



HIILITASELASKENTA KIVINEVAN HYBRIDIHANKKEELLE

SISÄLLYS

1	YHTEENVETO	3
2	TAUSTA	4
3	HIILIJALANJÄLKI	8
3.1	Tuulivoiman hiilijalanjälki	8
3.2	Aurinkovoiman hiilijalanjälki.....	12
3.3	Voimalinja	15
3.4	Hiilinielu.....	16
3.4.1	Tuulivoimaloihin liittyvä puunkaato	17
3.4.2	Aurinkovoimaloihin liittyvä puunkaato.....	18
3.4.3	Verkkoliityntään liittyvä puunkaato	18
3.5	Tulokset.....	19
3.6	Vertailu tulevaisuuden päästöihin Suomessa.....	21
4	HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT.....	22
4.1	Hiilikädenjäljen laskeminen	22
4.2	Tulosten kriittinen tarkastelu ja tulkinta	23
5	MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN	25
6	LASKELMIEN EPÄVARMUUDET	27
7	YHTEENVETO	28
8	LÄHTEET	29

VERSIONHISTORIA

Versio	Tekijä, pvm.	Tarkastaja	Hyväksyjä	Lyhyt kuvaus
Ver 1	Ilona Rämä 2025-01-02	Christian Granlund 2025-01-02	Christian Granlund 2025-01-02	Hiilikädenjälki- ja hiilijalanjälkilaskennat hybridihankkeelle.

KÄSITTEET

- Elinkaariarviointi** *(Life cycle assessment, LCA) Menetelmä, jolla voidaan analysoida ja arvioida tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta.*
- Hiilidioksidiekvivalentti** *(CO₂-ekv. Carbon dioxide equivalent) Hiilijalanjäljen yksikkö. Eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus muunnettuna hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi ilmakehässä.*
- Hiilijalanjälki** *Tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina ilmoitettuna. Keskiössä välittömät negatiiviset päästövaikutukset.*
- Hiilikädenjälki** *Tuotteen tai palvelun ilmastohyödyt. Kertoo paljonko käyttäjä voi tuotteella tai palvelulla vähentää päästöjään. Keskiössä tulevat myönteiset päästövaikutukset.*
- Hiilivarasto** *Maaperään ja kasvillisuuteen yhteyttämisen ohessa sitoutunut hiili.*
- Hiilinielu** *Maaperän ja kasvillisuuden hiilivaraston vuosittainen kasvu.*

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Laskea Kivinevan hankkeen hiilitaselaskennat kolmelle eri sijoittelusuunnitelmalle. Kivinevan hankkeen hiilitaselaskennat ovat osa projektin ympäristövaikutusten arviointimenettelyä.

Työmenetelmät:

Hiilikädenjälki- ja hiilijalanjälkilaskennat perustuvat moniin eri lähteisiin hankkeen elinkaaren aikaisista päästöistä sekä muista energialähteistä aiheutuvista päästöistä. Arvioinnissa on ollut tavoitteena käyttää uusimpia ja luotettavimpia lähteitä.

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

Tulokset:

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Kivinevan hankkeen hiilijalanjälki on 11–19 g CO₂-ekv. / kWh riippuen sijoittelusuunnitelmasta, kun hiilijalanjälki kivihieille on noin 1 000 g CO₂-ekv. / kWh ja maakaasulle 400–500 CO₂-ekv. / kWh (UNECE, 2021). Jos hankkeeseen suunniteltu akkuvarasto toteutuu, hiilijalanjälki tulisi olemaan silloin 12–23 g CO₂-ekv/kWh.

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Kivinevan hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 232–240 g CO₂-ekv/kWh riippuen sijoittelusuunnitelmasta. Tuuli- ja aurinkovoimarakentaminen tukee vahvasti Suomen ja EU:n ilmastotavoitteita.

2 TAUSTA

Euroopan komissio on asettanut tavoitteekseen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä, verrattuna vuoden 1990 tasoihin. Tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraalius EU:ssa vuoteen 2050 mennessä (Ympäristöministeriö, 2021). EU:n tavoitteiden lisäksi Suomi on asettanut omat kansalliset päämääränsä, joissa 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, sillä tuuli- ja aurinkovoima pienentää merkittävästi Suomessa käytetyn energian hiilijalanjälkeä. Suomen uusiutuva energia voi lisäksi tukea muita EU-maita ilmastotavoitteidensa saavuttamisessa, kuten raportissa myöhemmin kerrotaan.

Tuuli- ja aurinkovoimahankkeiden vaikutusta ilmastonmuutokseen on perinteisesti arvioitu tekemällä hankkeen hiilijalanjäljelle elinkaariarviointi (Life cycle assessment, LCA). Vaikka hiilijalanjälkimenetelmä on yleisesti ottaen perusta ilmastonmuutoksen vaikutuslaskelmissa, tämä menetelmä keskittyy tuotteen kielteisiin vaikutuksiin. Hankkeilla on hiilitaseeseen pieni negatiivinen vaikutus. Tämä johtuu pääasiassa voimaloiden valmistusprosessien aikaisista päästöistä, mutta myös kuljetuksista ja pienenevästä hiilinielusta, kun osa hankealueen metsästä kaadetaan.

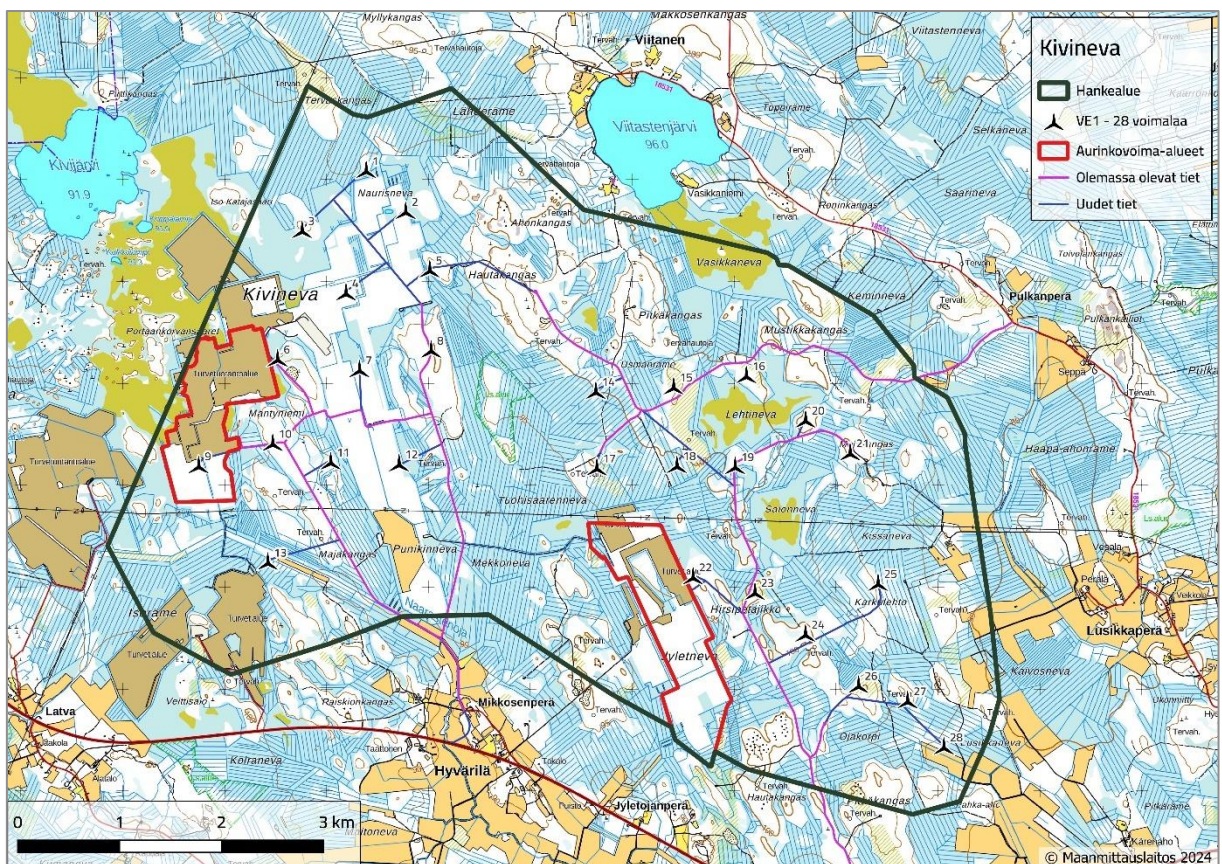
Kokonaiskuvan hankkeen ilmastovaikutuksista saamme keskittymällä ilmastonmuutoksen vaikutusarvioinnissa päästöihin, jotka on vältetty, kun on siirrytty uusiutuvaan energiaan. Tämä on tuuli- ja aurinkovoimahankkeiden selvästi merkittävämpi vaikutus hiilijalanjälkeen verrattuna, ja se voidaan tuoda keskiöön hiilikädenjälkilaskelmien avulla.

