



Ilmastoratkaisujen vauhdittaja
Accelerating Climate Efforts
and Investments – ACE



LIFE22-IPC-FI-ACE LIFE. Euroopan unionin osarahoittama.

Esitetyt näkemykset ja mielipiteet kuuluvat kuitenkin ainoastaan kirjoittajille eivätkä välttämättä heijasta Euroopan unionin tai CINEAn kantoja. Euroopan unionia tai myöntävää viranomaista ei voida pitää niistä vastuussa.

Vähähiiliset ratkaisut puun logistiikkajärjestelmissä

Osa 1: Yleinen osio ja työkoneet

Pirjo Venäläinen

Metsätehon tuloskalvosarja 8a/2026

Metsäteho Oy

Tiivistelmä

- Selvityksessä on kuvattu kotimaisen puun logistiikkaketjujen vähähiilisiä ratkaisuita. Selvityksessä esitetään tilannekuva
 - kuljetuksia ja työkoneita koskevista päästövähennystavoitteista
 - päästöjen vähentämistä koskevasta keskeisestä sääntelystä
 - puun eri kuljetusmuotojen ja terminaalien työkoneiden vähähiilisten ratkaisuiden nykytilasta ja kehittymisnäköymistä
 - vähähiilisten ratkaisuiden vaikutuksista päästöihin ja kustannuksiin.
- Selvitys on suunnattu vähähiilisten ratkaisuiden käyttöönottoa harkitseville toimijoille puun kuljetusketjuissa (kuljetustenantajat, puukuljetusyrietykset ja terminaalioperaattorit).
- Keskeinen kuljetusten ja työkoneiden päästövähennyskeino on ollut lainmukainen uusiutuvan polttoaineen jakeluelvoite.
 - Puun junakuljetuksissa sähkövetureiden käytön osuus on ollut merkittävä jo kauan.
 - Puun tiekuljetuksissa on otettu käyttöön LBG-kuorma-autoja.
 - HVO:ta on käytetty pienimuotoisesti sekä eri kuljetusmuodoissa että työkoneissa.
 - Tuotantolaitoksilla on ollut kauemmin ison kokoluokan työkoneita, jotka saavat sähkönsä kaapelin kautta.
 - Uusien käyttövoimien lisäksi merkittävä päästövähennyskeino on suurempi kuljetuskalusto (HCT-yhdistelmät, pidemmät junat ja suuremmat junavaunut).
- Eri ratkaisuiden ja varsinkin eri käyttövoimien keskinäisessä päästövertailuissa laskentaperiaatteiden yhtenäistäminen on tärkeää.
- Tässä selvityksessä ei tarkasteltu digitalisaation, automatisaation tai tekoälyn potentiaalia puun kuljetusketjujen päästöjen vähentämisessä. Suunnittelussa, toiminnan ohjauksessa ja raportoinnissa käytettävien työkalujen nykytilaa ja kehittämistarpeita tulisi tarkastella omassa hankkeessaan.
- Selvitys on laadittu osana Ilmastoratkaisujen vauhdittaja (ACE) –hanketta.



Sisältö

1. Johdanto
2. Työkoneiden vähähiiliset ratkaisut
 - a) Työkoneiden käyttövoimat
 - b) Vaihtotyökaluston käyttövoimat
 - c) Päästökauppa ja verotus
3. Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet

Lähteet



1. Johdanto

- Tässä selvityksessä on kuvattu kotimaisen puun logistiikkaketjujen vähähiilisiä ratkaisuita. Selvityksessä esitetään tilannekuva
 - kuljetuksia ja työkoneita koskevista päästövähennystavoitteista
 - päästöjen vähentämistä koskevasta keskeisestä sääntelystä
 - puun eri kuljetusmuotojen ja terminaalien työkoneiden vähähiilisten ratkaisuiden nykytilasta ja kehittymisnäköymistä
 - vähähiilisten ratkaisuiden vaikutuksista päästöihin ja kustannuksiin.
- Selvitys koostuu neljästä osaraportista, jotka ovat saatavilla sivulla <https://www.metsateho.fi/vahahiiliset-ratkaisut-puun-logistiikkajarjestelmissa/>
- Selvitys on suunnattu vähähiilisten ratkaisuiden käyttöönottoa harkitseville toimijoille puun kuljetusketjuissa (kuljetustenantajat, puukuljetusyrietykset ja terminaalioperaattorit).
- Selvitys päivittää ja täydentää Metsätehon aiempaa Suomen puukuljetusten päästövähennyskeinojen kartoitusta (Venäläinen ym. 2023).
 - Tässä selvityksessä on painotettu puun rautatiekuljetuksia, joita on käsitelty vähemmän aiemmissa selvityksissä.
- Selvitys on laadittu osana Ilmastoratkaisujen vauhdittaja (ACE) -hanketta, jonka tavoitteena on tukea hiilineutraaliuden saavuttamista mm. Suomen raskaassa liikenteessä.
 - Hankesivu <https://hiilineutraali suomi.syke.fi/projekti/ilmastoratkaisujen-vauhdittaja-ace/>

