



# VIHREÄ SIIRTYMÄ KONEKALUSTOSSA: CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN KARTOITUS JA VAIHTOEHTOISET ENERGIAMUODOT

Yara Suomi Siilinjärvi logistiikkaosasto

## Tiivistelmä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala		
Tutkinto-ohjelma Teknologiaosaamisen johtamisen tutkinto-ohjelma		
Työn tekijä Tomi Huttunen		
Työn nimi Vihreä siirtymä konekalustossa: CO <sub>2</sub> -päästöjen kartoitus ja vaihtoehtoiset energiamuodot		
Päiväys	16.3.2026	47/3
Yhteistyötaho Yara Suomi Oy		
Tiivistelmä ja abstrakti <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida Yara Siilinjärven logistiikkaosaston konekaluston hiilidioksidipäästöt ja tunnistaa kustannustehokkaita energiaratkaisuja päästöjen vähentämiseksi vihreän siirtymän ja yrityksen ilmastotavoitteiden tukemiseksi. Tarkastelu kohdistui erityisesti pyöräkuormaajiin ja trukkeihin, jotka muodostavat merkittävän osan logistiikan kokonaispäästöistä.</p> <p>Tutkimus toteutettiin monimenetelmäisesti. Työssä suoritettiin kirjallisuuskatsaus, asiantuntijahaastattelut, kyselytutkimus, päästölaskenta ja kustannusanalyysi sekä toteutettiin käytännön pilottihankkeita. Piloteissa testattiin uusiutuvaa HVO-dieseliä pyöräkuormaajassa ja vetykäyttöistä trukkeja todellisissa käyttöolosuhteissa. Teknistä toimivuutta, kustannuksia ja käyttäjäkokemuksia arvioitiin. Päästövähennykset laskettiin polttoaineenkulutuksen ja well-to-wheel-päästökertoimien perusteella, ja kyselyaineisto analysoitiin sisällönanalyysillä.</p> <p>Tulokset osoittivat, että logistiikkakaluston vuotuiset päästöt ovat noin 376 tonnia CO<sub>2</sub> ja realistinen päästövähennyspotentiaali jopa 85 %. Tehokkaimmaksi strategiaksi tunnistettiin hybridimalli, jossa suuret pyöräkuormaajat käyttävät HVO-dieseliä ja pienempi kalusto sähköistetään. Vety nähtiin pitkän aikavälin ratkaisuna, jonka käyttöönotto edellyttää infrastruktuurin kehittämistä. Työ osoitti, että logistiikan päästöjä voidaan vähentää hallitusti ja kustannustehokkaasti vaiheittaisen siirtymän avulla.</p>		
Avainsanat Vihreä siirtymä, logistiikka, CO <sub>2</sub> -päästöt, HVO, sähköistys, vety, päästölaskenta, kustannusanalyysi		

Field of Study Technology, Communication and Transport		
Degree Programme Master's Degree Programme in Engineering Knowledge Management		
Author Tomi Huttunen		
Title of Thesis Green Transition in Machinery Fleet: Mapping CO <sub>2</sub> Emissions and Exploring Alternative Power Sources		
Date	16.3.2026	47/3
Client Organisation / Partners Yara Suomi Oy		
<b>Abstract</b> <p>This thesis aimed to assess the carbon dioxide emissions of the machinery fleet in Yara Siilinjärvi's logistics department and to identify cost-effective energy solutions for emission reduction in support of the green transition and corporate climate targets. The assessment focused on wheel loaders and forklifts, which represent a significant share of logistics-related emissions.</p> <p>A mixed-methods approach was applied. A literature review, expert interviews, emission calculations, survey research and cost analysis were conducted, and practical pilot projects were implemented. Renewable HVO diesel was tested in a wheel loader operating in raw material handling, and a hydrogen-powered forklift was evaluated under real operating conditions. Technical performance, costs, and user experiences were assessed. Emission reductions were calculated based on fuel consumption data and well-to-wheel emission factors, and survey responses were analyzed using content analysis.</p> <p>The results showed that annual emissions of the logistics fleet are approximately 376 tons of CO<sub>2</sub> and that a realistic reduction potential is up to 85 per cent. The most effective strategy was identified as a hybrid model combining HVO renewable diesel for wheel loaders and full electrification for smaller forklifts. Hydrogen was identified as a long-term option requiring further infrastructure development. The study demonstrates that logistics emissions can be reduced cost-effectively through a controlled and phased transition.</p>		
<b>Keywords</b> Green transition, logistics, CO <sub>2</sub> emissions, HVO, electrification, hydrogen, emission calculation, cost analysis		

## SANASTO JA MÄÄRITELMÄT

ABB	Latausinfrastruktuurin toimittaja
BRM	Battery Replacement Module; polttokennotrukin akkumoduuli
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi, merkittävin kasvihuonekaasu
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive; EU:n kestävyysraportointidirektiivi
EN 14214	Biodieselin laatuvaatimukset
EN 590	Dieselin laatuvaatimukset EU:ssa
EN ISO 14067:2018	Hiilijalanjäljen laskentastandardi
EN ISO 14083:2023	Kuljetuspalvelujen päästölaskennan standardi
ESG	Environmental, Social, Governance; yritysvastuullisuuden kolme osa-aluetta
EU Green Deal	Euroopan vihreä sopimus; EU:n ilmastostrategia
FAME	Fatty Acid Methyl Ester; biodieselin päätyyppi
GHG	Greenhouse Gas
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil; uusiutuva diesel
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LCA	Life Cycle Assessment; elinkaariarviointi
MC	Molten Carbonate; polttokennoteknologian tyyppi
PEM	Proton Exchange Membrane; polttokennoteknologian tyyppi
PoS	Proof of Sustainability; kestävyuden todentava asiakirja
RED II	Renewable Energy Directive II; EU:n uusiutuvan energian direktiivi
SO	Solid Oxide; polttokennoteknologian tyyppi
TTW	Tank-to-Wheel; käytön aikaiset päästöt
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development.
WRI	World Resources Institute
WTW	Well-to-Wheel; polttoaineen koko elinkaaren päästöt

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Tutkimuksen päämäärä ja tavoitteet .....	8
1.2	Tutkimusmenetelmät .....	9
1.2.1	Menetelmän rajoitteet ja mahdolliset vinoumat.....	10
1.3	Toimeksiantaja Yara Suomi Oyj.....	10
2	PÄÄSTÖJEN ILMASTOVAIKUTUKSET .....	11
2.1	CO <sub>2</sub> -päästöjen vaikutus ilmastoon .....	11
2.2	GHG-protokolla .....	11
2.2.1	Scope 1 -päästöt.....	12
2.2.2	Scope 2 -päästöt.....	12
2.2.3	Scope 3 -päästöt.....	13
2.3	Yritysvastuullisuus ilmastotavoitteissa .....	13
2.4	ESG-raportointi.....	13
3	LOGISTIIKAN ILMASTOVAIKUTUKSET .....	15
3.1	Päästökajauma liikenteessä.....	15
3.2	Logistiikan ilmastovaikutusten hallinta .....	15
3.3	Päästökerroinlaskenta .....	16
4	ILMASTOTAVOITTEET .....	17
4.1	EU ilmastotavoitteet ja Green Deal .....	17
4.2	Suomen ilmastotavoitteet .....	17
4.3	Yaran ilmastotavoitteet.....	18
5	VAIHTOEHTOISET ENERGIAMUODOT.....	20
5.1	HVO uusiutuva diesel.....	20
5.2	FAME-biodiesel .....	21
5.3	Sähköenergia .....	21
5.4	Vety .....	23
6	PÄÄSTÖJEN ELINKAARIPOHJAISET TARKASTELUT .....	24
6.1	Tank-to-wheel- ja Well-to-Wheel-päästöt.....	24
6.2	Elinkaariarviointi (LCA).....	24
7	PILOTTIHANKKEET.....	25
7.1	Uusiutuvan HVO-dieselin pilotti.....	25

7.1.1	Laskennalliset päästövähennyksen pilotin aikana .....	25
7.1.2	HVO biodieselin käyttäjäkokemukset pyöräkuormaajapilotissa .....	26
7.1.3	Yhteenveto HVO-pilotista.....	26
7.2	Vetytrukkipilotti .....	27
7.2.1	Vetyturvallisuus .....	27
7.2.2	Polttokennoteknologia.....	27
7.2.3	Vetytankkausasema.....	28
7.2.4	Vetytrukki .....	29
7.2.5	Käyttäjäkokemukset.....	30
7.2.6	Yhteenveto vetytrukki pilotista .....	30
8	TYÖN TULOKSET.....	31
8.1	Yara Siilinjärven trukit, lavansiirtovaunut ja tukipyörätrukit .....	31
8.1.1	Päästövähennyspotentiaali trukikalustossa .....	32
8.1.2	Trukikaluston sähköistämiskustannukset.....	32
8.2	Pyöräkuormaajat .....	33
8.2.1	Päästövähennys potentiaali pyöräkuormaajissa .....	35
8.2.2	Pyöräkuormaajien sähköistäminen ja HVO-polttoaineet .....	36
8.2.3	HVO-polttoaineen kustannukset .....	37
8.3	Muut kulkuneuvot .....	37
8.4	Päästövähennyspotentiaali koko kalustossa.....	37
8.5	Ensisijaisesti korvattavat koneet vähäpäästöisiksi.....	38
8.6	Realistiset ja vähäpäästöiset vaihtoehdot fossiilisten polttoaineiden korvaamiseksi konekalustossa.....	38
8.6.1	HVO:n käyttöönotto.....	39
8.6.2	Sähköistämisen hallittu polku .....	39
8.7	Seuraavan kilpailutuksen konekalustotarpeet.....	39
8.8	Sopimustekniset ehdotukset .....	39
8.9	Kaluston päästövähennysten roadmap 2026–2030.....	40
9	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	42
9.1	Työn onnistumiset .....	42
9.2	Työn opit.....	42
9.3	Saavutetut tavoitteet ja hyödyllisyys .....	43
9.4	Työn hyödyllisyys omaan tehtävään .....	44
9.5	Eettisyys .....	44

9.6 Johtopäätökset .....	45
LÄHTEET .....	46
LIITEET .....	48

## 1 JOHDANTO

Ilmastomuutoksen hillitseminen ja kestävä kehitys edistäminen ovat nousseet keskeisiksi tavoitteiksi niin globaalisti kuin yritystasolla. Teollisuuden ja logistiikan päästöjen vähentäminen on erityisen tärkeää, sillä nämä sektorit muodostavat merkittävän osan kokonaispäästöistä. Yara Siilinjärven tehdas on osa kansainvälistä Yara-konsernia, joka on sitoutunut vähentämään hiilidioksidipäästöjä ja kehittämään ympäristöystävällisiä ratkaisuja. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan logistiikkaosaston konekaluston hiilidioksidipäästöjen hallintaa sekä selvitetään mahdollisia vaihtoehtoisia energiamuotoja, joilla päästöjä voidaan vähentää.

Tulevaisuudessa liikenteen ja kuljetusten Scope 3 -päästöjen seuranta ja raportointi tulevat tiukentumaan sekä yrityksen sisäisissä prosesseissa että viranomaisten vaatimusten mukaisesti. Tämä kehitys korostaa tarvetta ennakoida ja tutkia etukäteen ratkaisuja, joilla voidaan hillitä logistiikan aiheuttamia päästöjä. Yara Siilinjärven konekalusto on laaja ja koostuu pääosin fossiilisia polttoaineita käyttävistä koneista. Raskaimmat koneet, kuten kaivosalueella käytettävät kiviautot, eivät kuulu tämän työn tarkasteluun, vaan opinnäytetyö keskittyy logistiikkaosaston kalustoon, kuten pyöräkuormaajiin, trukkeihin ja ajoneuvoihin.

Työn taustalla on opiskelijan oma rooli Yara Siilinjärven tehtaiden logistiikan kehityspäällikkönä, mikä tekee aiheesta sekä ajankohtaisen että käytännönläheisen. Koneiden omistus ja huoltotoiminta on ulkoistettu yhteistyökumppanille, kun taas koneiden käyttäjät ovat Yaralaisia. Yhteistyökumppani on sitoutunut päästöjen vähentämiseen ja toimii aktiivisena tukena ratkaisujen etsimisessä. Tämä luo hyvän lähtökohdan opinnäytetyölle, jossa pyritään tunnistamaan konkreettisia keinoja vähentää hiilidioksidipäästöjä ja edistää siirtymää kohti kestävämpiä energiamuotoja.

### 1.1 Tutkimuksen päämäärä ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena on selvittää Yara Siilinjärven logistiikkaosaston konekaluston nykyiset hiilidioksidipäästöt ja arvioida, millaisia vaihtoehtoisia energialähteitä voidaan tulevaisuudessa hyödyntää päästöjen vähentämiseksi. Työn lähtökohtana on ymmärtää nykytilanne mahdollisimman tarkasti, sillä se muodostaa perustan realistisille ja kustannustehokkaille kehitystoimenpiteille. Nykyisten päästöjen kartoitus sisältää kaluston käyttötuntien, polttoainekulutuksen ja päästöjen laskennan, mikä antaa kokonaiskuvan logistiikkaosaston ympäristövaikutuksista.

Tutkimuksen toinen päämäärä on tunnistaa ja arvioida vaihtoehtoisia energiamuotoja, kuten biodiesel, sähkö, vety ja mahdollisesti muut uusiutuvat ratkaisut, jotka voisivat korvata fossiiliset polttoaineet. Näiden vaihtoehtojen tarkastelu ei rajoitu pelkästään tekniseen soveltuvuuteen, vaan siihen sisältyy myös taloudellinen näkökulma eli millaisia kustannuksia syntyy siirtymisestä uusiin energialähteisiin ja miten ne vaikuttavat logistiikan kokonaiskustannuksiin pitkällä aikavälillä. Kustannusanalyysi on olennainen osa tutkimusta, sillä investointipäätökset edellyttävät tarkkaa tietoa sekä alkuvaiheen investoinneista että käyttöön liittyvistä kustannuksista.

Kolmantena päämääränä on käytännön testausten toteuttaminen. Pelkkä teoreettinen tarkastelun lisäksi tutkimuksessa pyritään kokeilemaan vaihtoehtoisia energialähteitä ja teknologioita todellisissa käyttöolosuhteissa. Esimerkkeinä tästä ovat uusiutuvadieselien käyttötestit pyöräkuormaajissa sekä

vetytrukin pilottihanke. Näiden kokeilujen avulla voidaan arvioida, miten uudet ratkaisut toimivat käytännössä, millaisia muutoksia ne edellyttävät koneiden huollossa ja käytössä, sekä millaisia vaikutuksia niillä on päästöihin ja kustannuksiin.

Tutkimuksen lopputuloksena pyritään tuottamaan konkreettinen ehdotuslista tulevaisuuden konekalustosta logistiikkaosastolle. Tämä lista sisältää suosituksia energialähteistä, teknologioista ja mahdollisista konevaihtoehdoista, jotka tukevat Yaran päästövähennystavoitteita. Ehdotuslista voi toimia osana tulevia kilpailutusmateriaaleja, jolloin se vaikuttaa suoraan hankintapäätöksiin ja strategiseen suunnitteluun. Näin opinnäytetyö ei jää pelkästään teoreettiseksi selvitykseksi, vaan sillä on käytännön merkitystä Yara Siilinjärven logistiikan kehittämisessä ja päästöjen hallinnassa.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa hyödynnetään monimenetelmäistä lähestymistapaa, joka yhdistää kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen analyysin sekä toimintatutkimuksen elementtejä. Menetelmävalinta perustuu siihen, että opinnäytetyön tavoitteena on sekä kartoittaa nykytilaa, että kehittää käytännön ratkaisuja päästöjen vähentämiseksi. Kvalitatiivinen osuus koostuu kirjallisuuskatsauksesta ja asiantuntijahaastattelusta, joiden avulla selvitetään vaihtoehtoisia energialähteitä, teknologioita ja niiden soveltuvuutta logistiikkaosaston konekalustoon. Kirjallisuuskatsauksen aineisto kerätään verkosta, tieteellisistä julkaisuista, raporteista sekä Yaran sisäisistä dokumenteista, mikä varmistaa sekä ajantasaisen, että yrityksen toimintaympäristöön liittyvän tiedon. Kvantitatiivinen osuus sisältää päästölaskennan ja kustannusanalyysin, joiden avulla saadaan numeerista tietoa nykyisistä hiilidioksidipäästöistä sekä eri energiaratkaisuihin siirtymisen taloudellisista vaikutuksista. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnetään toimintatutkimuksen piirteitä, sillä siihen sisältyy käytännön kokeiluja, kuten biodieselin käyttötestit pyöräkuormaajissa ja vetytrukin pilottihanke. Näiden kokeilujen avulla arvioidaan uusien energiaratkaisujen toimivuutta, huoltotarpeita ja päästövaikutuksia todellisissa käyttöolosuhteissa. Monimenetelmäinen lähestymistapa varmistaa, että tutkimus tuottaa sekä teoreettista tietoa että konkreettisia, toteuttamiskelpoisia suosituksia, jotka tukevat Yara Siilinjärven logistiikkaosaston päästövähennystavoitteita ja tulevia hankintapäätöksiä.

Kvalitatiivinen osuus koostuu kirjallisuuskatsauksesta ja asiantuntijahaastattelusta. Kirjallisuuskatsauksen aineisto kerätään verkosta, tieteellisistä julkaisuista, raporttidatasta sekä Yaran sisäisistä dokumenteista, mikä varmistaa sekä ajantasaisen että yrityksen toimintaympäristöön ankkuroituvan tiedon. Asiantuntijahaastattelut toteutetaan puolistrukturoituina ja kohdistetaan eri energiaratkaisujen tuntemusta omaaville asiantuntijoille (n=4). Haastatteluaineisto analysoidaan teemoittelemalla, jolloin voidaan tunnistaa keskeiset näkökulmat vaihtoehtoisten energialähteiden soveltuvuudesta logistiikkaosaston konekalustoon.

Kvantitatiivinen osuus sisältää päästölaskennan ja kustannusanalyysin, joiden avulla tuotetaan numeerista tietoa nykyisistä hiilidioksidipäästöistä sekä eri energiaratkaisuihin siirtymisen taloudellisista vaikutuksista. Laskelmien pohjana käytetään Yaran konekohtaisia kulutus- ja käyttöhistoriatietoja, energiantuottajien ilmoittamia päästökertoimia sekä pilotoinnista kerättyä kulu- tusdataa. Analyysi toteutetaan kuvailevin tilastollisin menetelmin ja vaihtoehtojen välisin vertailuin.

Toimintatutkimuksen piirteitä hyödynnetään käytännön kokeiluissa, joihin sisältyy sekä biodieselin käyttötestejä pyöräkuormaajissa että vetytrukin pilottihanke. Biodieselin käyttäjäkokemukset kerätään kyselyllä, johon osallistui viisi operaattoria (n=5). Kysely sisälsi strukturoituja arvioita ja avoimia

kommentteja, ja aineisto analysoitiin kuvailevasti sekä toistuvia teemoja tunnistaen. Näiden kokeilujen avulla arvioidaan uusien energiaratkaisujen toimivuutta, huoltotarpeita ja päästövaikutuksia todellisissa käyttöolosuhteissa.

Monimenetelmäinen lähestymistapa varmistaa, että tutkimus tuottaa sekä teoreettisesti perusteltua tietoa että konkreettisia, toteuttamiskelpoisia suosituksia, jotka tukevat Yara Siilinjärven logistiikkaosaston päästövähennystavoitteita ja tulevia hankintapäätöksiä.

### 1.2.1 Menetelmän rajoitteet ja mahdolliset vinoumat

Tutkimuksen tulkintaan liittyy muutamia rajoitteita. Ensinnäkin osa aineistosta perustuu pieneen otokseen, kuten operaattoreiden käyttäjäkysely (n=5), mikä voi kaventaa havaintojen yleistettävyyttä. Toiseksi energiamuotojen päästökertoimet, HVO:n hinta sekä sähkön ja vedyn tuotannon alkuperä voivat muuttua markkina- ja regulaatiotekijöiden mukaan, mikä vaikuttaa energiaratkaisujen vertailtavuuteen pitkällä aikavälillä. Lisäksi osa lähdemateriaalista perustuu energiatoimittajien omiin ilmoituksiin, mikä voi sisältää lähtökohtaisia oletuksia tai kaupallisia painotuksia. Nämä tekijät on huomioitu tuloksia tulkittaessa ja suosituksia muodostaessa.

### 1.3 Toimeksiantaja Yara Suomi Oyj

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Yara Suomi Oyj:n Siilinjärven toimipiste, joka on osa kansainvälistä Yara-konsernia. Siilinjärven tehdas on aloittanut toimintansa vuonna 1969, ja se on tunnettu erityisesti siitä, että alueella sijaitsee Länsi-Euroopan ainoa fosforikaivos. Kaivoksen päätuote on apatiittirikaste, jota hyödynnetään fosforihapon ja lannoitteiden valmistuksessa. Fosforihappo on keskeinen raaka-aine monille Yaran tuotteille. Lisäksi tehdasalueella sijaitsee useita kemiantehtaita, jotka ovat osa lannoitteiden valmistusketjua (Yara, 2025.)

Yaran vaikutus alueen työllisyyteen on huomattava. Siilinjärven toimipisteen suora työllisyysvaikutus on noin 900 henkilötyövuotta, ja välillisesti se työllistää yhteensä noin 4000 henkilötyövuotta. Yhtiön omia työntekijöitä Siilinjärvellä on noin 400 henkilöä, mutta toiminta perustuu laajaan yhteistyöverkostoon, johon kuuluu urakoitsijoita ja palveluntarjoajia. Yara on investoinut Siilinjärven toimintaan merkittävästi vuosina 2007–2023 investointien yhteissumma on ollut noin miljardi euroa (Yara, 2025.)

Yara-konserni on norjalainen globaali lannoitevalmistaja, jolla on toimintaa 65 eri maassa ja noin 17 000 työntekijää. Yhtiön strategia painottaa kestävästä kehitystä, päästöjen vähentämistä ja resurssitehokkuutta, mikä näkyy myös Siilinjärven toimipisteen kehityshankkeissa. Toimeksiantajan rooli tässä opinnäytetyössä on keskeinen, sillä tutkimus tukee Yaran tavoitteita vähentää logistiikkaan liittyviä hiilidioksidipäästöjä ja edistää siirtymää kohti ympäristöystävällisempiä energiaratkaisuja (Yara, 2025.)