Hiilikädenjäljen käsite otettiin käyttöön, jotta uuden tuotteen tai palvelun ympäristöhyödyt voitaisiin tuoda esiin. Hiilikädenjäljen periaatteena on arvioida, kuinka paljon asiakas voi tietyn tuotteen avulla pienentää hiilijalanjälkeään.

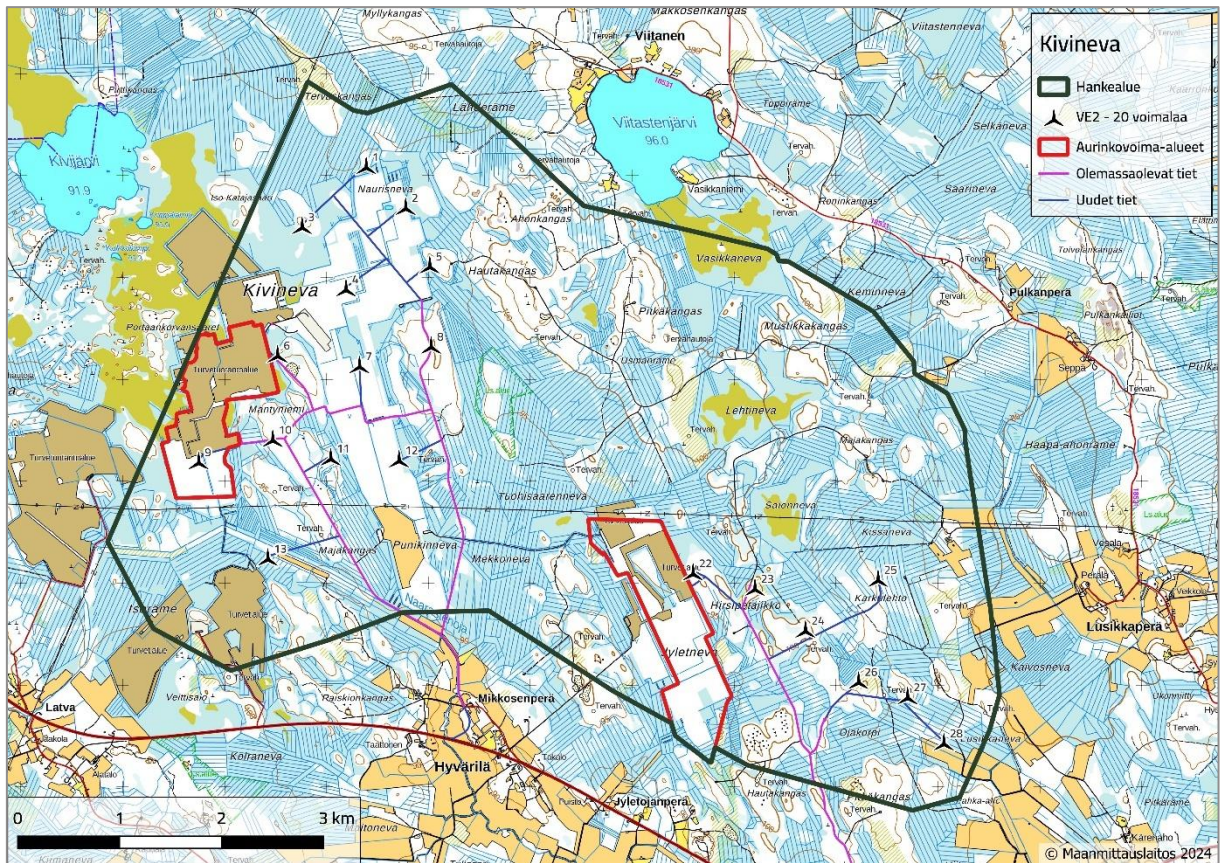
Kivinevan hankkeelle on olemassa kolme eri sijoitussuunnitelmaa:

- VE1: 28 tuulivoimalaa ja aurinkovoima-alueet 1 ja 2
- VE2: 20 tuulivoimalaa ja aurinkovoima-alueet 1 ja 2
- VE3: 9 tuulivoimalaa ja aurinkovoima-alueet 1 ja 2.2

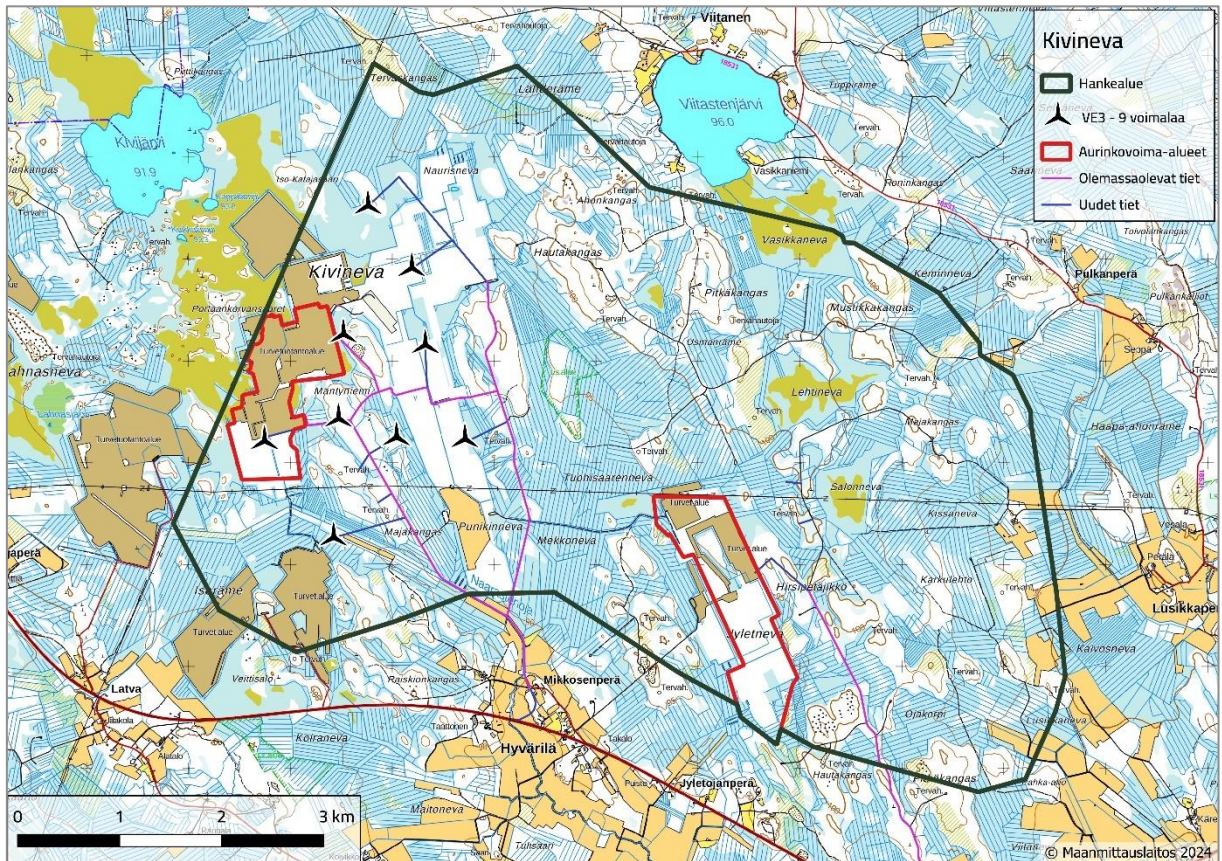
Lisäksi hankealueelle suunnitellaan sijoitettavaksi 200 MWh akkuvarasto sähköaseman yhteyteen. Puisto liitetään Fingridin Lumijärven sähköasemaan, joka sijaitsee hankealueelta länteen, tai Siikalatvan sähköasemaan, joka sijaitsee hankealueelta itä-kaakkoon. Sijoitussuunnitelmat ja verkkoliityntäsuunnitelma ovat esitetty alla olevissa kuvissa.



