



ETHA WIND



HIILIKÄDENJÄLKILASKENTA TAKAKANGAS-PIHLAJAHARJUN HANKKEELLE

SISÄLLYS

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | YHTEENVETO | 3 |
| 2 | TAUSTA..... | 4 |
| 3 | HIILIJALANJÄLKI..... | 5 |
| 3.1 | Tausta..... | 5 |
| 3.2 | Hiilinielu..... | 6 |
| 3.3 | Tulokset..... | 7 |
| 4 | HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT | 9 |
| 4.1 | Soveltamisalan, asiakkaan, lähtötason ja potentiaalisten kädenjälkeen vaikuttavien tekijöiden tunnistaminen | 9 |
| 4.2 | Käytetyn yksikön, järjestelmän rajojen ja tarvittavan datan määrittäminen | 10 |
| 4.3 | Hiilikädenjäljen laskeminen | 10 |
| 4.4 | Tulosten kriittinen tarkastelu ja niistä viestiminen..... | 11 |
| 5 | YHTEENVETO | 12 |
| 6 | LÄHTEET | 13 |

VERSIOHISTORIA

| Versio | Tekijä, pvm. | Tarkastaja | Hyväksyjä | Lyhyt kuvaus |
|--------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|
| Ver 1 | Christian Granlund 10.6.2022 | Nina Nurmela 10.6.2022 | Jukka Rönnlund 10.6.2022 | Hiilikädenjälki- ja hiilijalanjälkilaskennat tuulivoimahankkeelle. |
| Rev1 | Christian Granlund 19.8.2022 | Sonja Telkki 19.8.2022 | Sonja Telkki 19.8.2022 | Muutama tarkennus ELY:n kommenttien perusteella. |
| Rev2 | Christian Granlund 4.8.2023 | Sonja Telkki 07.08.2023 | Sonja Telkki 07.08.2023 | Hiilikädenjälki- ja hiilijalanjälkilaskennat kaavaehdotuksen sijoitussuunnitelmalle. |

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 hiilidioksidiekvivalenteina 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:

Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuiston hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkilaskennat. Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuiston hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkilaskennat ovat osa projektin ympäristövaikutusten arviointia.

Työmenetelmät:

Hiilikädenjälki- ja hiilijalanjälkilaskennat 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:

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimahankkeen hiilijalanjälki on noin 7 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 Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimahankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 463 g CO₂-ekv/kWh. Tämän 12 voimalan kokoisen hankkeen hiilikädenjälki vastaa sitä, että 15300 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 2040 mennessä, verrattuna vuoden 1990 tasoihin (Ympäristöministeriö, 2022).

Tuulivoimalla 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, tai tässä tapauksessa tuulivoimahankkeen, kielteisiin vaikutuksiin. Tuulivoimahankkeella on pieni negatiivinen vaikutus hiilitaseeseen, mikä johtuu pääasiassa voimalan valmistusprosessin aikaisista päästöistä, mutta myös kuljetuksista ja pienenevästä hiilinielusta, kun osa hankealueen metsästä kaadetaan. Tuulivoiman kokonaispäästöt (hiilijalanjälki) ovat tällä hetkellä alle 10 g CO₂-ekv/kWh tuotettua energiaa (DW, 2021).

Ehdotuksemme on kuitenkin, 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.

3 HIILIJALANJÄLKI

3.1 TAUSTA

Koska hiilikädenjälkilaskelmat perustuvat hiilijalanjälkilaskelmiin, arvioidaan ensin Takakangas-Pihlajaharjun 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 verrattuna kokonaispäästöihin (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 nykyaikaiselle voimalatyypille tehtyinä elinkaariarviointeina. Tulokset ekstrapoloitiin tässä arvioinnissa käytetylle suuremmalle voimalatyypille. Myös muita lähtöoletuksia mukautettiin suuremmalle voimalatyypille (käyttöikä, kaapelointi, kuljetus, hiilinielun menetys jne.). Voimaloiden oletettu käyttöikä sekä kierrätyksestä tehdyt 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 |
|---------------------------|------------------|
| Tuulivoimapuiston elinikä | 35 vuotta |
| Voimalamäärä | 12 |
| Voimalan kokonaiskorkeus | 295 m |
| Roottorin halkaisija | 190 m |
| Tornin korkeus | 200 m |
| Tuotanto per voimala | 28 500 MWh/vuosi |