Selvityksen rajaukset ja toteutus

- Selvitys painottaa
 - kotimaisen ainespuun kuljetus-, kuormaus- ja purkuvaiheita (osin on käsitelty myös sivutuotehaketta)
 - uusia ja tuloillaan olevia päästövähennysratkaisuita.
- Selvityksessä ei ole käsitelty
 - kuljetus- ja terminaalikaluston valmistamisen päästöjä
 - kuljetus- ja varastointi-infrastruktuurin rakentamisen ja ylläpidon päästöjä.
- Selvitys on toteutettu pääosin tutkimusten, uutisartikkeleiden ja yritysten internetsivujen tietojen pohjalta.
 - Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfran tilannekuvan laatimisessa ja HCT-ajoneuvoyhdistelmien laskelmissa on tehty myös tietopyyntöjä yrityksille.
 - Puun autokuljetusten ja tuotantolaitosten työkoneiden käyttövoimien nykytilaa selvitettiin kyselyllä Metsätehon osakasyrityksille.

Päästövähennystavoitteita

EU

- EU:n ilmastolaki (vrt. 1990)
 - **2050**: ilmastoneutraalius
 - **2040**: –90 % kasvihuonekaasupäästöt
 - **2035**: –66 % kasvihuonekaasupäästöt
 - **2030**: –55 % kasvihuonekaasupäästöt
- **2030**: RED III -direktiivi
 - Liikenteen khk-päästöt –14,5 % tai uusiutuvan energian osuus liikenteessä 29 %
 - Uusiutuva energia = muu kuin fossiilinen energia (biokaasu, biodiesel, uusiutuva vety ja sähkö)
 - Kehittyneiden biopolttoaineiden ja RFNBO-polttoaineiden (=sähkölaitteiden) osuus liikenteen uusiutuvasta energiasta 5,5 %

Suomi

- Ilmastolaki (vrt. 1990)
 - **2050**: –90 % taakanjako+päästökauppasektorin yhteenlasketut khk-päästöt
 - **2040**: –80 %
 - **2030**: –60 %
 - **2035**: hiilineutraalius ihmisen toiminnasta aiheutuissa khk-päästöissä
- Taakanjakoasetus
 - **2030**: –50 % taakanjakosektorin päästöt (mm. liikenne ja eräät työkoneet) (vrt. 2005)

Kasvihuonekaasupäästöt = hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli



Puukuljetusten ilmastotiekartta

- Metsäteollisuuden tilaamassa kuljetusten ilmastotiekartassa selvityksen (AFRY Management Consulting 2025) tehokkaimmiksi puukuljetusten päästövähennyskeinoiksi on arvioitu mm. kuljetusten siirtäminen tiekuljetuksista rautatiekuljetuksiin ja uusiutuvien polttoaineiden jakeluvelvoite (ks. taulukko).
- Tiekartassa on arvioitu eri keinojen päästövähennyspotentiaalia vuonna 2035.

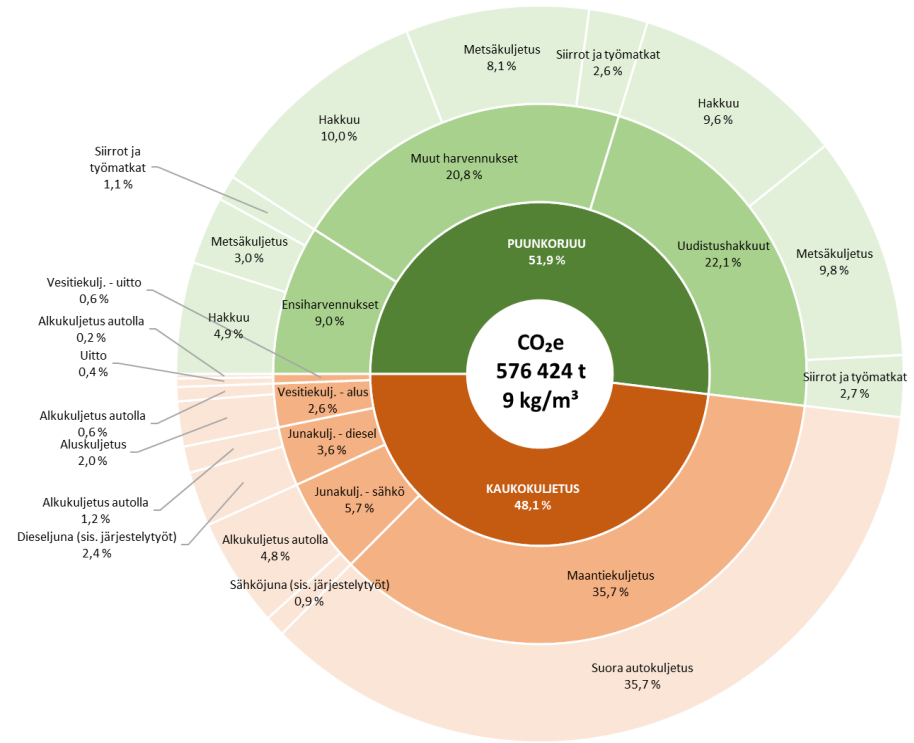
Puukuljetusten päästövähennyskeino	Vaikutus 2035 ktCO ₂
Teiltä raiteille	-70
Jakeluvelvoite	-51
HCT-yhdistelmät	-28
Maantiekuljetusten käyttövoimat	-10
Maantiekuljetusten energiatehokkuus	-6
Radan sähköistäminen	-4
Terminaalikoneiden energiatehokkuus	-1
FuelEUMaritime	-1
Uitto	<-1