Varsinainen toimeksiantaja on Yara Siilinjärven logistiikkaosasto, joka vastaa tehtaan sisäisestä materiaaliavirtojen hallinnasta ja konekaluston käytöstä. Logistiikkaosaston toiminta on kriittinen osa tuotantoprosessia, sillä se varmistaa raaka-aineiden ja tuotteiden liikkumisen tehokkaasti ja turvallisesti eri tuotantolaitosten välillä. Osaston konekalusto koostuu pääosin pyöräkuormaajista, trukeista ja ajoneuvoista, joiden käyttö perustuu fossiilisiin polttoaineisiin. Logistiikkaosasto on sitoutunut etsimään ratkaisuja päästöjen vähentämiseksi ja toimii aktiivisena yhteistyökumppanina tässä opinnäytetyössä, tarjoten tietoa, resursseja ja mahdollisuuden käytännön pilottikokeiluihin.

## 2 PÄÄSTÖJEN ILMASTOVAIKUTUKSET

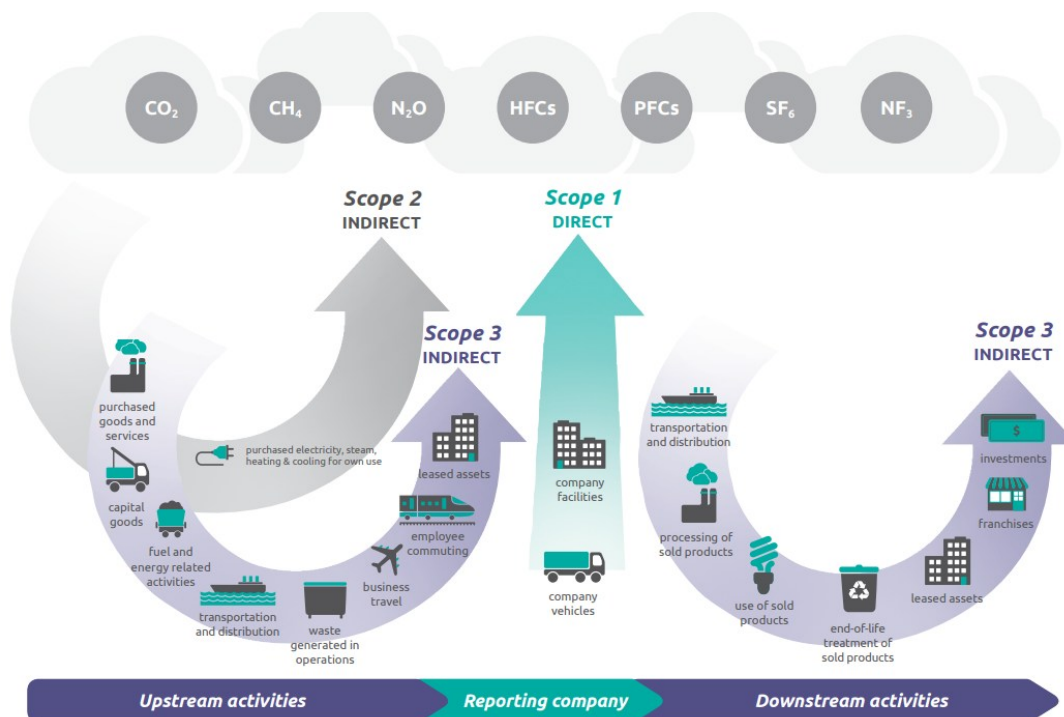
### 2.1 CO<sub>2</sub>-päästöjen vaikutus ilmastoon

IPCC:n kuudes arviointiraportti vahvistaa, että ihmisen toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt, erityisesti hiilidioksidi, ovat jo muuttaneet ilmastoa merkittävästi. Maapallon keskilämpötila on noussut noin 1,1 °C esiteolliseen aikaan verrattuna, ja lähes koko lämpeneminen johtuu ihmisen toiminnasta. Hiilidioksidin pitoisuudet ilmakehässä ovat korkeammat kuin tuhansiin vuosiin, mikä kiihdyttää lämpötilan nousua, merenpinnan kohoamista ja jäätiköiden sulamista. Monet muutokset, kuten mannerjäätiköiden vetäytyminen, ovat osin peruuttamattomia tai palautuvat hyvin hitaasti. Raportti korostaa, että jokainen asteen kymmenys lämpenemistä lisää riskejä kuten helleaallot, rankkasateet, kuivuudet ja trooppiset myrskyt yleistyvät ja voimistuvat. Ilmastonmuutoksen hillitseminen edellyttää välittömiä ja jyrkkiä päästövähennyksiä, erityisesti hiilidioksidin osalta, ja nettonollataso on saavutettava vuosisadan puolivälissä (Ympäristöministeriö, 2021.)

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat erittäin laajoja ja ulottuvat ympäristön lisäksi yhteiskuntaan, talouteen ja ihmisten hyvinvointiin. Ympäristön muutokset, kuten sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen, kuivuus ja vesivarojen hupeneminen, heijastuvat suoraan maatalouteen. Satojen heikkeneminen johtaa ruokapulaan ja elintarvikkeiden hintojen nousuun, mikä lisää globaalia epävakautta ja voi aiheuttaa sosiaalisia kriisejä. Taloudelliset vaikutukset näkyvät paitsi ruoan hinnassa myös infrastruktuurin tuhoutumisessa myrskyjen ja tulvien seurauksena, mikä kasvattaa kustannuksia ja heikentää talouskasvua. Ilmastonmuutos vaikuttaa myös ihmisten terveyteen. Lämpötilojen nousu lisää lämpöhalvauksia ja sydän- ja hengitystiesairauksia, erityisesti haavoittuvissa väestöryhmissä kuten vanhuksissa, lapsissa ja pitkäaikaissairaissa. Lisäksi ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset voivat lisätä tartuntatautien leviämistä ja heikentää yleistä elinympäristön turvallisuutta. Sosiaalinen eriarvoisuus korostuu, sillä heikoimmassa asemassa olevat köyhät ja ne, jotka ovat vähiten vastuussa päästöistä, kärsivät eniten ilmastonmuutoksen seurauksista. Tämä epäsuhta luo merkittäviä eettisiä ja poliittisia haasteita globaalille yhteisölle. Ilmastonmuutoksen vaikutukset eivät siis rajoitu pelkästään luonnon ekosysteemeihin, vaan ne kytkeytyvät tiiviisti taloudelliseen vakauteen, terveyteen ja sosiaaliseen oikeudenmukaisuuteen. Jokainen viivästys päästöjen vähentämisessä lisää näitä riskejä ja vaikeuttaa sopeutumista tulevaisuudessa (YLE, 2018.)

### 2.2 GHG-protokolla

Greenhouse Gas Protocol (GHG-protokolla) on maailmanlaajuisesti käytetyin viitekehys kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan ja raportointiin. Sen tarkoituksena on tarjota yhtenäiset ja luotettavat menetelmät, joiden avulla yritykset, hallitukset ja organisaatiot voivat mitata ja raportoida päästönsä läpinäkyvästi ja vertailukelpoisesti. Protokolla kehitettiin yhteistyössä World Resources Institute (WRI) ja World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), ja sen ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2001. Nykyään GHG-protokolla toimii kansainvälisenä standardina, joka muodostaa perustan monille sääntelyille ja ilmastotavoitteiden seurantajärjestelmille, kuten EU:n CSRD-direktiiville ja Science Based Targets -aloitteelle, joka on kansainvälinen aloite. Se auttaa yrityksiä asettamaan tieteeseen perustuvia ilmastotavoitteita Pariisin ilmastopimuksen mukaisesti. Tavoitteiden tulee olla linjassa sen kanssa, että maapallon lämpeneminen rajoitetaan 1,5 °C:een tai selvästi alle 2 °C. (Greenhouse gas protocol 2025.)



Kuva 1. GHG-protokollan mukainen päästöjen jaottelumalli (Carbon Trust, 2013, 6).

### 2.2.1 Scope 1 -päästöt

Scope 1 -päästöt ovat yrityksen toiminnasta suoraan aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä, jotka syntyvät omistetuista tai hallituista lähteistä. Ne muodostuvat esimerkiksi polttoaineen kulutuksesta yrityksen omissa koneissa, laitteissa ja kulkuneuvoissa, oman energiantuotannon päästöistä sekä prosessipäästöistä, kuten metaanin vapautumisesta anaerobisessa käymisessä tai maakaasun soihdutuksessa. Lisäksi Scope 1 -luokkaan kuuluvat hajapäästöt, joita syntyy vuodoista esimerkiksi putkistoissa tai kylmälaitteissa. Koska nämä päästöt ovat suoraan yrityksen hallinnassa, niihin on helpointa vaikuttaa esimerkiksi siirtymällä vähäpäästöisiin polttoaineisiin, parantamalla laitteiden huoltoa ja optimoimalla prosesseja. Scope 1 -päästöjen hallinta on keskeinen osa yrityksen ilmastostrategiaa ja GHG-protokollan mukaista raportointia (Ecobio 2023.) Yara Siilinjärven logistiikan konekalusto on leasing vuokrattu mutta polttoaine on Yaran ostamaa, jota käytetään koneissa. Tästä syystä koneiden käytöstä syntyneet polttoaineperäiset päästöt kuuluvat Scope 1 -luokkaan. Koneiden muut elinkaaripäästöt ovat osa Scope 3 -luokkaa.

### 2.2.2 Scope 2 -päästöt

Scope 2 -päästöt ovat epäsuoria kasvihuonekaasupäästöjä, jotka syntyvät ostetun ja kulutetun energian tuotannosta. Ne kattavat kaikki päästöt, jotka aiheutuvat toisen osapuolen tuottaman energian, kuten sähkön, lämmön, höyryn tai jäähdytyksen tuotannosta. Useimmille yrityksille ostettu sähkö ja lämpö muodostavat merkittävimmät Scope 2 -päästölähteet. Mikäli yritys tuottaa itse osan energiasaan, tuotannon päästöt raportoidaan Scope 1 -luokassa. Scope 2 -päästöjen seuranta ja raportointi on tärkeää, sillä ne muodostavat merkittävän osan yrityksen ilmastovaikutuksista ja auttavat asettamaan tavoitteita päästöjen vähentämiseksi. GHG-protokolla yhtenäistää laskennan ja raportoinnin, mikä lisää läpinäkyvyyttä sidosryhmille ja tukee yrityksen ympäristövastuullisuutta (Ecobio 2023.)

### 2.2.3 Scope 3 -päästöt

Scope 3 -päästöt ovat epäsuoria kasvihuonekaasupäästöjä, jotka syntyvät yrityksen arvoketjussa sen omien toimintojen ulkopuolella. Ne kattavat sekä ylävirran (upstream) että alavirran (downstream) päästöt, kuten raaka-aineiden hankinnan, kuljetukset, jätteiden käsittelyn, myytyjen tuotteiden käytön ja elinkaaren loppuvaiheen. Scope 3 -päästöt muodostavat usein suurimman osan yrityksen kokonaispäästöistä, mutta niiden hallinta on haastavaa, koska ne riippuvat ulkopuolisista toimijoista ja prosesseista. GHG-protokolla jakaa Scope 3 -päästöt 15 eri luokkaan, mikä helpottaa systemaattista kartoitusta ja raportointia. Näiden päästöjen vähentäminen edellyttää yhteistyötä toimittajien, asiakkaiden ja muiden sidosryhmien kanssa sekä innovatiivisia ratkaisuja koko arvoketjun tasolla (Ecobio 2023.)

Scope 3 -päästöjen vaikutus ilmastoon on merkittävä, sillä ne liittyvät koko tuotteen elinkaareen ja arvoketjuun. Jos niitä ei huomioida, suuri osa yrityksen todellisista ilmastovaikutuksista jää hallitsematta. Laskenta perustuu aktiviteettidataan (esim. ostetut kilogrammat, kuljetusmatkat, polttoainekulutus) ja päästökertoimiin (kg CO<sub>2</sub>e per yksikkö), ja kaikki päästöt muunnetaan CO<sub>2</sub> -ekvivalentiksi IPCC:n GWP-arvojen avulla. Laskentamenetelmiä ovat toimittajakohtainen (supplier-specific), hybridimenetelmä, keskiarvopohjainen (average-data) ja rahankäyttöön perustuva (spend-based) (Carbon Trust, 2013, 11–14, 113–114.) Tavoitteena on tunnistaa suurimmat päästölähteet, asettaa vähennystavoitteet koko arvoketjulle, sitouttaa toimittajat ja asiakkaat sekä raportoida läpinäkyvästi GHG-protokollan mukaisesti. Scope 3 -päästöjen hallinta on olennainen osa yritysten nettonollatavoitteita ja kestäväen kehityksen strategiaa.

### 2.3 Yritysvastuullisuus ilmastotavoitteissa

Yrityksillä on keskeinen rooli EU:n ja Suomen ilmastotavoitteiden toteuttamisessa. Tavoitteiden saavuttaminen edellyttää yrityksiltä merkittäviä investointeja puhtaisiin teknologioihin, energiatehokkuuteen ja vähähiilisiin ratkaisuihin. Yritysvastuu ei rajoitu pelkästään päästöjen vähentämiseen, vaan se kattaa myös arvoketjujen hallinnan, hiilinielujen turvaamisen ja riskienhallinnan (Teknologiateollisuus, 2025.)

Keskeisiä ohjauskeinoja ovat EU:n päästökauppajärjestelmä, hiilirajamekanismi sekä kansalliset vähähiilitekartat, jotka tukevat teknologianeutraalia ja kustannustehokasta siirtymää. Yritysten on varmistettava, että ilmastotoimet ovat vaikuttavia ja taloudellisesti kestäviä, jotta kilpailukyky säilyy globaalissa toimintaympäristössä. Lisäksi yritys vastuu ilmastossa tarkoittaa aktiivista panostusta tutkimukseen, kehitykseen ja innovaatioihin sekä uusien ratkaisujen pilotointiin. Kannusteet ja rahoitusmekanismit ovat välttämättömiä, jotta yritykset voivat kehittää vähäpäästöisiä teknologioita ja edistää niiden vientiä (Teknologiateollisuus, 2025.)

### 2.4 ESG-raportointi

ESG tulee sanoista *Environmental, Social, Governance* ja viittaa yritys vastuun kolmeen keskeiseen osa-alueeseen: ympäristö, sosiaalinen vastuu ja hallintotapa. Nämä tekijät ovat nousseet merkittäviksi sidosryhmien, erityisesti sijoittajien, päätöksenteossa. ESG ei rajoitu pelkästään sääntöjen noudattamiseen tai riskienhallintaan, vaan sen keskiössä on pitkän aikavälin arvonluonti ja vastuullisen liiketoiminnan edistäminen. Monet yritykset julkaisevat jo ESG-raportteja vapaaehtoisesti, mutta EU:n uusi Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) tekee raportoinnista pakollista laajalle joukolle yrityksii. Tämä muutos yhtenäistää käytäntöjä ja lisää läpinäkyvyyttä. CSRD:n myötä

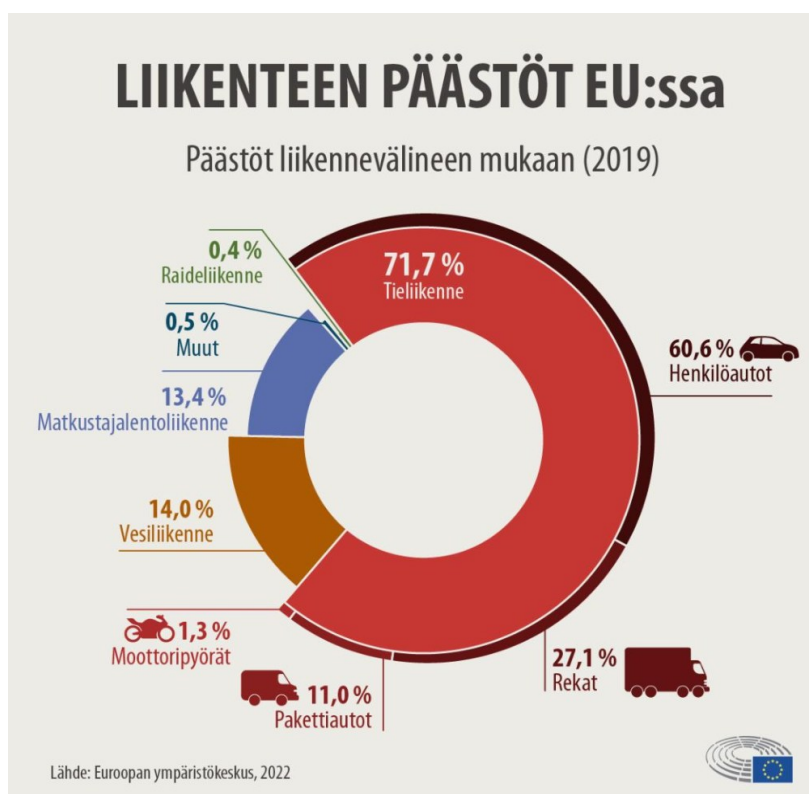
ESG-raportointi muuttuu standardoiduksi ja velvoittavaksi osaksi yritysten raportointia (Ecobiomanager, 2025.)

ESG on yleinen käsite, joka kuvaa kestävyiden eri ulottuvuuksia, mutta se ei ole tarkasti määritelty sääntökokoelma. CSRD puolestaan on lainsäädäntö, joka velvoittaa yrityksiä tuottamaan standardoidun kestävyysraportin. Käytännössä CSRD:n mukainen raportti on ESG-raportti, joka noudattaa tarkkoja vaatimuksia. Se vaatii vastuullisuuden periaatteiden juurruttamista osaksi yrityskulttuuria ja strategiaa. ESG-tiedot tarjoavat arvokasta näkökulmaa päätöksentekoon, sillä ne paljastavat vahvuudet, heikkoudet ja mahdolliset riskit, mikä tukee ennakoivaa ongelmanratkaisua. ESG-raportointi ei ole vain lakisääteinen velvoite, vaan strateginen työkalu, joka parantaa taloudellista suorituskykyä, vahvistaa sidosryhmäsuhteita ja tehostaa riskienhallintaa. Se auttaa tunnistamaan ja vähentämään ympäristöön ja työvoimaan liittyviä riskejä, samalla kun se edistää positiivisia sosiaalisia ja ympäristövaikutuksia. ESG ei ole pelkästään moraalinen velvollisuus, vaan myös liiketoiminnallisesti kannattava lähestymistapa, joka tukee pitkän aikavälin menestystä. Raportointi tarjoaa johdolle kokonaiskuvan yrityksen suorituksesta talouden ulkopuolella, helpottaen strategisia päätöksiä ja parannuskohteiden tunnistamista (Ecobiomanager, 2025.)

### 3 LOGISTIIKAN ILMASTOVAIKUTUKSET

#### 3.1 Päästöjakauma liikenteessä

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt muodostavat noin 21 % Suomen kokonaispäästöistä, joista 96 % syntyy tieliikenteestä. Henkilöautojen osuus on yli puolet, kuorma-autojen kolmannes ja loput jakautuvat paketti- ja linja-autoihin sekä kaksipyöräisiin. Suomen tavoitteena on puolittaa liikenteen päästöt vuoteen 2030 mennessä ja saavuttaa nollapäästöt viimeistään 2045. Tämä edellyttää vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöönottoa, energiatehokkuuden parantamista ja toimintamallien kehittämistä. Iso osa logistiikasta kulkee tieliikenteessä (Kallionpää ym., 9—10.) Alla havainnollistava kuva liikenteen päästöjakaumasta.



Kuva 2. Päästöt liikennevälineittäin EU:ssa (Euroopan parlamentti, 2019).

#### 3.2 Logistiikan ilmastovaikutusten hallinta

Logistiikan ilmastovaikutusten hallinta vaatii kokonaisvaltaista lähestymistapaa, jossa yhdistyvät teknologiset innovaatiot, datan hallinta, lainsäädännön noudattaminen ja sidosryhmäyhteistyö. EU:n ja kansalliset ohjaukeinit, kuten päästökauppa ja hiilirajamekanismi, luovat puitteet, mutta käytännön toteutus riippuu yritysten kyvystä integroida vähähiilisyys strategiaan ja operatiivisiin prosesseihin (Kallionpää ym., 9—10.)

EU:n asetus kuljetuspalvelujen kasvihuonekaasupäästöjen laskennasta perustuu kansainvälisiin standardeihin, joilla varmistetaan vertailukelpoisuus ja luotettavuus. Keskeisin menetelmä on EN ISO 14083:2023, joka määrittelee, miten kuljetuspalvelujen päästöt lasketaan kattavasti polttoaineketjusta ajoneuvojen käyttöön (well-to-wheel) ja liikenteen solmukohtien toimintaan (logistinen toiminta esim. terminaaleissa). Standardi ei kuitenkaan sisällä kuljetuspalvelujen koko elinkaaren päästöjä, kuten ajoneuvojen valmistusta ja käytöstä poistoa, mutta komissio arvioi laajennuksia, joissa huomioitaisiin esimerkiksi ISO 14067:2018 ja ympäristötuoteselosteiden tuoteryhmäsäännöt.

Asetus korostaa menetelmien yhdenmukaisuutta, jotta kansainväliset kuljetusketjut pysyvät vertailukelpoisina, ja edellyttää, että laskenta tuottaa avoimia ja luotettavia tietoja viherpesun välttämiseksi. Lisäksi pk-yritysten osalta on tärkeää, että standardit ovat saatavilla maksutta kaikilla EU:n virallisilla kielillä. (Euroopan parlamentti, 2024.)



Kuva 3. Logistiikkaan liittyvät päästölaskennan standardit ja niiden erot. (Euroopan parlamentti, 2024.)

### 3.3 Päästökerroinlaskenta

Päästökerroin on keskeinen työkalu kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa, sillä se yhdistää ilmakehään vapautuvan päästön määrän siihen liittyvään toimintaan. Päästölaskennan perusta on päästökerroin, joka yhdistää ilmakehään vapautuvan päästön määrän siihen liittyvään toimintaan. Laskenta tapahtuu kertomalla päästöjä aiheuttavan toiminnan määrä päästökertoimella, ja toiminta voidaan mitata eri yksiköissä, kuten energian kulutuksena (kWh), matkan pituutena (km) tai polttoaineen kulutuksena (l, kg) Päästökertoimet vaihtelevat toiminnan tyyppin, sijainnin ja kaluston ominaisuuksien mukaan, ja tarkkuuden kannalta on olennaista valita kerroin, joka vastaa mahdollisimman hyvin todellista tilannetta. Päästökertoimet eivät ole absoluuttisia arvoja, vaan ne tarjoavat käyttökelpoisen arvion päästöjen määrästä ja kehityksestä. Lisäksi eri kasvihuonekaasuille on omat kertoimet, jotka muunnetaan hiilidioksidiekvivalentiksi (CO<sub>2</sub>e) globaalin lämmityspotentiaalilin (GWP) avulla, mikä mahdollistaa eri kaasujen vaikutusten vertailun. Päästökertoimia hyödynnetään erityisesti tilanteissa, joissa tarkkoja mittaustietoja ei ole saatavilla, ja ne tukevat organisaatioiden päästövähennystavoitteiden asettamista, skenaarioiden vertailua ja strategista päätöksentekoa. Päästötietokantoja voidaan hyödyntää kaikkien päästöloukkien (Scope 1–3) laskennassa erityisesti silloin, kun tarkkoja mittaustietoja ei ole saatavilla. Esimerkiksi kuljetuspäästöjen arvioinnissa voidaan käyttää tietokanta-arvoja tilanteissa, joissa polttoaineen kulutusta tai paluurahtien täyttöasteen vaikutusta kuljetusten tehokkuuteen ei tunneta. On olennaista valita kerroin, joka vastaa mahdollisimman tarkasti todellista toimintaa. Päästökertoimet ja niihin perustuvat laskelmat eivät edusta absoluuttista totuutta, vaan tarjoavat käyttökelpoisen arvion päästöjen määrästä ja niiden kehityksestä (EcoOnline, 2024.)

## 4 ILMASTOTAVOITTEET

### 4.1 EU ilmastotavoitteet ja Green Deal

Euroopan vihreä sopimus (European Green Deal) on EU:n strateginen ohjelma, joka muuttaa unionin talouden, energiantuotannon, liikenteen ja teollisuuden kohti kestäväää ja resurssitehokasta tulevaisuutta. Vuonna 2019 käynnistetty ohjelma vastaa kansalaisten vaatimukseen ilmastotoimista. Sopimus kunnianhimoiset tavoitteet ovat vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 50 % vuoteen 2030 mennessä ja sitoa oikeudellisesti hiilineutraaliustavoite vuoteen 2050 Euroopan ilmastolain kautta. Vihreä sopimus edistää puhdasta siirtymää, joka on taloudellisesti kestävä ja sosiaalisesti oikeudenmukainen. Se investoi innovaatioihin, puhtaisiin teknologioihin ja vihreään infrastruktuuriin sekä varmistaa oikeudenmukaisen siirtymän niille alueille ja yhteisöille, joita muutos koskettaa eniten. Käytännössä tämä tarkoittaa puhtaampaa ilmaa, energiatehokkaampia tuotteita ja rakennuksia sekä uusiutuvan energian laajempaa käyttöä arjessa (European Commission, 2024.)

Green Deal -sopimukset ovat vapaaehtoisia ja määräaikaista sopimuksia, joilla valtio ja elinkeinoelämä tai julkinen sektori edistävät kestäväää kehitystä. Niiden avulla etsitään ratkaisuja ilmastomuutoksen hillintään, luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen, luonnonvarojen ylikulutuksen vähentämiseen ja kiertotalouden edistämiseen. Sopimukset täydentävät lainsäädäntöä ja voivat asettaa tiukempia tavoitteita ilman lisäsääntelyä. Osapuolet sitoutuvat kunnianhimoisiin ja mitattaviin tavoitteisiin, joilla pyritään merkittäviin ympäristövaikutuksiin. Sopimukset valmistellaan yhteistyössä ja niissä sovitaan toimenpiteistä, seurannasta ja arvioinnista. Green Deal -malli tarjoaa joustavan ja innovatiivisen tavan saavuttaa tuloksia nopeasti. Green Deal -sopimukset ja niihin liittyvät sitoumukset ovat osa Sitoumus 2050-ohjelmaa, joka on kestävään kehityksen kansallinen toimintamalli. Yritykset ja julkiset toimijat liittyvät mukaan tekemällä ministeriön hyväksymän sitoumuksen Sitoumus 2050.fi-sivustolla (Ympäristöministeriö 2025.)

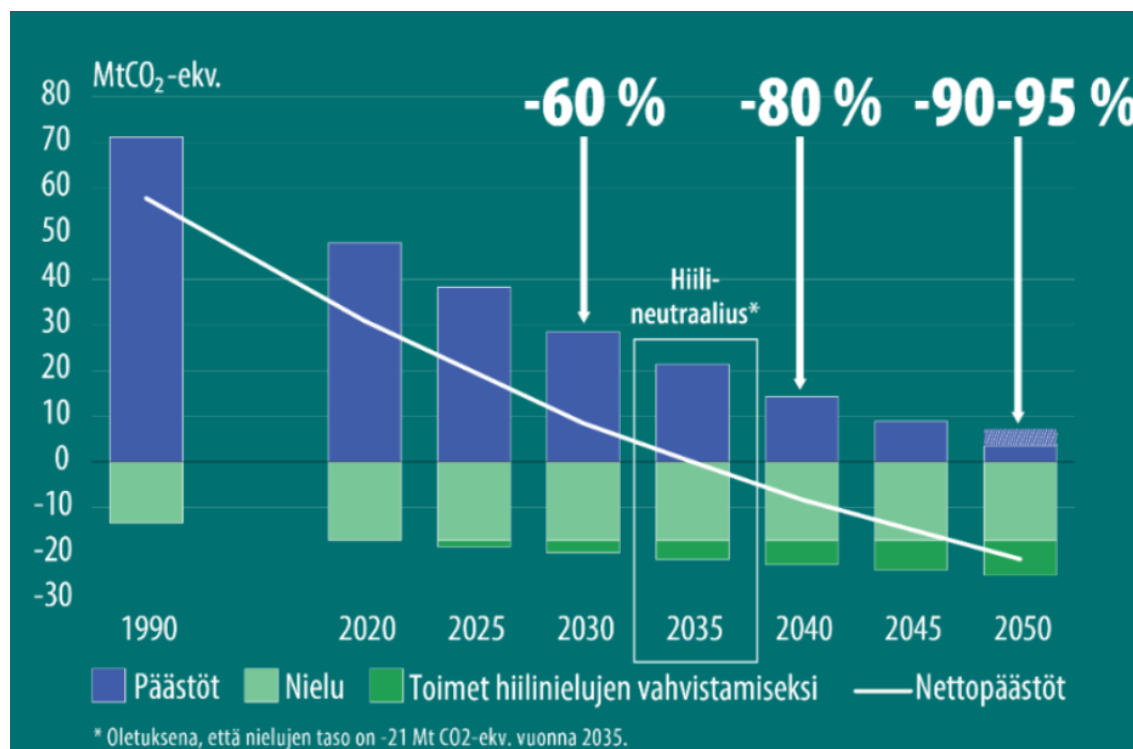
Euroopan vihreä sopimus ei ole pelkkä ilmastopolitiikka, vaan kokonaisvaltainen talouden muutosohjelma, joka luo uusia työpaikkoja, vahvistaa kilpailukykyä ja vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Se on keskeinen askel kohti hiilineutraalia Eurooppaa, jossa ilmastomuutoksen torjunta yhdistyy taloudelliseen kasvuun ja sosiaaliseen hyvinvointiin.

### 4.2 Suomen ilmastotavoitteet

Suomen ilmastopolitiikkaa ohjaavat kansainväliset ilmastosopimukset (YK:n ilmastosopimus, Kioton pöytäkirja, Pariisin sopimus) sekä EU:n ilmasto- ja energiapolitiikka. Kansallisesti ilmastotyön perusta on ilmastolaki, joka määrittää päästövähennystavoitteet ja suunnittelujärjestelmän. Uudistetun ilmastolain mukaan Suomen kasvihuonekaasupäästöjä tulee vähentää vuoden 1990 tasosta 60 % vuoteen 2030 mennessä, 80 % vuoteen 2040 mennessä ja 90–95 % vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 ja hiilinegatiivisuutta sen jälkeen (Suomen ympäristökeskus, 2024.)

Ilmastolaki kattaa sekä päästöjen vähentämisen että sopeutumisen ja sisältää neljä keskeistä suunnitelmaa: keskipitkän ja pitkän aikavälin ilmastosuunnitelmat, sopeutumissuunnitelman sekä maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman. Laki edellyttää myös vuosittaista ilmastovuosikertomusta, jolla seurataan päästökehitystä ja tavoitteiden toteutumista. Hiilinielujen vahvistaminen on olennainen

osa tavoitetta, sillä niiden avulla tasapainotetaan jäljelle jäävät päästöt (Suomen ympäristökeskus, 2024.)

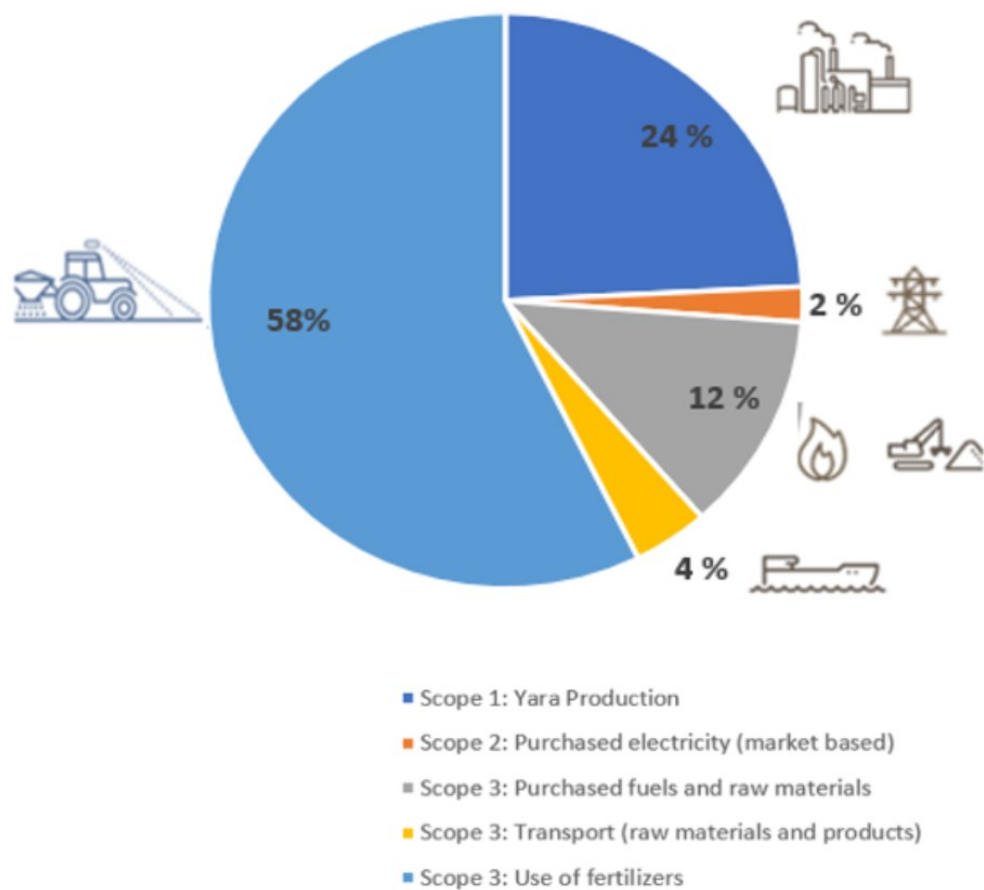


Kuva 4. Suomen päästövähennystavoitteet etenevät kohti hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä ja 85–90 % vähennystä vuoteen 2050 verrattuna vuoden 1990 tasoon. Hiilineutraaliustavoite perustuu oletukseen, että hiilinielut sitovat noin -21 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub> vuonna 2035, jolloin nettopäästöt laskevat nollaan (Suomen ympäristökeskus, 2024.)

#### 4.3 Yaran ilmastotavoitteet

Yara on asettanut tavoitteekseen hiilineutraaliuden vuoteen 2050 mennessä, ja sen tiekartta sisältää sekä toteutettuja että suunniteltuja toimenpiteitä. Vuodesta 2005 vuoteen 2019 päästöt (Scope 1 & 2) vähenivät noin 45 %, pääosin typpihappotehtaiden katalyyttien asennuksen ja energiatehokkuuden parantamisen ansiosta. Tulevaisuuden toimenpiteisiin kuuluu useita päästövähennys Hankkeita sekä vihreän ammoniakkin käyttöönnotto, joiden avulla pyritään vähentämään päästöjä vielä noin 30 % vuoteen 2030 mennessä. Tiekartan välitavoitteet ovat 10 % CO<sub>2</sub>e-vähennys tuotettua typpitonnia kohden vuoteen 2025 mennessä ja 30 % kokonaispäästöjen vähennys vuoteen 2030 mennessä, mikä luo perustan hiilineutraaliudelle vuonna 2050 (Yara, 2025.)

Lannoitteiden elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt ovat merkittävä osa maatalouden ilmastovaikutuksia. Yaran globaalit päästöt olivat vuonna 2020 noin 70 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia, joista yli puolet syntyy lannoitteiden käytöstä pelloilla. Tuotannon osuus on noin neljännes kokonaispäästöistä, ja siitä suurin osa johtuu ammoniakkituotannon energiankulutuksesta. Lisäksi noin viidennes päästöistä liittyy raaka-aineiden ja energian tuotantoon sekä kuljetuksiin. Euroopan ammoniakki- ja typpihappotehtaat kuuluvat päästökauppajärjestelmään, mikä varmistaa sekä tiukan seurannan että asetettujen päästötavoitteiden saavuttamisen (Yara, 2025.)



Kuva 5. Yaran lannoitteiden elinkaaren CO<sub>2</sub> eq. jakauma (Yara, 2024.)

## 5 VAIHTOEHTOISET ENERGIAMUODOT

On tärkeää etsiä vaihtoehtoisia energiamuotoja logistiikassa, koska kuljetus- ja materiaalinkäsittelytoiminnot ovat merkittävä fossiilisten polttoaineiden käyttäjä ja siten kasvihuonekaasupäästöjen lähde. Logistiikka on keskeinen osa toimitusketjua, ja sen päästöjen vähentäminen tukee yritysten ilmastotavoitteita, parantaa energiatehokkuutta ja vähentää riippuvuutta rajallisista ja hinnaltaan vaihtelevista fossiilisista polttoaineista. Teknologinen kehitys ja kiristyvät päästörajoitukset luovat painetta siirtyä vähäpäästöisiin ratkaisuihin, ja varhainen investointi uusiin energiamuotoihin voi tarjota kilpailuetua sekä vastata asiakkaiden ja sidosryhmien kasvaviin vastuullisuusvaatimuksiin

Vaihtoehtoisiksi energiamuodoiksi valittiin ratkaisuja, jotka ovat realistisia ja soveltuvat Siilinjärven toimipisteen prosesseihin sekä tukevat vihreää siirtymää. Valinnassa painotettiin teknologioiden saatavuutta, paikallisia olosuhteita ja mahdollisuutta vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Muutoksia ovat muun muassa, sähköistyminen ja biomassaan perustuvat polttoaineet, sillä ne tarjoavat konkreettisia keinoja päästöjen vähentämiseen nykyisessä toimintaympäristössä. Lisäksi vety on otettu mukaan vertailuun tulevaisuuden ratkaisuna, koska sen potentiaali päästöttömän energian tuotannossa ja varastoinnissa on merkittävä, vaikka käyttöönotto edellyttää infrastruktuurin kehittämistä ja investointeja. Näin vertailu kattaa sekä lyhyen aikavälin toteuttamiskelpoiset vaihtoehdot että pitkän aikavälin strategiset mahdollisuudet.

### 5.1 HVO uusiutuva diesel

HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) edustaa kehittyneempää teknologiaa ja valmistetaan esimerkiksi teollisuuden prosessitähteistä. Se on parafiininen uusiutuva biopolttoaine, joka palaa puhtaammin kuin perinteinen fossiilinen diesel. HVO on kemialliselta rakenteeltaan hyvin lähellä fossiilista dieseliä. Sen kemiallinen rakenne sisältää hyvin vähän aromaattisia yhdisteitä ja rikkiä, mikä vähentää haitallisten pakokaasupäästöjen muodostumista. Käytännön testit osoittavat, että HVO:n käyttö vähentää merkittävästi hiilivetyjä (HC), hiilimonoksidia (CO) ja hiukkaspäästöjä. Lisäksi typen oksidien (NOx) päästöt ovat alemmat erityisesti moderneissa moottoreissa, koska palaminen on tasaisempaa ja puhtaampaa (Murtonen, Aakko-Saksa, 2009, 13–15.) Elinkaaritarkastelussa HVO:n kasvihuonekaasupäästöt voivat olla jopa 80–90 % pienemmät, jos raaka-aineena käytetään jätteitä ja tähteitä. Kasviöljypohjaisilla raaka-aineilla vähennys on tyypillisesti 50–70 % (Murtonen, Aakko-Saksa, 2009, 22–24.) HVO:n merkittävä etu on sen yhteensopivuus nykyisten dieselmoottoreiden kanssa ilman teknisiä muutoksia, mikä tekee siitä nopean ja kustannustehokkaan ratkaisun liikenteen ilmastovaiikutusten pienentämiseksi ja EU:n uusiutuvan energian tavoitteiden saavuttamiseksi (Murtonen, Aakko-Saksa, 2009, 30.) Näiden ominaisuuksien vuoksi HVO tarjoaa merkittävän potentiaalín fossiilisen dieselin korvaajana sekä ilmastotavoitteiden edistäjänä, mutta sen kustannukset ovat tyypillisesti noin 20 % korkeammat verrattuna fossiiliseen dieseliin (ST1, 2025).

Taulukko 1. Uusiutuvalla ja Biodieselillä on selkeitä eroja (mukailee Murtonen, Aakko-Saksa, 2009).

Polttoaine	Päästövähennys	Käyttökelpoisuus
Uusiutuva Diesel	~50–90 %	Käy suoraan nykyaikaisille moottoreille
Biodiesel	~60–80 %	Vaatii sekoitusta tai muutoksia tekniikkaan

## 5.2 FAME-biodiesel

Kehittynyt uusiutuva diesel HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) ja perinteinen biodiesel FAME (Fatty Acid Methyl Ester) ovat molemmat dieselmoottoreihin soveltuvia biopohjaisia polttoaineita, mutta ne eroavat merkittävästi valmistusprosessin ja lopputuotteen ominaisuuksien osalta. Suomessa liikennekäytössä olevan dieselin standardi EN 590 sallii enintään 7 % FAME-seoksen, sillä suuremmat pitoisuudet voivat aiheuttaa teknisiä ongelmia, kuten polttoainejärjestelmän kumi- ja muoviosien vaurioitumista sekä karstaa polttoainesuuttimiin. Lisäksi FAME-polttoaineet altistuvat mikrobikasvustolle, mikäli polttoainejärjestelmässä esiintyy kosteutta ja epäpuhtauksia (ST1, 2025.)

FAME on biodieselin pääasiallinen tyyppi, joka valmistetaan biomassasta transesteröimällä rasvoja ja öljyjä metanolin avulla. Prosessissa triglyseridit hajoavat ja reagoivat metanolin kanssa, jolloin syntyy metyyliestereitä ja glyserolia sivutuotteena. Lopputuote muistuttaa fossiilista dieseliä, mutta sisältää enemmän happea, noin 10–12 %, mikä vaikuttaa palamiseen ja päästöihin. FAME:n laatu ja ominaisuudet määritellään eurooppalaisessa standardissa EN 14214, joka varmistaa polttoaineen soveltuvuuden dieselmoottoreihin. Biodieseliä voidaan käyttää puhtaana (B100) tai sekoitettuna fossiiliseen dieseliin, jolloin seokset merkitään kirjaimella B ja numerolla, joka kertoo biodieselin prosenttiosuuden (esim. B7 = enintään 7 % FAME). EU:n polttoainelaadun direktiivi sallii tällä hetkellä enintään B7-seoksen myynnin, mutta moottorivalmistajat ovat testanneet ja hyväksyneet myös suurempia seoksia, kuten B30 ja B100. FAME vähentää hiilimonoksidi-, hiilivety- ja hiukkaspäästöjä fossiiliseen dieseliin verrattuna, mutta voi lisätä hieman typen oksidien (NOx) päästöjä sekä aiheuttaa haasteita kylmäkäynnistyksessä ja varastoinnissa hapettumisen ja veden sitomisen vuoksi (European diesel board, 2025.)

## 5.3 Sähköenergia

Sähkömoottori on energiatehokas, hiljainen ja käytössä päästötön, ja sen käyttämä energia voidaan tuottaa uusiutuvilla lähteillä. Sähköautojen suurin haaste on edelleen riittävän energiamäärän kuljettaminen ilman liiallista painoa ja kustannuksia. Akkujen kapasiteetti vaihtelee: 20–30 kWh riittää noin 150–250 km:n ajoon, 40–60 kWh mahdollistaa 300–450 km ja 75–95 kWh yli 500 km. Sähköautot ovat huomattavasti energiatehokkaampia kuin polttomoottoriautot; niiden kulutus on tyypillisesti 15–25 kWh/100 km, mutta olosuhteet, erityisesti pakkaset, voivat nostaa kulutuksen yli 35 kWh:iin. Ver-

tailun vuoksi dieselauto kuluttaa noin 50 kWh/100 km ja bensiinauto 63 kWh/100 km. Toimintasäteessä polttomootoriautot ovat edelleen edellä, sillä 50 litran tankki riittää dieselautolla noin 1 000 km ja bensiinautolla 600 km. Tämä johtuu energiatiheudesta: dieselissä noin 12 kWh/kg, kun taas litiumakun energiatiheys on vain 0,1 kWh/kg, mikä tarkoittaisi 1 000 kg:n akkua 1 000 km:n toimintasäteelle. Akkujen energiatiheys on kuitenkin kasvanut merkittävästi ja kehitys jatkuu, mikä tuo sähköautot yhä lähemmäs polttomootoriautojen toimintasädetä (Motiva, 2025.) Nämä samat lainalaisuudet pätevät kaikkiin kalustotyyppeihin joihin sähkö on varteenotettava vaihtoehto.

Sähkökäyttö alkaa yleistyä myös raskaassa kalustossa, ja valmistajat kuten Volvo tarjoavat jo kattavan valikoiman suuria sähkökäyttöisiä koneita. Yara Siilinjärven logistiikan tarpeisiin sopiva esimerkki on Volvo L90 Electric, joka vastaa ominaisuuksiltaan yleisesti käytettyä polttomoottoriversiota. Tämä pyöräkuormaaja on täysin päästötön käytössä ja lähes äänetön, mikä parantaa työympäristön turvallisuutta ja viihtyvyyttä. Laitteessa on 180 kWh:n akku, joka kestää keskiraskaassa käytössä noin 4–6 tuntia. Lataus on nopea: 20–80 % saavutetaan noin 55 minuutissa, mikä mahdollistaa tehokkaan työkierron ilman pitkiä seisokkeja. Sähkötekniikan etuna on myös välitön vaste ohjaus- ja käyttötoiminnoissa, mikä tekee koneen hallinnasta tarkkaa ja sulavaa. Tämä ominaisuus korostuu erityisesti materiaalinkäsittelyssä ja logistiikkatehtävissä, joissa nopea reagointi ja hallittavuus ovat kriittisiä (Volvo, 2025.) Volvon lisäksi useilla valmistajilla on jo tarjolla sähköistettyjä versioita suuremman kokoluokan koneista. Trukit ja lavasiirtimet ovat olleet sähköversioina saatavilla jo pitkään, ja niiden suosio kasvaa jatkuvasti erityisesti sisälogistiikassa. Sähkötrukkien etuja ovat päästöttömyys käyttöpaikalla, hiljainen toiminta ja alhaisemmat käyttökustannukset verrattuna polttomoottorimalleihin. Ne soveltuvat erinomaisesti varastoihin ja tuotantotiloihin, joissa melun ja pakokaasujen vähentäminen on tärkeää. Kehittynyt akkuteknologia mahdollistaa pidemmän käyttöajan ja nopeamman latauksen, mikä parantaa tehokkuutta ja vähentää seisokkeja.



Kuva 6. Kuvassa sähkökäyttöinen Volvo L90 Electric. Kuormaajan ulkonäkö ei juurikaan eroa polttomoottoriversiosta (Volvo, 2025.)

## 5.4 Vety

Vety on ominaisuuksiltaan väritön, hajuton ja erittäin helposti syttyvä kaasu. Se on kevein kaikista kaasuista ja palaa lähes näkymättömällä, erittäin kuumalla vaaleansinisellä liekillä. Sytyttämiseen riittää vain 0,02 mJ energia, joten staattinen varaus, kipinät, kuumat pinnat, liekit tai tietyt metallit (esim. platina) voivat sytyttää vedyn. Ruosteiset pinnat voivat alentaa syttymislämpötilaa merkittävästi. Vuotava vety kohoaa ylöspäin ja kerääntyy suljetun tilan yläosaan muodostaen räjähdysvaarallisen seoksen. Puristetun vedyn vuoto voi synnyttää staattista varausta niin paljon, että se syttyy näennäisesti itsestään. Tulipalon kuumentama säiliö voi repeytyä, jolloin vapautunut vety palaa räjähdyksenomaisesti. Vetyliekin havaitseminen on vaikeaa, sillä se on lähes näkymätön. Liekki näkyy parhaiten ilman väreilynä tai sytyttämällä kepin päähän kiinnitetty paperi tai kangas vuotokohdan lähellä. Suuri vuoto voidaan havaita puhallusäänestä. Sen käyttö vaatii siis vahvaa turvallisuuden huomioimista. Pullot ovat yleisin varastointitapa Suomessa ja teollisuudessa. Paineet ovat tyypillisesti 350 bar (35 MPa) tai 700 bar (70 MPa), erityisesti ajoneuvojen ISO 19880-1 tankkausstandardeissa (Työterveyslaitos, 2025.)

Vetyä pidetään lupaavana vaihtoehtona raskaaseen liikenteeseen, koska se mahdollistaa pitkän toimintamatkan, nopean tankkauksen ja lähes päästöttömän käytön, kun polttoaine tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä. Tämä tekee vedystä erityisen sopivan ratkaisun pitkän matkan kuljetuksiin ja suurille ajoneuvoille, joissa akkuteknologian haasteet kuten suuri paino, rajallinen kapasiteetti ja pitkä latausaika rajoittavat käyttöä. Vetykäyttöiset polttokennot tarjoavat ratkaisun näihin ongelmiin. Yhdellä tankkauksella voidaan ajaa yli 800 kilometriä ja tankkaus kestää vain 10–15 minuuttia, mikä vastaa dieselkaluston tankkausaikaa. Vedyn etuna on myös sen lähes rajaton saatavuus ja monipuoliset käyttömahdollisuudet energiavarastoinnissa ja teollisuudessa, minkä vuoksi sitä pidetään yhtenä tulevaisuuden avainteknologioista hiilineutraaliuden saavuttamisessa. Haasteena on kuitenkin se, että suurin osa nykyisestä vedystä on fossiiliperäistä, kun taas vihreä vety, joka on uusiutuvilla energialähteillä tuotettu, on vielä kallista ja vaatii merkittäviä investointeja tuotannon laajentamiseen. Myös jakeluinfran puute vaikeuttaa vetyyn siirtymistä. Vetyä luokitellaan tuotantotavan mukaan eri väreihin kuten, harmaa vety syntyy fossiilisista polttoaineista ja aiheuttaa suuria päästöjä, sininen vety on fossiiliperäistä mutta sen hiilidioksidipäästöt pyritään sitomaan, oranssi vety tuotetaan biomassasta tai jätteestä ja on hiilineutraalia, ja turkoosi vety saadaan metaanin hajottamisesta ilman hiilidioksidipäästöjä. Menetelmät ovat vielä kehitysvaiheessa (Sundström, 2025.)

Suomessa vetyinfrastruktuurin puute on merkittävä este vihreän siirtymän toteutumiselle. Ilman tankkaus- ja latauspisteitä uudet kuljetusvälineet eivät voi tulla käyttöön logistiikassa. Infrastruktuurin puute muodostaa pullonkaulan, vaikka teknologia olisi valmiina ja hankinnat suunniteltuina, käytännön toteutus pysähtyy, jos energiaa ei ole saatavilla siellä, missä kalusto liikkuu. Tämä korostaa, että investoinnit jakeluverkkoon ja tankkausratkaisuihin on tehtävä rinnakkain kaluston uudistamisen kanssa. Muutoin vihreä siirtymä vedyn suhteen jää pelkäksi suunnitelmaksi (Vetylaitos, 2025.)

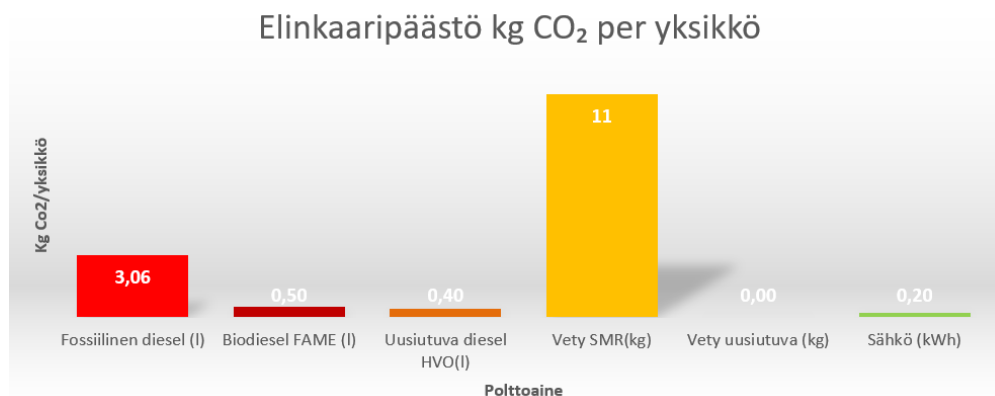
## 6 PÄÄSTÖJEN ELINKAARIPOHJAISET TARKASTELUT

### 6.1 Tank-to-wheel- ja Well-to-Wheel-päästöt

Tank-to-wheel-päästöt kuvaavat polttoaineen palamisesta syntyvää hiilidioksidia ajoneuvon käytön aikana. HVO- ja FAME-biodiesel tuottavat kemiallisesti saman määrän CO<sub>2</sub> kuin fossiilinen diesel, mutta koska hiili on biogeenistä, se ei lisää fossiilista hiiltä ilmakehään (Motiva, 2025.) Well-to-Wheel (WTW) tarkoittaa kokonaispäästöjen laskentaa polttoaineen koko ketjussa ja sen tuotannosta ja kuljuksesta aina ajoneuvon käyttöön asti. Toisin sanoen WTW kattaa kaikki kasvihuonekaasupäästöt, jotka syntyvät polttoaineen valmistuksessa, jakelussa ja lopulta sen hyödyntämisessä ajoneuvossa. Tätä kutsutaan usein ”kaivosta renkasiin” lähestymistavaksi, koska se huomioi koko polttoaineen elinkaaren käyttöön saakka. Well-to-Wheel-päästöt vaihtelevat merkittävästi raaka-aineen ja tuotantoprosessin mukaan. Vety ja sähkö ovat käytön aikana nollapäästöisiä, mutta niiden elinkaari-päästöt riippuvat tuotantotavasta ja energialähteestä (Korkeamaa, Kärkinen, Ojala, Rantala, & Soivio, 2025.)

### 6.2 Elinkaariarviointi (LCA)

Elinkaariarviointi (LCA) on menetelmä, jolla arvioidaan tuotteen tai järjestelmän ympäristövaikutuksia koko sen elinkaaren ajalta. Siinä kartoitetaan kaikki materiaalivirrat, energiankulutus ja päästöt eri vaiheissa tuotteen valmistuksesta käyttöön ja mahdolliseen hävittämiseen. Tarkastelu voidaan rajata koko elinkaareen tai vain tiettyihin vaiheisiin tai päästöihin, kuten kasvihuonekaasuihin. Menetelmä auttaa päätöksenteossa, koska se antaa kokonaiskuvan vaikutuksista ja estää ongelmien siirtymisen yhdestä elinkaaren osasta toiseen. Kuvassa 7 kuvataan polttoaineiden elinkaari-päästöt. Vedyn tuotannossa käytetty maakaasu nostaa elinkaari-päästöt korkeiksi, kun taas elektrolyysillä tuotettu on lähellä nollaa (Korkeamaa, Kärkinen, Ojala, Rantala, & Soivio, 2025.) Biopohjaisten polttoaineiden päästövähennys riippuu tuotantotavasta. Esimerkiksi HVO:n vähennys vaihtelee 25–93 % raaka-aineen mukaan (ST1, 2025.) Laskentakertoimille on useita eri kertoimia, kuten fossiiliselle dieselille kerroin 2,66–3,06 CO<sub>2</sub>/l on tyypillinen vaihteluväli kertoimessa. EU:n ja IPCC:n standardeissa käytetään usein arvoa 2,64–2,68 kg CO<sub>2</sub>/litra fossiilista dieseliä, koska ne perustuvat hiilipitoisuuteen (n. 86,2 % C) ja täydelliseen palamiseen. Alla esimerkki laskennasta, jossa kerroin on 3,06 sovellettuna pohjoisiin olosuhteisiin. Raportin laskennoissa käytetään kerrointa 2,68 fossiiliselle dieselille.



Kuva 7. Taulukossa LCA, elinkaari-päästövertailu. (mukailee Tilastokeskus, 2025; Correija, Koljonen & Soikka, 2018).

## 7 PILOTTIHANKKEET

### 7.1 Uusiutuvan HVO-dieselin pilotti

Pilotin tarkoituksena on arvioida HVO-dieselin soveltuvuutta Siilinjärven logistiikassa käytettävien pyöräkuormaajien polttoaineeksi ja sen potentiaalia vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Testijakso on suunniteltu joulukuusta toukokuulle, jotta voidaan tarkastella polttoaineen toimivuutta vaihtelevissa ilmasto-olosuhteissa, kuten pakkasessa ja kevään lämpötiloissa. Polttoaineena käytetään HVO ST1:n uusiutuvaa kevyt polttoöljyä, joka on kemiallisesti lähes identtinen fossiilisen polttoaineen kanssa, mutta valmistetaan uusiutuvista raaka-aineista, kuten jätteistä ja tähteistä. Tankkaus tapahtuu aina erillisestä, vuokratusta 3 000 l polttoainesäiliöstä, mikä varmistaa polttoaineen puhtauden ja hallitun jakelun. Testi toteutetaan yhdellä Volvo L70 -pyöräkuormaajalla, joka toimii pääasiassa lannoitetehtaan raaka-aineiden siirrossa. Pilotissa seurataan polttoaineen käytöstä mahdollisesti aiheutuvia teknisiä haasteita, kuten suodattimien vaihtotarvetta, polttoainejärjestelmän toimivuutta ja koneiden kestävyyttä. Oletuksena on, ettei merkittäviä ongelmia synny, mutta kerätty data tarjoaa arvokasta tietoa päätöksenteon tueksi.

Strategisesti pilotin onnistuminen avaa mahdollisuuden laajentaa uusiutuvan dieselin käyttö koko kalustoon, mukaan lukien pakkaamon pyöräkuormaajat ja muut dieselkäyttöiset koneet. Lisäksi kokemukset voivat toimia pohjana laajemmalle siirtymälle vähäpäästöisiin ratkaisuihin logistiikassa. Pilotin lopputulokset tarjoavat kokonaiskuvan teknisestä toimivuudesta, kustannusvaikutuksista ja ympäristöhyödyistä, mikä on keskeistä päätettäessä polttoainevalinnoista tulevaisuudessa.

#### 7.1.1 Laskennalliset päästövähennyksen pilotin aikana

Päästökertoimet ovat keskeinen osa polttoaineiden ilmastovaikutusten arviointia. Motivan ohjeiden mukaan fossiilisen dieselin ja kevyen polttoöljyn hiilidioksidipäästökerroin on noin 2,68 kg CO<sub>2</sub>/l, mikä perustuu polttoaineen hiilipitoisuuteen ja palamisreaktioon (Motiva, 2024.)

Uusiutuvan dieselin (HVO) osalta ST1 ilmoittaa, että sen käyttö voi vähentää kasviuonekaasupäästöjä jopa 90 % fossiiliseen dieseliin verrattuna koko elinkaaren aikana. Tämä tarkoittaa, että jäänöspäästö on tyypillisesti 0,1–0,3 kg CO<sub>2</sub>/l, riippuen käytetystä raaka-aineesta ja tuotantotavasta (ST1, 2025.) Näiden tietojen perusteella uusiutuva diesel tarjoaa merkittävän, 93 % päästövähennyspotentiaalin laskettuna keskipäästönä 0,2 kg CO<sub>2</sub>/l. Päästömielessä uusiutuvien polttoaineiden käyttö on järkevää. Liiketaloudellisessa mielessä uusiutuvan polttoaineen hintaa tarkastellaan yrityksissä kriittisesti.

Testijakson aikana kyseisen koneen polttoaineenkulutus oli keskimäärin 6,5 litraa tunnissa, ja käyttöaika 170 tuntia kuukaudessa. Kuuden kuukauden ajanjaksolla tämä tarkoittaa noin 6 630 litran kokonaiskulutusta. Fossiilisen dieselin päästökerroin on 2,68 kg CO<sub>2</sub>/l(well-to-wheel). Vaihtoehtoisesti, jos käytetään uusiutuvaa dieseliä (HVO ST1), jonka päästökerroin on keskimäärin vain 0,20 kg CO<sub>2</sub>/l, päästöt putoavat noin 93 %(well-to-wheel). Tämä osoittaa, että polttoainevalinnalla on merkittävä vaikutus kokonaispäästöihin ja vihreän siirtymän tavoitteiden saavuttamiseen. Kun tiedämme yksittäisen koneen käyttöajan ja kulutuksen tunnissa, voimme kertoa sen näillä lukemilla ja saada tarkat päästöt eri polttoainevaihtoehdoille. Näin voidaan nopeasti mallintaa, kuinka suuri vaikutus polttoainevalinnalla on koko logistiikkaketjun hiilijalanjälkeen.

Taulukko 2. Päästövertailu yhden pyöräkuormaajan puolen vuoden päästöt, fossiilinen polttoaine verrattuna uusiutuva polttoaine. Puolen vuoden aikana päästö on 16,4 t CO<sub>2</sub> vähemmän uusiutuvalla polttoaineella.

Kulutus l/h	Käyttötunnit h/6 kk	Kulutus yht. l/6kk	Fossiilinen diesel CO <sub>2</sub> kg (~2,68 kg CO <sub>2</sub> /l)	Uusiutuva diesel CO <sub>2</sub> kg (~0,20 kg CO <sub>2</sub> /l)	Erotus CO <sub>2</sub> t/ 6kk
6,5	1020	6630	17 768	1326	16,4

### 7.1.2 HVO biodieselin käyttäjäkokemukset pyöräkuormaajapilotissa

Käyttäjäkokeuksia kerättiin systemaattisesti pyöräkuormaajan kuljettajilta kyselyllä (Liite 1), joka toteutettiin pilotin eri vaiheissa syys- ja talviolosuhteissa. Kyselyssä arvioitiin polttoaineen toimivuutta, koneen ajokäyttäytymistä, käynnistymistä, suorituskykyä sekä mahdollisia poikkeamia päivittäisessä käytössä. Vastausten perusteella HVO-dieselin yleinen toimivuus oli hyvä eikä polttoaineen aiheuttamia ongelmia raportoitu pilotin aikana. Käynnistysvarmuus pysyi korkeana myös kovilla pakkasilla, eikä havaittu tehohäviöitä, epätavallista värinää, poikkeavia ääniä tai muita käyttöä haittaavia ilmiöitä. Kuljettajat kuvasivat ajokokemuksen vastaavan fossiilisen dieselin tasoa sekä vetävyyden että hallittavuuden osalta. Huollon näkökulmasta polttoainesuodattimissa ei havaittu merkittäviä eroja fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna. Suodattimien vaihtotarve ei lisääntynyt, eikä sakkautumista tai tukkeutumista raportoitu. Tämä tukee käsitystä siitä, että HVO soveltuu käytössä olleen kaluston polttoainejärjestelmään ilman lisähuollon tarvetta. Asenteiden osalta kysely paljasti, että osalla kuljettajista oli pilotin alussa ennakkoluuloja biopolttoainetta kohtaan, erityisesti kylmäominaisuuksien ja luotettavuuden osalta. Nämä epäluulot hälvenivät pilotin edetessä, kun käytännön kokemus osoitti polttoaineen toimivan ongelmattomasti myös vaihtelevissa sääolosuhteissa. Kyselyn kokonaissaldona osallistujat suosittelivat HVO:n käyttöä erityisesti sen ongelmattomuuden ja vähäpäästöisyyden vuoksi.

### 7.1.3 Yhteenveto HVO-pilotista

Paikallisesti toteutettu uusiutuvan HVO-dieselin pilotti oli merkittävä askel kohti vähäpäästöisempiä ratkaisuja teollisuuslogistiikassa. Pilotti osoitti, että HVO-dieselin hyödyntäminen pyöräkuormaajien polttoaineena on teknisesti toimiva ja käyttövarma ratkaisu myös vaativissa ilmasto-olosuhteissa. Uusiutuva diesel tarjosi merkittäviä etuja fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna, erityisesti merkittävän päästövähennyspotentiaalin, yhteensopivuuden olemassa olevan kaluston kanssa sekä ongelmattoman käyttökokemuksen ilman lisähuollon tarvetta. Samalla pilotti toi esiin keskeisiä näkökulmia käyttöönottoon, kuten polttoaineen hinnan merkityksen liiketaloudellisessa tarkastelussa sekä jo olemassa oleva tankkausinfrastruktuurin käyttö jatkossa biodieselin käytössä. Käyttäjäkokeemukset olivat kokonaisuudessaan erittäin positiivisia, ja alkuvaiheen ennakkoluulot uusiutuvaa polttoainetta kohtaan hälvenivät käytännön kokemuksen karttuessa. Kuljettajat arvioivat polttoaineen toimivuuden olevan täysin verrannollinen fossiiliseen dieseliin myös kylmissä käyttöolosuhteissa.

Kokonaisuutena HVO-pilotti tarjosi arvokasta tietoa uusiutuvien polttoaineiden soveltuvuudesta teolliseen logistiikkaan ja loi vahvan perustan uusiutuvan dieselin käytön laajentamiselle koko kalustoon, tosin ekonomia huomioon otettaessa. Tulokset osoittavat, että HVO-diesel on realistinen ja nopeasti käyttöönotettava vaihtoehto vihreän siirtymän edistämiseksi, erityisesti tilanteissa, joissa raskaan kaluston sähköistäminen tai vaihtoehtoiset käyttövoimat eivät ole vielä teknisesti tai taloudellisesti toteuttamiskelpoisia. Pilotti toimii esimerkkinä siitä, miten vaiheittaisilla ja hallituilla kokeiluilla voidaan tukea strategista päätöksentekoa ja edistää siirtymää kohti vähäpäästöisempää logistiikkaa.

## 7.2 Vetytrukk pilotti

Yaran yhteistyökumppani Meri-Porin Kuorma Oy on sitoutunut kehittämään vähäpäästöisiä ratkaisuja logistiikan tarpeisiin, ja osana tätä tavoitetta toteutettiin pilottihanke Yaran Siilinjärven tehdasalueella. Hankkeen tarkoituksena oli testata vetykäyttöistä truckia sekä mobiilia vetytankkausasemaa, jotka ovat Suomen mittakaavassa vielä hyvin harvinaisia. Testit suoritettiin kevään ja kesän 2025 aikana, ja käytössä oli Linde-trukki 3,5 tonnin painoluokkaan kuuluva malli. Koska alueella ei ole kiinteää vetyinfrastruktuuria, ainoa toteuttamiskelpoinen ratkaisu oli hankkia siirrettävä tankkausasema. Yhteistyökumppani toimitti aseman, joka sijoitettiin korjaamorakennuksen päätyyn ulos, joka loi turvallisen testiympäristön. Trukki toimitettiin Saksasta ja oli välittömästi käyttövalmis, mikä mahdollisti nopean siirtymisen testivaiheeseen. Tankkausaseman saavuttua pääsimme testaamaan truckia päivittäisessä toiminnassa. Tämä pilotti tarjosi arvokasta tietoa vedyn hyödyntämisestä raskaan kaluston energialähteenä ja sen soveltuvuudesta teollisuusympäristöön.

### 7.2.1 Vetyturvallisuus

Kuten edellä kuvataan, vetyyn liittyy merkittäviä turvallisuushaasteita, jotka edellyttävät huolellista suunnittelua. Pilotin toteuttaminen vaati kattavan muutoksenhallintaprosessin sekä perusteellisen riskianalyysin. Vedyn ominaisuudet vaikuttivat suoraan testijakson ajankohtaan, koe päätettiin toteuttaa kesäkaudella, jolloin trukin ja tankkausaseman säilytys voitiin järjestää ulkotiloissa. Talvikaudella jäämiseriskin ehkäisemiseksi trucki olisi pitänyt säilyttää sisätiloissa, mikä olisi edellyttänyt vetyilmaisimien asentamista vuotojen havaitsemiseksi. Näin varmistettiin, että turvallisuusvaatimukset täyttyivät ja pilotti voitiin suorittaa hallitusti.

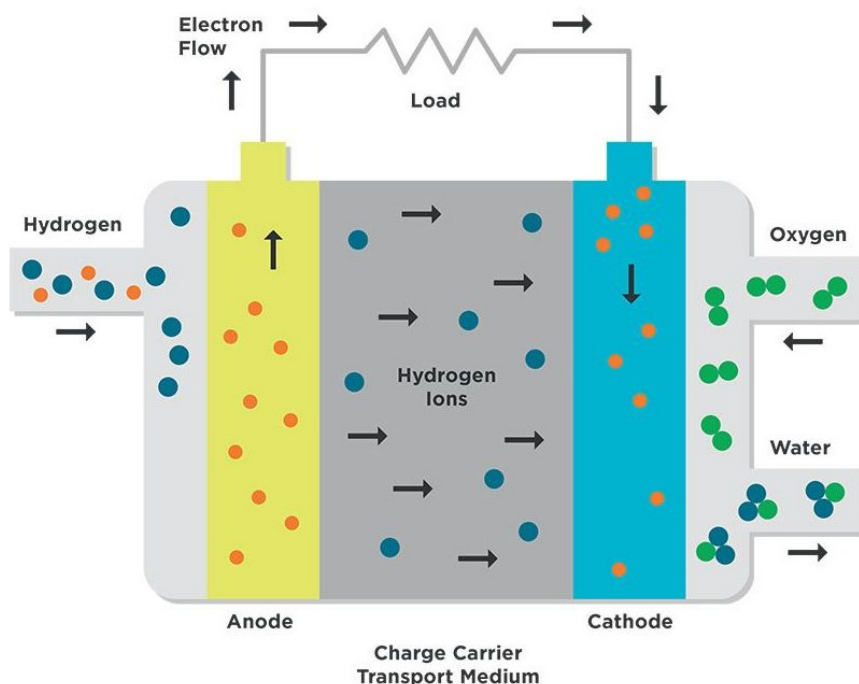
### 7.2.2 Polttokennoteknologia

Polttokennot tuottavat sähköä muuttamalla kemiallisen energian suoraan sähköenergiaksi ilman perinteistä polttoprosessia. Niiden toiminta perustuu vedyn ja hapen välisiin hapetus-pelkistysreaktioihin, joissa vapautuva energia hyödynnetään tehokkaasti. Tämän menetelmän etuna on korkea hyötysuhde, joka on yleensä yli 50 %, ja jopa 85 %, jos myös syntyvä lämpö otetaan talteen. Mikään perinteinen polttoprosessi ei yllä vastaavaan tehokkuuteen. Polttokennot ovat lisäksi päästöttömiä käyttöpaikalla ja toimivat lähes äänettömästi. Markkinoilla käytettävät päätyypit eroavat toisistaan protoninsiirtotavan perusteella: polymeerielektrolyyttikalvoa (PEM), kiinteää oksidia (SO) tai sulaa karbonaattia (MC) hyödyntävät ratkaisut. PEM-kennot ovat monikäyttöisiä matalan käyttölämpötilansa (<100 °C) ansiosta ja soveltuvat sekä pieniin että suuriin sovelluksiin. SO-kennot toimivat korkeissa lämpötiloissa ja sopivat parhaiten laajamittaiseen hajautettuun sähköntuotantoon. Polttoaineena PEM-kennot käyttävät puhdasta vetyä, kun taas SO-kennoissa voidaan hyödyntää maakaasua tai muita hiilivetyjä, joista vety erotetaan reformoinnilla. PEM-polttokennossa vety hajoaa anodilla protoneiksi ja elektroneiksi, jolloin elektronit kulkevat ulkoisen piirin kautta katodille

muodostaen sähkövirran, kun taas protonit siirtyvät kalvon läpi ja reagoivat hapen kanssa muodostaen vettä ja vapauttaen lämpöä (Kotisaari, 2014.)

Tärkein avainsana polttokennon toiminnassa on "kylmä palaminen": Sähkökemiallisen prosessin aikana happi ( $O_2$ ) reagoi hapettimena varsinaisen polttoaineen, vedyn ( $H_2$ ) kanssa. Tämä tuottaa suuren määrän energiaa lämmön ja sähköön muodossa, jota käytetään kuormaimien voimanlähteenä. Ainoa sivutuote on vesi ( $H_2O$ ), joka imetään takaisin polttokennosta tankkauksen aikana tai kerätään keruusäiliöön. Energiaa varastoidaan litiumioni akkuihin, josta se käytetään sähkömoottoreille (Linde, 2025.)

Trukeissa käytetään hybridijärjestelmiä, joissa yhdistyvät polttokenno ja akku. Nämä trukit toimivat sähkötrukkeina, mutta perinteisen akun sijaan niissä on akunvaihtomoduli (Battery Replacement Module, BRM), joka on mitoiltaan sama kuin vakioakku ja sisältää kaikki tarvittavat komponentit vedyn muuntamisesta sähköksi ja energian varastointiin. Tarvittaessa energiaa voidaan siirtää suoraan truckiin intensiivisessä käytössä. Vedyn tankkaus on nopeaa ja kestää vain muutamia minutteja, riippuen tankkauspainesta, mikä poistaa pitkät lataustauot ja mahdollistaa trukien käytön yhtä joustavasti kuin perinteiset polttomoottoritrukit. Yksi tankkaus riittää tyypillisesti koko työvuoroon. (Linde, 2025.)



Kuva 8. Polttokennolle syötetään vetyä ja happea. Reaktiossa syntyy elektrodeja ja vetyatomien ytimiä. Lopputuotteena saadaan vettä ja elektronien virratessa ulkoisen piirin kautta sähkövirtaa (Kotisaari, 2014.)

### 7.2.3 Vetytankkausasema

Tankkausasema koostuu kompressori- ja vetypullopatterista, joissa vety on varastoitu 350 Barin paineessa. Tankkauksen aikana kompressori nostaa painetta, jotta trukin säiliöön saadaan mahdollisimman paljon vetyä korkeampaan paineeseen puristettuna. Järjestelmässä on tietokoneohjaus, joka valvoo tankkausprosessia ja varmistaa turvallisuuden. Lisäksi laitteistossa on kaasuanturit, jotka havaitsevat mahdolliset vuodot. Käyttö on suunniteltu käyttäjäturvalliseksi ja tapahtuu samalla

periaatteella kuin perinteisten polttoaineiden tankkaus, jossa pistoolia käytetään liittämällä se trukin tankkausliittimeen. Tankkaus kestää vain muutamia minutteja, mikä tekee prosessista nopean ja tehokkaan verrattuna akkulataukseen. Tankkausaseman tarvitsemat hyödykkeet ovat sähkö ja vetykaasu.



Kuva 9. Siirrettävä vetytankkausasema (Fuel Cell Systems, 2025).

#### 7.2.4 Vetytrukki

Trukin ulkonäkö oli lähes identtinen perinteisen sähkötrukin kanssa, mikä tekee teknologiasta käyttäjälle tutun ja helppokäyttöisen. Polttokenno oli sijoitettu akuston paikalle kuljettajan istuimen alle, ja sen ympärille oli rakennettu vahva suojarakenne, joka koostui tukevasta sivuovesta suojaamaan mahdollisilta törmäyksiltä. Ainoa selkeä ero sähkötrukkiin verrattuna oli ohjaamossa näkyvät kaasumittarit ja valvontajärjestelmä, jotka tarkkailivat mahdollisia vuotoja polttokennomoduulin sisällä ja sen ulkopuolella. Jos vuoto havaitaan, automaattinen valvontajärjestelmä kytkee vetysäiliön irti venttiileillä ja tuulettaa moduulin. Käytön aikana trukki oli täysin äänetön ja hajuton, mikä parantaa työympäristön mukavuutta. Vedyn ja hapen reaktiosta syntyvä vesi kerättiin erilliseen säiliöön, josta se poistettiin imulaitteella huollon yhteydessä. Kehittyneemmissä versioissa tämä prosessi voidaan automatisoida siten, että vesi siirtyy tankkausasemalle tankkauksen yhteydessä. Käynnistys tapahtui yhtä vaivattomasti kuin tavallisella sähkötrukilla, mikä korostaa teknologian helppokäyttöisyyttä ja soveltuvuutta teollisuuden arkeen.



Kuva 10. Pilotissa käytetty vetytrukki ja vetytankkausasema.

### 7.2.5 Käyttäjäkokemukset

Käyttäjäkokemukset trukista olivat erittäin positiivisia. Ajossa trukki oli miellyttävä, täysin hiljainen ja hajuton, mikä paransi työympäristön viihtyvyyttä merkittävästi. Käynnistys ja käyttö sujuivat yhtä vaivattomasti kuin perinteisellä sähkötrukilla, eikä käytössä havaittu monimutkaisia lisätoimenpiteitä. Tankkausprosessi oli nopea ja helppo, kestoltaan noin 10–15 minuuttia, mikä teki trukin käytöstä joustavaa ja tehokasta. Kokonaisuutena teknologia koettiin moderniksi ja käyttäjäystävälliseksi ratkaisuksi, joka yhdistää ympäristöystävällisyyden ja käytön helppouden.

### 7.2.6 Yhteenveto vetytrukki pilotista

Siilinjärvellä toteutettu vetytrukkipilotti oli merkittävä askel kohti vähäpäästöisiä ratkaisuja teollisuuslogistiikassa. Hanke osoitti, että vedyn hyödyntäminen logistiikkalaston energialähteenä on teknisesti mahdollista ja tarjoaa selkeitä etuja, kuten päästöttömyyden, korkean energiatehokkuuden ja nopean tankkauksen. Samalla pilotti toi esiin keskeisiä haasteita, kuten infrastruktuurin puutteen ja vedyn erityiset turvallisuusvaatimukset, jotka edellyttävät huolellista suunnittelua ja investointeja. Käyttäjäkokemukset olivat erittäin positiivisia, mikä vahvistaa teknologian soveltuvuutta teollisuuden arkeen. Kokonaisuutena pilotti tarjosi arvokasta tietoa tulevaisuuden energiaratkaisujen kehittämiseksi ja osoitti, että vety voi olla realistinen vaihtoehto pitkällä aikavälillä, kunhan jakeluverkosto ja tukipalvelut kehittyvät. Tämä hanke toimii hyvänä esimerkkinä siitä, miten yritykset voivat edistää vihreää siirtymää konkreettisilla kokeiluilla ja luoda pohjaa laajemmalle käyttöönololle.

## 8 TYÖN TULOKSET

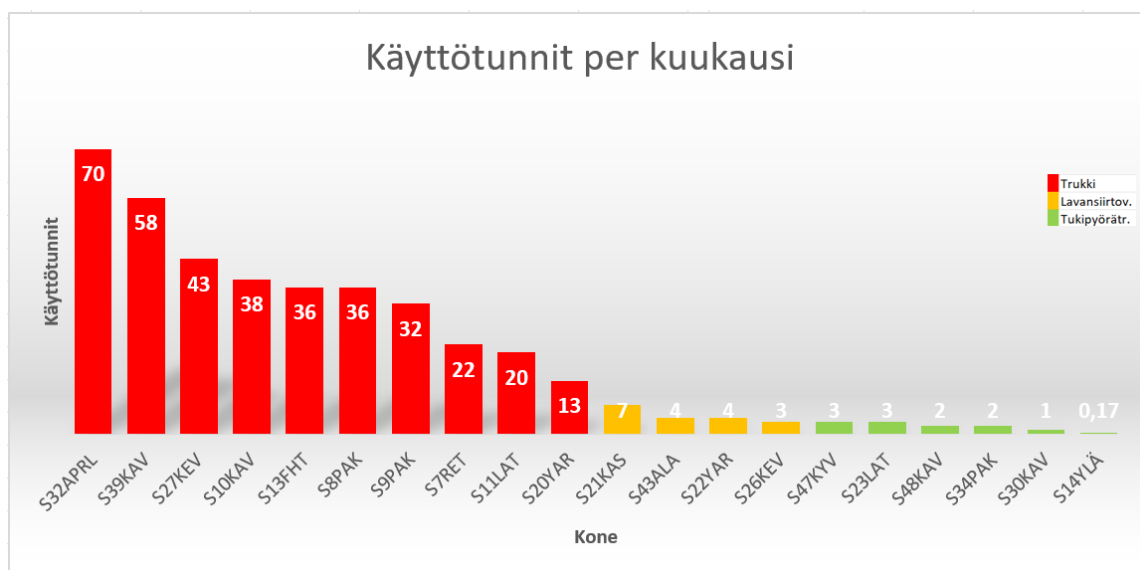
Työn tuloksissa tarkastellaan päästöjä eri kalustoluokissa ja arvioidaan vaihtoehtoisten käyttövoimien tarjoamia päästövähennysmahdollisuuksia sekä niihin liittyviä kustannuksia. Analyysi sisältää myös investointien kannattavuuden arvioinnin ja pohdinnan tulevaisuuden näkymistä. Lisäksi työssä arvioidaan koko kaluston nykyiset päästöt, kokonaispäästövähennyspotentiaali sekä muutoksen kustannukset. Näiden tulosten avulla muodostetaan kokonaiskuva siitä, kuinka vihreä siirtymä voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti ja millaisia vaikutuksia sillä on yrityksen toimintaan.

### 8.1 Yara Siilinjärven trukit, lavansiirtovaunut ja tukipyörätrukit

Analysoitu aineisto kattaa 20 työkonetta, jaettuna kolmeen ryhmään: trukit (10 kpl), lavansiirtovaunut (4 kpl) ja tukipyörätrukit (6 kpl). Kuukausittaisen käyttöasteen tarkastelu paljastaa merkittäviä eroja koneiden välillä. Trukit muodostavat selvästi suurimman käyttöosuuden, sillä niiden kuukausikäyttö vaihtelee 13 tunnista jopa 70 tuntiin kuukaudessa. Viisi eniten käytettyä truckia (S32APRL, S39KAV, S27KEV, S10KAV ja S13FHT) ylittävät 35 tunnin rajan kuukaudessa, mikä tarkoittaa erittäin aktiivista käyttöä. Tämä viittaa siihen, että trukit ovat kriittisiä tuotannon ja materiaalinkäsittelyn kannalta, ja niiden huolto- ja käyttövarmuus on keskeinen tekijä.

Lavansiirtovaunujen käyttö on huomattavasti vähäisempää. Suurin kuukausikäyttö on 7 h/kk (S21AKS), kun taas pienimmällä koneella (S26KEV) käyttö jää 4 min/kk. Keskimääräinen käyttö lavansiirtovaunuille on alle 4,5 h/kk, mikä viittaa ylimääräiseen kapasiteettiin tai siihen, että laitteet ovat varalla erityistilanteita varten esimerkiksi varastoissa.

Tukipyörätrukkien käyttö on myös vähäistä, 0,17–3 h/kk. Vaikka käyttömäärät ovat pieniä, laitteet voivat olla välttämättömiä tietyissä prosesseissa, kuten ahtaissa tiloissa tai erikoiskuljetuksissa. Käyttöasteen perusteella on kuitenkin perusteltua arvioida, onko molempien koneiden pitäminen tarpeen.



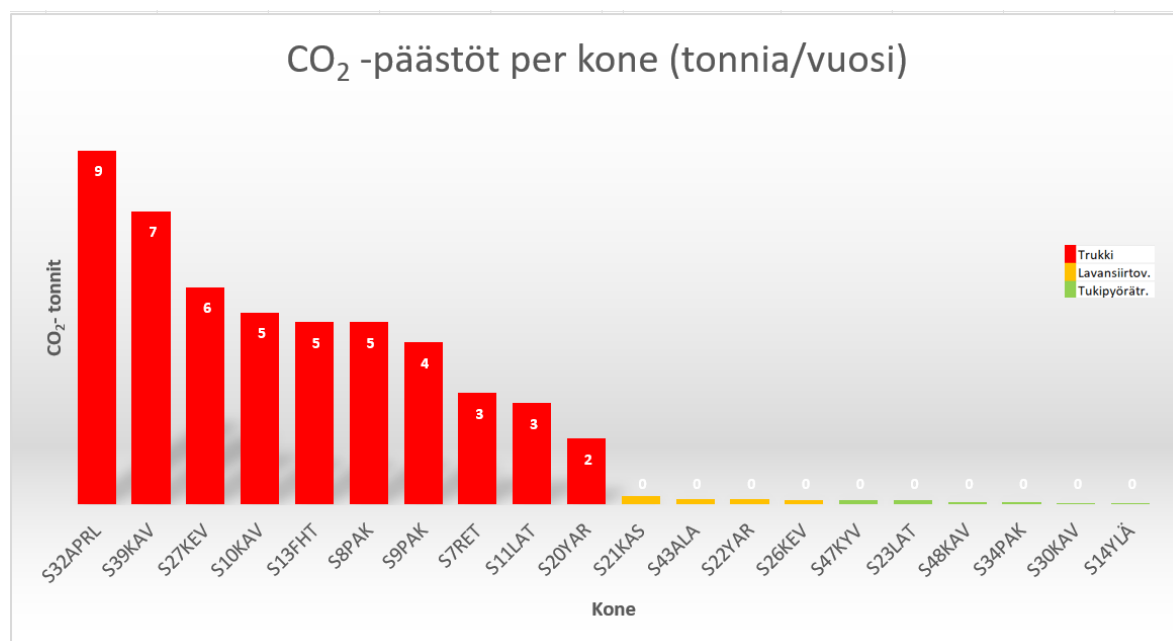
Kuva 11. Kuvassa käyttötunnit kuussa konekohtaisesti. Käyttöasteissa on merkittäviä eroja.

### 8.1.1 Päästövähennyspotentiaali trukkikalustossa

Analyysin perusteella trukit muodostavat kriittisen laiteluokan, sekä käyttöasteen näkökulmasta. Lavansiirtovaunut ja tukipyörätrukit ovat jo sähköisiä, joten niiden osalta ei ole tarvetta lisätoimenpiteisiin päästöjen vähentämiseksi. Fossiiliperäiset päästöt syntyvät käytännössä ainoastaan trukeista, joiden kuukausittainen käyttö on merkittävästi suurempi kuin muiden koneiden. Näiden sähköistämisen on tehokkain keino vähentää hiilijalanjälkeä.

Ensisijainen suositus on sähköistää ne trukit, joiden käyttö ylittää 30 tuntia kuukaudessa. Näiden koneiden sähköistämisen vähentäisi päästöjä arviolta 40 tonnia CO<sub>2</sub> vuodessa, mikä kattaa noin 78 % trukkikaluston kokonaispäästöistä. Täydellinen trukkikaluston sähköistämisen vähentäisi päästöjä yli 50 tonnia CO<sub>2</sub> vuodessa, mikä tukee yrityksen vihreän siirtymän tavoitteita ja parantaa ympäristövastuullisuutta merkittävästi.

Investointi latausinfrastruktuuriin kannattaa aloittaa niillä alueilla, joissa suurimman käyttöasteen trukit toimivat (esimerkiksi kaivosvarasto, pakkaamo ja keskusvarasto). Lisäksi käyttöasteen jatkuva seuranta on tärkeää, jotta voidaan tunnistaa epätasaiset tarpeet ja kohdentaa resurssit tehokkaasti. Lavansiirtovaunujen ja tukipyörätrukkien osalta voidaan keskittyä kapasiteetin optimointiin ja prosessien kehittämiseen, mutta päästöjen näkökulmasta lisätoimia ei tarvita.



Kuva 12. Päästöt ovat arvioitu dieseltrukin polttoainekulutuksen perusteella. Oletuksena trukki kuluttaa 4 litraa polttoöljyä tunnissa, ja polttoöljyn päästökerroin on 2,68 kg CO<sub>2</sub> per litra ja sähkön 0,2 kg CO<sub>2</sub> per kWh.

### 8.1.2 Trukkikaluston sähköistämiskustannukset

Trukkien sähköistämisen tarjoaa merkittäviä taloudellisia ja ympäristöhyötyjä. Sähkötrukin latauslaite sisältyy trukin hankintaan, joten erillistä laitehankintaa ei tarvita. Asennuskustannukset jäävät tyypillisesti 300–800 euroon. Latauslaitteen teho vaihtelee käyttö- ja mallikohtaisesti, yleisimmin 10 kW, 17 kW tai 30 kW, tämä vaikuttaa myös hankintahintaan. Alhaiset asennuskustannukset tekevät sähköistämisestä erityisen houkuttelevan vaihtoehdon paljon käytetyille trukeille. Sähkötrukin hankintahinta on hieman korkeampi kuin polttomoottoriversion: lyijyakullinen malli on noin 5 % kalliimpi ja

litiumioniakulla varustettu trukki noin 8 % kalliimpi 3 tonnin kokoluokassa. Tämä lisäkustannus kompensoituu kuitenkin nopeasti pienempinä käyttökustannuksina ja parempana energiatehokkuutena (Jämsén 2025.)

Dieseltrukin vuotuinen polttoainekustannus keskimääräisellä käyttöasteella (534 tuntia vuodessa) on n. 1 900 euroa, kun taas sähkötrukin latauskustannus jää n. 650 euroon. Sähkötrukki ei käy tyhjäkäynnillä, mikä vähentää käyttötunteja arviolta 20–30 %. Polttoainekustannussäästö on n.1 250 euroa per trukki. Säästö on merkittävä, mikä korostaa sähköistämisen kannattavuutta ja nopeaa takaisinmaksua. Laskelma perustuu seitsemän eniten käytetyn trukin keskimääräisiin kuukausittaisiin käyttötunteihin Siilinjärven toimipisteessä. Laskelma ei huomioi mahdollisia merkittäviä virransyöttömuutoksia, jotka ovat tilannekohtaisia ja voivat muodostaa lisäinvestoinnin. Lisäksi leasingvuokratustannukset voivat olla suuremmat sähkötrukeilla, arviolta n. 100–200 €/kk (neuvoteltavissa).

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että latausinfrastruktuurin ja sähkötrukkien käyttöönotto on taloudellisesti perusteltua ja tukee vihreää siirtymää. Sähkötrukit pienentävät käyttökustannuksia ja parantavat energiatehokkuutta, minkä vuoksi ne ovat strategisesti järkevä vaihtoehto erityisesti korkean käyttöasteen trukeille. Investoinnit tulee kuitenkin arvioida tapauskohtaisesti.