3.2 HIILINIELU

Tuulivoimapuiston rakentaminen edellyttää metsän kaatamista, millä on kielteinen vaikutus hiilitaseeseen ja joka tulisi sisällyttää hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmiin. Metsää kaadetaan 110 kV:n sähkölinjan ja uusien metsäteiden rakentamiseksi, sekä voimaloiden sijaintien 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 metsäkaadon vuoksi menetetyt hiilivaraston vaikutus sekä menetetty hiilinielu, kun metsää ei kasva seuraavan 35 vuoden ajan.

Alueella metsähakkuiden vuoksi menetetyt biomassan kokonaistilavuuden laskemiseksi on käytetty LUKE:n paikkatietoaineistoa (LUKE, 2021b). Pinta-ala oletukset on laskettu paikkatieto-ohjelmistolla tuulivoimapuiston sijoitussuunnitelman, tiesuunnittelun ja sähköverkkoliitynnän perusteella. Koska aineistossa on kahden vuoden viipymä, on laskentaan lisätty vuosittainen kasvu 7,4 m³/ha vuodesta 2021 (LUKE, 2021a). Kuutiometri biomassaa sitoo arviolta 780 kg CO₂-ekv hiilidioksidia (Nordiska ministerrådet, 2017; VTT, 2013).

Poistuvan biomassan lisäksi, myös hiilinielun menetys on huomioitava, koska projekti estää osittain puuston kasvua alueella projektin eliniän aikana. Laskennassa on käytetty yllä mainitut paikkatiedot, tiedot vuosittaisesta kasvusta ja hiilidioksidien sitoutumisesta. Hiilivaraston pieni kasvu on huomioitu käyttövaiheen aikana, sillä kasvillisuuden annetaan jonkin verran palata takaisin 110 kV:n sähkölinjalla. Hankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä projektille arvioitiin kolme erilaista voimajohtoreittivaihtoehtoa. Tässä laskennassa on käytetty arviointimenettelyn pisintä vaihtoehtoa, joka toteutettaisiin ilmajohtona.

Taulukko 2. Laskennassa käytetyt oletukset

| Oletus | 12 voimalaa |
|---|-------------------------------|
| Käyttöikä | 35 vuotta |
| Voimalat | 24 ha kaadettava metsä |
| Uudet huoltotiet | 3,6 ha kaadettava metsä |
| Uudet voimajohdot, 110 kV | 90,8 ha kaadettava metsä |
| Poistuva kuutiomäärä | 14 139 m ³ |
| Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama | 11028 t CO ₂ -ekv. |

| | |
|--|------------------------------------|
| Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama | 12929 t CO ₂ -ekv. |
| Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v | 23958 t CO₂-ekv. |

3.3 TULOKSET

Hiilijalanjälkilaskennan tulokset on esitelty tässä luvussa. Eri osien vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen on esitelty alla olevassa taulukossa. Voimalan, perustuksen ja kaapeloinnin valmistus vastaavat valtaosasta hankkeen elinkaaren aikaisista päästöistä.

Taulukko 3. Prosenttiosuudet päästöistä

| | 12 WTG |
|---------------------|--------|
| Voimala* | 51 % |
| Perustukset* | 8 % |
| Kaapelointi* | 4 % |
| Sähköasema* | 1 % |
| Kuljetus ja tiet | 1 % |
| Käyttövaihe | 5 % |
| Käytöstä poisto | 1 % |
| Hiilinielun menetys | 28 % |

**Mukaan luettuna asennuksen aikaiset päästöt*

Lopulliset tulokset on esitelty alla olevassa taulukossa. Arvioitu hiilijalanjälki on 7,1 g CO₂-ekv. / kWh, kun kierrätysyhvitykset on huomioitu laskennassa. Oletetun 35 vuoden käyttöiän vuoksi päästöt ovat suurin pirtein samalla tasolla kuin Vestaksen (2023) ja UBA:n (2021) esittämät arviot 6,2–9 g / kWh-ekv. päästöistä, vaikka metsähakkuista johtuva hiilinielun menetys on laskentaan lisätty.

