



HIILIKÄDENJÄLKILASKENTA KVARNBACKENIN HYBRIDIHANKKEELLE

23.08.2024

SISÄLLYSLUETTELO

1	YHTEENVETO	4
2	TAUSTA	5
3	HIILIJALANJÄLKI	7
3.1	Tuulivoiman hiilijalanjälki	7
3.2	Aurinkovoiman hiilijalanjälki	9
3.3	Voimalinja	10
3.4	Hiilinielu	10
3.4.1	Tuulivoimaloihin liittyvä puunkaato	11
3.4.2	Aurinkovoimaloihin liittyvä puunkaato	12
3.4.3	Verkkoliityntään liittyvä puunkaato	12
3.5	Tulokset	13
3.6	Vertailu tulevaisuuden päästöihin Suomessa	14
4	HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT	15
4.1	Hiilikädenjäljen laskeminen	16
4.2	Tulosten kriittinen tarkastelu ja tulkinta	16
5	MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN	18
6	YHTEENVETO	19
7	LÄHTEET	21

VASTUUVAPAAUSLAUSEKE

Tämä hiilikädenjälkiraportti on laadittu kahdella kieliversiolla: ruotsiksi ja suomeksi. Suurta huolellisuutta on noudatettu varmistettaessa, että molemmat versiot ovat johdonmukaisia ja tarkkoja. Mahdollisissa eroavaisuuksissa tai tulkintaeroissa näiden kahden version välillä ruotsinkielinen versio on kuitenkin määräävä ja sitä pidetään virallisena tekstinä kaikissa tämän raportin perusteella tehtävissä päätöksissä ja toimenpiteissä.

VERSIONHISTORIA

Versio	Tekijä	Tarkastettu	Kääntäjä	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1	Christian Granlund, 2.8.2024	Einari Jänisoja, 23.8.2024	Ilona Rämä, 08.08.2024	Einari Jänisoja, 23.8.2024	Hiili- ja ilmastokädenjälkilaskenta Kvarnbackenin 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.*
- Hybridihanke** *Hanke, joka yhdistää sekä tuulivoiman että aurinkovoiman toteuttamisen samalla hankealueella.*

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Laskea Kvarnbackenin hankkeen hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkilaskennat. Kvarnbackenin ilmastokädenjälkilaskelmat ovat osa hankkeen osayleiskaavoitusta. Tämä versio raportista on tehty Kvarnbackenin kaavaehdotusta varten.

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 Kvarnbackenin hiilijalanjälki on noin 11 g CO₂-ekv. / kWh, kun taas kivihiilen hiilijalanjälki on noin 1 000 g CO₂-ekv. / kWh ja maakaasulla 400-500 CO₂-ekv. / kWh (UNECE, 2021).

Hiilikädenjälkianalysimme mukaan Kvarnbackenin hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 240 g CO₂-ekv/kWh. Tuuli- ja aurinkovoimarakentaminen tukee vahvasti Suomen ja EU:n ilmastotavoitteita.

