

Lähde: <http://www.valtra.fi/1133.aspx>

Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen

Kirjoittajat: Nils-Olof Nylund, Petri Söderena ja Pekka Rahkola

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi		
Työkoneiden CO ₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Trafi/Keijo Kuikka		
Projektin nimi		Projektin numero/lyhytnimi
TransSmart koordinaatio/Helpdesk		
Raportin laatija(t)		Sivujen/liitesivujen lukumäärä
Nils-Olof Nylund, Petri Söderena ja Pekka Rahkola		18/
Avainsanat		Raportin numero
CO ₂ päästöt, työkoneet, vähähiiliset polttoaineet, energiatehokkuus		VTT-R-04745-16
Tiivistelmä		
<p>Työkoneet muodostavat erittäin laajan ja monimuotoisen joukon erilaisia koneita jotka ovat suunniteltu tietynlaisiin työsovelluksiin. Erityistä työkoneille on niiden käyttöprofiiliin laaja jakauma riippuen koneen käyttötarkoituksesta. Työkoneiden yhteenlaskettu polttoaineen kulutus on noin 770 000 t/a. Tästä määrästä noin 90 % on dieselpolttoainetta (lähinnä moottoripolttoöljyä) ja noin 10 % bensiiniä. Päästöjä vähentävät toimenpiteet tulee tästä syystä kohdistaa ensisijaisesti dieselkäyttöisiin koneisiin. Tieliikenteen ja työkoneiden yhteenlaskettu polttoaineen kulutus on noin 4,6 Mt/a, josta työkoneiden prosentuaalinen osuus on 19 %.</p> <p>Työkoneemoottoreita koskevat pakokaasupäästömääräykset ovat kiristymässä niin, että vuosina 2018 – 2019 voimaan tulevan Stage V vaatimustason myötä työkoneet saavuttavat tieliikennemoottorien Euro VI määräyksiä vastaavan päästötason. Jo voimassa olevassa Stage IV vaatimustasossa moottorin polttoaineen kulutus ja CO₂ päästöt raportoidaan, mutta mitään raja-arvoja näille suureille ei ole. Raskaiden tieliikenneajoneuvojen osalta valmistellaan CO₂ sääntelyä perustuen laskennalliseen VECTO menetelmään (moottori mitataan, ajoneuvo simuloidaan). Vastaavasta menettelyä voitaisiin periaatteessa käyttää myös työkoneisiin, mutta konetyyppien ja niiden käytön laaja kirjo muodostaa merkittävän haasteen. Näin ollen on todennäköistä, ettei koneiden tasolla ole tulossa CO₂ sääntelyä vielä pitkään aikaan.</p> <p>Työkoneiden CO₂ päästöjä voidaan vähentää 1) moottorien energiatehokkuutta parantamalla, 2) itse koneiden energiatehokkuutta parantamalla ja 3) koneiden käyttöä tehostamalla ja optimoimalla. Helppo ja nopea tapa päästöjen vähentämiseksi olisi uusiutuvien ns. ”drop-in” polttoaineiden käyttö dieselkalustossa. Parhaimmat biopolttoaineen vähentävät koko polttoaineketjun CO₂ päästöjä luokkaa 90 %. Toistaiseksi tieliikennettä koskeva biopolttoaineiden jakeluvaihtoehto ei ulotu dieselkäyttöisissä työkoneissa käytettävään moottoripolttoöljyyn.</p> <p>Arviot CO₂ vähennyspotentiaalista ovat:</p> <ul style="list-style-type: none"> Moottorien energiatehokkuuden parantaminen enimmillään 15 %, olettaen lähtökohtana olevan 44% hyötysuhde (hyötysuhde parannuksen jälkeen noin 51 %) Itse koneiden energiatehokkuuden parantaminen (esim. siirtyminen hydrostaattisesta voimansiirrosta sähköiseen voimaansiirtoon, hybridisointi) enimmillään 50 % Koneiden käytön tehostaminen ja optimointi, enimmillään 35 % <p>Ym. säästöpotentiaalit eivät välttämättä ole summattavissa, koska osa vaikutuksista menee päällekkäin. Esim. osa käytön tehostamisen potentiaalista voi syntyä jo siitä, että koneisiin tulee enemmän älykkyyttä ja automaatiikkaa, jolloin koneen käyttäjän vaikutus ei jatkossa olekaan niin merkittävä kuin aikaisemmin.</p>		
Luottamuksellisuus	Julkinen	
Espoo 9.11.2016		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Nils-Olof Nylund, Tutkimusprofessori	Jukka Lehtomäki, Tutkimustiimipäällikkö	Johannes Hyrynen, Tutkimusalueenpäällikkö
VTT:n yhteystiedot		
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
Trafi 1 kpl, VTT Oy 1 kpl (arkisto)		
<p><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

Alkusanat

Suomen vuoden 2030 ilmasto- ja energiastrategian valmisteluun liittyen Trafi pyysi VTT:ltä lokakuun 2016 lopulla pikaisella aikataululla selvitystä työkoneiden CO₂ päästöistä ja niihin vaikuttamisesta. Selvitys tehtiin VTT:n koordinoiman TransSmart tutkimushankkeen koordinaatioprojektin help-desk toiminnan puitteissa. Trafin toiveena oli tiivis raportti, ei laaja eikä syvällinen tieteellinen raportti.

Espoo 9.11.2016

Tekijät

Lyhenteet

CO	Carbon Oxide	Hiilimonoksidi
CO ₂	Carbon Dioxide	Hiilidioksidi
cEGR	External Cooled Exhaust Gas Recirculation	Jäähdytetty pakokaasun takaisinkierto
CNG	Compressed Natural Gas	Paineistettu maakaasu
CBG	Compressed Biogas	Paineistettu biokaasu
DOC	Diesel Oxidation catalyst	Dieselhapetuskatalysaattori
DPF	Diesel Particulate Filter	Dieselhiukkassuodatin
HC	Hydrocarbon	Hiilivety
LNG	Liquefied Natural Gas	Nesteytetty maakaasu
LBG	Liquefied Biogas	Nesteytetty biokaasu
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Nestekaasu
NO _x	Nitrogen Oxides	Typenoksidit
ORC	Organic Rankine Cycle	Rankine-prosessi
PM	Particulate Matter	Hiukkasmassa
PN	Particulate Number	Hiukkaslukumäärä
SCR	Selective Catalyst Reduction	NO _x vähentävä katalysaattori (urea)

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Lyhenteet	3
Sisällysluettelo	4
1. Johdanto.....	5
1.1 Työkonetyypit ja määritelmät	5
1.2 Työkonetyypit ja käyttöprofiilit	5
1.3 Työkoneiden tyypillinen käyttöikä.....	6
1.4 Työkoneiden osuus polttoaineenkulutuksesta ja CO ₂ päästöistä.....	6
2. Työkonemoottoreiden teknologia	10
3. Tieliikenne- ja työkonemoottoreita koskeva lainsäädäntö.....	11
3.1 Nykyinen lainsäädäntö.....	11
3.2 Säädetyt pakokaasupäästöt	12
3.3 CO ₂ päästöt lainsäädännössä.....	13
4. CO ₂ päästöjen vähentäminen	14
4.1 Moottorien energiatehokkuuden parantaminen	14
4.2 Vaihtoehtoisten polttoaineiden hyödyntäminen	15
4.2.1 Nestemäiset biopolttoaineet.....	15
4.2.2 Kaasumaiset polttoaineet.....	15
4.3 Työkoneiden energiatehokkuuden parantaminen ml. hybridisointi ja sähköistys	16
4.4 Työkoneen käytön tehostaminen	16
5. Mahdollisuudet työkoneiden CO ₂ päästöjen sääntelyyn	17
5.1 Moottorin tasolla	17
5.2 Työkoneiden tasolla.....	17
6. Muut toimenpiteet työkoneiden CO ₂ päästöjen vähentämiseksi	17
7. Yhteenveto	18
8. Lähdeviitteet	18

1. Johdanto

1.1 Työkonetyypit ja määritelmät

Tässä raportissa tarkastellaan ja kutsutaan työkoneiksi ensisijaisesti koneita, jotka ajoneuvolain (1090/2002) perusteella määritellään joko traktoreiksi tai moottorityökoneiksi ja joidenka moottorit ovat säännelty EU direktiivi 97/68/EC mukaisesti. Lisäksi raportissa käsitellään lyhyesti myös muita kevyempiä työkonetyyppejä, jotka koostuvat lähinnä harraste- ja pienkoneista.

1.2 Työkonetyypit ja käyttöprofiilit

Työkoneet muodostavat erittäin laajan ja monimuotoisen joukon erilaisia koneita, jotka ovat suunniteltu tietynlaisiin työsovelluksiin. Erityistä työkoneille on niiden käyttöprofiilin laaja jakauma riippuen koneen käyttötarkoituksesta. Tietyn työkonetyypin sisällä käyttöprofiili voi myös vaihdella suuresti riippuen työtehtävästä, esimerkkinä maataloustraktori.