Taulukko 4. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto, Takakangas-Pihlajaharjun elinkaariarviointi

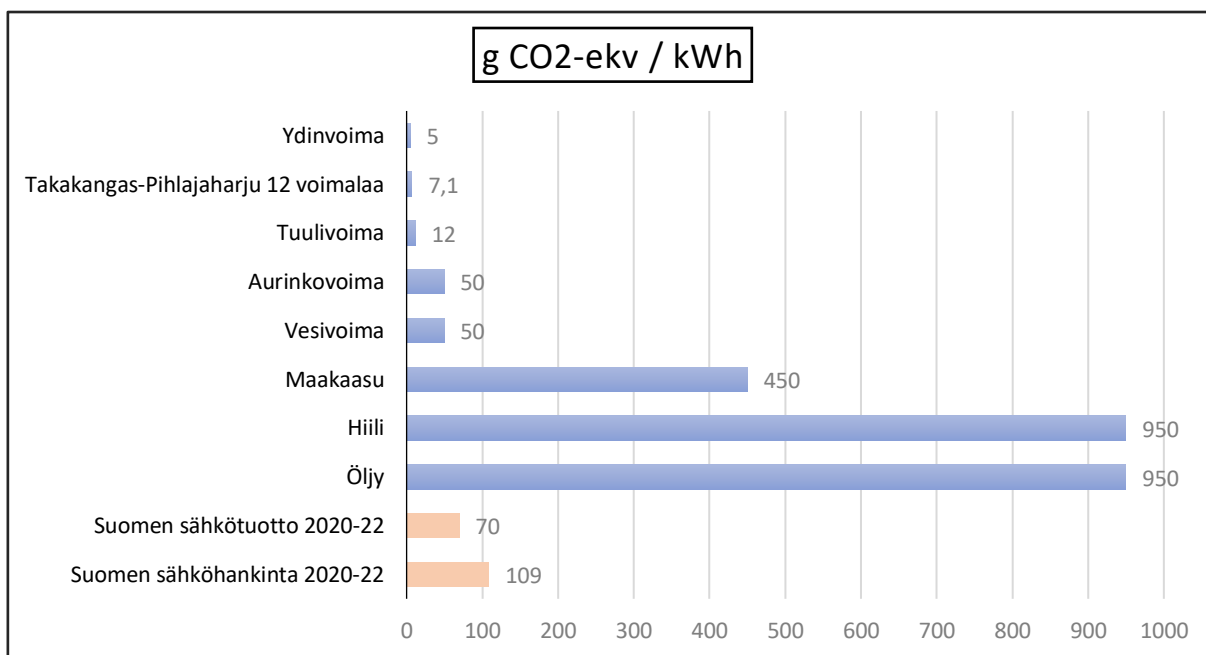
| Vaihe | 12 WTG |
|--|---|
| Rakentaminen* (t CO ₂ -ekv.) | 55 456 (90 800 ilman kierrätysyhvitystä) |
| Käyttövaihe** (t CO ₂ -ekv.) | 4 529 |
| Käytöstä poisto** (t CO ₂ -ekv.) | 604 |

| | |
|---|---|
| Hiilivaraston ja -nielun menetys (t CO ₂ -ekv.) | 23 958 |
| Yhteensä (t CO ₂ -ekv.) | 84547 (119 891 ilman kierrätysyhvitystä) |
| Arvioitu tuotanto (MWh, 35 vuoden aikana) | 11 970 000 |
| g CO ₂ -ekv. / kWh | 7,1 (10,0 ilman kierrätysyhvitystä) |

**Mukaan luettuna työkoneiden, perustamisen ja kuljetusten päästöt*

***Mukaan luettuna työkoneiden ja kuljetusten päästöt*

Alla olevassa kaaviossa on verrattu Takakangas-Pihlajaharjun hankkeen päästöjä muiden energiantuotantomuotojen tyypillisiin päästöihin. Tietolähteet ovat UNECE (2021) ja Fingrid (2022).