2 TAUSTA

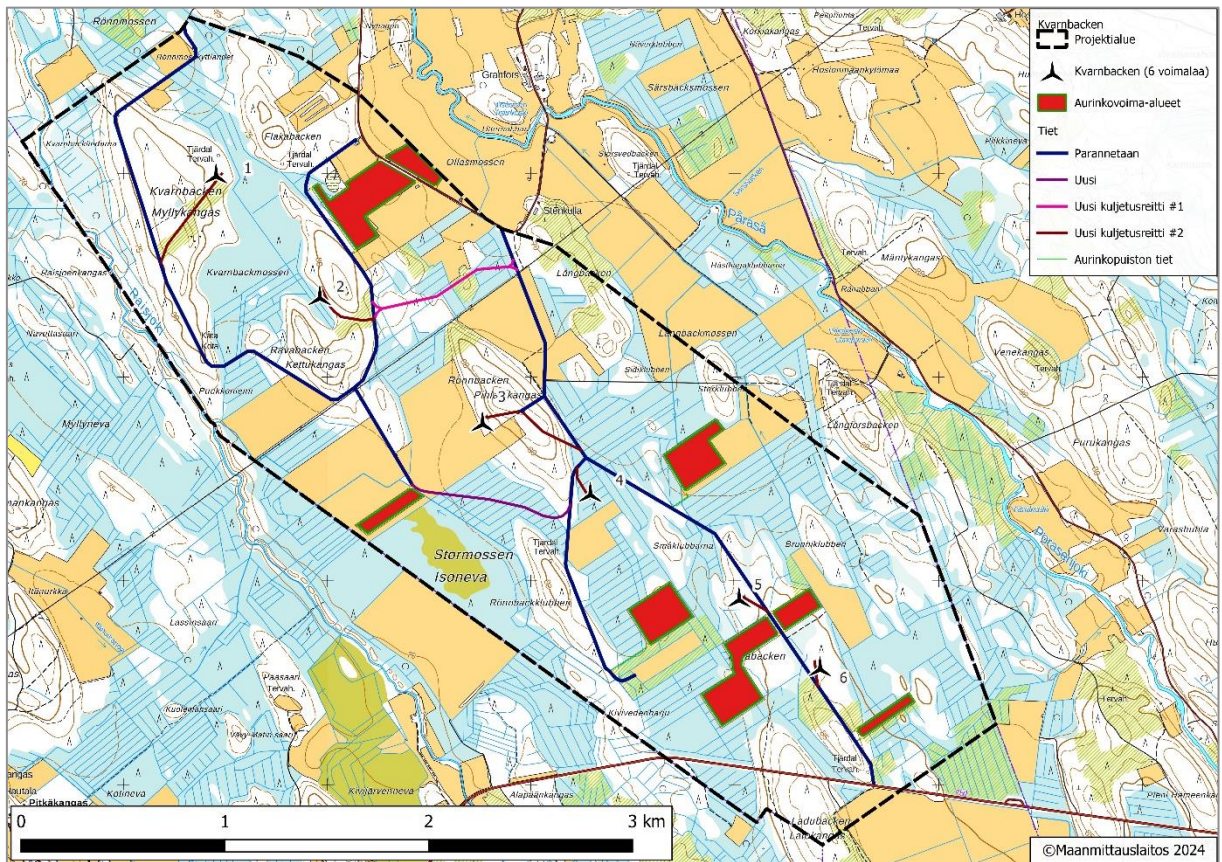
Euroopan komissio on asettanut tavoitteekseen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä, verrattuna vuoden 1990 tasoihin. Tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraalius EU:ssa vuoteen 2050 mennessä (Ympäristöministeriö, 2021). EU:n tavoitteiden lisäksi Suomi on asettanut omat kansalliset 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.