Taulukko 3. Trukkien sähköistämisen hinta ja laskennallinen päästövähennys

Trukin sähköistäminen	Hinta 1 trukki	Kaikki trukit
Arvioitu latausaseman asennuskustannus	300–800 €	3000–8000 €
Dieseltrukin vuotuinen polttoainekustannus 4 l/h	1900 €	19000 €
Sähkötrukin vuotuinen latauskustannus 8 kWh	650 €	650 €
Arvioitu vuotuinen säästö polttoaineissa	-1250 €	-12 500 €
Arvioitu leasingvuokran lisähinta vuodessa	1200–2400 €	12000–24000 €
Arvioitu vuotuinen lisäkustannus	0–1150 €	0–11500 €
Laskennallinen päästövähennys CO <sub>2</sub> t/a	5 t -> 0,5 t	50 t -> 5 t

## 8.2 Pyöräkuormaajat

Pyöräkuormaajat muodostavat kriittisen osan tehdasalueen sisäistä logistiikkaa, sillä ne mahdollistavat raskaat ja monipuoliset materiaalinkäsittelytehtävät, joita trukit eivät pysty suorittamaan. Niiden päätehtäviin kuuluu lannoitesäkkien lastaus ja purku, suurten taakkojen siirtäminen varastoalueiden ja tuotantolinjojen välillä sekä erilaisten prosessien tukeminen, kuten raaka-aineiden syöttö ja välivarastointi. Näiden koneiden toimintavarmuus on suoraan yhteydessä tuotannon jatkuvuuteen.

Käyttöasteen tarkastelu antaa arvokasta tietoa koneiden kuormituksesta ja prosessien kriittisistä vaiheista. Korkean käyttöasteen koneet ovat yleensä sijoitettu alueille, joissa materiaalivirrat ovat suurimmat ja aikataulut tiukimmat, kuten pakkaus- ja lastausalueille. Näiden koneiden käyttö on lähes jatkuvaa, mikä lisää kulumisen ja huoltotarpeiden riskiä. Vastaavasti matalan käyttöasteen koneet

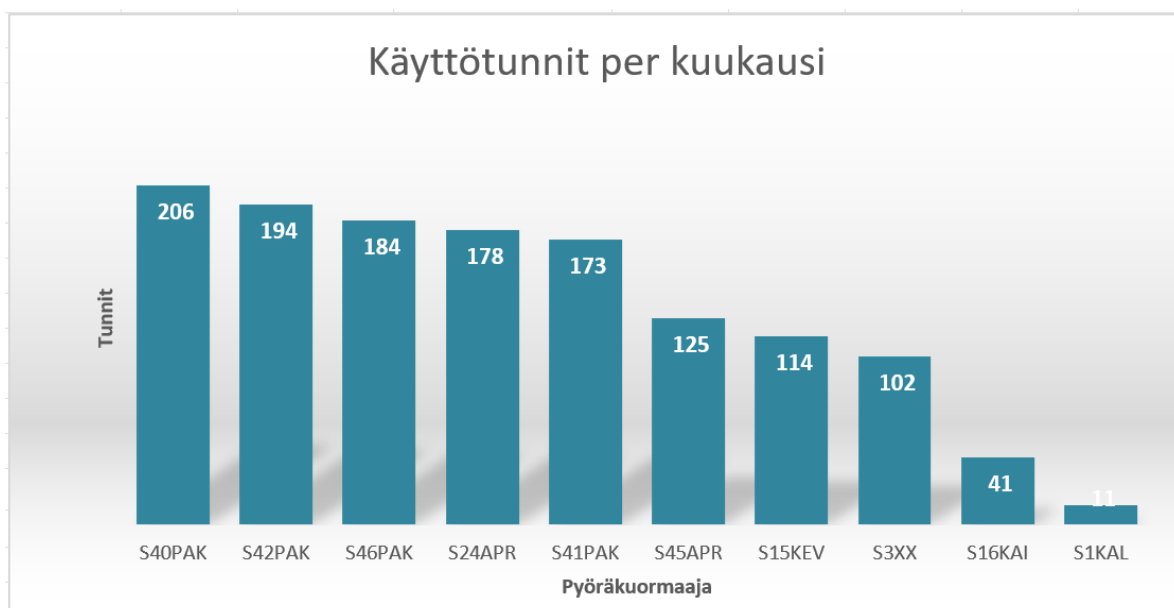
voivat olla varakäytössä, erikoistehtäviä varten tai niiden sijoituspaikka ei vastaa nykyisiä tuotantotarpeita.

Analysoimalla käyttöasteita voidaan tunnistaa koneet, joiden toimintavarmuus on kriittinen tuotannon jatkuvuuden kannalta, sekä ne koneet, joiden käyttö on vähäistä ja joiden roolia voidaan arvioida uudelleen esimerkiksi siirtämällä ne toisiin kohteisiin tai poistamalla käytöstä. Käyttöasteen tarkastelu paljastaa myös mahdollisuuksia tasapainottaa kuormitusta, jotta koneiden käyttö jakautuu tasaisemmin ja huoltokustannukset pysyvät hallinnassa. Vastaavasti vähäisellä käytöllä olevien koneiden korvaaminen tai poistaminen voi vähentää turhia päästöjä ja vapauttaa pääomaa, mikä parantaa sekä taloudellista että ympäristöllistä tehokkuutta.

Kuukausittaiset käyttötunnit paljastavat merkittäviä eroja koneiden välillä. Eniten käytetty kone, S40PAK, on ollut käytössä 206 tuntia kuukaudessa, mikä vastaa lähes täyttä työkuormaa. Myös koneet S42PAK (194 h), S46PAK (184 h), S24APR (178 h) ja S41PAK (173 h) kuuluvat korkeimman käyttöasteen ryhmään. Nämä koneet ovat kriittisiä tuotannon jatkuvuuden kannalta, ja niiden huolto- ja korvaussuunnitelmat tulee priorisoida, sillä suuri käyttöaste lisää kulumisen ja vikojen riskiä. Pääkäyttö koneille on suursäkkien purku- ja lastaustoiminta.

Kohtalaisen käyttöasteen koneet, kuten S45APR (125 h), S15KEV (114 h) ja S3XX (102 h), ovat selvästi vähemmän kuormitettuja, mutta niiden merkitys korostuu sesonkien ja poikkeustilanteiden hallinnassa. Niiden käyttö liittyy usein tiettyihin prosessivaiheisiin tai varakapasiteettiin.

Matala käyttöaste, kuten S16KAI (41 h) ja erityisesti S1KAL (11 h), herättää kysymyksen koneiden tarpeellisuudesta. Ne sitovat pääomaa ja aiheuttavat huoltokustannuksia, mutta eivät tuota merkittävää käyttöarvoa. Tämä voi viitata siihen, että koneet ovat varakäytössä, erikoistehtäviä varten tai niiden sijoituspaikka ei ole optimaalinen suhteessa tuotannon tarpeisiin. Alikäytetyt koneet tulisi arvioida kriittisesti, voidaanko ne siirtää toisiin kohteisiin, vuokrata ulkopuolisille tai poistaa käytöstä. Tämä vähentäisi turhia kustannuksia ja vapauttaisi pääomaa.



Kuva 13. Pyöräkuormaajien käyttötunnit kuukaudessa. Yksi kone on erikoistehtävässä ja sen vuoksi käyttöaste matala.

### 8.2.1 Päästövähennys potentiaali pyöräkuormaajissa

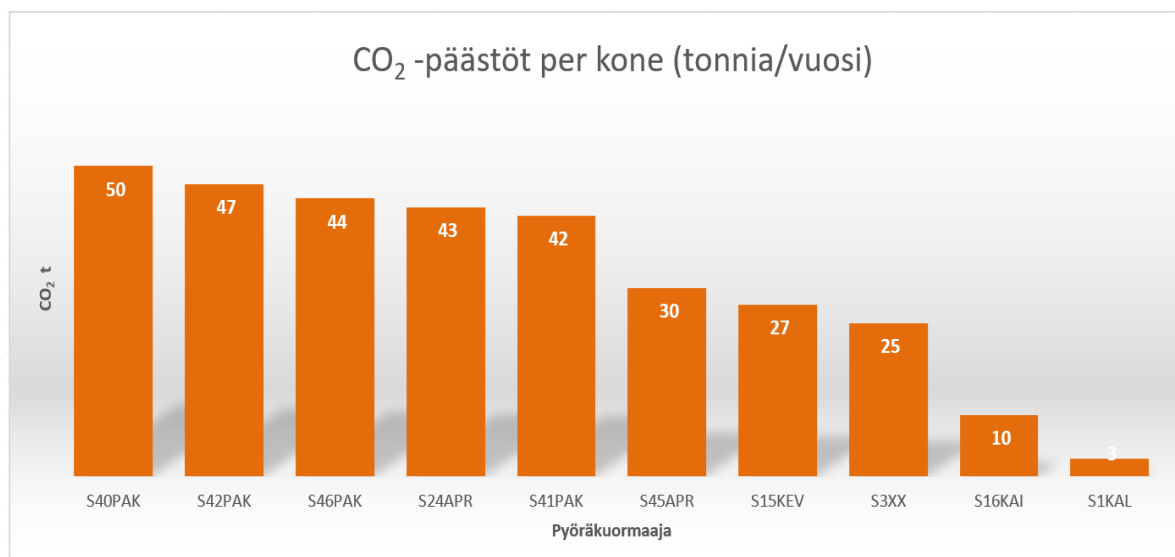
Pyöräkuormaajat muodostavat merkittävän päästölähteen tehdasalueella, erityisesti käyttöasteen näkökulmasta. Päästöt syntyvät lähes kokonaan niistä koneista, joiden käyttö on suurinta. Viisi eniten käytettyä pyöräkuormaajaa (S40PAK, S42PAK, S46PAK, S24APR ja S41PAK) tuottavat yhteensä noin 226 tonnia CO<sub>2</sub> vuodessa, mikä vastaa yli 70 % koko kaluston päästöistä. Näiden koneiden rooli on kriittinen tuotannon jatkuvuuden kannalta, mutta samalla ne ovat päästöjen vähentämisen kannalta tehokkain kohde.

Käyttöasteen ja päästöjen välinen korrelaatio on erittäin korkea, mikä tarkoittaa, että päästöt skaalautuvat suoraan käyttöajan mukaan. Päästöintensiteetti on lähes vakio, noin 20 kg CO<sub>2</sub> per käyttötunti, mikä osoittaa, että tekninen tehokkuus koneiden välillä ei juurikaan vaihtelee. Tämä tekee käyttöön perustuvista toimenpiteistä, kuten tyhjäkäynnin vähentämisestä ja työjärjestelyjen optimoinnista, erittäin tehokkaita keinoja päästöjen hallintaan. Koneiden ohjelmistossa on tyhjäkäyntiä rajoitettava toiminta käytössä ja siitä on saatu merkittävää polttoainetaloudellista hyötyä.

Ensisijainen suositus on kohdentaa sähköistämisen- tai HVO-biopolttoaineen käyttöönotto juuri näihin viiteen koneeseen. Pelkästään niiden korvaaminen vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla vähentäisi päästöjä arviolta 226 tonnia CO<sub>2</sub> vuodessa, mikä kattaa suurimman osan pyöräkuormaajakaluston hiilijalanjäljestä. Täydellinen sähköistäminen vähentäisi päästöjä yli 300 tonnia CO<sub>2</sub> vuodessa, mikä tukee yrityksen vihreän siirtymän tavoitteita ja parantaa ympäristövastuullisuutta merkittävästi.

Investointi latausinfrastruktuuriin kannattaa aloittaa niillä alueilla, joissa suurimman käyttöasteen koneet toimivat, kuten pakkaamoista. Samalla käyttöasteen jatkuva seuranta on tärkeää, jotta voidaan tunnistaa epätasaiset tarpeet ja kohdentaa resurssit tehokkaasti. Vähäisellä käytöllä olevien koneiden, kuten S16KAI ja S1KAL, osalta voidaan keskittyä taloudelliseen optimointiin koska niiden päästövaikutus on pieni, mutta niiden ylläpito sitoo pääomaa ja aiheuttaa kustannuksia. Näiden koneiden siirtäminen toisiin kohteisiin, vuokraaminen tai poistaminen käytöstä voi parantaa kaluston kokonaistehokkuutta.

Kokonaisuutena analyysi osoittaa, että päästöjen vähentämisen kannalta tehokkain strategia perustuu teknisten ratkaisujen ja operatiivisten toimenpiteiden yhdistelmään. Teknisiin ratkaisuihin kuuluvat sähköistäminen ja biopolttoaineiden käyttö, kun taas operatiivisella puolella keskeisiä toimia ovat tyhjäkäynnin hallinta, työkuorman tasapainotus sekä kaluston optimointi alikäytettyjen koneiden osalta, joko uudelleensijoittamalla tai poistamalla ne käytöstä. Näiden toimenpiteiden avulla voidaan saavuttaa merkittävä päästövähennys, parantaa kustannustehokkuutta ja samalla varmistaa tuotannon häiriötön toiminta.



Kuva 14. CO<sub>2</sub>-päästöt vuodessa pyöräkuormaaja kohtaisesti.

### 8.2.2 Pyöräkuormaajien sähköistäminen ja HVO-polttoaineet

Pyöräkuormaajien päästöjen vähentämiseksi tarkasteltiin kahta vaihtoehtoista ratkaisua: sähköistäminen ja HVO-biopolttoaineen käyttöönotto. Molemmat menetelmät tukevat vihreän siirtymän tavoitteita, mutta niiden vaikutukset, kustannukset ja toteutusaikataulut eroavat merkittävästi toisistaan. Sähköistäminen poistaa käytön aikaiset hiilidioksidipäästöt kokonaan ja tarjoaa pitkän aikavälin ratkaisun, mutta vaatii merkittäviä investointeja koneisiin ja latausinfrastruktuuriin. HVO puolestaan vähentää elinkaaripäästöjä jopa 90 % fossiiliseen dieseliin verrattuna ja voidaan ottaa käyttöön nopeasti ilman suuria muutoksia kalustoon.

Sähköisen pyöräkuormaajan hankinta on merkittävä investointi, joka koostuu sekä koneen ostohinnasta että tarvittavasta latausinfrastruktuurista. Sähkökuormaajan hinta on tyypillisesti 1,6–1,7 kertaa korkeampi kuin vastaavan dieselmallin. Lisäksi akkujen kapasiteetti ja käyttöikä vaikuttavat kokonaiskustannuksiin kuten litiumioniakkujen vaihto niiden käyttöiän ollessa on arviolta 5–10 vuotta. Koneille annetaan yleensä 10000 h/5 vuotta takuuta, joten hankinnan riski on hallittavissa. Koneen mukana tulee latausjohto, jolla voidaan ladata hitaasti Type -2 liittimellä 22 kWh teholla. Volvo L90H kokoluokassa sähkökoneen akun nettokapasiteetti on 153 kWh, joten sen käyttöaika on n. 5–6 h keskiraskaassa käytössä. Tämä tarkoittaa DC-pikalatausaseman hankkimista useissa tapauksissa. Koneen maksimi latauskapasiteetti on 120 kWh, joten latauslaite tulisi olla 150 kWh tehoinen. Latausasema maksaa arviolta 40 000–50 000 € ja asennus voi vaatia sähköverkon vahvistuksia ja kaapelointia, mikä nostaa kokonaisinvestoinnin kustannuksia merkittävästi. Latausstrategia on kriittinen, sillä koneiden käyttöaikataulut on sovittava latausaikoihin tai varmistettava riittävä varakapasiteetti. Jos latausaika ei ole ongelma, voidaan harkita AC-latausta 22 kW teholla. Tämä ei kuitenkaan riitä tehoksi jatkuvasti käytössä oleviin koneisiin (Garcia 2025.)

Vaikka alkuinvestointi on korkea, sähköiset koneet tarjoavat pitkällä aikavälillä säästöjä huoltokustannuksissa, koska niissä on vähemmän liikkuvia osia, ei öljynvaihtoja ja vähemmän kuluvia komponentteja. Myös polttoainekustannussäästö on noin kymmenkertainen. Haastavaksi asian tekee kuitenkin uusi tekniikka, jossa voi esiintyä odottamattomia ongelmia. Tämä on huomioitava kriittisissä kohteissa. On huomioitavaa, että sähköistäminen poistaa käytön aikaiset CO<sub>2</sub>-päästöt, mikä tukee yrityksen hiilineutraaliustavoitteita ja parantaa ympäristövastuullisuutta merkittävästi.

### 8.2.3 HVO-polttoaineen kustannukset

Biopolttoaineiden hinta on keskimäärin noin 15–20 % korkeampi kuin fossiilisten polttoaineiden, mutta niiden etuna on merkittävä elinkaaren aikaisessa CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen, jopa 90 %. Suurissa koneissa biopohjaiset polttoaineet ovat erityisen suositeltava vaihtoehto, sillä siirtyminen ei edellytä investointeja kalustoon tai infrastruktuuriin. Tämä tekee ratkaisusta nopeasti toteutettavan ja kustannustehokkaan keinon vähentää päästöjä nykyisessä toimintaympäristössä. Nykyisellä hintatasolla vuotuinen polttoainekustannuksen lisä pakkaamon koneilla olisi n. 17 k€ vuodessa.

### 8.3 Muut kulkuneuvot

Pakkaamon logistiikkakalustoon kuuluu kolme tehdasympäristössä toimivaa autoa. Tehdasolosuhteet ovat vaativia ja vahvasti korrosoivia, mikä tekee siirtymisen täyssähköisiin ratkaisuihin haastavaksi. Korrosio voi heikentää sähkökomponenttien ja akkujen käyttöikää, mikä lisää huolto- ja investointikustannuksia. Näistä syistä biopohjainen polttoaine, kuten HVO, näyttyytymy järkevänä vaihtoehtona nykyiselle dieselkalustolle.

Kalustoon kuuluu lisäksi kolme Avant-kuormaajaa, Bobcat sekä Merlo-nostin. Nämä koneet työskentelevät samoissa vaativissa olosuhteissa, mikä tekee sähkökäyttöisten ratkaisujen käyttöönotosta ongelmallista. Biopohjainen polttoaine soveltuu hyvin myös näihin koneisiin. Edustusauton osalta sähköinen vaihtoehto voisi olla perusteltua, koska sen käyttö tapahtuu pääosin tehdasympäristössä mutta yleensä kauempana pahimmista olosuhteista. Tämä antaisi kuvaa siirtymisestä kohti vihreää siirtymää. Latausinfra autoille on jo olemassa, joten lisäinvestointeja ei tarvittaisi.

### 8.4 Päästövähennyspotentiaali koko kalustossa

Logistiikkakaluston nykyiset päästöt, noin 376 tonnia hiilidioksidia vuodessa, ovat merkittävässä mitakaavassa, kun ne suhteutetaan muihin päästölähteisiin. Vertailun vuoksi yksi henkilöauto tuottaa keskimäärin 2–3 tonnia CO<sub>2</sub> vuodessa (15–20 tkm), joten kaluston päästöt vastaavat noin 150–180 henkilöauton vuotuisia päästöjä. Vaikka teollisuuden kokonaispäästöt voivat olla tuhansia tonneja, logistiikkakaluston osalta 376 tonnia on huomattava määrä, koska se syntyy vain muutamasta koneesta ja ajoneuvosta. Tämä tekee kalustosta strategisesti tärkeän kohteen päästövähennystoimille.

Päästövähennyspotentiaalia siis on olemassa. Siirtyminen fossiilisesta dieselistä biopohjaiseen HVO-polttoaineeseen yhdistettynä pienkoneiden sähköistämiseen, voisi pudottaa päästöt alle 60 tonniin vuodessa, mikä tarkoittaa ~85 % vähennystä ilman merkittäviä muutoksia infrastruktuuriin. Täydellinen sähköistäminen poistaisi paikalliset päästöt kokonaan, mutta vaativat olosuhteet ja korkeat investointikustannukset rajoittavat sen toteutettavuutta. Näin ollen 376 tonnia ei ole pieni luku, se on merkittävä päästökuorma, jonka vähentäminen on realistista ja kustannustehokasta oikeilla ratkaisuilla.

Logistiikkakaluston päästövähennyspotentiaali on huomattava, mutta käyttöenergian valinta edellyttää tarkkaa konekohtaista arviointia. Pyöräkuormaajat ovat suuria ja raskaita koneita, joiden energiantarve on merkittävä. Näiden koneiden sähköistäminen on teknisesti mahdollista, mutta käytännössä haastavaa vaatien suuret investoinnit. Koneet ovat kriittisessä tehtävässä, jolloin luotettavuus nousee merkittäväksi haastavissa olosuhteissa.

Biopohjaiset polttoaineet, kuten HVO, tarjoavat realistisen ja kustannustehokkaan ratkaisun suurille pyöräkuormaajille. Ne vähentävät CO<sub>2</sub>-päästöjä jopa yli 90 % verrattuna fossiiliseen dieseliin, ilman

merkittäviä muutoksia koneisiin tai infrastruktuuriin. Tämä tekee niistä houkuttelevan vaihtoehdon erityisesti raskaassa käytössä oleville koneille, joissa sähköistämisen kustannukset olisivat erittäin korkeat.

Pienempien koneiden, kuten trukit. Näiden koneiden energiantarve on pienempi, ja sähköiset ratkaisut voivat olla teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia, jos lataus voidaan järjestää sisätiloissa ja käyttöympäristö on vähemmän korrosoivaa. Avant-kuormaajien ja Bobcatin osalta järkevin valinta voisi olla biopohjainen polttoaine vaativan käyttöympäristön vuoksi.

Näin ollen optimaalinen strategia voi olla hybridimalli: suurissa pyöräkuormaajissa hyödynnetään biopolttoaineita, kun taas pienemmissä koneissa sähköä, mikä maksimoi päästövähennykset ja minimoi investointiriskit.

Koko kaluston CO<sub>2</sub> päästö vuodessa vertailu



Kuva 15. Suuret pyöräkuormaajat kuluttavat sähköä 25 kWh ja päästökerroin on 0,4 eli suhteessa enemmän kuin polttomoottori 7,5 l/h HVO-biodieseliä kertoimella 0,26, joten elinkaari päästöjä laskettaessa hybridiratkaisu on vähäpäästöisin ja kustannustehokkain ratkaisu.

### 8.5 Ensisijaisesti korvattavat koneet vähäpäästöisiksi

Analyysi osoittaa, että korkean käyttöasteen koneet muodostavat suurimman päästökuorman ja ovat kriittisiä tuotannon jatkuvuudelle. Ensisijainen toimenpide on korvata nämä koneet vähäpäästöisillä ratkaisuilla kuten trukit, jotka ylittävät 35 h/kk käyttöasteen, tulee hankkia täyssähköisinä, latausinfrastruktuuri huomioiden. Lavansiirtovaunujen ja tukipyörätrukkien käyttö on vähäistä, joten niiden määrän vähentämistä tulee harkita, mikä vapauttaisi pääomaa ja vähentäisi turhia päästöjä.

