

# Työkoneiden kustannustehokkaat päästövähennyskeinot

Mikko Pihlatie, Petri Söderena, Johanna Markkanen, Nils-Olof Nylund,  
Pekka Rahkola, Rafael Åman, Tommi Muona, Rasmus Pettinen,  
Mika Naumanen, Sahas Shah, Marius Baranauskas (VTT)

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA  
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2022:63

[tietokayttoon.fi](https://tietokayttoon.fi)

# Työkoneiden kustannustehokkaat päästövähennyskeinot

Mikko Pihlatie, Petri Söderena, Johanna Markkanen,  
Nils-Olof Nylund, Pekka Rahkola, Rafael Åman,  
Tommi Muona, Rasmus Pettinen, Mika Naumanen,  
Sahas Shah, Marius Baranauskas (VTT)

**Julkaisujen jakelu**

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston  
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-  
arkivet Valto

[julkaisut.valtioneuvosto.fi](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi)

**Julkaisumyynti**

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston  
verkkokirjakauppa**

Statsrådets  
nätbokhandel

[vnjulkaisumyynti.fi](http://vnjulkaisumyynti.fi)

Valtioneuvoston kanslia

CC BY-ND 4.0

ISBN pdf: 978-952-383-153-7

ISSN pdf: 2342-6799

Taitto Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2022

## Työkoneiden kustannustehokkaat päästövähennyskeinot

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:63

**Julkaisija** Valtioneuvoston kanslia

**Tekijä/t** Mikko Pihlatie, Petri Söderena, Johanna Markkanen, Nils-Olof Nylund, Pekka Rahkola, Rafael Aman, Tommi Muona, Rasmus Pettinen, Mika Naumanen, Sahas Shah, Marius Baranauskas

**Toimittaja/t** Mikko Pihlatie

**Kieli** suomi

**Sivumäärä** 163

**Tiivistelmä** Liikkuvien työkoneiden energiankulutusta ja päästöjä halutaan alentaa. Työkoneita käytetään monimuotoisissa ympäristöissä ja käyttökohteissa. Niiden osuus Suomen hiilidioksidipäästöistä on noin neljä prosenttia ja vallitseva käyttövoima on polttoöljy. Uudet käyttövoimat ovat jo osittain yhteensopivia nykypäivän työkoneisiin, mutta osa edellyttää kaluston uusimista sekä uuden infrastruktuurin rakentamista. Jakelunelvoite ja sen korottaminen on tehokas keino työkoneiden CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseksi lyhyellä aikavälillä, mutta samalla sekoitepolttoöljyn hinta nousee ja syntyy epävarmuutta hintakehityksestä. Biokaasun sisällyttämisestä jakelunelvoitteeseen ei nähty työkonesektorilla olevan hyötyä. Työkoneiden CO<sub>2</sub>-regulaatio puuttuu tällä hetkellä kokonaan, mikä ei suosi vaihtoehtoisten käyttövoimien kehitystä. Ohjaavan säännösten kehittämiseen kannattaa panostaa EU-tasolla. Vaihtoehtoisten käyttövoimien ratkaisulla on potentiaalia kehittyä kilpailukykyisiksi tuotteiksi vuosikymmenen aikana. Tämä edellyttää kokonaisvaltaisen ohjauskeinovalikoiman käyttöönottoa: tuotekehitys ja sen rahoitus, kokeiluhankkeet, hankinta- ja infratuet vaihtoehtoisille käyttövoimille, kokonaisverotuksen kehittäminen, tiedon kerääminen ja jakaminen. Työkoneiden tiedonkeruussa ja tilastoinnissa tunnistettiin selkeitä puutteita, joiden poistaminen edesauttaa konekannan uudistumista ja päästöjen alentamista.

**Klausuuli** Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa.(tietokayttoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

**Asiasanat** tutkimus, tutkimustoiminta, työkoneet, jakelunelvoite, sähköistys, vaihtoehtoiset käyttövoimat, infrastruktuurit, ohjauskeinot, skenaarit

**ISBN PDF** 978-952-383-153-7

**ISSN PDF** 2342-6799

**Julkaisun osoite** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-153-7>

## Kostnadseffektiva sätt att förminska utsläpp från mobila arbetsmaskiner

---

Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2022:63

**Utgivare** Statsrådets kansli

---

**Författare** Mikko Pihlatie, Petri Söderena, Johanna Markkanen, Nils-Olof Nylund, Pekka Rahkola, Rafael Åman, Tommi Muona, Rasmus Pettinen, Mika Naumanen, Sahas Shah, Marius Baranauskas

**Redigerare** Mikko Pihlatie

**Språk** finska **Sidantal** 163

---

**Referat**

Energiförbrukning och utsläpp från mobila arbetsmaskiner bör minskas. Dessa används för många olika ändamål i diverse omgivningar. Totalt ansvarar de för ca 4 procent av Finlands CO<sub>2</sub> utsläpp. Det mest allmänna bränslet är lätt brännolja. De nya alternativa drivmedlen är redan idag delvis kompatibla med existerande maskiner, men till en del av dem krävs både förnyelse av maskinbeståndet och ny infrastruktur. Distributionsskyldigheten och dess eventuella höjning är på kort sikt ett effektivt sätt att förminska CO<sub>2</sub> utsläpp. Samtidigt höjs dock priset på brännolja för konsumenten. Att inkludera biogas i distributionsskyldigheten för arbetsmaskiner anses inte medföra nytta. Mobila maskiner saknar för tillfället helt reglering angående CO<sub>2</sub> utsläpp, vilket inte gynnar omställningen. Byggande av ett regelverk bör tas upp på europeisk nivå. Maskiner med alternativa drivmedel har potential att bli konkurrenskraftiga under detta decennium. Denna utveckling förutsätter införande av ett regelverk: forskning och innovation, försöks- och pilotprojekt, understöd för anskaffning av maskiner med alternativa drivmedel och investeringar i infrastruktur, beskattningen som helhet, samt informationsförmedling och kommunikation. Brister upptäcktes i uppsamling av data och statistik över maskinerna. Förbättrad samling och hantering av data kan stöda syftet att förnya maskinbeståndet och förminska utsäppen.

**Klausul** Den här publikationen är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan. (tietokaytoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.

**Nyckelord** forskning, forskningsverksamhet, mobila maskiner, distributionsskyldighet, elektrifiering, alternativa drivmedel, infrastruktur, styrningsmedel, scenarier

---

**ISBN PDF** 978-952-383-153-7

**ISSN PDF** 2342-6799

---

**URN-adress** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-153-7>

---

## Cost-effective means to reduce emissions from non-road mobile machinery

---

### Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2022:63

**Publisher** Prime Minister's Office

---

**Author(s)** Mikko Pihlatie, Petri Söderena, Johanna Markkanen, Nils-Olof Nylund, Pekka Rahkola, Rafael Åman, Tommi Muona, Rasmus Pettinen, Mika Naumanen, Sahas Shah, Marius Baranauskas

**Editor(s)** Mikko Pihlatie

**Language** Finnish **Pages** 163

---

**Abstract** Energy use and emissions from non-road mobile machinery need to be reduced. Various mobile machinery are used in multiple different use cases. Their share of Finland's CO<sub>2</sub> emissions is about 4 % and the most common fuel used is light fuel oil. New alternative energies are partly already compatible with today's machines, but some require renewal of machinery fleets and building energy infrastructure. In the short term, distribution obligation of biofuel fraction is an effective measure to cut CO<sub>2</sub>, but at the same time it will increase fuel price for consumers. Including biogas on the distribution obligation was assessed not to be beneficial. Currently, there is no CO<sub>2</sub> regulation on mobile machinery and this is slowing down development towards alternative energies. Such regulatory framework should be implemented at European level. Alternative energy solutions for non-road mobile machinery have potential to develop towards competitive products within the decade. This shift requires a comprehensive set of policy measures: product development and its funding, trials and pilot projects, incentives for machine and infrastructure investments, review of taxation, collection and sharing of information. Deficiencies were identified in current data collection and statistics on mobile machinery; improving these will support renewal of mobile machine fleets and reducing emissions.

**Provision** This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

**Keywords** research, research activities, non-road mobile machinery, distribution obligation, electrification, alternative energies, infrastructure, policy measures, scenarios

---

**ISBN PDF** 978-952-383-153-7 **ISSN PDF** 2342-6799

---

**URN address** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-153-7>

---

# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Tavoitteet, tutkimuskysymykset ja työtapa</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>Aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Yleistä uusiutuvien polttoaineiden jakeluelvoitteista</b> .....	<b>19</b>
4.1	Tieliikenne .....	19
4.2	Kevyt polttoöljy .....	23
4.3	Jakeluelvoitteen luonnehdinta .....	24
<b>5</b>	<b>Biopolttoöljyn jakeluelvoitteen nostaminen</b> .....	<b>26</b>
5.1	Polttainelaadut .....	26
5.2	Kevyen polttoöljyn käytön nykytilanne ja historiallinen kehitys.....	27
5.3	Työkoneiden tarkastellut skenaariot.....	30
5.4	Työkoneiden kasvihuonekaasupäästöt .....	33
5.5	Kevyen polttoöljyn kokonaismäärä.....	35
5.6	Biopolttoaineiden kysyntä.....	40
5.7	Uusiutuvan energian osuus.....	44
5.8	Kevyen polttoöljyn hinta .....	47
5.8.1	Hinnanmuodostus.....	47
5.8.2	Vaikutus polttoöljyn hintaan.....	52
5.8.3	Jakeluelvoitteen vaikutusten arvioiminen eri sidosryhmien kannalta.....	56
<b>6</b>	<b>Biokaasu ja sen soveltuvuus kevyen polttoöljyn jakeluelvoitteen piiriin</b> .....	<b>62</b>
6.1	Yleistä .....	62
6.2	Nykytilanne.....	63
6.3	Mahdollinen tuleva kehitys .....	65
6.4	Biokaasun verotus.....	68
6.5	Metaanin mahdollinen sisällyttäminen kevyen polttoöljyn jakeluelvoitteeseen .....	71

<b>7</b>	<b>Työkoneiden vaihtoehtoiset käyttövoimat, skenaariot ja ohjauskeinot.....</b>	<b>76</b>
7.1	Työkoneiden käyttötapaukset.....	76
7.1.1	Logistiikka.....	77
7.1.2	Maatalous.....	78
7.1.3	Metsätalous.....	78
7.1.4	Maanrakennus.....	78
7.1.5	Kaivosteollisuus.....	79
7.2	Vaihtoehtoisten käyttövoimien infrastruktuurit.....	79
7.2.1	Väliaikainen infrastruktuuri.....	81
7.3	Työkoneiden hybridisointi ja sähköistäminen.....	84
7.3.1	Menetelmä ja käyttötapaukset.....	85
7.3.2	Pyöräkuormaajat.....	87
7.3.3	Maataloustraktorit.....	89
7.3.4	Metsätyökoneet.....	92
7.3.5	Kaivinkoneet.....	95
7.4	Omistajan kokonaiskustannus TCO.....	96
7.4.1	Pyöräkuormaajat.....	98
7.4.2	Maataloustraktorit.....	100
7.4.3	Metsätyökoneet.....	101
7.5	Markkinadiffuusion skenaariot ja ohjauskeinot.....	103
7.5.1	Menetelmä.....	103
7.5.2	Tulokset.....	107
7.5.3	Markkinadiffuusion avaintekijät ja ohjauskeinot.....	112
<b>8</b>	<b>Työkoneita koskevat tietotarpeet ja rekisteröintivelvollisuuden laajentaminen.....</b>	<b>115</b>
8.1	Rekisteröintivelvollisuuden laajentaminen ja laajempien katsastuskäytäntöjen käyttöönoton tarkastelu.....	117
8.1.1	Työkonepäästöjen ja EU-lainsäädännön tarkastelu.....	117
8.1.2	Työkoneiden rekisteröintivelvollisuus sekä saatavilla olevien tietojen arviointi.....	120
8.1.3	Työkoneiden katsastusvelvollisuus.....	121
8.2	Saatavilla olevien tilastojen kartoitus ja TYKO2 tietotarpeiden arviointi.....	122
8.2.1	Käytössä olevan TYKO-mallin kuvaus.....	122



8.2.2	Työkonekannan tarkastus TYKO-mallin ja Tilastokeskuksen tietojen valossa.....	124
8.2.3	Työkoneiden käyttöön vaikuttavat muuttujat .....	129
8.2.4	Työkoneista saatavilla olevat tiedot.....	133
8.2.5	Tarvittavien tietojen arviointi päästöinventointien tarkentamiseksi.....	135
8.2.6	Työkoneiden valvonnan kehittämismahdollisuudet .....	138
8.2.6.1	Työkoneiden kunnan valvontamenetelmiä.....	138
8.2.6.2	Ilmoitusluontoisen OBD-raportin kuvaus.....	140
8.2.7	Työkonevalvonnan kustannusrakenne .....	141
8.2.8	Työkoneiden valvontamenetelmien käyttöönoton tarpeellisuusarviointi.....	144
<b>9</b>	<b>Yhteenveto tuloksista.....</b>	<b>146</b>
<b>10</b>	<b>Johtopäätökset ja suositukset .....</b>	<b>153</b>
	<b>Liitteet.....</b>	<b>157</b>
	<b>Lähteet.....</b>	<b>161</b>

## **TIELIIKENTEEN KÄYTTÖVOIMAMURROS ETENEE, KUINKA KÄY LIKKUVIEN TYÖKONEIDEN?**

Eurooppalaisessa keskustelussa ja politiikanteossa näkyy vahva panostus tieliikenteen vihreään siirtymään ja haluun irtautua fossiilisista polttoaineista. Viimeisimpänä merkinä tästä on käsittelyssä oleva, jo aiempaan eurooppalaiseen säädöstyöhön pohjautuva Fit for 55 -toimenpidepaketti sekä myös geopolitiittista tilannetta heijastava REPowerEU joka vauhdittaa unionin tasolla energiansäästöä, puhdasta energiaa ja energiaomavaraisuutta. Liikkuvien työkoneiden puolella vihreään siirtymään ohjaava säädoskehikko ei käytännössä ole.

Säädösten, verotuksen, ohjauskeinojen ja lainsäädännön vaikutus tieliikenteen käyttövoimamurrokseen on ratkaiseva. Päästörajat ohjaavat ajoneuvovalmistajia voimakkaasti sähköistykseen suuntaan. Muutos toimitus- ja arvoketjuissa on valtava, ja siitä on teollisuuspoliittisena osoituksena Eurooppaan syntymässä uusi koko arvoketjun kattava teollisuudenala: akkuteollisuus.

Vaihtoehtoisten käyttövoimien murroksessa tukeva infrastruktuuri on keskeinen osa ratkaisua. Kestävien biopohjaisten polttoaineiden raaka-ainepohja on rajallinen ja samalla kysynnän odotetaan laajenevan nopeasti tieliikenteestä meri- ja lentoliikenteeseen sekä mahdollisesti työkoneisiin. Biokaasu kannattaa hyödyntää täysimääräisesti mutta puhdistus biometaaniksi ja pienen mittakaavan tuotanto voi myös tuoda skaalauksen ja kustannushaasteita. Tieliikenne on vahvalla sähköistykseen polulla ja keskeistä tulee olemaan käyttäjien kannalta tarpeenmukainen yksityinen ja julkinen latausinfrastruktuuri, kotona, asiointipaikoissa, kaupunkiympäristöissä, teollisissa ympäristöissä ja väylien varsilla.

Millaisia keinoja liikenteen ja liikkuvien työkoneiden vihreässä murroksessa tarvitaan? Markkinamuutokseen ja uusien tuotteiden käyttöönottoon tarvittavia keskeisiä tekijöitä on paljon: riittävä tuote- ja mallivalikoima, tukevan käyttövoimainfrastruktuurin olemassaolo, käytännön kokemukset ja luottamus ratkaisun toimivuuteen, kaverin kertoma ja muu käytännön tietopohja aiheesta, hankinnan ja järjestelmien toteutettavuus ja rahoituksen saatavuus, uusien käyttövoimien soveltuvuus käyttökohteen vaatimuksiin ja

ammattikäytössä prosessiin, omistajan kokonaiskustannuksen muotoutuminen ja kilpailukyky. Kaikkiin näihin tekijöihin voidaan vaikuttaa, ja ne muodostuvat sekä julkisten ohjaus- ja politiikkakeinojen että markkinalähtöisen kysyntä-tarjontadynamiikan kautta.

Uusiin vaihtoehtoihin käyttövoimiin liittyy myös selkeitä epävarmuuksia hinnan ja tuotteen saatavuuden osalta. Hyviä esimerkkejä näistä ovat tällä hetkellä nähtävät suuret haasteet sähköautojen tuotantoketjun hallinnassa ja tuotannon skaalauksessa, sekä kemiallisena energiavarastona toimiva vihreä vety, jonka kasvavaa kysyntää on helppo ennakoida teollisuuteen. Vedylle tai siitä edelleen johdetuille synteettisille sähköpoltoaineille asetetaan korkeita odotuksia liikennesektorilla ilman, että tälle arvokkaalle kemikaalille on edes lähivuosina syntymässä todellista markkinaa. Myös hinnanmuodostuksessa on selkeitä epävarmuuksia.

Muutos kohti ympäristöystävällisempää liikennettä ei tapahdu hetkessä. Kevyen ja raskaan tieliikenteen puolella voidaan selkeästi nähdä, että markkinamuutos ja uusien käyttövoimien esiinmarssi vie suotuisissakin olosuhteissa ja poliittisen tahdon tukena kauan. Markkina ja kuluttajat ovat konservatiivisia. Tuotekehitys, tuotannon ja toimitusketjujen ylösaajo, uusien ratkaisujen todentaminen ja infrastruktuuriratkaisut tarvitsevat aikaa. Esimerkkiä uuden markkinan avautumisesta voidaan hakea sähköautojen puolelta. Jos nollapisteenä pidetään ensimmäisten kaupallisten sähköajoneuvojen tuloa markkinoille 2010-luvun alkuvuosina, massamarkkinaan voidaan päästä tilastojen valossa noin kymmenessä vuodessa – tämä on nähtävissä sekä sähköhenkilöautojen että sähköbussien kehityskaaresta. Sähkökuorma-autot ovat itämisvaiheen lähtöpisteessä nyt. Sähköä täydentävä käyttövoima vety on pyrkinyt lähtöpisteeseen jo tovin. Tieliikenteen, meriliikenteen, ilmailun ja raideliikenteen vihreän siirtymän osalta tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta on tärkeässä roolissa muutosta tuke-  
massa ja vauhdittamassa. Käynnissä oleva EU:n yhdeksäs tutkimuksen ja innovaatiotoiminnan puiteohjelma on perustanut neljälle mainitulle liikenteen modalityelille (tie, kiskot, vesi, ilma) omat julkisen ja yksityisen sektorin yhteiskehittämisen kumppanudet, jotka ajavat agenda eteenpäin eurooppalaisella tasolla.

Miten työkoneet sijoittuvat laajemman liikennesektorin käyttövoimamurroksen tilannekuvaan? Liikkuvien työkoneiden sektori on energiankulutukseltaan ja päästöiltään merkittävä. Kun kotimaan tieliikenteen CO<sub>2</sub>-päästöt vuonna 2020 olivat noin 11 miljoonaa tonnia, oli vastaava luku liikkuvien työkoneiden kentässä samana vuonna noin 2 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub> – tämä on enemmän kuin pakettiautojen ja linja-autojen yhteensä lasketut päästöt. Silti työkonesektorin CO<sub>2</sub>-päästöjen hillitsemiseksi on toistaiseksi tehty vain vaatimattomia toimenpiteitä.

Liikkuvien työkoneiden kenttä on paljon hajanaisempi ja moninaisempi kuin tieliikenteen sovellukset. Yhtä kaikille sopivaa uutta käyttövoimaratkaisua ei ole suoraan näköpiirissä. Teolliset ympäristöt, kaupungit ja rakennettu ympäristö, maa- ja metsätalous, kaivokset, satamat ja varastot asettavat kukin omat reunaehdonsa ja vaatimuksensa koneille. Nykyistä parempi tiedonkeruu työkonekannasta ja sen käytöstä auttaa hahmottamaan ja konkretisoimaan tulevaisuuden kehityssuuntia ja toimenpiteitä.

Vaihtoehtoisten käyttövoimien infrastruktuurin toteutettavuus riippuu hyvin paljon työkoneen loppukäyttäjän ympäristöstä. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki ratkaisut laajalla rintamalla kannattaa ottaa käyttöön mieluiten teknologianeutraalisti niin, että markkina – ei politiikka – lopulta valitsee soveltuvimman teknologiayhdistelmän ja ratkaisun. Kestävät ja kehittyneet biopolttoaineet (biopolttoöljy, biokaasu) ja velvoitteet niiden käytöstä tulevat olemaan tärkeä lähivuosien ratkaisu, mutta on nähtävissä, että laajempi liikenteen ja työkoneiden vihreä siirtymä ei ratkea pelkästään jakeluvetoitteen kautta. Sekä fossiilisten että kestävien biopolttoainekomponenttien nouseva hintakehitys ja biopolttoaineiden kasvava kansainvälinen kysyntä voivat tulevaisuudessa kasvavasti suosia sähköä käyttövoimana markkinalähtöisesti.

Vihreämpien työkoneiden käyttöönotto vaatii uutta lainsäädäntöä. Työkonesektorin vihreään siirtymään ohjaava säädös- ja lainsäädäntökehikko on kehittymätön tai sitä ei ole – tämä pätee sekä kansallisesti että Euroopan tasolla. Esimerkiksi tieliikennesektorin muutoksen olennainen lähtöajuri CO<sub>2</sub>-sääntely puuttuu nykyisellään kokonaan. Muutenkin liikennepuolelta tuttu sektorin kokonaisverotuksen (sisältäen autovero, ajoneuvovero, valmisteverot) CO<sub>2</sub>-progressio puuttuu tai on loivempi. Uuden teknologian ja käyttövoimien kehittämistä ja kokeiluja edistävät tutkimus-, kehitys- ja innovaatiokumppanuudet ovat työkonepuolella liikennesektoria heikompia.

Lupauksia herättää Suomen akkustrategian osana tunnistettu ja jäsentynyt SIX-työkoneklusteri ja siihen kytkeytyvät teolliset ja yhteisrahoitteiset kehityshankkeet, joissa yhtenä strategisen tiekartan osana on sähköistys ja hybridisointi. Eurooppalaisessa innovaatiokentässä työkoneiden käyttövoimat putoavat tällä hetkellä puiteohjelmien ja kumppanuuksien verkossa valitettavasti pöydän reunoilta marginaaliin. Liikenteen kumppanuuksien kaltaista kokoavaa eurooppalaista yhteistyöalustaa ja innovaatio-ohituksen kokonaisuutta työkoneiden käyttövoimamurroksen edistämiseen ei ole. Tältä osin nykytilanne on siten sama kuin CO<sub>2</sub>-sääntelyssä.

Työkonesektorin vihreä siirtymä, uusien teknologioiden ja käyttövoimien hyödyntäminen ja sitä kautta energiatehokkuuden ja tuottavuuden parantaminen sekä päästöjen leikkaaminen on mahdollista mutta vaatii laaja-alaisia toimia kaikilla osa-alueilla. Uudistuminen vaatii panostuksia pitkäjänteisesti sekä koneiden tuotekehityksessä, infra-

struktuurin ratkaisuihin, loppukäyttäjillä että ohjaavassa toimintaympäristössä. Suomalaisen työkonesektorin vientiteollisuuden huomioiden tässä käynnistystä odottavan murroksen uhka kannattaa kääntää mahdollisuudeksi määrätietoisin toimin.

Syyskussa 2022, Mikko Pihlatie

# 1 Johdanto

Työkoneiden päästöjä on tulevaisuudessa vähennettävä voimakkaasti samalla, kun tavoitteena on energiatehokkuuden kasvattaminen. Päästöjen vähentämisestä tekee erityisen haasteellista se, että siinä tavoitellaan suurta muutosta erittäin monimutkaisessa ja runsaasti sisäisiä ristiriippuvuuksia sisältävässä järjestelmässä, mutta samalla muutos tapahtuu monien toimijoiden ja jopa yksittäisten kuluttajien tai tuottajien tekemien päätösten kautta. Työkoneita käytetään teollisuudessa ja rakentamisessa, kaupassa, palveluissa ja julkisella sektorilla, kotitalouksissa ja maa- ja metsätaloudessa. Kaikkien työkoneiden yhteenlaskettu osuus Suomen hiilidioksidipäästöistä on noin neljä prosenttia. Työkoneiden päästöt liittyvät useisiin eri toimialoihin ja ministeriöiden toimintaan (TEM, YM, MMM). Julkinen valta ohjaa kehitystä lainsäädännön kautta ja voi myös toimia muutosagenttina ja pyrkiä erilaisin kannustimin ohjaamaan ja vauhdittamaan muutosta, ja pyrkiä myötävaikuttamaan päätöksentekoon eri tahoilla ja tasoilla.

Osa uusista käyttövoimista on yhteensopivia jo olemassa oleviin työkoneisiin ja käyttövoiman jakelujärjestelmiin, mutta osa taas edellyttää konekaluston uusimista tai ainakin muuttamista kyseiselle polttoaineelle tai energialle sopivaksi sekä tarkoituksenmukaisen jakeluinfrastruktuurin luomista. Tähän ryhmään kuuluvat mm. biometaanin ja sähkö, jotka ovat nykyjärjestelmään yhteensopivien biopolttonesteiden lisäksi havaittu lupaaviksi vaihtoehtoisiksi laajentaa Suomen työkonekannan ja myös tieliikenteen energiapohjaa. Työkoneiden aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä on aiemmin tutkittu useissa VTT:n toteuttamissa hankkeissa. Työkoneityyppien, niiden ominaisuuksien ja käyttötapojen laaja ymmärtäminen on edellytys aiempaa tarkemmille käyttövoimavaihtoehtojen tarkasteluille.

Myös työkonesektorilla tarve siirtyä energiatehokkaaseen ja vähäpäästöiseen työkonekantaan on ilmeinen. Työkonesektorin ohjaava säädöskehikko on CO<sub>2</sub>-päästöjen osalta vielä kehittymätön. Lähipäästöt ovat sääntelyn piirissä, mutta nykyisellään CO<sub>2</sub>-päästöjä ei valmistajien suuntaan säädellä mitenkään. Historiallisesti työkoneiden moottoreiden päästösääntely Euroopassa on seurannut raskaiden maantieajoneuvojen moottorien sääntelyä. Nyt EC taholta on jo asetettu sitovat tavoitteet<sup>1</sup> (Komission asetus 2019/1242) raskaiden maantieajoneuvojen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskemiseksi. Ensimmäisessä vaiheessa vuodesta 2025 eteenpäin CO<sub>2</sub>-päästöjä vähennetään -15 % ja vuodesta 2030 eteenpäin -30 % tänä vuonna määritetyn valmistajakohtaisen tavoitteen mukaisesti (Komission päätös 2021/781)<sup>2</sup>. Valmistajakohteisesti CO<sub>2</sub>-päästöt

---

<sup>1</sup> [Komission asetus 2019/1242](#)

<sup>2</sup> [Komission päätös 2021/781](#)

mallinnetaan ajoneuvotyyppikohtaisesti EU:n Komission teettämällä VECTO-simulointityökalulla<sup>3</sup>.

Tällä hetkellä työkoneiden osalta ei ole EU:n Komission tasolta julkistettua suunnitelmaa valmistajakohtaisten CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseksi. Kuten aikaisemmin todettiin, on työkoneiden lähipäästöjen sääntely seurannut tiiviisti muutaman vuoden viiveellä raskaita maantieajoneuvoja. Huomioitavaa on kuitenkin se, että työkoneiden ja raskaiden maantieajoneuvojen välillä on merkittäviä eroja. Erityisesti työkoneiden osalta on laaja kirjo erilaisia koneita ja laitteita, joihin käytetään samoja moottoreita. Lisäksi jopa samoja työkoneita käytetään useasti hyvin erityyppisissä työtehtävissä ja eri tyyppisissä ympäristöissä. Tästä seuraa, että yhtenäisen ajoneuvotason mallinnustyökalun tekeminen työkonesektorille on merkittävästi haastavampaa kuin raskaiden maantieajoneuvojen osalta oli. Tiedossa ei ole, että EU:n komission taholta olisi aloitettu työkoneiden energiankulutuksen mallintamiseen tarkoitettun simulointityökalun "non-road VECTO:n" valmistelua.

Tieliikenteen nollapäästöratkaisut ja teknologiat kehittyvät tällä hetkellä hurjaa vauhtia. Eurooppalainen akkuteollisuus koko arvoketjussa on jäsentynyt muutaman viime vuoden aikana ja käynnissä on uuden teollisuudenalan rakentuminen vastaamaan vihreän siirtymän ja energiaomavaraisuuden tarpeisiin. Akkujärjestelmien ominaisuudet ovat jo vuosikymmenen ajan jatkuvasti parantuneet samalla kun liikkuvien sovellusten akkujen hinnat ovat merkittävästi laskeneet. Akkujen kehitystiekartoilla on teknologioita, jotka tulevat lähivuosina edelleen kasvattamaan esimerkiksi energiatiheyttä ja siten mahdollistamaan pidemmän toimintamatkan tai -ajan ajoneuvot ja laitteet. Digitaalinen tuote- ja elinkaarihallinta ja lataamisen ratkaisut ja palvelut ovat muita esimerkkejä tieliikennesektorin aktiivisista kehityskuluista, jotka tulevat teknologisten synergioiden kautta suoraan hyödyttämään myös työkonesektoria.

Maantieajoneuvojen osalta on selvää, että nykyisen kaltainen vaihtoehtoisten käyttövoimien yleistyminen ei olisi yhtä nopeaa ilman EU:n henkilö-, paketti- ja kuoma-autonvalmistajia velvoittavaa CO<sub>2</sub>-lainsäädäntöä. Tämä kehitys tulee mitä todennäköisimmin merkittävässä määrin hyödyttämään ja nopeuttamaan myös työkonesektorin uusien käyttövoimien kehitystä. Kuitenkin voi myös olettaa maantieajoneuvojen vaihtoehtoisten käyttövoimien kehityskaaresta, että ilman vastaavanlaista CO<sub>2</sub>-päästölainsäädäntöä ei työkonesektorilla tule markkinoille yhtä nopealla tahdilla akkusähköisiä tai vetypolttokennolla varustettuja ajoneuvoja.

---

<sup>3</sup> VECTO-työkalu

## 2 Tavoitteet, tutkimuskysymykset ja työtapa

Tämän hankkeen tavoitteena oli tutkia eri keinoja työkoneiden kasvihuonekaasupäästöjen merkittäväksi vähentämiseksi. Tarkastelussa analysoidaan teknologioita, työkonekanta, markkinaa ja vaihtoehtoisia järjestelmäratkaisuita CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseksi sekä eri teknologioiden tulevaisuuden näkymiä. Lisäksi tarkasteltiin CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämistä nopeuttavia ohjauskeinoja, erityisesti jakeluelvoitteen roolia. Muodostetun tiedon pohjalta luotiin teknologioiden osalta näkemys CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen kustannuksista sekä ohjauskeinoista työkoneityypeittäin. Yhtenä tarkastelun skenaariona oli arvioida biopolttoöljyn jakeluelvoitteen säilyttämistä nykytasolla eli 10 prosentissa vuodesta 2028 alkaen sekä jakeluelvoitteen nostamista pohjautuen aiempiin VTT:n ja muihin tutkimuksiin. Biometaanin käytön mahdollisuuksien osalta työssä selvitettiin mahdollisia teknisiä ja ohjauksellisia keinoja ja niiden kustannuksia käytön edistämisen tukemiseksi. Hankkeessa tutkittiin skenaarioita, joilla työkoneiden sähköistymistä voidaan vauhdittaa sekä kuinka sähköistymiseen vaikuttavat ohjausmekanismit voidaan kytkeä nykyistä paremmin osaksi päästökehitysarvioita.

Hankkeessa selvitettiin myös, kuinka työkoneiden rekisteröinti -ja katsastusvelvollisuutta tulisi laajentaa, jotta rekisteristä saatavat tiedot parantaisivat mahdollisimman paljon päästöinventointien ja -projektoiden laatua ja tarkkuutta. Lisäksi tarkasteltiin mahdollisia keinoja, kuten määräaikaikatsastus tai erilaiset ilmoitusvelvollisuudet, työkoneiden päästöjen puhdistuslaitteistojen toiminnan ja kunnan varmistamiseksi sekä tarkasteltiin niiden vaikutuksia huomioiden mm. kustannukset ja vaikutukset niiden käyttöön eri toimijoilla. Työssä pohjautui aiempaan VTT:n tutkimukseen työkoneiden päästöjen pienentämisestä<sup>4,5</sup>.

Työ jäsennettiin seuraavien tutkimuskysymysten ympärille:

### *Biopolttoöljyn jakeluelvoitteen nostaminen*

- Millainen vaikutus biopolttoöljyn jakeluelvoitteen nostolla on Suomen uusiutuvan energianosuuteen ja hiilidioksidipäästöihin vuosina 2030 ja 2035?
- Miten jakeluelvoitteen eri tavoitetasot vaikuttavat kevyen polttoöljyn hintaan?

<sup>4</sup> Kaupallisten ajoneuvojen rooli liikenteen ilmastopolitiikassa (KAROLIINA), <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163098>

<sup>5</sup> Nylund, Nils-Olof, Petri Söderena ja Pekka Rahkola (2016) Työkoneiden CO<sub>2</sub> päästöt ja niihin vaikuttaminen. VTT, Raportti, VTT-R-04745-16, <https://www.ym.fi/download/noname/%7BEC3AFE90-B3FC-446B-90C3-4A8B253B4256%7D/125900>



- Millaisia vaikutuksia jakeluvelvoitteen nostamisella on yrityksille, kuluttajille, kansantalouteen sekä valtionalouteen ottaen huomioon biopolttoöljyn käytön työkoneissa sekä lämmityksessä?
- Miten biopolttoöljyn jakeluvelvoitteen nosto vaikuttaa liikenteen uusiutuvan energian osuuteen liittyvien tavoitteiden täyttymiseen? Biopolttoöljyn jakeluvelvoitteen nostamisen vaihtoehtoina tulee arvioida biopolttoöljyn jakeluvelvoitteen säilyttämistä nykytasolla eli 10 prosentissa vuodesta 2028 alkaen sekä jakeluvelvoitteen nostamista.

#### *Biokaasun sisällyttäminen biopolttoöljyn jakeluvelvoitteeseen*

- Soveltuuko biokaasu jakeluvelvoitejärjestelmän piiriin?
- Miten biokaasun sisällyttäminen jakeluvelvoitteeseen vaikuttaa biokaasun käyttöön lämmityksessä ja työkoneissa?
- Miten biokaasun sisällyttäminen jakeluvelvoitteeseen vaikuttaa kevyen polttoöljyn hintaan?
- Miten biokaasun sisällyttäminen jakeluvelvoitteeseen vaikuttaa biokaasun kilpailukykyyn?
- Millaisia vaikutuksia biokaasun sisällyttämisellä jakeluvelvoitteeseen on biokaasun tuotantoon liittyviin investointeihin ja investointitukiin?

#### *Keinot työkoneiden vaihtoehtoisten käyttövoimien edistämiseen*

- Mitkä ovat työkoneiden sähköistämisen edistämisen kustannustehokkaimmat keinot?
- Mitkä ovat kustannustehokkaimmat keinot biokaasun käytön edistämiseen työkoneissa?
- Mitä keinoja tarvitaan, jotta päästäisiin VTT:n toteuttaman selvityksen (Markkanen ja Lauhkonen 2021)<sup>6</sup> mukaiseen nopeamman sähköistymisen skenaarioon?
- Mitkä olisivat nopeamman sähköistymisen skenaarion vaatimien toimien vaikutukset yrityksille ja valtionaloudelle?

---

<sup>6</sup> Markkanen J., Lauhkonen A., Työkoneiden päästöjen perusennuste ja sähköistymisen vaikutuspäästöihin [https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/45373802/VTT\\_CR\\_00245\\_21.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/45373802/VTT_CR_00245_21.pdf)

### *Työkoneiden rekisteröintivelvollisuuden laajentaminen*

- Miten työkoneiden rekisteröintivelvollisuutta pitäisi laajentaa, jotta rekisteristä saatavat tiedot parantaisivat mahdollisimman paljon kasvihuonekaasujen ja lähipäästöjen päästöinventointien ja -projektioiden laatua ja tarkkuutta?
- Miten työkoneiden valvontaa (esim. katsastus) tulisi kehittää, jotta työkonekannan todelliset päästötiedot tiedettäisiin paremmin ja jotta varmistuttaisiin siitä, että työkoneiden päästöjen puhdistuslaitteistot pidetään kunnossa ja käytössä?
- Mikä olisi informaation laadun ja päästövähennysten näkökulmasta kustannustehokas rekisteröinti- ja katsastusvelvoite työkoneille?
- Mitä vaikutuksia valitulla rekisteröinti- ja katsastusvelvoitteella olisi yrityksille, viranomaisille ja valtiontaloudelle?

### *Työ organisoitiin neljään työpakettiin (TP) seuraavasti:*

- TP1 Biopolttoaineiden jakeluvelvoite: Tutkimuskysymykset 1 ja 2
- TP2 Työkoneiden vaihtoehtoiset käyttövoimat, ohjauskeinot ja skenaariot: Tutkimuskysymys 3
- TP3 Työkoneiden tietotarpeet ja rekisteröintivelvollisuuden laajentaminen: Tutkimuskysymys 4
- TP4 Raportointi, tiedon hyödyntäminen ja viestintä

Raportissa työpaketti 1 on raportoitu kappaleissa 4, 5 ja 6. Työpaketin 2 tuloksia on käsitelty kappaleessa 7 ja työpaketti 3 kappaleessa 8.

### 3 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen painopisteenä olivat liikkuvat työkoneet ja niiden vähähiiliset ja nollapäästöiset käyttövoimat järjestelmäratkaisuna, erityisesti päästövähennystavoitteiden näkökulmasta. Tutkimustyössä käytetyt menetelmät ja tiedot jakautuvat yleisellä tasolla kolmeen eri ryhmään:

Tutkimuskirjallisuuden ja avoimien lähteiden tietoaaineistojen läpikäynti ja analysointi. Tähän ryhmään kuuluu viimeisimmän teknistieteellisen kirjallisuuden läpikäynti sekä eurooppalaisen ja suomalaisen säädöskehikon ja sen taustamateriaalien läpikäynti ja analysointi. Tietoanalyysi ja tietojen keruu sisältää myös aktiivisen tiedonkeruun projektin aikana syntyvistä tietoaaineistoista ja niiden hyödyntämisen. Yhtenä keskeisenä tietolähteenä on käytetty Tilastokeskuksen tuottamia tilastoja.

Tiedonkeruu kyselyiden ja haastatteluiden sekä muun vuorovaikutuksen kautta julkisista ja teollisista sidosryhmistä. Tämän menetelmän kautta pystytään päivittämään muutokset ja suuntaukset teknologian, markkinan ja loppukäyttäjien sekä julkisten sidosryhmien trendeistä ja arvioimaan näiden vaikutusta. Näiden pohjalta tehdään muun muassa markkinakatsauksia ja markkinapohjaisia tiekarttoja.

Tiedon analysointi, jalostaminen ja hyödyntäminen mallinnuksen ja simuloinnin kautta. Mallinnuksen menetelminä käytetään sekä työkonekohtaista simulointia energiankulutuksen arvioimiseksi erityisesti vaihtoehtoisille käyttövoimille ja käytön edellyttämän infrastruktuurivaatimusten määrittämiseksi, tekno-ekonomista mallinnusta työkoneiden järjestelmävaihtoehtojen omistajan kokonaiskustannuksen (TCO) kehityksen arvioimiseksi, sekä monialaista systeemidynaamista mallinnusta työkonekannan uusiutumisen ja muutosajurien arvioimiseksi.

Työn aikana tietoaaineistoa ja menetelmiä käytettiin parhaalla mahdollisella tavalla ja työn eri osa-alueilla eri painoituksin. Tutkijaryhmä myös hyödynsi soveltuvin osin aiemmista hankkeista saatavilla olevaa tietopohjaa siltä osin, kuin se on ollut julkiseen tutkimukseen hyödynnettävissä.

## 4 Yleistä uusiutuvien polttoaineiden jakeluelvoitteista

### 4.1 Tieliikenne

Tieliikenteen osalta Suomessa on ollut moottoribensiiniä ja dieselöljyä koskeva biopolttoaineiden jakeluelvoite vuoden 2008 alusta lähtien (Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 446/2007<sup>7</sup>, alun perin laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä). Vuonna 2022 velvoite laajeni kattamaan myös maanin liikennekäytön. Lain tarkoituksesta todetaan:

”Tämän lain tarkoituksena on edistää uusiutuvien polttoaineiden käyttöä moottoribensiinin, dieselöljyn ja maakaasun korvaamiseksi liikenteessä.”

Vuonna 2023 järjestelmä tulee lisäksi kattamaan myös RFNBO-polttoaineet (renewable fuels of non-biological origin, eli ns. sähköpolttoaineet), josta tuli tarve lain nimen päivittämiseen. Tieliikenteessä on kolme samaan aikaan voimassa olevaa veloitetta (kuva 1):

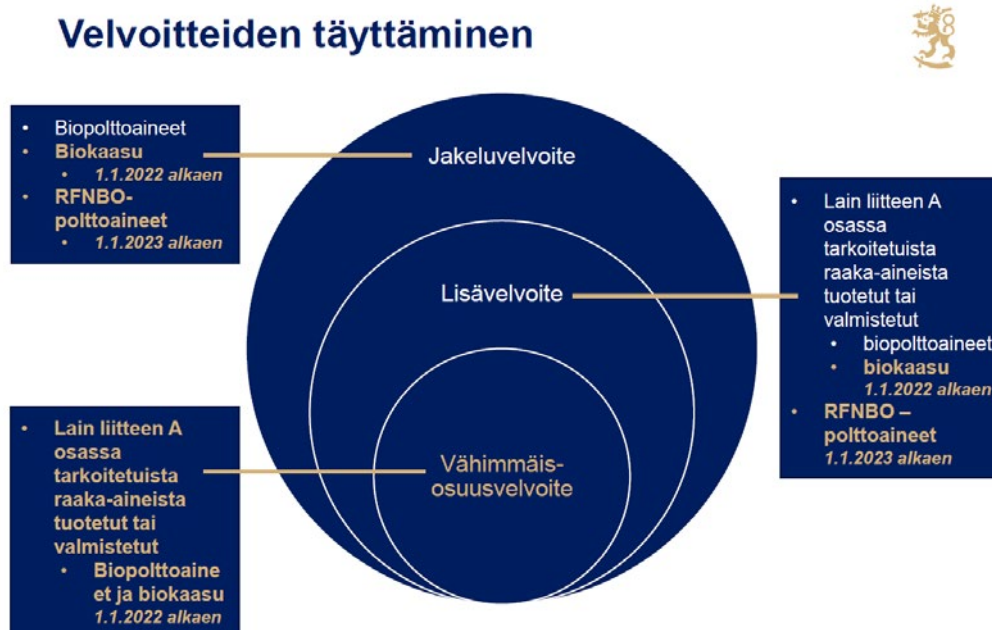
1. Jakeluelvoite: uusiutuvien polttoaineiden minimiosuus liikenteen polttoaineiden energiasisällön kokonaismäärästä
2. Lisävelvoite: määrittelee yhteenlasketun minimiosuuden tietyistä raaka-aineista valmistetuille nestemäisille biopolttoaineille ja biokaasulle (ns. kehittyneet biopolttoaineet) sekä RFNBO-polttoaineille
3. Vähimmäisosuusvelvoite: minimiosuus tietyistä raaka-aineista valmistetuille nestemäisille biopolttoaineille ja biokaasulle (vastaa uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämistä koskevan direktiivin (EU) 2018/2001<sup>8</sup> (REDII) vaatimuksia)

---

<sup>7</sup> <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070446>

<sup>8</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2001&from=fi>

Kuva 1. Tieliikenteen jakeluelvoitteen rakenne<sup>9</sup>.



Kaikkien uusiutuvien polttoaineiden on täytettävä laissa ”Laki biopolttoaineista, bionesteistä ja biomassapolttaineista 393/2013<sup>10</sup>” määritellyt kestävyyskriteerit. Liikenteen jakeluelvoitelaisissa erityisasemassa olevien kehittyneiden biopolttoaineiden raaka-aineet on lueteltu liitteessä ”A”, vastaavalla tavalla kuin REDII direktiivin liitteessä Annex IX A, mm. erilaiset jätteet ja biomassaosuus, joka ei sovellu käytettäväksi elintarvike- tai rehuketjussa).

Voimassa olevat velvoitetasot ovat seuraavat:

Jakeluelvoite:

- 18,0 % vuonna 2021;
- 19,5 % vuonna 2022;
- 21,0 % vuonna 2023;
- 22,5 % vuonna 2024;
- 24,0 % vuonna 2025;
- 25,5 % vuonna 2026;
- 27,0 % vuonna 2027;
- 28,5 % vuonna 2028;

<sup>9</sup> <https://energiavirasto.fi/jakeluelvoite>

<sup>10</sup> <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130393#P4>

- 30,0 % vuonna 2029 ja sen jälkeen.

Lisävelvoite:

- 2,0 % vuosina 2021–2023;
- 4,0 % vuosina 2024 ja 2025;
- 6,0 % vuosina 2026 ja 2027;
- 8,0 % vuonna 2028;
- 9,0 % vuonna 2029;
- 10,0 % vuonna 2030 ja sen jälkeen.

Vähimmäisosuusvelvoite:

- 0,2 % vuosina 2022–2024;
- 1,0 % vuosina 2025–2029;
- 3,5 % vuonna 2030 ja sen jälkeen.

Vuosina 2020 (työ- ja elinkeinoministeriö) ja 2021 (työ- ja elinkeinoministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö ja ympäristöministeriö) teetettiin kaksi selvitystä jakeluelvoitteeseen liittyen:

- VN/3364/2020 Jakeluelvoitteen laajentaminen<sup>11</sup>
- VN/13807/2021 Liikenteen jakeluelvoitetason nosto<sup>12</sup>

Pääkonsulttina selvityksissä oli AFRY Management Consulting Oy.

**Vuoden 2020** työssä selvitettiin metaanin, RFNBO-polttoaineiden, kierrätettyjen hiilipitoisten polttoaineiden ja sähköön sisällyttämistä jakeluelvoitteeseen. Raportissa todetaan, että metaani ja RFNBO-polttoaineet soveltuisivat sisällytettäväksi jakeluelvoitteeseen. Biometaanin<sup>13</sup> osalta jakeluelvoitteeseen sisällyttäminen edellyttäisi biometaanin verolle panna. RFNBO-polttoaineiden sisällyttäminen taas edellyttäisi, että Komissio on vahvistanut kasvihuonekaasupäästöjen vähennysten arviointimenetelmät. Kuten edellä kerrottiin, metaani sisällytetään jakeluelvoitteeseen vuoden 2022 alusta ja RFNBO-polttoaineet vuoden 2023 alusta.

<sup>11</sup><https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/selvitys-suosittelee-liikenteen-biopolttoaineiden-jakeluelvoitteen-laajentamista-liikennekaasuihin-ja-sahkopolttoaineisiin>

<sup>12</sup><https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/selvitys-uusiutuvien-jakeluelvoitteen-noston-vai-kutuksista-valmistunut>

<sup>13</sup> Biometaani on liikennekäytön laatuvaatimuksia vastaavaksi puhdistettua biokaasua (epäpuhtaudet ja hiilidioksidi poistettu, metaanipitoisuus tyypillisesti yli 97 %)

Selvityksessä pääteltiin, etteivät kierrätyspolttoaineet ja sähkö sovellu jakeluvelvoitteen piiriin, koska ne eivät vähentäisi kansallisesti liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä (nykyisen raportointimenetelmän mukaan, esim. sähkö lasketaan liikenteessä nolapäästöiseksi sähkön alkuperästä riippumatta) ja/tai niiden tuominen jakeluvelvoitteeseen vaatisi merkittäviä muutoksia velvoitejärjestelmään.

Biometaanista todettiin:

*”Kaasun liikennekäytön lisääminen jakeluvelvoitteeseen ja sen muuttaminen verolliseksi nostaisi liikennekaasun kustannuksia vain noin 0,03 EUR/lge, mikä ei muuta kaasun kilpailukykyä liikennepolttoaineena. Kaasun lisäämisellä jakeluvelvoitteeseen ei nähdä olevan merkittäviä vaikutuksia liikennesektorin päästöihin tai uusiutuvan energian osuuteen. Suurin lisäämisen vaikutus arvioitiin biometaanin ylitäytöstä syntyvällä lisäarvolla, joka voisi kiihdyttää kotimaisia investointeja nesteytetyn biometaanin tuotantoon ja käyttöön raskaassa kalustossa.”*

Biometaanin ylitäytöllä tarkoitetaan sitä, että liikennekaasussa biometaanin osuus on suurempi kuin vaadittava uusiutuvien polttoaineiden osuus keskimäärin. Ajatuksena on, että liikennekaasu jatkossa voisi olla 100 %:sesti biometaanista. Jos liikennekaasulle syntyy lisäkysyntää erityisesti raskaassa kalustossa, biometaanin ylitäyttö vähentäisi tarvetta uusiutuvalle dieselille dieselkalustossa. Koska suurin osa biometaanista tehdään jakeluvelvoitelain A-liitteen mukaisista raaka-aineista, liikenteen biometaanin korvaisi nimenomaan kalliita kehittyneitä nestemäisiä biopolttoaineita.

EU-säännökset eivät salli velvoitteiden ja veroalennusten samanaikaista käyttöä. Tästä syystä biometaanin liikennekäytössä otettiin energiaverotuksen piiriin 2022 alusta samalla, kun se sisällytettiin jakeluvelvoitteen piiriin. Biokaasu/biometaanista ei aiemmin ole peritty energiaveroja. Maakaasu on jo aiemmin kuulunut energiaverotuksen piiriin. Voimassa oleva energiaverodirektiivi sallii alemman verotason asettamisen kaasuille kuin bensiinille ja dieselille. Tämä tulee muuttumaan koska energiaverodirektiivin muutosehdotuksessa saman ympäristöluokan tuotteille esitetään samaa energiasisältöön perustuvaa veroa<sup>14</sup>.

**Vuoden 2021** selvitys tarkastelee mahdollisuutta nostaa vuoden 2030 velvoitetasoa 30 %:sta 34 tai 40 %:iin prosenttiin. Selvityksessä tarkasteltiin kestävien uusiutuvien polttoaineiden saatavuutta, kysyntää, raaka-aineiden riittävyyttä ja alkuperää, kansallisia sakkotasojia, polttoaineiden hintoja, kustannuksia loppukäyttäjille sekä eri jakeluvelvoitetasojen (30 %, 34 % ja 40 %) vaikutuksia kansantalouteen ja valtiontalouteen.

<sup>14</sup> [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/U\\_56+2021.aspx](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/U_56+2021.aspx)

Jakeluelvoitetason nostaminen 34 % etenee. Esityksen lausuntokierros on ohi ja ehdotus tullaan antamaan eduskunnan käsiteltäväksi syksyllä 2022.<sup>15</sup>

Mahdollinen tarve velvoitetason nostoon juontuu metaanin sisällyttämisestä jakeluelvoitteeseen, toimenpide joka on kirjattu kesäkuussa 2021 julkaistun fossiilittoman liikenteen tiekarttaan<sup>16</sup> ja sittemmin myös sisällytetty jakeluelvoitelakiin. Vuoden 2021 loppuun saakka jakeluelvoite koski ainoastaan nestemäisiä biopolttoaineita. Liikenteessä käytetty biometaani oli lisänä jakeluelvoitteen edellyttämän biopolttoaineiden minimitason päälle. Jos tavoiteluku uusiutuville polttoaineille pysyy vakiona (esim. 30 % vuonna 2029 ja siitä eteenpäin), metaanin sisällyttäminen velvoitteeseen pienentää absoluuttista uusiutuvien polttoaineiden määrää ja siten tieliikenteen laskennallista uusiutuvien polttoaineiden tuomaa hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) päästövähennemää. Päästöistä velvoitetason nostosta ei toistaiseksi ole tehty.

## 4.2 Kevyt polttoöljy

Laki biopolttoöljyn käytön edistämisestä 418/2019<sup>17</sup> tuo biokomponentteja kevyeen polttoöljyyn vuodesta 2021 alkaen. Lain tarkoituksena on edistää biopolttoöljyn käyttöä kevyen polttoöljyn korvaamiseksi lämmityksessä, työkoneissa ja kiinteästi asennetuissa moottoreissa. Velvoitetasot ovat:

- 3,0 % vuonna 2021;
- 4,0 % vuonna 2022;
- 5,0 % vuonna 2023;
- 6,0 % vuonna 2024;
- 7,0 % vuonna 2025;
- 8,0 % vuonna 2026;
- 9,0 % vuonna 2027;
- 10,0 % vuonna 2028 ja sen jälkeen.

Velvoite koskee sekä vähärikkistä (1 000 ppm) että rikitöntä (10 ppm) kevyttä polttoöljyä.

<sup>15</sup> <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=5b1dfd4c-1219-44d0-af03-53d8a292fb28>

<sup>16</sup> <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163258>

<sup>17</sup> <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190418>



Polttoöljyn biovelvoite poikkeaa tieliikennepolttoaineiden uusiutuvien polttoaineiden velvoitteesta seuraavasti:

- koskee ainoastaan dieseljakeita
- kattaa ainoastaan nestemäiset biopolttoainekomponentit (ei metaania eikä RFNBO-polttoaineita)
- alemmat velvoitetasot (10 vs. 30 %)
- ei vähimmäisosuusvelvoitetta tai lisävelvoitetta kehittyneille biokomponenteille

## 4.3 Jakeluelvoitteen luonnehdinta

Vuoden 2020 AFRY raportissa jakeluelvoitejärjestelmää luonnehdittiin seuraavasti:

*”Biopolttoaineiden jakeluelvoitejärjestelmä on periaatteeltaan varsin selväpiirteinen ja yksinkertainen. Se on neutraali kaikille bensiinin ja dieselin jakelijoille, jolloin toimijoilla on vapaus pitkälti toteuttaa liikenteen säädetty päästövähennemät tuomalla aidosti biopolttoaineita tieliikenteeseen. Päästövähennysten toteutuminen ei ole kiinni kuluttajien valinnoista eikä se edellytä esim. tietyn polttoainelaadun tai autotyypin valintaa.*

*Energiaosuuksiin perustuva järjestelmä on suoraviivainen ja puolustettavissa sen takia, että kaikki biopolttoaineet lasketaan liikenteen CO<sub>2</sub> päästötaseessa nollapäästöisiksi. Hyväksi laskettavien biopolttoaineiden todelliset elinkaaren päästövähennemät varmistetaan soveltamalla EU:n direktiiveissä olevia kestävyyskriteerejä, jotka on kansallisesti toimeenpantu kestävyyslailla (393/2013).”*

Muutoksia vuoden 2020 tilanteeseen verrattuna ovat, että tieliikenteen osalta metaani on sisällytetty jakeluelvoitteeseen vuoden 2022 alusta ja että RFNBO-polttoaineet otetaan mukaan järjestelmään vuoden 2023 alusta.

Kuvassa 2 on esitetty eri polttoaineiden ja energiakantajien sijoittuminen suhteessa jakeluelvoitteeseen, ajoneuvokalustoon ja infraan. Bensiinin ja dieselin nestemäiset uusiutuvat polttoainekomponentit ovat helppoja vaihtoehtoja siinä suhteessa, etteivät ne edellytä muutoksia jo olemassa olevaan ajoneuvokalustoon tai jakeluinfraktruuriin. Metaani, sähkö ja vety edellyttävät kaikki erikoiskalustoa ja uutta infrastruktuuria.

**Kuva 2.** Eri energiakantajien sijoittuminen suhteessa jakeluvoitteeseen, ajoneuvokalustoon ja infraan<sup>11</sup>.



\* Uusiutuva vety voisi korvata maakaasupohjaista vetyä polttoainejalostuksessa

Metaanin/biometaanin käytön laajentuminen sekä tieliikenne- että työkonekäytössä riippuu erikoiskaluston synnyttämästä kysynnästä, ja kaluston kehittyminen taas ajoneuvojen tarjonnasta ja kilpailukyvyistä.

Jakeluvoitteen tapaista ohjausta voidaan soveltaa ns. taakanjakosektorilla, johon kuuluu rakentaminen, rakennusten lämmitys, asuminen, maatalous, liikenne ja jätehuolto. Esimerkiksi suuret teollisuuslaitokset sekä sähkön- ja lämmöntuotanto puolestaan ovat päästökaupan piirissä<sup>18</sup>. EU-säännösten mukaan veloitetta ja verohuojenuksia ei voi käyttää samanaikaisesti.

Joissakin päästökaupan piirissä olevissa laitoksissa saatetaan käyttää kevyttä polttoöljyä, ainakin varapolttoaineen muodossa. Venäjän hyökkäys Ukrainaan ja kaasun tuonnin loppuminen Venäjältä ovat ainakin tilapäisesti lisänneet polttoöljyn käyttöä maakaasun korvikkeena, ja samaan suuntaan on vaikuttanut myös maakaasun korkea hinta.

<sup>18</sup> <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

## 5 Biopolttoöljyn jakeluvelvoitteen nostaminen

Tässä kappaleessa kuvataan biopolttoöljyn jakeluvelvoitteen nostamisen vaikutuksia työkoneiden hiilidioksidipäästöihin, uusiutuvan energian osuuteen ja kevyen polttoöljyn hintaan eri skenaarioissa. Lisäksi kappaleessa esitetään mahdollisia vaikutuksia yrityksille, kuluttajille, kansantalouteen ja valtiontalouteen huomioiden biopolttoöljyn käyttö myös lämmityksessä ja muissa käyttökohteissa. Seuraavassa kappaleessa pohditaan biokaasun soveltuvuutta jakeluvelvoitejärjestelmän piiriin ja sen mahdollisia vaikutuksia kevyen polttoöljyn hintaan sekä biokaasun tuotantoon, käyttöön ja kilpailukykyyn.

Kokonaisuuden kannalta on kuitenkin tärkeä huomioida, että moottoripolttoöljy kuuluu samaan veroluokkaan lämmityspolttoöljyn kanssa muodostaen näin kokonaisuudessaan kevyen polttoöljyn käytön. Tämä tarkoittaa sitä, että biopolttoöljyn jakeluvelvoite kohdistuu molempiin polttoaineisiin työkoneissa käytettävään moottoripolttoöljyyn sekä lämmityksessä käytettävään lämmitysöljyyn.

