



# HIILITASELASKENTA UPM ÄHTÄRI

10.10.2025

## SISÄLLYS

1	YHTEENVETO .....	3
2	TAUSTA .....	4
3	HIILIJALANJÄLKI .....	7
3.1	Tuulivoiman hiilijalanjälki .....	7
3.2	Voimalinja .....	11
3.3	Hiilinielu .....	11
	3.3.1 Tuulivoimaloihin liittyvä puunkaato .....	12
	3.3.2 Verkkoliityntään liittyvä puunkaato .....	13
3.4	Maaperän päästöt .....	14
3.5	Mahdollisen energiavaraston vaikutus päästöihin .....	14
3.6	Tulokset .....	17
4	HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT .....	19
4.1	Hiilikädenjäljen laskeminen .....	20
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	21
6	LÄHTEET .....	22

## VERSIOHISTORIA

Versio	Tekijä, pvm.	Tarkastaja	Hyväksyjä	Lyhyt kuvaus
Ver 1	Ilona Rämä 10.10.2025	Christian Granlund 10.10.2025	Christian Granlund 10.10.2025	Hiilitaselaskennat tuulivoimahankkeelle.

## KÄSITTEET

<b>Elinkaariarviointi</b>	<i>(Life cycle assessment, LCA) Menetelmä, jolla voidaan analysoida ja arvioida tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta.</i>
<b>GWP</b>	<i>Global warming potential. Lämmityspotentiaali.</i>
<b>Hiilidioksidiekvivalentti</b>	<i>(CO<sub>2</sub>-ekv. Carbon dioxide equivalent) Hiilijalanjäljen yksikkö. Eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus muunnettuna hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi ilmakehässä. Ilmaistaan usein yksikössä t CO<sub>2</sub>-ekv/MWh.</i>
<b>Hiilijalanjälki</b>	<i>Tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset hiilidioksidiekvivalenteina ilmoitettuna. Keskiössä välittömät negatiiviset päästövaikutukset.</i>
<b>Hiilikädenjälki</b>	<i>Tuotteen tai palvelun ilmastohyödyt. Kertoo paljonko käyttäjä voi tuotteella tai palvelulla vähentää päästöjään. Keskiössä tulevat myönteiset päästövaikutukset.</i>
<b>Hiilivarasto</b>	<i>Maaperään ja kasvillisuuteen yhteyttämisen ohessa sitoutunut hiili.</i>
<b>Hiilinielu</b>	<i>Maaperän ja kasvillisuuden hiilivaraston vuosittainen kasvu.</i>
<b>IPCC</b>	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change. Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli</i>
<b>IEA</b>	<i>International Energy Agency</i>

# 1 YHTEENVETO

## Tehtävä:

UPM Ähtäriin tuulivoimahankkeen hiilitaselaskennat kahdelle eri sijoitussuunnitelmalle ja kahdelle eri verkkoliityntävaihtoehdolle. Hiilitaselaskenta on osa projektin ympäristövaikutusten arviointimenettelyä.

## Työmenetelmät:

Hiilitaselaskennat perustuvat moniin eri lähteisiin hankkeen elinkaaren aikaisista päästöistä sekä muista energialähteistä aiheutuvista päästöistä. Arvioinnin aikana on ollut tavoitteena käyttää uusimpia ja luotettavimpia lähteitä.

Hiilijalanjälkilaskennat perustuvat ISO 14044 (Elinkaariarviointi) ja ISO 14067 (Hiilijalanjälki) standardeihin. Hiilikädenjälkilaskennat perustuvat hiilikädenjälkioppaaseen (VTT, 2021).

## Tulokset:

Alla olevassa taulukossa on esitetty UPM Ähtäriin hiilijalanjälki kahdella eri sähkönsiirtovaihtoehdolla (SVEA-SVEB). Perusskenaariossa alla oletetaan, että hankkeen sekä tuulipuiston elinikä on 35 vuotta.

*Taulukko 1. Hankkeen hiilijalanjälki (g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh) jokaista sähkönsiirtovaihtoehtoa kohden (Pohjoinen ja Eteläinen).*

Perusskenaario	VE1 – 9 voimalaa (g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	VE2 – 7 voimalaa (g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)
Pohjoinen sähkönsiirtolinja	8,3	9,1
Eteläinen sähkönsiirtolinja	9,3	10,4

Jos hankkeeseen lisättäisiin 60 MWh akkuvarasto, se nostaisi päästöjä noin 4 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh.

Hiilikädenjälkianalysimme mukaan UPM Ähtäriin hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 208 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, joka tarkoittaa, että hiilikädenjälki on 23-kertainen hiilijalanjälkeen verrattuna, eli sen myönteiset vaikutukset ovat noin 23 kertaa suuremmat kuin sen negatiiviset vaikutukset.

Tuulivoiman rakentaminen mahdollistaa vihreän siirtymän tuottamalla puhdasta sähköä kasvavan energiankulutuksen tarpeisiin tulevaisuudessa. Hiilijalanjälki Euroopassa vielä laajasti käytetyillä kivihieillä ja maakaasulla on noin 1 000 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh ja 400–500 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh (UNECE, 2021).

## 2 TAUSTA

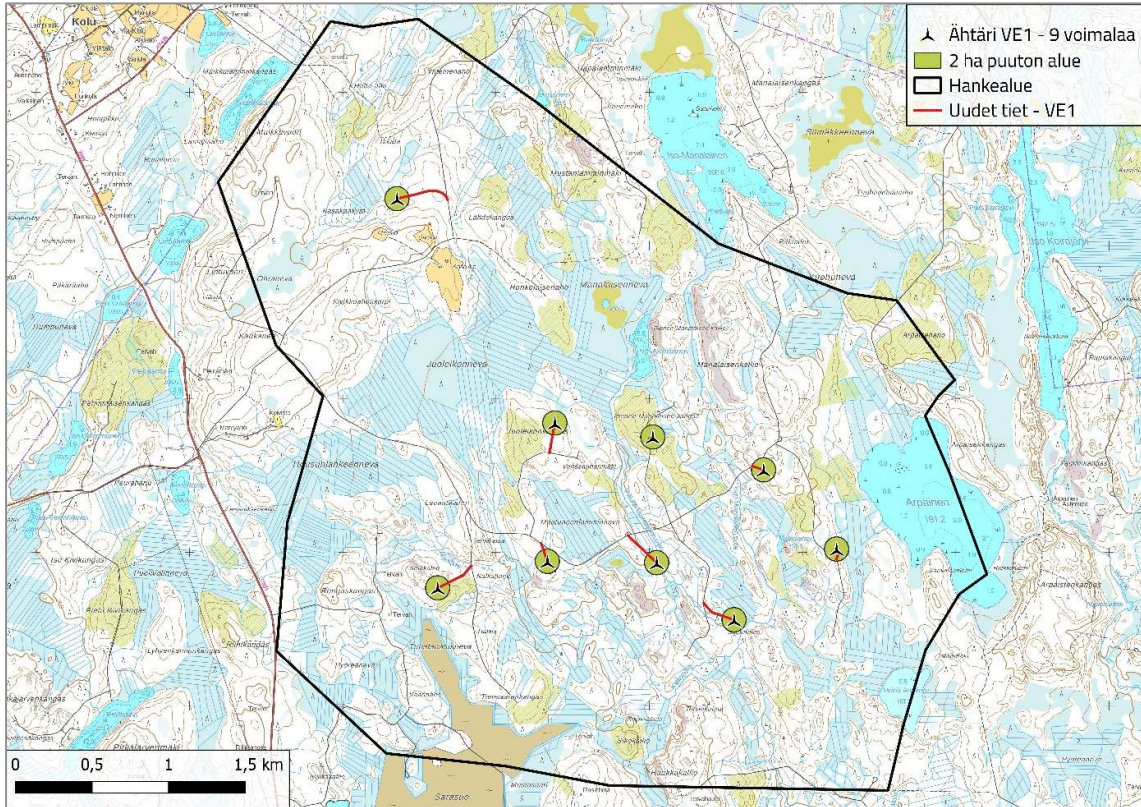
Euroopan komissio on asettanut tavoitteekseen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 55 % vuoden 1990 tasoista 2030 mennessä. Tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraalius EU:ssa vuoteen 2050 mennessä (Ympäristöministeriö, 2021). EU:n tavoitteiden lisäksi Suomea sitoo ilmastolaki (Finlex 10.6.2022/423), jonka tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä ja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 80 %:lla vuoteen 2050 mennessä, verrattuna vuoden 1990 tasoihin (Ympäristöministeriö, 2021).

