

Makila

ILMASTOVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Kemiönsaaren Aurinkovoima Oy

FCG Finnish Consulting Group Oy

21.10.2024

P51238P003

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	5
1 Johdanto	7
2 Aurinkovoimalan elinkaari ja sen ilmastovaikutukset	7
3 Menetelmät, oletukset ja rajaukset	9
3.1 Materiaali- ja tuotevaihe	10
3.2 Rakentamisvaihe	11
3.2.1 Hiilivarasto ja -nieluvaikutukset	12
3.3 Käyttövaihe	13
3.4 Elinkaaren loppu	14
4 Tulokset	15
4.1 Hiilijalanjälki	15
4.2 Ilmastohyödyt	17
5 Yhteenveto	19
Lähteet	20

FCG Finnish Consulting Group Oy ("FCG") on laatinut tämän raportin FCG:n asiakkaan ("Asiakas") toimeksiannon ja ohjeiden mukaisesti. Tämä raportti on laadittu FCG:n ja Asiakkaan välisen sopimuksen ehtojen mukaisesti. FCG ei ole vastuussa tästä raportista tai sen käytöstä suhteessa mihinkään muuhun tahoon kuin Asiakkaaseen.

Tämä raportti voi perustua kokonaan tai osaksi kolmansien osapuolten FCG:lle antamiin tietoihin tai julkisiin lähteisiin ja näin ollen tietoihin, joihin FCG:llä ei ole ollut vaikutusmahdollisuuksia. FCG toteaa nimenomaisesti, ettei sillä ole vastuuta sille annettujen virheellisten tai puutteellisten tietojen perusteella.

Kaikki oikeudet (mukaan lukien tekijänoikeudet) tähän raporttiin kuuluvat FCG:lle, tai Asiakkaalle, mikäli niin on sovittu FCG:n ja Asiakkaan välillä. Tätä raporttia tai sen osaa ei saa muokata tai käyttää uudelleen toiseen tarkoitukseen ilman FCG:n kirjallista lupaa.

Käsitteet ja lyhenteet

elinkaariarviointi	tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointiin käytetty menetelmä
EPD-raportti	ympäristöseloste, josta käy ilmi tuotteen ympäristövaikutukset sen koko elinkaaren ajalta
hiilen sidonta	prosessi, jossa ilmakehän hiiltä siirtyy ja kertyy maaperän, merien tai kasvillisuuden hiilivarastoon
hiilidioksidiekvivalentti	ilmastopäästöjen yhteismitta (CO ₂ ekv), jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus ilmastonmuutoksen voimistumiseen
hiilijalanjälki	hankkeen elinkaaren aikana syntyvien ilmastopäästöjen summa
hiilikädenjälki	hankkeen ulkopuoliset ilmastohyödyt, joita voidaan saavuttaa hankkeen elinkaaren aikana ja joita ei syntyisi ilman hanketta
hiilinielu	kasvava hiilivarasto eli prosessi tai mekanismi, joka sitoo hiilidioksidinekvivalenttina ilmaistuna hiilidioksidia tai muuta kasvihuonekaasua ilmakehästä maaperään, meriin tai kasvillisuuteen
hiilipiikki	puhekielinen ilmaisu, jolla tarkoitetaan hankkeen alkuvaiheessa syntyviä, koko elinkaaren ilmastopäästöjen näkökulmasta suuria päästöjä
hiilivarasto	puuston ja kasvien biomassa, maaperään ja vesialueisiin varastoituneen hiilen määrä; hiilivarastoa kutsutaan hiilinieluksi, jos siihen sitoutuu vuodessa enemmän hiilidioksidia kuin sitä vapautuu ilmakehään, ja hiilen lähteeksi, jos siitä vapautuu vuoden aikana enemmän hiilidioksidia kuin siihen sitoutuu
ilmastopäästöt	kasvihuonekaasupäästöjen synonyymi
invertteri	vaihtosuuntaaja, joka muuttaa tuotetun tasavirran vaihtovirraksi
kasvihuonekaasut	ilmaston lämpenemistä aiheuttavat ja auringon lämpösäteilyn pääsyä ilmakehästä takaisin avaruuteen haittaavat kaasut, jotka ovat kansainvälisessä kasvihuonekaasuinventaarissa hiilidioksidin (CO ₂)

