



# HIILIKÄDENJÄLKILASKENTA KARSITTU GREEN ENERGY

## SISÄLLYS

1	YHTEENVETO .....	3
2	TAUSTA .....	4
3	HIILIJALANJÄLKI .....	6
3.1	Aurinkovoiman hiilijalanjälki .....	6
3.2	Voimalinja .....	7
3.3	Hiilinielu .....	8
3.3.1	Aurinkovoimaloihin liittyvä puunkaato .....	9
3.3.2	Verkkoliityntään liittyvä puunkaato .....	9
3.4	Tulokset .....	10
3.5	Vertailu tulevaisuuden päästöihin Suomessa .....	11
4	HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT .....	11
4.1	Hiilikädenjäljen laskeminen .....	12
5	MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN .....	12
6	LASKELMIEN EPÄVARMUUDET .....	14
7	YHTEENVETO .....	15
8	LÄHTEET .....	16

## VERSIONHISTORIA

Versio	Tekijä, pvm.	Tarkastaja	Hyväksyjä	Lyhyt kuvaus
Ver 1	Ilona Rämä 2024-10-01	Christian Granlund 2024-10-01	Christian Granlund 2024-10-01	Hiilikädenjälki- ja hiilijalanjälkilaskennat aurinkovoimahankkeelle.

## KÄSITTEET

- Elinkaariarviointi** *(Life cycle assessment, LCA) Menetelmä, jolla voidaan analysoida ja arvioida tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta.*
- Hiilidioksidiekvivalentti** *(CO<sub>2</sub>-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 Karsittu Green Energy hankkeen hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkilaskennat. Karsittu Green Energy 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 Karsitun hankkeen hiilijalanjälki on 47–48 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh, kun hiilijalanjälki kivihieille on noin 1 000 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh ja maakaasulle 400–500 CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh (UNECE, 2021). Jos hankkeeseen suunniteltu akkuvarasto toteutuu, hiilijalanjälki tulisi olemaan silloin 56–61 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh.

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Karsitun hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 204–205 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Analyysimme mukaan hankkeen hiilikädenjälki on noin 4-kertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat noin 4 kertaa suuremmat kuin hankkeen kielteiset vaikutukset.

## 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 ilmastomuutokseen on perinteisesti arvioitu tekemällä hankkeen hiilijalanjäljelle elinkaariarviointi (Life cycle assessment, LCA). Vaikka hiilijalanjälkimenetelmä on yleisesti ottaen perusta ilmastomuutoksen 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.

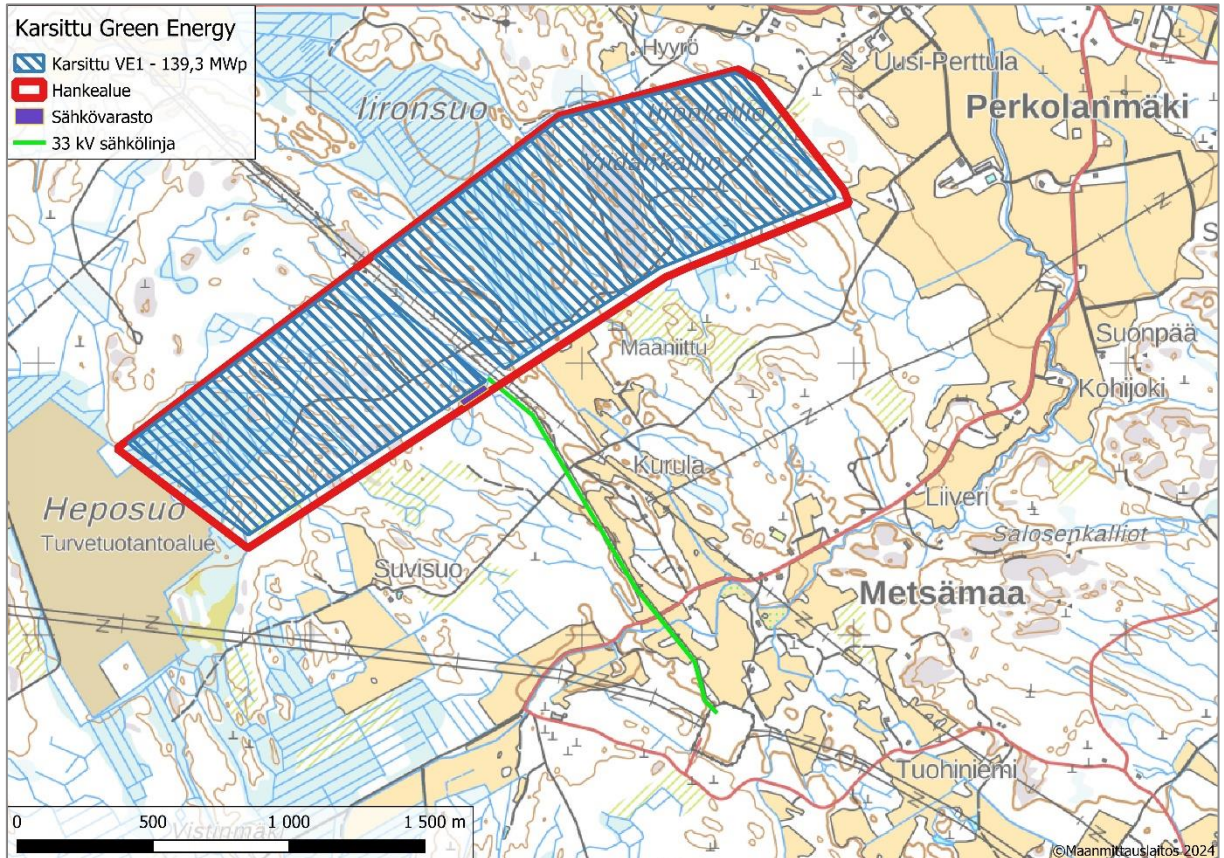
Kokonaiskuvan hankkeen ilmastovaikutuksista saamme keskittymällä ilmastomuutoksen vaikutusarvioinnissa päästöihin, jotka on vältetty, kun on siirrytty uusiutuvaan energiaan. Tämä on tuuli- ja aurinkovoimahankkeiden selvästi merkittävämpi vaikutus hiilijalanjälkeen verrattuna, ja se voidaan tuoda keskiöön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

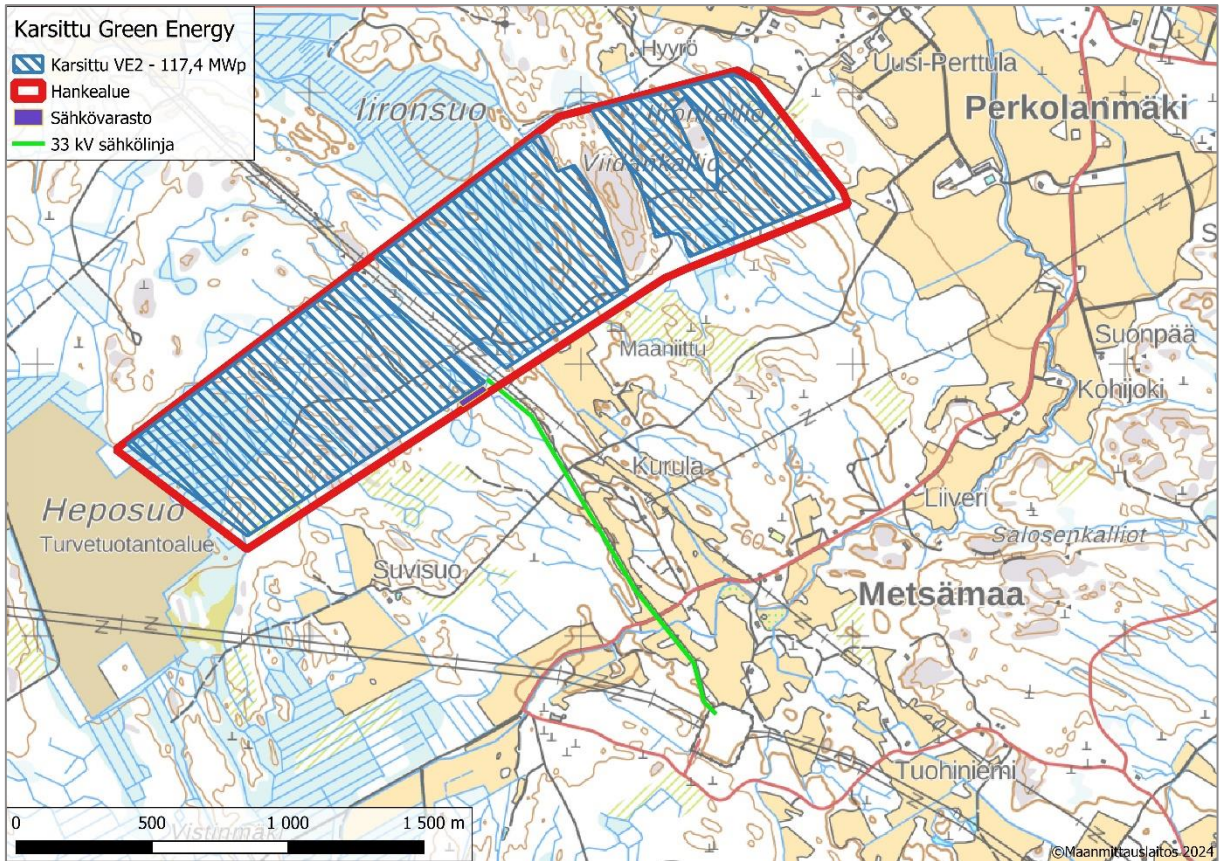
Karsittu Green Energyn hankkeelle on olemassa kaksi eri sijoitussuunnitelmaa:

Lisäksi hankealueelle suunnitellaan sijoitettavaksi 130 MWh akkuvarasto sähköaseman yhteyteen.

Puisto liitetään sähköasemaan hankkeen eteläpuolelta.



Kuva 1. Aurinkopuiston sijoitussuunnitelma VE1.



Kuva 2. Aurinkopuiston sijoitussuunnitelma VE2.

### 3 HIILIJALANJÄLKI

Koska hiilikädenjälkilaskelmat perustuvat hiilijalanjälkilaskelmiin, arvioidaan ensin Karsittu Green Energy'n hiilijalanjälki.

#### 3.1 AURINKOVOIMAN HIILIJALANJÄLKI

Hankkeessa on kaksi eri kokoista hankealuetta VE1 sekä VE2. Näissä vaihtoehdoissa alueelle on sijoitettu kaksi aurinkovoima-aluetta ja niiden yhteenlaskettu pinta-ala on vaihtoehdolle VE1 149 ha sekä VE2 133 ha. Voimalavaihtoehtojen yksityiskohtaiset tiedot löytyvät alla olevasta taulukosta.

Taulukko 1. Aurinkopuiston erittely vaihtoehdoille VE1 ja VE2.

Määritelmä	VE1	VE2
Paneeliteho	139,3	117,4
Paneelien lukumäärä	197 424	177 930
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta

Ensimmäisen vuoden tuotanto	117 844	106 628
Vuosittainen tehon heikkeneminen	0,4 %	0,4 %

Päästöt on laskettu käyttäen hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen arvona 750 kg-CO<sub>2</sub>-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 2. Aurinkopuiston päästöt (UNECE, 2021)

Päästön lähde	Prosenttiosuus VE1 (%)	Puiston päästöt, VE1/VE2 (t- CO <sub>2</sub> -ekv)	Prosenttiosuus VE2 (%)	Puiston päästöt, VE2 (t- CO <sub>2</sub> -ekv)
Aurinkopaneelit*	54,0	96 422	52,7	86 901
Rakentaminen**	8,1	14 503	7,9	13 071
Invertterit*	3,9	7000	3,8	6 309
Toiminta ja huolto	1,1	2 003	1,1	1 805
Käytöstä poisto	0,7	1 315	0,7	1 185
Metsän kaataminen	32,2	57 473	33,8	55 730
<b>Yhteensä</b>		<b>178 716 (202 964 ilman kierrätystä)</b>		<b>165 001 (186 855 ilman kierrätystä)</b>

\*Mukaan lukien kuljetus

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

Suurimmat aurinkovoiman päästölähteet ovat taulukon 4 mukaisesti aurinkopaneelisiin sekä metsän kaatamiseen liittyvät päästöt. Lisäksi päästöjen määrä kasvaa, mikäli voimalaa ei kierrätetä käytöstä poiston jälkeen (Dodd et al., 2020).

## 3.2 VOIMALINJA

Karsittu Green Energyn hanke liitetään voimajohtoon hankealueen eteläpuolelta 33kV maakaapelointina. Johtokäytävän leveydeksi oletetaan tässä raportissa 10 metriä ja kaapeleita oletetaan olevan 6 kappaletta.



Voimalinjavaihtoehto on eritelty alla olevassa taulukossa, voimalinja on molemmille sijoittelusuunnitelmille sama. Käytöstä poistamisen päästöjä ei ole huomioitu, sillä voimalinjaa käytetään myös sen jälkeen, kun puisto on otettu pois käytöstä. 33 kV johdon päästöt ovat noin 41,8 t CO<sub>2</sub>-ekv per kilometri ja kaapeli (Serres, H. 2022).

*Taulukko 3. Voimalinjavaihtoehtojen päästöt*

	Läntinen
Voimalinjan pituus	1.45 km
Voimalinjan leveys	10 m
Päästöt (t-CO <sub>2</sub> ekv)	
Materiaalit ja rakentaminen	360
Metsän kaataminen	340
<b>Yhteensä</b>	<b>720</b>

### 3.3 HIILINIELU

Aurinkopuiston rakentaminen edellyttää metsän kaatamista, millä on kielteinen vaikutus hiilitaseeseen ja se tulisi sisällyttää hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmiin. Metsää kaadetaan 33 kV:n sähkölinjan, uusien metsäteiden sekä aurinkopaneelien 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 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.

Alueella metsähakkuiden vuoksi menetetyt biomassan kokonaistilavuuden laskemiseksi on käytetty Metsäkeskuksen paikkatietoaineistoja. Koska aineistossa on kolmen vuoden viipymä, on laskentaan lisätty vuosittainen kasvu 7,4 m<sup>3</sup>/ha vuodesta 2021 (LUKE, 2021). Kuutiometri biomassaa sitoo arviolta 780 kg CO<sub>2</sub>-ekv hiilidioksidia (Nordiska ministerrådet, 2017; VTT, 2013). Täten hiilen sidontaan aiheutettu menetys on 4,5 tCO<sub>2</sub>-ekv/ha/vuosi vähintään 17-vuotiaan metsän osalta (UPM, 2022). Metsän, jota ei ole hiljattain kaadettu, on arvioitu olevan vähintään 17 vuotta vanha.

### 3.3.1 AURINKOVOIMALOIHIN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Suunnitellusta 171 hehtaarin suuruisesta aurinkopuistosta noin 156–165 hehtaaria joudutaan kaatamaan aurinkopuiston alueelta riippuen sijoittelusuunnitelmasta. Kaadettavaan alueeseen sisältyvät paneelialueiden ja sisäisten teiden lisäksi aurinkopuistoa ympäröivät puskurialueet, joilla kasvillisuus pidetään matalana. Osa jäljelle jäävistä alueista eivät kasva metsää. Poistuva kokonaisbiomassa aurinkovoimalan alueelta on noin 55 000–58 000 kuutiota.

Taulukko 4. Aurinkovoimaloihin liittyvä puunkaato.

Oletus	139.3 MWp aurinkopuisto	X MWp aurinkopuisto
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Puiston kokonaispinta-ala	171 ha	171 ha
Alue jolta metsä kaadetaan	165 ha	156 ha
Poistuva kuutiomäärä	29 860 m <sup>3</sup>	28 350 m <sup>3</sup>
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	23 300 t	22 100 t
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	34 200 t	33 600 t
<b>Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v</b>	<b>57 500 t CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	<b>55 700 t CO<sub>2</sub>-ekv.</b>

### 3.3.2 VERKKOLIITYNTÄÄN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Karsittu Green Energyn verkkoliityntä on toteutettu 1,45 kilometriä pitkällä 33 kV maakaapelilla, jonka johtoaukeaksi on suunniteltu 10 metriä leveä käytävä. Verkkoliityntä on molemmille sijoittelusuunnitelmille sama.

Taulukko 5. Verkkoliityntään liittyvä puunkaato

Oletus	Arvo
Käyttöikä	35 vuotta
Alue, jolta metsä kaadetaan	1,45 ha
Poistuva kuutiomäärä	211 m <sup>3</sup>
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	199 t CO <sub>2</sub> -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	140 t CO <sub>2</sub> -ekv.
<b>Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v</b>	<b>340 t CO<sub>2</sub>-ekv.</b>

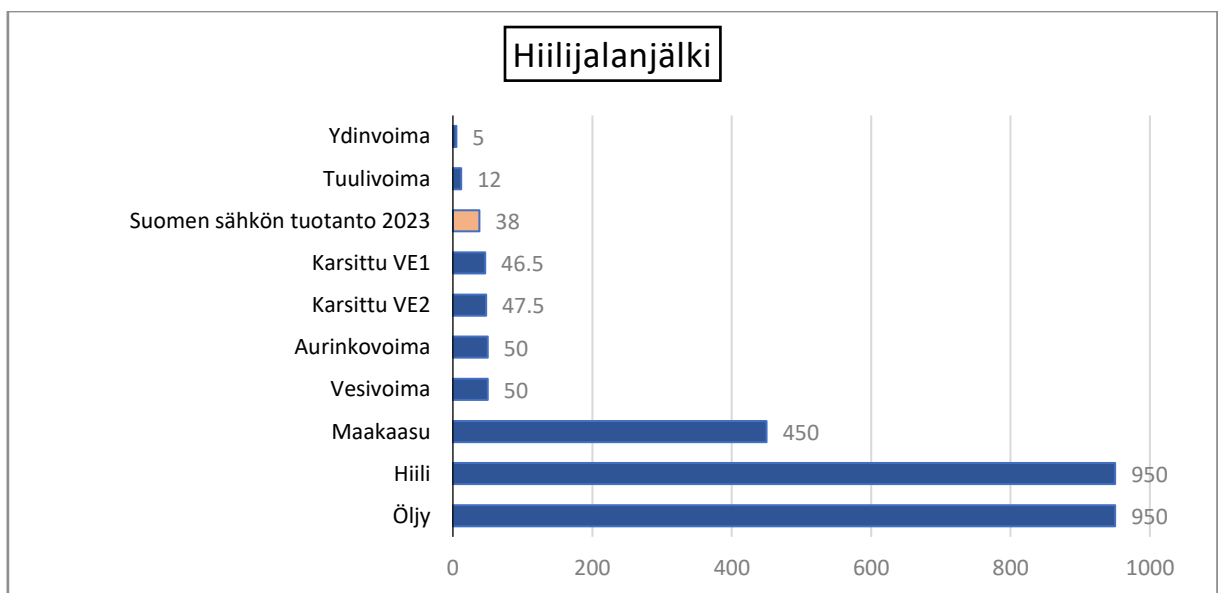
### 3.4 TULOKSET

Hiilijalanjälkilaskennan tulokset on esitelty tässä luvussa. Eri osien vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen sekä lopulliset tulokset on esitelty alla olevissa taulukoissa. Hankkeen arvioitu kokonaishiilijalanjälki eri sijoittelusuunnitelmille ja voimalinjavaihtoehdoille on 46,5–47,5 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh, kun kierrätysyhvytykset on huomioitu laskennassa.

*Taulukko 6. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto Karsitun aurinkopuistolle.*

Karsittu		
Sijoittelusuunnitelma	VE1 – 139,3 MWp	VE2 – 117,4 MWp
Aurinkopuiston päästöt (t-CO <sub>2</sub> ekv)	178 720	165 000
Voimalinjan päästöt (t-CO <sub>2</sub> ekv)	720	720
<b>Päästöt yhteensä (t-CO<sub>2</sub> ekv)</b>	179 440	165 720
<b>Tuotanto yhteensä (GWh)</b>	3 860	3 490
<b>Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)</b>	46,5	47,5

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



*Kuva 3. Sähköntuotannon päästöjen vertailu*

### 3.5 VERTAILU TULEVAISUUDEN PÄÄSTÖIHIN SUOMESSA

Taulukon 6 perusteella voidaan Karsitun hiilijalanjälkeä (46,5–47,5 g CO<sub>2</sub> ekv. / kWh) verrata Suomen sähköntuotannon päästöihin (38 g CO<sub>2</sub> ekv. / kWh) vuonna 2023.

Karsitun 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 CO<sub>2</sub> ekv. / kWh. Ekstrapoloimalla tätä arvioita voidaan vuosien 2028–2063 päästöjen olettaa olevan noin 20 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh.

Ilmastohyötyjä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

## 4 HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT

Tässä luvussa arvioidaan Karsitun 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. 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.

Aurinkovoiman 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 CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh tuotettua sähköä. Laskelmissa tarvittavat CO<sub>2</sub>-päästötietoaineistot tarkistetaan ja arvioidaan sen varmistamiseksi, että laskelmissa on käytetty luotettavia ja ajantasaisia oletuksia.

## 4.1 HIILIKÄDENJÄLJEN LASKEMINEN

Hiilikädenjälkeä arvioidaan aurinkopuiston koko elinkaaren aikana, tässä tapauksessa 35 vuoden ajan.

- VE1 – 139,3 MWp: 46,5 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh
- VE2 – 117,4 MWp: 47,5 g CO<sub>2</sub>-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 <sub>2</sub> -ekv/kWh
Maakaasu	17 % osuus	450 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Hiili	16 % osuus	950 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Aurinkovoima	9 % osuus	50 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Vesivoima	12 % osuus	24 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Tuulivoima	18 % osuus	12 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh
Biovoima	5 % osuus	240 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh

Tuloksena on painotettu keskiarvo 251 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh.

Hiilikädenjälki kahdelle eri sijoittelusuunnitelmalle on:

- VE1 – 139,3 MWp:  $251 - 46,5 = 204,5$  g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh
- VE2 – 117,4 MWp:  $251 - 47,5 = 203,5$  g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh

## 5 MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN

Karsitun hankkeen yhteydessä arvioidaan mahdollisuutta sijoittaa alueelle 130 MWh akkuvarasto. Toteutuessaan varasto rakennetaan Karsitun 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 latausyklin häviöistä. Akkuvarastolaitteistojen valmistus sisältää

