



HIILITASELASKENTA PARKANON AURINKO

SISÄLLYS

1	YHTEENVETO	3
2	TAUSTA.....	4
3	HIILIJALANJÄLKI.....	6
3.1	Aurinkovoiman hiilijalanjälki	6
3.2	Voimalinja	8
3.3	Hiilinielu.....	9
3.3.1	Aurinkovoimaloihin liittyvä puunkaato	10
3.3.2	Verkkoliityntään liittyvä puunkaato.....	10
3.4	Tulokset.....	11
4	HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT	13
4.1	Hiilikädenjäljen laskeminen	13
4.2	Tulosten kriittinen tarkastelu ja tulkinta.....	14
5	MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOKSIIN	15
6	LASKELMIEN EPÄVARMUUDET	17
7	YHTEENVETO	18
8	LÄHTEET	19

VERSIOHISTORIA

Versio	Tekijä, pvm.	Tarkastaja	Hyväksyjä	Lyhyt kuvaus
Ver 1	Ilona Rämä 2024-10-16	Christian Granlund 2024-10-16	Christian Granlund 2024-10-16	Hiilitaselaskenta aurinkovoimahankkeelle.

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 hiilitaselaskenta Lylynevan Aurinkovoimahankkeelle. Hanketta kehittää Parkanon Aurinko Oy. Parkanon Aurinko Oy:n hankkeen hiilitaselaskennat ovat osa projektin ympäristövaikutusten arviointia.

Työmenetelmät:

Hiilitaselaskennassa käytetyt hankkeen elinkaaren aikaiset päästöt perustuvat useisiin eri lähteisiin, joita verrataan raportissa muihin energiantuotantomuotojen aiheuttamiin päästöihin. 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 Parkanon Auringon hankkeen hiilijalanjälki on noin 51 g CO₂-ekv. / kWh, kun hiilijalanjälki kivihiilelle on noin 1 000 g CO₂-ekv. / kWh ja maakaasulle 400–500 CO₂-ekv. / kWh (UNECE, 2021). Jos hankkeeseen suunniteltu akkuvarasto toteutuu, hiilijalanjälki tulisi olemaan silloin noin 61–67 g CO₂-ekv/kWh riippuen akun valmistustavasta.

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Parkanon Auringon hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan noin 200 g CO₂-ekv/kWh. Aurinkovoimarakentaminen tukee vahvasti Suomen ja EU:n ilmastotavoitteita. Analyysimme mukaan hankkeen hiilikädenjälki on noin nelinkertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa sitä, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat noin neljä 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.