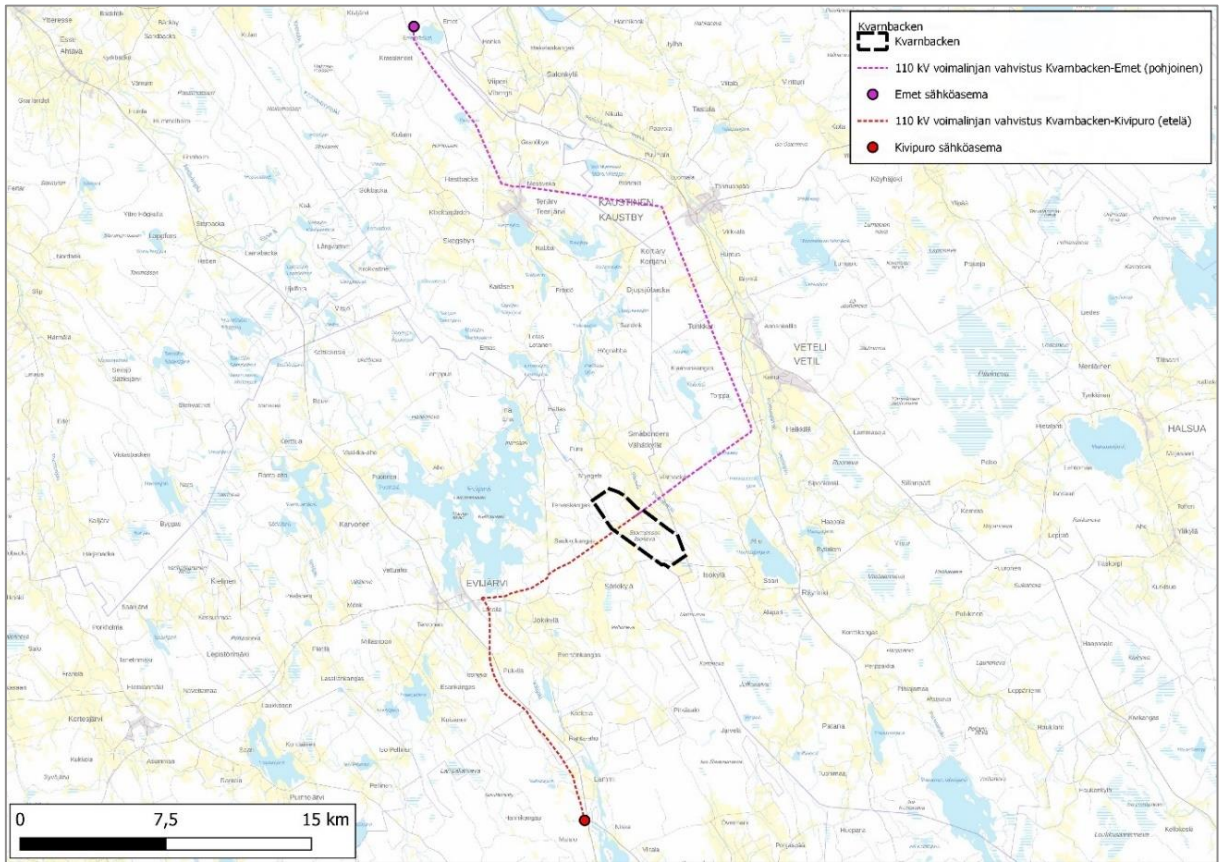
Tuuli- ja aurinkovoimahankkeiden vaikutusta ilmastonmuutokseen on perinteisesti arvioitu tekemällä hankkeen hiilijalanjäljelle elinkaariarviointi (Life cycle assessment, LCA). Vaikka hiilijalanjälkimenetelmä on yleisesti ottaen perusta ilmastonmuutoksen vaikutuslaskelmissa, tämä menetelmä keskittyy tuotteen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

Ehdotamme kuitenkin, että parhaan 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.



Kuva 2. Sijoittelu suunnitelma kuudelle voimalalle.



Kuva 3. Vaihtoehdot voimansiirtolinjalle.

3 HIILIJALANJÄLKI

Koska hiilikädenjälkilaskelmat perustuvat hiilijalanjälkilaskelmiin, arvioidaan ensin Kvarnbackenin 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). Käyttöään 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 elinkaariarvioineina. Tulokset ekstrapoloitiin tässä arvioinnissa käytetyille suuremmalle voimalatyypille. Myös muita lähtöoletuksia mukautettiin suuremmalle voimalatyypille (käyttöikä, kaapelointi, kuljetus, hiilinielun menetys jne.). Voimaloiden oletettu käyttöikä sekä kierrätyksestä tehdyt oletukset (kierrätysyhvitysten käyttö laskennassa) vaikuttavat merkittävästi hankkeen hiilijalanjälkeen (\pm 2–3 g CO₂-ekv. / kWh). Hiilijalanjälki raportoidaan sekä kierrätysyhvitysten kanssa, että ilman niitä.