AFRY Management Consulting 2025



Ainespuukuljetusten CO₂e-päästöt 2022

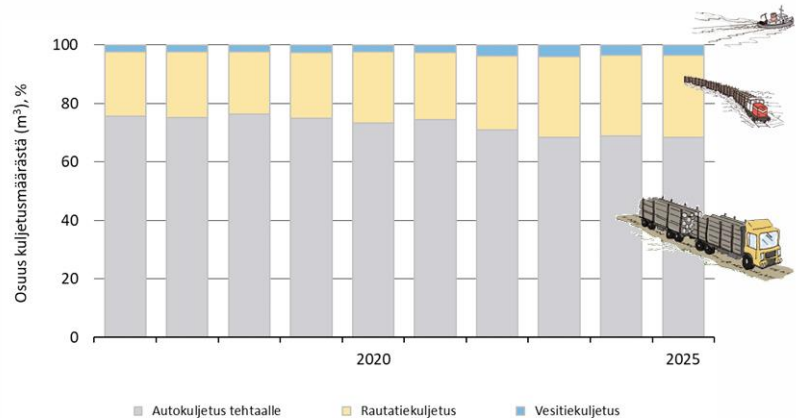
- Kotimaisen ainespuun kaukokuljetusten päästöt olivat yhteensä 580 000 tonnia CO₂e (Poikela ja Strandström 2024).
 - suorien autokuljetusten osuus päästöistä oli 74 %
 - junakuljetusketjujen 19 %
 - vesikuljetusketjujen 7 %.
- Kuljetusketjujen päästöihin sisältyvät alkukuljetukset autolla, puun kuormaus terminaaleissa, purku tuotantolaitoksissa ja junien vaihtotyöt.



Poikela ja Strandström 2024

Kuljetusmuotojakauma ja päästöt per kuljetusmuoto

- Suorat autokuljetukset kattavat noin $\frac{3}{4}$ kotimaan ainespuukuljetuksista (ks. kuva).
 - Venäjän tuonnin päätyttyä pitkillä kuljetusmatkoilla kilpailukykyisten juna- ja vesikuljetusten osuus kuljetuksista on kasvanut.
- Juna- ja vesikuljetusketjujen CO₂e-päästöt per tkm ovat 34–79 % matalammat kuin suorilla autokuljetuksilla (ks. taulukko).
 - Kuutiokohtaisesti laskettuna dieseljuna- ja vesikuljetusketjujen päästöt ovat suuremmat johtuen niiden pidemmistä keskikuljetusmatkoista.



Strandström 2026

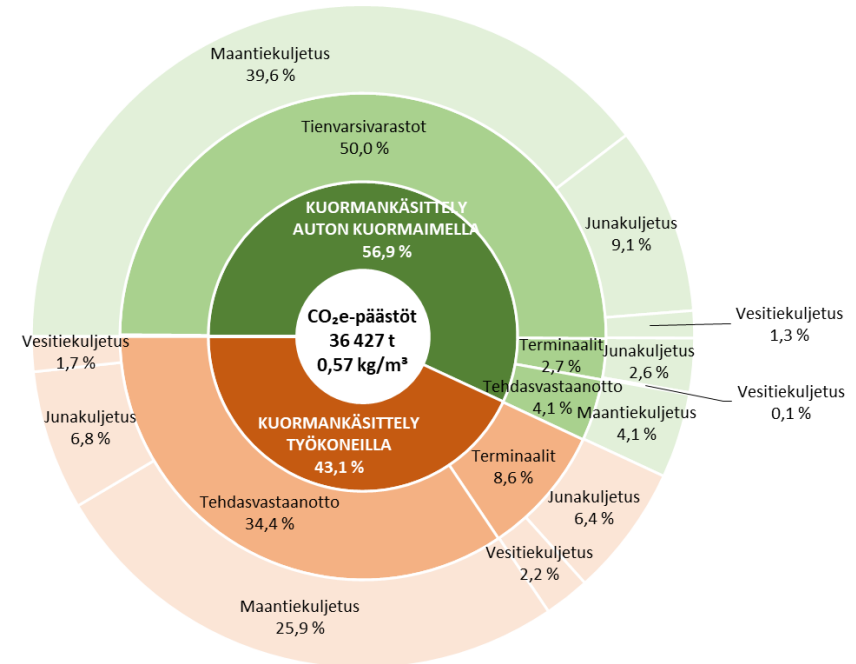
Kuljetusmuoto	CO ₂ e-päästöt g per tkm 2022	CO ₂ e-päästöt kg per m ³ 2022	Ka. kuljetusmatka km 2022*
Auto	48,5	4,25	104
Juna – sähkö	10,0	3,02	347
Juna – diesel	25,8	7,79	347
Vesi – alus	32,2	10,72	
Vesi – uitto	20,8	5,49	367

Poikela ja Strandström 2024, *Strandström 2023



2. Työkoneiden vähähiiliset ratkaisut

- Ainespuun kuljetusketjujen kuormankäsittelyn päästöt olivat 36 000 t CO₂e vuonna 2022 (kuva).
 - Päästöistä 43 % syntyi työkoneista ja loput auton oman kuormaimen käsittelystä.
- Työkoneiden CO₂-päästörajoja ei ole määritelty Stage-päästöluokituksessa.