Uusiutuvalla energialla on kriittinen rooli näiden tavoitteiden saavuttamisessa. Tuulivoimalla tuotettu sähkö ylläpitää tehokkaasti Suomessa käytetyn energian matalaa hiilijalanjälkeä, sillä se on puhtaampi vaihtoehto Manner-Euroopasta ja muualta maailmasta tuotavalle energialle sekä Suomessa tuotettavalle suuripäästöiselle energialle. Suomen uusiutuva energia voi lisäksi tukea muita EU-maita ilmastotavoitteidensa saavuttamisessa, kuten raportissa myöhemmin kerrotaan.

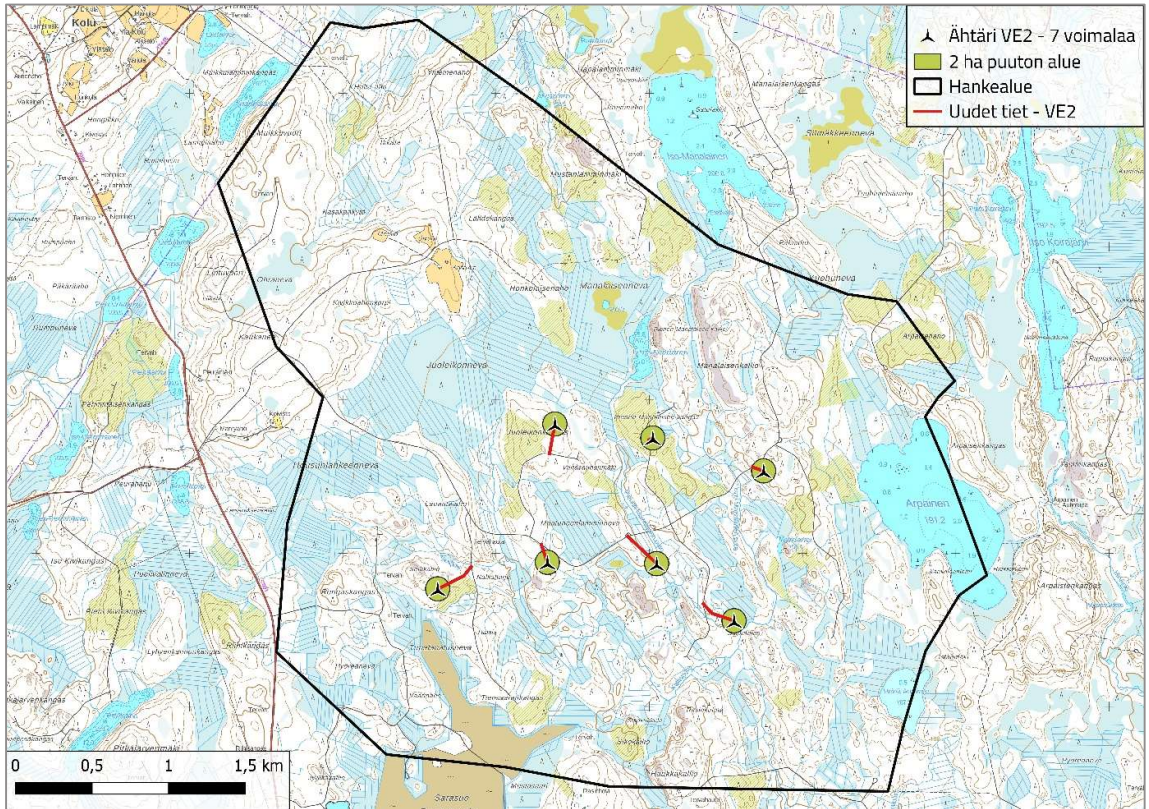
Tuulivoimahankkeiden vaikutusta ilmastonmuutokseen on perinteisesti arvioitu tekemällä hankkeen hiilijalanjäljelle elinkaariarviointi (Life cycle assessment, LCA). Vaikka hiilijalanjälkimenetelmä on yleisesti ottaen perusta ilmastonmuutoksen vaikutuslaskelmissa, tämä menetelmä keskittyy hankkeen kielteisiin vaikutuksiin. Tuulivoimahankkeilla on hiilitaseeseen pieni negatiivinen vaikutus. Vaikutus johtuu pääasiassa voimaloiden valmistusprosessien aikaisista päästöistä, mutta myös kuljetuksista, pienenevästä hiilinielusta, kun osa hankealueen metsästä kaadetaan, sekä maankäytön muutoksista.

On kuitenkin suotavaa, että ilmastonmuutoksen vaikutusarvioinnissa keskitytään päästöihin, jotka on vältetty, kun on siirrytty uusiutuvaan energiaan. Tämä on tuulivoimahankkeiden selvästi merkittävämpi vaikutus hiilijalanjälkeen verrattuna, ja se voidaan tuoda esille hiilikädenjälkilaskelmien avulla. Fingridin ennusteen mukaan sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät ovat Suomessa 103–123 TWh vuonna 2030 ja 104–159 TWh vuonna 2035. Suomen sähkönkulutuksen kasvaessa polttolaitosten sekä muiden suuripäästöisten tuotantomuotojen tilalle tarvitaan vähempipäästöisiä vaihtoehtoja. Maantieteellisten sekä sosiaalisten tekijöiden vuoksi on tärkeää, että aurinko-, vesi- sekä ydinvoiman rinnalla on muitakin puhtaita tuotantomuotoja. Tuulivoiman rooli verkon tasapainottajana aurinkovoiman rinnalla on myös yksi sen tärkeimmistä teknisistä ominaisuuksista, kun huipputehon tunnit syntyvät pääosin eri aikoihin. Tämä on yksi tuulivoiman suurimmista eduista päästöjen osalta.