Taulukossa 1 on listattuna muutamia eri ajettavia työkonetyyppejä ja niiden tyyppisiä käyttösovelluksia. Työkoneen käyttöprofiili vaikuttaa oleellisesti moottorin kuormitukseen ja sitä kautta polttoainenkulutukseen.

Työkoneen voimansiirrolla on merkittävä vaikutus ajoneuvon polttoaineen kulutukseen. Työkoneissa yleisesti käytetty hydrostaattinen voimansiirto saattaa kuormittaa moottoria jopa 10 – 20 % vaikka työkoneella ei tehtäisi työtä lainkaan.

Taulukko 1: Eri työkonetyyppien käyttöaste ja käyttöprofiili Suomessa.

Työkonetyyppi	Pyörimisnopeusalue		Keskimääräinen kuormitus			Vuotuinen käyttöaika tuntia/a	Keski-ikä vuotta
	Laaja	Suppea	Matala	Vaihteleva	Korkea		
Traktorit						600	
- Maanmuokkaus ja kylväminen		x		x	x		
- Etukuormaajakäyttö	x		x	x			
Leikkuupuimurit		x		x	x	80	15
Metsäkoneet							
- Metsätraktori	x			x		2000	7
- Harvesteri		x	x	x		2000	5
Maansiirtokoneet							
- Kaivinkone		x		x		1500	15
- Pyöräkuormaaja	x			x		1400	15
- Dumpperi	x			x		1600	15
Murskaimet ja hakkurit		x	x	x	x		
Satamakoneet						6000	4
- Lukki/Kurottaja	x	x		x			
- Terminaalitraktori	x			x			
Haarukkatrukut	x		x	x	x	2000	15
Kaivoskoneet	x	x	x	x	x		
Kiinteistötraktorit	x		x	x		1000	7

1.3 Työkoneiden tyypillinen käyttöikä

Työkoneiden käyttöikä ja keskimääräinen käyttöaste vaihtelevat merkittävästi työkoneiden välillä. Taulukossa 1 on esitetty keskimääräisiä käyttöaikoja sekä ikä eri työkoneityypeille Suomessa (1). Suomessa maataloustraktoreiden ja leikkuupuimureiden käyttöaste jää vähäiselle tasolle. Metsä- ja satamatyökoneet sekä maansiirtokoneet ja haarukkatrukit ovat selvästi korkeammalla käyttöasteella.

Tyypillisen työkonedieselmoottorin peruskorjausväli vaihtelee 8000 ja 10000 tunnin välillä. Puimuri saavuttaisi tämän tuntimäärän luokkaa sadassa vuodessa (jolloin kone olisi tietenkin muuten teknisesti jo vanhentunut), satamissa lastaukseen käytettävissä koneissa peruskorjausväli saatetaan saavuttaa jo alle kahdessa vuodessa.

Työkoneiden ikä vaihtelee Suomessa merkittävästi ja selvästi vanhaa kalustoa on käytössä huomattavan paljon. Tosin korkean käyttöasteen työkoneet ovat selvästi uudempia kuin matalan käyttöasteen työkoneet.

1.4 Työkoneiden osuus polttoaineenkulutuksesta ja CO₂ päästöistä

TYKO on VTT:ssä kehitetty Suomen työkoneiden päästölaskentamalli. Mallilla tuotetaan Suomen viralliset vuosittaiset päästömäärät EU:lle, YK:lle ja Suomen tilastoihin. Malli laskee lisäksi käytetyt polttoainemäärät. Laskenta perustuu kahteen pääelementtiin: kunkin koneityypin vuotuisen työmäärään ja suoritekohtaisiin päästökertoimiin ja kulutukseen.

TYKO on osa VTT:n kehittämää LIPASTO –laskentajärjestelmää (<http://lipasto.vtt.fi>). LIPASTO päivitetään vuosittain. Tieliikenneosuus kulkee LIISA nimellä.

TYKO:ssa koneiden pääluokat ovat ajettavat ja siirrettävät koneet, jälkimmäiseen luokkaan sisältyy myös käsikäyttöiset koneet. Bensiinin ja dieselpolttoaineen lisäksi mallissa on kaasupolttoaine (LPG) kaasukäyttöisille trukeille.

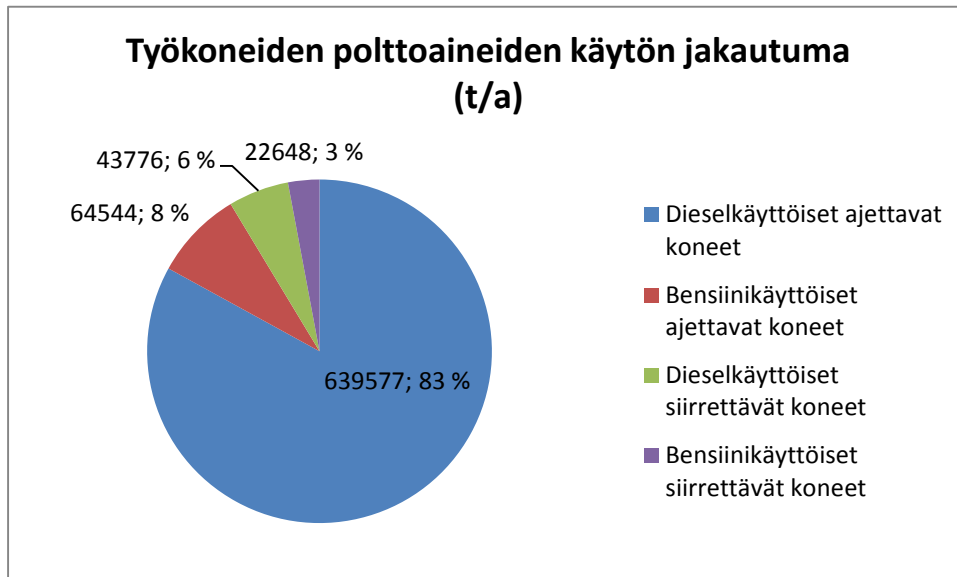
Konetyyppejä on seuraavasti:

- Diesikäyttöiset ajettavat koneet: 24 luokkaa
- Bensiinikäyttöiset ajettavat koneet: 12 luokkaa (mukana myös kaasukäyttöiset trukit)
- Diesikäyttöiset siirrettävät koneet: 4 luokkaa
- Bensiinikäyttöiset siirrettävät koneet: 11 luokkaa

Vuodelle 2015 on laskettu seuraravat polttoainemäärät:

- Diesikäyttöiset ajettavat koneet: **639 577 t**
- Bensiinikäyttöiset ajettavat koneet: **64 544 t**
- Diesikäyttöiset siirrettävät koneet: **43 776 t**
- Bensiinikäyttöiset siirrettävät koneet: **22 648 t**
- Diesel yhteensä: **683 353 t**
- Bensiini yhteensä: **87 192 t**
- Kaikki yhteensä: **770 545 t**

Kuvassa 1 on esitetty työkoneiden polttoaineen käytön jakautuma. Dieselin osuus työkonepolttoaineissa on lähes 90 %. Bensiinikäyttöiset työkoneet ovat pääosin kevyitä työkoneita sekä kaasukäyttöisiä trukkeja. Niiden osuus kokonaispolttoaineenkulutuksesta on lähes merkityksetön.



Kuva 1: Työkoneiden polttoaineiden käytön jakautuma

TYKO laskenta olettaa, että bensiinikäyttöisissä työkoneissa käytetään samaa biokomponenttia sisältävää bensiiniä kuin tieliikenteessä. TYKO olettaa lisäksi, että kaikki dieselkäyttöisissä työkoneissa käytetty polttoaine on moottoripolttoöljyä, ja ettei moottoripolttoöljy sisällä biokomponenttia. Todellisuudessa tietyt työkoneet käyttävät korkeammin verotettua ja biokomponenttia sisältäviä tieliikenteen dieselpolttoainetta, mutta tämä osuus on pieni moottoripolttoöljyn käyttöön verrattuna.