### 5.1 Polttoainelaadut

Laadullisesti tieliikenteen dieselpolttoaine ja rikitön kevyt polttoöljy vastaavat toisiaan. Eroja tosin saattaa olla esim. toiminnallisten lisäaineiden osalta, mutta Suomessa myytävä moottoripolttoöljy (MPO, MPÖ) vastaa toiminnallisuudeltaan täysin tieliikenteen dieselpolttoainetta. Eroja on kuitenkin biosisällössä ja verotuksessa (tieliikenteessä korkeampi biopitoisuus, kevyttä polttoöljyä verotetaan kevyemmin kuin tieliikenteen dieselpolttoainetta).

Polttoaineiden laatudirektiivi 2009/30/EY<sup>19</sup> asettaa vaatimukset ajoneuvoissa käytettävälle dieselille ja kaasuöljylle (= kevyt polttoöljy). Rikistä sanotaan seuraavaa:

*”Jäsenvaltioiden on varmistettava, että viimeistään 1 päivänä tammikuuta 2008 liikkuvissa työkoneissa (sisävesialukset mukaan lukien), maatalous- ja metsätraktoreissa sekä huviveneissä käytettäviä kaasuöljyjä saa saattaa markkinoille niiden alueella ainoastaan, jos ne sisältävät rikkiä enintään 1 000 mg/kg. Tammikuun 1 päivästä 2011 alkaen nämä kaasuöljyt saavat sisältää rikkiä enintään 10*

<sup>19</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0030>

*mg/kg. Jäsenvaltioiden on varmistettava, että muita nestemäisiä polttoaineita kuin näitä kaasuöljyjä saa käyttää sisävesialuksissa ja huviveneissä ainoastaan, jos kyseisten nestemäisten polttoaineiden rikkipitoisuus ei ylitä näiden kaasuöljyjen sallittua enimmäisrikkipitoisuutta.”*

Työkonevalmistajat edellyttävät yleensä EN 590 standardin mukaisen polttoaineen käyttöä, ja tämänkin mukaan rikoin enimmäispitoisuus on 10 ppm (10 mg/kg).

Asetus 413/2014<sup>20</sup> polttoöljyn rikkipitoisuudesta määrää, että Suomessa käytettävän kevyen polttoöljyn rikkipitoisuus saa olla enintään 0,10 painoprosenttia (1 000 ppm). Muussa kuin työkonekäytössä polttoöljyssä sallitaan siis enimmillään 1 000 ppm rikkiä. Veroedun (2,65 snt/l) takia Suomessa käytetty kevyt polttoöljy on käytännössä rikitöntä laatua<sup>21,22</sup>.

## 5.2 Kevyen polttoöljyn käytön nykytilanne ja historiallinen kehitys

Vuonna 2020 kevyen polttoöljyn kokonaiskulutus oli Tilastokeskuksen mukaan 1,531 Mt<sup>23</sup>. Tilastokeskus ei erottele rikkipitoista/vähärikkistä (maks. 1 000 ppm S, verotaulukon kategoria 60) ja rikitöntä (maks. 10 ppm S, verotaulukon kategoria 61) kevyttä polttoöljyä, eikä myöskään moottoripolttoöljyä ja lämmityspolttoöljyä.

Tilastokeskus ryhmittelee kevyen polttoöljyn käytön seuraavasti:

- Teollisuus
  - Energiateollisuus
    - Erillinen sähköntuotanto
    - Muu sähkön ja lämmön tuotanto
  - Muu teollisuus
- Liikenne
  - Kotimaan vesiliikenne
  - Rautatiet
- Maa- ja metsätalous
  - Kuivurit ja maatalouskoneet

<sup>20</sup> <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140413>

<sup>21</sup> Rikitön polttoöljy korvaa nykyiset laadut ensi vuoden alussa – Öljyalan Keskusliitto (cision.com)

<sup>22</sup> <https://www.abcasemat.fi/fi/polttoaineet/tuotetiedot>

<sup>23</sup> [https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset\\_julkaisut/energia2021/html/suom0001.htm](https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2021/html/suom0001.htm)

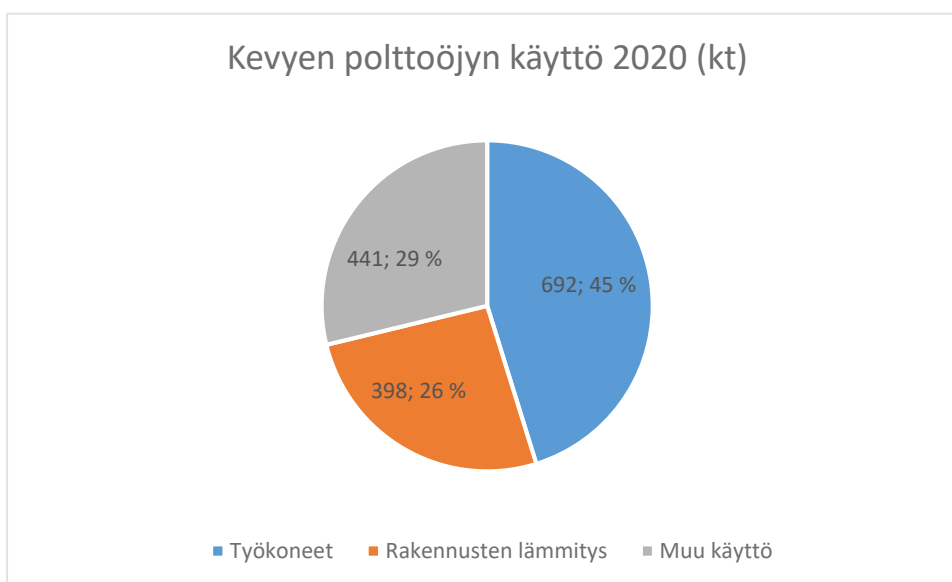
- Maatalous
- Metsätyökoneet
- Rakennustoiminta
- Muut työkoneetRakennusten lämmitys
- Ulkomaanliikenteen polttoaineet

Tilastokeskuksen käyttämän jaottelun perusteella työkoneille ei pysty määrittelemään yksiselitteistä kulutuslukemaa.

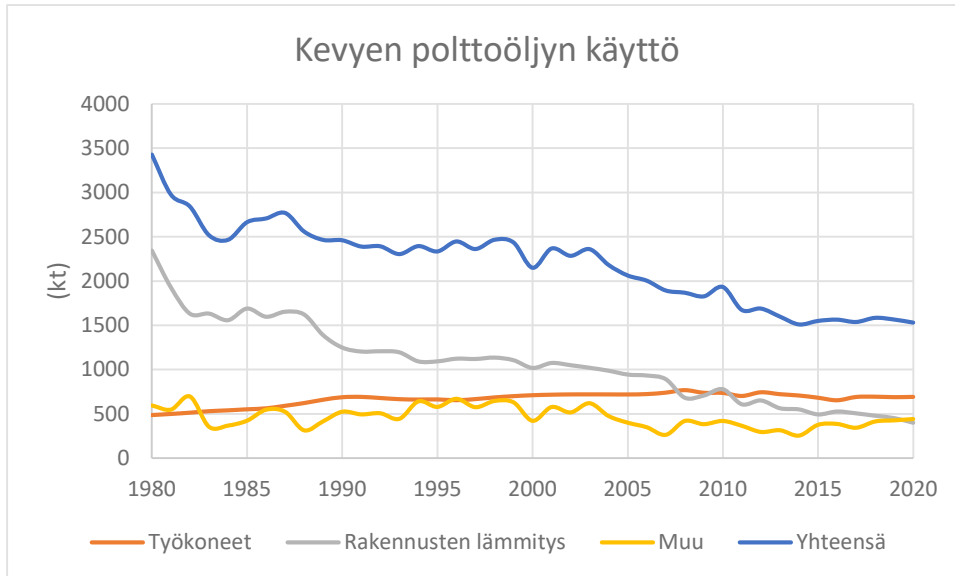
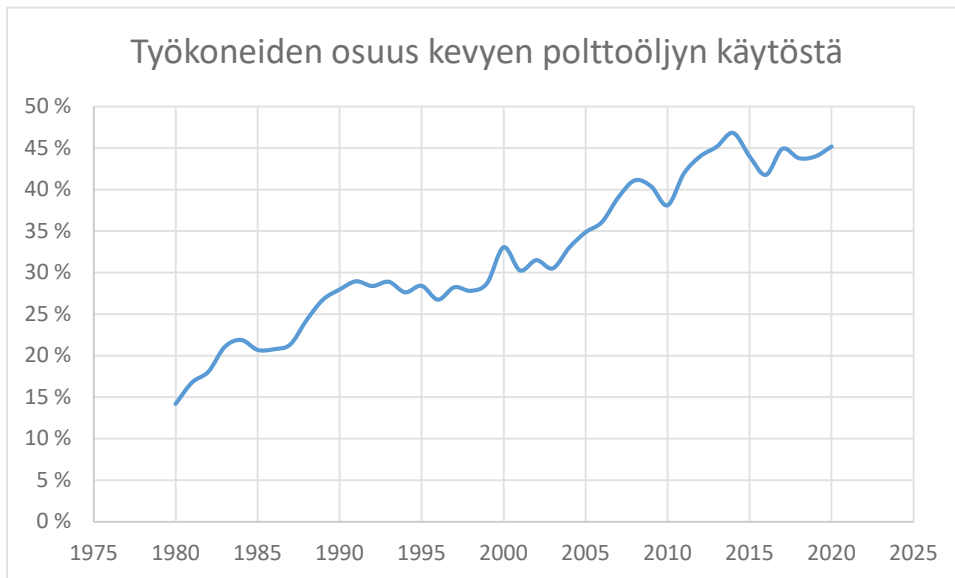
Sen sijaan VTT:n TYKO laskentamalli Suomen työkoneiden päästöille antaa kulutuslukemia, sekä dieselpolttoaineelle yhteensä, että kulutuslukemia konetyypittäin. TYKO:n uusin versio on päivätty joulukuulle 2021<sup>24</sup>.

Kuvassa 3 on yhdistämällä Tilastokeskuksen (kokonaismäärä ja rakennusten lämmitys) ja TYKO:n (työkoneet) luvut muodostettu vuoden 2020 (uusin Tilastokeskuksen data) kevyen polttoöljyn käytön jakauma. Vastaavasti määrien historiallinen kehitys 1980–2020 on näytetty kuvassa 4. Työkonekäytön osuus kevyen polttoöljyn kokonaismäärästä on kuvassa 5.

**Kuva 3.** Kevyen polttoöljyn käyttö vuonna 2020.



<sup>24</sup> <http://lipasto.vtt.fi/tyko/index.htm>

**Kuva 4.** Kevyen polttoöljyn määrien kehitys 1980–2020.**Kuva 5.** Työkoneiden osuus kevyen polttoöljyn kokonaismäärästä.

Aikavälillä 1980–2020 kevyen polttoöljyn kokonaismäärä on laskenut 55 %, lämmityksessä käytettävän kevyen polttoöljyn määrä peräti 83 %. Muu käyttö on vähentynyt 26 %, kun taas käyttö työkoneissa on lisääntynyt 42 %. Vuonna 1980 työkoneiden osuus oli vain 14 %.

## 5.3 Työkoneiden tarkastellut skenaariot

Työkoneiden päästöjen tulevaisuuden kehitystä kuvaa VTT:n TYKO-mallilla aiemmin tuotettu työkoneiden perusennuste (Markkanen & Lauhkonen 2021). Perusennusteesta käytetään nimitystä WEM-skenaario (With Existing Measures). WEM-skenaariossa oletettiin, että sähkökäyttöiset työkoneet alkavat yleistyä maltillisesti kehityksen ollessa nopeinta pienikokoisilla ja -tehoisilla työkoneilla kuten haarukkatrukit ja puutarhakoneet sekä pienitehoiset kaivukoneet, pyöräkuormaajat, traktorikaivurit ja teleskoopikurottajat.<sup>25</sup> WEM-skenaariossa oletettiin myös, että työkonekannan koko Suomessa pysyy likimain muuttumattomana eli kaikki ne työt, jotka voidaan tällä hetkellä kyseiseen työhön tarkoitettulla työkoneella tehdä, tehdään työkoneilla jatkossakin. Täten sähkökäyttöisten työkoneiden oletettiin korvaavan perinteisiä polttomoottorikäyttöisiä työkoneita. Lisäksi WEM-skenaariossa polttoöljykäyttöisten työkoneiden päästöjä vähentää biopolttoöljyn jakelu, jonka oletettiin toteutuvan täysimääräisenä lain (418/2019) velvoittaman mukaisesti, sekä bensiinikäyttöisten työkoneiden osalta päästöjä vähentää tieliikenteen biopolttoaineiden jakeluelvoite (446/2007), jonka perusteella bensiinin litramääräisen bio-osuuden oletettiin olevan noin 9,8 vol-%.

Biopolttoöljyn jakeluelvoitteen eri tasoja tutkittiin kolmessa eri skenaariossa: BIO20, BIO30b ja BIO40. Näissä skenaarioissa työkonekannan sekä polttoöljyn ja bensiinin kulutuksen on oletettu olevan sama kuin WEM-skenaariossa, jolloin päästövähennemä johtuu täysin biopolttoöljyn jakeluelvoitteen nostosta.

BIO20-skenaariossa biopolttoöljyn jakeluelvoite nostettaisiin tasaisesti vuoden 2029 tasosta (10 %) 20 prosenttiin vuoteen 2035 mennessä. BIO30b-skenaariossa jakeluelvoitetta nostettaisiin jo alkaen vuodesta 2026 ripeästi siten, että velvoite olisi 30 % vuonna 2030. BIO40-skenaariossa jakeluelvoitetta nostettaisiin alkaen vuodesta 2026 siten, että velvoite olisi 34 % vuonna 2030 ja 40 % vuonna 2035. BIO20-skenaario vastaa aiemmin Markkasen & Lauhkonen (2021) tutkimaa BIO20-skenaariota, mutta BIO30b ja BIO40 -skenaariot eroavat aiemmin tutkituista siten, että niissä jakeluelvoitetta korotetaan aiemmin ja enemmän kuin BIO30 ja BIO34 skenaarioissa.

Viides tutkittava skenaario oli työkoneiden päästöjen politiikkaskenaario. Poliitiikkaskenaariosta käytetään nimitystä WAM-skenaario (With Additional Measures). Virallista WAM-skenaariota ei ollut mallinnettu WEM-skenaarion yhteydessä (Markkanen & Lauhkonen 2021). Hiilineutraali Suomi 2035 -hankkeessa ”HIISI” (Lehtilä et al. 2021), jossa tutkittiin ilmasto- ja energiapolitiikan toimia sekä vaikutuksia, tuotettiin työkooneille kuitenkin WAM-skenaario. Kyseinen skenaario pohjautui pitkälti Markkasen &

<sup>25</sup> Työkoneiden päästöjen perusennuste ja sähköistymisen vaikutus päästöihin

Lauhksen (2021) tuottamaan nopean sähköistymisen skenaarioon, jossa sähkötyökoneet yleistyvät nopeammin kuin WEM-skenaariossa johtuen nopeammasta teknologisesta kehityksestä sekä markkinadiffuusiosta. Lehtilän ja muiden (2021) WAM-skenaariossa työkoneille oli lisäksi oletettu biopolttoöljyn jakeluelvoitteen nosto 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä, mikä on sama kuin BIO30b-skenaariossa. Näin koostettu WAM-skenaario vastaa täten nopean sähköistymisen skenaarion sekä BIO30b-skenaariion yhdistelmää.

Tarkasteltujen skenaarioiden biopolttoöljyn jakeluelvoitteen eri tasot on esitetty taulukossa 1 osuutena jakeluelvoitteen piirissä myydyn polttoöljyn energiasisällöstä.

Tieliikenteen skenaariona käytettiin WEM-skenaariota kaikissa muissa tapauksissa paitsi työkoneiden WAM-skenaariotarkastelussa. Tieliikenteen polttoaineiden ja kokonaisenergiankulutus huomioitiin, kun tarkasteltiin tieliikenteen ja työkoneiden yhteenlaskettua dieselin kysyntää sekä uusiutuvan energian osuuksia kokonaisenergiankäytöstä. Tieliikenteen WEM-skenaario vastaa Fossiilittoman liikenteen tiekarttatyössä tuotettua perusennustetta (päivätty 20.9.2021), jossa tieliikenteen jakeluelvoite on nykyisen lainsäädännön mukainen 30 % vuonna 2030. Lainsäädännöstä poiketen biokaasua ei ole sisällytetty tieliikenteen jakeluelvoitteeseen WEM-skenaariossa, sillä WEM-skenaarioon on sovittu sisällytettävien ennen 1.1.2020 sovitut tieliikenteen päästövähennystoimenpiteet. Tieliikenteen WAM-skenaario vastaa Fossiilittoman liikenteen tiekartan tavoiteskenaariota (päivätty 29.10.2021), jossa liikenteen khk-päästöt puolittuvat vuoteen 2030 mennessä. Tieliikenteen WAM-skenaariossa jakeluelvoite on tavoitellun mukaisesti 34 % vuonna 2030 sisältäen biokaasulla toteutettu 4 % korotuksen jakeluelvoitteeseen.

**Taulukko 1.** Biopolttoöljyn jakeluelvoitteen tasot tarkastelluissa skenaarioissa.

Vuosi	WEM	BIO20	BIO30b	BIO40	WAM
2021	3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %
2022	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,0 %
2023	5,0 %	5,0 %	5,0 %	5,0 %	5,0 %
2024	6,0 %	6,0 %	6,0 %	6,0 %	6,0 %
2025	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %	7,0 %
2026	8,0 %	8,0 %	11,6 %	12,4 %	11,6 %
2027	9,0 %	9,0 %	16,2 %	17,8 %	16,2 %
2028	10,0 %	10,0 %	20,8 %	23,2 %	20,8 %



Vuosi	WEM	BIO20	BIO30b	BIO40	WAM
2029	10,0 %	11,0 %	25,4 %	28,6 %	25,4 %
2030	10,0 %	12,0 %	30,0 %	34,0 %	30,0 %
2031	10,0 %	13,0 %	30,0 %	35,2 %	30,0 %
2032	10,0 %	14,0 %	30,0 %	36,4 %	30,0 %
2033	10,0 %	16,0 %	30,0 %	37,6 %	30,0 %
2034	10,0 %	18,0 %	30,0 %	38,8 %	30,0 %
2035	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	30,0 %
2036	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	30,0 %
2037	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	30,0 %
2038	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	30,0 %
2039	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	30,0 %
2040	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	30,0 %

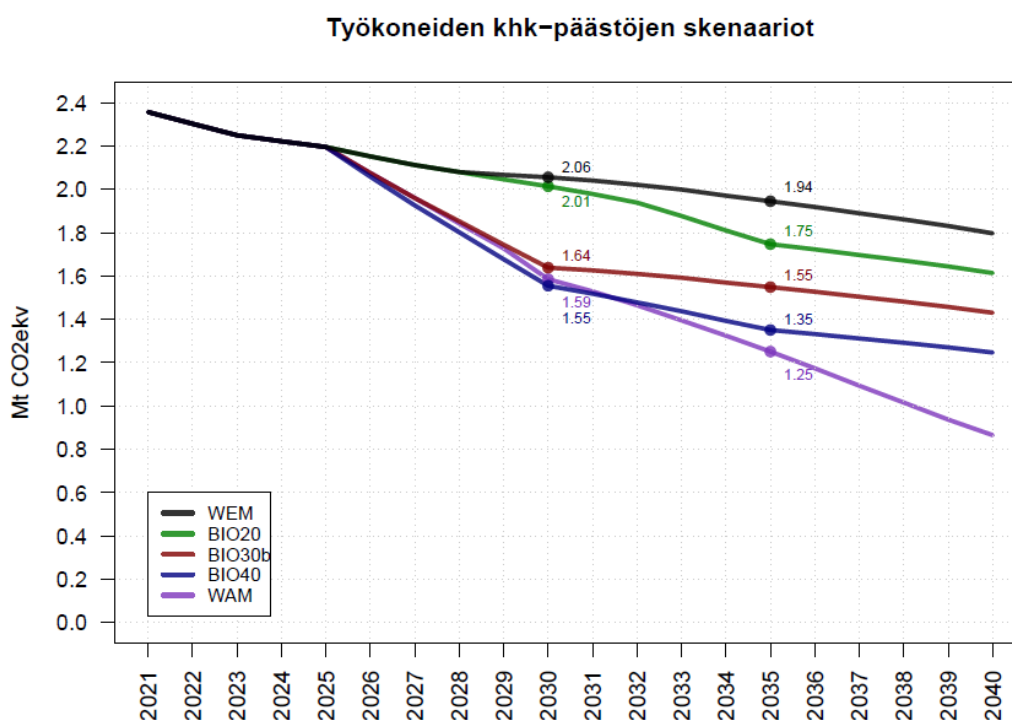
Biopolttoöljyn jakeluvaihteen noston vaikutuksia on tarkasteltu niin työkoneiden kuin tieliikenteen näkökulmasta. Työkoneiden polttoaineen kulutuksesta valtaosa, 90 m-% (massaprosenttia), on polttoöljyä, mikä vastaa laadultaan tieliikenteen käyttämää dieselpolttoainetta. Täten tieliikenteen ja työkoneiden jakeluvaihteiden täyttämiseksi kilpaillaan samasta uusiutuvasta raaka-aineesta eli bioperäisestä dieselistä. Suomessa jaeltujen biopolttoaineiden tuotannossa käytetyt raaka-aineet eivät ole julkista tietoa, joten analyysi ei ota kantaa siihen mistä raaka-aineesta bioperäinen diesel on valmistettu, vaikka tieliikenteen biopolttoaineiden jakeluvaihte sisältääkin lisävaihteen kehittyneelle dieselille. Analyysissä on oletettu bioperäisen dieselin olevan nk. uusiutuvaa dieseliä eli HVO-dieseliä.

Kuten kappaleen alussa todettiin kuuluvat moottoripolttoöljy sekä lämmityspolttoöljy tämän hetken tilanteen mukaisesti samaan veroluokkaan. Tämän takia eri biopolttoöljyn jakeluvaihteen skenaarioiden vastaavia biopolttoöljymäärien arvioimisessa tulee huomioida kaikki kevyen polttoöljyn käyttö. Tämä tarkastelu tehdään kappaleessa 5.6.

## 5.4 Työkoneiden kasvihuonekaasupäästöt

Työkoneiden kasvihuonekaasupäästöihin (khk-päästöt) lasketaan fossiilista alkuperää oleva hiilidioksidipäästö (CO<sub>2</sub>) sekä metaani- (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli- (N<sub>2</sub>O) päästöt alkuperää huomioimatta. Metaanin ja typpioksiduulin osuus työkoneiden kaikista khk-päästöistä päästöistä tarkastelun aikajaksolla on merkityksetön (<0,5 %) verrattuna fossiilisiin hiilidioksidipäästöihin. Sähkökulutuksen päästöt on laskettu nolaksi, kun tarkastellaan työkoneiden suoria päästöjä; elinkaaritarkastelussa tulisi ottaa huomioon myös sähkön alkuperän päästöt.

**Kuva 6.** Työkoneiden khk-päästöjen kehitys tarkastelluissa skenaarioissa vuoteen 2040.



Työkoneiden khk-päästöt kuuluvat taakanjakosektorin päästöihin, joiden päästövähennystavoite Suomelle on Komission ehdotuksen mukaisesti -50 % vuodelle 2030 verrattuna vuoden 2005 tasoon. Työkoneiden khk-päästöt olivat vuonna 2005 noin 2,59 Mt CO<sub>2</sub>ekv. Vuoden 2021 arvioidut päästöt ovat noin 2,36 Mt CO<sub>2</sub>ekv. WEM-skenaariossa päästöt vähenevät hitaasti ollen 2,06 Mt CO<sub>2</sub>ekv vuonna 2030 ja 1,94 Mt CO<sub>2</sub>ekv vuonna 2035 (Kuva 6). WEM-skenaariossa suhteelliset khk-päästövähennykset vuosina 2030 ja 2035 verrattuna vuoteen 2005 ovat -20,7 % ja -25,0 %.

Biopolttoöljyn jakeluelvoitteen nosto nykyisestä vähentää työkoneiden fossiilista alkuperää olevia CO<sub>2</sub>-päästöjä. BIO20-skenaariossa vastaavat khk-päästövähennykset ovat vain hieman WEM-skenaariota suuremmat: -22 % ja -33 %. BIO30b ja BIO40 -skenaarioissa jakeluelvoitteen nostolla aikaansaadaan suuremmat päästövähennykset. BIO30b-skenaariossa vastaavat päästövähennykset ovat -37 % ja -40 %, kun BIO40-skenaariossa vastaavat päästövähennykset ovat -40 % ja -48 % verrattuna vuoteen 2005.

**Taulukko 2.** Työkoneiden khk-päästöjen vähenemä verrattuna vuoden 2005 tasoon tarkastelluissa skenaarioissa.

Jakeluelvoite-skenaario	Päästövähennys (Mt CO <sub>2</sub> ekv) 2030	Päästövähennys (Mt CO <sub>2</sub> ekv) 2035
WEM	-0,54 (-21 %)	-0,65 (-25 %)
BIO20	-0,58 (-22 %)	-0,85 (-33 %)
BIO30b	-0,96 (-37 %)	-1,04 (-40 %)
BIO40	-1,04 (-40 %)	-1,24 (-48 %)
WAM	-1,01 (-39 %)	-1,34 (-52 %)

BIO20-skenaariossa maltillisella jakeluelvoitteen nostolla saataisiin aikaan vuonna 2030 0,04 Mt CO<sub>2</sub>ekv ja vuonna 2035 0,20 Mt CO<sub>2</sub>ekv lisäpäästövähennys verrattuna WEM-skenaariossa. Lyhyen aikavälin päästövähennykset tulevat olemaan kriittisempiä, mikäli taakanjakosektorin päästövähennystavoite kiristyy nykyisestä. BIO30b ja BIO40 -skenaarioissa saadaan merkittävästi suurempia lisäpäästövähennyksiä (0,42 ja 0,50 Mt CO<sub>2</sub>ekv vuonna 2030; 0,40 ja 0,59 Mt CO<sub>2</sub>ekv vuonna 2035) lyhyellä aikavälillä kuin BIO20-skenaariossa. Jakeluelvoitteen nostolla aikaansaatu lisäpäästövähennys voi pienentyä pitkän aikavälin tarkastelussa (kuten esimerkiksi BIO30b-skenaariossa tapahtuu), vaikka jakeluelvoite pysyisi tietyllä tasolla, sillä kulutetun polttoaineen absoluuttisen määrän vähentyessä myös biopolttoaineella aikaansaatu absoluuttinen päästövähennys pienenee.

WAM-skenaariossa päästöt vähenevät eniten kaikista tarkastelluista skenaarioista: lisäpäästövähennys vuonna 2030 0,47 Mt CO<sub>2</sub>ekv ja vuonna 2035 0,69 Mt CO<sub>2</sub>ekv verrattuna WEM-skenaarioon. WAM-skenaariossa päästövähennykseen on vaikuttanut jakeluelvoitteen lisäksi työkoneiden nopeampi sähköistyminen. Lyhyellä aikavälillä vuoteen 2035 tarkasteltuna khk-päästöjen kehitys BIO40 ja WAM-skenaarioissa vastaa pitkälti toisiaan, vaikka WAM-skenaariossa jakeluelvoite on pienempi kuin BIO40-skenaariossa. Sähkötyökoneiden yleistymisen nopeutuminen vähentäisi painetta korottaa jakeluelvoitetta päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Pitkällä aikavälillä vuoteen 2040 tarkasteltuna WAM-skenaariossa päästövähennys kasvaa

jopa -67 %:iin verrattuna vastaavan biojakeluelvoitteen skenaarioon BIO30b:en, missä päästövähennys on -45 % vuonna 2040 verrattuna vuoteen 2005. Sähköistyminen vähentää polttoaineen kysyntää, vaikkakin työkoneissa bensiinin kysyntä vähennee suhteessa nopeammin kuin polttoöljyn kysyntä, kun polttoöljyn käyttö painottuu raskaampiin työkoneityyppeihin, joiden sähköistäminen on teknologisesti haastavampaa.

Jakeluelvoitteen nostolla voi olla myös epäsuoria, khk-päästöjä lisääviä vaikutuksia. Mikäli velvoitetason nosto toteutettaisiin yleisellä jakeluelvoitteella, tarkoittaa se HVO-polttoaineiden käytön/kysynnän lisääntymistä Suomessa eikä raaka-aineiden syrjäytysvaikutuksilta voida varmuudella välttyä (Sipilä et al. 2021). Vaikka jakeluelvoitteen nosto vähentää suoria khk-päästöjä Suomessa, voi se raaka-aineiden tuotannon kautta lisätä maankäytön muutoksista aiheutuvia päästöjä globaalisti. Vuonna 2021 valmistuneen selvityksen suosituksen mukaan ainakin osa velvoitetason nostosta tulisi toteuttaa lisävelvoitteella, jotta mahdolliset syrjäytysvaikutukset minimoitaisiin (Sipilä et al. 2021). Lisävelvoitteen kustannukset ovat yleisvelvoitetta korkeammat, mutta se tukisi kotimaisten raaka-aineiden käyttöä (Sipilä et al. 2021).

## 5.5 Kevyen polttoöljyn kokonaismäärä

Tulevaa kehitystä kevyen polttoöljyn kokonaismäärän osalta arvoitiin historiallisen kehityksen (Tilastokeskus), TYKO-mallinnusten ja HIISI-skenarioiden avulla. HIISI:n mukaan (taulukko 3) työkoneiden CO<sub>2</sub> päästöt olisivat vuonna 2040 1,8 Mt WEM skenaariossa ja 0,8 Mt WAM skenaariossa. Rakennusten lämmitykselle luvut ovat vastaavasti 0,6 Mt ja 0,3 Mt. Olettaen, että nämä päästöt syntyvät ainoastaan kevyestä polttoöljystä (fossiilisen ja biokomponentin sekoituksesta), likimääräisiksi polttoainemääräksi muutettuna luvut vastaavat työkoneilla lukuja 600 ja 350 kt polttoaineseosta/a ja lämmityskäytössä lukuja 200 ja 140 kt polttoaineseosta/a.

Kevyen polttoöljyn muulle käytölle kuin työkone- ja lämmityskäytöt ei suoraan löydy ennusteita. Hallitus tavoittelee nopeaa luopumista polttoöljyn käytöstä lämmityksessä<sup>26</sup>, joten jatkossa käyttö kohdistuu enenevässä määrin työkoneisiin.

Tältä pohjalta on muodostettu arviot polttoöljyseoksen (fossiilinen + bio-osuus) kokonaismäärästä WEM ja WAM skenaarioissa vuoteen 2040. Lämmityskäytön ja muun käytön polttoainemäärien oletetaan kehittyvän lineaarisesti aikavälillä 2020–2040.

<sup>26</sup> <https://ym.fi/oljylammityksesta-luopuminen>

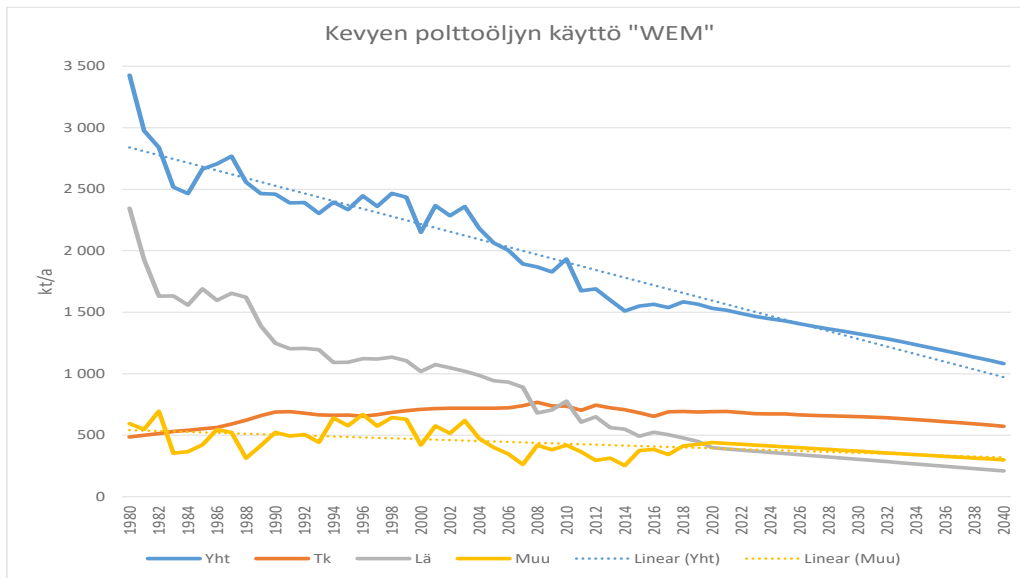
WEM polttoöljymäärät on esitetty kuvassa 7 ja WAM määrät kuvassa 8. Polttoöljyseoksen kokonaismäärät olisivat vuonna 2040 noin 1 100 kt WEM:issä ja noin 700 kt WAM:issa. Historialliseen kehitykseen verrattuna WEM luku on hieman trendiä suurempi, WAM luku taas pienempi.

**Taulukko 3.** HIISI-raportin mukaiset sektorikohtaiset CO<sub>2</sub>ekv päästöt (Lehtilä ym. 2021)

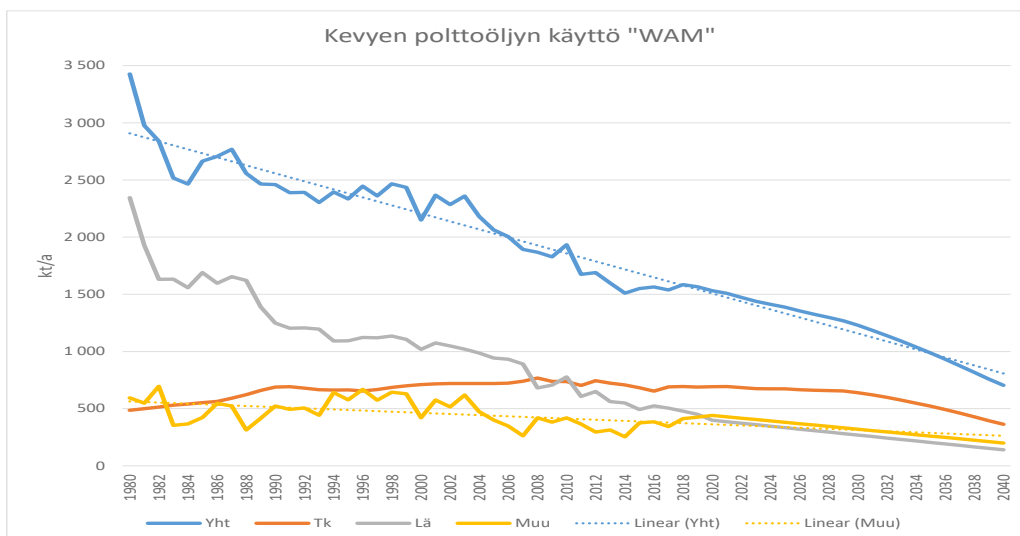
<b>WEM – Sektorit</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>
Kotimaan liikenne pl. Avia	12,7	12,5	10,8	10,5	8,6	7,2	6	5
Työkoneet	2,6	2,5	2,4	2,4	2,2	2,1	1,9	1,8
Rakennusten lämmitys	4,5	4,2	3,2	2,4	2,1	1,7	1,3	0,6
Muut energiaperäiset	3,3	3,1	2,6	2,8	3	3	2,8	2,7
F-kaasut	1,2	1,4	1,4	1,1	0,9	0,5	0,3	0,2
Muut prosessit ja tuotteet	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Maatalous	6,5	6,6	6,5	6,3	6,3	6,3	6,2	6,1
Jätteiden käsittely	3,1	2,9	2,3	1,8	1,3	1,2	1	0,8
<b>Taakanjakosektori yhteensä</b>	<b>34,4</b>	<b>33,7</b>	<b>29,9</b>	<b>27,8</b>	<b>24,9</b>	<b>22,5</b>	<b>20,1</b>	<b>18</b>
Päästökaupasektori	35,5	42,1	25,3	20,6	17,9	15,8	13,5	10,6
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>69,9</b>	<b>75,8</b>	<b>55,2</b>	<b>48,5</b>	<b>42,8</b>	<b>38,3</b>	<b>33,5</b>	<b>28,5</b>
<b>WAM – Sektorit</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>
Kotimaan liikenne pl. Avia	12,7	12,5	10,8	10,5	7,9	5,6	3,5	1,5
Työkoneet	2,6	2,5	2,4	2,4	1,9	1,4	1	0,8
Rakennusten lämmitys	4,5	4,2	3,2	2,4	1,9	1	0,5	0,3
Muut energiaperäiset	3,3	3,1	2,6	2,8	2,7	1,9	2,3	2,4
F-kaasut	1,2	1,4	1,4	1,1	0,6	0,2	0,1	0,1
Muut prosessit ja tuotteet	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Maatalous	6,5	6,6	6,5	6,3	6,1	5,7	5,6	5,4
Jätteiden käsittely	3,1	2,9	2,3	1,8	1,2	1	0,8	0,7
<b>Taakanjakosektori yhteensä</b>	<b>34,4</b>	<b>33,7</b>	<b>29,9</b>	<b>27,8</b>	<b>22,8</b>	<b>17,3</b>	<b>14,4</b>	<b>11,8</b>

WEM – Sektorit	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Päästökaupasektori	35,5	42,1	25,3	20,6	13,5	11,3	6,6	2,5
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>69,9</b>	<b>75,8</b>	<b>55,2</b>	<b>48,5</b>	<b>36,3</b>	<b>28,6</b>	<b>21</b>	<b>14,3</b>

**Kuva 7.** Kevyen polttoöljyn käyttö WEM perusskenaariossa (arvio).



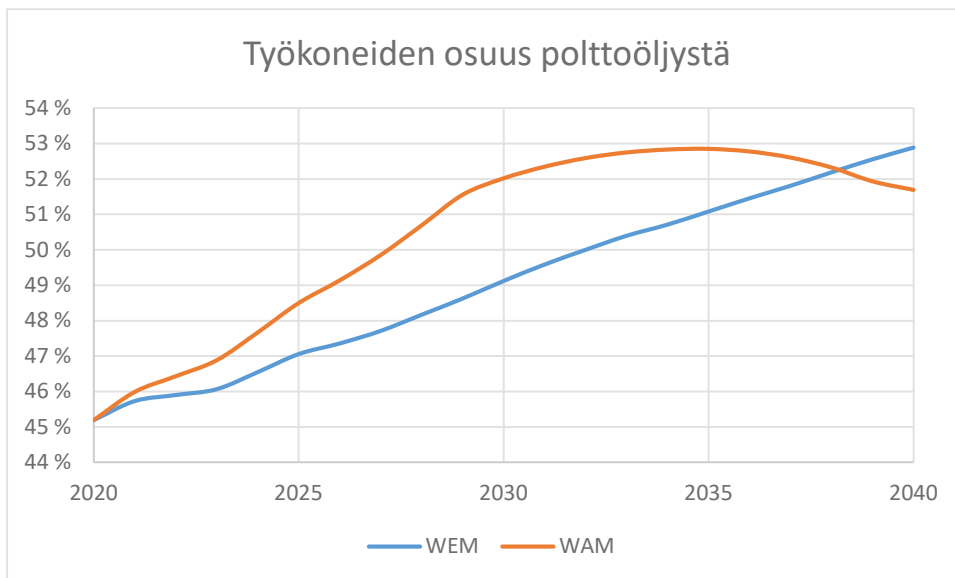
**Kuva 8.** Kevyen polttoöljyn käyttö WAM politiikkaskenaariossa (arvio).



Suomessa työkoneiden polttoöljyn kysyntä on ollut melko tasaista viimeisen vuosikymmenen. WEM-skenaariossa työkoneiden polttoöljyn kysyntä vähenee suhteessa hitaammin kuin tieliikenteen. Lämmityksessä kevyen polttoöljyn käyttö on vähentynyt jyrkästi ja vähenee edelleen. Polttoöljyn muu käyttö noudattaa likimain työkonekäytön kehitystä.

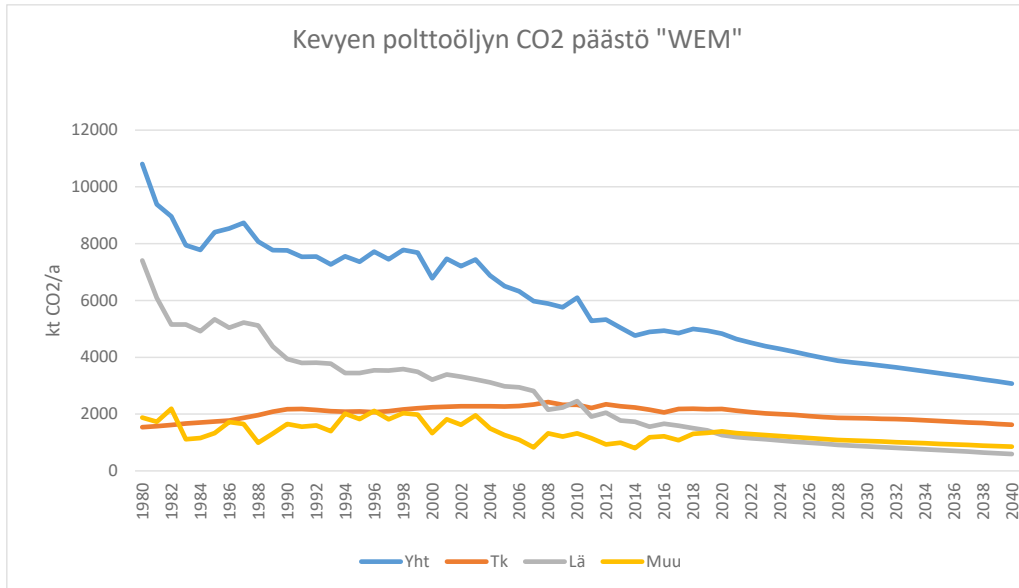
Kuvassa 9 on arvioitu työkoneiden arvioitu osuus kevyen polttoöljyn käytöstä. Osuus nousee 45 %:sta vuonna 2020 52–53 %:iin vuonna 2040.

**Kuva 9.** Työkonekäytön arvioitu osuus kevyen polttoöljyn kokonaismäärästä.

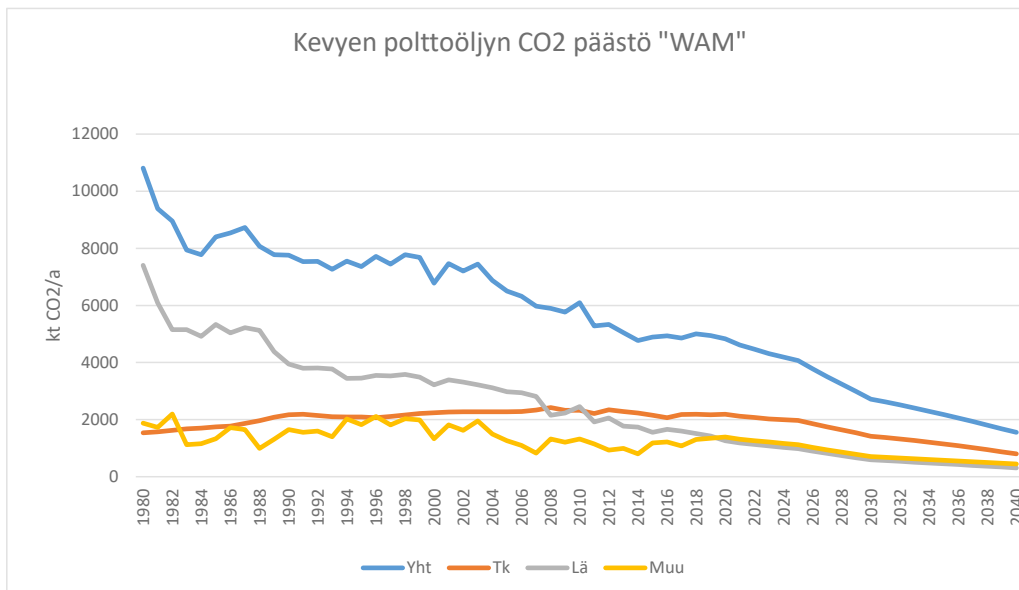


Kuvassa 10 on arvio kevyen polttoöljyn CO<sub>2</sub> päästöjen kehityksestä WEM-skenaariossa (10 % bio) ja kuvassa 11 kehityksestä WAM-skenaariossa (30 % bio).

**Kuva 10.** Kevyen polttoöljyn CO<sub>2</sub> päästö WEM-skenaariossa (10 % biopitoisuudella).



**Kuva 11.** Kevyen polttoöljyn CO<sub>2</sub> päästö WAM-skenaariossa (30 % biopitoisuudella).





## 5.6 Biopolttoaineiden kysyntä

Biopolttoaineiden kysyntä on suurta, sillä tieliikenteen, työkoneiden ja lämmityksen lisäksi uusiutuvilla polttoaineilla halutaan vähentää myös meriliikenteen ja lentoliikenteen fossiilisia kasvihuonekaasupäästöjä. Uusiutuvien polttoaineiden markkinat ovat vahvasti tarjontarajoitteiset ja kestävyyshierarkian suosituksen mukaisesti biopolttoaineiden ensisijaisempia käyttökohteita olisi raskas liikenne sekä kaukoliikenne kevyen henkilöliikenteen sijaan (Sipilä et al. 2021). Mikäli EU:n 55-valmiuspaketin ehdotukset lentopolttoaineiden sekoitevelvoitteesta (ReFuelEU Aviation) ja meriliikenteen uusiutuvien polttoaineiden käytön lisäämisestä (ReFuelEU Maritime) toimeenpannaan, tarkoittaa se yhä kiihtyvää kilpailua biopolttoaineista seuraavien vuosikymmenten aikana päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Tarjontarajoitteisilla markkinoilla näiden EU-ehdotusten voidaan olettaa vaikuttavan kohottavasti myös työkoneissa, lämmityksessä ja tieliikenteessä käytettävän uusiutuvan dieselin/polttoöljyn hintaan. Paketissa on mainittu myös mm. tieliikenteen ja rakennusten erillislämmityksen päästökauppa, lentoliikenteen päästökaupan kiristäminen sekä lento- ja meriliikenteen polttoaineiden verottaminen.

Kuvissa 12–16 on tarkasteltu tieliikennedieselin ja kevyen polttoöljyn yhteenlaskettuja uusiutuvien/biokomponenttien määriä. Tarkastellut tapaukset (kohdan 5.3 mukaisesti) on esitetty taulukossa 4. Kuvissa kunkin käyttökohteen kuluttama polttoainemäärä on ko. käyttökohteen viivan ja alapuolella olevan käyttökohteen viivan väliin jäävä määrä. Näin ollen kokonaismäärä on ”muu bio”-viivan alle jäävä määrä.

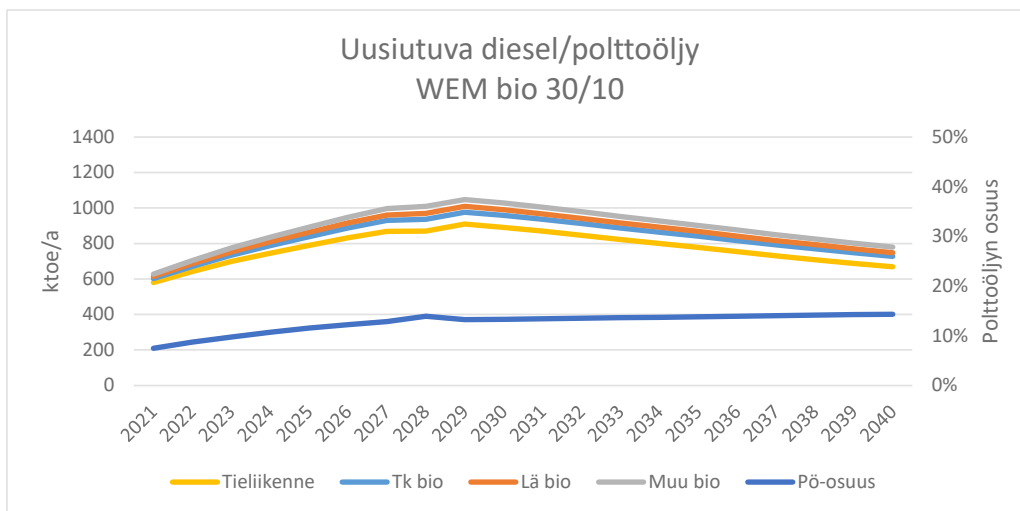
**Taulukko 4.** Tarkastellut skenaariot (energiaosuudet) tieliikenteen ja kevyen polttoöljyn biokomponenttimäärille.

Skenaario	Tieliikenne (%)	Kevyt polttoöljy (%)
WEM	30	10
BIO20	30	20
BIO30b	30	30
BIO40	30	40
WAM	34	30

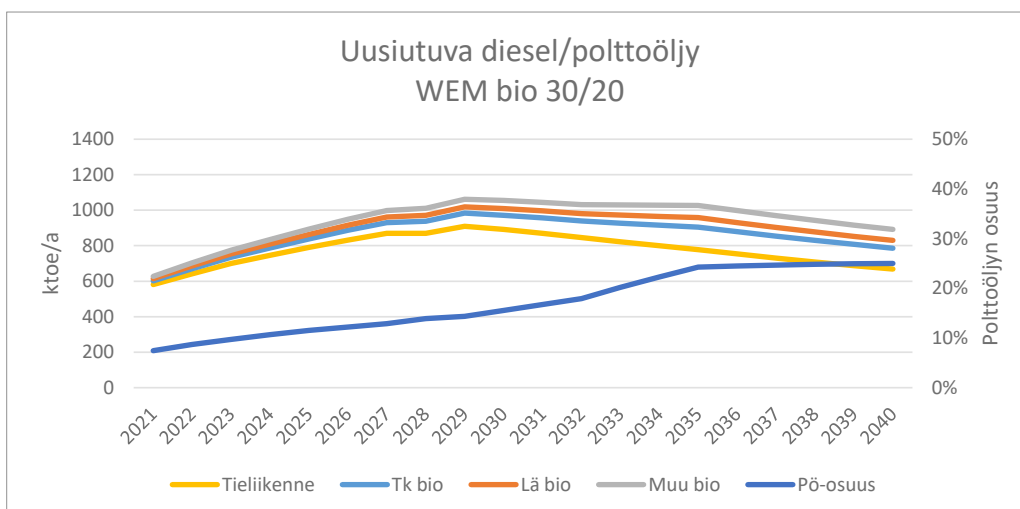
Biopolttoöljyn jakeluvaihteen noston vaikutuksia on siis tarkasteltu suhteessa tieliikenteen biopolttoainemääriin. Työkoneiden polttoaineen kulutuksesta valtaosa, 90 % (massaprosenttia), on polttoöljyä, mikä vastaa laadultaan tieliikenteen käyttämää

dieselpolttoainetta. Täten tieliikenteen ja työkoneiden ja yleensäkin polttoöljyn jakeluvelvoitteiden täyttämiseksi kilpaillaan samasta tuotteesta eli bioperäisestä dieselistä. Suomessa jaeltujen biopolttoaineiden tuotannossa käytetyt raaka-aineet eivät ole julkista tietoa, joten analyysi ei ota kantaa siihen mistä raaka-aineesta bioperäinen diesel on valmistettu, vaikka tieliikenteen jakeluvelvoite sisältääkin velvoitteen edistyksellisille biopolttoaineille (lisävelvoite). Analyysissä on oletettu bioperäisen dieselin olevan nk. uusiutuvaa dieseliä eli HVO-dieseliä.

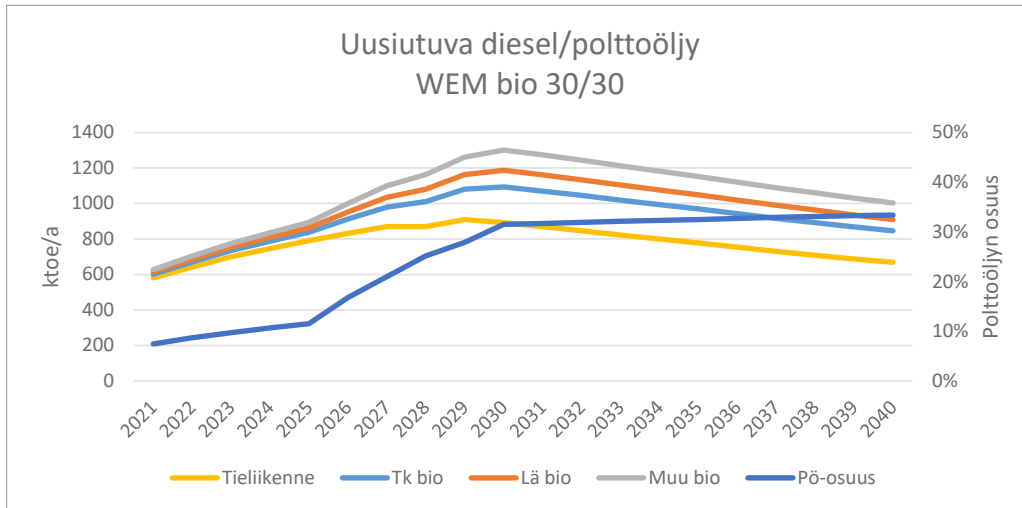
**Kuva 12.** Uusiutuvien komponenttien tarve WEM 30/10, muut käyttökohteet yksitellen tieliikenteeseen lisäten. Kokonaismäärä on "muu bio"-viivan alle jäävä määrä.



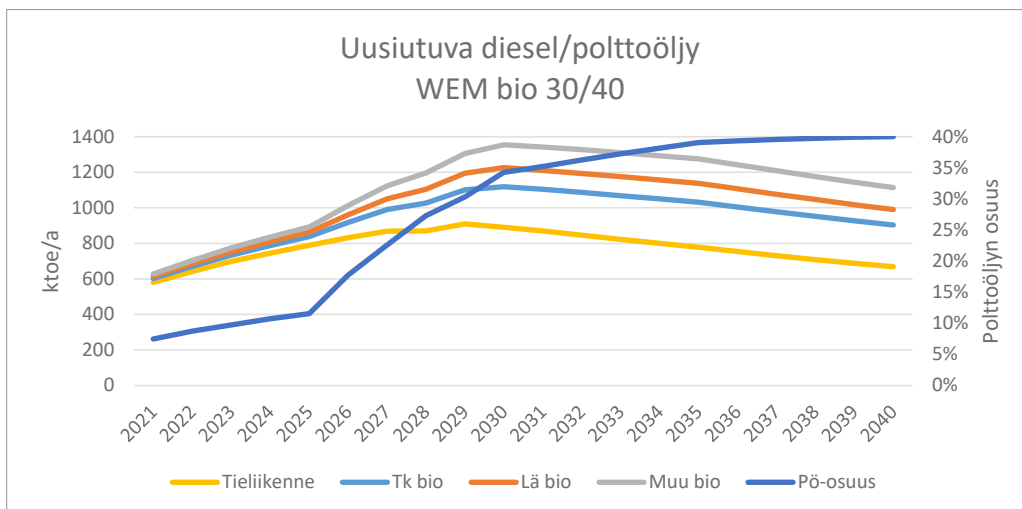
**Kuva 13.** Uusiutuvien komponenttien tarve WEM 30/20, muut käyttökohteet yksitellen tieliikenteeseen lisäten. Kokonaismäärä "muu bio"-viivan alle jäävä määrä.



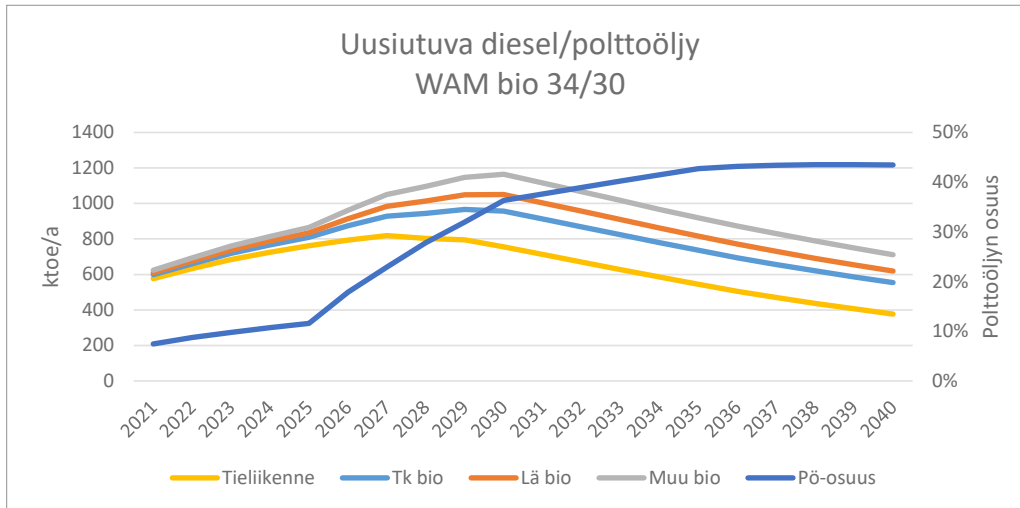
**Kuva 14.** Uusiutuvien komponenttien tarve WEM 30/30b, muut käyttökohteet yksitellen tieliikenteeseen lisäten. Kokonaismäärä on "muu bio"-viivan alle jäävä määrä.



**Kuva 15.** Uusiutuvien komponenttien tarve WEM 30/40, muut käyttökohteet yksitellen tieliikenteeseen lisäten. Kokonaismäärä on "muu bio"-viivan alle jäävä määrä.



**Kuva 16.** Uusiutuvien komponenttien tarve WAM 34/30, muut käyttökohteet yksitellen tieliikenteeseen lisäten. Kokonaismäärä on ”muu bio”-viivan alle jäävä määrä.



”Perus-WEM”-skenaariossa (30/10) yhteenlaskettu uusiutuvien komponenttien tarve on enimmillään 1 048 kt/a (2029). Jos tieliikenteen velvoite pidetään 30 %:ssa mutta polttoöljyn velvoite nostetaan 40 %:iin, tarve on enimmillään 1 355 kt/a (2030).

WAM-skenaariossa sähköistyminen ja energiatehokkuuden parantuminen laskevat polttoaineiden tarvetta sekä tieliikenteessä että työkoneissa. Tieliikenteen velvoitteen ollessa 34 % ja polttoöljyn 30 % uusiutuvia komponentteja tarvitaan enimmillään 1 185 kt/a (2030).

