

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka | Energia- ja moottoritekniologia

2020

Jyri Kuitunen

HYBRIDIMOOTTORI TYÖKONEKÄYTÖSSÄ



Jyri Kuitunen

HYBRIDIMOOTTORI TYÖKONEKÄYTÖSSÄ

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, miten hybriditekniologiaa on mahdollista käyttää työkoneissa ja minkälaisia etuja sillä on polttomoottoreihin. Samalla tutkittiin, minkälainen vaikutus hybriditekniologialla on moottorin polttoaineenkulutukseen ja hyötysuhteeseen. Tutkimus suoritettiin vuonna 2019 Turun ammattikorkeakoulun moottoritutkimuslaboratoriossa.

Tutkimus suoritettiin ajamalla staattisia ja dynaamisia testiajoja sähkö-diesel-hybridimoottorilla. Moottori oli Agco Power dieselmoottorista muutettu rinnakkaishybridiratkaisu.

Hybridimoottorin mittaustuloksia verrattiin dieselmoottorin tutkimusajoista saatuihin tuloksiin. Tulosten perusteella hybridimoottorilla on mahdollista saavuttaa työkoneissa hieman korkeampi suorituskyky ja polttoainetehokkuus kuin vastaavan kokoisella polttomoottorilla.

Hybriditekniologialla varustettuja työkoneita on käytössä muutamia malleja, mutta niiden osuus koko työkonekannasta on marginaalinen. Yleistykseen kaikenlaisissa työkoneissa hybridivoimalinjat vaativat vielä kehitystä.

ASIASANAT:

Dieselmoottori, Sähkömoottori, Hybridi,

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme in Mechanical Engineering

2019 | 27 pages

Jyri Kuitunen

HYBRID ENGINE IN NON-ROAD WORKING MACHINES

This bachelor thesis studied how hybrid engine technology can be utilized in non-road working machines and what kind of benefits does it have compared to diesel engine. Thesis also studied how the usage of hybrid technology effects fuel consumption and the efficiency of diesel engine. The Research was done in 2019 at the engine research laboratory of Turku University of Applied Sciences.

The research was done by running static and dynamic test cycles with an electric-diesel hybrid engine. The engine used in the research was a parallel hybrid engine, which was converted from an Agco Power diesel engine.

The test results of the hybrid engine were then compared to the results of the diesel engine. Based on the results it is possible to achieve a slightly higher performance and better fuel economy with the hybrid engine than with the diesel engine.

Hybrid technology is used in a few models of non-road working machines but their share in the whole industry is marginal. To become more commonly used in all industry more research and product development is required.

KEYWORDS:

Diesel engine, Electric motor, Hybrid

SISÄLTÖ

| | |
|---|-----------|
| KÄYTETYT LYHENTEET | 6 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN TYÖKONEISSA | 8 |
| 2.1 Työkoneiden polttoaineenkulutus ja hiilidioksidipäästöt | 8 |
| 2.2 Hybridimoottori työkoneissa | 11 |
| 2.2.1 Rinnakkaishybridi | 13 |
| 2.2.2 Sarjahybridi | 14 |
| 2.3 Esimerkkejä hybridityökoneista | 15 |
| 2.3.1 Logset 12H GTE Hybrid -harvesteri | 15 |
| 2.3.2 Komatsu HB205/215LC-1M0 -hybridikaivinkone | 17 |
| 2.3.3 Volvo LX1 -hybridikauhakuormaaja | 18 |
| 3 TUTKIMUSJÄRJESTELYT | 20 |
| 3.1 Tutkimuslaitteisto | 20 |
| 3.1.1 Dieselmoottori | 20 |
| 3.1.2 Dynamometri | 21 |
| 3.1.3 Muut laitteet | 22 |
| 3.2 Tutkimuksen toteutus | 23 |
| 4 TUTKIMUKSEN YHTEENVETO | 24 |
| LÄHTEET | 26 |

KUVAT

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Rinnakkaishybridivoimalinjan rakenne. | 13 |
| Kuva 2. Mercedesen rinnakkaishybridimoottori (Daimler 2011). | 14 |
| Kuva 3. Sarjahybridivoimalinjan rakenne. | 15 |
| Kuva 4. Logset 12H GTE Hybrid. | 16 |
| Kuva 5. Logsetin hybridivoimalinja. | 17 |
| Kuva 6. Komatsu HB215LC-1M0 -hybridikaivinkone. | 17 |
| Kuva 7. HB205LC:n hybridivoimalinja. | 18 |
| Kuva 8. Volvo LX1 -kauhakuormaaja. | 19 |
| Kuva 9. AGCO Power HD 49 -dieselmoottori. | 20 |
| Kuva 10. Horiba WT300 -pyörrevirtadynamometri. | 22 |

KUVIOT

| | |
|--|----|
| Kuvio 1. Suomessa myytyjen öljytuotteiden jakautuminen eri tuotteisiin (Tilastokeskus 2017). | 9 |
| Kuvio 2. Työkoneiden ja tieliikenteen hiilidioksidipäästöt vuonna 2015 (Nylund ym. 2016). | 10 |
| Kuvio 3. Diesel-työkoneiden hiilidioksidipäästöt vuonna 2015 (Nylund ym. 2016). | 11 |
| Kuvio 4. Dieselmoottorin hyötysuhde eri kuormitusalueilla.(Immonen 2013). | 12 |
| Kuvio 5. AGCO Power HD 49:n vääntö- ja tehokäyrät (Agco Power 2019). | 21 |

TAULUKOT

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. AGCO Power HD 49:n teknisiä tietoja (Agco Power 2019). | 21 |
| Taulukko 2. Mittauksissa käytettyjä laitteita. | 23 |

KÄYTETYT LYHENTEET

| | |
|-------|--|
| BSFC | Ominaiskulutus (Brake Specific Fuel Consumption) |
| EEM | Elektroninen moottorin hallinta (Electronic Engine Management) |
| e-Gen | Rinnakkaishybridi |
| NRTC | Transienttisykli (Non-Road Transient Cycle) |
| PPM | Miljoonasosa (Parts Per Million) |
| rpm | Pyörimisnopeus kierroksia minuutissa (revolutions per minute) |
| RSOC | Sähkömoottorin ohjausasetus (Real State Of Charge) |
| SCR | Selektiivinen katalyytti (Selective Catalytic Reduction) |

1 JOHDANTO

Hybridimoottoreiden käyttö on lisääntynyt ajoneuvoissa viimeisen vuosikymmenen aikana. Hybridimoottorin käyttömahdollisuuksia on alettu tutkia myös työkonemaailmassa. Syynä tähän ovat ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi kiristetyt päästöluokitukset. Toistaiseksi moottorivalmistajat ovat päässeet uusien moottoreiden päästörajoihin optimoimalla moottorit vähäpäästöisiksi ja käyttämällä pakokaasun jälkikäsitteilyjärjestelmiä. Tulevaisuudessa uudet, entistä tiukemmat päästörajat saattavat kuitenkin pakottaa valmistajat siirtymään hybridimoottoreihin ja myöhemmin, tavoiteltaessa hiilineutraalia liikennettä ja maataloutta, täysin sähköisiin voimalinjoihin tai muihin hiilineutraaleihin voimanlähteisiin.