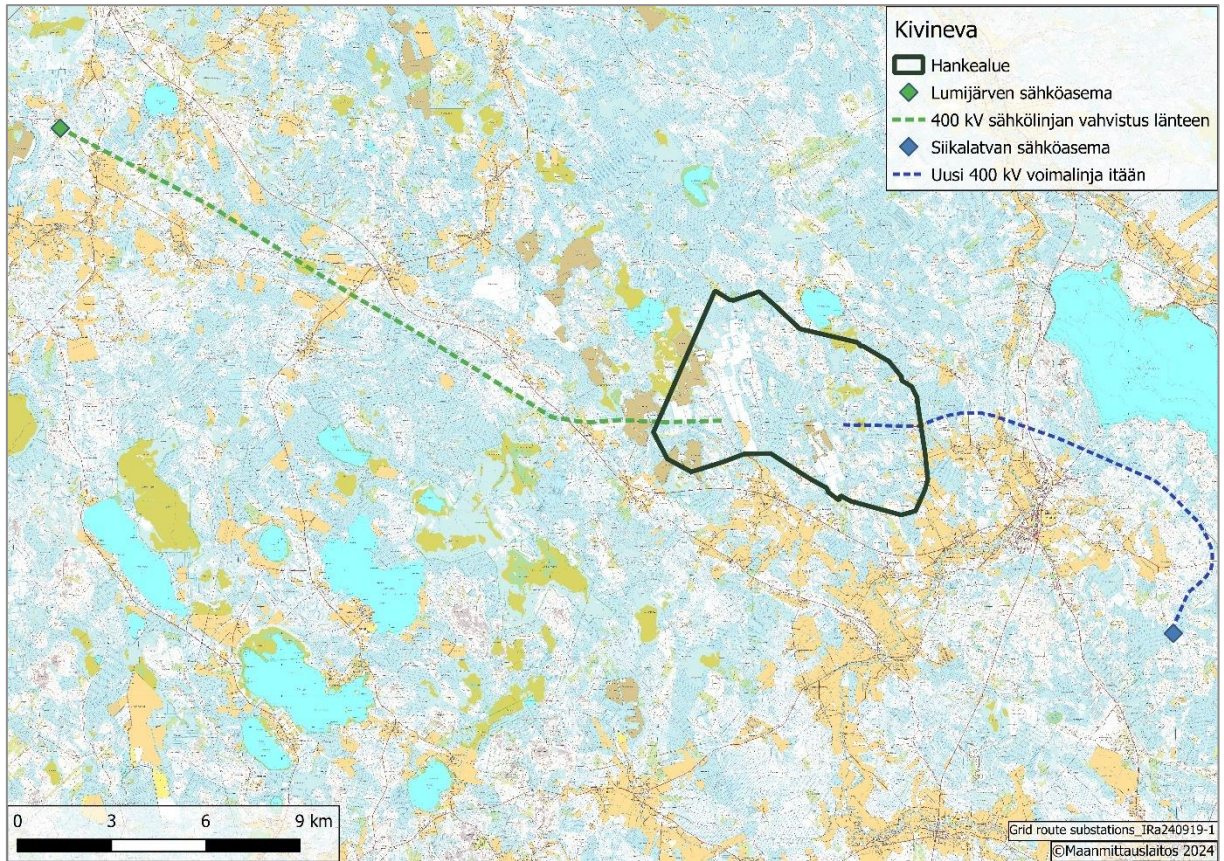
Kuva 1. 28 voimalan sijoitussuunnitelma VE1.



Kuva 2. 20 voimalan sijoitussuunnitelma VE2.



Kuva 3. 9 voimalan sijoitussuunnitelma VE3.



Kuva 4. Voimalinjan reitti ja liityntäpiste

3 HIILIJALANJÄLKI

Koska hiilikädenjälkilaskelmat perustuvat hiilijalanjälkilaskelmiin, arvioidaan ensin Kivinevan hiilijalanjälki.

3.1 TUULIVOIMAN HIILIJALANJÄLKI

Tuulivoimahankkeiden viimeaikaisissa elinkaariarvioinneissa on tyypillisesti arvioitu hiilijalanjäljen olevan noin 6–9 g CO₂-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 elinkaariarviointiin (Vestas, 2023) sekä osittain V150 4,2 MW voimalan elinkaariarviointiin (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 käyttöiäksi 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 1. 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 28 voimalan kuljettamiseen tarvitaan noin 280 kuorma-autoa.

Taulukko 2. Kuljetusten aiheuttamat päästöt tuulipuistolle.

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (g CO ₂ /km)	Kokonaispäästöt (t CO ₂ -ekv)
Laiva	22 700	16* per t	8410
Kuorma-auto	3 725 km * 280	294**	307
Yhteensä			8717

*BSR, 2021. 2020 Global Container Shipping Trade Lane Emissions Factors.

** Statista, 2024. Global average pickup truck CO₂ emission forecast.

Laskennassa käytetyt tulokset on esitetty alla olevissa taulukoissa. Tulokset ekstrapoloitiin tässä arvioinnissa käytetylle 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 tehty oletukset (kierrätyshyvitysten käyttö laskennassa) vaikuttavat merkittävästi hankkeen hiilijalanjälkeen ($\pm$ 2–3 g CO₂-ekv. / kWh). Hiilijalanjälki raportoidaan sekä kierrätyshyvitysten kanssa, että ilman niitä.

Taulukko 3. Laskennassa käytetyt oletukset.

Oletus	VE1 – 28 voimalaa	VE2 – 20 voimalaa	VE3 – 9 voimalaa
Tuulivoimapuiston elinikä	35 vuotta	35 vuotta	35 vuotta
Voimalamäärä	28	20	9
Voimalan kokonaiskorkeus	300 m	300 m	300 m
Roottorin halkaisija	200 m	200 m	200 m
Tornin korkeus	200 m	200 m	200 m
Tuotanto per voimala	30 500 MWh/vuosi	31 000 MWh/vuosi	32 000 MWh/vuosi

Kivinevan tuulivoimaloiden eri komponenttien muodostamat päästöt voimalaa kohden:

Taulukko 4. Tuulivoimalan päästökertoimet.