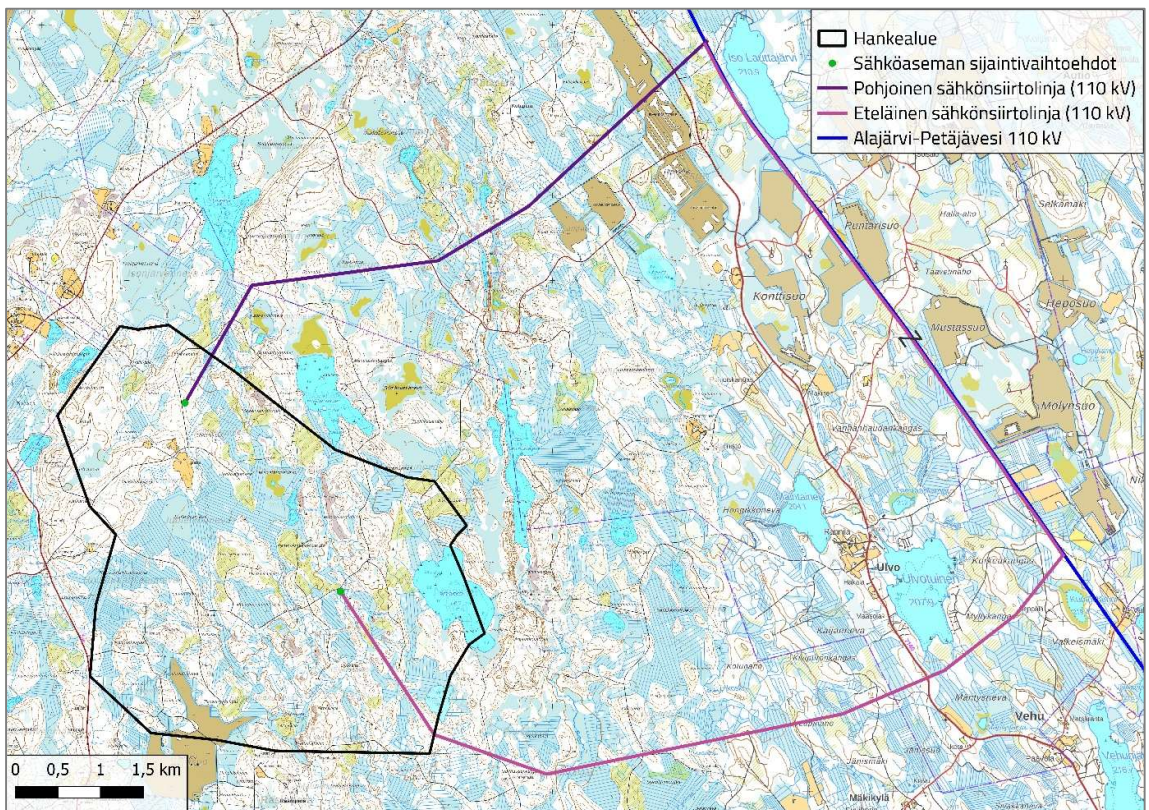
Hiilikädenjäljen periaatteena on arvioida, kuinka paljon asiakas voi tietyn tuotteen avulla pienentää hiilijalanjälkeään. UPM Ähtäriin hankkeella on kaksi alustavaa tuulivoiman sijoittelusuunnitelmaa ja kaksi erilaista sähkönsiirtovaihtoehtoa. Nämä on esitetty seuraavissa kuvissa 1 ja 2.



Kuva 1. UPM Ähtäri – Tuulivoiman sijoittelusuunnitelma VE1 sekä uudet tiet.



Kuva 2. UPM Ähtäri - Tuulivoiman sijoitteluunnielma VE2 sekä uudet tiet.



Kuva 3. UPM Ähtäri – Sähkönsiirtovaihtoehdot.

## 3 HIILIJALANJÄLKI

### 3.1 TUULIVOIMAN HIILIJALANJÄLKI

Tuulivoimahankkeiden viimeaikaisissa elinkaariarvioinneissa on tyypillisesti arvioitu hiilijalanjäljen olevan noin 6–9 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh (UBA 2021 ja Vestas 2023). Käyttöiän pidentyessä tulevien hankkeiden hiilijalanjälki tulee olemaan hieman pienempi. Suurin osa päästöistä tulee voimaloiden (~70–75 %), perustusten (~15 %) ja kaapeleiden (~5%) valmistamisesta. Asennuksen (~1 %), käytön (~5 %) ja käytöstä poiston (~1 %) aikaiset päästöt ovat melko pieniä kokonaispäästöihin verrattuna (Vestas, 2023).

Laskennan oletukset perustuvat useisiin eri lähteisiin. Suurin osa laskelmasta perustuu V162 6,2 MW voimalalle tehtyyn elinkaariarvointiin (Vestas, 2023) sekä osittain V150 4,2 MW voimalan elinkaariarvointiin (Vestas, 2022), koska näitä pidettiin luotettavimpina nykyaikaisille voimalatyypeille tehtyinä elinkaariarviointeina.

#### **Voimaloiden elinikä**

Raportissa esitetyn tuulivoimalan eliniäksi on oletettu 35 vuotta. Voimalateollisuuden nopean kehityksen vuoksi voimaloiden käyttöikä kasvaa jatkuvasti, ja uusimpien voimaloiden käyttöikäksi arvioidaan tällä hetkellä 35 vuotta, jonka pohjalta hankkeen päästöt on myös arvioitu.

#### **Voimaloiden materiaalit**

Tässä raportissa oletetaan, että kaikki tuotantojärjestelmään tulevat materiaalit ovat peräisin primäärimateriaaleista. Raudan, teräksen, alumiinin ja kuparin osalta kierrätetyn materiaalin osuudet on otettu huomioon laskennallisesti ja mukautettu siten, että niiden arvo edustaa tämänhetkistä realistista tilannetta voimaloiden tuotantoteollisuudessa (EMF, 2015). Kierrätetyn materiaalin osuudeksi saatiin noin 25 % turbiinin kokonaispainosta.

#### **Voimaloiden kierrätys**

Raportissa oletetaan, että eliniän päätyttyä koko voimala puretaan. Suuret metallikokonaisuudet oletetaan kierrätettävän 98 prosenttisesti. Muut pääkomponentit kuten generaattori, vaihdelaatikko, kaapelit ja säätöjärjestelmä kierrätetään 95 % oletuksella.

## Kuljetukset

Voimaloiden tavarantoimittajille tuleviin raaka-aineisiin liittyvien kuljetusten oletetaan olevan 600 kilometriä kuorma-autolla, lukuun ottamatta betonimateriaaleja, joiden osalta oletetaan 50 kilometriä. Tämä kattaa kuljetukset raaka-aineiden valmistajilta voimaloiden toimittajille sekä betonimateriaalien kuljetuksen rakennuspaikalle.

Voimaloiden tuotantolaitoksille tuleviin suuriin komponentteihin liittyvät kuljetukset oletetaan olevan 600 kilometriä kuorma-autolla. Tämä vastaa 90 prosenttia turbiinin massasta (lukuun ottamatta perustuksia) ja kattaa komponenttien kuljetuksen toimittajalta tuulivoimalatehtaille.