Hybridimoottorit henkilöautoissa ovat osoittautuneet hyväksi askeleeksi kohti päästötöntä liikennettä. Ne ovat vähäpäästöisempiä kuin perinteisellä polttomoottorilla varustetut henkilöautot ja niiden käyttö on hyvin samankaltaista, mikä tekee siirtymisestä hybridimoottoriin kuluttajalle helpompaa. Tänä päivänä hybridiajoneuvot ovat huomattavasti yleisempiä kuin sähköautot, joita kuluttajat ovat vieroksuneet muun muassa autojen akkujen kapasiteetin rajallisuuden, latausaikojen ja korkeahkon hinnan vuoksi. (TRAFI 2019.) Työkoneissa vähäpäästöisemmän moottoriteknologian kehitys on ollut käynnissä jo pitkään, mutta hybriditeknologian suhteen ei ole savutettu tieliikenteen kaltaista suosiota. Muutamia hybridivoimalinjalla varustettuja koneita on jo markkinoilla, mutta jotkin valmistajat epäilevät suurimman osan koneista kulkevan pelkällä dieselillä vielä pitkään. Vaikuttavia tekijöitä muutoksen hitauteen ovat olleet muun muassa hybriditeknologian hinta ja teknologian kehityksen keskeneräisyys.

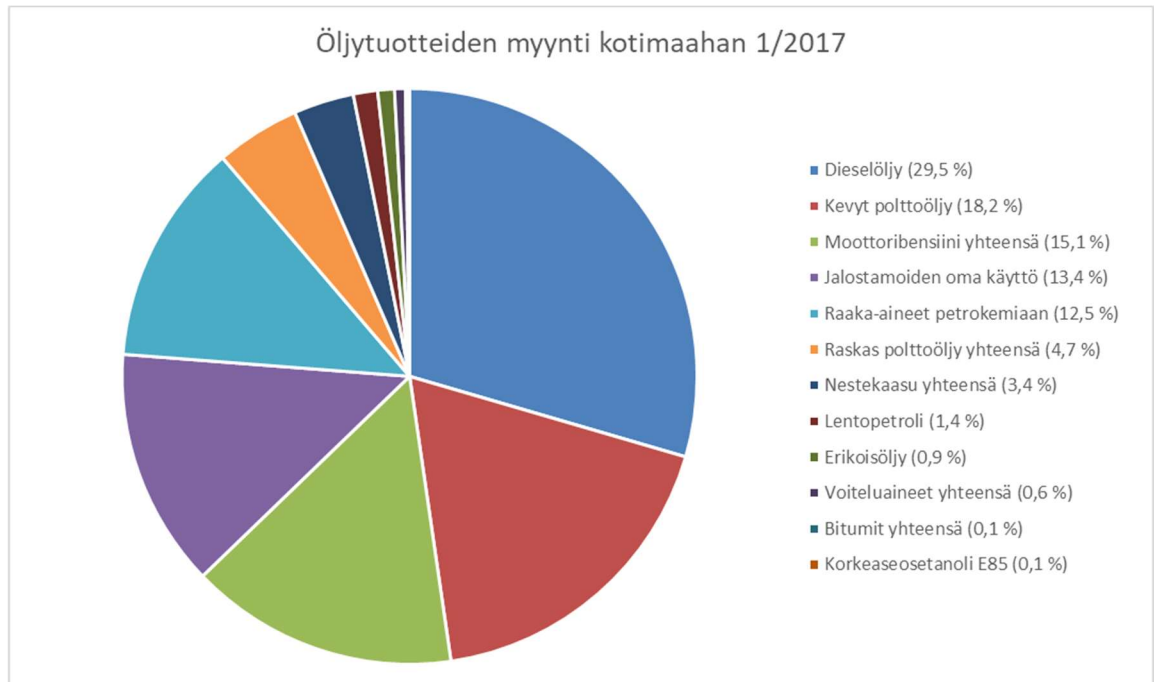
Hybridimoottorilla tarkoitetaan moottoria, jossa on kaksi tai useampi voimanlähdettä. Henkilöautoissa yleisimmät hybridimoottorin voimanlähteet ovat sähkö- ja polttomoottori. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan nimenomaan tämänkaltaisten hybridimoottorien käyttöä työkoneiden voimanlähteenä. Työn kirjallisuusosuudessa selvitetään, miksi hybridimoottorit ovat yksi vaihtoehto vähäpäästöisempien työkoneiden voimanlähteeksi ja min-kälaisia koneita eri valmistajat ovat toistaiseksi tuoneet markkinoille. Tutkimusosuudessa tutkitaan miten hybriditeknologia vaikuttaa dieselmootorin polttoaineen kulutukseen ja hyötysuhteeseen.

2 HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN TYÖKONEISSA

Yhtenä merkittävimpänä tekijänä maapallon ilmaston lämpenemiseen pidetään ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvua. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus pysyi satojen tuhansien vuosien ajan välillä 180–300 ppm, mutta 1950-luvulta lähtien sen osuus on kasvanut erittäin paljon. Tänä päivänä sen osuus on noin 400 ppm, eli lähes kaksinkertainen verrattuna teollista vallankumousta edeltävään aikaan. (Shaftel 2019.) Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousuun vaikuttaa vahvasti fossiilisten polttoaineiden käyttö. Niitä poltettaessa ilmakehään vapautuu hiiltä, joka on ollut miljoonia vuosia syvällä maan alla, poissa hiilen normaalista kiertokulusta. Tämän vuoksi on tärkeää, että fossiilisia polttoaineita poltettaisiin mahdollisimman vähän.

2.1 Työkoneiden polttoaineenkulutus ja hiilidioksidipäästöt

Vuonna 2017 Suomessa myytiin 7,4 miljoonaa tonnia öljytuotteita, joista työkoneiden polttoaineita oli noin 770 tuhatta tonnia eli noin kymmenen prosenttia kaikista öljytuotteista. Noin 70 % kulutetuista öljytuotteista on polttoaineita. Työkoneet käyttävät pääasiassa kevyttä polttoöljyä, jonka vuosikulutuksesta kaksi kolmasosaa käytetään maa- ja metsätalouden koneissa ja laitteissa. (Tilastokeskus 2017.) Kuviossa 1 on esitetty öljytuotteiden jakautuminen eri tuotteisiin. Tilasto ei ota kantaa siihen, onko öljytuotteet valmistettu bio- vai fossiilista raaka-aineista. Öljytuotteiden kulutuksessa ei tapahdu suuria muutoksia läpi vuoden, joten koko vuoden kulutuksen kaavio olisi hyvin samannäköinen.