Päästölähde	Päästö per voimala [t CO ₂ -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
Yhteensä	5051

Tuulipuistosta aiheutuvat päästöt:

Taulukko 5. Tuulivoimaloiden päästöt

Lähde	VE1 - 28 voimalaa		VE2 - 20 voimalaa		VE3 - 9 voimalaa	
	%-osuudet	t-CO ₂	%-osuudet	t-CO ₂	%-osuudet	t-CO ₂
Turbiini*	64,1	102 863	64,2	73 473	63,9	33 063
Perustus*	14,1	22 545	14,1	16 104	14,0	7 247
Kaapelointi*	0,3	528	0,4	407	0,5	242
Sähköasema*	1,8	2 818	1,8	2 013	1,8	906
Kuljetus ja tiet	5,4	8717	5,5	6313	5,8	3009
Toiminta	6,1	9 864	6,2	7 045	6,1	3170
Käytöstä poisto	0,9	1 409	0,9	1 006	0,9	453
Metsän kaataminen	7,3	11 673	7,1	8168	7,0	3 626
Yhteensä		160 416 (247 831 ilman kierrätystä)		114 529 (176 898 ilman kierrätystä)		51 716 (79 643 ilman kierrätystä)

**Mukaan luettuna asennuksen aikaiset päästöt*

3.2 AURINKOVOIMAN HIILIJALANJÄLKI

Hankkeessa aurinkovoima-alueet ovat samat vaihtoehtoille VE1 ja VE2. Näissä vaihtoehtoissa alueelle on sijoitettu kaksi aurinkovoima-aluetta ja niiden yhteenlaskettu pinta-ala on 226 ha. Vaihtoehdolle VE3 alueet ovat vastaavassa sijainnissa kuin VE1 ja VE2, mutta toinen kahdesta aurinkovoima-alueesta on laajennettu. Tämän vaihtoehdon kokonaispinta-ala on 229 ha. Voimalavaihtoehtojen yksityiskohtaiset tiedot löytyvät alla olevasta taulukosta.

Taulukko 6. Aurinkopuiston erittely

Määritelmä	Alue 1 + 2 (VE1/VE2)	Alue 1 + 2.2 (VE3)
Paneeliteho	181 MWp	178 MWp
Paneelien lukumäärä	274 000	270 000
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Ensimmäisen vuoden tuotanto	160 200 MWh	157 900 MWh
Vuosittainen tehon heikkeneminen	0,4 %	0,4 %

Aurinkopaneeleiden päästöt on laskettu käyttäen hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen arvona 750 kg-CO₂-ekv/kWp (Müller et al., 2021) ja puisto on mallinnettu käyttäen Trina Solarin 660 W:n aurinkopaneeleja (Trina Solar, 2021).

Paneeleiden elinikä

Paneeleiden eliniäksi on oletettu tässä arvioinnissa 35 vuotta. Vuosittainen tehon heikkeneminen on otettu huomioon paneelien eliniän tuotannossa. Invertterit oletetaan vaihdettavan kerran paneelien eliniän aikana, joka on otettu huomioon päästöissä.

Paneeleiden materiaalit

Tässä raportissa oletetaan, että kaikki tuotantojärjestelmään tulevat materiaalit ovat peräisin primäärimateriaaleista.

Paneeleiden kierrätys

Puiston oletetaan olevan 64 % kierrätettävä sen eliniän päättyessä. Verrattuna tilanteeseen, jossa aurinkopuistoa ei kierrätetä, päästöt vähenevät 20 % kun se eliniän päättyessä kierrätetään. Päästöt on raportoitu sekä kierrätysshyvityksen kanssa että ilman. (European Commission, 2020.)

Kuljetukset

Kiinalla on yli 80 % markkinaosuus aurinkopaneelimarkkinoilla, jonka vuoksi myös Kivinevan aurinkopuiston kuljetuksen aiheuttamia päästöjä on arvioitu Kiinassa valmistetulla aurinkopaneelilla, jonka painoksi on ilmoitettu 35 kg per paneeli (Trina Solar, 2021). Kuljetusten aiheuttamien päästöjen voidaan ajatella olevan huomattavasti pienemmät, jos puistoon valitaan eurooppalainen paneelitoimittaja.

Reitin on oletettu kulkevan laivalla Shanghai satamasta Helsingin satamaan. Lisäksi lähimmältä Trina Solarin paneelitehtaalta satamaan on noin 200 kilometrin matka kuorma-autolla. Helsingistä Siikalatvalle on maanteitse noin 515 kilometriä. 16 metriä pitkään kuorma-autoon on arvioitu mahtuvan noin 750 teollisen mittaluokan aurinkopaneelia, joten jos tarkastellaan suurinta sijoittelusuunnitelmaa, 240 084 aurinkopaneelia tarvitsee noin 320 kuorma-autokuljetusta (Truckload shipping, 2023). Kuljetuksen aiheuttamat päästöt ovat melko pienet verrattuna valmistuksen aikaisiin päästöihin. Kuljetuksen aiheuttamat kokonaispäästöt sekä etäisyydet on eritelty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 7. Kuljetusten aiheuttamat päästöt aurinkopuistolle.

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (g CO ₂ /km)	Kokonaispäästöt (t CO ₂ -ekv)
Laiva	24 700	16* per t	3260
Kuorma-auto	720*320	294**	68
Yhteensä			3328

*BSR, 2021. 2020 Global Container Shipping Trade Lane Emissions Factors.

** Statista, 2024. Global average pickup truck CO₂ emission forecast.

Aurinkopuiston tuotanto on mallinnettu käyttämällä PVsyst ohjelmistoa (PVsyst). Päästöt on arvioitu paikkatietoaineistojen ja useiden lähteiden perusteella (Müller et al. (2021), Trina (2021), UNECE (2021)). Aurinkopaneelien päästöt on esitetty komponenteittain paneelia kohden alla olevassa taulukossa.

Kokonaispäästöt

Taulukko 8. Aurinkopuiston päästökertoimet.

Päästölähde	Päästö per paneeli [kg CO ₂ -ekv]
Piin valmistus	297
Kennon valmistus	90
Moduulien asennus	102
Teline	2
Rakentaminen	51
Invertterit*	71
Sähköverkkoysteys	21
Käyttö ja huolto	10
Käytöstä poisto	7
Yhteensä	650

*Uusitaan kerran paneelien eliniän aikana.

Aurinkopuistosta aiheutuvat kokonaispäästöt alla olevassa taulukossa.

Taulukko 9. Aurinkopuiston päästöt Kiinasta tuodulla aurinkopaneelilla.

Päästön lähde	Prosenttiosuus VE1/VE2 (%)	Puiston päästöt, VE1/VE2 (t- CO ₂ -ekv)	Prosenttiosuus VE3 (%)	Puiston päästöt, VE3 (t- CO ₂ -ekv)
Aurinkopaneelit*	64,8	133 822	64,5	131 868
Rakentaminen**	9,7	20 129	9,7	19 835
Invertterit	9,4	19 430	9,4	19 146
Toiminta ja huolto	1,3	2 780	1,3	2 740
Käytöstä poisto	0,9	1 825	0,9	1 798
Metsän kaataminen	13,8	28 480	14,1	28 903
Yhteensä		206 466 (242 061 ilman kierrätystä)		204 290 (239 366 ilman kierrätystä)

* Mukaan lukien kuljetus

**Mukaan lukien perustusten, aurinkopaneelitelien ja sähköaseman valmistus ja asennus sekä kaapeloinnit

Suurimmat aurinkovoiman päästölähteet ovat taulukon 9 mukaisesti aurinkopaneelisiin sekä metsän kaatamiseen liittyvät päästöt. Lisäksi päästöjen määrä kasvaa, mikäli voimalaa ei kierrätetä käytöstä poiston jälkeen (Dodd et al., 2020).