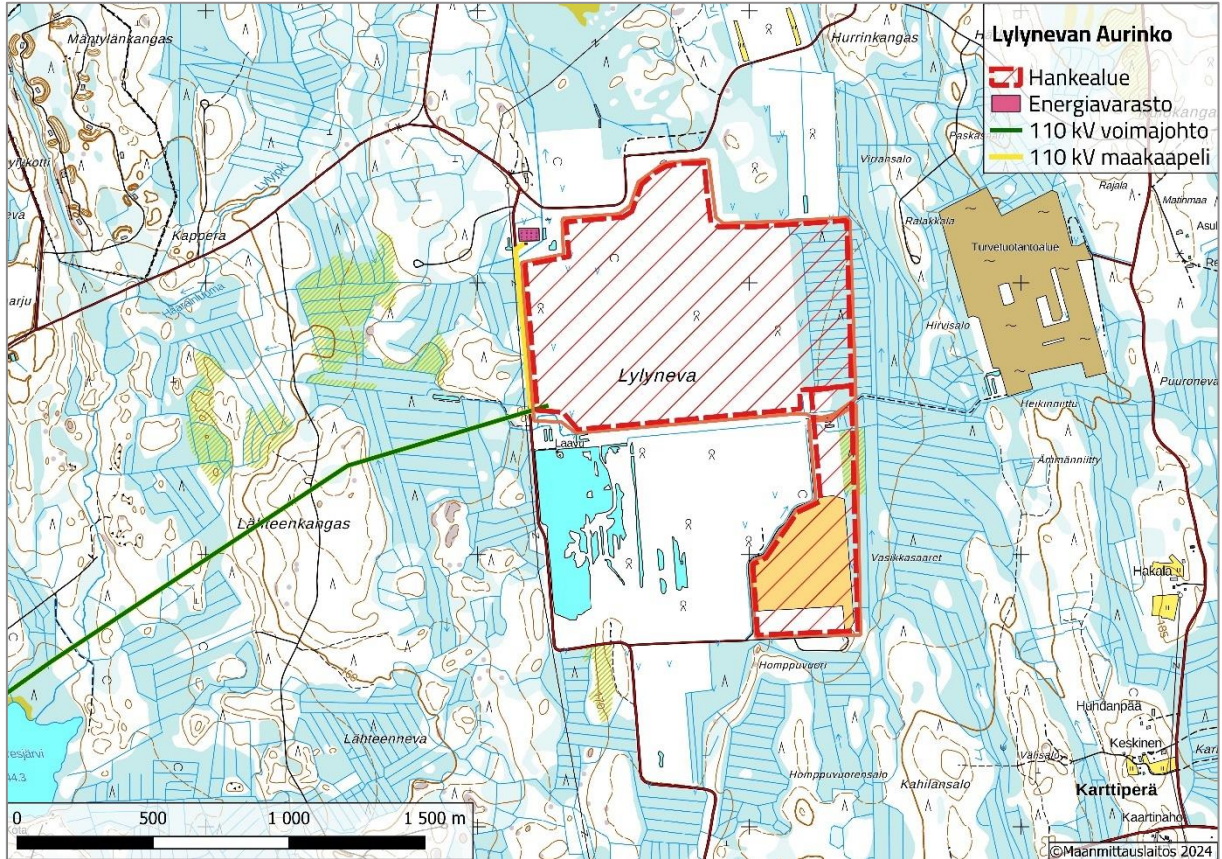
Tuuli- ja aurinkovoimahankkeiden vaikutusta ilmastomuutokseen on perinteisesti arvioitu tekemällä hankkeen hiilijalanjäljelle elinkaariarviointi (Life cycle assessment, LCA). Hiilijalanjälkilaskenta on perusta ilmastomuutoksen vaikutuslaskelmissa, mutta huomioitavaa on, että tämä menetelmä keskittyy ainoastaan hankkeen negatiiviseen ilmastovaikutukseen. 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 myös 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.