Dieselissä ja kevyessä polttoöljyssä uusiutuvien polttoaineiden kokonaistarpeen ollessa noin 1 050–1 350 kt/a, tieliikenteen osuus on enimmillään noin 800–900 kt/a ja polttoöljyn noin 430–500 kt/a. Tieliikenteessä tarve on suurimmillaan WEM-skenaariossa vuonna 2029 (909 kt/a), ja polttoöljyssä WEM/BIO40 skenaariossa vuonna 2035 (499 kt/a). Tarvehuiput osuvat tieliikenteessä ja polttoöljyn käytössä eri vuosille, ja tämä tarkoittaa sitä, että polttoöljyn velvoiteosuuden vaikutus tarvittavien uusiutuvien komponenttien maksimimäärään vuositasolla jonkin verran laimenee. Isoimmillaan uusiutuvien polttoaineiden tarve tieliikenteessä ja polttoöljyssä yhteensä olisi vuonna 2030, jolloin kokonaistarve olisi noin 1 350 kt/a. Tästä polttoöljyn uusiutuvien polttoaineiden jakelovelvoitteen osuus olisi noin 450 kt/a. Vuoden 2021 tasoon nähden kokonaismäärä on noin 2,3-kertainen, eli noin 750 kt vuodessa enemmän.

Jakelovelvoitteen noston, niin työkoneiden kuin tieliikenteen, aiheuttama biodieselin kysynnän kasvu ajoittuu hankalaan ajankohtaan vuosikymmenen vaihteessa: etenkin kehittyneiden biopolttoaineiden tarjonnan ei uskota kasvavan samassa suhteessa kysynnän kanssa, minkä ennustetaan johtavan niukkuuteen ja markkinahinnan nousuun.

vuoteen 2030 asti (Sipilä et al. 2021). Kansallisten regulaatioiden ja uusiutuvan energian direktiivin (RED II) velvoitetasojen uskotaan yhä nousevan seuraavina vuosina, mikä kiristäisi kilpailua uusiutuvista polttoaineista entisestään (Sipilä et al. 2021).

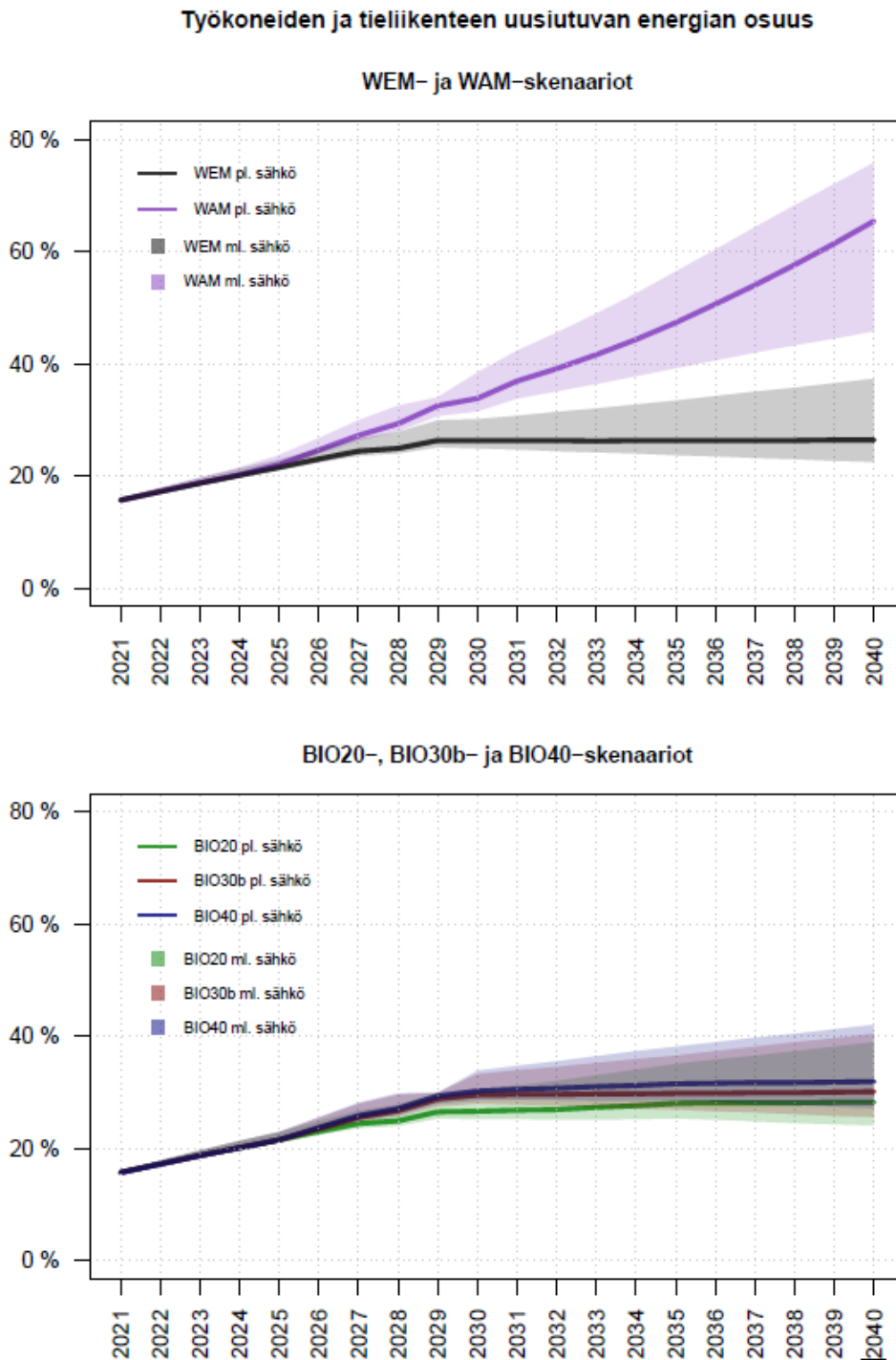
## 5.7 Uusiutuvan energian osuus

Suomen uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta vuonna 2020 oli 44,6 %, jonka myötä EU:n uusiutuvan energian direktiivissä asetettu Suomea sitova kansallinen kokonaistavoite 38 % vuodelle 2020 ylitettiin (Alm 2022). Esimerkiksi liikenteelle on asetettu direktiivissä 14 %:n tavoite liikenteen uusiutuvan energian käytölle vuoteen 2030 mennessä, mikä täyttyy jo nykyiselläkin tieliikenteen biopolttoaineiden jakeluelvoitteella (Alm 2022).

Työkoneiden jakeluelvoite vaikuttaa koko Suomen uusiutuvan energian osuuteen, mutta vaikutus on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi tieliikenteen jakeluelvoitteella; työkoneiden kuluttama diesel oli vuonna 2021 vajaan neljäsosan (23 %) työkoneiden ja tieliikenteen kuluttamasta dieselin kokonaismäärästä ja pysyy nykytasolla vielä WEM-skenaariossa vuoteen 2030 asti. Suhteessa tieliikenteen kulutukseen, työkoneiden käyttämän biopolttoaineen määrän lisäyksellä (biopolttoöljyn jakeluelvoitetta nostamalla) on pienempi merkitys uusiutuvan energian loppukulutukseen. Tämä huomioiden, jakeluelvoitteen noston vaikutusta uusiutuvan energian osuuteen analysoitiin laskemalla tieliikenteen ja työkoneiden käyttämien biopolttoaineiden yhteenlaskettu määrä eri skenaarioissa.

Tieliikenteen ja työkoneiden yhteenlasketun polttoaineiden energiankulutuksen uusiutuvan energian osuus on WEM-skenaariossa 26,5 % vuonna 2030 ja 26,6 % vuonna 2035, kun sähkönkulutusta ei huomioida laskennassa (Kuva 17). Uusiutuvan energian osuuden kasvu hidastuu WEM-skenaariossa, eikä nouse yli 27 %:n vielä vuonna 2040. Biopolttoöljyn jakeluelvoitteen nosto korottaa uusiutuvan energian osuutta noin 0,17–0,18 %-yksikköä jokaista jakeluelvoitteen nosto%-yksikköä kohden kaikissa skenaarioissa paitsi WAM-skenaariossa, jossa polttoaineiden uusiutuvan energian osuuden kasvua hallitsee ajoneuvojen ja työkoneiden sähköistyminen.

**Kuva 17.** Uusiutuvan energian osuus työkoneiden ja tieliikenteen yhteenlasketusta energi-ankulutuksesta tarkastelluissa skenaarioissa. Kulutetun sähkön alkuperän vaikutus on esitetty värillisenä alueena, jossa minimi kuvaa täysin fossiilista ja maksimi täysin uusiutuvaa sähköä.



RED II-direktiivin mukaisesti sähkönkulutus huomioidaan uusiutuvan energian osuuden laskennassa<sup>27</sup>. Sähkönkulutuksen huomioiminen uusiutuvan energian osuudessa muuttaa laskennan dynamiikkaa, sillä uusiutuvan energian osuus riippuu kulutetun sähkön alkuperästä.

Sähkön alkuperän vaikutus uusiutuvan energian osuuteen on esitetty kuvassa 17 laskemalla mahdolliset ääriarvot eli olettaen kaikki kulutettu sähkö joko täysin fossiiliseksi tai täysin uusiutuvaksi alkuperältään. Tällöin tulevaisuuden todennäköisin kehityspolku sijaitsee ääriarvojen välissä.

Kun sähkön kulutus huomioidaan uusiutuvan energian osuuden laskennassa fossiilisenä energiana, uusiutuvan energian osuus WEM-skenaariossa laskee 25,1 %:iin vuonna 2030 ja 24,0 %:iin vuonna 2035 (Kuva 17). Uusiutuvan energian osuus kääntyy siis laskuun jo vuoden 2030 jälkeen, jos kaikki kulutettu sähkö olisi fossiilista alkuperää ja sähkökäyttöisten ajoneuvojen ja työkoneiden määrä kasvaa ennakoitusti. Kun sähkön kulutus huomioidaan uusiutuvana energiana, uusiutuvan energian osuus kasvaa 30,1 %:iin vuonna 2030 ja 33,4 %:iin vuonna 2035.

Jakeluvuorituksen nosto korottaa uusiutuvan energian osuutta, mutta vaikutus jää hieman pienemmäksi (tilanteessa, jossa sähkö huomioidaan laskennassa) kuin tilanteessa, jossa sähköä ei huomioida energiankulutuslaskennassa lainkaan. BIO-skenaarioiden väliset erot ovat marginaalisia verrattuna WEM- ja WAM-skenaarioiden väliseen eroon. WAM-skenaario on ainoa skenaario, jossa uusiutuvan energian osuus jatkaa kasvua sähkön alkuperästä huolimatta. Kasvu johtuu energiatehokkaampien sähkökäyttöisten ajoneuvojen ja työkoneiden yleistymisestä, joiden vuoksi kokonaisenergiankulutus pienenee verrattuna WEM-skenaarioon. Jotta uusiutuvan energian osuus ei laske, täytyy tietyn osuuden kulutetusta sähköstä olla tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä. Tämän toteutumiseksi tarvitaan WEM- ja BIO-skenaarioissa vähintään 25 % uusiutuvaa sähköä kulutetusta sähköstä.

---

27 EU 2018/2001: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>

## 5.8 Kevyen polttoöljyn hinta

### 5.8.1 Hinnanmuodostus

Biopolttoöljyn jakeluvelvoitetta voi täyttää monesta eri raaka-aineesta valmistetulla biodieselillä, joiden raaka-ainekustannukset vaihtelevat. Raaka-aineen globaali kysyntä ja tarjonta vaikuttavat merkittävästi biopolttoaineen hintaan. Kysynnän ja tarjonnan suhde voi muuttua äkisti myös sodan vuoksi: vuoden 2022 alkupuolella polttoaineiden hinnat nousivat jyrkästi johtuen Venäjän Ukrainaan tekemästä hyökkäyksestä. Polttoaineen hinnanmuodostusta ja tulevaa hintakehitystä ei ole tästä syystä ei ole järkevää tarkastella nykytilanteen (huhtikuu 2022) perusteella. Tässä raportissa hintatarkastelut tehtiin loka/marraskuussa 2021 vallinneeseen ”normaaliin” tilanteeseen pohjautuen.

Menettelyä puoltaa myös Sipilän ja muiden 3.12.2021 julkaistu tieliikenteen jakeluvelvoitteen tason nostoa koskeva raportti. Raportin laativat AFRY Management Consulting Oy ja TEC TransEnergy Consulting Oy syksyn 2021 aikana Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM), Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) ja Ympäristöministeriön (YM) toimeksiannosta. Raportissa esitetään arvioita uusiutuvien polttoaineiden hintakehityksestä, saatavuudesta ja velvoitetason noston taloudellisista vaikutuksista. Raportissa esitetty data soveltuu näin ollen käytettäväksi myös nyt käsillä olevan työn arvioinneissa polttoöljyn velvoitetason noston taloudellisista vaikutuksista.

Polttoöljyn/dieselin biokomponentiksi on oletettu parafiininen HVO-komponentti, mitä käytetään tällä hetkellä pääosin tieliikenteessä. Työkoneissa käytettävän polttoaineen laatuvaatimukset ovat käytännössä yhtenevät tieliikenteen kanssa, jolloin käytettävän biokomponentin tulee olla laadultaan myös parafiinista HVO-komponenttia vastaavaa. Biodieselin tarkkojen raaka-ainetietojen ollessa liikesalaisuuksia, ei hintatarkastelussa voitu ottaa kantaa siihen, mistä raaka-aineesta tarkastelun biodiesel on valmistettu. Täten biokomponentin mahdollista hintavaihtelua ei ole mahdollista ottaa erikseen huomioon, vaikka eri biokomponenttien hinnat voivat olla merkittävän suuria: esimerkiksi kehittyneen dieselin hinta on Sipilän ja muiden (2021) hintaskenaarioissa vuoteen 2030 merkittävästi HVO-dieseliä suurempi.



## Kuluttajahinnan purku komponenteittain

Polttoaineiden kuluttajahinnat (pumppuhinnat, vähittäismyyntihinnat) muodostuvat seuraavista komponenteista:

- polttoaineen tukkuhinta sisältäen jalostuksen katteet
  - huomioitava erikseen fossiilisen ja uusiutuvan komponentin hinnat ja osuudet
- jakelukustannukset ja jakelun katteet
- energiaverot
- arvonlisävero

Arvonlisävero kannetaan myös energiaveroista, joten järjestelmä sisältää veroa verosta elementin.

Tilastokeskuksen mukaan polttoaineiden kuluttajahinnat marraskuussa 2021 olivat<sup>28</sup>:

- moottoribensiini E10: 1,89 €/l
- dieselöljy: 1,70 €/l
- kevyt polttoöljy 1,15 €/l

Polttoaineiden ja polttoainekomponenttien tukkuhintoja voidaan arvioida energiayhtiöiden tulosjulkistusten ja erilaisten tilastojen pohjalta. Tässä tarkastelussa tukeuduttiin mm. Nesteen kolmanteen neljännesvuosiraporttiin vuodelta 2021 (Q3/2021)<sup>29</sup>. Raportti antaa seuraavat luvut:

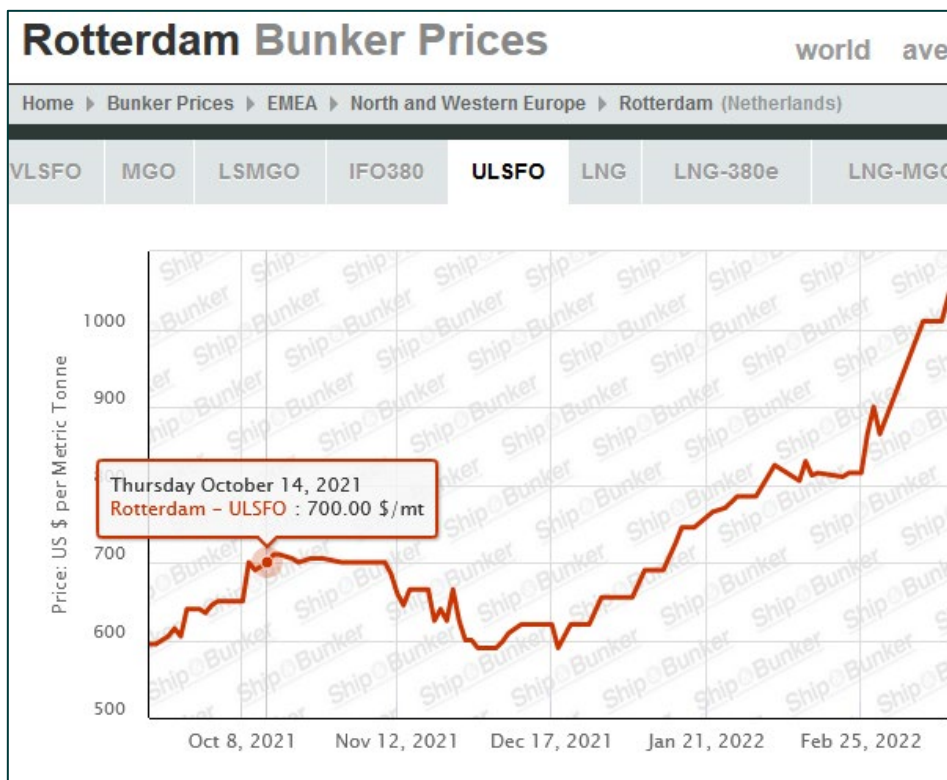
- öljytuotteet:
  - myyntimäärä 2,7 Mt
  - liikevaihto 2 148 M€
  - hinta keskimäärin 795 €/t
- uusiutuvat tuotteet
  - myyntimäärä 772 kt
  - liikevaihto 1 503 M€
  - hinta keskimäärin 1 947 €/t

<sup>28</sup> [Energian hinnat – Tilastokeskus \(stat.fi\)](#)

<sup>29</sup> <https://www.neste.fi/konserni/sijoittajat/taloustietoa/tulosjulkistukset>

Rikitön kevyt polttoöljy maksoi Rotterdamissa loka-marraskuussa 2021 600–700 USD/t, eli 520–600 €/t (kuva 18).

**Kuva 18.** Rikittömän kevyen polttoöljyn hinta Rotterdamissa<sup>30</sup>.



Laskennassa käytettiin seuraavia bulkkihinta-arvioita:

- fossiilinen dieselkomponentti: 560 €/t (0,459 €/l)
- uusiutuva dieselkomponentti: 1 950 €/t (1,521 €/l)

Vuonna 2021 tieliikenteen jakeluelvoite oli 18 % (energiaperusteisesti, ei tuplalas-kentaa). Koska bensiinin bio-osuus energiana on enintään 7 % (E10), dieselpolttoai-neeseen joudutaan lisäämään keskimääräistä tavoitetasoa korkeampi osuus uusiutu-vaan komponenttiin. Huomioiden bensiinin ja dieselin kulutussuhteet, vuonna 2021 die-selin keskimääräinen laskennallinen tilavuuspohjainen bio-osuus on 24,6 %. Kevy-essä polttoöljyssä jakeluelvoite 2021 on energiana 3 %, mikä tilavuusosuutena on 3,2 % (uusiutuva dieselkomponentti on perinteistä dieseliä/polttoöljyä kevyempää).

<sup>30</sup> <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam#ULSFO>

Vuoden 2021 polttoaineverot on esitetty taulukossa 5.

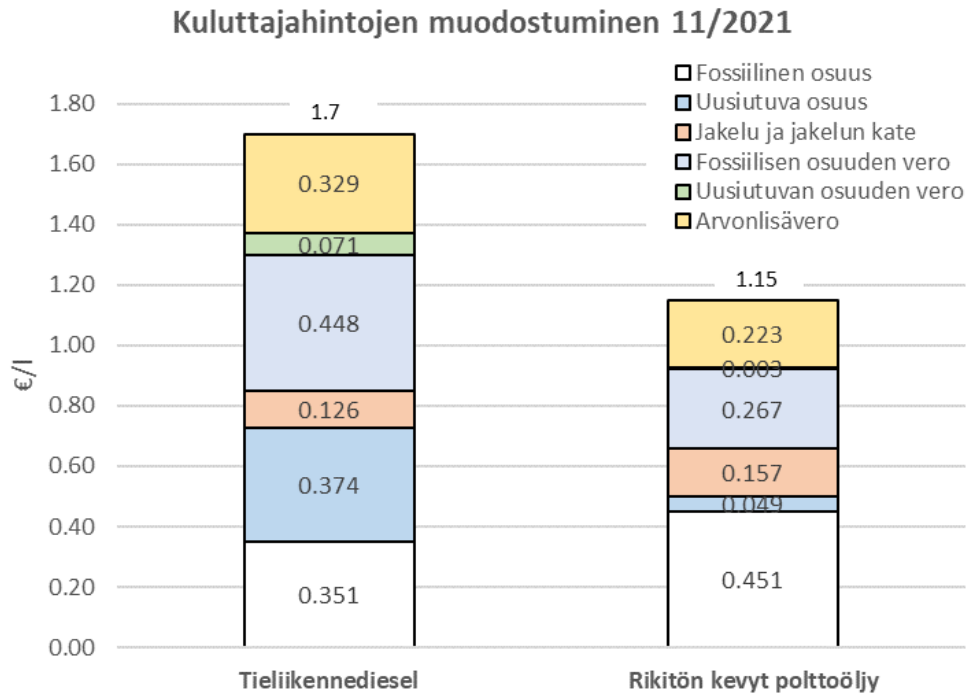
**Taulukko 5.** Polttoaineverot vuonna 2021<sup>31</sup>.

Tuote	Koodi	Energiasisältövero	Hiilidioksidivero	Huoltovarmuusmaksu	Yhteensä
Dieselöljy	50	34,57	24,56	0,35	59,48
Biodieselöljy P T	57	28,65	0	0,35	29,00
Kevyt polttoöljy rikitön	61	10,33	16,9	0,35	27,58
Biopolttoöljy T	64	10,33	0	0,35	10,68

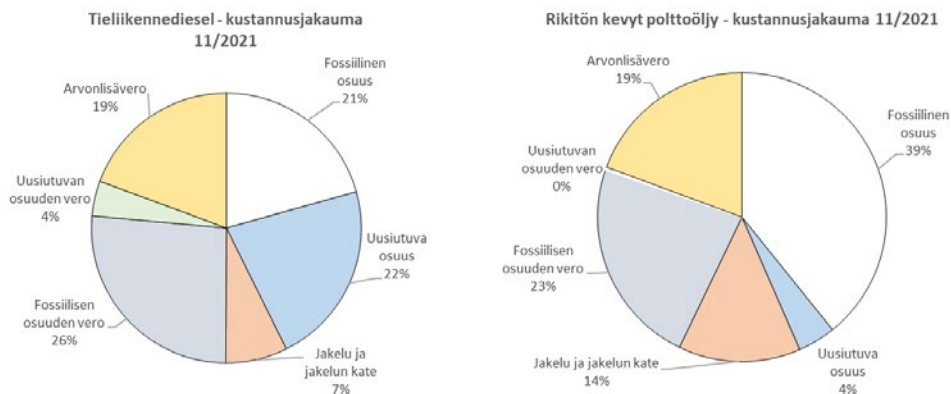
Näiden lukujen perusteella muodostuvat kustannusrakenteet on esitetty kuvassa 19 (absoluuttiset luvut) ja kuvassa 20 (suhteelliset jakaumat) marraskuussa 2021. Käytetyillä oletuksilla jakelun kustannus ja jakelun marginaali ovat yhteensä n. 0,13 €/l tieliikennepolttoaineen ja n. 0,16 €/l kevyen polttoöljyn osalta.

<sup>31</sup> <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/nestemaiset-polttoaineet/verotaulukot/>

**Kuva 19.** Tieliikennedieselien ja rikitömän kevyen polttoöljyn hinnanmuodostus 11/2021.



**Kuva 20.** Tieliikennedieselien ja rikitömän kevyen polttoöljyn kustannusjakaumat 11/2021

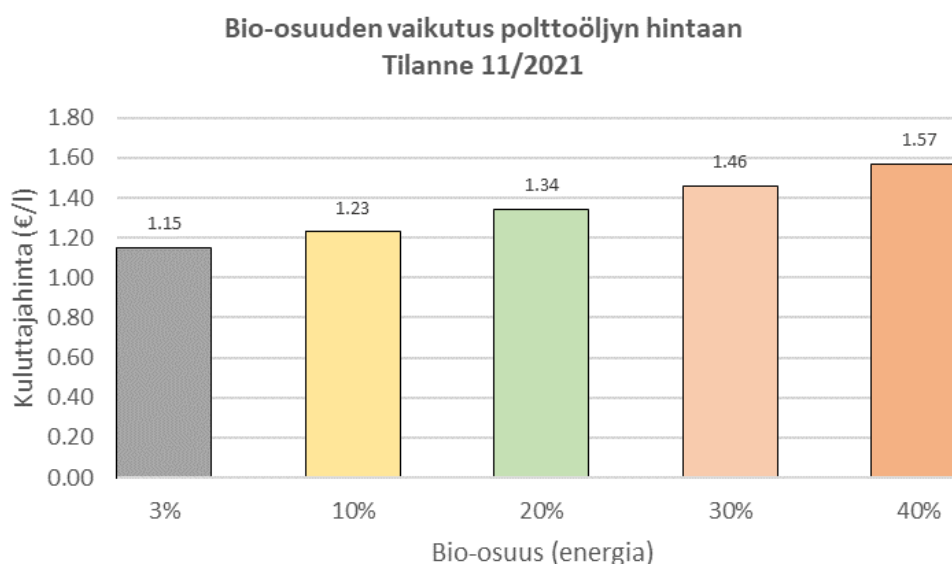


Tieliikennedieselissä fossiilisen komponentin osuus on n. 21 % ja uusiutuvan komponentin osuus 22 % kuluttajahinnasta. Jakelun osuus on n. 7 % ja energiaverojen osuus on n. 26 %. Rikitömässä kevyessä polttoöljyssä luvut ovat vastaavasti fossiilinen komponentti 39 %, uusiutuva komponentti 4 %, jakelu 14 % ja energiaverot 23 %.

## 5.8.2 Vaikutus polttoöljyn hintaan

Biopolttoöljyn osuuden vaikutuksia kuluttajahintaan arvioitiin marraskuun 2021 hintatilanteessa käyttäen edellä mainittuja oletuksia. Työssä arvioitiin hintavaikutusta kahdesta eri näkökulmasta: ensin tilanteessa, missä raaka-ainehinnat ovat vakioita, mutta bio-osuus muuttuu; toiseksi tilanteessa, missä raaka-ainehinnat nousevat seuraten ennakoituja kehityspolkuja bio-osuuden kasvaessa työssä tarkasteltujen skenaarioiden mukaisesti.

**Kuva 21.** Bio-osuuden vaikutus kevyen polttoöljyn kuluttajahintaan 11/2021 hintatiedoilla.

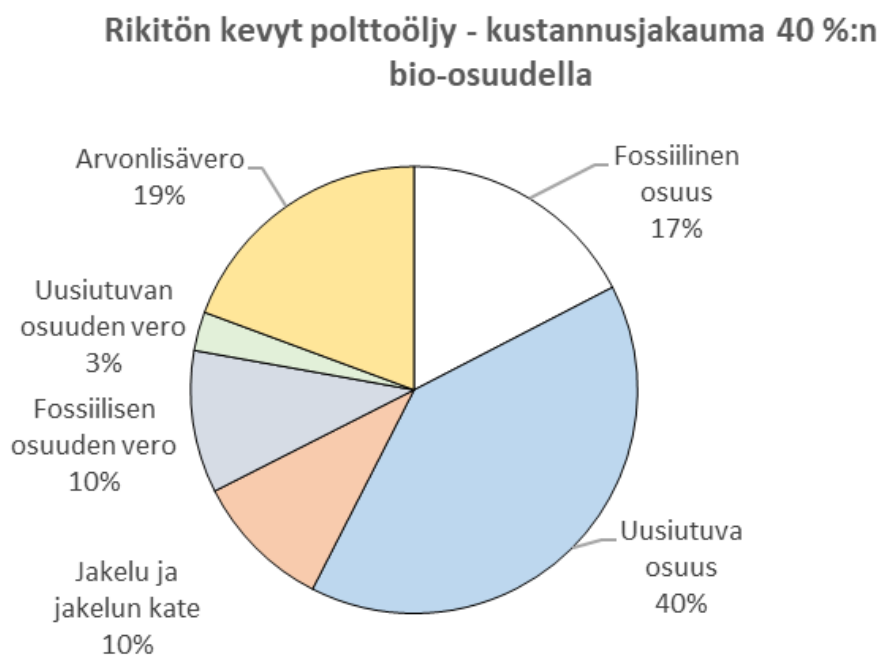


### Muuttumattomat raaka-ainehinnat

Hintavaikutus laskettiin em. 3 %:n energiaosuuden lisäksi 10, 20, 30 ja 40 %:n uusiutuvan energian osuuksille. Vastaavat bio-osuudet ovat 3,2, 10,5, 20,9, 31,2 ja 41,4 % tiheyserot huomioiden. Fossiilisen komponentin hinta on lukittu arvoon 650 €/t ja uusiutuvan komponentin hinta arvoon 1 950 €/t.

Bio-osuuden nosto vuoden 2021 3 %:sta 40 %:iin nostaisi kevyen polttoöljyn hintaa 1,15 €/l -> 1,57 €/l. Hinta nousisi 37 % (kuva 21). Kustannusjakauma 40 %:n tapauksessa on esitetty kuvassa 22. 3 %:n bio-osuudella biokomponentti vastaa noin 4 % loppuhinnasta, mutta 40 %:n osuudella jo 40 % loppuhinnasta.

**Kuva 22.** Rikittömän kevyen polttoöljyn kustannusjakauma 40 %:n bio-osuudella 11/2021 hintatiedoilla.



## Nousevat raaka-ainehinnat

Nousevien raaka-ainehintojen tarkastelussa nojattiin Sipilän ja muiden tuottamiin hintaskenaarioihin (hintaskenaariot matala, perus ja korkea).

Hintatarkastelun tekemisen aikaan maailmanmarkkinat palautuivat vielä koronapandemiasta ja lisäksi Euroopassa oli käynnissä öljymarkkinoihin vahvasti vaikuttava sota. Aiemmat VTT:n tuottamat hinta-arviot fossiilisen dieselin ja HVO-dieselin raaka-ainehinnoille olivat ns. normaaleissa lukemissa<sup>32</sup> ja vastasivat pitkälti Sipilän ja muiden (2021) arvioita (diesel 463 €/t ja HVO 1 504 €/t). Sitten työn aikana raakaöljyn hinta on kallistunut huippulukemiin (loka-marraskuun jälkeen noin 700–720 €/t) ja sama koskee HVO-dieselin valmistuksessa käytettyjä korkean kysynnän raaka-aineita (HVO 2 363 €/t; VTT:n hinta-arvio (2022)). Ongelmaksi hintakehityksen tarkasteluissa nousi esille se, että kaikki toisen tarkastelun pohjaksi valitut hintaskenaariot HVO-dieselin raaka-ainekustannuksille olivat *alle* edellä mainitun VTT:n uusimman arvion.

<sup>32</sup> [https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/ilmastoteot/hankkeet/VuoSa\\_selvitys\\_ja\\_tiekartta\\_21\\_04\\_21.pdf](https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/ilmastoteot/hankkeet/VuoSa_selvitys_ja_tiekartta_21_04_21.pdf)

Edes korkean hintaskenaarion ennuste HVO:n hinnalle vuonna 2030 (2 274 €/t) ei yletä tämänhetkiseen hinta-arvioon (2 363 €/t).

Jakeluelvoitteen hintavaikutusta tarkastellessa absoluuttiset hinnat eivät kuitenkaan ole tärkeimmät tekijät. Tärkeämpää on fossiilisen dieselin ja HVO-dieselin raaka-aineiden hintaero, mikä määrittää jakeluelvoitteen luoman korotuksen polttoaineseoksen hintaan. Tästä syystä hintatarkastelussa voitiin yhä käyttää Sipilän ja muiden tuottamia hintaskenarioita raaka-ainekustannuksille. Kuvioissa esitettyjä absoluuttisia hintatasoja ei tulisi kuitenkaan käyttää päätöksenteossa sellaisenaan, sillä raaka-ainehintojen kehityskulut oli arvioitu ennen hintojen nousua eli marraskuuta 2021.

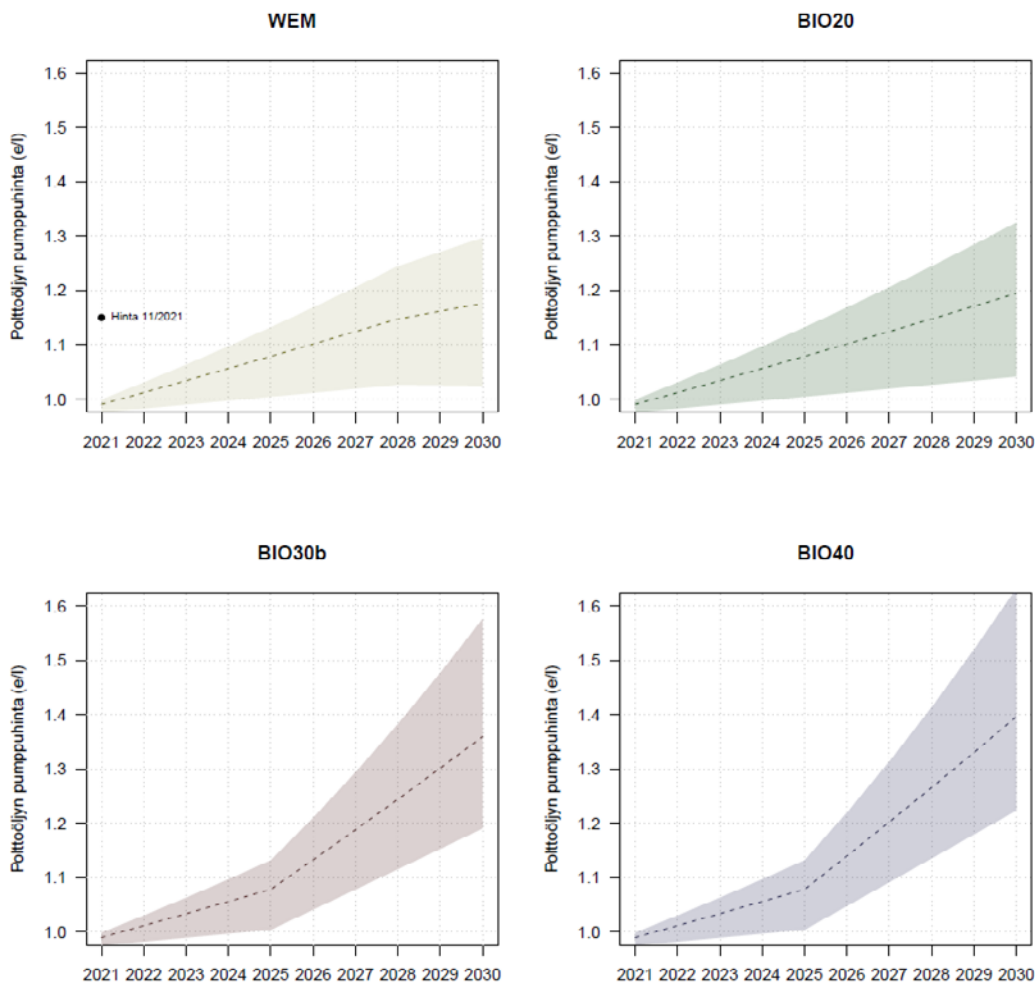
Kuvassa 23 katkoviivat kuvaavat perushintaennusteen mukaista kehitystä ja värillinen alue kuvaa kuluttajahinnan matalinta sekä korkeinta tasoa matalan ja korkean hintaskenaarion hintakehityksen mukaisesti. Hintakehitys on kuvattu vuoteen 2030, sillä hintaskenaarioiden arviot ulottuvat myös enintään vuoteen 2030.

Raaka-ainehintojen vaihtelu luo suurta epävarmuutta hintojen kehityksen ennakointiin verrattuna bio-osuuden vaikutukseen. WEM-skenaariossa, jossa bio-osuus ei nouse 10 %:ia suuremmaksi, kuluttajahintojen vaihteluväli (matalan ja korkean hintaskenaarion mukaisten kuluttajahintojen välinen ero) on vuonna 2030 lähes 0,30 €/l epävarmojen raaka-ainehintojen vuoksi. Sama koskee BIO20-skenaariota: bio-osuuden nosto 20 %:iin ei muuta hintoja merkittävästi verrattuna WEM-skenaarioon.

BIO30b- ja BIO40-skenaarioissa kuluttajahintojen vaihteluväli nousee ollen lähes 0,40 €/l. Bio-osuuden nosto vaikuttaa hintakehitykseen raaka-ainehintojen ohella merkittävästi enemmän kuin matalamman bio-osuuden skenaarioissa.

Toisin sanoen, bio-osuuden ollessa enintään 20 %, raaka-ainehinnat vaikuttavat kuluttajahintaan enemmän kuin biokomponentin määrä (jakeluelvoitteen taso). Bio-osuuden ollessa yli 20 %, raaka-ainehinnat ja biokomponentin määrä voivat molemmat vaikuttaa merkittävästi kuluttajahintaan.

**Kuva 23.** Polttoöljyn kuluttaja/pumppuhintojen kehitys tarkastelluissa skenaarioissa matalan, perus- ja korkean hintaskenaarion mukaisilla raaka-aineiden hinnoilla. WAM-skenaarion hintakehitys vastaa BIO30b-skenaarion hintakehitystä.



Polttoaineen yleinen hintavaihtelu vaikuttaa pumppuhintoihin vähintään yhtä paljon kuin jakeluelvoitteen taso. Pumppuhintojen kehityksen taustalla on monia epävarmuutta lisääviä tekijöitä. Uusiutuvan energian direktiivin vaatimusten mahdollinen kiristyminen, kansallisten regulaatioiden velvoitetasojen muutokset, jakeluelvoitteen ulottaminen tieliikenteen ja työkoneiden lisäksi meriliikenteeseen ja lentoliikenteeseen sekä akkuratkaisujen teknoekonominen kehitys tulevat muuttamaan biopolttoaineiden kysyntää sekä tarjontaa globaalisti.



### 5.8.3 Jakeluelvoitteen vaikutusten arvioiminen eri sidosryhmien kannalta

Jakeluelvoitteen eri bio-osuuksien vaikutuksia loppukäyttäjien (sidosryhmien) sekä valtion talouden kannalta arvioitiin pohjautuen Tilastokeskuksen tilastoituun kevyen polttoaineen kokonaiskulutukseen, kulutukseen työkoneissa ja lämmityksessä (kappale 5.2) sekä edellä esitettyihin fossiilisen sekä biopolttoöljyn hintatietoihin (kappale 5.8.1). Tarkastelua varten työkoneita käyttävät toimet oli tarkoitus jakaa muutamaan keskeiseen segmenttiin kuten maatalous, metsätalous, kaivos- ja louhinta, lastinkäsittely sekä maanrakennus. Tilastomateriaalia kerätessä kävi kuitenkin ilmi, että polttoaineenkulutusta sekä yritysten meno- ja tulotietoja oli riittävän kattavasti saatavissa ainoastaan maatalouden kevyen polttoöljyn käytöstä. Tilastokeskuksen kevyen polttoöljyn käytössä erotellaan maatalous (työkoneet ja lämmityskäyttö), mutta vastaavaa erottelua ei ole polttoöljyn käytön osalta muille yllä mainituille työkoneita käyttäville ryhmille. Tämän johdosta vaikutusarvio päädyttiin tekemään maatalouden, valtion verokertymän sekä kuluttajien osalta. Tämän lisäksi vaikutuksia kansantaloudelle käsiteltiin kvalitatiivisesti. Maatalouden osalta tarkastelun referenssivuodeksi valittiin vuosi 2020, sillä työtä tehdessä tämä oli viimeisin vuosi jolta löytyi tilastotietoja sekä maatilayritysten lukumäärästä, tulo- ja meno<sup>33</sup> sekä niiden kevyen polttoöljyn käytöstä (kappale 5.2). Vuotta 2020 käytettiin niin ikään tarkasteluun arvioitaessa suoria vaikutuksia valtion verokertymään.

#### Arvio vaikutuksesta maatalousyrittäjien liiketoimintaan

Jakeluelvoitteen noston vaikutuksia maatalousyrittäjien liiketoimintaan arvioitiin keskimääräisen maatalon sekä Tilastokeskuksen tilastoiman maatalouden kevyen polttoöljyn kulutuksen kautta. Arvio on siten puhtaasti staattinen perustuen historiallisiin tilastotietoihin eikä huomioi mahdollisia dynaamisia vaikutuksia, kuten kilpailutilanteen muutosta sekä hinnan kysyntäjoustoa.

Tilastokeskuksen tietojen perusteella maatalojen keskeiset tiedot vuonna 2020 olivat:

- Maataloja yhteensä (verovelvollisten lukumäärä): 41 748
- Osto- ja muut menot (pl. palkkamenot) yhteensä: 2 849 000 000 €
- Maatalouden voitto maatilayritysten verotilinpäätöksessä: 972 000 000 €

Niin ikään Tilastokeskuksen tietojen perusteella maataloudessa käytettiin vuonna 2020 yhteensä noin 235 miljoonaa litraa kevyttä polttoöljyä. Tästä noin 90 % käytettiin työkoneissa ja kuivureissa ja loput noin 10 % maatalousrakennusten lämmityksessä.

<sup>33</sup> [https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_maa\\_\\_mmtal/?tablelist=true](https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__maa__mmtal/?tablelist=true)

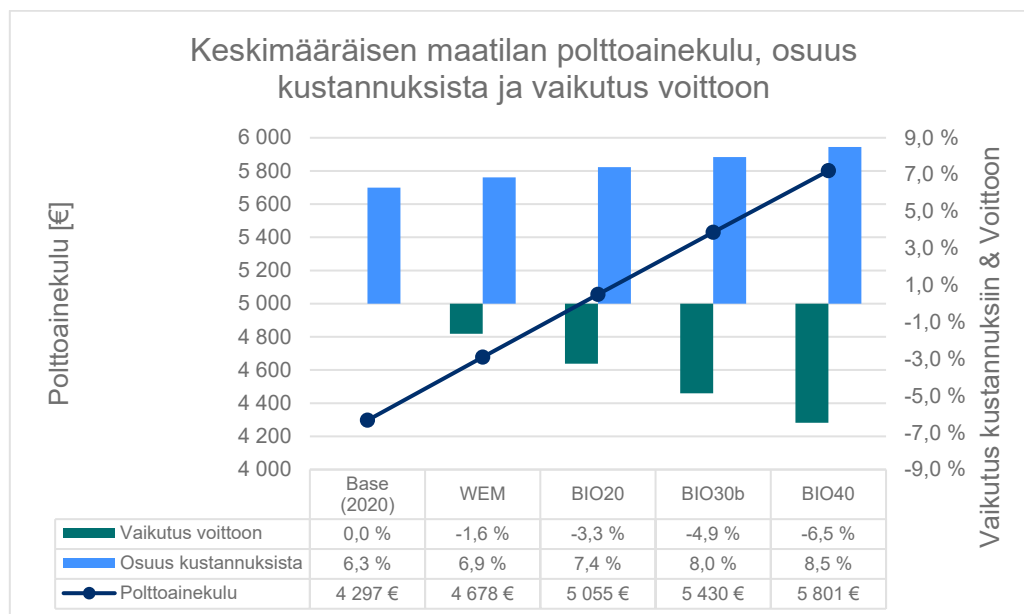
Vuonna 2020 kevyen polttoöljyn kuluttajahinta oli Tilastokeskuksen kuluttajahintatilaston perusteella noin 0.736 €/L.

Yllä olevien tietojen pohjalta keskimääräisen maatilan osalta vuosi 2020 näytti seuraavalta:

- Osto- ja muut menot yhteensä: 68 243 €
- Maatalouden voitto maatilayritysten verotilinpäätöksessä: 23 283 €
- Kevyen polttoöljyn kulutus: 5 629 litraa
- Kevyen polttoöljyn kustannus: 4 297 €

Kappaleessa 5.3 esitettyjen jakeluelvoiteskenaarioiden vaikutusta maatilayrittäjän liike toimintaan arvioitiin hyödyntämällä kappaleessa 5.8.1 esitettyjä hintatietoja. Tarkastelu osoittaa siis sen mikä vaikutus vuonna 2020 olisi eri jakeluelvoiteskenaarioilla ollut maatilojen liikevoittoon, mikäli ne olisivat toteutuneet vuonna 2020 sillä poikkeamalla, että polttoaineiden hintoina on käytetty kappaleen 5.8.1 mukaisesti vuoden 2021 lopun tietojen suhteellista vaikutusta polttoaineen seoksen hintaan kullakin jakeluelvoiteasteella. Perusteluna tälle valinnalle on se, että vuonna 2020 polttoaineiden hinnat olivat poikkeuksellisen matalat jolloin vuoden 2021 hintatiedot antavat edustavamman arvion.

Kuva 24:ssä on esitetty arvio tarkasteltujen jakeluelvoitteiden vaikutuksesta keskimääräisen maatilan kevyen polttoöljyn kustannukseen sekä liikevoittoon maatilan verotuksessa. Kuvasta nähdään, että 40-%:n jakeluelvoite lisäisi polttoainekustannuksia noin 1 550 € vuodessa. Tämä vastaa noin 2 -prosenttiyksikön nousua maatilan kustannuksissa. Maatilan liikevoitto vähenisi vastaavasti 6,5 %.

**Kuva 24.** Jakeluvelvoiteskenaarioiden vaikutus keskimääräisen maatilan talouteen.

Yhteenvedona voidaan todeta, että jakeluvelvoitteen vaikutuksesta kohonneilla polttoainekustannuksilla on selkeä vaikutus maatilojen talouteen. Todellisuudessa vaikutus on kuitenkin hyvin vaihteleva riippuen maatilasta, sillä maatilojen tyyppi ja koko vaikuttavat merkittävästi niiden kustannus- sekä tulorakenteeseen<sup>34</sup>.

### Vaikutus polttoöljystä kerättävään verokertymään

Jakeluvelvoiteskenaarioiden vaikutuksia valtion verokertymään arvioitiin suorien polttoaineista maksettavien verojen kautta. Epäsuoria vaikutuksia kuten uusiutuvien polttoaineiden kotimaisesta raaka-ainevirrasta syntyviä verovaikutuksia ja hinnan kysyntäjoustoa ei huomioitu sillä niistä on julkisista lähteistä hyvin vaikea löytää luotettavia tietoja. Arvio tehtiin vuoden 2020 kevyen polttoaineen kulutuksen pohjalta hyödyntäen kappaleessa 5.8.1 esitettyjä polttoaineen hintoja. Arviota tulkittaessa on tärkeä huomata, että vaikutus bruttoverokertymään on merkittävästi riippuvainen fossiilisen raaka-öljyn sekä uusiutuvan jakeen tukkuhinnasta, jonka pohjalta polttoaineista kannettavat verot (energiasisältövero, CO<sub>2</sub>-vero, huoltovarmuusmaksu sekä ALV) maksetaan. Näistä ainoastaan arvonlisävero on prosentuaalinen ja siten sen euromääräinen osuus riippuu puhtaasti polttoaineen hinnasta ennen ALV:a mikäli verokanta pysyy samana.

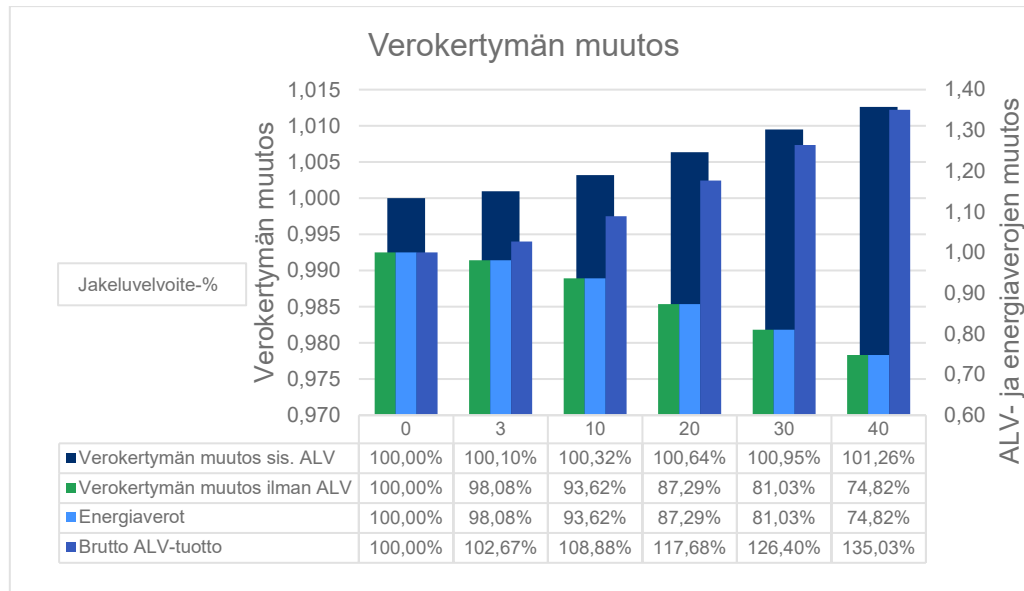
<sup>34</sup> [https://www.stat.fi/til/mmtal/2020/mmtal\\_2020\\_2022-03-30\\_kat\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/mmtal/2020/mmtal_2020_2022-03-30_kat_001_fi.html)

Arviossa oletetaan, että polttoöljyn hinta ei vaikuta sen käyttömäärään. Toisin sanoen käyttömäärät seuraavat kappaleessa 5.5 esitettyä kehitystä ja kysynnän hintajoustoa ei ole. Historiallisesti työkonoiden polttoöljyn käytön osalta tämä pitää paikkansa sillä polttoöljyn kulutus on ollut historiallisesti melko tasaista (kuva 7). Toisin sanoen, työkonissa polttoöljyä on käytetty lähes vakio määrä sen hinnasta riippumatta tai hintojen muutokset ovat ajoittuneet sen verran pitkälle aikavälille, että hintamuutokset eivät ole vaikuttaneet kulutukseen vaan ne on pystytty siirtämään työn hintaan tai kompensoimaan tuottavuuden kasvulla. Arviossa ei myöskään huomioida polttoöljyä käyttävien tahojen välituotekäyttöä eli sitä osuutta josta yritykset saavat ALV palautuksen. Siten esitetty arvio kuvaa vaikutusta valtion bruttoverokertymään polttoöljystä ALV:n kanssa ja ilman. Tämän työn puitteissa ei ollut mahdollista tarkastella todellista nettomääräistä vaikutusta ALV:n kertymään.

Yleisesti ottaen työkonissa välituotekäytön voidaan olettaa seuraavan hyvin pitkälle polttoöljyn käyttömäärän trendiä. Polttoöljyn käytön työkonissa voidaan olettaa olevan pääasiassa arvonlisäverotuksessa vähennettävää välituotekäyttöä.

Kuvassa 25 on esitetty jakeluelvoiteskenaarioiden arvioitu vaikutus valtiolle kevyestä polttoöljystä kannettavien bruttoverojen muutokseen. Kuvasta nähdään, että jakeluelvoitteen kasvattaminen kasvattaa myös valtion kevyestä polttoöljystä keräämien bruttoverojen kokonaissummaa noin 1,3 %-yksikköä. Syynä tähän on jakeluelvoiteseksestä kannettava ALV, joka maksetaan energiaverojen (energiasisältö, CO<sub>2</sub>, huoltovarmuusmaksu) päälle. Uusiutuvan polttoöljyn fossiilista kevyttä polttoöljyä korkeammasta hinnasta johtuen seoksen hinta energiaverojen jälkeen on korkeampi kuin vastaavalla täysin fossiilisella kevyellä polttoöljyllä. Tämä siitähän huolimatta, että uusiutuvasta polttoöljystä ei kanneta CO<sub>2</sub>-veroa. Kuvasta nähdään myös, että verokertymä ilman ALV:a laskee jakeluelvoitteen noustessa. Verokertymä ilman ALV:ta on 40 % jakeluelvoitteella noin 75 %-yksikköä verrattuna täysin fossiiliseen polttoöljyyn.

**Kuva 25.** Jakeluveloitteen vaikutus kevyestä polttoöljystä kannettavien verojen kertymään. Kuvassa verokertymä ALV:n kanssa tarkoittaa bruttomääräistä kertymää eli kertymää polttoöljystä ilman palautuksia.



Yhteenvedon voidaan todeta, että arvioiduilla jakeluveloittekenaarioilla ei ole suoraan negatiivisia vaikutuksia polttoöljystä kerättävään bruttoveroakertymään vaan itse asiassa jopa sitä hiukan nostava vaikutus. Toisaalta verokertymä ilman ALV:tä laskee ja jää vajaaseen 75 % verrattuna tilanteeseen jossa polttoöljy ei sisällä yhtään bioaetta. Todennäköisin kehitys joka huomioi välituotekäytön, polttoöljyn kulutuksen ja muutokset kysynnän hintajouston kautta on lähempänä verokertymän muutosta ilman ALV:tä. Tämän työn puitteissa ei ollut mahdollista tutkia tarkemmin polttoöljystä kerätyn ALV:n nettovaikutuksia, eikä polttoöljyn hinnannousun aiheuttamia dynaamisia vaikutuksia koko arvonlisäverotuottoon tai muihin veroihin.

Arviota tulkittaessa on myös huomioitava, että polttoöljyn kokonaiskulutuksen on enustettu laskevan nykyisestä noin 1 500 kt/a vuoteen 2040 mennessä noin 1 100 kt/a tasolle. Merkittävin syy laskulle on polttoöljyn käytön vähentyminen ”muu käyttö” kategoriassa sekä lämmitysenergiana. Näin ollen absoluuttisella tasolla valtiolle polttoöljyn käytöstä kerättävä veromäärä laskee. Syynä ei ole kuitenkaan suoraan polttoöljyn hinta vaan yleinen kehitys lämmityspolttoöljystä sekä ”muun käytön” luopumisesta johtuen.

## Vaikutus kuluttajiin

Kuluttajien osalta merkittävin vaikutus kohdistuu kuluttajiin, joilla on öljylämmitteinen asuintalo. Kevyttä polttoöljyä ei merkittävässä määrin muuten käytetä yksittäisten kuluttajien toimesta. Suomessa oli vuonna 2019 noin 130 000<sup>35</sup> öljylämmitteistä omakotitaloa. Vastaavasti vuonna 2019 lämmitysöljyä käytettiin rakennusten lämmittämiseen noin 255 miljoonaa litraa. Yhden omakotitalon osalta tämä tarkoittaa siten noin 1 960 litraa polttoöljyä vuodessa. Kappaleen 5.8.1 hintatiedoilla tämä vastaa kustannuksena noin 2200 € vuodessa täysin fossiilisella lämmitysöljyllä. Jakeluelvoitetasoja 10%, 20%, 30 % sekä 40% vastaavat vuotuiset kustannukset olisivat 2 380 €, 2 580 €, 2 770 € ja 2 950 €. Vuotuisen lämmityskustannuksen nousu olisi siis 40 % jakeluelvoitteella noin 750 € verrattuna tilanteeseen jossa käytetään pelkkää fossiilista lämmitysöljyä.

Omakotitalojen lämmitysmuotona öljylämmitys on vähentynyt merkittävästi edellisten 40 vuoden kuluessa. Aikaisemmissa kappaleissa esitettyjen tavoitteiden mukaisesti kehitys tulee jatkumaan kuluttajien siirtyessä muihin energia- ja kustannustehokkaampiin lämmitysmuotoihin. Näin ollen voi myös ajatella jakeluelvoitteen nostosta aiheutuvien todennäköisten lämmityskulujen nousun nopeuttavan kokonaisuudessaan tätä siirtymää.

## Vaikutus kansantalouteen

Jakeluelvoiteskenaarioiden vaikutusten arvioiminen kansantalouden kannalta on äärimmäisen haastava tehtävä johtuen esimerkiksi jalostusarvojen tarkasta määrittämisestä sekä uusiutuvien öljytuotteiden tuonnin osuudesta. Tämän lisäksi tulevat epäsuorat vaikutukset. Kattavan kvantitatiivisen arvion tekeminen ei ollut tämän työn resurssien puitteissa mahdollista. Kvalitatiivisesti arvioiden on selvää, että uusiutuvien öljytuotteiden kotimainen tuotanto on kansantalouden kannalta fossiilisten öljytuotteiden jalostamista parempi vaihtoehto sillä Suomessa on jo nyt merkittävää yritystoimintaa uusiutuvien öljytuotteiden tuotannossa lähtien raaka-aineista. Uusiutuvien öljytuotteiden tuotannon lisäksi niiden T&K-toiminta tuottaa positiivisia vaikutuksia kansantaloudelle sekä mahdollistaa pohjan laajemmalle uusiutuvien tuotteiden kehittämiselle ja viennille. Uusiutuviissa polttoaineissa on myös mahdollista hyödyntää kotimaisia jäterasvoja sekä biomassaa jota syntyy sahatavaran, sellun ja paperin tuotannon sivuvirtana. Näin uusiutuvat öljytuotteet parantavat Suomen omavaraisuusastetta.

<sup>35</sup> <https://oljylammitys.fi/2019/12/19/oljylammityksesta-pakolla-luopuminen-ajaisi-elakelaisia-ahtaalle-2/>

## 6 Biokaasu ja sen soveltuvuus kevyen polttoöljyn jakeluvaihteen piiriin

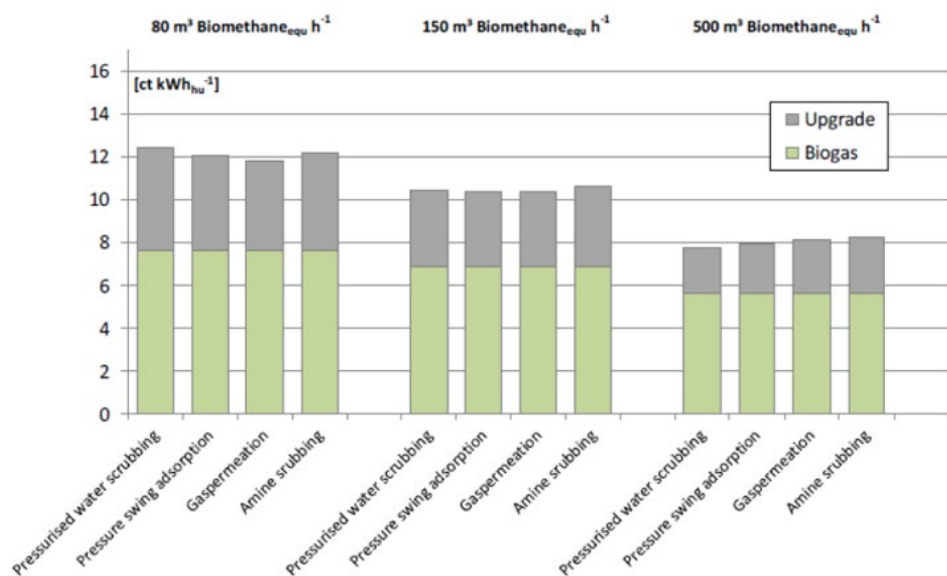
### 6.1 Yleistä

Biokaasua muodostuu erilaisten mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa. Hallittua, suljetuissa reaktoreissa tapahtuvaa biokaasun tuotantoa kutsutaan anaerobiseksi käsittelyksi, mädätykseksi tai biokaasutukseksi. Hajotuksen tuloksena syntyy metaania sisältävää biokaasua, hiilidioksidia sekä lannoitekäyttöön soveltuvaa orgaanista mädätysjäännöstä. Mädätysreaktorissa biojätteestä syntyvä biokaasu sisältää metaania (55–75 %), hiilidioksidia (25–45 %) sekä pieniä pitoisuuksia hiilimonoksidia, typpeä, vetyä ja rikkivetyä. Mädätysjäännöksestä voidaan valmistaa erikäyttötarkoituksiin soveltuvia nestemäisiä tai kiinteitä lannoitevalmisteita. Biokaasun tuotannon syötteenä soveltuvat erilaiset bioperäiset raaka-aineet, kuten jätevedenpuhdistamoiden lietteet, peltobiomassat, tuotantoeläinten lannat ja syntypaikkalajitellut biojätteet. Metaania voidaan myös valmistaa termokemiallisesti puusta tai muusta biomassasta (synteettinen biokaasu SBG, Synthetic BioGas)<sup>36</sup>.