3.3 VOIMALINJA

Kivinevan hankkeen liityntäjohdolle on kaksi eri vaihtoehtoa, itäinen ja läntinen liityntä. Läntinen liityntäjohto tulisi kulkemaan jo olemassa olevan voimalinjan rinnalla Fingridin Lumijärven sähköasemalle, jolloin arvioidaan nykyisen johtokäytävän leventämistarpeeksi 40 m. Itäinen liityntäjohto kulkisi 2,3 kilometrin matkalta jo olemassa olevan johtokäytävän rinnalla maakaapelina, mutta tulisi valtaosaksi vaatimaan kokonaan uuden johtokäytävän Fingridin Siikalatvan sähköasemalle. Uuden johtokäytävän leveydeksi on arvioitu 62 m ja vanhan johtokäytävän leventämistarpeeksi on arvioitu 40 metriä itäiselle vaihtoehdolle.

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.

Tulevaa voimajohtoratkaisua on suunniteltu yhteensä kolmen suunnitteilla olevan tuulipuiston käytettäväksi, Leuannevan, Kivinevan sekä Taikkonevan puistojen. Tässä raportissa kaikki päästöt on laskettu kokonaisuudessaan pelkästään Kivinevan puistolle, mutta jos kaikki suunnitteilla olevat hankkeet toteutuvat myös päästöt jakautuvat näiden hankkeiden kesken.

Voimalinjavaihtoehdot on eritelty alla olevassa taulukossa. Käytöstä poistamisen päästöjä ei ole huomioitu, sillä voimalinjaa käytetään myös sen jälkeen, kun puisto on otettu pois käytöstä. 400 kV liityntäjohtoon materiaaleihin liittyvät päästöt perustuvat 275 kV johtojen arvoihin, sillä oletuksella, että arvot 400 kV ja 275 kV tarvikkeiden välillä ovat samaa suuruusluokkaa. (Harrison, GP, Maclean, EJ, Karamanlis, S & Ochoa, LF 2010). 400 kV voimalinjan rakentamisesta aiheutuvat päästöt ovat arvioitu päästökertoimella 523 t CO₂-ekv/km (Fingrid, 2021).

Taulukko 10. Voimalinjavaihtoehtojen päästöt

	Läntinen	Itäinen
Voimalinjan pituus	23,6 km	16,6 km
Johtokäytävän leveys	40 m	62 m
Päästöt (t-CO₂ ekv)		
Materiaalit ja rakentaminen	12 362	8 695
Metsän kaataminen	17 562	18 781
Yhteensä	29 923	27 476

3.4 HIILINIELU

Hybridipuiston rakentaminen edellyttää metsän kaatamista, millä on kielteinen vaikutus hiilitaseeseen ja se tulisi sisällyttää hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmiin. Metsää kaadetaan 400 kV:n sähkölinjan, sähköaseman, uusien metsäteiden, aurinkopaneeleiden sekä voimaloiden luona tapahtuvan rakentamisen vuoksi.

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 menetetyn 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 menetetyn 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 estimoitu. Hila-aineiston kattavuus vaihtelee alueittain ja aineiston painotus on yksityismetsissä. Kuutiometri biomassaa sitoo arviolta 780 kg CO₂-ekv hiilidioksidia (Nordiska ministerrådet, 2017; VTT, 2013). Hakkuiden aiheuttama tulevan kasvun menetys on verrannollinen LUKE:n metsien inventointiaineistoon ”Puuston keskikasvu metsämaalla”, jonka arvo on 4,2 t CO₂-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 laskettu kullekin alueelle niiden keskimääräinen puuston tiheys, josta on pinta-aloja hyödyntämällä laskettu puuston poistuma eri alueille. Hila-aineistosta lasketut kertoimet sekä hankkeen pinta-alat on esitetty kootusti alla olevassa taulukossa.

Taulukko 11. Puuston tiheyden arvot hankkeen eri alueille.

Alue	Puuston tiheys (m ³ /ha)	Pinta-ala (ha)
Tuulivoimala-alue VE1	74,7	56
Tuulivoimala-alue VE2	66,6	40
Tuulivoimala-alue VE3	48,8	18
Aurinkopaneelien Alue 1	2,7	98
Aurinkopaneelien Alue 2	22,7	129
Aurinkopaneelien Alue 2.2	22,5	131
Tiet VE1	73,9	11,5
Tiet VE2	70,9	8,8
Tiet VE3	65,5	5,3
Sähkönsiirto - Itäinen	87,6	98
Sähkönsiirto - Läntinen	81,0	94

3.4.1 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 8 m leveät.

Taulukko 12. Tuulivoimaloihin liittyvä puunkaato

Oletus	VE1 - 28 voimalaa	VE2 - 20 voimalaa	VE3 - 9 voimalaa
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta	35 vuotta
Voimaloita ympäröivä pinta-ala	56 ha	40 ha	18 ha
Uudet tiet	14 400 m	11 100 m	6 600 m
Poistuva kuutiomäärä	4 180 m ³	2 660 m ³	880 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	3928 t	2567 t	960 t
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	7744 t	5601 t	2670 t
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	11 673 t CO2-ekv.	8169 t CO2-ekv.	3626 t CO2-ekv.

3.4.2 AURINKOVOIMALOIHIIN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Suunnitellusta enimmillään 229 hehtaarin suuruisesta aurinkopuistosta noin 135 hehtaaria soveltuu metsän kasvattamiseen, koska merkittävä osa alueesta on vanhaa turvesuota, jota ei ole vielä metsitetty. Enimmillään 229 hehtaariin sisältyvät aurinkopuistoa ympäröivät puskurialueet, joilla kasvillisuus pidetään matalana.

Taulukko 13. Aurinkovoimaloihin liittyvä puunkaato.

Oletus	VE1/VE2	VE3
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Aurinkovoima-alueiden kokonaispinta-ala	226 ha	229 ha
Poistuva kuutiomäärä	3 190 m ³	3 210 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	2 566 t	2 645 t
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	25 913 t	26 257 t
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	28 480 t CO₂-ekv.	28 903 t CO₂-ekv.

3.4.3 VERKKOLIITYNTÄÄN LIITTYVÄ PUUNKAATO

400 kV liityntäjohtoon pituus on itäiselle reittivaihtoehdolle noin 16,6 km ja tarvittava puuston poistoa vaativan väylän leveys on ensimmäiselle 2,3 kilometrille 40 metriä ja 62 metriä jälkimmäiselle 14,3 kilometrille. Läntiselle reittivaihtoehdolle liityntäjohtoon pituus on 23,6 km ja tarvittava puuston poistoa vaativan väylän leveys on 40 metriä.

Oletettu tuulipuiston sähköaseman laitteistoinen tarvitsema pinta-ala on 1,25 ha. Sähköaseman yhteyteen on sisällytetty myös yhteensä 200 MWh energiavarasto, jonka pinta-ala on laskettu 0,4 ha/30 MWh oletuksella. Yhteensä sähköaseman pinta-alaksi tulisi siis 3,9 ha. Jos energiavarastoa ei rakennettaisi, sähköaseman puunkaaton aiheuttama hiilijalanjälki jäisi siis vielä pienemmäksi. Kivinevan sähköasemalle on tällä hetkellä 4 eri sijoitteluvaihtoehtoa, ja tässä on laskettu niistä skenaario, jolla on suurin vaikutus hiilijalanjälkeen. Voidaan siis olettaa, että jos valitaan joku muu sijainti, sen hiilijalanjälki on tätä pienempi.