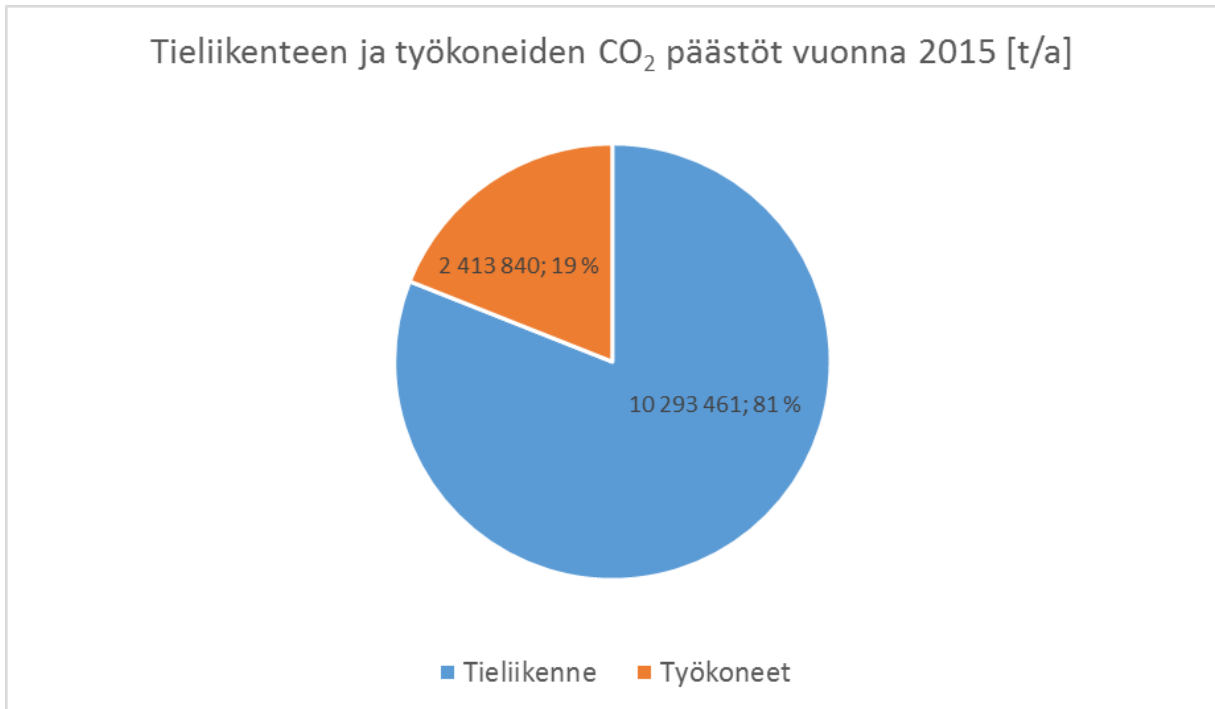
Öljy- ja biopolttoaineala ry:n mukaan kevyen polttoöljyn kulutus oli Suomessa 1 512 871 tonnia vuonna 2015. Tämä luku sisältää moottoripolttoöljyn, jota Öljy- ja biopolttoaineala ry ei erittele.

Kuvassa 2 on kuvattu tieliikenteen ja työkoneiden CO₂ päästöt vuonna 2015. Taulukon arvot kattavat niin diesel kuin bensiinikäyttöiset ajoneuvot sekä työkoneet. Kokonaispäästöt olivat noin 12,7 miljoonaa tonnia, joista työkoneiden osuus oli noin 2,4 milj. tonnia, eli 19 %

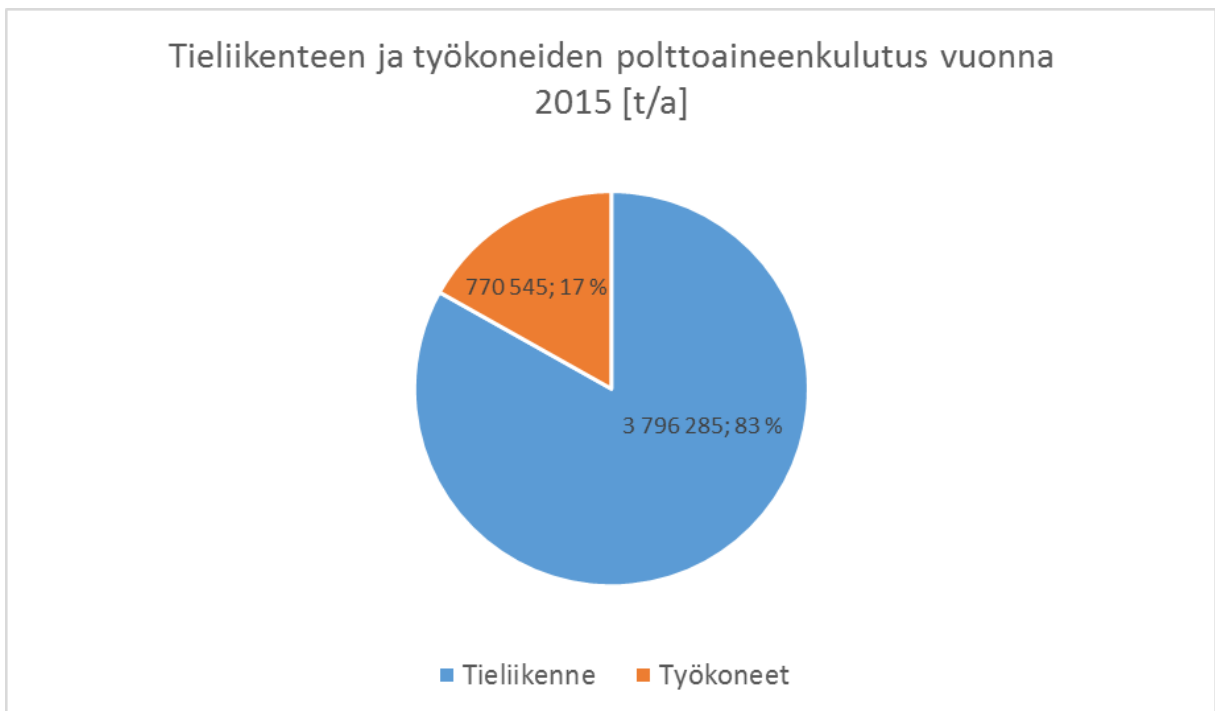
Kuvassa 3 on kuvattu polttoaineenkulutus tieliikenteessä sekä työkoneissa. Työkoneiden osuus Suomessa vuonna 2015 käytetystä polttoaineesta on noin 17 %. Osuus pitää sisällään sekä diesel että bensiinikäyttöiset työkoneet.

Ero CO₂ ja polttoaineenkulutusosuuksissa (19 % vs. 17 %) johtuu siitä, että tieliikennepolttoaineissa on biopolttoaineosuutta, mutta TYKO-mallin mukaan työkoneiden dieselpolttoaineissa ei ole biokomponentteja.

Kuvassa 4 on kuvattu dieselkäyttöisten ajattavien työkoneiden CO₂ päästöt työkoneityypeittäin. Maataloustraktorit, kaivuukoneet sekä pyöräkuormaajat tuottavat selkeän enemmistön koko segmentin päästöistä, noin 63 %. Muita merkittäviä yksittäisiä CO₂ päästöjen aiheuttajia ovat haarukkatrukit 10 %:n, metsäharvesterit 8 %:n sekä metsätraktorit 8 %:n osuuksilla.

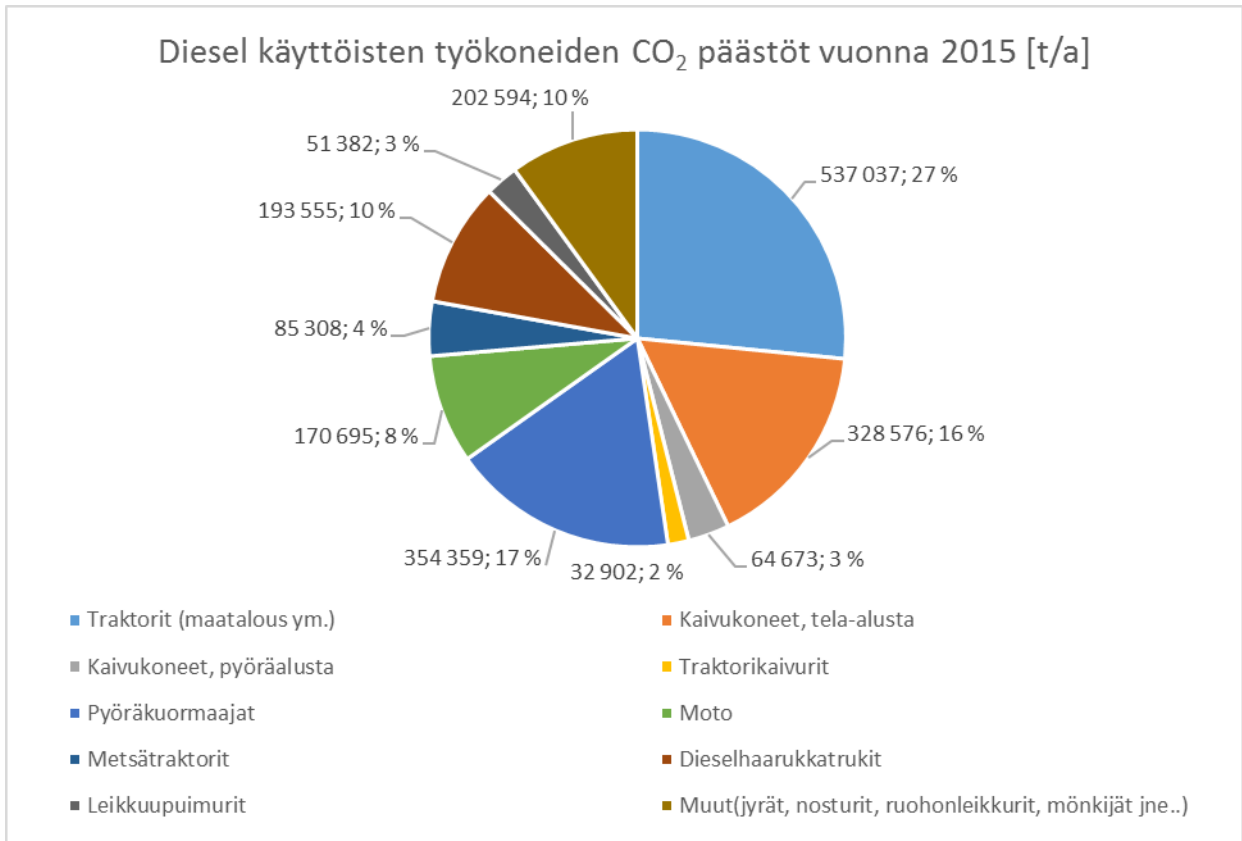


Kuva 2: Tieliikenteen ja työkoneiden CO₂ päästöt vuonna 2015.