energiaintensiivisiä prosesseja, minkä takia valmistuksessa käytetyn sähkön päästöt vaikuttavat voimakkaasti akkuvaraston hiilijalanjälkeen. Ruotsalaisen selvityksen (Emilsson E, Dahllöf L 2019) mukaan akkuvaraston valmistuksen kokonaispäästöt ovat 59–119 kg CO<sub>2</sub>-ekv yhtä varaston kapasiteetin kilowattituntia kohden. Skaalan alalaita vastaa puhtaasti uusiutuvilla energianlähteillä valmistettua sähkövarastoa ja yllälaita varastoa, joka on valmistettu runsaasti fossiilisia energianlähteitä sisältävällä sähköntuotannolla. Tällöin valmistuksesta aiheutuvat päästöt olisivat noin 34 500–48 500 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Akusto vaihdetaan kerran projektin 35 vuoden elinkaaren aikana ja oletuksena on, että vaihdosta aiheutuvat päästöt ovat 80 % koko laitteiston valmistuksen päästöistä. Tällöin vaihdon aiheuttamat päästöt olisivat noin 12 300–18 500 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Mikäli oletetaan, että 50 % lataussyklejä tehdään vuodessa 1300 kappaletta, akkuvaraston hyötysuhteeksi 95 % ja, että akustoa ladataan pääasiassa Karsitun omalla tuotannolla, olisi 130 MWh varaston käytön aiheuttamat päästöt yhteensä noin 6 876 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Tällöin Karsitun 130 MWh akkuvaraston kokonaispäästöt olisivat seuraavat:

*Taulukko 10. Akkuvaraston hiilidioksidipäästöjen yhteenveto.*

Päästölähde	Uusiutuvalla energialla valmistettu akkuvarasto	Pääosin fossiilisella energialla valmistettu akkuvarasto
Valmistus	15 340 t CO <sub>2</sub> -eq	23 100 t CO <sub>2</sub> -eq
Akuston vaihto	12 270 t CO <sub>2</sub> -eq	18 500 t CO <sub>2</sub> -eq
Käyttö	6 880 t CO <sub>2</sub> -eq	6 880 t CO <sub>2</sub> -eq
Yhteensä	34 500 t CO <sub>2</sub> -eq	48 500 t CO <sub>2</sub> -eq

Kappaleessa 3.3 esitettyihin Karsitun aurinkopuiston kokonaispäästöihin verrattuna akkuvaraston rakentaminen lisäisi koko hankkeen päästöjä noin 19–29 %, mikä tarkoittaisi, että puiston päästöt olisivat noin 55,5–61,4 g CO<sub>2</sub>-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 tai minkälaisia päästöjä niistä aiheutuu, 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 kostemmaksi). 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 Karsitun hankkeen hiilijalanjälki on noin 47–48 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh, kun hiilijalanjälki kivihielelle on noin 1000 g CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh ja maakaasulle 400–500 CO<sub>2</sub>-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 4-kertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat noin 4 kertaa suuremmat kuin hankkeen kielteiset vaikutukset (paneelien elinkaaren aikana aiheutetut päästöt ja pienentynyt hiilinielu metsähakkuiden vuoksi).

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Karsitun hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 203–204 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh.

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

Toteutuessaan hankkeen yhteyteen suunniteltu 130 MWh akkuvarasto nostaisi puiston kokonaispäästöjä noin 19–29 %.



## 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>.

Dodd, Nicholas; Espinosa, Nieves, Van Tichelen, Paul Peeters; Karolien, Soares; Ana Maria (2020) *Preparatory study for solar photovoltaic modules, inverters and systems*. EUR 30468 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, Science for Policy, ISBN 978-92-76-26345-6, doi:10.2760/852637, JRC122431  
[https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-12/jrc12431preparatory\\_study\\_for\\_solar\\_photovoltaic\\_modules\\_kj-na-30468-en.pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-12/jrc12431preparatory_study_for_solar_photovoltaic_modules_kj-na-30468-en.pdf)

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

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

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](https://www.fingrid.fi/contentassets/57db696e8f85474cb003da3a49b12770/kontiolahti-pamilo_110_kv_yvs_paivitys_www-raportti.pdf)

Fingrid (2023). *Sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-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](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-vaatgasreducerad-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, CO<sub>2</sub> 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](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](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>

Serres, Hugo (2022). *Life Cycle Assessment of typical projects of the distribution power network*.

KTH Royal Institute of Technology. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1704254/FULLTEXT01.pdf>

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](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](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](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>