



Orimattilan Pakaan aurinkovoimala
ILMASTOVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Neoen Renewables Finland Oy

FCG Finnish Consulting Group Oy

4.8.2023

P49156P001

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	5
1 Johdanto	7
2 Aurinkovoimalan elinkaari ja sen ilmastovaikutukset	8
3 Menetelmät, oletukset ja rajaukset	10
3.1 Materiaali- ja tuotevaihe	11
3.2 Rakentamisvaihe	12
3.3 Käyttövaihe	15
3.4 Elinkaaren loppu	16
4 Tulokset	18
4.1 Hiilijalanjälki	18
4.2 Hiilikädenjälki	20
5 Yhteenveto	23
Lähteet	25

*FCG Finnish Consulting Group Oy ("FCG") on laatinut tämän raportin FCG:n asiakkaan ("Asiakas") toimeksianton 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

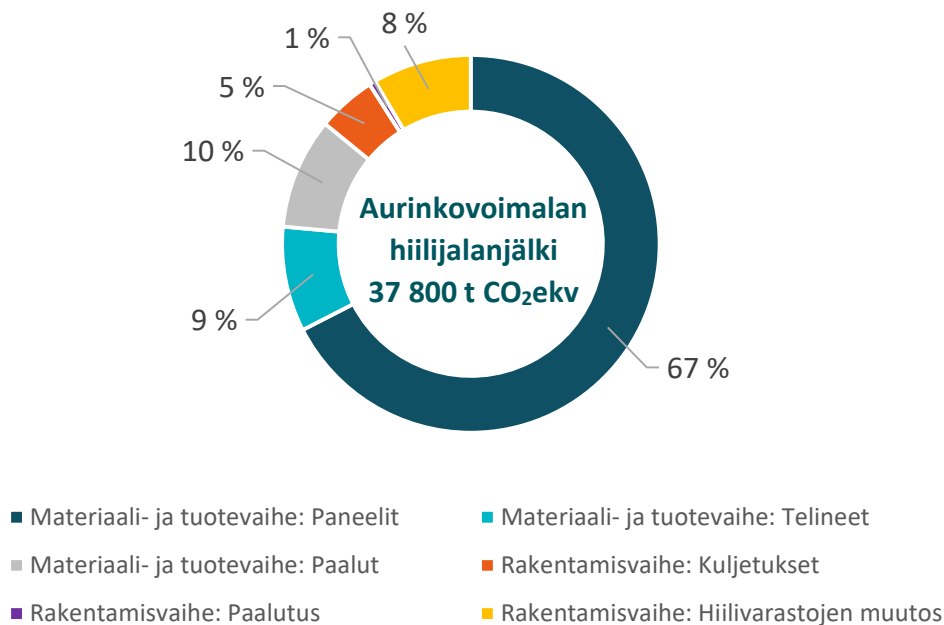
elinkaariarviointi	tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointiin käytetty menetelmä
EPD-raportti	ympäristöseloste, josta käy ilmi tuotteen ympäristövaikutukset sen koko elinkaaren ajalta
hiilen sidonta	prosessi, jossa ilmakehän hiiltä siirtyy ja kertyy maaperän, merien 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 biomassaan, 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 kasvihuonekaasuinventaariorissa hiilidioksidin (CO ₂) lisäksi metaani (CH ₄), dityppioksidi (N ₂ O) sekä fluorikaasut eli niin sanotut F-kaasut (HFC, PFC ja SF ₆)

kivennäismaa	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 menettävä hiilinielu; käsitteenä suppeampi kuin metsämaan maankäytön muutoksesta aiheutuvat laajemmat ympäristövaikutukset kattava metsäkato
nimellisteho	aurinkopaneelin standardiolosuhteissa tuottama wattipiikkeinä 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
wattipiikki	nimellistehon yksikkö (W_p), joka vastaa aurinkopaneelin tuottamaa enimmäistehoa STC-olosuhteissa

Tiivistelmä

Tässä ilmastovaikutusten arvioinnissa tarkastellaan Orimattilan Pakaan aurinkoenergian tuotantolaitoksen 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 puuston ja maaperän hiilensidontaan, voimalan käyttövaiheen huolto- ja ylläpitotehtävät sekä käytöstä poistovaihe. Aurinkovoiman tuotannosta ei käyttövaiheen aikana itsessään aiheudu suoria päästöjä.



Kuva 1 Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan hiilijalanjäljen jakauma elinkaarivaiheittain.

Aurinkovoimalan hiilijalanjälki kuvaa sen elinkaaren aikana syntyvien ilmastopäästöjen määrää. Pakaan aurinkovoimalan ilmastovaikutuksia on tarkasteltu voimalan kannalta keskeisimmistä elinkaarivaiheista. Ne ovat materiaali- ja tuotevaihe sekä rakentamisvaiheen aikana tapahtuvat kuljetukset, asennustelineiden paalutus ja maankäytön muutokset. Suurin osa voimalan 37 800 hiilidioksidiekvivalenttitonniin (t CO₂ekv) hiilijalanjäljestä aiheutuu hankkeen elinkaaren alussa materiaalien ja osien valmistusvaiheessa. Suurin osa elinkaari-päästöistä syntyy aurinkopaneelien tuotannosta. Voimalan elinkaaren aikana syntyvät päästöt vastaavat kokoluokaltaan 30 % aurinkovoimalan Orimattilan vuoden 2021 käyttöperusteisista päästöistä.

4.8.2023

SK ja NM

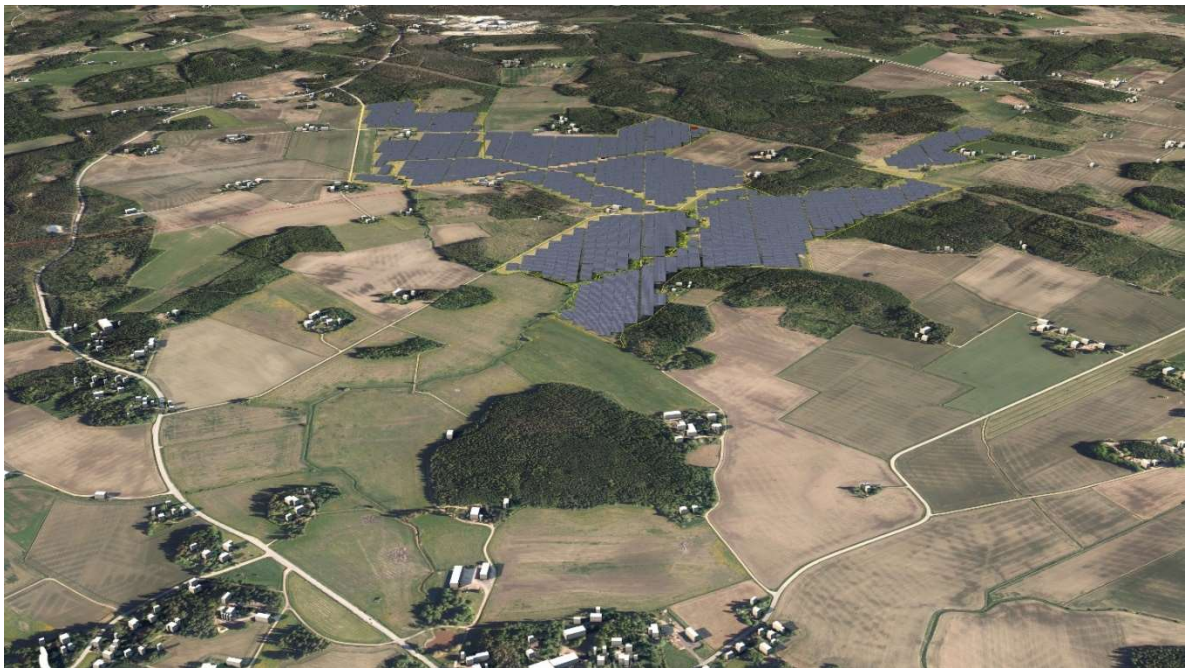
Pakaan aurinkovoimalan elinkaarenaikainen ilmastopäästöjen ominaispäästökerroin on oletetun 40 käyttövuoden aikana keskimäärin 9,8 g CO₂ekv/kWh. Vuoden 2022 sähköntuotannon päästökerroin oli Suomessa 62 g CO₂/kWh. Energiateollisuus ry:n energia-alan vähähiilisyystiekartan perusskenaarion perusteella laskettu kansallinen sähkön ominaispäästökerroin olisi Pakaan aurinkovoimalan käyttövaiheen aikana keskimäärin 10,7 g CO₂/kWh.

Hiilikädenjälki kuvaa aurinkovoimahankkeen ulkopuolisia ilmastohyötyjä, joita sähkönkäyttäjät voivat saada hankkeen aikana ja joita ei syntyisi ilman hanketta. Hiilikädenjälki näkyy aurinkovoimalan käyttövaiheessa negatiivisina päästöinä, kun sen tuottama sähkö korvaa ilmaston kannalta haitallisemmilla energialähteillä tuotettua sähköä ja yhteiskunnan sähköistyessä myös muuta energiantuotantoa.