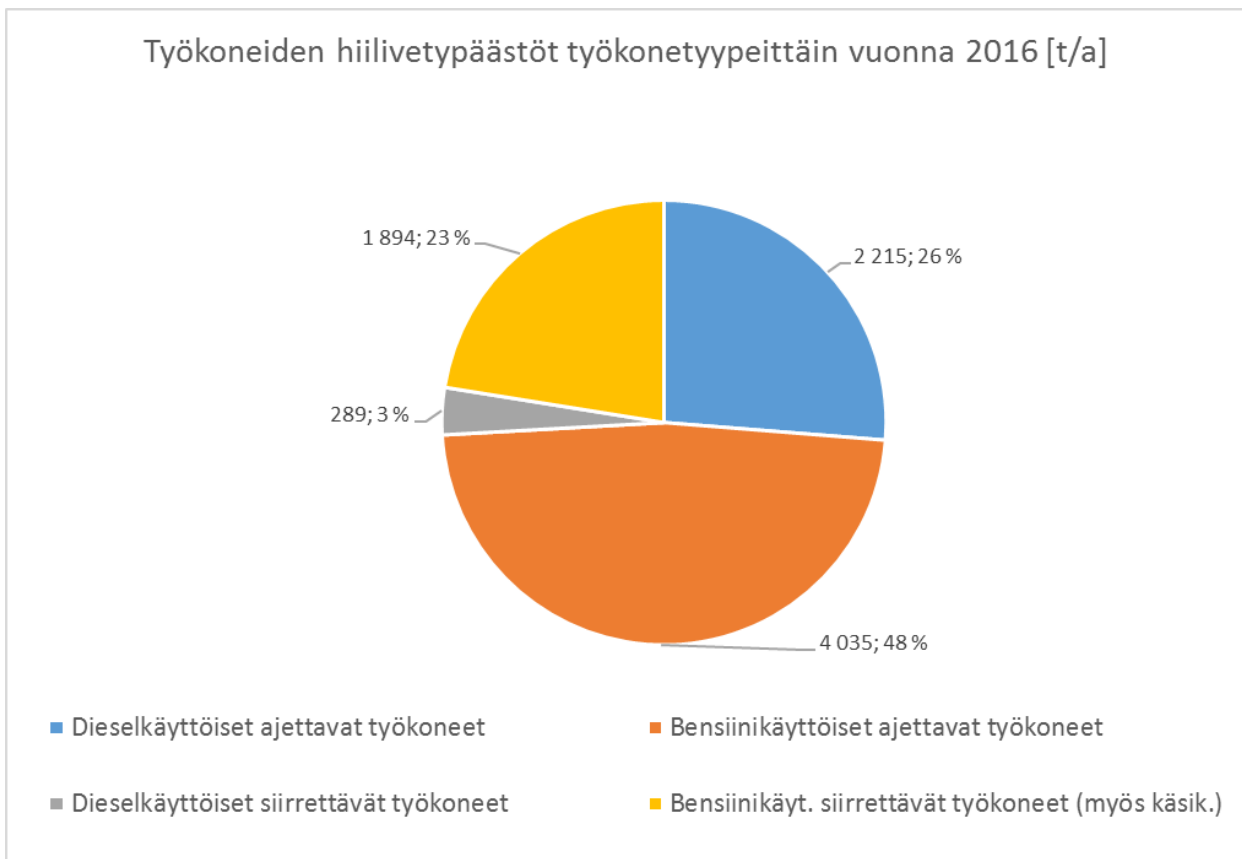


Kuva 3: Tieliikenteen ja työkoneiden polttoaineenkulutus vuonna 2015 [t/a].

Kuvassa 5 on kuvattu työkoneiden hiilivety päästöt työkone tyyppittäin vuonna 2015. Bensiinikäyttöiset siirrettävät sekä ajettavat työkoneet päästävät noin 71 % koko työkonesegmentin HC päästöistä, vaikka niiden osuus polttoaineenkulutuksesta on vain noin 11 %. Bensiinikäyttöiset työkoneet ovat nykyisellään käyttäjilleen ja lähiympäristölleen merkittävä ympäristö- ja terveyshaitta.



Kuva 4: Dieselkäyttöisten työkoneneiden CO₂ päästöt vuonna 2015.



Kuva 5: Työkoneneiden hiilivetypäästöt [HC] työkonetyypeittäin vuonna 2015.

2. Työkonemoottoreiden teknologia

Käytössä on sekä bensiini ja dieselkäyttöisiä työkoneita. Bensiinikäyttöiset työkoneet painottuvat harrastelaitteisiin ja käsikäyttöisiin työkoneisiin.

Pienten bensiinimoottorien suurin ongelma on korkeat CO ja HC päästöt, varsinkin perinteisten kaksitahtisten moottoreiden kohdalla. Koska bensiinikäyttöisten työkoneiden polttoaineiden kulutusosuus on alle 10 % työkoneiden kokonaiskulutuksesta (kts. 1.4), jatkossa keskitytään pääasiassa dieselmootoreihin.

Nykyiset varsinaiset työkonemoottorit ovat lähes täysin dieselöljykäyttöisiä. Maailmalla on markkinoilla jonkin verran kaasukäyttöisiä moottoreita, mutta Suomessa näiden osuus on vielä pieni. Pienemmissä moottorikokoluokissa kaasumainen polttoaine on joko nestekaasu (LPG) tai paineistettu metaani (CNG, CBG), isoimmissa koneissa myös nesteytetty metaani (LNG, LBG). Markkinoilla on myös muutamia moottorivalmistajia jotka valmistavat etanolia käyttäviä moottoreita pääosin Etelä-Amerikan markkinoille.

Nykyaikaiset työkonedieselmootorit ovat turboahdettuja yhteispaineruiskutuksella varustettuja moottoreita joissa on elektroninen moottorinohjaus. Moottoreissa käytettävä teknologia riippuu hyvin voimakkaasti moottorin tehotasosta ja päästöluokasta. Tyypillisesti matalan tehotason moottorit ovat teknologisesti pelkistetympiä kuin korkean tehotason moottorit johtuen kovasta kustannuspaineesta.

Työkonedieselmootoreiden ahtamisteknologia riippuu voimakkaasti tehotasosta. Matalan tehotason moottorit ovat varustettu yhdellä ahtimella ja ahtoilman jäähdytyksellä. Korkean tehotason moottorit ovat varustettu joko kaksivaiheisella ahtamisella tai yhdellä muuttuva geometrisellä turboahdella. Näistä on käytössä erilaisia yhdistelmiä ja teknologiavariaatioita. Muuttava geometriset ahtimet ovat olleet jo useita vuosia käytössä raskaissa tieliikenne moottoreissa ja ovat myös tulossa enenemissä määrin työkonemoottoreihin.

Nykyaikaisissa työkonemoottoreissa käytettävät polttoaineenruiskutuslaitteistot ovat lähes täysin elektronisesti ohjattuja yhteispaineruiskutuslaitteistoja. Järjestelmäpaine vaihtelee pääosin 1600 bar ja 2500 bar välillä riippuen moottorin raakaemissiotasosta, moottorin tehotasosta ja pyörimisnopeusalueesta.

Nykyisten EU Stage IV emissiolainsäädännön alaisten työkonemoottorien säännöstelltyjen pakokaasuemissioiden käsittely on jakautunut neljään pääryhmään:

1. DOC + cEGR
2. DOC + DPF + cEGR
3. DOC + SCR
4. DOC + SCR + DPF + cEGR

Kohdan 3 pakokaasujen jälkikäsittely yhdistelmän kanssa on käytössä myös ratkaisuja, joissa käytetään ulkoista jäähdytettyä pakokaasun takaisinkierrätystä.

Euroopassa vuosina 2018 - 2019 voimaantuleva uusi päästölainsäädäntö Stage V ohjaa konventionaaliset dieseliä polttoaineenaan käyttävät työkonemoottorit käyttämään DPF:ä nokihiukkasten puhdistamiseen pakokaasuista. Stage V:ssa vallitseva pakokaasujen jälkikäsittely teknologia yli 56 kW moottoreissa koostuu DOC + SCR + DPF yhdistelmästä lisättyinä valmistajasta riippuen mahdollisesti cEGR:llä.

Tyypillistä työkonemoottorille ja erityisesti traktoreille on se, että sylinteriryhmä ja öljypohja ovat osa ajoneuvon runkoa ja siten kantavaa konstruktiota kantaen ajoneuvoon kohdistuvia voimia, kts. kuva 6. Osassa työkoneista moottori on asennettu kumityynyjen päälle kuten tieliikenne kuorma-autoissa, jolloin moottori ei ole osa ajoneuvon runkoa. Työkonemoottorit

ovat myös kapeita ja korkeita johtuen erityisesti traktorien kapeasta keulasta. Työkonemoottoreiden installaatiot työkoneissa ovat usein hyvin ahtaita, jonka seurauksesta moottorin jäähdytinpaketin sekä pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteiston asentaminen työkoneeseen on äärimmäisen haastava tehtävä.



*Kuva 6: Tyypillinen traktorin moottori, AGCO Power 74AWF.
<http://www.masseyferguson.co.uk/8475.aspx>*

Työkonemoottorit eroavat edellisen kappaleen seikkojen lisäksi kuorma-automootoreista ajoneuvojen käyttöolosuhteiden takia. Työkonemoottorit ovat altistettuja voimakkailla värinöillä, värähtelyillä sekä äärimmäisen pölyiselle ympäristölle. Näiden asioiden takia työkonemoottoreissa käytetty teknologia on usein kuorma-automootoreita robustimpaa. Tosin työkonemoottorit ovat lähentyneet teknologisesti kuorma-autonmoottoreita vuosi vuodelta.

Yksi merkittävimmistä haasteista, joka kohdistuu työkonemoottoreihin verrattuna kuorma-automootoreihin, on alhaisista ajonopeuksista johtuva luontaisen ilmavirran jäähdytysvaikutuksen puuttuminen. Työkoneissa moottorin tuottama hukkalämpö joudutaan siirtämään ympäröimään ilmaan lähes yksinomaan moottorin pyörittämän tuulettimen tuottaman ilmavirran avulla. Tästä aiheutuu merkittävä polttoaineenkulutuksen kasvu verrattuna kuorma-autoihin. Tämä on yksi merkittävimmistä syistä, joka on laskenut cEGR:n houkuttelevuutta työkonemoottoreissa sekä houkuttelevuutta hyödyntää Organic Rankine Cycle (ORC) -pohjaisia pakokaasun hukkalämmön talteenottoteknologioita, joita ollaan kovaa vauhtia ottamassa käyttöön kuorma-auton moottoreissa.

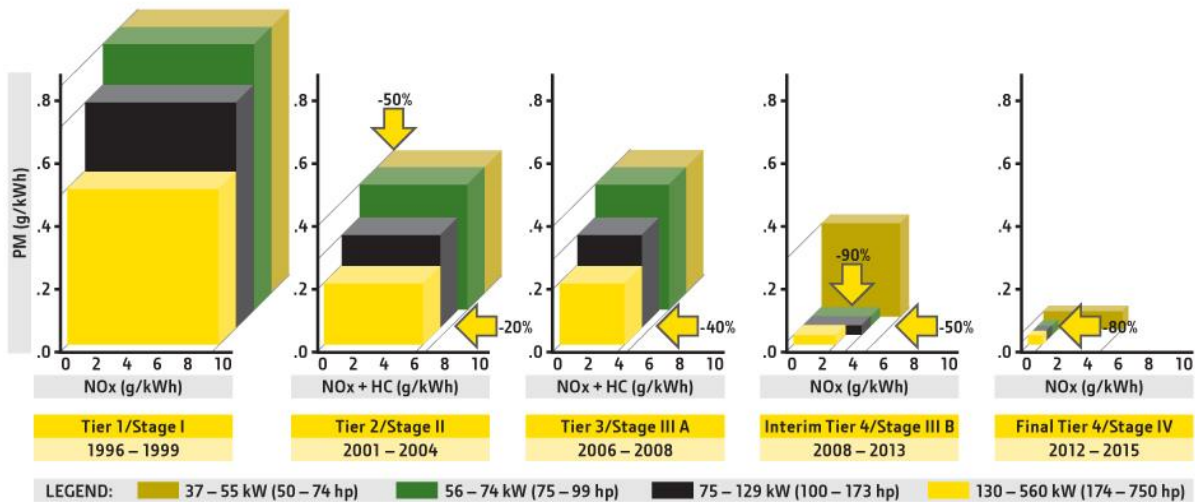
3. Tieliikenne- ja työkonemoottoreita koskeva lainsäädäntö

3.1 Nykyinen lainsäädäntö

Nykyinen työkonemoottoreita koskeva lainsäädäntö Euroopassa on Stage IV, joka on tullut voimaan vuonna 2014. Lainsäädäntö käytännössä pakottaa moottorivalmistajat käyttämään yli 75 kW moottoreissa SCR:ää NO_x emissioiden puhdistamiseen pakokaasuista lain vaatimalle tasolle. Sen sijaan lain vaatiman hiukkasemission tason saavuttamiseksi ei välttämättä tarvita hiukkassuodatinta. Kuvassa 7 on esitetty työkonemoottoreiden päästörajojen kehittyminen Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Stage IV lainsäädännössä moottorin CO₂ päästöjä ei rajoiteta, mutta moottorivalmistaja on velvollinen ilmoittamaan päästön.

Tieliikenteessä on jo pitempään ollut käytössä sitovat raja-arvot henkilö- ja pakettiautojen keskimääräisille CO₂ päästöille. CO₂ päästöjen määrittäminen perustuu kokonaisten ajoneuvojen mittauksiin. Raskaille ajoneuvoille on kehitteillä simulointiin perustuva CO₂ päästöjen määrittäminen.

EPA and EU nonroad emissions regulations: 37 – 560 kW (50 – 750 hp)



Kuva 7: Työkonemoottorien säänneltyjen pakokaasuemissiorajojen kehitys Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. https://www.deere.com/en_US/services_and_support/engine-information/understanding-emission-regulations/understanding-emission-regulations.page

3.2 Säännellyt pakokaasupäästöt

Nykyinen Stage IV lainsäädäntö koskee CO, HC, PM, NO_x sekä NH₃ päästöjä. Päästötasot ovat jaettu luokkiin moottorin nimellistehosta riippuen. Työkonemoottoreiden päästöttesti käsittää seuraavat testit: NRSC (Non Road Steady Cycle) sekä NRTC (Non Road Transient Cycle), joka ajetaan sekä huoneen lämpöisellä moottorilla, että käyntilämpöisellä moottorilla.

Työkoneiden polttoaineen kulutus riippuu voimakkaasti käytetystä pakokaasujen jälkikäsittelystrategiasta. Esimerkiksi Euroopassa vuonna 2011 voimaan tulleen Stage 3B lainsäädännön NO_x raja mahdollisti sen, että raja pystyttiin alittamaan joko cERG tai SCR tekniikalla. SCR tekniikka mahdollisti kuitenkin huomattavasti paremman polttoaineenkulutuksen kuin cERG tekniikka. cERG tekniikan etuna oli alhaisemmat kustannukset.

Vuosina 2018 ja 2019 voimaan tulevassa Stage V lainsäädännössä (EU-asetus (EU) 2016/1628) uutena säänneltyinä päästökomponenttina tulee hiukkaslukumäärä, PN. Lisäksi lainsäädännön alaiseksi tulevat myös alle 19 kW dieselmoottorit, joita päästölainsäädäntö ei ole Euroopassa aikaisemmin koskettanut.

Uudessa lainsäädännössä on huomioitu erikseen myös kaasumoottorit. Kaasupäästöjä säädelään kokonais-HC päästöjen kautta. HC päästöraja riippuu testisyklissä käytetyn kaasun osuudesta moottorin kokonaisenergian kulutuksesta. Tällä pyritään säätämään niin dual-fuel (diesel moottori jossa käytetään samanaikaisesti sekä dieseliä että kaasua) kuin kipinäsytytteisiä kaasumoottoreitakin.

Merkittävin ero Stage V:ssä verrattuna edelliseen päästölainsäädäntöön on hiukkasmassan ja hiukkaslukumäärien matalalle tasolle asetettu raja, joka pakottaa moottorivalmistajat

käyttämään hiukkassuodattimia 19 kW - 560 kW moottoreissa. Hiukkassuodattimen käyttö luo haasteita moottorin pakokaasujen lämmönhallinnalle, jotta varmistetaan hiukkassuodattimen toiminta kaikissa olosuhteissa. Tämä saattaa nostaa sellaisten Stage V moottoreiden polttoaineenkulutusta, joissa hiukkassuodatinta ei ollut Stage IV:ssa.

Stage V lainsäädäntö asettaa keskeisimmissä (teholuokat 56 kW – 560 kW) työkoneissa säännellyt päästöt tieliikenteen raskaan kaluston, kuorma-autojen ja linja-autojen kanssa lähes samalle tasolle.

3.3 CO₂ päästöt lainsäädännössä

Työkonemoottoreiden osalta ei ole toistaiseksi mitään rajoituksia CO₂ päästöille, ainoastaan pelkkä ilmoitusvaatimus itse moottorin osalta. Raskaiden tieliikenneajoneuvojen osalta Euroopan komissio aloitti vuonna 2014 strategiatyön polttoaineen kulutuksen ja CO₂-päästöjen vähentämiseksi. Alkuperäisenä tavoitteena ja ensimmäisenä askeleena päästöjen vähentämiseksi oli vuosien 2016-2017 aikana määrittää monitorointi ja raportointimenetelmä, jolla voidaan lisätä ajoneuvoa hankkivan tietoisuutta eri komponenttien ja päällysrakenteiden vaikutuksesta päästöihin. Tätä varten on kehitetty VECTO-simulointityökalu, jolla raskaan ajoneuvon polttoaineen kulutus ja CO₂ päästöt voidaan arvioida. Työ VECTO-simuloinnin liittämistä osaksi ajoneuvon tyyppihyväksyntää on vielä kesken. Avoin konsultointi (Public Consultation) lakivalmisteluun on ollut avoinna kesäkuusta 2016 lokakuuhun 2016.

Toisin kuin henkilöautojen tapauksessa, jossa päästöjen valvonta suoritetaan mittaamalla ajoneuvo alustadynamometrillä, valmisteltavassa raskaiden ajoneuvojen lainsäädännössä seuranta on päätetty suorittaa yhdistämällä moottorin kokeellinen testaus ajoneuvosimulointiin. Syynä tähän on raskaiden ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien moninaisuus sekä alan markkinoiden ja valmistus- ja toimitusketjujen erilainen luonne. Ajatuksena on, että kaikille mahdollisille ajoneuvokonfiguraatioille voidaan määrittää simuloimalla yksikäsitteiset, laskennalliset CO₂ päästöt, jos ajoneuvon pääkomponentit on valmiiksi testattu.

VECTO-laskennan perustana on ajoneuvon ajodynamiikan matemaattinen malli, jonka avulla voidaan määrittää ajoneuvon saavuttama nopeus ja kiihtyvyys eri ajotilanteissa, kun moottoriteho tiedetään. Laskennassa huomioidaan ajovastukset, vierintävastus, ilmanvastus ja mäkivastus, sekä ajoneuvon massan ja pyörivien osien kiihdyttäminen. Ajoneuvomalli tarvitsee syötteekseen ajoneuvon teknisiä tietoja massoista, akselijärjestyksestä ja akselimassoista, moottorin voimantuotto-ominaisuuksista ja voimansiirrosta sekä mittauksiin perustuvia tietoja ajoneuvon ilmanvastuksesta, vierintävastuksesta, voimansiirron häviöistä, apulaitteiden tehonkulutuksesta ja moottorin polttoaineenkulutuksesta. Näiden lisäksi tarvitaan kuvaus vaihteiston käyttölogiikasta ja kuljettajan toiminnasta nopeuden säätämisessä.

Simuloitava ajosuorite kuvataan ajosyklinä, joka määrittää ajoneuvon tavoitenopeuden ajan tai ajoreitin etäisyyden suhteen. VECTO:ssa on kuvattuna valmiina sertifioidussa käytettäviä ajosyklejä, jotka pohjautuvat todellisten ajosuoritteiden aikana tehtyihin mittauksiin, mutta käyttäjä voi luoda syklejä myös itse. Syklin sisältämä tavoitenopeus ja sen muutos (kiihtyvyys) toimivat simuloinnin aikana ajoneuvomallin syöteinä. VECTO:n kuljettajamalli käsittelee nopeusohjeen välittämisen edelleen kiihdytys, jarrutus ja vaihteiden käytön ohjeiksi. Käytettävissä olevan vetovoiman perusteella lasketaan ajoneuvon nopeus, joka liian pienen vetovoiman tapauksessa tarkoittaa jälkeen jäämistä ajosyklin tavoitenopeudesta.

4. CO₂ päästöjen vähentäminen

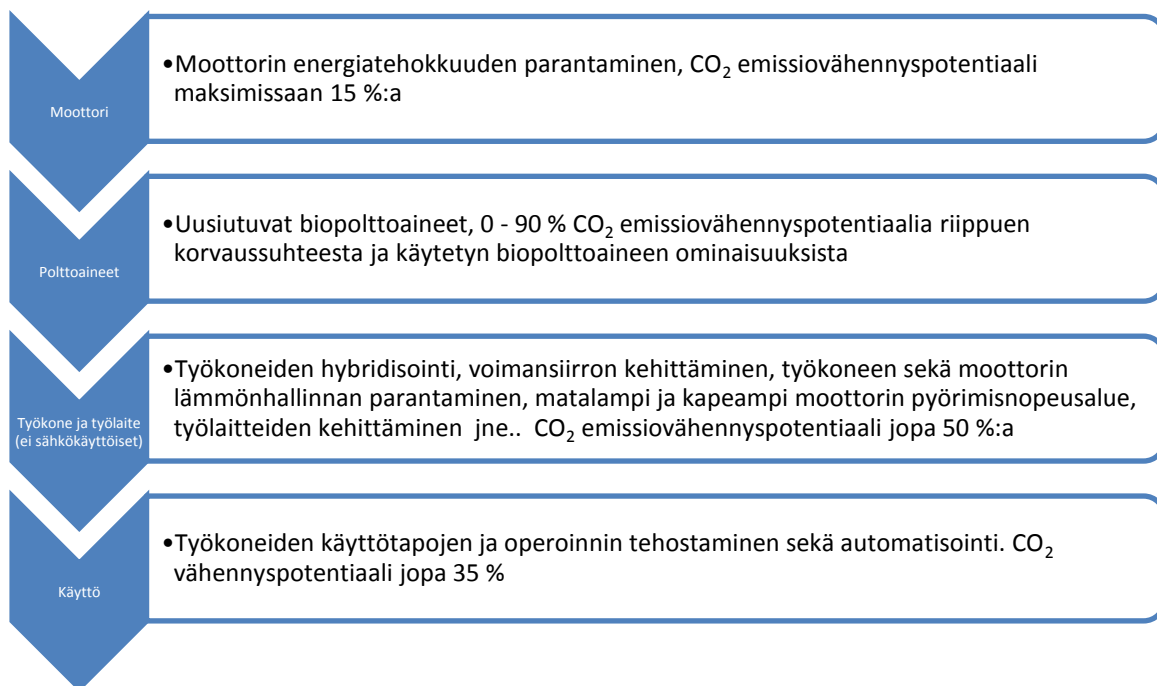
Energiatehokkuuden parantaminen ja CO₂ päästöjen vähentäminen työkoneissa voidaan jakaa karkeasti neljään osaan tai vaihtoehtoon:

1. Energiatehokkuuden parantaminen moottoritasolla
2. Vähähiiliset polttoaineet
3. Energiatehokkuuden parantaminen ajoneuvotasolla
4. Työkoneen käytön tehostaminen

Yllä olevat kohdat eivät ole riippumattomia toisistaan vaan niillä on vaikutus toisiinsa.

Taulukossa 2 on kuvattu yllä mainittujen kohtien potentiaalia energiatehokkuuden sekä CO₂ päästöjen vähennyksessä verrattuna lähtötilanteeseen, jossa käytössä on fossiilinen dieselpolttoaine.

Taulukko 2: Työkoneen, moottorin sekä käytön kehittämisen potentiaali CO₂ emissioiden vähentämisessä fossiilista dieselpolttoainetta.



4.1 Moottorien energiatehokkuuden parantaminen

Energiatehokkuuden parantaminen moottoritasolla tarkoittaa moottorin hyötysuhteen parantamista. Nykyisten Stage IV työkone moottoreiden moottorijarrulla mitattu hyötysuhde on parhaimmillaan noin 44 % tasolla, joka vastaa noin 195 g/kWh polttoaineenominaiskulutusta.

Laivamoottoreiden hyötysuhdetta voidaan pitää jossain määrin mittapuuna työkone moottoreille ja tällä hetkellä parhaimmat nelitahtiset laivakonemoottorit saavuttavat noin 51% hyötysuhdetason, joka vastaa 165 g/kWh polttoaineenominaiskulutusta (2). Laivamoottorit hyötyvät matalasta ja kapeasta pyörimisnopeusalueesta sekä suuremmasta iskutilavuudesta jolla on positiivinen vaikutus erityisesti moottorikitkoihin. Joten täysin työkone moottoreita ei voi laivamoottoreihin verrata, mutta vertailu antaa suuntaa siitä mitä on mahdollista saavuttaa eriosa-alueita merkittävästi parantamalla.

Työkonemoottoreiden teknologiaa, kuten moottorikitka, kaasunvaihto, palaminen, apulaitteet, lämmönhallinta sekä pakokaasujen hukkalämmöntalteenotto, voimakkaasti parantamalla voisi olla saavutettavissa noin 7 %-yksikön hyötysuhteen nousu. Tämä vastaisi fossiilisella dieselpolttoaineella noin 15 % CO₂ päästöjen vähentymistä.

Tämän hetken liikkuvien ajoneuvojen polttoaineen kulutukselle ja hyötysuhteelle on tyypillistä se, että paras polttoaineenkulutus saavutetaan kohtuullisen suppealla moottorin toiminta-alueella. Polttoaineenkulutus kasvaa jyrkästi tältä alueelta pois liikuttaessa esimerkiksi korkeammalle moottorin pyörintänopeudelle, jolloin keskimääräinen polttoaineenkulutus on hyvin riippuvainen työkoneesta ja sen voimansiirrosta, työtehtävästä ja käyttöprofiilista.

4.2 Vaihtoehtoisten polttoaineiden hyödyntäminen

Vaihtoehtoisia polttoaineita on nestemäisiä ja kaasumaisia sekä uusiutuvia, että fossiilisia. Fossiilisista polttoaineista ainoat vaihtoehtoiset polttoaineet ovat maakaasu ja nestekaasu, mikäli synteettisesti fossiilisista lähteistä valmistettuja nestemäisiä polttoaineita ei huomioida. Uusiutuvia biopolttoaineita on nestemäisinä ja kaasumaisina. Vaihtoehtoisilla polttoaineilla ei ole merkittävää vaikutusta itse polttoaineenkulutukseen, vaan polttoaineenkulutus riippuu työkoneesta ja sen käytöstä.

4.2.1 Nestemäiset biopolttoaineet

Uuden teknologian parafiiniset biopolttoaineet (kuten Nesteen NexBTL ja UPM:n BioVerno, puhutaan ns. drop-in polttoaineista) ovat kemiallisten ominaisuuksiensa johdosta täysin sopivia työkonemoottoreihin riippumatta työkonemoottorin sukupolvesta tai teknologiasta täyttäen moottori- ja komponenttivalmistajien polttoaineille asettamat vaatimukset. Toukokuusta 2016 lähtien parafiiniselle dieselpolttoaineelle on olemassa eurooppalainen standardi, EN 15940. Uusimman sukupolven uusitut dieselpolttoaineet laskevat myös tällä hetkellä säänneltyjä pakokaasuemissioita. Erityisesti moottorin raakahiukkas- ja hiilivetyemissiot laskevat jopa 25 – 30 % verrattuna perinteiseen fossiiliseen dieselpolttoaineeseen.

Parhaimmat jäte- ja tähdepohjaiset biopolttoaineet vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä elinkaaren yli tarkasteluna 80 – 90 %. Drop-in polttoaineet olisivat nopea ja teknisesti helppo tapa vähentää työkoneiden CO₂ päästöjä. Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole olemassa mekanismia, joka ohjaisi biopolttoaineita työkoneisiin. Tieliikennepolttoaineiden osalta on voimassa biopolttoaineiden jakeluvuittelaki, 1420/2010. Aikaisemmin työkoneissa käytetty biopolttoaine on voitu laskea hyväksi jakeluvuotteessa, mutta tämä käytäntö poistuu vuoden 2017 alusta. Syyskuussa Öljy- ja biopolttoaineala ry, öljy-yhtiöt ja Tulli sopivat, että 2017 lähtien moottoripolttoöljyä ei voi lukea jakeluvuotteeseen.

4.2.2 Kaasumaiset polttoaineet

Vaihtoehtoisista kaasumaisista polttoainesta tällä hetkellä merkittävimmät ovat maakaasu sekä biokaasu. Molempia on sekä paineistettuna että nesteytettynä. Työkoneissa jotka eivät ole jatkuvassa käytössä (ts. seisovat useita päiviä yhtäjaksoisesti) LNG tai LBG ei tule kysymykseen, sillä työkoneen seistessä kaasuuntuu nesteytetty kaasu säiliössään, jonka jälkeen se on päästettävä ulos säiliöstä. LPG:tä käytetään merkittävästi polttoaineena esim. haarukkatrukeissa. Näissä työkoneissa voisi käyttää suoraan myös LBG:tä.

Maakaasun CO₂ päästön vähennyspotentialiaali perustuu maakaasun dieselpolttoainetta suotuisampaan vety-hiilisuhteeseen. Teoreettinen potentiaali on noin 25 %, mutta käytännössä tämän hetken kipinäsytytteisten kaasumoottoreiden dieselmoottoria selkeästi huonompi hyötysuhde pienentää potentiaalın lähes olemattomiin. Kipinäsytytteisten kaasumoottoreiden hyötysuhteelle on kuitenkin odotettavissa tulevaisuudessa selkeää

parannusta, johtuen kyseisten moottoreiden kysynnän kasvusta kaasujakeluverkon laajenemisen seurauksena erityisesti Keski- ja Etelä-Euroopassa.

Dual-fuel kaasumoottorit tarjoaisivat lähes dieselmoottorin tasoisen hyötysuhteen, mutta niiden ongelmana on kahden rinnakkaisen polttoainejärjestelmän vaatima tila, jota ei tahdo liikkuvista työkoneista löytyä, sekä selvä kustannuslisä. Lisäksi dual-fuel moottoreiden ongelmana ovat korkeat metaanipäästöt, jotka johtuvat moottorin läpi kulkeutuvasta palamattomasta metaanista. Näitä pystytään tosin pienentämään selvästi parantamalla pakokaasun jälkikäsitteilylaitteistoa.

Biokaasun käyttö laskee koko polttoaineketjun kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi, oli vertailukohtana joko fossiilinen nestemäinen polttoaine tai fossiilinen maakaasu.

4.3 Työkoneiden energiatehokkuuden parantaminen ml. hybridisointi ja sähköistys

Tieliikennekäytössä energian kulutusta pystytään pienentämään keventämällä ajoneuvoa sekä parantamalla sen aerodynamiikkaa. Työkoneissa ilmanvastuksen merkitys on kuitenkin vähäinen ja monet työkonesovellukset vaativat koneelta riittävän suurta omamassaa. Työkoneiden voimansiirrossa käytetään yleisesti hydraulikkaa, johon liittyy suuri tehotehiys mutta myös merkittäviä häviöitä. Työkoneen tasolla energiatehokkuuden parantaminen keskittyy esimerkiksi koneen moottorin ja voimansiirron toiminnan kehittämiseen tai voimansiirron muuttamista joko hybriditekniikalla toteutetuksi tai sähköiseksi, jolloin CO₂ päästöjen vähennyspotentiaali voi olla jopa 50 %.

Energiavarastolla varustetun sähköisen tai hybridivoimansiirron kohteeksi soveltuvat kustannustehokkaimmin taulukossa 1 esitetyt korkean käyttöasteen työkoneet, kuten harvesteri tai murskain, joilla moottorin käyntinopeusalue on suppea ja tehontarve vaihteleva. Tällaisille koneille voimansiirron sähköistäminen tuo säästöjä, koska polttomoottori voidaan mitoittaa keskimääräisen tehon tarpeen mukaan ja sitä voidaan ajaa parhaimman hyötysuhteen alueella ja korkeat tehopiikit voidaan ottaa energiavarastosta. Esimerkkinä markkinoilla olevista sähköistyvistä työkoneista löytyy jo metsäkoneista ja satamakoneista. Metsäkonevalmistaja Logset on tuonut markkinoille hybriditekniikkaa hyödyntävän harvesterin (3) ja Kalmarin lukkimallistossa on tarjolla perinteisten diesel-käyttöisten lukkien lisäksi myös hybridilukki ja pikaladattava täyssähköinen lukki (4). Työkoneen tasolla tapahtuvan energiatehokkuuden parantamisen lisäkustannusten takaisinmaksuaika koneen käyttäjälle on parhaimmissa tapauksissa vain muutamia vuosia.

4.4 Työkoneen käytön tehostaminen

Osittain päällekkäisenä keinona edellä kuvatun moottorin ja voimansiirron kehittämisen kanssa on työkoneen käyttäminen energiatehokkaasti. Tähän kuuluvat esimerkiksi koneen ajaminen ja työn suorittaminen moottorin kannalta optimaalisella kierrosluvulla tai esimerkiksi joutokäynnin vähentäminen. Älykkyyden lisääminen työkoneiden ohjausjärjestelmiin mahdollistaa toiminnot, jota opastavat kuljettajaa ajamaan taloudellisesti. Automatisoinnin ja älykkyyden edelleen lisääntyessä energiatehokkuutta voidaan parantaa työkoneen operoinnin optimoinnilla, jolloin koneella tehtävää työtä pystytään ennakoimaan koneella ja suorittamaan se mahdollisimman energiatehokkaasti. CO₂ päästöjen vähennyspotentiaali koneen käytön tehostamisella voi olla jopa 35 %. Käytön tehostaminen näkyy koneen käyttäjälle suoraan pienentyneenä polttoaineen kulutuksena sekä lisääntyneenä koneen tuottavuutena, jolloin takaisinmaksuaika on lyhyt.

5. Mahdollisuudet työkoneiden CO₂ päästöjen sääntelyyn

5.1 Moottorin tasolla

Moottorin tasolla CO₂ päästöjen sääntely olisi teknisesti helppoa ja yksinkertaisesti yhdistettävissä lain vaatimiin emissiomittauksiin. Nykyisten päästömittaussyklien soveltuvuus ja mielekkyys CO₂ päästöjen arvioimiseen on tosin asia, joka vaatii huolellisempaa tarkastelua.

Tulevissa Stage V moottoreissa pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiden lämmönhallinta nousee merkittävään rooliin, jotta niiden tarkoituksenmukainen toiminta taataan kaikilla moottorin toiminta-alueella ja työkoneiden käyttötavoilla. Tästä seuraa se, että riippuen moottorin käyttöprofiilista voidaan moottorin tuottaman pakokaasun lämpötilaa joutua nostamaan polttoaineenkulutuksen kustannuksella, jotta pakokaasun jälkikäsittelylaitteisto säilyttää toimintakykynsä. Tämän tapaiset seikat eivät välttämättä tule esiin nykyisen muotoisessa ja kestoisessa emissiosykliissä kuten NRTC (Non Road Transient Cycle).

Moottoritasolla toteutettu CO₂ päästöjen sääntelyllä saavutettavissa oleva vähennyspotentiaali on enimmillään noin 15 %. CO₂ päästöjen vähentäminen lyhyellä aikavälillä, 5 - 15 vuotta, vaatii selkeää panostusta tuotekehitykseen. Käyttäjän kannalta tosin jo muutamien prosenttien polttoaineenkulutus hyöty näkyy säästettynä polttoainekulutuksena ja etenkin isoissa työkoneissa, joissa polttoaineenkulutus on suurta, merkitys korostuu vuositasolla.

5.2 Työkoneiden tasolla

VECTO-simuloinnissa käytetyn laskentamenetelmän soveltaminen työkoneisiin on teknisesti mahdollista. Eroina ajoneuvojen simulointiin työkoneen ajovastusmalli olisi huomattavasti poikkeava ja kuvastaisi koneella tehtävää työtehtävää. Olennaisena lisäyksenä tarvittaisiin myös voimansiirron sekä hydraulijärjestelmän kuvaaminen ja sen kuormituksen määrittäminen osana työsyklikuvausta. VECTO on kehitetty ajoneuvon simulointiin, jossa ajoneuvon liikuttamiseksi on tehtävä työtä. Työkoneen tapauksessa koneen tekemä työ ei ole välttämättä sidoksissa koneen liikkumiseen. Tällaisen työkalun avulla eri tyyppisten työkoneiden rakenne, ominaisuudet ja työsyklit voidaan huomioida.

VECTO-tyyppisen simulointiohjelman soveltaminen työkoneisiin sisältää kuitenkin merkittäviä haasteita, koska työkoneityyppien ja niiden työtehtävien kirjo on hyvin laaja, jolloin simuloitavia variaatioita tulisi huomattavasti enemmän kuin tieliikenneajoneuvoissa. Suurimmat haasteet liittyvät menetelmän edellyttämään työkoneiden luokitteluun ja luokkia vastaavien edustavien työsyklien määrittämiseen. Toisaalta tarkat ja vertailukelpoiset simulointitulokset edellyttävät moottorien ja voimansiirron ominaisuuksien ja toiminnan erityispiirteiden huomioimista, joka lisää merkittävästi laskentaan tarvittavien lähtötietojen määrää. Esimerkiksi vaihtelevat voimansiirtotekniikat ja niiden ohjaus sekä moottorin jäähdystarpeen määrittäminen vaikuttavat merkittävästi työkoneen energiatehokkuuteen.

6. Muut toimenpiteet työkoneiden CO₂ päästöjen vähentämiseksi

Julkisella sektorilla on mahdollisuus vaikuttaa tilaamiensa palveluiden tai hankkimiensa työkoneiden päästöihin vaatimalla esimerkiksi, että työkoneet edustavat uusinta päästöluokkaa. Vastaava menettely on käytössä Helsingin seudun liikenteen (HSL) kuntayhtymän tilaamissa joukkoliikennepalveluissa, jossa vähäpäästöinen bussikalusto saa kilpailuetua. Lisäksi energiatehokkuudesta on mahdollista saada lisäetua. HSL on myös hankkinut bussiliikenteeseen biopolttoaineita ns. ympäristöbonuksella (liikennöitsijöille on maksettu lisäkorvausta biopolttoaineiden käytöstä).

Päästöluokat eivät kuitenkaan suoraan kerro työkoneiden energiatehokkuudesta tai CO₂ päästöistä, mutta uudenaikainen teknologia on pääsääntöisesti energiatehokkaampaa, lähiympäristölle suotuisampaa ja sisältää toimintoja jotka tukevat koneen energiatehokkaampaa käyttöä, kuten kuljettajaa avustavia sovelluksia.

Toisaalta palvelun tarjoajia voitaisiin kannustaa energiatehokkuuden parantamiseen nimenomaan työkoneen käyttöön liittyen. Tässä energiatehokkuuden arviointi voisi perustua nykyaikaiseen kalustoon, kuljettajaa tukeviin älykkäisiin energiatehokkuutta edistäviin järjestelmiin, koulutettuun ja ammattitaitoisiin kuljettajiin sekä toiminnan raportointiin.

7. Yhteenveto

Lupaavin säästöpotentiaali työkoneiden energiatehokkuuden parantamiseen on koneiden käytön tehostamisessa. Kuljettajaa tukevat älykkäät järjestelmät parantavat koneen energiatehokkuutta ja ovat kustannustehokkaita konetta hankkiessa. Myös koneen voimansiirron kehittämällä tai sähköistämällä on saavutettavissa sopivilla konetyypeillä ja riittävän korkealla käyttöasteella merkittäviä päästövähennyksiä, joiden takaisinmaksuaika käyttäjälle on kohtuullinen. Moottorin energiatehokkuuden parantamisella saavutettavissa olevan säästöpotentiaalin hyödyntäminen vaatii panostuksia tuotekehitykseen ja on yhdistettävissä voimansiirron, mukaan lukien hybridisointi, kehittämiseen. Ns. uusiutuvien ”drop-in” polttoaineilla CO₂ päästövähennyspotentiaali on suurin ja helpoiten toteutettavissa esim. tieliikenteen uusiutuvien polttoaineiden jakeluelvoitteen ulottamisella moottoripolttoöljyyn. Uusiutuviakin polttoaineita käytettäessä olisi kuitenkin tärkeää kehittää työkoneiden sekä moottoreiden energiatehokkuutta, jotta polttoaineenkulutusta saadaan pienennettyä.

CO₂ päästöjen sääntelyn ulottaminen moottorin tasolle olisi yksinkertaista, mutta moottorien energiatehokkuuden parantaminen ei kuitenkaan sisällä suurta päästöjen vähennyspotentiaalia. Suurimman päästöjen vähennyspotentiaalin saavuttamiseksi tarkastelu tulisi ulottaa työkoneen tasolle. Simulointiin perustuvan CO₂ päästöjen määrittämenetelmän soveltaminen työkoneisiin sisältää kuitenkin merkittäviä haasteita. Koska työkoneiden kenttä on hyvin moninainen, vertailukelpoisten CO₂ päästöjen määrittäminen simuloimalla vaatisi merkittäviä ponnistuksia.

8. Lähdeviitteet

1. VTT. LIPASTO - Liikenteenpäästöt. *LIPASTO - Liikenteenpäästöt*. [Online] VTT Oy, 2016. [Viitattu: 3. 11 2016.] <http://lipasto.vtt.fi>.
2. New Wärtsilä 31 engine achieves Guinness World Records title. *Wärtsilä*. [Online] 2015. [Viitattu: 3. 11 2016.] <http://www.wartsila.com/media/news/02-06-2015-new-wartsila-31-engine-achieves-guinness-world-records-title>.
3. LOGSET. *Logset 12H GTE Hybrid*. [Online] Logset, 2016. [Viitattu: 4. 11 2016.] http://www.logset.fi/Logset_products/Harvesterit/12H_GTE_Hybrid.
4. Kalmar. *Kalmar Sähkötrukit 5 - 9 tonnia*. [Online] Kalmar Oy, 20. 5 2014. [Viitattu: 3. 11 2016.] <http://www.kalmar.fi/laitteet/haarukkatrukit/sahkotrukit-59-tonnia/>.