Kuva 1. Sähkön tuotannon päästöjen vertailu

4 HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT

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

4.1 SOVELTAMISALAN, ASIAKKAAN, LÄHTÖTASON JA POTENTIAALISTEN KÄDENJÄLKEEN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN TUNNISTAMINEN

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

Tuulipuistojen tuotanto korvaa tuontisähköä (tätä pidetään realistisimpana skenaariona). Suomen pienempi tuontitarve auttaa pienentämään Euroopan energialähteiden yhdistelmän hiilijalanjälkeä. Tämä voi tapahtua kahdella eri tavalla:

- a) Suomen pienempi tuontitarve tarkoittaa sitä, että uusiutuva energia, joka olisi tuotu Suomeen, voidaan käyttää muissa maissa, mikä pienentää näiden maiden hiilijalanjälkeä.
- b) Vaihtoehtoisesti, kun Suomen sähköntuonnin tarve on pienempi, Suomeen uusiutumattomaa energiaa vievät maat voivat vähentää uusiutumattoman energian tuotantoaan, mikä jälleen pienentää viejämaiden hiilijalanjälkeä.

Sekä vaihtoehtoissa a että b korvatut energialähteet ovat pääasiassa kivihilli, maakaasu, ydinvoima, öljy ja turve. Tämä on järkevä oletus, sillä EU-maat pyrkivät saavuttamaan EU:n asettamat tavoitteet ilmastoneutraaliudesta. Laskennan oletusten yhteenveto on alla.

- Soveltamisala: Sähköntuotanto tuulivoimapuistosta.
- Asiakas: Suomalaiset kuluttajat ja yritykset, epäsuorasti myös eurooppalaiset kuluttajat ja yritykset.

- Lähtötaso: Lähtötaso perustuu Suomen ja Euroopan nykyiseen sähköntuotantotilanteeseen. Koska tuulivoima korvaa vain ei-toivotut energialähteet, raportin lähtötason olettamuksena on, että 35 % korvatusista energiasta tulee öljystä, turpeesta ja hiilestä, 35 % tulee ydinvoimasta ja 30 % maakaasusta.
- Kädenjälkeen vaikuttavat tekijät: Laskelmien kädenjälki on laskettu perustuen lähtötasoratkaisun hiilijalanjälkeen, josta on vähennetty tuulivoimapuiston hiilijalanjälki.

4.2 KÄYTETYN YKSIKÖN, JÄRJESTELMÄN RAJOJEN JA TARVITTAVAN DATAN MÄÄRITTÄMINEN

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

Suomi on osa Euroopan yhteisiä sähkömarkkinoita, joilla sähköä kaupataan Pohjoismaiden välillä sekä myös Pohjoismaista muualle Eurooppaan. Yhteistä sähkömarkkinajärjestelmää ajatellen voidaan ottaa huomioon esimerkki, jossa tuulivoiman lisääntymisestä johtuva sähköntuotannon kasvu vähentää Suomen tarvetta tuoda sähköä Ruotsista. Tämän seurauksena Ruotsi voi viedä enemmän vihreää energiaa Puolaan ja Saksaan, mikä vähentää Puolan ja Saksan riippuvuutta hiilivoimasta. Tämä myönteinen vaikutus otetaan huomioon hiilikädenjälkilaskennassa.

4.3 HIILIKÄDENJÄLJEN LASKEMINEN

Hiilijalanjälkeä arvioidaan tuulivoimapuiston koko elinkaaren aikana, tässä tapauksessa 35 vuoden ajan (vuosina 2022–2057). Tuulivoimapuiston hiilijalanjäljeksi lasketaan 7 g CO₂-ekv/kWh tuotettua energiaa (luku 3).

