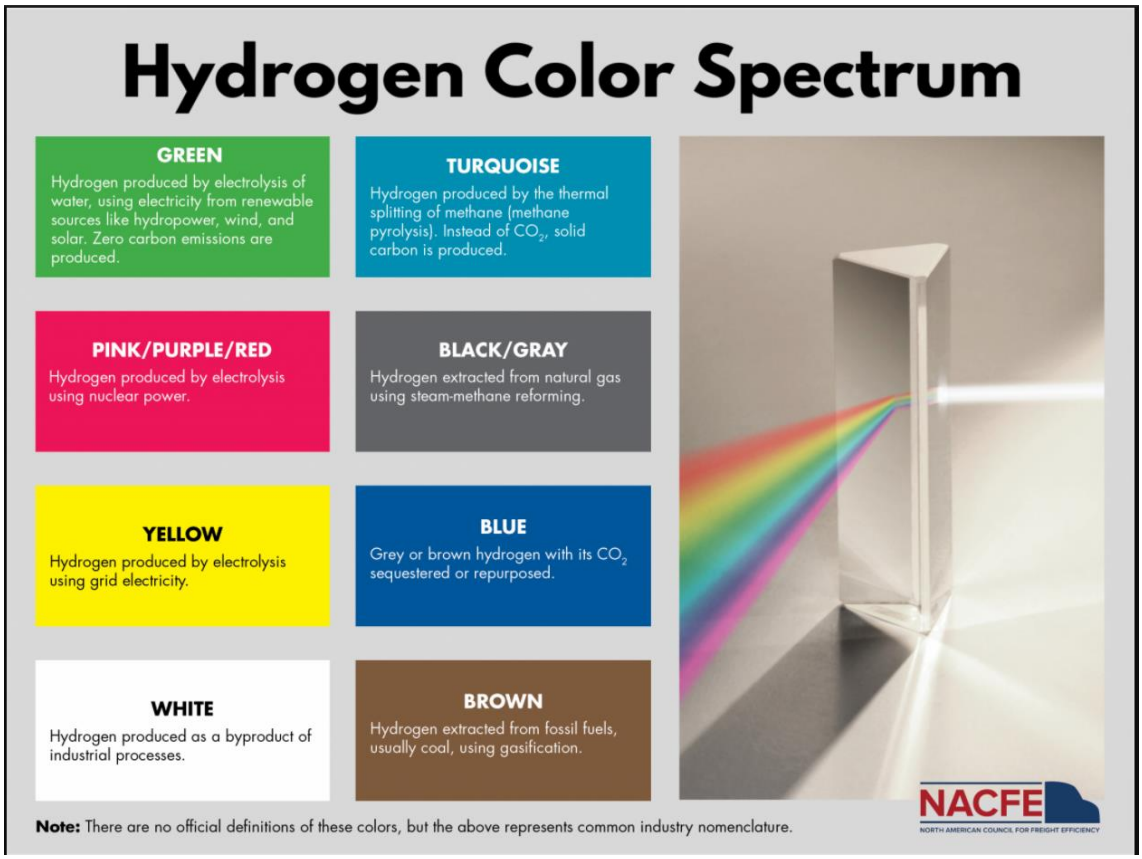
LIITTEET

Liite 1. Polttoaineiden energia sisältöjä

Selected Fuels	energy density	
	by mass	*by volume*
	MJ/kg	**MJ/L**
nuclear fission (of U-235) (Used in Nuclear Power Plants)	77,000,000	1,500,000,000
anthracite coal	32.5	72.4
diesel fuel/residential heating oil	45.8	38.7
gasoline	46.9	34.6
biodiesel oil (vegetable oil)	42.20	30.53
gasohol (10% ethanol 90% gasoline)	43.54	28.06
ethanol	30	24
liquid hydrogen	143	10.1
compressed natural gas at 200 bar	53.6	10
wood	6 - 17	1.8 - 3.2
natural gas		.038

https://arewetoast.com/energy-content-of-selected-fuels.html

Liite 2. Vedyn tuotanto tapoja.



https://nacfe.org/wp-content/uploads/2020/12/Hydrogen-Color-Spectrum-HiRes-2.png