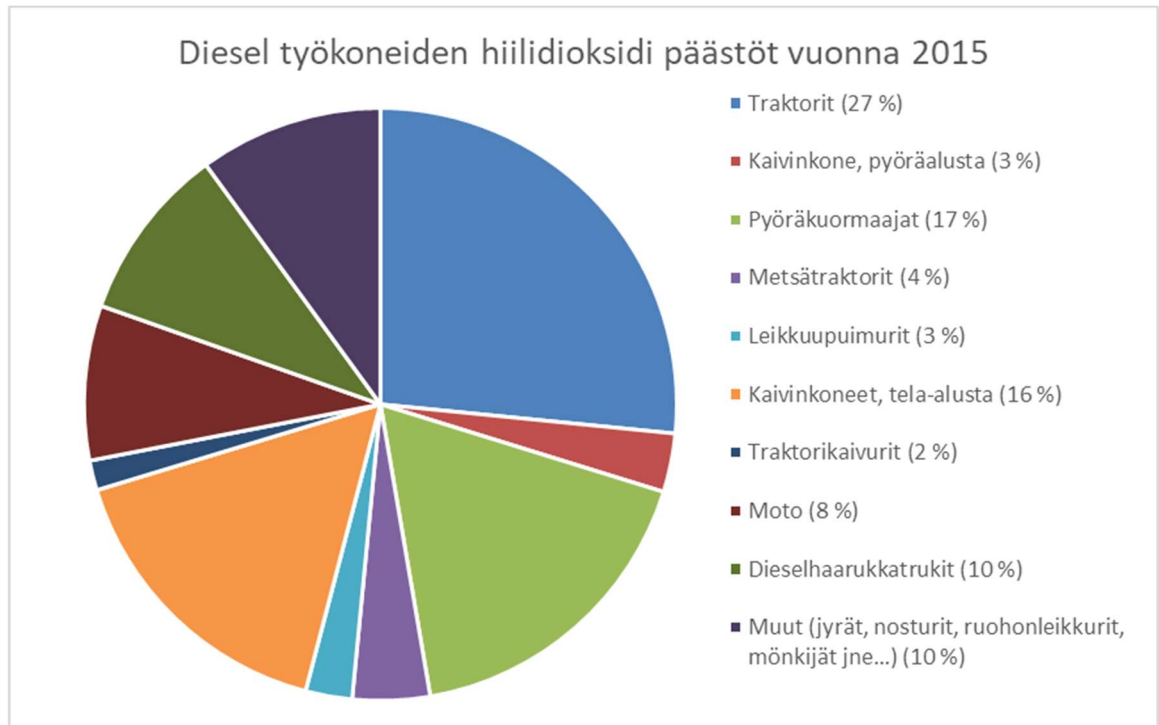
Kuvio 1. Suomessa myytyjen öljytuotteiden jakautuminen eri tuotteisiin (Tilastokeskus 2017).

Teknologian tutkimuskeskus VTT:n julkaisemassa raportissa "Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen" on laskettu, että työkoneet tuottivat Suomessa 2,4 miljoonaa tonnia hiilidioksidia vuonna 2015. Yhteensä tieliikenne ja työkoneet tuottivat 12,7 miljoonaa tonnia hiilidioksidia. (Nylund ym. 2016.) Suomen kasvihuonepäästöjen kokonaismäärästä (56,5 miljoonaa hiiliekvivalenttitonnia vuonna 2018) tämä on noin viidennes. Pelkkien työkoneiden aiheuttamien kasvihuonepäästöjen osuus on noin 4 %. Kuviossa 2 on esitetty työkoneiden ja tieliikenteen hiilidioksidipäästöt.



Kuvio 2. Työkoneiden ja tieliikenteen hiilidioksidipäästöt vuonna 2015 (Nylund ym. 2016).

Traktorit, pyöräkuormaajat ja tela-alustaiset kaivinkoneet muodostavat yli puolet työkoneiden hiilidioksidipäästöistä (Nylund ym. 2016). Näidenkin koneiden käyttötarkoitukset eroavat toisistaan paljon. Jokaisessa konetyypissä on tämän vuoksi omat haasteensa, kun niihin suunnitellaan hybridivoimalinjaa. Kuviossa 3 on esitetty, miten työkoneiden hiilidioksidipäästöt jakautuvat eri koneille.



Kuvio 3. Diesel-työkoneiden hiilidioksidipäästöt vuonna 2015 (Nylund ym. 2016).