Korvattu sähköntuotanto koostuu uusiutuvan energian ja uusiutumattoman energian yhdistelmästä. Suomen pienempi tuontitarve tarkoittaa sitä, että uusiutuva energia, joka olisi viety Suomeen, voidaan käyttää muissa maissa, kun taas ei-toivotut energialähteet voidaan vaihteittain poistaa käytöstä näissä maissa. Korvatut energialähteet ovat pääasiassa öljy, turve, kivihiili, ydinvoima ja maakaasu. Näiden osuuksien ja niiden päästöjen (UNECE 2021) arvioidaan olevan:

| | | |
|----------------------|------------|--------------------------------|
| Öljy, turve ja hiili | 35 % osuus | 950 g CO ₂ -ekv/kWh |
| Ydinvoima | 35 % osuus | 6 g CO ₂ -ekv/kWh |
| Maakaasu | 30 % osuus | 450 g CO ₂ -ekv/kWh |

Tuloksena on painotettu keskiarvo 470 g CO₂-ekv/kWh.

Hiilikädenjälki on $470\text{ g} - 7\text{ g} = 463\text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$.

4.4 TULOSTEN KRIITTINEN TARKASTELU JA NIISTÄ VIESTIMINEN

Suomen hiilijalanjälki on 10,4 tonnia CO₂-ekv. per henkilö/vuosi (SYKE 2023). Luvun 4.3 laskelman perusteella Takakangas-Pihlajaharjun 12 tuulivoimalan kokoinen tuulivoimapuisto vähentää hiilidioksidipäästöjä noin 158 000 tonnilla vuodessa. Tämä vastaisi samaa, jos 15 300 suomalaista saavuttaisi hiilineutraaliuden.

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.

Tuulivoiman hiilijalanjälkeä voidaan verrata myös Suomen sähköntuotannon hiilijalanjälkeen, joka on tällä hetkellä noin 70 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). Näitä Suomen sähköyhdistelmään liittyviä lukuja ei kuitenkaan oteta huomioon kädenjälkilaskennassa, koska tuulivoima korvaa ei-toivotut energialähteet, ei keskimääräistä sähköyhdistelmää.

5 YHTEENVETO

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimahankkeen hiilijalanjälki on noin 7 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 tuulivoimapuistojen uusiutuvalla energialla. Analyysimme mukaan suomalaisten tuulivoimapuistohankkeiden hiilikädenjälki on noin 50 kertaa suurempi kuin hiilijalanjälki. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat 50 kertaa suuremmat kuin tuulivoimapuistohankkeen kielteiset vaikutukset (tuulivoimapuiston elinkaaren aikana aiheutetut päästöt ja pienentynyt hiilinielu metsähakkuiden vuoksi).

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimahankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 463 g CO₂-ekv/kWh. Tämän 12 voimalan kokoisen hankkeen hiilikädenjälki vastaa sitä, että 15 300 suomalaista saavuttaa hiilineutraaliuden. Tuulivoimarakentaminen tukee vahvasti Suomen ja EU:n ilmastotavoitteita.

6 LÄHTEET

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

Fingrid (2022). *Sähkötuotannon CO₂-päästöarvio*.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

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/>

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

LUKE (2021b). <http://kartta.luke.fi/opendata/valinta-en>

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

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

SYKE (2023). *Kaikkien Suomen kuntien ja maakuntien kulutusperäiset päästöt laskettu ensimmäistä kertaa*. [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Kaikkien_Suomen_kuntien_ja_maakuntien_ku\(64867\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Kaikkien_Suomen_kuntien_ja_maakuntien_ku(64867))

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>

Vestas (2022). *Life Cycle Assessment of Electricity from an Onshore V150 4.2MW wind plant*.
https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V150-4.5MW%20Wind%20Plant_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 (2021). *Euroopan unionin ilmastopolitiikka*.
<https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

Ympäristöministeriö (2022). *Suomen kansallinen ilmasto-politiikka*.
<https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka>