



HIILITASELASKENTA AURINKOKETTU

SISÄLLYS

1	YHTEENVETO	3
2	TAUSTA	5
3	HIILIJALANJÄLKI	9
3.1	Aurinkovoiman hiilijalanjälki.....	9
3.2	Verkkoliityntä	12
3.3	Hiilinielu.....	13
3.3.1	Aurinkovoimalaan liittyvä puunkaato	14
3.3.2	Verkkoliityntään liittyvä puunkaato	15
3.4	Maaperän päästöt.....	16
3.5	Mahdollisen energiavaraston vaikutus päästöihin.....	17
3.6	Tulokset.....	19
4	HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT	25
4.1	Hiilikädenjäljen laskeminen	26
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	28
6	LÄHTEET	29

LIITTEET

Liite I: Aurinkoketun kuviolistat (UPM, 2024)

VERSIONHISTORIA

Versio	Tekijä, pvm.	Tarkastaja	Hyväksyjä	Lyhyt kuvaus
Ver 1	Ilona Rämä 21.11.2024	Christian Granlund 21.11.2024	Christian Granlund 21.11.2024	Hiilitaselaskennat aurinkovoimahankkeelle.

KÄSITTEET

Elinkaariarviointi	<i>(Life cycle assessment, LCA) Menetelmä, jolla voidaan analysoida ja arvioida tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta.</i>
GWP	<i>Global warming potential. Lämmityspotentiaali.</i>
Hiilidioksidiekvivalentti	<i>(CO₂-ekv. Carbon dioxide equivalent) Hiilijalanjäljen yksikkö. Eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus muunnettuna hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi ilmakehässä. Ilmaistaan usein yksikössä t CO₂-ekv/MWh.</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>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change. Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli</i>

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Aurinkoketun aurinkovoimahankkeen hiilitaselaskennat kolmelle eri sijoitussuunnitelmalle ja kahdelle eri verkkoliityntävaihtoehdolle kahdella erilaisella skenaariolla. Hiilitaselaskenta on osa projektin ympäristövaikutusten arviointimenettelyä.

Työmenetelmät:

Hiilitaselaskennat 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:

Alla olevissa taulukoissa on esitetty Aurinkoketun hiilijalanjälki eri vaihtoehdoilla. VE1 – 197,4 MWp, VE2 - 144,4 MWp sekä VE3 – 176,4 MWp, jotka jokainen on laskettu hankkeen kahdelle eri sähkönsiirtosuunnitelmalle (SVE1-SVE2) kahdella erilaisella skenaariolla. Perusskenaariossa alla oletetaan, että hankkeen sekä aurinkopaneelien elinikä on 35 vuotta.

Taulukko 1. Hankkeen hiilijalanjälki (g CO₂-ekv/kWh) perusolettamuksilla jokaista sähkönsiirtovaihtoehtoa kohden (SVE1-SVE2)

Perusskenaario	VE1 (g CO ₂ -ekv/kWh)	VE2 (g CO ₂ -ekv/kWh)	VE3 (g CO ₂ -ekv/kWh)
SVE1	64,6	66,9	66,7
SVE2	64,7	67,0	66,8

Jos hankkeeseen lisättäisiin 160 MWh akkuvarasto, se nostaisi päästöjä noin 7–12 g CO₂-ekv/kWh.

50 vuoden skenaariossa oletetaan, että aurinkopaneelien käyttöaika on 25 vuotta, jolloin paneelit sekä niiden telineet vaihdetaan kerran hankkeen eliniän aikana. Tässä skenaariossa oletetaan, että paneelit vaihdetaan 25 vuoden jälkeen, koska markkinoille on tullut kehittyneempiä paneeleita, jotka ovat nykyisiä paneelimalleja tehokkaampia ja niiden tuotanto oletetaan olevan 40 % korkeampi kuin ensimmäisen 25 vuoden aikana. Tässä skenaariossa hankkeen elinikä on 50 vuotta.

Taulukko 2. Hankkeen hiilijalanjälki 50 vuoden skenaarion olettamuksilla jokaista sähkönsiirtovaihtoehtoa kohden (SVE1-SVE2).

50 vuoden skenario	VE1 (g CO ₂ -ekv/kWh)	VE2 (g CO ₂ -ekv/kWh)	VE3 (g CO ₂ -ekv/kWh)
SVE1	59,5	61,2	61,1
SVE2	59,5	61,3	61,1

Jos 50 vuoden skenaarioon lisättäisiin 160 MWh akkuvarasto, se nostaisi hankkeen päästöjä 4–10 g CO₂-ekv/kWh.

Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Aurinkokettu-hankkeen perusskenaarion hiilikädenjäljen arvioidaan olevan 183–187 g CO₂-ekv/kWh riippuen sijoittelusuunnitelmasta, joka tarkoittaa, että hiilikädenjälki on kolminkertainen hiilijalanjälkeen verrattuna, eli sen myönteiset vaikutukset ovat kolme kertaa suuremmat kuin sen negatiiviset vaikutukset. 50 vuoden skenaarion hiilikädenjälki on 189–190 g CO₂-ekv/kWh eli sen myönteiset vaikutukset ovat noin 3,5-kertaiset sen hiilijalanjälkeen verrattuna.

Aurinkovoiman rakentaminen mahdollistaa vihreän siirtymän tuottamalla puhdasta sähköä kasvavan energiankulutuksen tarpeisiin tulevaisuudessa. Hiilijalanjälki Euroopassa vielä laajasti käytetyillä kivihiilellä ja maakaasulla on noin 1 000 g CO₂-ekv. / kWh ja 400–500 g CO₂-ekv. / kWh (UNECE, 2021).

2 TAUSTA

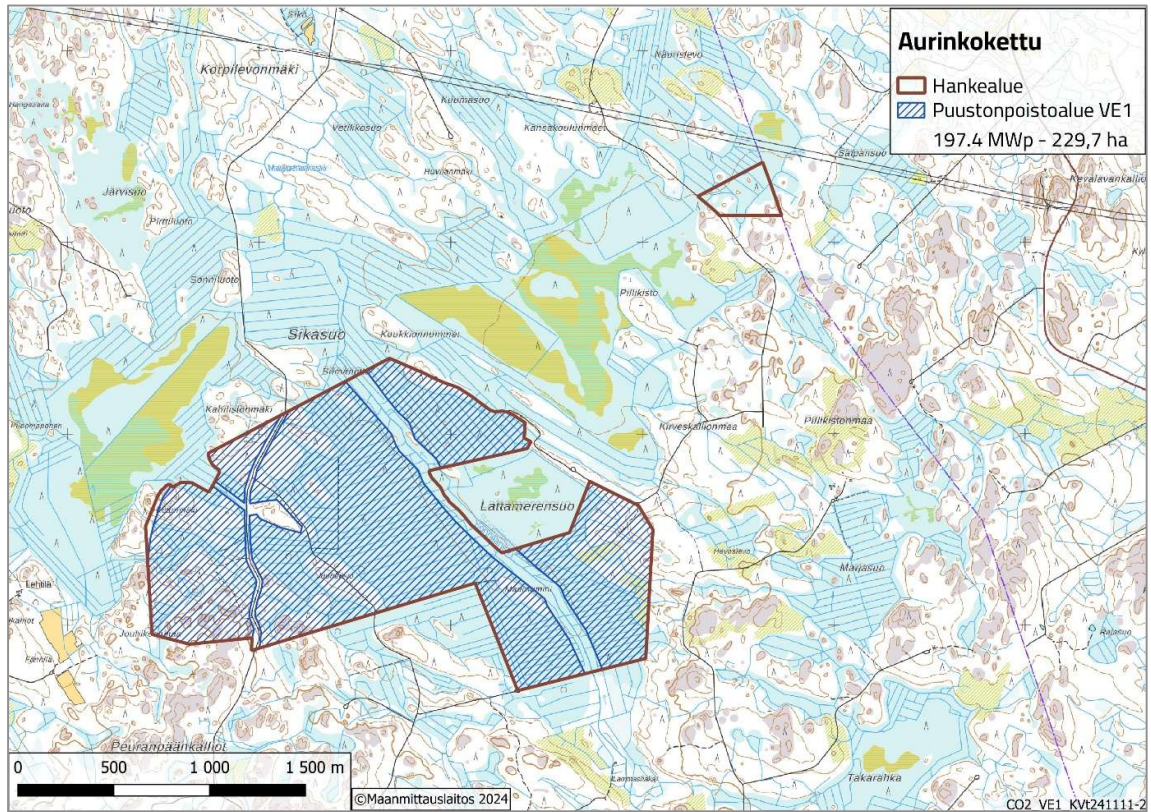
Euroopan komissio on asettanut tavoitteekseen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 55 % vuoden 1990 tasoista 2030 mennessä. Tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraalius EU:ssa vuoteen 2050 mennessä (Ympäristöministeriö, 2021). EU:n tavoitteiden lisäksi Suomea sitoo ilmastolaki (Finlex 10.6.2022/423), jonka 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. Aurinkovoimalla tuotettu sähkö ylläpitää tehokkaasti Suomessa käytetyn energian hiilijalanjälkeä sillä se on puhtaampi vaihtoehto Manner-Euroopasta ja muualta maailmasta tuotavalle energialle sekä Suomessa tuotettavalle suuripäästöiselle energialle. Suomen uusiutuva energia voi lisäksi tukea muita EU-maita ilmastotavoitteidensa saavuttamisessa, kuten raportissa myöhemmin kerrotaan.

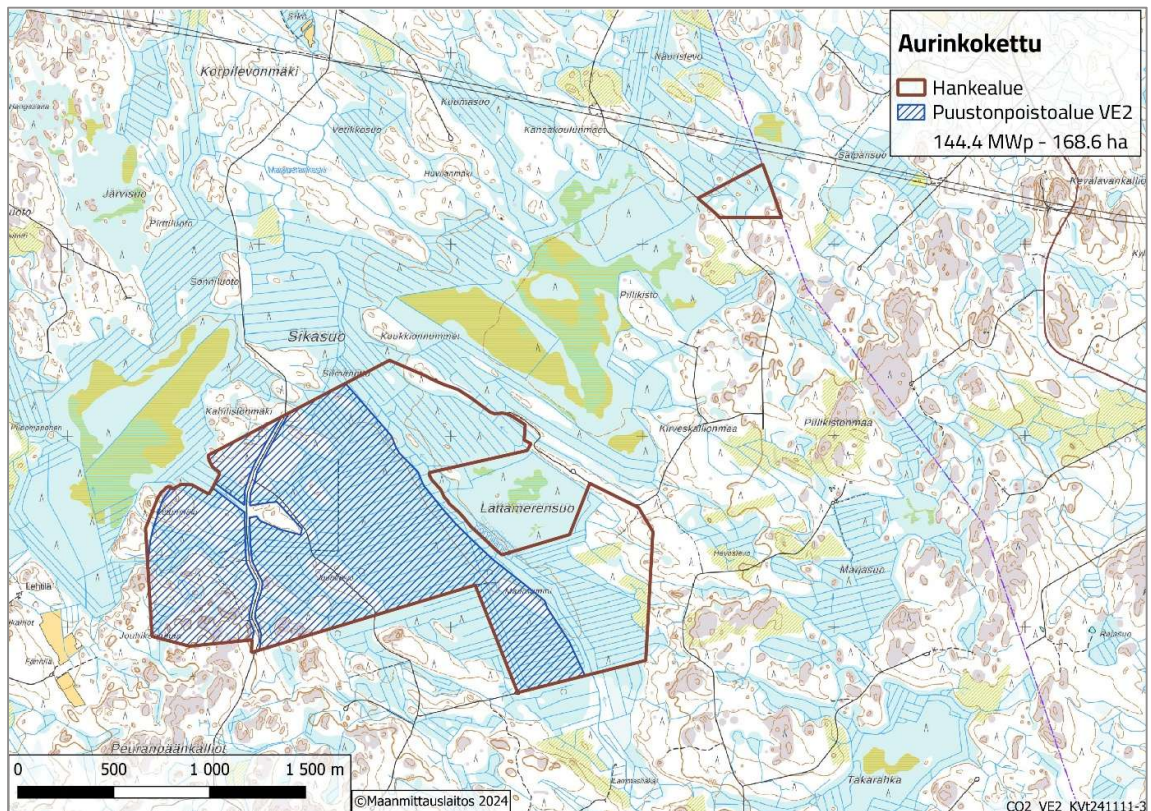
Aurinkovoimahankkeiden vaikutusta ilmastonmuutokseen on perinteisesti arvioitu tekemällä hankkeen hiilijalanjäljelle elinkaariarviointi (Life cycle assessment, LCA). Vaikka hiilijalanjälkimenetelmä on yleisesti ottaen perusta ilmastonmuutoksen vaikutuslaskelmissa, tämä menetelmä keskittyy hankkeen kielteisiin vaikutuksiin. Aurinkovoimahankkeilla on hiilitaseeseen pieni negatiivinen vaikutus. Vaikutus johtuu pääasiassa voimaloiden ja paneelien valmistusprosessien aikaisista päästöistä, mutta myös kuljetuksista, pienenevästä hiilinielusta, kun osa hankealueen metsästä kaadetaan sekä maankäytön muutoksista.

On kuitenkin suotavaa, että ilmastonmuutoksen vaikutusarvioinnissa keskitytään päästöihin, jotka on vältetty, kun on siirrytty uusiutuvaan energiaan. Tämä on aurinkovoimahankkeiden selvästi merkittävämpi vaikutus hiilijalanjälkeen verrattuna, ja se voidaan tuoda esille hiilikädenjälkilaskelmien avulla. Fingridin tuoreen ennusteen mukaan sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät ovat Suomessa 126 TWh vuonna 2030 ja 160 TWh vuonna 2035. Suomen sähkönkulutuksen kasvaessa polttolaitosten sekä muiden suuripäästöisten tuotantomuotojen tilalle tarvitaan vähempipäästöisiä vaihtoehtoja. Maantieteellisten sekä sosiaalisten tekijöiden vuoksi on tärkeää, että tuuli-, vesi- sekä ydinvoiman rinnalla on muitakin puhtaita tuotantomuotoja. Tämä on yksi aurinkovoiman suurimmista eduista päästöjen osalta.

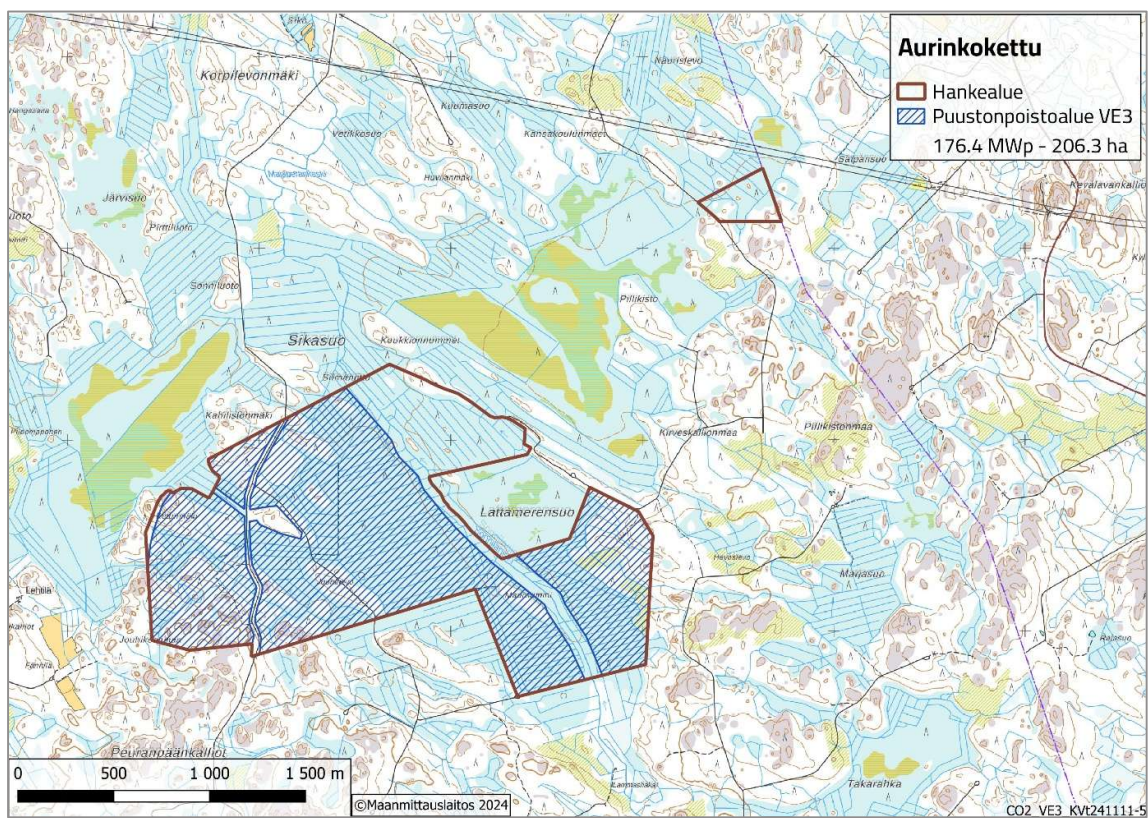
Hiilikädenjäljen periaatteena on arvioida, kuinka paljon asiakas voi tietyn tuotteen avulla pienentää hiilijalanjälkeään. Aurinkoketun aurinkovoimahankkeella on kolme erilaista vaihtoehtoa sijoitussuunnitelmalle sekä verkkoliityntäreitille. Nämä ovat esitetty kuvissa 1–6.