Alikäytettyjen koneiden siirtämistä tai poistamista käytöstä tulee harkita osana kaluston optimointia. Myös yhteiskäyttökoneita yksiköiden välille tulisi harkita. Strategia tukee kestävästä kehitystä.

### 8.6 Realistiset ja vähäpäästöiset vaihtoehdot fossiilisten polttoaineiden korvaamiseksi konekalustossa

Biopolttoaineisiin siirtyminen tarjoaa nopean ja kustannustehokkaan keinon vähentää kaluston fossiilisia päästöjä ilman merkittäviä muutoksia nykyiseen teknologiaan. HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) on erityisen houkutteleva vaihtoehto, sillä se voidaan käyttää useimmissa nykyisissä dieselkoneissa sellaisenaan. Vaikka HVO:n kustannukset ovat tyypillisesti noin 15–20 % korkeammat kuin fossiilisen dieselin, sen käyttöönotto on nopeaa ja infrastruktuurin muutostarve minimaalinen, mikä tekee siitä realistisen ratkaisun raskaassa kalustossa, jossa sähköistäminen olisi kallista ja teknisesti

haastavaa. Sähköistys on myös erinomainen vaihtoehto, mutta se tulee toteuttaa harkiten konekohtaisesti, sillä akkuteknologian, latausinfrastruktuurin ja käyttöympäristön vaatimukset vaihtelevat merkittävästi.

Näin ollen optimaalinen strategia on yhdistelmä: suurissa koneissa HVO-biopolttoaineet ja pienemmissä koneissa sähkö, mikä maksimoi päästövähennykset ja minimoi investointiriskit.

Vetykäyttöinen kalusto nähdään pitkän aikavälin ratkaisuna, mutta sen käyttöönotto ei ole vielä ajankohtaista infrastruktuurin puutteen vuoksi. Kehitystä tulee seurata aktiivisesti.

#### 8.6.1 HVO:n käyttöönotto

HVO:n käyttöönotto viiteen eniten käytettyyn pyöräkuormaajaan olisi järkevää päästöjen vähentämiseksi. Lisäksi suositellaan logistiikan pääpolttoainesäiliön käyttöönottoa näiden koneiden tankkaukseen. Todetaan, ettei säiliö vaadi teknisiä muutoksia, mikä tekee ratkaisusta nopean ja kustannustehokkaan.

#### 8.6.2 Sähköistämisen hallittu polku

Sähkötrukkien käyttöönotto aloitetaan korkean käyttöasteen koneista ja niille asennetaan mukana tulevat AC-latauslaitteet (11–22 kW) sisätiloihin. Pyöräkuormaajien sähköistäminen todetaan mahdolliseksi, mutta edellytetään tarkkaa kokonaiskustannusten arviointia ennen päätöksiä. Arvioinnissa tulee huomioida hankintahinta, huolto- ja energiakustannukset, seisokkien vaikutukset sekä tarvittavat latausinfrastruktuurin investoinnit. Näin varmistetaan, että sähköistämisen kustannukset ja hyödyt ovat läpinäkyviä ja päätökset perustuvat realistiseen taloudelliseen analyysiin.

#### 8.7 Seuraavan kilpailutuksen konekalustotarpeet

Seuraavassa kilpailutuksessa suositellaan hankittavaksi kalustoa, joka tukee hybridistrategiaa päästöjen vähentämiseksi kustannustehokkaasti ja käyttövarmuus säilyttäen. Suurten pyöräkuormaajien osalta valinta tulee kohdistaa HVO-yhteensopiviin dieselmoneisiin. Pienemmissä koneissa, kuten trukeissa ja sisätiloissa käytettävissä kuormaajissa, suositellaan täyssähköisiä malleja, koska niiden energiantarve on pieni ja lataus voidaan järjestää sisätiloissa, mikä tukee pitkän aikavälin siirtymää kohti nollapäästöistä kalustoa. Avant- ja Bobcat-tyyppisissä koneissa, jotka toimivat korrosoivissa ulko-olosuhteissa, järkevin ratkaisu on HVO-polttoaine, joka yhdistää päästövähennykset ja käyttövarmuuden. Hankintastrategian tulee lisäksi varautua latausinfrastruktuurin kehittymiseen ja akkuteknologian kehittymiseen, jotta sähköistäminen voidaan laajentaa asteittain myös raskaampiin koneisiin tulevaisuudessa. Vetykäyttöinen koneisto nähdään pitkän aikavälin vaihtoehtona, joka voi tarjota nollapäästöisen ratkaisun raskaalle kalustolle, mutta tällä hetkellä sen käyttöönotto ei ole ajankohtaista infrastruktuurin puutteen ja korkeiden kustannusten vuoksi. Teknologian kehitystä ja vetytalouden etenemistä tulee kuitenkin seurata aktiivisesti, jotta voidaan hyödyntää mahdollisuudet heti, kun ne muuttuvat realistisiksi.

#### 8.8 Sopimustekniset ehdotukset

Telematiikka on jo käytössä, mutta ehdotetaan, että urakoitsijan raportointimalli selkeytetään logistiikkaosastolle. Yhtenäinen kuukausiraportti, jossa näkyvät käyttötunnit, tyhjäkäynnin osuus ja polttoainekulutus helpottaisi seurantaa ja päätöksentekoa.

Ehdotetaan selkeän Off-hire säännön käyttöönottoa, jos koneen käyttöaste jää sovitun tuntimäärän (esim. alle 15 tuntia kuukaudessa) kolmen peräkkäisen kuukauden ajan, kone on mahdollista poistaa käytöstä tai siirretään toiseen kohteeseen. Tällä vähennetään turhia kustannuksia ja päästöjä leasing-mallissa. Lisäksi suositellaan kalustopoolien ja yhteiskäytön lisäämistä yksiköiden välillä tehokkuuden parantamiseksi.

Ehdotetaan Green Lease-liitteen lisäämistä sopimukseen. Liitteessä määritellään dataveloitteet, HVO-yhteensopivuus, käyttöasteen hallinta ja päästötavoitteet. Tällä varmistetaan läpinäkyvyys ja tuetaan vihreän siirtymän toteuttamista. Lisäksi suositellaan, että leasing-sopimukseen sisällytetään vaatimus sähkövalmiudesta uusissa koneissa, jotta siirtymä toteutetaan hallitusti ja vaiheittain. Malliesimerkki liitteessä 2.

## 8.9 Kaluston päästövähennysten roadmap 2026–2030

### **2026 – Sähkötrukkпилotti ja HVO-pilotti**

Vuonna 2026 toteutetaan sähkötrukkпилotti, jonka avulla saadaan todelliset tiedot kaluston energiankulutuksesta, käyttökustannuksista, latausinfra kustannuksista sekä käytännön kokemukset sähköisen kaluston soveltuvuudesta operatiiviseen ympäristöön. Pilotin avulla voidaan arvioida sekä investoinnin kustannustehokkuus että CO<sub>2</sub>-vähennyspotentiaali todellisessa käyttöprofiilissa. Sähkötrukin ohella jatketaan HVO-pilotointia kevääseen 2026 asti, jotta saadaan vertailukelpoista tietoa HVO:n suorituskyvystä, kulutuksesta, kustannuksista ja käyttäjäpalautteesta eri vuodenaikoina. Yhdessä nämä pilottit muodostavat vuoden 2026 päätavoitteen: rakentaa luotettava, dataan perustuva pohja kaluston käyttövoimaratkaisujen vertailulle ja laajamittaisille päätöksille vuosille 2027–2030.

### **2027 – Sähköistymisen laajentaminen ja HVO-käytön jatkoehdotukset**

Vuonna 2027 jatketaan trukkikaluston sähköistämistä vuoden 2026 pilotista saadun todellisen kulu-, kustannus- ja käyttäjädatan perusteella, jolloin sähköistystä voidaan kohdistaa niihin konetyyppisiin ja käyttöprofiileihin, joissa saavutetaan selkein CO<sub>2</sub>-vähennyshyöty ja paras kokonaiskustannus. Samalla arvioidaan sähkötrukkien latausinfrastruktuurin laajennus tarpeen mukaan. HVO-polttoaineen käyttöä laajennetaan niihin koneisiin, joissa sähköistys ei ole vielä teknisesti tai operatiivisesti mahdollista, edellyttäen, että HVO:n lisäkustannus pysyy maltillisena ja kustannus per vältetty CO<sub>2</sub>-tonni säilyy hyväksyttävällä tasolla. Vuoden 2027 päätavoitteena on kasvattaa vähäpäästöisen kaluston osuutta sekä varmistaa, että molemmat käyttövoimavaihtoehdot, sähkö ja HVO integroituvat osaksi normaalia kalustohankintaa ja päivittäistä käyttöä. Tehdään myös mahdollinen sähköinen pyöräkuormaaja pilotti, jos koneita on tarjolla.

### **2028 – Vähäpäästöinen kalusto standardiksi ja uusia teknologioita pilotointiin**

Vuonna 2028 vähäpäästöisestä kalustosta tehdään normi, ei poikkeus, ja aiempien vuosien sähköistys- ja HVO-toimien perusteella muodostetaan yhtenäinen hankinta- ja käyttökäytäntö, jossa vähäpäästöiset vaihtoehdot ovat oletusarvo kaikille uusille koneille. Kaluston luotettavuutta, käyttökokemuksia ja energiankulutusta seurataan systemaattisesti telemetriadatan avulla, jotta voidaan varmistaa optimaalinen käytettävyys ja oikea kohdistus tuleville investoinneille. Vuoden aikana testataan ja arvioidaan mahdollisia uusia käyttövoimaratkaisuja, kuten vety- tai muita nollapäästöisiä koneita, mikäli teknologia on markkinoilla riittävän kypsää pilotointiin. Lisäksi etsitään ja pilotoidaan

energia-tehokkaita ja vähäpäästöisiä innovaatioita, kuten uusia latausratkaisuja, intelligenttejä energianhallintajärjestelmiä tai työsykliä optimoivia teknologioita. Vuoden 2028 tavoite on vahvistaa organisaation siirtymä kohti systemaattista, dataperusteista ja net-zero-yhteensopivaa kalustonhallintaa.

### **2029 – Vähäpäästöinen hankintastandardi ja laajamittainen käyttöönotto**

Vuonna 2029 siirrytään vaiheeseen, jossa vähäpäästöinen tai nollapäästöinen kalusto muodostaa uuden hankintastandardin koko organisaatiossa. Kaikki uudet konehankinnat kuten trukit, pyöräkuormaajat, työkoneet ja ajoneuvot arvioidaan ensisijaisesti sähkö-, HVO-yhteensopivuuden, hybriditeknologian tai muiden vähäpäästöisten käyttövoimien kautta. Kaluston toimivuutta, käytettävyyttä ja luotettavuutta seurataan edelleen telemetriatallalla, mikä mahdollistaa käyttöasteen, energiankulutuksen ja huoltotarpeiden optimoinnin. Vuoden aikana toteutetaan myös laajempia koeajoja tai pilotoitunteja kehittyvillä teknologioilla, kuten vedyn tai muiden nollapäästöisten käyttövoimien ratkaisulla, mikäli ne ovat markkinoilla riittävän valmiita. Lisäksi vahvistetaan energiainfrastruktuuria (lataus, HVO-ratkaisut), jotta kalusto voidaan operoida tehokkaasti ja ilman pullonkauloja. Vuoden 2029 pää-tavoite on varmistaa, että vähäpäästöisyys ei ole enää projekti, vaan kiinteä osa kaikkia kaluston hankinta- ja päätöksentekoprosesseja.

### **2030 – Net-zero-yhteensopiva kalusto ja täysi käyttöönotto**

Vuonna 2030 tavoitteena on saavuttaa lähes täysin vähäpäästöinen kalustokanta, joka on linjassa yrityksen pitkän aikavälin net-zero-tavoitteiden kanssa. Kaikki uudet konehankinnat tehdään ensisijaisesti sähköisinä tai muilla nollapäästöisillä käyttövoimilla silloin, kun se on teknisesti ja operatiivisesti mahdollista, ja jäljelle jäävä polttomoottorikalusto siirretään 100 % uusiutuville polttoaineille, kuten HVO:lle. Energiainfrastruktuuri (lataus, älylataus, HVO-logistiikka) on tässä vaiheessa täysin kattava ja tukee koko kaluston käyttöä ilman pullonkauloja. Lisäksi suoritetaan 2030-tason kokonais-analyysi, jossa arvioidaan toteutuneet CO<sub>2</sub>-vähennykset, kustannustehokkuus, käyttöasteet ja käyttäjäkokemukset, sekä laaditaan päivitetty suunnitelma vuosille 2031–2035. Vuoden 2030 keskeinen tavoite on varmistaa, että vähäpäästöisyys ei ole enää hanke tai siirtymäprojekti, vaan pysyvä toimintatapa ja kalustohallinnan uusi normaali.

## 9 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena oli kartoittaa Yara Siilinjärven logistiikkaosaston konekaluston nykyiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja tunnistaa realistiset vaihtoehtoiset energiamuodot, kuten HVO, biodiesel, sähkö ja vety päästöjen vähentämiseksi. Tavoitteisiin sisältyi myös kustannusvaikutusten arviointi sekä konkreettisen ehdotuslistan laatiminen tulevia kalustohankintoja varten. Työn soveltava osuus sisälsi käytännön pilotit, kuten HVO-polttoaineen testauksen pyöräkuormaajassa ja vetytrukin kokeilun, jotta saatiin todellista dataa teknisestä toimivuudesta, kustannuksista ja käyttäjäkokemuksista. Näin työ yhdisti teoreettisen tarkastelun ja käytännön kokeilut, tuottaen sekä strategisia että operatiivisia ratkaisuja vihreän siirtymän edistämiseksi.

### 9.1 Työn onnistumiset

Työssä onnistuttiin yhdistämään teoria ja käytäntö. Työhön sisältyi laaja kirjallisuuskatsaus, jossa käsiteltiin GHG-protokollaa, EU:n ja CSRD:n vaatimuksia sekä ilmastotavoitteita, kvantitatiivinen analyysi päästölaskennan ja kustannusvertailujen muodossa. Käytännön pilotit, jotka toivat arvokasta tietoa HVO:n ja vedyn soveltuvuudesta, sekä kalustoanalyysi, joka tunnisti päästöintensiivisimmät koneet ja priorisoi toimenpiteet. Työn rakenne pyrittiin pitämään selkeänä ja asiat perusteltiin huolellisesti, ja työ tuottaa konkreettisia suosituksia kilpailutuksiin. Onnistuminen perustui siihen, ettei työ jäänyt pelkäksi teoreettiseksi selvitykseksi, vaan siinä tuotiin esiin käytännön ratkaisuja ja todennettua dataa, mikä tekee siitä aidosti hyödynnettävän päätöksenteossa. Pilotit osoittivat, että uudet teknologiat eivät ole vain konseptitasolla, vaan niitä voidaan soveltaa nykyisessä toimintaympäristössä. Lisäksi kustannuslaskelmat ja takaisinmaksuajat konkretisoivat investointien kannattavuuden, mikä on kriittistä johdon näkökulmasta. Vahvuutena oli myös se, että työssä tunnistettiin realistiset rajoitteet, kuten vedyn infrastruktuurin puute ja sähköistämisen haasteet ja esitettiin hybridistrategia, joka yhdistää nopean päästövähennyksen ja pitkän aikavälin kehityksen. Tämä osoittaa, että strateginen ja operatiivinen näkökulma pystyttiin yhdistämään onnistuneesti.

### 9.2 Työn opit

Pilotit osoittautuivat työn kriittisimmäksi osaksi, koska niiden avulla teoreettinen tarkastelu muutettiin käytännön todellisuudeksi. HVO-polttoaineen testaus pyöräkuormaajassa ja vetytrukin kokeilu toivat esiin arvokasta tietoa, jota ei olisi voitu saada pelkästään kirjallisuuskatsauksen tai laskennallisten mallien avulla. Pilottien avulla paljastettiin teknologioiden todellinen toimivuus, huoltotarpeet ja käyttäjäkokemukset. HVO:n osalta varmistettiin, ettei merkittäviä teknisiä ongelmia syntynyt, ja vetytrukin kohdalla havaittiin, että tankkausprosessi oli nopea ja käyttö miellyttävää, mutta turvallisuusvaatimukset ja infrastruktuurin puute muodostavat esteitä laajamittaiselle käyttöönotolle. Pilottien avulla konkretisoitiin myös kustannusvaikutukset, jotka arvioitiin, millaisia investointeja tarvitaan ja miten ne suhteutuvat saavutettaviin päästövähennyksiin. Lisäksi piloteilla vähennettiin epävarmuutta ja lisättiin henkilöstön luottamusta uusiin ratkaisuihin, koska käyttäjille annettiin mahdollisuus kokea teknologian hyödyt itse. Näin osoitettiin, että pilotointi ei ole pelkkä testausvaihe, vaan strateginen työkalu, jolla tuetaan päätöksentekoa, sitoutetaan organisaatiota ja luodaan pohja laajemmalle käyttöönotolle. Ilman pilotteja vihreä siirtymä jäisi helposti abstraktiksi tavoitteeksi, mutta käytännön kokeilujen avulla siitä tehdään konkreettinen ja uskottava.

Työn aikana opittiin syvällisesti, kuinka päästöraportointi ja vihreä siirtymä kytkeytyvät toisiinsa sekä strategisella, että operatiivisella tasolla. GHG-protokollan merkitys ymmärrettiin. Kyse ei ole pelkästä

laskentatyökalusta, vaan kansainvälisestä standardista, joka luo perustan yritysten ilmastotyölle ja läpinäkyvälle raportoinnille. Lisäksi havaittiin, että ESG- ja CSRD-vaatimukset muuttavat raportoinnin luonteen pakolliseksi ja standardoiduksi, mikä edellyttää tarkkaa datan hallintaa ja prosessien yhtenäistämistä.

Elinkaaripäästöjen laskentaan (WTW/LCA) perehdyttiin ja sen vaikutus päätöksentekoon tunnistettiin. Pelkkä käytön aikainen päästöjen tarkastelu voi johtaa harhaan, sillä todellinen ilmastovaikutus syntyy koko ketjussa polttoaineen tuotannosta käyttöön. Tämä korostaa tarvetta arvioida vaihtoehtoja kokonaisvaltaisesti, ei vain käyttöpaikan päästöjen perusteella. Teknologioiden soveltuvuus ja strateginen rooli hahmotettiin.

HVO nousi esiin nopeana ja kustannustehokkaana ratkaisuna raskaaseen kalustoon, kun taas sähköistys nähtiin pitkän aikavälin strategiana erityisesti sisälogistiikassa. Vety osoittautui lupaavaksi tulevaisuuden vaihtoehdoksi, mutta sen käyttöönotto edellyttää infrastruktuurin kehittymistä ja merkittäviä investointeja. Lisäksi havaittiin, että käytännön haasteet vaikuttavat ratkaisevasti teknologian valintaan, esimerkiksi korrosoivat tehdasolosuhteet voivat heikentää sähkökaluston käyttöikä ja nostaa huoltokustannuksia, kun taas vedyn kohdalla infrastruktuurin puute muodostaa pullonkaulan. Investointien kannattavuuden ja takaisinmaksuajan merkitys ymmärrettiin yhtä tärkeäksi kuin tekninen soveltuvuus. Sähkötrukkien edullisuus ja käyttäjystävällisyys ja HVO:n kustannuslisa suhteessa päästöhyötyyn konkretisoivat päätöksenteon perusteet.

Lopuksi opittiin, että operatiiviset toimet, kuten tyhjäkäynnin vähentäminen, käyttöasteen tasapainotus ja alikäytetyn kaluston poistaminen, voivat tuottaa merkittäviä päästövähennyksiä nopeasti ja edullisesti. Tämä osoittaa, että vihreä siirtymä ei ole pelkästään teknologinen kysymys, vaan kokonaisvaltainen prosessi, jossa yhdistyvät strategia, talous, olosuhteet ja ihmisten toimintatavat. Myös jatkuvan parantamisen malli kytkeytyy tähän kokonaisuuteen.

### 9.3 Saavutetut tavoitteet ja hyödyllisyys

Työn asetetut tavoitteet saavutettiin ja tuotettiin konkreettisia tuloksia, jotka tukevat sekä strategista että operatiivista päätöksentekoa. Ensinnäkin laadittiin nykytilan päästökartoitus, jossa osoitettiin logistiikkakaluston vuotuiset päästöt olevan noin 376 tonnia CO<sub>2</sub>. Toiseksi määritettiin päästövähennyspotentiaali, jonka todettiin olevan realistisesti jopa 85 % kun hyödynnetään HVO-biopolttoaineita suurissa koneissa ja sähköistetään pienkalusto. Työhön sisällytettiin myös kustannusanalyysi ja takaisinmaksulaskelmat, joilla konkretisoitiin investointien kannattavuus ja autettiin toimenpiteiden priorisoinnissa. Lisäksi laadittiin suositukset seuraavaan kilpailutukseen, joissa esitettiin hybridistrategia, jossa HVO suurille pyöräkuormaajille ja sähkö trukeille sekä sisälogistiikan koneille. Lopuksi toteutetut pilotit vahvistivat teknologioiden toimivuuden ja toivat arvokasta käytännön tietoa, mikä vähensi epävarmuutta ja tuki päätöksentekoa. Näin varmistettiin, ettei työ jäänyt teoreettiseksi selvitykseksi vaan tuotettiin selkeä tiekartta vihreän siirtymän toteuttamiseksi Yara Siilinjärven logistiikassa.

Työn avulla tarjottiin merkittävää arvoa koko organisaatiolle usealla tasolla. Ensinnäkin luotiin selkeä tiekartta vihreään siirtymään mikä helpotti strategista suunnittelua ja konkretisoi ilmastotavoitteet käytännön toimenpiteiksi. Toiseksi sisällytettiin dataan perustuvat suositukset, joilla tuettiin hankintapäätöksiä ja kilpailutuksia vähennettiin epävarmuutta ja parannettiin päätöksenteon läpinäkyvyyttä.

Kolmanneksi tuotiin esiin käytännön kokemuksia ja oppeja, jotka syntyivät teknologioiden arvioinnista ja kustannuslaskelmista, mikä vahvisti organisaation osaamista ja valmiuksia toteuttaa muutoksia hallitusti. Lisäksi parannettiin raportointivalmiuksia tuleviin CSRD- ja ESG-vaatimuksiin mikä on kriittistä yrityksen vastuullisuusstrategian ja sidosryhmien luottamuksen kannalta. Kokonaisuutena varmistettiin, ettei työ ainoastaan tue päästövähennystavoitteita vaan myös vahvistaa organisaation kilpailukykyä ja muutuskäykyä. Näin voidaan todeta, että työyhteisön hyöty työstä on merkittävä.