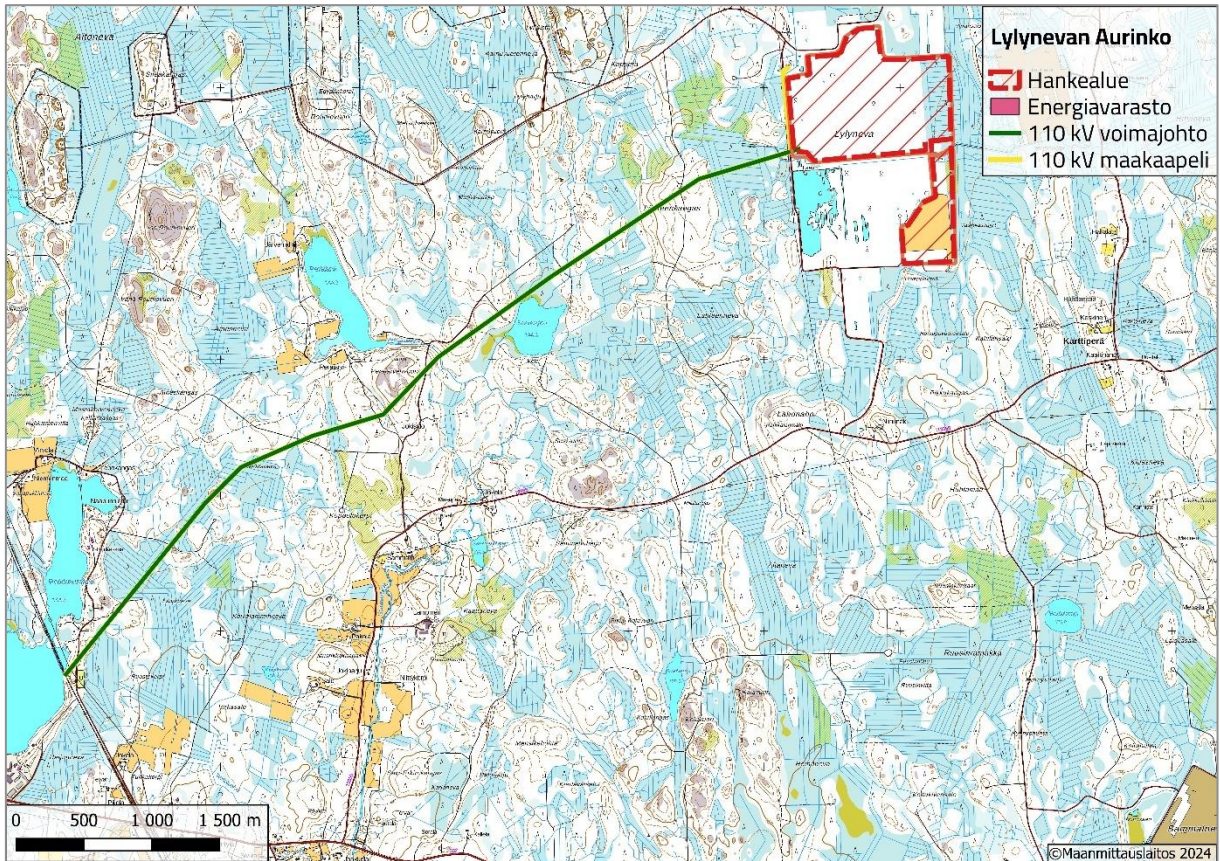
Hiilikädenjäljen käsite otettiin käyttöön, jotta uuden tuotteen tai palvelun ympäristöhyödyt voitaisiin tuoda esiin. Hiilikädenjäljen periaatteena on arvioida, kuinka paljon asiakas voi tietyn tuotteen avulla pienentää hiilijalanjälkeään.

Lylynevan hanke koostuu kahdesta eri paneelialueesta, jotka ovat yhteensä 107 hehtaaria ja 80,2 MWp kapasiteetilla. Puiston vuosituotannon arvioidaan olevan noin 68,4 GWh. Sähkön siirron toteutustavan vuoksi puiston tuottama suurin sallittu teho valtakunnalliseen verkkoon saa tällä hetkellä olla 60 MW.

Lisäksi hankealueelle suunnitellaan sijoitettavaksi 60 MWh akkuvarasto sähköaseman yhteyteen. Alla olevissa kuvissa on esitetty aurinkopuisto sekä sen liityntävaihtoehto.



Kuva 1. Lylynevan hankealue.



Kuva 2. Voimalinjan reitti ja liityntäpiste.

3 HIILIJALANJÄLKI

Koska hiilikädenjälkilaskelmat perustuvat hiilijalanjälkilaskelmiin, arvioidaan ensin Lylynevan hankkeen hiilijalanjälki.

3.1 AURINKOVOIMAN HIILIJALANJÄLKI

Hankkeessa aurinkovoima-alueen yhteenlaskettu pinta-ala on 107 ha. Voimalavaihtoehtojen yksityiskohtaiset tiedot löytyvät alla olevasta taulukosta.

Taulukko 1. Aurinkopuiston erittely

Määritelmä	Arvo
Paneeliteho	80,2 MWp
Paneelien lukumäärä	121 446
Käyttöikä	35 vuotta
Ensimmäisen vuoden tuotanto	68 390 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). Paneelien tuotanto on mallinnettu käyttämällä PVsyst -ohjelmistoa (PVsyst). Päästöt on arvioitu paikkatietoaineistojen ja useiden lähteiden perusteella (Müller et al. (2021), Trina (2021), UNECE (2021)).

Paneelien elinikä

Paneelien eliniäksi on oletettu tässä arvioinnissa 35 vuotta. Invertterit oletetaan vaihdettavan kerran paneelien eliniän aikana, joka on huomioitu päästöjakaumassa.

