



ETHA WIND



HIILIKÄDENJÄLKILASKENTA SARVIKANKAAN TUULIVOIMAHANKKEELLE

SISÄLLYS

1	YHTEENVETO	3
2	TAUSTA	4
3	HIILIJALANJÄLKI	7
3.1	Voimalinja	8
3.2	Hiilinielu	9
3.2.1	Tuulivoimaloihin liittyvä puunkaato	10
3.2.2	Verkkoliityntään liittyvä puunkaato	10
3.3	Tulokset.....	11
3.4	Vertailu tulevaisuuden päästöihin Suomessa.....	12
4	HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT	12
4.1	Hiilikädenjäljen laskeminen	13
5	MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN	14
6	YHTEENVETO	16
7	LÄHTEET	17

VERSIONHISTORIA

Versio	Tekijä, pvm.	Tarkastaja	Hyväksyjä	Lyhyt kuvaus
Ver 1	Einari Jänisoja 24.10.2023	Christian Granlund	Ville Kronqvist	Hiilikädenjälki- ja hiilijalanjälkilaskennat tuulivoimahankkeelle.
Rev 1	Einari Jänisoja 06.2.2024	Christian Granlund	Ville Kronqvist	Taulukon 9 sekä hiilineutraalien suomalaisten määrän korjaus. Kappaleiden 3.4 ja 5 lisäys.
Rev 2	Einari Jänisoja 07.03.2024	Sonja Telkki	Ville Kronqvist	Liityntäjohtoon johtokäytävän leveyden ja pituuden muutos.

KÄSITTEET

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

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Laskea Sarvikankaan tuulivoimahankkeen hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälki. Sarvikankaan hankkeen hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkilaskennat 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 Sarvikankaan hankkeen hiilijalanjälki on 6.1 g CO₂-ekv. / kWh, kun hiilijalanjälki kivihiilelle on noin 1 000 g CO₂-ekv. / kWh ja maakaasulle 400–500 CO₂-ekv. / kWh (UNECE, 2021).

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Sarvikangas hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 284.9 g CO₂-ekv/kWh. Tämän 25–32 tuulivoimalan kokoisen tuulipuiston hiilikädenjälki vastaa sitä, että 15 100 – 18 600 suomalaista saavuttaa hiilineutraaliuden. Tuulivoimarakentaminen 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).