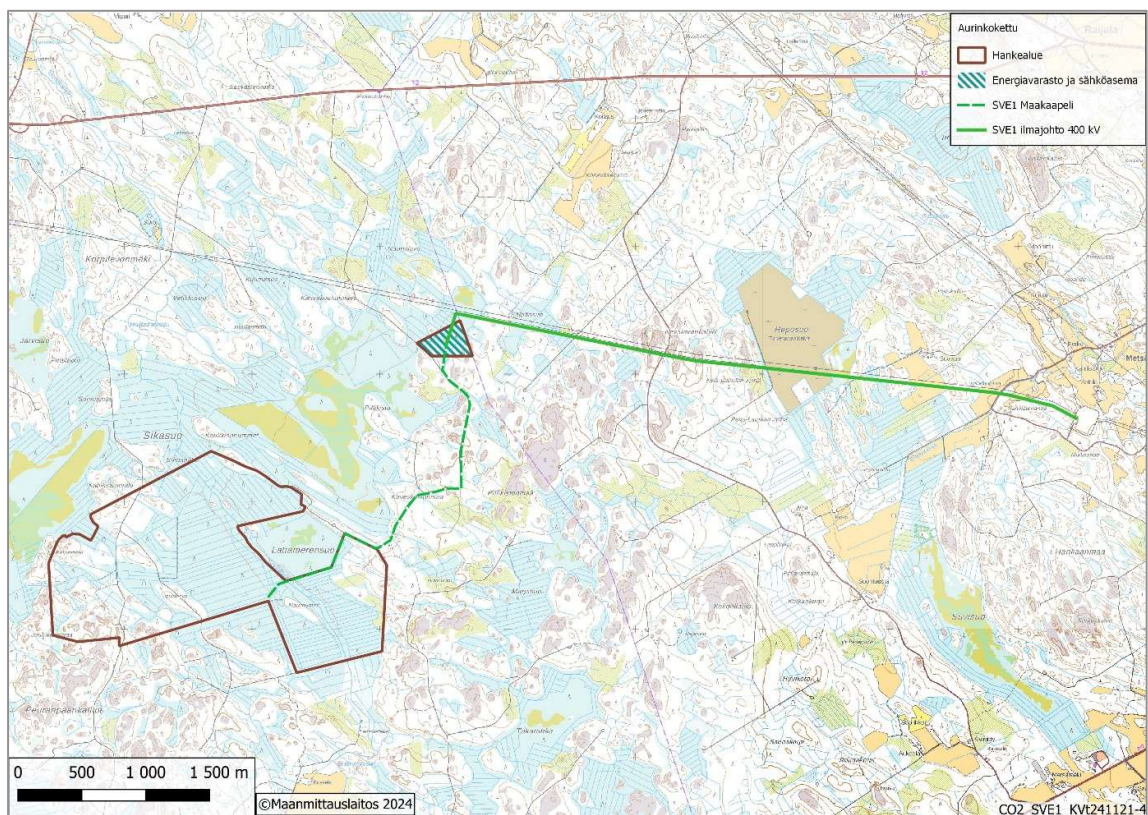
Kuva 1. Aurinkokettu -aurinkovoimalan hankealue ja puustonpoistoalueVE1.



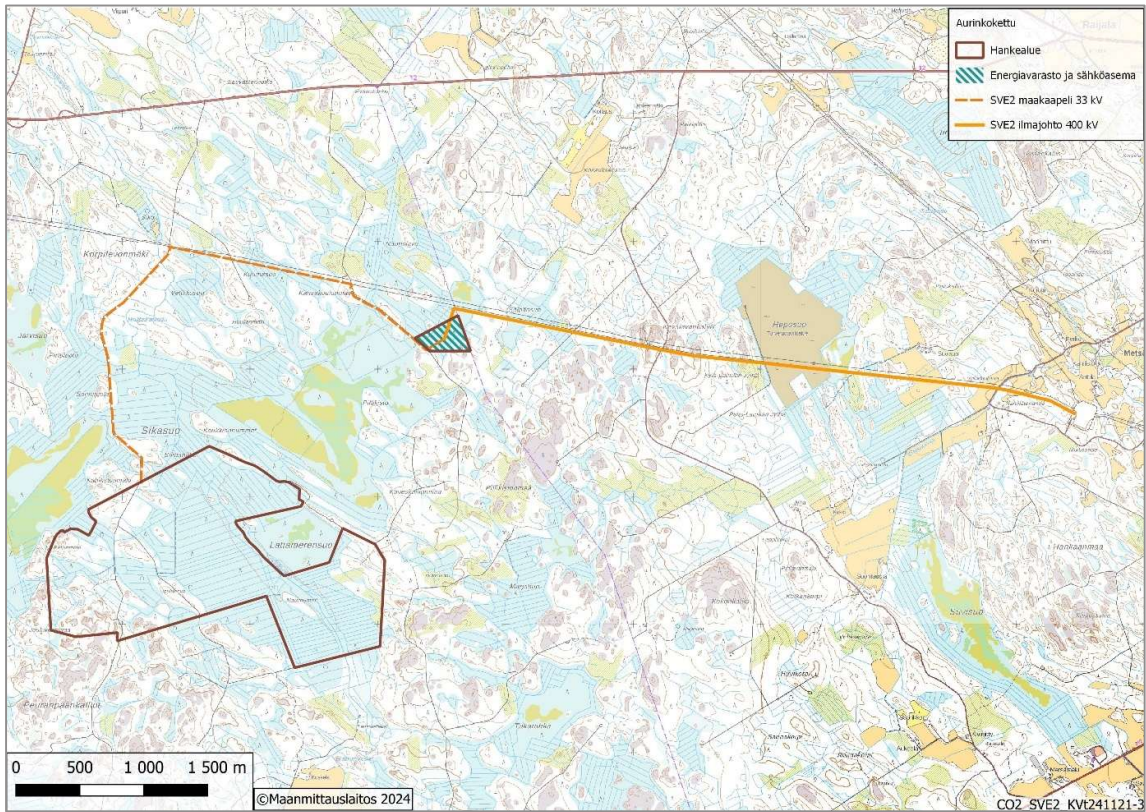
Kuva 2. Aurinkokettu -aurinkovoimalan hankealue ja puustonpoistoalue VE2.



Kuva 3. Aurinkokettu -aurinkovoimalan hankealue ja puustonpoistoalue VE3.



Kuva 4. Verkkoliittymän SVE1 kuvaus.



Kuva 5. Verkkoliittynän SVE2 kuvaus.

3 HIILIJALANJÄLKI

3.1 AURINKOVOIMAN HIILIJALANJÄLKI

Koska hiilikädenjälkilaskelmat perustuvat hiilijalanjälkilaskelmiin, arvioidaan ensin Aurinkoketun hiilijalanjälki. Raportissa hiilijalanjäljelle on selvitetty kaksi erilaista skenaariota, 35 vuoden perusskenaario sekä 50 vuoden skenaario. Perusskenaariossa hankkeen sekä aurinkopaneeleiden eliniän oletetaan olevan 35 vuotta. 50 vuoden skenaariossa oletetaan aurinkopaneeleiden eliniän olevan 25 vuotta, jolloin aurinkopaneelit vaihdetaan kerran hankkeen eliniän aikana. Koko hankkeen eliniäksi on oletettu tässä skenaariossa 50 vuotta. Raportissa käydään läpi perusskenaario kappaleissa 3.1.–3.4. ja molempien skenaarioiden tulokset kappaleessa 3.7.

Puustonpoistoalueen koko 262,7 hehtaarin hankealueella on yhteensä 168–230 hehtaaria riippuen sijoittelusuunnitelmasta. Nämä on jaettu kahteen tai useampaan pienempään alueeseen. Puustonpoistoalue sisältää varjostuksen vuoksi poistetun puuston, tiet, aidat, paneelialueet sekä muun rakennetun alueen jolta puusto joudutaan poistamaan. Voimalavaihtoehtojen yksityiskohtaiset tiedot löytyvät alla olevasta taulukosta.

Taulukko 3. Voimalavaihtoehtojen tuotantotietojen erittely.

Määritelmä	VE1	VE2	VE3
Paneeliteho	197,4 MWp	144,4 MWp	176,4 MWp
Paneelien lukumäärä	299 052	218 808	267 246
Käyttöikä	35/25 vuotta	35/25 vuotta	35/25 vuotta
Ensimmäisen vuoden tuotanto	174,5 GWh	127,7 GWh	155,9 GWh
Vuosittainen tehon heikkeneminen	0,4 %	0,4 %	0,4 %

Aurinkopaneeleiden päästöt on laskettu käyttäen hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen arvona 750 kg-CO₂-ekv/kWp (Wang et al., 2024) ja puisto on mallinnettu käyttäen Trina Solarin 660 W:n aurinkopaneeleja (Trinasolar, 2024).

Paneeleiden elinikä ja tuotanto

Paneeleiden eliniäksi on oletettu perusskenaarion arvioinnissa 35 vuotta ja 50 vuoden skenaariossa 25 vuotta. Vuosittainen tehon heikkeneminen on otettu huomioon paneelien eliniän tuotantoarviossa molemmissa skenaarioissa. Lisäksi 50 vuoden skenaariossa oletetaan, että kun paneelit vaihdetaan, ne korvataan edellisillä paneeleilla tehokkaammilla paneeleilla, jolloin tuotanto

on 40 % suurempi kuin ensimmäisellä puoliskolla. Aurinkopaneelien telineet vaihdetaan samaan aikaan kuin paneelit 50 vuoden skenaariossa. Invertterit vaihdetaan perusskenaariossa yhden kerran ja kaksi kertaa 50 vuoden skenaariossa aurinkovoimalan eliniän aikana.

Taulukko 4. Aurinkoketun tuotanto eri skenaarioille.

Määritelmä	VE1 [GWh]	VE2 [GWh]	VE3 [GWh]
Perusskenaario	5 710	3 989	4 811
50 vuoden skenaario	9 982	6 973	8 411

Aurinkovoimalan vuosituotanto eri sijoittelusuunnitelmille vastaa noin 8 000–12 000 kotitalouden sähkönkulutusta, jos oletetaan että keskimääräinen kotitalous kuluttaa 15 000 kWh vuodessa.

Paneeleiden materiaalit

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

Paneeleiden kierrätys

Aurinkovoimalan 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 Comission, 2020.)

Kuljetukset

Kiinalla on yli 80 % markkinaosuus aurinkopaneelimarkkinoilla, jonka vuoksi myös Aurinkoketun aurinkovoimalan kuljetuksen aiheuttamia päästöjä on arvioitu Kiinassa valmistetulla aurinkopaneelilla, jonka painoksi on ilmoitettu 35 kg per paneeli (Trina Solar, 2024). Kuljetusten aiheuttamien päästöjen voidaan ajatella olevan huomattavasti pienemmät, jos puistoon valitaan eurooppalainen paneelitoimittaja.

Reitin on oletettu kulkevan laivalla Shanghain satamasta Helsingin satamaan. Lisäksi lähimmältä Trina Solarin paneelitehtaalta satamaan on noin 200 kilometrin matka kuorma-autolla. Helsingistä Säkylään on maanteitse noin 215 kilometriä. 16 metriä pitkään kuorma-autoon on arvioitu mahtuvan noin 750 teollisen mittaluokan aurinkopaneelia, joten jos tarkastellaan suurinta sijoittelusuunnitelmaa, 299 052 aurinkopaneelia tarvitsee noin 399 kuorma-autokuljetusta

(Truckload shipping, 2023). Kuljetuksen aiheuttamat päästöt ovat melko pienet verrattuna valmistuksen aikaisiin päästöihin. Paneeleiden kuljetuksen aiheuttamat kokonaispäästöt sekä etäisyydet on eritelty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 5. Kuljetusten aiheuttamat päästöt aurinkopuistolle perusskenaariossa.

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (g CO ₂ /km)	Kokonaispäästöt (t CO ₂ -ekv)
Laiva	24 700	16* per t	4137
Kuorma-auto	415 km * 399	294**	49
Yhteensä			4185

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

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

Myös aurinkopuiston muut päästöt on arvioitu samalla tavalla. Invertterit on oletettu toimitettavan Kiinasta ja aurinkopaneeleiden telineet Turkista.

Kokonaispäästöt

Aurinkopaneeleiden tuotanto on mallinnettu PVsyst ohjelmistolla (PVsyst). Päästöt on arvioitu paikkatietoaineistojen ja useiden lähteiden perusteella (Wang et al. 2024), (Trina 2024), UNECE (2021)).

Taulukko 7 Aurinkovoimalan päästökertoimet paneelikohtaisesti perusskenaariossa.

Päästölähde	Päästö per paneeli [kg CO ₂ -ekv]
Piin jalostus	297
Kennon valmistus	90
Moduulien asennus	102
Teline	2
Rakentaminen	51
Invertterit*	71
Sähköverkkoyhteys	21
Käyttö ja huolto	10
Käytöstä poisto	7
Yhteensä	650

*Uusitaan kerran puiston eliniän aikana.

Taulukko 8. Aurinkovoimalan päästöt Kiinasta tuodulla aurinkopaneelilla perusskenaariossa.

Päästön lähde	Prosenttiosuus VE1/VE2/VE3 (%)	Puiston päästöt, VE1 (t-CO ₂ -ekv)	Puiston päästöt, VE2 (t-CO ₂ -ekv)	Puiston päästöt, VE3 (t-CO ₂ -ekv)
Aurinkopaneelit*	61/62/61	146 057	101 828	122 690
Rakentaminen**	9/9/9	21 969	15 316	18 454
Invertterit*	9/9/9	21 206	14 784	17 813
Toiminta ja huolto	1/1/1	3 034	2 116	2 549
Käytöstä poisto	1/1/1	1 992	1 389	1 673
Metsän kaataminen	17/17/18	41 194	31 437	37 212
Yhteensä	100	235 452 (274 303 ilman kierrätystä)	166 871 (193 957 ilman kierrätystä)	200 391 (233 027 ilman kierrätystä)

* Sisältäen kuljetuksen aiheuttamat päästöt

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

Taulukko 9. Aurinkovoimalan päästöt Kiinasta tuodulla aurinkopaneelilla 50 vuoden skenaariossa.

Päästön lähde	Prosenttiosuus VE1/VE2/VE3 (%)	Puiston päästöt, VE1 (t-CO ₂ -ekv)	Puiston päästöt, VE2 (t- CO ₂ -ekv)	Puiston päästöt, VE3 (t-CO ₂ -ekv)
Aurinkopaneelit*	72/71/76	292 114	203 657	245 380
Rakentaminen**	6/5/6	22 476	15 670	18 881
Invertterit*	8/8/6	31 809	22 177	26 720
Toiminta ja huolto	1/1/1	4 334	3 022	3 641
Käytöstä poisto	0,5/0,5/1	1 992	1 389	1 673
Metsän kaataminen	13/14/11	52 481	40 314	47 591
Yhteensä	100	405 207 (475 752 ilman kierrätystä)	286 229 (335 412 ilman kierrätystä)	343 886 (403 144 ilman kierrätystä)

Suurimmat aurinkovoiman päästölähteet ovat taulukon 6 mukaisesti aurinkopaneelisiin sekä metsän kaatamiseen liittyvät päästöt. Lisäksi päästöjen määrä kasvaa, mikäli voimalaa ei kierrätetä käytöstä poiston jälkeen (Dodd et al., 2020).

3.2 VERKKOLIITYNTÄ

Aurinkokettu liitetään kantaverkkoon 400 kV ilmajohtolla. Ilmajohto rakennetaan paikallisen verkkoyhtiön olemassa olevan ilmajohdon viereen. Nykyisen johtokäytävän leventämistarpeeksi oletetaan 40 metriä. Aurinkovoimala liitetään 400 kV sähkölinjaan viidellä 33 kV maakaapelilla,

jonka johtokäytävän leveydeksi oletetaan 7 metriä, ja jonka annetaan kasvaa umpeen kaapeloinnin jälkeen.

Voimalinjavaihtoehdot on eritelty alla olevissa taulukossa molemmille skenaarioille. Käytöstä poistamisen päästöjä ei ole huomioitu, sillä voimalinjaa voidaan hyödyntää myös sen jälkeen, kun voimala on otettu pois käytöstä. 400 kV liityntäjohtoon materiaaleihin liittyvät päästöt perustuvat 275 kV johtojen arvoihin, sillä oletuksella, että arvot 400 kV ja 275 kV tarvikkeiden välillä ovat samaa suuruusluokkaa. (Harrison, GP, Maclean, EJ, Karamanlis, S & Ochoa, LF 2010) 400 kV voimalinjan rakentamisesta aiheutuvat päästöt ovat arvioitu päästökertoimella 523 t CO₂-ekv/km (Fingrid, 2021). 33 kV johdon päästöinä on käytetty 41,8 t CO₂-ekv. per kilometri kaapelia. Kaapeleita oletetaan olevan liitynnässä yhteensä 5 kappaletta. (Serres, H. 2022.)

Taulukko 10. Voimalinjavaihtoehtojen päästöt perusskenaariossa.

	SVE1	SVE2
400 kV voimalinjan pituus	5,2 km	5,2 km
33 kV maakaapelin pituus	3,2 km	4,6 km
Johtokadun leveyden muutos	40 m/7 m	40 m/7 m
Materiaalit ja rakentaminen	3 390 t CO ₂ -ekv.	3 673 t CO ₂ -ekv.
Metsän kaataminen	4 839 t CO ₂ -ekv.	5 079 t CO ₂ -ekv.
Yhteensä	8 365 t CO₂-ekv.	8 888 t CO₂-ekv.

Taulukko 11. Voimalinjavaihtoehtojen päästöt 50 vuoden skenaariossa.

	SVE1	SVE2
400 kV voimalinjan pituus	5,2 km	5,2 km
33 kV maakaapelin pituus	3,2 km	4,6 km
Johtokadun leveyden muutos	40 m/7 m	40 m/7 m
Materiaalit ja rakentaminen	3 390 t CO ₂ -ekv.	3 673 t CO ₂ -ekv.
Metsän kaataminen	6 156 t CO ₂ -ekv.	6 489 t CO ₂ -ekv.
Yhteensä	9 682 t CO₂-ekv.	10 298 t CO₂-ekv.

3.3 HIILINIELU

Aurinkovoimalan rakentaminen voi edellyttää metsän kaatamista, millä on kielteinen vaikutus hiilitaseeseen ja joka tulisi sisällyttää hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmiin. Metsää kaadetaan 400 kV:n sähkölinjan 33 kV maakaapelin, uusien teiden ja aurinkopaneelitelineiden rakentamiseksi.

Arvioinnissa oletetaan, että hiilidioksidia vapautuu takaisin ilmakehään sama määrä, kuin mitä metsää kaadetaan. Arvioinnissa ei täten oteta huomioon kaadettavan puuston mahdollista

hyötykäyttöä. Tämä tarkoittaa, että laskentaan sisältyy metsäkaadon vuoksi menetetyn hiilivaraston vaikutus sekä menetetty hiilinielu, kun metsää ei kasva seuraavan 35 tai 50 vuoden ajan riippuen skenaariosta. Niille alueille, joilla metsää on jo kaadettu, päästöt on laskettu perustuen menetettyyn metsänkasvuun. Alueella metsähakkuiden vuoksi menetetyn biomassan kokonaistilavuuden laskemiseksi on käytetty mitattua puustodataa, joka toimitetaan raportin liitteenä (UPM, 2024). Metsätyyppien perusteella määritetty hankealueen metsän vuosittainen kasvu on 2,9–4,5 m³/ha/a. Kuutiometri biomassaa sitoo arviolta 780 kg CO₂-ekv hiilidioksidia (Nordiska ministerrådet, 2017; VTT, 2013).

3.3.1 AURINKOVOIMALAAN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Aurinkovoimalalle suunnitelluista alueista vain osa on metsänkasvulle soveltuvaa aluetta. Alueella on viimeisten 10 vuoden aikana suoritettu metsänhoitosuunnitelman mukaisia hakkuita. Mitattuihin puustomääriin on lisätty vuoden puustomäärän kasvu, jotta hakkuutöiden aloittamisen viive tulisi huomioitua. Suunnitellut paneelikentät ovat olemassa olevien teiden vieressä, joten kenttien ulkopuolisten lisäteiden rakentamista ei otettu laskelmassa huomioon.

Taulukko 12. Aurinkovoimalaan liittyvä puunkaato perusskenaariossa.

Oletus	VE1	VE2	VE3
Alueen käyttöaika	35 vuotta	35 vuotta	35 vuotta
Puustonpoistoalue	229,7 ha	168,6 ha	206,3 ha
Poistuva kuutiomäärä	19 046 m ³	13 749 m ³	16 659 m ³
Metsän keskimääräinen kasvu	4,2 m ³ /v/ha	4,5 m ³ /v/ha	4,3 m ³ /v/ha
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	14 856 t CO ₂ -ekv.	10 725 t CO ₂ -ekv.	12 994 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	26 337 t CO ₂ -ekv.	20 713 t CO ₂ -ekv.	24 217 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	41 193 t CO₂-ekv.	31 437 t CO₂-ekv.	37 212 t CO₂-ekv.

Taulukko 13. Aurinkovoimalaan liittyvä puunkaato 50 vuoden skenaariossa.

Oletus	VE1	VE2	VE3
Alueen käyttöaika	50 vuotta	50 vuotta	50 vuotta
Puustonpoistoalue	229,7 ha	168,6 ha	206,3 ha
Poistuva kuutiomäärä	19 046 m ³	13 749 m ³	16 659 m ³
Metsän keskimääräinen kasvu	4,2 m ³ /v/ha	4,5 m ³ /v/ha	4,3 m ³ /v/ha
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	14 856 t CO ₂ -ekv.	10 725 t CO ₂ -ekv.	12 994 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	37 624 t CO ₂ -ekv.	29 589 t CO ₂ -ekv.	34 597 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 50 v	52 481 t CO₂-ekv.	40 314 t CO₂-ekv.	47 591 t CO₂-ekv.

3.3.2 VERKKOLIITYNTÄÄN LIITTYVÄ PUUNKAATO

Voimalan 400 kV liityntäjohto kulkee olemassa olevan ilmajohtokäytävän rinnalla ja sille on olemassa kaksi reittivaihtoehtoa (SVE1 ja SVE2). Liityntäjohtoon tarvitseman johtokadun on oletettu kasvattavan jo olemassa olevaa käytävää noin 40 metriä. Laskelmassa on lisäksi huomioitu voimalalta sähköasemalle rakennettava 33 kV maakaapeli, jonka johtokäytäväksi oletetaan 7 metriä, ja jonka annetaan metsittyä asennuksen jälkeen. Sähköasemaan liittyvä puunkaato on myös huomioitu verkkoliityntän yhteydessä, sähköaseman alueen pinta-ala on 7,2 hehtaaria. Voimajohtoon liittyvän puunkaadon aiheuttamat päästöt on lueteltu seuraavassa taulukossa. Johtokäytävän puuston tiheydeksi ja kasvunopeudeksi on oletettu taulukossa 7 esitettyjen lukujen keskiarvo.

Taulukko 14. Voimajohtoon ja sähköasemaan liittyvä puunkaato perusskenaariossa.

Oletus	SVE1	SVE2
Käyttöikä	35 vuotta	35 vuotta
Kaadettava metsä	30 ha	31 ha
Poistuva kuutiomäärä	2 400 m ³	2 500 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	1 897 t CO ₂ -ekv.	1 954 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	2 942 t CO ₂ -ekv.	3 126 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 35 v	4 839 t CO₂-ekv.	5 079 t CO₂-ekv.

Taulukko 15. Voimajohtoon ja sähköasemaan liittyvä puunkaato 50 vuoden skenaariossa.

Oletus	SVE1	SVE2
Käyttöikä	50 vuotta	50 vuotta
Kaadettava metsä	30 ha	31 ha
Poistuva kuutiomäärä	2 430 m ³	2 510 m ³
Hiilivaraston menetys, poistuvan biomassan aiheuttama	1 897 t CO ₂ -ekv.	1 954 t CO ₂ -ekv.
Hiilinielun menetys, tulevan kasvun poistuman aiheuttama	4 259 t CO ₂ -ekv.	4 536 t CO ₂ -ekv.
Hiilivaraston ja -nielun menetys, 50 v	6 156 t CO₂-ekv.	6 489 t CO₂-ekv.

3.4 MAAPERÄN PÄÄSTÖT

Esitettyjen voimalavaihtoehtojen alueet koostuvat pääosin mustikka-, puolukka- sekä varputurvekankaista. Maapohjatyyppijakauma perustuu hankealueella tehtyyn kartoitukseen.

Taulukko 16. Voimalavaihtoehtojen maapohjatyyppijakauma.

Maapohjatyyppi	VE1 [ha]	VE2 [ha]	VE3 [ha]
Mustikkaturvekangas	26	21	26
Puolukkaturvekangas	148	111	133
Varputurvekangas	52	34	44
Jäkäläturvekangas	2	2	2

Maankäytön muutoksesta aiheutuva eri kasvihuonepäästöjen muutos hehtaaria kohden on esitetty seuraavassa taulukossa. Esitetyt luvut perustuvat kirjallisuudessa esiintyviin maapohjatyyppien päästökertoimiin (Minkkinen, Ojanen 2021) sekä IPCC:n viidennen arviointikierrosraportin mukaisiin metaanin ja diytppioksidin GWP-kertoimiin. Oletuksena on, että aurinkovoimalan valmistuttua voimala-alue koostuu pääosin käytöstä poistuneeseen peltoon verrattavissa olevasta ruohikkoalueesta.

Taulukko 17. Maapohjatyyppien päästökertoimien muutos.

Maapohjatyyppi	Ennen [t CO ₂ /ha·a]	Jälkeen [t CO ₂ /ha·a]	Muutos [t CO ₂ /ha·a]
Mustikkaturvekangas	2,2	15,2	13,0
Puolukkaturvekangas	-0,7	15,2	15,9
Varputurvekangas	-0,7	15,2	15,9
Jäkäläturvekangas	-0,8	15,2	15,9

Taulukkojen 16 ja 17 maapohjatyypin pinta-alojen sekä päästökertoimien mukaan lasketut maankäytön muutoksesta aiheutuvat vuotuiset päästöt on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Maankäytön muutoksesta aiheutuvat hiilidioksidiekvivalenttipäästöt.

Voimalavaihtoehto	Maapohjan vuotuiset	Maapohjan 35	Maapohjan 50
	päästöt	vuoden päästöt	vuoden päästöt
	[t CO ₂ -ekv/a]	[t CO ₂ -ekv]	[t CO ₂ -ekv]
VE1	3 570	124 949	178 498
VE2	2 615	91 537	130 768
VE3	3 199	111 971	159 958

3.5 MAHDOLLISEN ENERGIAVARASTON VAIKUTUS PÄÄSTÖIHIN

Aurinkoketun hankkeen yhteydessä arvioidaan mahdollisuutta sijoittaa alueelle 160 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 18 900–38100 t CO₂-ekv.

Akusto vaihdetaan kerran projektin 35 tai 50 vuoden elinkaaren aikana ja oletuksena on, että vaihdosta aiheutuvat päästöt ovat 80 % koko laitteiston valmistuksen päästöistä. Tällöin vaihdon aiheuttamat päästöt olisivat noin 15 100–30 500 t CO₂-ekv.

Mikäli oletetaan, että 50 % lataussyklejä tehdään vuodessa 1300 kappaletta, akkuvaraston hyötysuhteeksi 95 % ja, että akustoa ladataan pääasiassa Aurinkoketun omalla tuotannolla, olisi 160 MWh varaston käytön aiheuttamat päästöt yhteensä noin 7 300 t CO₂-ekv.

Tällä hetkellä Kiina vastaa 80 % globaalista akkuvalmistuskapasiteetista, jonka vuoksi myös Aurinkoketun hankkeen akkuvaraston oletetaan tulevan Kiinasta. (S&P 2024) Akkuvaraston

kuljetuksen aiheuttamia päästöjä on arvioitu Kiinassa valmistetulla SunGrow akkuvarastolla, jonka painoksi on ilmoitettu noin 9 455 kg per MWh (SolarFeeds). Reitin on oletettu kulkevan laivalla Shanghain satamasta Helsingin satamaan. Lisäksi lähimmältä SunGrown paneelitehtaalta Hefeistä Shanghain satamaan on noin 475 kilometrin matka kuorma-autolla. Helsingistä Säkylään on maanteitse noin 215 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 15 kappaletta. Kuljetuksen aiheuttamat kokonaispäästöt sekä etäisyydet on eritelty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 19. Kuljetusten aiheuttamat päästöt akkuvarastolle.

Kuljetus	Matka (km)	Päästökerroin (g CO ₂ /km)	Kokonaispäästöt (t CO ₂ -ekv)
Laiva	24 700	16* per t	598
Kuorma-auto	690 * 15	294**	3
Yhteensä			601

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

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

Tällöin Aurinkoketun 160 MWh akkuvaraston kokonaispäästöt olisivat seuraavat:

Taulukko 20. Akkuvaraston hiilidioksidipäästöjen yhteenvedo.

Päästölähde	Uusiutuvalle energialla valmistettu akkuvarasto [t CO ₂ -ekv]	Pääosin fossiilisella energialla valmistettu akkuvarasto [t CO ₂ -ekv]
Valmistus	18 880	38 080
Akuston vaihto	15 100	30 460
Käyttö	8 463	8 463
Kuljetus	601	601
Yhteensä	43 044	77 604

Kappaleessa 3.3 esitettiin hankkeen aurinkovoimalan kokonaispäästöihin verrattuna akkuvaraston rakentaminen lisäisi koko hankkeen päästöjä noin 7–15 % riippuen akun valmistukseen käytettävästä energiasta.

3.6 TULOKSET

Hiilijalanjälkilaskennan tulokset perusskenaariosta on esitelty tässä luvussa. Eri osien vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen sekä lopulliset tulokset on esitelty alla olevissa taulukoissa. Mahdollisen akkuvarastohankkeen aiheuttamat päästöt on huomioitu taulukoissa alimpana fossiilisilla energiantuotantomuodoilla sekä uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla valmistetulla akulla. Aurinkovoimahankkeen arvioitu kokonaishiilijalanjälki 35 vuoden perusskenaariossa on 64–68 g CO₂-ekv. / kWh, kun kierrätysyhvitykset on huomioitu laskennassa. 50 vuoden skenaarion hiilijalanjälki on 60–61 g CO₂-ekv/kWh.

Taulukko 21a. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto perusskenaariossa, sijoitus suunnitelma VE1.

VE1		
Verkkoliityntävaihtoehto	SVE1	SVE2
Aurinkovoimalan päästöt (t-CO ₂ ekv)	235 452	235 452
Voimalinjan päästöt (t-CO ₂ ekv)	8 365	8 888
Maankäytön muutoksen päästöt (t-CO ₂ ekv)	124 949	124 949
Päästöt yhteensä (t-CO ₂ ekv)	368 766	369 289
Aurinkovoimalan tuotanto yhteensä (GWh)	5 710	5 710
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	64,6	64,7
Akkuvaraston päästöt (tuotettu fossiilisilla) (t-CO ₂ ekv)	75 824	75 824
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu fossiilisilla) (g/kWh)	77,8	77,9
Akkuvaraston päästöt (tuotettu uusiutuvilla) (t-CO ₂ ekv)	41 264	41 264
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu uusiutuvilla) (g/kWh)	71,8	71,9

Taulukko 21b. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto perusskenaariossa, sijoitussuunnitelma VE2.

VE2		
Verkkoliityntävaihtoehto	SVE1	SVE2
Aurinkovoimalan päästöt (t-CO2 ekv)	166 871	166 871
Voimalinjan päästöt (t-CO2 ekv)	8 365	8 888
Maankäytön muutoksen päästöt (t-CO2 ekv)	91 538	91 538
Päästöt yhteensä (t-CO2 ekv)	266 774	267 297
Aurinkovoimalan tuotanto yhteensä (GWh)	3 989	3 989
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	66,9	67,0
Akkuvaraston päästöt (tuotettu fossiilisilla) (t-CO2 ekv)	75 824	75 824
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu fossiilisilla) (g/kWh)	85,8	86,5
Akkuvaraston päästöt (tuotettu uusiutuvilla) (t-CO2 ekv)	41 264	41 264
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu uusiutuvilla) (g/kWh)	77,2	77,4

Taulukko 21c. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto perusskenaariossa, sijoitussuunnitelma VE3.

VE3		
Verkkoliityntävaihtoehto	SVE1	SVE2
Aurinkovoimalan päästöt (t-CO2 ekv)	200 391	200 391
Voimalinjan päästöt (t-CO2 ekv)	8 365	8 888
Maankäytön muutoksen päästöt (t-CO2 ekv)	111 971	111 971
Päästöt yhteensä (t-CO2 ekv)	320 727	321 251
Aurinkovoimalan tuotanto yhteensä (GWh)	4 811	4 811
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	66,7	66,8
Akkuvaraston päästöt (tuotettu fossiilisilla) (t-CO2 ekv)	75 824	75 824
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu fossiilisilla) (g/kWh)	82,4	82,5
Akkuvaraston päästöt (tuotettu uusiutuvilla) (t-CO2 ekv)	41 264	41 264
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu uusiutuvilla) (g/kWh)	75,4	75,2

Taulukko 22a. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto 50 vuoden skenaariossa, sijoitusuunnitelma VE1.

VE1		
Verkkoliityntävaihtoehto	SVE1	SVE2
Aurinkovoimalan päästöt (t-CO2 ekv)	421 745	421 745
Voimalinjan päästöt (t-CO2 ekv)	9 682	10 298
Maankäytön muutoksen päästöt (t-CO2 ekv)	178 498	178 498
Päästöt yhteensä (t-CO2 ekv)	609 451	612 598
Aurinkovoimalan tuotanto yhteensä (GWh)	9 983	9 983
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	59,5	59,5
Akkuvaraston päästöt (tuotettu fossiilisilla) (t-CO2 ekv)	75 824	75 824
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu fossiilisilla) (g/kWh)	67,0	67,1
Akkuvaraston päästöt (tuotettu uusiutuvilla) (t-CO2 ekv)	41 264	41 264
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu uusiutuvilla) (g/kWh)	63,6	63,6

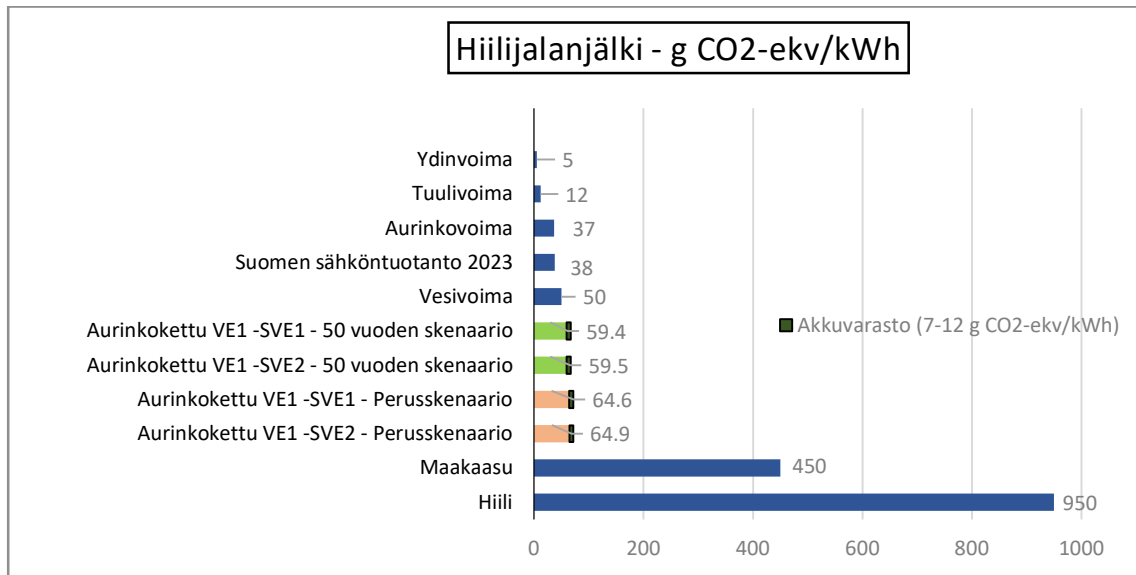
Taulukko 22b. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto 50 vuoden skenaariossa, sijoitusuunnitelma VE2.

VE2		
Verkkoliityntävaihtoehto	SVE1	SVE2
Aurinkovoimalan päästöt (t-CO2 ekv)	286 228	286 228
Voimalinjan päästöt (t-CO2 ekv)	9 682	10 298
Maankäytön muutoksen päästöt (t-CO2 ekv)	130 768	130 768
Päästöt yhteensä (t-CO2 ekv)	426 678	427 295
Aurinkovoimalan tuotanto yhteensä (GWh)	6 974	6 974
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	61,2	61,3
Akkuvaraston päästöt (tuotettu fossiilisilla) (t-CO2 ekv)	75 824	75 824
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu fossiilisilla) (g/kWh)	72,1	72,2
Akkuvaraston päästöt (tuotettu uusiutuvilla) (t-CO2 ekv)	41 264	41 264
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu uusiutuvilla) (g/kWh)	67,1	67,2

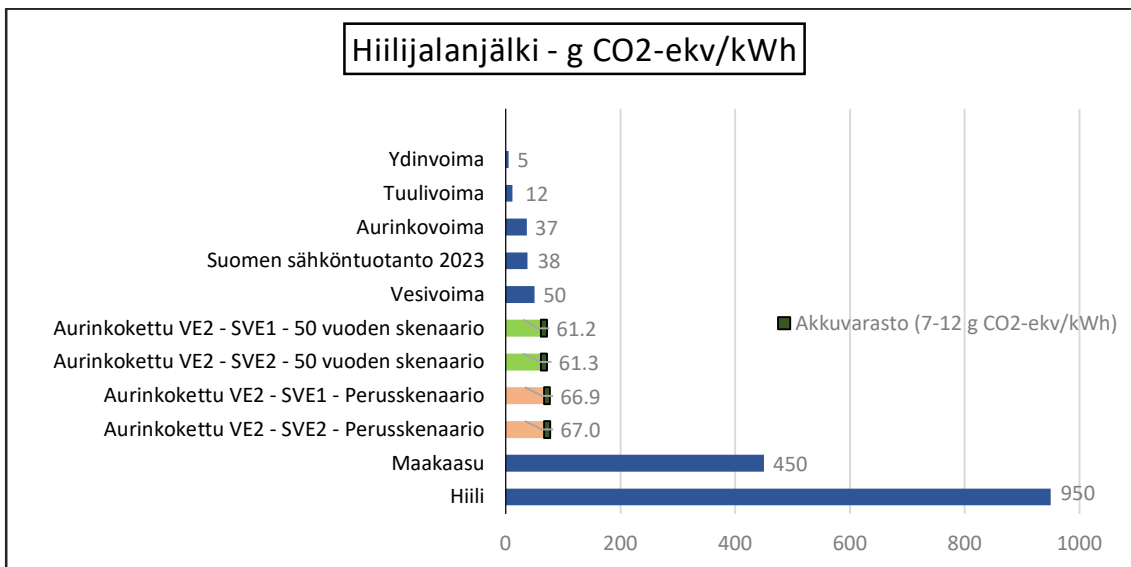
Taulukko 22c. Hiilidioksidipäästöjen yhteenveto 50 vuoden skenaariossa, sijoitussuunnitelma VE3.

VE3		
Verkkoliityntävaihtoehto	SVE1	SVE2
Aurinkovoimalan päästöt (t-CO2 ekv)	343 885	343 885
Voimalinjan päästöt (t-CO2 ekv)	9 682	10 298
Maankäytön muutoksen päästöt (t-CO2 ekv)	159 958	159 958
Päästöt yhteensä (t-CO2 ekv)	514 142	513 616
Aurinkovoimalan tuotanto yhteensä (GWh)	8 411	8 411
Hiilijalanjälki yhteensä (g/kWh)	61,1	61,1
Akkuvaraston päästöt (tuotettu fossiilisilla) (t-CO2 ekv)	75 824	75 824
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu fossiilisilla) (g/kWh)	70,1	70,2
Akkuvaraston päästöt (tuotettu uusiutuvilla) (t-CO2 ekv)	41 264	41 264
Hiilijalanjälki yhteensä akkuvaraston kanssa (tuotettu uusiutuvilla) (g/kWh)	66,0	66,0

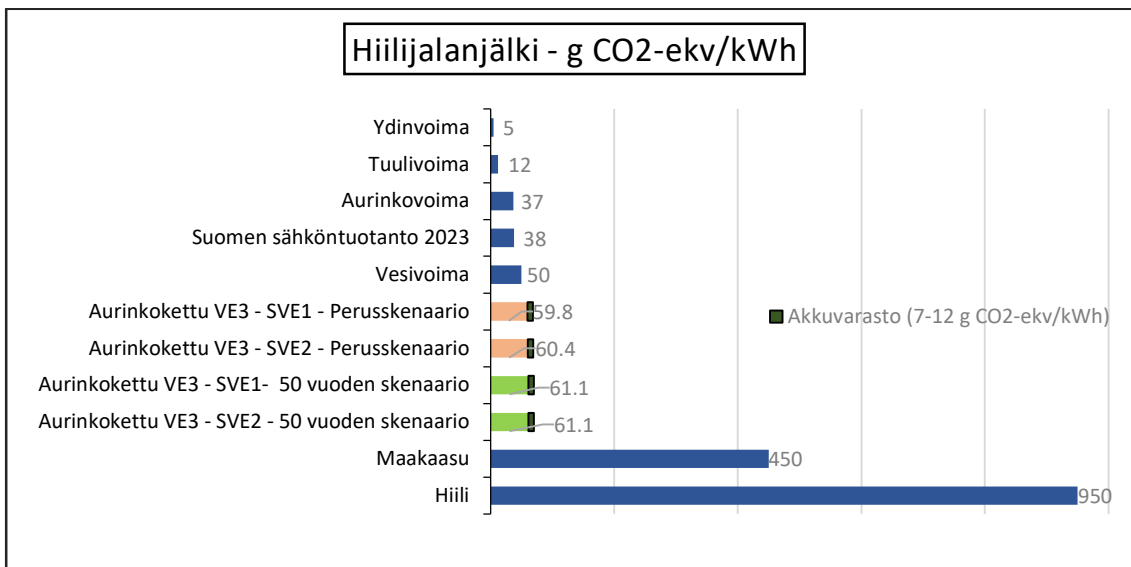
Alla olevassa kaaviossa on verrattu Aurinkokettu -hankkeen päästöjä muiden energiantuotantomuotojen tyypillisiin päästöihin. Mahdollisen akkuvaraston osuus päästöihin on lisätty kullekin hankkeelle, niiden päästöt ovat eriteltynä kappaleessa 3.5. Tietolähteet ovat UNECE (2021) ja Fingrid (2023).



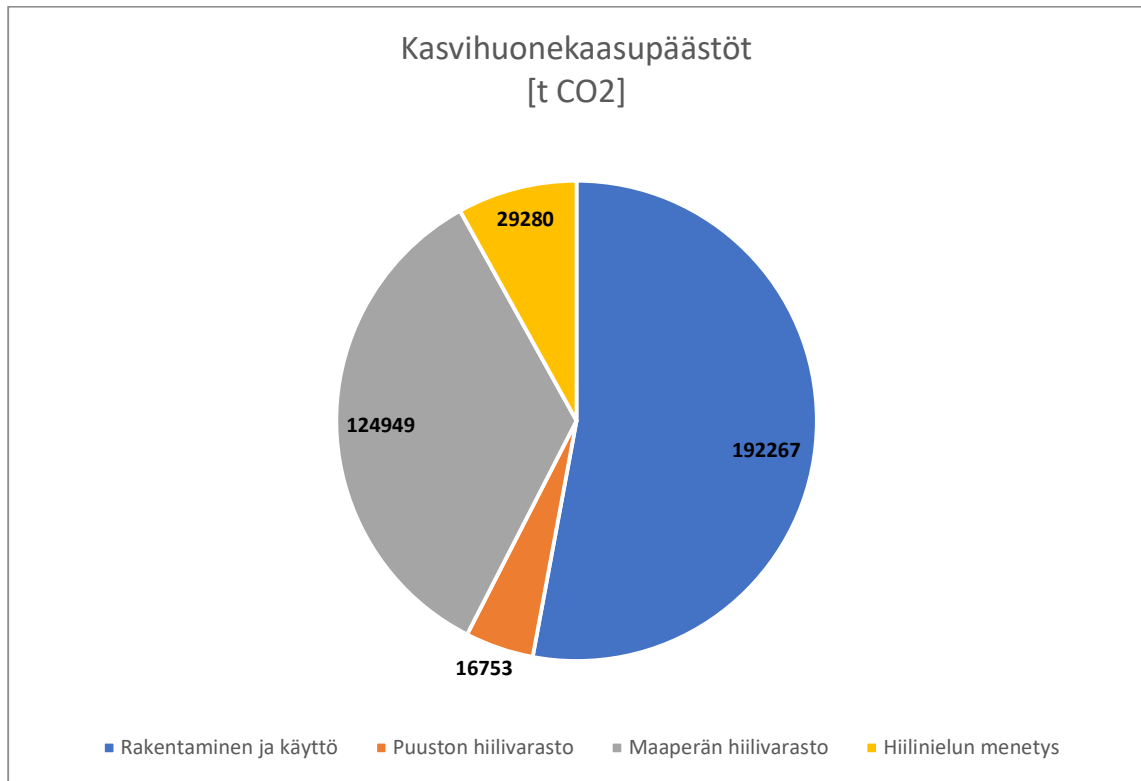
Kuva 6a. Sähköntuotannon päästöjen vertailu, sijoitussuunnitelma VE1.



Kuva 6b. Sähköntuotannon päästöjen vertailu, sijoitussuunnitelma VE2.



Kuva 6c. Sähköntuotannon päästöjen vertailu, sijoitussuunnitelma VE3.



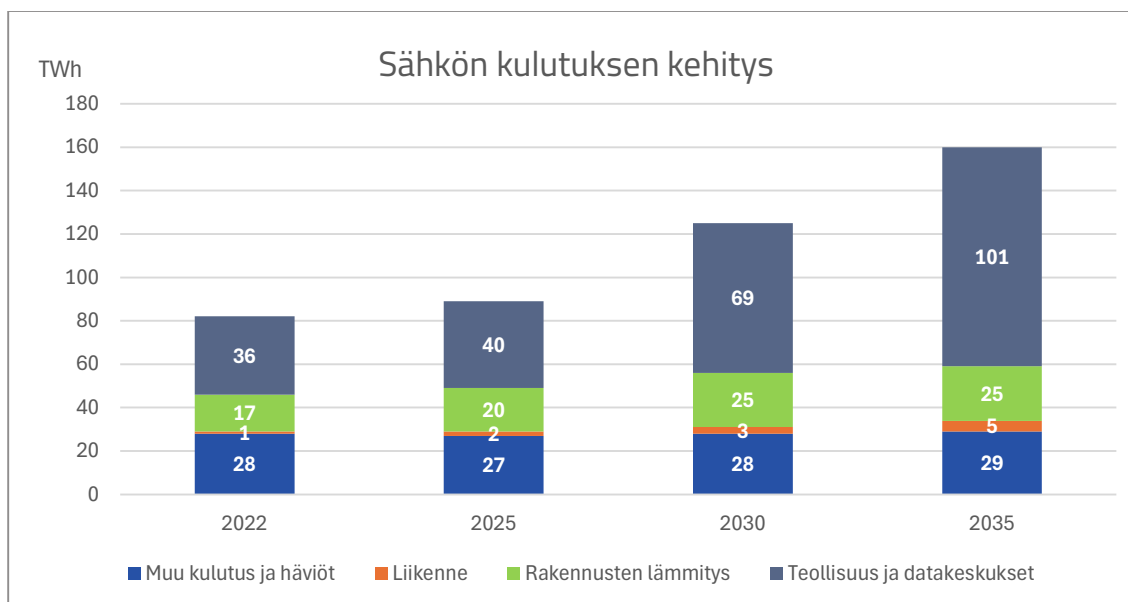
Kuva 7. Päästöjen jakautuminen aurinkovoimahankkeessa, VE1 perusskenaario.

4 HIILIKÄDENJÄLKILASKENNAT

Tässä luvussa arvioidaan Aurinkokettu -hankkeen hiilikädenjälki. Luku 4.1 noudattaa 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 Suomessa korvaa olemassa olevaa suomalaista tuotantoa sekä tuontisähköä ja lisää uusiutuvaa vientisähkö. Sähkönkulutuksen päästöjä vertaillessa on tärkeää huomioida nykyisen sähkönkulutuksen lisäksi myös kulutuksen kehittyminen tulevaisuudessa, jolloin energianlähteitä tarvitaan myös lisää kasvun suhteessa. Suomen sähkön kulutuksen on ennustettu lisääntyvän sähköistymisen myötä 126 TWh tasolle vuoteen 2030 mennessä, ja 160 TWh tasolle vuoteen 2035 mennessä. Erityisesti teollisuuden kulutuksen odotetaan lisääntyvän tulevaisuudessa (Fingrid, 2024). Lisäksi 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).



Kuva 7. Sähkön kulutuksen kehitys Suomessa, Fingridin ennuste Q3/2024 (Fingrid, 2024).

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. Yhteistä sähkömarkkinajärjestelmää ajatellen Euroopan mittakaavassa korvatut energialähteet ovat pääasiassa hiili, maakaasu, ydinvoima sekä uusiutuvat energianlähteet. Käytetty yksikkö on g CO₂-ekv. / kWh tuotettua sähköä.

4.1 HIILIKÄDENJÄLJEN LASKEMINEN

Hiilijalanjälkeä arvioidaan aurinkovoimalan koko elinkaaren aikana, perusskenaarion tapauksessa 35 vuoden ajan. Hiilijalanjälkenä on käytetty verkkoliityntävaihtoehtojen keskiarvoa.

- VE1 – 197,4 MWp: 64,7 g CO₂-ekv/kWh
- VE2 – 144,4 MWp: 67,1 g CO₂-ekv/kWh
- VE3 – 176,4 MWp: 66,8 g CO₂-ekv/kWh

Hiilijalanjälkeä arvioidaan aurinkovoimalan koko elinkaaren aikana, 50 vuoden skenaarion tapauksessa 40 vuoden ajan. Hiilijalanjälkenä on käytetty verkkoliityntävaihtoehtojen keskiarvoa.

- VE1 – 197,4 MWp: 61,2 g CO₂-ekv/kWh
- VE2 – 144,4 MWp: 61,4 g CO₂-ekv/kWh
- VE3 – 176,4 MWp: 61,1 g CO₂-ekv/kWh

Korvattu sähköntuotanto koostuu uusiutuvan energian ja uusiutumattoman energian yhdistelmästä. Niiden osuudet ja päästöt Euroopassa vuonna 2023 olivat seuraavat (Ember, 2024):

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 Aurinkoketun perusskenaarion kolmelle eri sijoittelusuunnitelmalle on:

- VE1: 251-64,7 = 186,3 g CO₂-ekv/kWh
- VE2: 251-67,1 = 183,9 g CO₂-ekv/kWh
- VE3: 251-66,8 = 184,2 g CO₂-ekv/kWh

Hiilikädenjälki Aurinkoketun 50 vuoden skenaarion kolmelle eri sijoittelusuunnitelmalle on:

- VE1: 251-61,2 = 189,8 g CO₂-ekv/kWh
- VE2: 251-61,4 = 189,6 g CO₂-ekv/kWh
- VE3: 251-61,1 = 189,9 g CO₂-ekv/kWh

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hiilijalanjälkianalyysi osoittaa, että Aurinkokettu hankkeen hiilijalanjälki 35 vuoden perusskenaariolle on noin 64–68 g CO₂-ekv/kWh ja 50 vuoden skenaariolle noin 61–62 g CO₂-ekv/kWh, kun hiilijalanjälki kivihiilelle on noin 1000 g CO₂-ekv/kWh ja maakaasulle 400–500 g CO₂-ekv/kWh ja tuulivoimalle 12 g CO₂-ekv/kWh (UNECE, 2021). Toteutuessaan hankkeen yhteyteen suunniteltu 160 MWh akkuvarasto nostaisi voimalan kokonaispäästöjä noin 7–15 g CO₂-ekv/kWh.

Hiilikädenjälkianalyysi osoittaa lisäksi sen myönteisen vaikutuksen mikä syntyy, kun fossiiliset polttoaineet korvataan aurinkovoimaloiden uusiutuvalla energialla. Hiilikädenjälkianalyysimme mukaan Aurinkoketun hiilikädenjälki on perusskenaariolle noin 183–187 g CO₂-ekv/kWh ja 50 vuoden skenaariolle noin 189–190 g CO₂-ekv/kWh, eli noin 3-kertainen hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä tarkoittaa, että myönteiset vaikutukset (päästövähennykset) ovat noin kolme kertaa suuremmat kuin hankkeen kielteiset vaikutukset (voimalan elinkaaren aikana aiheutetut päästöt ja pienentynyt hiilinielu metsähakkuiden vuoksi).

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

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.

Hiilikädenjäljen laskentaan liittyy jonkin verran epävarmuustekijöitä. 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.

6 LÄHTEET

Finlex (2022). Ilmastolaki 10.6.2022/423. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423>

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

European Commission (2022). *How is EU electricity produced and sold?* Saatavilla:
<https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>

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

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

Fingrid (2023). *Sähköntuotannon CO₂-päästöarvio*.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Fingrid (2024). Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät.
<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-q3-2024-fingrid.pdf>

Fingrid (2021). *Petäjäskoski-Nuojuankangas 400 + 110 kilovoltin voimajohtohanke*.
https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/maankaytto-ja-ymparisto/petajaskoski_nuojuankangas_voimajohtohanke_yva-selostus_2021_www-sivulle-id-292081.pdf

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

Kari Minkkinen, Paavo Ojanen (2021), *Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden kasvihuone-kaasutaseet*. Metsäntutkimuslaitos, Paavo Havaksen tie 3, PL 413, 90014 Oulun yliopisto, Metsäntutkimuslaitos, PL 18, 01301 VANTAA Helsingin yliopisto

- 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>
- Ojanen, Paavo, Suoseura Maahenki (2020), Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonepäästöihin. Saatavilla: <http://www.suoseura.fi/ojitettujen-soiden-kestava-kaytto/ojituksen-vaikutus-maaperan-kasvihuonekaasupaastoihin/>
- PVsyst. *Photovoltaic software*. PVsyst – Photovoltaic software
- 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>
- SolarFeeds. ST2752UX. Sungrow LFP Battery Capacity, Prices, Reviews. (solarfeeds.com)
- SYKE (2024). Rakentamisen päästötietokanta, Suomen ympäristökeskus (SYKE).
<https://co2data.fi/rakentaminen/>
- Trinasolar (2024). *Vertex TSM-DEG21C.20 Data sheet*. Available:
<https://www.trinasolar.com/en-glb/resources/downloads#TSM-DEG5-2>
- 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>
- 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
- Lunche Wang, Tianzhi Qiu, Ming Zhang, Qian Cao, Wenmin Qin, Shaoqiang Wang, Lizhe Wang, Deliang Chen, Martin Wild (2024). Carbon Emissions and reduction performance of photovoltaic systems in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114603>