Paneelien materiaalit

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

Paneelien kierrätys

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

Kuljetukset

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

Reitin on oletettu kulkevan laivalla Shanghai satamasta Helsingin satamaan. Lisäksi lähimmältä Trina Solarin paneelitehtaalta satamaan on noin 200 kilometrin matka kuorma-autolla. Helsingistä Parkanoon on maanteitse noin 265 kilometriä. 16 metriä pitkään kuorma-autoon on arvioitu mahtuvan noin 750 teollisen mittaluokan aurinkopaneelia, joten 121 446 aurinkopaneelia tarvitsee noin 161 kuorma-autokuljetusta (Truckload shipping, 2023). Kuljetuksen aiheuttamat päästöt ovat melko pienet verrattuna valmistuksen aikaisiin päästöihin. Kuljetuksen aiheuttamat kokonaispäästöt sekä etäisyydet on eritelty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 2. Kuljetusten aiheuttamat päästöt aurinkopuistolle.

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (g CO ₂ /km)	Kokonaispäästöt (t CO ₂ -ekv)
Laiva	24 700	16* per t	1679
Kuorma-auto	465 km * 161	294**	22
Yhteensä			1702

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

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

Taulukko 3. Aurinkopuiston päästöt (UNECE, 2021)

Päästön lähde	Prosenttiosuus (%)	Puiston päästöt (t-CO ₂ -ekv)
Aurinkopaneelit*	59,6	59 314
Rakentaminen**	9,0	8 922
Invertterit*	8,7	8 612
Toiminta ja huolto	1,2	1 232
Käytöstä poisto	0,8	809
Metsän kaataminen	20,7	20 619
Yhteensä	100	99 508 (115 285 ilman kierrätystä)

* Sisältäen kuljetuksen aiheuttamat päästöt

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

Aurinkovoiman suurimmat päästölähteet ovat taulukon 3 mukaisesti aurinkopaneeliin sekä metsän kaatamiseen liittyvät päästöt. Lisäksi päästöjen määrä kasvaa, mikäli voimalaa ei kierrätetä käytöstä poiston jälkeen (Dodd et al., 2020).

3.2 VOIMALINJA

Lylynevan Aurinko liitetään sähköverkkoon 110 kV voimajohtolla hankkeen länsipuolelta. Lisäksi sähkönsiirtoa rakennetaan hankealueella osittain 110 kV maakaapelina.

Voimajohtorakentamiselle sopiva käytävä on paikoittain kapea, minkä vuoksi pieniä johto-osuuksia voidaan joutua rakentamaan maakaapelointina. Tässä raportissa oletuksena kuitenkin on, että koko kartassa määritetty 110 kV liityntäjohto on rakennettu ilmajohtona ja voimalinjojen johtokäytävien

leveydeksi laskennassa on arvioitu 46 m. Maakaapelille tarvittavan väylän leveydeksi on oletettu 7 metriä, jonka annetaan kaapeloinnin jälkeen metsittyä umpeen.

Voimalinjavaihtoehto 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, joiden päästöt ovat noin 523 t CO₂-ekv per kilometri. (Harrison, GP, Maclean, EJ, Karamanlis, S & Ochoa, LF 2010).

Taulukko 4 Voimalinjavaihtoehtojen päästöt

	SVE1
110 kV voimalinjan pituus	7,4 km
Johtokäytävän leveys	46 m
110 kV maakaapelin pituus	640 m
Johtokäytävän leveys	7 m
Päästöt (t-CO ₂ ekv)	
Materiaalit ja rakentaminen	4 086
Metsän kaataminen	10 080
Yhteensä	14 166

3.3 HIILINIELU

Aurinkopuiston rakentaminen edellyttää metsän kaatamista, millä on kielteinen vaikutus hiilitaseeseen ja se tulisi sisällyttää hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmiin. Metsää kaadetaan sähkölinjojen, uusien metsäteiden sekä paneeleiden 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 luonnonvarakeskuksen paikkatietoaineistoja. Koska aineistossa on kolmen vuoden viipymä, on laskentaan lisätty vuosittainen kasvu 7,4 m³/ha vuodesta 2021 (LUKE, 2021). Luotettavimman arvion saamiseksi hankkeelle on tarkistettu myös Metsäkeskuksen Hila-aineiston

mukainen biomassa. Hila-aineiston tulokset vastaavat 1–2 % tarkkuudella Luonnonvarakeskuksen tietoja. 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.

3.3.1 AURINKOVOIMALOIHIIN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Suunnitellusta 107 hehtaarin suuruisesta aurinkopuistosta noin 42 hehtaaria soveltuu metsän kasvattamiseen, koska merkittävä osa alueesta on metsätöntä turvesuota. 107 hehtaariin sisältyvät aurinkopuistoa ympäröivät puskurialueet, joilla kasvillisuus pidetään matalana. Suuri osa jäljelle jäävistä alueista eivät vielä kasva metsää, minkä seurauksena poistuva kokonaisbiomassa on melko vähäinen, 3811 m³.

Taulukko 5. Aurinkovoimaloihin liittyvä puunkaato.

Oletus	80,2 MWp aurinkopuisto
Käyttöikä	35 vuotta
Puiston kokonaispinta-ala	107 ha
Metsän kasvuun soveltuva alue	42 ha
Poistuva kuutiomäärä	3 811 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	2 973 t
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	17 646 t
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	20 619 t CO₂-ekv.

3.3.2 VERKKOLIITYNTÄÄN LIITTYVÄ PUUNKAATO

110 kV liityntäjohdon pituus on 6,8 km ja tarvittava puuston poistoa vaativan väylän leveys on 46 m. Lisäksi puiston sisäinen maakaapeli on 0,64 km pitkä ja sen 7 metriä leveän johtokäytävän annetaan kasvaa osittain umpeen kaapeloinnin jälkeen. Oletettu aurinkopuiston sähköaseman laitteistoinen tarvitsema pinta-ala on 0,75 ha. Sähköaseman yhteyteen on sisällytetty myös yhteensä 60 MWh akkuvarasto, joka on huomioitu edellä mainitussa sähköaseman pinta-alassa.

Taulukko 6. Verkkoliityntään liittyvä puunkaato

Oletus	Tulokset
Käyttöikä	35 vuotta
Kaadettava metsä	31,7 ha
Poistuva kuutiomäärä	4 157 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	3 943 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	6 136 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	10 080 t CO₂-ekv.

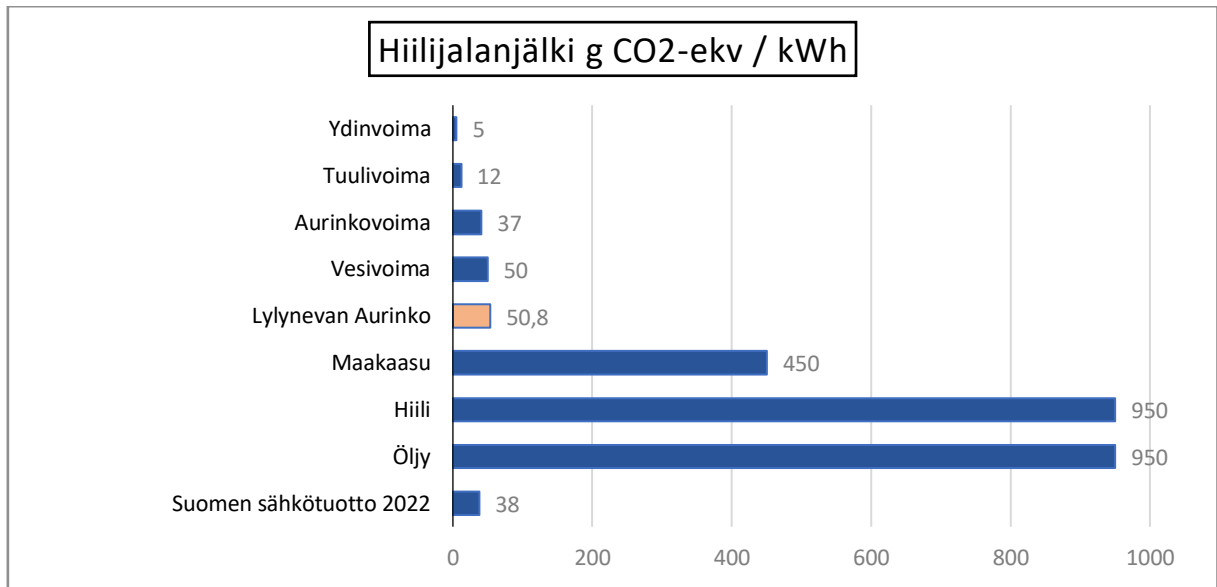
3.4 TULOKSET

Hiilijalanjälkilaskennan tulokset on esitelty tässä luvussa. Eri osien vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen sekä lopulliset tulokset on esitelty alla olevissa taulukoissa. Hankkeen arvioitu kokonaishiilijalanjälki on 50,8 g CO₂-ekv/kWh, kun kierrätysshyvytykset on huomioitu laskennassa.

Taulukko 9. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto Lylynevan hankkeen elinkaaren aikana.

Voimalavariaatio	Tulokset
Aurinkopuiston päästöt (t-CO ₂ ekv)	99 508
Voimalinjan päästöt (t-CO ₂ ekv)	14 166
Päästöt yhteensä (t-CO₂ ekv)	113 674
Tuotanto yhteensä (GWh)	2 238
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	50,8

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



Kuva 4. Sähkön tuotannon päästöjen vertailu.

4 HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT

Tässä luvussa arvioidaan Lylynevan aurinkovoima hankkeen hiilikädenjälki. Luvut 4.1–4.2 noudattavat VTT:n hiilikädenjälkioppaassa (VTT, 2021) hahmoteltuja vaiheita.

Hiilikädenjäljen periaatteena on arvioida, kuinka paljon asiakas voi tietyn tuotteen avulla pienentää hiilijalanjälkeään. Keskeinen kysymys on, mitä energiantuotantomuotoa aurinkovoimahankkeilla sähkön tuottamiseksi korvataan ja mikä vaikutus tällä on hiilidioksidipäästöihin. Skenaariota on analysoitu kappaleessa 4.1.

Aurinkovoimaloiden tuotanto korvaa Suomessa olemassa olevaa tuotantoa sekä tuontisähköä ja lisää uusiutuvaa vientisähköä. Sähkönkulutuksen päästöjä vertaillessa on tärkeää huomioida nykyisen sähkönkulutuksen lisäksi myös kulutuksen kehittyminen tulevaisuudessa, jolloin energianlähteitä tarvitaan lisää suhteessa kulutuksen kasvuun. Suomen sähkön kulutuksen on ennustettu lisääntyvän yhteiskunnan sähköistymisen myötä 126 TWh tasolle vuoteen 2030 mennessä, ja 160 TWh tasolle vuoteen 2035 mennessä (Fingrid, 2024). Lisäksi yhdysvaltalainen Energy Information Administration (EIA) arvioi, että OECD-maissa sähkö tulee kattamaan yli puolet kotitalouksien energian kulutuksesta vuoteen 2050 mennessä, kun vastaavasti vuonna 2020 osuus oli 33 prosenttia (EIA, 2023).

Suomen pienempi tuontitarve ja suurempi vienti on yksi tekijä, joka auttaa pienentämään Euroopan energialähteiden yhdistelmän hiilijalanjälkeä, sillä Suomi on osa Euroopan yhteisiä sähkömarkkinoita, joilla sähköä kaupataan Pohjoismaiden välillä sekä myös Pohjoismaista muualle Eurooppaan. Euroopan mittakaavassa yhteisen sähkömarkkinajärjestelmän korvatut energialähteet ovat pääasiassa hiili, maakaasu, ydinvoima sekä uusiutuvat energianlähteet. Käytetty yksikkö on g CO₂-ekv. / kWh tuotettua sähköä.

4.1 HIILIKÄDENJÄLJEN LASKEMINEN

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

- VE1 – 80,2 MWp: 50,8 g CO₂-ekv/kWh.

Korvattu sähköntuotanto koostuu uusiutuvan energian ja uusiutumattoman energian yhdistelmästä. Suomen pienemmän tuontitarpeen ja suuremman puhtaasti tuotetun energian

viennin ansiosta, ei-toivotut energialähteet voidaan vaiheittain poistaa käytöstä kohdemaissa. Niiden osuudet ja päästöt (Ember, 2024) vuonna 2023 olivat seuraavat:

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

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

Hiilikädenjälki kolmelle eri sijoittelusuunnitelmalle on:

- VE1- 80,2 MWp: 251 g – 50,8 g = 200,2 g CO₂-ekv/kWh

4.2 TULOSTEN KRIITTINEN TARKASTELU JA TULKINTA

Kohdassa 4.1 esitetyn laskelman perusteella Lylynevan hankkeen kokoinen aurinkopuisto vähentää hiilidioksidipäästöjä seuraavasti:

- VE1 – 80,2 MWp vähentää päästöjä 12 600 tonnia vuodessa

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

Aurinkohankkeen hiilijalanjälkeä voidaan verrata myös Suomen sähköntuotannon hiilijalanjälkeen, joka oli vuonna 2023 noin 38 g CO₂-ekv/kWh (Fingrid, 2023). Suomen sähköntuotannon hiilijalanjäljen odotetaan pienenevän edelleen ainakin vuoteen 2035 asti, jotta ilmastotavoitteet saavutetaan. Nämä Suomen sähköntuotantoon liittyvät luvut eivät ole suoraan verrannollisia yksittäisen hankkeen hiilijalanjälkeen, koska aurinkovoima korvaa ei-toivottuja energialähteitä, ei keskimääräistä sähköntuotantoa.

5 MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS TULOSSIIN

Lylynevan hankkeen yhteydessä arvioidaan myös mahdollisuutta sijoittaa alueelle 60 MWh akkuvarasto. Toteutuessaan varasto rakennetaan hankkeen sähköaseman yhteyteen.

Akkuvaraston hiilijalanjälki koostuu suurimmilta osin laitteistojen valmistukseen liittyvistä päästöistä, kuten akkumateriaalien louhinnasta ja jalostuksesta, laitteistojen kokoonpanosta sekä ikääntyneen akuston vaihdosta. Pienempi osa päästöistä koostuu käytön aikaisista päästöistä, jotka johtuvat akkuvaraston lataussyklin häviöistä. Akkuvarastolaitteistojen valmistus sisältää energiantensiivisiä prosesseja, minkä takia valmistuksessa käytetyn sähkön päästöt vaikuttavat voimakkaasti akkuvaraston hiilijalanjälkeen. Ruotsalaisen selvityksen (Emilsson E, Dahllöf L 2019) mukaan akkuvaraston valmistuksen kokonaispäästöt ovat 59–119 kg CO₂-ekv yhtä varaston kapasiteetin kilowattituntia kohden. Skaalan alalaita vastaa puhtaasti uusiutuvilla energianlähteillä valmistettua sähkövarastoa ja ylälaita varastoa, joka on valmistettu runsaasti fossiilisia energianlähteitä sisältävällä sähköntuotannolla. Tällöin valmistuksesta aiheutuvat päästöt olisivat noin 7 080–14 280 t CO₂-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 5 664–11 424 t CO₂-ekv.

Mikäli oletetaan, että 50 % lataussyklejä tehdään vuodessa 1300 kappaletta, akkuvaraston hyötysuhteeksi 95 % ja, että akustoa ladataan pääasiassa Lylynevan hankkeen omalla tuotannolla, olisi 60 MWh varaston käytön aiheuttamat päästöt yhteensä noin 3 440 t CO₂-ekv.

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

Reitin on oletettu kulkevan laivalla Shanghain satamasta Helsingin satamaan. Lisäksi lähimmältä SunGrown paneelitehtaalta Hefeistä Shanghain satamaan on noin 475 kilometrin matka kuorma-autolla. Helsingistä Parkanoon on maanteitse noin 265 kilometriä. 16 metriä pitkään kuorma-autoon oletetaan mahtuvan 4 energiavaraston moduulia, kun niiden dimensiot ovat 1,2 x 1,1 x 2,2

metriä, jolloin kuorma-autoja arvioidaan tarvittavan 5 kappaletta. Kuljetuksen aiheuttamat kokonaispäästöt sekä etäisyydet on eritelty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 11. Kuljetusten aiheuttamat päästöt akkuvarastolle.

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (g CO ₂ /km)	Kokonaispäästöt (t CO ₂ -ekv)
Laiva	24 700	16* per t	10,4
Kuorma-auto	740 km * 5	294**	1,1
Yhteensä			11,5

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

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

Tällöin Lylynevan hankkeen 60 MWh akkuvaraston kokonaispäästöt olisivat seuraavat:

Taulukko 10. Akkuvaraston hiilidioksidipäästöjen yhteenvedo.

Päästölähde	Uusiutuvalle energialla valmistettu akkuvarasto	Pääosin fossiilisella energialla valmistettu akkuvarasto
Valmistus	7 080 t CO ₂ -eq	14 280 t CO ₂ -eq
Akuston vaihto	5 664 t CO ₂ -eq	11 424 t CO ₂ -eq
Käyttö	3 440 t CO ₂ -eq	3 440 t CO ₂ -eq
Kuljetus	12 t CO ₂ -eq	12 t CO ₂ -eq
Yhteensä	16 196 t CO ₂ -eq	29 156 t CO ₂ -eq

Kappaleessa 3.4 esitettyihin aurinkopuiston kokonaispäästöihin verrattuna akkuvaraston rakentaminen lisäisi koko hankkeen päästöjä noin 14–24 %, mikä tarkoittaisi, että puiston päästöt olisivat noin 60,8–66,6 g CO₂-ekv/kWh riippuen valmistuksessa käytettävästä energiamuodosta.

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 kosteammaksi). Alue on suositeltavaa suunnitella siten, että se ei ojituksen myötä merkittävästi kuivahda, sillä se lisäisi turvekerroksen hiilidioksidipäästöjä.

Suurin epävarmuus hiilikädenjäljen laskennassa liittyy vertailuskenaarioon (kappale 4.1). On hyvin haastavaa määritellä tarkasti, mikä energiatuotantoa hankkeella korvataan, sillä hankkeella korvataan osittain nykyisiä fossiilisia energialähteitä, mutta osittain myös tuontisähköä, ja pääasiassa se rakennetaan kattamaan tulevaisuudessa lisääntyvää sähkön kysyntää. Siksi on vaikea määrittää, mihin päästöskenaarioon hanketta olisi verrattava. Tämän laskennallisen haasteen vuoksi hiilikädenjälkilaskelmaa olisi pidettävä pikemminkin suuntaa antavana kuin tarkkana.

7 YHTEENVETO

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Lylynevan Auringon hankkeen hiilijalanjälki on noin 51 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 aurinkopuiston uusiutuvalla energialla. Analyysimme mukaan hankkeen hiilikädenjälki on noin nelinkertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat noin neljä kertaa suuremmat kuin hankkeen kielteiset vaikutukset (puiston elinkaaren aikana aiheutetut päästöt ja pienentynyt hiilinielu metsähakkuiden vuoksi).

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan hankkeen hiilikädenjäljen arvioidaan olevan noin 200 g CO₂-ekv/kWh.

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

Toteutuessaan hankkeen yhteyteen suunniteltu 60 MWh akkuvarasto nostaisi puiston kokonaispäästöjä noin 14–24 %.

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

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

Ember (2024). *European Electricity Review 2024*. <https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2024/#supporting-material>

EIA (2023). *International Energy Outlook 2023*. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>

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

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

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

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

SunGrow. *Liquid Cooling Energy Storage System.*

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

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

Truckload shipping (2023). *Guide to Freight Shipping Solar Panels.*

<https://usatruckloadshipping.com/guide-to-freight-shipping-solar-panels/>

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/>

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>

Ympäristöministeriö (2021). *Euroopan Unionin ympäristöpolitiikka.* Euroopan unionin

ilmastopolitiikka - Ympäristöministeriö

Ympäristöministeriö (2022). *Suomen kansallinen ilmastopolitiikka.* Suomen kansallinen

ilmastopolitiikka - Ympäristöministeriö