21.10.2024

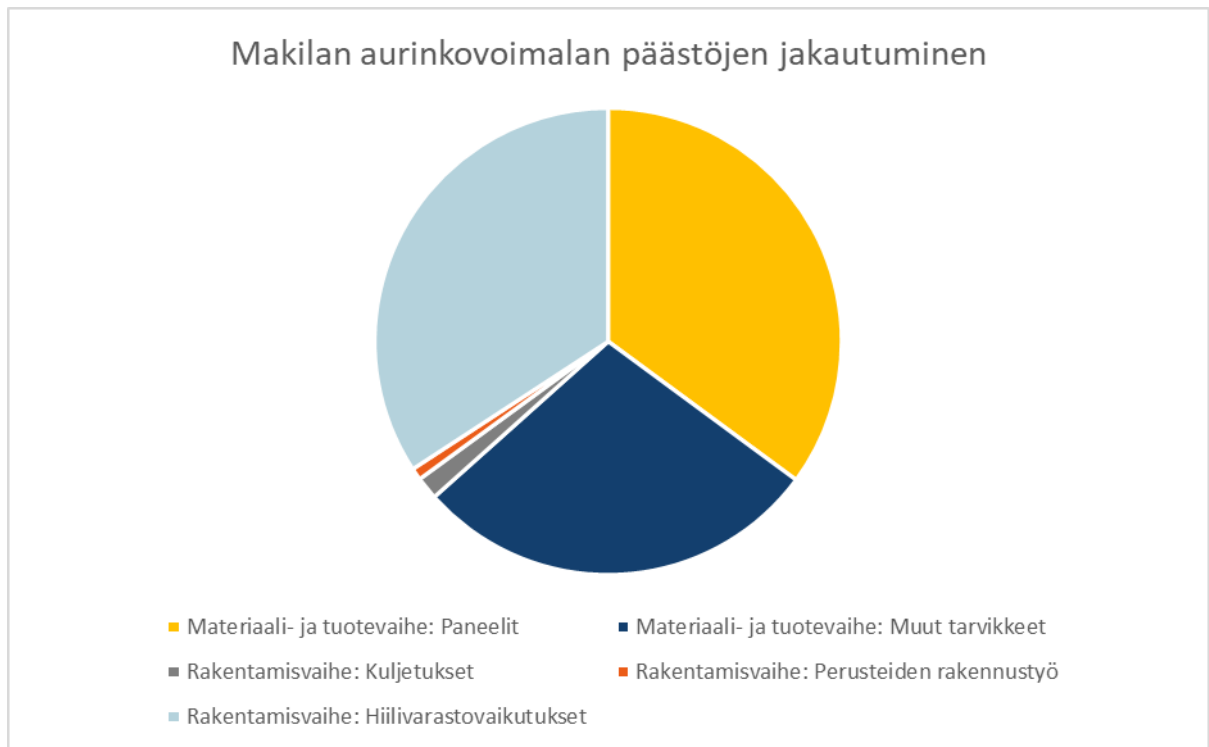
MT

kivennäismaa	lisäksi metaani (CH ₄), dityppioksidi (N ₂ O) sekä fluorikaasut eli niin sanotut F-kaasut (HFC, PFC ja SF ₆) kallioperästä irronneesta tai hienontuneesta kiviaineksesta muodostuneet maalajit kuten moreeni, hieta, hiekka, savi ja hiesu, joissa on alle 20 % eloperäistä ainesta
metsäpoistuma	metsäisen alueen maankäytön muutoksesta aiheutuva metsän ja maaperän hiilivarastojen poistuma ja menetettävä hiilinielu; käsitteenä suppeampi kuin metsämaan maankäytön muutoksesta aiheutuvat laajemmat ympäristövaikutukset kattava metsäkatko
nimellisteho	aurinkopaneelin standardiolosuhteissa tuottama wattiyksikköinä mitattu huipputeho
ominaispäästökerroin	CO ₂ -päästöjen määrä, joita on syntynyt esim. tuotettua energiayksikköä kohden
prosessiperäiset päästöt	raaka-aineiden ja polttoaineiden raaka-ainekäytöstä sekä jätteiden ja jätevesien käsittelystä suoraan aiheutuvat ei-energiaperäiset ilmastopäästöt
STC	säteilytehon ja lämpötilan standardiolosuhteet, jossa aurinkopaneelit ominaisuuksia testataan
wattiyksikkö	nimellistehon yksikkö (W _p), joka vastaa aurinkopaneelin tuottamaa enimmäistehoa STC-olosuhteissa

Tiivistelmä

Tässä ilmastovaikutusten arvioinnissa tarkastellaan Kemiönsaaren Aurinkovoima Oy:n Makilan aurinkovoimalan elinkaaren aikaisia ilmastovaikutuksia. Arviointi on tehty voimalaan liittyvää suunnittelutarveratkaisun ja rakennusluvan hakemista varten.

Aurinkovoimalahankkeen ilmastovaikutusten lähteitä ovat tarvittavien laitteiden ja rakenteiden raaka-aineiden hankinta ja valmistus, rakentamisen energiankäyttö, alueen rakentamisen aiheuttaman maankäytön muutoksen vaikutukset alueen hiilensidontaan, voimalan käyttövaiheen huolto- ja ylläpitotehtävät sekä käytöstä poistovaihe. Aurinkovoiman tuotannosta ei käyttövaiheen aikana itsessään aiheudu suoria päästöjä.



Kuva 1 Makilan aurinkovoimalan hiilijalanjäljen jakauma elinkaarivaiheittain.

Aurinkovoimalan hiilijalanjälki kuvaa sen elinkaaren aikana syntyvien ilmastopäästöjen määrää. Makilan aurinkovoimalan ilmastovaikutuksia on tarkasteltu voimalan kannalta keskeisimmistä elinkaarivaiheista. Ne ovat materiaali- ja tuotevaihe sekä rakentamisvaiheen aikana tapahtuva rakentaminen, kuljetukset ja maankäytön muutokset. Suurin osa voimalan noin 14 800 tCO₂ekv hiilijalanjäljestä aiheutuu hankkeen elinkaaren alussa materiaalien ja osien valmistusvaiheessa sekä rakentamisvaiheen hiilivarastovaikutuksista. Makilan aurinkovoimalan elinkaarenaikainen ilmastopäästöjen

ominaispäästökerroin on oletetun 40 käyttövuoden aikana keskimäärin tämän arvioinnin mukaan noin 13 g CO₂ekv/kWh.

1 Johdanto

Fortum Renewables Oy:n tytäryhtiö Kemiönsaaren Aurinkovoima Oy suunnittelee aurinkoenergian tuotantolaitoksen rakentamista Kemiönsaaren kaupungissa sijaitsevalle Makilan alueelle. Hankealue sijaitsee noin 0,4 kilometrin etäisyydellä Kemiön taajaman pohjoispuolella. Aurinkovoimalan suunniteltu nimellisteho on yhteensä 27 MWp. Hankealue on laajuudeltaan 27 hehtaaria ja pääosin peltoa. Hankealueen pohjois- ja länsipuolen metsäalueet ovat metsätalouskäytössä. Makilan hankealueen maaperä on savea.



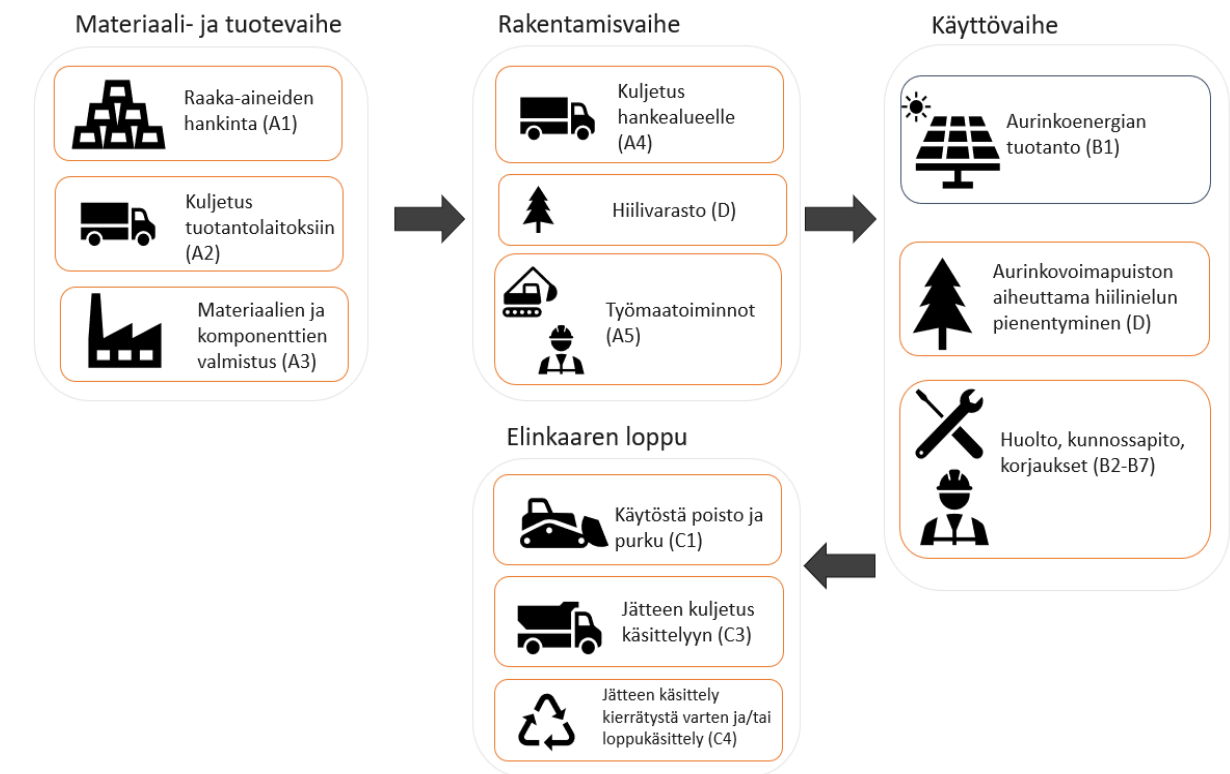
Kuva 2 Makilan hankealueen orttokuva

Ilmastovaikutusten arvioinnin on laatinut insinööri (AMK) Tiia Merta FCG Finnish Consulting Group Oy:stä.

2 Aurinkovoimalan elinkaari ja sen ilmastovaikutukset

Hiilijalanjäljen avulla voidaan kuvata aurinkovoimalan elinkaaren aikana syntyvien ilmastopäästöjen kokonaismäärää. Aurinkopaneelien ja muiden voimalan laitteiden ja rakenteiden raaka-aineiden hankintaan ja tuotteiden valmistukseen liittyy kuvan 3 mukaisia

välillisiä päästöjä. Myös rakentamisen työkoneiden ja kuljetusten energiankäyttö sekä syntyvien jätteiden käsittely ovat aurinkovoimalan elinkaaren alkuvaiheen päästölähteitä. Syntyvä maankäytön muutos vaikuttaa maaperään ja kasvillisuuteen sitoutuneeseen hiilen määrään ja muuttaa niiden kykyä sitoa hiiltä tulevaisuudessa. Voimalan käyttövaiheen suoria ja välillisiä päästölähteitä ovat tarkastusten, kunnossapidon ja korjausten tarvitsemat työkoneet, kulkuneuvot, kuljetukset ja materiaalit. Elinkaaren loppuvaiheessa syntyy päästöjä aurinkovoimalan purkamisesta ja purkumateriaalien käsittelystä.



Kuva 3 Aurinkovoimalan elinkaariarvioinnin mukaiset vaiheet.

Kasvihuonekaasupäästöihin ja hiilen sidontaan liittyvän hillintänäkökulman lisäksi on huomioitava, miten ilmaston lämpeneminen vaikuttaa aurinkovoimalaan ja millaisiin sopeutumis- ja varautumistoimiin alueella on pitkällä aikavälillä tarvetta. Vuoteen 2050 mentäessä Varsinais-Suomen maakunnan keskilämpötilan ennustetaan kohoavan huomattavasti, sademäärien kasvavan ja lumen määrän vähenevän huomattavasti (Ilmastopaneeli 2021). Muutoksilla on vaikutusta aurinkovoiman tuotantoon ja niihin on syytä varautua suunnittelussa. Esimerkiksi helteet voivat heikentää paneelien tehokkuutta ja voimistuvat rankkasateet voivat vaurioittaa voimalan laitteita ja rakenteita.

3 Menetelmät, oletukset ja rajaukset

Makilan aurinkovoimalan ilmastovaikutusten arviointi noudattaa elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjäljen laskennan standardien periaatteita ja vaiheistusta. Päästölaskenta on periaatteessa yksinkertaista energia-, kappale-, suorite- ja tai muihin määriin perustuvan aktiivisuusdatan kertomista asianmukaisella ominaispäästökertoimella. Päästömäärät on esitetty hiilidioksidiekvivalentteina (CO₂ekv), jonka avulla eri vaiheissa ja lähteistä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt voidaan yhteismitallistaa kuvaamaan niiden ilmastoa lämmittävää kokonaisvaikutusta. Raportissa on käytetty ilmastopäästöjä kasvihuonekaasupäästöjen synonyyminä.

Makilan aurinkovoimalan rakentamiseen oletetaan arvioinnissa kuluvan yhteensä noin kaksi vuotta. Käyttövaiheen oletetaan alkavan vuonna 2026, jolloin aurinkovoimalan viimeinen käyttövuosi olisi vuonna 2066.

Olenneimpiin päästölähteisiin keskittymisen ja arviointiaineistojen asettamien rajoitteiden vuoksi osa kuvan 3 voimalahankkeen elinkaaren vaiheista on rajattu arvioinnin ja laskennan ulkopuolelle. Rajaukset on kuvattu alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1 Makilan aurinkovoimalan hiilijalanjäljen laskennassa tarkasteltavat hankkeen elinkaaren vaiheet. Vaiheiden tunnistekoodit on määritelty luvun 2 kuvassa 3.

Vaihe	Materiaali- ja tuotevaihe			Rakentamisvaihe			Käyttövaihe			Elinkaaren loppu		
	A1	A2	A3	A4	A5	D	B1	B2-B7	D	C1	C2	C3-C4
Arviointi	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Arvioitavat päästölähteet	Aurinkopaneelit, invertterit, voimalaa ympäröivä aita, asennustelineet ja telineiden paalut/betoniharkot			Kuljetukset, rakentaminen ja hiilivarastovaikutukset			Hiilinielut					

Aurinkovoimalan on ensisijaisesti tarkoitus liittyä Fingridin Kemiön 110 kV sähköasemalle. Liityntä asemalla tapahtuisi todennäköisesti 110 kV:n maakaapelilla. Etäisyys voimalalta sähköasemalle on noin 1 kilometri, joten sähkönsiirtoon tarvittavan maakaapelin materiaali-, tuote- ja rakentamisvaiheen päästöt ovat pienet, eivätkä juurikaan vaikuta Makilan aurinkovoimalan elinkaaren päästöjen suuruuteen. Tästä syystä sähkönsiirto on rajattu laskennan ulkopuolelle.

Ilmastovaikutusten arviointi perustuu asiantuntija-arvioon sekä hankekehitysvaiheessa saatavilla olleisiin tietoihin, kuten hankkeen YVA-tarvearviointiin. Päästölaskenta on tehty saatavilla olevien tietojen, oletuksien ja ennusteiden mukaan. Sen tarkoituksena on toimia suuntaa antavana arvioina.