Poikela ja Strandström 2024

a) Työkoneiden käyttövoimat 1

- Pyöreän ainespuun kuljetusketjuissa hyödynnettävien työkoneiden tyyppiä ja käyttövoimia selvitettiin Metsätehon aiemmassa kyselyssä (Venäläinen ym. 2024).
 - Puun kuormauksessa rautatie- ja vesikuljetuksissa ei ollut käytössä muita käyttövoimia kuin polttoöljyä.
- Taulukossa on esitetty uuden kyselyn pohjalta puun vastaanoton työkoneiden käyttövoimat.
 - Kaikkiaan yli 60 työkoneessa oli käytössä muu käyttövoima kuin normaali polttoöljy.

Työkoneiden käyttövoimat puun vastaanotossa vuonna 2025 (vastausten lkm)

Työkonetyyppi	Sähkö tai hybridi	HVO
Materiaalin-käsittelykone	14	5
Puukurottajat	2	16
Pyöräkuormaajat	2	8
Siltanosturi	2	0
Haarukka- ja kurottajatrakit	1	0
Terminaalikuorma-auto	1	9
Vaununsiirtolaite	2	1

Esimerkkejä työkoneiden käyttövoimista

Työkonetyyppi	Käyttövoima	Merkkejä ja malleja	Käyttöesimerkki
Materiaalinkäs. kone	Sähkö (akku)	Atlas 200MH ACU (21 t), Komatsu PC210E-11	Metsä Group Äänekoski, Stora Enso Uimaharju
Materiaalinkäs. kone	Sähkö (kaapeli)	Liebherr, Sennebogen 850 E (62–100 t)	
Materiaalinkäs. kone	Sähkö (akku+kaapeli)	Fuchs Terex, Mantsinen	
Materiaalinkäs. kone	Hybridi (sähkö+diesel)	Sennebogen 850 G Hybrid (68,5 t)	
Puukurottaja	Hybridi	EdiLog (300-960 kW)	
Pyöräkuormaaja	Sähkö	CASE 580 EV, Caterpillar 950 GC prototyyppi (19,7 t), Komatsu LeTourneau, LiuJong 856HE (22 t), Volvo L120H (20 t)	Koskisen Kärkölä, Stora Enso (ACE-pilotti), UPM Pietarsaari
Pyöräkuormaaja	Metaani	CASE (konsepti)	
Pyöräkuormaaja	Vety	JCB	
Trukki	Sähkö (akku)	Hyster J10-18XD (10–18 t), Kalmar ECG 180 (18 t), Linde (10–18 t)	
Trukki	Hybridi	SOCMA (25 t)	
Vetomestari	Sähkö	Gaussin, Kalmar Ottawa T2E+ (35–90 t), MAFI	
Satamanosturi	Sähkö	Mantsinen	Hallan sataman puukenttä
Terminaalikuorma-auto	Sähkö (akku)	eTruckin konvertoima kuorma-auto	UPM Pietarsaari (ACE-pilotti)

Työkoneiden käyttövoimat 2

• Tavoitteet

- Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa (KAISUssa) (Ympäristöministeriö 2025) esitetään useita toimia työkoneiden päästöjen vähentämiseksi. Yksittäisiä käyttövoimia koskevat ehdotukset on kuvattu ko. käyttövoimien osioissa. KAISUn toimenpidepakettiin sisällytetyjä yleisiä politiikkatoimia ovat:
 - työkoneiden vähäpäästöisyyttä ja vaihtoehtoisen jakeluinfran yleistymistä edistävien uusien teknologioiden ja ratkaisujen TKI-hanke
 - vähäpäästöisten työkoneiden ja polttoainetta säästävien työtapojen edistämishjelma.
- Työkonealan uudella green deal -sopimuskaudella 2026–2030 pyritään lisäämään vähäpäästöisten työkoneiden käyttöä Suomessa.
 - Tämä lisännee vähäpäästöisten työkoneiden tarjontaa myös yrityksille, jotka eivät ole sopimuksessa mukana.

• Kehitysnäkymät

- Mm. päästökaupan oletetaan lisäävän uusien käyttövoimien tarjontaa työkoneissa. Metsäsektorin tuotantolaitoksilla on suuret käsittelyvolyymit, joten niissä käyttövoimasiirtymä yleistyy, kun uusia käyttövoimia on tarjolla myös suuremmissa koneiden kokoluokissa. Puukuljetusten muissa terminaaleissa siirtymää hidastaa pienet volyymit.

• Vaikutukset

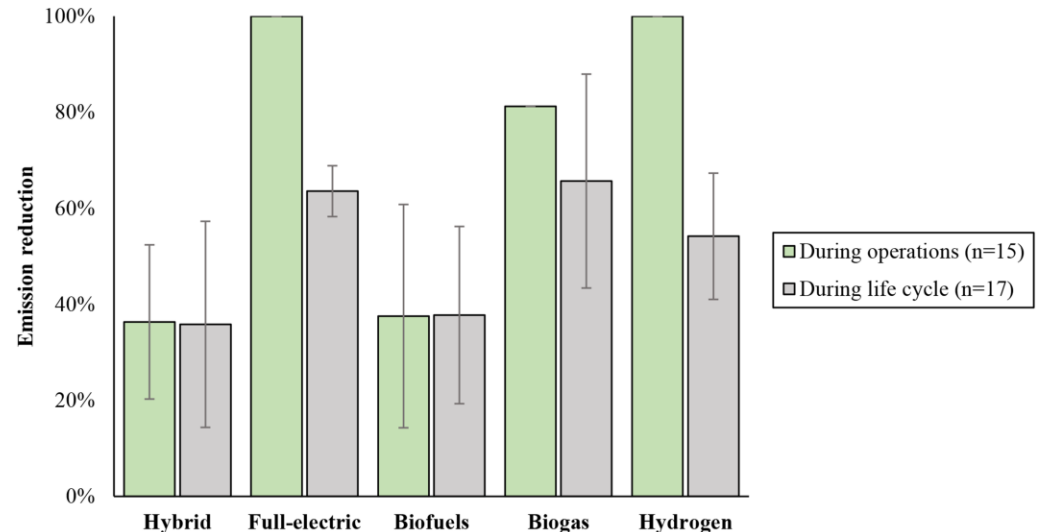
- Käytön aikana nollapäästöisiä käyttövoimia ovat sähkö ja vety. Tarkempia päästövaikutuksia on esitetty seuraavassa kalvossa.
- Kustannusvaikutuksia on tarpeen arvioida jatkossa kattavammin.



Käyttövoimien päästövähennysvaikutukset

- Pesonen ym. 2025 on kartoittanut tutkimuskirjallisuuden pohjalta työkoneneiden eri käyttövoimien päästövähennyksiä (kuva).
- Päästövähennysvaikutuksia on tarpeen tarkentaa kansallisesti mm. erilaisista jakeluvaihtoehdoista ja vihreän sähkön osuuksista johtuen.
- Työkoneneiden päästölaskennan kehittämistarve on mainittu myös KAISU3:n raportissa (Ympäristöministeriö 2025).

Työkoneneiden käyttövoimien päästövähennyksiä dieseliin verrattuna (käytön ja elinkaaren aikaiset päästöt)



Pesonen ym. 2025

Biopolttoöljy ja HVO

- **Nykytilanne**

- Moottoripolttoöljyssä biopolttoöljyn jakeluelvoite on 8 % vuonna 2026, 9 % vuonna 2027 ja 10 % vuonna 2028 sekä sen jälkeen.
- Metsätehon kyselyn mukaan HVO on käytössä lähes 40:ssä puun vastaanoton työkoneessa (kalvo 11).

- **Tavoitteet**

- Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa KAISUssa (Ympäristöministeriö 2025) esitetään polttoöljyn bio-osuuden jakeluelvoitteen nostaminen 15 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.

- **Kehitysnäkymiä**

- HVO:n käytön yleistymistä heikentää sen korkea hinta. Biopolttoöljyn käytön kehittyminen riippuukin paljon jakeluelvoitteen muutoksista. Sähköiset työkoneet alkavat olla yhä kustannuskilpailukykyisempiä ratkaisuita päästöjen vähentämiseksi.

- **Vaikutukset**

- Kustannusvaikutuksia ei ole arvioitu tässä selvityksessä.



Sähkö ja hybridi 1

- **Nykytilanne**

- Metsätehon kyselyn mukaan puun vastaanotossa oli käytössä 24 sähköistä ja hybridityökoneita vuonna 2025 (kalvo 11). Näistä suurin osa oli materiaalin-käsittelykoneita.
- Sähkö- ja hybridityökoneet suurimmissa kokoluokissa ovat kaapeliladattavia. Akkukäyttöisiä työkoneita on tarjolla vasta pienemmissä teholuokissa (ks. kalvo 12).

- **Tavoitteet**

- Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa KAISUssa (Ympäristöministeriö 2025) on esitetty useita toimenpiteitä nolla- ja vähäpäästöisten työkoneiden käytön edistämiseksi.



Sähkö ja hybridi 2

- **Kehitysnäkymiä**

- Sähköisiä työkoneita on jo tarjolla useissa puun kuljetusketjuissa käytetyissä työkoneityypeissä (ks. kalvo 12), joten niiden käytön voidaan olettaa yleistyvän varsinkin puun vastaanotossa. ACE-hankkeessa Toijala Works kehittää sähköistä puukurottajaa, joka tulee testikäyttöön vuonna 2027.
- Sähköisten työkoneiden hyödyntämisessä on vielä teknisiä haasteita (mm. akkujen paino, standardoinnin puutteet), mutta ne vähentyvät pitkällä aikajänteellä, koska työkoneissa voidaan hyödyntää myös raskaan liikenteen sähköistymisessä kehitettäviä ratkaisuita. Haasteena on myös akkukäyttöisten työkoneiden osalta latausinfrastruktuurin puuttuminen. Investoinnit latausinfrastruktuuriin tulevat kannattavammiksi, jos niissä voidaan hyödyntää synergiaa sähköistyvän autoliikenteen kanssa.

- **Vaikutukset**

- Päästövaikutuksia on kuvattu kalvossa 14. Auvisen ym. (2025) raportissa on oletettu sähkökäyttöisen ison pyöräkuormaajan hankintakustannus 85 % kalliimmaksi kuin dieselkäyttöisen ja sähköisen ison trukin 50 % kalliimmaksi. Kustannusvaikutuksia on tarpeen kartoittaa laajemminkin.



Muut käyttövoimat

- **Nykytilanne**

- Metsätehon kyselyiden mukaan puun kuljetusketjuissa Suomessa ei ole vielä käytössä muiden käyttövoimien (kaasu, vety) työkoneita, vaikka niitä on jo jonkin verran markkinoilla (kalvo 12).

- **Tavoitteet**

- Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa KAISUssa (Ympäristöministeriö 2025) on mainittu biokaasun ja sähköpolttoaineiden lisääminen työkoneiden polttoaineiden jakeluelvoitteeseen, mutta sitä ei ole mainittu suunnitelman toimenpideohjelmassa. KAISUssa on nostettu esille myös yleisiä keinoja vähäpäästöisten työkoneiden käytön edistämiseksi.

- **Kehitysnäkymiä**

- Biokaasun käytön lisääntyminen näyttää todennäköisemmälle maatalouden työkoneissa, joille biokaasun raaka-aineita on paikallisesti tarjolla (Pesonen ym. 2025).
- Vedyn käytön esteinä lähitulevaisuudessa ovat sen korkea hinta ja heikko saatavuus sekä vetykäyttöisten työkoneiden painottuminen pieniin kokoluokkiin (Pesonen ym. 2025). Auvinen ym. 2025 arvioi, että vedyn käyttö Suomen työkoneissa yleistyy vuoden 2030 jälkeen. Vety sopii varsinkin raskaaseen teollisuuteen, jossa koneet vaativat paljon energiaa ja niillä on pitkät käyttöajat. Vedyn jakelua edistää Gasgridin vetyverkon toteuttaminen.
- RFNBO-polttoaineille tulee EU-tasoinen jakeluelvoite tieliikenteessä. RFNBO-polttoaineiden valmistaminen on vielä kallista, mutta pidemmällä aikajänteellä tarjontaa voisi syntyä myös työkonekäyttöön.

- **Vaikutukset**

- Päästövaikutukset on esitetty kalvossa 14. Kustannusvaikutusten arviointi vaatii oman selvityksensä.



b) Vaihtotyökaluston käyttövoimat 1

• Nykytilanne

- Vaihtotöillä tarkoitetaan junien ja junavaunujen siirtelyä ratapihoilla, raakapuun kuormauspaikoilla, satamissa, teollisuusalueilla ja liikennepaikkojen välillä. Vaihtotöitä tehdään osin linjaliikenteen diesel- tai sähkövetureilla, osin erillisillä vaihtotyövetureilla ja -roboteilla tai painovoiman avulla (laskumäkityö).
- Kotimaisen puun junakuljetuksiin liittyvien vaihtotöiden CO₂e-päästöt olivat 10 tonnia vuonna 2022 (Poikela ja Strandström 2024).
- Vaihtotöihin käytetään pääosin dieselkalustoa, mutta muidenkin käyttövoimien kalustoa on tarjolla (ks. kalvo 20).
 - Sähkö- ja hybridiratkaisuita on tarjolla jo paljon. Vety- ja metaanikäyttöisistä työkoneita on vasta vähän tarjolla.

• Tavoitteet

- Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman KAISUssa (Ympäristöministeriö 2025) on esitetty yleisiä vähäpäästöisiin työkoneisiin liittyviä tavoitteita.



Käyttövoimia vaihtotyökalustossa

Käyttövoima	Esimerkkejä valmistajista ja malleista
Hybridi (diesel + sähkö)	Alstom Traxx Shunter CFD Shunter Series Windhoff Tele-Trac DAE
Sähkö	Alstom Traxx Shunter (ajolanka+akku) Siemens Vectron Zephir Lok E, Zephir CRAB EZ
Sähkö (akku)	Colmar SL200E Vollert Shunting Robot Standard/Pro/Pro Eco Wabtec Electric Shuttlewagon Windhoff Tele-Trac AEM
Sähkö (ajolanka)	Mantsinen robottiveturi (ei sarjatuotantoa) Windhoff Tele-Trac EM
Metaani	CFD Shunter Series
Vety	PESA (prototyyppi) Alstom Traxx Shunter (vety+akku)



Vaihtotyökaluston käyttövoimat 2

- **Kehitysnäkymät**

- Vaihtotöissä uusiin käyttövoimiin siirtyminen on junien linjaliikennettä helpompaa mm. lyhyempien siirtymien, hitaampien ajonopeuksien ja jakeluinfran helpomman toteutettavuuden takia (Tikka ym. 2024).
- Akkujen käyttöä vaihtotöissä edesauttaa kaluston pitkät seisonta-ajat ja siten hyvä latausmahdollisuus sekä soveltuvuus terminaaleihin, joissa ei voi olla ajolankasähköistystä työkoneiden takia. Terminaaleissa akkulatauksella voi olla synergioita laivojen maasähkön ja tieliikenteen lataamisen kanssa. (Tikka ym. 2024).
- Vaihtotöihin soveltuvat myös erilaiset hybridiratkaisut, jos ratapiha on osittain sähköistetty (sähkö- ja kaapelilataushybridi tai diesel-sähköhybridi). (Tikka ym. 2024).