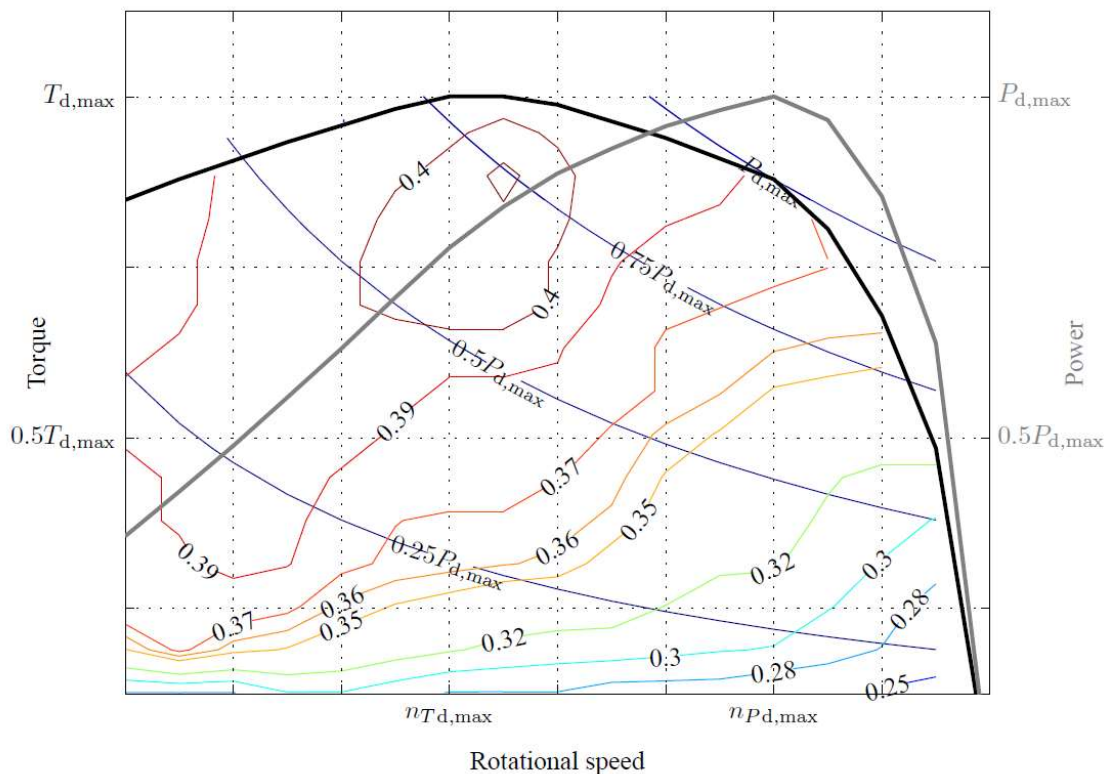
2.2 Hybridimoottori työkoneissa

Vielä nykyään työkoneissa käytetään enimmäkseen dieselmoottoreita, mutta muutamia koneita on rakennettu hybridi- tai täyssähköisiä voimalinjoja käyttäen. Hybridivoimalinjat voidaan jakaa niiden rakenteen mukaan karkeasti kahteen ryhmään rinnakkaishybrideihin ja sarjahybrideihin, ja myös molempien rakenteiden yhdistelmä on mahdollinen.

Riippuu koneen käyttötarkoituksesta, kumpi ratkaisu, rinnakkais- vai sarjahybridi, siihen sopii paremmin. Joissakin tapauksissa sarjahybridi on hyötysuhteeltaan paras ratkaisu, koska sen polttomoottori käy jatkuvasti parhaan mahdollisen hyötysuhteen alueella. Toisissa tapauksissa rinnakkaishybridi sopii paremmin koneen käyttötarkoitukseen. Molempia rakenteita käytetään henkilöautoissa ja molemmat on mahdollista rakentaa lataushybridiksi eli niin sanotuiksi plug-in hybridiksi, jossa koneen akut on mahdollista ladata verkkovirrasta.

Hybridisoimalla työkoneita polttoaineenkulutusta pystytään pienentämään ja sen myötä myös hiilidioksidipäästöjä laskemaan. Työkoneen hybridisointi on joissakin tapauksissa jopa kannattavampaa kuin henkilöauton, koska joidenkin työkoneiden tehontarve vaih-

telee enemmän kuin henkilöautojen. Osa työkoneista on kuitenkin käytössä, jossa tehontarve on hyvin staattista, esimerkiksi traktori, joka vetää auraa perässään. Työkoneiden moottorit mitoitetaan koneen tarvitseman maksimitehon mukaan, mikä johtaa monissa tapauksissa siihen, että moottori käy suuren osan ajasta vain pienellä kuormalla. Dieselmoottorin hyötysuhde pienellä kuormalla on heikompi, kuin suurella kuormalla. (Immonen 2013.) Kuvio 4 ilmenee, miten moottorin hyötysuhde muuttuu eri kuormitusalueilla.



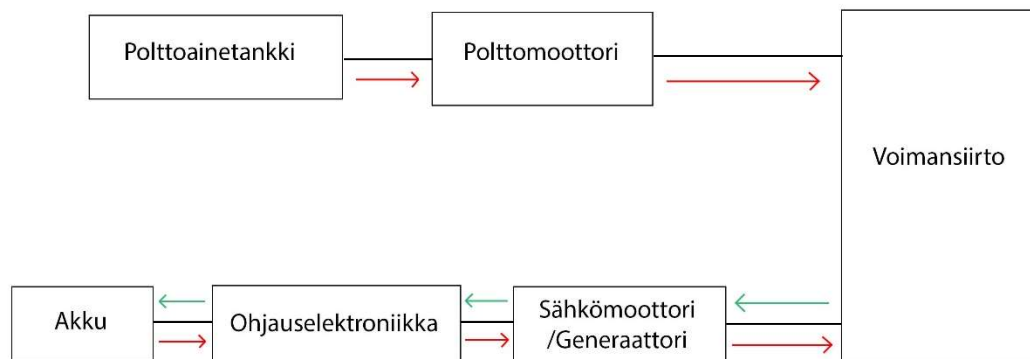
Kuvio 4. Dieselmoottorin hyötysuhde eri kuormitusalueilla.(Immonen 2013).

Vaihtamalla työkonen moottori hybridimoottoriksi, voidaan polttomoottorin kokoa pienentää. Tällöin sen keskimääräinen toiminta-alue on paremman hyötysuhteen alueella. Polttomoottorin huipputehon pieneneminen pystytään hybridimoottorissa korvaamaan sähkömoottorin avustamalla teholla. Riippuu työkonen käyttötarkoituksesta, kuinka suuri hyöty tästä voidaan saada. Esimerkiksi puukurottajan kaltaisissa koneissa, joissa tehon tarve vaihtelee paljon ja energiaa on mahdollista ottaa

talteen jarrutuksissa ja kuorman laskuissa, hybridiratkaisu pienentää kurottajan polttoaineenkulutusta huomattavasti (Mäki 2019).

2.2.1 Rinnakkaishybridi

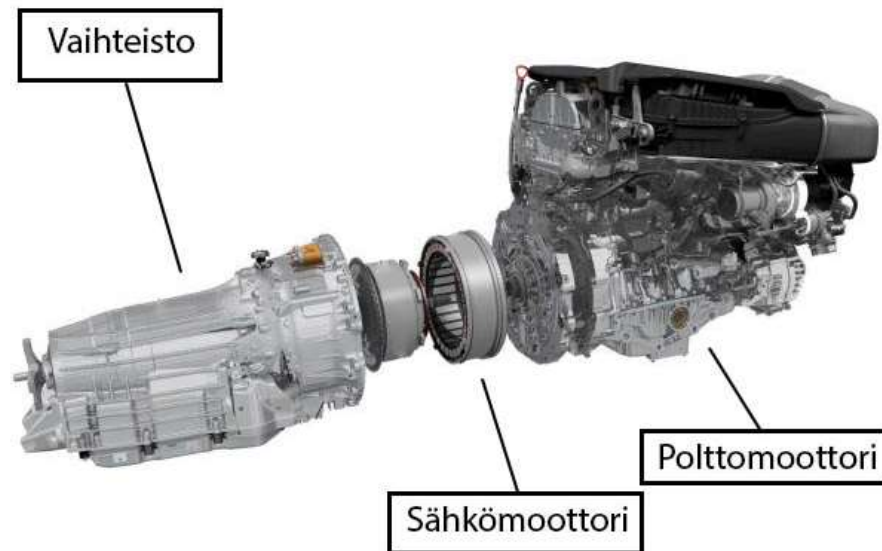
Rinnakkaishybridivoimalinjan rakenne ei usein poikkea ulkonäöltään paljoa perinteisestä polttomoottorivoimalinjasta. Rinnakkaishybrideissä polttomoottori on mekaanisesti yhteydessä voimansiirtoon, kuten koneen akselistolle tai hydraulipumpulle. Kuvassa 4 on esitetty yksinkertainen malli energian kulusta rinnakkaishybridivoimalinjassa.



