



HELSINGIN YLIOPISTO  
MAATALOUS-METSÄTIEEELLINEN TIEDEKUNTA

# **Puunkorjuuyritysten hiilijalanjälki**

Jooseppi Äijälä

Maisterintutkielma

Helsingin yliopisto

Metsätieteiden maisteriohjelma

Metsien ekologia ja käyttö

Joulukuu 2022

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Metsätieteiden osasto, metsätieteiden maisteriohjelma	
Tekijä/Författare – Author Jooseppi Äijälä			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Puunkorjuuryitysten hiilijalanjälki			
Oppiaine /Läroämne – Subject Metsien ekologia ja käyttö			
Työn laji/Arbetets art – Level Maisterintutkielma	Aika/Datum – Month and year Joulukuu 2022	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 70 + liitteet 4 sivua	
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Tämä maisterintutkielma on tehty toimeksiantona Koneyrittäjien liitolle. Puunkorjuussa käytettävien koneiden polttoaineista aiheutuvat päästöt ovat melko hyvin tiedossa, mutta puunkorjuukoneiden muiden nesteiden ja aineiden käytöstä aiheutuvia päästöjä on tutkittu niukasta. Myös koneiden siirrot ja koneenkuljettajien työmatkat ovat jääneet useissa puunkorjuun päästöjä käsitellessä tutkimuksissa tarkastelun ulkopuolelle. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mistä puunkorjuuryitysten hiilijalanjälki muodostuu ja mikä on sen suuruus. Hiilijalanjälkilaskennan pääpaino oli puunkorjuuryitysten suorissa kasvihuonekaasupäästöissä.</p> <p>Tutkimus toteutettiin keräämällä neljän puunkorjuuryityksen puunkorjuussa tarvittavien aineiden ja energian kulutustiedot ja hakkuun sekä lähikuljetuksen tuotostiedot vuodelta 2021. Aineisto käsitti yhteensä 16 hakkuukonetta, yhdeksän kuormatraktoria ja viisi kaivinkonetta. Hiilijalanjälki laskettiin konekohtaisesti hakattua ja ajettua kuutiometriä kohden. Kaivinkoneiden hiilijalanjälki laskettiin käyttötuntia kohden.</p> <p>Päästöt jaettiin kolmeen tasoon. Taso 1 sisältää suorat päästöt. Taso 2 sisältää ostetun energian tuotannon päästöt. Taso 3 sisältää muut epäsuorat päästöt. Tämän selvityksen pääpaino on tasojen 1 ja 2. Selvitykseen on otettu myös mukaan erikseen raportoituna puunkorjuussa olennaisia epäsuoria eli tason 3 päästöjä. Selvitys sisälsi päästöt koneiden käytöstä, koneiden siirroista, kuljettajien työmatkoista ja kiinteistöjen lämmityksestä ja kulutetun sähkön tuotannosta.</p> <p>Hakkuun yhteenlaskettujen tasojen 1 ja 2 päästöjen keskiarvo oli 3,35 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia hakattua kuutiometriä kohden. Lähikuljetuksen tasojen 1 ja 2 päästöjen summan keskiarvo oli 2,46 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia kuutiometriä kohden. Kaivinkoneilla samojen päästöjen keskiarvo oli 33,7 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia käyttötuntia kohden.</p> <p>Selvitykseen osallistuneiden yritysten päästöistä 82 % aiheutui koneiden kuluttamasta polttoöljystä, 6 % aiheutui työmatkoista, 5 % aiheutui kantourean käytöstä ja 5 % aiheutui koneiden siirroista. Muut päivittäin kuluvat nesteet aiheuttivat vain 1 % päästöistä. Muut päivittäin kuluvat nesteet sisälsivät teräketjuöljyn, voitelurasvan ja AdBluen käytöstä aiheutuvat päästöt. Kantourean osuus oli merkittävä, sillä kantoureaa käyttäneillä hakkuukoneilla 9 % päästöistä aiheutui kantourean käytöstä. Kaiken kulutetun polttoaineen osuus oli 93 % päästöistä. Polttoaineiden päästöjä voitaisiin vähentää joko käyttämällä uusiutuvia polttoaineita tai vähentämällä kulutusta. Uusiutuvien polttoaineiden jakeluvaihtoehtona myötä polttoaineiden päästöt tulevat tippumaan. Polttoöljyä koskeva bio-osuuden 10 % tavoitetaso vähentäisi selvitykseen osallistuneiden yritysten päästöjä 6 %.</p> <p>Selvityksessä koneilla, joilla oli korkein tuntituotos, oli matalimmat päästöt tehtyä puukuutiometriä kohden. Hakkuukoneilla tuntituotokseen vaikutti merkittävästi leimikoiden järeys. Kaikkein matalimmat hakkuukoneiden kuutiometrikohtaiset päästöt olivat koneilla, jotka tekivät järeää päätehakkuuta. Korkeimmat päästöt olivat koneilla, jotka tekivät pienipuustoista harvennusta.</p> <p>Kantavuudeltaan pienimmät kuormatraktorit aiheuttivat suurimmat kuutiometrikohtaiset päästöt. Suurempien kuormatraktoreiden kohdalla kantavuuden yhteyttä päästöihin ei ollut havaittavissa. Kantavuudeltaan 13 000 kg ja 15 000 kg kuormatraktoreilla ei juurikaan ollut eroa kuutiometrikohtaisissa päästöissä. Suuremmat kuormatraktorit olivat kyllä parempia tuntituotokseltaan, mutta suurempien kuormatraktoreiden korkeamman polttoaineenkulutuksen vuoksi kuutiometrikohtaisissa päästöissä ei ollut eroa. Hakkuukoneilla koneiden moottoritaho vaikutti erityisesti päätehakkuupainotteisten koneiden päästöihin. Tehokkailla hakkuukoneilla oli selkeästi korkeampi tuntituotos ja alhaisemmat päästöt tehtyä kuutiometriä kohden.</p> <p>Korkeimmat siirtojen päästöt olivat koneilla, joilla oli pienimmät työmaat. Aineistossa työmaiden keskikoko oli 350 m<sup>3</sup> ja siirtojen päästöt kuutiometriä kohden olivat keskimäärin 0,14 kgCO<sub>2</sub>e. Koneilla, joilla työmaiden keskikoko oli alle 200 kuutiometriä, oli siirtojen päästöt yhtä kuutiometriä kohden yli 0,2 kgCO<sub>2</sub>e.</p> <p>Tulosten perusteella voidaan todeta, että tuntituotoksella on suuri vaikutus puunkorjuun päästöihin. Näin ollen puunkorjuuta tehostamalla voidaan vähentää puunkorjuun päästöjä. Etenkin hakkuussa puuston koolla on suuri vaikutus tuottavuuteen ja polttoaineenkulutukseen. Pienipuustoisessa leimikossa kuluu hakattua kuutiometriä kohden enemmän polttoainetta kuin järeissä leimikoissa. Järeiden kasvun vaikutus polttoaineenkulutukseen korostuu etenkin ensiharvennuksilla. Puunkorjuun tehokkuuden kasvatamiseksi nousi selvitystä tehdessä taimikonhoidon ja ennakkoraivauksen merkitys.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Puunkorjuu, hiilijalanjälki, kasvihuonekaasupäästöt			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi			

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Ilmastotavoitteet.....	7
1.2	Hiilijalanjälki terminä.....	8
1.3	Yrityksen hiilijalanjälkilaskenta.....	9
1.3.1	Päästölaskennan periaatteet.....	9
1.3.2	Päästötasot.....	10
1.3.3	Epävarmuustekijät.....	12
1.3.4	Tuotteiden hiilijalanjälki.....	12
1.4	Puunkorjuun hiilijalanjäljen muodostuminen.....	14
1.5	Tavoitteet.....	15
2	AINEISTO JA MENETELMÄT.....	17
2.1	Päästökertoimien selvitys.....	19
2.1.1	Moottoripolttoaineiden päästökertoimet.....	20
2.1.2	Voiteluaineiden päästökertoimet.....	22
2.1.3	Muiden nesteiden päästökertoimet.....	25
2.1.4	Kiinteistöjen ja jätteiden päästökertoimet.....	27
2.2	Inventaarioanalyysi.....	28
2.2.1	Koneiden polttoaineenkulutus ja tuotostiedot.....	28
2.2.2	Muiden päivittäin kuluvien aineiden ja voitelurasvan kulutus.....	29
2.2.3	Voiteluöljyjen ja jäähdytysnesteen kulutus.....	31
2.2.4	Koneiden siirtojen inventaarioanalyysi.....	31
2.2.5	Työmatkojen inventaarioanalyysi.....	32
2.2.6	Kiinteistöjen inventaarioanalyysi.....	33
3	TULOKSET.....	34
3.1	Koko aineiston päästöjen jakaantuminen.....	34
3.2	Hakkuukoneiden kasvihuonekaasupäästöt.....	36
3.3	Kuormatraktoreiden kasvihuonekaasupäästöt.....	44
3.4	Kaivinkoneiden kasvihuonekaasupäästöt.....	50
3.5	Koneiden siirtojen ja työmatkojen kasvihuonekaasupäästöt.....	52

4	TULOSTEN TARKASTELU .....	54
4.1	Puunkorjuun päästöt .....	55
4.2	Tuntituotoksen yhteys kasvihuonekaasupäästöihin .....	57
4.3	Puunkorjuu osana raakapuun elinkaaren päästöjä .....	59
4.4	Epävarmuus .....	60
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	61
5.1	Materiaalien ja polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaminen .....	61
5.2	Polttoaineenkulutukseen vaikuttaminen .....	63
5.3	Jatkotutkimuskohteita .....	64
6	LÄHTEET .....	65
	LIITE 1 TAULUKOT INVENTAARIOANALYYSIIN .....	71

# 1 JOHDANTO

Tämä tutkimus on tehty Koneyrittäjien liiton toimeksiantona. Koneyrittäjien liitto on metsä-, energia- ja maanrakennusalan koneyrittäjien etujärjestö. Koneyrittäjien liitto edustaa alansa yrittäjiä sekä pyrkii valvomaan ja ajamaan koneyrittäjien etua. Lisäksi Koneyrittäjien liitto toimii alansa yrittäjien työntantajärjestönä ja neuvoantajana.

Metsäteollisuus on yksi Suomen merkittävimmistä teollisuuden aloista. Metsäteollisuuden tuotteiden osuus Suomen tavaraviennin arvosta oli 17,9 prosenttia vuonna 2020 (Tulli 2021). Metsien käytöllä on suuri merkitys ilmastonlämpenemisen torjunnassa, sillä metsät ovat merkittävä hiilinielu sekä puupohjaisilla raaka-aineilla voidaan korvata monia fossiilisia raaka-aineita. Puu on uusiutuva raaka-aine ja puutuotteet toimivat hiilivarastoina elinkaarensa ajan. Puunkorjuu, puutavaran kuljetus ja puutavaran jalostus tarvitsevat nykyisellään fossiilisia energialähteitä ja raaka-aineita, joten puuta ei voida pitää täysin hiilineutraalina (Klein ym. 2015). Nämä seikat luovat haasteen siitä, mikä on metsien merkitys tulevaisuudessa ja kuinka metsien hiilinielu ja puun teollinen käyttö sovitetaan yhteen.

Suomen kansalliset päästövähennystavoitteet ja ilmastopöytäkirjat luultavasti tulevat jatkossa vaikuttamaan erilaisten sääntelyiden ja lakien myötä myös puunkorjuuyrittäjiin. Myös kuluttajien kiinnostus ilmastoasioista ja tällä hetkellä kiivas keskustelu metsien osuudesta ilmastonmuutoksen torjunnassa tulevat vaikuttamaan metsäteollisuuden eli puunkorjuun ison asiakaskunnan päätöksentekoon. Puunkorjuuyrittäjien asiakkaisissa on jo herännyt kiinnostus puunkorjuun päästöjä kohtaan. Tulevaisuudessa kasvihuonekaasupäästöjen seuranta ja päästövähennystavoitteet voivat olla jo puunkorjuuyrityksissäkin arkipäivää. Kasvihuonekaasupäästöjen seurannalla yritykset voivat jo hieman ennalta varautua mahdolliseen sääntelyyn. Päästöjen seurannalla ja päästövähennystavoitteilla voi olla jatkossa etua myös sopimusten kilpailutuksissa. Muilla aloilla työkoneiden päästöt ovat jo merkittävä osa kilpailutusten arviointikriteerejä.

Tällä hetkellä puunkorjuuyritysten taloudellinen tilanne näyttää huonolta. Koneyrittäjät ry:n Bisnode Finland Oy:ltä tilaamasta vuotta 2020 koskevasta raportista selviää, että puunkorjuun kannattavuus on heikkoa. Raportista selviää, että keskiarvoisesti

puunkorjuuyrittäjien vuoden 2020 palkkakorjattu liike-tulos on peräti 1,6 prosenttia tappiollinen (Bisnode Finland Oy 2021). Tämän johdosta metsäkoneyrittäjillä tuskin on intoa päästövähennystoimiin, joihin vaaditaan ylimääräisiä suuria taloudellisia panoksia. Hiilijalanjälkiselvityksen myötä kasvihuonekaasupäästöjen lähteet ja päästöjen suuruus saadaan selville. Selvityksen tarkkuuden tulee olla sellainen, jonka avulla voidaan arvioida erilaisten päästövähennystoimien hyötyjä suhteessa vähennystoimenpiteisiin vaati-miin panoksiin. Näin rajalliset resurssit saadaan kohdistettua oikein.

Puunkorjuu on olennainen osa metsäteollisuutta, sillä puunkorjuu on kaikilla metsäteol-lisuuden aloilla osa raaka-aineketjua. Puunkorjuun päästöt vaikuttavat täten koko metsäteollisuuden päästöihin. Suomessa puunkorjuu yhdessä kaiken kuljetuksen kanssa aiheut-taa noin kolmanneksen metsäteollisuuden päästöistä (Lipiäinen ym. 2022). Sahatava-rassa metsänhoidon ja puunkorjuun osuus on puolet sahatavaran hiilijalanjäljestä (Saha-teollisuus ry 2020). Pidemmälle jalostetuissa tuotteissa, kuten sellussa ja paperissa, puun-korjuun päästöt eivät ole niin suuressa roolissa, mutta ovat kuitenkin merkittävät. Yhdys-valtain paperi- ja sellutuotannon elinkaariarvioinnissa puunkorjuun osuus kasvihuone-kaasupäästöistä oli noin 10 prosenttia (Tomberlin ym. 2020). Sellu- ja paperiteollisuu-dessa hiilijalanjäljen laskennassa, joka sijoittuu Kiinan Beihaihin Stora Enson tehtaalle on puunkorjuun ja puun kaukokuljetuksen osuus kasvihuonekaasupäästöistä 9,8 prosent-tia (Zhao ym. 2019).

Metsätehon tulosalvosarjassa 9/2021 ilmoitetaan, että koneellisen puunkorjuun osuus Suomen hakkuista oli täydet 100 prosenttia vuonna 2019 (Strandström 2021). Suomessa puunkorjuu suoritetaan itsenäisten puunkorjuuyritysten toimesta. Puunkorjuuyrittäjät tar-joavat puunkorjuupalveluita puunostajille, puunhankintaorganisaatioille, metsänomista-jille tai näiden edustajille. Suomessa puunkorjuu suoritetaan tavaralajimenetelmällä, jossa yhden korjuuketjun muodostaa hakkuukone ja kuormatraktori. Tavaralajimenetel-mässä puu kaadetaan, karsitaan ja katkotaan hakkuukoneella halutuiksi tavaralajeiksi. Ta-varalajimenetelmän hakkuukoneesta käytetään yleisesti myös nimitystä moto, joka on ly-henne sanasta monitoimikone. Kuormatraktorilla suoritetaan puiden lähikuljetus metsästä varastopaikalle tien varteen. Tien varresta puut kuljetetaan autokuljetuksella suoraan teh-taalle jatkojalostettavaksi tai toisen kuljetusvälineen kuten junan kyytiin.

Puunkorjuuyritysten liiketoiminta perustuu lähes täysin metsäkonetyöhön. Useat puunkorjuuyrittäjät tekevät myös metsien maanmuokkauksia kaivinkoneella. Vaikkakin koneiden kuluttama polttoaine on puunkorjuun merkittävin päästölähde, syntyy puunkorjuussa päästöjä myös muualta. Metsässä tehtävän puunkorjuun mahdollistamiseksi on suoritettava paljon tehtäviä, jotka eivät suoraan liity puunkorjuuseen, mutta ne ovat kuitenkin osa prosessia. Näitä tehtäviä ovat koneiden siirrot, huoltotyöt, tarvikkeiden täydennys ja työntekijöiden liikkuminen. Puunkorjuuyritysten hiilijalanjäljen määrittämiseksi on tarkasteltava yritysten toimintaa kokonaisuudessaan eikä vain koneiden kuluttamaa polttoainetta.

## **1.1 Ilmastotavoitteet**

Parisiin ilmastosopimuksen tavoitteena on rajoittaa ilmaston lämpeneminen alle kahteen asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. Sopimuksen osapuolet ovat myös sitoutuneet toimiin, joilla ilmaston lämpeneminen rajoitettaisiin 1,5 asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna (Ympäristöministeriö 2021). Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli IPCC (2018) on ilmoittanut, että ilmaston lämpenemisen rajaaminen 1,5 asteeseen vaatisi kasvihuonekaasupäästöjen alentamista 25–30 gigatonniin CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia vuoteen 2030 mennessä ja hiilineutraaliuden saavuttamista vuoteen 2050 mennessä. Vuoden 2030 päästövähennystavoite merkitsee 45 prosentin vähennystä vuoden 2010 tasosta (IPCC 2018). Hiilineutraaliustavoite tarkoittaa sitä, että ilmaan päästetään kasvihuonekaasuja vain sen verran kuin ilmasta sitoutuu hiilidioksidia hiilinieluihin. Kasvihuonekaasujen määrää kuvataan yksiköllä CO<sub>2</sub>e (hiilidioksidiekvivalentti), jossa eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutus on muutettu vastaamaan hiilidioksidin lämmitysvaikutusta (Eurostat 2017).

EU-maat ovat allekirjoittaneet ja sitoutuneet noudattamaan Pariisin ilmastosopimusta. EU onkin asettanut tavoitteekseen hiilineutraaliuden vuoteen 2050 mennessä. Suomi osana Euroopan unionia on myös siis sitoutunut EU:n tavoitteisiin. EU:n tavoitteiden lisäksi Suomen nykyinen hallitus on asettanut tavoitteeksi hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi Suomen tavoitteena on olla fossiilivapaa vuoteen 2030 mennessä (Valtioneuvosto 2021). Tavoitteisiin pääsemiseksi Suomen on vähennettävä hiilipäästöjä ja kasvatettava hiilinieluja. Kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2020 48,3 miljoonaa tCO<sub>2</sub>e ja Suomen LULUCF-sektorin nettohiilinielu oli -23 milj. tCO<sub>2</sub>e (Suomen

virallinen tilasto 2021). LULUCF-sektori sisältää maankäytön ja maankäytön muutoksen ja metsätalouden päästöt. Ilmastopimuksen raportointikäytännön mukaisesti tätä sektoria ei oteta huomioon kokonaispäästöjen raportoinnissa. LULUCF-sektori on Suomen suurin hiilinielu.

## 1.2 Hiilijalanjälki terminä

Ihmisen toiminnan aiheuttamia ilmastovaikutuksia kuvataan termillä hiilijalanjälki. Hiilijalanjälki voidaan määrittää palveluille, tuotteille ja toiminnoille ja sen yksikkönä on CO<sub>2</sub>e eli hiilidioksidiekvivalentti (Cleveland C. & Morris C. 2015). Hiilijalanjälki ilmaisee ilmakehään vapautuvien kasvihuonekaasujen määrää ja kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta.

Hiilidioksidiekvivalentti kertoo kasvihuonekaasujen hiilidioksidiin verrattavan ilmaston lämmitysvaikutuksen. Hiilidioksidin lämmitysvaikutus on siis perustaso, johon muiden kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta verrataan. Lämmitysvaikutuksessa otetaan huomioon kasvihuonekaasujen tehokkuus sitoa lämpösäteilyä ja kaasujen elinikä ilmakehässä. Lämmitysvaikutusta tarkastellaan usein sadan vuoden aikajaksolla. Hallitusten välisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) viidennessä raportissa todetaan, että on ehdotettu myös muita tapoja ilmaista kasvihuonekaasujen vaikutusta, mutta tulosten vertailtavuuden ja johdonmukaisuuden vuoksi IPCC käyttää raportissaan 100 vuoden lämmitysvaikutusta (IPCC 2018).

Kasvihuonekaasut ovat ilmakehän kaasuja, jotka sitovat itseensä lämpösäteilyä ja estävät lämpösäteilyn heijastumista avaruuteen. Ihmisen toiminnasta aiheutuvista kasvihuonekaasuista merkittävin on hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) 76 prosentin osuudella (IPCC 2014). Muita merkittäviä kasvihuonekaasuja ovat metaani (CH<sub>4</sub>) 16 prosentin osuudella, typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O) 6,2 prosentin osuudella ja fluoratut kasvihuonekaasut eli f-kaasut 2 prosentin osuudella (IPCC 2014). Nämä osuudet on laskettu hiilidioksidiekvivalenteissa, joten kaasujen erisuuret ilmaston lämmitysvaikutukset on otettu huomioon.



### 1.3 Yrityksen hiilijalanjälkilaskenta

Hiilijalanjälkilaskentaan ja -raportointiin on olemassa useita kansainvälisiä standardeja. Standardit antavat ohjeistusta ja vaatimuksia hiilijalanjäljen laskennalle ja raportoinnille. Samaa standardia noudattavien toimijoiden laskenta on yhtenäistä ja tulokset ovat keskenään vertailtavia. Kansainvälinen Green House Gas -protokollan A Corporate Accounting and Reporting -standardi on maailmalla yleisesti käytetty standardi kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa ja raportoinnissa. Tässä työssä tähän standardiin viitataan jatkossa nimellä GHG-protokolla. Lukuihin 1.4.–1.4.4 on kerätty ISO ja GHG-protokollan standardien tärkeimmät periaatteet ja ohjeet.

#### 1.3.1 Päästölaskennan periaatteet

GHG-protokollan mukaisen päästölaskennan tulee noudattaa seuraavia periaatteita (Greenhouse Gas Protocol 2004):

- Merkityksellisyys
  - o Päästölaskennan tulee tuottaa yritykselle ja sen sidosryhmille oleellista, hyödyllistä ja päätöstentekoa tukevaa tietoa.
  - o Hiilijalanjälkiselvitys rajataan siten, että yrityksen liiketoiminnan kannalta kaikki oleellinen tulee huomioiduksi.
- Täydellisyys
  - o Laskennassa ja raportoinnissa on huomioitava kaikki rajausten sisällä olevat päästölähteet ja päästöjä aiheuttavat toiminnot.
  - o Kaikki rajaukset ja laskennassa huomioimatta jääneet lähteet on yksilöllisesti selostettava.
- Johdonmukaisuus
  - o Laskentamenetelmät ja raportointi on oltava johdonmukaista, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia ja päästöjen seuranta olisi mahdollista myös jatkossa.
- Läpinäkyvyys
  - o Kaikki oletukset ja mahdolliset laskentaan liittyvät ongelmat on tuotava ilmi.

- Laskennan ulkopuolelle jäävät päästöt ja päästöjen arvioinnin epävarmuus on raportoitava.
- Laskennassa ja päästötietojen keruussa käytetyt lähteet on esitettävä.
- Tarkkuus
  - On varmistettava, ettei päästöjen määrässä ole systemaattista virhettä.
  - Tarkkuuden on oltava sillä tasolla, että päästölaskennan perusteella pystytään tekemään luotettavasti päätöksiä ja valintoja.

Päästöt jaetaan suoriin ja epäsuoriin päästöihin. Suorat päästöt syntyvät suoraan yrityksen omistamista tai hallinnoimista lähteistä. Tällaisia ovat esimerkiksi yrityksen omasta energiantuotannosta ja polttoaineenkulutuksesta aiheutuvat päästöt. Epäsuorat päästöt aiheutuvat yrityksen toiminnasta, mutta päästölähteet eivät ole yrityksen omassa hallinnassa. Esimerkkinä epäsuorista päästöistä ovat ostetun sähkön tai kaukolämmön tuotannosta aiheutuvat päästöt.

### ***1.3.2 Päästötasot***

GHG-protokollassa päästöt jaotellaan kolmeen luokkaan scope 1, scope 2 ja scope 3. Tässä tutkimuksessa näistä luokista käytetään nimitystä taso 1, taso 2 ja taso 3. Luokittelun avulla pyritään välttämään päällekkäistä laskentaa. Suorat päästöt, jotka ovat tason 1 päästöjä, voidaan laskea vain yhdelle yritykselle tai toimijalle. Jonkin yrityksen tason 1 päästöt eivät voi olla toisen yrityksen tai toimijan suorina tason 1 päästöjä, vaan ne ovat tälle toiselle yritykselle epäsuoria tason 2 tai tason 3 päästöjä. GHG-protokollan vähimmäisvaatimuksena on huomioida vähintään tasojen 1 ja 2 päästöt.

Tason 1 päästöihin kuuluvat kaikki yrityksen suorat päästöt eli päästöt, jotka syntyvät yrityksen hallinnoimissa tiloissa tai yrityksen hallinnassa olevan kaluston käytöstä. Biomassan poltosta aiheutuvia päästöjä ei sisällytetä tähän tasoon. Myöskään Kioton sopimuksen ulkopuolella olevien kasvihuonekaasujen ei katsota olevan tason 1 päästöjä. (Greenhouse Gas Protocol 2004) Puunkorjuuyrityksissä tason 1 päästölähteitä ovat työkoneiden, ajoneuvojen ja lämmityksen kuluttamien fossiilisten polttoaineiden palamisesta aiheutuvat päästöt ja kemikaalien käytöstä aiheutuvat suorat päästöt.

Tason 2 päästöihin kuuluvat yrityksen ostaman energian päästöt. Tason 2 päästöt ovat epäsuoria päästöjä, sillä päästöt syntyvät energiantuottajan hallinnoimassa laitoksessa. Tason 2 päästöjä ovat esimerkiksi ostetun sähkön, kaukolämmön ja höyryn tuotannon päästöt. Energiantuottajalla nämä samat päästöt suoria päästöjä eli tason 1 päästöjä. Puunkorjuuyrityksissä tason 2 päästöjä ovat sähkön ja kaukolämmön tuotannon päästöt.

Tason 3 päästöt ovat vapaaehtoisesti raportoitavia epäsuoria päästöjä. Hiilijalanjäljen laskea tekevä yritys ei itse vapauta toiminnallaan tason 3 päästöjä, vaan tason 3 päästöt ovat yrityksen sidosryhmien tuottamia päästöjä. Tason 3 päästöjen lähteet eivät siis ole yrityksen omassa hallinnassa. Tähän tasoon kuuluvat muun muassa ostettujen raaka-ainesten, materiaalien, ja polttoaineiden valmistuksen ja kuljetuksen päästöt ja jätteiden käsittelystä aiheutuvat päästöt. Päästöt voivat syntyä tuotantoketjussa ennen yritystä materiaalien tuotannosta ja kuljetuksesta tai yrityksen jälkeen yrityksen valmistavien tuotteiden käytöstä ja hävityksestä. Tasoon 3 kuuluvien päästöjen osalta ei vaadita täyttä elinkaariarvioita. Läpinäkyvyyden periaatteen vuoksi on kuitenkin syytä kuvailla tason 3 päästöjen koko arvoketju ja päästölähteet, vaikka kaikkia päästöjä ei otettaisikaan mukaan yrityksen hiilijalanjälkilaskelmaan. Epäsuorien päästöjen selvitys on haastavaa ja etenkin datan luotettavuus heikompa kuin suorilla päästöillä. Arviot epäsuorista päästöistä ovat hyväksyttäviä, kunhan arviointi on läpinäkyvää eikä arvioinnilla ole vaikutusta päästölaskennan tavoitteiden saavuttamiseksi.