Kuljetukset, jotka liittyvät tuulivoimalan komponenttien siirtämiseen voimalavalmistajan tehtailta rakennuspaikalle on laskettu käyttäen seuraavia oletuksia:

*Taulukko 2. Voimaloiden komponenttien kuljetusetäisyydet voimalavalmistajan tehtaalta rakennuspaikalle.*

Komponentti	Kuorma-auto (km)	Laiva (km)
Naselli	600	9000
Napa	600	8600
Lavat	1450	5100
Torni	425	0
Perustus	50	0
Muut osat	600	0

Huom. Kuljetusetäisyydet perustuvat eurooppalaisen hankkeen sijaintiin ja toimitusketjun etäisyydet perustuvat Vestaksen keskimääräiseen myyntiin vuodelta 2021.

Voimalan kokonaispainona on käytetty 827 tonnia per voimala (Vestas, 2023). Yhden voimalan kuljettamiseen tarvitaan keskimäärin 7–10 kuorma-autoa lapojen, tornin osien sekä navan kuljettamiseen (Utility Dive, 2022). Voimalan oletetaan olevan nykyaikaisista voimaloista suurimpia, joten käyttämällä 10 kuorma autoa per tuulivoimala esimerkiksi 9 voimalan kuljettamiseen tarvitaan noin 90 kuorma-autoa.

Taulukko 3. Kuljetusten aiheuttamat päästöt tuulipuiston 9 voimalan sijoittelusuunnitelmalle.

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (g CO <sub>2</sub> -ekv/km*t)	Kokonaispäästöt (t CO <sub>2</sub> -ekv)
Laiva	22 700	0,045 <sup>1</sup>	76
Kuorma-auto	3 725 km * 90	0,117 <sup>1</sup>	32
Yhteensä			108

<sup>1</sup>Infrakentamisen päästötietokanta, CO<sub>2</sub> data. (SYKE)

Laskennassa käytetyt tulokset on esitetty alla olevissa taulukoissa. Tulokset ekstrapoloitiin tässä arvioinnissa käytetyille suuremmalle voimalatyypille käyttämällä 1,882 kasvukerrointa. Kasvukerroin kattaa turbiinin koon muutoksen roottorinhalkaisijasta 162 metriä halkaisijaan 200 metriä. Myös muita lähtöoletuksia mukautettiin suuremmalle voimalatyypille (käyttöikä, kuljetukset, kaapelointi, hiilinielun menetys jne.). Voimaloiden oletettu käyttöikä sekä kierrätyksestä tehdyt oletukset (kierrätyshyvitysten käyttö laskennassa) vaikuttavat merkittävästi hankkeen hiilijalanjälkeen ( $\pm$  2–3 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh). Hiilijalanjälki raportoidaan sekä kierrätyshyvitysten kanssa, että ilman niitä.

Taulukko 4. Laskennassa käytetyt oletukset.

Oletus	VE1 – 9 voimalaa	VE2 – 7 voimalaa
Tuulivoimapuiston elinikä	35 vuotta	35 vuotta
Voimalamäärä	9	7
Voimalan kokonaiskorkeus	300 m	300 m
Roottorin halkaisija	200 m	200 m
Tornin korkeus	200 m	200 m
Tuotanto per voimala	30 500 MWh/vuosi	30 500 MWh/vuosi

Ähtäriin tuulivoimaloiden eri komponenttien muodostamat päästöt voimalaa kohden:

Taulukko 5. Tuulivoimalan päästökertoimet.

Päästölähde	Päästö per voimala [t CO <sub>2</sub> -ekv]
Lavat	654
Torni	1711
Perustus	805
Naselli	453
Akseli	554
Napa	252
Huolto	353
Kaapelointi	19
Vaihteisto	50
Asennus	50
Käytöstä poisto	50
Jäähdytys	50
Muuntaja	50
<b>Yhteensä</b>	<b>5051</b>

Tuulipuistosta aiheutuvat päästöt:

Taulukko 6. Tuulivoimaloiden päästöt

Lähde	%-osuudet	VE1 - 9 voimalaa		VE2 - 7 voimalaa	
		t-CO <sub>2</sub> -ekv.	%-osuudet	t-CO <sub>2</sub> -ekv.	%-osuudet
Turbiini*	72,7	33 063	72,7	25 716	
Perustus*	15,9	7 247	15,9	5 636	
Kaapelointi*	1,2	528	1,2	411	
Sähköasema*	2,0	906	2,0	705	
Kuljetus ja tiet	0,2	108	0,2	84	
Toiminta	7,0	3 170	7,0	2 466	
Käytöstä poisto	1,0	453	1,0	352	
<b>Yhteensä</b>	<b>100</b>	<b>45 475</b> <b>(68 847 ilman</b> <b>kierrätystä)</b>	<b>100</b>	<b>35 370</b> <b>(56 694 ilman</b> <b>kierrätystä)</b>	

\*Mukaan luettuna asennuksen aikaiset päästöt

### 3.2 VOIMALINJA

Ähtäriin hankkeen liityntäjohtolle on kaksi eri vaihtoehtoa, pohjoinen ja eteläinen vaihtoehto. Pohjoinen liityntäjohto toteutetaan 7,8 kilometrin ilmajohtona Fingridin suunnittelemaalle sähköasemalle. Johtokäytävän leveydeksi arvioidaan 30 metriä, joka pidetään puuttomana. Eteläinen liityntäjohto toteutetaan osaksi 10,2 kilometrin pituisella uudella ilmajohtolla, sekä 7,3 kilometrin matkalta rinnakkain Alajärvi-Petäjävesi 110 kV johtokäytävää pitkin Fingridin suunnittelemaalle sähköasemalle.

Voimajohtorakentamiselle sopiva käytävä on paikoittain kapea, minkä vuoksi pieniä johto-osuuksia voidaan joutua rakentamaan paikoitellen maakaapelointina. Tässä raportissa oletuksena kuitenkin on, että koko liityntäjohto on rakennettu ilmajohtona.

Voimalinjavaihtoehdot on eritelty alla olevassa taulukossa. Käytöstä poistamisen päästöjä ei ole huomioitu, sillä voimalinjaa käytetään myös sen jälkeen, kun puisto on otettu pois käytöstä. 110 kV liityntäjohton materiaaleihin liittyvät päästöt perustuvat 275 kV johtojen arvoihin, sillä oletuksella, että arvot 110 kV ja 275 kV tarvikkeiden välillä ovat samaa suuruusluokkaa. (Harrison, GP, Maclean, EJ, Karamanlis, S & Ochoa, LF 2010).

Taulukko 7. Voimalinjavaihtoehtojen päästöt

	Pohjoinen	Eteläinen
Voimalinjan pituus	7,8 km	10,2 + 7,3 km
Johtokäytävän leveys	30 m	30 m
	Päästöt (t-CO2 ekv.)	Päästöt (t-CO2 ekv.)
Materiaalit ja rakentaminen	4 079	9 153

### 3.3 HIILINIELU

Tuulivoimalan rakentaminen voi edellyttää metsän kaatamista, millä on kielteinen vaikutus hiilitaseeseen ja joka tulisi sisällyttää hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmiin. Metsää kaadetaan 110 kV:n sähkölinjan, sähköaseman, uusien metsäteiden sekä voimaloiden luona tapahtuvan rakentamisen vuoksi. Sähkölinjan johtokäytävän leveydeksi on ilmoitettu 30 metriä ja uusien teiden leveydeksi 12 metriä. Tuulivoimalan arvioidaan tarvitsevan 2 ha puuton alue.