Taulukko 1. Laskennassa käytetyt oletukset

Oletus	6 voimalaa
Tuulivoimapuiston elinikä	35 vuotta
Voimalamäärä	6
Voimalan kokonaiskorkeus	300 m
Roottorin halkaisija	180 m
Tornin korkeus	210 m
Tuotanto per voimala	26 000 MWh/vuosi

Taulukko 2. Tuulivoimaloiden päästöt

Lähde	Prosenttiosuudet	6 voimalaa t-CO ₂
Turbiini*	63 %	16 069
Perustus*	14 %	3 522
Kaapelointi*	2 %	470
Sähköasema*	2 %	440
Kuljetus ja tiet	1 %	220
Toiminta	6 %	1541
Käytöstä poisto	1 %	220
Metsän kaataminen	12 %	3 123
Yhteensä		25 605 (37 186 ilman kierrätystä)

**Sisältää asennuksen aikaiset päästöt*

3.2 AURINKOVOIMAN HIILIJALANJÄLKI

Kvarnbackenin aurinkopaneeleille soveltuva alue on 31,8 hehtaaria. Tämä alue on jaettu kahdeksaan pienempään alueeseen. Aurinkopuiston laajuuden vuoksi enimmäiskapasiteetin oletetaan olevan 25,7 MWp (0,81 MWp/ha). Aurinkopuiston tekniset tiedot on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 3. Aurinkopuiston erittely

Määritelmä	Arvo
Paneeliteho	25,7 MWp
Paneelien lukumäärä	38 880
Käyttöikä	35 vuotta
Ensimmäisen vuoden tuotanto	22 500 MWh
Vuosittainen tehon heikkeneminen	0,4 %

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 (Trinasolar, 2021). Säteilydatana on käytetty Euroopan komission aurinkosäteilyn paikkatietojärjestelmää (PVGIS, European Commission, 2022). Päästöt on arvioitu paikkatietoaineistojen ja useiden lähteiden perusteella (Müller et al. (2021), Trina (2021), UNECE (2021)).

Taulukko 4. Aurinkopuiston päästöt (UNECE, 2021)

Päästön lähde	Prosenttiosuus	Puiston päästöt, VE1/VE2 (t-CO ₂ -ekv)
Aurinkopaneelit*	65 %	18 981
Rakentaminen**	10 %	2 855
Invertterit*	5 %	1 378
Toiminta ja huolto	1 %	394
Käytöstä poisto	1 %	259
Metsän kaataminen	18 %	5 305
Yhteensä		29 173 (33 946 ilman kierrätystä)

* Mukaan lukien kuljetus

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

Kuten kappaleessa 3.1. mainittiin tuulivoiman osalta, päästöjen määrä kasvaa, mikäli voimalaa ei kierrätetä käytöstä poiston jälkeen (Dodd et al., 2020).

3.3 VOIMALINJA

Alueella on olemassa oleva sähkölinja, mutta puistoon on rakennettava myös uusi sähkölinja. Tässä hankkeessa on yhteensä neljä eri vaihtoehtoa voimalinjan rakentamiseksi. Vanha voimajohto voidaan joko purkaa ja rakentaa uusi johto samalle paikalle, tai uusi johto voidaan rakentaa vanhan rinnalle. Uusi linja voidaan linjata joko pohjoiseen tai etelään.

Päästöt on laskettu Vestasin elinkaariarvioinnin perusteella (Vestas, 2023). Vanhan voimajohtojon purkamisesta ja uuden linjan rakentamisesta aiheutuvien päästöjen odotetaan olevan vertailukelpoisia, ja niiden arvioidaan olevan noin 5 prosenttia materiaaliin ja rakentamiseen liittyvistä päästöistä (Harrison et al., 2010). Voimajohtovaihtoehdot on eritelty jäljempänä olevassa taulukossa. Käytöstä poistosta aiheutuvia päästöjä ei ole otettu huomioon, koska voimajohtoa käytetään edelleen myös tuulipuiston käytöstä poistamisen jälkeen.

Taulukko 5. Voimalinjavaihtoehtojen päästöt

	Pohjoinen (Nykyisen tilalla)	Pohjoinen (Nykyisen rinnalla)	Etelä (Nykyisen tilalla)	Etelä (Nykyisen rinnalla)
Voimalinjan pituus	39 km	39 km	23 km	23 km
Voimalinjan koko leveys	34 m	47 m	34 m	47 m
Päästöt (t-CO2 ekv)				
Materiaalit ja rakentaminen	1 252	1 252	738	738
Käytöstäpoisto	63	0	37	0
Metsän kaataminen	5032	13 216	3078	8097
Yhteensä	6 347	14 468	3 853	8 835

3.4 HIILINIELU

Hybridipuiston rakentaminen edellyttää metsän kaatamista, millä on kielteinen vaikutus hiilitaseeseen ja se tulisi sisällyttää hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmiin. Metsää kaadetaan

110 kV:n sähkölinjan, uusien metsäteiden, aurinkopaneelien ja turbiinipaikkojen 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 menetetyt 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.

Luonnonvarakeskus Luken paikkatietoaineistoa (LUKE, 2021b) on käytetty metsäkadon aiheuttaman biomassahävikin kokonaismäärän laskemiseen alueella. Koska aineistossa on kolmen vuoden viipymä, on laskentaan lisätty vuosittainen kasvu 5,8 m³/ha vuodesta 2021 (LUKE, 2021). Kuutiometri biomassaa sitoo arviolta 780 kg CO₂-ekv hiilidioksidia (Pohjoismainen ministerineuvosto, 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.

3.4.1 TUULIVOIMALOIHIN LIITTYVÄ PUUNKAATO

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

Taulukko 6. Tuulivoimaloihin liittyvä puunkaato

Oletus	6 voimalaa
Käyttöikä	35 vuotta
Voimalat	12 ha
Uudet tiet	1,4 ha
Poistuva kuutiomäärä	1 380 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	1 077 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	2 047 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	3 123 t CO₂-ekv.

3.4.2 AURINKOVOIMALOIHIIN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Suunnitellusta 49,1 hehtaarin suuruisesta aurinkopuistosta 29 hehtaaria soveltuu metsän kasvattamiseen, koska merkittävä osa alueesta on maatalouskäytössä. 49,1 hehtaariin sisältyvät aurinkopuistoa ympäröivät puskurialueet, joilla kasvillisuus pidetään matalana (pelkkä paneelien pinta-ala on 31,8 hehtaaria). Suuri osa jäljelle jäävistä metsistä on hiljattain hakattu, minkä seurauksena kokonaisbiomassa on melko vähäinen, 1884 m³. Nämä alueet sijaitsevat pääasiassa nykyisten teiden vieressä. Kahden uuden tien (300 m) rakentaminen on otettu huomioon laskelmissa.

Taulukko 7. Aurinkovoimaloihin liittyvä puunkaato.

Oletus	25,7 MWp aurinkopuisto
Käyttöikä	35 vuotta
Puiston kokonaispinta-ala	49,1 ha
Metsän kasvuun soveltuva alue	29,0 ha
Poistuva kuutiomäärä	1884 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	1489 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	3816 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	5305 t CO₂-ekv.

3.4.3 VERKKOLIITYNTÄÄN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Seuraavaksi on laskettu metsähakkuiden ilmastovaikutukset eri voimajohtovaihtoehtojen osalta. Uusi 110 kV:n voimajohto on 8 metriä leveämpi, kuin nykyinen vanha voimajohto. Tämän levennyksen vuoksi tarvittavat hakkuut on huomioitu taulukossa 8a. Nykyisen ja uuden voimajohdon välinen etäisyys on 21 m (Fingrid, 2017). Tämä on otettu huomioon taulukon 8b laskelmissa.

Taulukko 8a. Metsien hakkuut nykyisen voimajohdon tilalle rakennettavalle voimajohdolle.

Oletus	Pohjoinen (Emet)	Etelä (Kivipuro)
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Kaadettu metsä	25,0 ha	14,8 ha
Poistuva kuutiomäärä	757 m ³	441 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	876 t CO ₂ -ekv.	537 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	4156 t CO ₂ -ekv.	2541 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	5032 t CO₂-ekv.	3078 t CO₂-ekv.

Taulukko 8b. Metsien hakkuut vanhan voimajohdon rinnalle kulkevalle uudelle voimajohdolle.

Oletus	Pohjoinen (Emet)	Etelä (Kivipuro)
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Kaadettu metsä	58,8 ha	35,2 ha
Poistuva kuutiomäärä	5 018 m ³	3 246 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	3 914 t CO ₂ -ekv.	2 532 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	9 302 t CO ₂ -ekv.	5 566 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	13 216 t CO₂-ekv.	8 097 t CO₂-ekv.

3.5 TULOKSET

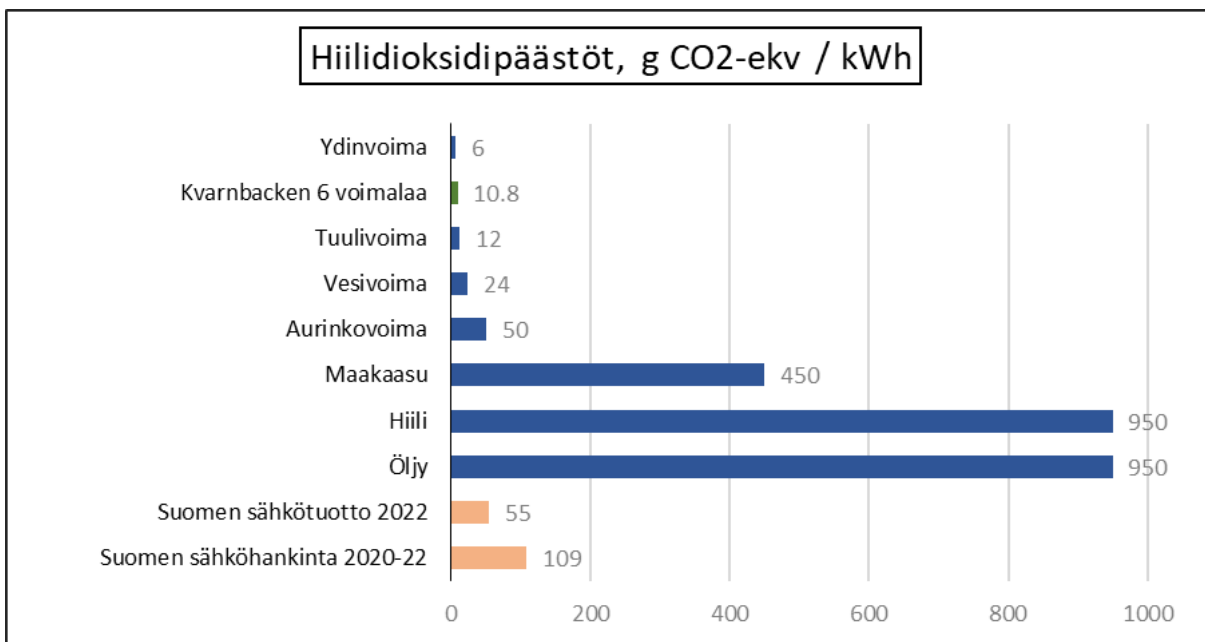
Hiilijalanjälkilaskennan tulokset esitetään tässä kappaleessa. Eri tekijöiden vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen ja lopulliset tulokset esitetään seuraavissa taulukoissa. Hybridihankkeen laskettu kokonaishiilijalanjälki on 10,1-11,8 g CO₂-ekv. / kWh, kun kierrätyskompensaatio otetaan huomioon laskennassa.