Yrityksen suorat päästöt ovat vain osa yrityksen toiminnasta aiheutuvista päästöistä. Liiketoimintaan sidoksissa olevien toimijoiden päästöjä on myös syytä seurata. Vaikka yrityksen suorat päästöt olisivatkin hallinnassa, yrityksen toimitus- ja jakeluketjujen päästöt voivat vaikuttaa kustannuksiin ja yrityksen maineeseen odottamattomasti. Yrityksen kannalta oleelliset ja merkittävimmät epäsuorat päästöt on syytä ottaa mukaan päästölaskentaan.

Merkittäviä epäsuoria päästöjä voi syntyä etenkin toiminnoista, jotka ovat ulkoistettu. Ulkoistetut toiminnot on syytä ottaa mukaan tarkasteluun etenkin, jos aikaisemmin nämä ulkoistetut toiminnot on yrityksessä tehty itse ja ne ovat muodostaneet merkittävän osan yrityksen päästöistä. Esimerkiksi puunkorjuualalla koneiden siirrot voivat olla ulkoistettu palvelu. Koneiden siirrot ovat tärkeä osa puunkorjuuyrityksen toimintaa, joten koneiden

siirtojen mukaan ottaminen päästölaskentaan on suositeltavaa. Tämä parantaa myös yritysten välistä vertailtavuutta, koska puunkorjuuyrityksissä yleisesti koneiden siirrot suoritetaan itse omalla kalustolla. Muita merkittäviä epäsuorien päästöjen aiheuttajia ovat yrityksen hankkimien materiaalien ja tavaroiden valmistus sekä niiden kuljetus.

Laadukkaan päästötiedon saamiseksi pitää valita ja kehittää yrityskohtaiset menetelmät, joilla yrityksen ominaispiirteet tulevat huomioiduksi. Yrityksen sisällä tulee olla yhtenäiset seuranta- ja laskentamenetelmät, jotta kerätty data on yhteneväistä. Luotettavan päästötiedon luomiseksi kerätyn datan tarkkuuden on oltava riittävällä tasolla. Datan tarkkuutta ei voida korjata enää jälkeenpäin, joten luotettavuuden kannalta on tärkeää kirjata ja perustella kaikki käytetyt menetelmät, laskentatavat ja olettamukset jo datan keräämisen aikana.

### ***1.3.3 Epävarmuustekijät***

Epävarmuustekijät jaetaan tieteelliseen epävarmuuteen ja arvioinnin epävarmuuteen. Tieteellistä epävarmuus johtuu siitä, kun päästöjä aiheuttavia prosesseja tai päästöjen vaikutusta ei tarkkaan tunneta. Tieteellisen epävarmuuden arviointi ja hallinta on usein yksittäisen yritykselle haastavaa tai liian työlästä.

Arvioinnin epävarmuus jaetaan mallin epävarmuuteen ja parametrien epävarmuuteen. Mallin epävarmuus johtuu käytetyn matemaattisen kaavan soveltuvuudesta ja sen epävarmuudesta. Mallin epävarmuuden arviointi on myös yksittäiselle yritykselle liian haastavaa tai työlästä. Parametrien epävarmuutta voidaan helpoiten arvioida ja hallita. Parametrien epävarmuus johtuu kerätyn datan tarkkuudesta. Tarkkuutta voidaan arvioida tilastollisin keinoin, mittalaitteiden tarkkuuksien ja asiantuntijoiden arvioiden avulla.

### ***1.3.4 Tuotteiden hiilijalanjälki***

Tuotteiden ja palvelujen hiilijalanjäljen laskenta pohjautuu usein elinkaariarviointiin (Life Cycle Assessment, LCA). Elinkaariarvioinnissa otetaan huomioon koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset raaka-aineiden hankinnasta tuotteiden hävitykseen. Elinkaariarviointia ohjaa kansainväliset ISO 14040-sarjan standardit (Ymparisto.fi 2013).

Hiilijalanjälki keskittyy elinkaariarvion osalta ainoastaan ilmastovaikutuksiin. Hiilijalanjäljen määrittämisestä tuotteille on olemassa kansainvälinen standardi SFS-EN ISO 14067:2018. Vaikka tässä työssä ei lasketa tuotteiden hiilijalanjälkeä, on standardiin tutustumisesta hyötyä puunkorjuussa tarvittavien tuotteiden päästökertoimien etsinnässä eri tutkimuksista.

Elinkaariarvio on nelivaiheinen ja myös hiilijalanjäljen määrittäminen sisältää nämä neljä vaihetta (SFS-EN ISO 14067:2018):

1. tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely
2. inventaarioanalyysi
3. vaikutusarviointi
4. tulosten tulkinta

Standardin (SFS-EN ISO 14067:2018) mukaisen hiilijalanjälkiselvityksen tavoitteiden tulee sisältää selvityksen käyttötarkoitus, syyt, kohdeyleisö ja suunnitelma tietojen viestinnästä. Hiilijalanjälkiselvityksen soveltamisalan määrittelyssä päätetään selvityksen rajat, yksityiskohtaisuus ja tietojen ajallinen raja. Soveltamisalan määrittelyyn kuuluu tutkittavan järjestelmän ja sen toimintojen kuvaus. Järjestelmä pilkotaan toisiinsa kytkeytyviin yksikköprosesseihin. Kullekin yksikköprosessille määritetään ja lasketaan syötteet ja tuotokset. Syöte on prosessiin syötettävä virta, joka voi olla esimerkiksi energia tai raaka-aine. Tuotos on prosessista poistuva virta, joka voi olla esimerkiksi päästö, valmis tuote tai palvelu.

Inventaarioanalyysi sisältää tietojen keräämisen ja varmentamisen koko järjestelmästä. Nämä tiedot kerätään yksikköprosesseittain. Tavoitteiden mukaisten rajausten perusteella päätetään, kuinka yksityiskohtaisesti kukin yksikköprosessi huomioidaan arvioinnissa. Päästötietoja verrataan valittuun toiminnalliseen yksikköön. Toiminnallinen yksikkö on vertailuyksikkö, joka voi olla esimerkiksi valmistettujen lopputuotteiden massa tai tuotettujen palveluiden määrä. (Suomen Ympäristökeskus 2017)

Hiilijalanjälkiselvityksessä vaikutusarviointi kohdistuu vain kasvihuonekaasujen ilmastomuutosvaikutukseen. Kasvihuonekaasujen määrää ja vaikuttavuutta ilmaistaan sadan vuoden lämmitysvaikutuksella (SFS-EN ISO 14067:2018).

Tulosten tulkinta sisältää johtopäätökset ja epävarmuuden arvioinnin. Tulosten tulkin-  
nassa myös tarkennetaan vielä selvityksen rajoitteita. Tulkintavaiheessa voidaan antaa  
toimenpidesuosituksia, kun tietojen johdonmukaisuus, epävarmuus ja vaikuttavat tekijät  
on tunnistettu (Suomen Ympäristökeskus 2017).

#### **1.4 Puunkorjuun hiilijalanjäljen muodostuminen**

Metsäkoneiden kuluttama polttoaine vastaa yli 80 prosenttia puunkorjuuketjun energian-  
kulutuksesta (Klvac ym. 2003). Klvacin ym. (2003) tutkimuksen energiankulutuksia tar-  
kasteltiin elinkaariarvion näkökulmasta, jolloin tarkasteluun otettiin myös koneiden ja  
varaosien valmistuksen energiankulutus. Koska metsäkoneiden käyttämä polttoaine on  
fossiilista moottoripolttoöljyä, aiheuttaa metsäkoneiden kuluttama polttoaine suurimman  
osan puunkorjuuyritysten hiilijalanjäljestä. Engelin ym. (2012) tutkimuksessa polttoai-  
neen osuus puunkorjuun päästöistä oli 94,1 prosenttia. Hakkuun osuus päästöistä oli 59,4  
prosenttia ja lähikuljetuksen osuus oli 40,6 prosenttia (Engel ym. 2012).

Puunkorjuussa päästöjä aiheuttaa metsäkoneiden lisäksi myös koneiden siirrot, kuljetta-  
jien työmatkat ja kiinteistöjen ylläpito. Haavikon ym. (2022) puunkorjuun polttoaineen-  
kulutuksen, kasvihuonekaasupäästöjen ja energiatehokkuuden tutkimuksessa selvitettiin  
hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden polttoaineenkulutuksen lisäksi koneiden siirtojen  
polttoaineenkulutus. Hakkuukoneiden osuus oli 52 prosenttia, kuormatraktoreiden osuus  
oli 40 prosenttia ja koneidensiirtojen osuus 8 prosenttia puunkorjuun polttoaineenkulu-  
tuksesta (Haavikko ym. 2022).

Koska polttoaineenkulutus on merkittävin puunkorjuun kasvihuonekaasupäästöjen ai-  
heuttaja (Engel ym. 2012). Päästöjen määrään voidaan merkittävästi vaikuttaa polttoai-  
neenkulutusta pienentämällä tai vaihtamalla fossiiliset polttoaineet ilmastoystävällisem-  
piin vaihtoehtoihin. Tuottavuudella on merkittävä vaikutus polttoaineenkulutuksen (Kää-  
riäinen 2020). Kääriäinen (2020) toteaa tutkimuksessaan, että metsäkoneiden tuntikohtai-  
nen polttoaineenkulutus on aikaisempiin tutkimuksiin verraten noussut, mutta kulutus  
kuutiometriä kohden on laskenut. Puunkorjuun tuottavuus on siis viime vuosina noussut  
ja polttoainetalous parantunut, vaikka metsäkoneet kuluttavatkin polttoainetta tuntia

kohden enemmän. Syyksi tuntikulutuksen kasvuun Kääriäinen mainitsee työkoneiden koon ja tehon kasvun.

Koska tuntikohtainen polttoaineenkulutus on noussut, on tuottavuuden merkitys polttoainetalouteen kasvanut. Samalla kuljettajan vaikutus on korostunut, sillä iso osa tuottavuudesta on kuljettajasta kiinni. Ovaskaisen (2009) ensiharvennushakkuiden tuottavuutta käsittelevässä tutkimuksessa kuljettajien välinen ero hakkuun tuottavuudessa oli 40–50 prosenttia. Myös Jylhän ym. (2019) koneellisen hakkuun seurantalutkimuksessa todetaan kuljettajan osuuden tuottavuuden vaihtelusta olevan noin 40 prosenttia.

Kuljettajan lisäksi tuottavuuteen eniten vaikuttavat tekijät ovat hakatun puuston keskijäreys ja hakkuutapa (Jylhä ym. 2019). Muita tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat hakkuukoneen koko, hakkuulaitteen koko, puutavaralajien määrä, vuodenaika ja puulaji (Jylhä ym. 2019). Hakkuukoneen ja hakkuulaitteen suuri koko on eduksi puustoltaan järeissä metsissä. Pienipuustoisilla leimikoilla kokoluokaltaan suurten XL-kokoisten hakkuukoneiden tuottavuus on huonompi ja polttoaineen kulutus hakattua kuutiometriä kohden suurempi, kuin pykälää pienempien L-kokoluokan koneiden (Jylhä ym. 2019).

## **1.5 Tavoitteet**

Kuten SFS-EN ISO 14067:2018 -standardikin ohjeistaa, hiilijalanjälkiselvitys aloitetaan tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelystä. Hiilijalanjälkilaskennan etenemistä ohjaa pitkälti sille asetetut tavoitteet. Selvityksen rajaus ja soveltamisalan määrittely tehdään tavoitteiden pohjalta.

Tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena on selvittää, mikä puunkorjuuryityksen hiilijalanjälki on ja mistä se muodostuu. Koneiden päästöjen lisäksi tutkimuksessa otettiin tarkasteluun koneiden siirtojen, työmatkojen ja kiinteistöjen ylläpidon päästöt, sillä kyseisten kohteiden osuutta puunkorjuun päästöihin on heikosti tutkittu. Tässä tutkimuksessa keskitytään päästölähteisiin, joihin puunkorjuuryrittäjät pystyvät itse vaikuttamaan. Tutkimuksella pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Mikä on puunkorjuuyritysten hiilijalanjälki?
2. Mistä puunkorjuuyritysten hiilijalanjälki muodostuu?

Perusteellisen hiilijalanjälkiselvityksen myötä voidaan löytää ne päästölähteet, joihin mahdolliset päästövähennystoimenpiteet kannattaa kohdistaa. Päästöselvityksessä pyrittiin sellaiseen tarkkuuteen, että päästöselvityksen pohjalta voitaisiin tehdä luotettavasti päätöksiä ja valintoja. Heikko tarkkuus aiheuttaa epävarmuutta päätöksenteossa. Päätökset resurssien kohdentamisesta johonkin tiettyyn päästövähennyskohteeseen voi olla epävarmaa, jos päästölaskennan tarkkuus on heikkoa, eikä ole varmuutta päästövähennystoimenpiteiden vaikutuksista.

Tärkeää on, että valittujen rajausten sisältä kaikki päästöt otetaan huomioon. Rajojen asettaminen siten, että asetetaan jokin kynnys, jonka alle jäävä päästöjen määrä jätetään huomioimatta, voi tuntua houkuttelevalta. Kuitenkin, kun asetetaan tällainen raja, pitää selvittää se, että huomioimatta jätetyt päästöt eivät ylitä asetettua rajaa, jolloin asetetusta rajasta ei todellisuudessa ole hyötyä.

Tutkimuksen alussa ennako-olettamuksena oli, että korkea tuntituotos aiheuttaisi matalaa tuntituotosta pienemmät kuutiometrikohtaiset päästöt sekä hakkuussa, että lähikuljetuksessa. Molempien sekä Kääriäisen (2020) ja Jylhän. ym. (2019) tutkimuksissa havaittiin, että tuottavuudella ja polttoaineenkulutuksella on yhteys. Tämän ennako-oletuksen pohjalta tutkimuksessa pyrittiin keräämään päästölähteiden lisäksi tuotostietoja ja mahdollisesti tuottavuuteen vaikuttavina tietoina koneiden moottoriteho ja koneiden kantavuus.

Tutkimukseen osallistuneiden yritysten haastatteluissa esille tuli työmaiden määrän vaikutus hiilijalanjälkeen. Oletuksena oli, että suuri työmaiden määrä lisäisi koneiden siirtojen päästöjä ja mahdollisesti laskisi tuottavuutta koneen käyttötuntia kohden.



## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksessa syvennyttiin tarkasti neljään puunkorjuuyritykseen. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään yksityiskohtaisesti, mistä yritysten hiilijalanjälki muodostuu ja mitkä tekijät vaikuttavat hiilijalanjäljen suuruuteen. Tutkimuksen avulla ei ollut tarkoitus saada tilastollisesti yleistettäviä tuloksia, vaan tutkimuksessa syvennyttiin muutamiin esimerkkirytyksiin ja näitä yrityksiä vertailemalla pyrittiin selvittämään tekijöitä, jotka vaikuttavat puunkorjuuyritysten hiilijalanjäljen suuruuteen.

Tutkimukseen valittiin sellaisia yrityksiä, jotka harjoittavat Suomessa varsin tavanomaista puunkorjuuta tavanomaisella kalustolla. Lisäksi tutkimuksessa tarvittava tieto oli oltava yrityksistä helposti saatavilla ja käytettävissä. Tutkimukseen osallistuminen työllisti yrityksiä huomattavasti, joten tutkimukseen soveltuvan yrityksen osalta ei voitu tehdä kovin tiukkoja rajoituksia, jotta saatiin vapaaehtoisia osallistujia.

Osallistuneiden yritysten hiilijalanjälki laskettiin vuoden 2021 tietojen perusteella. Inventaarioanalyysiin kerättävät tiedot kerättiin liitteen 1 taulukoihin. Osa tiedoista saatiin suoraan metsäkoneen keräämästä ja tallentamasta datasta ja osa yrityksen kirjanpidosta. Joitakin kulutustietoja yrittäjät joutuivat arvioimaan ja osaa tiedoista arvioitiin aikaisempien tutkimusten pohjalta. Ensisijaisesti pyrittiin käyttämään yrityskohtaisia tietoja, joita saatiin metsäkoneiden tuottamasta datasta tai kirjanpidosta. Toisena vaihtoehtona oli puunkorjuuyrittäjien mahdollisimman tarkat arviot oman yrityksensä osalta. Jos yrittäjiltä ei saatu luotettavia arvioita jouduttiin tukeutumaan aikaisempiin tutkimuksiin, tilastoihin ja tietokantoihin.

Tutkimukseen osallistuneet yritykset on nimetty kirjaimin A, B, C ja D. Tutkimuksen aineisto sisälsi 16 hakkuukonetta, 9 kuormatraktoria ja 5 kaivinkonetta. Koneet on nimetty konetyypin, yritystä kuvaavan kirjaimen ja koneelle annetun numeron avulla.

Yritys A on pieni yhden koneketjun puunkorjuuyritys. Yritys toimii eteläisessä Suomessa ja tekee lähes ainoastaan ensiharvennuksia ja harvennuksia.

Yritys B on itäisessä Suomessa toimiva metsäkoneyritys. Yrityksessä B oli vuonna 2021 kolme hakkuukonetta, joista yksi tuli käyttöön vuoden 2021 loppupuolella. Yrityksen B hakkuut koostuivat ensiharvennus- harvennus- ja päätehakkuista. Yrityksen hakkuumääristä suurin osa tuli vuonna 2021 päätehakkuista. Yritys B teki myös energiapuuharvennuksia, joissa puut mitattiin hakkuukoneen mittalaitteen sijaan kuormainvaa'alla.

Yritys C on itäisessä Suomessa toimiva yritys, jolla oli vuonna 2021 neljä hakkuukonetta, kaksi kuormatraktoria ja kaivinkone. Yritys teki ensiharvennuksia, harvennuksia ja päätehakkuita. Vuonna 2021 yrityksen kokonaishakkuukertymästä hieman yli puolet kertyi päätehakkuista.

Yritys D on myös itäisessä Suomessa toimiva yritys. Yritys D oli osallistuneista yrityksistä suurin. Tarkastelujaksolla yrityksessä oli käytössä 8 hakkuukonetta, 6 kuormatraktoria ja 5 kaivinkonetta. Vuoden 2021 hakkuukertymästä 70 prosenttia tuli päätehakkuista.

Hiilijalanjätkiselvityksessä otettiin huomioon puunkorjuun vaiheet kannolta tien varteen. Varsinaisten puunkorjuun lisäksi selvityksessä huomioitiin koneiden siirroista, huolloista, kiinteistöjen ylläpidosta ja henkilökunnan työmatkoista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Koneiden, laitteiden, tarvikkeiden, ajoneuvojen ja rakennusten päästöistä otettiin huomioon vain käytön aikaiset päästöt. Eli edellä mainittujen valmistuksesta ja hävityksestä aiheutuvia päästöjä ei otettu huomioon. Hiilijalanjälki laskettiin yrityskohtaisesti ja konekohtaisesti. Jotta hiilijalanjälkiä voitiin vertailla puunkorjuuyritysten ja eri koneiden välillä, verrattiin kasvihuonekaasupäästöjen määrää korjatun puun määrään. Korjatun puun määrä ilmoitetaan kuutiometreissä kuoren päältä mitattuna.

Puunkorjuun tehokkuuteen olennaisesti vaikuttavat puunrunkojen järeys, hakkuutapa, kuormakoko ja kuljetusmatka. Nämä tiedot kerättiin myös, jotta saatiin selville hiilijalanjälkeen ja polttoaineenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Koneiden ominaisuuksista kerättiin tieto konemallista, massasta ja moottoritehosta. Kuormatraktoreiden kohdalla kerättävänä tietona oli myös koneen kantavuus.

Puunkorjuu jaoteltiin osa-alueisiin, joita olivat: hakkuu, lähikuljetus, koneiden huolto, kiinteistöjen ylläpito, koneiden siirrot ja työntekijöiden työmatkat. Kaikki yritykset eivät

seuranneet eri aineiden kulutuksia konekohtaisesti. Kiinteistöjen, koneiden siirtojen, työntekijöiden työmatkojen ja päivittäin kuluien aineiden kulutuksia seurattiin yleisesti vain yrityksen tasolla. Polttoaineenkulutuksen ja huollon aineiden kulutukset olivat kaikissa yrityksissä konekohtaisesti seurattuja. Aineiden kulutuksesta aiheutuvat päästöt, siirtojen päästöt, työmatkojen päästöt ja kiinteistöjen ylläpidon päästöt kohdistettiin kullekin koneelle joko käyttötuntien, tehtyjen puukuutiometriä, tehtyjen työmaiden tai työvuorojen perusteella.

Aineistosta pyrittiin etsimään yritysten välillä eroja tekijöissä, jotka vaikuttavat hiilijalanjälkeen. Eroja pyrittiin löytämään erityisesti työmaiden ominaisuuksista ja toimintatavoista. Kun tekijät löydettiin, pohdittiin, kuinka näihin tekijöihin voitaisiin vaikuttaa hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

## 2.1 Päästökertoimien selvitys

Päästöt jaoteltiin GHG-protokollan mukaisesti tasoihin 1, 2 ja 3 (Taulukko 1). Tasojen 1 ja 2 päästöt ovat GHG-protokollan mukaisessa päästöselvityksessä vähimmäisvaatimuksena. Materiaali- ja energiavirtojen ilmastovaikutuksien arviointiin etsittiin kirjallisuudesta eri materiaalien ja polttoaineiden hiilidioksidiekvivalentteina ilmoitetut päästökerroimet suorille päästöille ja epäsuorille päästöille.

Taulukko 1. Puunkorjuuyritysten toiminnasta aiheutuvien päästöjen luokittelu.

Taso 1	Taso 2	Taso 3
Polttoaineiden kulutus	Ostettu sähköenergia	Polttoaineiden valmistus ja jakelu
Voiteluaineiden käyttö	Ostettu lämmitysenergia	Voiteluaineiden valmistus ja hävitys
Hydrauliikkaöljyn käyttö		Hydrauliikkaöljyn valmistus ja hävitys
Kantokäsittelyaineiden käyttö		Kantokäsittelyaineiden valmistus
AdBluen käyttö		AdBluen valmistus ja jakelu Jäähdytysnesteiden valmistus Merkintävärin valmistus

### ***2.1.1 Moottoripolttoaineiden päästökertoimet***

Suomessa on uusiutuvien polttoaineiden jakeluelvoite, joka tarkoittaa sitä että, polttoaineenjakeelijat on velvoitettu toimittamaan tietty osuus uusiutuvaa polttoainetta polttoaineen kokonaiskulutuksesta. Osuudet lasketaan polttoaineiden energiasisältöjen mukaan. Vuonna 2021 liikennepolttoaineiden jakeluelvoite oli 18 prosenttia. Jakeluelvoite nousee uusiutuvan polttoaineen osuutta liikennepolttoaineissa 1,5 prosenttiyksikköä vuosittain vuoteen 2029 asti, jolloin uusiutuvan polttoaineen osuus on 30 prosenttia liikennepolttoaineiden kokonaisenergisällöstä (Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämistä liikenteessä 2007).

Kevyttä polttoöljyä koskee myös jakeluelvoite. Bio-osuuden tuli vuonna 2021 olla 3 prosenttia kevyen polttoöljyn kokonaiskulutuksen energiasisällöstä. Bio-osuus kevyen polttoöljyn kokonaiskulutuksesta nousee vuosittain yhdellä prosenttiyksiköllä vuoteen 2028 asti, jolloin bio-osuuden tulee olla 10 prosenttia kevyen polttoöljyn kokonaiskulutuksen energiasisällöstä (Laki biopolttoöljyn käytön edistamisestä 2019).

Dieselpolttoaineen ja kevyen polttoaineen biokomponenttina voidaan käyttää rasvahappojen metyyliestereitä eli FAMEja korkeintaan 7 tilavuusprosenttia (Motiva 2022). Suuremmat määrät voivat aiheuttaa ongelmia polttoainejärjestelmässä. Yleisesti biodieselillä tarkoitetaan juuri FAMEja. Kun, käytetään termiä uusiutuva diesel, tarkoitetaan vetykäsittelyä kasviöljyjä eli HVO:ta, jotka vastaavat ominaisuuksiltaan fossiilista dieseliä. HVO:ta voidaan käyttää polttoaineena dieselmootoreissa sellaisenaan (Motiva 2022). Vastaavaa polttoainetta saadaan myös vetykäsittelyllä eläinrasvoista.

Yksittäisen polttoaine-erän koostumusta on hankala selvittää, sillä polttoaineen jakelija voi vaihdella polttoaineen biokomponentin osuutta ja käyttää eri biokomponentteja. Lisäksi jakeluelvoitteen on täytyttävä vain vuosittaisen kulutuksen osalta. Yksittäinen erä voi sisältää vähemmän tai enemmän biokomponenttia kuin jakeluelvoitteessa mainitaan. Osa polttoaineenjakeelijoista ei käytä polttoaineissaan lainkaan FAMEja ja osa käyttää. FAMEn osuus on kuitenkin rajoitettu 7 tilavuusprosenttiin, joten luultavasti suurin osa kevytpolttoöljyjen ja dieselöljyn biokomponentista on HVO:ta. Vuoden 2021 polttoaine-luokituksessa dieselöljyn bio-osuus oli 12 tilavuusprosenttia ja kevytpolttoöljyn bio-

osuus oli 3 prosenttia polttoaineen energiasisällöstä (Tilastokeskus 2022). Biopolttoaineet ovat uusiutuvia polttoaineita, joten niiden käyttö ei aiheuta suoria päästöjä.

Vuoden 2021 polttoaineluokituksen mukaiset tässä tutkimuksessa käytetyt päästökertoimet moottoripolttoaineille on esitetty Taulukossa 2. Päästökertoimet sisältävät vain palamisesta syntyvät hiilidioksidipäästöt. Polttomoottorit synnyttävät kasvihuonekaasuista hieman myös metaania ja dityppioksidia, mutta niiden osuus verrattuna hiilidioksidipäästöihin on hyvin pieni (EPA 2022). Polttomoottoreiden metaanipäästöjen ilmastolämmitysvaikutus on vain noin 0,3–0,4 prosenttia hiilidioksidipäästöihin verrattuna (Nam ym. 2004). Dityppioksidipäästöjen ilmastovaikutus on vain 1–2 prosenttia polttomoottorien kasvihuonekaasupäästöjen ilmastolämmitysvaikutuksesta (Hoekman 2020).

Taulukko 2. Moottoripolttoaineiden tason 1 päästöjen päästökertoimet.

<b>Moottoripolttoaineet</b>	<b>Päästökerroin tCO<sub>2</sub>e/TJ</b>	<b>Alempi lämpöarvo MJ/kg</b>	<b>Oletus- tiheys t/m<sup>3</sup></b>	<b>Päästökerroin kgCO<sub>2</sub>e/l</b>	<b>Lähde</b>
Kevyt polttoöljy B3%	70,9	43,2	0,834	2,554	Tilastokeskus 2022
Diesel B12%	64,7	42,8	0,806	2,232	Tilastokeskus 2022
Bensiini	66,3	41,9	0,745	2,070	Tilastokeskus 2022

Tämän tutkimuksen laskelmissa, kun laskettiin polttoöljyn ja dieselöljyn tason 3 päästöjä, oletettiin polttoaineiden biokomponenttien olevan täysin HVO:ita. Tutkimuksessa käytettiin polttoaineen bio-osuuksina Tilastokeskuksen julkaiseman Polttoaineluokitus 2021 -dokumentin lukuja.