3.1 Materiaali- ja tuotevaihe

Hankkeen materiaali- ja tuotevaiheen ilmastovaikutukset (A1–A3) on arvioitu kehdesta tehtaan portille -periaatteella. Makilan aurinkovoimalaan suunnitellut paneelit ovat 2-puolisia yksikidepaneeleja ja teholtaan 550-650 W_p.

Suurin osa aurinkopaneelin materiaali- ja tuotevaiheen ilmastopäästöistä aiheutuu paneelia suojaavan karaistun lasin ja aurinkokennojen valmistuksessa tarvittavien piiyhdisteiden tuotannossa. Materiaali- ja tuotantovaiheen päästöjen laskennassa on huomioitu paneelien lisäksi myös paneelien asennustelineet, invertterit, voimalaa ympäröivä riista-aita ja perustamiseen käytettävät sinkitetty porapaalut tai maavaraiseen perustamiseen tarvittavat betoniharkot. Lopullisen hiilijalanjäljen vaihteluväli johtuu valitusta perustamistavasta ja sen vaatimista materiaaleista. Taulukossa 2 kuvataan materiaali- ja tuotevaiheen laskentaa sekä käytettyjä lähteitä.

Taulukko 2 Makilan aurinkovoimalan materiaali- ja tuotevaiheen laskennan kuvaus

Kohde	Laskennan kuvaus	Käytetyt lähteet
Aurinkopaneelit	Käytetty päästökerroin sisältää paneelien raaka-aineiden hankinnan ja kuljetuksen sekä valmistuksen päästöt	Ecoinvent v. 3.10
Asennustelineet	Telineiden massa- ja materiaaliosuudet on arvioitu telinevalmistaja Scheletterin teräksestä ja alumiinista valmistettujen kaksijalkaisten ja 2V-rakenteisten perustelinemallien avulla Teräksen ja alumiinin päästökertoimet on haettu CO2data:sta	Scheltter 2022. PVMaX Kit 2V LT 11/72 4 Pfosten, Scheltter 2023. Fixed tilt systems. CO2data, ruostumaton terästputki, alumiini
Invertterit	Päästökerroin on arvioitu Huaweiin (2020) invertterin hiilijalanjälkiraportin pohjalta	Huawei Solar inverter Carbon Footprint Report (2020)
Voimalaa ympäröivä riista-aita	Aidan päästökerroin on haettu CO2data:sta ja aidan pituus arvioitu paikkatietotarkasteluna	CO2data, korkea suojaverkko
Sinkitetty porapaalut	Ominaispäästökerroin perustuu SSAB:n (2022) lyöntipaalujen ympäristöselosteen paalujen	SSAB 2022. Steel pipes. Environmental

Kohde	Laskennan kuvaus	Käytetyt lähteet
	valmistuksen A1-A3 elinkaarivaiheiden ilmastopäästöihin	Product Declaration (EPD)
Betoniharkot	Betoniharkkojen valmistuksen päästökerroin on haettu CO2data:sta	CO2data, betonipalkki

Muita aurinkovoimalan tarvitsemia osia ovat pienjännitteiset tasavirtakaapelit, pienjännitteiset vaihtovirtakaapelit, muuntoasemat ja keskijännitteiset vaihtovirtakaapelit. Muiden aurinkovoimalan tarvitsemien laitteiden ja rakenteiden materiaali- ja tuotevaiheen ilmastopäästöjä ei ole arvioitu. Rajaukseen syynä ovat puutteelliset tai epävarmat määrät tai kerrointiedot. Rajaus ei vaikuta merkittävästi arvioinnin lopputulokseen. Arviointityön yhteydessä tehtyjen suuntaa antavien laskelmien perusteella tarkastelun ulkopuolelle jäävien materiaali- ja tuotevaiheen päästölähteiden osuus Makilan aurinkovoimalan kokonaispäästöistä on alle 10 %:n kokoluokkaa.

3.2 Rakentamisvaihe

Aurinkovoimalan rakentamisvaiheen päästölähteistä (A4 ja A5 sekä D) on arvioinnissa mukana aurinkopaneelien, asennustelineiden ja porapaalujen sekä betoniharkkojen kuljetukset selvitysalueelle, asennustelineiden perustusten työ sekä maankäytön muutosten vaikutus alueen hiilivarastoihin. Rakennusvaiheen päästöjen laskentaa kuvataan taulukossa 3. Tuloksessa huomioidaan joko porapaalujen tai maanvarainen perustamistapa.

Taukko 3. Rakentamisvaiheen päästöjen kuvaus

Kohde	Laskennan kuvaus	Käytetyt lähteet
Aurinkopaneelit	Oletetaan, että paneelit tuodaan Kiinasta meriteitse hankealueen lähimpään satamaan eli Turkuun. Turusta paneelit kuljetaan maantiekuljetuksina hankealueelle Oletetaan, että kotimaan kuljetusten kuorma-asteet ovat 50 %, koska paluukuljetusten hyödyntämisestä ei ole vielä tässä vaiheessa tietoa Merikuljetusten kilometrit ja reittikohtaiset päästökertoimet on määritelty EcoTransIT Worldin (2023) laskurilla	EcoTransIT World 2023. Emission calculator for greenhouse gases and exhaust emissions CO2data: puoliperävaunu, 50 %:n kuorma, maantieajo
Asennustelineet	Oletetaan, että telineet kuljetetaan maantiekuljetuksina Etelä-Saksasta Lyypekin	EcoTransIT World 2023.

Kohde	Laskennan kuvaus	Käytetyt lähteet
	<p>satamaan, josta ne rahdataan meriteitse kappalekuljetuksena Turkuun ja sieltä edelleen maanteitse selvitysalueelle</p> <p>Oletetaan 50 % kuorma-asteoletus</p> <p>Merikuljetusten kilometrit ja reittikohtaiset päästökertoimet on määritelty EcoTransIT Worldin (2023) laskurilla</p>	<p>Emission calculator for greenhouse gases and exhaust emissions</p> <p>CO2data: täysperävaunu, 50 %:n kuormaoletus, maantieajo</p>
Sinkitetyt porapaalut	<p>Kuljetukset: Maantiekuljetus SSAB:n tehtaalta Hämeenlinnasta hankealueelle. Kuljetusten pituudet on määritelty Google mapsin avulla</p> <p>Rakentaminen: Koneellinen asennus noin 1,2-1,6 m syvyyteen</p>	<p>CO2data: täysperävaunu, 50 %:n kuormaoletus, maantieajo, paalutuskone alle 40 t</p> <p>Työmääräarvio Ratu-kortistosta</p>
Betoniharkot	<p>Kuljetukset: Maantiekuljetus Kemiön Engelbyn tehtaalta hankealueelle. Kuljetusten pituudet on määritelty Google mapsin avulla</p> <p>Rakentaminen: Suurimpien kivien poisto ja maaston tasaus</p>	<p>CO2data: puoliperävaunu, 50 %:n kuormaoletus, maantieajo</p>

3.2.1 Hiilivarasto ja -nieluvaikutukset

Makilan aurinkovoimalan rakentaminen aiheuttaa muutoksia alueen hiilivarastoihin ja -nieluihin, kun selvitysalueen peltoja ja metsämaita muokataan voimalan tarvitsemiksi rakennetuiksi maa-alueiksi. Muokkausta liittyy aurinkovoimalan rakentamisvaiheessa paneelirivistöjen perustamiseen, huoltoteiden rakentamiseen ja sähkönsiirtoon liittyvien rakenteiden perustamiseen.