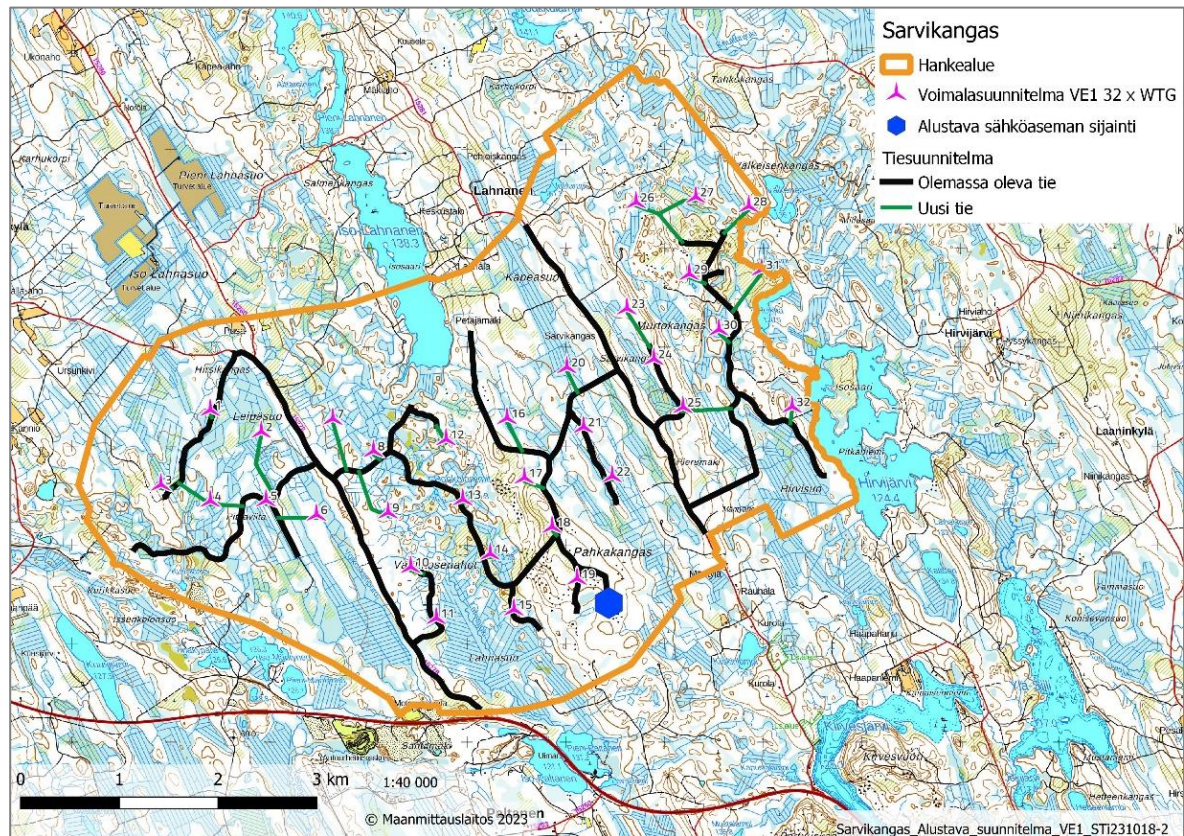
Uusiutuvalla energialla on kriittinen rooli näiden tavoitteiden saavuttamisessa, sillä tuulivoima pienentää merkittävästi Suomessa käytetyn energian hiilijalanjälkeä. Suomen uusiutuva energia voi lisäksi tukea muita EU-maita ilmastotavoitteidensa saavuttamisessa, kuten raportissa myöhemmin kerrotaan.

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 tuotteen kielteisiin vaikutuksiin. Tuulivoimahankkeilla on hiilitaseeseen pieni negatiivinen vaikutus. Vaikutus johtuu pääasiassa voimaloiden valmistusprosessien aikaisista päästöistä, mutta myös kuljetuksista ja pienenevästä hiilinielusta, kun osa hankealueen metsästä kaadetaan.