Biokaasua voidaan sellaisenaan tai kevyesti puhdistettuna (lähinnä syövyttävät ainesosat, kiinteät epäpuhtaudet) käyttää kattiloissa ja paikallismootoreissa. Liikennekäyttö tai syöttö maakaasuputkistoon edellyttää perusteellisempaa prosessointia, mukaan lukien hiilidioksidin poistoa. Ruotsalainen standardi SS 155438:2015 – SIS edellyttää, että ajoneuvoissa käytetyn kaasun alemman lämpöarvon (LHV) tulee olla vähintään 44 MJ/kg. Tämä vastaa metaanipitoisuutta 91 %. Sama standardi edellyttää myös, että muiden kaasujen osuus ei saa olla enempää kuin 5 %, jolloin käytännössä vaatimus metaanin pitoisuudelle on 95%. Hiilidioksidista puhdistettua biokaasua kutsutaan yleisesti biometaaniksi. Biometaani ja fossiilinen maakaasu ovat ajoneuvokäytössä yhdenvertaisia.

Biokaasun jalostus biometaaniksi nostaa kustannuksia laitoksen koosta riippuen 30–50 % (Kuva 26), joten turhaan biokaasua ei kannata jalostaa biometaaniksi.

<sup>36</sup> <https://www.sitra.fi/julkaisut/biokaasusta-kasvua/>

**Kuva 26.** Biometaanin tuotantokustannus ja sen riippuvuus tuotantolaitoksen koosta <sup>37</sup>.

## 6.2 Nykytilanne

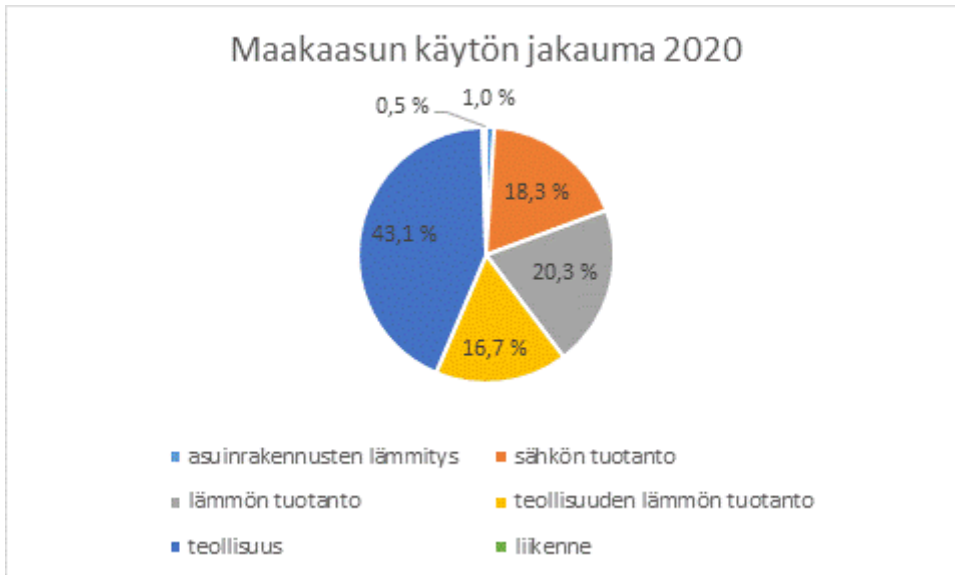
Vuonna 2020 Suomessa kulutettiin 74 586 TJ (1 781 ktoe, 20,7 TWh) maakaasua ja 2 636 TJ (63 ktoe, 0,73 TWh) biokaasua/biometaania<sup>38</sup>. Biokaasun/biometaanin osuus metaanin kokonaiskulutuksesta oli näin ollen n. 3,5 %.

Kuvassa 27 on maakaasun käytön jakauma 2020. Päästökauppadirektiivi 2003/87/EY koskee polttolaitoksia, joiden nimellinen lämpöteho on enemmän kuin 20 MW (lukuun ottamatta ongelmajätteen- ja yhdyskuntajätteen polttolaitoksia) sekä tiettyjä erikseen mainittuja toimintoja (mm. öljynjalostamot, koksaamot, rautametallien tuotanto ja jalostus, mineraaliteollisuus, puunjalostusteollisuus ym.). Kuvan perusteella voidaan todeta, että valtaosa maakaasusta käytetään päästökauppasektorilla.

<sup>37</sup> <https://op.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/13e27082-67a2-11e8-ab9c-01aa75ed71a1>

<sup>38</sup> [https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset\\_julkaisut/energia2021/html/suom0000.htm](https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2021/html/suom0000.htm)

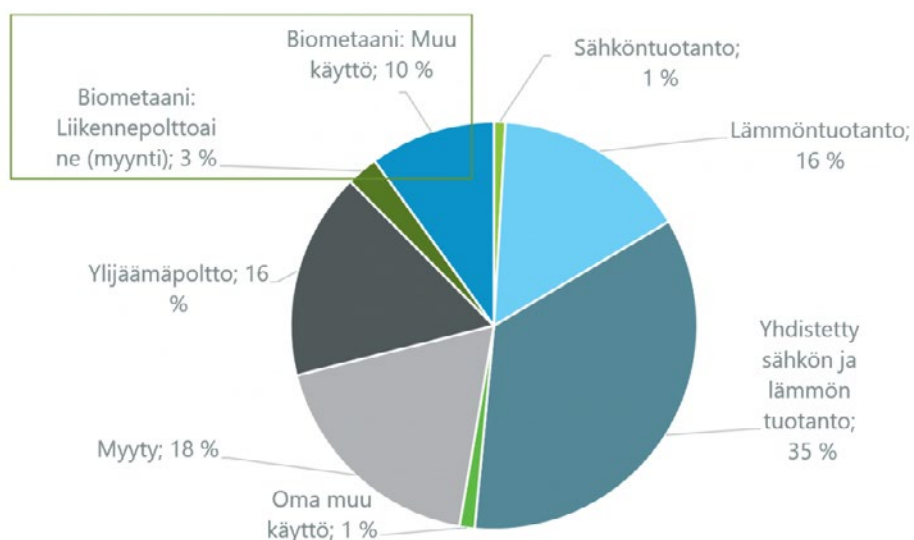


**Kuva 27.** Maakaasun käytön jakauma vuonna 2020.

Suurin osa biokaasusta hyödynnetään lämmön- ja sähköntuotannossa, suurin osa biometaanista puolestaan liikenteessä. Kuva 28 on biokaasun ja biometaanin kokonaiskäytön jakauma. Kuvan perusteella voidaan todeta, että biometaanin käyttö vastaa yhteensä vain noin 13 %:a koko biokaasun käytöstä. Biometaanin osalta voidaan edelleen todeta, että valtaosa biometaanista (10 %) käytetään päästökaupparektorin ulkopuolella taakanjakosektorilla tieliikenteessä.

Tilastokeskuksen lukujen perusteella tieliikenteessä käytettiin maakaasua 353 TJ (8 ktoe) ja biometaanina 400 TJ (10 ktoe). Metaanin osuus tieliikenteen kokonaiskulutuksesta oli yhteensä 0,49 %, ja biometaanin osuus 0,26 %.

**Kuva 28.** Biokaasun sisältäen biometaanin käytön jakauma 2020<sup>39</sup>. Kuvan teksteissä biometaanin osalta liikennepolttoaine myynti ja muu käyttö ovat ilmeisesti menneet ristiin.



## 6.3 Mahdollinen tuleva kehitys

Työ- ja elinkeinoministeriö asetti 1.10.2019 työryhmän valmistelemaan kansallista biokaasuohjelmaa keskipitkälle aikavälille. Työryhmä luovutti loppuraporttinsa 28.1.2020<sup>40</sup>.

Työryhmän tehtävä oli kuvata nykytila sekä merkittävimmät esteet ja hidasteet biokaasun tuotannon ja käytön laajamittaiselle käytölle sekä toimenpiteet näiden ratkaisemiseksi ja biokaasua koskevien hallitusohjelmakirjausten (Marinin hallitusohjelma) toimeenpanoksi. Työryhmän raportissa kuvataan lyhyesti biokaasualan nykytila ja siihen liittyvät ohjauskeinot. Lisäksi työryhmän raportissa kuvataan työryhmän näkemyksen perusteella merkittävimmät biokaasualan esteet ja hidasteet.

<sup>39</sup> <https://biokierto.fi/tilastot/>

<sup>40</sup> <https://tem.fi/hanke?tunnus=TEM079:00/2019>

Työryhmä katsoi, että merkittävimmät haasteet liittyvät biokaasutoiminnan heikkoon kannattavuuteen. Kannattavuutta voitaisiin parantaa investointikustannuksia alentamalla, lopputuotteista (sis. kierrätysravinteet) saatavaa myyntihintaa parantamalla sekä alentamalla etenkin maataloussyötteistä aiheutuvia kustannuksia.

Raportissa on myös esitetty arvio biokaasun tuotantopotentiaalista Suomessa (taulukko 6. Arvion mukaan raaka-ainepotentiaali riittäisi n. 16 TWh (n. 1 400 ktoe, 57 000 TJ) vuosituotantoon, eli yli 15-kertaiseen määrään nykytilanteeseen verrattuna. Jos kaasun määrä kasvaa näin merkittäväksi, osa kaasusta tultaneen käyttämään päästökauppasektorilla. Tieliikenteen kaasunielu on kuitenkin varsin rajallinen, ja potentiaali kaasun käyttämiseen työkoneissa on vieläkin pienempi.

**Taulukko 6.** Suomessa vuosittain muodostuvat biokaasutuotantoon ja ravinteiden kierrätykseen soveltuvat biomassat. Laskelman on tuottanut LUKE<sup>40</sup>.

Biomassa	Saatavilla oleva määrä (t/a)	Typpi (t/a)	Fosfori (t/a)	Energiapotentiaali biokaasuna (TWh/vuosi)
Kotieläinten lanta	15 500 000	74 600	18 500	3,94
Säilörehunurmi*	3 485 000	26 765	3 030	3,29
LHP ja suojaväyhykkeiden nurmi	1 210 600	6 300	970	1,22
Oiki**	2 840 400	12 800	2 560	6,76
Yhdyskuntien puhdistamoliete***	4 725 000	8 300	4 540	0,27
Yhdyskuntien biojäte****	357 400	2 200	400	0,41
Teollisuuden biohajoavat jätteet	337 200	2 240	770	0,19
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>24 970 600</b>	<b>133 205</b>	<b>30 770</b>	<b>16,08</b>

\* viljelyala 205 000 ha, keskisato 17 t/ha tuorepainona

\*\* 20 % poistettu arviona tällä hetkellä kuivikkeeksi korjattavana osuutena

\*\*\* puhdistamoliete ennen tiivistystä tai kuivausta, kuiva-ainepitoisuus 3,2 %

\*\*\*\* erilliskerätyn biojätteen määrä, joka on tällä hetkellä noin 40 % syntyvästä

Raportissa on lueteltu useita toimia biokaasun tuotannon ja käytön edistämiseksi, tieliikenteeseen ja työkoneisiin liittyen mm.:

Jakeluinfrastruktuurituen päivitys:

- Jakeluinfrastruktuuritukea koskeva valtioneuvoston asetus (VNA 498/2018) päivitetään

Jakeluvelvoite:

- Biometaani sisällytetään jakeluvelvoitteeseen hallitusohjelman mukaisesti ja muutos valmistellaan uusiutuvan energian direktiivin (REDII) toimeenpanon yhteydessä (Koskee tieliikennettä)

Biometaanin vero:

- Biometaanin verottomuudesta laaditaan valtioneuvoston ilmoitus Euroopan komissiolle. Yhdessä osana laajempaa verouudistusta ja hallitusohjelmassa esitetyn jakeluvelvoitteen kanssa biometaanille tullaan asettamaan ympäristöveromallin mukainen vero. Jakeluvelvoitelakia päivitetään siten, että uusi laki on voimassa viimeistään vuoden 2021 kesäkuun loppuun mennessä. Pyrkimyksenä kokonaisuudistuksessa on edistää biometaanin kilpailukykyä. (Koskee tieliikennettä)

Biometaanin arvo:

- Käynnistetään selvitys, jossa arvioidaan biometaanin veron ja jakeluvelvoitteen yhteysvaikutusta

Kaasuajoneuvotavoitteiden tarkistus:

- Luodaan poliittinen tahtotila tarkistamalla kaasuajoneuvomäärätavoitetta vuodelle 2030 Fossiilittoman liikenteen tiekartta -työssä.

Konversiotuen jatkaminen:

- Hallitusohjelman mukaisesti konversiotukea jatketaan nykytasolla. Konversiotuenjatkoa ja muita vastaavia ohjauskeinoja arvioidaan Fossiilittoman liikenteen tiekartta -työssä.

Biokaasutraktorien rekisteröinti tieliikennekäyttöön:

- Selvitetään ja valmistellaan traktorien kaasukonversioita koskevat määräysmuutokset, jotta biokaasulle konvertoidut traktorit voitaisiin rekisteröidä tieliikennekäyttöön.

Jakeluverkon kehittäminen:

- Esitetään biokaasun jakeluverkon laajentamista ja kehittämistä Fossiilittoman liikenteen työkartta -työssä. Osallistutaan aktiivisesti jakeluinfra-direktiivin mahdolliseen päivittämiseen.

Biometaanin laatuvaatimukset sekä tankkausasemien teknisen toimivuuden vähimmäisvaatimukset:

- Biometaanille pyritään asettamaan yhtenäiset laatuvaatimukset sekä teknisen toimivuuden vähimmäisvaatimukset etenkin kaasuverkon ulkopuolisilla tankkausasemilla joko lainsäädännöllä tai alaa ohjaavilla suosituksilla.

Raportissa ei ole mainintoja biokaasun/biometaanin sisällyttämisestä kevyen polttoöljyn jakeluvelvoitteeseen eikä muuhun kuin tieliikenteeseen käytettävän biokaasun/biometaanin verolle panosta.

## 6.4 Biokaasun verotus

Energiaverotus muuttui vuoden 2022 alussa (mm. päivityksiä lakiin 1260/1996 sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta<sup>41</sup>). Muutokset koskevat mm. lämpöpumppujen ja sähkökattiloiden, konesalien sekä kierrätysteollisuuden sähköverotusta ja liikenteessä käytettyä biokaasua. Hallituksen parhaillaan lausunnoilla olevassa esityksessä 212/2021 vp<sup>42</sup> sanotaan biokaasusta seuraavasti:

*”Biokaasulle säädettäisiin liikennekäytössä valmistevero, joka muiden verotettavien energiatuotteiden tavoin muodostuisi biokaasun ominaisuuksien perusteella energiasäiltö- ja hiilidioksidiverosta sekä huoltovarmuusmaksusta. Kestävästi tuotettu biokaasu olisi käytännössä hiilidioksidiverotonta, jolloin sen verotaso olisi vajaa puolet maakaasun verosta.*

*Biokaasun lämmitys- ja työkonekäyttö säilyisi edelleen verottomana. Myös biokaasun pientuotanto olisi verotonta.”*

<sup>41</sup> <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260>

<sup>42</sup> <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2021/20210212>

Biokaasu, joka ei täytä kestävyyskriteereitä, on verollista niin lämmitys- kuin liikennekäytössä. Kestävän biokaasun lämmityskäytöstä halutaan tehdä verotonta, mikä vaatii vielä Euroopan komission luvan (ns. notifiointin)<sup>43</sup>.

Pientuotannosta sanotaan:

*”Biokaasun pientuotantona pidettäisiin laitosta, jonka tuottama biokaasun määrä olisi enintään yhden gigawattitunnin vuodessa. Tämä määrä vastaisi noin 100 000 litraa nestemäistä polttoainetta ja suuruusluokkaisesti yhden tai kahden maatilakokoluokan biokaasutuotantoa. Jos kaasun tuotantomäärä ylittäisi mainitun rajan, toimijan olisi rekisteröidyttävä biokaasun tuottajaksi ja toiminta muuttuisi kokonaisuudessaan pääsääntöisen kaasun verojärjestelmän piiriin. Biokaasun pientuottajien tulisi rekisteröityä biokaasun pientuottajiksi sekä antaa vuosittainen veroilmoitus kaasun tuotantomääristä valvontaa varten.”*

Liikennekäytössä biokaasusta (biometaanista) kannetaan samaa energiaveroa ja huoltovarmuusmaksua kuin maakaasusta. Biokaasun CO<sub>2</sub>-vero riippuu kaasun tuotantoon käytetystä raaka-aineesta. Jos biokaasu ei täytä minimi kestävyyskriteerejä, siitä kannetaan sama CO<sub>2</sub> vero kuin maakaasusta. Jos biokaasu täyttää kestävyuden minimikriteerit, CO<sub>2</sub>-vero puolittuu (merkintä ”R”). Jos raaka-aine on liikenteen jakeluvälineen liite A:n mukainen, biokaasusta ei peritä lainkaan CO<sub>2</sub>-veroa (merkintä ”T”). Verorakenne kannustaa näin ollen tuottamaan biokaasua liitteen A mukaisista erityisen kestäväksi luokitelluista raaka-aineista.

---

<sup>43</sup> <https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/uutishuone/uutiset/uutiset/2021/verotuksen-muutoksia-2022/>

Taulukossa 7 on esitetty maakaasun ja biokaasun verokomponentit.

**Taulukko 7.** Maakaasun ja biokaasun verokomponentit<sup>44</sup>.

Tuote/ Vero €/MWh	Tuoteryhmä	Energiasisältö- vero	Hiilidioksidi- vero	Huoltovarmuus- maksu	Yhteensä
Maakaasu	2	10,33	12,94	0,084	23,354
Biokaasu	5	10,33	12,94	0,084	23,354
Biokaasu R	6	10,33	6,47	0,084	16,884
Biokaasu T	7	10,33	0,00	0,084	10,414

Fossiilisen dieselpolttoaineen polttoainevero on tällä hetkellä 0,5948 €/l, rikittömän fossiilisen kevyen polttoöljyn 0,2758 €/l<sup>45</sup>. Taulukon 1 verot muutettuna dieselekvivalenteille on maakaasun osalta 0,23 €/l ja kestävästi tuotetun biokaasun osalta 0,10 €/l.

Biokaasun verotuksesta työkone- ja lämmityskäytössä on järjestetty hallituksen ehdotuksen mukaisesti lausuntokierros joka päättyi 8.8.2022<sup>46</sup>. Ehdotuksen keskeisenä sisältönä on kestävästi tuotetun biokaasun energiasisältöveron määrän asettaminen energiaverodirektiivin vähimmäisverotason mukaisesti 1,20 euroon megawattitunnilta. Siten tämä poikkeaisi muiden kaasumaisten liikenne- ja lämmityspolttoaineiden yleisestä 10,33 euroa megawattitunnin verotasosta.

<sup>44</sup> <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahko-vero/verotaulukot/>

<sup>45</sup> <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/nestemaiset-polttoaineet/verotaulukot/>

<sup>46</sup> Hallituksen esitys biokaasun verotuksesta työkone- ja lämmityskäytössä, <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=3ba757ba-9f6b-4e6b-9fd0-a0361b837258>

## 6.5 Metaanin mahdollinen sisällyttäminen kevyen polttoöljyn jakeluelvoitteeseen

Vastaavalla tavalla kuin tieliikenteen osalta, metaani (biokaasu) voitaisiin periaatteessa sisällyttää kevyen polttoöljyn (lämmitys- ja työkonepolttoaineiden) jakeluelvoitteeseen. Biokaasu voisi teoriassa korvata kevyttä polttoöljyä lämmityksessä, työkoneissa ja paikallismootoreissa.

On kuitenkin olemassa joukko tekijöitä, jotka eivät puolla biokaasun sisällyttämistä lämmitys- ja työkonepolttoaineiden jakeluelvoitteeseen. Mahdollisen sisällyttämisen pitäisi aidosti lisätä biokaasun käyttömääriä, houkuttelevuutta ja kannattavuutta, eikä jakeluelvoitteeseen sisällyttäminen välttämättä edistäisi näitä tavoitteita. Seuraavassa luetellaan tekijöitä, jotka eivät puolla biokaasun sisällyttämistä lämmitys- ja työkonepolttoaineiden jakeluelvoitteeseen.

1. Jakeluelvoite koskee vain suuria toimijoita
  - a) Biokaasun tuotanto on pääasiassa pienen mittaluokan paikallista toimintaa
  - b) Liikennepolttoaineiden osalta pakollinen jakeluelvoite koskee vain toimijoita, jotka luovuttavat kulutukseen yli 1.000.000 litraa nestemäisiä polttoaineita kalenterivuodessa. Kaasumaisten polttoaineiden osalta vastaava raja on 9 GWh.
  - c) Jakelijat voivat kuitenkin vapaaehtoisesti hakeutua jakeluelvoitteen piiriin, jos niiden kalenterivuonna toimittamien polttoaineiden määrä jää alle pakollisen jakeluelvoitteen soveltamisrajan. Nestemäisten liikennepolttoaineiden jakelijat voivat hakeutua jakeluelvoitteen piiriin vapaaehtoisesti, jos ne jakelevat vähintään 100.000 mutta korkeintaan 1.000.000 litraa nestemäisiä polttoaineita. Kaasumaisten polttoaineiden jakelijoiden osalta rajat ovat vähintään 1 mutta enintään 9 GWh. Näin ollen pienet maatilakokoluokan laitokset rajautuvat joka tapauksessa jakeluelvoitteen ulkopuolelle.
2. Lämmityskäytön, paikallismootorikäytön ja työkonekäytön vaatimukset kaasun laadulle eroavat toisistaan
  - d) Biokaasu sellaisenaan soveltuu lämmityskäyttöön, epäpuhtauksista vapaa biokaasu paikallismootorikäyttöön, mutta työkonekäyttöä varten myös CO<sub>2</sub> on poistettava (lopputuloksena biometaan).i).
  - e) Verotuksessa käyttötarkoituksen mukainen eriyttäminen on kuitenkin jo nyt todellisuutta
3. Kevyen polttoöljyn bioelvoitteessa ei tällä hetkellä ole lisä- tai vähimmäisosuusvelvoitetta liite A:n raaka-aineista tuotetuille biopolttoaineille



- f) Lämmityksessä ja työkoneissa kestävästi tuotetun biokaasun käytöstä ei synny vastaavaa "tikettiarvoa" kuin liikennekäytössä, jossa kestävästi tuotettu biometaani korvaisi kalliita lisävelvoitteen edellyttämiä liite A/Annex IX A raaka-aineista tuotettuja nestemäisiä biokomponentteja
- 4. Metaanikäyttöisten työkoneiden tarjonta on hyvin rajoitettua
  - g) Tiettävästi vain yhdellä traktorinvalmistajalla on tällä hetkellä tarjota metaanikäyttöinen traktori<sup>47</sup>.
  - h) Todennäköisesti työkoneiden kysyntä biometaanille jää hyvin rajalliseksi.
- 5. Biometaanitankkauksen järjestäminen työkoneille saattaa olla haasteellista
  - i) Tieliikenteen tankkausverkosto palvelee vain harvoissa tapauksissa työkoneita optimaalisesti.
  - j) Työkoneilla ei useimmiten ole mahdollista ajaa pitempiä matkoja tankkaukseen.
  - k) Tankkauksen järjestäminen yksittäisellä maatilalla saattaa olla kallista.
- 6. Biokaasun/biometaanin tuotantomäärät ovat toistaiseksi varsin pieniä
  - l) Vuonna 2020 kevyen polttoöljyn käyttö yhteensä 1 531 kt (1 576 ktoe)
  - m) Biokaasun/biometaanin käyttö 63 ktoe
  - n) Maakaasun käyttö 1 781 ktoe
  - o) Arvioitu maksimi biokaasupotentiaali 16 TWh vastaa kuitenkin n. 1,4 Mtoe:a

Itsessään yllä luetellut tekijät eivät lisää kustannuksia jakeluelvoitteen piirissä olevalle biokaasulle, mutta ne kyseenalaistavat jakeluelvoitteen tuomaa hyötyä.

Yksi merkittävimmän biometaanin käyttöä työkoneissa rajoittava tekijä on se, että tähän mennessä ei ole ollut saatavilla työkoneita jotka voisivat käyttää biometaania (metaania) polttoaineenaan. Tällä hetkellä ainoastaan yksi traktorinvalmistaja markkinoi metaania käyttävää traktoria<sup>48</sup>. Biometaanin käyttöön työkoneissa liittyy yleisesti ottaen haasteita johtuen pääasiassa haastavasta polttoainelogistiikasta sekä polttoaineen säilönnästä työkoneessa. Erityisesti säilöntä työkoneissa tekee käytöstä haastavaa sillä työkoneisiin asennettava tankkikapasiteetti jää tavallista dieseltankin tarjoomaa energiasäiltöä huomattavasti pienemmäksi. Näin ollen operointiaika yhdellä tankillisella jää merkittävästi dieselperrokkia lyhyemmäksi. VTT toteutti vuonna 2017

<sup>47</sup> <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/julkaisut> (Liikenteen käyttövoimien kehityksen ennuste)

<sup>48</sup> <https://www.agritek.fi/new-holland/ajankohtaista/t6-biokaasutraktori-nyt-suomessa>

Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta selvityksen ”Kehityspolut työkoneiden biokaasutekniikkaan”<sup>49</sup>. Selvityksessä tuotiin esille yllä mainitut haasteet sekä esitettiin arvio potentiaalisimmista työkonekäyttökohteista joissa biometaani/metaani voisi olla varteenotettava vaihtoehto dieselyökoneelle. Keskeisimpinä käyttökohteina tunnistettiin sellaiset työkoneet, joissa keskimääräinen energiankulutus on pienehköä ja työkoneen operointi tapahtuu tankkausinfrastruktuurin lähetyvillä. Parhaiten tällaisia käyttökohteita vastaavat maatilojen pienehköt traktorit noin 50–100 kW teholuokassa.

Liikennekäytön osuus biokaasun kokonaismäärästä on luokkaa 10–15 %. Tieliikennepuolella on selvää mielenkiintoa biometaaniin, ja vaikka metaanikäyttöisten henkilöautojen tarjonta on supistunut, tarjontaa on muissa ajoneuvoluokissa, mukaan lukien raskaat rekkaveturit. Edistysellinen kaasutekniikka (suoraruiskutteinen dual-fuel tekniikka, HPDI) mahdollistaa pakoputkesta mitatun CO<sub>2</sub> päästön alentamisen luokkaa 20 %. Tämä tekee metaanin kiinnostavaksi vaihtoehdoksi raskaiden ajoneuvojen valmistajille. Tieliikenneajoneuvoissa kaasusäiliöiden, varsinkin LNG säiliöiden, sijoittaminen onnistuu kohtuullisen helposti, ja lisäksi taajamiin ja pääväylien varrelle on mahdollista rakentaa järkevä tankkausverkosto.

Suomessa tieliikennepolttoaineiden jakeluvaihtoehto sisältää lisäpalveluksen edistyksellisille biopolttoaineille. Merkittävä osa biometaanista kuuluu tämän määritelmän piiriin, ja koska biometaani on selvästi edistyksellisiä nestemäisiä biokomponentteja halvempaa, tästä syntyy biometaanille lisäarvoa, ns. tiketti-arvoa.

Yllä olevin perustelu on hyvin epätodennäköistä, että biometaani saavuttaisi merkittävää asemaa työkoneiden polttoaineena. Erityisesti tämä koskee sellaisia käyttökohteita jotka ovat jakeluvaihtoehdon piirissä.

Selvityksessä ei löydetty yhtään biokaasun sisällyttämistä polttoöljyn jakeluvaihtoehtoon tukevaa tekijää. Toisaalta selvityksen aikana ei myöskään tullut esille suoria asioita jotka estäisivät biokaasun sisällyttämisen jakeluvaihtoehtoon. Biokaasun sisällyttäminen jakeluvaihtoehtoon merkitsisi biokaasun asettamista valmisteveron piiriin. Minimitasolla valmistevero olisi kappaleessa 6.4 kuvatun hallituksen esityksen mukaisesti 1,2 €/MWh, joka vastaa noin 1.7 senttiä/kg biometaania. Näin ollen jakeluvaihtoehdosta johtuen jakeluvaihtoehdon piirissä olevan biometaanin hinta nousisi vähintään tämän verran. Tällä hinnan nousulla tuskin on kuitenkaan merkittävää kysyntään vähentävää vaikutusta.

---

<sup>49</sup> [https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/35379405/VTT\\_CR\\_01044\\_17.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/35379405/VTT_CR_01044_17.pdf)

Koska selvityksessä ei löydetty yhtään biokaasun sisällyttämistä jakeluelvoitteeseen tukevaa tekijää voi myös olettaa, että jakeluelvoitteeseen sisällyttäminen ei näin ollen synnyttäisi myöskään lisää kysyntää biokaasulle työkoneiden piirissä. Tämä tarkoittaisi myös sitä ettei jakeluelvoitteeseen sisällyttämisestä syntyisi insentiiviä biokaasun tuotantoon investoimiselle.

Yhteenvedon voidaan todeta, että biokaasun sisällyttäminen polttoöljyn jakeluelvoitteeseen ei toisi hyötyjä, mutta ei myöskään merkittäviä haittoja tai lisäkustannuksia. Ainoa tunnistettu ”haitta” olisi jakeluelvoitteen piirissä olevalle biokaasulle asetettu valmistevero.

### **Sidosryhmähaastattelut:**

Selvityksen aikana kuultiin myös Suomen Biokierto & Biokaasu ry:n ja Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliiton (MTK) näkemyksiä biokaasun/biometaanin sisällyttämisestä polttoöljyn jakeluelvoitteeseen sekä MTK:n osalta myös polttoöljyn jakeluelvoitteen vaikutuksista maatalouden yrittäjiin. Haastattelun kysymykset sekä vastaukset kokonaisuutenaan löytyvät Liitteet-osiosta raportin lopusta.

### **Alla on esitetty tiivistelmä ja johtopäätöksiä haastatteluiden sisällöstä:**

Biometania käyttävät traktorit nähtiin mahdollisina 2030-luvulla, mutta niiden lukumäärä ennustettiin jäävän melko vähäiseksi, sillä tähän asti biometaanilla toimivia traktoreita ei ole voinut kaupasta ostaa. Lisäksi Suomessa myydään vuosittain rajallinen määrä uusia traktoreita jolloin merkittävän biometania käyttävän traktorikannan kehittyminen vie vuosia. Hankintatukea ehdotettiin kuitenkin yhdeksi keinoksi edistää biometania hyödyntävien traktorien määrän kasvua.

Biokaasun ja -metaanin käyttö viljakuivureissa nähtiin sen sijaan hyvinkin mahdollisena vaihtoehtona ja kilpailukykyisenä verrattuna muihin vaihtoehtoihin nähden kuten hake tai biopolttoöljy. Biometaanin käyttöä kuivureissa nähtiin kuitenkin rajoittavan epäjatkuva käyttötarve jolloin biometaanin jalostettuna polttoaineena olisi melko kallis sekä se, että energiaveron palautus ei koske biokaasua eikä biometania. Energiaverolla ei voi olla palautusta koska biokaasusta ja -metaanista veroa ei kanneta, maatalouden energiaveron palautus kohdistuu käytännössä fossiilisiin polttoaineisiin ja siten itse asiassa heikentää biopolttoaineiden kilpailukykyä.

Teollisuuden prosesseissa ei nähty merkittävää potentiaalia biometaanin käytölle korvaamaan fossiilista maakaasua.

Biometaanin sisällyttämisellä kevyen polttoöljyn jakeluelvoitteeseen ei nähty olevan biometaanin kysynnän kannalta edesauttavia tekijöitä. Suurimmaksi haasteeksi nähtiin biometaanille asetettava valmistevero, joka haittaisi sen kilpailukykyä. Lisäksi biokaasun käyttö on suurinta lämmityskäytössä jolloin asetettava valmistevero heikentäisi sen kilpailukykyä myös lämmityskäytössä. Lisäksi todettiin, että mikäli maatalousyrittäjä lähtisi mukaan biokaasumarkkinaan on yleensä tarkoituksena tuottaa biokaasua myytäväksi oman käytön lisäksi.

Haastatteluissa todettiin myös, että vielä on varsin varhaista arvioida biokaasun tielii-kenteen polttoaineiden jakeluelvoitteen piiriin sisällyttämisen aiheuttamista hyödyistä biokaasun tuotantoon. Kevyen polttoaineen jakeluelvoitteella arvioitiin olevan merkittävä vaikutus maatalousyrittäjien toimintaan, sillä maatalousyrittäjät ovat jo nyt kärsineet pahasti polttoaineiden ja lannoitteiden hintojen noususta. Maatalousyrittäjillä ei ole resilienssiä liiketoiminnan harjoittamiseen liittyvien välttämättömien kustannusten nousun varalta. Maatiloilla tapahtuvalla biokaasun tuotannolla ja käytöllä arvioitiin olevan energiahintojen vaikutuksia stabiloiva vaikutus. Haasteena nähtiin tosin maatalousyrittäjien heikko kyky investoida biokaasun tuotantoon. Maatalousyrittäjien investointitukien kerrottiin olevan äärimmäisen tärkeässä roolissa osana vihreää siirtymää.

## 7 Työkoneiden vaihtoehtoiset käyttövoimat, skenaariot ja ohjauskeinot

Työn tarkoituksena on selvittää työkoneiden vaihtoehtoisten käyttövoimien vaikutus energiankulutukseen sekä määrittää ohjauskeinojen ennustetut skenaariot päästöjen kehitykselle. Aluksi määritellään tarkasteltava työkonekanta, käyttötapaukset sekä niihin soveltuva infrastruktuuri. Tämän jälkeen määritetään hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus energiantehokkuuteen yleisimpien työkoneityyppien osalta. Näitä tuloksia hyödyntäen laaditaan kokonaistaloudellinen tarkastelu sekä skenaariot ohjauskeinojen arviointiin.

### 7.1 Työkoneiden käyttötapaukset

TYKO2 työssä tarkastellaan Suomen työkonekantaa, joka perustuu Lipasto 2020 aineistoon ja sen työkoneita käsittelevään TYKO-tietokantaan. Työkonekanta on jaettu 12 kategoriaan koneiden tyyppiin ja käyttötarkoituksen mukaisesti. Työkonekategoriat, koneiden lukumäärät, vuotuiset CO<sub>2</sub>-päästöt sekä koneiden tyypillinen nimellisteho on esitetty alla, Taulukko 8.

**Taulukko 8.** Työkoneiden ryhmittely, lukumäärä ja vuotuinen CO<sub>2</sub>-päästö (Lähde: Lipasto 2020)

Työkoneityyppi	Lukumäärä	CO <sub>2</sub> (t/a)	CO <sub>2</sub> (%)	Nimellisteho (kW)	Myynti (kpl/a) <sup>50</sup>	Käyttö
Pyöräkuormaajat	17 114	398 410	19%	94	529	Maanrakennus Logistiikka
Kaivukoneet, telalustaiset	10 977	370 823	18%	104	201	Maanrakennus
Maataloustraktorit	98 354	368 185	18%	77	914	Maatalous
Hakkuukoneet	2 389	212 573	10%	152	251	Metsätalous

<sup>50</sup> 2011–2020 ensirekisteröintien keskiarvo

Työkonetyyppi	Lukumäärä	CO <sub>2</sub> (t/a)	CO <sub>2</sub> (%)	Nimellisteho (kW)	Myynti (kpl/a) <sup>50</sup>	Käyttö
Haarukkatrukit, diesel	4 878	165 518	8%	88	238	Logistiikka
Muut dieselyökonet	10 650	110 593	5%	137	206	
Metsätraktorit	2 429	107 384	5%	105	208	Metsätalous
Kaivukoneet, pyörialustaiset	2 998	89 470	4%	88	47	Maanrakennus
Muut traktorit	264 156	68 733	3%	62	1 262	
Maantyöstökoneet	3 011	60 937	3%	-	2	Maanrakennus
Leikkuupuimurit	18 861	51 044	2%	89	392	Maatalous
Pienitehoiset koneet, <35kW	17 593	40 866	2%	-	505	

Seuraavissa esitetään eri työkonetien käyttötapausten ominaispiirteitä operointitavan ja käyttöympäristön kannalta.

### 7.1.1 Logistiikka

Logistiikassa työkonetien toiminta keskittyy tyypillisesti varastorakennuksen tai tuotantolaitoksen sisälle tai sen välittömään läheisyyteen. Työvuoron aikana työkonetien kuormitus on vaihtelevaa ja siinä esiintyy tehopiikkejä. Työvuoron aikana taukoja voidaan käyttää työkonetien välitankkaukseen tai -lataukseen. Mikäli rakennuksen sähköliittymässä on kapasiteettia myös työkonetille, on akkusähköisten työkonetien käyttö perusteltua sekä energiatehokkuuden että päästöjen kannalta. Erityisesti varastorakennusten sisällä tapahtuva toiminta hyötyy huomattavasti työkonetien päästöttömyydestä, mikä tukee täys- tai vetysähköisten työkonetien käyttöä.

Logistiikan piiriin voidaan laskea kuuluvan myös osia muista käyttökohteista, esim. maataloudessa pihatyt ja metsätaloudessa varastointialueet.

## 7.1.2 Maatalous

Maatalouden työkonekäytöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä peltotöitä: työkoneella (useimmiten työtehtävää varten varustellulla traktorilla) ajetaan muutamien kilometrien siirtymä työkohteelle, jossa töitä tehdään työvuoron ajan, jonka jälkeen työkone ajetaan takaisin. Työkohte voi vaihtua päivästä toiseen ja toisinaan päivän ajanakin, eikä työkohteessa tyypillisesti ole muuta infrastruktuuria kuin tieverkosto. Työkoneen kuormitus työvuoron aikana on tasaista ja (työtehtävästä riippuen) raskasta. Työvuoron aikana ei voida käyttää huomattavia aikoja välitankkaukseen tai -lataukseen työsuorituksen kärsimättä, jolloin siirtymäajot työkohteelta keskitetyille infrastruktuurille tai matalan tehon tankkaus tai lataus työkohteessa eivät tule kysymykseen. Mikäli työkoneen omalla tankilla tai akulla ei voida suoriutua koko työvuoron työsuoritteesta, soveltuvat nestemäiset tai kaasumaiset käyttövoimat siirrettävällä varastotankilla parhaiten niiden sähköä korkeammasta energiatiheudesta ja tankkaustehosta johtuen.

## 7.1.3 Metsätalous

Metsätalouden työkonekäytöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä metsätöitä: työkone (harvesteri tai metsätraktori) tuodaan lavetilla työkohteelle, jossa töitä voidaan tehdä useamman työvuoron ajan, jonka jälkeen työkone haetaan lavetilla pois. Työkohteessa ei tyypillisesti ole muuta infrastruktuuria kuin tieverkosto. Työkoneen kuormitus työvuoron aikana riippuu työkoneen tyypistä, mutta pitää sisällään nostotoiminnalle ominaisia kuormituspiikkejä. Taukojen käyttö välitankkaukseen tai -lataukseen työkohteessa voi tulla kysymykseen työsuorituksen kärsimättä. Mikäli työkoneen omalla tankilla tai akulla ei voida suoriutua koko työvuoron työsuoritteesta, soveltuvat nestemäiset tai kaasumaiset käyttövoimat siirrettävällä varastotankilla parhaiten niiden sähköä korkeammasta energiatiheudesta ja tankkaustehosta johtuen.

## 7.1.4 Maanrakennus

Maanrakennus on laaja-alainen kenttä, jossa käytetään useita erityyppisiä työkoneita hyvin erilaisissa työtehtävissä. Niissä työkohteet ovat kuitenkin kaikki luonteeltaan tilapäisiä, joskin urakan kesto voi vaihdella muutamasta tunnista muutamaan vuoteen. Työkoneiden kuormitus vaihtelee työkonetypistä ja työtehtävästä toiseen huomattavastikin, mutta on muutenkin luonteeltaan vaihtelevaa. Taukojen käyttö välitankkaukseen tai -lataukseen työkohteessa on yleensä mahdollista työsuorituksen kärsimättä. Monissa työkohteissa etäisyys sähköverkkoon on lyhyt tai työkohteelle ollaan rakenta-

massa sähköliittymä maanrakennustöiden jälkeen, jolloin sähkön käyttäminen työkoneneiden käyttövoimana on suositeltavaa. Lyhytaikaisissa tai etäällä sähköinfrastruktuurista sijaitseville työkohteille sähkösyötön järjestäminen voi olla hankalaa, jolloin nestemäiset tai kaasumaiset käyttövoimat siirrettävällä varastotankilla soveltuvat parhaiten niiden korkeasta energiatihydestä johtuen.

### 7.1.5 Kaivosteollisuus

Kaivosteollisuuden työkonekäytöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä töitä louhoksella tai muulla maa-aineksen pitkäaikaisella käsittelypaikalla (esim. maa-ainesten otto- tai maankaatopaikalla): työkoneita käytetään samassa työkohteessa jopa vuosien ajan työkoneityypin mukaan vaihtelevissa tehtävissä. Työkoneityypit ovat samoja kuin maanrakennustöissä. Työkohde on maantieteellisesti selkeästi rajattu ja työkoneiden varikkotoiminnot ovat tyypillisesti keskitetty. Kaivosteollisuudessa tulisi pyrkiä sähköistämään tuotantokalustoa, mikäli kaivosalueen sähköistäminen ylipäänsä nähdään mahdolliseksi. Mikäli aluetta ei pystytä kytkemään sähköverkkoon ja joudutaan tukeutumaan erilliskuljetuksiin työkoneiden käyttövoiman tuottamiseksi, on käyttövoiman valinnassa otettava huomioon myös kuljetusketjun tehokkuus, jolloin nestemäiset polttoaineet ovat tyypillisesti tehokkaimpia vaihtoehtoja niiden korkeasta energiatihydestä johtuen.

## 7.2 Vaihtoehtoisten käyttövoimien infrastruktuurit

Vaihtoehtoisten voimanlähteiden käytettävyyteen vaikuttaa voimakkaasti niiden jakeluinfrastruktuuri ja mahdollisuudet sen laajentamiseksi. Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla ei tyypillisesti ole vielä olemassa niille tarkoitettua infrastruktuuria, ja sen rakentamisessa on syytä tarkastella eri vaihtoehtojen mahdollisuuksia kustannustehokkaiden ratkaisujen löytämiseksi.

Rakennetuissa ympäristöissä sähköverkon kattavuus on hyvä ja laajennettavissa kustannustehokkaasti, mutta laajentaminen vaatii aikaa ja investointeja. Työkoneiden laatusinfrastruktuurilla voi olla synergioita raskaan kaluston sähköisten tieliikenneajoneuvojen kanssa, mutta tätä ei ole Suomessa juurikaan selvitetty. Sähköverkon laajentamisessa harvaan asutulla alueella etäisyyksien kasvaessa kustannukset kasvavat, jolloin kustannustehokkuus vaarantuu. Laajentamisen yhteydessä pitää arvioida sähköverkon laajennuksen käyttöaika ja -aste ja niiden perusteella laskettava inves-



toinnin takaisinmaksuaika; lyhyen käyttöajan tai matalan käyttöasteen kohteissa kustannustehokkuutta voi olla vaikea saavuttaa, kun taas pitkäaikaisissa ja korkean käyttöasteen kohteissa takaisinmaksuaika on lyhyt. Sähkön kuljettaminen erilliskuljetuksena työkohteeseen ei ole nykyisellä akkuteknologialla tehokasta johtuen akkujen alhaisesta energiatiheudesta (kts. Taulukko 2).

Kaasumaisia polttoaineita on erilaisia, ja niiden jakeluinfrastruktuuri vaihtelee. Painetun maakaasun (compressed natural gas, CNG) ja biometaanin (compressed biogas, CBG), eli metaanin (CH<sub>4</sub>), tankkausasemaverkosto on eteläisen Suomen osalta kohtalainen, keskisen harva ja pohjoisen olematon, pohjoisimman aseman sijaitessa Oulussa<sup>51</sup>. Suomalaisilla maataloilla on esiintynyt kiinnostusta omavaraisuuden kasvattamiseen biometaanin tuotannon kautta. Julkisen metaanin tankkausasemaverkoston lisäksi joillain maataloilla jo onkin biometaanin tuotantoa ja tankkausmahdollisuus (joskin useimmiten vain omaan käyttöön). Vedyn (H<sub>2</sub>) tankkausasemia ei Suomessa vielä ole. Tankkausasemien lisäksi kaasumaisia polttoaineita voidaan kuljettaa työkohteeseen erilliskuljetuksina. Suurten ja pysyvien työkohteiden osalta voi tulla kyseeseen myös oma tankkausasema.

Nestemäisiä polttoaineita on lukuisia erilaisia, joista bensiinin ja dieselin tankkausasemaverkosto on kattava. Muiden nestemäisten polttoaineiden osalta tankkausasemaverkostoa ei ole. Nestemäisten polttoaineiden energiatiheys on korkeampi kuin kaasumaisilla (kts. 9), jolloin niiden kuljettaminen käyttökohteeseen erilliskuljetuksena on kustannustehokkaampaa. Kuten kaasumaistenkin polttoaineiden kanssa, myös nestemäisten polttoaineiden tankkausaseman perustaminen suureen tai pysyvään työkohteeseen voi olla perusteltua.

---

<sup>51</sup> <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkausasemat/>

**Taulukko 9.** Käyttövoimien ominaisuuksia

Käyttövoima	Energiatiheys kWh/kg	Energiatiheys kWh/l	Tankkausteho kWh/min	Päästöt <sup>52</sup> kg CO <sub>2</sub> /kWh
Li-ioni akku (NMC)	0,2	0,58	2,5 –7,5 <sup>53</sup>	0 <sup>54</sup>
Diesel (B0)	12,0	10,0	800 <sup>55</sup>	0,264
HVO	12,2	9,5	760	0,046
Maakaasu, paineistettu (250 bar)	12,9	2,42	35,8 <sup>56</sup>	0,202
Biometaan, paineistettu (250 bar)	12,9	2,42	35,8	0,042
Metanoli	5,5	4,38	569 <sup>57</sup>	0,248
Vety, paineistettu (350 bar)	33,3	0,77	119,9 <sup>58</sup>	0 <sup>59</sup>

## 7.2.1 Väliaikainen infrastruktuuri

Työkohdekohtaisella väliaikaisella infrastruktuurilla tarkoitetaan tässä yhteydessä käyttövoimaa, joka kuljetetaan työkohteelle erilliskuljetuksilla.

Nestemäisten polttoaineiden varastosäiliöiden myynti on vakiintunutta ja kilpailtua liiketoimintaa ja teknologialtaan varsin yksinkertaista, joten kustannukset nestemäisiin polttoaineisiin pohjautuvan väliaikaisen infrastruktuurin järjestämiseksi työkohteelle ovat verraten alhaiset. Kaasumaisissa polttoaineissa kaasun ominaisuudet vaikuttavat oleellisesti tarvittavaan teknologiaan, minkä lisäksi vedyn varastointiratkaisut eivät ole suurimääräistä liiketoimintaa, mistä johtuen kaasumaisten polttoaineiden väliaikaisen infrastruktuurin kustannukset ovat selkeästi nestemäisiä korkeampia. Sähkön kuljetta-

<sup>52</sup> Tuotantotavan mukaan kompensoidut päästöt alemman lämpöarvon mukaisesti

<sup>53</sup> 150–450 kW

<sup>54</sup> Päästötön sähkö

<sup>55</sup> 80 l/min

<sup>56</sup> 125 SCFM = 3540 l/min

<sup>57</sup> 130 l/min

<sup>58</sup> 3,6 kg/min

<sup>59</sup> Vihreä vety

minen erilliskuljetuksilla (esim. täyteen ladattu konttiakku) ei ole järkevää kuin pienimmissä tai lyhyimmissä työkohteissa, joissa yhdellä kuljetuksella täytetään koko työkohteen energiatarve, tai hyvin poikkeuksellisissa olosuhteissa. Vaikka sähkön erilliskuljetuksille soveltuva työkohde löytyisi, eivät konttiakkujen investointikustannukset tee sähkön kuljettamisesta kustannustehokasta toimintaa. Valitsemalla vertailukohdaksi merikontti-kokoluokan, voidaan vertailla väliaikaiselle työkohteelle toimitettavien eri käyttövoimien energiavarastojen kapasiteetteja ja kustannuksia (kts. taulukko 10).

**Taulukko 10.** Kontti-kokoluokan energiavarastojen kapasiteetteja ja kustannuksia

Käyttövoima	Varastokapasiteetti	Energiamäärä	Suhde dieseliin	Kustannus
Diesel	20 000 l	199 218 kWh	100 %	31 k€
Metanoli	20 000 l	87 671 kWh	44 %	31 k€
Maakaasu, paineistettu (250 bar)	1 700 kg	22 006 kWh	11 %	115 k€
Vety, paineistettu (350 bar)	360 kg	12 000 kWh	6 %	180 k€
Sähkö, li-ioni akku		2 000 kWh	1 %	709 k€

Sähkön erilliskuljetusten toimimattomuudesta huolimatta väliaikainen infrastruktuuri voi tukea myös sähköisten työkonoiden käyttöä. Työkohteilla, joille työn päättymisen jälkeen jää sähköliittymä tai otetaan käyttöön sähköliittymä, tulisi sähköliittymää käyttää työn aikana sähköisten työkonoiden lataamiseen. Pienen kapasiteetin sähköliittymän tapauksessa hetkellistä lataustehoa voi olla tarpeen kasvattaa käyttämällä puskuriakkua, jota ladataan jatkuvasti sähköliittymän sallimissa rajoissa, ja josta sähköä käytetään lataustarpeen mukaan. Mikäli sähköliittymän käyttö ei ole mahdollista, voi sähköisiä työkonoiden ladata paikallisesti tuotetulla sähköllä; tässä tapauksessa sähköntuotannosta vastaisi aggregaatti tai polttokenno, jonka tuotantoteho pidettäisiin vakiona käyttämällä puskuriakkua työkonoiden latauksen piikkimäisen tehontarpeen tyydyttämiseen. Valitsemalla vertailukohdaksi kuvitteellisen työkohteen, jossa useampi sähköinen työkone käyttää vuorokaudessa yhteensä 1 800 kWh sähköä, voimme vertailla eri ratkaisujen kustannuksia (kts. taulukko 11).

**Taulukko 11.** Sähköisten työkoneiden lataamisen ratkaisujen kustannuksia

Sähkön lähde	Varasto	Tuotanto	Puskuriakku <sup>60</sup>	Laturi <sup>61</sup>	Yhteensä
Sähköverkko, 150 kW <sup>62</sup>	-	-	-	75 k€	<b>75 k€</b>
Sähköverkko, 75 kW <sup>63</sup> , ja puskuriakku	-	-	277 k€	75 k€	<b>352 k€</b>
Diesel-aggregaatti, 100 kW	30 k€	30 k€	190 k€	75 k€	<b>325 k€</b>
Metanoli-polttokenno, 100 kW	30 k€	100 k€	190 k€	75 k€	<b>395 k€</b>
Vety-polttokenno, 100 kW	150 k€	100 k€	190 k€	75 k€	<b>515 k€</b>

Kustannuksista nähdään selkeästi riittävän tehokkaan sähköliittymän olevan investointikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto sähköisten työkoneiden lataamiseen, mutta kaikille työille sähköliittymää ei välttämättä ole mahdollista saada lainkaan. Heikoman sähköliittymän tapauksessa puskuriakun oikea mitoitus nousee tärkeään rooliin, koska akkujen hinnat vaikuttavat vielä investointien kokonaissummaan huomattavan paljon. Työkohteella tapahtuvan sähköntuotannon vaihtoehdoista (diesel-aggregaatti ja polttokennot) alhaisimmat investointikustannukset tulevat diesel-aggregaatin käytöstä, missä yhdistyy helposti varastoitava nestemäinen polttoaine ja vakiintunut ja kilpailtu polttomootoriteknologia, kun taas korkeimmat kustannukset aiheutuvat vety-polttokennon käytöstä, missä kaasumaisen vedyn varastoinnin ja polttokennoteknologian korkeat kustannukset vaativat huomattavia investointeja.

Sähköisissä työkoneissa ei itsessään lähipäästöjä ole, jolloin sähköntuotannon päästöt ratkaisevat toiminnan kokonaispäästöt. Työkoneiden latauksen tapahtuessa sähköverkon tuella voi sähkön päästöihin vaikuttaa hankkimalla päästötöntä sähköä, kun taas paikallisessa sähkön tuotannossa päästöt määräytyvät käytetyn polttoaineen mukaan. Dieseliä käytettäessä polttomootoreissa paikallisesta sähköntuotannosta syntyy väistämättä lähipäästöjä ja kokonaispäästöt riippuvat polttoaineen lähteestä (fossiilinen, biopohjainen, synteettinen). Käytettäessä vetyä, metanolia tai muuta hiilivetyä sähköntuotantoon polttokennolla koneessa tai stationääriyksikössä ei lähipäästöjä

<sup>60</sup> Pienitehoisella sähköliittymällä 875 kWh li-ioni akku, muissa 600 kWh li-ioni akku

<sup>61</sup> 150 kW CCS-pikalaturi

<sup>62</sup> Kolmivaiheliihtymä, 400V/250A

<sup>63</sup> Kolmivaiheliihtymä, 400V/125A

sähköverkon käytön tapaan myöskään tule, mutta kokonaispäästöihin vaikuttaa vedyn, metanolin tai muun hiilivedyn tuotantomuoto.

Harkittaessa sähköisen työkoneen hankintaa väliaikaisia työkohteita varten tulisi arvioida sähköverkon saatavuus työkohteille yleisimpien käyttökohteiden mukaan: ovatko työkohteet pääsääntöisesti sähköverkon piirissä? Sähköisen työkoneen käyttäminen jokaisella työkohteella diesel-aggregaatin varassa on kallis ratkaisu, millä ei saavuteta yhtään päästövähennyksiä diesel-työkoneeseen verrattuna, mutta mikäli diesel-aggregaattia tarvittaisiin vain pienemmässä osassa työkohteista, saataisiin työkonekohtaisia käyttövoimakuluja pienennettyä ja suuremmissa osassa työkohteista päästöjä vähennettyä. Polttokennoihin pohjautuvat paikallisen sähköntuotannon muodot ovat kalliimpia, mutta lähipäästöjen ja melun kannalta vähäisempiä, jolloin ne soveltuvat erityisesti kaupunkiympäristöihin. Työkoneiden sähköistymisen tukemista harkittaessa tulisi huomioida myös paikallisen sähköntuotannon tukeminen, mikä osaltaan tukee myös huoltovarmuutta, kun poikkeusolosuhteiden vallitessa työkohteiden sähköntuotanto voidaan ottaa käyttöön yhteiskunnan kriittisten toimintojen turvaamiseen.

## 7.3 Työkoneiden hybridisointi ja sähköistäminen

Laskennan tarkoituksena on selvittää työkoneiden hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus energiankulutukseen. Taulukossa 8 esitetyistä 12 työkonekategoriasta on otettu tarkasteluun viisi konetyyppiä:

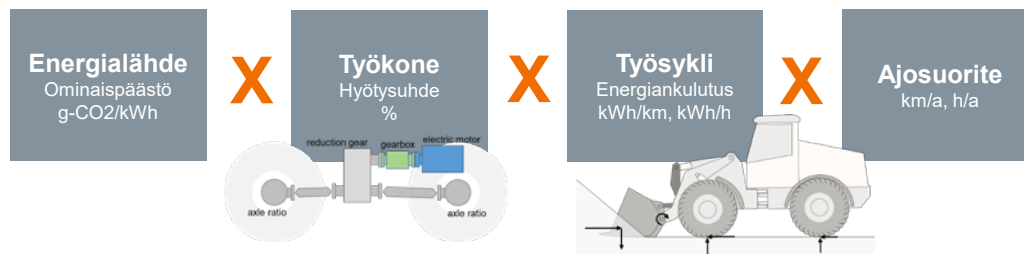
- Pyöräkuormaaja
- Maataloustraktori
- Metsäharvesteri
- Kunnossapitotraktori (Muut työkoneet)
- Kaivinkoneet, tela-alustainen (kvalitatiivinen analyysi)

Tarkastelussa määritetään työkoneelle tyypillinen työsuorite, sen energiankulutus sekä koneelle ominainen energiantehokkuus perinteisellä voimalinjalla sekä hybridi-voimalinjalla varustettuna. Tarkasteluun on pyritty valitsemaan työkoneet, jotka edustavat mahdollisimman suurta osuutta työkonesektorista, ja joiden ominaisuudet, tyypilliset työtehtävät, energiankulutukset ja toimintaympäristöt ovat keskenään erilaisia. Tarkastellut työkonekategoriat edustavat yhteensä noin 70 % Suomen vuotuisesta työkoneiden CO<sub>2</sub>-päästöstä.

### 7.3.1 Menetelmä ja käyttötapaukset

Laskentamenetelmä työkoneiden energiankulutuksen ja polttoaineenkulutuksen määrittämiseksi on havainnollistettu kuvassa 29. Työkoneiden keskimääräisen ja tyyppillisen energiankulutuksen määrittämiseksi tarvitaan tieto työsyklistä, joka kuvaa työkoneen tehontarpeen ajan funktiona. Seuraavaksi tarvitaan työkoneen perusparametrit sekä koneen toiminnallisuuden kuvaus, jonka perusteella määritetään tehonlähteiden käyttö ja hybridoimallinjan toiminta. Näiden avulla voidaan arvioida työkoneen toimintojen hyötysuhteet, polttoaineenkulutus ja akkuenergiankulutus sekä tarvittava akun koko sekä lataustarve tarkastellussa työsyklissä. Työsuoritteen ja työkoneen tehokkuuden lisäksi tarvitaan energialähteen ominaispäästö, jolloin voidaan määrittää koneen CO<sub>2</sub>-päästö työsuoritetta kohti. Vuosittaisen ajomäärän perusteella tarkastelu voidaan tehdä myös vuositasolla. Pitämällä käyttösykli vakiona voidaan menetelmän avulla määrittää koneen voimallinjan hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus polttoaineenkulutukseen ja kokonaisenergiankulutukseen eri tyyppisille työkoneen voimallinjoille.

**Kuva 29.** Työkoneiden energiankulutus ja CO<sub>2</sub>-päästö muodostuminen energialähteen ominaispäästöstä, työkoneen energiatehokkuudesta, työsyklistä, sekä operointiajasta.



Tarkastelun olennaisena lähtötietona on tyyppillisen käyttösyklin kuvaus. Olennaisia seikkoja työsyklissä on keskimääräinen tehontarve, tehontarpeen vaihtelu ajan suhteen, mahdollisuus energian talteenottoon, työsyklin kesto sekä käyttöympäristö. Työsykli määrittää työkoneen eri osajärjestelmien tehontarpeen. Laskennassa työkoneiden osajärjestelmille oletetaan hyötysuhteet, joiden avulla määritetään koneen polttomoottorin ja sähkömoottorin tehontarve. Laskenta määrittää energian käytön polttomoottorin ja sähkömoottorin kesken. Tehotarpeiden perusteella määritetään polttomoottorin polttoaineenkulutus ja sähkömoottorin energiankulutus. Hybrideille määritetään joko hydraulinen voimansiirto tai sähkökäyttöisenä mekaaninen voimansiirto.

Työkoneen voimallinjan hybridisointi tuo joustavuutta polttomoottorin käyttöön, mahdollistavat energiantalteenoton, jos työsyklissä sellaista on tarjolla, osajärjestelmien sähköistämisen ja hyötysuhteen parantamisen, mutta samalla mahdollistavat pitkän työsuorituksen polttomoottorin avulla. Hybridoimallinjan hyöty korostuu työsykleissä,

joissa keskimääräinen teho on alhainen, mutta hetkellinen kuormitus korkea. Tällöin kuormituspiikit voidaan tuottaa sähkömoottorilla energiavarastosta ja polttomoottori voidaan mitoittaa pienemmäksi. Koneessa olevan energianvaraston suuruudesta riippuen myös lataushybridivaihtoehto on mahdollinen, jolloin osa työsuoritteesta voidaan tehdä sähköllä.

Työhydrauliikan osalta tarkastellaan järjestelmää, joka koostuu pumpusta, suunta-venttiilistä, toimilaitteista, jotka ovat yhdistetty putkien ja letkujen avulla, ja joissa etäisyydet komponenttien välillä voivat olla pitkiä. Toisena vaihtoehtona on sähköhydraulinen toimilaitte, jossa yksi suuri hydraulipumppu korvataan toimilaitteiden yhteydessä olevilla sähkömoottorikäyttöisen hydraulipumpun ja toimilaitteen kokonaisuudella. Energiategokkuuden kannalta tällaisella järjestelyllä säästetään hydraulitehon-siirrossa syntyvät häviöt, suunta-venttiilissä syntyvät häviöt sekä mahdollistetaan energiantalteenotto työkoneen suorittamasta prosessista.

Tarkastellut työkoneiden voimalinjojen arkkitehtuurit ovat rinnakkaishybridi, sarjahybridi sekä täyssähköinen voimalinja. Rinnakkaishybridiarkkitehtuureissa (1A/B) polttomoottorin rinnalla on sähkömoottori ja akku. Teholähteet ovat yhdistetty tyypilliseen esimerkiksi hydraulisen voimansiirtoon (1A) tai sähköiseen voimansiirtoon (1B). Sarjahybridiarkkitehtuurissa (2A/B) voimalinjaa käyttää sähkömoottori (ajaminen, hydraulikka, apulaitteet). Teho tuotetaan polttomoottori/generaattori yksiköllä, joka varastoii energian akkuun tai syöttää suoraan ajomoottoreille. Vaihtoehdossa 2A voimansiirto on perinteinen hydraulinen ja vaihtoehdossa 2B sähköinen. Työhydraulikka oletetaan molemmissa versioissa 2A ja 2B sähköhydrauliseksi. Sarjahybridi versiossa polttomoottori/generaattori voidaan korvata myös esimerkiksi vety- tai metanolikäyttöisellä polttokennolla, mutta tässä työssä tarkastelu on rajattu polttomoottorikäyttöön. Täyssähköinen voimalinjavaihtoehto (3A) on lähellä sarjahybridiversiota, mutta ilman polttomoottori/generaattoripakettia. Täyssähköisen työkoneen edellytyksenä on riittävä tehokas latausmahdollisuus, jotta koneella pystytään operoimaan kokonaista työsuoritetta.

Työkoneiden käyttöön eri käyttötapauksissa liittyy lukuisia tyypillistä työsuoritetta kuvaavia seikkoja, jotka myös vaihtelevat paljon eri kohteissa työtehtävän ja ympäristön mukaan. Näiden huomioimiseksi analyysissä käytettiin seuraavia suureita, joiden pohjalta arvioitiin ladattavien hybridien ja sähköisten työkoneiden akuston koko ja tarvittava latausteho. Akuston koon ja lataamisen kautta käytettävissä olevan sähköenergian kautta edelleen laskettiin käyttövoimien polttoöljy/sähkö suhde eli hybridisointiaste kussakin koneessa, sekä käyttökohteessa vaadittava latausteho. Pääparametrit olivat:

- Käyttöaste (%). Käyttöasteella ymmärretään koneen aktiivinen toiminta-aika yhden 8 tunnin työjakson aikana. Vastaavasti käyttöasteen kautta arvioidaan lataamiseen tai tankkaamiseen käytettävissä olevaa aikaa. Analyysissä työ-koneiden oletettu käyttöaste oli tyypillisesti 80–90%.
- Latauksen käytettävyys (%). Parametrin kautta arvioidaan kussakin käyttötapauksessa sitä, miten hyvin lataus on toisaalta ajan ja paikan suhteen järjestettävissä koneen operatiivisen käytön lomassa käyttöasteen näin salliessa, sekä sitä, miten luotettavasti latauksen tekninen ratkaisu toimii. Analyysissä latauksen käytettävyydelle oletettiin arvoksi 20–50%.

Kunkin ladattavan hybridi- ja sähkötyökoneen akuston koko arvioidaan näitä pääparametreja hyödyntäen. Lisäksi laskennassa on käytetty lisäparametrina pisintä keskeytymättömän työn jaksoa ja sille tyypillisenä oletuksena 3 tuntia. Näiden parametrien pohjalta arvioidaan kussakin käyttötapauksessa akuston vaadittu koko ja myös tarvittava latausteho.

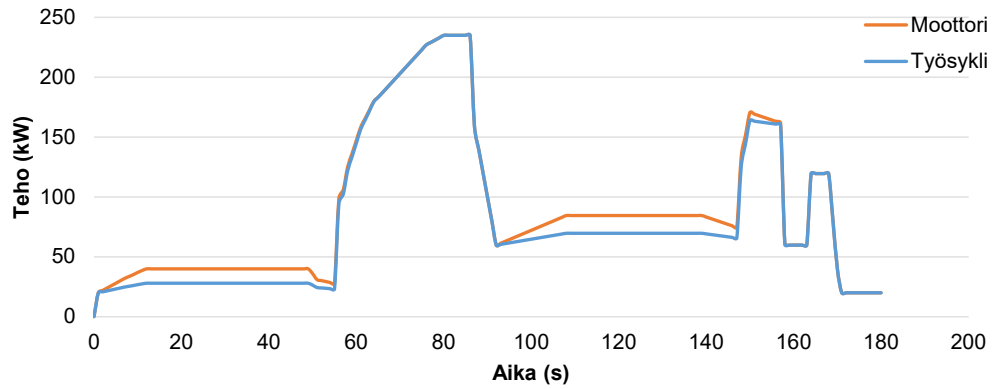
### 7.3.2 Pyöräkuormaajat

Pyöräkuormaajien ryhmässä on laaja vaihtelu niin koneiden kokoluokassa (koneiden massa suuruusluokassa 2–40 tonnia) kuin koneilla tehtävien töiden tehontarpeessa. Pyöräkuormaajien kohdalla tarkastellaan kolmea eri kokoluokan konetta (8, 20, 30 tonnia). Raskaimmille koneille energiankulutuksen laskennassa käytetään työsyklinä lastaussykliä, joka on tyypillinen maansiirrosta sekä logistiikassa. Lastaussyklin tehontarve on esitetty kuvassa 30. Lastaussyklissä kone täyttää kauhan irrottamalla materiaalia kasasta, jolloin tarvitaan korkeaa tehoa. Tämän jälkeen koneella siirrytään paikkaan, johon materiaalia siirretään, esimerkiksi lastattavan auton viereen, ja tyhjennetään kauha. Pyöräkuormaajien kanssa samantyyllisenä ryhmänä ovat topologialta samanlaiset, mutta kokoluokaltaan pienemmät koneet, joita käytetään kunnossapito- ja kiinteistöhoitotöissä. Näille koneille on määritetty harjaus-, auras- ja lastaussykli. Kuvassa 31 on esitetty kunnossapitokoneen tehontarve harjaussyklissä, joka perustuu mittausdataan. Aurasykli hyödyntää karttatiedon avulla tehtyä ajoreittiä, nopeusprofiilia sekä arvioitua auraamisen lisävastusta.

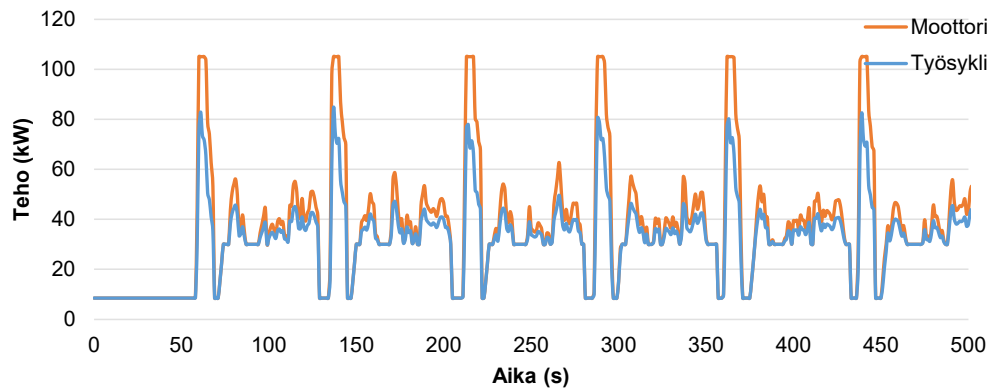
Hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus pyöräkuormaajien energiankulutukseen, hyötysuhteeseen, on esitetty 30 tonnin pyöräkuormaajalle lastaussyklissä taulukossa 12 ja kunnossapitotraktorille harjaussyklissä taulukossa 13. Hybridikoneille on oletettu, että koneella tehdään keskeytymätöntä työtä neljä tuntia ja että lataustauko on yksi tunti.



**Kuva 30.** Työsyklin määrittämä tehontarve sekä tämän tuottamiseen tarvittava moottoriteho pyöräkuormaajalle lastaussyklissä.



**Kuva 31.** Työsyklin määrittämä tehontarve sekä tämän tuottamiseen tarvittava moottoriteho pyöräkuormaajalle harjaussyklissä.



**Taulukko 12.** Hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus 30 tonnin pyöräkuormaajalle lastaus-  
syklissä.

	Polttoaineen kulutus	Polttoaineen kulutus	Sähkön kulutus	Energian kulutuksen muutos	Maksimiteho	Keskiteho	Akku	Latausteho
	litraa	kWh	kWh	%	kW	kW	kWh	kW
Referenssi	20,4	218,3	0,0	0 %	235,0	89,4	0,0	0,0
Hybridi 1A	17,7	190,2	13,9	-7 %	235	89,4	69,3	-
Hybridi 2B	12,7	136,5	11,2	-32 %	159,8	62,4	56,2	-
Täyssähkö	0,0	0,0	65,6	-70 %	159,8	62,4	328,1	656,2

**Taulukko 13.** Hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus 8 tonnin pyöräkuormaajalle harjaus-  
syklissä.

	Polttoaineen kulutus	Polttoaineen kulutus	Sähkön kulutus	Energian kulutuksen muutos	Maksimiteho	Keskiteho	Akku	Latausteho
	litraa	kWh	kWh	%	kW	kW	kWh	kW
Referenssi	8,3	88,5	0,0	0 %	104,0	38,8	0,0	0,0
Hybridi 1A	6,6	70,9	11,6	-7 %	104,0	38,8	43,3	64,2
Hybridi 2B	3,1	32,8	8,2	-54 %	87,9	22,1	30,6	45,3
Täyssähkö	0,0	0,0	23,4	-74 %	87,9	22,1	87,7	233,7

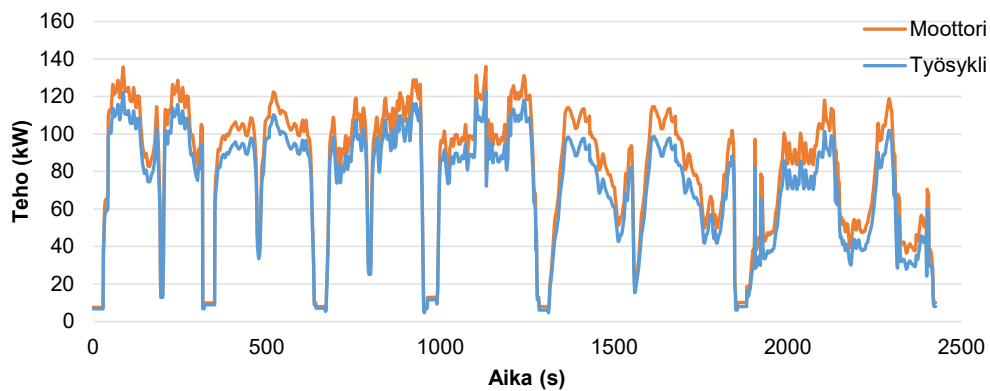
Usealta valmistajalta on tullut markkinoille sähköisiä pyöräkuormaajia, mutta tois-  
taiseksi ne ovat olleet suuruusluokan alapäässä (massaltaan 2–5 tonnia). Suurim-  
mista voidaan mainita Volvo L25 Electric (5 t) ja JCB 525–60E (5,2 t). Näistä kah-  
desta Volvossa on selkeästi suurempi akkukapasiteetti, 40 kWh.

### 7.3.3 Maataloustraktorit

Maataloustraktoreiden työsyklinä käytetään Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaftin  
(DLG) määrittämiä PowerMix-syklejä, jotka kuvaavat traktorin tehontarvetta voiman-  
siirrosta, hydraulikasta sekä voimanulosotosta tyypillisissä maataloustöissä (DLG,

2022). PowerMix-testausyöykliit perustuvat mittausdataan ja ne sisältävät tehotarpeen eri osajärjestelmille ajan funktiona. DLG:n testaustoiminta ja työyöykliit ovat laajasti tunnettuja. Kuvassa 32 on esitetty traktorin työyöykli, joka perustuu DLG PowerMix -yöykliin ja joka sisältää erilaisia traktorin työtehtäviä (kyntö, äestys, niitto, karhotus, paalaus, lannanlevitys).

**Kuva 32.** Työyöyklin määrittämä tehotarve sekä tämän tuottamiseen tarvittava moottoriteho maataloustraktorille.



Hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus maataloustraktorin energiankulutukseen ja hyötysuhteeseen on esitetty taulukossa 14. Laskennassa tarkastellaan traktoria, jonka moottoriteho on 136 kW ja joka soveltuu tehonsa puolesta kaikkiin laskennassa käytettyyn DLG-yöyklin sisältämiin työtehtäviin. Laskennassa on oletettu, että koneella tehdään keskeytymätöntä työtä neljä tuntia ja että lataustauko on yksi tunti. Ominaista traktorin työtehtäville on korkea tehotarve ja pieni regeneroitavissa oleva jarrutusenergian määrä etenkin peltotöissä. Jarrutusenergian määrää kuljetustyötehtävissä arvioitiin todellisesta traktorikäytöstä mitatun nopeusprofiilin avulla. Riippuen traktorin ja perävaunun kokonaisuudesta tarkastellulla nopeusprofiililla saavutettiin keskimäärin 8% säästö polttoainekulutuksessa

**Taulukko 14.** Hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus maataloustraktorille.

	Polttoaineen kulutus	Polttoaineen kulutus	Sähkön kulutus	Energian kulutuksen muutos	Maksimiteho	Keskiteho	Akku	Latausteho
	litraa	kWh	kWh	%	kW	kW	kWh	kW
Referenssi	17,7	190,1	0,0	0 %	136	82	0	0
Hybridi 1A	16,5	176,8	5,4	-4 %	129	77	27	30
Hybridi 2B	16,1	173,0	4,8	-6 %	136	90	24	26
Täyssähkö	0,0	0,0	66,7	-65 %	136	80	333	667

Katsauksena maataloustraktoreiden hybridisoinnin ja sähköistämisen tulevaisuuteen on hiljattain julkaistu artikkeli, joka läpieleikkaa erilaiset innovaatiot, kokeilut ja konseptitason prototyypit eri valmistajilta vuosikymmenten saatossa (Kalocinski, 2022). Ilahduttavasti joukossa on prototyyppisiä, jotka ovat pystyneet täyttämään markkinoiden vaatimukset ja joista on tulossa myyntituotteita lyhyellä aikavälillä.

Idean menestyminen ja johtaminen tuotteistamiseen vaatii huomattavasti paljon muutakin kuin vain todistetusti paremman energiatehokkuuden tai teknologisesti edistyksellisempiä ominaisuuksia. Oikean kokoluokan prototyyppi on avain, jolla edut voidaan näyttää käytännön tasolla. Edistyksellinen käyttäjä- ja asiakaskunta, joilla riittää ymmärrystä ja tukea uutuusidealle investoinnin suuremmista kuluista huolimatta, on erityisen tärkeä. Käyttäjäkokemus, huolto ja jälkimarkkinointi tulee olla tyydyttävällä tasolla alusta alkaen. Tärkeimpänä tekijänä on koneen ympärilleen tarvitsema infrastruktuuri, joka tulee myös olla järjestettynä vähintään suunnitelmatasolla ennen hankintapäätöstä.

Maataloustraktoreiden sähköistymistä hidastavana tekijänä voidaan mainita yhteensopivuus työlaitteiden kanssa, joka perinteisissä traktoreissa on kehittynyt saumattomaksi pitkän ajan kuluessa. Puhutaan muna-kana-ilmioistä koneyksikön tasolla kuten sähköistymisen korkeammalla tasollakin (sähköinen kone vs. tarvittava latausinfra). Lukuunottamatta kuljetustehtäviä, maataloustraktoreilla ei juuri saavuteta etuja jarrutusenergian regeneroinnin kautta. Sähköinen voimalinja tuo suurimmat etunsa modulaarisuuden muodossa, kun traktorin layout vapautuu ja voidaan suunnitella työlaitteita, jotka osin integroituvat traktoriin ja joita voidaan käyttää myös koneen toimiessa autonomisesti. Erityisesti sähköinen voimanotto on tällainen vedenjakaja. Mikäli ei ole traktoria, joka tarjoaa sähköistä energiansyöttöä toimilaitteelle, on epätodennäköistä, että sähköiset työlaitteet yleistyvät. Tämä on todennäköinen syy sille, että parhaiten

menestyneet sähköiset konseptitraktorit edelleen näyttävät ja toimivat pääosin kuten perinteiset traktorit.

Sähköisen voimanoton standardointia varten alan johtavat konevalmistajat ovat perustaneet työryhmän tavoitteena standardoida käytettävä tehonsiirtotapa, nk. Powerbus-teknologia (AEF, 2015). Tiedossa ei ole, että toistaiseksi käytössä olisi virallistettua standardia. Powerbusin toteustustapa vaihtelee konseptista ja valmistajasta riippuen (AC/DC, eri jännitetasoja).

Konseptitasolla on esitelty diesel-sähköinen Fendt X Concept, jonka tarjoama sähköinen voimanotto työlaitteille on mahdollistanut sekä dieselmoottorin pienentämisen että paremman työlaitteen hallinnan (esim. erillisesti ohjattavat niittokoneen leikkuuterät). Akkusähköinen Fendt e100, jossa dieselmoottori on korvattu sähkömoottorilla, mutta voimansiirto on pidetty ennallaan, on ollut esillä vuodesta 2017. Pienen kokoluokan 50 kW konseptitraktorissa on 100 kWh akkupaketti sekä edistyksellinen kokonaisvaltainen lämmönhallintajärjestelmä. Traktorin tuloa markkinoille on jarruttanut akkujen hintataso ja viimeisimmän tiedon mukaan tuotanto alkaa aikaisintaan v. 2024 (Profi, 2020).

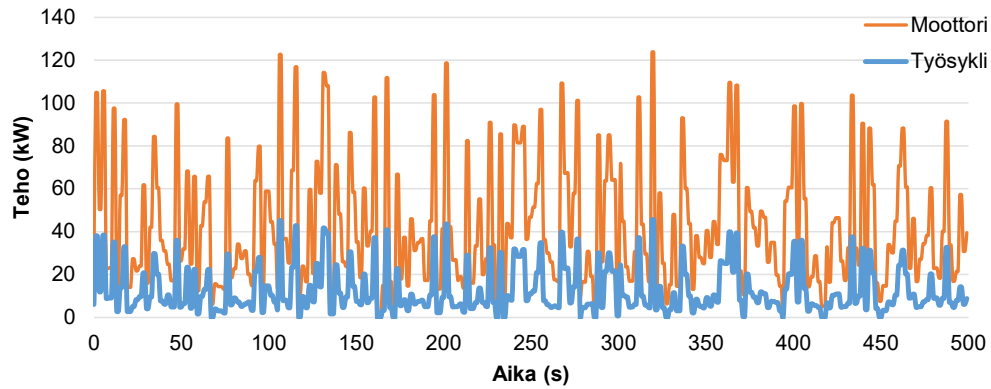
Vuonna 2019 John Deere esitteli uuden ratkaisun perustuen heidän 8 370 R AutoPowr -malliinsa (275 kW, 6-sylint. sekä portaaton CVT-voimansiirto). eAutoPowr-sähköhybridimallissa CVT-vaihteiston hydraulipumput ja -moottorit on vaihdettu sähköisiin, jolloin on saavutettu parempi voimansiirron hyötysuhde. Lisäksi järjestelmässä on harjaton AC-generaattori, joka pystyy tuottamaan 100 kW tehon ulkoisille työlaitteille koneen takana sijaitsevien voimanottopistokkeiden kautta (700 V DC tai 480 V AC 3-vaihe). Projekti on toteutettu yhteistyössä perävaunuja valmistavan Joskinin kanssa, jonka kehittämään vaunuun on asennettu 100 kW vetävä akseli. (Kalocinski, 2022). John Deeren eAutoPwr-mallisto on saatavissa Suomessa v. 2023 alkaen<sup>64</sup>

### 7.3.4 Metsätyökoneet

Metsätyökoneiden osalta tarkastellaan harvesterin työsykliä, joka perustuu todellisesta koneesta mitattuun dataan. Kuva 33 esittää harvesterille tyypillisen tehontarpeen ajan funktiona, jossa on suurta vaihtelua, korkeita piikkitehoja prosessin aikana sekä verraten alhainen keskiteho.

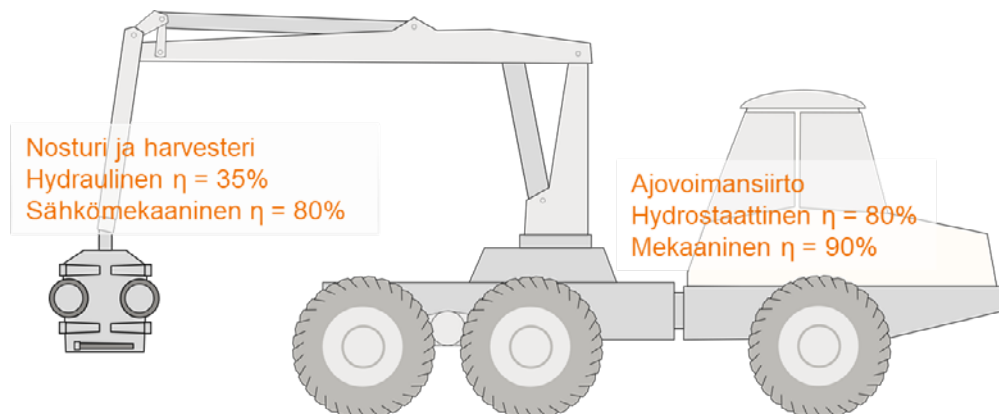
<sup>64</sup> Puhelinkeskustelu 1.6.2022. Juha Vuolle, Witraktor / Rafael Åman, VTT

**Kuva 33.** Työsyklin määrittämä nettotehontarve sekä tämän tuottamiseen tarvittava moottoriteho harvesterille.



Hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus koneiden energiankulutukseen, hyötysuhteeseen, on esitetty taulukossa 15. Laskennassa on oletettu, että koneella tehdään keskeytymätöntä työtä neljä tuntia ja että lataustauko on yksi tunti. Mitatusta työsykli-datasta on erotettu koneen työvaiheina nosturikäyttö, harvesterikäyttö sekä ajaminen. Näille toiminnoille on määritetty hyötysuhteet (kuva 34), joiden avulla on laskettu nettotehontarve. Eri hybridiversioiden voimalinjan tehontarve on määritetty nettotehontarpeesta huomioiden kyseisen hybridiversion osajärjestelmien hyötysuhteet.

**Kuva 34.** Laskennassa käytetyt hyötysuhteet ajovoimansiirrolle sekä työhydrauliikalle.



**Taulukko 15.** Hybridisoinnin ja sähköistämisen vaikutus harvesterille.

	Polttoaineen kulutus	Polttoaineen kulutus	Sähkön kulutus	Energian kulutuksen muutos	Maksimiteho	Keskiteho	Akku	Latausteho
	litraa	kWh	kWh	%	kW	kW	kWh	kW
Referenssi	9.2	99.0	0	0 %	131	39	0	0
Hybridi 1A	6.8	73.3	10.2	-16 %	58.6	39.7	20	23
Hybridi 1B	6.7	71.8	10.2	-17 %	58.6	39.2	20	23
Hybridi 2A	3.7	40.1	10.2	-49 %	45.6	43.3	20	23
Hybridi 2B	3.6	38.5	10.2	-51 %	29.9	28.4	20	23
Täyssähkö	0	0	26.3	-73 %			131	263

Markkinoilla on tällä hetkellä Logsetin järeän luokan hybridiharvesterit (kokonaismassat 24 ja 23,5 tonnia) kahdessa eri teholuokassa (maksimitehot 380 kW ja 310 kW) <sup>65</sup>. Koneet ovat rinnakkaishybridejä, joissa energiavarastona ovat superkondensaattorit. Toimilaitteet harvesteripäälle, nosturille ja ajovoimansiirrolle ovat hydraulisia.

Akkusähköisestä toteutuksesta on esimerkkinä Malwan kehittämä konseptiharvesteri, joka on esitelty Elmia Wood 2022 -messuilla. Tämä kevyemmän kokoluokan konekykenee toimimaan harvesterina ja kuormatraktorina ja soveltuu siten pirstaloituneille kaupunkimetsille. Myös Malwan konseptikoneessa toimilaitteet harvesterille, nosturille ja ajovoimansiirrolle ovat hydraulisia. Malwan koneen operointiaika on kaksi tuntia ja operointiajan pidentämiseksi on suunniteltu akkuvaihtotekniikkaa. RISE Research Institute of Swedenin vetämän tutkimusprojektin tavoitteena on akkuvaihtotekniikan kehittäminen ja demostoinen maa- ja metsätalouden työkoneiden sähköistämiseksi, ja tässä projektissa Malwa on mukana. <sup>66</sup>

<sup>65</sup> Logset Hybrid esite. Saatavilla: [https://www.logset.com/sites/default/files/product-pdf/LOGSET\\_HYBRID\\_BIBLE\\_FI\\_0.pdf](https://www.logset.com/sites/default/files/product-pdf/LOGSET_HYBRID_BIBLE_FI_0.pdf)

<sup>66</sup> Malwan konseptiharvestrin esittely. Saatavilla: <https://www.forestry.com/editorial/malwa-its-electrifying/>

### 7.3.5 Kaivinkoneet

Tela-alustaisia kaivinkoneita löytyy laaja valikoima eri kokoluokissa. Tässä työssä on keskitytty kokoluokkaan 16–36 tonnia. Täyssähköisiä tela-alustaisia kaivinkoneita on nykyään tarjolla kattavasti malliston pienemmässä päässä. Ajavana tekijänä tämän kokoluokan sähköistymisessä on, että ko. koneet työskentelevät monesti sisätiloissa ja kaupunkien keskustoissa (esim. purkutyöt ja viherrakentaminen). Luokassa 16–36 tonnia työskennellään laajemmilla infrarakennustyömailla, joista pienemmän pään koneet kaivavat esim. putki- ja kaapelireittejä kaupunkien keskustoissa, kun taas suuremman pään koneet työskentelevät esim. tie- ja ratatyömailla (pintamaiden poiskai-vuu, louheen kuormaus, jne.). Näiden koneiden kohdalla erilaiset hybridisointitekniikat ovat suotuisia johtuen koneiden verrattain raskaista työsykleistä sekä latausinfran puuttumisesta kuvatuissa kohteissa. Tela-alustaisissa kaivinkoneissa hybridisoinnin taso vaihtelee paljon niin kaivinkoneen työpainon kuin käytettävän hybridisointitekniikan mukaan. Käytettävät hybridijärjestelmät voidaan jakaa sähköisiin ja hydraulisiin hybrideihin.

Sähköhybrideissä suosituin hybridisointitekniikka on sähköinen ylävaunun kääntö, joka ottaa talteen ja varastoi energiaa. Järjestelmä on toteutettu korvaamalla käännön hydraulimoottori sähkökoneella, joka voi toimia moottorina ja generaattorina, sekä energiavarastona toimivalla superkondensaattorilla (Komatsu, 2020). Järjestelmän etuna on sen helppo implementoitavuus olemassa oleviin kaivinkoneisiin, jolloin rinnakkain voidaan tarjota, niin hybridi- kuin perinteistä versiota. Järjestelmän yksinkertaisuuden vuoksi myös lisähinta pysyy maltillisempana. Heikkoutena on järjestelmän toiminta vain yhdessä koneen toiminnoista, jolloin saavutetut hyödyt rajautuvat vain työtehtäviin, jotka sisältävät paljon kääntöä, esim. kuormaaminen. Tällä hetkellä kaupallisesti saatavilla olevista sähköisen ylävaunun käännön tarjoamasta energiansäästöpotentiaalista ei ole saatavissa riippumatonta tutkittua tietoa. Komatsu ilmoittaa -20 % / 200 tCO<sub>2</sub> arvioidun vähennyksen koneen elinkaaren aikaisista päästöistä verrattuna valmistajan vastaavan kokoluokan perinteisen teknologian malliin. Tiedot perustuvat Komatsun omiin analyyseihin heidän KOMTRAX-tiedonkeruujärjestelmän keräämästä datasta (Komatsu, 2021). Vaikka valmistajien ilmoittamaa päästövähennyspotentiaalia ei suoraan voi pitää referenssinä, johtuen taustatiedon puuttumisesta, on ilmoitettu arvo hyvin linjassa myös kilpailijoiden kanssa (Hitachi, 2020. Caterpillar, 2013).

Uutuustutkimusta kaivinkoneiden sähköhybridien alalla edustaa sähkö-hydraulisesti toteutettu portaattoman tehonjakamiseen perustuva hybridijärjestelmä (Yu et al. 2021). Järjestelmä olisi siis potentiaalinen kaivinkonekäyttöön, mutta markkinoille tuloa ei voi vielä ennustaa. Järjestelmän etuna on, että se ottaa talteen ja varastoi energiaa energian kaivinkoneen kaikista toiminnoista. Järjestelmän heikkoutena on, että



se edellyttää lisää komponentteja verrattuna perinteiseen hydraulijärjestelmään, jolloin lisäkustannusta on vaikeampi perustella. Kuitenkin laboratoriotesteissä on todettu energiansäästöpotentiaalin olevan välillä 36–45 %. Tämä on huomattavasti enemmän kuin tässä luvussa käsitellyt sähköinen käynnön hybridisointi tai hydraulinen hybridi tarjoavat.

Sähköiselle hybridille vaihtoehtoinen hybridisointitekniikka on hydraulinen, joka ottaa talteen ja varastoi energiaa paineakkuihin (AB Volvo, 2022. Mobile Hydraulic Tips, 2019). Järjestelmän energiansäästöpotentiaali on pienempi verrattuna sähköisen käynnön hybridiin, mutta etuna on, että se käyttää talteen otettua ja varastoitua energiaa kaivinkoneen kaikkiin toimintoihin. Hydraulihybridi kerää talteen ”vapaata” potentiaalienergiaa kaivupuomin laskuliikkeestä, joka sitten on käytettävissä tehostamassa muuta hydraulipiiriä erillisen hydraulimoottorin avustuksella. Tämä toiminto tasaa dieselmoottorin kuormitushuippuja, joka parantaa moottorin energiataloutta. Volvota kerrotaan uuden hydraulihybridin olevan 10–12 % matalampi polttoaineenkulutukseltaan ja jopa 17 % parempi polttoaineen hyötysuhteeltaan verrattuna perinteiseen saman kokoluokan kaivinkoneeseen – riippuen koneen suorittamasta työsyklistä. Järjestelmän heikkoutena, että se edellyttää lisää komponentteja verrattuna perinteiseen hydraulijärjestelmään. Tätä lisäkustannusta Volvota perustellaan siten, että järjestelmä koostuu minimaalisesta määrästä lisäkomponentteja, jotka ovat samalla verrattain yksinkertaisia ja helppoja huoltaa.

Täyssähköisten kaivinkoneiden puolella käsitellyssä kokoluokassa eräs lähestymistapa on ns. retrofit, jossa kaivinkoneen rakenne ja hydraulijärjestelmä säilyy ennallaan, mutta dieselmoottori vaihdetaan sähkömoottoriin (Danfoss, 2022). Koneen energiansyöttö hoidetaan vaihdettavilla akkupaketeilla, joten laite voi periaatteessa työkennellä tauottomasti. Järjestelmän etuina ovat parantunut primääritelontalteen hyötysuhde – ICE 35 %, sähkökäyttö 90 % – sekä kaivinkoneen laajemmat käyttömahdollisuudet. Monet kaupungit ja kunnat, erityisesti EU-alueella, edellyttävät tiukempia päästövaatimuksia kuin mitä lainsäädännön puolesta edellytettäisiin (Construction Europe, 2022). Nämä vaatimukset voidaan yleisesti saavuttaa vain sähkökäyttöillä.

## 7.4 Omistajan kokonaiskustannus TCO

Edellä esitettyihin laskennallisiin tarkasteluihin neljässä käyttötapauksessa (pyöräkuormaajat, maataloustraktorit, metsäharvesterit, muut dieseltäykoneet) liitettiin myös tekno-ekonomisen omistajan kokonaiskustannusten (TCO, Total Cost of Ownership) arviointi. Analyysi käyttää periaatteiltaan samaa taustamenetelmää kuin aiempi KAROLIINA-hankkeessa esitetty raskaan tieliikenteen TCO-analyysi [Pihlatie, 2021],

mutta laskenta ja skenaariot on tehty lähtötietojen hajanaisuuden ja myös epävarmuuksien vuoksi yksinkertaistettuna. Teknisesti analyysissä arvioidaan edellä lasketujen neljän käyttötapauksen voimalinjavaihtoehtojen kokonaiskustannuksia tarkasteluvuosina 2021, 2025 ja 2030 sekä näinä vuosina tehdyt työkonehankinnat käyttäen dieselyökoneita referenssinä ja verrattiin sitä eri hybridiversioihin ja täyssähköiseen työkoneeseen. Analyysissä omistajan kokonaiskustannukseen on laskettu mukaan pääomakuluja (CAPEX) ja käyttöön liittyviä kuluja (OPEX), mutta ei koneoperaattorin palkkakuluja.

Pääomakuluihin laskettiin mukaan

- energiainfrastruktuuri, jossa dieselyökoneille oletettiin polttoainesäiliö ja pumppu (hankintahinta 31 k€, joka jyvitetään viidelle koneelle). Ladattaville työkoneille oletettiin tarvittavan kaksi laturia: DC-tasavirtalaturi jolla akusto ladataan edellisessä kappaleessa arvioidussa käyttöasteesta riippuvassa ajassa, sekä varikolle pienempitehoinen AC-vaihtovirtalaturi, jolla akusto ladataan DC-laturiin verrattuna kolminkertaisessa ajassa (laturien hankintahintat/kW alla, lisäksi oletettiin matalajänniteverkon liittymiskustannukseksi 45 €/A ja täyssähköisten työkoneiden osalta oletettiin lisäksi tarvittavan liittymä keskijänniteverkkoon 2 000€ / 100 kVA mutta ei siirtokaapelia muuntajalle),
- työkoneen rungon hinta ilman voimanlähdettä ja akustoja,
- polttomoottori- ja sähkövoimalinjan kustannus arvioituna €/kW mitoitetusta tehosta,
- akuston hinta €/kWh.

Huomattakoon, että kunkin analysoidun tapauksen hankintahintoihin ja niiden kehitykseen liittyy epävarmuuksia ja lähdeviitteet näiden arvioimiseksi ovat rajalliset. Tyypillisesti uusien tuotteiden tuotekehitys nostaa alkuvaiheessa hankintahintoja. Sarjahybrideille ja täyssähköisille työkoneille, jotka sisälsivät analyysissä uuden voimalinjatopologian ja muutoksia hydrauliiikan toteutuksessa, oletettiin uuden teknologian kehittämiseen ja markkinoille saattamiseen liittyvä, tuotteen ostohintaa nostava lisäkustannus. Huolto- ja ylläpitokuluja ei arvioitu ja ne oletetaan siten samaksi riippumatta koneen käyttövoimasta. Pidemmällä tähtäimellä on mahdollista, että sähköisten työkoneiden huolto ja ylläpito on jonkin verran perinteisiä koneita halvempaa. Työkoneiden ja infrastruktuurin poistoaajaksi ja myös akuston kestoaikaksi oletettiin 10 vuotta ja korkokannaksi 5 %. Työkoneille oletettiin 228 käyttöpäivää vuodessa ja käyttöajaksi 8 tuntia/päivä. Kontaktillisen latauksen hyötysuhteeksi oletettiin 98%.

Kokonaiskustannuksen TCO-arvio tehtiin kuvaamaan työkoneen hankintapäätöstä vuosina 2021, 2025 ja 2030. Käytetyt parametrien arvot on esitetty taulukossa 16.

**Taulukko 16.** TCO-analyysissä käytettyjä lähtötietoja.

Muuttuja / Vuosi	2021	2025	2030
AC-laturin hinta, €/kW	100	90	80
DC-laturin hinta, €/kW	500	450	400
ICE-voimalinjan hinta, €/kW	70	75	80
Sähkövoimalinjan hinta €/kW	70	65	60
Ajovoima-akun hinta, €/kWh	500	400	300
Kevyen polttoöljyn hinta, €/l	1,2	1,4	1,6
Lataussähkön hinta, €/kWh	0,15	0,17	0,19
Hybridi 2- ja täyssähkökoneiden lisäkustannuskerroin (tuotekehitys ja lanseeraus)	1,5	1,4	1,3

Menetelmällä arvioitiin TCO edellä esitetyissä tapauksissa. Laskennan lähtöiedot moottoritehojen (ICE ja sähkömoottori) osalta sekä polttoöljyn ja sähköenergian kulutukset on otettu edelle osiossa 7.3 esitetyistä tuloksista. Lähtötietoihin perustuvat TCO-tulokset on esitetty alla olevissa taulukoissa käyttötapauksittain.

### 7.4.1 Pyöräkuormaajat

Pyöräkuormaajien arvioitu TCO (€/v) vuosille 2021, 2025 ja 2030 on esitetty taulukossa 17. Pyöräkuormaajille oletettiin käyttöaste 90% ja latauksen toteutettavuus 40%. Hybridien sähköistysaste (sähköenergian osuus kokonaisenergiankulutuksesta) oli 18–26%.

**Taulukko 17.** Pyöräkuormaajien vuosittainen omistajan kokonaiskustannus eri voimalinja- ja järjestelmätopologioilla.

Vuosi	Tyyppi	Infra (€)	Runko (€)	ICE (€)	Sähkö (€)	Akku (€)	CAPEX (€/v)	KPÖ (€/v)	Sähkö (€/v)	OPEX (€/v)	TCO (€/v)	TCO grad. (%)
2021	ICE	6 200	60 000	7 278	0	0	10 458	16 261	0	16 261	26 719	0 %
	Hybridi 1A	19 142	60 000	7 278	2 715	27 063	16 342	12 227	3 627	15 854	32 197	20 %
	Hybridi 2B	15 997	90 000	1 545	6 150	19 104	18 194	5 220	2 560	7 780	25 975	-3 %
	Sähkö	29 311	90 000	0	6 150	43 827	22 720	0	5 873	5 873	28 593	7 %
2025	ICE	6 200	60 000	7 798	0	0	10 593	18 971	0	18 971	29 564	0 %
	Hybridi 1A	18 073	60 000	7 278	2 521	21 651	15 453	14 265	4 110	18 376	33 828	14 %
	Hybridi 2B	15 242	84 000	1 656	5 711	15 283	16 740	6 090	2 901	8 992	25 731	-13 %
	Sähkö	26 685	84 000	0	5 711	35 062	20 354	0	6 656	6 656	27 010	-9 %
2030	ICE	6 200	60 000	8 317	0	0	10 728	21 681	0	21 681	32 409	0 %
	Hybridi 1A	17 003	60 000	7 278	2 328	16 238	14 563	16 303	4 594	20 897	35 460	9 %
	Hybridi 2B	14 488	78 000	1 766	5 272	11 462	15 285	6 960	3 243	10 203	25 488	-21 %
	Sähkö	24 059	78 000	0	5 272	26 296	17 988	0	7 439	7 439	25 427	-22 %

Analyysin perusteella pyöräkuormaajien osalta hybridi 1 saavuttaa kustannuskilpailukyvyssä vertailukohtana toimivaa polttomootorikonetta, mutta energiankulutuksen säästöt jäävät suhteessa pienemmiksi kuin tarve panostaa infrastruktuuriin. Sen sijaan sekä hybridi 2 että sähkö näyttävät olevan kustannustehokkaina vaihtoehtoina, hybridi 2 nopeammin ja täyssähköinen työkone hieman myöhemmin.

## 7.4.2 Maataloustraktorit

Maataloustraktorien arvioitu TCO (€/v) vuosille 2021, 2025 ja 2030 on esitetty taulukossa 18. Traktoreille oletettiin käyttöaste 80% ja latauksen toteutettavuus 30%. Hybridien sähköistysaste (sähköenergian osuus kokonaisenergiankulutuksesta) oli 10–11%.

**Taulukko 18.** Maataloustraktorien vuosittainen omistajan kokonaiskustannus eri voimalinja- ja järjestelmätopologioilla.

Vuosi	Tyyppi	Infra (€)	Runko (€)	ICE (€)	Sähkö (€)	Akku (€)	CAPEX (€/v)	PÖ (€/v)	Sähkö (€/v)	OPEX (€/v)	TCO (€/v)	TCO grad. (%)
2021	ICE	6 200	140 000*	9 520	0	0	21 399	27 596	0	27 596	48 996	0 %
	Hybridi 1A	18 551	140 000	3 885	5 138	30 303	26 794	21 090	3 610	24 700	51 494	5 %
	Hybridi 2B	17 363	210 000	2 380	3 920	26 738	34 539	20 539	3 185	23 724	58 263	19 %
	Sähkö	34 421	210 000	0	5 614	111 146	47 502	0	13 240	13 240	60 741	24 %
2025	ICE	6 200	140 000*	10 200	0	0	21 575	32 196	0	32 196	53 771	0 %
	Hybridi 1A	17 541	140 000	3 885	4 771	24 242	25 784	24 605	4 091	28 696	54 480	1 %
	Hybridi 2B	16 471	196 000	2 550	3 640	21 390	31 889	23 963	3 610	27 572	59 462	11 %
	Sähkö	31 284	196 000	0	5 213	88 917	42 300	0	15 005	15 005	57 305	7 %
2030	ICE	6 200	140 000*	10 880	0	0	21 752	36 795	0	36 795	58 547	0 %
	Hybridi 1A	16 531	140 000	3 885	4 404	18 182	24 773	28 120	4 572	32 693	57 465	-2 %
	Hybridi 2B	15 580	182 000	2 720	3 360	16 043	29 240	27 386	4 034	31 420	60 660	4 %
	Sähkö	28 147	182 000	0	4 812	66 688	37 098	0	16 770	16 770	53 868	-8 %

\* Sähköpostikeskustelu 1.6.2022 Toni Helén ja Marko Vilén, AGCO Suomi Oy / Rafael Åman, VTT

Analyysin perusteella maataloustraktoreissa hybridi 1 on kustannuskilpailukyvyssä lähellä vertailukohtana toimivaa polttomoottorikonetta koko tarkastelujakson ajan. Hybridi 1:n nousevaa pääomakulua kompensoi säästö käyttövoiman kuluissa. Sen sijaan sekä hybridi 2 että sähkö näyttävät alkuvaiheessa selvästi kalliimpina, mutta kustannuskilpailukyky paranee tarkastelujakson aikana, täyssähköinen nopeammin ja hybridi 2 työkone hieman hitaammin. Käytännössä täyssähköisen ratkaisun toteuttavuuden ratkaisee mahdollisuus ratkaista lataus operointia tukevasti, sekä riittävä akkukapasiteetti ja akkujen energiatiheys. Hybridi 2:n vaihtoehtoisia range extendereitä polttomoottorin lisäksi ei tarkasteltu.

### 7.4.3 Metsätyökoneet

Metsätyökoneiden arvioitu TCO (€/v) vuosille 2021, 2025 ja 2030 on esitetty taulukossa 19. Harvestereille oletettiin käyttöaste 90% ja latauksen toteutettavuus 20%. Hybridien sähköistysaste (sähköenergian osuus kokonaisenergiankulutuksesta) oli 4–7%.

**Taulukko 19.** Metsätyökoneiden vuosittainen omistajan kokonaiskustannus eri voimalinja- ja järjestelmätopologioilla.

Vuosi	Tyyppi	Infra (€)	Runko (€)	ICE (€)	Sähkö (€)	Akku (€)	CAPEX (€/v)	PÖ (€/v)	Sähkö (€/v)	OPEX (€/v)	TCO (€/v)	TCO grad. (%)
2021	ICE	6 200	380 000*	9 170	0	0	52 390	18 190	0	18 190	70 580	0 %
	Hybridi 1A	10 714	380 000	4 102	5 775	7 641	54 147	16 162	1 024	17 186	71 333	1 %
	Hybridi 1B	10 714	380 000	4 102	5 775	7 641	54 147	15 882	1 024	16 906	71 053	1 %
	Hybridi 2A	10 714	570 000	3 192	9 142	7 641	79 389	10 052	1 024	11 076	90 465	28 %
	Hybridi 2B	10 714	570 000	2 093	4 921	7 641	78 011	9 772	1 024	10 796	88 807	26 %
	Sähkö	30 464	570 000	0	4 921	49 235	85 414	0	6 598	6 598	92 011	30 %
2025	ICE	6 200	380 000*	9 825	0	0	52 559	21 222	0	21 222	73 781	0 %

Vuosi	Tyyppi	Infra (€)	Runko (€)	ICE (€)	Sähkö (€)	Akku (€)	CAPEX (€/v)	PÖ (€/v)	Sähkö (€/v)	OPEX (€/v)	TCO (€/v)	TCO grad. (%)
	Hybridi 1A	10 488	380 000	4 395	5 363	6 113	53 889	18 855	1 161	20 016	73 905	0 %
	Hybridi 1B	10 488	380 000	4 395	5 363	6 113	53 889	18 529	1 161	19 689	73 578	0 %
	Hybridi 2A	10 488	532 000	3 420	8 489	6 113	74 131	11 727	1 161	12 888	87 018	18 %
	Hybridi 2B	10 488	532 000	2 243	4 570	6 113	72 811	11 401	1 161	12 561	85 372	16 %
	Sähkö	27 722	532 000	0	4 570	39 388	78 771	0	7 478	7 478	86 249	17 %
2030	ICE	6 200	380 000*	10 480	0	0	52 729	24 254	0	24 254	76 983	0 %
	Hybridi 1A	10 261	380 000	4 688	4 950	4 585	53 631	21 549	1 297	22 846	76 477	-1 %
	Hybridi 1B	10 261	380 000	4 688	4 950	4 585	53 631	21 176	1 297	22 473	76 104	-1 %
	Hybridi 2A	10 261	494 000	3 648	7 836	4 585	68 872	13 402	1 297	14 699	83 572	9 %
	Hybridi 2B	10 261	494 000	2 392	4 218	4 585	67 610	13 029	1 297	14 326	81 936	6 %
	Sähkö	24 981	494 000	0	4 218	29 541	72 129	0	8 357	8 357	80 486	5 %

\*Puhelinkeskustelu 1.6.2022 Tommi Virta, Komatsu Forest Oy / Rafael Åman, VTT

Analyyysin perusteella metsätyökoneissa hybridi 1 on kustannuskilpailukyvyssä lähellä vertailukohtana toimivaa polttomoottorikonetta koko tarkastelujakson ajan. Hybridi 1:n nousevaa pääomakulua kompensoi säästö käyttövoiman kuluissa. Sen sijaan sekä hybridi 2 että sähkö näyttävät alkuvaiheessa selvästi kalliimpina, mutta kustannuskilpailukyky paranee tarkastelujakson aikana, täyssähköinen nopeammin ja hybridi 2 työkone hieman hitaammin. Käytännössä täyssähköisen ratkaisun toteutettavuuden ratkaisee mahdollisuus ratkaista lataus operointia tukevasti, sekä riittävä akkukapasiteetti ja akkujen energiatiheys. Hybridi 2:n vaihtoehtoisia range extendereitä polttomoottorin lisäksi ei tarkasteltu.

## 7.5 Markkinadiffuusion skenaariot ja ohjauskeinot

### 7.5.1 Menetelmä

Markkinadiffuusion arviointiin kehitettiin uusi menetelmä pohjautuen Frank Bassin yleistettyyn kaupallisten tuotteiden markkinadiffuusion malliin [Bass, 1994]. Mallin matemaattisessa formuloinnissa muodostetaan funktiot yhden tuotteen markkinadiffuusiolle sekä vuosittainen absoluuttinen tai suhteellinen myynti, sekä kumulatiivinen tuotteen myynti. Nämä on esitetty muodossa

$$Y(T) = mF(T) = \frac{1 - e^{-(X(T)-X(0))(p+q)}}{(q/p)e^{-(X(T)-X(0))(p+q)} + 1}$$

$$S(T) = pm + (q - p)Y(T) - \frac{q}{m}Y(T)^2$$

jossa  $S$  on vuosittainen (suhteellinen tai absoluuttinen) myynti,  $Y$  on kumulatiivinen myynti,  $T$  on aika,  $p$  on perusmalliin liittyvä innovaatiokerroin ja  $q$  oppimiskerroin. Lisäksi yleistetyssä Bass-mallissa  $m$  on tuotteelle arvioitu markkinapotentiaali joko suhteellisella skaalalla  $0 \dots 1$  tai absoluuttisella skaalalla esim markkinapotentiaali miljoona ajoneuvoa.  $X$  on kooste markkinaan, markkinointiin, tuotteen kilpailukykyisyyteen liittyvistä tekijöistä ja toimii mallissa kertoimena välillä  $0 \dots 1$ . Analyysissä  $X$  koostui kolmesta komponentista, joille kullekin annettiin tarkastelujaksolla jonkin verran muuttuvat painokertoimet. Komponentit olivat:

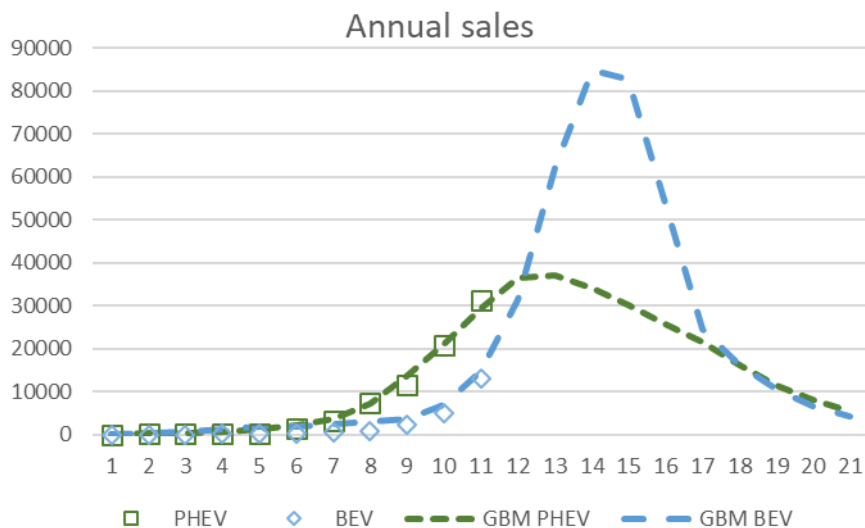
- $x_1$ , tuotteen markkinavalmius. Tämä kuvaa analysoitavan tuotteen kypsyyttä markkinassa, kaupallista saatavuutta jälleenmyyjiltä, mallivalikoimaa. Komponentin lähtöarvona oli nolla markkinan mallitarjonnan ja arvioidun kypsyyden mukaan komponentin arvo kasvaa vaiheittain  $0,9 \dots 1$ .
- $x_2$  tuotteen teknistaloudellinen kilpailukyky suhteessa kilpailijoihin. Tämä muuttuja kuvaa suhteellista kilpailukykyä omistajan kokonaiskustannuksen kautta ja suuretta arvioitiin edellisessä kohtassa esitetyn TCO-analyysin kautta. Käytännössä hybridi- ja sähköistysversioiden kilpailukykyä arvioitiin toisaalta suhteessa ICE-referenssiin, ja toisaalta suhteessa toisiinsa.
- $x_3$ , infrastruktuurin valmius. Tämä muuttuja kuvaa vaihtoehtoisten energioiden infrastruktuurin valmiutta tukea hybridi- ja sähköajoneuvoja tai koneita. Arvioon liittyy olemassa olevan julkisen infrastruktuurin kattavuus, sekä arvioitu mahdollisuus tai valmius toteuttaa yksityinen ajoneuvojen tai koneiden



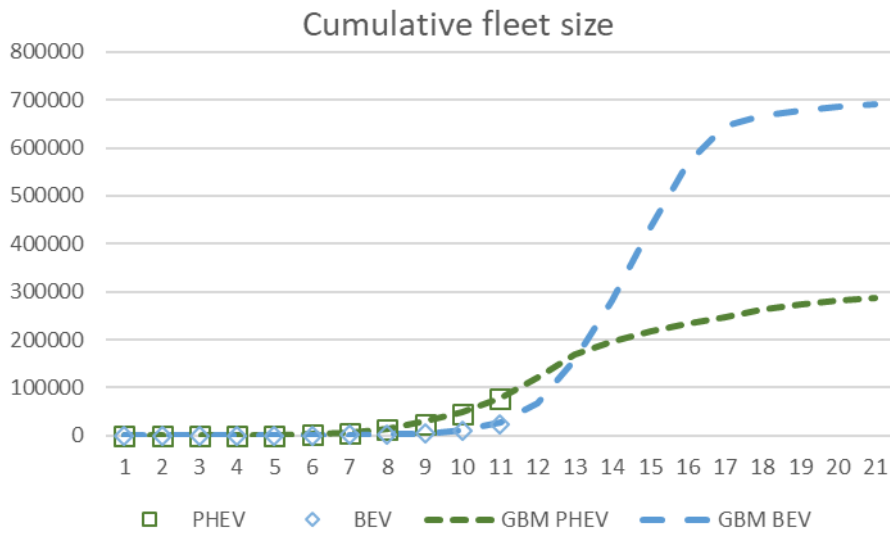
lataushybridisointia tai sähköistystä tukeva infrastruktuuri. Komponentin lähtöarvona oli nolla markkinan mallitarjonnan ja arvioidun kypsyyden mukaan komponentin arvo kasvaa vaiheittain 0,9...1.

Innovaatiokerroin  $p$  ja oppimiskerroin  $q$  parametrisoitiin hyödyntäen todellista Suomen myyntidataa ladattaville hybridautoille ja täyssähköautoille. Sähköinen liikenne ry on koonnut tätä tietoa vuodesta 2011 ja myyntidataa 2011–2021 hyödynnettiin parametrien asettamisessa vastaamaan todellista dataa [Sähköinen liikenne, 2022]. Tarkastelu on esitetty kuvissa 35 ja 36, joissa GBM edustaa yleistetyllä Bassin mallilla saatuja käyriä. Saadut parametrien arvot ovat:  $p = 0,002$  ja  $q = 0,5$ . Aktiivisen markkinan kooksi oletettiin miljoona autoa ja ladattaville markkinapotentiaali  $m = 0,3$ , täyssähköautoille  $m = 0,7$ . Lähtöoletuksia kuvaavat parametrien  $x_1$ ,  $x_2$  ja  $x_3$  ja vastaavat parametrien painokertoimien  $b_1$ ,  $b_2$  ja  $b_3$  arvot on esitetty kuvissa 37 ja 38. Painokertoimien  $b_1$ ,  $b_2$  ja  $b_3$  summa on 1. Kuvissa vuosi 1 on 2011.

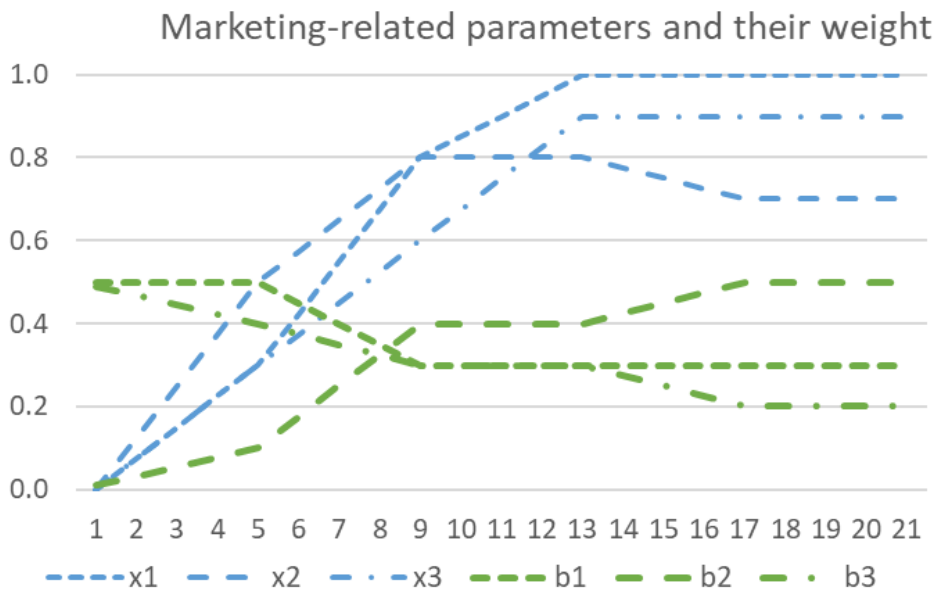
**Kuva 35.** Suomen PHEV ja BEV myynti vuosina 2011–2021 (neliöt ja vinoneliöt) ja niiden pohjalta sovitetut yhden tuotteen markkinadiffuusiokäyrät vuosittaisesta myynnistä. Vuosi 1 vastaa kalenterivuotta 2011.



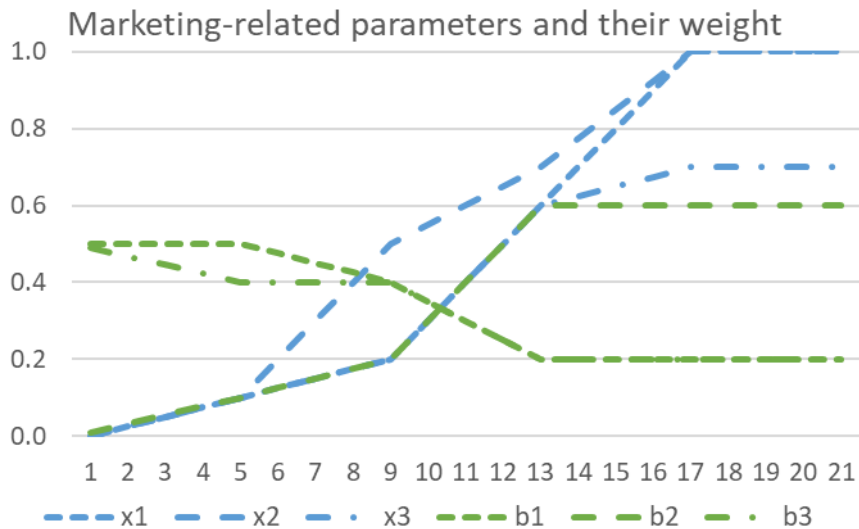
**Kuva 36.** Suomen kumulatiivinen PHEV ja BEV kanta vuosina 2011–2021 (neliöt ja vino-neliöt) ja niiden pohjalta sovitetun yhden tuotteen kumulatiiviset markkinadiffuusio-käyrät PHEV ja BEV-kannasta. Vuosi 1 vastaa kalenterivuotta 2011.



**Kuva 37.** PHEV markkinamalliin liittyvät markkinointitekijän X alakomponenttien x1, x2 ja x3 sekä näiden painokertoimien b1, b2 ja b3 arvot.



**Kuva 38.** BEV markkinamalliin liittyvät markkinointitekijän X alakomponenttien  $x_1$ ,  $x_2$  ja  $x_3$  sekä näiden painokertoimien  $b_1$ ,  $b_2$  ja  $b_3$  arvot.



Parametrisovituksessa Suomen ladattavien autojen tilastoista voidaan tehdä useita markkinadynamiikkaa kuvaavia havaintoja. Ensimmäiset ladattavat autot tulivat Suomen markkinoille 2010-luvun alkuvuosina ja markkina on lähtenyt käytännössä nolasta ja noudattavun koko edellisen vuosikymmenen eksponentiaalista kasvua. Parhaillaan 2022 on käynnissä toimitusketjuihin liittyvä markkinahäiriö ja viimeinen dynamiikka ei ole näkyvillä tuloksissa, mutta voidaan arvioida että sekä ladattavien hybridien että täyssähköautojen osalta ollaan lähiaikoina siirtymässä eksponentiaalisen kasvun vaheesta lineaariseen kasvuun, jossa muutosnopeutta rajoittaa aktiivisen vuotuisen markkinan koko (oppimiskerroin) eikä niinkään innovaatiokerroin eli uuden kehittämisen. Myös sekä markkinatarjonta että latauksen saatavuus ovat vuosikymmenen aikana kehittyneet riittävälle tasolle autokannan sähköistymisen rinnalla tai sitä ajaen. Parametrisointidatasta voidaan todeta, että noin 10 vuotta on hyvä arvio S-käyrän itämisvaiheen kestolle. On toki syytä huomata, että henkilöautojen segmentissä suurin osa kuluttajista on yksityisautoilijoita ja autojen käyttöaste jää usein melko alhaiseksi. Siirryttäessä yksityisautoilusta ammattiliikenteeseen ja hyötyajoneuvoihin nousee tyypillisesti ajoneuvojen käyttöaste ja matkasuorite ja sitä kautta sähköautojen TCO-hyöty halvemmassa käyttövoimasta kasvaa.

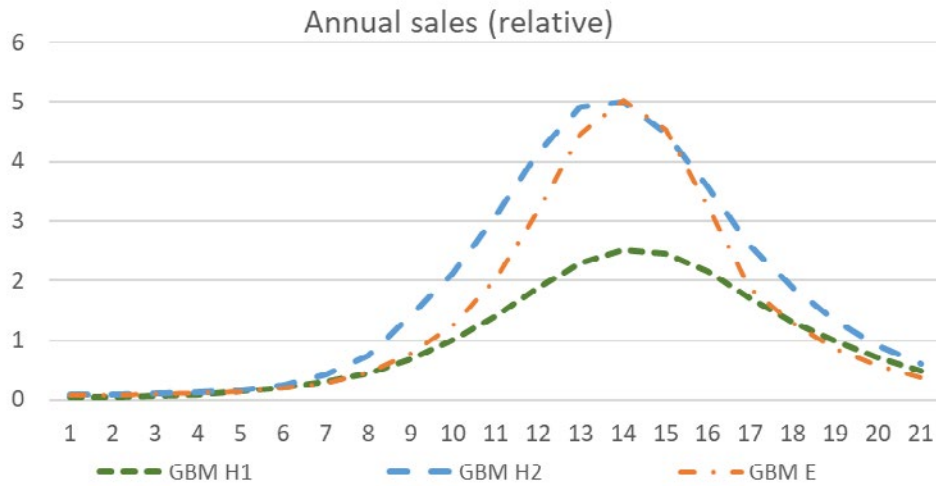
## 7.5.2 Tulokset

Tässä osuudessa laskennallisesti tarkasteltuja työkoneiden käyttötapauksia on analysoitu edellä kuvattua markkinadiffuusion menetelmää ja sen parametrisointia käyttäen, sekä hyödyntämällä TCO-analyysistä saatuja omistajan kokonaiskustannuksen arvioituja suhteellisia muutoksia. Tulokset esitetään seuraavassa kolmelle tarkastellulle tapaukselle: pyöräkuormaajat, maataloustraktorit ja metsätyökoneet. Kussakin tapauksessa esitetään hybridi 1, hybridi 2 ja täyssähköisen työkoneen arvioitu markkinamenekki. Vuotuiset myyntimäärät on esitetty suhteellisella akselilla, koska sekä käyttötapausryhmien markkinan koko että vuotuinen myynnin määrä (konekannan vaihtuvuus) ovat epävarmoja suureita. Kuten kappaleessa 7.1 esitetystä taulukosta käy ilmi, on monissa työkoneriitymissä konekanta huomattavan suuri, mutta arvioitu vuotuinen markkinan koko kuitenkin pieni. Tämä viittaa siihen, että monet koneet ovat pienehköillä käyttöasteella reservissä, samalla kun suuri osa työkoneriitymän aktiivisesta työstä ja siten energiankäytöstä ja päästöistä tuotetaan suhteellisen pienellä konekannalla. Tarkempaa tietoa aktiivisessa käytössä olevan konekannan koosta ei ollut käytettävissä. Kumulatiiviset osuudet ymmärretään tässä analyysissä arvioituina osuuksina tästä aktiivisesta konekannasta.

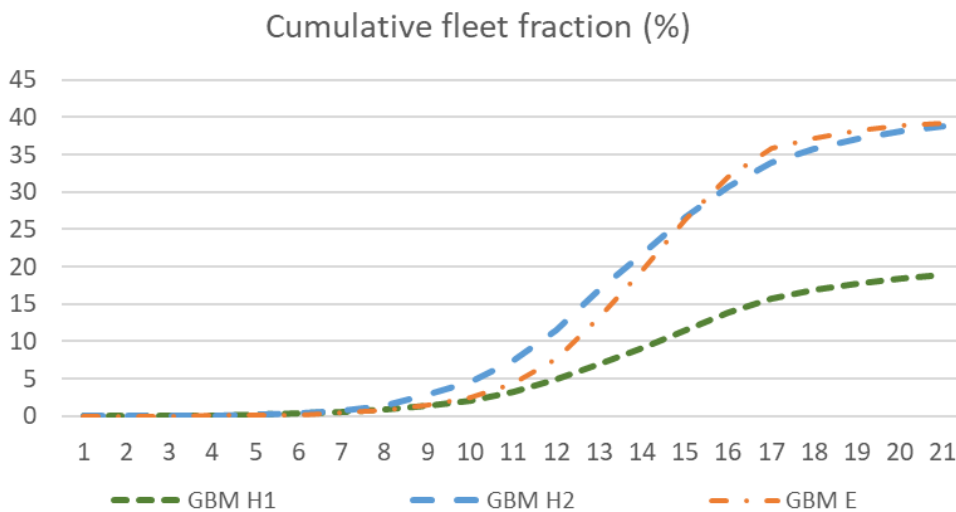
### Pyöräkuormaajat

Pyöräkuormaajille käytettiin oletuksena markkinapotentiaalista seuraavia arvoja: hybridille 1  $m = 0,2$ , hybridille 2  $m = 0,4$  ja täyssähköiselle pyöräkuormaajalle  $m = 0,4$ . Markkinapotentiaaleja on arvioitu edellisen osion TCO-analyysin ja sen taustalla olevien energiankäytön laskelmien kautta. Esityksessä vuosi 1 on 2021. Suhteellinen vuotuinen myynti on esitetty kuvassa 39 ja arvioitu osuus aktiivisesta työkonekannasta kuvassa 40.

**Kuva 39.** Pyöräkuormaajien hybridi 1, hybridi 2 ja sähköinen ennakoitu vuotuinen suhteellinen myynti. Vuosi 1 vastaa kalenterivuotta 2021.



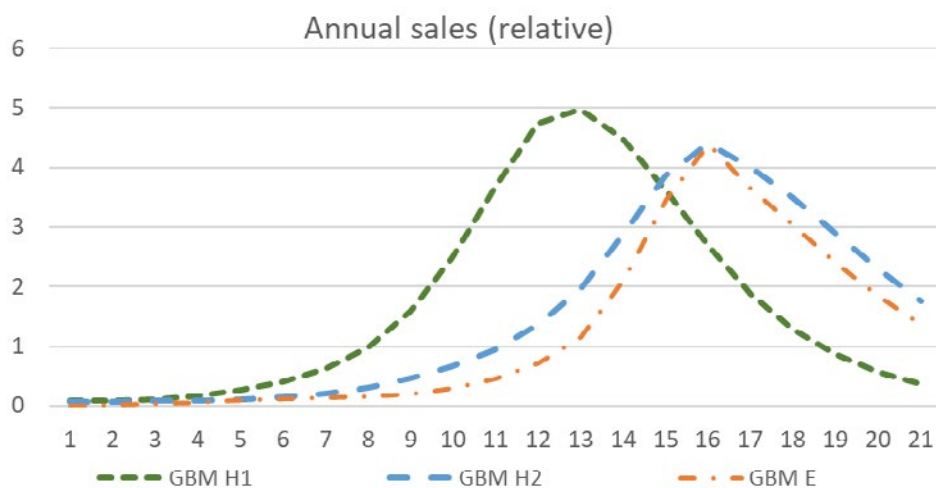
**Kuva 40.** Pyöräkuormaajien hybridi 1, hybridi 2 ja sähköinen ennakoitu kumulatiivinen osuus aktiivisesta työkonekannasta. Vuosi 1 vastaa kalenterivuotta 2021.



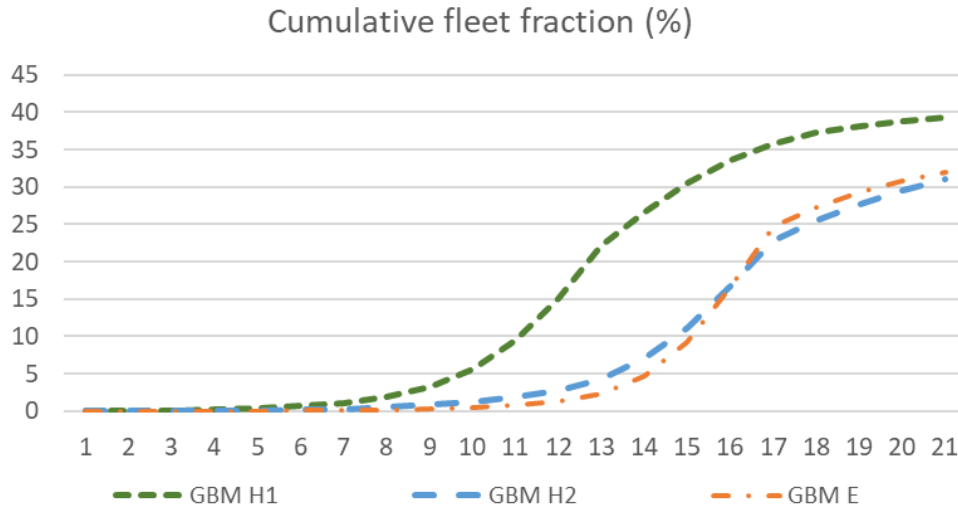
## Maataloustraktorit

Maataloustraktoreille käytettiin oletuksena markkinapotentiaalista seuraavia arvoja: hybridille 1  $m = 0,4$ , hybridille 2  $m = 0,35$  ja täyssähköiselle traktorille  $m = 0,35$ . Markkinapotentiaaleja on arvioitu edellisen osion TCO-analyysin ja sen taustalla olevien energiankäytön laskelmien kautta. Esityksessä vuosi 1 on 2021. Suhteellinen vuotuinen myynti on esitetty kuvassa 41 ja arvioitu osuus aktiivisesta työkonekannasta kuvassa 42.

**Kuva 41.** Maataloustraktori hybridi 1, hybridi 2 ja sähköinen ennakoitu vuotuinen suhteellinen myynti. Vuosi 1 vastaa kalenterivuotta 2021.



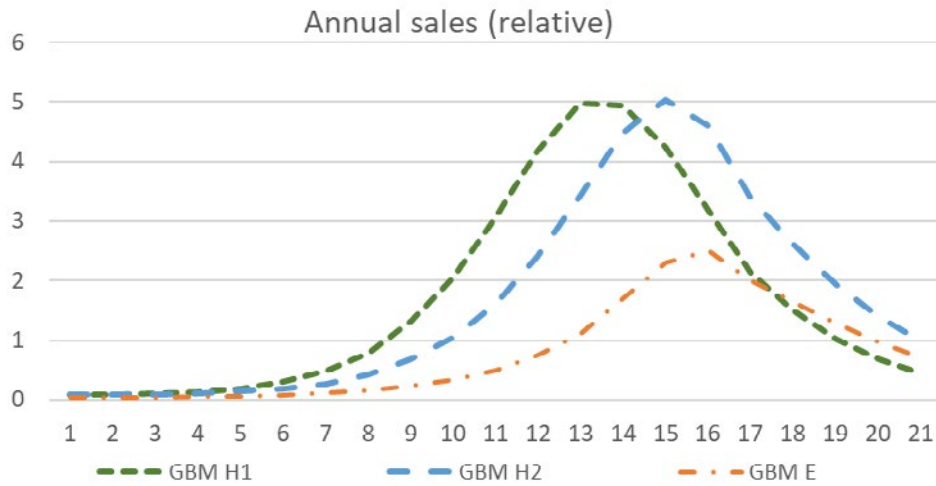
**Kuva 42.** Maataloustraktorien hybridi 1, hybridi 2 ja sähköinen ennakoitu kumulatiivinen osuus aktiivisesta työkonekannasta. Vuosi 1 vastaa kalenterivuotta 2021.



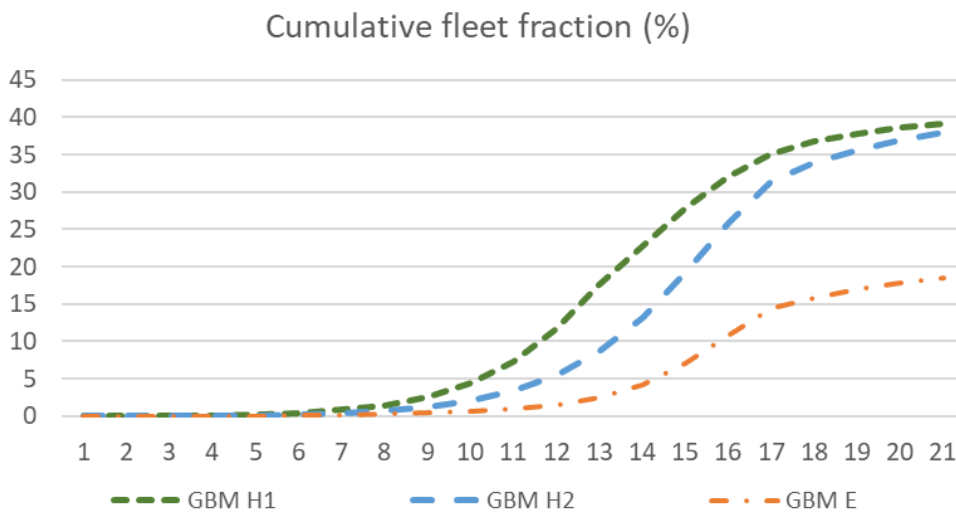
## Metsätyökoneet

Metsätyökoneille käytettiin oletuksena markkinapotentiaalista seuraavia arvoja: hybridille 1  $m = 0,4$ , hybridille 2  $m = 0,4$  ja täyssähköiselle traktorille  $m = 0,2$ . Markkinapotentiaaleja on arvioitu edellisen osion TCO-analyysin ja sen taustalla olevien energiankäytön laskelmien kautta. Esityksessä vuosi 1 on 2021. Suhteellinen vuotuinen myynti on esitetty kuvassa 43 ja arvioitu osuus aktiivisesta työkonekannasta kuvassa 44.

**Kuva 43.** Metsätyökone hybridi 1, hybridi 2 ja sähköinen ennakoitu vuotuinen suhteellinen myynti. Vuosi 1 vastaa kalenterivuotta 2021.



**Kuva 44.** Metsätyökoneiden hybridi 1, hybridi 2 ja sähköinen ennakoitu kumulatiivinen osuus aktiivisesta työkonekannasta. Vuosi 1 vastaa kalenterivuotta 2021.





### 7.5.3 Markkinadiffuusion avaintekijät ja ohjauskeinot

Tarkasteltaessa työkonesektorin käyttövoimamurrosta, uusia ratkaisuita ja niiden tuloa markkinoille ja käyttöön on tunnistettavissa useita tekijöitä, jotka lisäävät markkinamuutoksen hitautta ja myös arvioiden epävarmuutta verrattuna tieliikenteen tilanteeseen. Kuten jo osion 7.5.1 sähköautodatasta voidaan nähdä, on viive ensimmäisten tuotteiden lanseerauksesta laajamittaiseen markkinan avautumiseen ja nollapäästöisten tuotteiden (tässä tapauksessa sähköauto) jopa 10 vuotta siinäkin tapauksessa, että ohjaava säädösvalikoima on melko hyvin kehittynyt. Kuten aiemmissa GASELLI ja KAROLIINA-hankkeissa on myös käsitelty, sähköautojen käyttöönottoa ohjataan ja edistetään aktiivisesti useilla päällekkäisillä politiikkatoimilla ja ohjauskeinoilla: autovalmistajia velvoittavat CO<sub>2</sub>-päästörajat, CO<sub>2</sub>-progressiivinen auto- ja ajoneuvovero, fossiilisten tieliikennepolttoaineiden korkeampi valmisteverokanta, ladattavien autojen hankintatuet ja latausinfrastruktuurin tuki sekä kotilataukselle että julkiselle latausinfrastrukturalle. Viimeisten vuosien aikana samoja elementtejä on kasvavassa määrin tulut myös raskaan tieliikenteen säädöskehikkoon. Puhtaiden ajoneuvojen direktiivi velvoittaa julkisissa hankinnoissa kasvavasti vähä- ja nollapäästöisiin ajoneuvoihin, infrastruktuurin puolella AFIR ohjaa vaihtoehtoisten liikenteen käyttövoimien jakeluinfrastruktuurin toteutusta. Kaikki nämä politiikka- ja ohjauskeinojen osakomponentit ovat tärkeitä tavoiteltaessa liikenteen, työkoneiden tai muiden liikkuvien sovellusten vähä- tai nollapäästöisyyttä ja energiatehokkuuden parantamista. Voidaan sanoa, että tieliikenteen osalta kehitys on muita käyttökohteita useita vuosia edellä.

Työkoneiden osalta tilanne on CO<sub>2</sub>-regulaation osalta kehittymätön ja siten valmistajia sitova ja tuotekehitykseen regulaation puolelta ohjaava kehitys puuttuu. Tämä osaltaan hidastaa vähä- ja nollapäästöisten työkoneiden kehitystä ja tuloa markkinoille. Suomen kannattaa aktiivisesti seurata työkonesektorin CO<sub>2</sub>-regulaation kehittymistä ja edistää sitä soveltuvin osin.

Yleisesti ottaen ohjauskeinot voivat monetäärisiä tai ei-monetäärisiä. Ei-monetäärisiä keinoja ovat esimerkiksi tiedon jakaminen ja informaatio-ohjaus. Kuten tieliikenteen puolella, myös työkonesektorilla nämä keinot ovat otettavissa käyttöön matalalla kynnyksellä ja niillä voidaan myös saavuttaa kustannustehokkaita tuloksia.

Monetäärisiä ohjauskeinoja voidaan kohdistaa joko pääomakuluihin (CAPEX) tai käyttökuluihin (OPEX) liittyen. Kuten analyysistä ja myös tieliikenteen kokemuksista nähdään, on vähä- tai nollapäästöisten ratkaisuiden hankintahinta markkinan alkuvaiheessa selkeästi perinteistä käyttövoimaratkaisua korkeampi. Tämä johtuu tutkimuksen ja uuden teknologian kehittämisen ja markkinoilletuonnin lisäkustannuksista, sekä toisaalta alkuvaiheessa massatuotannon skaalautujen puuttumisesta, pienistä tuotantosarjoista ja räätälöidyistä tuotteista. Kuten tieliikenteen puolella, vähä- tai nollapäästöisten työkoneiden alkuvaiheen korkeampien hankintakustannusten kompensointi

loppukäyttäjälle tulee olemaan tärkeä markkinaa avaava tekijä. Tämä voi koostua mahdollisista autoveron kaltaisista energiankäytöstä tai päästöistä riippuvista veroelementeistä riippuen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöistä tai energiatehokkuudesta, tai vähä- tai nollapäästöisten työkonoiden hankintatuista tai näihin vertautuvista toimista.

Vaihtoehtoisten käyttövoimien infrastruktuurin rakentaminen voidaan myös nähdä investointina eli pääomia vaativana vähä- tai nollapäästöisyyden edellytyksenä. Myös tältä osin työkonesektorille voidaan hyvin ottaa vertailukohta tieliikenteen puolelta, jossa erityyppisillä infratuilla on ollut ja tulee olemaan tärkeä osa liikenteen nollapäästöisyydessä. Vastaavat panostukset vaihtoehtoisten käyttövoimien infrastruktuuriin tulevat olemaan keskeisiä myös työkonesektorilla, joskin siinä on tieliikenteestä poikkeavia erityispiirteitä: työkonesovellukset ja käyttökohteet ovat erittäin moninaisia ja ratkaisuisissa tullaan isossa kuvassa todennäköisesti tarvitsemaan laajempi joukko erilaisia käyttövoimayhdistelmiä. Tämä puoltaa sitä, että infratuissa pidetään teknologia-neutraali näkökulma ja mahdollistetaan teollisuuden, työkoneyrittäjien, operaattorien, urakoitsijoiden ja palveluntuottajien löytää eri käyttökohteisiin sopivimmat ratkaisut. Erityisesti teollisten ja kaupunkiympäristöjen ja kuljetuksen rajapintojen osalta tärkeää on myös hakea yhteiskäyttöisten, useaa käyttäjäryhmää palvelevien, infrastruktuuriratkaisuiden ratkaisut sekä tekniseltä että liiketoiminnalliselta kannalta. Kaupunkialueilla synergioita voi löytyä esimerkiksi kaupunkikuljetusten, sähköisen raideliikenteen infran, maanrakennuksen, jätehuollon sekä katualueiden ja kiinteistöjen huolto- ja ylläpitotoiminnan piiristä.

Vuosittain toistuviin ja suoraan käyttöön liittyviin kustannuksiin liittyvät tekijät ja ohjaukset ovat toinen keskeinen osa-alue omistajan kokonaiskustannusten muodostumisessa ja siten myös tärkeä ohjauksinoille. Aiemmassa KAROLIINA-hankkeessa [Pihlatie, 2021] käyttökustannuksiin, käytännössä käyttövoiman hintaan, vaikuttamista on pidetty suositeltavana vaihtoehtona. Käyttövoiman hinnanmuodostusta on käsitelty raportissa jo aiemmin ja hinnanmuodostukseen vaikuttaminen vero-ohjauksella esimerkiksi valmisteverojen tai niiden palautusten kautta vahvemmallalla CO<sub>2</sub>-progressiolla on mahdollista vaikuttaa vaihtoehtoisten käyttövoimien suhteelliseen kilpailukykyyn. Kuten raportissa on myös jo aiemmin todettu, kestävien biopolttoaineden hintakehitykseen liittyy epävarmuuksia raaka-aineiden hinnan, rajallisen skaalautuvuuden ja kasvavan kysynnän kautta. Voidaan odottaa jakeluvuorituksen myötä kevyen polttoöljyn hinnan nousevan sitä enemmän mitä korkeammaksi jakeluvuoritus mahdollisesti nostetaan. Myös raakaöljyn hinta on viime kuukausina noussut voimakkaasti. Nämä tekijät voivat osaltaan olla vaikuttamassa nollapäästöisten käyttövoimien kilpailukykyyn suhteessa perinteisiin uusiutuvilla osuuksilla sekoitettuihin polttoaineisiin. Suuri enemmistö taloustieteilijöistä on sitä mieltä, että öljytuotteiden maailmanmarkkinahintojen muutoksista aiheutuvaa polttoaineiden hinnannousua ei tulisi pyrkiä hillitsemään julkisen vallan toimin esimerkiksi laskemalla polttoaineverotusta [Ekonomistikone, 2022].

Tärkeä osa-alue, jolla tavoiteltua kehitystä voidaan nopeuttaa, on tukea työkonesektorin vihreän siirtymän edellyttämää tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa sekä varmistaa myös käytännön kokeiluhankkeiden ja pilottien kautta todellisten käyttökokeusten kertyminen kaikille toimijoille. Tämä tukee myös punnitun ja kokemusperäisen tiedon jakamisen kautta informaatio-ohjausta ja laajempia tavoitteita.

## 8 Työkoneita koskevat tietotarpeet ja rekisteröintivelvollisuuden laajentaminen

Nykyisellään Suomessa käytettävien työkoneiden päästöjä arvioidaan VTT:n kehittämän LIPASTO Suomen työkoneiden päästömallin (TYKO) avulla. TYKO-mallia käytetään Suomen työkoneista aiheutuvien virallisten päästömäärien laskentaan. Päästöt raportoidaan EU:lle, YK:lle sekä Suomen tilastoihin. Suomen- ja englanninkieliset tulokset ovat nähtävillä sivulla <http://lipasto.vtt.fi>. Malli ennustaa eri työkoneiluokkien kasvihuone- ja paikallispäästöt arvioitujen työmäärien ja kulutuksen perusteella käytämällä asiantuntija-arvioiden perusteella kehitettyjä päästökertoimia. Mallin epävarmuutta on arvioitu lisäävän lähipäästökertoimiin liittyvät tuntemattomat parametrit, jotka johtuvat mm. työkoneiden todellisten päästöjen ja päästörajojen korrelaatioker-toimesta, työkone moottoreiden sekä jälkikäsitteilylaitteiston kunnosta, huollosta ja ylläpidosta. On myös olemassa riski, että jälkikäsitteilylaitteisto poistetaan tai de-aktivoi-daan ja malli ei siten pidä enää paikkaansa. Täydellisen työkone rekisterin ja tarvitta-vien koneiden käyttöön liittyvien tietojen puuttuessa työkoneiden lukumäärät, käyttö-tuntimäärät sekä käyttöolosuhteet ovat arvioita, mistä aiheutuu epävarmuuksia pääs-töarvioihin. Koska työkoneiden todellista lukumäärää (esimerkiksi traktorit ja moottori-keikat) ei muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta Suomessa tällä hetkellä täysin tun-necta, on TYKO-mallin konekanta arvioitu mm. myyntitilastojen ja poistumatietojen pe-rusteella.

Mikäli TYKO-mallin kautta laskettavan päästöinventointien tarkkuutta haluttaisiin pa-rantaa, tulisi nykyisen TYKO-mallin epäkohdat tunnistaa sekä huomioida työkonekan-nan kehitys tulevien päästömääräysten vaikutuksesta. Lisäksi olisi tunnistettava, mitkä koneluokat ja vuosimallit ovat relevantteja päästöinventointien arvioimiseksi. Päästöinventointien tarkkuuteen vaikuttavien parametrien, kuten työkoneiden omi-naispäästökertoimien arviointi, on erityisesti lähipäästöjen arvioimiseksi avainase-massa. Koska Suomessa käytettävien työkoneiden lukumäärä ja niiden ominaistiedot perustuvat pääasiallisesti asiantuntija-arvioihin, voitaisiin työkonekannan tietosisältöä kasvattamalla potentiaalisesti kohentaa päästöinventointien tarkkuutta.

Tämä luku käsittelee TYKO-malliin ja mallin kehitystarpeiden tunnistamisen lisäksi tut-kimuskysymyksiä mahdollisesta työkoneiden rekisteröintivelvollisuuden laajentami-sesta:

- Miten työkoneiden rekisteröintivelvollisuutta pitäisi laajentaa, jotta rekisteristä saatavat tiedot parantaisivat mahdollisimman paljon kasvihuonekaasujen ja lähipäästöjen päästöinventointien ja -projektoiden laatua ja tarkkuutta?
- Miten työkoneiden valvontaa (esim. katsastus) tulisi kehittää, jotta työkonekannan todelliset päästötiedot tiedettäisiin paremmin ja jotta varmistuttaisiin siitä, että työkoneiden päästöjen puhdistuslaitteistot pidetään kunnossa ja käytössä?
- Mikä olisi informaation laadun ja päästövähennysten näkökulmasta kustannustehokas rekisteröinti- ja katsastusvelvoite työkoneille?
- Mitä vaikutuksia valitulla rekisteröinti- ja katsastusvelvoitteella olisi yrityksille, viranomaisille ja valtiontaloudelle?

Koska valtaosa Suomen työkoneista aiheutuneista kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuvat dieselkäyttövoimalla toimivista työkoneista (n. 91 % vuonna 2020, TYKO mallin mukaan), tämä työ rajoitettiin käsittelemään ainoastaan dieselyökoneisiin liittyviä aihepiirejä.

Tarkastelun pääasialliset lähteet ovat olleet Lipasto TYKO-malli, Tilastokeskuksen ja Traficomin työkonekonekisteritiedot, tullin maahantuontitiedot, myyntitilastot ja avoimet internetlähteet. Lisäksi tietoja ja syötteitä kerättiin hankkeen sidosryhmätapaamisten avulla. Hankkeessa haastateltiin seuraavia sidosryhmiä:

- **AGCO-power** – AGCO-konserniin kuuluva, Suomessa toimiva työkoneiden moottorivalmistaja
- **Koneyrittäjät** – energia-, maarakennus- ja metsäalan koneyritysten valtakunnallinen yrittäjä- ja työnantajajärjestö.
- **MTK** – Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK on ammatti- ja etujärjestö maanviljelijöille, metsänomistajille ja maaseutuyrittäjille
- **Teknisen kaupan liitto** – teollisuuden ja rakentamisen yritysten etuja valvova järjestö
- **Traficom** – Liikenne ja viestintävirasto
- **Valtra** – Suomessa toimiva, AGCO-konserniin kuuluva traktoreiden ja maatalouskoneiden valmistaja

## 8.1 Rekisteröintivelvollisuuden laajentaminen ja laajempien katsastuskäytäntöjen käyttöönoton tarkastelu

### 8.1.1 Työkonepäästöjen ja EU-lainsäädännön tarkastelu

EU-alueelle myydyille työkone moottoreille koskeva päästölainsäädäntö, ns. non-road mobile machinery (NRMM) päästöstandardi<sup>67</sup>, määrittelee työkoneiden päästövaatimukset eri vuosimallien perusteella tällä hetkellä viiteen päästoluokkaan jaettuna, ns. Stage I-V (Kuva 45). Työkoneiden päästövaatimukset ovat mukautettu moottoreiden käyttövoiman sekä tehokategorioihin perustuen. Stage I-IV moottorit noudattavat asetusta, joka on määritetty direktiivin 97/68/EC mukaan. Stage I-IV välisenä aikana moottorit, joiden teho alittaa 19 kW tai ylittävät 560 kW olivat vapautettu päästösääntelystä kokonaisuudessaan. Viimeisin päästöstandardi, Stage V, noudattaa vuorostaan asetusta (EU) 2016/1628, joka otettiin käyttöön vuosien 2019 ja 2020 aikana. Samalla erilliset päästöraja-arvot otettiin käyttöön myös em. teholuokille, jotka edeltävien päästoluokkien osalta jäivät vaille päästösääntelyä.

NRMM moottoriperheet tyyppihyväksytetään hallituissa moottoridynamometriolosuhteissa ennalta määritettyjä koemenetelmiä ja testisyklejä hyödyntämällä. Stage IIIB luokasta lähtien tyyppihyväksyntätestit ovat sisältäneet sekä ns. vakiopistesyklin, non-road stationary cycle (NRSC) sekä transientitestausta, non-road transient cycle (NRTC), joiden perusteella moottoreiden tuottamia päästöjä on vertailtu vallitseviin päästövaatimuksiin. Ennen Stage V päästövaatimusten käyttöönottoa työkoneilla tai niissä käytettävillä moottoreilla ei ollut vaatimusta erikseen ilmoittaa käytönaikaisia päästöjä, kuten nykyisellään esimerkiksi tieliikennesektorille sovelletuissa ajoneuvoissa. Koska kaikki NRMM sovelluksiin käytettävät moottorit tyyppihyväksytetään edelleen ainoastaan hallituissa moottoridynamometriympäristöissä, ovat em. työkoneille käytöstä aiheutuneet päästöt hankalasti määritettäessä. Stage V voimaantuloa lähtien moottorivalmistajilla on kuitenkin velvollisuus ilmoittaa EU:n komissiolle 56–560 kW teholuokan moottoreiden tuottamat pakokaasupäästötasot todelliseen käytönaikaiseen mittaustulokseen perustuen (ns. In-Service Monitoring, ISM). Poiketen tieliikennesektorin ISC-menettelystä, ISM-regulaatiossa ei kuitenkaan ole laadittu vastaavasti kuin tieliikennesektorin ISC-menetelmässä vaatimuskertoimia ja rajoja

<sup>67</sup> <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>

ISM-testituloksen päästöille, mutta prosessin tarkoituksena on valmistella työkonemootoreille ISC-menetelmää tulevia lainsäädännön lisäyksiä varten tulevaisuudessa.

**Kuva 45.** Euroopan unionin työkoneiden päästoluokat eri käyttöönotto vuosien mukaan

Euroopan unionissa vallitsevat työkoneiden päästoluokat																								
Moottoriteho [kW]	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
P < 8	Stage V*																							
8 ≤ P < 19																								
19 ≤ P < 37	Stage II										Stage IIIA													
37 ≤ P < 56	Stage I					Stage II					Stage IIIA					Stage IIIB								
56 ≤ P < 75	Stage I					Stage II					Stage IIIA					Stage IIIB								
75 ≤ P < 130	Stage I					Stage II					Stage IIIA					Stage IIIB								
130 ≤ P < 560	Stage I					Stage II					Stage IIIA					Stage IIIB								
P > 560	Stage V																							

\*Vain dieselmootorit

Kuva 46 kuvaa työkoneiden päästovaatimuksia eri tehokategorioiden ja Stage-luokkien I-V suhteen. Merkittävimmät muutokset ja lisäykset em. luokkien kehityksessä, jotka ovat vaikuttaneet työkoneiden teknologiankehitykseen ovat:

1. Hiilivetyypäästöjen raja-arvojen laskeminen Stage III:n voimaan astuessa 1.0–1.3 g/kWh rajasta 0.19 g/kWh tasolle. Hiilivetyypäästovaatimusrajan laskeminen johti hapetuskatalysaattoreiden (DOC) yleistymiseen.
2. Stage IV vaatimukset typenoksidien suhteen laski merkittävästi väliältä 2.0–3.3 g/kWh tasolle 0.4 g/kWh. Tämän saavuttamiseksi vaaditaan käytännössä aina typenoksideja vähentävien selektiivisten katalysaattorijärjestelmien käyttäminen (SCR).
3. Hiukkaspäästovaatimukset voidaan jakaa kahteen kategoriaan:
  - a) Hiukkasmassarajat tiukentuivat merkittävästi Stage IIIB lähtien, johtaen hiukkasloukkujen yleistymiseen
  - b) Hiukkaslukumäärärajat otettiin käyttöön Stage V luokassa, joka johti edelleen moottorin optimointitarpeisiin ja hiukkasloukkujen tehokkuuksien tehostamisiin.

**Kuva 46.** EU-alueella vallitsevat työkonemoottoreiden päästövaatimukset moottoritehon ja Stage-luokitusten suhteen

Teholuokka	CO [g/kWh]					NOx [g/kWh]					HC [g/kWh]					NOx + HC [g/kWh]			PM [g/kWh]					PN [# /kWh]				
	Stage I	Stage II	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IV	Stage V	Stage I	Stage II	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IV	Stage V	Stage I	Stage II	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IV	Stage V	Stage I	Stage II	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IV	Stage V	Stage V			
P < 8						8.0													7.5						0.40			
8 ≤ P < 19						6.6													7.5						0.40			
19 ≤ P < 37		5.5	5.5	5.0		5.0	8.0						1.5						7.5	4.7	0.8	0.6			0.015	1*10 <sup>12</sup>		
37 ≤ P < 56	6.5	5.0	5.0	5.0		5.0	9.2	7.0					1.3	1.3					4.7	4.7	4.7	0.9	0.4	0.4	0.025		0.015	1*10 <sup>12</sup>
56 ≤ P < 75	6.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	9.2	7.0	3.3	0.4	0.4	1.3	1.3	0.19	0.19	0.19	0.19	4.7				0.9	0.4	0.4	0.025	0.025	0.015	1*10 <sup>12</sup>
75 ≤ P < 130	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	9.2	6.0	3.3	0.4	0.4	1.3	1.0	0.19	0.19	0.19	0.19	4.0				0.7	0.3	0.3	0.025	0.025	0.015	1*10 <sup>12</sup>
130 ≤ P < 560	5.0	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	9.2	6.0	2.0	0.4	0.4	1.3	1.0	0.19	0.19	0.19	0.19	4.0				0.5	0.2	0.2	0.025	0.025	0.015	1*10 <sup>12</sup>
P > 560						3.5											3.5								0.045			

Kuva 46 poiketen vallitsevat moottoriteholuokat ovat Stage V regulaatiossa supistettu seitsemään moottorikategoriaan Taulukko 20 mukaan.

**Taulukko 20.** Vallitsevat Stage V moottorikategoriat

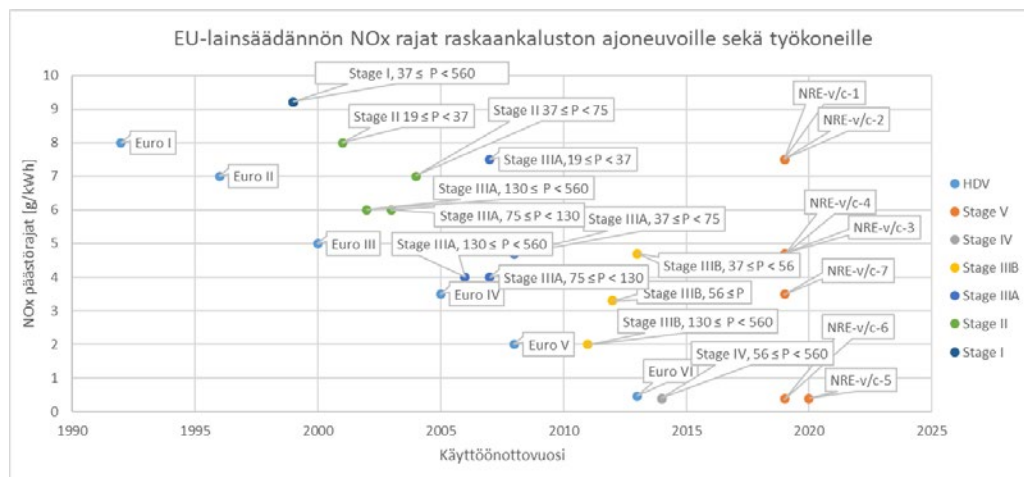
Teholuokka	Kategoria
P < 8	NRE-v/c-1
8 ≤ P < 19	NRE-v/c-2
19 ≤ P < 37	NRE-v/c-3
37 ≤ P < 56	NRE-v/c-4
56 ≤ P < 130	NRE-v/c-5
130 ≤ P < 560	NRE-v/c-6
P > 560	NRE-v/c-7

Työkoneiden päästövaatimukset ovat perinteisesti seuranneet tieliikennesektorin raskaan kaluston päästölainsäädännön kehitystä joitakin vuosia jäljessä. On kuitenkin huomioitava, että työkoneiden laajasta tehokategoriasta johtuen päästöraajat vaihtelevat teholuokkien perusteella eivätkä päästötasot ole tästä johtuen suoraan verrattavissa raskaankaluston päästörajojen mukaan. Kuva 47 esittää työkoneemoottoreiden päästörajavaatimuksia suhteessa kevyen ja raskaan liikennekaluston päästölainsäädäntöön. Kuvan oikealla laidalla kuvattu Stage V NOx raja vaihtelee merkittävästi moottorikategorian mukaan, sillä Stage V uudistuksena ovat alle 19 kW sekä yli 560 kW työkoneemoottorit (NRE-v/c-1, NRE-v/c-2 ja NRE-v/c-7), joiden päästöraja-arvot



ovat aikaisempia teholuokkia kevyemmät. Pääasiallinen työkoneryhmä, joiden moottorit ovat 56–560 kW, vastaavat kuitenkin typenoksidivaatimuksiltaan Euro VI raskaan kaluston typenoksidipäästöjä (0,4 g/kWh).

**Kuva 47.** Työkonemoottoreiden päästöraajat verrattuna liikennesektorin päästörajoihin



## 8.1.2 Työkoneiden rekisteröintivelvollisuus sekä saatavilla olevien tietojen arviointi

Suomessa käytössä olevat työkonet on rekisteröitävä tiettyjä poikkeustapauksia lukuun ottamatta. Rekisteröintivelvollisuus koskee työkonen omistajaa ja haltijaa. Työkoneiden rekisteröintivelvollisuus pohjautuu lakiin. Laki vapauttaa seuraavat työkonekategoriat rekisteröintivelvollisuudelta<sup>68</sup>:

- Suljetuilla alueilla toimivat työkonet.
- Hinattavat työkonet (ei peräkärjyt).
- Sadontuottamiseen tai -korjuuseen liittyvät työkonet.

<sup>68</sup> <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/rekisterointivelvolliset-ajoneuvot>

Rekisteröintivelvollisuuden puuttumisesta huolimatta työkoneiden liikennevakuutus on pakollinen lähes kaikille työkoneille muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta<sup>69</sup>. Ko. poikkeukset, joille liikennevakuutusta ei tarvita ovat<sup>70</sup>:

- sellaiselle moottorityökoneelle tai traktorille, jota ei tarvitse rekisteröidä ja jonka suurin rakenteellinen nopeus on enintään 15 kilometriä tunnissa;
- leikkuupuimurille tai muulle sadonkorjuuseen tarkoitetulle maatilatalouden moottorityökoneelle, jota ei tarvitse rekisteröidä;

Rekisteröintivelvolliset työkoneet on tilastoitu Traficomien tietokantaan eri työkonekategorioiden mukaan. Rekisteröintitiedoista selviää mm. työkoneiden vakuutustiedot: vakuutettu/ei vakuutettu ja vakuutuksen ottaja (yksityishenkilö/yritys). Lisäksi työkone voi vakuutuslainsäädännön vuoksi olla vakuutettu siitä huolimatta, että konetta ei ole rekisteröity Traficomien rekisteriin. Näiden koneiden osalta tieto puuttuu Traficomien tietokannasta, mutta olisi saatavilla suoraan vakuutusyhtiöiltä. On huomioitava, että työkoneiden luokittelu määräytyy useassa tapauksessa käyttötarkoituksen perusteella, ja esimerkiksi samaa työkoneita voidaan vakuutettaessa määrittää eri luokkaan riippuen esimerkiksi työkoneen varustelusta ja työskentely-ympäristöstä. Lisäksi Traficomien rekisteriin merkityt työkoneiden luokitukset ovat muuttuneet ajan saatossa, jolloin saman tyyppisiä koneita saattaa löytyä useammasta Traficomien määrittelemästä työkone-luokasta. Mikäli työkoneen tiedot löytyvät Traficomien tietokannasta/rekisteristä, on vakuutuksenottajaan tiedot tyyppillisesti saatavilla (vakuuttava taho yksityinen/yritys). Lisäksi useimmissa tapauksissa saatavilla on myös työkoneen omamassa ja nettotehotieto. Lisäksi rajallinen määrä päästötietoja löytyy Traficomien tietokannasta, mutta määrä on kuitenkin hyvin rajallinen. Saatavilla olevia tietoja käsitellään tarkemmin kappaleessa 8.2.

### 8.1.3 Työkoneiden katsastusvelvollisuus

Työkoneisiin liittyvät katsastusvelvollisuudet koskevat tällä hetkellä ainoastaan luvanvaraiseen tavaraliikenteeseen käytettäviä T1b, T2b ja T3b-luokan traktoreita, joiden nopeusluokka ylittää 60 km/h nopeusrajan. Kyseessä olevat traktorit tulisi katsastaa ensimmäisen kerran viimeistään 4 vuoden kuluttua ajoneuvon käyttöönottopäivästä, ja tämän jälkeen viimeistään 2 vuoden kuluttua ensimmäisestä katsastuksesta. Katsas-

<sup>69</sup> <https://www.lvk.fi/ajoneuvon-vakuuttaminen/ajoneuvon-vakuuttamisvelvollisuus/>

<sup>70</sup> <https://www.lvk.fi/ajoneuvon-vakuuttaminen/ajoneuvon-vakuuttamisvelvollisuus/poikkeukset-vakuuttamisvelvollisuuteen/>

tusvelvollisuus koskee tällä hetkellä nopeusluokasta johtuen suhteellisen pientä joukkoa traktoreiden omistajia, ja kyseiseen luokkaan soveltuvia traktoreita on otettu käyttöön vuodesta 2017 lähtien.

## 8.2 Saatavilla olevien tilastojen kartoitus ja TYKO2 tietotarpeiden arviointi

### 8.2.1 Käytössä olevan TYKO-mallin kuvaus

Suomessa toimivien työkoneiden päästöjä on tähän asti arvioitu olemassa olevia, eri tutkimuksiin ja saatavilla oleviin tietoihin perustuvia työkaluja käyttäen. Päästöinventoinnit ovat perustuneet VTT:n kehittämän LIPASTO TYKO mallin arvioihin, joiden tiedot perustuvat laskennallisiin päästömääriin esimerkiksi vuosittaiseen, kokonaisvaltaiseen moottoripolttoöljyn myyntilukuihin nojaten. Alkuperäinen TYKO-malli luotiin vuonna 1999, ja malli on tämän jälkeen vuosien saatossa kokenut merkittävimpiä uudistuksia mm. vuosien 2006 ja 2013–2015 välisenä aikana.

TYKO -malli koostuu kolmesta alamallista: TYKObensa, TYKODiesel ja TYKOtraktorit. Näiden tulokset yhdistetään TYKOTulokset mallissa, joka julkaistaan LIPASTO:n nettisivulla. TYKO-mallin sisällöstä ja laajuudesta sekä työkoneiden käyttövoima- ja kasvihuonekaasupäästöjakaumasta johtuen tässä työssä käsitellään ainoastaan TYKO:n dieselmallin työkoneita. TYKO-mallin arvion mukaan vuonna 2020 n. 91 % Suomen työkoneperäisistä CO<sub>2</sub>-päästöistä oli peräisin dieselyökoneista. TYKO-malli tuottaa seuraavat kasvihuonekaasu- ja lähipäästötulokset seuraavassa kappaleessa esitellyille työkonekategorioille:

- Hiilimonoksidi (CO)
- Hiilivedyt (HC)
- Typen oksidit (NO<sub>x</sub>)
- Hiukkaset (PM), Metaani (CH<sub>4</sub>)
- Typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O), Rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>)
- Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>)
- polttoaineenkulutus
- energiankäyttö
- urealisäaineen kulutus (AdBlue)

TYKO-mallin laskenta pohjautuu kahteen pääparametriin: koneiden vuosittaiseen työsuoritteeseen (kWh/a) sekä suoritekohtaisiin kulutus- ja päästökertoimiin (g/kWh/a).

Työkonekategoriat pohjautuvat Suomen ensimmäisen työkonepäästölaskennan kategorioihin (Puranen 1992), ja työkonealuokkia on jälkikäteen lisätty laskentaan tarpeen mukaan.

Työkonepäästöjen laskennassa koneiden arvioidut vuotuiset työmäärät (kWh/a) ovat suhteutettu arvioitujen työkoneyyppien lukumäärän kanssa. Työkoneiden lukumääräarviot perustuvat myyntimääriin, poistumiin ja työkonekisterissä olevien lukumääriin. Työkonekannan myynninkehitystä on myös jossain määrin korjattu arvioimalla rekisteritietojen ja konekannan muutoksia vuosien saatossa. Työkoneet ovat tämän jälkeen jaettu tiedossa olevan tehon (<37, 37–74, 75–129 ja >129 kW) sekä eri päästoluokkien perusteella, jonka jälkeen kullekin ryhmälle on määritetty nimellisteho, kuormitusaste ja vuotuinen työaika. Työkoneiden käyttöajat ovat määritetty alle ja yli keski-ikä oleville työkoneille.

Työkonekohtaisia päästömääriä on olemassa olevia tietoja käyttämällä ollut hankala perustella, sillä koneiden lähipäästöt eivät erityisesti vanhempien koneiden osalta välttämättä korreloi esimerkiksi vallitsevien päästörajojen kanssa kovin tarkasti. Mm. työkoneiden käyttömäärät, ominaiskulutus, jälkikäsitteilylaitteistojen tehokkuudet sekä käyttöolosuhteet vaikuttavat selvästi niin kasvihuonekaasu- ja lähipäästöihin. Lisäksi TYKO-mallin ulkopuolelle jäävien työkoneiden, joiden jälkikäsitteily- ja moottoritekнологia eivät ikänsä ja/tai kuntosensa puolesta täytä moottorivalmistajan mukaisia päästöjä (ml. ns. päästömanipulointi), voivat pahimmassa tapauksessa vääristää tilastoja todelliseen lähipäästötuotantoon verrattuna. Liikenne- ja viestintäministeriön arviomuistiossa<sup>71</sup> todetaan, että päästömanipulaatioita tehdään, koska niillä voidaan saavuttaa taloudellisia etuja ammattiliikenteessä sekä lisää suorituskkyä ja taloudellisia etuja henkilöautoliikenteessä. Sidosryhmähaastattelussa oletettiin päästömanipuloitujen työkoneiden lukumäärä kuitenkin kokonaisuudessaan melko vähäiseksi, koska manipulointi vaikuttaisi koneen jälleenmyyntiarvoon. Jotta työkoneiden yksityiskohtaisempia päästöjä kyettäisiin tarkastelemaan eri työkonealuokkien suhteen, tulisi tilannetta ensisijaisesti kartoittaa lähtökohtaisesti työkoneiden todellisia lukumääriä, käyttömääräarvioita ja päästöpotentiaaleja tarkastelemalla.

Lisää TYKO-mallin menetelmäkuvauksesta osoitteessa: [http://li-pasto.vtt.fi/tyko/tykf\\_menetelma.pdf](http://li-pasto.vtt.fi/tyko/tykf_menetelma.pdf)

<sup>71</sup> Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020. Ajoneuvojen päästömanipulaatiot Suomesaarviomuitio VN/6348/2020 <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?attachmentId=14868>

## 8.2.2 Työkonekannan tarkastus TYKO-mallin ja Tilastokeskuksen tietojen valossa

TYKO-mallin tietopohjan tarkkuuden selvittämiseksi selvityksessä kerättiin tietoja käytävissä olevista eri tietokannoista. Em. tietoa kerättiin pääasiassa Traficomilta Tilastokeskukselle toimittamasta rekisteritietokannasta ja saatavilla olevista työkoneiden myynti- ja maahantuontitilastoista mm. Teknisen kaupan liitolta. TYKO-mallissa olevaa tietokantaa verrattiin Tilastokeskuksen tietoihin. Selvityksessä on laskettu eri työkoneiden lukumääriä ja kehitystä lähtien liikkeelle Traficomien rekisteritiedoista.

Alkuperäisessä TYKO-mallissa työkoneet on jaettu 24 eri työkonekategoriaan taulukon 21 mukaan. TYKO-mallin mukaisten tilastojen valossa voidaan yleistäen todeta, että eniten kasvihuonekaasupäästöjä tuottavat työkoneet edustavat lukumäärällisesti suhteellisen pientä ryhmää kaikkiaan tiedossa olevien koneiden suhteen. Viisi ensimmäistä TYKO-kategoriaa ovat vastuussa n. 75 % työkoneiden CO<sub>2</sub>-päästöistä, ja kymmenelle eniten päästävälle ryhmälle vastaava luku on 90 %. Esimerkiksi pyöräkuormaajat, tela-alustaiset kaivuukoneet ja hakkuukoneet tuottavat TYKO-mallin perusteella hieman alle 50 % Suomessa toimivien dieselyökoneiden vuosittaisista CO<sub>2</sub> päästöistä, vaikka em. koneiden lukumäärä vastaa n. 6,7 % kaikista Suomen työkoneista (35 357 kpl). Vastaavasti maataloustraktorit edustavat hieman alle 22 % (98 354 kpl) Suomen arvioidusta työkonekannasta, mutta tuottavat n. 18 % dieselnkoneiden vuosittaisista CO<sub>2</sub>-päästöistä. Mikäli muut traktorit ja maataloustraktorit lasketaan yhteen, kasvaa traktoreiden lukumäärä vastaavasti hieman yli 360 000 kappaleeseen, joka edustaa vajaata 80 % kaikista Suomessa olevista työkoneista. Em. luvuista voidaan todeta yksittäisten traktoreiden päästävän keskimäärin vain murto-osan verrattuna muihin, eniten päästäviin työkonekategorioiden koneisiin. Lähipäästöjen (CO, NO<sub>x</sub>, HC ja hiukkaspäästöt) osuudet vastaavat tyypillisesti ja suurpiirteisesti työkonekategorioiden kulutusarvioita ja hiilidioksidipäästöjä muutaman prosenttiyksikön erolla.

Koska TYKO-mallin työkoneluokittelu perustuu jokseenkin eri kategorisointiin verrattuna Tilastokeskukselta saataviin tietoihin, ja erityisesti jotta voitaisiin paremmin hahmottaa työkonesegmentin monimuotoisuutta, tässä työssä alkuperäisen TYKO-mallin kategorisointi päätettiin lopulta yhdistää ja supistaa kahteentoista kategoriaan. Työkoneiden uudelleen kategorisointi perustuu TYKO-mallin vuosittaisiin CO<sub>2</sub>-päästötietoihin. Kaikki työkonekategoriat, joiden arvioidut CO<sub>2</sub>-päästöt vastaavat alle 1,5 % dieselyökoneiden kasvihuonekaasupäästöistä (merkattu harmailla soluilla) luokiteltiin uudelleen kyseessä olevaa kategoriaa lähimpänä olevaan työkoneluokkaan. Tästä huolimatta tähän työhön selkeytetty ja yhdistetyt kategoriat päästävät marginaalisesti verrattuna merkittävimpiin työkoneluokkiin. Uudelleenjärjestetyn kategoriat on esitetty taulukossa 22.

**Taulukko 21.** Alkuperäinen työkoneluokittelu TYKO-mallissa

	TYKO-mallin luokittelu	Lukumäärä	Keskiteho	CO2 päästöt	CO2	CO2	CO	HC	NOx	Pa rt.
#	Työkoneluokat	kpl	Kw	t/a	Suhteellinen [%]	Kumulatiivinen [%]				
1	Pyöräkuormaajat	17 114	94	398 410	19 %	19 %	21 %	21 %	22 %	24 %
2	Kaivukoneet, tela-alustaiset	10 977	104	370 823	18 %	38 %	41 %	36 %	37 %	37 %
3	Maataloustraktorit	98 354	77	368 185	18 %	56 %	60 %	59 %	61 %	59 %
4	Hakkuukoneet (Moto)	2 389	152	212 573	10 %	66 %	65 %	63 %	63 %	60 %
5	Haarukka-trukit, diesel	4 878	88	165 518	8 %	74 %	74 %	71 %	71 %	67 %
6	Metsätraktorit	2 429	105	107 384	5 %	79 %	76 %	72 %	72 %	67 %
7	Kaivukoneet, pyöräalustaiset	2 998	88	89 470	4 %	84 %	81 %	76 %	75 %	70 %
8	Leikkuupuimurit	18 861	89	51 044	2 %	86 %	84 %	78 %	78 %	73 %
9	Muut traktorit	262 622	62	43 773	2 %	88 %	87 %	85 %	85 %	83 %
10	Muut ajettavat dieselyökonet	2 298	89	31 504	2 %	90 %	88 %	86 %	86 %	84 %
11	Teleskooppikurottajat	1 998	78	30 458	1 %	91 %	90 %	88 %	88 %	86 %
12	Monitoimikoneet	3 344	50	25 439	1 %	93 %	92 %	89 %	89 %	87 %
13	Tiehöylät	810	149	24 063	1 %	94 %	93 %	91 %	91 %	89 %
14	Traktorikaivurit	1 297	74	22 372	1 %	95 %	94 %	92 %	92 %	90 %
15	Dumpperit	416	153	20 910	1 %	96 %	95 %	93 %	93 %	91 %
16	Mönkijät, diesel	8 125	25	18 935	1 %	97 %	96 %	95 %	95 %	93 %
17	Minikaivurit	5 042	22	18 928	1 %	98 %	97 %	97 %	97 %	96 %
18	Nosturit	1 021	99	16 224	1 %	99 %	98 %	98 %	98 %	97 %
19	Jyrät	1 511	45	9 589	0 %	99 %	99 %	98 %	98 %	98 %
20	Muut trukit, diesel	1 989	33	6 969	0 %	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %
21	Puskutraktorit	274	112	6 376	0 %	100 %	100 %	99 %	99 %	99 %
22	Ajoruhonleikkurit, diesel	4 426	12	3 003	0 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
23	Kunnossapitotraktorit	136	62	1 603	0 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
24	Teollisuustraktorit	101	70	984	0 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

n. 75 % työkonoiden CO<sub>2</sub> päästöistä aiheutuvat viidestä TYKO-kategoriasta

Vastaavasti 90 % työkonoiden CO<sub>2</sub> päästöistä ensimmäisen 10 työkonoryhmän aiheuttamana

Taulukko 22 esittää tässä työssä muodostetun työkonoiden uudelleenryhmittely. Ryhmittelyn pääasiallisena tarkoituksena oli yksinkertaistaa ryhmittelyä, tietojen keräämistä, sekä ryhmien analysointia. Työkoneryhmät, jotka päästävät eniten kasvihuonekaasu- ja lähipäästöjä, säilyivät ennallaan.

**Taulukko 22.** Selvityksessä uudelleenryhmitellyt työkoneluokat

Tässä selvityksessä käytetty työkonekategorisointi	Lukumäärä	Keskiteho	CO2 päästöt	CO2 päästö	CO2	CO	HC	NOx	Part.
	kpl	Kw	t/a	Suhteellinen [%]	Kumulatiivinen [%]				
1 Pyöräkuormaajat	17 114	94	398 410	19 %	19 %	21 %	21 %	22 %	24 %
2 Kaivukoneet, tela-alustaiset	10 977	104	370 823	18 %	38 %	41 %	36 %	37 %	37 %
3 Maataloustraktorit	98 354	77	368 185	18 %	56 %	60 %	59 %	61 %	59 %
4 Hakkuukoneet (Moto)	2 389	152	212 573	10 %	66 %	65 %	63 %	63 %	60 %
5 Haarukkatrukit, diesel	4 878	88	165 518	8 %	74 %	74 %	71 %	71 %	67 %
6 Metsätraktorit	2 429	105	107 384	5 %	79 %	76 %	72 %	72 %	67 %
7 Kaivukoneet, pyöräalustaiset	2 998	88	89 470	4 %	84 %	81 %	76 %	75 %	70 %
8 Leikkuupuimurit	18 861	89	51 044	2 %	86 %	84 %	78 %	78 %	73 %
9 Muut traktorit	264 156	62	68 733	3 %	90 %	88 %	87 %	86 %	84 %
10 Muut dieselyökonet	10 650	137	110 593	5 %	95 %	95 %	93 %	93 %	91 %
11 Maantyöstökoneet	3 011		60 937	3 %	98 %	98 %	96 %	96 %	94 %
12 Pientehokoneet, < 35 kW	17 593		40 866	2 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

12 väihten päästävää kategoriää siirrettiin ja lisättiin em. kategorioihin

Tilastokeskuksen kautta saatavat työkonetiedot järjestettiin vastaavasti TYKO-mallin mukaiseen vertailukelpoiseen järjestykseen seuraavasti:

#### Pyöräkuormaajat

- 85 Kauhakuormain, yli 3 000 kg
- 86 Kourakuormain
- 90 Puomikauhakuormain

#### Kaivukoneet, tela-alustaiset

- 87 Kaivukone

#### Maataloustraktorit

- 75 Maataloustraktori, 10 00–10 000 kg
- 509 Traktori, max 6 000 kg

#### Hakkuukoneet(Moto)

- 91 (monitoimi)metsäkone
- 104 Monitoimikone, yli 15 000 kg

#### Haarukkatrukit, diesel

- 82 Haarukkanosturi
- 83 Sivuhaarukkanosturi
- 84 Puomihaarukkanosturi

#### Metsätraktorit

- 75 Maataloustraktori, yli 10 000 kg
- 78 Metsätraktori
- 509 Traktori, yli 10 000 kg

#### Kaivukoneet, pyörälustaiset

- 89 Kauhakuormain-kaivukone

#### Muut traktorit

- 509 Traktori, 6 000–10 000 kg
- 81 Liikennetraktori
- 928 Pyörillä varustettu traktori, yli 3 000 kg
- 929 Pyörillä varustettu traktori, yli 3 000 kg
- 930 Pyörillä varustettu traktori, yli 3 000 kg
- Traktorit joista ei tarkempaa tietoa

#### Muut dieselyökoneet

- 101 Jäänhoitokone
- 102 Konttinosturi
- 104 Monitoimikone 3 000–15 000 kg
- 128 Rinnekone
- 510 Moottoriyökone yli 30 00 kg
- 61 Luokkakategoria jossa käyttäjä syöttää nimiketiedon
- 88 Puominosturi
- 93 Vetotrukki
- 97 Lakaisukone
- 98 Hiekanlevitin
- Moottoriyökoneet joista ei tarkempaa tietoa

#### Maantyöstökoneet

- 77 Maansiirtotraktori
- 79 Teollisuustraktori, yli 3 000 kg

#### Pientehokoneet, <35kW

- 100 Ruohonleikkuukone
- 104 Monitoimikone, max 3 000 kg
- 510 Moottoriyökone, max 3 000 kg
- 75 Maataloustraktori, max 1 000 kg
- 76 Puutarhatraktori
- 79 Teollisuustraktori, max 1 000 kg
- 80 Kiinteistötraktori
- 85 Kauhakuormain, max 3 000 kg



- 928 Pyörillä varustettu traktori, max 3 000 kg
- 929 Pyörillä varustettu traktori, max 3 000 kg
- 930 Pyörillä varustettu traktori, max 3 000 kg
- 931 LuokkaT2b

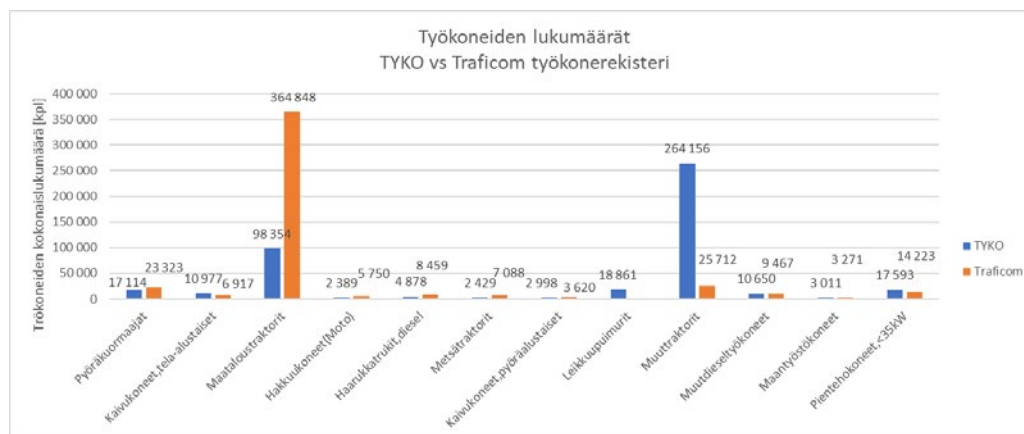
Tilastaselvityksen aikana selvisi, että Traficomien rekisterin työkoneluokkia on muokattu vuosien varrella työkonekategorioiden ja markkinatilanteen mukaan. Tämän johdosta saman tyyppisiä koneita on voitu luokitella eri kategorioihin eri aikoina, ja näin ollen tilastojen paikkansapitävyyttä esimerkiksi lukumäärien suhteen ei voida saumatomasti todentaa.

TYKO-mallin ja edellä kuvatulla tavalla laskettujen työkonemäärien, joissa polttoaineena käytetään dieseliä, vertautuvat toisiinsa Kuva 48 esitettyllä tavalla. Maatalous- traktoreiden ja muiden traktoreiden lukumäärät ovat yllä esitettyinä, sillä em. luokkien yhteenlasketuksi lukumääräksi saatiin yhteensä lähes 360 000 kappaletta. TYKO-mallin ja Tilastokeskuksen lukuja vertailtaessa voidaan huomata työkonemäärien poikkeavan toisistaan tiettyjen työkonekategorioiden osalta merkittävästi. Esimerkiksi maataloustraktoreiden ja ”muiden traktoreiden” yhteenlasketut lukumäärät täsmäävät suhteellisen hyvin keskenään, mutta jaottelu perustuu selvästi eri määritelmiin. Lisäksi esimerkiksi pyöräkuormaajien, tela-alustoisten kaivuukoneiden, hakkuukoneiden, haarakatrukkien ja metsätraktoreiden osalta työkonemäärien lukumäärät vaihtelevat peräti 50 %:lla. Lisäksi leikkuupuimureita ei ollut Traficomien rekisteristä lainkaan, sillä leikkuupuimurit ovat sekä lainvaatiman rekisteröinti- että vakuutusvelvollisuuden ulkopuolella. Tästä huolimatta on mahdollista, että osa puimureista ovat vakuutettuja mutta eivät rekisteröityjä, mikäli käyttäjä siirtää puimureitaan teitä käyttämällä esimerkiksi pellolta toiselle. TYKO-mallissa leikkuupuimureiden määrä on puolestaan arvioitu tuotantomäärien sekä vienti- ja tuontilukujen mukaan. Vastaava syy vaikuttaisi vääristävän lukumääriä esimerkiksi tela-alustaisten kaivuukoneiden osalta. Osa tela-alustaisista koneista on kuitenkin lopulta Traficomien tiedossa, mikäli em. kaivuukoneet ovat vaatineet rekisteröintiä työkonereksiteriin.

Tietokannoista saatavien työkonemäärien kokonaislukumäärät ovat TYKO-mallissa 453 409 kpl ja Traficomien tietokannassa vakuutettujen työkonemäärien vastaavasti 426 358 kpl. Tämä tarkoittaa, että TYKO-mallin työkonemäärä on n. 6 % Traficomien tietoja suurempi. Mikäli yhtälössä huomioidaan leikkuupuimureiden ja muiden vakuutus- ja rekisteröintivelvollisuuden ulkopuolelle jäävien työkonemäärien (leikkuupuimureita TYKO-mallissa 18 861 kpl), ero pienenee n. 2 %:iin. Epävarmuutta lisää esimerkiksi rekisteröimättömien ja vakuuttamattomien työkonemäärien (kuten telakoneet) kokonaislukumäärä, joiden lukumääräarviot nojautuvat ainoastaan valistuneisiin arvioihin. Rekisteröimättömien ja vakuuttamattomien koneiden absoluuttista lukumäärää on nykyisillä tiedoilla käytännössä mahdoton arvioida tarkasti, sillä em. koneiden tietoja ei ole juurikaan saatavilla.

TYKO-mallin ja Traficomin rekisteritilastojen ulkopuolelle jäävien koneiden tarkka ja todellinen määrittäminen ja sitä kautta ko. koneiden päästöjen arviointi on kuitenkin haasteellista. Rekisterin ulkopuolelle jäävien työkoneneiden arvioimisessa voitaisiin kuitenkin hyödyntää myynti- ja maahantuontitilastoja. Vanhempien koneiden osalta rekisteröimättömien koneiden arviointi on joka tapauksessa viitteellistä, sillä myyntitilastojen kerääminen tulisi suorittaa useamman eri asiaa hallinnoivan ja tilastoivan tahon kautta. Esimerkiksi Teknisen kaupan liitolta löytyy tilastoja uusina myydyistä sekä käytettynä maahantuoduista maanrakennuskoneista koneista, mutta tilastojen ohi kulkevat kuitenkin liitolle kuulumattomat koneet, kuten asfalttikoneet, jyrät ja tiehöylät. Koska em. tilastojen kerääminen ei kokonaisuudessaan sisältänyt tämän työn tavoitteisiin, olisi kyseessä olevien koneiden lukumäärän selvitys tehtävä erikseen. Eri TYKO-mallin päivitysversioneissa rekisterin ulkopuolelle jääviä lukumääriä on tarkasteltu vuosien saatossa, ja tietoja on kerätty mm. eri sidosryhmien tietoja, tilastollista laskentaa sekä muita arvioita käyttämällä, mutta absoluuttisia lukumääriä ei olla todellisuudessa voitu todentaa.

**Kuva 48.** TYKO-mallin ja Tilastokeskuksen (Traficomin) työkonemäärien korrelaatio



## 8.2.3 Työkoneiden käyttöön vaikuttavat muuttujat

Suomessa käytössä olevien työkoneneiden käyttöaste vaihtelee valtavasti monen muuttujan mukaan, mm. työkonetyypistä, työkonene iästä, käyttökohteesta ja omistajatyypistä (yritys/yksityiskäyttö) riippuen. Esimerkiksi kausiluonteisessa käytössä olevat työkoneneet saattavat seistä valtaosan vuodesta, jolloin käyttötunnit jäävät verrattain mataliksi ja työkoneneen keskimääräinen pitoaika kasvaa. On kuitenkin oletettavaa, että yrityskäytössä olevien koneiden käyttöaste on yksityiskäytössä olevia koneita korke-

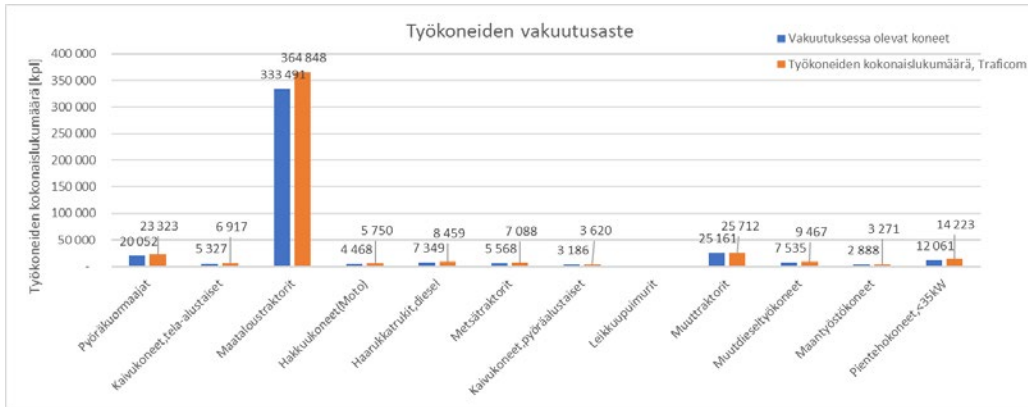
ampi ja monessa tapauksessa työkoneen iän voidaan todeta pääasiallisesti vaikuttavan koneen käyttömäärään johtuen koneiden siirtymisestä yrityskäytöstä yksityiskäyttöön.

Jotta Suomessa käytössä olevien työkoneiden merkisevyys päästöinventarioiden suhteen kyettiin tunnistamaan tarkemmin, selvitettiin kunkin työkoneeryhmän vakuutusentottajien omistussuhteet ja ikäjakauma. Koneet ryhmiteltiin käyttöönottovuosien perusteella niin, että Stage IV voimaantulosta alkaen (vuonna 2014) käyttöönotetut työkoneet jaettiin omaan kategoriaan, vastaavasti ennen 2014 käyttöönotetut koneet jaettiin omaan kategoriaan. Tilastoja tarkastellessa on kuitenkin huomioitava, että koneet, joiden teholuokka on alle 56 kW, noudattavat edelleen Stage IIIA/B päästövaatimuksia vuodesta 2007 lähtien vuoteen 2019 saakka, jolloin ko. työkoneiden päästövaatimukset päivitettiin suoraan Stage V luokkaan. Tästä johtuen vuoden 2014 jälkeen käyttöönotetuissa koneissa voi esiintyä Stage IIIA/B, Stage IV ja Stage V luokan työkoneita. Selvityksessä käytetyn työkoneeryhmittelyn ansiosta työkoneiden keskitetit ovat kuitenkin pientehokone ja muut traktorit -kategorioita lukuun ottamatta keskiarvoltaan yli 77 kW, jolloin valtaosa koneista kuitenkin ylittävät em. 56 kW lukeman.

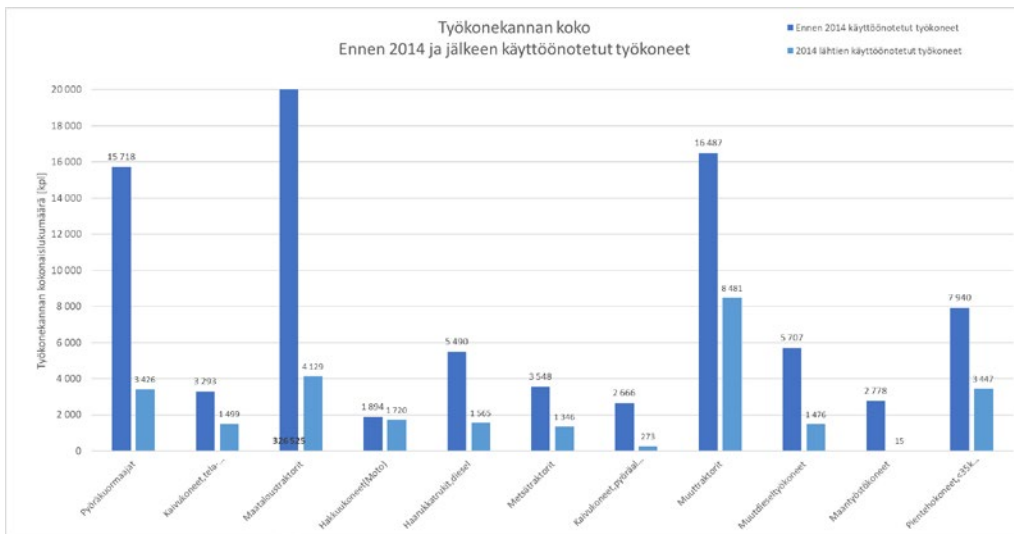
Omistussuhteet laskettiin niin, että Traficomien rekisterissä olevat työkoneet jaettiin yksityishenkilön ja yrityksen välillä sen mukaan, kuka oli koneen vakuutuksenhaltija. Kuva 49 esittää työkoneiden lukumäärän TYKO-mallin eri työkonekategorioiden lukumäärät verrattuna Traficomien tilastoista saatuihin vakuutustietoihin ja Kuva 50 kun jakolinjaksi otetaan hankintavuosi 2014. Yleisesti voidaan todeta, että pyöräkuormaajien, maantyöstökoneiden ja maataloustraktorien keski-ään painottuvan ennen 2014 käyttöönotettuihin työkoneisiin, joka viittaa esimerkiksi koneiden pitkään käyttöikään ja matalaan vaihtuvuuteen. Vastaavasti esimerkiksi hakkuukoneiden ikäjakauman perusteella voidaan todeta koneiden uusiutumistahdin olevan verrattain nopeaa. Vuoden 2014 jälkeen käyttöönotettujen työkoneiden kokonaislukumäärä on 27 377 kpl ja ennen 2014 käyttöönotettujen työkoneiden 392 046 kpl. Tämä ikäjakauma saattaa vääristyä suuren maataloustraktoreiden lukumäärän vuoksi. Ennen vuotta 2014 maataloustraktoreita on rekisteröity yli 320 000 kappaletta. Vastaava luku vuoden 2014 jälkeen on 4 129 kpl. Vastaavasti muut traktorit kategorian lukumäärä "Maatalous ja muut traktorit" poissulkien ovat vuoden 2014 jälkeen käyttöönotetuille koneille 14 767 kpl ja ennen vuotta 2014 käyttöönotetuille koneille 45 486 kpl.

Tilastojen epävarmuutta lisää myös työkonekategorioiden ja rekisteröintikäytäntöjen muuttuminen. Esimerkiksi maantyöstökoneet-kategoriassa ensirekisteröintejä on tapahtunut vuoden 2014 jälkeen ainoastaan 15 kpl. Vastaavasti ennen vuotta 2014 rekisteröityjen lukumäärä on ollut 2 778 kpl. On syytä epäillä, että maantyöstökoneiksi rekisteröidyt työkoneet rekisteröidään nykyään muuhun, koneita paremmin vastaavaan työkonekategoriaan. Maantyöstökone -kategoria sisältää luokat "Maansiirtotraktorit" ja "Teollisuustraktori, yli 3 000 kg".

**Kuva 49.** Traficomien rekisterissä olevien työkoneteiden lukumäärä suhteessa vakuutettuihin työkoneteisiin

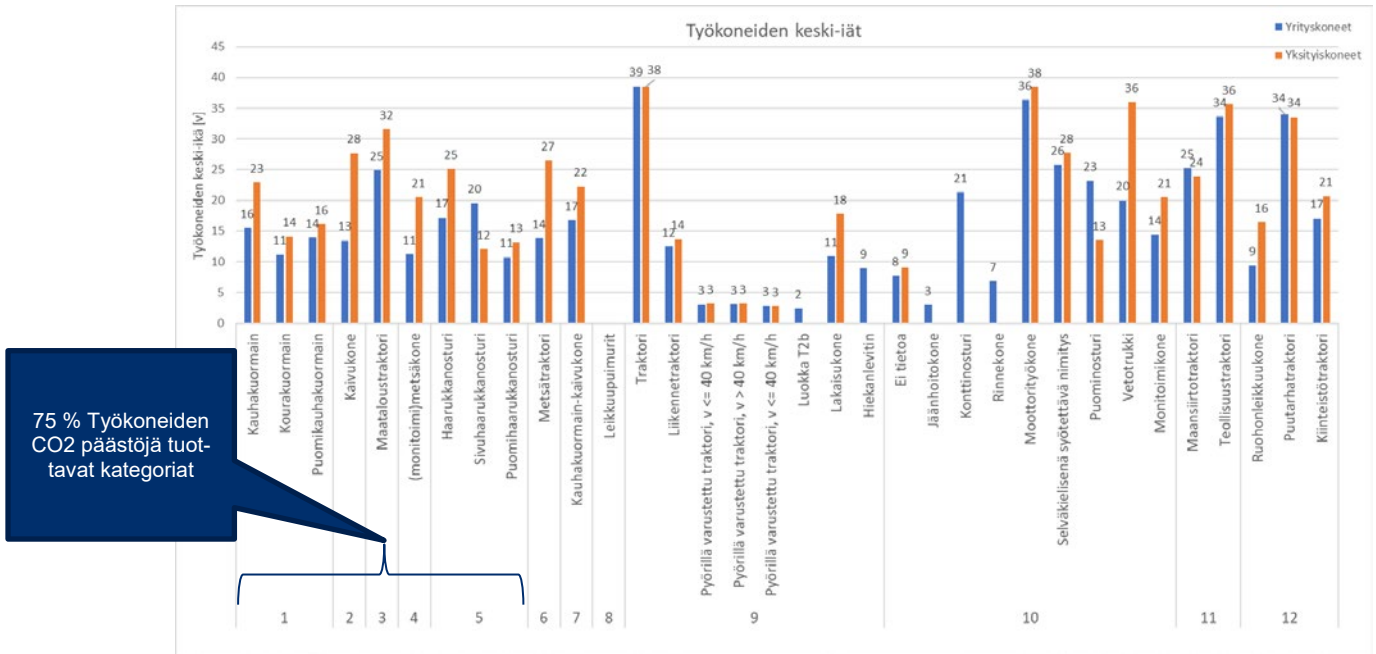


**Kuva 50.** Traficomien tilasteiden perusteella määritetyn työkoneteiden koko eri kategorioiden suhteen jaettuna niin, että ennen 2014 käyttöön otetut koneet ja 2014 alkaen käyttöön otetut koneet ovat jaettu erikseen.



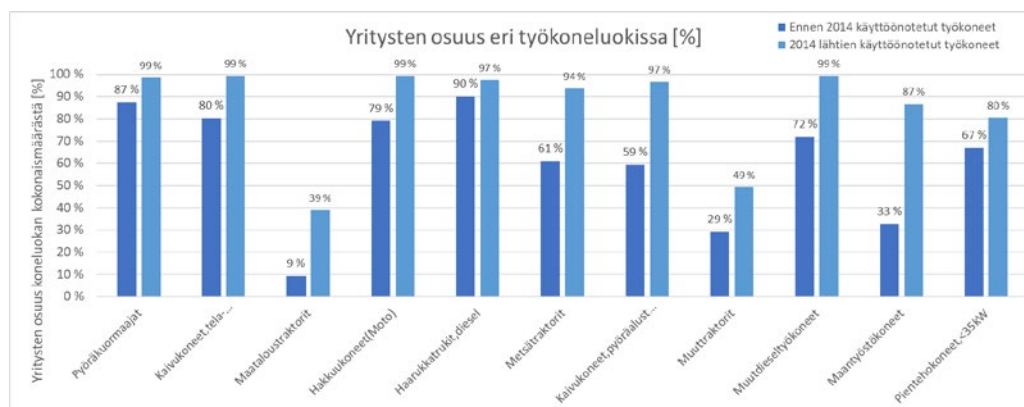
Kuva 51 osoittaa Traficomien saataviin tietoihin pohjautuvat työkoneteiden keski-iat. Kyseisen kuvan työkoneteekategorioiden on pilkottu sekä jaettu vastaavaan 12 kategoriaan, joita on käytetty tämän työn työkoneteearvioinneissa. Tyypillisesti yrityskäytössä olevat työkoneteet ovat eteenkin CO<sub>2</sub>-päästöjen merkitsevyyden kannalta keksimäärin nuorempaa. Näidenkin yrityskäytössä olevien koneiden osalta, jotka tuottavat merkittävimmin päästöjä, on kuitenkin huomioitava, että keski-iat vaihtelevat joka tapauksessa 11–20 ikävuoden välillä.

**Kuva 51.** Työkoneiden keski-ikä Traficomien tietokannan perusteella



Ikäjakama näkyy pääasiallisesti yritys ja yksityisomistusten suhteessa (Kuva 52). Eri-tyisesti työkonekategoriat, joiden käyttöönottovuodet painottuvat ennen vuotta 2014, yksityisomistuksessa olevien osuus kasvaa. Eryteisesti maatalouskategoriasa ja muut traktorit -kategoriasa esiintyy runsaasti yksityisomistuksessa olevia työkoneita. Lisäksi ennen 2014 käyttöönotetut maantyöstökoneiksi luokitellut työkoneet painottuvat yksityisiin omistussuhteisiin. Noin 8 % traktorit-kategoriasa olevista koneista omistussuhteen tieto puuttui, kun vastaavasti moottorityökoneiden osuus oli 18 %. Ottaen huomioon sekä työkonekannan ikäjakauman että yksityisen- ja yritysomistusten suhteet voidaan todeta aktiivisesti käytettävien työkoneiden pääasiallisesti painottuvan uudempiin, jälkeen 2014 käyttöönotettuihin työkoneisiin maatalouskategoriaa ja muut traktorit -kategoriaa lukuun ottamatta.

**Kuva 52.** Yritysomisteisten koneiden osuus ennen ja jälkeen 2014 käyttöönotettujen koneiden suhteen.

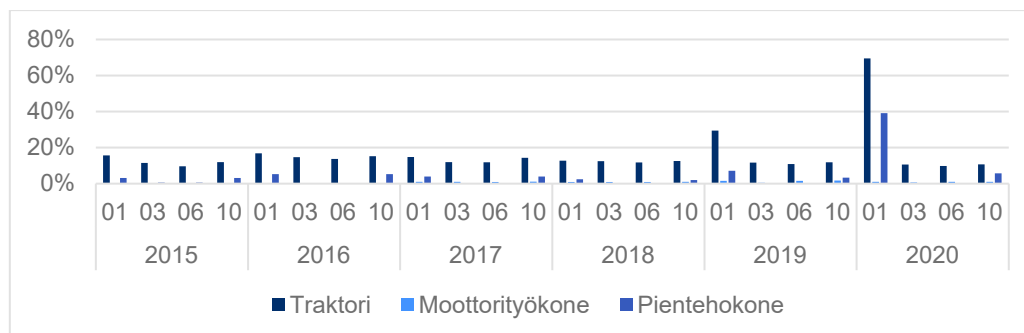


Traficomien rekisterissä olevien työkoneluokkien muutosten johdosta koneita on voitu luokitella eri kategorioihin, jolloin tilastojen paikkansapitävyyttä ei voida saumattomasti todentaa.

## 8.2.4 Työkoneista saatavilla olevat tiedot

Työkoneista saatavilla olevat tiedot määrittelevät päästöinventaarion tarkkuuden, sillä työkoneneen teholla, massalla, käyttötarkoituksella, iällä ja ikään perustuvalla päästöloukalla on merkittävä vaikutus päästökertoimen muodostumiseen. Selvityksessä tarkasteltiin tällä hetkellä käytettävissä olevia tietolähteitä tarpeellisten lisäysten arvioimiseksi. Esimerkiksi työkoneneiden päästötietoja esiintyy Traficomien tilastoissa vaiheleavasti. Kuva 53 esittää, kuinka monessa prosentissa traktoreita, moottorityökoneita ja pientehokoneita on saatavissa päästötietoja vuosina 2015–2020. Kuvatut päästölajit ovat 01 CO, 03 NO<sub>x</sub>, 06 HC/THC ja 10 hiukkaset. Traktorien osalta tieto hiilimonoksidista on ollut rekistereissä 10–20 %:lle koneista jo vuodesta 2008 lähtien, ja osuus on alkanut kasvaa Stage V -luokittelun käyttöönoton myötä vuonna 2019. Sama muutos on tapahtunut myös pientehokoneissa. Moottorityökoneiden päästöistä ei rekisteritietoja toistaiseksi juurikaan ole. Moottorityökoneiden päästöjä voidaan kuitenkin karkeasti arvioida käyttöönottovuosien perusteella, jonka avulla koneen päästöloukka ja päästökertoimen kokoluokka on arvioitavissa. Päästöjen arvioimiseksi avainasemassa olisi kuitenkin työkoneneiden työmäärät tai käyttötunnit ja kulutustiedot, jotka suoraan vaikuttavat kunkin työkoneneen suoritteeseen ja siitä aiheutuviin päästöihin.

**Kuva 53.** Traficomien rekisterissä oleva päästöläjittely (CO, NO<sub>x</sub>, HC/THC, hiukkaset), prosenttia vuosina 2015–2020 ensirekisteröidyistä traktoreista, moottorityökoneista ja pientehokoneista.



Lisäksi työkoneiden nettotehotiedolla on merkitystä koneen päästoluokan päästörajien arvioimisessa ja koneen kokonaispäästöjen laskennassa. Taulukko 23 esittää Traficomien tietokannasta olevien työkoneiden nettotehotiedon osuuden suhteessa ko. työkoneluokan kokonaislukumäärään. Pääasiallisesti voidaan todeta yritysomisteisten koneiden nettotehotiedon olevan selkeästi korkeampi suhteessa yksityisomistukseen. Osasyynä ilmiöön voidaan pitää ainakin konekannan ikäjakaumaa yksityis- ja yritysomistusten välillä.

**Taulukko 23.** Traficom tietokannassa esiintyvien työkoneiden nettotehotiedon saatavuus

#### Traktorit

Yksityisomisteiset	35 %
Yritysomisteiset	66 %
Ei tiedossa	8 %

#### Moottorityökoneet

Yksityisomisteiset	56 %
Yritysomisteiset	86 %
Ei tiedossa	45 %

Tällä hetkellä työkoneiden käyttötuntimääriä tai polttoainekulutukseen liittyviä tietoja ei ole saatavilla Traficomien tai muiden tietokantojen perusteella. Sidosryhmäkeskusteluiden kautta saadun tiedon mukaan em. tiedot ovat monesti liiketoiminnan ja kilpailuasettelun vuoksi tarkkaan varjeltuja liikesalaisuuksia, eikä kyseisiä tietoja mielellään

jaeta eteenpäin. Teoriassa em. tiedot voitaisiin kerätä esimerkiksi eri toimiala- ja si-dosryhmien yhteistöiden kautta, mutta ilmoitus perustuisi tässä tapauksessa vapaaeh-toisuuteen. Jos tarkka tieto haluttaisiin suoraan työkoneyrittäjiltä, tulisi työkoneiden käyttömäärät ilmoittaa esimerkiksi vuosittain, mikä vaatisi käytyjen haastatteluiden mukaan ilmoitusvelvollisuuden käyttöönoton sekä muutoksia lakiin.

## 8.2.5 Tarvittavien tietojen arviointi päästöinventointien tarkentamiseksi

Dieselyökoneista aiheutuneiden kasvihuonekaasujen arvioimiseksi voidaan käyttää pääasiallisesti polttoaineiden myyntitilastoja, sillä polttoaineiden aiheuttamat hiilidiok-sidipäästöt ovat suoraan verrannolliset koneen polttoainekulutukseen. Mikäli eri työko-nekategorioiden yksityiskohtaisempia päästöjä haluttaisiin seurata ja tarkentaa, tarvit-taisiin kuitenkin tieto eri työkoneiden vuosikohtaisista polttoainekulutuksista, työmää-ristä sekä koneiden käyttötarkoituksesta/kategorisoinnista. Vaihtoehtoisena menetel-mänä voidaan pitää konekohtaisten käyttötuntimäärien selvittämistä, mutta polttoaine-kulutuksen korrelaation käyttötunteihin ja esimerkiksi koneen nettotehon kanssa vaihtelee työskentelyn laadusta riippuen. Em. tietojen puuttumisen johdosta TYKO-mallin arviointi on tällä hetkellä hyvin kokonaisvaltaista: laskenta perustuu yksinomaan arvi-oituihin, koneiden keskimääräisiin työsuoritteisiin eri kategorioihin perustuen.

Vastaavasti lähipäästöjen päästöinventointien ja päästömäärien arviointi on tällä het-kellä suoritettu suhteuttamalla työkoneiden arvioidut vuosittaiset työsuoritteet vallitse-van päästöluokan ja niitä vastaavien, arvioitujen päästökertoimien suhteen. TYKO:n laskentamenetelmä perustuu pääosin USA:n ympäristöviraston (EPA) laatimaan las-kentamalliin, joka on mukautettu Suomen olosuhteisiin. Koska TYKO-mallin laskenta on kehitetty oman aikakautensa tiedon valossa, ovat työkoneiden päästökertoimet ar-vioitu tiedossa olevien päästötietojen perusteella. Työkoneiden todelliset käytönaikais-ten päästöjen on kuitenkin todettu vaihtelevan valtavasti esimerkiksi moottori- ja kone-tyypin, käyttötavan ja käyttöolosuhteiden mukaan, eivätkä päästökertoimet mm. työ-konekannan monimuotoisuuden ja eriävien työsuoritteiden vuoksi vuoksi ole välttä-mättä ajan tasalla edes EPA:n menetelmää ja päästökertoimia soveltamalla (Hagan et. al. 2022). Lisäksi tietoa työkoneiden aiheuttamista käytönaikaisista päästöistä on aikaisemmin ollut hankala todentaa kenttämittauslaitteiden yleistyessä vasta viime vuosikymmenen aikana. Esimerkiksi kahden identtisen koneen lähipäästöt saattavat vaihdella, mikäli koneiden keskimääräiset työmäärät ja suoritteet poikkeavat toisistaan merkittävästi. Lisäksi on huomioitava, että päästökertoimien määrittelyssä työkonei-den todelliset päästöt saattavat ylittää annetut raja-arvot moninkertaisesti, kuten Wihersaari on osoittanut diplomityössään. Diplomityössä verrattiin PEMS-laitteistolla Stage IV -luokan työkoneen todellisia päästöjä vallitsevien päästörajojen ja Stage V -



päästönormien kanssa (Wihersaari 2015). Tutkimuksessa esitetyt tulokset viittasivat, että esimerkiksi mitatun Stage IV -luokan työkoneen vaatimuksenmukaisuuden kertoimet typenoksidipäästöille olivat laskentatavasta riippuen suhteellisen lähellä annettuja päästöraja-arvoja. Vaikka typenoksidipäästökertoimen todettiin yleisesti olevan omaan päästöluokkaan suhteutettuna kuitenkin suhteellisen maltilliset, huomattiin NO<sub>x</sub>-päästökertoimien vaihtelevat pahimmassa tapauksessa välillä kertoimella 1,53–4,73. Päästökertoimien vaihtelu johtuu kuormatason vaihtelusta, jolla on merkittävä yhteys jälkikäsitteilylaitteiston toiminnan ylläpitämisessä. Wihersaaren tutkimus osoittaa, että päästöinventaarion tarkkuutta voitaisiin parantaa tekemällä laajempi kartoitus eri ikäisten koneiden todellisille, käytönaikaisille päästöille eri kuormitustilanteissa ja käyttöolosuhteissa esimerkiksi PEMS-mittausten avulla. Lisäksi tietoja käytönaikaisista päästöistä voitaisiin parantaa keräämällä tuloksia kansainvälisellä tasolla jo tehdyistä tutkimuksista. On kuitenkin huomioitava, että tutkimustuloksia, jotka käsittelevät työkoneiden käytönaikaisia päästöjä, on julkisesti hyvin rajoitetusti saatavilla.

Työkoneiden todellisten päästöjen seuranta otettiin käyttöön vasta Stage V -päästöluokan puitteissa. Niin kutsutussa ISM-menettelyssä työkoneemootoreita valmistavia tahoja on vaadittu todentamaan ja ilmoittamaan EU-komissiolle työkoneemootoreiden käytönaikaiset ominaispäästökertoimet. Stage V -päästösääntelyssä käytettävä ISM-menettelmä ei kuitenkaan liikennesektorissa käytettävän ISC-menettelmän mukaisesti vaadi työkonevalmistajia noudattamaan erityisiä päästökertoimia, mutta ISM-menettelyn tarkoitus on valmistautua mahdollista ISC-menettelmän käyttöönottoa varten. Mahdollisen ISC-menettelyn käyttöönoton päivämäärää ei ole vielä ilmoitettu, mutta menettelyn julkaisun odotetaan tapahtuvan lähitulevaisuudessa. Mikäli ISC-menettely otetaan työkoneille käyttöön, helpottuu päästöinventointimenettelyn piiriin kuuluvien työkoneiden osalta suhteellisen paljon. Em. tapauksessa työkoneiden päästöjen voidaan olettaa pysyvän tarkemmin määriteltujen päästökeroimien sisällä olettaen, että pakokaasupuhdistusjärjestelmät toimivat tarkoitetulla tavalla.

Koska rekisteritilastojen ulkopuolelle jäävien koneiden tiedot nojaavat ainoastaan asiantuntija-arvioihin, ei Suomessa päästöjä muodostavien koneiden tarkkaa lukumäärää voida todeta. Tämän johdosta osa TYKO-malliin perustuvasta päästöinventariosta sisältää todennäköisimmin suhteellisen suurta epävarmuutta. Erityisen hankalaa päästöjen arviointi on niissä työkonekategorioissa, joissa koneiden käyttömäärät vaihtelevat ja joissa voi esiintyä suurempia määriä koneita, joiden lukumäärästä ole tietoja.

Vallitsevan tilanteen pohjalta tietotarpeiden kasvattaminen vaikuttaisi olevan suhteellisen työlästä erityisesti iäkkäiden koneiden osalta, jolloin paljon tarvittavia tietoja (kuten käytönaikaisten päästötietojen, käyttöasteen yms.) puuttuu. Myös tulevaisuudessa täytyy päästöinventarioita tehtäessä tehdä merkittävä määrä . Lisäksi on huomioitava Suomessa käytettävien työkoneiden valtava ikä- ja lukumääräjakauma, joka on

omiaan lisäämään epävarmuuskertoimia entisestään. Kulutus- ja käyttötuntitietojen tarkkuuden kasvattaminen helpottaisi tulevaisuudessa työkoneiden päästöjen kohdentamista, mutta lähipäästökertoimien arviointi on edelleen tehtävä tiettyjä olettamuksia käyttämällä. Lähipäästötietoja voitaisiin parantaa suorittamalla kullekin työkonekategorialle kenttätutkimuksia, jonka avulla työkoneiden käytön aikaiset päästöt voitaisiin selvittää sekä päästökertoimia tämän perusteella tarkentaa.

Mikäli päästöinventariota haluttaisiin parantaa rekisteröintivelvollisuutta laajentamalla olisi suositeltavaa, että tietopohjan kasvattaminen ja rekisteröintilaajennus kohdennettaisiin uudempiin koneisiin ja/tai erityisesti niihin kategorioihin, joiden osalta käytön aikaiset päästöt ovat kokonaisuudessaan merkitseviä (5–10 eniten päästöjä tuottavat ryhmät) ja helpommin arvioitavissa perustuen päästölainsäädännön vaatimuksiin. Lisäksi työkoneiden päästövaatimusten laajentuessa myös pien- ja suurteholuokkiin (Stage V) helpottuu ko. luokkien ominaispäästöjen arviointi ja sitä kautta päästöinventointien laskenta tarkentuu. Työkoneiden kategorisointia voitaisiin tarkentaa niin, koneet jaettaisiin työsuoritteiden ja moottoritehojen mukaan. Ihanteellisessa tapauksessa rekisteröintilaajennus koskisi kaikkia käytössä olevia työkoneita sisältäen ainakin tiedot työkoneen tehosta, iästä ja massasta. Em. rekisteröintilaajennus olisi ainakin suhteellisen helppo ottaa käyttöön yritysomistussuhteen edellytyksenä.

Tietotarpeiden ja rekisteröintilaajennuksen tarpeellisuuden arvioinnin johtopäätös on, että mikäli koneiden tarkkaa lukumääriä, päästöluokkia, ikää, käyttötuntimääriä ja polttoainekulutuksia ei saada nykyistä paremmin selville, on päästöinventointien tarkentaminen työlästä ja haasteellista. Em. tietoja voitaisiin vaihtoehtoisesti kerätä eri alojen asiantuntija- ja toimialaryhmien yhteistyöllä, ja kerääminen vaatisi yrittäjien sekä toimialaryhmien aktiivista yhteydenpitoa sekä keräyksen hallinnointia. Muussa tapauksessa päästöinventointien päivitys nykyisen TYKO-mallin osalta on työläs prosessi suhteessa päästöinventarioiden tarkkuuden kohentumiseen. Niiden konetyyppien osalta, joiden päästökertoimet ovat ainoastaan asiantuntija-arvioiden tai vanhempien tietolähteiden varassa, tulisi todellisten käytön aikaisten päästöjen muodostumista tutkia lisää. Uudempien koneiden (esimerkiksi Stage V) kohdalla olisi syytä arvioida, voitaisiinko tulevaisuudessa kaikki tietyn tehorajan ylittävät uusina myytävät koneet (esim. yli 37 kW tai 56 kW) vaatia rekisteröitäviksi niin, että myyntilanteessa koneen perustiedot syötettäisiin rekisteriin. Työkoneiden lukumäärän tarkentamiseksi rekisteröintivelvollisuutta olisi hyvä laajentaa lisäksi koskettamaan ainakin kaikkia niitä työkoneeryhmiä, jotka kuuluvat eniten päästävien työkonekategorioihin. Lisäksi rekisteröintivelvollisuuden piirissä oleville koneille voitaisiin ainakin teoriassa jälkikäteen muodostaa ilmoitusvelvollisuus joko käyttötuntien ja/tai kulutustietojen ilmoittamisesta, jolloin konekohtainen ominaispäästölaskenta yksinkertaistuisi merkittävästi. Traficom haastatteluiden yhteydessä kuitenkin ilmeni, että käyttötunti- tai kulutustietojen ilmoitusvelvollisuuden käyttöönotto vaatisi suhteellisen suuria muutoksia lakiin.

## 8.2.6 Työkoneiden valvonnan kehitysmahdollisuudet

Suomessa käytössä olevien työkoneiden suuresta ikäjakaumasta sekä käyttökuormavaihtelusta johtuen työkoneiden päästömanipulointiin liittyvä valvonta olisi suositeltava keskittää niihin työkonealuokkiin, joiden käyttö on merkitsevää sekä vuosittaisen käyttötuntimäärän (tai kokonaistyömäärän) että vallitsevan moottorin jälkikäsitteilyteknologian suhteen. Esimerkiksi koneiden, joihin päästölainsäädäntö ei edellytä merkittävää jälkikäsitteilyteknologiaa (kuten SCR-järjestelmää tai hiukkasloukkua), voidaan olettaa olevan vähemmän herkkiä päästöihin vaikuttaviin vikaantumisiin, tai houkutus muuttaa koneen konstruktiota tavalla, joka muuttaa moottorin ominaispäästöjä, on melko vähäinen. Lisäksi olisi huomioitava, että jos työkoneiden maksullinen valvonta kohdistuisi koneisiin, joita käytetään harvoin, valvonnasta aiheutuneet kustannukset käyttötunteihin nähden kasvaisivat suhteettoman suuriksi. Myös valvonnan kehitysmahdollisuuksia tarkastellessa on huomioitava useampi, mm. tieliikennelainsäädännöstä poikkeava muuttuja, jotka vaikuttavat työkoneiden valvonnan toteutustapoihin ja kustannusrakenteeseen. Työkoneiden laajasta kirjosta johtuen koneiden liikuteltavuudet (mm. massat ja sijainnit) on otettava huomioon, jotta toteutettavuus ja valvonnan tehokkuus ovat samalla tarpeellisella tasolla ylimääräisiä kustannuksia tuottamatta. Eriyisesti työkoneen liikuttamisesta aiheutuvia down-time ajanjaksoja olisi vältettävä ylimääräisten kustannuksen aiheuttamiseksi.

### 8.2.6.1 Työkoneiden kunnan valvontamenetelmiä

Osana selvitystä VTT haastatteli eri sidosryhmien erilaisista vaihtoehtoisista valvontamenetelmistä. Haastatteluissa punnittiin valvonnan kannattavuutta suhteessa etuihin, haasteisiin ja kustannuksiin. Valvonnasta aiheutuneet kustannusrakenteet muodostuvat monimutkaisten muuttujien summista, jonka johdosta tiettyjen valvontamenetelmien kokonaiskustannusarviointi on haasteellista ja epävarmaa. Eri vaihtoehtojen kustannusarviointi voidaan kuitenkin kategorisoida menetelmävaihtoehtojen mukaan niin, että vaihtoehtoilta voidaan laatia edut ja haasteet, sekä jäsenellä kustannusjärjestykseen.

Haastatteluiden perusteella vaihtoehtoiksi muodostui neljä kategoriaa, jotka on esitetty etujen ja haasteiden kanssa kustannusjärjestyksessä taulukossa 24. Taulukon menetelmät on jaettu eri vaihtoehtoihin riippuen valvonnan laajuudesta sekä huomioiden työkoneiden siirrettävyys kentältä valvonnan suorittamiseksi. Jos fyysistä valvontaa haluttaisiin toteuttaa vaikeasti siirrettäville koneille, tarkastus koneen sijaintipaikalla voisi olla toimiva vaihtoehto. Lisäksi eräänä vaihtoehtona voidaan pitää työkoneen tarkastamista vuosi- tai kausihuollon yhteydessä, mutta tässä tapauksessa tarkastusten ulkopuolelle jäävätomaanisesti huollettavat työkoneet. Mikäli nähdään,

että mikään fyysistä valvontaa vaativista vaihtoehtoista ei ole sovellettavissa kokonaisvaltaisesti kaikkiin työkoneluokkiin, voisi vaihtoehtona olla eri menettelyiden yhdistäminen riippuen esimerkiksi työkoneen siirrettävyydestä ja tieliikennekelpoisuudesta.

Selvästi yksinkertaisimpana vaihtoehtona suhteessa saavutettavaan tavoitteeseen pidettiin ilmoitusluontoista menetelmää, jossa hyödynnettäisiin työkoneiden vikadiagnostiikkaa. Tässä tapauksessa valvontamenetelmä olisi puhtaasti ilmoitusluontoinen menettely, jossa OBD-diagnostiikkaväylän kautta tehtävä vikakoodien todentaminen siirrettäisiin digitaalisesti tietojärjestelmää hallitsevalle taholle. Tämä kuitenkin vaatisi, että koneenkäyttäjät hankkisivat ennalta määritetyt OBD-lukulaitteet joko vuokraamalla tai kertainvestointina hankkimalla lukulaitteet itselleen. Vaihtoehtoisesti OBD-raportin voisi haluttaessa tulostaa huoltotoimenpiteen yhteydessä valtuutetun huoltohenkilöstön toimesta. Tällä hetkellä on kuitenkin epäselvää, kuinka paljon kokonaisvaltainen OBD-lukuprosessin voisi maksaa, mutta em. menetelmän arvioitiin kuitenkin olevan kokonaisuudessaan selvästi muita menetelmiä halvempi vaihtoehto. On myös epäselvää, mikä taho tietojärjestelmää voisi ylläpitää.

**Taulukko 24.** Työkoneiden kunnon valvonnan vaihtoehdot

Menetelmä	Etu #1	Etu #2	Haaste #1	Haaste #2	Kustannus yrittäjille
Katsastus katsastusasemalla	Konkreettinen kunnon tarkastus mahdollinen	Ei merkittäviä muutoksia katsastusmenettelyyn	Kaikki työkoneet eivät tieliikennekelpoisia tai etäisyydet pitkiä	Lisää yrittäjien down-time aikaa	Korkea
Katsastus kentällä	Konkreettinen kunnon tarkastus mahdollinen	Koneiden down-time vähäinen	Katsastushenkilön kuormitus jolloin katsastuskohteiden määrä vähenee/päivä	Joidenkin työkoneiden kohdalla	Korkea
Katsastus vuosittaisen/ kausihuollon yhteydessä	Konkreettinen kunnon tarkastus mahdollinen	Voidaan suorittaa samalla kun kone on poissa kentältä	Kaikki koneenkäyttäjät eivät huolla koneitaan ammattilaisilla/valtuutetuilla huoltotahoilla	Osaavan huoltohenkilökunnan puute	Maltillinen
Ilmoitusvelvollisuus OBD:n perusteella	Voidaan suorittaa eteänä	Viranomaisen puolesta keveys	Vaatii OBD laitteet sekä koulutuksen/ohjeistuksen ilmoituksen tekemiseksi	Tarve lisälaitteille (Esimerkiksi "OBD dongle")	Alkuinvestointi korkea. Vaihtoehtoinen menettely lukulaitteiden vuokraus.

Perustuen Euroopassa vallitsevaan päästölainsäädännön kehitykseen olisi teknologian näkökulmasta perusteltua kohdentaa seuranta työkoneluokkiin, joissa pakokaasupuhdistusjärjestelmät vaativat säännöllistä huoltoa ja ylläpitoa ja joiden valvonnan merkityksellisyys on muihin päästöluokkiin nähden suurempaa. Näihin lukeutuvat esimerkiksi Stage IV- ja V-työkonetyypit, jotka tehokategorian puolesta vaativat SCR-järjestelmien ja hiukkasloukkujen hyödyntämistä.

Valvontamenetelmien toteutustavat ovat merkittävimmin riippuvaisia työkoneiden käytetystä teknologiasta (iästä) sekä koneen liikuteltavuudesta. Koneiden ikä määrittelee työkoneista moottorin ohjainyksiköltä saatavilla olevan tiedon. Liikuteltavuus määrittää koneen siirrosta aiheutuneen vaivan, ajan sekä kustannuksen esimerkiksi työympäristöstään katsastusasemalle tai korjaamoympäristöön.

Sidosryhmien kautta saadun palautteen perusteella voidaan todeta, että digitaalinen katsastus/ilmoitusmenettely olisi kokonaisuudessaan helpoin ja vähiten työkonesektoria kuormittava valvontamenetelmä. Tässä tapauksessa valvonta tulisi luonnollisesti kohdentaa niihin työkoneisiin, joista vikatietoraportti on saatavilla. Em. ilmoitusluontoisesta menettelyn kustannusrakenne ei ole tällä hetkellä täysin arvioitavissa, mutta suuntaa-antavia kustannuksia voidaan arvioida tieliikennesektorin hintarakenteista. Tyypillisesti OBD-raportin tuottaminen ulkoisella taholla maksaa n. 50 € silloin, kun ajoneuvo toimitetaan paikalle palvelua tuottavalle taholle.

#### 8.2.6.2 Ilmoitusluontoisen OBD-raportin kuvaus

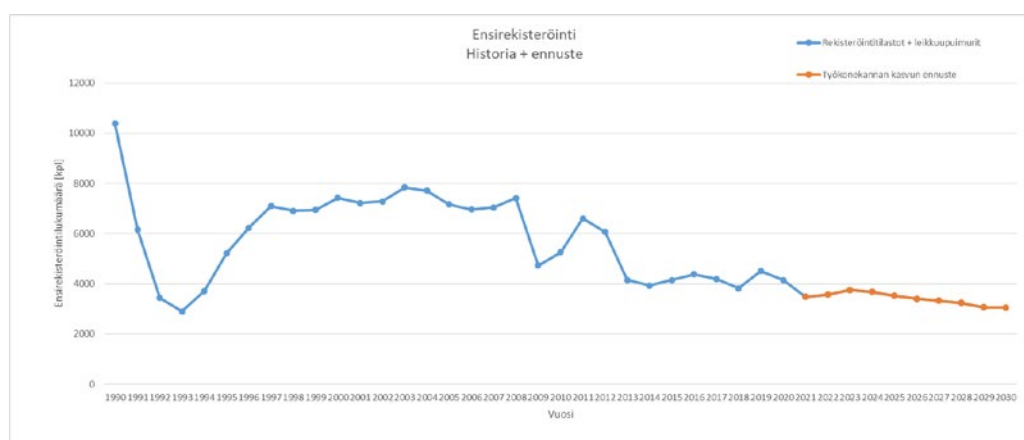
Merkittävin haaste työkoneiden vikadiagnostiikan raportoinnin suhteen on koneista saatavan tiedon informaatiomuoto, jota ei nykyisellään ole standardisoitu, jolloin eri työkon valmistajat ovat voineet luoda omat protokollat. Ns. diagnostic-trouble-codes (DTC) viestit ovat vapaasti muotoiltavissa pois lukien käyttötunnit, jonka tietomuoto on standardisoitu. Moottoreilta, jotka ovat tyyppihyväksytetty EU regulaation 2016/1628 mukaisesti, edellytetään DTC:n käyttöä sekä NO<sub>x</sub>- että hiukkaspäästöihin liittyvien jälkikäsitteilylaitteistojen seuraamiseksi. Em. diagnostiikan alakategoriat kutsutaan nimellä NCD ja PCD. Lisätietoja DTC vaatimukseen EUROMOT:n dokumentista "NO<sub>x</sub> control diagnostic / particulate control diagnostic"<sup>72</sup>.

<sup>72</sup> <https://www.euromot.eu/wp-content/uploads/2020/08/EUROMOT-FAQ-NCD-PCD-2020-08-06.pdf>

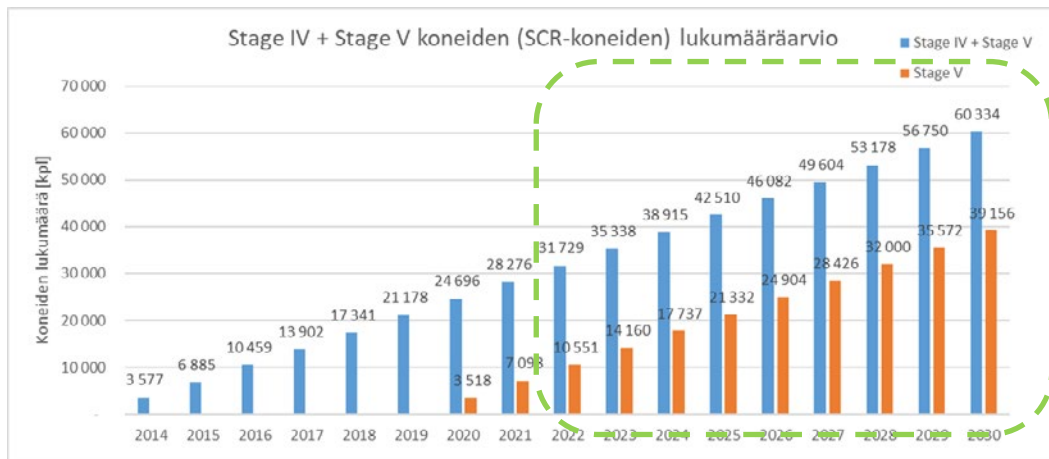
## 8.2.7 Työkonevalvonnan kustannusrakenne

Työkoneiden rekisteröinti- ja valvontalaajennuksen vaikutusten arvioimisessa on huomioitava työkonekannan muutos sekä laajennuksen piiriin vaikuttavien koneiden lukumäärä. Koska Suomen työkonekannan kehityksen arviointi on markkinatilanteen johdosta hankalaa, suoritettiin rekisterissä oleville koneille ekstrapolointi viimeisen kymmenen vuoden ajalta kerätystä ensirekisteröintitilastoista. Tilastoissa huomioitiin Traficomien rekisteröintitilastoista puuttuvat leikkuupuimurit. Koska työkoneiden rekisteröintitilastot eri kategorioissa ovat muuttuneet ja todennäköisesti muuttuvat yhä tulevaisuudessa, huomioitiin ainoastaan työkonekannan kokonaistilastot kategorioista värittämättä. Ekstrapoloitu ennuste työkoneiden vuosittaisista rekisteröinneistä on esitetty Kuva 54. Ekstrapoloinnin perusteella koneiden ensirekisteröintimäärät liikkuvat n. 3 000–3 500 kpl vuositasona. Tämän perusteella Stage V -luokan koneiden lukumääräksi vuoteen 2030 mennessä saadaan n. 40 000 kpl, Kuva 55. Stage V -luokan koneiden määräksi on tällä hetkellä arvioitu n. 5 200 kpl.

**Kuva 54.** Rekisteröityjen koneiden lukumääräennuste ml. leikkuupuimurit



**Kuva 55.** SCR-järjestelmällä varustettujen dieselkoneiden (Stage IV ja Stage V tai sitä uudempien koneiden) lukumääräarvio vuosien 2014–2030 aikana



Mikäli työkoneiden valvontaa halutaan edistää, tulisi eri vaihtoehtojen kustannuksia arvioida esitettyjen valvontamenetelmien perusteella. Esimerkiksi mikäli valvontamenetelmä on fyysinen katsastus, tarvitsisi koneiden katsastusta varten kouluttaa ja varata henkilöstöä toimenpiteen suorittamiseen. Tarvittavan katsastushenkilöstön määrän arvioimiseksi voidaan hyödyntää raskaankaluston tilastoja seuraavasti:

Liikennekäytössä olevien kuorma-autojen lukumäärä Suomessa on n. 94 771 kpl. Määrä on pysynyt suhteellisen vakiona viimeisen n. 10 vuoden aikana. Raskaan kaluston määräaikaikatsastukseen vaadittuja oikeuksia on Suomessa n. 1 434 henkilöllä, joskin Traficom:n arvioin mukaan aktiivista katsastusta harjoittaa tästä joukosta n. 1 200 henkilöä. Tämä tarkoittaa, että yksi katsastusmies katsastaa n. 78 kuorma-autoa vuodessa. Suhteuttamalla tämä luku Stage IV ja Stage V -koneiden lukumäärään, tarvittaisiin tällä hetkellä hieman yli 400 katsastusmiestä em. työkoneiden katsastamiseen. Konekannan kasvu huomioiden vastaava luku olisi vuonna 2030 773 katsastajaa. Mikäli pelkästään Stage V -koneet sisällytetään valvonnan piiriin, olisi vastaavat luvut vuonna 2022 135 kpl ja vuonna 2030 502 kpl. Todellisuudessa katsastusoikeuksien lukumäärän on oletettava olevan ko. arviota suurempi, sillä vastaavat katsastajat todennäköisesti harjoittavat muita katsastustoimenpiteitä työkonekatsastusten ohella.

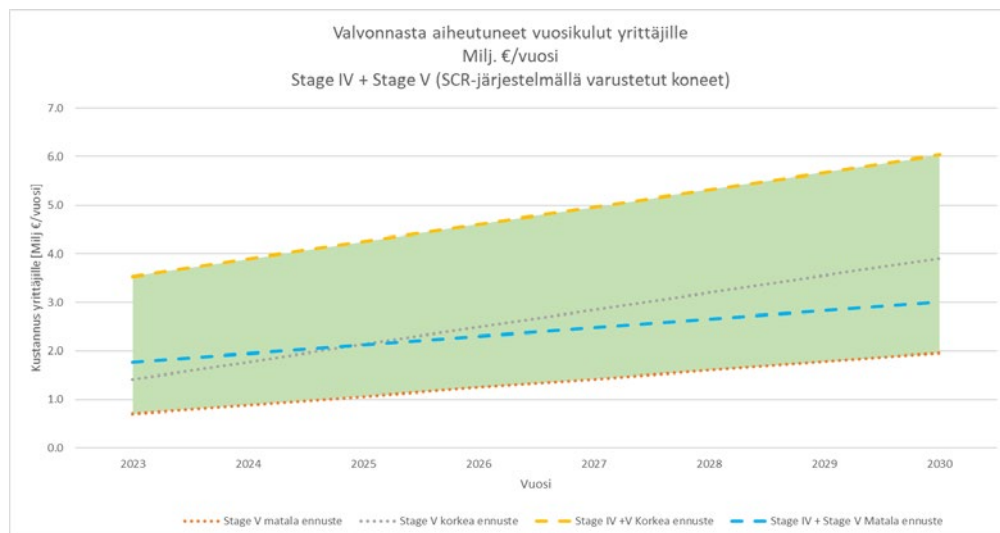
Kuva 56 esittää arvion valvontamenettelyn toteuttamisesta aiheutuneista kustannuksista yrittäjille. Arvio suoritettiin kahdelle eri koneryhmäkokonaisuudelle, Stage IV + Stage V -koneet sekä pelkät Stage V -koneet. Kustannusarvio perustuu ainoastaan työkoneiden arvioituihin lukumääriin sekä katsastuskustannuksiin seuraavasti:

- Matala ennuste: OBD-vikakoodien ilmoitusvelvollisuus
  - OBD-vikakoodiraportin kustannus 50 € + viranomaiskustannus 3 €
- Korkea ennuste: Fyysinen katsastus joko kentällä tai tuomalla kone katsastusasemalle
  - Katsastuskustannus 100 € + viranomaiskustannus 3 €

Kuvaajaan merkatut korkeat ja matalat ennusteet muodostavat pinta-alan (vihreällä) joka kuvaa kustannusten vaihtelua menetelmästä riippuen esim. katsastus paikan päällä tai huollon yhteydessä jne.

Koska koneiden katsastuksien tuottama down-time ajasta aiheutuvat kustannukset, koneiden siirtokustannukset ja katsastushenkilöstön matkakustannukset ovat käytännössä mahdottomia arvioida, on em. kustannukset jätetty arviosta pois. Kyseisten kustannusten muodostumien on monen muuttujan summa, johon vaikuttaa mm. koneen massa, etäisyys katsastusasemalle jne. On kuitenkin oletettava, että kaikissa kyseisissä tapauksissa siirto ja down-time-kustannukset sekä matkustuksesta aiheutuneet kustannukset ovat merkittävästi korkeampia ja jopa moninkertaiset verrattuna varsinaisiin katsastuskustannuksiin. Vastaavasti mikäli kokonaiskustannusrakenne haluttaisiin laskea kentällä tehtäviin katsastuksiin, tulisi koneiden sijainnit sekä katsastusasemien välimatkat huomioida laskuissa. Em. tietojen puuttuessa ko. katsastuskustannusten arviointi on käytännössä mahdotonta.

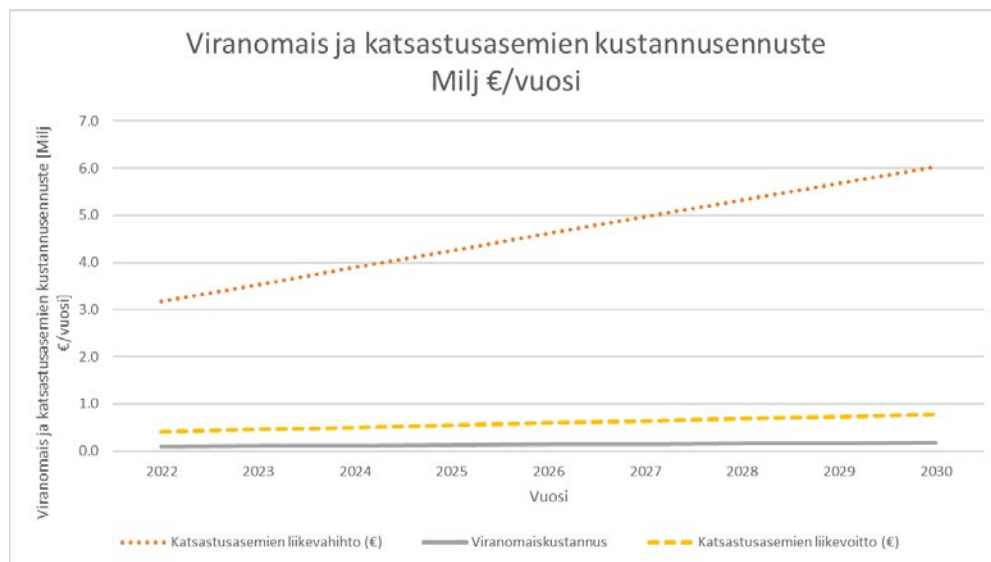
**Kuva 56.** Arvio valvonnasta aiheutuneista vuosittaisista kustannuksista yrittäjille ainoastaan valvontatoimenpiteet huomioiden (työkoneiden down-time ei huomioitu)





Kuva 57 esittelee arviot katsastuksesta johtuvista liikevaihdoista viranomais- ja katsastusasemille. Luvut perustuvat aikaisemmin esitettyihin suoriin vuosittaisiin kustannuksiin alkuinvestointeja huomioimatta. Arviossa ei ole mukana katsastushenkilöstön koulutuskustannuksia, rekisteri- ja valvontajärjestelmän laajennukseen liittyviä kustannuksia eikä mahdollisia katsastusasemille vaadittuja lisälaitehankintoja. Pelkästään katsastusasemien laitteistokustannukset ovat Traficomien mukaan merkittäviä, n. 300–500 k€ per asemaketju. Kokonaisuudessaan työkoneiden katsastuksen käyttöönoton kustannusten arviointia on kuitenkin tällä hetkellä mahdotonta kartoittaa.

**Kuva 57.** Viranomais- ja katsastusasemien rahavirrat laskettuna Stage IV ja Stage V -koneille, mikäli katsastus suoritettaisiin paikan päällä.



## 8.2.8 Työkoneiden valvontamenetelmien käyttöönoton tarpeellisuusarviointi

Sidosryhmäkeskusteluissa ilmenneiden yksityiskohtien perusteella nostettiin esiin kysymyksiä valvonnan tarpeellisuudesta. Sidosryhmillä ei yleisesti ollut tiedossa merkittäviä määriä niin kutsuttuja päästöhuijauksia eikä työkoneiden jälkikäsitteilylaitteistojen kunnossapidossa nähty ongelmaa. Työkoneiden kunnossapitoa perusteltiin kahdella markkinadynamiikkaan liittyvillä argumenteilla:

1. Työkoneiden jälleenmyyntiarvo on sidoksissa koneen kuntoon ja sen lainmukaisuuteen
2. Mikäli työkoneiden teknisiin rakenteisiin, kuten työkoneen moottoriin tai pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteisiin tehtäisiin peruuttamattomia muutoksia, laskisi koneen jälleenmyyntiarvo ja koneen myyntitodennäköisyys merkittävästi. Mikäli työkoneen päästölaitteisiin tulee vikaa, kykenevät nykyaikaiset työkoneet havaitsemaan ongelman niin, että ongelma ilmoitetaan koneen käyttäjälle vikavalon kautta. Jos käyttäjä ei reagoi vikavaloon, kone siirtyy ennen pitkään ns. tehonrajoitustilaan. Tästä seuraa riski, että koneen down-time kasvaa. Näin ollen koneenkäyttäjällä on tyypillisesti tavoitteena koneen jälkikäsitteilylaitteiston kunnan palauttaminen mahdollisimman pian.

Lisäksi merkittävimmät keskusteluissa esiintyneet huolenaiheet liittyivät työkoneiden säännöllisten kustannusten kasvuun, koneiden tarpeettoman down-time ajan lisäämiseen ja koneyrittämisen kannattavuuden heikkenemiseen.

Valvontamenetelmien käyttöönoton tarpeellisuuden arvioinnissa tulee kuitenkin huomioida, mitä sidosryhmiä haastateltiin. Työkonekorjaamoja ei haastateltu, ja korjaamoilla voi olla erilainen käsitys päästömanipulaatioiden yleisyydestä kuin haastatelluilla tahoilla. Motiivi sille, että jälkikäsitteilylaitteita ei korjata, voi olla esimerkiksi Ad-Bluen säästäminen. Yleisesti voitaneen todeta, että Suomessa todennäköisesti esiintyy päästömanipulaatiota, mutta sen laajuudesta ei ole tietoa.

## 9 Yhteenveto tuloksista

Seuraavaan on koottu päätulokset edeltävistä luvuista.

### Jakeluelvoitteen vaikutukset

- Kevyen polttoöljyn käyttö on laskenut Suomessa merkittävästi viimeisen 40-vuoden kuluessa. Eniten tähän on vaikuttanut se, että kevyen polttoöljyn lämmityskäyttö on vähentynyt. Työkonekäyttö on sen sijaan kasvannut absoluuttisesti ja erityisesti suhteellisesti.
- Jakeluelvoite on tehokas keino laskea työkoneiden CO<sub>2</sub>-päästöjä. Arvioituilla skenaariolla (BIO40) saavutetaan jopa 48 % päästövähennelmä vuonna 2035 vuoden 2005 tasoon nähden.
- Dieselissä ja kevyessä polttoöljyssä uusiutuvien polttoaineiden kokonaistarpeen ollessa noin 1 050–1 350 ktoe/a tieliikenteen osuus on enimmillään noin 800–900 ktoe ja polttoöljyn noin 430–500 ktoe jakeluelvoiteskenaariosta riippuen. Tieliikenteessä tarve on suurimmillaan WEM-skenaariossa vuonna 2029 (909 ktoe), ja polttoöljyssä WEM/BIO40 skenaariossa vuonna 2035 (499 ktoe). Työkoneiden käytön osuus polttoöljyn uusiutuvien polttoaineiden osuudesta on noin 50 %. Tarvehuiput osuvat tieliikenteessä ja polttoöljyn käytössä eri vuosille. Tämä tarkoittaa sitä, ettei polttoöljyn velvoiteosuus ratkaisevalla tavalla vaikuta tarvittavien uusiutuvien komponenttien maksimimäärään vuositasolla.
- Tarvehuiput osuvat kuitenkin hankalalla tavalla 2020-luvun lopulle jolloin on arvioitu, että uusiutuvan dieselin tuotannossa on niukkuutta suhteessa kysyntään. Tällä voi olla merkittäviä vaikutuksia uusiutuvan dieselpolttoaineen (ml. uusiutuva polttoöljy) hintaan.
- Työkoneiden jakeluelvoite vaikuttaa koko Suomen uusiutuvan energian osuuteen, mutta vaikutus on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi tieliikenteen jakeluelvoitteella; työkoneiden kuluttama diesel oli vuonna 2021 vajaan neljäsosan (23 %) työkoneiden ja tieliikenteen kuluttamasta dieselin kokonaismäärästä ja pysyy nykytasolla vielä WEM-skenaariossa vuoteen 2030 asti. Suhteessa tieliikenteen kulutukseen, työkoneiden käyttämän biopolttoaineen määrän lisäyksellä (biopolttoöljyn jakeluelvoitetta nostamalla) on pienempi merkitys uusiutuvan energian loppukulutukseen.
- Tieliikenteen ja työkoneiden yhteenlasketun polttoaineiden energiankulutuksen uusiutuvan energian osuus on WEM-skenaariossa 26,5 % vuonna 2030 ja 26,6 % vuonna 2035, kun sähkönkulutusta ei huomioida laskennassa (Kuva 17). Uusiutuvan energian osuuden kasvu hidastuu WEM-skenaariossa, eikä nouse yli 27 %:n vielä vuonna 2040. Jakeluelvoitteen nosto korottaa uusiutuvan energian osuutta noin 0,17–0,18 %-yksikköä jokaista jakeluelvoitteen nosto%-yksikköä kohden kaikissa skenaarioissa paitsi WAM-

skenaariossa, jossa polttoaineiden uusiutuvan energian osuuden kasvua hallitsee ajoneuvojen ja työkoneiden sähköistyminen.

- Jakeluelvoiteskenaarioiden vaikutus kevyen polttoöljyn ”pumppuhintaan” vuoden 2021 kolmannen kvartaalin hintatietojen perusteella on merkittävä. Hinnan nousu on 0,21–0,51 €/l (18–44% riippuen jakeluelvoitteesta 10–40 %). Keskeistä on kuitenkin tiedostaa, että seoksen hinnat ovat hyvin voimakkaasti sidoksessa hetkellisiin maailman markkinahintoihin. Kuten aikaisemmin todettiin liittyy uusiutuvien dieselpolttoaineiden hintoihin merkittäviä nousuriskejä tämän vuosikymmenen aikana johtuen epäsuhdasta tuotantovo-lyymien ja kysynnän välillä.
- Jakeluelvoitteen nostolla on selkeä vaikutus keskimääräisen maatalan liike- tulokseen. BIO40-skenaario tarkoittaisi vuoden 2020 tilastojen valossa noin 6,5 %:a pienempää liiketulosta keskimääräiselle maatilalle.
- Jakeluelvoitteen nosto tulee todennäköisimmin pienentämään valtion vero- kertymää, kun huomioidaan polttoöljyn välituotekäyttö sekä polttoöljyn kulu- tuksen muutokset kysynnän hintajoustopu kautta.
- Kuluttajan kannalta keskeisin vaikutus tulee asuinrakennusten lämmityskus- tannusten kautta. Vuonna 2019 keskimääräisen öljylämmitteisen omakotita- lon lämmityskustannus oli noin 2 200 €. Jakeluelvoitteen nosto 10–40 % olisi tarkoittanut nousua lämmityskustannuksissa 180–750 € (8–34 %) vuo- dessa.

## Biokaasun sisällyttäminen kevyen polttoöljyn jakeluelvoitteeseen

- Biokaasun sisällyttämistä kevyen polttoöljyn jakeluelvoitteeseen arvioitiin asiantuntija arvioina sekä kuulemalla Suomen Biokierto & Biokaasu ry:tä sekä MTK:ta. Keskeinen viesti on, että biokaasun sisällyttäminen jakeluel- voitteeseen ei tuo merkittävästi lisäarvoa suhteessa sen tuomiin haasteisiin.
- Keskeisimmät tekijät jota eivät puolla biokaasun sisällyttämistä polttoöljyn ja- keluelvoitteeseen ovat: Biokaasun tuotanto on pääasiassa pienen mittaluo- kan paikallista toimintaa. Lämmityskäytön, paikallismoottorikäytön ja työkone- käytön vaatimukset kaasun laadulle eroavat toisistaan. Kevyen polttoöljyn biovelvoitteessa ei tällä hetkellä ole lisä- tai vähimmäisosuusvelvoitetta liite A:n raaka-aineista tuotetuille biopolttoaineille. Metaanikäyttöisten työkonei- den tarjonta on hyvin rajoitettua. Biometaanitankkauksen järjestäminen työ- koneille saattaa olla haasteellista. Biokaasun/biometaanin tuotantomäärät ovat toistaiseksi varsin pieniä.
- Haastatteluiden osalta nähtiin lisäksi hyvänä seurata, mikä vaikutus todelli- suudessa biokaasun sisällyttämisellä tieliikenteen polttoaineiden jakeluel- voitteen piiriin lopulta tulee olemaan. Tämän pohjalta asiaa voisi harkita uu- delleen.

## Vaihtoehtoiset käyttövoimat ja infrastruktuurit:

- Uusiutuvilla polttoaineilla saavutetaan päästövähennyksiä, vaikka lähipäästöjä työkohteilla edelleen onkin. Vetykäyttöisillä ja sähköisillä työkoneilla lähipäästöjä ei ole.
- Täyssähköiset työkoneet eivät sovellu työkohteille, joille ei voida järjestää sähkösyöttöä. Erityisen haastavia ovat maa- ja metsätalouden työkohteet. Tällaisiin kohteisiin soveltuvat parhaiten erilaiset hybridiratkaisut.
- Väliaikaisten työkohteiden paikallisen sähköntuotannon tukeminen (mikäli sähkösyöttöä ei ole saatavilla) edistää sekä sähköisten työkoneiden käyttöönottoa että huoltovarmuutta.
- Hybridivoimalinjan etuina ovat joustavuus polttomoottorin käytössä, mahdollisuudet akkuenergian hyödyntämiseen sekä sähköisen voimanlinjan myötä mahdollisuus regenerointiin. Työkoneiden työsyklit ovat luonteeltaan vetämistä, työntämistä ja nostamista, joissa ajonopeudet ovat alhaisia ja vastusvoimat suuria. Tämän vuoksi regeneroitavaa energiaa ei ole suuremmin tarjolla.
- Hybridivoimalinjan myötä polttomoottorin käyttöön tulee vapausasteita, jolloin moottorin kuormitusastetta voidaan nostaa ja voidaan toimia paremman hyötysuhteen pisteessä. Pelkän hybridisoinnin antama hyöty energiankulutukseen on maltillinen, mutta samalla koneiden ominaisuudet paranevat (moottorin päästöjen minimointi, koneen suorituskyky kasvattaminen, nopeampi reagointi kuorman muutoksiin).
- Hybridisoimisen ja voimalinjan sähköistämisen myötä on mahdollisuus hyödyntää akkuun ladattua energiaa, jolloin sähköisen ajamisen osuutta voidaan kasvattaa. Lisäksi sarjahybridi versiossa polttomoottori/generaattori voidaan korvata myös esimerkiksi vety- tai metanolikäyttöisillä polttokennolla.
- Päävoimanlähteen sähköistyksen lisäksi hydrauliiikan ja toimilaitteiden energiatehokkuuden kehittäminen on tärkeää. Tätä kautta sähköisen/sarjahybridinä operoinnin autonomista toiminta-aikaa voidaan pidentää ja latauskertojen määrää vähentää.

## Vaihtoehtoisten käyttövoimien TCO, markkinadiffuusio ja ohjaavat keinot:

- Työkonesektorin säädöskehikko ja ohjaavat keinot ilmastotavoitteiden ja energiatehokkuuden saavuttamiseksi ovat kehittymättömiä tai ne puuttuvat kokonaan. Keskeisimpinä puutteina on kokonaan puuttuva CO<sub>2</sub>-regulaatio sekä työkoneiden käyttökuluihin (OPEX) keskeisesti vaikuttavien käyttövoiman hintojen osalla tieliikennettä loivempi CO<sub>2</sub>-progressio. Myös nollapäästöisten käyttövoimavaihtoehtojen pääomakuluihin (CAPEX) liittyvät koneiden hankintatuet ja vaihtoehtoisen infrastruktuurin tuet puuttuvat tai ovat riittämättömiä.

- Nykyisen ohjauskeinovalikoiman puutteellisuuden vuoksi sen vaikuttavuus-tarkastelu jää suppeaksi ja kvalitatiiviselle tasolle. Analyysin pääviesti on, että kaikkia keinoja tarvitaan kokonaisvaltaisesti lähtien EU-tasolta. Mallia suositellaan haettavaksi tieliikenteen säädöskehikon puolelta.
- Nollapäästöisten vaihtoehtojen (sähkö, vety ja näiden hybridit) avainteknologioiden ja komponenttien odotetaan halpenevan merkittävästi vuosikymmenen aikana ja niiden saatavuuden samalla paranevan.
- Sähköisten koneiden latausinfrastruktuurin järjestämisen mahdollisuus riippuu paljon käyttötapaudesta ja toimintaympäristöstä. Käyttötapa, jossa työ-kone on paljon liikkeessä, prosessiin sisältyy taukoja ja jossa sähköliittymä on tarjolla suhteessa työprosessiin tarjoaa parhaat mahdollisuudet ladattavien koneiden käyttöönottoon. Ladattavien työkoneiden ja tieliikenneajoneuvojen infrastruktuurissa ja liiketoimintamalleissa voi olla synergiaa. Tätä ei ole toistaiseksi juurikaan Suomessa selvitetty.
- Eri työkoneiden hankintahintojen ja niiden markkinakehityksen arviointi erityisesti uusien hybridi- ja sähkötyökoneiden osalta on epävarmaa.
- Sähkö käyttövoimana sekä sarjahybridiratkaisu parantavat TCO-analyysissä kilpailukykyään merkittävästi vuosikymmenen aikana. Keskeisiä tähän vaikuttavia tekijöitä ovat sähkö-hybridikoneiden odotettu hankintahinnan lasku sekä vaihtoehtoisen käyttövoiman (sähkön) suhteellinen halpuus verrattuna kevyeen polttoöljyyn. Käyttövoimien hintakehitykseen erityisesti polttoöljyn (dieselin) osalta liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Sähkön osalta hintariski esimerkiksi oman tuotannon osalta voi olla paremmin hallittavissa.
- Kehittyneiden ladattavien hybridien ja täyssähköisten työkoneiden osalta tarvittava voimalinjan ja akuston mitoitusta arvioitiin huomioiden sekä koneen voimalinjan energiatehokkuus, arvio latausratkaisun toteutettavuudesta ja käytettävyydestä sekä koneen käyttöasteesta sekä vaaditusta autonomisesta toiminta-ajasta. Tyypillinen oletettu käyttöaste oli 80–90% ja autonominen toiminta-aika yksittäisten latausten välillä 3 tuntia.
- TCO-analyysissä ladattaville koneille arvioitiin tarvittava latausteho sekä sen pohjalta latauslaiteinvestoinnit sekä hitaalle AC-lataukselle seisonta-aikoina että nopealle DC-lataukselle käytön lomassa. AC-laturin infrakulu jyvitettiin oletuksena kolmelle koneelle, DC-laturin viidelle. Täyssähköisille työkoneille tarvitaan selkeästi lataushybrideitä korkeampi latausteho, minkä vuoksi niille oletettiin tarvittavan myös infrakulua liittyen sähköliittymän päivitykseen.
- Markkinaskaenaarioita arvioitiin tarkastelluille työkonetapauksille käyttäen matemaattista S-käyrän markkinadiffuusion mallia. Malliparametrit  $p$  'innovointi' ja  $q$  'matkiminen' parametrisoitiin käyttämällä hyväksi Suomen tilastodataa 2011–2021 ladattavien hybridiautojen ja täyssähköautojen dokumentoidusta markkinakehityksestä. Havaitusta ladattavien autojen markkinakehityksestä havaitaan, että suotuisassa markkina- ja ohjauskeinojen yhdistelmässäkin on S-käyrän dynaamisen voimakkaamman lineaarisen kasvun vaiheen (markkinaisuus vakiintunut, pullonkaulana vuotuisen markkinan koko) saavuttamiseen mennyt lähes 10 vuotta.

- Markkinadiffuusion mallissa varsinaisten malliparametrien lisäksi arvioitiin markkinavalmiutta muuttujan  $X$  kautta. Muuttuja  $X$  koostui edelleen kolmesta eri painotetusta alaparametrasta:  $x_1$  markkinavalmius (kuvastaa arvioitua ja ennakoitua eri työkonetopologioiden ja ratkaisuiden saatavuutta markkinoilta),  $x_2$  omistajan kokonaiskustannuksen differentiaali (arvioitu kokonaistaloudellinen kilpailukyky TCO-laskelman pohjalta),  $x_3$  vaihtoehdoisen käyttövoiman infrastruktuurin saatavuus (arvio infrastruktuurin rakentumisesta ja toteutettavuudesta tarkastelujaksolla).
- Markkinadiffuusion mallissa arvioitiin myös kunkin vaihtoehdoisen topologian (hybridi 1, hybridi 2, täyssähkö) markkinapotentiaalia  $m$  osuutena kyseisen työkoneryhmän aktiivisesta työkonekannasta. Työkoneiden tilastoissa näkyvä kokonaismäärä on merkittävästi suurempi kuin tiedossa oleva keskimääräinen vuosivolyymi, mikä tarkoittaa sitä, että aktiivisen markkinan koko on merkittävästi pienempi kuin koko konekanta ja koko konekannassa vaihtuvuus on hidasta. Tarkastelu pyrittiin siis kohdentamaan suurimmalla käyttöasteella oleviin aktiivisiin koneisiin ja niiden markkinaan. Eri topologioille arvioidut markkinapotentiaalin  $m$  arvot olivat tyypillisesti välillä 0,3–0,5.
- Markkinaskenaarioista voidaan arvioida, että suotuisten tekijöiden yhteisvaikutuksesta voi käänne energiatehokkaampien ja vähäpäästöisten hybridi- ja täyssähköisten työkoneiden markkinaan alkaa näkyä markkinassa noin 6–10 vuoden päästä. Edellytyksenä markkinadiffuusion etenemiseen niin, että vaihtoehdoisten käyttövoimien työkoneet saavat huomattavaa markkinaosuutta, on tukea kaikkia osa-alueita, jotta alkuvaiheen (vuodet 1–9) tutkimus, tuotekehitys, kokeilut, tuotanto- ja alihankintaketju, pilottihankkeet, käytännön kokemukset, infrastukturi- ja energiaratkaisut tulevat koetelluiksi ja hioutuvat laajemman markkinan vaatimaan muotoon.

### Työkoneiden rekisteröintivelvollisuuden laajentaminen:

- TYKO-mallin ja Traficomilta saatavat työkoneiden kokonaislukumäärät korreloivat kokonaisuudeltaan keskenään suhteellisen hyvin.
- Traficomien työkonekategorisoinnin havaittiin muuttuneen ajan saatossa, minkä vuoksi TYKO-luokkien ja Traficomien kategorioissa olevat lukumäärät eivät täysin korreloi keskenään. Esimerkiksi traktorit-kategoria on muuttunut/laajentunut Traficomien rekisterissä monimuotoisemmaksi eivätkä luvut täsmää TYKO-mallin kategorioihin.
- Nykyhetkellä Traficomilta kautta saatavissa tiedoissa on suhteellisen paljon puutteita TYKO-mallin tarkkuuden edistämiseksi. Traficomien rekisteristä puuttuu mm. leikkuupuimurit ja todennäköisesti muut koneet, jotka ovat sekä rekisteröinti- että vakuutusvelvollisuuden ulkopuolella
- Rekisteröimättömien koneiden tarkka lukumäärä ei ole tällä hetkellä tarkkaan tiedossa. Mm. käyttötuntimäärät ja polttoainekulutustiedot puuttuvat kokonaan, minkä vuoksi TYKO-mallissa joudutaan käyttämään niille asiantuntija-arvioihin perustuvia arvoja. Koneiden massa- ja tehotietoja on suhteellisen

hyvin saatavilla, mutta tiedot ovat päästöinventointien tarkentamiseksi riittämättömät.

- Tietojen päivittäminen nykyiselle konekannalle on todennäköisesti hankalaa ilman kokonaisvaltaista ilmoitusvelvollisuutta, sillä kokonaislukumäärä ja mm. koneiden iät ja käyttömäärät vaikuttavat päästöjen laskentaan merkittävästi. Vaihtoehtoisesti tieto voitaisiin kerätä eri sidos- ja toimialaryhmiltä, jotka tiedustelevat ja/tai arivoivat luvut omaan asiantuntevuuteen nojaten
- Nykyisen TYKO-mallin päivittäminen vanhempien koneiden osalta on työläs prosessi, sillä tarkentaminen vaatisi runsaasti lisätietoja:
  - Rekisteröimättömien koneiden lukumäärätieto, käyttötunnit, polttoainekulutus
  - Työkoneiden käytönaikaisten päästöjen tarkentamista
  - Työkoneiden päästökertoimien epävarmuudet ovat yksilöllisiä, eivätkä päästökertoimet välttämättä vastaa eteenkään vanhempien koneiden osalta todellisia, käytönaikaisia päästöjä.
  - Työkoneiden käytönaikaiset päästöt voivat poiketa tyyppihyväksyntämenetelmässä vaadituista päästörajoista merkittävästi esimerkiksi koneen käyttöönottopäivämäärästä (päästöluokasta/tyyppihyväksyntämenetelmästä), käyttöympäristöstä sekä olosuhteista riippuen.
- Em. asioista johtuen TYKO:n työkoneiden päästökertoimet ovat osittain asiantuntija-arvioiden varassa. Eteenkin vanhempien koneiden (Stage IV ja vanhemmat) päästökertoimia olisi suotavaa tutkia mahdollisten tarkennusten laa-  
timiseksi.
- Työkoneiden päästölainsäädännön kehitys (ISM ja myöhemmin mahdollisesti ISC) parantaa mitä todennäköisimmin työkoneiden todellisten, käytönaikaisten päästöjen korrelaatiota tyyppihyväksyntämenetelmässä vaadittujen päästöarvojen kanssa. ISM menettely on otettu käyttöön vasta Stage V tyyppihyväksyntämenetelmän voimaantulon yhteydessä ja ISC menetelmän odotetaan otettavan käyttöön tulevaisuudessa.
- Kokonaisvaltainen rekisteröintivelvollisuus olisi tietojen ja tilastojen kannalta laadukkain vaihtoehto, mutta on käytännössä hankala toteuttaa. TYKO-mallin kehityksessä sekä rekisteröintivelvollisuuden laajentamisessa olisi suositeltava keskittyä relevantteihin, paljon päästäviin koneisiin (TYKO-mallissa 5–10 suurinta ryhmää). Suositeltavaa olisi myös keskittyä uudempiin päästöluokkiin, esim. Stage V koneisiin.
- Rekisteröintivelvollisuuden laajentaminen kaikkiin uusiin työkoneisiin edesauttaisi yksilöllisten konetietojen sekä kokonaislukumäärien määrittämisessä. Rekisteröintivelvollisuus voitaisiin rajata tiettyyn teholuokkaan ja keskittää pääasialliseen, paljon työtä tuottaviin koneisiin
- Uudempien koneiden lähipäästökertoimet korreloivat lainsäädännön kehityksen johdosta huomattavasti paremmin todellisten päästöjen kanssa verrattuna vanhempiin koneisiin.



- Työkoneiden valvonnan käyttöönotossa on monia haasteita. Erityisesti fyysinen katsastus on monen työkoneen osalta haasteellinen mm. koneiden vaikean liikuteltavuuden vuoksi. Tässä työssä esitetyt valvontamenetelmävaihtoehdot ovat:
  - Fyysinen katsastus katsastusasemalla
  - Katsastus huollon yhteydessä
  - Katsastus kentällä
  - Ilmoitusluontoinen menettely, jossa työkoneen käyttäjä raportoi koneen vikahistorian
- Edullisimmaksi vaihtoehdoksi nähtiin ilmoitusluonteinen menettely, jolla voisi täydentää rekisteröintilaajennusta. Vapaaehtoiseksi/pakolliseksi tiedoksi työtunnit ja/tai polttoaine sekä ureakulutus.
- Toinen käyttökelpoinen menettely voisi olla katsastus huollon yhteydessä. Tällöin tosin ulkopuolelle jäävät itse huollettavat työkoneet.

## 10 Johtopäätökset ja suositukset

Projektissa on tarkasteltu keinoja työkonesektorin päästöjen vähentämiseksi sekä arvioitu keinojen toteutettavuutta ja vaikuttavuutta. Pääpaino työssä on ollut selvittää keinoja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Tehdyn työn ja esitetyn yhteenvedon pohjalta projektin tutkijaryhmä tekee aihepiiristä seuraavat johtopäätökset ja suositukset:

Jakeluelvoite ja sen mahdollinen korottaminen on tehokas ja lyhyellä aikavälillä ainut keino työkoneiden CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseksi. Samaan aikaan on todettava vaikutuksena käyttäjille sekoitepolttoöljyn kalliimpi hinta sekä epätietoisuus tulevaisuuden hintatasosta myös fossiilisten polttoaineiden maailmanmarkkinahinnan ohjatessa pumppuhintoja.

Työn puitteissa ei ollut mahdollista tehdä arviota jakeluelvoitteen nettomääräisistä vaikutuksista valtion verotulokertymään erityisesti ALV:n osalta, todennäköisimmin verokertymä kuitenkin tulee laskemaan. Verokertymä ilman ALV:a laskee jakeluelvoitteen noustessa ollen noin 25 % matalampi 40 % jakeluelvoitteella verrattuna täysin fossiilisen polttoöljyn energiaverojen kertymään. Polttoainesekoitteiden kestävien biopohjaisten raaka-aineiden ennakoitu hintakehitys ja jakeluelvoitteen kautta nouseva polttoöljyn hinta tuottaa loppukäyttäjille todennäköisesti lisäkustannuksia. Tältä osin suositellaan tarkasteltavan polttoöljyn kokonaisverotuksen rakennetta pumppuhintojen nousun hillitsemiseksi.

**Suositus 1: Jakeluelvoitetasoa nostetaan selvästi nykyisestä, sillä toistaiseksi se on ainoa nopeasti käytettävissä oleva keino vähentää työkoneiden CO<sub>2</sub>-päästöjä. Lisäksi tarkastellaan mahdollisuutta kehittää polttoöljyn kokonaisverotusta siten, että jakeluelvoitteen nousun vaikutus pumppuhintoihin pidetään mahdollisimman pienenä.**

Raportin kirjoitushetkellä raakaöljyn maailmanmarkkinahinnan kehitys vaikuttaa nostavasti sekä tieliikenteen että työkonesektorin nestemäisten polttoaineiden pumppuhintaan. Tähän maailmanmarkkinahinnan kehitykseen Suomi ei voi vaikuttaa. Hintojen nousun kompensointi kuluttajille veroratkaisuilla ei ole useiden kansantaloustieteilijöiden mukaan kansantaloudellisesti kestävä. Fossiilisen polttoaineen hinnannousu suositellaankin nähtävän ajurina vihreälle siirtymälle.

**Suositus 2: Fossiilisten polttoaineiden maailmanmarkkinahintojen noustessa hinnannousua ei kompensoida kuluttajille veroratkaisuilla jotka suoraan tai epäsuorasti alentavat fossiilisten polttoainejakeiden hintaa ja siten heikentävät vaihtoehtoisten käyttövoimien kilpailukykyä.**

Biokaasun sisällyttämisellä jakeluvaihtoehtoon ei tässä tapauksessa tunnistettu olevan todennäköisesti suoria positiivisia vaikutuksia tai vaikutuksia, jotka edistäisivät sen käyttöä työkoneissa.

Työkonesektorin käyttövoimiin, energiatehokkuuteen ja päästöihin liittyviä eurooppalaisia komission puiteohjelmiin kiinnittyviä TKI-kumppanuuksia ei ole. Tämä ei liikennealan tavoin edistä työkonetoimialan yleistä tuotekehitystä kohti vähä- ja nollapäästöistä työkonesektoria. TKI-rahoitukseen Euroopan komission puiteohjelmien kautta työkoneiden aihepiirissä kannattaa pyrkiä vaikuttamaan.

**Suositus 3: Suomi edistää aktiivisesti EU:n 9. puiteohjelman toimielimissä ja kumppanuuksissa työkonesektorin vihreää siirtymää edistävien sopivien TKI-kokonaisuuksien sisällyttämiseksi työohjelmiin.**

Työkoneiden vaihtoehtoisten käyttövoimien osalta keskeistä on uusien vähähiilisten ja hiilettömien energiankantajien hyödyntäminen sekä energiatehokkuuden parantaminen energiatehokkaiden voimalinjaratkaisuiden kuten hybridi- ja sähköisten voimalinjojen avulla. Tämä edellyttää tutkimusta, tuotekehitystä ja uusia järjestelmäratkaisuita ja markkinan kehittymistä koko arvoketjussa komponentit – työkoneen voimalinja ja toimilaitteet – energiainfrastruktuuriratkaisut, sekä synergioiden tunnistamista ja hyödyntämistä toimialojen yli. Vaihtoehtoisten käyttövoimien työkonekehityksillä on potentiaalia kehittyä kustannustehokkaiksi ja kilpailukykyisiksi kokonaisratkaisuksiksi useilla työkonesektorin alueilla seuraavan vuosikymmenen aikana. Tämä edellyttää kokonaisvaltaisen ohjauskeinovalikoiman käyttöönottoa: tuotekehitys ja sen rahoitus, kokeiluhankkeet, hankinta- ja infratuet vaihtoehtoisille käyttövoimille sekä tiedon kerääminen ja jakaminen (informaatio-ohjaus).

**Suositus 4: Suomi edistää kotimaisten, yksityisen ja julkisen sektorin TKI-yhteishankkeiden, kokeilujen ja pilotoinnin kautta työkonesektorin energiatehokkuuden parantamista (sisältäen myös automaatio) sekä vihreää siirtymää.**

**Suositus 5: Työkonesektorilla otetaan käyttöön vaihtoehtoisten käyttövoimien markkinaa avaavia tuki- ja ohjaustoimia, jotka vaikuttavat sekä pääomakuluihin että käyttökuluihin. Tällaisia ovat esimerkiksi vähäpäästöisten työkoneiden hankintatuki, vaihtoehtoisten käyttövoimien infratuki ja työkoneiden fossiilisten käyttövoimajakeiden hinnan nostaminen suhteessa vaihtoehtoisiin käyttövoimiin.**

Työkoneiden CO<sub>2</sub>-regulaatio puuttuu tällä hetkellä kokonaan. Säädoskehikon kehitysmättömyys ei suosi vähä- ja nollapäästöisten ja energiatehokkaiden koneiden tuotekehitystä markkinoille. Vihreän siirtymän suuntaan ohjaavan säännösten kehittämiseen kannattaa panostaa EU-tasolla.

**Suositus 6: Suomi edistää eurooppalaisella tasolla työkonesektorin sitovan CO<sub>2</sub>- sääntelyn kehittymistä ja käyttöönottoa.**

Työkonekannan ja sen käytön tiedonkeruussa ja tilastoinnissa tunnistettiin selkeitä puutteita. Tutkijaryhmä suosittelee kehittämään tiedonkeruuta ja tietokantojen ryhmitelyä siten, että mahdollisimman pienellä hallinnollisella lisätyöllä voidaan tukea ja nopeuttaa koko työkonetoimialan uudistumista ja vihreää siirtymää sekä toimenpiteiden vaikuttavuutta. Tavoitteena tulee olla paremmat mahdollisuudet tietopohjaiseen päätöksentekoon ja ohjaukseen. Laajentamalla työkoneiden rekisteröintivelvollisuutta ja tarkentamalla vaadittuja rekisteritietoja voitaisiin työkoneiden päästöinventointien ja -projektien tarkkuutta kohentaa. Rekisteröintivelvollisuuden laajennus olisi suositeltavaa ottaa käyttöön ainakin uusille työkoneille. Lisäksi olisi suositeltavaa laajentaa velvollisuutta koskemaan myös eniten Suomessa päästöjä aiheuttaville koneluokille. Tarvittavia tietoja, kuten käyttömäärä- ja kulutustietoja, suositellaan kerättäväksi joko vapaaehtoisen ilmoitusvelvollisuuden tai eri sektoreiden edunvalvonta- ja toimialaryhmien yhteistyön avulla.

Työkoneiden todellisten lähipäästöjen arviointi ja TYKO:n päästökertoimet perustuvat nykyisellään valistuneisiin asiantuntija-arvioihin sekä kirjallisuudessa esiintyviin tietoihin. Erityisesti vanhempien työkoneiden todellisten päästöjen korrelaatiota päästölainsäädännön vaatimien raja-arvojen tai päästöinventaarion päästökertoimien suhteen ei täysin tunneta. Päästöinventaarion tarkkuuden varmistamiseksi olisi suositeltavaa uudelleenarvioida jo käytössä olevien koneiden käytönaikaisia päästöjä esimerkiksi kokeellisin menetelmin (kenttäkokein) eri käyttöolosuhteissa ja/tai keräämällä ajantasaista tutkimustietoa, jotka perustuvat kentällä tehtyihin kokeellisiin tutkimustuloksiin. Em. tarkastelun avulla päästökeroimien paikkansapitävyys olisi mahdollista varmentaa ja korjata tarpeen mukaan.

**Suositus 7: Työkonesektorin päästöarvioiden tarkentamiseksi uudelleenarvioidaan jo käytössä olevien koneiden käytönaikaisia päästöjä eri käyttöolosuhteissa kenttäkokein ja/tai keräämällä ajantasaista tutkimustietoa.**

Kustannustehokkaimmaksi työkoneiden kuntoon liittyväksi valvontakeinoksi todettiin digitaalinen vikatietohistoriaan liittyvä ilmoitusvelvollisuus. Em. ilmoitusvelvollisuus voitaisiin yhdistää rekisteröintivelvollisuuden laajennuksen piiriin kuuluviin koneisiin siten, että raportoitavat tiedot täydentäisivät Traficomien työkonekannasta puuttuvia

tietoja, ja tätä kautta edesautettaisiin päästöinventointien ja -projektien tarkentamista.

**Suositus 8: Parannetaan työkoneiden kunnan seuranta velvoittamalla rekisteröintivelvollisuuden ja sen mahdollisen laajennuksen piiriin kuuluvien koneiden omistajat tekemään määräajoin digitaaliseen vikatietohistoriaan perustuva ilmoitus.**

## Liitteet

Hankkeen aikana haastateltiin myös Suomen Biokierto & Biokaasu ry:tä sekä Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliittoa (MTK). Suomen Biokierto & Biokaasu ry:n haastattelu painottui biokaasun sisällyttämiseen biopolttoöljyn jakeluelvoitteeseen. MTK:n haastattelussa tiedusteltiin lisäksi jakeluelvoitteen aiheuttaman kustannusten vaikutuksista maatilojen toimintaan.

Alla haastattelun kysymykset sekä vastaukset.

### Suomen Biokierto & Biokaasu ry

- Minkälaisena näette biokaasun ja biometaanin roolin
  - Maatiloilla?
    - Traktorit ovat mahdollisia, mutta lukumääräisesti niitä tuskin tulee kovin paljoa (kuinka paljon uusia traktoreita vuosittain ja mikä on kaasukäyttöisten osuus nyt ja vuonna 2030?)
    - Kuivurit voisi olla yksi vaihtoehto, tosin hake on tässä toinen biopolttoaine vaihtoehto. Jos on tarkoitus hyödyntää raakabiokaasua, niin on hyvä muistaa, että kuivurit ovat käytössä hyvin lyhyen aikaa vuodesta, eikä biokaasua juurikaan voida varastoida. Jos taas ajatellaan, että hyödynnettäisiin vaikkapa nesteytettyä biokaasua, niin se ei välttämättä ihan suoraan käy kuivureihin. Eli vaatinee investointeja kuivureihin. Ja on joka tapauksessa hetkellistä kysyntää.
  - Työkoneissa?
    - Teollisuuden työkoneissa biometaani voisi olla vaihtoehto. Minkä tyyppisissä työkoneissa käytetään esim. nestekaasua nyt?
    - Hankintatuki voisi olla yksi keino lisätä biometaania käytettäviä traktoreita. Vaikuttavuus olisi todennäköisesti pieni koska uusien koneiden lukumäärä olisi vähäinen
    - Mikä mahdollisuus on työkoneiden energiatehokkuuden parantamisella on ylipäättänsä CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseksi?
  - Missä teollisuuden prosesseissa biometaani voisi korvata fossiilisen metaanin käyttöä?
    - Yleisesti ottaen, laajemmassa mittakaavassa, nämä eivät ole merkittäviä käyttökohteita. Paikallisesti saattavat joissain tapauksissa auttaa kannattavuuden saavuttamisessa.
- Miten näet biokaasun soveltuvan polttoöljyn (PÖ) jakeluelvoitejärjestelmän piiriin; hyödyt ja haitat?
  - Ensinnäkin tulisi tietää, kuinka paljon maatalouden ja teollisuuden työkoneissa, rakennusten erillislämmityksessä, kasvihuoneiden lämmityksessä, nyt käytetään kaasumaisia polttoaineita, kuinka paljon arvioidaan käytettävän vuonna 2030?

- Työkoneet?
  - Tällä hetkellä ei ole saatavilla kaasulla toimivia traktoreita tai työkoneita yleisesti
- Teollisuuden mahdolliset käyttökohteet, jossa biometaanilla voisi korvata metaanin käyttöä
  - Suomen Kaasuyhdistykseltä tieto, missä maakaasua käytetään nyt.
- Lämmitys?
  - Kuivureissa voisi käyttää, mutta lukumäärä on pieni ja käyttö kausiluontoista.
- Hintakehitys?
  - Jakeluelvoitteessa biokaasulle tulisi valmistevero, mikä se olisi? Vaikuttaa merkittävästi kilpailukyky. Mikäli biokaasun/biometaanin käyttö jää vähäiseksi työkoneissa, niin silloin jakeluelvoite ja verotaso biometaanille työkonekäytössä voisi jopa vähentää biometaanin kilpailukykyä ja vähentää näin kysyntää.
- Kilpailukyky?
  - Raakakaasu olisi potentiaalisempi lämmityksessä, mutta maksaako siltikään kaasuntuotantolaitoksen investointia takaisin?
  - Kehittyneiden polttoaineiden lisäelvoite polttoöljyn jakeluelvoitteessa parantaisi biometaanin kilpailukykyä, mikäli se lisättäisiin polttoöljyn jakeluelvoitteeseen
  - Enemminkin tarvittaisiin panostusta biometaanin käyttävien työkoneiden investointitukiin ja hankintatukiin
- Investoinnit?
  - Vielä ei ole selvillä miten biokaasun sisällyttäminen tieliikenteen jakeluelvoitteen on vaikuttanut biokaasun tuotantoon -> tästä saisi indikaatioita myös mikä vaikutus olisi biokaasuun sisällyttämisellä polttoöljyn jakeluelvoitteen. Toisin PÖ:n kohdalla käyttömäärä on pienemmät ja osin myös kausiluonteiset.
  - Mikäli biokaasula halutaan vähentää päästöjä, niin hankintatuet olisi tehokkaampi keino. Biokaasun lisäämiseksi RRF rahastoista voisi löytyä varoja ohjattavaksi uusien biometaanin käyttävien työkoneiden ja laitteiden investointitukiin.
- Kokonaisuutenaan mahdollisia hyötyjä biometaanin sisällyttämisestä polttoöljyn jakeluelvoitteeseen on vaikea arvioida tässä vaiheessa. Epävarmuutta/epätietoa lisäävät energiaverotuksen muutokset sekä esim. synteettisten polttoaineiden kehittymistähti.
- Huom, biokaasulla/metaanilla voi korvata polttoöljynkin käyttöä eikä vain (neste)kaasun korvaamiseksi (teollisuudessa/maataloudessa ym.). Toki investointeja vaatii.

## MTK

- Mikä merkitys polttoöljyn (Mpö ja lämmitysöljy) hintatasolla on maataloudessa?
  - Maatilojen maksukyvykkyys on todella huono, maatilat kärsivät energiahintojen noususta (polttoaineet ja lannoitteet)
    - Moni maatila miettii toiminnan jatkamista
  - Biokaasun tuotanto ja käyttö maatilalla voisi stabiloida energiahinnan vaikutuksia mikäli pystyy investoinnin tekemään
  - Investointituet äärimmäisen tärkeässä osassa vihreää siirtymää
  - Maataloudessa ei ole resilienssiä polttoaineiden hintojen nousulle
- Mitä vaihtoehtoja maataloudessa on polttoöljyn käytön korvaamiseksi?
  - Maataloudessa energiaveron palautusjärjestelmä on tärkeä maataloudelle, mutta se ei pidä sisällään maakaasua
    - Biokaasua voisi hyödyntää kuivaamoissa mikäli energianveron palautus koskisi myös biokaasua
      - Teknologianeutraali energiaveron palautus olisi todella tärkeä
    - Kuivureiden konvergoiminen biokaasulle olisi hyötysuhde parempi kuin öljykäyttöisellä kuivurilla koska kaikki lämpö voidaan viedä viljapattjan läpi
    - Kuivureiden käyttöikä luokkaa yli 30 vuotta -> pitkäikäinen käyttö
  - Vaihtoehtoiset ratkaisut kuten hake yms. on erittäin suuri investointi verrattuna vuotuisen käyttöön
    - Erityisesti isoja kuivureita on hakkeelle muutettu tai investoitu uusiin
  - Jonkin verran on myös kaasukäyttöisiä (maakaasu) kuivureita joihin kaasu tuodaan konteissa
    - Vaihtoehtoiset käyttövoimat kuten polttokennot ja akkusähköiset ratkaisuiden osalta käytölle ei ole esteitä mikäli käytettävyys ja tuottavuus pysyy nykyisten työkoneiden tasolla – viljelijöillä ei ole mitään uusia teknologioita vastaan kunhan ne täyttävät työskentelyn vaatimukset ja on hinnan puolesta kilpailukykyisiä
      - Tarkastelussa tulee huomioida myös tarvittava infrastruktuuri ja investoinnit niihin
    - Tärkeää, että sääntelykehikko olisi mahdollisimman teknologianeutraali jolloin markkinat valitsevat kuhunkin käyttökohteeseen parhaiten sopivat ratkaisut
- Mitä vaikutuksia näette olevan biokaasun mahdollisella sisällyttämisellä polttoöljyn jakeluelvoitteeseen?
  - Biokaasun käyttö?
    - Biokaasun käyttämistä suunnitteleva maatalousyrittäjät ensi sijaisesti olisivat biokaasuntuottajia
    - Biokaasun lisääminen PÖ:n jakeluelvoitteeseen ei lisäisi biokaasun kysyntää, koska biokaasu olisi otettava valmisteverotuksen piitiin -> Verot tulisivat myös lämmitysöljyn kannettavaksi



- Biokaasun käyttö suurinta lämmityskäytössä -> heikentäisi biokaasun käytön kannustinta lämmityksessä
- Mikäli maatalousyrittäjä lähtee biokaasumarkkinaan mukaan on tavoite tuottaa biokaasua markkinoille ja sen lisäksi käyttää sitä omaan tarpeeseen -> ei kannustinta lisäkysynnälle mikäli biokaasu lisätään jakeluelvoitteeseen
- Muuta keskustelua:
  - Maatalousyrittäjillä huoli AdBlue-aineen riittävydestä

## Lähteet

- AB Volvo. 2022. VOLVO ENHANCES AND EXPANDS HYBRID EXCAVATOR RANGE. Viitattu 20.5.2022. Saatavilla: <https://www.volvoce.com/europe/en/about-us/news/2021/volvo-enhances-and-expands-hybrid-excavator-range/>
- Agricultural Industry Electronics Foundation e.V (AEF). 2015. Electrification of agricultural machinery. Viitattu 1.6.2022. Saatavilla: [https://www.aef-online.org/fileadmin/user\\_upload/Content/pdfs/AEF\\_HV\\_EN.pdf](https://www.aef-online.org/fileadmin/user_upload/Content/pdfs/AEF_HV_EN.pdf)
- Alm, M. (2022). Uusiutuva energia: biokaasulla kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. TEM toimialaraportit 2022:1. Työ- ja elinkeinoministeriö.
- Bass, F., Krishnan, T., Jain, D (1994). Why the Bass model fits without decision variables, Marketing Science Vol. 13, No.3, Summer 1994.
- Caterpillar. 2013. CAT® 336E H HYDRAULIC HYBRID EXCAVATOR DELIVERS NO-COMPROMISE, FUEL-SAVING PERFORMANCE. viitattu 20.5.2022. [https://www.cat.com/en\\_AU/news/machine-press-releases/cat-sup-174-sup-336eh-hydraulichybridexcavator delivers no compromise.html](https://www.cat.com/en_AU/news/machine-press-releases/cat-sup-174-sup-336eh-hydraulichybridexcavator delivers no compromise.html).
- Construction Europe. 2022. The drivetrains powering electric excavators. Viitattu 20.5.2022. <https://www.construction-europe.com/podcast/the-drivetrains-powering-electric-excavators/8020373.article#electrification>
- Danfoss 2022. Danfoss technology the driving force behind two new electric excavator models. Viitattu 20.5.2022. Saatavilla: <https://www.danfoss.com/en-us/about-danfoss/news/dps/danfoss-technology-the-driving-force-behind-two-new-electric-excavator-models/>
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG). 2022. DLG-PowerMix: Tractor output, efficiency and fuel consumption. Viitattu 1.6.2022. <https://www.dlg.org/en/agriculture/tests/dlg-powermix>
- Ekonomistikone, 2022. Ekonomistit tyrmäävät polttoaineveron alentamisen, <https://www.stinfo.fi/tiedote/ekonomistit-tyrmaavat-polttoaineveron-alentamisen?publisherId=68391773&releaseId=69943684&lang=fi>
- Hagan, R., Markey, E., Clancy, J., Keating, M., Donnelly, A., O'Connor, D., Morrison, L., McGillicuddy, E., (2022). Emissions from and Fuel Consumption Associated with

Off- road Vehicles and Other Machinery. EPA. URL: [https://www.epa.ie/publications/research/air/Research\\_Report\\_412.pdf](https://www.epa.ie/publications/research/air/Research_Report_412.pdf)

Hitachi Construction Machinery. 2022. Hybrid Construction Machinery. Viitattu 20.5.2022. Saatavilla: <https://www.hitachicm.com/global/sustainability/environment/products/environmentally-friendly-products/hybrid/>

Kalocinski, T. 2022. Modern trends in development of alternative powertrain systems for non-road machinery. Combustion Engines. 2022, 188(1), 42–54. <https://doi.org/10.19206/CE-141358>

Komatsu Europe International N.V. (2020). Komatsu HB365LC-3 / HB365NLC-3 esite. viitattu 20.5.2022. Saatavilla: <https://www.komatsu.eu/en/excavators/crawler-excavators/hybrid-crawler-excavators/hb365lcnlc-3-hybrid>

Komatsu Europe International N.V. (2021). Komatsu Wireless Monitoring System. viitattu 20.5.2022. Saatavilla: <https://www.komatsu.eu/en/komtrax>

Lehtilä, A., Koljonen, T., Laurikko, J., Markkanen, J. & Vainio, T. (2021). Energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasujen kehitykset: Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:67

Markkanen, J., & Lauhkonen, A. (2021). Työkoneiden päästöjen perusennuste ja sähköistymisen vaikutus päästöihin. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-00245-21

Mobile Hydraulic Tips. 2019. Notes from bauma: Hydraulic hybrid excavator among new introductions. Viitattu 20.5.2022. Saatavilla: <https://www.mobilehydraulic-tips.com/notes-from-bauma-hydraulic-hybrid-excavator-among-new-introductions/>

Pihlatie, M., Laurikko, J., Naumanen, M., Wiman, H., Rökman, J., Pettinen, R., Paakkinen, M., Hajduk, P., Rahkola, P. (2021). Kaupallisten ajoneuvojen rooli liikenteen ilmastopolitiikassa (KAROLIINA). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:34.

Profi. 2020. Fendt E100 Vario development continues. Viitattu 1.6.2022. Saatavilla: <https://www.profi.co.uk/news/fendt-e100-vario-development-continues>

Puranen 1992. Puranen A., Polttomootorikäyttöisten työkoneiden ympäristöpäästöt. Tampere 1992. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Turvallisuustekniikka. Raportti 63. 72 s. + liitt. 2s.

Sipilä, E., Poikolainen, H., Lilja, A., Rautio, T. & Nylund, N-O. (2021). Liikenteen jakeluvoitetaso – uusiutuvien polttoaineiden riittävyys ja vaikutusarvioinnit. AFRY Management Consulting. VN/13807/2021.

Sähköinen liikenne 2022, Sähköinen liikenne ry, Tilastot, <https://emobility.teknologia-teollisuus.fi/fi/toimiala/tilastot>

Wihersaari, H (2015). Työkoneen pakokaasupäästöjen mittaaminen todellisissa käyttöolosuhteissa. Tampereen teknillinen yliopisto. URL: <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/23509>

Yu, Y., Do, C., Park, Y., Ahn, K. 2021. Energy saving of hybrid hydraulic excavator innovative powertrain. Energy Conversion and Management 244 (2021) 114447. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114447>

tietokayttoon.fi

---

ISBN PDF 978-952-383-153-7  
ISSN PDF 2342-6799