Arvioinnissa oletetaan, että hiilidioksidia vapautuu takaisin ilmakehään sama määrä, kuin mitä metsää kaadetaan. Arvioinnissa ei täten oteta huomioon kaadettavan puuston mahdollista hyötykäyttöä. Tämä tarkoittaa sitä, että laskentaan sisältyy sekä metsäkaadon vuoksi menetetyin hiilivaraston vaikutus että menetetty hiilinielu, kun metsää ei kasva seuraavan 35 vuoden ajan. Niille alueille, joilla metsää on jo kaadettu, päästöt on laskettu perustuen menetettyyn metsänkasvuun.

Metsähakkuiden vuoksi menetetyin biomassan kokonaistilavuuden laskemiseksi on käytetty Metsäkeskuksen Hila-aineistoa yhdessä paikkatieto-ohjelman kanssa (Metsäkeskus, 2024). Hila-aineisto perustuu laser- ja ilmakuvapiirteisiin, joiden perusteella kunkin hilaruudun puustotiedot on arvioitu. Hila-aineiston kattavuus vaihtelee alueittain ja aineiston painotus on yksityismetsissä. Kuutiometri biomassaa sitoo arviolta 780 kg CO<sub>2</sub>-ekv hiilidioksidia (Nordiska ministerrådet, 2017; VTT, 2013). Hakkuiden aiheuttama tulevan kasvun menetys on verrannollinen LUKE:n metsien inventointiaineistoon ”Puuston keskikasvu metsämaalla”, jonka arvo on 7 t CO<sub>2</sub>-ekv/ha/vuosi vähintään 17-vuotiaan metsän osalta LUKE, 2021). Metsän, jota ei ole hiljattain kaadettu, on arvioitu olevan vähintään 17 vuotta vanha (UPM, 2022).

Hila-aineistoa hyödyntämällä on saatu kullekin alueelle niiden puuston tiheys hilaruutua kohden, josta on pinta-aloja hyödyntämällä laskettu puuston poistuma eri alueille. Hila-aineistosta lasketut keskiarvot sekä hankkeen pinta-alat on esitetty kootusti alla olevassa taulukossa.

*Taulukko 8. Puuston tiheyden arvot hankkeen eri alueille.*

Alue	Puuston tiheyden keskiarvo (m <sup>3</sup> /ha)	Pinta-ala (ha)
Tuulivoimala-alue VE1	110	18
Tuulivoimala-alue VE2	99	14
Tiet VE1	111	1,4
Tiet VE2	97	1,9
Sähkönsiirto – Pohjoinen	106	23,4
Sähkönsiirto - Eteläinen	113	30,6

### 3.3.1 TUULIVOIMALOIHIIN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Yhden voimalan tarvitsema puuton alue on arviolta 2 ha. Voimala-alueiden lisäksi myös voimaloille johtavat tiet on otettu laskelmissa mukaan. Teiden sekä ojien on arvioitu olevan yhteensä 12 m leveät.

Taulukko 9. Tuulivoimaloihin liittyvä puunkaato

Oletus	VE1 - 9 voimalaa	VE2 - 7 voimalaa
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Voimaloita ympäröivä pinta-ala	18 ha	14 ha
Uudet tiet	1,9 ha	1,4 ha
Poistuva kuutiomäärä	2 051 m <sup>3</sup>	1 413 m <sup>3</sup>
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	1 600 t CO <sub>2</sub> -ekv.	1 102 t CO <sub>2</sub> -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	3 803 t CO <sub>2</sub> -ekv.	2 943 t CO <sub>2</sub> -ekv.
<b>Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v</b>	<b>5 403 t CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	<b>4 045 t CO<sub>2</sub>-ekv.</b>

### 3.3.2 VERKKOLIITYNTÄÄN LIITTYVÄ PUUNKAATO

110 kV liityntäjohtoon pituus on pohjoiselle reittivaihtoehdolle noin 7,9 km ja tarvittava puuston poistoa vaativan väylän leveys on 30 metriä. Eteläiselle reittivaihtoehdolle liityntäjohtoon pituus on 17,5 km ja tarvittava puuston poistoa vaativan väylän leveys on 30 metriä ensimmäiselle 10,2 kilometrille. Osa eteläisen reittivaihtoehdon johdosta rakennetaan olemassa olevaan johtokäytävään.

Oletettu tuulipuiston sähköaseman laitteistoinen tarvitsema pinta-ala on 1,25 ha. Sähköaseman yhteyteen on mahdollista sijoittaa myös yhteensä 60 MWh energiavarasto, jonka pinta-alan tarve on arvioitu olevan sähköaseman yhteydessä noin 1 ha. Yhteensä sähköaseman pinta-alaksi tulisi siis 2,25 ha. Jos energiavarastoa ei rakennettaisi, sähköaseman puunkaaton aiheuttama hiilijalanjälki jäisi siis vielä pienemmäksi. Ähtäriin sähköasemalle on tällä hetkellä 2 eri sijoitteluvaihtoehtoa.

Taulukko 10. Verkkoliityntään liittyvä puunkaato

Oletus	Pohjoinen	Eteläinen
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Poistuva kuutiomäärä	25 044 m <sup>3</sup>	34 532 m <sup>3</sup>
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	19 394 t CO <sub>2</sub> -ekv.	26 935 t CO <sub>2</sub> -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	4 902 t CO <sub>2</sub> -ekv.	2 379 t CO <sub>2</sub> -ekv.
<b>Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v</b>	<b>24 296 t CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	<b>29 314 t CO<sub>2</sub>-ekv.</b>

### 3.4 MAAPERÄN PÄÄSTÖT

Tuulivoimaloiden rakentaminen voi vaikuttaa maaperän hiilitaseeseen ja siten lisätä tai vähentää hiilidioksidipäästöjä. Kun alkuperäinen maaperä korvataan soralla esimerkiksi teiden, perustusten ja nostoalueiden rakentamisen yhteydessä, maaperää häiritään, mikä voi johtaa tilapäiseen päästöpiikkiin rakennusvaiheen aikana.

Tämä alkuvaiheen päästöjen kasvu johtuu siitä, että eloperäistä ainesta sisältävä maa, joka normaalisti toimii hiilivarastona, altistuu hapelle kaivuutöiden yhteydessä. Tämä nopeuttaa orgaanisen aineksen hajoamista ja vapauttaa hiilidioksidia ilmakehään. Nämä päästöt ovat kuitenkin ajallisesti ja alueellisesti rajallisia.

Pitkällä aikavälillä maaperän vuosittaiset päästöt voivat jopa vähentyä verrattuna nykytilanteeseen. Tämä koskee erityisesti alueita, joilla vesi kyllästää maaperää ja joissa eloperäisen aineksen hajoaminen on jo valmiiksi nopeaa – tällöin rakennustöiden seurauksena tapahtuva kuivatuksen ja pintarakenteiden lisäys voi hidastaa hajoamista ja vähentää jatkuvia päästöjä.