Taulukko 9: Yhteenveto hiilidioksidipäästöistä, 6 voimalaa, Kvarnbackenin elinkaaren aikana

Voimajohdon suunta	6 voimalaa			
	Pohjoinen		Etelä	
Voimajohtovaihtoehto	Nykyisen tilalle	Nykyisen viereen	Nykyisen tilalle	Nykyisen viereen
Tuulipuiston päästöt (t-CO ₂ -ekv)	25 605	25 605	25 605	25 605
Aurinkopuiston päästöt (t-CO ₂ -ekv)	29 172	29 172	29 172	29 172
Voimajohdon päästöt (t-CO ₂ -ekv)	6 347	14 468	3 853	8 835
Kokonaispäästöt (t-CO₂-ekv)	61 124	69 244	58 630	63 612
Tuotanto tuulipuiston elinkaaren aikana (GWh)	5 460	5 460	5 460	5 460
Tuotanto aurinkopuiston elinkaaren aikana (GWh)	729	729	729	729
Kokonaistuotanto (GWh)	6 189	6 189	6 189	6 189

Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	10,5	11,8	10,1	10,9
---	------	------	------	------

Alla olevassa kaaviossa Kvarnbackenin hybridihankkeen päästöjä on verrattu muiden energiantuotantomuotojen tyypillisiin päästöihin. Tietolähteinä ovat UNECE (2021) ja Fingrid (2023). Eri voimajohtovaihtoehtojen keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi 6 tuulivoimalan hybridipuistossa on arvioitu olevan 10,8 g/kWh.



Kuva 4. Sähköntuotannon päästöjen vertailu

3.6 VERTAILU TULEVAISUUDEN PÄÄSTÖIHIN SUOMESSA

Yllä olevan taulukon perusteella Kvarnbackenin hiilijalanjälkeä (11 g CO2-ekv/kWh) voidaan verrata Suomen sähköntuotannon päästöihin (55 g CO2-ekv/kWh vuonna 2022) ja Suomen maahantuoman sähkön päästöihin (109 g CO2-ekv/kWh vuosina 2020-2022).

Kvarnbackenin 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 (Ilmastovahti Tampere, 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 Kvarnbackenin päästöjen arvioidaan olevan vähäisempiä puiston eliniän aikana kuin Suomen sähköntuotannon päästöt yleisesti vastaavana aikana. Ero on kuitenkin pienempi kuin mikäli Kvarnbackenin päästöjä verrataan Suomen päästöihin käyttöönottohetkellä. On kuitenkin perusteltua todeta, että Kvarnbackenin 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 Kvarnbackenin hankkeen hiilikädenjälki. Luvussa esitetyt arvot 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.

Suomi on osa Euroopan yhteisiä sähkömarkkinoita, joilla käydään sähkökauppaa Pohjoismaiden välillä sekä Pohjoismaiden ja muun Euroopan välillä. Uusiutuvan energian lisääminen Suomessa voi siis vähentää fossiilisten energialähteiden tarvetta myös muissa maissa, kun sähkön tuonnin tarve vähenee ja uusiutuvaa sähköä voidaan viedä muihin maihin. Tämä on otettu huomioon hiilikädenjälkilaskennassa.

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

4.1 HIILIKÄDENJÄLJEN LASKEMINEN

Hiilijalanjälkeä arvioidaan hybridipuiston koko elinkaaren aikana, tässä tapauksessa 35 vuoden ajalta (vuosina 2024–2059). Hybridipuiston hiilijalanjälki on arviolta noin 11 g CO₂-ekv/kWh tuotettua energiaa (kappale 3.)

Korvattu sähköntuotanto koostuu uusiutuvan energian ja uusiutumattoman energian yhdistelmästä. Suomen pienentynyt energiantuontitarve tarkoittaa, että aiemmin Suomeen tuotua uusiutuvaa energiaa voidaan käyttää muissa maissa, jolloin ei-toivotut energialähteet voidaan vaihteittain 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 on $251 \text{ g} - 11 \text{ g} = 240 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$.

4.2 TULOSTEN KRIITTINEN TARKASTELU JA TULKINTA

Kohdassa 4.2 esitetyn laskelman perusteella Kvarnbackenin kokoinen hybridipuisto, jossa on kuusi tuulivoimalaa, vähentää hiilidioksidipäästöjä noin 37 500 tonnia vuodessa.