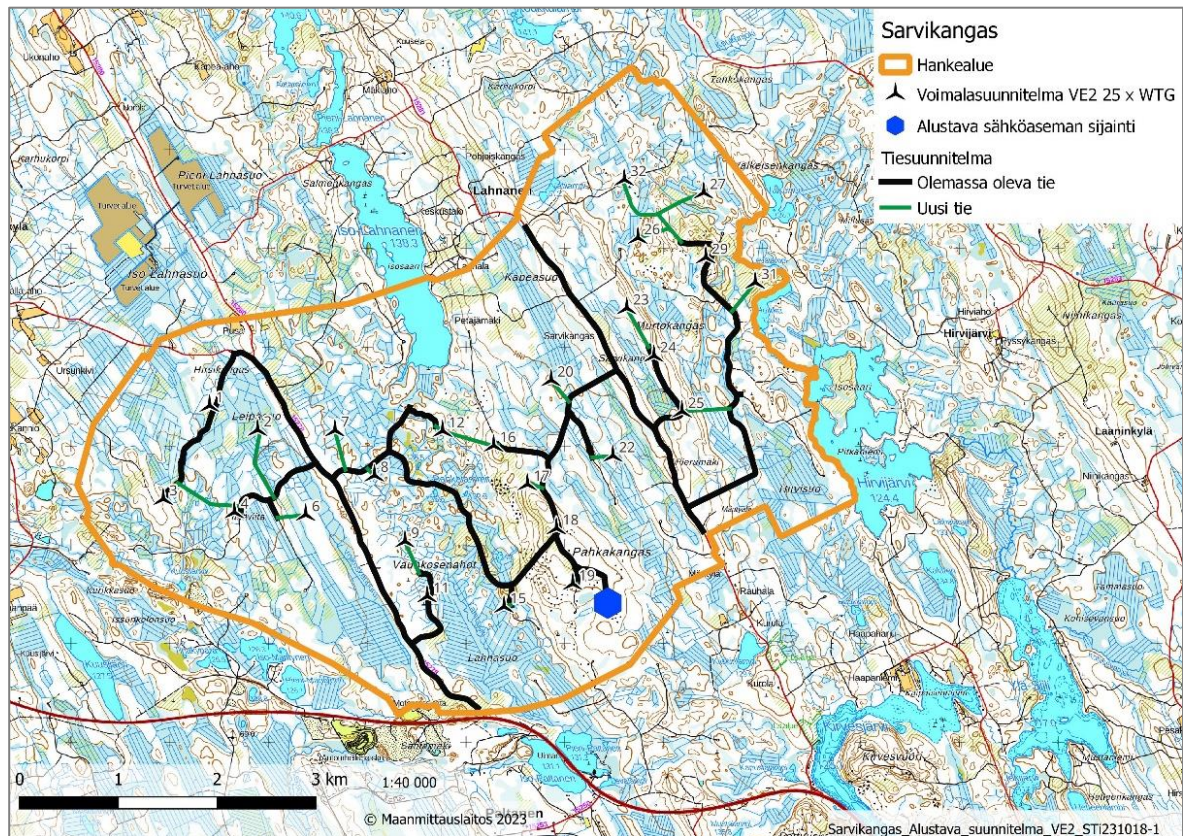
Ehdotuksemme on, että ilmastonmuutoksen vaikutusarvioinnissa keskitytään päästöihin, jotka on vältetty, kun on siirrytty uusiutuvaan energiaan. Tämä on tuulivoimahankkeiden selvästi merkittävämpi vaikutus hiilijalanjälkeen verrattuna, ja se voidaan tuoda keskiöön hiilikädenjälkilaskelmien avulla.

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.

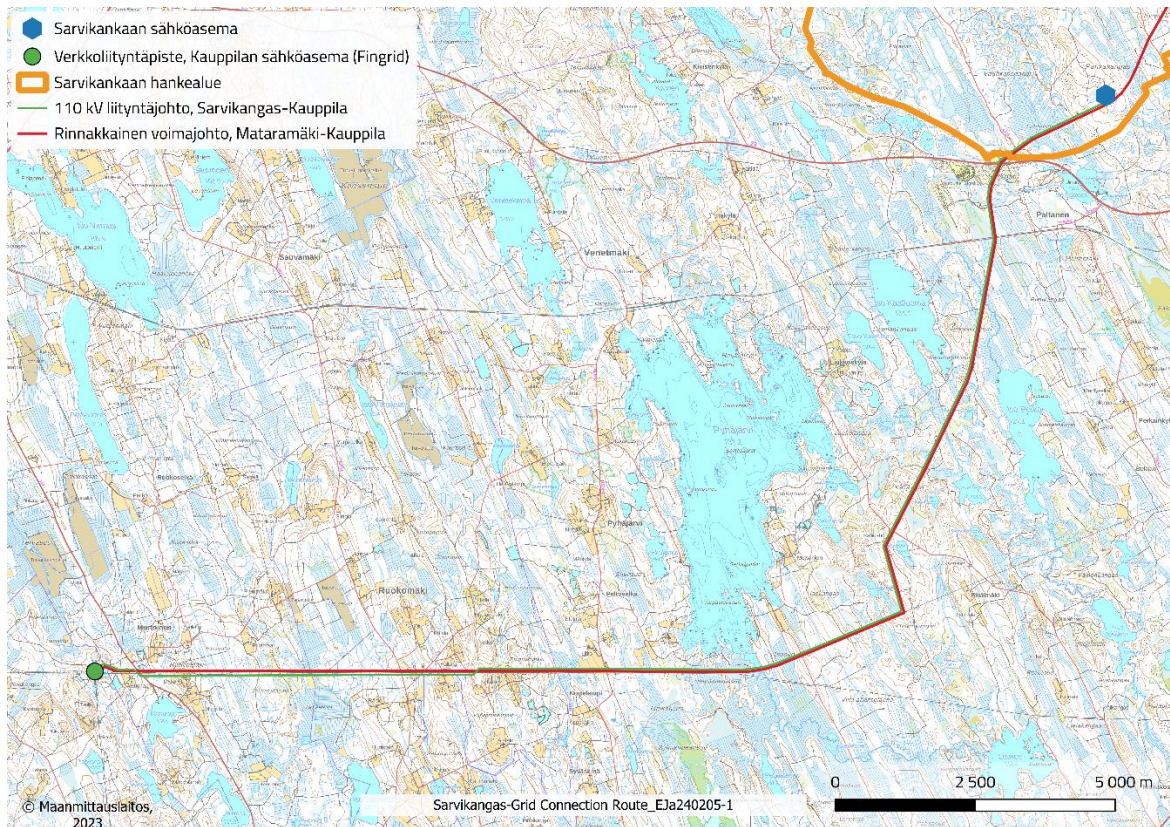
Sarvikankaan tuulivoimalalle on olemassa kaksi eri sijoitussuunnitelmaa; 32 voimalan vaihtoehto VE1 ja 25 voimalan vaihtoehto VE2. Voimala liitetään Fingridin Kauppilan sähkösemaan ilmajohtolla, joka kulkee rinnakkain Fingridin ja Niinimäen tuulivoimapuiston omistamien voimajohtojen kanssa. Sijoitussuunnitelmat ja verkkoliityntäsuunnitelma ovat esitetty alla olevissa kuvissa.



Kuva 1. 32 voimalan sijoitussuunnitelma VE1.



Kuva 2. 25 voimalan sijoitussuunnitelma VE2.



Kuva 3. Voimalinjan reitti ja liityntäpiste

3 HIILIJALANJÄLKI

Koska hiilikädenjälkilaskelmat perustuvat hiilijalanjälkilaskelmiin, arvioidaan ensin Sarvikankaan 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 voimalan (~70–75 %), perustan (~15 %) ja kaapeleiden (~5%) valmistamisesta. Asennuksen (~1 %), käytön (~5 %) ja käytöstä poiston (~1 %) aikaiset päästöt ovat melko pieniä kokonaispäästöihin verrattuna (Vestas, 2023).

Laskennassa käytetyt oletukset ja tulokset on esitetty alla olevissa kaavioissa ja taulukoissa. 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 perustuen (Vestas, 2022), koska näitä pidettiin luotettavimpina nykyaikaisille voimalatyypeille tehtyinä elinkaariarvioina. Tulokset ekstrapoloitiin tässä arvioinnissa käytetylle suuremmalle voimalatyypille. Myös muita lähtöoletuksia mukautettiin suuremmalle voimalatyypille (käyttöikä, kaapelointi, kuljetus, 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 1. Laskennassa käytetyt oletukset

Oletus	VE1 – 32 voimalaa	VE2 – 25 voimalaa
Tuulivoimapuiston elinikä	35 vuotta	35 vuotta
Voimalamäärä	32	25
Voimalan kokonaiskorkeus	270 m	270 m
Roottorin halkaisija	170 m	170 m
Tornin korkeus	185 m	185 m
Tuotanto per voimala	21 000 MWh/vuosi	21 900 MWh/vuosi

Taulukko 2. Tuulivoimaloiden päästöt

Lähde	VE1 - 32 voimalaa		VE2 - 25 voimalaa	
	Prosenttiosuudet	t-CO2	Prosenttiosuudet	t-CO2
Turbiini*	58.8 %	72195	58.6 %	56402
Perustus*	12.9 %	15824	12.8 %	12362
Kaapelointi*	0.4 %	489	0.4 %	431
Sähköasema*	1.6 %	1978	1.6 %	1545
Kuljetus ja tiet	0.8 %	989	0.8 %	773
Toiminta	5.6 %	6923	5.6 %	5408
Käytöstä poisto	0.8 %	989	0.8 %	773
Metsän kaataminen	19.1 %	23 476	19.3 %	18 622
		122 862		96 317
Yhteensä		(174 061 ilman kierrätystä)		(136 341 ilman kierrätystä)

*Mukaan luettuna asennuksen aikaiset päästöt

3.1 VOIMALINJA

Sarvikankaan tuulipuisto liitetään Fingridin Kauppilan sähköasemaan puistoa varten rakennettavalla uudella liityntäjohdolla. Johto rakennetaan Fingridin olemassa olevan sekä Sarvikankaan lähetyvillä olevan toisen hankkeen tulevan liityntäjohton rinnalle. Voimajohtorakentamiselle sopiva käytävä on paikoittain kapea, minkä vuoksi pieniä johto-osuuksia voidaan joutua rakentamaan maakaapelointina. Tässä raportissa oletuksena kuitenkin on, että koko liityntäjohto on rakennettu ilmajohtona. Voimalinjan leveydeksi laskennassa on arvioitu 20 m. Arvio kuvastaa olemassa olevien johtokäytävien leventämistarvetta, kun Sarvikankaan sähkönsiirtolinja rakennetaan olemassa olevan johtokäytävän rinnalle.

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 liityntäjohtoon 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 5. Voimalinjavaihtoehtojen päästöt

	VE1 & VE2
Voimalinjan pituus	23.5 km
Voimalinjan leveys	20 m
Päästöt (t-CO ₂ ekv)	
Materiaalit ja rakentaminen	3 416
Metsän kaataminen	16 698
Yhteensä	20 114

3.2 HIILINIELU

Tuulipuiston rakentaminen edellyttää metsän kaatamista, millä on kielteinen vaikutus hiilitaseeseen ja se tulisi sisällyttää hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmiin. Metsää kaadetaan 110 kV:n sähkölinjan, uusien metsäteiden 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. Alueella metsähakkuiden vuoksi menetetyn biomassan kokonaistilavuuden laskemiseksi on käytetty Metsäkeskuksen paikkatietoaineistoja. Koska aineistossa on kahden vuoden viipymä, on laskentaan lisätty vuosittainen kasvu 7,4 m³/ha vuodesta 2021 (LUKE, 2021). Kuutiometri biomassaa sitoo arviolta 780 kg CO₂-ekv hiilidioksidia (Nordiska ministerrådet, 2017; VTT, 2013). Täten hiilen sidontaan aiheutettu menetys on 4,5 tCO₂-ekv/ha/vuosi vähintään 17-vuotiaan metsän osalta (UPM, 2022). Metsän, jota ei ole hiljattain kaadettu, on arvioitu olevan vähintään 17 vuotta vanha.

3.2.1 TUULIVOIMALOIHIN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Yhden voimalan tarvitsema puuton alue on arviolta 2 ha. Voimala-alueiden lisäksi myös voimaloille johtavat tiet on otettu laskelmissa mukaan. Teiden on arvioitu olevan 6 m leveät.

Taulukko 6. Tuulivoimaloihin liittyvä puunkaato

Oletus	VE1 - 32 voimalaa	VE2 - 25 voimalaa
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Voimalat	64 ha	50 ha
Uudet tiet	4,6 ha	4,4 ha
Poistuva kuutiomäärä	12 324 m ³	9776 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	9 613 t CO ₂ -ekv.	7 626 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	13 863 t CO ₂ -ekv.	10 997 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	23 476 t CO₂-ekv.	18 622 t CO₂-ekv.

3.2.2 VERKKOLIITYNTÄÄN LIITTYVÄ PUUNKAATO

110 kV liityntäjohtoon pituus on noin 23.5 km ja tarvittava puuston poistoa vaativan väylän leveys on 20 m. Oletettu tuulipuiston sähköaseman laitteistoinen tarvitsema pinta-ala on 0.74 ha. Sähköaseman pinta-alan arvioinnissa on huomioitu myös mahdollisen energiavaraston vaatima pinta-ala.

Taulukko 8. Verkkoliityntään liittyvä puunkaato

Oletus	
Käyttöikä	35 vuotta
Kaadettava metsä	47,74 ha
Poistuva kuutiomäärä	9 044 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	7 054 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	9 644 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	16 698 t CO₂-ekv.

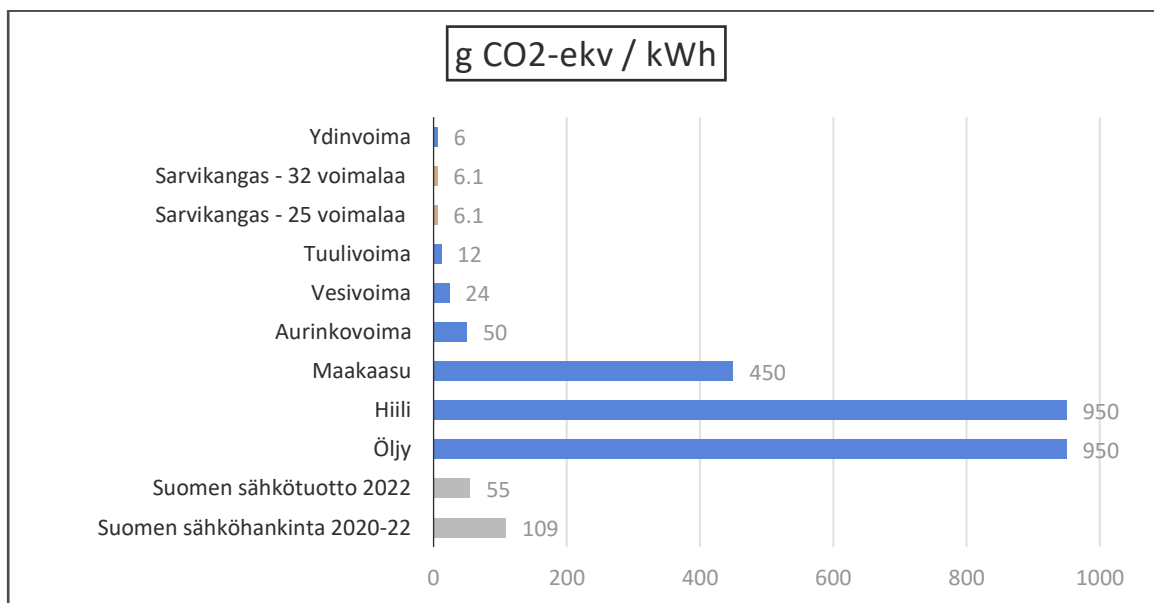
3.3 TULOKSET

Hiilijalanjälkilaskennan tulokset on esitelty tässä luvussa. Eri osien vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen sekä lopulliset tulokset on esitelty alla olevissa taulukoissa. Hankkeen arvioitu kokonaishiilijalanjälki on 6.1 g CO₂-ekv. / kWh, kun kierrätysyhvitykset on huomioitu laskennassa.

Taulukko 9. Hiilidioksidipäästöjen yhteenvedo.

Sarvikangas		
Voimalavariaatio	VE1 - 32 voimalaa	VE2 - 25 voimalaa
Tuulipuiston päästöt (t-CO ₂ ekv)	122 862	96 317
Voimalinjan päästöt (t-CO ₂ ekv)	20 114	20 114
Päästöt yhteensä (t-CO₂ ekv)	142 976	116 431
Tuotanto yhteensä (GWh)	23 520	19 163
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	6.1	6.1

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



Kuva 4. Sähköntuotannon päästöjen vertailu

3.4 VERTAILU TULEVAISUUDEN PÄÄSTÖIHIN SUOMESSA

Taulukon 9 perusteella voidaan Sarvikankaan hiilijalanjälkeä (6.1 g CO₂ ekv. / kWh) verrata Suomen sähköntuotannon päästöihin (55 g CO₂ ekv. / kWh) vuonna 2022 ja tuontisähkön päästöihin (109 g CO₂ ekv. / kWh) vuosina 2020–2022.

Sarvikankaan 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 Sarvikankaan päästöjen arvioidaan olevan vähäisempiä puiston eliniän aikana kuin Suomen sähköntuotannon päästöt yleisesti vastaavana aikana. Ero on kuitenkin pienempi kuin mikäli Sarvikankaan päästöjä verrataan Suomen päästöihin käyttöönottohetkellä. On kuitenkin perusteltua todeta, että Sarvikankaan 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.

4 HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT

Tässä luvussa arvioidaan Sarvikankaan hankkeen hiilikädenjälki. Luvut 4.1–4.4 noudattavat VTT:n hiilikädenjälkioppaassa (VTT, 2021) hahmoteltuja vaiheita.

Hiilikädenjäljen periaatteena on arvioida, kuinka paljon asiakas voi tietyn tuotteen avulla pienentää hiilijalanjälkeään. Ydinkysymys on, *mikä energiantuotantomuoto korvataan tuulivoimahankkeiden sähköntuotannolla ja mikä on vaikutus hiilipäästöihin?*

Tuulivoimaloiden 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 energialähteet.

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

Hiilijalanjälkeä arvioidaan tuulivoimalan koko elinkaaren aikana, tässä tapauksessa 35 vuoden ajan. Tuulivoimalan hiilijalanjälkenä käytetään kappaleen 3 tuloksien keskiarvoa, 6.1 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.

Tässä arvioinnissa oletetaan, että tuulivoima korvaa nykyisen eurooppalaisen energiavalikoiman (European Council, 2022) mukaisesti tuotettua energiaa. Tämä mahdollisesti hieman konservatiivinen oletus tehtiin, jotta hiilikädenjälkeä ei yliarvioitaisi. Näiden osuuksien ja niiden päästöjen arvioidaan olevan (European Commission 2022):

Ydinvoima	22 % osuus	6 g CO ₂ -ekv/kWh
Maakaasu	20 % osuus	450 g CO ₂ -ekv/kWh
Hiili	19 % osuus	950 g CO ₂ -ekv/kWh
Aurinkovoima	8 % osuus	50 g CO ₂ -ekv/kWh
Vesivoima	11 % osuus	24 g CO ₂ -ekv/kWh
Tuulivoima	16 % osuus	12 g CO ₂ -ekv/kWh
Biovoima	4 % osuus	240 g CO ₂ -ekv/kWh

Tuloksena on painotettu keskiarvo 291 g CO₂-ekv/kWh.

Hiilikädenjälki on $291 \text{ g} - 6.1 \text{ g} = 284.9 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$.

5 MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN

Sarvikankaan hankkeen yhteydessä arvioidaan mahdollisuutta sijoittaa alueelle 50 MWh akkuvarasto. Toteutuessaan varasto rakennetaan Sarvikankaan 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, mistä johtuen valmistuksessa käytetyn sähkön päästöt vaikuttavat voimakkaasti akkuvaraston hiilijalanjälkeen. Ruotsalaisen selvityksen (Emilsson E, Dahllöf L 2019) mukaan akkuvaraston valmistuksen kokonaispäästöt ovat 59-119 kg CO₂-eq 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 2 950-5 950 t CO₂-eq.

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 2 360-4 760 t CO₂-eq.

Mikäli oletetaan, että 50 % lataussyklejä tehdään vuodessa 1300 kappaletta, akkuvaraston hyötysuhteeksi 95 % ja, että akustoa ladataan pääasiassa Sarvikankaan omalla tuotannolla, olisivat 50 MWh varaston käytön aiheuttamat päästöt noin 398 t CO₂-eq.

Tällöin Sarvikankaan 50 MWh akkuvaraston kokonaispäästöt olisivat seuraavat:

Taulukko 10. Akkuvaraston hiilidioksidipäästöjen yhteenveto.

Päästölähde	Uusiutuvalla energialla valmistettu akkuvarasto	Pääosin fossiilisella energialla valmistettu akkuvarasto
Valmistus	2 950 t CO ₂ -eq	5 950 t CO ₂ -eq
Akuston vaihto	2 360 t CO ₂ -eq	4 760 t CO ₂ -eq
Käyttö	398 t CO ₂ -eq	398 t CO ₂ -eq
Yhteensä	5 708 t CO ₂ -eq	11 108 t CO ₂ -eq

Kappaleessa 3.3 esitettyihin Sarvikankaan tuulipuiston kokonaispäästöihin verrattuna akkuvaraston rakentaminen lisäisi koko hankkeen päästöjä noin 4-9.5 %, mikä tarkoittaisi, että puiston päästöt olisivat noin 6.3-6.7 g CO₂-ekv/kWh.

6 YHTEENVETO

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Sarvikankaan hankkeen hiilijalanjälki on noin 6.1 g CO₂-ekv. / kWh, kun hiilijalanjälki kivihielelle 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 tuulivoimalan uusiutuvalla energialla. Analyysimme mukaan hankkeen hiilikädenjälki on noin 40-kertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat noin 40 kertaa suuremmat kuin hankkeen kielteiset vaikutukset (voimalan elinkaaren aikana aiheutetut päästöt ja pienentynyt hiilinielu metsähakkuiden vuoksi).

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Sarvikankaan hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 284.9 g CO₂-ekv/kWh. Luvun 4.3 laskelman perusteella Sarvikankaan tuulivoimahankkeen kokoinen voimala vähentää hiilidioksidipäästöjä noin 156 000 – 191 400 tonnilla vuodessa, mikä vastaa sitä, että noin 15 100 – 18 600 suomalaista saavuttaa hiilineutraaliuden. 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 55 g CO₂-ekv. / kWh (Fingrid, 2022). Suomen sähköntuotannon jalanjäljen odotetaan pienenevän entisestään ainakin vuoteen 2035 saakka ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Tuodun sähkön yhdistelmän hiilijalanjälki on 109 g CO₂-ekv. / kWh (laskettu Fingridin vuosien 2020–2022 tietojen perusteella).

Toteutuessaan hankkeen yhteyteen suunniteltu 50 MWh akkuvarasto nostaisi puiston kokonaispäästöjä noin 4–9.5 %.

7 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>.

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 Comission (2022). *Photovoltaic geographical information system*.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

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/>

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

Hybrit (2021). *LKAB och Vattenfall först i världen med vätgasreducerad järnsvamp*
<https://www.hybritdevelopment.se/hybrit-ssab-lkab-och-vattenfall-forst-i-varlden-med-vatgasreducerad-jarnsvamp/>

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, CO₂ 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

Longi (2023). *Hi-Mo 6 Scientist LR5-72HTH 585~600M*.

https://static.longi.com/24_L_Gi_LE_PM_T_PMD_059_F133_LR_5_72_HTH_585_600_M_35_35_and_15_Frame_Scientist_DG_V17_ce9f33ceb3.pdf

LUKE (2021) Metsien kasvuvauhti hidastui, mutta puuston tilavuus suureni

<https://www.luke.fi/fi/uutiset/metsien-kasvuvauhti-hidastui-mutta-puuston-tilavuus-suureni>

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>

Sitra (2018). *Keskivertosuomalaisen Hiilijalanjälki*. The Finnish Innovation Fund Sitra.

<https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>

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

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/>

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>