Nettovaikutus maaperän päästöihin on vaikea arvioida tarkasti ja riippuu useista tekijöistä, kuten eloperäisen kerroksen paksuudesta, pohjaveden tasosta, aiemmasta maankäytöstä ja kuivatusratkaisujen laajuudesta. Kohtuullisena oletuksena voidaan pitää, että nettoilmastovaikutus on lähellä nollaa, tai ainakin hyvin pieni verrattuna muihin hankkeessa huomioituihin hiilidioksidipäästöihin, kuten kuljetuksiin, materiaalien valmistukseen ja energiantuotantoon elinkaaren aikana.

### 3.5 MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS PÄÄSTÖIHIN

Tuulipuiston yhteydessä arvioidaan mahdollisuutta sijoittaa alueelle 60 MWh akkuvarasto. Akkuvaraston hiilijalanjälki koostuu suurimmilta osin laitteistojen valmistukseen liittyvistä päästöistä, kuten akkumateriaalien louhinnasta ja jalostuksesta, laitteistojen kokoonpanosta sekä ikääntyneen akuston vaihdosta. Pienempi osa päästöistä koostuu käytön aikaisista päästöistä, jotka johtuvat akkuvaraston latausyökin häviöistä. Akkuvarastolaitteistojen valmistus sisältää energiantensiivisiä prosesseja, minkä takia valmistuksessa käytetyn sähkön päästöt vaikuttavat voimakkaasti akkuvaraston hiilijalanjälkeen. Ruotsalaisen selvityksen (Emilsson E, Dahllöf L 2019) mukaan akkuvaraston valmistuksen kokonaispäästöt ovat 59–119 kg CO<sub>2</sub>-ekv yhtä varaston kapasiteetin kilowattituntia kohden. Skaalan alalaita vastaa puhtaasti uusiutuvilla energianlähteillä

valmistettua sähkövarastoa ja ylälaita varastoa, joka on valmistettu runsaasti fossiilisia energianlähteitä sisältävällä sähköntuotannolla. Tällöin valmistuksesta aiheutuvat päästöt olisivat noin 7 080–14 280 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Akusto vaihdetaan kerran projektin 35 vuoden elinkaaren aikana ja oletuksena on, että vaihdosta aiheutuvat päästöt ovat 80 % koko laitteiston valmistuksen päästöistä. Tällöin vaihdon aiheuttamat päästöt olisivat noin 5 664–11 424 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Mikäli oletetaan, että 50 % lataussyklejä tehdään vuodessa 1300 kappaletta, akkuvaraston hyötysuhteeksi 95 % ja, että akustoa ladataan pääasiassa hankkeen omalla tuotannolla, olisi 60 MWh varaston käytön aiheuttamat päästöt yhteensä noin 2 730 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Tällä hetkellä Kiina vastaa noin 80 % globaalista akkuvalmistuskapasiteetista, jonka vuoksi myös Ähtäriin hankkeen akkuvaraston oletetaan tulevan Kiinasta (S&P 2024). Akkuvaraston kuljetuksen aiheuttamia päästöjä on arvioitu Kiinassa valmistetulla SunGrow akkuvarastolla, jonka painoksi on ilmoitettu 9 455 kg per MWh. Reitin on oletettu kulkevan rahtilaivalla Shanghaista Helsinkiin. Lisäksi lähimmältä SunGrown paneelitehtaalta Hefeistä Shanghain satamaan on noin 475 kilometrin matka kuorma-autolla ja Helsingistä Ähtäriin on maanteitse noin 330 kilometriä. Matkat on huomioitu molempiin suuntiin ja kuorma-auton päästökertoimessa otetaan huomioon, että kuorma-autot kulkevat tyhjänä takaisin. Noin 16 metriä pitkään kuorma-autoon oletetaan mahtuvan 4 energiavaraston moduulia, kun niiden dimensiot ovat 1,2 x 1,1 x 2,2 metriä, jolloin kuorma-autoja arvioidaan tarvittavan 23 kappaletta per suunta. Kuljetuksen aiheuttamat kokonaispäästöt sekä etäisyydet on eritelty alla olevassa taulukossa.

*Taulukko 11. Kuljetusten aiheuttamat päästöt akkuvarastolle.*

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (kg CO <sub>2</sub> /t*km)	Kokonaispäästöt (t CO <sub>2</sub> -ekv.)
Laiva	24 700	0,045 <sup>1</sup>	630
Kuorma-auto	1 610 km * 23	0,117 <sup>2</sup>	2466
<b>Yhteensä</b>			<b>3 097</b>

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>data, 2024. Merikuljetus, konttilaiva.

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>data, 2024. Jakelukuorma-auto, 15 t.

Tällöin Ähtäriin hankkeen 60 MWh akkuvaraston kokonaispäästöt olisivat seuraavat:

*Taulukko 12. Akkuvaraston hiilidioksidipäästöjen yhteenveto.*

Päästölähde	Uusiutuvalla energialla	Pääosin fossiilisella energialla
	valmistettu akkuvarasto	valmistettu akkuvarasto
	[t CO <sub>2</sub> -ekv]	[t CO <sub>2</sub> -ekv]
Valmistus	7 080	14 280
Akuston vaihto	5 664	11 424
Käyttö	2 730	2 730
Kuljetus	3 097	3 097
<b>Yhteensä</b>	<b>18 571</b>	<b>31 531</b>

Kappaleessa 3.6 esitettiin hankkeen tuulivoimalan kokonaispäästöihin verrattuna akkuvaraston rakentaminen lisäisi koko hankkeen päästöjä noin 22–37 % riippuen akun valmistukseen käytettävästä energiasta.

### 3.6 TULOKSET

Hiilijalanjälkilaskennan tulokset on esitelty tässä luvussa. Eri osien vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen sekä lopulliset tulokset on esitelty alla olevissa taulukoissa. Mahdollisen akkuvarastohankkeen aiheuttamat päästöt on huomioitu taulukoissa alimpana fossiilisilla energiantuotantomuodoilla sekä uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla valmistetulla akulla. Tuulivoimahankkeen arvioitu kokonaishiilijalanjälki 35 vuoden ajanjaksolta on 8–10 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh, kun kierrätysyhvitykset on huomioitu laskennassa.