Hiilivarastovaikutusten arvioinnissa on hyödynnetty Suomen ympäristökeskuksen (Syke) Hiilikartta-työkalua. Työkalu laskee aluemerkinän vaikutukset hiilivarastoon perustuen

kasvillisuuden ja maaperän nykyiseen hiilivarastoon, kasvupaikkatyyppiin perustuvaan arvioon kasvillisuuden hiilen sidonnasta tai päästöistä, käyttäjän syöttämiin kaavan aluevaraustietoihin ja niihin liittyviin oletuksiin hiilivaraston säilymisestä eri käyttötarkoituksiluokissa (Heikinheimo ym. 2024). Työkalusta saatava hiiliraportti löytyy tämän arvioinnin lähdeluettelosta (SYKE 2024a).

Hiilikartan mukaan Makilan aurinkovoimahankkeen vaikutukset alueen hiilivarastoihin ovat noin -5 231 tCO₂e vuoteen 2065 mennessä. Tästä noin 90 prosenttia aiheutuu maaperän hiilivaraston muutoksesta ja noin 10 prosenttia kasvillisuuden hiilivaraston muutoksesta. Alueen hiilensitomispotentiaali ei ole kovin suuri. Hiilikartan mukaan alue sitoisi hiiltä nykyisellä maankäytöllä vuoteen 2065 mennessä 77 tCO₂e tai noin 3 tCO₂e/ha.

Hiilikartan käyttöön liittyy epävarmuuksia. Se perustuu oletuksiin siitä, miten paljon aluevarauksen alle jää keskimäärin aiempaa maankäyttöä, miten paljon uusi maankäyttö on kasvipeitteetöntä ja miten paljon kasvipeitteistä. Työkalu on alun perin tarkoitettu kaavoitustyön tueksi, mutta sen avulla voidaan saada kattavaa tietoa aurinkovoima-alueiden aiheuttamista hiilivarastovaikutuksista, koska työkalusta löytyy aurinkovoima-alueille oma aluekäyttömerkintä. Aluekäyttömerkinnän kerrointa aiemmasta maankäytöstä ja uuden maankäytön kasvipeitteisyydestä ei ole julkaistu tätä arviointityötä tehdessä.

Maaperähiilen muutosta pienentää alueella kuitenkin se, että Makilan aurinkovoimalan alueella ei ole turvemaata, vaan alue on pääosin kivennäismaihin kuuluvaa savimaata. Eloperäisten maiden raivaus tuottaisi moninkertaiset ilmastopäästöt kivennäismaihin verrattuna (ks. esim. Heinonsalo 2021). Makilan aurinkovoima-alueella tarkastellaan myös mahdollisuuksia matalalle kasvipeitteiselle alalle, kuten niitylle. Alue on viljelykäytössä, joten viljelyyn liittyvät säännölliset maanmuokkaukset päättyisivät Makilan hankkeen myötä.

3.3 Käyttövaihe

Aurinkovoimalan käyttövaiheen aikana ilmastopäästöjä syntyy aurinkopaneelien ja alueen muiden voimalalaitteiden ja -rakenteiden ylläpidon, huollon ja uusimisen päästölähteistä. Käyttövaiheen ylläpidon ja huollon energiankäytön päästöillä on kuitenkin vain vähäistä merkitystä hankkeen ilmastovaikutusten elinkaaritarkastelussa. Itse voimalan sähköntuotannosta ei synny suoria ilmastopäästöjä.

Makilan aurinkovoimalan käyttövaiheen pituus on 40 vuotta, jonka aikana joudutaan uusimaan inverttereitä, muuntajia ja aurinkopaneeleja. Ilmastovaikutusten arvioinnissa ei ole huomioitu arvioinnin haasteellisuuden vuoksi korvaavien laitteiden ja osien materiaali- ja tuotevaiheen päästöjä. Erityisesti aurinkopaneelien valmistuksen päästöjä tulevaisuudessa on erittäin vaikea määrittellä, koska paneeliteknologiat kehittyvät,

valmistusprosessit tehostuvat, materiaalit muuttuvat ilmastomyötäisemmiksi ja tuotannossa käytettävät energiamuodot muuttuvat yhä vähäpäästöisemmiksi.

Makilan selvitysalueen maankäytön muutoksesta seuraa käyttövaiheessa näkyvä tulevien hiilinielujen muutos. Ajan myötä näkyviä hiilinielujen menetyksen ilmastovaikutuksia ei ole sisällytetty rakennusvaiheen tuloksiin, vaan niitä on tarkasteltu osana käyttövaiheen vaikutuksia. Hankealueen sijainnin vuoksi alueen hiilensitomispotentiaali on pieni ja siksi myös ajan myötä kertyvä hiilinielu jäisi myös nykyisen maankäytön jatkuessa vähäiseksi.

Aurinkovoimalan tuottamaan tehoon vaikuttaa eniten voimalan aurinkopaneelien kohdistuva auringon säteilyintensiteetti (Heikkilä 2020). Makilan alueen keskimääräinen vuosittainen auringonsäteilyn määrä on laskettu PVGIS-laskurilla (JRC 2023) olettaen, että paneelit suunnataan ja kallistetaan energiantuotannon kannalta optimaaliseksi. PVGIS-laskelmien perusteella auringon kokonaissäteilyn määrä 1 155 kWh/ (m² vuosi) vaihtelisi vuosittain ±4 %.

Häviöt vaikuttavat voimalan hyötysuhteeseen ja järjestelmän lopulliseen sähköntuottoon. Voimalan ensimmäisenä käyttövuonna aiheutuu noin 1 %:n häviöt uusien paneelien altistuessa auringonvalolle ja sen jälkeen syntyy vuosittain 0,4 %:n häviöt, kun paneelien piikiteet ikääntyvät. Paneelin häviötiedot perustuvat valmistajan tietoihin (Xing 2023). Häviöitä liittyy myös asennusolosuhteisiin, voimalan laitteiden häiriöihin ja muuntosuhteisiin, tuottohuippujen tasaukseen, sähkönsiirtoon ja voimalan laitteiston ikääntymiseen ja vikaantumiseen. Ympäristöolosuhteista, kuten auringonvalon säteilykulmasta ja lämpötilasta syntyvät paneelien häviöt perustuvat PVGIS-laskelmien tietoihin.

Arvioinnissa tehtyjen oletusten perusteella aurinkovoimalan häviöt pienentävät Makilan aurinkovoimalan tuottoa laskennallisesti yhteensä 14 %. Arvioinnissa on oletettu hankkeen YVA-tarvearvioinnin perusteella, että sen sähköntuotanto olisi ensimmäisenä käyttövuotena 28 GWh. Järjestelmän kokonaishyötysuhde on voimalan 40 vuoden käyttövuoden aikana keskimäärin 15 %, kun valmistajan (Xing 2023) ilmoittama aurinkopaneelin hyötysuhde on STC-olosuhteissa 23,5 %. Aurinkopaneelien piikiteiden heikkenemisen vuoksi laskennallinen sähköntuotanto olisi viimeisenä 40. käyttövuotena 24,2 GWh, jos se 1. käyttövuotena olisi siis 28 GWh.

3.4 Elinkaaren loppu

Aurinkovoimala puretaan elinkaaren lopussa, mikäli toimintaa ei jatketa. Käytöstä poistamisen ilmastovaikutukset (C1–C4) riippuvat purettavien rakenteiden määrästä. Suomessa ei vielä ole aurinkopaneelille kierrätyspisteitä, vaan ne toimitetaan sähkö- ja elektroniikkaromun keräykseen (Rantaruoko 2022). Aurinkovoimalan purkuvaiheen ja siitä

syntyvien jätteiden käsittelyn ilmastopäästöt eivät ole mukana tässä arvioinnissa niiden vähäisen merkittävyyden takia; kierrätyksestä saatavia ilmastohyötyjä ei huomioida hiilijalanjäljen laskennassa. Paneelivalmistajien julkaisemissa EPD-raporteissa purku- ja jätteiden käsittelyvaiheiden päästöjen suuruus koko hiilijalanjäljestä on ollut muutaman prosentin luokkaa.

Aurinkopaneelien kierrätys kehitty nopeasti, kun kierrätettävää materiaalia syntyy enemmän voimaloiden määrien lisääntyessä. Makilan aurinkovoimalan elinkaari on 40 vuotta, sen lopussa aurinkopaneelien kierrätyksen ja materiaalien hyödyntämistapojen voidaan olettaa olevan nykyistä huomattavasti kehittyneempiä, jolloin myös purkamisesta ja jätteiden käsittelystä aiheutuvien ilmastopäästöjen voidaan olettaa olevan tulevaisuudessa nykyistä pienemmät.

4 Tulokset

4.1 Hiilijalanjälki

Suurin osa **Makilan aurinkovoimalan noin 14 800 tonnin CO₂ekv hiilijalanjäljestä** syntyy paneelien materiaalien tuotannosta ja hankinnasta. Hankkeen vaikutukset alueen hiilivarastoihin muodostavat reilun 30 prosentin osuuden hiilijalanjäljestä. Mahdollisesti muiden elinkaarivaiheiden osuudet kasvavat tarkempien laskelmien myötä, mutta suurimmat päästöt aiheutuisivat silti näistä kahdesta elinkaarivaiheesta.

Luvussa 3.2 tehtyjen rajausten mukaisesti Makilan aurinkovoimalan rakentamisvaiheen ilmastovaikutusten arvioinnissa on mukana aurinkopaneelien, asennustelineiden ja teräspaalujen tai betoniharkkojen kuljetukset sekä asennustelineiden perustamisen työ. Näillä rajauksilla rakennusvaihe muodostaa noin 2 prosentin osuuden koko hiilijalanjäljestä. Rakennusvaiheen todellinen suuruus riippuu rakennustyöhön käytettävistä työkaluista ja niiden energiankulutuksesta sekä kuljetusmatkojen etäisyyksistä. Nämä selviävät hankkeen suunnitelmien edetessä.

Taulukossa 4 on esitetty Makilan aurinkovoimalahankkeen merkittävämpien elinkaarivaiheiden ilmastovaikutusten lähteiden ilmastopäästöt.

21.10.2024

MT

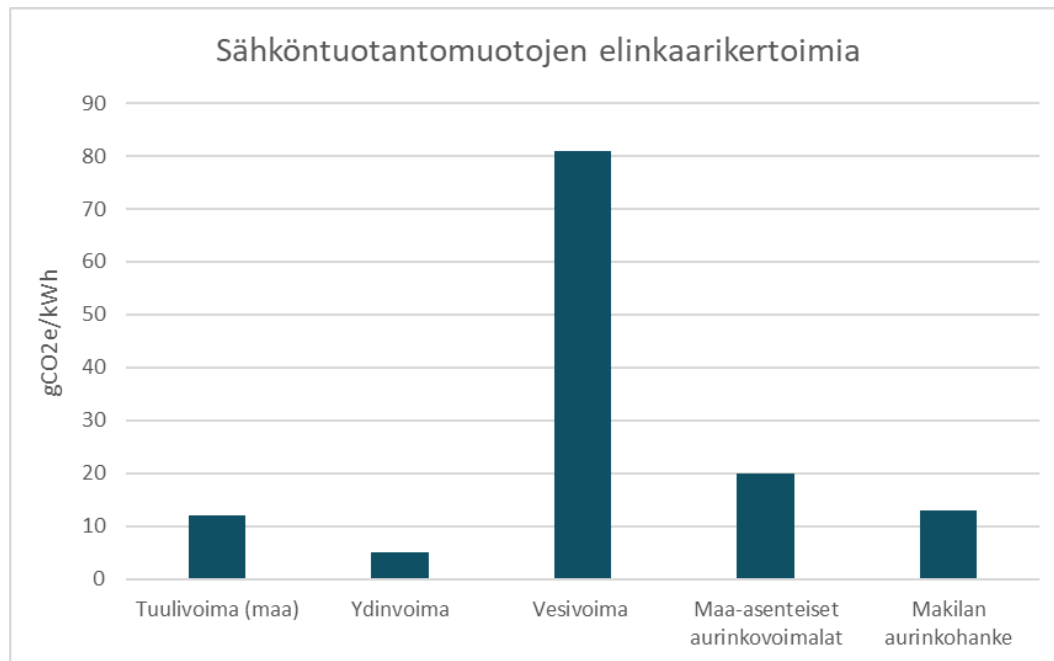
Taulukko 4 Makilan aurinkovoimalan ilmastovaikutusten kannalta keskeisten elinkaarivaiheiden hiilijalanjäljen koko ja niiden suhteelliset osuudet

Elinkaarivaihe	Päästöt (tonnia CO ₂ ekv)	Kokonaisosuus (%)
Aurinkovoimalan materiaali- ja tuotevaihe	8 055-9 835	54-66
<i>Aurinkopaneelit</i>	<i>5 450</i>	<i>41-47</i>
<i>Invertterit</i>	<i>220</i>	<i>1</i>
<i>Riista-aita</i>	<i>8</i>	<i>0,0-01</i>
<i>Paneelien asennustelineet</i>	<i>800</i>	<i>5</i>
<i>Asennustelineiden porapaalut*</i>	<i>3 360</i>	<i>20</i>
<i>Asennustelineiden betoniharkot*</i>	<i>1 580</i>	<i>10</i>
Rakentamisvaihe	567-611	4
<i>Aurinkopaneelien kuljetus</i>	<i>451</i>	<i>3</i>
<i>Paneelien asennustelineiden kuljetus</i>	<i>8</i>	<i>0,0</i>
<i>Asennustelineiden porapaalujen kuljetus*</i>	<i>22</i>	<i>0,0</i>
<i>Asennustelineiden betoniharkkojen kuljetus*</i>	<i>3</i>	<i>0,0</i>
<i>Telineiden asennus: ruuvipaalutus*</i>	<i>130</i>	<i>1</i>
<i>Telineiden asennus: maavarainen perustus*</i>	<i>105</i>	<i>0,5</i>
Hiilivarastovaikutukset	5 231	35
<i>Hiilivaraston muutokset</i>	<i>5 231</i>	<i>35</i>
Yhteensä	~14 800	100
<i>Hiilinielun muutos (tCO₂e/vuosi) **</i>	<i>2</i>	

*lopulliseen tulokseen valitaan perustamistavaksi joko porapaalut tai betoniharkot

**hiilinieluja tarkastellaan vuosimuutoksena, koska hiilinielumuutokset näkyvät tulevaisuudessa rakentamisen jälkeen, kun taas elinkaarivaiheiden päästöt kuvaavat elinkaarivaiheen aikana syntyvien päästöjen yhteenlaskettua määrää

Makilan aurinkovoimala tuottaa luvussa 3.3 esitettyjen oletusten pohjalta **40 vuoden käyttövaiheen aikana yhteensä noin 1 040 GWh aurinkovoimaa**. Keskimääräinen vuosituotanto on 26 GWh. Jakamalla voimalan elinkaaren aikana syntynyt hiilijalanjälki sen käyttövaiheen aikana tuottaman aurinkovoiman kokonaismäärällä saadaan sen elinkaarenaikaiseksi ominaispäästökertoimeksi 13 g CO₂ekv/kWh. Kuvaan 4 on koottu vertailun vuoksi eri sähköntuotantomuotojen koko elinkaaren sisältäviä päästökertoimia. Kertoimet on haettu UNECE:n (2022) EU-maiden sähköntuotantomuotojen elinkaarikerrointen selvityksestä. Makilan aurinkovoimalan elinkaarenaikainen ominaispäästökerroin on samaa luokkaa kuin UNECE:n selvityksessä tarkastellut maa-asetteiset aurinkovoimalat, joiden päästökerroin asettuu välille 11-37 gCO₂e/kWh.



Kuva 4. Sähköntuotantomuotojen ja Makilan hankkeen päästökertoimet

4.2 Ilmastohyödyt

Makilan aurinkovoimalan elinkaarenaikana syntyy myönteisiä ilmastovaikutuksia sen tuottaessa uusiutuvaa sähköä valtakunnan verkkoon. Ilmastohyötyjen määrä riippuu siitä, mihin voimalan elinkaarenaikaisia päästöjä verrataan ja milloin aurinkovoimalan tuotanto käynnistyy. Suomessa tuotetun sähkön päästöjen on ennustettu alenevan tulevaisuudessa, joten aurinkovoiman ilmastohyöty on sitä suurempi, mitä aiemmin tuotanto voidaan aloittaa. Suomen sähköntuotannon on ennustettu olevan fossiilitonta jo 2030-luvulla. Jo viime vuonna 2023 hiilidioksidivapaan sähkön osuus oli 94 prosenttia Suomen sähköntuotannosta (Energiateollisuus ry, 2024). Mikäli tuotantoa verrattaisiin pelkästään fossiilisilla polttoaineilla tuotettuun sähköön, olisi myös tuotannosta saatavat ilmastohyödyt suuremmat.

Taulukossa 5 on vertailtu Makilan arvioidun 1 040 GWh sähköntuotannon päästöjä eri päästökertoimilla. Vertailussa ovat Makilan hankkeelle laskettu päästökerroin, Suomen ympäristökeskuksen (SYKE, 2024 c) ennustus sähköntuotannon hiilijalanjäljestä, Energiateollisuuden tiekartan (AFRY, 2020) perusskenaarion arvio kotimaisen sähköntuotannon hiilijalanjäljestä ja Fingridin (2024) julkaisema Suomen sähköntuotannon päästökerroin vuonna 2022.

Päästöjen määrä (tCO ₂ e)	Päästökerroin (gCO ₂ e/kWh)	Päästökertoimen kuvaus
11 128	10,7	Keskimääräisen Suomalaisen sähköntuotannon ominaispäästökertoimen keskiarvo välillä 2026-2066 vuoden aikana (AFRY 2020)
68 640	66	Suomen sähköntuotannon päästökerroin vuonna 2022, Tilakeskus (volyympainotettu) (Fingrid 2024)
59 280	57	Sähkönkulutuksen päästökertoimen keskiarvo välillä 2026-2066 aikana (CO ₂ data, energia, sähkönkulutus 2024)
13 520	13	Makilan elinkaarenaikainen päästökerroin

Taulukko 5. Makilan tuottaman sähkön päästöt eri kertoimilla

Makilan elinkaarenaikainen päästökerroin sisältää päästöt koko voimalan elinkaaren ajalta, kun **muut taulukon kertoimet huomioivat vain sähköntuotannon päästöt**. Aurinkovoima ei aiheuta käyttövaiheessa päästöjä, joten luvut eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Vertailusta voi kuitenkin huomata, että aurinkovoimalan koko elinkaaren päästöt sisältävä kerroin on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi Suomen pelkän sähköntuotannon sisältämä päästökerroin vuonna 2022.

5 Yhteenveto

Suurin osa eli 54-66 % Makilan aurinkovoimalan 14 800 tonninCO₂ekv hiilijalanjäljestä muodostuu aurinkopaneelien ja muiden voimalan tarvitsemien osien hankinnasta ja valmistuksesta. Noin 35 % syntyy voimalan rakentamisen aiheuttamasta maankäytön muutoksesta maaperän hiilensidontaan.