Kuva 1. Rinnakkaishybridivoimalinjan rakenne.

Rinnakkaishybridimoottorista voidaan ottaa tehoa käytettäväksi molemmista lähteistä samanaikaisesti tai vain toisesta kerrallaan, jos polttomoottori voidaan kytkeä pois voimansiirrosta sähkömoottorin pyöriessä. Polttomoottorin ja sähkömoottorin on yhdessä tuotettava koneen vaadittu maksimiteho. Toisin sanoen jos polttomoottorin kokoa pienennetään, on sähkömoottorin oltava tehokkaampi. Kasvatettaessa sähkömoottorin osuutta koneen tehon tuotossa vaaditaan sähköenergian varastoinnilta myös enemmän. (Immonen 2013.) Sähkömoottoria voidaan käyttää myös generaattorina, jolloin jarruttamalla koneen voimansiirtoa voidaan muuttaa koneen mekaaninen energia takaisin sähköksi ja varastoida esimerkiksi akkuun. Akkuun varastoitava energia on hybridimoottorin yksi merkittävä etu perinteiseen polttomoottoriin nähden, jossa tällaista hukkaenergian talteenottoa ei ole. Rinnakkaishybridin etu sarjahybridisiin on, että rinnakkaishybridin voimalinjan rakenteessa ei ole suuria eroja tavalliseen polttomoottoriin. Olemassa olevista moottoreista onkin mahdollista tehdä hybridimoottoreita muutamilla rakenteellisilla muutoksilla. Tässäkin työssä tutkittu e-Gen on myös eräänlainen rinnakkaishybridi.

Sähkömoottori voidaan liittää esimerkiksi polttomoottorin ja vaihteiston väliin tai hihnavälityksellä polttomoottorin kampiakselille. Kuvassa 5 on esitetty Mercedesen käyttämä ratkaisu rinnakkaishybridistä, jossa sähkömoottori on moottorin ja vaihteiston välissä. (Daimler 2011.)

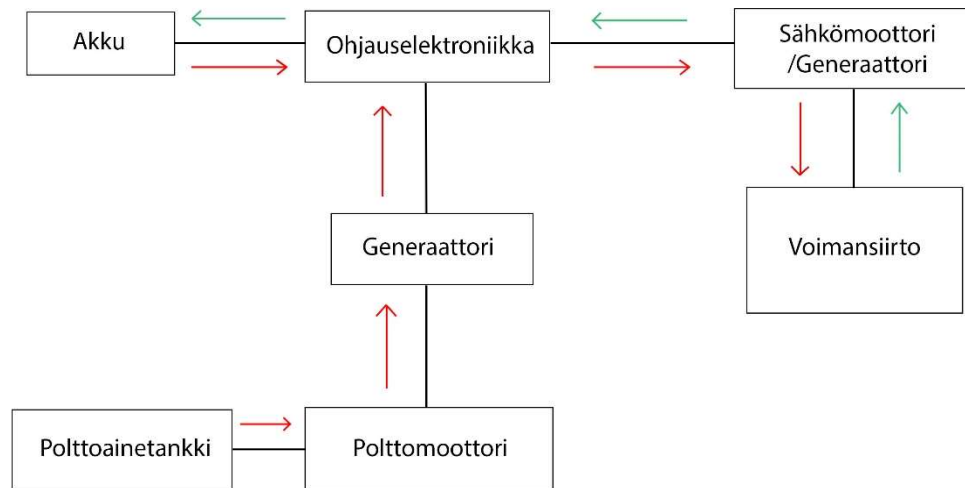


Kuva 2. Mercedesen rinnakkaishybridimoottori (Daimler 2011).

Sähkömoottori voi olla myös täysin erillään polttomoottorista, kuten esimerkiksi autossa, jossa polttomoottori on kytketty etuakselille ja sähkömoottori taka-akselille.

2.2.2 Sarjahybridi

Sarjahybridissä polttomoottori toimii vain generaattorin voimanlähteenä, eikä sillä ole mekaanista yhteyttä voimansiirtoon. Sarjahybridin voimansiirto tapahtuu sähkömoottorien avulla, jotka saavat energiansa dieselmoottorin pyörittämän generaattorin tuottamasta sähköstä. (Immonen 2013.) Kuvassa 3 on esitetty sarjahybridivoimalinjan rakenne ja energian kulku voimalinjassa. Sarjahybridin ehkä merkittävin etu on, että sen polttomoottorin toiminta-alue voidaan asettaa mahdollisimman korkean hyötysuhteen alueelle. Polttomoottorin optimointi onnistuu myös paremmin kun sen toiminta-alue kavenetaan huomattavasti. Sarjahybridissä polttomoottorin kokoa voidaan pienentää enemmän kuin rinnakkaishybridissä. Sähköenergian varastoinnin pitää kuitenkin kyetä luovuttamaan tehoa sitä enemmän, mitä pienempi polttomoottori koneessa on. Polttomoottorin on myös kyettävä ylläpitämään akustossa riittävä varaus.



Kuva 3. Sarjahybridivoimalinjan rakenne.

2.3 Esimerkkejä hybridityökoneista

Tässä luvussa on esitelty muutamia hybridityökoneita ja miten ne hyödyntävät hybriditekniologiaa oman polttoaineen kulutuksen vähentämiseksi.