Bio-osuuden eli HVO:n valmistuksen päästöinä käytettiin käytetyistä paistorasvoista valmistetun polttoaineen valmistuksen ja jakelun päästöjä (Taulukko 3). Polttoaineiden tason 3 päästöjen laskemiseksi selvitettiin käytetyn polttoaineen fossiilisen osuuden ja bio-osuuden energiasisältö, sillä valmistuksen ja jakelun päästökertoimien lähteenä käytetyssä JEC Well-to-Tank report v5- julkaisussa (Prussi ym. 2020) päästöt ilmoitetaan megajoulea kohden, kun taas Tilastokeskuksen Polttoaineluokituksessa (2021) dieselin ja bensiinin bio-osuudet on ilmoitettu prosentiosuuksina tilavuudesta. Tässä tutkimuksessa käytettyjen polttoaineiden oletettiin vastaavan tiheydeltään ja energiasisällöltään vuoden

2021 Polttoaineluokitusta (Tilastokeskus 2022). Polttoaineen bio-osuuden oletettiin vastaavan tiheydeltään ja energiasisällöltään JEC Well-to-Tank- raportin (Prussi ym. 2020) lukuja. Fossiilisen dieselin ja bensiinin energiasisältöjen oletettiin myös vastaavan JEC Well-to-Tank- raportin (Prussi M. ym. 2020) lukuja. Fossiilisen osuuden tiheyden taas oletettiin vaihtelevan polttoaineesta riippuen, jotta polttoaineiden oletustiheys ja energiasisältö vastaisivat vuoden 2021 polttoaineluokitusta.

Taulukko 3. Polttoaineiden tason 3 päästökertoimet. Kevyt polttoöljy B3% sisältää bio-osuutta 3 prosenttia energiasisällöstä. Taulukon Diesel B12%:n bio-osuus on 12 prosenttia tilavuudesta.

Polttoaineiden valmistus, kuljetus ja jakelu	Päästökerroin gCO <sub>2e</sub> /MJ	Alempi lämpöarvo MJ/kg	Oletustiheys t/m <sup>3</sup>	Päästökerroin kgCO <sub>2e</sub> /l	Lähde
Fossiilinen kevyt polttoöljy	18,9 <sup>[1]</sup>	43,1 <sup>[1]</sup>	0,832 <sup>[1]</sup>	0,678	Prussi M., ym. 2020 <sup>[1]</sup>
Fossiilinen diesel	18,9 <sup>[1]</sup>	43,1 <sup>[1]</sup>	0,832 <sup>[1]</sup>	0,678	Prussi M., ym. 2020 <sup>[1]</sup>
Fossiilinen bensiini	17,0 <sup>[1]</sup>	43,2 <sup>[1]</sup>	0,743 <sup>[1]</sup>	0,546	Prussi M., ym. 2020 <sup>[1]</sup>
Uusiutuva diesel (HVO) paistorasvasta	11,1 <sup>[1]</sup>	44,0 <sup>[1]</sup>	0,780 <sup>[1]</sup>	0,381	Prussi M., ym. 2020 <sup>[1]</sup>
Uusiutuva diesel (HVO) eläinrasvasta	16,1 <sup>[1]</sup>	44,0 <sup>[1]</sup>	0,780 <sup>[1]</sup>	0,553	Prussi M., ym. 2020 <sup>[1]</sup>
BioDiesel FAME paistorasvasta	8,3 <sup>[1]</sup>	37,2 <sup>[1]</sup>	0,890 <sup>[1]</sup>	0,275	Prussi M., ym. 2020 <sup>[1]</sup>
Kevyt polttoöljy B3%	18,7	43,2 <sup>[2]</sup>	0,834 <sup>[2]</sup>	0,673	Tilastokeskus 2022 <sup>[2]</sup>
Diesel B12%	17,9	42,8 <sup>[2]</sup>	0,806 <sup>[2]</sup>	0,619	Tilastokeskus 2022 <sup>[2]</sup>

### 2.1.2 Voiteluaineiden päästökertoimet

Metsäkoneet tarvitsevat toimiakseen huomattavia määriä eri voiteluaineita. Voiteluaineet koostuvat perusöljystä ja lisäaineista. Perusöljynä voidaan käyttää raakaöljystä saatua mineraaliöljyä tai perusöljy voidaan valmistaa synteettisesti. Myös biopohjaisten öljyt ovat mahdollisia voiteluaineiden raaka-aineita. Synteettisiä öljyjä voidaan valmistaa eri tavoin. Polyalfaolefiini (PAO) ja vetykrakatut öljyt (HC) ovat yleisiä synteettisiä

voiteluaineiden perusöljyjä. Voiteluaineen perusöljy ja lisäaineet vaihtelevat käyttökoh-  
teiden ja laatuvaatimuksen mukaan.

IPCC:n vuoden 2006 raportin ohjeistuksen mukaan voiteluaineiden käytön aikaiset pääs-  
töt lasketaan kaavan 1 mukaisesti. Käytön aikaiset päästöt ovat puunkorjuuyrittäjille ta-  
son 1 päästöjä.

(1)

$$\text{CO}_2\text{päästö} = \text{LC} \cdot \text{CC} \cdot \text{ODU} \cdot 44/12$$

CO<sub>2</sub> päästö = voiteluaineen hiilidioksidipäästö,

LC = voiteluaineen kulutus (TJ, alempi lämpöarvo),

CC = voiteluaineen sisältämä hiili (C) voiteluaineen sisältämää energiamäärää kohden  
(tC/TJ, alempi lämpöarvo),

ODU = käytön aikaisen hapettumisen kerroin,

44/12 = hiilidioksidin ja hiilen massojen suhde CO<sub>2</sub>/C

IPCC:n ilmoittama voiteluaineille tyypillinen hiilimäärä on 20 kilogrammaa gigajoulea  
kohti alemman lämpöarvon perusteella. Käytönaikainen hapettumiskerroin on 20 pro-  
senttia voiteluöljyille ja 5 prosenttia voitelurasvoille (IPCC 2006). Koska kaavassa voi-  
teluaineen kulutus ilmoitetaan voiteluaineen sisältämän energian mukaan, on tiedettävä  
voiteluaineen alempi eli tehollinen lämpöarvo. Tässä tutkimuksessa käytettiin voiteluöl-  
jyjen ja -rasvojen alempana lämpöarvona 40,2 MJ/kg (GHG Protocol 2017). Taulukossa  
4 on esitetty kaavalla 1 lasketut voiteluaineiden käytönaikaisten päästöjen päästökerto-  
imet.

Taulukko 4. Voiteluaineiden suorien päästöjen päästökertoimet.

Voiteluaine	Päästökerroin gCO <sub>2e</sub> /MJ	Alempi lämpö- arvo MJ/kg	Oletustiheys t/m <sup>3</sup>	Päästökerroin kgCO <sub>2e</sub> /l	Lähde
Voiteluöljy	14,667 <sup>[1]</sup>	40,2 <sup>[2]</sup>	0,9 <sup>[3]</sup>	0,513	IPCC 2006 <sup>[1]</sup> , GHG Protocol 2017 <sup>[2]</sup> , Teboil 2019 <sup>[3]</sup>
Voitelurasva	3,667 <sup>[1]</sup>	40,2 <sup>[2]</sup>	1,0 <sup>[4]</sup>	0,147	IPCC 2006 <sup>[1]</sup> , GHG Protocol 2017 <sup>[2]</sup> , Teboil 2015 <sup>[4]</sup>

Girottin ym. (2011) öljyjen elinkaarianalyysissa mineraaliperusöljyjen hiilijalanjälki on 1,02 kgCO<sub>2</sub>e/kg ja synteettisten perusöljyjen (PAO) hiilijalanjälki on 1,92 kgCO<sub>2</sub>e/kg. Girottin ym. (2011) tutkimuksessa oli huomioitu raaka-aineiden hankinta, raaka-aineiden kuljetus ja öljyn jalostus. Öljyn lisäaineet kasvattavat öljyn hiilijalanjälkeä merkittävästi. Lisäaineiden osuus voiteluöljyn valmistuksen kasvihuonekaasupäästöistä on noin 35 prosenttia, kun perusöljynä on mineraaliöljy (Girotti ym. 2011). Girottin ym. (2011) tutkimuksessa oletetaan, että valmis voiteluöljy sisältää 80 prosenttia perusöljyä ja 20 prosenttia lisäaineita.

Botas ym. (2017) vertailivat kierrätysöljystä ja raakaöljystä valmistetun voiteluöljyn elinkaariarvioita raaka-aineiden hankinnasta tehtaan portille. Heidän tutkimuksessaan ei otettu huomioon voiteluöljyjen lisäaineita. Kierrätysöljystä valmistetun voiteluöljyn valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt olivat 363 kgCO<sub>2</sub>e/t ja raakaöljystä valmistetun voiteluaineen päästöt olivat 1 050 kgCO<sub>2</sub>e/t.

Voiteluaineiden valmistuksen päästöt ovat puunkorjuuyrittäjille tason 3 päästöjä, joten puunkorjuuyrittäjät eivät voi suoraan vaikuttaa päästöjen suuruuteen. Tässä tutkimuksessa voiteluaineiden valmistuksen päästöissä huomioitiin vain perusöljyjen valmistuksen päästöt. Puunkorjuuyrittäjien käyttämiä voiteluaineita on useita ja niiden koostumus on työlästä selvittää. Tutkimuksen tavoitteiden kannalta ei ollut olennaista selvittää yksityiskohtaisesti käytettyjen voiteluaineiden eri lisäaineistuksien kasvihuonekaasupäästöjä, sillä näiden päästöihin puunkorjuuyrittäjät eivät voi itse vaikuttaa. Tämän tutkimuksen päästöinventaariossa voiteluaineiden päästöt oletettiin laskennan helpottamiseksi koostuvan täysin perusöljyistä. Taulukossa 5 on tässä tutkimuksessa käytetyt voiteluaineiden tason 3 päästökertoimet. Päästöjen laskennassa moottoriöljyjen oletettiin olevan synteettisiä PAO-öljyjä ja muiden voiteluaineiden oletettiin olevan mineraaliöljyjä. Teräketjuöljynä kaikki yritykset käyttivät kierrätysöljypohjaista teräketjuöljyä.



Taulukko 5. Voiteluaineiden epäsuorien päästöjen päästökertoimet.

Voiteluaine	Päästökerroin kgCO <sub>2</sub> e/kg	Alempi lämpöarvo MJ/kg	Oletus- tiheys t/m <sup>3</sup>	Päästökerroin (kgCO <sub>2</sub> e/l)	Lähde
Mineraaliöljy	1,05 <sup>[1]</sup>	40,2 <sup>[2]</sup>	0,9 <sup>[3]</sup>	0,914	Botas J. ym 2017 <sup>[1]</sup> , GHG Protocol 2017 <sup>[2]</sup> , Teboil 2019 <sup>[3]</sup>
Synteettinen öljy (PAO)	1,92 <sup>[6]</sup>	40,2 <sup>[2]</sup>	0,9 <sup>[3]</sup>	1,670	Girotti G. ym. 2011 <sup>[6]</sup> , GHG Protocol 2017 <sup>[2]</sup> , Teboil 2019 <sup>[3]</sup>
Teräketjuöljy (kierrätysöljy)	0,36 <sup>[1]</sup>	40,2 <sup>[2]</sup>	0,9 <sup>[3]</sup>	0,316	Botas J. ym 2017 <sup>[1]</sup> , GHG Protocol 2017 <sup>[2]</sup> , Teboil 2019 <sup>[3]</sup>
Voitelurasva	1,05 <sup>[1]</sup>	40,2 <sup>[2]</sup>	1,0 <sup>[4]</sup>	1,050	Botas J. ym 2017 <sup>[1]</sup> , GHG Protocol 2017 <sup>[2]</sup> , Teboil 2015 <sup>[4]</sup>

### 2.1.3 Muiden nesteiden päästökertoimet

Taulukossa 6 on esitetty AbBluen ja kantokäsittelyurean tason 1 päästökertoimet ja Taulukossa 7 AdBluen, kantokäsittelyaineen, jäähdytysnesteen ja merkintävärin tason 3 päästökertoimet. Kasvihuonekaasupäästöt litraa kohti on laskettu kertomalla kilogrammakoh-  
taiset päästöt oletustiheydellä.

Taulukko 6. Muiden nesteiden tason 1 päästökertoimet.

Neste	Päästökerroin (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Oletustiheys (t/m <sup>3</sup> )	Päästökerroin (kgCO <sub>2</sub> e/l)	Lähde
AdBlue	0,238 <sup>[1]</sup>	1,1 <sup>[2]</sup>	0,259	Prussi M., ym. 2020 <sup>[1]</sup> , Neste Oyj 2017 <sup>[2]</sup>
Kantokäsittelyaine (urea 32,5%)	1,250 <sup>[3]</sup>	1,1 <sup>[4]</sup>	1,360	Brentrup F. & Pallière C. 2008 <sup>[3]</sup> , Yara 2021 <sup>[4]</sup>

Taulukko 7. Muiden nesteiden tason 3 päästöt. AdBluen ja harmaaorvakkavalmisteen päästökertoimet sisältävät valmistuksen ja jakelun päästöt. Kantokäsittelyurean, jäähdytysnesteen ja merkintävärin päästökertoimet sisältävät vain valmistuksen päästöt.

Neste	Päästökerroin (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Oletustiheys (t/m <sup>3</sup> )	Päästökerroin (kgCO <sub>2</sub> e/l)	Lähde
AdBlue	0,264 <sup>[1]</sup>	1,1 <sup>[2]</sup>	0,288	Neste Oyj 2017 <sup>[2]</sup> , Prussi M., ym. 2020 <sup>[1]</sup>
Jäähdytysneste (etyleeniglykoli 50 %)	0,788 <sup>[3]</sup>	1,1 <sup>[4]</sup>	0,835	Plastic Europe 2019 <sup>[3]</sup> , Teboil 2014 <sup>[4]</sup>
Kantokäsittelyaine (urea 32,5 %)	0,296 <sup>[5]</sup>	1,1 <sup>[6]</sup>	0,323	Brentrup F. & Pallière C. 2008 <sup>[5]</sup> , Yara 2021 <sup>[6]</sup>
Kantokäsittelyaine (harmaaorvakka)	0,001 <sup>[7]</sup>	1,0	0,001	Rotstop 2010 <sup>[7]</sup>
Merkintäväri (etyleeniglykoli 45 %)	0,709 <sup>[3]</sup>	1,0 <sup>[8]</sup>	0,730	Plastic Europe 2019 <sup>[3]</sup> , EnviOn 2018 <sup>[8]</sup>

Kantokäsittelyainetta käytetään kasvukauden aikana havupuiden hakkuissa juurikäävän leviämisen torjumiseksi. Kantokäsittelyaine suihkutetaan hakkuukoneen terälaipasta puun kannolle kaadon yhteydessä. Käsittely estää tautia aiheuttavien sieni-itiöiden leviämistä tuoreelle katkaisupinnalle ja näin estää taudin leviämistä. Kantokäsittely on suoritettava hakkuissa toukokuun alun ja marraskuun lopun välillä (Laki metsätuhojen torjunnasta 2013). Käytössä kantokäsittelyaineen urea hajoaa ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi. Kantokäsittelyaineen käytöstä aiheutuu hiilidioksidipäästöjä ja dityppioksidipäästöjä. Dityppioksidipäästöjä syntyy ammoniakkin hajotessa maaperän mikrobitoiminnon myötä. Taulukko 7 sisältää kantoureaan tason 3 päästöjen osalta vain urean valmistuksen päästöt.

Dieselmootoreiden pakokaasuista typen oksideja poistava SCR-järjestelmä tarvitsee toimiakseen AdBlue-liuosta. AdBlue koostuu tislatus vedestä ja ureasta. Ureaan osuus liuoksesta on 32,5 prosenttia (Yara 2021). SCR-järjestelmä poistaa typenoksidit pakokaasuista, mutta järjestelmän käyttö aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä (Automotive Handbook 2014). Tason 3 päästökertoimet Taulukossa 7 kattavat AdBluen valmistuksesta ja jakelusta aiheutuvat päästöt.

Polttoaineiden, voiteluaineiden, kantokäsittelyaineen ja AdBluen lisäksi nesteiden osalta tason 3 päästöissä huomioitiin myös merkintäväri ja jäähdytysneste. Merkintävärin ja jäähdytysnesteen osalta huomioitiin vain niiden raaka-aineena käytetyn etyleeniglykolin valmistuksen päästöt. Etyleeniglykoli valmistetaan usein fossiilisista raaka-aineista,

mutta sitä on mahdollista valmistaa myös uusiutuvista raaka-aineista. Taulukossa 7 etyleeniglykolin päästökerroin on fossiilisesta raaka-aineesta tuotetun etyleeniglykolin päästökerroin.

#### 2.1.4 Kiinteistöjen ja jätteiden päästökertoimet

Kiinteistöjen osalta tässä tutkimuksessa huomioitiin sähköntuotannon ja lämmityksen kasvihuonekaasupäästöt. Muita päästöjä kuten rakentamisen päästöjä ei otettu huomioon. Ostetun sähkön tuotannosta aiheutuvat päästöt ovat tason 2 päästöjä. Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin vuonna 2021 oli 0,091 kgCO<sub>2</sub>/kWh (Fingrid 2022). Luku ei sisällä tuotantolaitosten ja infrastruktuurin elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjä (Fingrid 2022). Uusiutuvista lähteistä tai ydinvoimasta tuotetun sähkön oletetaan olevan hiilineutraalia. Lämmityksen kulutetun energian oletettiin olevan hiilineutraalia, jos lämmitys on toteutettu uusiutuvilla polttoaineilla.

Jätteiden käsittelyn osalta käytettiin Hiilifiksu järjestö- sivuston (2019) päästölaskurin päästökertoimia. Jätteiden käsittely luokitellaan tason 3 päästökseksi. Taulukossa 8 on jätteiden käsittelyn päästökertoimet kullekin jätelajille.

Taulukko 8. Jätteiden käsittelyn päästökertoimet.

Jätteet (taso 3)	Päästökerroin (kgCO <sub>2e</sub> /kg)	Lähde
Sekajäte	0,41	Hiilifiksu järjestö 2019
Biojäte	0,06	Hiilifiksu järjestö 2019
Energiajäte	0,53	Hiilifiksu järjestö 2019
Kartonki ja pahvi	0,07	Hiilifiksu järjestö 2019
Lasi	0,57	Hiilifiksu järjestö 2019
Metalli	0,13	Hiilifiksu järjestö 2019
Muovi	0,07	Hiilifiksu järjestö 2019
Paperi	1,05	Hiilifiksu järjestö 2019
Sähkölaitteet	0,72	Hiilifiksu järjestö 2019
Vaarallinen jäte	1,41	Hiilifiksu järjestö 2019

## 2.2 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysi toteutettiin lähettämällä neljään tutkimukseen osallistuneeseen yritykseen taulukot (Liite 1), joihin yritykset täyttivät hiilijalanjälkilaskennassa tarvittavat tiedot. Taulukoihin oli listattuna kaikki päästölähteet, jotka tässä tutkimuksessa otettiin huomioon. Lisäksi yritykset täyttivät taulukoihin yritysten ja koneiden välistä vertailua helpottavia tietoja, joita olivat tuotostiedot, koneiden käyttötunnit, siirtomatkat, työmatkat, kiinteistöjen koko ja kiinteistön kuvaus.

Taulukot sisälsivät vinkkejä tietolähteistä ja ohjeet konekohtaisen kulutuksen arvioinnista. Ensisijaisesti pyrittiin selvittämään kulutustiedot mahdollisimman tarkasti yrityksen tasolla. Kokonaiskulutukset jaettiin konekohtaisesti yrittäjän arvioiden tai aikaisempien kulutustutkimusten pohjalta.

### 2.2.1 Koneiden polttoaineenkulutus ja tuotostiedot

Puunkorjuun tuotostiedot ja polttoaineenkulutus kerättiin Koneyrittäjien Datapankista, koneiden omista tietojärjestelmistä tai muusta yrityksen käytössä olevasta seurantajärjestelmästä. Datapankki on puunkorjuuyrittäjille suunnattu palvelu, joka kerää metsäkoneiden tuotostietoja metsäkoneen tuottamista StanForD ja StanForD2010 -standardien mukaisista mom-tiedostoista. Kaivinkoneiden tuottavuustietoja ei kerätty.

Kerättyjä tuotostietoja olivat hakkuumäärä ( $m^3$ ) hakkuutavoittain, hakkuun keskijäreys ( $dm^3/runko$ ), lähikuljetuksen määrä ( $m^3$ ), keskimääräinen lähikuljetuksen ajomatka (m) ja tehtyjen työmaiden määrä (kpl). Hakkuutavat jaoteltiin päätehakkuuseen, harvennus-hakkuuseen ja muihin hakkuisiin.

Tiedonkeruussa ja saatavuudessa oli muutama poikkeus. Yrityksessä B osa yhden hakkuukoneen hakkuumäärästä mitattiin vaa'alla. Yrityksestä C ei kerätty tietoja tehdyistä työmaista. Ajomäärä ja ajomatka olivat yrityksessä A yrittäjän omia arvioita, sillä yrityksessä A kuormatraktorin tuotostietoja ei seurattu. Kuormatraktorilla ajettiin vain yrityksen omalla hakkuukoneella tehtyjä puita ja hakkuutähteitä. Muutamista piha- ja tonttityömaista lähikuljetuksen on suorittanut ulkopuolinen yrittäjä. Epävarmuus ajatun

puunmäärässä yrityksessä A on siis vain muutamissa sadoissa kuutiometreissä. Polttoaineenkulutuksesta pyrittiin saamaan tieto kulutuksesta hakkuutavoittain, mutta yrityksistä A ja C tätä lukua ei saatu.

Lukuun ottamatta yrityksen A kuormatraktoria, kaikkien metsäkoneiden polttoaineenkulutus oli metsäkoneiden oman tietokoneen ilmoittama polttoaineenkulutus. Yritykset A ja B käyttivät hakkuukoneiden kulutuslukemana hakkuukoneen tietokoneelle tallentuneita lukemia. Yritykset C ja D käyttivät Datapankkiin tallentuneita lukemia. Yritys D lisäsi kaikille hakkuukoneille arvion polttoaineenkulutuksesta, joka ei tallentunut Datapankkiin. Yrityksessä A kuormatraktorin polttoaineenkulutus perustuu yrittäjän arvioon tuntikulutuksesta ja käyttötunneista. Yritysten C ja D kaivinkoneiden ja kuormatraktoreiden polttoaineen kokonaiskulutus on laskettu kertomalla tiedetty tuntikulutus käyttötunneilla.

### ***2.2.2 Muiden päivittäin kuluvien aineiden ja voitelurasvan kulutus***

Polttoaineen lisäksi puunkorjuussa tarvitaan päivittäin kantokäsittelyainetta, teräketjuöljyä, AdBlueta, merkintäväriä ja voitelurasvaa. Tässä luvussa kerrotaan, kuinka näiden kulutus on eri yrityksissä selvitetty ja kuinka näiden eri aineiden kokonaiskulutus yrityksissä on jaettu konekohtaiseksi kulutukseksi.

Yksikään yritys ei käyttänyt kantokäsittelyaineena harmaaoravakkasienipohjaista valmistetta, vaan kaikki yritykset käyttivät ureapohjaista kantokäsittelyainetta. Kantokäsittelyaineen kokonaiskulutus oli kaikissa yrityksissä tiedossa. Konekohtainen kulutuksen seuranta oli vain yrityksessä A, sillä yrityksessä oli vain yksi hakkuukone. Yritys B jakoi kokonaiskulutuksen konekohtaiseksi kulutukseksi oman arvionsa mukaisesti. Yrityksessä D kantokäsittelyaineen kulutus jaettiin kantokäsittelyaikana hakattujen havupuukuutiometriä mukaisesti. Yrityksen C konekohtainen kulutus selvitettiin käyttäen Jylhän ym. (2019) muodostamaa regressiokaavaa kantokäsittelyaineen kuutiometrikohtaisesta kulutuksesta rungon keskitilavuuden funktiona (Kaava 2).

(2)

$$Y = 0,259 + \frac{93,235}{X}$$

Y = kantokäsittelyaineen kulutus hakattua havupuukuutiometriä kohden (l/m<sup>3</sup>)

$X$  = hakattujen runkojen keskitilavuus ( $\text{dm}^3$ )

Kaavan selitysosuus  $R^2$  oli Jylhän ym. (2019) tutkimuksessa 0,782. Käytetty laskentamenetelmä ottaa hakkuumäärän lisäksi huomioon runkojen keskitilavuuden. Runkojen keskitilavuus on yksi merkittävä kantokäsittelyaineen kulutuksen selittäjä (Kärhä ym. 2018).

Kaavalla 2 laskettiin konekohtainen kantokäsittelyaineen kulutus hakattua kuutiometriä kohden. Kuutiometrikohtaiset kulutukset kerrottiin hakkuumäärillä. Konekohtaiset kulutukset laskettiin yhteen ja saatiin laskennallinen kokonaiskulutus. Näiden lukujen avulla laskettiin kunkin koneen lasketun kulutuksen osuus lasketusta kokonaiskulutuksesta. Lasketulla suhdeluvulla kerrottiin todellinen yrittäjän ilmoittama kantokäsittelyaineen kokonaiskulutus. Näin saatiin jaettua kantokäsittelyaineen kulutus konekohtaisesti. Yrittäjän ilmoittama hakkuumäärä koskee koko vuotta ja kaikkia puulajeja, joten hakkuumäärien pohjalta lasketut konekohtaiset kantokäsittelyaineen kulutukset ovat karkeita arvioita.

Kaikki tutkimukseen osallistuneet yritykset käyttivät kierrätysöljystä valmistettua teräketjuöljyä. Teräketjuöljyn ja merkintävärin kokonaiskulutus jaettiin yrityksissä B ja C konekohtaisesti hakkuumäärien mukaisesti. Yrityksessä D koneiden teräketjuöljyn kulutukset olivat koneenkuljettajien arvioita. Yrityksen D käyttämää merkintäväriä ei otettu huomioon, sillä merkintävärin koostumusta ei saatu selville. Yrityksessä A oli vain yksi hakkuukone, joten kulutusta ei tarvinnut jakaa konekohtaisesti.

Hakkuumäärä ei yksistään selitä teräketjuöljyn ja merkintävärin kulutusta, mutta tämän työn kannalta sen oletetaan tuovan riittävän tarkan tuloksen. Teräketjuöljyn kulutukseen vaikuttaa myös poistuvan puuston koko, käytetty öljyalaatu ja koneen säädöt. Merkintävärin kulutukseen vaikuttaa myös puun koko. Merkintäväriä käytetään tukkilaatujen ja lahoppokkyjen erottamiseksi. Pienipuustoisella kohteilla, joista ei saada tukkeja, ei merkintäväriä juuri kulu.

Yritystä A lukuun ottamatta AdBlue:n kulutusta ei seurattu missään yrityksessä konekohtaisesti. Yrityksessä B AdBlue:n kokonaiskulutus on jaettu konekohtaisesti yrittäjän itse arvioimana. Yrittäjän B arvion taustalla on konekohtainen polttoaineenkulutus ja konekohtainen tuntemus ja käsitys AdBluen kulutuksesta. Yrityksessä C Adblue:n kokonaiskulutus jaettiin konekohtaisesti polttoaineenkulutuksen mukaan. Yrityksessä D

AdBlue:n kulutus laskettiin polttoaineenkulutuksesta. AdBlue:n kulutus suhteessa polttoaineen kulutukseen on noin 5 prosenttia (Automotive Handbook 2014).