Kun EU:ssa saavutetaan ilmastoneutraalius, suomalaisen tuulivoiman hiilikädenjäljen 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 on tällä hetkellä noin 55 g CO₂-ekvivalenttia/kWh (Fingrid, 2022). Suomen sähköntuotannon hiilijalanjäljen odotetaan pienenevän edelleen ainakin vuoteen 2035 asti, jotta ilmastotavoitteet saavutetaan. Tuontisähkön hiilijalanjälki on 109 g CO₂-ekv. / kWh (laskettu Fingridin vuosien 2020–2022 tietojen perusteella). Näitä Suomen sähköntuotantoon liittyviä lukuja ei kuitenkaan oteta huomioon jalanjälkilaskennassa, koska tuulivoima korvaa ei-toivottuja energialähteitä, ei keskimääräistä sähköntuotantoa.

5 MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN

Kvarnbackenin hankkeen yhteydessä arvioidaan mahdollisuutta sijoittaa alueelle 50 MWh akkuvarasto. Toteutuessaan varasto rakennetaan Kvarnbackenin 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 yllälaita varastoa, joka on valmistettu runsaasti fossiilisia energianlähteitä sisältävällä sähköntuotannolla. Tällöin valmistuksesta aiheutuvat päästöt olisivat 50 MWh akkuvarastolla noin 2 950–5 950 t CO₂-ekv.

Akusto vaihdetaan kerran projektin 35 vuoden elinkaaren aikana ja oletuksena on, että vaihdosta aiheutuvat päästöt ovat 80 % koko laitteiston valmistuksen päästöistä, sillä ainoastaan akusto ja vaihtosuuntaaja vaihdetaan. Tällöin vaihdon aiheuttamat päästöt olisivat noin 2 360–4760 t CO₂-ekv.

Mikäli oletetaan, että 50 % lataussyklejä tehdään vuodessa 1300 kappaletta, akkuvaraston hyötysuhteeksi 95 % ja, että akustoa ladataan pääasiassa Kvarnbackenin omalla tuotannolla, olisivat 50 MWh varaston käytön aiheuttamat päästöt noin 569 t CO₂-ekv.

Tällöin Kvarnbackenin 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	569 t CO ₂ -eq	569 t CO ₂ -eq
Yhteensä	5 879 t CO ₂ -eq	11 279 t CO ₂ -eq

Luvussa 3.5 esitelyihin Kvarnbackenin hybridipuiston kokonaispäästöihin verrattuna akkuvaraston rakentaminen lisäisi koko hankkeen päästöjä noin 8–18 prosenttia, mikä tarkoittaisi, että puiston päästöt olisivat noin 11,0–13,6 g CO₂-ekv/kWh sen sijaan, että ne olisivat ilman akkuvarastoa 10,1–11,8 g CO₂-ekv/kWh.

6 YHTEENVETO

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Kvarnbackenin hankkeen hiilijalanjälki on noin 11 g CO₂-ekv. / kWh, kun hiilijalanjälki kivihieille 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 22-kertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat noin 22 kertaa suuremmat kuin hankkeen kielteiset vaikutukset (hybridipuiston elinkaaren aikana aiheutetut päästöt ja pienentynyt hiilinielu metsähakkuiden vuoksi).

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

Mikäli hankkeeseen sisällytetään 50 MWh akkuvarasto, lisääisi se hankkeen kokonaispäästöjä noin 8–18 % riippuen siitä, perustuuko valmistusprosessi pääasiassa uusiutuvan energian vai fossiilisen energian käyttöön.

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>

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

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

Ember (2024). <https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2024/>

Fingrid (2017). *Kontiolahten 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/>

Ilmastovahti Tampere (2020). *Sähkötuotannon päästökerroin*.
https://ilmastovahti.tampere.fi/paastoskenaariot/node/electricity_production_emission_factor
https://static.longi.com/24_L_Gi_LE_PM_T_PMD_059_F133_LR_5_72_HTH_585_600_M_3_5_35_and_15_Frame_Scientist_DG_V17_ce9f33ceb3.pdf

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>

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/>

Trinasolar (2021). Vertex TSM-DEG21C.20 Data sheet. Available:
<https://www.trinasolar.com/en-glb/resources/downloads#TSM-DEG5-2>

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