Taulukko 14. Verkkoliityntään liittyvä puunkaato

Oletus	Läntinen	Itäinen
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Kaadettava metsä	97,9 ha	101,9 ha
Poistuva kuutiomäärä	8125 m ³	9099 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	6338 t CO ₂ -ekv.	7098 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	11 225 t CO ₂ -ekv.	11 683 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	17 563 t CO₂-ekv.	18 781 t CO₂-ekv.

3.5 TULOKSET

Hiilijalanjälkilaskennan tulokset on esitelty tässä luvussa. Eri osien vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen sekä lopulliset tulokset on esitelty alla olevissa taulukoissa. Hankkeen arvioitu kokonaishiilijalanjälki eri sijoittelusuunnitelmille ja voimalinjavaihtoehtoilta on 10,3–17,5 g CO₂-ekv. / kWh, kun kierrätyshyvitykset on huomioitu laskennassa.

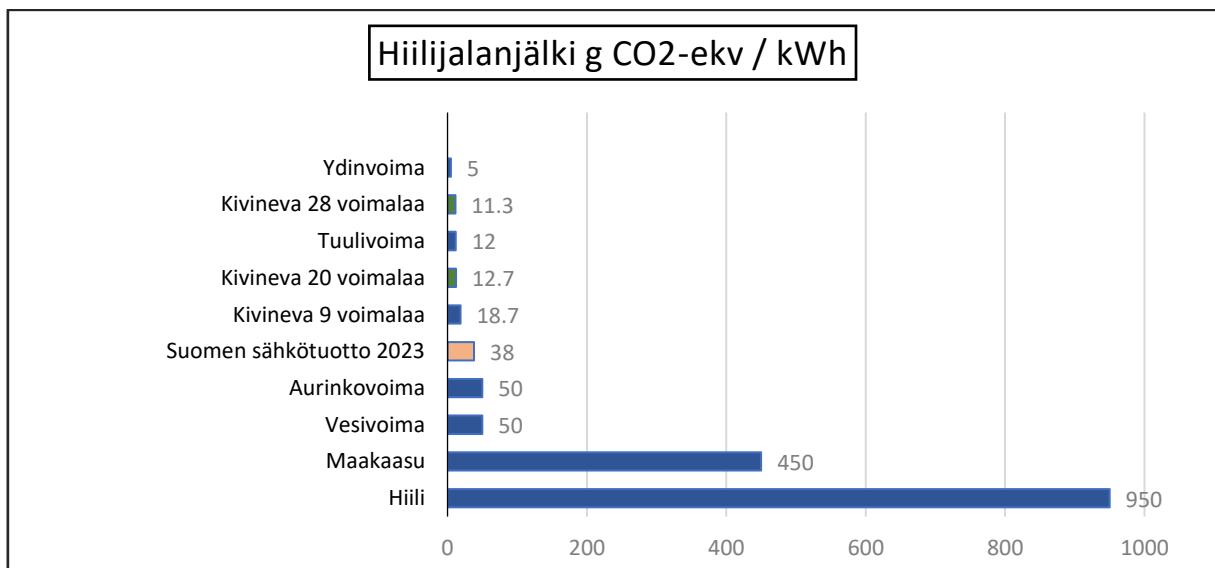
Taulukko 15. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto Itäiselle voimalinjalle Kivinevan elinkaaren aikana.

Voimalavariaatio	VE1 - 28 voimalaa	VE2 - 20 voimalaa	VE3 - 9 voimalaa
Tuulipuiston päästöt (t-CO ₂ ekv)	160 416	114 529	51 716
Aurinkopuiston päästöt (t-CO ₂ ekv)	206 466	206 466	204 290
Voimalinjan päästöt (t-CO ₂ ekv)	27 476	27 476	27 476
Päästöt yhteensä (t-CO₂ ekv)	394 358	348 471	283 482
Tuotanto yhteensä (GWh)	35 132	26 941	15 247
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	11,3	12,5	18,6

Taulukko 16. Hiilidioksidipäästöjen yhteenvedo Läntiselle voimalinjalle Kivinevan elinkaaren aikana.

Voimalavariaatio	VE1 - 28 voimalaa	VE2 - 20 voimalaa	VE3 – 9 voimalaa
Tuulipuiston päästöt (t-CO ₂ ekv)	160 416	114 529	51 716
Aurinkopuiston päästöt (t-CO ₂ ekv)	206 466	206 466	204 290
Voimalinjan päästöt (t-CO ₂ ekv)	29 923	29 923	29 923
Päästöt yhteensä (t-CO₂ ekv)	396 805	350 918	285 929
Tuotanto yhteensä (GWh)	35 132	26 941	15 247
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	11,3	13,0	18,8

Alla olevassa kaaviossa on verrattu Kivinevan hankkeen päästöjä muiden energiantuotantomuotojen tyypillisiin päästöihin. Tietolähteet ovat UNECE (2021) ja Fingrid (2023).



Kuva 5. Sähkön tuotannon päästöjen vertailu

3.6 VERTAILU TULEVAISUUDEN PÄÄSTÖIHIN SUOMESSA

Taulukon 9 ja 10 perusteella voidaan Kivinevan hiilijalanjälkeä (11–19 g CO₂ ekv. / kWh) verrata Suomen sähköntuotannon päästöihin (38 g CO₂ ekv. / kWh) vuonna 2023 (Fingrid 2023).

Kivinevan hiilijalanjälkeä voidaan verrata myös Suomen odotettavissa olevaan hiilijalanjälkeen puiston käyttöaikana (n. 2028–2063). Kyseisen ajanjakson päästöjä on suhteellisen vaikea arvioida tarkasti koska päästökertoimien laskemiseen on olemassa useita laskentatapoja, mutta eräs lähde (Ympäristöministeriö, 2020) arvioi Suomen sähköntuotannon päästöjen olevan vuonna 2030 31 g CO₂ ekv. / kWh. Ekstrapoloimalla tätä arvioita voidaan vuosien 2028–2063 päästöjen olettaa olevan noin 20 g CO₂-ekv. / kWh.

Tuotettua kilowattituntia kohden Kivinevan päästöjen arvioidaan olevan vähäisempiä puiston eliniän aikana kuin Suomen sähköntuotannon päästöt yleisesti vastaavana aikana. Ero on kuitenkin pienempi kuin mikäli Kivinevan päästöjä verrataan Suomen päästöihin käyttöönottohetkellä. On kuitenkin perusteltua todeta, että Kivinevan päästöjä tulisi verrata nimenomaan käyttöönottohetken päästöihin, koska siirtyminen päästöttömään energiantuotantoon ei tapahdu automaattisesti. Toteutuakseen siirtymä vaatii tietoisia panostuksia ilmastohyötyä tuoviin hankkeisiin. Tämän vuoksi ajan mittaan tapahtuva päästöjen väheneminen olisi katsottava vastaavan hankkeen myönteiseksi seuraukseksi. Ilmastohyötyjä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

4 HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT

Tässä luvussa arvioidaan Kivinevan hankkeen hiilikädenjälki. Luvut 4.1–4.2 noudattavat 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 hybridihankkeilla, eli hankkeilla, jossa yhdistetään tuuli- ja aurinkovoimaa sähkön tuottamiseksi, korvataan ja mikä vaikutus tällä on hiilidioksidipäästöihin. Skenaariota on analysoitu kappaleessa 4.1.

Hybridipuiston tuotanto Suomessa korvaa tuontisähköä ja lisää uusiutuvaa vientisähköä. Suomen pienempi tuontitarve ja suurempi vienti 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 voidaan todeta, että Euroopan mittakaavassa korvatut energialähteet ovat pääasiassa hiili, maakaasu, ydinvoima sekä uusiutuvat energianlähteet.

Käytetty yksikkö on g CO₂-ekv. / kWh tuotettua sähköä. Laskelmissa tarvittavat CO₂-päästötietoaineistot tarkistetaan ja arvioidaan sen varmistamiseksi, että laskelmissa on käytetty luotettavia ja ajantasaisia oletuksia.

4.1 HIILIKÄDENJÄLJEN LASKEMINEN

Hiilikädenjälkeä arvioidaan hybridipuiston koko elinkaaren aikana, tässä tapauksessa 35 vuoden ajan. Hybridipuiston hiilijalanjälkenä käytetään kappaleen 3 eri voimalinjavaihtoehtojen keskiarvoa jokaiselle sijoittelusuunnitelmalle:

- VE1 – 11,3 g CO₂-ekv/kWh.
- VE2 – 12,7 g CO₂-ekv/kWh
- VE3 – 18,8 g CO₂-ekv/kWh

Korvattu sähköntuotanto koostuu uusiutuvan energian ja uusiutumattoman energian yhdistelmästä. Suomen pienemmän tuontitarpeen ja suuremman puhtaasti tuotetun energian viennin ansiosta, ei-toivotut energialähteet voidaan vaiheittain poistaa käytöstä kohdemaissa. Korvatut energialähteet ovat pääasiassa öljy, turve, kivihiili, ydinvoima ja maakaasu. Niiden osuudet ja päästöt (Ember, 2024) vuonna 2023 olivat seuraavat:

Ydinvoima	23 % osuus	6 g CO ₂ -ekv/kWh
Maakaasu	17 % osuus	450 g CO ₂ -ekv/kWh
Hiili	16 % osuus	950 g CO ₂ -ekv/kWh
Aurinkovoima	9 % osuus	50 g CO ₂ -ekv/kWh
Vesivoima	12 % osuus	24 g CO ₂ -ekv/kWh
Tuulivoima	18 % osuus	12 g CO ₂ -ekv/kWh
Biovoima	5 % osuus	240 g CO ₂ -ekv/kWh

Tuloksena on painotettu keskiarvo 251 g CO₂-ekv/kWh.

Hiilikädenjälki kolmelle eri sijoittelusuunnitelmalle on:

- $VE1 = 251 \text{ g} - 11,3 \text{ g} = 239,7 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$
- $VE2 = 251 \text{ g} - 12,7 \text{ g} = 238,3 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$
- $VE3 = 251 \text{ g} - 18,8 \text{ g} = 232,2 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$

4.2 TULOSTEN KRIITTINEN TARKASTELU JA TULKINTA

Kun puiston hiilikädenjälki kerrotaan sen tuotannolla, saadaan estimaatti vuoden aikana säästetyistä hiilidioksidipäästöistä. Kohdassa 4.1 esitetyn laskelman perusteella Kivinevan kokoinen hybridipuisto vähentää hiilidioksidipäästöjä vuoden aikana kolmelle eri sijoittelusuunnitelmalle seuraavasti:

- VE1 – vähentää päästöjä 104 000 tonnia
- VE2 – vähentää päästöjä 103 000 tonnia
- VE3 – vähentää päästöjä 101 000 tonnia

Kun EU:ssa saavutetaan ilmastoneutraalius, suomalaisen tuulivoiman hiilijalanjäljen odotetaan pienenevän merkittävästi. Seuraavien 20–30 vuoden aikana suurin osa tuuli- ja aurinkovoimasta käytetään kuitenkin Euroopan komission ilmastotavoitteiden mukaisesti fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen eri muodoissa.

Hybridihankkeen hiilijalanjälkeä voidaan verrata myös Suomen sähköntuotannon hiilijalanjälkeen, joka oli vuonna 2023 noin 38 g CO₂-ekv/kWh (Fingrid, 2023). Suomen sähköntuotannon hiilijalanjäljen odotetaan pienenevän edelleen ainakin vuoteen 2035 asti, jotta ilmastotavoitteet saavutetaan. Näitä Suomen sähköntuotantoon liittyviä lukuja ei kuitenkaan oteta huomioon

jalanjälkilaskennassa, koska tuulivoima korvaa ei-toivottuja energialähteitä, ei keskimääräistä sähköntuotantoa.

5 MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN

Kivinevan hankkeen yhteydessä arvioidaan mahdollisuutta sijoittaa alueelle 200 MWh akkuvarasto. Toteutuessaan varasto rakennetaan Kivinevan sähköaseman yhteyteen.

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 lataussyklin 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 CO₂-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 23 600–47 600 t CO₂-ekv riippuen kuinka suuri osuus valmistuksessa käytettävästä energiasta on tuotettu uusiutuvalla energialla.

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 18 880–38 080 t CO₂-ekv.

Mikäli oletetaan, että 50 % lataussyklejä tehdään vuodessa 1300 kappaletta, akkuvaraston hyötysuhteeksi 95 % ja, että akustoa ladataan pääasiassa Kivinevan omalla tuotannolla, olisi 200 MWh varaston käytön aiheuttamat päästöt yhteensä noin 2 867 t CO₂-ekv.

Tällä hetkellä Kiina vastaa 80 % globaalista akkuvalmistuskapasiteetista, jonka vuoksi myös Kivinevan hankkeen akkuvaraston oletetaan tulevan Kiinasta. (S&P 2024) Akkuvaraston kuljetuksen aiheuttamia päästöjä on arvioitu Kiinassa valmistetulla SunGrow akkuvarastolla, jonka painoksi on ilmoitettu noin 26 400 kiloa (SunGrow).

Reitin on oletettu kulkevan laivalla Shanghain satamasta Helsingin satamaan. Lisäksi lähimmältä SunGrown paneelitehtaalta Hefeistä Shanghain satamaan on noin 475 kilometrin matka kuorma-autolla. Helsingistä Siikalatvalle on maanteitse noin 515 kilometriä. Kuljetuksen aiheuttamat kokonaispäästöt sekä etäisyydet on eritelty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 17. Kuljetusten aiheuttamat päästöt akkuvarastolle.

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (g CO ₂ /km)	Kokonaispäästöt (t CO ₂ -ekv)
Laiva	24 700	16* per t	10,4
Kuorma-auto	990	294**	0,3
Yhteensä			10,7

*BSR, 2021. 2020 Global Container Shipping Trade Lane Emissions Factors.

** Statista, 2024. Global average pickup truck CO₂ emission forecast.

Tällöin Kivinevan 200 MWh akkuvaraston kokonaispäästöt olisivat seuraavat:

Taulukko 18. Akkuvaraston hiilidioksidipäästöjen yhteenveto.

Päästölähde	Uusiutuvalla energialla valmistettu akkuvarasto	Pääosin fossiilisella energialla valmistettu akkuvarasto
Valmistus	23 600 t CO ₂ - ekv	47 600 t CO ₂ -ekv
Akuston vaihto	18 880 t CO ₂ - ekv	38 080 t CO ₂ -ekv
Käyttö	2 867 t CO ₂ - ekv	2 867 t CO ₂ -ekv
Kuljetus	11 t CO ₂ -ekv	11 t CO ₂ -ekv
Yhteensä	45 358 t CO ₂ -ekv	88 547 t CO ₂ -ekv

Kappaleessa 3.3 esitettyihin Kivinevan tuulipuiston kokonaispäästöihin verrattuna akkuvaraston rakentaminen lisäisi koko hankkeen päästöjä noin 13–36 %, mikä tarkoittaisi, että puiston päästöt olisivat noin 12,5–24,8 g CO₂-ekv/kWh.

6 LASKELMIEN EPÄVARMUUDET

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. Tässä luvussa käsitellään laskelmissa esiintyviä suurimpia epävarmuustekijöitä.

Suurin epävarmuus hiilijalanjälkilaskennassa liittyy maaperän päästöihin. Maaperän hiilidioksidipäästöjä tapahtuu jatkuvasti, pääasiassa turvekerroksesta. Jos nämä päästöt lisääntyvät hankkeen yhteydessä tehtävien maanrakennustöiden vuoksi, olisi ne otettava huomioon hiilijalanjälkilaskennassa. Koska tässä vaiheessa hanketta ei ole tiedossa minkälaisia maanrakennustöitä (ojitusta, turpeen poistoa jne.) alueella tehdään, ei laskelmaa voida vielä tehdä. Tämän vuoksi maaperän päästöjä ei ole otettu huomioon laskennassa.

On tavoiteltavaa, etteivät toteutettavat maanrakennustyöt kasvata maaperän päästöjä nykytilanteeseen verrattuna. Tällöin maaperän päästöjä ei tarvitse huomioida laskelmissa. Vanhojen turvetuotantoalueiden päästöjä on mahdollista myös vähentää aurinkopuiston rakentamisen yhteydessä, mikäli alue osittain ennallistetaan (muuttuu kosteammaksi). Alue on suositeltavaa suunnitella siten, että se ei ojituksen myötä merkittävästi kuivahda, sillä se lisäisi turvekerroksen hiilidioksidipäästöjä.

Suurin epävarmuus hiilikädenjäljen laskennassa liittyy vertailuskenaarioon (kappale 4.1). On hyvin haastavaa määritellä tarkasti, mikä 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 kuin tarkkana.

7 YHTEENVETO

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Kivinevan hankkeen hiilijalanjälki on 11–19 g CO₂-ekv. / kWh, kun hiilijalanjälki kivihiilelle on noin 1000 g CO₂-ekv. / kWh ja maakaasulle 400–500 CO₂-ekv. / kWh (UNECE, 2021).

Hiilikädenjälkianalyysi osoittaa lisäksi sen myönteisen vaikutuksen, mikä syntyy, kun fossiiliset polttoaineet korvataan hybridipuiston uusiutuvalla energialla. Analyysimme mukaan hankkeen hiilikädenjälki on noin 20-kertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat noin 20 kertaa suuremmat kuin hankkeen kielteiset vaikutukset (voimalan elinkaaren aikana aiheutetut päästöt ja pienentynyt hiilinielu metsähakkuiden vuoksi).

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Kivinevan hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 232–240 g CO₂-ekv/kWh. Tuulivoimarakentaminen tukee vahvasti Suomen ja EU:n ilmastotavoitteita.

Kun ilmastoneutraalius on saavutettu EU:ssa, tulee suomalaisen tuulivoiman hiilikädenjälki olemaan paljon pienempi. Seuraavien 20–30 vuoden aikana valtaosa tuulivoimasta kuitenkin käytetään fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen eri muodoissa Euroopan komission asettamien ilmastotavoitteiden mukaisesti.

Tuulivoimahankkeen hiilijalanjälkeä voidaan verrata myös Suomen sähköntuotannon hiilijalanjälkeen, joka on tällä hetkellä noin 38 g CO₂-ekv. / kWh (Fingrid, 2023). Suomen sähköntuotannon jalanjäljen odotetaan pienenevän entisestään ainakin vuoteen 2035 saakka ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi.

Toteutuessaan hankkeen yhteyteen suunniteltu 200 MWh akkuvarasto nostaisi puiston kokonaispäästöjä 13–36 %.

8 LÄHTEET

Amelie Müller, Lorenz Friedrich, Christian Reichel, Sina Herceg, Max Mittag, Dirk Holger Neuhaus (2021). *A comparative life cycle assessment of silicon PV modules: Impact of module design, manufacturing location and inventory*. Solar Energy Materials and Solar Cells.
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111277>

BSR (2021). *2020 Global Container Shipping Trade Lane Emissions Factors*.
<https://www.bsr.org/files/clean-cargo/BSR-Clean-Cargo-Emissions-Report-2021.pdf>

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

DW (2021). *How Sustainable is wind power?* <https://www.dw.com/en/how-sustainable-is-wind-power/a-60268971>

European Commission (2020). *Preparatory study for solar photovoltaic modules, inverters and systems*. 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

EMF, (2015) *Ellen Macarthur Foundation, Granta Design, Life. Circularity indicators: an approach to measuring circularity*. May 2015.

Fingrid (2017). *Kontiolahden ja Pamilon välisen 110 kilovoltin voimajohtoyhteyden uusiminen*.
https://www.fingrid.fi/contentassets/57db696e8f85474cb003da3a49b12770/kontiolahti-pamilo_110_kv_yvs_paivitys_www-raportti.pdf

Fingrid (2023). *Sähköntuotannon CO₂-päästöarvio*.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Fingrid (2021). *Petäjäskoski-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

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>

ICCT (2021). *A Global Comparison of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Combustion Engine and Electric Passenger Cars*. <https://theicct.org/publication/a-global-comparison-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-combustion-engine-and-electric-passenger-cars/>

Emilsson E, Dahllöf L. (2019). *Lithium-Ion Vehicle Battery Production Status 2019 on Energy Use, CO 2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling*. https://www.researchgate.net/publication/339237011_Lithium-Ion_Vehicle_Battery_Production_Status_2019_on_Energy_Use_CO_2_Emissions_Use_of_Metals_Products_Environmental_Footprint_and_Recycling

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

Metsäkeskus (2024). *Hila-aineisto*. <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/metsatietoaineistot/metsavaratiedot>

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>

PVSyst. *Photovoltaic Software*. <https://www.pvsyst.com/>

S&P (2024). *US, EU making inroads into China's EV battery manufacturing dominance*. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/electric-power/050724-us-eu-making-inroads-into-chinas-ev-battery-manufacturing-dominance>

Sitra (2018). *Keskivertosuomalaisen Hiilijalanjälki*. The Finnish Innovation Fund Sitra. <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>

Statista (2024). *Global average carbon dioxide emissions from pickup trucks between 2014 and 2023, with a forecast through 2028*. <https://www.statista.com/statistics/1473842/global-average-pickup-truck-co2-emission-forecast/>

SunGrow. *Liquid cooling energy storage system*. <https://en.sungrowpower.com/productDetail/2294/energy-storage-system-powertitan-series-st2236ux-st2752ux>

SYKE (2021). *Hiilinielulaskuri*. <https://laskurit.hiilineutraalisuomi.fi/nielu/>

Trina Solar (2021). Vertex 600W+. <https://static.trinasolar.com/sites/default/files/BrochureVertex600W-EN.pdf>

Truckload shipping (2023). *Guide to Freight Shipping Solar Panels*. <https://usatruckloadshipping.com/guide-to-freight-shipping-solar-panels/>

UBA (2021). *Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen.*

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oekobilanzen_windenergie_photovoltaik.pdf

UNECE (2021). *Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options*

<https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf>

UPM (2022). *Skogen är både en kolsänka och en kolreserv.*

<https://www.upmmetsa.fi/sv/information-och-evenemang/artiklar/skogen-ar-bade-en-kolsanka-och-en-kolreserv/>

Utility Dive (2022). Wind Turbine blade sizes and transport: A guide. Wind turbine blade sizes and transport: A guide | Utility Dive

Vestas (2022). *Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V150-4.2 MW Wind Plant.*https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V150-4.2,%204.5MW%20Wind%20Plant_Final.Web.pdf.coredownload.inline.pdf

Vestas (2023). *Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore EnVentus V162-6.2 MW Wind Plant.*<https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20EnVentus%20V162-6.2.pdf.coredownload.inline.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

Ympäristöministeriö (2020). *Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia.*

<https://ym.fi/korjausrakentamisen-strategia>