Voitelurasvan kulutus oli kaikissa yrityksissä koneiden kuljettajien ja yrittäjien arvio vuotuisesta kulutuksesta. Yrityksessä D oli hakkuukoneissa 2, 3, 6 ja 7 käytössä teräketjun rasvavoitelu, joten näissä koneissa rasvan kulutus oli huomattavasti suurempaa.

### ***2.2.3 Voiteluöljyjen ja jäähdytysnesteen kulutus***

Tässä työssä huoltojen osa-alueen päästöiksi lasketaan hydraulikkaöljyn, vaihteistoöljyn, moottoriöljyn ja jäähdytysnesteen päästöt. Huollon materiaalien kulutus saatiin kaikissa yrityksissä kertomalla huoltokerrat huoltojen täyttömäärillä ja arvioimalla lisästarve huoltojen välillä.

Tietoja voiteluaineiden laaduista ja koostumuksista ei kerätty, vaan moottoriöljyjen oletettiin olevan synteettisiä PAO-öljyjä ja muiden voiteluaineiden oletettiin olevan mineraaliöljyjä. Jäähdytysnesteen oletettiin olevan kaikissa yrityksissä olevan fossiilisista raaka-aineista valmistettua etyleeniglykolipohjaista jäähdytysnestettä.

### ***2.2.4 Koneiden siirtojen inventaarioanalyysi***

Koneiden siirroista otettiin huomioon kuljetusautojen dieselöljyn kulutus ja AdBluen kulutus. Yrityksen A kuljetusautossa ei ollut käytössä pakokaasujenpuhdistusjärjestelmää, joka vaatii AdBlue:n käyttöä. Kaikki yritykset käyttivät koneiden siirtoihin omaa kuljetusautoa. Yritykset tekivät koneiden siirtoja myös ulkopuolisille, mutta näitä siirtoja ei huomioitu tässä tutkimuksessa.

Koneiden siirtojen polttoaineenkulutus laskettiin yrityksissä B, C ja D kuljetusauton ilmoittaman keskikulutuksen ja ajopiirturista tai kalustonhallintajärjestelmästä saadun ajo-  
matkan avulla. Yrityksen A kuljetusauto ei seuraa polttoaineenkulutusta, joten yrityksessä A polttoaineenkulutus arvioitiin. Yritys A arvio kuljetusauton kulutuksen olevan lastattuna 45 l/100 km. Tyhjänä ajolle käytettiin lukua 24,2 l/100 km, joka on VTT:n

Lipasto palvelun antama lukema EURO III-luokan maansiirtoautolle maantieajossa (VTT 2017). Yrittäjä A arvioi tyhjänä ajon osuuden olevan noin puolet kokonaisajomatkasta.

Yrityksissä B ja C kuljetusautojen AdBlue:n kulutuksen osuus yrityksen AdBlue:n kokonaiskulutuksesta on laskettu polttoaineenkulutukseen perustuen. Yrityksessä D siirtoauton AdBlue:n kulutuksen litroissa on arvioitu olevan 6 prosenttia polttoaineenkulutuksesta.

Missään yrityksessä ei suoraan seurattu koneiden siirtokilometrejä konekohtaisesti. Koneiden siirroista aiheutuneet päästöt jaettiin yrityksissä A ja B koneilla tehtyjen työmaiden määrän mukaisesti. Yrityksestä C ei saatu tehtyjen työmaiden määrää selville, joten yrityksen C kohdalla kuljetusten päästöt jaettiin koneiden käyttötuntien mukaan. Yrityksessä D oli tiedossa koneiden siirtokerrat, joten siirtojen päästöt jaettiin konekohtaisesti siirtokertojen mukaisesti.

### ***2.2.5 Työmatkojen inventaarioanalyysi***

Työmatkojen osalta hiilijalanjätkiselvityksessä huomioitiin työntekijöiden käytössä olevien autojen polttoaineenkulutus ja yritysten A ja D osalta myös AdBlue:n kulutus. Missään yrityksessä ei suoraan seurattu työmatkojen polttoaineenkulutusta. Polttoaineenkulutus laskettiin kaikissa yrityksissä ajettujen työmatkojen ja autokohtaisesti arvioidun polttoaineenkulutuksen avulla.

Työmatkojen pituus ja määrä saatiin ajopäiväkirjoista. Työmatkaliikenteen polttoaineenkulutuksen laskennassa käytettiin joko kuljettajien sekä yrittäjien arvioita autojen kulutuksesta tai Spritmonitorin lukuja. Spritmonitor on ilmainen palvelu, johon käyttäjät liisäävät oman autonsa tankkaustiedot. Palveluun täytettäviä tietoja ovat matkamittarilukema, tankattu polttoainemäärä, polttoainelaatu, tankkausaseman sijainti ja ajo-olosuhteet (Spritmonitor 2022). Spritmonitor-sivuston hakuehdoissa käytettiin ehtoa, jossa yksittäisen käyttäjän tulee olla seurannut kulutusta vähintään 5 000 km matkan ajan.

Usein työntekijöiden omilla autoilla ajamia työmatkoja ei luokitella yrityksen suoriksi päästöiksi, mutta tässä ne luokitellaan yrityksen suoriksi päästöiksi, sillä puunkorjuualalla on usein tapana, että työntekijät kulkevat työantajan tarjoamalla autolla. Yrityksen



hallinnassa olevan kaluston päästöt luetaan aina yrityksen suoriksi päästöiksi. Vertailun mahdollistamiseksi tässä työssä ei eroteltu työmatkojen päästöjä sen mukaan, että ajavatko työntekijät omilla vai yrityksen autoilla. Metsäkonealan työehtosopimus velvoittaa työntantajaa järjestämään kulkemisen työmaille.

Yrityksissä A, B ja C työmatkoista aiheutuneet päästöt kohdistettiin kullekin koneelle koneiden käyttötuntien mukaan. Yrityksessä D hakkuukoneilla ja kaivinkoneilla oli vaikiokuljettajat, jotka käyttivät työmatkoihin aina samaa autoa, joten kunkin hakkuukoneen ja kaivinkoneen työmatkojen päästöt saatiin tarkasti konekohtaisesti. Kuormatraktoreille työmatkojen päästöt jaettiin koneiden käyttötuntien mukaisesti.

Yritykset C ja D erittelivät työnjohdon matkat erikseen. Työnjohdon työmatkat jaettiin myös konekohtaisesti koneiden käyttötuntien mukaan.

### ***2.2.6 Kiinteistöjen inventaarioanalyysi***

Kiinteistöjen osalta tässä hiilijalanjälkiselvityksessä otettiin huomioon sähkönkulutus, lämmitys ja jätteiden käsittelystä aiheutuneet päästöt. Nämä päästöt jaettiin konekohtaisesti koneiden käyttötuntien mukaan. Jätteiden käsittelyn päästöt olivat yrityksille epäsuoria tason 3 päästöjä. Biopolttoaineilla kuten puuhakkeella toteutetun lämmityksen päästöjä ei huomioitu.

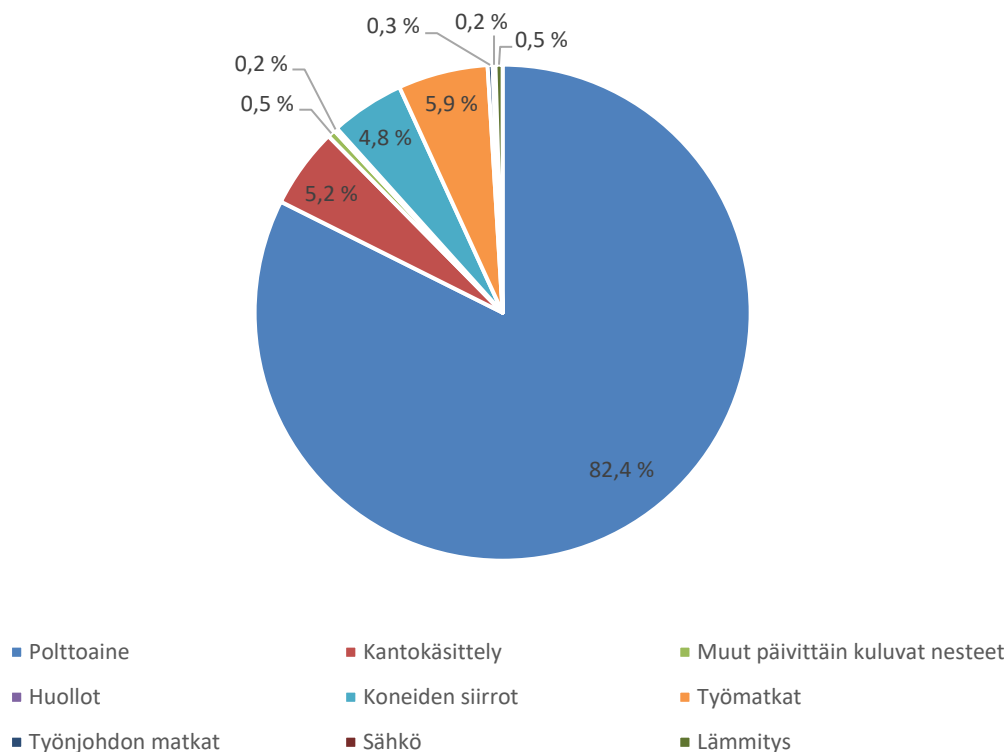
Eri jätteiden käsittelyn päästökertoimina käytettiin Hiilifiksi järjestö -sivuston (2019) laskurissa käytettyjä kertoimia. Vuodessa syntyneen jätteen määrä arvioitiin astiakoon ja tyhjennyskertojen avulla käyttäen Helsingin seudun ympäristöpalvelujen (2022) kertoimia eri jättejakeiden painoille.

### 3 TULOKSET

Luvussa 3.1 tarkastellaan päästöluokittain koko aineiston päästöjen jakaantumista eri osa-alueisiin. Luvuissa 3.2–3.4 tarkastellaan konekohtaisia päästöjä. Luvussa 3.5 tarkastellaan erikseen koneiden siirtojen ja työmatkojen suoria päästöjä. Luvuissa 3.2–3.5 käsitellään vain tasojen 1 ja 2 päästöjä eli suoria päästöjä ja ostetun energian valmistuksen päästöjä.

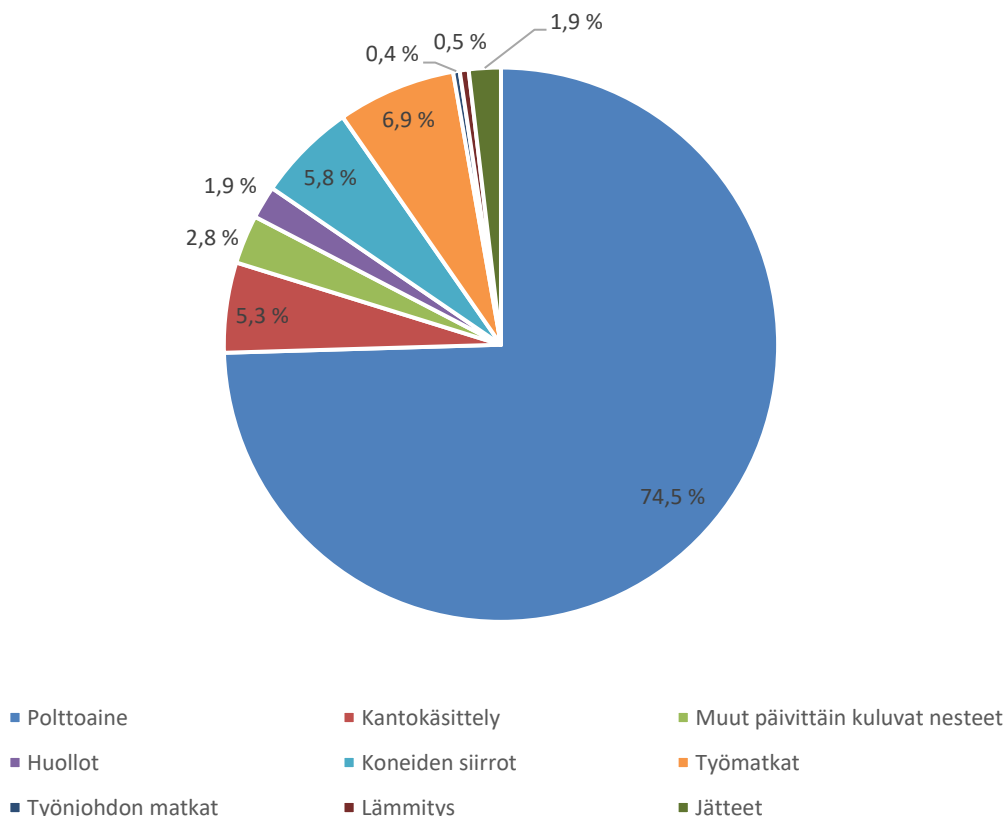
#### 3.1 Koko aineiston päästöjen jakaantuminen

Koko aineiston tasojen 1 ja 2 päästöistä 82,4 prosenttia aiheutui koneiden polttoainekulutuksesta (Kuva 1). Toiseksi suurin osa-alue oli työmatkojen päästöt. Muita merkittäviä suorien päästöjen lähteitä olivat kantokäsittelyaine ja koneiden siirrot. Huoltojen, työnjohdon matkojen ja sähkön osuudet jäivät alle yhden prosentin. Yrityksissä ei ollut muita tason 2 päästöjä kuin ostetun sähkön päästöt.



Kuva 1. Eri osa-alueiden osuus kaikkien yritysten yhteenlasketuista tason 1 ja 2 päästöistä.

Epäsuorista tason 3 päästöistä 74,5 prosenttia aiheutui koneiden polttoaineiden valmistuksesta (Kuva 2). Työmatkojen osuus oli 6,9 prosenttia ja koneiden siirtojen osuus oli 5,8 prosenttia epäsuorista päästöistä. Työmatkojen ja koneiden siirtojen osa-alue kattoi polttoaineen ja AdBluen valmistuksen päästöt. Kantokäsittelyaineessa käytetyn urean valmistuksen päästöt aiheuttivat 5,3 prosenttia epäsuorista päästöistä. Muiden päivittäin kuluvien nesteiden osuus oli 2,8 prosenttia. Nämä sisälsivät voitelurasvan, teräketjuöljyn, koneiden kuluttaman AdBluen ja merkintävärissä käytetyn etyleeniglykolin valmistuksen päästöt. Huolloissa käytettyjen voiteluaineiden valmistuksen ja jäähdytysnesteen sisältämän etyleeniglykolin valmistuksen päästöt aiheuttivat alle kaksi prosenttia epäsuorista päästöistä. Myös jätteiden käsittelyn osuus oli alle kaksi prosenttia. Voiteluaineiden valmistuksen päästöt olivat kolme prosenttia epäsuorista päästöistä. Voiteluaineista teräketjuöljy ja voitelurasva on sisällytetty muiden päivittäin kuluvien nesteiden osa-alueeseen ja moottoriöljyt, vaihteistoöljyt ja hydraulikkaöljyt on sisällytetty huoltojen osa-alueeseen.

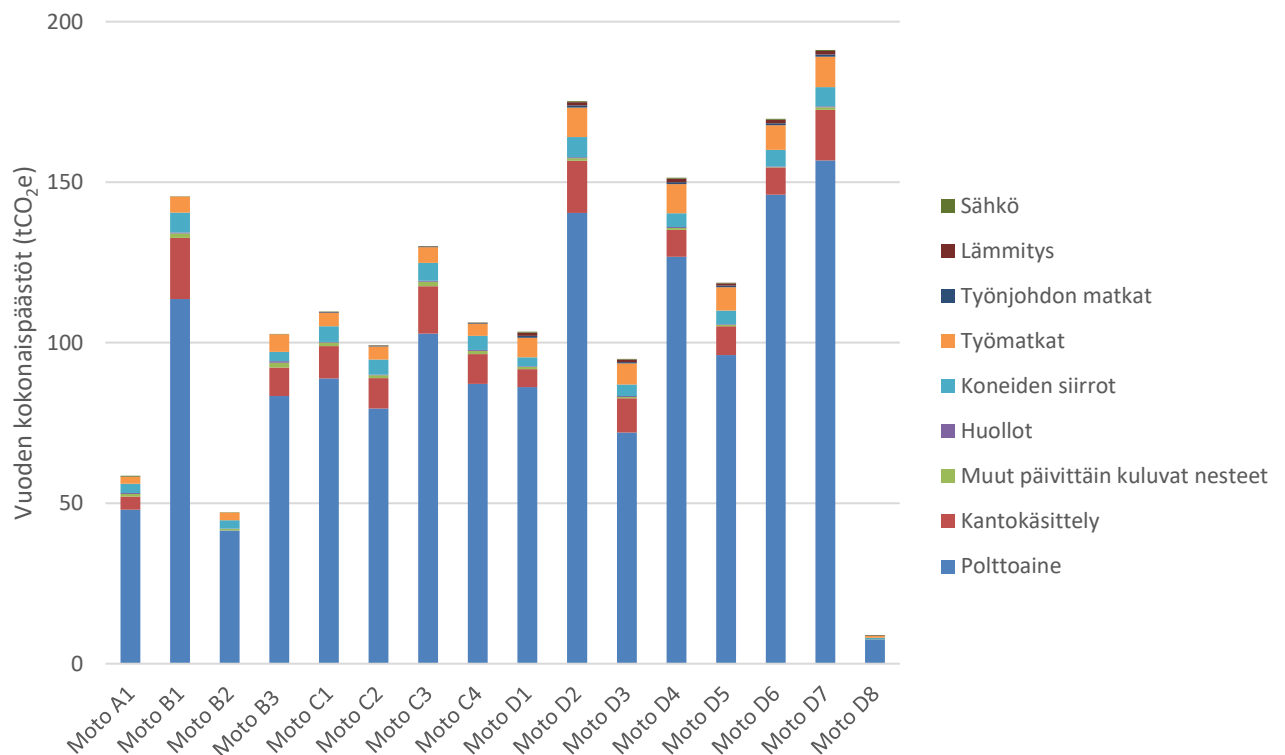


Kuva 2. Eri osa-alueiden osuus tutkimukseen osallistuneiden yritysten yhteenlasketuista tason 3 päästöistä.

Tason 3 päästöt kuutiometriä kohden olivat hakkuussa 0,68 kgCO<sub>2</sub>e ja lähikuljetuksessa 0,64 kgCO<sub>2</sub>e. Kaivinkoneilla epäsuorat päästöt käyttötuntia kohden olivat 9,61 kgCO<sub>2</sub>e.

### 3.2 Hakkuukoneiden kasvihuonekaasupäästöt

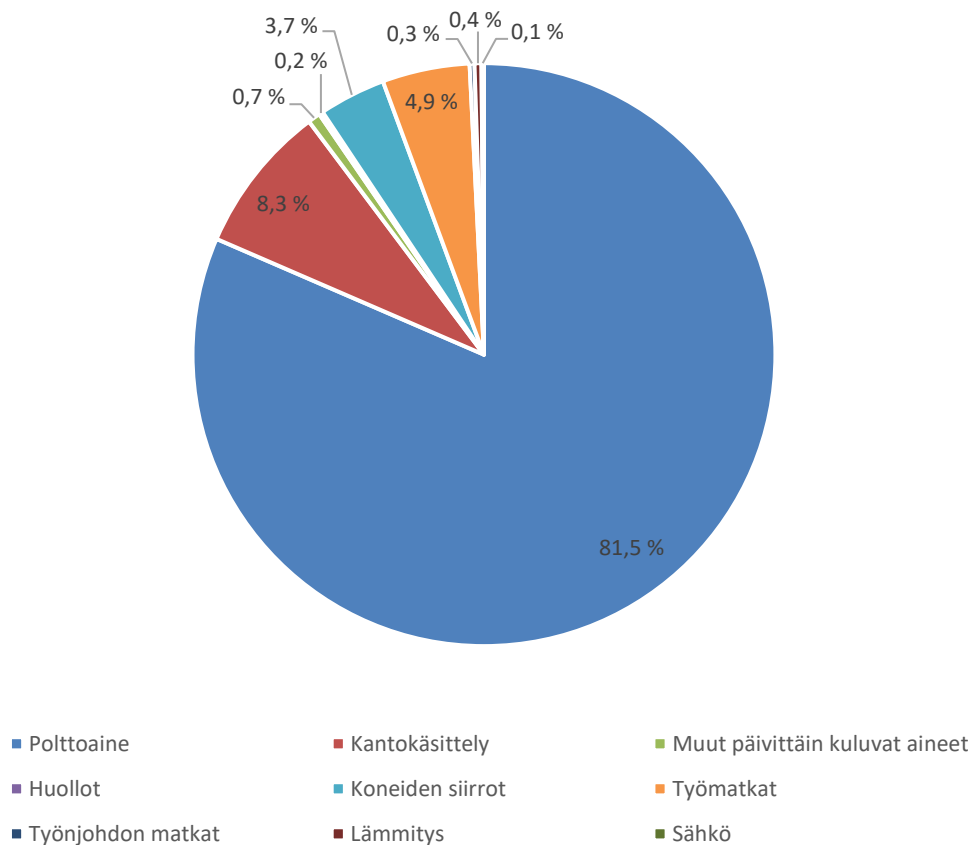
Hakkuukoneista yksi oli yrityksessä A, kolme yrityksessä B, neljä yrityksessä C ja kahdeksan yrityksessä D. Hakkuukoneiden kokonaispäästöissä oli huomattavaa vaihtelua, mutta eri päästölähteiden osuuksissa kokonaispäästöistä ei ollut suurta vaihtelua. Koneiden, joiden tiedot saatiin koko vuodelta 2021, kokonaispäästöt vaihtelivat 58,5–191 tCO<sub>2</sub>e (Kuva 3). Hakkuukoneiden B2 ja D8 tiedot koskivat vain osaa vuotta, joten näiden koneiden kokonaispäästöt olivat muita pienemmät. Näillä kummallakaan koneella ei ollut lainkaan kantokäsittelyaineen käytöstä aiheutuneita päästöjä.



Kuva 3. Hakkuukoneiden koko vuoden 2021 konekohtaiset tasojen 1 ja 2 päästöt.

Koko aineiston hakkuukoneiden päästöt jakaantuivat osa-alueittain kuvan 4 mukaisesti. Selkeästi suurin osa hakkuukoneiden päästöistä aiheutui koneiden kuluttamasta polttoaineesta. Koneiden polttoaineen osuus vaihteli 76 ja 88 prosentin välillä. Polttoaineen osuus kaikkien hakkuukoneiden päästöjen summasta oli 81,5 prosenttia. Toiseksi eniten

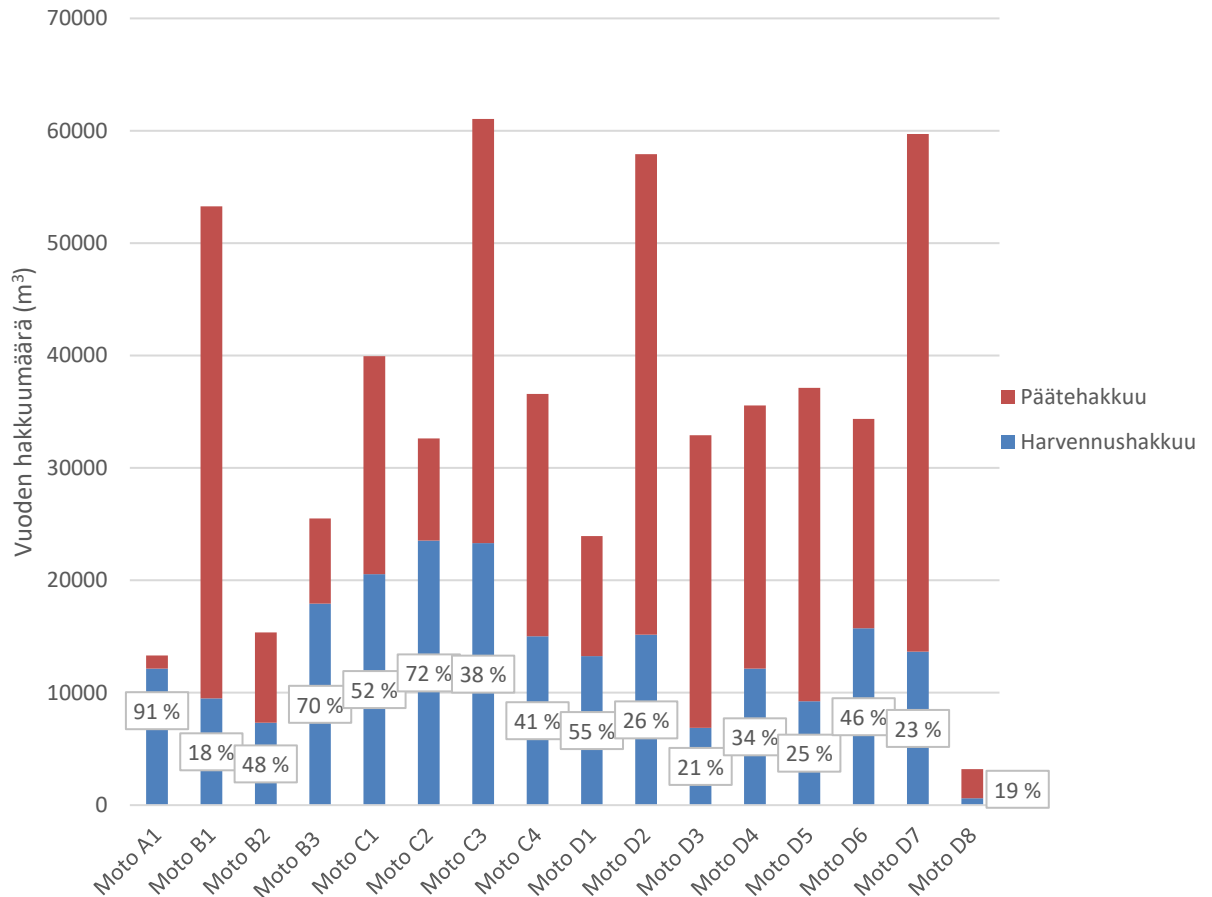
päästöjä aiheutti kantokäsittelyaineen käyttö, jonka osuus päästöistä oli 8,3 prosenttia. Kantokäsittelyainetta käyttäneissä koneissa kantokäsittelyaineen osuus kokonaispäästöistä vaihteli viidestä kolmeentoista prosenttiin. Kantokäsittelyainetta käyttäneiden koneiden kantokäsittelyaineen osuuden keskiarvo oli yhdeksän prosenttia kokonaispäästöistä. Kolmanneksi merkittävin päästölähde olivat työmatkat, joiden osuus oli 4,9 prosenttia. Työmatkojen osuus vaihteli neljästä seitsemään prosenttiin kokonaispäästöistä. Vielä yksi merkittävä päästölähde oli koneiden siirrot, jotka aiheuttivat 3,7 prosenttia kokonaispäästöistä. Koneiden siirtojen osuus vaihteli kolmesta kuuteen prosenttiin.



Kuva 4. Eri osa-alueiden suhteellinen osuus hakkuukoneiden tasojen 1 ja 2 päästöistä.

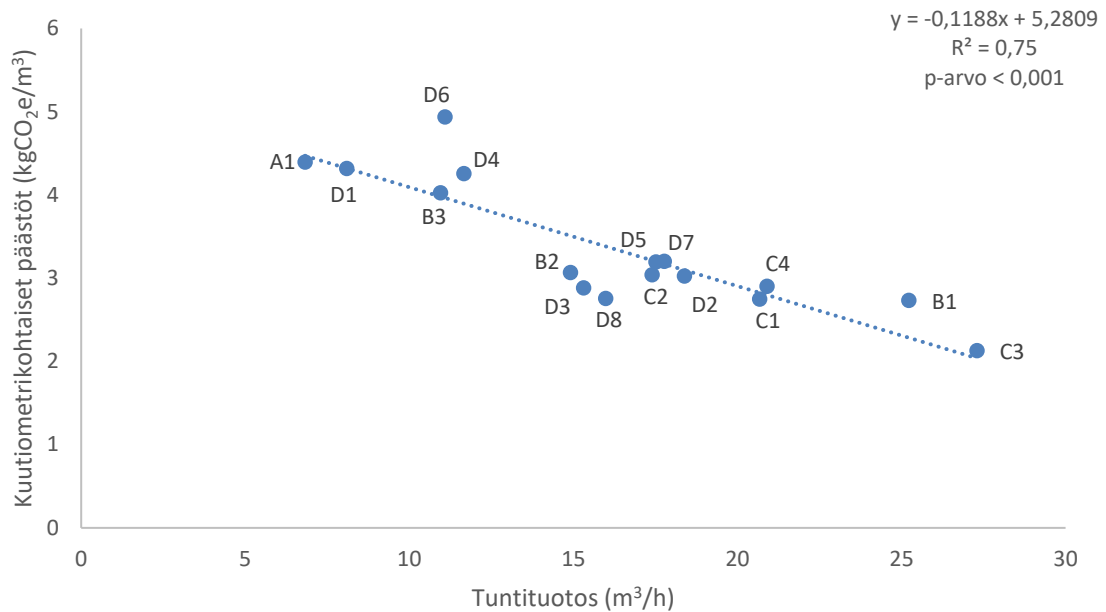
Koneiden hakkuumäärissä oli suuria eroja. Koko vuoden 2021 käytössä olleilla koneilla hakkuumäärät olivat 13 300 ja 61 000 m<sup>3</sup> välillä (Kuva 5). Aineiston kokonaishakkuumäärä oli 526 458 m<sup>3</sup>, josta 38 prosenttia oli harvennuksilta ja 62 prosenttia päätehakkuilta. Viidellä koneella yli puolet hakkuumäärästä kertyi harvennuksilta. Nämä koneet olivat hakkuukoneet A1, B3, C1, C2 ja D1. Harvennuspainotteisia koneita olivat myös

koneet B2, D6 ja C4. Vaikka näiden koneiden hakkuukertymästä suurin osa kertyi päätehakkuista, voidaan niiden olettaa olleen suurimman osan käyttöajasta harvennuksilla, sillä harvennusten tuntituotos on päätehakkuuta pienempi.



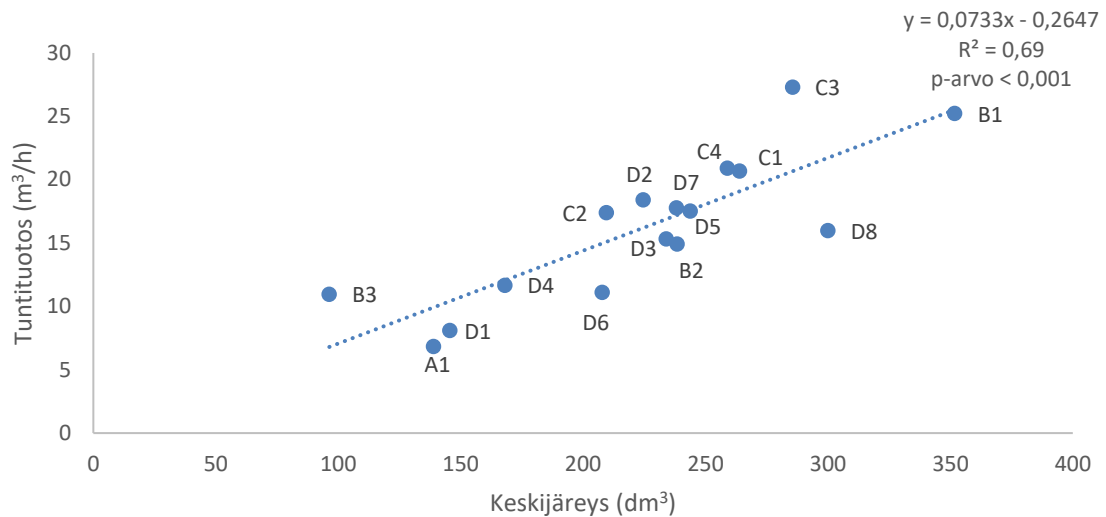
Kuva 5. Hakkuukoneiden vuoden 2021 hakkuumäärät ja harvennusten osuus hakkuumäärästä.

Korkeaan tuntituotoksen saavuttaneiden koneiden päästöt hakattua kuutiometriä kohden olivat matalammat kuin heikompaan tuntituotoksen koneilla (Kuva 6). Hakattua kuutiometriä kohden matalimmat päästöt  $2,13 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  olivat hakkuukoneella C3 ja korkeimmat päästöt  $4,94 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  olivat hakkuukoneella D6. Hakkuumäärillä painotettu kuutiometrikohtaisten päästöjen keskiarvo oli  $3,22 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ . Koneiden tuntituotokset vaihtelivat välillä  $6,8\text{--}27,3 \text{ m}^3/\text{h}$ . Tuntituotokset on laskettu käyttötuntia kohden. Hakkuumäärien mukaan painotettu tuntituotoksen keskiarvo oli  $15,9 \text{ m}^3/\text{h}$ .



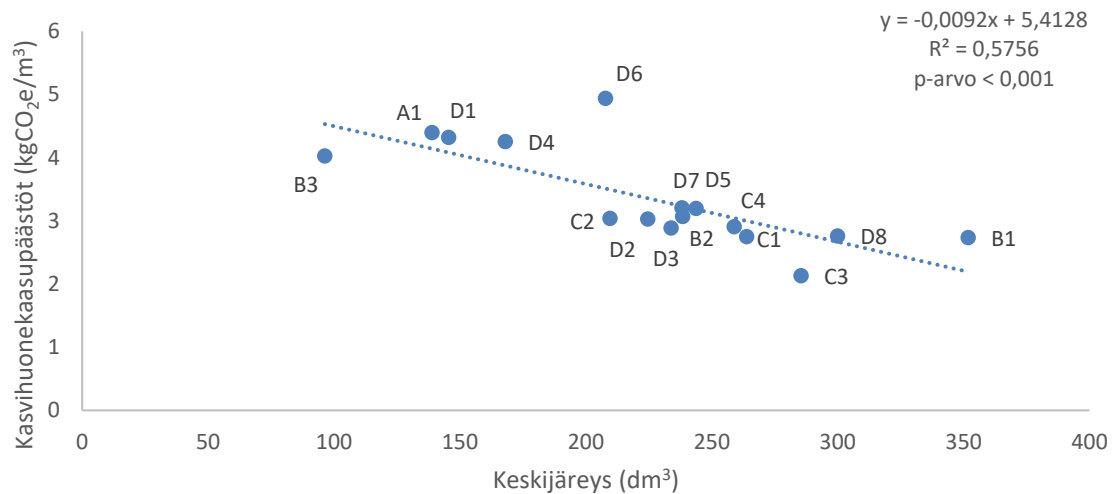
Kuva 6. Hakkuun tuntituotoksen vaikutus hakkuun kuutiometrikohtaisiin päästöihin. Regressiosuoran yhtälössä y on kuutiokohtaiset päästöt (kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>) ja x on tuntituotos (m<sup>3</sup>/h). Regressiomallin selitysaste R<sup>2</sup> on 0,752. Mallin muuttujien välinen yhteys on merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on alle 0,05.

Koska tuntituotoksen määrä vaikutti kuutiometrikohtaisiin päästöihin, tarkasteltiin tuottavuuteen vaikuttavien tekijöiden vaikutusta päästöihin. Hakkuun tuntituotokseen vaikuttaa useat eri tekijät, mutta merkittävimmät ovat hakkuutapa ja hakattujen runkojen keskijäreys. Kuljettajan osuus tuottavuuteen on myös huomattava, mutta tämän tutkimuksen aineistolla kuljettajan vaikutusta ei voitu arvioida. Keskijäreiden kasvun vaikutus tuottavuuden kasvuun on havaittavissa kuvasta 7. Aineistossa pätehakkuun runkojen keskijäreys oli 338 dm<sup>3</sup> ja harvennushakkuiden runkojen keskijäreys oli 148 dm<sup>3</sup>.



Kuva 7. Hakkuun keskijäreiden vaikutus hakkuun tuntituotokseen. Regressiosuoran yhtälössä y on hakkuun tuntituotos (m³/h) ja x on hakkuun keskijäreys (m³/h). Regressiomallin selitysaste R² on 0,692 Mallin muuttujien välinen yhteys on merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on selvästi alle 0,05.

Koska hakkuussa puuston järeys on yksi merkittävimmistä hakkuun tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä, on tutkimuksen aineistossa myös keskijäreiden ja kuutiometrikoh- taisten päästöjen välinen yhteys selvästi havaittavissa (Kuva 8).



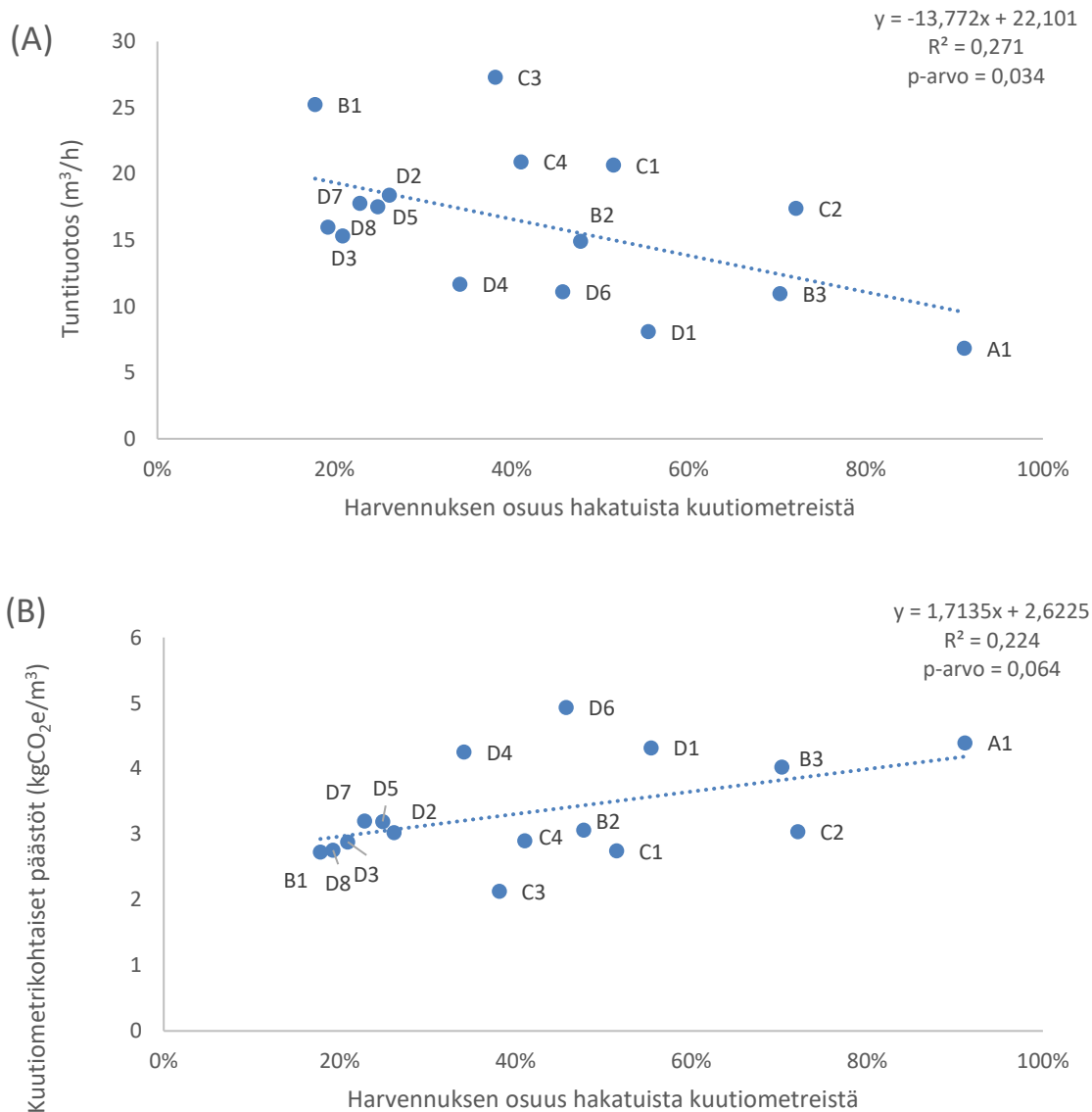
Kuva 8. Hakkuun keskijäreiden vaikutus hakkuun kuutiometrikohtaisiin päästöihin. Regressiosuoran yhtälössä y on kuutiokohtaiset päästöt (kgCO₂e/m³) ja x on hakkuun keskijäreys (m³/h). Regressiomallin selitysaste R² on 0,576. Mallin muuttujien välinen yhteys on merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on alle 0,05.

Harvennusosuuden ja tuntituotoksen välinen yhteys (Kuva 9A) ei ole niin ilmiselvä kuin keskijäreiden yhteys tuntituotokseen (Kuva 7). Yksittäisiä yrityksiä tarkastellessa on



kuitenkin huomattavissa, että koneiden harvennusosuuden kasvaessa tuntituotos laski. Harvennusosuuden yhteys kuutiometrikohtaisiin päästöihin (Kuva 9B) ei ole yhtä selkeä kuin harvennusosuuden yhteys kuutiometrikohtaisiin päästöihin. Selkeästi on kuitenkin havaittavissa, että kuudella eniten päätehakkuita tehneillä koneilla kuutiometrikohtaiset päästöt olivat miltei samat. Harvennusosuuden kasvaessa kuutiometrikohtaisissa päästöissä oli enemmän hajontaa.

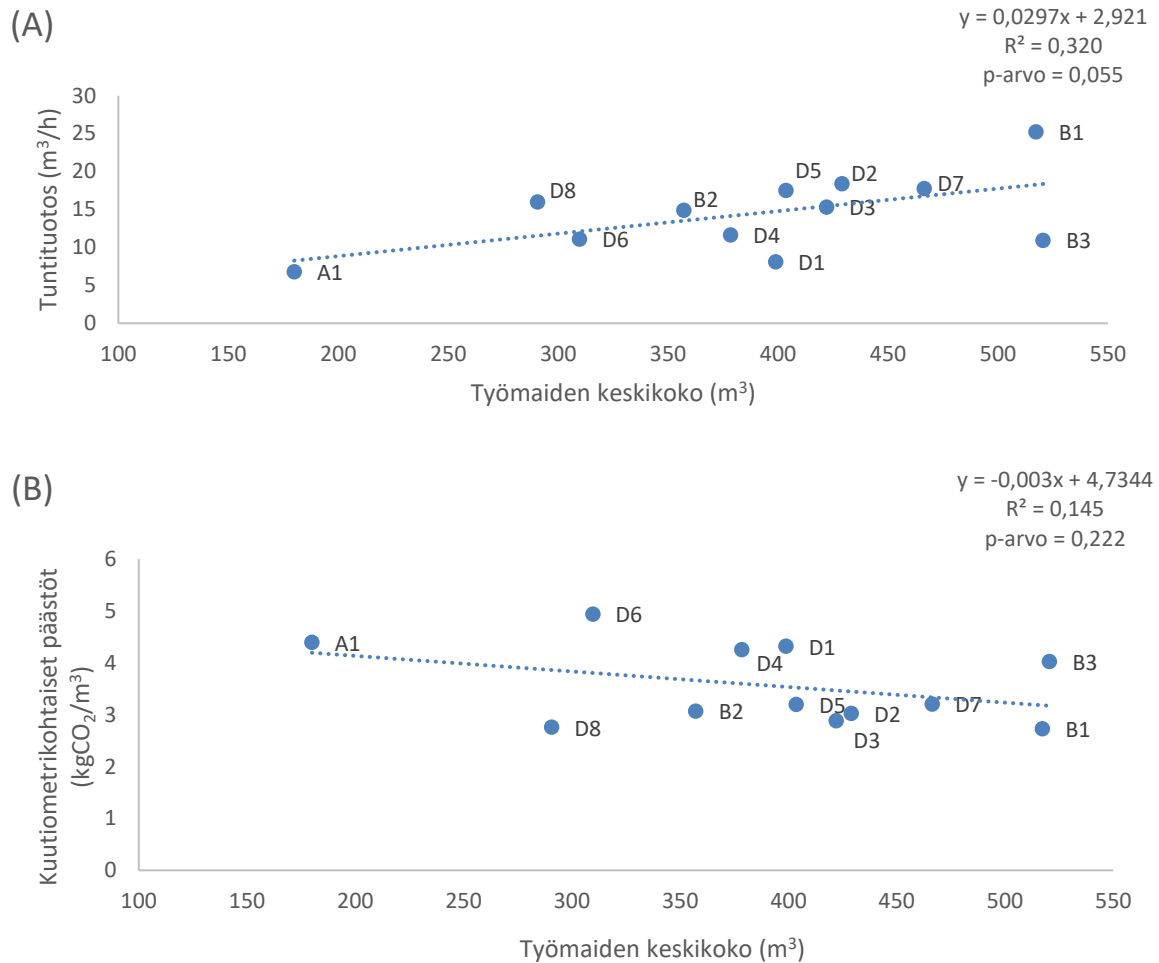
Kuuden eniten päätehakkuita tehneiden koneiden tuntituotoksessa oli enemmän hajontaa verrattuna näiden koneiden kuutiometrikohtaisiin päästöihin. Koneen B1 tuntituotos oli huomattavasti korkeampi, mutta päästöt olivat lähes samaa tasoa muiden päätehakkukoneiden kanssa. Korkea tuntituotos ei siis automaattisesti tarkoita matalia kuutiometrikohtaisia päästöjä.



Kuva 9. Harvennusosuuden vaikutus hakkuun tuntituotokseen (A) ja harvennusosuuden vaikutus hakkuun kuutiometrikohtaisiin päästöihin (B). Kuvan A regressiosuoran yhtälössä y on hakkuun tuntituotos ja x on harvennuksen osuus hakutuista kuutiometreistä. Kuvan A mallin selitysaste  $R^2$  on 0,271. Kuvan A muuttujien välinen yhteys on merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on alle 0,05. Kuvan B regressiosuoran yhtälössä y on hakkuun kuutiometrikohtaiset päästöt ja x on harvennuksen osuus hakutuista kuutiometreistä. Kuvan B mallin selitysaste  $R^2$  on 0,224. Kuvan B muuttujien välinen yhteys ei ole merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on yli 0,05

Työmaiden keskikoko laskettiin jakamalla konekohtainen hakkuumäärä tehtyjen työmaiden määrällä. Työmaiden koon vaikutuksen tarkastelussa ei ole yrityksen C koneita, sillä yrityksestä C ei saatu tietoja työmaiden määristä. Selkeää yhteyttä työmaiden keskikoon ja tuntituotoksen sekä työmaiden keskikoon ja päästöjen välillä ei pysty havaitsemaan (Kuva 10). Selkeä havainto kuitenkin on, että koneella B1, jolla oli toiseksi suurimmat työmaat, oli pienimmät päästöt. Myös kone B3, jolla oli kaikkein suurimmat työmaat,

aiheutti matalat päästöt verrattuna koneisiin A1 ja D1, jotka hakkasivat järeydeltään koneen B3 tavoin pienikokoista puustoa.



Kuva 10. Hakkuutyömaiden keskikoon yhteys hakkuun tuntituotokseen (A) sekä työmaiden keskikoon yhteys hakkuun kuutiometrikohtaisiin päästöihin (B). Kuvan A regressiosuoran yhtälössä y on hakkuun tuntituotos ja x on työmaiden keskikoko kuutiometreissä. Kuvan A mallin selitysaste  $R^2$  on 0,320. Kuvan A muuttujien välinen yhteys ei ole merkitsevää, sillä F-testin p-arvo on yli 0,05. Kuvan B regressiosuoran yhtälössä y on hakkuun kuutiometrikohtaiset päästöt ja x on työmaiden keskikoko kuutiometreissä. Kuvan B mallin selitysaste  $R^2$  on 0,222. Kuvan B muuttujien välinen yhteys ei ole merkitsevää, sillä F-testin p-arvo on selvästi yli 0,05.

Koneiden tehon vaikutusta kuutiometrikohtaisiin päästöihin tarkasteltiin jakamalla koneet eri luokkiin ja tarkastelemalla näiden eri luokkien kuutiometrikohtaisia päästöjä. Hakkuukoneet jaettiin neljään ryhmään: yli 200 kW harvennuskoneet, alle 200 kW harvennuskoneet, alle 200 kW pätehakkuukoneet ja alle 200 kW pätehakkuukoneet. Harvennuskoneeksi laskettiin koneet, joiden hakkuukertymästä yli 45 prosenttia kertyi harvennuksilta. Alle 200 kW koneiden moottoriteho vaihteli 129 kW ja 150 kW välillä. Yli 200 kW koneiden moottoriteho oli 205 kW tai 210 kW. Eri koneluokkien välillä oli

merkitsevä ero kuutiometrikohtaisissa päästöissä. Luokkien välisen varianssianalyysin p-arvo oli 0,005. Korkeimmat kuutiometrikohtaiset päästöt olivat alle 200 kW harvennuspainotteisilla hakkuukoneilla (Taulukko 10). Matalimmat päästöt olivat yli 200 kW päätehakkuukoneilla.

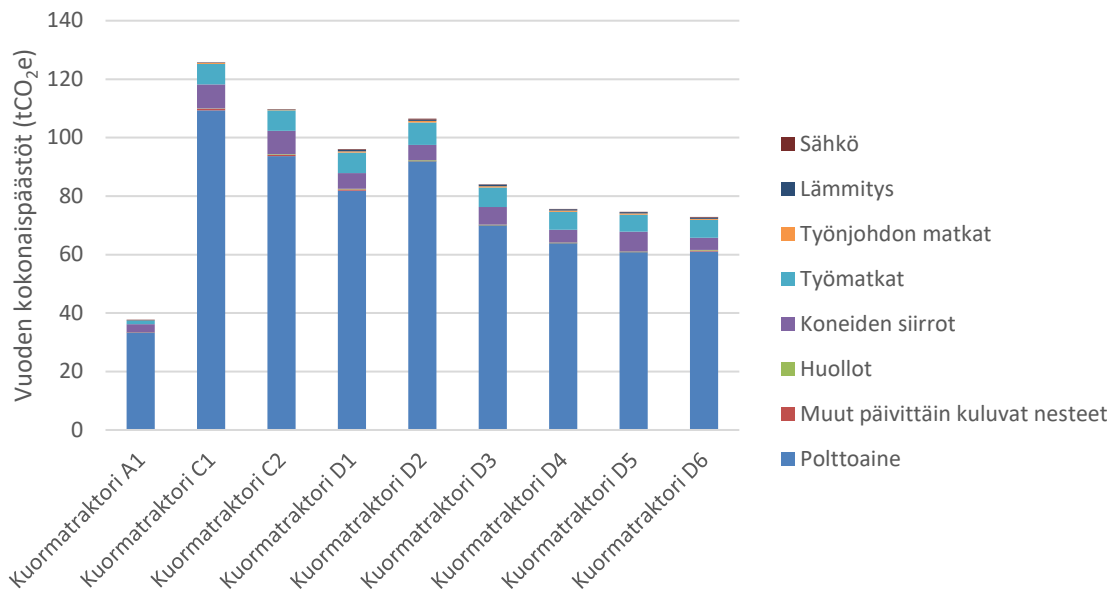
Taulukko 9. Hakkuukoneiden kuutiometrikohtaiset päästöt koneluokittain.

Konetyyppi	Koneiden määrä	Keskiarvo (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	Keskihajonta (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )
Alle 200 kW harvennuskone	5	4,14	0,70
Yli 200 kW harvennuskone	2	2,91	0,23
Alle 200 kW päätehakkuukone	2	3,72	0,75
Yli 200 kW päätehakkuukone	7	2,80	0,34
Kaikki hakkuukoneet	16	3,35	0,78

Suurilla harvennuskoneilla hakatun puuston keskijäreiden keskiarvo oli 250 dm<sup>3</sup>. Pienillä harvennuskoneilla hakatun puuston keskijäreiden keskiarvo oli 160 dm<sup>3</sup>. Pienten päätehakkuukoneiden hakkuiden keskijäreys oli noin 230 dm<sup>3</sup>. Suurten päätehakkuukoneiden hakkuiden keskijäreys oli 270 dm<sup>3</sup>.

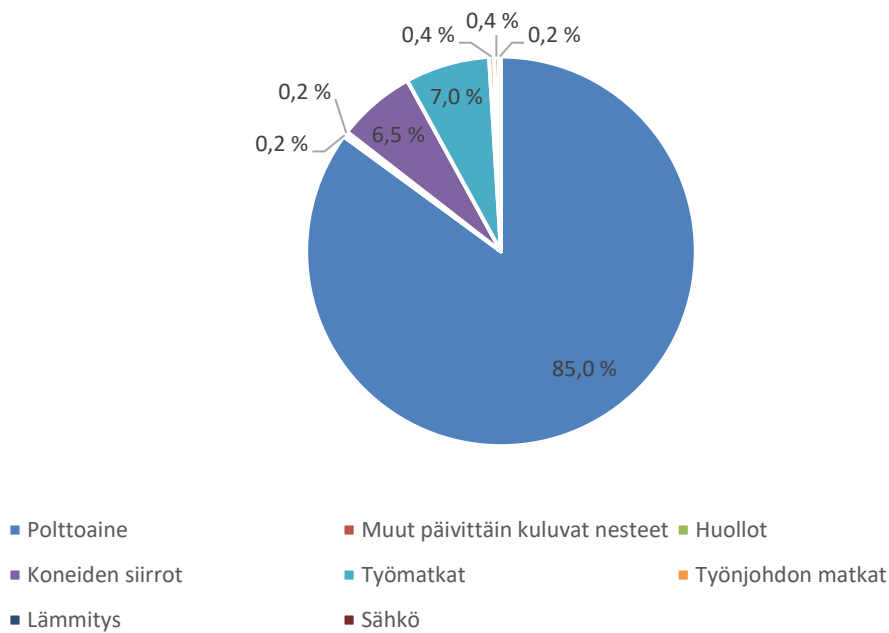
### 3.3 Kuormatraktoreiden kasvihuonekaasupäästöt

Kuormatraktoreiden kokonaispäästöt vaihtelivat välillä 37,7–125,7 tCO<sub>2</sub>e (Kuva 11). Kaikkien kuormatraktoreiden päästöt on laskettu koko vuoden 2021 ajalta. Kuormatraktoreita oli yhteensä yhdeksän, joista yksi oli yrityksessä A, kaksi yrityksessä C ja kuusi yrityksessä D.



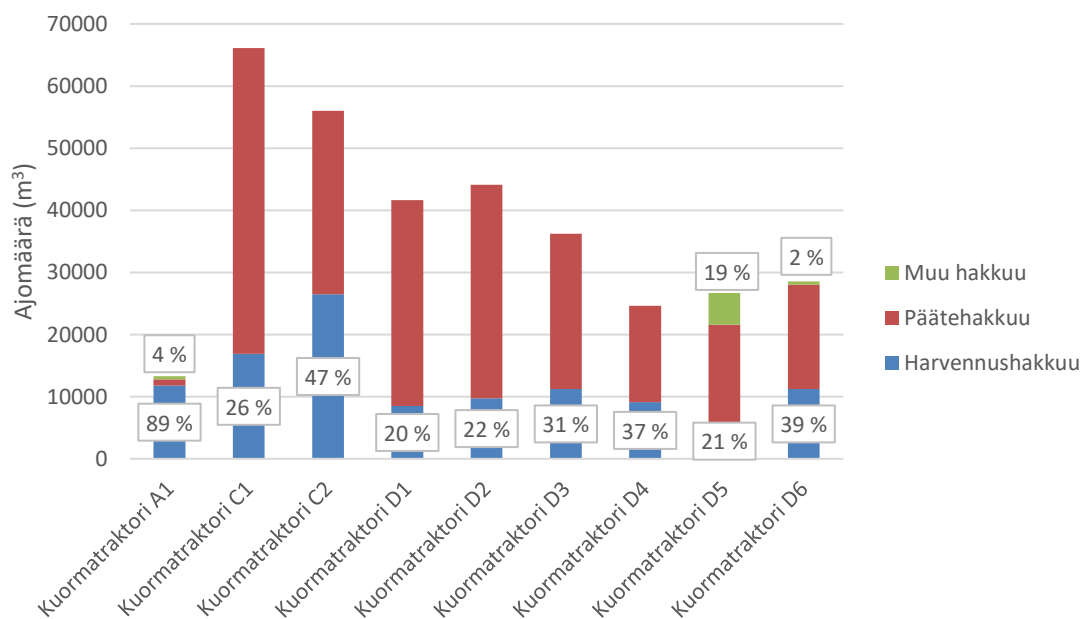
Kuva 11. Kuormatraktoreiden vuoden 2021 tasojen 1 ja 2 konekohtaiset päästöt.

Kuormatraktoreiden päästöistä 85 prosenttia aiheutui polttoaineesta (Kuva 12). Polttoaineen osuuden vaihteluväli oli 81–88 prosenttia. Koneiden siirtojen osuus oli seitsemän prosenttia ja siirtojen osuuden vaihteluväli oli viidestä yhdeksään prosenttia. Työmatkojen osuus oli seitsemän prosenttia ja työmatkojen osuuden vaihteluväli oli neljästä kahdeksaan prosenttia. Työnjohdon matkojen osuus oli yhden prosentin verran ja osuuden vaihteluväli oli nolasta yhteen prosenttia. AdBluen, voitelurasvan, huollon öljyjen, lämmityksen ja sähkön osuudet jäivät yhteensä alle yhden prosentin.



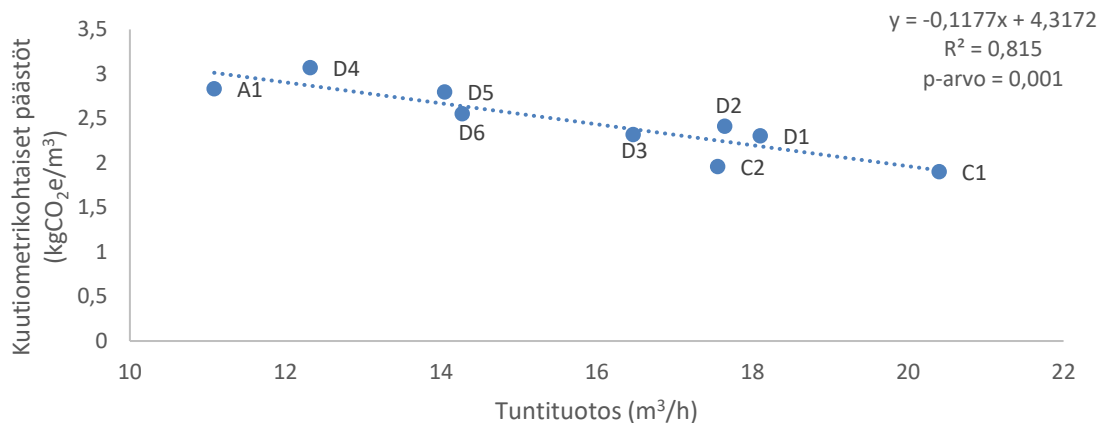
Kuva 12. Eri osa-alueiden osuus kuormatraktoreiden tasojen 1 ja 2 päästöistä.

Pienin konekohtainen lähikuljetuksessa ajettu puiden määrä 13 300 m<sup>3</sup> oli kuormatraktorilla A1 ja suurin ajomäärä 66 100 m<sup>3</sup> oli kuormatraktorilla C1 (Kuva 13). Kuormatraktori A1 oli ainut, jonka ajomäärästä suurin osa oli harvennuksilta. Aineiston lähikuljetuksen kokonaismäärä oli 337 250 dm<sup>3</sup>, josta 65 prosenttia kertyi päätehakkuilta, 33 prosenttia kertyi harvennuksilta ja kaksi prosenttia hakkuutähteiden ajosta.



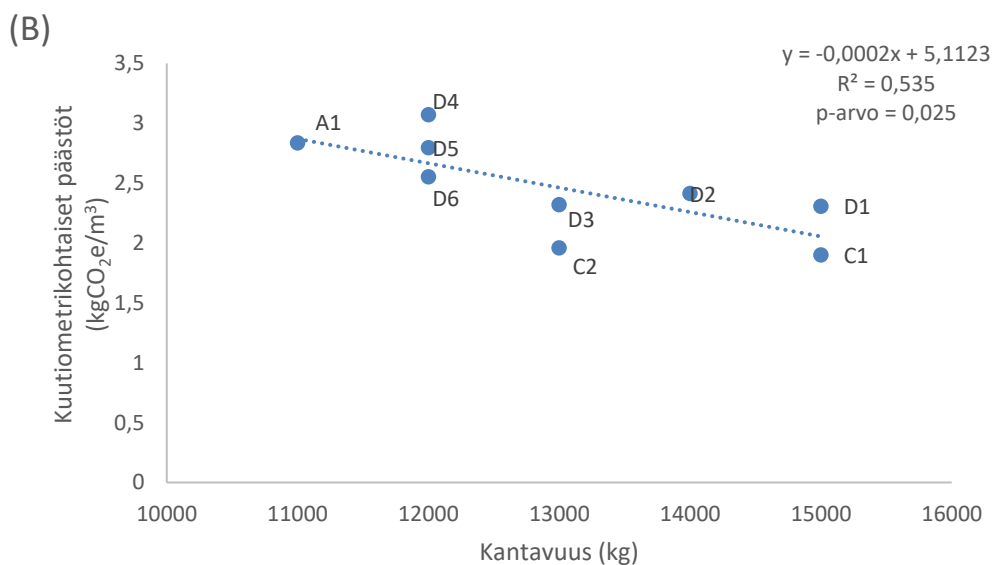
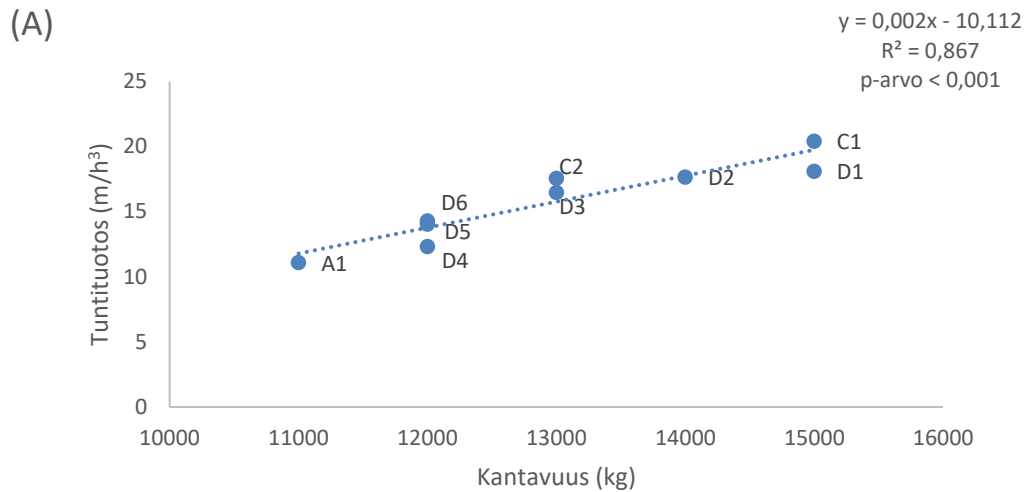
Kuva 13. Lähikuljetuksen määrä sekä harvennusten ja hakkuutähteiden osuus lähikuljetuksesta koko vuodelta 2021.

Kuormatraktoreiden tuntituotoksen ajomäärillä painotettu keskiarvo oli 16,4 m<sup>3</sup>/h. Tuntituotos on laskettu käyttötuntia kohden. Matalin tuntituotos 11,1 m<sup>3</sup>/h oli kuormatraktorilla A1 ja korkein tuntituotos 20,4 m<sup>3</sup>/h oli kuormatraktorilla C1. Lähikuljetuksen kuutiometrikohtaisilla päästöillä ja tuntituotoksella oli selkeä yhteys (Kuva 14). Kuutiometrikohtaisten päästöjen ajomäärillä painotettu keskiarvo oli 2,32 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Korkeimmat kuutiometrikohtaiset päästöt 3,07 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> olivat kuormatraktorilla D4 ja matalimmat kuutiometrikohtaiset päästöt 1,90 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> olivat kuormatraktorilla C1 (Kuva 14).



Kuva 14. Lähikuljetuksen tuntituotoksen vaikutus lähikuljetuksen kuutiometrikohtaisiin päästöihin. Regressiosuoran yhtälössä y on lähikuljetuksen kuutiometrikohtaiset päästöt (kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>) ja x on lähikuljetuksen tuntituotos (m<sup>3</sup>/h). Regressiomallin selitysaste R<sup>2</sup> on 0,815. Mallin muuttujien välinen yhteys on merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on alle 0,05.

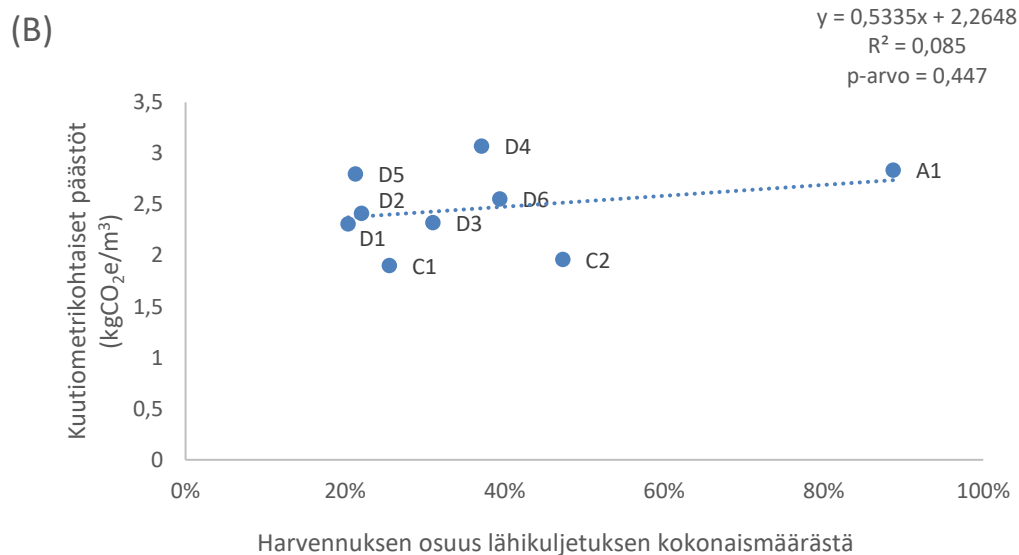
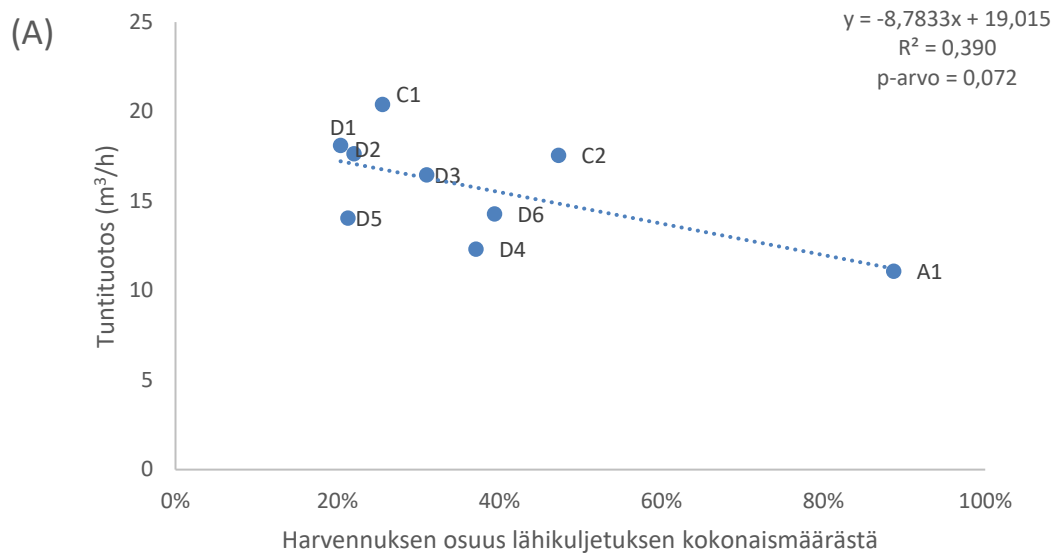
Kantavuudella on yhteys lähikuljetuksen tuntituotokseen (Kuva 15 A) ja kantavuudella on myös yhteys kuutiometrikohtaisiin päästöihin (Kuva 15 B). Ääripäiden välillä on havaittavissa selkeä ero, mutta etenkin kantavuudeltaan 13 000 kg ja 15 000 kg olevilla kuormatraktoreilla ei juurikaan ollut eroa kuutiometrikohtaisissa päästöissä, vaikka kantavuudeltaan suuremmat koneet ylsivät hieman korkeampaan tuntituotokseen. Tässä on huomattavissa kantavuudeltaan suuremman koneen suurempi tehon tarve ja sitä myöten korkeampi polttoainekulutus.



Kuva 15. Kuormatraktorin kantavuuden vaikutus lähikuljetuksen tuntituotokseen (A) ja kantavuuden vaikutus lähikuljetuksen kuutiometrikohtaisiin päästöihin (B). Kuvan A regressiosuoran yhtälössä y on lähikuljetuksen tuntituotos ja x on kuormatraktoreiden kantavuus. Kuvan A mallin selityssaste  $R^2$  on 0,867. Kuvan A muuttujien välinen yhteys on merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on alle 0,05. Kuvan B regressiosuoran yhtälössä y on lähikuljetuksen kuutiometrikohtaiset päästöt ja x on kuormatraktoreiden kantavuus. Kuvan B mallin selityssaste  $R^2$  on 0,535. Kuvan B muuttujien välinen yhteys on merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on alle 0,05.

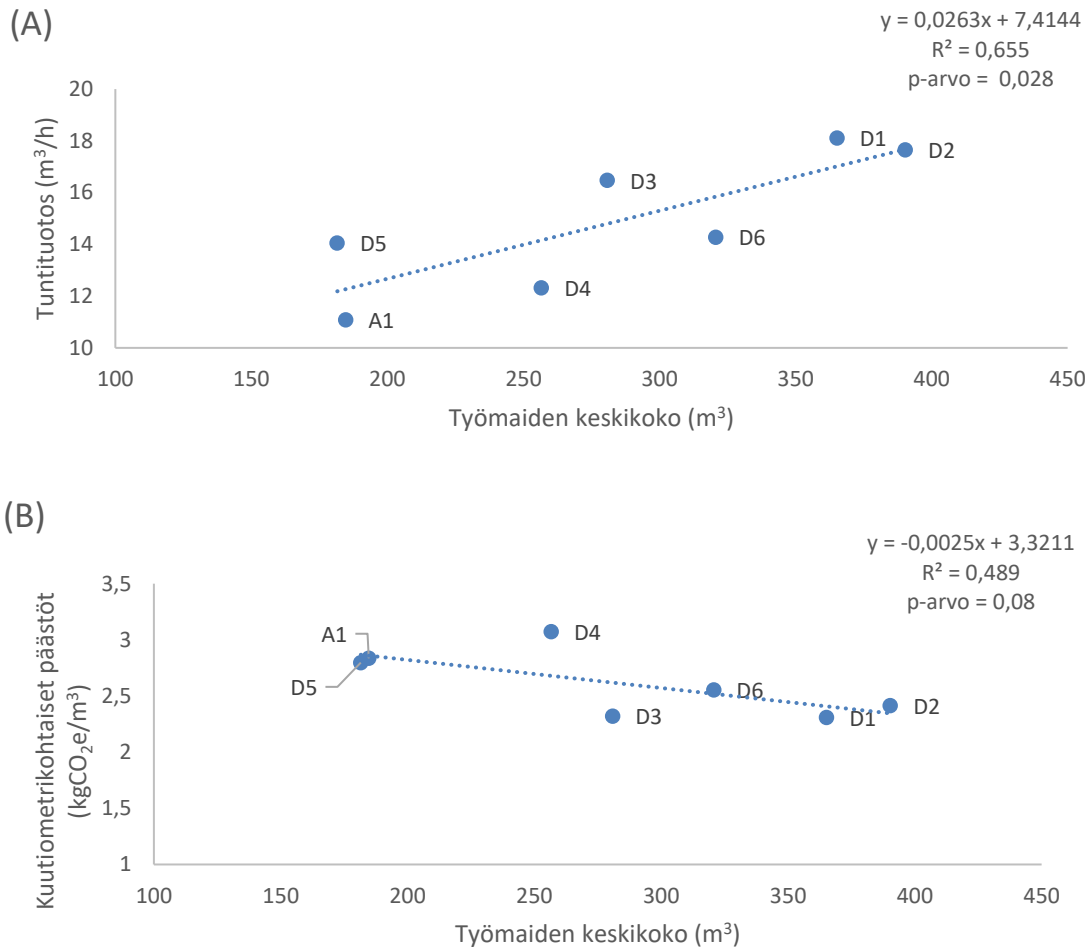
Harvennushakkuiden osuudella ei ollut vaikutusta lähikuljetuksen tuntituotokseen eikä päästöihin (Kuva 16). Aineistossa oli vain yksi selkeästi harvennuksiin painottunut kuormatraktori, joten harvennusten vaikutus ei näy selkeästi tutkimuksen tuloksissa.





Kuva 16. Harvennusosuuden yhteys lähikuljetuksen tuntituotokseen (A) ja harvennusosuuden yhteys lähikuljetuksen kuutiometrikohtaisiin päästöihin (B). Kuvan A regressiosuoran yhtälössä y on lähikuljetuksen tuntituotos ja x on harvennuksen osuus. Kuvan A mallin selitysaste  $R^2$  on 0,390. Kuvan A muuttujien välinen yhteys ei ole merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on yli 0,05. Kuvan B regressiosuoran yhtälössä y on lähikuljetuksen kuutiometrikohtaiset päästöt ja x on harvennuksen osuus. Kuvan B mallin selitysaste  $R^2$  on 0,085. Kuvan B muuttujien välinen yhteys ei ole merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on yli 0,05.

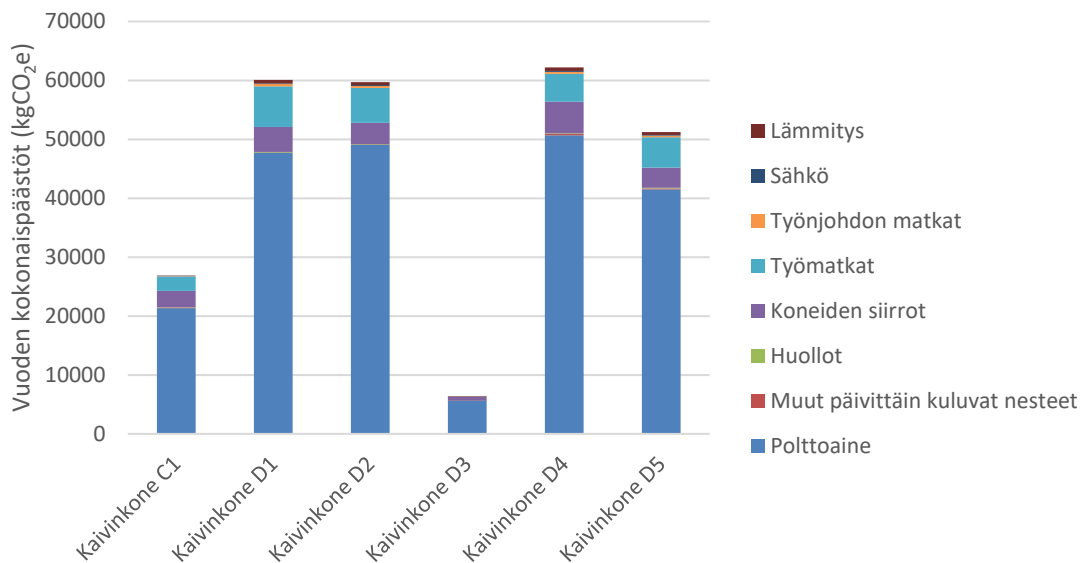
Työmaiden keskikoolla on selkeämpi yhteys kuormatraktoreiden kuutiometrikohtaisiin päästöihin (Kuva 17 B) kuin hakkuukoneilla (Kuva 10 B). Yhteys ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä. Työmaiden keskikoon yhteys kuutiometrikohtaisiin päästöihin näkyy kuvassa 17 A. Kuitenkaan johtopäätöksiä tämän tuloksen pohjalta ei voida tehdä, sillä tässä aineistossa työmaiden keskikoko korreloi vahvasti kantavuuden kanssa. Kantavuuden ja työmaiden keskikoon välinen Pearsonin korrelaatio on 0,822.



Kuva 17. Työmaiden keskikoko ja kuutiometrikohtaiset päästöt. Kuvan A regressiosuoran yhtälössä y on lähikuljetuksen tuntituotos ja x työmaiden keskikoko kuutiometreissä. Kuvan A mallin selitysaste  $R^2$  on 0,655. Kuvan A muuttujien välinen yhteys on merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on alle 0,05. Kuvan B regressiosuoran yhtälössä y on lähikuljetuksen kuutiometrikohtaiset päästöt ja x työmaiden keskikoko kuutiometreissä. Kuvan B mallin selitysaste  $R^2$  on 0,489. Kuvan B muuttujien välinen yhteys ei ole merkitsevä, sillä F-testin p-arvo on yli 0,05.

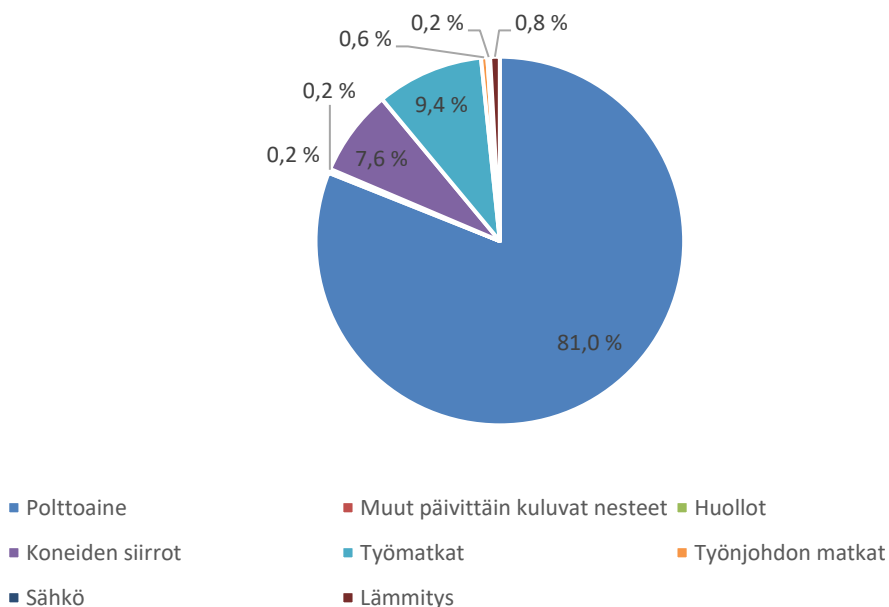
### 3.4 Kaivinkoneiden kasvihuonekaasupäästöt

Kaivinkoneita oli yhteensä viisi, joista yksi oli yrityksessä C ja neljä oli yrityksessä D. Kaikkia kaivinkoneita käytettiin metsien maanmuokkauksissa. Kaivinkoneista ei kerätty tuotostietoja. Kaivinkoneet ovat mukana päästölaskennassa, sillä ne olivat olennainen osa yritysten C ja D liiketoimintaa. Kaivinkoneiden laskentaan mukaan ottaminen helpotti myös koneiden siirtojen jaottelua oikeille koneille, sillä kaivinkoneet ja metsäkoneet siirrettiin samalla kalustolla. Kuvassa 18 on kaivinkoneiden suorat päästöt ja kulutetun sähkön tuotannon päästöt.



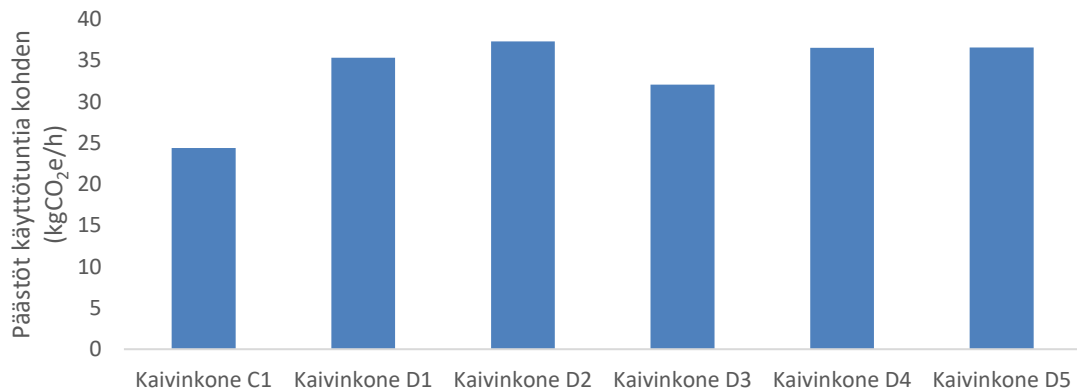
Kuva 18. Kaivinkoneiden vuoden 2021 suorat päästöt sekä kulutetun sähkön tuotannon päästöt.

Eri osa-alueiden osuus päästöistä on esitetty kuvassa 19. Merkittävin päästölähde kaivinkoneilla oli polttoaine. Seuraavaksi merkittävimmät olivat työmatkat ja siirrot. Muiden osa-alueiden osuus päästöistä oli kaksi prosenttia.



Kuva 19. Eri osa-alueiden osuus kaivinkoneiden päästöistä.

Kaivinkoneilla päästöt käyttötuntia kohden olivat 24,2–37,3 kgCO<sub>2</sub>e/h ja keskiarvo oli 33,7 kgCO<sub>2</sub>e/h. Eri kaivinkoneiden kasvihuonekaasupäästöt käyttötuntia kohden on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Kaivinkoneiden päästöt käyttötuntia kohden.

### 3.5 Koneiden siirtojen ja työmatkojen kasvihuonekaasupäästöt

Koneiden siirtojen ja työmatkojen päästöt on sisällytetty konekohtaisiin päästöihin. Tässä luvussa tarkastellaan vielä erikseen siirtomatkojen ja työmatkojen päästöjä ja niiden osuuksia kokonaispäästöistä.