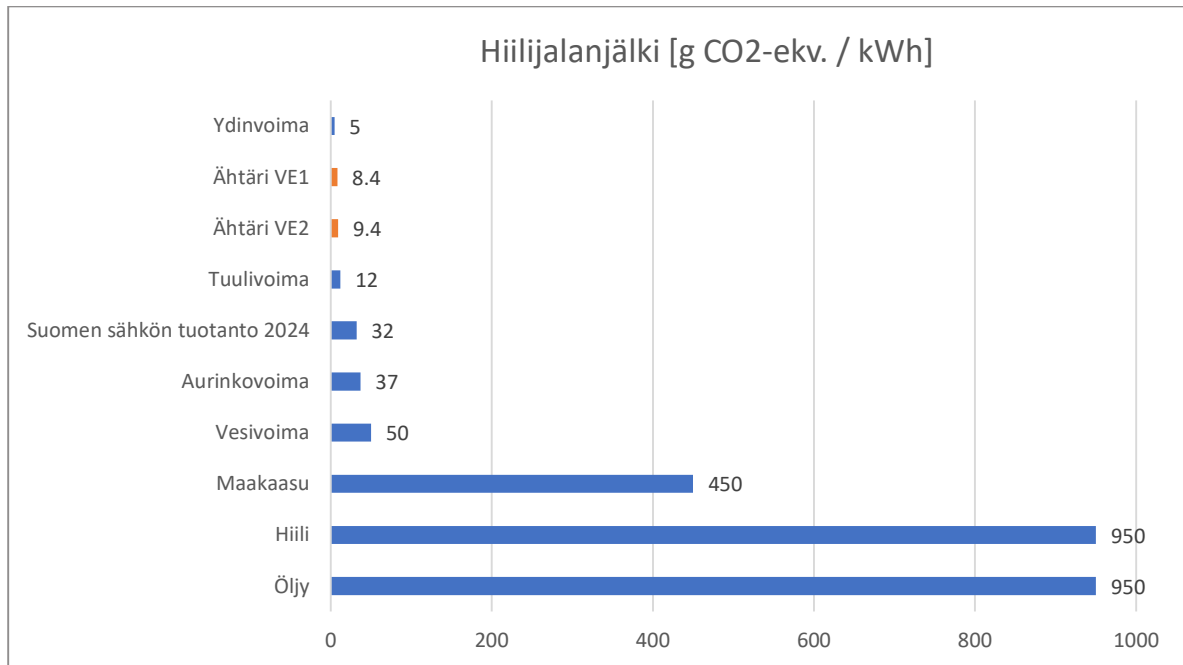
Taulukko 13. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto Pohjoiselle voimalinjalle Ähtäriin elinkaaren aikana.

Tuulipuisto		
Verkkoliityntävaihtoehto	VE1 – 9 voimalaa	VE2 – 7 voimalaa
Tuulivoimalan päästöt (t-CO <sub>2</sub> ekv)	45 476	35 369
Voimalinjan päästöt (t-CO <sub>2</sub> ekv)	4 079	4 079
Hiilinielun menetys (t-CO <sub>2</sub> ekv)	29 699	28 341
Päästöt yhteensä (t-CO <sub>2</sub> ekv)	79 254	67 789
Tuulivoimalan tuotanto yhteensä (GWh)	9 608	7 473
<b>Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)</b>	<b>8,3</b>	<b>9,1</b>
Akkuvaraston päästöt (tuotettu fossiilisilla) (t-CO <sub>2</sub> ekv)	31 531	31 531
<b>Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu fossiilisilla) (g/kWh)</b>	<b>11,5</b>	<b>13,3</b>
Akkuvaraston päästöt (tuotettu uusiutuvilla) (t-CO <sub>2</sub> ekv)	18 571	18 571
<b>Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu uusiutuvilla) (g/kWh)</b>	<b>10,2</b>	<b>11,6</b>

Taulukko 14. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto Eteläiselle voimalinjalle Ähtäriin elinkaaren aikana.

Tuulipuisto		
Verkkoliityntävaihtoehto	VE1 – 9 voimalaa	VE2 – 7 voimalaa
Tuulivoimalan päästöt (t-CO <sub>2</sub> ekv)	45 476	35 369
Voimalinjan päästöt (t-CO <sub>2</sub> ekv)	9 152	9 152
Hiilinielun menetys (t-CO <sub>2</sub> ekv)	34 717	33 360
Päästöt yhteensä (t-CO <sub>2</sub> ekv)	89 345	77 881
Tuulivoimalan tuotanto yhteensä (GWh)	7 473	7 473
<b>Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)</b>	<b>9,3</b>	<b>10,4</b>
Akkuvaraston päästöt (tuotettu fossiilisilla) (t-CO <sub>2</sub> ekv)	31 531	31 531
<b>Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu fossiilisilla) (g/kWh)</b>	<b>12,6</b>	<b>14,6</b>
Akkuvaraston päästöt (tuotettu uusiutuvilla) (t-CO <sub>2</sub> ekv)	18 571	18 571
<b>Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu uusiutuvilla) (g/kWh)</b>	<b>11,2</b>	<b>12,9</b>

Alla olevassa kaaviossa on verrattu UPM Ähtäriin hankkeen päästöjä muiden energiantuotantomuotojen tyypillisiin päästöihin. Mahdollisen akkuvaraston osuus päästöihin on lisätty kullekin hankkeelle, niiden päästöt ovat eriteltynä kappaleessa 3.5. Tietolähteet ovat UNECE (2021) ja Fingrid (2024).



Kuva 4. Sähköntuotannon päästöjen vertailu.

## 4 HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT

Tässä luvussa arvioidaan UPM Ähtäriin hankkeen hiilikädenjälki. Luku 4.1 noudattaa VTT:n hiilikädenjälkioppaassa (VTT, 2021) hahmoteltuja vaiheita.

Hiilikädenjäljen periaatteena on arvioida, kuinka paljon asiakas voi tietyn tuotteen avulla pienentää hiilijalanjälkeään. Keskeinen kysymys on, mitä energiantuotantomuotoa tuulivoimahankkeilla sähkön tuottamiseksi korvataan ja mikä vaikutus tällä on hiilidioksidipäästöihin. Skenaariota on analysoitu kappaleessa 4.1.

Tuulivoimaloiden tuotanto Suomessa korvaa olemassa olevaa suomalaista tuotantoa sekä tuontisähköä ja lisää uusiutuvaa vientisähköä. Sähkönkulutuksen päästöjä vertaillessa on tärkeää huomioida nykyisen sähkönkulutuksen lisäksi myös kulutuksen kehittyminen tulevaisuudessa, jolloin energianlähteitä tarvitaan myös lisää kasvun suhteessa. Uusiutuvan energiatuotannon kapasiteetin lisääminen tuottaa välillisesti myös muita positiivisia hyötyjä lisäämällä Suomen houkuttelevuutta esimerkiksi datakeskusinvestointien näkökulmasta. Myös vihreän vedyn tuotantoteollisuus voi tulevaisuudessa olla yksi suuri vihreän energian käyttäjä. Suomen sähkön kulutuksen on ennustettu lisääntyvän sähköistymisen myötä 126 TWh tasolle vuoteen 2030 mennessä, ja 160 TWh tasolle vuoteen 2035 mennessä. Erityisesti teollisuuden kulutuksen odotetaan lisääntyvän tulevaisuudessa (Fingrid, 2024). Lisäksi EIA arvioi, että OECD-maissa sähkö tulee kattamaan yli puolet kotitalouksien energian kulutuksesta vuoteen 2050 mennessä, kun vastaavasti vuonna 2020 osuus oli 33 prosenttia (EIA, 2023).

Suomen pienempi tuontitarve ja suurempi vienti on yksi tekijä, joka auttaa pienentämään Euroopan energialähteiden yhdistelmän hiilijalanjälkeä, sillä Suomi on osa Euroopan yhteisiä sähkömarkkinoita, joilla sähköä kaupataan Pohjoismaiden välillä sekä myös Pohjoismaista muualle Eurooppaan. Yhteistä sähkömarkkinajärjestelmää ajatellen Euroopan mittakaavassa korvatut energialähteet ovat pääasiassa hiili, maakaasu, ydinvoima sekä uusiutuvat energialähteet.