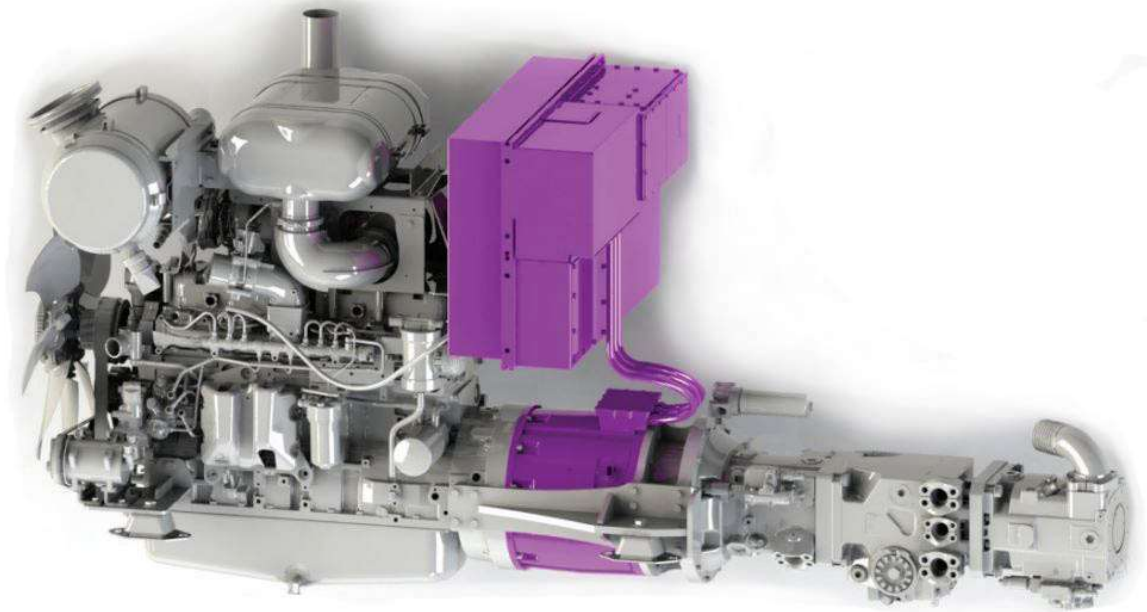
2.3.1 Logset 12H GTE Hybrid -harvesteri

Suomalainen metsäkonevalmistaja Logset lanseerasi maailman ensimmäisen hybridimetsäkoneen vuonna 2016. Logset 12H GTE Hybrid on 25 000 kg painava harvesteri, jonka voimanlähteenä toimii Agco Powerin 74 AWF -dieselmoottori. Tehoa koneen hybridimoottori tuottaa parhaimmillaan 382 kW ja vääntömomenttia 2000 Nm. Dieselmoottorin rinnalla toimii myös Visedo Powerdrum 175 kW sähkömoottori, josta saadaan vääntöä 800 Nm. Sähköenergian varastointiin kone käyttää superkondensaattoreita. Sähkömoottorin kyky tuottaa tehoa erittäin nopeasti mahdollistaa dieselmoottorin tasaisemman kuormituksen. Koneen työkuorman ollessa normaali sähkömoottori toimii generaattorina ja lataa superkondensaattoreita. Huipputehoa tarvittaessa superkondensaattoreista otetaan energiaa sähkömoottorille, joka yhdessä dieselmoottorin kanssa tuottaa tarvittavan tehon. Kuvassa 4 on kyseinen harvesteri.



Kuva 4. Logset 12H GTE Hybrid.

Logsetin harvesterissa sähkömoottori on liitetty dieselmoottorin ja hydraulipumppujen väliin, saman tyyliä kuin Mercedesen rinnakkaishybridiratkaisussa. Kuvassa 5 on purppuralla esitetty sähkömoottorin ja superkondensaattorin paikat voimalinjassa. Koneen voimansiirto on täysin hydraulinen. Hydraulipumput ovat kuvassa 5 sähkömoottorin oikealla puolella. Hydraulisylinterien ja harvesteripään pyörivät osat saavat voimansa hydraulipumpulta ja akselista pyörittävät hydraulimoottorit. Logsetin mukaan hybridiharvesteri säästää polttoainetta 25 % tavalliseen dieselharvesteriin verrattuna. (Logset 2019.)



Kuva 5. Logsetin hybridivoimalinja.

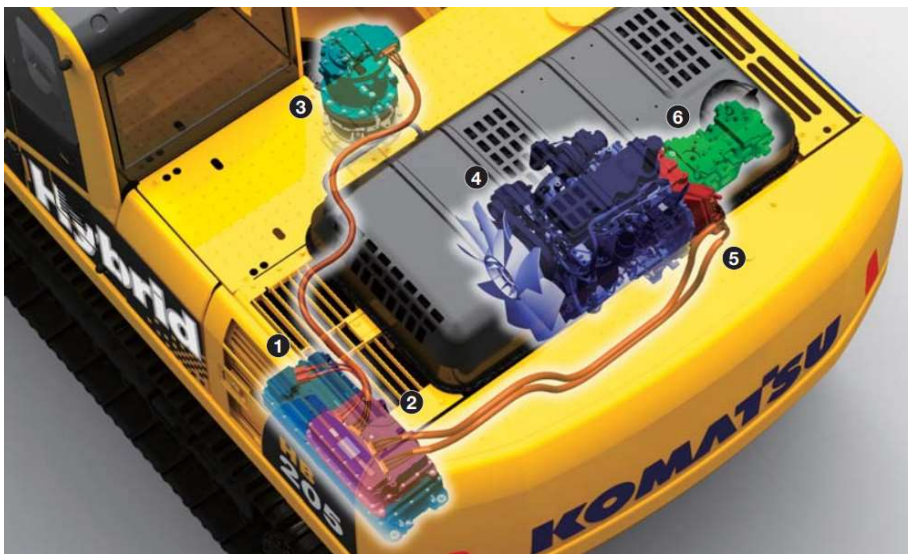
2.3.2 Komatsu HB205/215LC-1M0 -hybridikaivinkone

Komatsun ensimmäinen hybridikaivinkone HB215LC esiteltiin vuonna 2008. HB215LC-1 on noin 21 000 kg painava hybridikaivinkone. Kuvassa 6 on kyseinen kaivinkone.



Kuva 6. Komatsu HB215LC-1M0 -hybridikaivinkone.

Koneen voimanlähteenä toimii 4,46-litrainen, 104 kW tehoa tuottava dieselmoottori. Dieselmoottorin ja koneen hydraulipumpun välissä on sähkömoottori, joka avustaa dieselmoottoria kuormitusilanteissa. Koneessa on sähköinen kääntömoottori, joka käännön jarrutusilanteissa pystyy lataamaan ultrakondensaattoria, josta energia voidaan käyttää uudelleen. Ultrakondensaattorilta saatava hetkellinen teho on Komatsun mukaan 60 hevosvoimaa eli 44 kW. Kuvassa 7 on esitetty kaivinkoneen hybridivoimalinja. Kuvassa numerolla 1 on merkitty ultrakondensaattori, numerolla 2 invertteri, numerolla 3 sähköinen kääntömoottori, numerolla 4 dieselmoottori, numerolla 5 sähkömoottori ja numerolla 6 hydraulipumppu. (Komatsu 2019.)



Kuva 7. HB205LC:n hybridivoimalinja.