Keskimäärin kuljetusautoilla kertyi ajomatkaa 4 660 km yhtä hakkuukonetta kohden ja 6 350 km yhtä kuormatraktoria kohden (Taulukko 11). Hakkuun päästöistä siirtojen osuus oli neljä prosenttia ja lähikuljetuksessa siirtojen osuus oli 6,5 prosenttia. Hakkuukoneiden siirrot aiheuttivat päästöjä 0,119 kgCO<sub>2</sub>e hakattua kuutiometriä kohden ja kuormatraktoreiden siirrot aiheuttivat 0,151 kgCO<sub>2</sub>e ajettua kuutiometriä kohden (Taulukko 11). Siirtojen päästöt puunkorjuuketjua kohden olivat kokonaisuudessaan siis 0,270 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>.

Taulukko 10. Metsäkoneiden siirtomatkat hakattua ja ajettua kuutiometriä kohden. Taulukko sisältää myös siirtojen osuudet yrityksen kokonaispäästöistä.

Yritys ja konetyyppi	Kuljetusautolla ajettu matka yhtä konetta kohden (km)	Kuljetusautolla ajettu hakattua ja ajettua kuutiometriä kohden (m/m <sup>3</sup> )	Siirtojen osuus päästöistä	Siirron päästöt kuutiometriä kohden (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )
Hakkuukoneet	4 660	133	4,0 %	0,119
A	3 750	282	5,3 %	0,217
B	4 120	131	4,3 %	0,124
C	5 530	130	4,9 %	0,115
D	4 550	128	3,5 %	0,115
Kuormatraktorit	6 350	170	6,5 %	0,151
A	3 650	274	7,4 %	0,211
C	9 120	149	6,9 %	0,133
D	5 880	174	6,3 %	0,158

Vaikka yrityksessä A konekohtaiset siirtomatkat olivat kaikkein lyhimmat, oli yrityksessä A siirtojen osuudet päästöistä kaikkein suurimmat sekä kuormatraktoreilla että hakkuukoneilla. Tätä selittää se, että yrityksen A työmaat olivat pieniä. Yrityksessä A siirtomatkat sekä hakattua että ajettua kuutiometriä kohden olivat yli kaksinkertaiset muihin yrityksiin verrattuna. Yrityksessä D siirtojen osuus kokonaispäästöistä oli kaikkein pienin. Hakkuukoneita tarkasteltaessa yrityksessä D kuljetusautolla ajettiin hakattua kuutiometriä kohden kaikkein vähiten, mikä selittää siirtojen osuuden pienuutta. Lähikuljetuksen kuutiometriä kohden ajettiin kuljetusautolla vähiten yrityksessä C, mutta silti yrityksen C siirtojen osuus kokonaispäästöistä on suurempi kuin yrityksessä D. Tähän vaikuttaa se, että yrityksessä D kuormatraktoreiden polttoaineenkulutus ajettua kuutiometriä kohden oli 0,18 litraa korkeampi, kuin yrityksessä C. Yrityksen D korkeampi polttoaineenkulutus aiheutti suuremmat kokonaispäästöt, jolloin siirtojen osuus suhteessa kokonaispäästöihin jäi pienemmäksi.

Koneiden kuljettajien päivittäisen työmatkan keskiarvo oli 86 km (Taulukko 12). Yrityksessä D työmatkojen osuus päästöistä oli kaikkein korkein, vaikka yrityksen D keskimääräinen työmatka ei ollutkaan kaikkein pisin. Kuitenkin hakattua kuutiometriä kohden yrityksessä D kertyi eniten työmatkoja. Yrityksessä B oli pisin päivittäinen työmatka ja työmatkojen osuus hakkuun päästöistä toiseksi suurin.

Taulukko 11. Päivittäisen työmatkan pituus ja työmatkat hakattua ja ajettua kuutiometriä kohden. Taulukko sisältää myös työmatkojen osuudet yrityksen kokonaispäästöistä.

Yritys ja konetyyppi	Päivittäinen työmatka (km)	Työmatkat hakattua ja ajettua kuutiometriä kohden (m/m <sup>3</sup> )	Työmatkojen osuus päästöistä	Työmatkojen päästöt kuutiometriä kohden (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )
Hakkuukoneet	86	789	5,3 %	0,156
A	48	833	4,0 %	0,163
B	99	833	4,8 %	0,128
C	77	435	4,3 %	0,100
D	88	983	5,6 %	0,197
Kuormatraktorit	86	811	7,0 %	0,163
A	48	513	3,5 %	0,100
C	77	501	5,9 %	0,115
D	88	1 019	7,8 %	0,196

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä tutkimuksessa selvitettiin neljän liiketoimintamalliltaan varsin tavanomaisen suomalaisen puunkorjuuyrityksen päästöt. Näiden yritysten suorat päästöt laskettiin tarkasti, sillä käytettävissä oli suoraan yrityksistä saadut kulutus- ja tuotostiedot. Tämän pienen mutta tarkan aineiston etuna on se, että aineiston avulla pystyi havainnoimaan eroja yksittäisten koneiden ja yritysten välillä. Vaikka tutkimuksen tulokset eivät olekaan yleistettäviä, tulosten avulla saatiin käsitys siitä, mistä puunkorjuun päästöt syntyvät ja mikä on eri päästölähteiden mittaluokka suhteutettuna kokonaispäästöihin.

Tutkimuksen tuloksia ei voida suoraan yleistää kaikkiin puunkorjuuyrittäjiin. Tutkimuksen aineisto on niin pieni, ettei tutkimuksen tuloksia voida yleistää koko puunkorjuualalle. Puunkorjuun päästöihin vaikuttavia muuttujia on niin paljon, että yleistettävien lukujen ja laskentamallien tuottaminen vaatisi paljon suuremman aineiston, jossa eri tekijöiden vaikutus olisi selkeämmin havaittavissa. Erilaiset olosuhteet vaikuttavat merkittävästi puunkorjuuyrittäjien toimintaan. Suomessa muun muassa maantieteellinen sijainti, hakkuutapa, eri puutavaralajien lukumäärä ja vuodenaika vaikuttavat tuottavuuteen ja sitä kautta polttoaineenkulutukseen ja päästöihin.

Suomen olosuhteissa tehdyssä Haavikon ym. 2022 tutkimuksessa aineisto on jo huomattavan laaja, sillä se kattoi yhteensä 418 hakkuukonetta ja 336 kuormatraktoria. Haavikon ym. 2022 tutkimus antaa hyvän yleiskuvan puunkorjuun päästöistä kokonaisuudessaan. Heidän tutkimuksensa tukeutuu polttoaineenkulutuksen ja tuntituotoksen osalta aikaisemmista tutkimuksista saatuihin laskentamalleihin.

#### **4.1 Puunkorjuun päästöt**

Eri päästölähteiden osuudet kokonaispäästöistä olivat kaikissa yrityksissä hyvin samantaisia. Koneiden polttoaineenkulutuksen osuus tasojen 1 ja 2 päästöistä oli kaikissa yrityksissä yli 80 prosenttia ja koko aineiston päästöjen summasta koneiden polttoaineen osuus oli 82 prosenttia. Kun polttoaineiden kulutuksen päästöihin lasketaan mukaan polttoaineenkulutuksesta riippuvan AdBluen päästöt, olivat tässä tutkimuksessa koneiden polttoaineenkulutuksesta riippuvien päästöjen osuus 83 prosenttia kokonaispäästöistä. Kokonaispäästöjä AdBluen käyttö ei juuri lisännyt, sillä AdBluen osuus oli alle yhden prosentin.

Koneiden lisäksi polttoainetta kului myös koneiden siirtoihin ja työmatkoihin. Kokonaisuudessaan polttoaineet aiheuttivat 93 prosenttia päästöistä. Engelin ym. (2012) tutkimuksessa polttoaineiden 94,1 prosentin osuus päästöistä oli hieman korkeampi kuin tässä tutkimuksessa. Engelin ym. (2012) tutkimus ei ole täysin verrattavissa tähän tutkimukseen, sillä siinä ei otettu huomioon työmatkojen ja koneiden siirtojen päästöjä. Toisaalta siinä otettiin huomioon koneiden valmistuksen ja raaka-aineiden päästöt, joiden osuus oli 4,7 prosenttia koneellisen puunkorjuun päästöistä (Engel ym. 2012).

Tässä tutkimuksessa yhden korjuuketjun korjuumäärillä painotettu päästöjen keskiarvo oli  $5,54 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ . Tästä hakkuun osuus oli 58 prosenttia ja lähikuljetuksen osuus oli 42 prosenttia. Pelkästään koneiden polttoaineista aiheutuneet päästöt olivat  $4,54 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ . Haavikon ym. (2022) tutkimuksessa hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden yhdistettyjen kuutiometrikohtaisten päästöjen keskiarvo oli  $4,26 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ . Luku on tämän tutkimuksen koneiden polttoaineista aiheutuneisiin päästöihin verrattuna hyvin lähellä, vaikka Haavikon ym. (2022) koneiden polttoaineiden kulutukset perustuvatkin laskentaan eivätkä suoraan seurantaan. Haavikon ym. (2022) tutkimuksessa hakkuiden 183

dm<sup>3</sup> keskijäreys oli hieman pienempi ja harvennuksen 45 prosentin osuus hakkuista oli hieman suurempi tämän tutkimuksen 38 prosentin osuus. Tämän tutkimuksen tuloksissa koneiden siirtojen osuus kuutiometrikohtaisista päästöistä oli 0,270 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Luku on hieman pienempi kuin Haavikon ym. (2022) tutkimuksen 0,325 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Haavikon ym. (2022) tutkimuksessa huomioitiin vain metsäkoneiden ja koneiden siirtojen polttoainekulutuksesta aiheutuneet päästöt, joten tämän tutkimuksen kokonaispäästöt kuutiometriä kohden eivät ole verrattavissa Haavikon ym. (2022) tuloksiin.

Cosolan ym. (2016) tutkimuksessa puunkorjuun päästöt olivat hieman korkeammat, vaikka tutkimuksessa huomioitiin vain koneiden polttoaineesta aiheutuvat päästöt. Cosolan ym. (2016) tekemässä kirjallisuuskatsauksessa tähän tutkimukseen verrattavien puunkorjuumenetelmien suorat päästöt olivat 6,69 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Puun lähikuljetuksen päästöt olivat 3,04 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> ja hakkuun päästöt olivat 3,66 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (Cosola ym. 2016). Itävallan vuoden 2018 puunhankintaketjun päästöistä tavaralajimenetelmän hakkuukoneen ja kuormatraktorin päästöt olivat 6,47 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>, jotka myös ovat tähän tutkimukseen verrattuna hieman suuremmat (Kühmaier ym. 2022).

Engelin ym. (2012) puunkorjuun kasvihuonekaasupäästöjen tutkimuksessa lähikuljetuksen 40,6 prosentin osuus päästöistä oli hieman matalampi kuin tämän tutkimuksen 42 prosentin osuus. Cosolan ym. (2016) tutkimuksessa lähikuljetuksen 45 prosentin osuus päästöistä oli taasen hieman korkeampi kuin tässä tutkimuksessa.

Polttoaineiden lisäksi suoria päästöjä aiheutti merkittävästi kantokäsittelyaine. Kantokäsittelyaineen osuus oli kahdeksan prosenttia hakkuukoneiden päästöistä. Osuus on merkittävä, sillä kantokäsittelyainetta käytetään vain sulan maan aikaan havupuuvaltasilla hakkuilla. Tuloksen perusteella kantokäsittelyaineen vaikutusta ei voida jättää huomiotta puunkorjuun kasvihuonekaasupäästöjä selvitettäessä.

Myös epäsuorista päästöistä koneiden kuluttaman polttoaineen osuus oli kaikkein merkittävin. Muita epäsuorien päästöjen aiheuttajia olivat kantokäsittelyaineessa käytetyn urean valmistus ja voiteluaineiden valmistus. Yritys D oli ainut, jossa huomioitiin myös jäteöljyjen käsittelyn päästöt. Tästä huolimatta yrityksessä D jätteiden osuus oli vain kolme prosenttia epäsuorista päästöistä, kun muissa yrityksissä jätteiden osuus oli yhdestä kahteen prosenttia. Voiteluaineista eniten kului teräketjuöljyä. Toiseksi eniten kului



hydrauliikkaöljyä. Teräketjuöljynä käytettiin kaikissa yrityksissä neitseelliseen öljyyn verrattuna vähemmän epäsuoria päästöjä aiheuttavaa kierrätysöljystä valmistettua teräketjuöljyä. Tulosten perusteella voiteluaineiden korvaamisella nykyistä vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttaviin vaihtoehtoihin ei juurikaan vaikuteta puunkorjuusta aiheutuviin epäsuoriin päästöihin.

Se, mitä osa-alueita ja vaiheita eri tutkimukset huomioivat puunkorjuun päästöiksi, vaikeuttaa tutkimusten keskinäistä vertailua. Päästöjä ei myöskään ole yleisesti jaoteltu suoriin ja epäsuoriin päästöihin. Tämän tutkimuksen tulosten vertailua muihin tutkimukseen vaikeuttaa se, että eri tutkimuksissa huomioidut päästölähteet eroavat hieman toisistaan. Tähän tutkimukseen on pyritty ottamaan huomioon kaikki puunkorjuuyrityksen toiminnot ja niistä aiheutuvat suorat päästöt ja tärkeimmät epäsuorat päästöt. Esimerkiksi Haavikko ym. (2022) ovat huomioineet vain metsäkoneiden ja metsäkoneiden siirtojen polttoaineiden kulutuksesta aiheutuneet päästöt. Cosola ym. (2016) huomioivat vain koneiden polttoaineen päästöt. Engelin ym. (2012) puunkorjuun kasvihuonekaasupäästöjen tutkimuksessa ja Klvacin ym. (2003) puunkorjuun energiakulutuksen tutkimuksessa otettiin huomioon myös koneiden ja varaosien valmistus, mutta ei koneiden siirtoja eikä työmatkoja.

Vaikka tämän tutkimuksen tulokset eivät olekaan täysin verrattavissa muihin tutkimuksiin, voidaan yhteenvetona todeta, että puunkorjuussa kaikkein merkittävin päästöjen aiheuttaja on koneiden käyttämä polttoaine. Puunkorjuun päästöjen vähentämiseksi on siis ensisijaisesti keskityttävä koneiden polttoaineesta aiheutuviin päästöihin. Päästöjä tarkasteltaessa ei kuitenkaan pidä unohtaa etenkin koneiden siirtojen, työmatkojen ja kantokäsittelyn osuutta, sillä tässä tutkimuksessa niiden osuus oli 17 prosenttia suorista päästöistä.

## **4.2 Tuntituotoksen yhteys kasvihuonekaasupäästöihin**

Tuntituotos vaikuttaa merkittävästi puunkorjuun polttoaineenkulutukseen ja sen myötä myös kasvihuonekaasupäästöihin. Näin ollen tuntituotokseen vaikuttavat tekijät ovat yhteydessä myös puunkorjuun päästöihin. Tämän tutkimuksen pohjalta ei pystytty varmentamaan eri hakkuutapojen sekä lähikuljetuksen ajomatkan yhteyttä kuutiometrikohtaisiin

päästöihin. Aikaisempien seurantatutkimusten perusteella hakkuutavalla on merkittävä vaikutus hakkuun tuottavuuteen (Jylhä ym. 2019) ja ajomatalla on merkittävä vaikutus lähikuljetuksen tuottavuuteen (Proto ym. 2018).

Keskijäreiden yhteys tuottavuuteen sekä hakkuun päästöihin oli tämän tutkimuksen tuloksista havaittavissa. Keskijäreiden yhteys tuntituotokseen ei ole aivan suoraviivainen (Jylhä ym. 2019), jonka vuoksi tässä tutkimuksessa oli suuriakin eroja hakkuukoneiden tuntituotoksissa ja kuutiometrikohtaisissa päästöissä samoilla keskijäreysillä. Pienellä puustolla puuston järeiden vaikutus tuntituotokseen on merkittävämpää kuin suurella puustolla. Tutkimuksessa käytetyt keskijäreudet ovat keskiarvoja kaikista vuoden 2021 leimikoista. Leimikoiden puuston järeys on siis saattanut joillakin koneilla vaihdella runsastikin, kun taas toiset koneet ovat saattaneet tehdä hyvinkin järeideltään samanlaisia leimikoita.

Tuntituotosta ei selvitetty hakkuutavoittain eikä myöskään ensiharvennuksen hakkuukertymää selvitetty erikseen. Näistä syistä johtuen päästöt ovat kuutiometriä kohden pienemmät pelkästään myöhempää harvennusta ja päätehakkuita tehneillä koneissa kuin päätehakkuita, harvennuksia ja ensiharvennuksia tehneillä koneilla. Tästä seurasi se, että harvennusosuuden ja kuutiometrikohtaisten päästöjen yhteyttä ei pystytty luotettavasti toteamaan (Kuva 9). Kuvasta 9 on kuitenkin huomattavissa, että viidellä suhteessa eniten päätehakkuita tehneillä koneilla kuutiometrikohtaiset päästöt olivat miltei samat, joten merkkejä hakkuutavan vaikutuksesta hakkuun päästöihin oli havaittavissa.

Yrittäjien haastatteluissa hakkuun päästöihin ja tuottavuuteen vaikuttavana tekijänä mainittiin kaikkien yrittäjien toimesta kuljettajien ominaisuudet. Kuljettajien vaikutus päästöihin näkyy tuottavuudessa, mutta myös kuutiometrikohtaisessa polttoaineenkulutuksessa. On mahdollista, että kahdella yhtä tuottavalla kuljettajalla voi olla aivan eri kuutiometrikohtainen polttoaineenkulutus. Kuljettajien välisten erojen taustalla voi olla erilaiset koneen säädöt. Prinzin ym. (2018) tutkimuksessa hakkuukoneiden erilaisilla säädöillä oli 17 prosentin ero kuutiometrikohtaisessa polttoaineenkulutuksessa. Heidän tutkimuksessaan korkeimpaan tuntituotokseen tähtäävillä säädöillä kuutiometrikohtainen polttoaineenkulutus oli kaikkein korkein ja näillä säädöillä vain yhdellä konetyypillä havaittiin kasvua tuntituotoksessa.

Samoin kuin Jylhän ym. (2019) Koneellisen hakkuun seuranta tutkimuksessa niin myös tämän tutkimuksen tuloksista havaittiin, että pienillä hakkuukoneilla päätehakkuun tuottavuus on huonompaa kuin suurilla koneilla. Jylhän ym. (2019) seuranta tutkimuksessa havaittiin myös, että suurilla hakkuukoneilla harvennusten tuottavuus oli heikompa. Tässä tutkimuksessa tulos oli päinvastainen, mutta tulokseen vaikutti se, että suurilla harvennuspainotteisilla koneilla hakatun puuston keskijäreys oli pieniä koneita suurempi.

Hakkuukoneilla A1, D1 ja B3 hakkuiden keskijäreudet olivat matalimmat. Näistä paras tuntituotos ja matalimmat kuutiometrikohtaiset päästöt olivat hakkuukoneella B3, vaikka hakkuukoneen B3 leimikoiden keskijäreys oli matalin. Yhtenä syynä tämän koneen parempaan tuntituotokseen on se, että koneella tehtiin osa hakkuista joukkokäsittelymenetelmällä. Toisena syynä, joka erottaa koneen B3 muista pienipuustoista hakkuuta tekeistä koneista on työmaiden koko. Koneella B3 työmaiden koko oli kuutiometreissä mitattuna aineiston suurin, kun taas hakkuukoneella A1 oli pienimmät työmaat. Hakkuun työmaiden koon vaikutuksesta ei kuitenkaan pysty havaitsemaan selvää trendiä, sillä hakatun puuston järeuden vaikutus näkyy tuloksissa niin voimakkaana. Hakkuun osalta luotettavien tulosten saaminen työmaiden koon vaikutuksesta vaatisi seurannan, jossa muut muuttujat ja etenkin hakattavan puuston järeys pysyisi lähes vakiona.

Työmaiden koon vaikutusta lähikuljetuksen päästöihin ja tehokkuuteen ei myöskään voitu tässä tutkimuksessa täysin varmistaa, sillä aineistossa kantavuudeltaan suurten koneiden työmaat olivat pieniä koneita suuremmat. Kantavuuden yhteys tuntituotokseen on todennäköisempää kuin työmaiden koon yhteys, sillä kantavuuden yhteys lähikuljetuksen tuottavuuteen on jo aikaisemmin todennettu (Proto ym. 2018).

### **4.3 Puunkorjuu osana raakapuun elinkaaren päästöjä**

Puutuotteiden ja puuta raaka-aineena käytävillä tuotteilla raaka-aineena käytetyn raakapuun tuotantoketjun prosessit ovat jatkojalostuskohteesta riippumatta miltei aina samat. Raakapuun elinkaari alkaa metsämaanmuokkauksesta ja istutuksesta, joita seuraa taimikonhoito ja tämän jälkeen hakkuut sekä puunkorjuu. Hakkuu- ja puunkorjuutapoja on monenlaisia, mutta eri tavat sisältävät samat prosessit. Puunkorjuun jälkeen raakapuun elinkaaren vaikuttaa suurelta osin sen jatkojalostus ja käyttö. Raakapuun

elinkaari päästöjen vertailtavuutta helpottaa, kun elinkaarta tarkastellaankin vain metsän perustamisvaiheesta metsätien varteen päättyvään puunkorjuuvaiheeseen.

Metsäalan elinkaariarviointeja käsitelleessä Kleinin ym. (2015) kirjallisuuskatsauksessa raakapuun elinkaaren aikaisten päästöjen keskiarvo oli  $14,3 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ , kun raakapuun elinkaaren katsottiin alkavan metsän perustamisvaiheesta ja päättyvän raakapuun lähikuljetukseen metsätien varteen (Klein ym. 2015). Pienimmät elinkaari päästöt olivat  $2,4 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  ja suurimmat  $59,6 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  (Klein ym. 2015). Metsänhoidon ja puunkorjuun toimenpiteiden päästöjen keskiarvo oli  $8,9 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  ja mediaani oli  $4,9 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  (Klein ym. 2015). Näihin tuloksiin peilaten tämän tutkimuksen puunkorjuun päästöt ovat suuruusluokaltaan samoja.

Metsäalan elinkaariarviointien vertailua hankaloittaa se, että alalle ei ole muodostunut selkeitä käytänteitä elinkaariarvioinnin toteuttamisessa (Klein ym. 2015). Eri tutkimuksissa järjestelmän rajaus, huomioidut prosessit, toiminnalliset yksiköt ja allokointi eroavat toisistaan (Klein ym. 2015). Tästä syystä eri tutkimusten tulokset voivat erota huomattavastikin toisistaan.

#### **4.4 Epävarmuus**

Inventaarioanalyysivaiheessa jouduttiin joiltakin osin tyytymään arvioihin. Näillä arvioilla ei kuitenkaan ollut juurikaan vaikutusta lopputuloksiin, sillä polttoaineen osuus päästöistä oli niin merkittävä. Polttoaineenkulutus saatiin kaikista yrityksistä hyvin tarkasti, sillä tieto polttoaineenkulutuksesta saatiin pääosin ajoneuvojen omista seurantajärjestelmistä. Ainoat poikkeukset olivat työmatkojen polttoaineenkulutukset yrityksissä B ja C sekä yrityksen A kuormatraktorin kulutus. Yritysten B ja C työmatkoihin käytettyjen ajoneuvojen merkki ja mallitiedot olivat tiedossa, joten voitiin käyttää merkki- ja mallikohtaisia tilastoja.

Ajoneuvojen ilmoittaman polttoaineenkulutuksen tarkkuus on  $\pm 5$  prosenttia (Pavlovic ym. 2021). Tämän mittaustarkkuuden vaikutus tämän tutkimuksen tasojen 1 ja 2 kokonaispäästöihin on  $\pm 4,65$  prosenttia.  $\pm 5$  prosentin mittaustarkkuus muuttaa polttoaineenkulutuksen osuutta kokonaispäästöistä tässä tutkimuksessa alle yhden prosenttiyksikön.

Käytettyjen päästökertoimien luotettavuutta on hankala arvioida, mutta ainakin polttoaineen osalta suorien päästöjen päästökertoimia voidaan pitää hyvin luotettavina, sillä lähteenä käytetty Tilastokeskuksen vuoden 2021 polttoaineluokitus ottaa huomioon Suomessa käytetyt polttoainelaadut.

Yritysten kuluttamien tuotteiden elinkaaripäästöjen eli tässä työssä tason 3 päästöjen arvioinnissa on paljon epävarmuutta ja epävarmuuden arviointi on hankalaa. Eri tutkimuksista saadut tuotteiden valmistuksen päästökertoimet sisältävät eri vaiheita. Osa sisältää raaka-aineiden hankinnan, valmistuksen ja kuljetuksen, kun taas osa päästökertoimista sisältää vain raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen. Eri tuotteiden päästöjen tutkimusten tarkkuudessa ja tutkimuksissa huomioon otetuissa kasvihuonekaasupäästöissä on myös eroa. Näin ollen tässä työssä tason 3 päästöjen kokonaismäärät eivät ole täysin luotettavia. Epäsuorien päästöjen tarkastelu auttaa kuitenkin hahmottamaan eri osa-alueiden suuruusluokkaa ja eri materiaalien kulutuksen ja korvaamisen kokonaisvaikutusta. Esimerkiksi polttoaineenkulutuksen vähentäminen tai korvaaminen ilmastoystävällisemmällä vaihtoehdolla vähentää merkittävästi sekä suoria päästöjä että epäsuoria päästöjä. Voiteluaineiden korvaamisella taas ei juurikaan vaikuteta puunkorjuun suoriin eikä epäsuoriin kasvihuonekaasupäästöihin.

## **5 JOHTOPÄÄTÖKSET**

### **5.1 Materiaalien ja polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaminen**

Tutkimuksen tulosten perusteella järein keino vaikuttaa puunkorjuun päästöihin olisi polttoaineista aiheutuvien päästöjen vähentäminen. Polttoaineiden päästöjä on mahdollista vähentää käyttämällä uusiutuvia polttoaineita ja vähentämällä polttoaineiden kulu- tusta. Polttoaineenkulutusta voidaan vähentää vain rajallisesti, joten tehokkain keino olisi fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla. Lisäämällä uusiutuvan polttoöljyn osuutta voidaan vähentää suorien päästöjen lisäksi myös epäsuoria päästöjä, sillä uusiutuvan polttoaineen valmistuksen päästöt ovat vain 59 prosenttia fossiilisen polttoaineen valmistuksen päästöistä (Prussi ym. 2020).

Tällä hetkellä täysin uusiutuvien polttoaineiden hinnat ovat huomattavan korkeita verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Puunkorjuuyritysten yleisesti heikon kannattavuuden vuoksi fossiilisten polttoaineiden korvaaminen täysin uusiutuvilla polttoaineilla ei monessakaan yrityksessä tällä hetkellä ole mahdollista.