## 4.1 HIILIKÄDENJÄLJEN LASKEMINEN

Tuulipuiston tuotannolla korvattu sähköntuotanto koostuu uusiutuvan energian ja uusiutumattoman energian yhdistelmästä. Niiden osuudet ja päästöt Euroopassa vuonna 2024 olivat seuraavat (Ember, 2025):

Ydinvoima	24 % osuus	6 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Maakaasu	16 % osuus	450 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Hiili	13 % osuus	950 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Aurinkovoima	11 % osuus	50 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Vesivoima	13 % osuus	24 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Tuulivoima	18 % osuus	12 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Biovoima	5 % osuus	240 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh

Tuloksena on painotettu keskiarvo 217 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh.

Hiilikädenjäljen laskennassa käytetään hankkeen hiilijalanjälkeä sekä painotettua keskiarvoa sähkömarkkinan eri energiantuotantomuotojen päästöistä. Hiilijalanjälkeä arvioidaan 35 vuoden ajalta. Hiilijalanjälkenä on käytetty hankkeen verkkoliityntävaihtoehtojen keskiarvoa.

Hiilikädenjälki Ähtäriin hankkeen sijoittelusuunnitelmalle on:

- $217 \cdot 9 = 208 \text{ g CO}_2\text{-ekv./kWh}$

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Ähtäriin hankkeen hiilijalanjälki 35 vuoden ajanjaksolle on noin 8,8–9,8 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, kun hiilijalanjälki kivihiilelle on noin 1000 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, maakaasulle 400–500 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh ja tuulivoimalle 12 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh (UNECE, 2021). Toteutuessaan hankkeen yhteyteen suunniteltu 60 MWh akkuvarasto nostaisi voimalan kokonaispäästöjä noin 4 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh.

Hiilikädenjälkianalyysi osoittaa lisäksi sen myönteisen vaikutuksen mikä syntyy, kun fossiiliset polttoaineet korvataan tuulivoimaloiden uusiutuvalla energialla. Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Ähtäriin hankkeen hiilikädenjälki on perusskenaariolle noin 208 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, eli noin 23-kertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset eli päästövähennykset ovat noin 23 kertaa suuremmat kuin hankkeen kielteiset vaikutukset. Kielteiset vaikutukset käsittävät pääasiassa voimalan elinkaaren aikana aiheutetut päästöt ja pienentyneen hiilinielun metsähakkuiden vuoksi.

Laskelmat perustuvat oletuksiin ja lähteisiin, jotka kaikki sisältävät jossain määrin epävarmuustekijöitä. Laskelmien tavoitteena on arvioida hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen suuruusluokkaa, koska tässä vaiheessa on vielä paljon määrittelemättömiä parametreja täysin tarkan laskelman tekemiseen.

Hiilikädenjäljen laskentaan liittyy jonkin verran epävarmuustekijöitä. On hyvin haastavaa määrittellä tarkasti, mitä energiatuotantoa hankkeella korvataan, sillä hankkeella korvataan osittain nykyisiä fossiilisia energialähteitä, mutta osittain myös tuontisähköä, ja pääasiassa se rakennetaan kattamaan tulevaisuudessa lisääntyvää sähkön kysyntää. Siksi on vaikea määrittää, mihin päästöskenaarioon hanketta olisi verrattava. Tämän laskennallisen haasteen vuoksi hiilikädenjälkilaskelmaa olisi pidettävä pikemminkin suuntaa antavana.

## 6 LÄHTEET

CO2data (2024). *Jakelukuorma-auto 15 t, 50 %, maantie*. <https://co2data.fi/infra/>

Finlex (2022). Ilmastolaki10.6.2022/423. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423>

Dodd, Nicholas; Espinosa, Nieves, Van Tichelen, Paul Peeters; Karolien, Soares; Ana Maria (2020) *Preparatory study for solar photovoltaic modules, inverters and systems*. EUR 30468 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, Science for Policy, ISBN 978-92-76-26345-6, doi:10.2760/852637, JRC122431

[https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-12/jrc12431preparatory\\_study\\_for\\_solar\\_photovoltaic\\_modules\\_kj-na-30468-en.pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-12/jrc12431preparatory_study_for_solar_photovoltaic_modules_kj-na-30468-en.pdf)

European Commission (2022). *Photovoltaic geographical information system*. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

European Commission (2022). *How is EU electricity produced and sold?* Saatavilla: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>

EIA (2023). *International Energy Outlook 2023*. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>

Ember (2025). *European Electricity Review 2025*. [https://ember-energy.org/app/uploads/2025/01/EER\\_2025\\_22012025.pdf](https://ember-energy.org/app/uploads/2025/01/EER_2025_22012025.pdf)

Fingrid (2023). *Sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-päästöarvio*. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Fingrid (2025). Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/best-estimate-q3-2025/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-q3-2025-fingrid.pdf>

Fingrid (2021). *Petäjäsoski-Nuojuankangas 400 + 110 kilovoltin voimajohtohanke*. [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/maankaytto-ja-ymparisto/petajaskoski\\_nuojuankangas\\_voimajohtohanke\\_yva-selostus\\_2021\\_www-sivulle-id-292081.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/maankaytto-ja-ymparisto/petajaskoski_nuojuankangas_voimajohtohanke_yva-selostus_2021_www-sivulle-id-292081.pdf)

Harrison, GP, Maclean, EJ, Karamanlis, S & Ochoa, LF (2010). *Life cycle assessment of the transmission network in Great Britain*, Energy Policy, vol. 38, no. 7, pp. 3622-3631. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.039>  
[https://www.pure.ed.ac.uk/ws/files/21980985/Grid\\_Carbon\\_Footprint\\_Paper.pdf](https://www.pure.ed.ac.uk/ws/files/21980985/Grid_Carbon_Footprint_Paper.pdf)

LUKE (2021). Metsien kasvuvauhti hidastui, mutta puuston tilavuus suureni <https://www.luke.fi/fi/uutiset/metsien-kasvuvauhti-hidastui-mutta-puuston-tilavuus-suureni>

Metsäkeskus (2024). Paikkatietoaineistot. <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/aineistot-paikkatieto-ohjelmille/paikkatietoaineistot>

Ministry of the Environment Finland (2021). *EU climate policy*. <https://ym.fi/en/eu-climate-policy>

Ministry of the Environment Finland (2022). *Finland's national climate change policy*. <https://ym.fi/en/finland-s-national-climate-change-policy>

Nordiska ministerrådet (2017). *The climate benefits of the Nordic forests*. <https://nordicforestresearch.org/wp-content/uploads/2019/08/nytryck-eng-A4-1.pdf>

Serres, Hugo (2022). Life Cycle Assessment of typical projects of the distribution power network. KTH Royal Institute of Technology. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1704254/FULLTEXT01.pdf>

SunGrow. (2024) Multi-MPPT String Inverter for 1500 Vdc system. <https://en.sungrowpower.com/productDetail/2305/string-inverter-sg350hx>

SYKE (2024). Rakentamisen päästötietokanta, Suomen ympäristökeskus (SYKE). <https://co2data.fi/rakentaminen/>

UNECE (2021). *Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options* <https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf>

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd (2013). *Carbon footprint for building products*. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2013/T115.pdf>

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd (2021). *Carbon Handprint Guide, V2*. [https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2021/Carbon\\_handprint\\_guide\\_2021.pdf](https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2021/Carbon_handprint_guide_2021.pdf)