Makilan aurinkovoimalan suurimmat kielteiset ilmastovaikutukset aiheutuvat aurinkopaneelien tuotannosta sekä rakentamisen aiheuttamasta maankäytön muutoksesta maaperän hiilensidontaan. Materiaali- ja tuotevaiheen päästöjä voidaan vähentää valitsemalla mahdollisuuksien mukaan vähäpäästöisiä materiaaleja hankkeen suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Rakentamisvaiheen ilmastopäästöjä saadaan vähennettyä valitsemalla energiatehokkaita, käyttövoimiltaan vähäpäästöisiä ja asianmukaisesti huollettuja työkoneita ja kuljetuskalustoa. Aurinkopaneelitoimittajan valinnan yhteydessä on mahdollista kiinnittää huomiota kuljetusmatkoihin. Hiilivarastovaikutuksia voidaan hillitä valitsemalla perustamistapa, joka muokkaa maaperää mahdollisimman vähän.

Makilan aurinkovoimalalla on sekä positiivisia että negatiivisia ilmastovaikutuksia. Negatiiviset ilmastovaikutukset painottuvat hankkeen elinkaaren alkuun, koska aurinkovoimala kaikkine rakenteineen aiheuttaa päästöjä, kuten muutkin energiantuotantomuodot. Materiaali- ja tuotevaiheen sekä rakentamisen päästöt muodostavat hankkeen alkuun hiilipiikin, kun taas alueen hiilinielut muuttuvat hankkeen myötä ja vaikutukset ovat pitkäaikaisia.

Uusiutuvan energian hankkeet ovat kuitenkin merkittävässä roolissa Suomen valtakunnallisten ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Uusiutuvan energian tarve kasvaa jatkuvasti ja esimerkiksi suuria vihreän teollisuuden hankkeita ei voida toteuttaa, ellei uusiutuvaa energiaa ole riittävästi saatavilla. Fossiilisia polttoaineita korvataan myös muun muassa liikenteen sähköistyessä.

Lähteet

- AFRY 2020. Finnish Energy – Low carbon roadmap. Final report. 1 June 2020.
- EcoTransitIT World 2023. Emission calculator for greenhouse gases and exhaust emissions.
EcoTransitIT World. Saatavissa: <https://www.ecotransit.org/en/emissioncalculator/>
Vierailtu 31.7.2023.
- EIB 2023. EIB Project Carbon Footprint Methodologies. Methodologies for the assessment of project greenhouse gas emissions and emission variations. Version 11.3. January 2023. European Investment Bank.
- Energiatoteollisuus ry 2024. Energiavuosi 2023. Sähkö. 11.1.2024 (päivitetty 30.1.2024).
https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Sahkovuosi-2023_paivitetty.pdf
- Fingrid Oy 2024. Sähköntuotannon ja -kulutuksen CO₂-päästöarviot. Taulukko 2.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>
- Frischknecht, R. Stolz, T., Heath, G., Rauegi, M., Sinha, P. & de Wild-Scholten, M. 2020.
Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 4th edition, IEA PVPS Task 12, IEA Photovoltaic Power Systems Programme.
- Google 2024. Google Maps. [Internetsivu]
- Heikkilä, H. 2020. Aurinkosähköjärjestelmän tuottavuuden parantaminen. Opinnäytetyö. Huhtikuu 2020. Tampereen ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/336500/Heikkila_Hannes.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Heikinheimo, V., Rehunen, A., Haakana, M., Salminen, H., Myllykangas J-P., Pihlainen S. ja Oinonen, K. Hiilikartta- hiilivarastoaineistojen ja laskennan kuvaus. 12.2.2024.
<https://www.syke.fi/hankkeet/hiilikartta>
- IFI TWG 2021. Harmonized IFI Default Grid Factors 2021 v3.2. International Financial Institutions Technical Working Group. IPCC.

21.10.2024

MT

- Ilmastopaneeli 2021. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021 - Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet: Ote raportista – Varsinais-Suomi. Suomen ilmastopaneelin. Saatavissa: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/09/SUOMI-raportti_paijat-hame.pdf
- Kemiönsaaren kunta. Kemiönsaari- Ympäristö- ja ilmasto-ohjelma 2022-2023. Tarkistettu 2024. <https://www.kemionsaari.fi/wp-content/uploads/2024/07/Ymparisto-ja-ilmasto-ohjelma-2022-2030-tarkistettu-valtuusto10.6.2024.pdf>
- Lounasheimo, J., Karhinen, S.; Grönroos, J., Savolainen, H., Forsberg, T., Munther, J., Petäjä, J. & Pesu, J. 2020. Suomen kuntien kasvihuonekaasupäästöjen laskenta. ALas-mallin menetelmäkuvaus ja laskentojen tuloksia 2005–2018. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 25/2020. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- Luonnonvarakeskus 2023. Metsävarat. [tilastotietokanta]
- Rantaruoko, T. 2022. Opinnäytetyö. Aurinkopaneelien kierrättämisen mahdollisuudet Suomessa. Kevät 2022. Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/747336/Rantaruoko_Taru.pdf?sequence=2
- Scheltter 2022. PVMaX Kit 2V LT 11/72 4 Pfofen. 5.10.2022. Scheltter Group. Saatavissa: <http://www.windandsun.co.uk/media/1818782/pvmaxs-kit-2v-lt-11-72-146003-050-drawing.pdf>
- Scheltter 2023. Fixed tilt systems. Scheltter Group. <https://www.schletter-group.com/fixed-tilt-systems/>. Vierailtu 31.7.2023.
- SSAB 2022. Steel pipes. Environmental Product Declaration (EPD). S-P-022243, version 1.1. Revised 2022-04-01. SSAB.
- SYKE 2023. Latauspalvelu LAPIO. [Paikkatietokanta]
- SYKE 2024a. Hiiliraportti Makilan aurinkovoima-alueesta. hiilikartta.avoin.org/raportti?planIds=d7790ca8-f39e-4d29-88d4-2ce57e80df15
- SYKE 2024b. Hiilineutraalisuomi.fi. SYKE - Kuntien ja alueiden KHK-päästöt. Kemiönsaari. Suomen ympäristökeskus. https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/#fi_kunta322
- SYKE 2024 c. Rakentamisen päästötietokanta CO2data. <https://co2data.fi/>
- UNECE 2022. Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).
- Xing, G. 2023. n-type Modules. New product introduction. Jun. 14, 2023. TW Solar. Saatavissa: [https://tw-solar.co.uk/n-type%20%20Modules%20New%20Product%20Introduction0614\(1\).pdf](https://tw-solar.co.uk/n-type%20%20Modules%20New%20Product%20Introduction0614(1).pdf)