- **Vaikutukset**

- Vaihtotyökaluston käyttövoimien päästö- ja kustannusvaikutuksia ei ole arvioitu tässä selvityksessä.

c) Päästökauppa ja verotus

- Fossiilisten polttoaineiden jakelijoita koskeva EU:n päästökauppa (ETS2) käynnistyy 2028, ja se koskee myös työkoneiden polttoaineita.
- Nestemäisten polttoaineiden valmisteveroa koskevassa laissa (1472/1994) määritellään työkoneissa käytettävän kevyen polttoöljyn verotaso.
- Sähkön kulutuksesta maksetaan energiaveroa, joka muodostuu valmisteverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Sähköntuotantoon ja energiavarastointiin liittyvät omat verotusta koskevat vaatimukset.

4. Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet 1

- Kotimaisen puun kuljetuksiin käytetään tie-, rautatie- ja vesikuljetuksia. Puuta käsitellään työkoneilla sekä tuotantolaitoksilla että isommissa kuljetusketjujen terminaaleissa. Tässä selvityksessä on tarkasteltu varsinkin eri käyttövoimien vaikutusta kuljetusten ja kuormankäsittelyn päästöihin ja kustannuksiin. Tarpeita päästöjen vähentämiseksi syntyy paitsi yritysten ja niiden asiakkaiden tavoitteista myös tiukentuvasta päästösääntelystä.
- Keskeinen kuljetusten ja työkoneiden päästövähennyskeino on ollut lainmukainen uusiutuvan polttoaineen jakeluelvoite. Sataprosenttisesti uusiutuvien HVO-polttoaineiden käyttöä on rajoittanut niiden korkea hinta, vaikka etuna onkin polttoaineen soveltuminen nykyiseen kalustoon. Tiekuljetuskalustoa uusitaan tiheämmin, jolloin dieselajoneuvojakin koskevat päästövähennysvaatimukset vaikuttavat päästöihin lyhyellä aikajänteellä. Muissa kuljetusmuodoissa ja työkoneissa kaluston uusimisfrekvenssi on selvästi harvempi, jolloin lyhyen aikajänteen päästövähennyksiä voidaan tavoitella esim. toiminnan paremmalla suunnittelulla ja taloudellisella ajotavalla.
- Puun junakuljetuksissa sähkövetureiden käytön osuus on ollut merkittävä jo kauan. Uudet käyttövoimat ovat alkaneet vähitellen yleistyä muissakin kuljetusketjuissa. Puun tiekuljetuksissa on otettu käyttöön LBG-kuorma-autoja. HVO:ta on käytetty pienimuotoisesti sekä eri kuljetusmuodoissa että työkoneissa. Tuotantolaitoksilla on ollut kauemmin ison kokoluokan työkoneita, jotka saavat sähköä kaapelin kautta. Akkukäyttöisiä työkoneita alkaa olla tarjolla isoissakin kokoluokissa. Niiden käyttö yleistyy niillä tuotantolaitoksilla, joilla latausinfra saadaan toteutettua toimivaan ja myös kuorma-autoliikenteelle sopivaan paikkaan sekä kohtuullisilla kustannuksilla.
- Uusien käyttövoimien yleistymiseen vaikuttaa kaluston hankintakustannusten ja käyttövoimakustannusten kehittyminen. Uusien käyttövoimien kalustoa on ollut suurissa kokoluokissa vasta lyhyen aikaa, joten tietoja esim. huoltokustannusten ja kaluston vaihtoarvoista ei ole päässyt vielä syntymään. Käyttövoimien kustannuksiin vaikuttavat mm. maailmanmarkkina-tilanteet, päästökauppa ja tulevat verotuspäätökset. Eri ratkaisuiden kustannusvertailujen päivittäminen on tarpeen jatkossakin, koska varsinkin pienillä kuljetus- ja terminaalioperaattoreilla investointikynnykset uuteen kalustoon ovat korkeita. Esillä ovatkin olleet erilaiset tukiratkaisut, jotta pientenkin yritysten siirtyminen uusiin käyttövoimiin voidaan varmistaa.

Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet 2

- Suomen pohjoiset olosuhteet, pitkät kuljetusmatkat ja ohuet tavaravirrat tuovat oman haasteensa käyttövoimasiirtymään.
 - Lämpötilan vaikutusta eri käyttövoimien kulutukseen on tarpeen tutkia sekä kustannusvertailuiden että toimintojen käytännön suunnittelun tueksi.
 - Pitkät kuljetusmatkat rajaavat käyttövoimavaihtoehtoja varsinkin harvaan asutuilla alueilla, joilla jakeluinfraverkko jää harvaksi. Käyttövoimasiirtymään ensimmäisenä soveltuvat alueet tulee tunnistaa kuljetustenantajien, kuljetus- ja terminaalioperaattoreiden, jakeluinfran tarjoajien ja alueviranomaisten yhteistyönä.
- Uusien käyttövoimien lisäksi merkittäviä päästövähennyskeinoja ovat mm.:
 - kalustokapasiteetin tehokas käyttö ja ajotaloudellinen ajotapa, joita on käsitelty autokuljetusten osalta Metsätehon Energiatehokkuusoppaassa. Puun terminaalityökoneiden osalta vastaava opasaineisto on tarpeen. Motivan Vähäpäästöiset työkoneet - koulutuskokonaisuus toimisi yhtenä oppaan tausta-aineistona.
 - suurempi kuljetuskalusto (HCT-yhdistelmät, pidemmät junat ja suuremmat junavaunut). Ko. kaluston hyödyntämiselle on liikenneinfrastruktuurista johtuvia rajoitteita, joista on käynnissä omia tutkimushankkeitaan.

Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet 3

- Eri ratkaisuiden ja varsinkin eri käyttövoimien keskinäisessä päästövertailuissa laskentaperiaatteiden yhtenäistäminen on tärkeää. Laskentaperusteita tulee määritellä osin kansallisesti mm. maakohtaisten jakeluvelvoitteiden ja vihreä sähkön osuuksien takia. Laskennan tulisi olla mahdollisimman helppoa myös pienille kuljetus- ja terminaaliyrityksille. Laskentaa tulisi kehittää yhteistyössä yksityisen, julkisen ja tutkimussektorin kesken.
- Tässä selvityksessä on tarkasteltu eri ratkaisuita vain päästöjen vähentämisen näkökulmasta. Sähköisen kaluston etuna on myös sen hiljaisuus, mikä voi edistää sähköistymistä asutusta lähellä olevilla toiminta-alueilla. Meluvaikutuksista tulisi olla tarjolla enemmän tutkittua tietoa.
- Tässä selvityksessä ei tarkasteltu digitalisaation, automatisaation tai tekoälyn potentiaalia puun kuljetusketjujen päästöjen vähentämisessä.
 - Uusien käyttövoimien hyödyntäminen vaatii aiempaa tarkempaa operaatioiden suunnittelua. Myös päästöraportointivaatimusten tiukentuessa tarve päästövähennyskeinojen tunnistamiselle ja niiden vaikutusten mittaamiselle yrityssectorilla kasvaa. Suunnittelussa, toiminnan ohjauksessa ja raportoinnissa käytettävien työkalujen nykytilaa ja kehittämistarpeita tulisi tarkastella omassa hankkeessaan.

Lähteet 1

AFRY Management Consulting (2025) Metsäteollisuuden puunkorjuun ja kuljetusten päästöskenaario osana ilmastotiekarttatyötä – Loppuraportti. https://metsateollisuus.fi/wp-content/uploads/2025/06/20250606_Metsateollisuus_Logistiikkaselvitys_Loppuraportti.pdf

Auvinen K, Kaminen K, Karhinen S, Rekola A, Pelkonen J, Child M, Kärhä K, Rantsi J, Ihonen J, Suomalainen E, Hyrynen J, Pesonen J, Rasi S (2025) Politiikkatoimet liikkuvien työkoneiden puhtaan siirtymän edistämiseksi - Työkoneiden päästöjen vähentäminen tukee suomalaisten työkonevalmistajien kilpailukykyä vientimarkkinoilla. ACE-raportti. <https://helda.helsinki.fi/items/c6f486cd-8d1a-46dd-b0ce-557eba572f27>

Ojala T, Hokkanen E, Honkasalo N (2024) Kansallinen liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluinfraohjelma. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2024: 10. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165917/LVM_2024_10.pdf

Pesonen J, Prinz R, Ovaskainen H, Kauranen P, Poikela A, Kärhä K (2025) Alternative Powertrains and Fuels in Heavy Non Road Mobile Machinery and Their Future Expectations- A Review. Forest Engineering Reports (2025) 11:10. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00244-2>

Poikela A, Strandström M (2024) Ainespuun korjuun ja kaukokuljetuksen suorat CO₂-päästöt ja energiankulutus 2022. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja-2024-5-paastoselvitys.pdf>



Lähteet 2

Strandström M (2023) Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2022. Metsätehon tuloskalvosarja 12/2023. <https://www.metsateho.fi/puunkorjuu-ja-kaukokuljetus-vuonna-2022/>

Strandström M (2026) Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2025. Metsätehon tuloskalvosarja 6/2026. <https://www.metsateho.fi/puunkorjuu-ja-kaukokuljetus-vuonna-2025/>

Tikka K-L, Kankaanpää L, Halminen A, Marttinen I, Korkeamaa A (2024) Raideliikenteen vaihtoehtoiset käyttövoimat. Väyläviraston julkaisuja 48/2024. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/189112/vj_2024-48_978-952-405-192-7.pdf

Venäläinen P, Strandström M, Poikela A (2023) Puun korjuun ja kuljetusten päästöjen nykytila ja vähennyskeinot – 2. päivitys. Metsätehon tuloskalvosarja 4/2023. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja-2023-4-Puun-korjuun-ja-kuljetusten-paastojen.pdf>

Venäläinen P, Strandström M, Poikela A (2024) Puun korjuun ja kuljetusten päästöjen nykytila ja vähennyskeinot – 2. päivitys – Liiteraportti 5: Puun kuormankäsittelyn työkonekysely. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Liite-5-Tyokonekyselyn-Tulokset.pdf>

Ympäristöministeriö (2025) Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma. Ympäristöministeriön julkaisuja 2025:33. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/server/api/core/bitstreams/b01ae9d6-55d6-4602-b9bc-e453a746c344/content>