#### 9.4 Työn hyödyllisyys omaan tehtävään

Työstä oli merkittävää hyötyä kehityspäällikön roolissa, sillä se tarjoaa konkreettisen työkalun strategiseen ja operatiiviseen päätöksentekoon. Tuloksia voidaan hyödyntää suoraan hankintapäätöksissä ja kilpailutuksissa, mikä helpottaa vihreän siirtymän toteuttamista käytännössä. Työ tukee myös prosessien kehittämistä, sillä kaluston optimointi ja päästöjen hallinta parantavat logistiikan tehokkuutta ja kustannusrakennetta. Lisäksi työ vahvistaa omaa asiantuntijaprofiilia, koska se osoittaa osaamista päästöraportoinnissa, energiaratkaisujen arvioinnissa ja projektinhallinnassa, osaluoteita, jotka ovat keskeisiä tulevaisuuden logistiikkajohtamisessa. Samalla työ edistää verkostoitumista ja yhteistyötä, sillä pilotit ja teknologiatestit lisäsivät näkyvyyttä ja luottamusta kumppaneiden keskuudessa. Kokonaisuutena työ ei ainoastaan ratkaise teknisiä kysymyksiä, vaan vahvistaa strategista asemaa ja luo pohjan kestäväälle kehitykselle organisaatiossa.

#### 9.5 Eettisyys

Työn eettinen ja luotettava toteutus rakentuu läpinäkyvyydestä, tietosuojasta, työturvallisuudesta, yhdenvertaisesta henkilöstön kohtelusta ja se on huomioitu koko kehittämisprosessissa aina datan keruusta johtopäätösten viestintään. Käyttäjäpalautteen ja telematiikkadatan hyödyntämisessä noudatetaan henkilöiden suostumusta, tarkoitussidonnaisuuden ja minimoinnin periaatteita. Henkilöstölle kerrotaan selkeästi, mitä tietoja kerätään, mihin niitä käytetään, kuinka kauan niitä säilytetään, anonymisti. Pääsy raakadataan rajataan tehtäviensä puolesta valtuutetuille ja yksilöiviä mittareita ei yhdistetä henkilötietoihin ilman erillistä suostumusta. Työturvallisuudessa korostetaan ennakoivaa riskienhallintaa kaikille käyttövoimille. Piloteissa vedyn kohdalla tehdään muutoksenhallinnan mukainen riskianalyysi ja varmistetaan vuotojen havaitseminen, ulkosäilytys, kaasuilmaisimet, koulutus ja selkeät toimintaohjeet. HVO dieselin osalta turvataan polttoaineen laatu ja ympäristöriskien hallinta ja ohjeistetaan käyttäjät tankkausprosessiin. Käytetyt kertoimet ja oletukset dokumentoidaan, rajataan selkeästi Well-to-Wheel ja käyttöpaikan Tank-to-Wheel tarkastelut.

Erityisenä eettisenä riskinä tunnistetaan viherpesu eli harhaanjohtavat tai ylispekulatiiviset väitteet ilman riittävää elinkaaritodentamista, Viherpesun riskiä voidaan hallita varmistamalla, että kaikki päästövähennysväitteet perustuvat todentuvaan ja läpinäkyvään dataan, ei pelkkiin oletuksiin. Tämä tarkoittaa elinkaaripäästöjen huomioimista (Well-to-Wheel), toimittajilta saatavia kestävyys todentamisia (PoS, RED II) sekä selkeästi dokumentoituja laskentasääntöjä ja rajoituksia. Lisäksi viestinnässä tulee välttää ylisanoja ja käyttää konservatiivisia väitteitä, kuten "arvioitu vähennys" todentamisen sijaan "nollapäästöinen" jolla tarkoitetaan usein paikallista päästöä, ei elinkaaripäästöä. Riippumaton tarkastus tai sisäinen auditointi ennen ulkoista raportointia varmistaa tulevaisuudessa luotettavuuden ja vähentää viherpesun riskiä. Riskiä voidaan hallita ulkoisilla ja sisäisillä auditoinneilla.

## 9.6 Johtopäätökset

Logistiikkakaluston päästöt eivät ole vähäinen tekijä, vaan strateginen kohde, jossa yhdistyvät nopea toteutettavuus ja merkittävä ilmastovaikutus. Työn tulokset osoittavat, että hybridistrategia, jossa HVO suurille pyöräkuormaajille ja sähkö trukeille sekä sisälogistiikan kalustolle tarjoaa kustannustehokkaan ja operatiivisesti hallittavan ratkaisun, joka voi vähentää päästöjä jopa 85 % ilman merkittäviä teknisiä riskejä. Tämä lähestymistapa mahdollistaa nopean siirtymän kohti vähäpäästöisyyttä ja tukee Yaran ilmastotavoitteita käytännön tasolla. Vety on lupaava pitkän aikavälin vaihtoehto, mutta sen käyttöönotto edellyttää infrastruktuurin rakentamista ja markkinoiden kypsymistä, minkä vuoksi sen rooli on toistaiseksi strateginen seuranta, ei välitön investointi.

Työ osoittaa, että dataperusteinen ja pilotteihin nojaava kehittämistapa toimii ja vähentää epävarmuutta, sitouttaa henkilöstöä ja tuottaa päätöksiä, jotka voidaan viedä käytäntöön. Kun päästömitaus, kustannukset, käyttövarmuus ja käyttäjäkokemus yhdistetään samaan kokonaisuuteen, syntyy kestävä kehitys arjen tasolla, ei pelkästään strategiapapereissa. Tämä on muutosjohtamisen ydin, jossa yhdistyy teknologia, talous ja ihmiset niin, että vihreä siirtymä toteutuu hallitusti ja uskottavasti. Työ vahvistaa kehityspäällikön roolia strategisena vaikuttajana, joka tuo ilmastotavoitteet osaksi hankintapäätöksiä, sopimuslogiikkaa ja operatiivista ohjausta. Näin Yara Siilinjärven logistiikka etenee tavoitteista konkreettisiin toimiin, jotka ovat mitattavia, läpinäkyviä ja taloudellisesti perusteltuja.

## LÄHTEET

- ABB 2025. Scalable Charging Solutions for Fleet Operators | ABB E-mobility. Verkkojulkaisu. <https://e-mobility.abb.com/en/industries/logistics>. Viitattu 28.12.2025
- Carbon Trust 2013. Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions. Verkkojulkaisu. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope3\\_Calculation\\_Guidance\\_0.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope3_Calculation_Guidance_0.pdf). Viitattu 22.10.2025.
- Correija, S., Koljonen, T. & Soikka, L. 2018. Lämmityspolttoaineiden tuotannon elikaariset kasvihuonepäästöt. VTT raportti. Verkkojulkaisu. <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2018/T336.pdf>. Viitattu 27.11.2025.
- Ecobio 2023. Mitä tarkoittavat Scope 1, 2 ja 3 päästöt. Verkkojulkaisu. <https://ecobio.fi/mita-tarkoittavat-scope-1-2-ja-3-paastot/>. Viitattu 22.10.2025.
- Ecobiomanager 2025. ESG- mitä sinun tulee tietää. Verkkojulkaisu. <https://ecobiomanager.com/fi/esg-mita-sinun-tulee-tietaa/>. Viitattu 23.10.2025.
- EcoOnline 2024. Mikä on päästökerroin ja miten se lasketaan?. Verkkojulkaisu. <https://www.ecoonline.com/fi/blogi/paastokerroin/>. Viitattu 10.11.2025.
- European Commission 2024. The European Green Deal. Verkkojulkaisu. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en). Viitattu 27.11.2025.
- European diesel board 2025. About biodiesel. Verkkojulkaisu. <https://ebb-eu.org/about-biodiesel-2/>. Viitattu 10.10.2025.
- Euroopan parlamentti 2019. Autojen hiilidioksidipäästöt: tietoa ja tilastoja. Verkkojulkaisu. <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20190313STO31218/autojen-hiilidioksidipaastot-tietoa-ja-tilastoja>. Päivitetty 17.12.2024. Viitattu 27.11.2025.
- Euroopan parlamentti 2024. Kuljetuspalvelujen kasvihuonekaasupäästöjen laskenta. Verkkojulkaisu. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/seance\\_pleniere/textes\\_adoptes/definitif/2024/04-10/0205/P9\\_TA\(2024\)0205\\_FI.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/seance_pleniere/textes_adoptes/definitif/2024/04-10/0205/P9_TA(2024)0205_FI.pdf). Viitattu 15.9.2025.
- Fuel Cell Systems 2025. Modular Hydrogen Refuelling. Verkkojulkaisu. <https://www.fuelcellsystems.co.uk/modular-refuelling>. Viitattu 7.9.2025.
- Garcia, T. 2026 Tekninen tuotepäällikkö. Volvo. Haastattelu 26.2.2026.
- Greenhouse gas protocol 2025. About Us. Verkkojulkaisu. <https://ghgprotocol.org/about-us>. Viitattu 22.10.2025.
- Jämsén, J. 2026 Myyntipäällikkö. Linde. Haastattelu 26.2.2026.
- Kallionpää, E., Liimatainen, E., Nykänen, L. & Viiri, R. 2024. Logistiikkaan liiketoiminta- ja päästövähennyspotentiaalia päästöraportoinnilla. Valtioneuvoston selvitys. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-498-9>. Viitattu 27.11.2025.
- Korkeamaa, A., Kärkinen, T., Ojala, K., Rantala, J., & Soivio, T. 2025. Päästölaskentaohjeistus tieliikenteen kuljetusten päästöjen arvioimiseksi Suomessa. Ohjeistusraportti. Verkkojulkaisu. [https://traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Osa2\\_Ohjeraportti.pdf](https://traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Osa2_Ohjeraportti.pdf). Viitattu 9.11.2025.
- Kotisaari, M. 2014. Polttokennojen tehokkuuden ja käyttöiän maksimointi optimaalisella kosteutuksella. Verkkojulkaisu. <https://www.vaisala.com/fi/expert-article/maximizing-efficiency-and-lifetime-fuel-cells-optimum-humidification>. Viitattu 5.9.2025.

Linde 2025. Vetyvoimaa. Verkkojulkaisu. <https://www.lindetrukit.fi/fi/Meistae/Innovaatioita-Lindetae/Polttoainekennot/>. Viitattu 8.10.2025.

Motiva 2025. Sähköautot. Verkkojulkaisu. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvoteknika/moottoritekniikka/sahkoautot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvoteknika/moottoritekniikka/sahkoautot). Viitattu 27.11.2025.

Murtonen, P. & Aakko-Saksa, P. 2009. VTT Alternative fuels with heavy-duty. Verkkojulkaisu. <https://publications.vtt.fi/pdf/workingpapers/2009/W128.pdf>. Viitattu 10.10.2025.

ST1 2025. Diesel-tuotteemme uudistuvat. Verkkojulkaisu. <https://st1.fi/yksityisille/tuotteet/dieselit>. Viitattu 10.10.2025.

Suomen ympäristökeskus 2024. Ilmastomuutos Suomessa. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/suomen-ilmastopolitiikalla-pyritaan-saavuttamaan-ilmastotavoitteet>. Viitattu 25.11.2025.

Sundström, A., 2025. Vedyn rooli ja nykytilanne tieliikenteen tavarankuljetuksissa. Verkkojulkaisu. <https://logistiikka.info/2025/05/26/vedyn-rooli-ja-nykytilanne-tieliikenteen-tavarankuljetuksissa/>. Viitattu 9.10.2025.

Teknologiaeollisuus 2025. Luodaan kestävää kasvua ilmastotavoitteet saavuttaen. Verkkojulkaisu <https://teknologiaeollisuus.fi/tavoitteemme/ilmasto-ja-energia/ilmasto-ja-energiapolitiikka/>. Viitattu 25.10.2025.

Tilastokeskus 2025. Polttoaineluokitus. Verkkojulkaisu. [https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html). Viitattu 26.11.2025.

Työterveyslaitos 2025. Ova-ohjeet Vety. Verkkojulkaisu. <https://ova.ttl.fi/vety>. Viitattu 22.11.2025.

Vetylaitos 2025. Vety ja Suomi – matkalla kohti puhdasta energiatulevaisuutta. Verkkojulkaisu. <https://vetylaitos.fi/vetyvoima/vety-ja-suomi-matkalla-kohti-puhdasta-energiatulevaisuutta/>. Viitattu 12.10.2025.

Volvo 2025. L90 Electric. Verkkojulkaisu. <https://www.volvoce.com/-/media/aprimo/pdf/electric-large-wheel-loaders/l90-electric/product-guide-l90-electric-fi-15-20064771-a.pdf?v=boJ4Pw>. Viitattu 10.10.2025.

WWF 2022. Greenhouse Gas -protokolla auttaa organisaatioita merkittävimpien päästölähteiden tunnistamisessa – WWF Green Office:n työkaluilla lasket ja seuraat päästöjä. Verkkojulkaisu. <https://wwf.fi/greenoffice/tarina/greenhouse-gas-protokolla-auttaa-organisaatioita-merkittavimpien-paastolahteiden-tunnistamisessa-wwf-green-officen-tyokaluilla-lasket-ja-seuraat-paastoja%E2%80%AF/>. Viitattu 23.10.2025.

Yara 2025. Yritysesittely. Sisäinen dokumentti. Viitattu 27.11.2025.

YLE 2018. Ilmastomuutos on ihmiskunnan kohtalonkysymys. Verkkojulkaisu. Päivitetty 12.12.2018. <https://yle.fi/a/20-277764>. Viitattu 20.10.2025.

Ympäristöministeriö 2021. IPCC:n raportti: Ihmisten toiminta on aiheuttanut ennennäkemättömän laajoja ja nopeita muutoksia ilmastossamme. Verkkojulkaisu. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/ipcc-n-raportti-ihmisten-toiminta-on-aiheuttanut-ennennakemattoman-laajoja-ja-nopeita-muutoksia-ilmastossamme>. Viitattu 22.10.2025.

Ympäristöministeriö 2025. Green deal -sopimukset. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/green-deal-sopimukset>. Viitattu 27.11.2025.

## LIITEET

## LIITE 1

## Kyselytutkimuksen kysymykset

## HVO biodieselin käyttäjäkokemukset pyöräkuormaajapilotissa

## Taustatiedot:

1. Mikä on roolisi pilotissa?
  - Pyöräkuormaajan kuljettaja
  - Huolto / kunnossapito
  - Muu, mikä?
2. Kuinka pitkään olet käyttänyt pilottiin valittua konetta?
  - Alle 1 kk
  - 1–3 kk
  - Yli 3 kk

## Polttoaineen toimivuus ja käytettävyys:

3. Kuinka arvioit HVO dieselin toimivuutta päivittäisessä käytössä?
  - Erittäin huono  Huono  Tyydyttävä  Hyvä  Erittäin hyvä
4. Onko polttoaineen käytössä ilmennyt ongelmia testijakson aikana?
  - Ei
  - Kyllä, mitä?
5. Miten HVO diesel on mielestäsi toiminut verrattuna fossiiliseen dieseliin?
  - Selvästi huonommin  Jonkin verran huonommin  Samalla tasolla  Jonkin verran paremmin  Selvästi paremmin

## Koneen käyttäytyminen ja suorituskyky:

6. Onko koneen ajokäyttäytymisessä havaittu epänormaalia toimintaa? (esim. käynnistys, teho, ääni, värinä)
  - Ei
  - Kyllä, mitä?
7. Miten arvioit koneen suorituskyvyn HVO polttoaineella?
  - Heikentynyt  Ennallaan  Parantunut
8. Onko kylmäkäynnistyksessä tai talvikäytössä havaittu poikkeamia?
  - Ei

Kyllä, mitä?

Huolto ja tekniset havainnot:

9. Onko polttoainesuodattimien vaihtotarve muuttunut pilotin aikana?

Ei muutosta

Lisääntynyt

Vähentynyt

10. Onko havaittu sakkautumista, tukkeutumista tai muita polttoaineeseen liittyviä huoltotarpeita?

Ei

Kyllä, mitä?

Asenteet ja hyväksyntä:

11. Oliko sinulla ennakkoluuloja uusiutuvaa HVO dieseliä kohtaan ennen pilotin alkua?

Ei

Kyllä, millaisia?

12. Ovatko mahdolliset ennakkoluulot muuttuneet pilotin aikana?

Hälvenneet

Pysyneet ennallaan

Voimistuneet

Ei ennakkoluuloja alun perinkään

Kokonaisarvio ja suositukset:

13. Kuinka tyytyväinen olet HVO dieselin käyttöön kokonaisuutena?

Erittäin tyytymätön  Tyytymätön  Neutraali  Tyytyväinen  Erittäin tyytyväinen

14. Suositteletko HVO dieselin käyttöä muissa vastaavissa työkoneissa?

Kyllä

En

En osaa sanoa

15. Vapaa palaute:

Mitä huomioita, kokemuksia tai kehitysehdotuksia haluat tuoda esiin HVO diesel pilotista?

## LIITE 2

## Esimerkki GREEN LEASE – KALUSTOLEASINGIN SOPIMUSLIITE

## 1. Tarkoitus

Tämän liitteen tarkoituksena on varmistaa, että leasingkaluston valinta, käyttö ja ylläpito tukevat osapuolten tavoitteita päästöjen vähentämiseksi, energiatehokkuuden parantamiseksi ja vastuullisen toiminnan edistämiseksi. Liite on yhteistyötä ohjaava, eikä sisällä taloudellisia sanktioita ellei pääsopimuksessa toisin määrätä. Se on voimassa kalustoleasing-sopimuksen ajan.

## 2. Soveltamisala

Liite koskee kaikkea sopimuksen kohteena olevaa kalustoa (esim. trukit, pyöräkuormaajat, ajoneuvot, tuotantokoneet) sekä niiden käytöstä, kulutuksesta ja kunnossapidosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

## 3. Energiatehokkuus ja käyttövoimat

Osapuolet sitoutuvat: Arvioimaan vaihtoehtoisia käyttövoimia (sähkö, HVO, hybridi tms.) aina kalustoa hankittaessa suosimaan energiatehokasta tai vähäpäästöistä kalustoa, kun se on teknisesti ja taloudellisesti perusteltua optimoimaan käytön (ajotapa, kuormitus, käyttöaste, lataus- ja tankkauskäytännöt)

## 4. Energiankäyttö ja raportointi

Vuokralainen sitoutuu: Seuraamaan kaluston energiankulutusta (kWh, litrat, HVO) ja raportoimaan olennaiset muutokset vuosittain käyttämään mahdollisuuksien mukaan vähäpäästöistä sähköä tai uusiutuvaa polttoainetta toimittamaan tiedot kaluston vuosittaisista CO<sub>2</sub>-päästöistä leasingyhtiölle (tarpeen mukaan)

Leasingyhtiö sitoutuu: Toimittamaan saatavilla olevat tekniset tiedot kaluston energiankulutuksesta ja päästökertoimista tukemaan raportointia ja tarjoamaan tarvittavat dokumenttipohjat

## 5. Huolto ja kunnossapito

Kalusto pidetään sellaisessa kunnossa, että energiankulutus ei tarpeettomasti kasva (esim. renkaat, hydrauliiikka, voitelu, ohjelmistopäivitykset). Vuokralainen noudattaa oikeaa lataus-, tankkaus- ja käyttöohjeistusta. Leasingyhtiö huolehtii, että huoltotoimenpiteet tehdään valmistajan ohjeiden mukaisesti

## 6. Päästöjen vähentäminen

Osapuolet pyrkivät: Vähentämään kaluston CO<sub>2</sub>-päästöjä siirtymällä vähäpäästöisiin käyttövoimiin kehittämään yhteisiä toimenpiteitä (esim. sähkölatauksen lisäys, HVO-sopimukset, energiatehokas ajotapavalmennus) arvioimaan vuosittain tavoitteiden toteutumista

## 7. Yhteistyö ja kehittäminen

Osapuolet: Vaihtavat kulutus- ja päästötietoja avoimesti pitävät vähintään vuosittaisen katselmuksen (kaluston kulutus, kunto, käyttövoimavaihtoehdot) voivat sopia erillisistä kehitysprojekteista (esim. sähköistysuunnitelma, HVO-pilotit, latausinfra parannus)

## LIITE 3

Taulukkoon on koottu kaikki opinnäytetyön laskennassa käytetyt keskeiset kertoimet ja oletukset. Ne kattavat polttoaineiden elinkaari päästöt (WTW), sähkön päästökertoimet, konekaluston kulutusarvot, hinta- ja kustannusoletukset sekä akkuteknologian elinkaaritiedot.

Kategoria	Parametri	Yksikkö	Perus - arvo	Alaraja	Yläaraja	Huomio
Diesel	WTW-päästö	kg CO <sub>2</sub> /l	2,68	2,64	3,06	Vaihteluväli eri lähteissä
HVO	WTW-päästö	kg CO <sub>2</sub> /l	0,20	0,10	0,40	Riippuen tuotantotavasta
Vety	WTW-päästö	kg CO <sub>2</sub> /kg	0,00	0,00	11	Riippuen tuotantotavasta
Sähkö	WTW-päästö	kg CO <sub>2</sub> /kWh	0,20	0,04	0,40	Riippuen tuotantotavasta
Pyöräkuormaaja	Kulutus	l/h	7,5	6,0	9,0	Toteumakulutus
Pyöräkuormaaja	Sähkönkulutus	kWh/h	25	20	40	Arvioitu kulutus valmistajalta
Trukki	Kulutus	l/h	4	3	5	Toteumakulutus
Trukki	Sähkönkulutus	kWh/h	8,0	5	11,0	Arvioitu kulutus valmistajalta
HVO vs Fossiilinen Diesel	Hintaero	%	+20	+10	+30	Riippuen markkinatilanteesta
Sähkö vs Fossiilinen Diesel	Hintaero	%	-90	-85	-95	Riippuen markkinatilanteesta
Diesel	Hinta	€/l	1	0,9	1,1	Yrityshinta vaihteleva veroton
HVO	Hinta	€/l	1,2	1,1	1,3	Yrityshinta vaihteleva veroton
HVO	CO <sub>2</sub> t vähennys	€/CO <sub>2</sub> t	81	76	89	Riippuen markkinatilanteesta
Sähkö	CO <sub>2</sub> t vähennys	€/CO <sub>2</sub> t	-370	-384	-414	Tuo säästöä polttoainekuluissa samalla kun vähentää päästöä
Akku	Käyttöikä	v	8	5	10	Valmistajien arvio