2.3.3 Volvo LX1 -hybridikauhakuormaaja

Volvo esitteli vuonna 2017 prototyypin uudesta hybridikauhakuormaajastaan. Volvon mukaan LX1 saavutti käytännön töissä noin 35 % säästöt polttoaineenkulutuksessa. LX1:n voimalinja on rakenteeltaan sarjahybridi. Koneen liikuttamisen hoitavat pyörien navoissa olevat sähkömoottorit ja hydraulikka saa voimansa myös sähkömoottorilta. Sähköjärjestelmän generaattori saa voimansa vain 3,6-litraiselta dieselmoottorilta. Vastavan kokoisissa dieselkauhakuormaajissa käytetään noin 10-litraisia moottoreita. (Volvo 2017.) Kuvassa 8 on Volvo LX1 kauhakuormaaja.



Kuva 8. Volvo LX1 -kauhakuormaaja.

3 TUTKIMUSJÄRJESTELYT

Tässä luvussa on esitetty keskeisimmät tutkimuksessa käytetyt laitteet ja tutkimuksen toteutus. Tutkimus suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun moottoritutkimuslaboratoriossa. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten hybridimoottori soveltuu työkoneen voimanlähteeksi ja testata prototyypimoottoria laboratoriossa. Keskeisimpänä aiheena tutkimuksessa tämän opinnäytetyön kannalta oli selvittää, miten sähkömoottori vaikuttaa moottorin polttoaineen kulutukseen, kun dieselmootoria avustetaan ja jarrutetaan e-Gen:lla.

3.1 Tutkimuslaitteisto

3.1.1 Dieselmoottori

Tutkimusmoottorina käytettiin AGCO Power HD 49 -moottoriin pohjautuvaa hybridiratkaisua. Dieselmoottori on nelisynterinen, turboahdettu, välijäähdyttimellä ja yhteispaineruiskutuksella varustettu työkonedieselmoottori. Kuvassa 9 on moottorin kaupallisessa käytössä oleva versio.

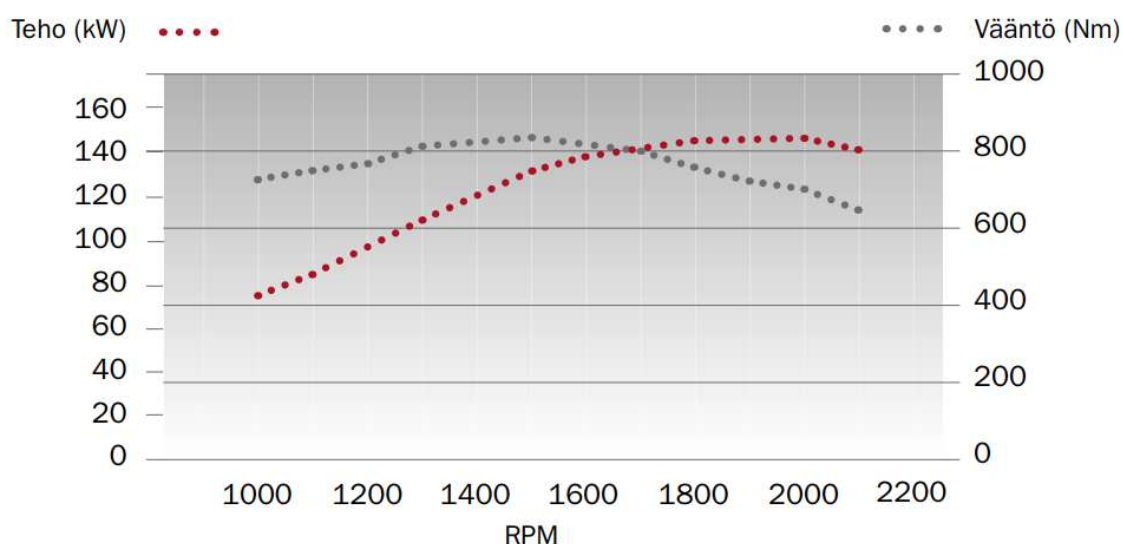


Kuva 9. AGCO Power HD 49 -dieselmoottori.

Moottorin tekniset tiedot ovat esitettynä alla olevassa taulukossa 1. Kuviossa 5 on nähtävissä moottorin vääntö- ja tehokäyrät.

Taulukko 1. AGCO Power HD 49:n teknisiä tietoja (Agco Power 2019).

| AGCO Power HD 49 | |
|-----------------------|-------------------|
| Sylinterien lukumäärä | 4 |
| Iskutilavuus | 4,9 L |
| Teho | 148 kW (2100 rpm) |
| Vääntömomentti | 830 Nm (1500 rpm) |
| Sylinterin halkaisija | 108 mm |
| Iskun pituus | 134 mm |



Kuvio 5. AGCO Power HD 49:n vääntö- ja tehokäyrät (Agco Power 2019).

Dieselmoottorin ja dynamometrin ohjaus tapahtui sähköisesti Turun AMK:n omalla moottorinohjausohjelmalla ja AGCO Powerin elektronisella moottorinohjausjärjestelmällä.

3.1.2 Dynamometri

Moottorin kuormaa säädeltiin Horiba WT300 -pyörrevirtadynamometrillä. Dynamometrin maksimivääntömomentti on 1200 Nm.



Kuva 10. Horiba WT300 -pyörrevirtadynamometri.

3.1.3 Muut laitteet

Tutkimuksessa käytettiin useita erilaisia mittalaitteita. Polttoaineen massavirtamittarin ja imuilman ilmamäärämittarin avulla saadaan tietää, kuinka paljon moottorin ilman ja polttoaineen kulutus on. Pakokaasun koostumusta mittaavien mittareiden avulla saadaan selville mitä moottorista tulee pakokaasuna ulos. Taulukossa 2 on listattu muut mittauksissa käytetyt laitteet.

Taulukko 2. Mittauksissa käytettyjä laitteita.

| Laite | Valmistaja ja malli |
|--|--------------------------------------|
| Hiukkasmassamittari | AVL Micro Soot Sensor Measuring Unit |
| CO ja CO ₂ Analysaattori | Siemens Ultramat 6 |
| O ₂ Analysaattori | Siemens Ultramat 61 |
| Hiilivety Analysaattori | J.U.M Engineering THC Analyzer VE7 |
| NO, NO ₂ ja No _x Analysaattori | EcoPhysics CLD 822 |
| Savutusmittari | AVL FSN Smoke Meter |
| Ilmamäärämittari | ABB SensyFlow |
| Oskiloskooppi | Tektronix DPO 2012B |
| Coriolis massavirtamittari | Emerson Mass Flow and Density Meter |

3.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin ajamalla moottorilla staattisia sekä dynaamisia testejä ja muuttamalla sähkömoottorin ohjausta. Moottorilla ajettiin testejä, joissa sähkömoottori avusti dieselmoottoria, testejä, joissa se generoi sähködieselmoottorin tuottamasta pyörimisenergiassa ja testejä, joissa se teki molempia.