Polttoaineiden käytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt tulevat laskemaan, sillä jakeluvaiheen myötä polttoaineiden bio-osuus tulee kasvamaan. Vuoden 2028 tavoitteen mukainen polttoöljyn bio-osuuden kasvattaminen 10 prosenttiin polttoaineen energiasisällöstä (Laki biopolttoöljyn käytön edistämisestä 2019) vähentäisi polttoöljyn käytöstä aiheutuvia suoria päästöjä seitsemän prosenttia. Laskennassa on käytetty Tilastokeskuksen vuoden 2021 Polttoaineluokituksen lukuja, joissa polttoöljyn bio-osuus oli kolme prosenttia ja päästökerroin 70,9 tCO<sub>2</sub>/TJ. Seitsemän prosentin vähennys polttoöljyn käytön päästöissä laskisi tämän tutkimuksen puunkorjuuyrittäjien suoria päästöjä kuudella prosentilla. Liikennepolttoaineiden osalta jakeluvaihe on kevyen polttoöljyn jakeluvaihetta tiukempi, sillä vuoteen 2029 mennessä 30 prosenttia liikennepolttoaineiden tilavuudesta tulee olla uusiutuvia (Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 2007). Puunkorjuuyritysten suoriin päästöihin tällä ei kuitenkaan ole yhtä suurta vaikutusta kuin kevyen polttoöljyn jakeluvaihteella, sillä liikennepolttoaineiden osuus oli vain 11 prosenttia tämän tutkimuksen yritysten suorista päästöistä.

Kantokäsittelyaineen käytöstä aiheutuvia päästöjä olisi mahdollista vähentää käyttämällä urean sijasta harmaaorvakkasienivalmisteita. Tutkimukseen osallistuneista yrityksistä yksikään ei käyttänyt vuonna 2021 harmaaorvakkavalmisteita. Yrittäjät kokivat kyseisen aineen käytön tällä hetkellä olevan liian vaivalloista, sillä harmaaorvakkavalmistetta tankataan ja sekoitetaan päivittäin vain päivittäisen tarpeen verran. Lisäksi kantokäsittelyjärjestelmä on tyhjennettävä päivittäin ja puhdistettava säännöllisesti.

Kun tarkastellaan vain puunkorjuun päästöjä ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä harjoitetun metsätalouden ilmastovaikutuksista. Puunkorjuun päästöt ovat pienet verrattuna puuhun sitoutuneeseen hiileen. Puu sitoo noin 750 kg hiilidioksidia vastaavan määrän hiiltä (Puuinfo 2020). Jotta puu olisi raaka-aineena uusiutuvaa, on metsien kasvun sidottava puuraaka-aineen elinkaaren aikana vähintään tämä määrä hiilidioksidia ja lisäksi vielä puunkorjuusta ja muista metsänhoidon toimenpiteistä aiheutuvia päästöjä vastaava

määrä hiilidioksidia. Metsäalan ilmastotoimissa onkin siis syytä ottaa huomioon maankäytön ja sen muutoksen vaikutukset sekä metsien kasvuedellytyksien säilyttäminen.

## **5.2 Polttoaineenkulutukseen vaikuttaminen**

Sekä puiden lähikuljetuksessa että hakkuussa korkea tuntituotos oli yhteydessä mataliin kuutiometrikohtaisiin päästöihin. Päästöjen vähentämiseksi olisikin syytä panostaa erityisesti työn tuottavuuteen ja koneiden tehokkaaseen käyttöön. Konetyön tehokkuuteen voidaan panostaa leimikolla jo etukäteen riittävällä ennakkoraivauksella ja kuvioiden selkeällä rajauksella. Ennakkoraivauksen avulla hakkuukoneenkuljettajan työ selkeytyy, kun näkymä koneen hytistä poistettavien puiden tyville on esteetön ja pienet puut eivät häiritse hakkuupään liikuttelua. Leimikon selkeä rajaus sekä maastossa että kartalla auttaa ajourien suunnittelussa ja nopeuttaa kuljettajan työtä, kun leimikon rajoja ei tarvitse etsiä koneesta käsin.

Koneiden kohdentaminen sopiville työmaille vähentää myös hakkuun päästöjä ja parantaa tuntituotosta. Tämän tutkimuksen tuloksista käy ilmi, että etenkin pienillä hakkuukoneilla ei kannata pääsääntöisesti tehdä päätehakkuita. Vastavuoroisesti Jylhän ym. (2019) Koneellisen hakkuun seurantatutkimuksessa suurikokoisimpien hakkuukoneiden käyttö järeydeltään pienipuustoisissa harvennuksissa oli pykälää pienempiä koneita hitaampaa.

Päästöjen vähentämiseksi kuljettajan vastuulla on paljon. Kuljettajalla on suuri vaikutus työn tehokkuuteen ja samoin polttoainetalouteen. Tehokkaisuuteen ja polttoainetaloudellisiin työtapoihin keskittymällä sekä koneen säätöihin perehtymällä voidaan vaikuttaa työn tehokkuuteen ja polttoaineenkulutukseen.

Kuormatraktorin valinnassa on myös kiinnitettävä huomiota suuremman kantavuuden tuomiin etuihin suhteessa haittoihin. Kantavammat koneet olivat tässä tutkimuksessa tuottavampia, mutta polttoainetaloudeltaan ne olivat samaa tasoa pykälää pienempien koneiden kanssa. Suurimmat koneet eivät myöskään ole niin monikäyttöisiä kuin pienimmät koneet, sillä suuret koneet soveltuvat huonosti harvennuksille niiden vaatiman leveän ajouran vuoksi. Tämä taas voi aiheuttaa suurille koneille pidemmät siirtomatkat, jos

suurelle koneelle soveltuvia työmaita ei ole yhtä taajassa kuin pienemmälle koneelle soveltuvia työmaita.

Leimikoiden keskijäreiden yhteys hakkuun päästöihin oli havaittavissa tutkimuksen aineistosta. Järeässä leimikossa puuta kertyy nopeammin kuin pienipuustoisessa ja hakattua kuutiometriä kohden kuluu vähemmän polttoainetta. Etenkin ensiharvennuksissa leimikon järeydellä on suuri vaikutus. Pienessä puustossa järeyden kasvun vaikutus tuottavuuteen ja polttoaineenkulutukseen on voimakkaampaa kuin järeässä puustossa (Jylhä ym. 2019). Hakkuun tuottavuuden ja päästöjen kannalta olisikin syytä panostaa taimikoiden hoitoon, jotta puusto pääsisi kunnolla järeytymään ensiharvennukseen mennessä.

Yrittäjät mainitsivat haastatteluissa, että työmaiden koko vaikuttaa merkittävästi koneiden tuottavuuteen käyttötuntia kohden, sillä työmaiden aloitus ja lopetus vievät oman aikansa. Työmaiden kokoa kasvattamalla pienennetään myös koneiden siirroista aiheutuvia päästöjä, koska siirtokertoja kertyy vähemmän. Työmaiden koon vaikutus tuottavuuteen ei ollut tutkimuksessa selkeä, joten tämä aihe vaatii vielä jatkotutkimusta.

### **5.3 Jatkotutkimuskohteita**

Tiukentuvien päästötavoitteiden myötä mielenkiinto puunkorjuun kasvihuonekaasupäästöihin tulee mitä luultavimmin kasvamaan. Tästä syystä olisi tärkeää, että alalle muodostuisi selkeä käytäntö siitä, miten kasvihuonekaasupäästöt lasketaan ja mitkä ovat ne päästölähteet, jotka tulisi huomioida puunkorjuun päästöjä laskettaessa.

Tätä tutkimusta voitaisiin kehittää yleistettävämmiksi ja tarkemmaksi siten, että huomioidaisiin erilaiset korjuuolosuhteet kuten maantieteellinen sijainti ja vuodenaika. Seuraamalla tuotostietoja ja päästötietoja leimikkotasolla saataisiin tarkempia tuloksia päästöihin vaikuttavista tekijöistä. Suuremman ja tarkemman aineiston avulla voisi olla mahdollista kehittää laskentamalli puunkorjuun päästöistä.

Myös mahdollinen jatkotutkimuskohde olisi selvitys siitä, miten puunostajat ja puunmyyjät olisivat valmiita panostamaan puunkorjuun päästöjen vähentämiseen. Mielenkiintoista olisi selvittää, että olisivatko puunmyyjät valmiita tinkimään puun hinnasta, jos



puunkorjuu tehtäisiin ilmastoystävällisemmin esimerkiksi uusiutuvia polttoaineita käyttäen. Tai vastaavasti voitaisiin selvittää, kuinka puunostajat olisivat valmiita maksamaan nykyistä ilmastoystävällisemmästä puunkorjuusta.

## 6 LÄHTEET

- Automotive Handbook 2014. 9.painos. Robert Bosch GmbH, Karlsruhe. 1750 s.
- Bisnode Finland Oy 2021. Tutkimusraportti 2021 koneyrittäjien liitto ry jäsenyritysten tilinpäätöstietojen poiminta ja analyysi. Koneyrittäjät ry. 17 s.
- Botas J., Moreno J., Espada J., Serrano D. & Dufour J. 2017. Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA. Resources, Conservation and Recycling. Volume 125 2017, s. 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.010>.
- Brentrup, F. & Pallière, C. (2008). GHG Emissions and Energy Efficiency in European Nitrogen Fertilizer Production and Use. Fertilizers Europe asbl. 24 s.
- Cleveland, C. J. & Morris, C. G. 2015. Dictionary of energy. Second edition. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 700 s.
- Cosola G., Grigolato S., Ackerman P., Monterotti S. & Cavalli R. 2016. Carbon Footprint of Forest Operations under Different Management Regimes. Croatian Journal of Forest Engineering. 37, s. 201–217.
- Engel A.M., Wegener J. & Lange, M. 2012. Greenhouse gas emissions of two mechanised wood harvesting methods in comparison with the use of draft horses for logging. European Journal of Forest Research 131, s. 1139–1149. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0585-2>
- EnviOn 2018. Käyttöturvallisuustiedote Log Marking Color – Blue. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://envion.fi/wp-content/uploads/2020/09/Log-Marking-Color-Blue-24.10.2018-fi-FI-1.pdf> [Viitattu 8.3.2022].
- EPA 2022. Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. [Verkkodokumentti]. <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle#other-sources> [Viitattu 6.9.2022].

- Eurostat Statistics Explained 2017. [www-sivusto]. Glossary:Carbon dioxide equivalent  
 Saatavissa: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon\\_dioxide\\_equivalent](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent) [Viitattu 22.11.2021]
- Fingrid 2022. [www-sivusto]. Sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-päästöarvio. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/> [Viitattu 19.1.2022]
- GHG Protocol 2017. Emission Factors from Cross-Sector Tools. [Verkkodokumentti]  
 Saatavissa: [https://ghgprotocol.org/calculation-tools#cross\\_sector\\_tools\\_id](https://ghgprotocol.org/calculation-tools#cross_sector_tools_id) [viitattu 15.2.2022]
- Girotti, G., Raimondi A., Blengini G.A., & Fino D. 2011. The Contribution of Lube Additives to the Life Cycle Impacts of Fully Formulated Petroleum-Based Lubricants. *American Journal of Applied Sciences* 8, s. 1232–1240. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2011.1232.1240>
- Greenhouse Gas Protocol 2004. A Corporate Accounting and Reporting Standard. [Verkkodokumentti] <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>. [Viitattu 17.3.2022]
- Haavikko H., Kärhä K., Poikela A., Korvenranta M. & Palander T. 2022. Fuel Consumption, Greenhouse Gas Emissions, and Energy Efficiency of Wood-Harvesting Operations: A Case Study of Stora Enso in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 43 (1), s. 79–97. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2022.1101>
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä 2022. Jättemäärien laskenta yrityksessä ja yhteisössä. [Verkkodokumentti] Saatavissa: [https://www.hsy.fi/globalassets/jatteet-ja-kierratys/tiedostot/jatemaerien\\_laskentaohje\\_yrityksille.pdf](https://www.hsy.fi/globalassets/jatteet-ja-kierratys/tiedostot/jatemaerien_laskentaohje_yrityksille.pdf) [Viitattu 22.3.2022]
- Hoekman, S. K. 2020. Review of Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) Emissions from Motor Vehicles. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 13(1), s. 79–98. <https://www.jstor.org/stable/27034495>
- Hiilifiksi järjestö 2019. [Verkkodokumentti]. Laskuri. Saatavissa: <https://blogs.hiilifiksi.fi/hiilifiksi/laskuri/> [Viitattu 19.1.2022]
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 5: Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

- IPCC 2014. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2018. Global Warming of 1.5 °C. [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/> [Viitattu 22.11.2021]
- Jylhä P., Jounela P., Koistinen M. & Korpunen H. 2019. Koneellinen hakkuu. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2019. 55 s.
- Klein, D., Wolf, C., Schulz, C. & Weber-Blaschke G. 2015. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. The International Journal of Life Cycle Assessment 20, 556–575 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0847-1>
- Klvač R., Ward S., Owende P. & Lyons J. 2003. Energy Audit of Wood Harvesting Systems. Scandinavian journal of forest research 18 (2), s. 176–183. <https://doi.org/10.1080/02827580310003759>
- Kühmaier M., Kral I. & Kanzian C. 2022. Greenhouse Gas Emissions of the Forest Supply Chain in Austria in the Year 2018, Sustainability, 14, issue 2, s. 1-18.
- Kärhä K., Koivusalo V. & Ronkainen M. 2018. Kantokäsittelyliuoksen kulutus juurikäävän torjunnassa. Metsätehon tulosalvosarja 5/2018. 20 s. [Verkkodokumentti] Saatavissa: [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja\\_2018\\_05\\_Kantokasittelyliuoksen\\_kulutus\\_juurikaavan\\_torjunnassa.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2018_05_Kantokasittelyliuoksen_kulutus_juurikaavan_torjunnassa.pdf) [Viitattu 29.3.2022]
- Kääriäinen H. 2020. Puunkorjuun polttoaineen kulutus ja sen mallinnus. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Metsätieteiden osasto. Metsätieteiden pro gradu. 54 s.
- Laki biopolttoöljyn käytön edistämisestä 2019. 5 § Biopolttoöljyn kulutukseen toimittaminen. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2019/20190418> [Viitattu 22.2.2022]
- Laki metsätuhojen torjunnasta 2013. 8 a § (16.12.2021/1168) Juurikäävän torjunta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20131087#P8a> [Viitattu 22.2.2022]
- Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 2007. 5 § (29.6.2021/603) Uusiutuvien polttoaineiden kulutukseen toimittaminen. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070446> [Viitattu 22.2.2022.]

- Lipiäinen S., Sermyagina E., Kuparinen K. & Vakkilainen E. 2022. Future of forest industry in carbon-neutral reality: Finnish and Swedish visions, *Energy Reports*, Volume 8, 2022, s. 2588–2600, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.191>.
- Motiva 2022. [www-sivusto]. Nestemäiset biopolttoaineet. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/nestemaiset\\_biopolttoaineet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/nestemaiset_biopolttoaineet) [viitattu 2.3.2022]
- Nam E. K., Jensen T. E., & Wallington T. J. 2004. Methane emissions from vehicles. *Environmental science & technology*, 38(7), s. 2005–2010. <https://doi.org/10.1021/es034837g>
- Neste Oyj 2017. Käyttöturvallisuustiedote AdBlue. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.neste.fi/static/ktt/14441\\_fin.pdf](https://www.neste.fi/static/ktt/14441_fin.pdf) [Viitattu 8.3.2022]
- Ovaskainen H. 2009. Timber harvester operators' working technique in first thinning and the importance of cognitive abilities on work productivity. Doctoral thesis. University of Eastern Finland. *Dissertationes Forestales* 79. 62 s. <https://doi.org/10.14214/df.79>
- Pavlovic J., Fontaras G., Broekaert S., Ciuffo B., Ktistakis M.A. ja Grigoratos T. 2021. How accurately can we measure vehicle fuel consumption in real world operation? *Transportation research. Part D, Transport and environment*. 90 s. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102666>
- Plastic Europe 2019. Ethylene glycol; production mix, at plant. [Verkkodokumentti] Saatavissa: <https://plasticseurope.lca-data.com/showProcess.xhtml?uuid=58aa0dd1-04b0-6918-96cc-000027963c0f&stock=default> [Viitattu 8.3.2022]
- Proto A.R., Macrì G., Visser R., Harrill H, Russo D. & Zimbalatti G. 2018. Factors affecting forwarder productivity. *European Journal of Forest Research* 137, s. 143–151. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1088-6>
- Prussi M., Yugo M., De Prada L., Padella M., Edwards R. & Lonza L. 2020. JEC Well-to-Tank report v5, EUR 30269 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-19926-7 (online), <http://dx.doi.org/10.2760/959137>
- Prinz R., Spinelli R., Magagnotti N., Routa J. & Asikainen A. 2018. Modifying the settings of CTL timber harvesting machines to reduce fuel consumption and CO2 emissions, *Journal of Cleaner Production*, Volume 197, Part 1, 2018, s. 208–217, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.210>

- Puuinfo 2020. [www-sivusto]. Puutieto | Puun käytön ympäristövaikutukset. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/puuhun-sitoutuu-hiilta/> [Viitattu 21.11.2022]
- Rotstop 2010. [Verkkojulkaisu]. Hiilijalanjälki tekee tuloaan metsänkasvatukseen, VTT selvitti Rotstopin hiilijalanjäljen Saatavissa: <https://www.rotstop.fi/index.php/ajan-kohtaista/hiilijalanjaelki-tekee-tuloaan-metsaenkasvatukseen-vtt-selvitti-rotstopin-hiilijalanjaeljen/> [Viitattu 10.2.2022]
- Sahateollisuus ry 2020. Ilmastoviisas sahateollisuus. Sahateollisuuden hiilitiekartta-raportti. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st\\_hiilikartta\\_raportti.pdf](https://sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st_hiilikartta_raportti.pdf) [Viitattu 9.12.2021]
- SFS-EN ISO 14067:2018. Kasvihuonekaasut: tuotteiden hiilijalanjälki: hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet = Greenhouse gases: Carbon footprint of products: Requirements and guidelines for quantification. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 2018. 108 s.
- Spitmonitor 2022. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.spritmonitor.de/en/> [Viitattu 28.3.2022]
- Strandström M. 2021. Puunkorjuu ja kaukokuljetus 2019. Metsätehon tulosalvosarja 9/2021. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvosarja-2021-09-Puunkorjuu-ja-kaukokuljetus-vuonna-2019.pdf>
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2021. [www-sivusto]. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2020. Tilastokeskus. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/khki/2020/khki\\_2020\\_2021-05-21\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2021-05-21_kat_001_fi.html) [viitattu: 22.11.2021].
- Suomen ympäristökeskus (SYKE) 2017. ToimintaMALLI yritysten elinkaaristen Ympäristövaikutusten kehittämiseksi (MALLI-Y) -hanke. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.syke.fi/download/noname/%7B032490FA-19DF-4E5A-A40F-88E22B86DA20%7D/132057> [viitattu 10.12.2021]
- Teboil 2014. Käyttöturvallisuustiedote Teboil Jäähdytinneste 2014. [Verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.teboil.fi/globalassets/kayttoturvallisuustiedotteet/teboil-jaahdytinneste-fin.pdf> [Viitattu 8.3.2022]
- Teboil 2015. Käyttöturvallisuustiedote Teboil Solid 0, Solid 2. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.teboil.fi/globalassets/kayttoturvallisuustiedotteet/voiteluaineet/teboil-solid-0-solid-2-fin.pdf> [Viitattu 24.2.2022]

- Teboil 2019. Käyttöturvallisuustiedote Teboil Hydraulic 46 Max-S. [Verkkodokumentti]  
Saatavissa: <https://www.teboil.fi/globalassets/kayttoturvallisuustiedotteet/voiteluaineet/teboil-hydraulic-46-max-s-fin.pdf> [Viitattu 24.2.2022]
- Tilastokeskus 2022. Polttoaineluokitus 2021 [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html) [Viitattu 9.2.2022]
- Tomberlin K., Venditti R., & Yao Y. 2020. Life cycle carbon footprint analysis of pulp and paper grades in the United states using production-line-based data and integration. *BioResources* 15(2), s. 3899–3914.  
<http://dx.doi.org/10.15376/biores.15.2.3899-3914>
- Tulli 2021. Vienti tuoteluokittain (CPA2008) vuonna 2020. Saatavissa: <https://tulli.fi/tilastot/taulukot/muut-tilastot> [Viitattu 26.1.2022]
- Valtioneuvosto 2021. [www-sivusto] 3.1 Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi> [Viitattu 11.11.2021]
- VTT Lipasto yksikköpäästöt 2017. [www-sivusto]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/> [Viitattu 17.3.2022]
- Yara 2021. Käyttöturvallisuustiedote Urea-Kantokate. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://chemmate3.yara.com/SDS/search\\_advanced.aspx?Location=4f193ce42cb229050000&Date=8%2f3%2f2022-14%3a1%3a59](http://chemmate3.yara.com/SDS/search_advanced.aspx?Location=4f193ce42cb229050000&Date=8%2f3%2f2022-14%3a1%3a59) [Viitattu 8.3.2022]
- Ymparisto.fi 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli. [Verkkodokumentti] Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus\\_ja\\_tuotanto/tuotesuunnittelu\\_ja\\_tuotteet/elinkaariarviointi\\_jalanjaljet\\_ja\\_panostuotosmalli](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli) [Viitattu 9.12.2021]
- Ympäristöministeriö 2021. [www-sivusto]. Pariisin ilmastopimus. Saatavissa: <https://ym.fi/pariisin-ilmastopimus> [Viitattu 22.11.2021]
- Zhao Q., Ding S., Wen Z. & Toppinen A. 2019. Energy Flows and Carbon Footprint in the Forestry-Pulp and Paper Industry, *Forests*, vol. 10, no. 9. 725 s.  
<https://doi.org/10.3390/f10090725>

Liite 1 – Taulukot inventaarioanalyysiin

LIITE 1 TAULUKOT INVENTAARIOANALYYSIIN

Moto1							
Merkki ja malli	Vuosimalli	Teho (kW)	Omamassa (kg)	Käyttötunnit vuodessa (h)	Huoltoväli (h)		
Tuotostiedot							
Työmaiden määrä (kpl)	Hakkuumäärä harvennuksilla (m3)	Rungon keskikoko harvennuksilla (m3/runko)	Hakkuumäärä päätehakuilla (m3)	Rungon keskikoko päätehakuilla (m3/runko)	Muun hakkuun hakkuumäärä (m3)	Muun hakkuun keskijäreys (m3/runko)	Havupuiden hakkuut kantokäsitteilyaikan a 1.5. - 30.11. (m3)*
							*Jos konekohtaista k:
Kulutustiedot							
Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja				
Polttoöljy harvennus	l						
Polttoöljy avohakkuu	l						
Polttoöljy yhteensä	l						
AdBlue*	l						
Kantokäsitteilyaine (urea)*	l						
Kantokäsitteilyaine (Rotstop)*	l						
Teräketjuöljy*	l						
Merkitäväri*	l						
Voitelurasva*	kg						
*Jos ei ole konekohtaista tietoa, ilmoita yrityksen kokonaiskulutus ja mainitse siitä huomioita kohdassa.							
Huollot							
Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja				
Moottoriöljy	l						
Vaihteistoöljy	l						
Hydrauliikkaöljy	l						
Jäähdytysneste	l						

Ajokone1							
Merkki ja malli	Vuosimalli	Teho (kW)	Omamassa (kg)	Kantavuus (kg)	Käyttötunnit vuodessa (h)	Huoltoväli (h)	
Tuotostiedot							
Työmaiden määrä (kpl)	Määrä harvennuksilla (m3)	Keskimääräinen ajomatka harvennuksilla (m)	Määrä päätehakuilla (m3)	Keskimääräinen ajomatka päätehakuilla (m)	Muut hakkuut (m3)	Keskimääräinen ajomatka muilla hakuilla (m)	
Päivittäin kuluvien aineiden ja tarvikkeiden kulutus vuodessa							
			Tietolähde	Huomioita / lisätietoja			
Polttoöljy harvennus		l					
Polttoöljy päätehakkuu		l					
Polttoöljy yhteensä		l					
AdBlue		l					
Voitelurasva		kg					
Huollot							
			Tietolähde	Huomioita / lisätietoja			
Moottoriöljy		l					
Vaihteistoöljy		l					
Hydrauliikkaöljy		l					
Jäähdytysneste		l					

## Liite 1 – Taulukot inventaarioanalyysiin

Kaivinkone						
Merkki ja malli	Vuosimalli	Teho (kW)	Omamassa (kg)	Käyttötunnit vuodessa (h)	Huoltovälit (h)	Työmaiden määrä
Polttoöljyn kulutus	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja		
Huollot	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja		
Moottoriöljy		l				
Vaihteistoöljy		l				
Hydrauliikkaöljy		l				
Voitelurasva		kg				
Jäähdytysneste		l				

Taustatietoja kulutuksen laskentaan	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja			
Keskimääräinen siirtomatka	km					
Siirtojen määrä vuodessa	kpl					
Kuljetusauton vuosittainen ajomatka	km					
Kuljetusauton päästöluokka ja vuosimalli						
Kuljetusauton polttoaineenkulutus tyhjänä	l/100 km					
Kuljetusauton polttoaineenkulutus lastattuna	l/100 km					
Tyhjänä ja lastattuna ajon suhde						
Kulutustiedot	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja			
Dieselöljy	0 l					
AdBlue	l					



## Liite 1 – Taulukot inventaarioanalyysiin

Kuljettajien työmatkat				
1.	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja
Kuljettajan keskimääräinen työmatka		km		
Kuljettajan työpäivien määrä		kpl		
Kuljettajan työmatkat vuodessa		km		
Kuljettajan autojen keskimuutos		l/100 km		
2.	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja
Kuljettajan keskimääräinen työmatka		km		
Kuljettajan työpäivien määrä		kpl		
Kuljettajan työmatkat vuodessa		km		
Kuljettajan autojen keskimuutos		l/100 km		
3.	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja
Kuljettajan keskimääräinen työmatka		km		
Kuljettajan työpäivien määrä		kpl		
Kuljettajan työmatkat vuodessa		km		
Kuljettajan autojen keskimuutos		l/100 km		
4.	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja
Kuljettajan keskimääräinen työmatka		km		
Kuljettajan työpäivien määrä		kpl		
Kuljettajan työmatkat vuodessa		km		
Kuljettajan autojen keskimuutos		l/100 km		
5.	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja
Kuljettajan keskimääräinen työmatka		km		
Kuljettajan työpäivien määrä		kpl		
Kuljettajan työmatkat vuodessa		km		
Kuljettajan autojen keskimuutos		l/100 km		
6.	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja
Kuljettajan keskimääräinen työmatka		km		
Kuljettajan työpäivien määrä		kpl		
Kuljettajan työmatkat vuodessa		km		
Kuljettajan autojen keskimuutos		l/100 km		
Työnjohdon matkat				
1.	Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja
Työnjohdon keskimääräinen työmatka		km		
Työnjohdon työpäivien määrä		kpl		
Työnjohdon työmatkat vuodessa		km		
Työnjohdon autojen keskimuutos		l/100 km		
Kulutustiedot				
Diesel		l		
Bensiini		l		
AdBlue		l		

## Liite 1 – Taulukot inventaarioanalyysiin

Lämmitettävien tilojen koko					
Pinta-ala		m2			
Korkeus		m			
Kuutiot		0 m3			
Kulutustiedot					
Määrä	Yksikkö	Tietolähde	Huomioita / lisätietoja		
Sähkön kulutus	kWh	vuoden lasku			
Lämmitys	kWh	vuoden lasku			
Polttoaine					
Energiasäilöntä					
polttööljy	10 MWh/m3				
hake	0,8 MWh/m3				
sekapilke	1,25 MWh/m3				
koivupilke	1,5 MWh/m3				
puupelletti	4,7 MWh/t				
Jätteet					
Tyhjennyskerrat	Astian koko (l)	Tilavuus paino (kg/m3)	Jätteen määrä (kg)	Huomioita / lisätietoja	
		180	0		
Sekajäte		24	0		
Energiajäte		25	0		
Kartonki		15	0		
Muovi		200	0		
Paperi		600	0		
Sähkölaitteet			0		
Vaarallinen jäte			0		
Metalli		300	0		