Keskeisimmät mitattavat suureet olivat moottorin pyörimisnopeus, vääntömomentti, akseliteho, käytetty polttoaineteho ja sähkömoottorin teho. Moottorista mitattiin myös pakokaasupäästöjä, polttoaineen ruiskutusarvoja, paine- ja lämpötilalukemia.

4 TUTKIMUKSEN YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, miten hybridimoottori soveltuu työkonekäyttöön. Selvitettiin ensin minkälaisia hybridimoottoreilla varustettuja työkoneita on jo markkinoilla ja minkälainen rakenne niiden voimalinjoissa on. Suoritettiin myös hybridimoottorilla työkone moottoreille tyypillisiä testiajoja laboratorioissa. Tutkimuksessa selvitettiin, miten hybridijärjestelmä vaikuttaa moottorin polttoaineenkulutukseen ja hyötysuhteeseen.

Hybridimoottorilla on työkonekäytössä hyviä ja huonoja puolia. Sen soveltuvuus riippuu työkoneen tehtävän luonteesta. Tehtävissä, joissa koneen kuormitus vaihtelee voimakkaasti, hybridimoottori soveltuu hyvin. Taas pitkää tasaista kuormitusta vaativissa tehtävissä hybridimoottorilla ei ole suurta etua perinteiseen polttomoottoriin verrattuna. Vaihteleva kuormitus mahdollistaa tehokkaamman energian talteenoton kuin staattinen kuormitus. Jos koneen tehtävän luonne mahdollistaa hetkittäisen maksimitehon tuottamisen sähköllä, voidaan dieselmoottorin kokoa pienentää, jolloin se käy suuremman osan käyntiajastaan paremman hyötysuhteen alueella. Sähkömoottori pystyy kuitenkin avustamaan silloin, kun tarvitaan huipputehoa.

Rinnakkaishybridimoottorin hyöty tavalliseen dieselmoottoriin verrattuna on sitä suurempi mitä enemmän sähkömoottori pystyy avustamaan dieselmoottoria. Sähkökierron hyötysuhde ei kuitenkaan ole riittävän hyvä, jotta dieselmoottoria kannattaisi jarruttaa generaattorilla tasaisella kuormalla. Sähköenergia kannattaakin ottaa talteen jostain muusta tilanteesta, kuten esimerkiksi jarrutusenergiasta tai puomien laskusta.

Tutkimuksen tuloksista voitiin nähdä, että lisäämällä sähkömoottori dieselmoottorin rinnalle saadaan moottorista sähkömoottorin tehon verran suurempi huipputeho lisäämättä polttoaineenkulutusta huomattavasti. Huomattiin myös, että sähköenergian varastointi on merkittävä osa hybridivoimalinjaa. Jos sähkömoottorille syötettävä energiavarasto on kovin rajallinen, on myös hybridivoimalinjasta saatava hyöty pienempi. Tämän vuoksi koneen käyttötarkoitus tulee ottaa huomioon koneen suunnittelussa.

Sähkö-diesel-hybrideissä täytyy myös ottaa huomioon sähkömoottorin vaikutus moottorin pakokaasujen lämpötilaan. Jos sähkömoottorilla tuotetaan suuri osa moottorin tehosta, saattavat pakokaasun lämpötilat laskea ja vaikuttaa pakokaasun jälkikäsitteilyjärjestelmien toimintaan.

Hybridimoottoreissa on potentiaalia pienentää työkoneiden polttoainekustannuksia ja niiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Joihinkin työkoneisiin hybridimoottorit soveltuvatkin jo mainiosti. Kehitystä vaaditaan kuitenkin vielä erityisesti energian varastoinnin puolella, jotta hybridimoottoreita voitaisiin hyödyntää tehokkaasti kaikenlaisissa työkoneissa.

LÄHTEET

Battery University (2017) 'Coulombic and Energy Efficiency with the Battery'. Viitattu 19.11.2019

https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_808c_coulombic_and_energy_efficiency_with_the_battery.

Breig, W. and Oliver, L. (1980) *Energy Loss and Efficiency of Power*.

Daimler (2011) 'Mercedes-Benz launches hybrid offensive'. Viitattu 18.11.2019

<https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko.xhtml?oid=9903486>.

Hännikäinen, S. (2009) 'Saara hännikäinen akuston liittäminen hybridijärjestelmään'.

Immonen, P. (2013) *Energy Efficiency of a Diesel- Electric Mobile Working Machine*.

Komatsu (2019) 'Komatsu HB215LC'. Viitattu 18.11.2019

<https://www.komatsu.eu/en/excavators/crawler-excavators/hybrid-crawler-excavators/hb215lc-2-hybrid>.

Komissio, E. yhteisöjen (2009) 'Komission asetus (EY) N:o 640/2009', pp. 26–34.

Logset (2019) 'Logset 12H GTE Hybrid'. Viitattu 18.11.2019

<https://www.logset.com/fi/harvesterit/logset-12h-gte-hybrid>.

Mäki, J. (2019) 'Puukurottajan hybridisointi'.

Nylund, N; Söderena, P & Rahkola, P (2016) 'Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen'.

Shaftel, H. (2019) *Graphic: The relentless rise of carbon dioxide, Climate Change: Vital Signs of the Planet*. doi: 10.1103/PhysRevB.64.064416.

Tilastokeskus (2017) *Öljytuotteiden myynti kotimaahan*. Viitattu 18.11.2019

http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehk/statfin_ehk_pxt_11t2.px#_ga=2.58936749.1481065420.1573557156-2051466357.1572713202.

TRAFI (2019) *Uusien henkilöautojen ensirekisteröinnit laskussa – sähköautojen ja käytettyjen ladattavien hybridien määrät kasvussa*. Viitattu 7.10.2019

<https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/uusien-henkiloautojen-ensirekisteroinnit-laskussa-sahkoautojen-ja-kaytettyjen>.

Volvo (2017) 'LX1 PROTOTYPE HYBRID WHEEL LOADER DELIVERS AROUND 50% FUEL EFFICIENCY IMPROVEMENT DURING CUSTOMER TESTING'. Viitattu 18.11.2019

<https://www.volvoce.com/global/en/news-and-events/press-releases/2017/lx1-prototype-hybrid-wheel-loader-delivers-50-percent-fuel-efficiency-improvement/>.

Agco Power (2019) HD49 -moottorin tiedot Viitattu 16.3.2020

<https://www.agcopower.com/fi/tuotteet/moottorit/tyokoneet/hd-49/>