Pakaan aurinkovoimalan elinkaarenaikainen hiilikädenjälki on 43 400 tonnia CO₂, jos aurinkovoima korvaa sähkömarkkinoilta 40 käyttövuoden aikana Energiateollisuus ry:n ilmastotiekartan perusskenaarion mukaisesti yhä vähähiilisemmäksi muuttuvaa keskimääräistä kansallista sähköntuotantoa 40 vuoden ajan. Voimalan tuottama päästötön energia hyvitäisi sen rakentamisen, käytön ja käytöstä poiston aikana syntyneen hiilivelan 15 vuoden ja 7 kuukauden kuluttua.

1 Johdanto

Neoen Renewables Finland Oy suunnittelee aurinkoenergian tuotantolaitoksen rakentamista Orimattilan kaupungin eteläosassa sijaitsevalle Pakaan alueelle. Aurinkovoimalan suunniteltu nimellisteho on yhteensä 100 MW_p. Selvitysalue on laajuudeltaan 167 hehtaaria ja siitä on suurin osa peltoa. Alueella on myös jonkin verran metsää ja harvaa puustoa. Maaperä koostuu pääasiassa savesta.



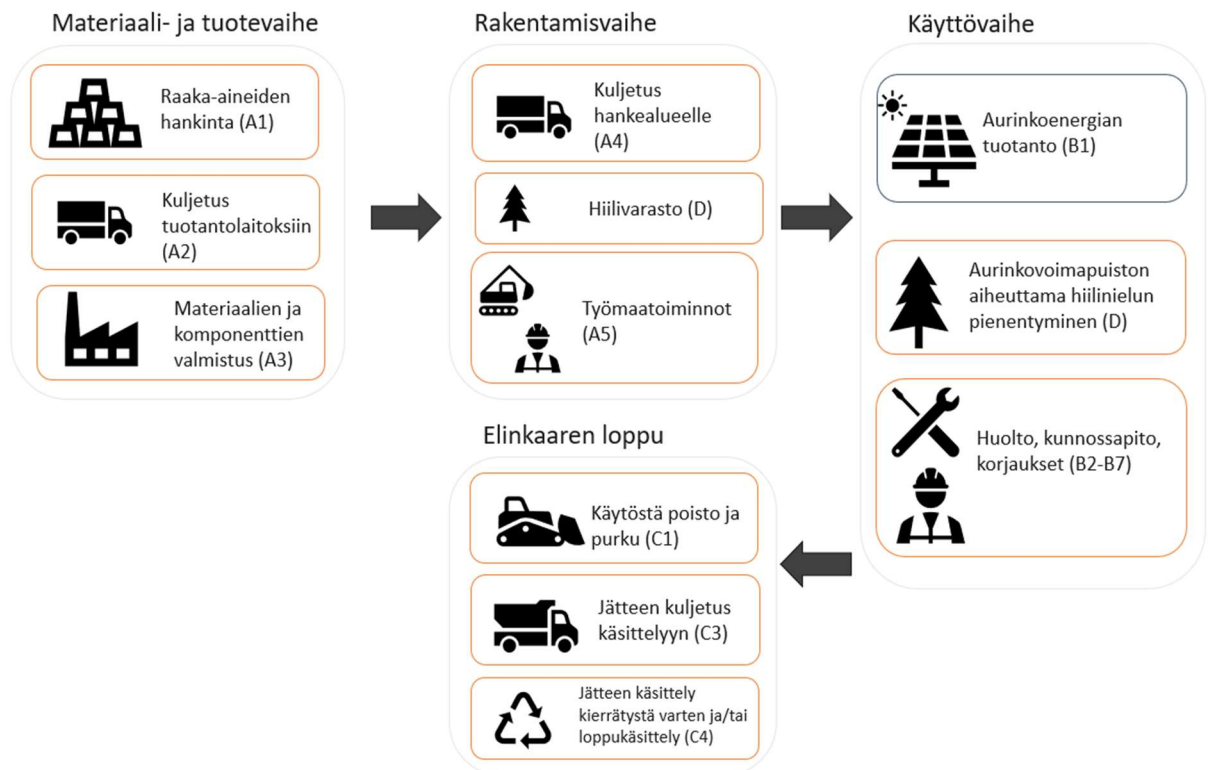
Kuva 2 Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan viistokuva (FCG 2023a).

Tämä ilmastovaikutusten arviointi on tehty Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan suunnittelutarveratkaisun ja rakennusluvan hakemista varten. Arviointiraportin luvussa 2 on kuvattu hankkeen elinkaarta ja siihen liittyviä ilmastovaikutuksia hiilijalan- ja hiilikädenjäljen käsitteiden avulla. Arviointimenetelmiä, -oletuksia ja -rajauksia on käsitelty luvussa 3 elinkaari-vaiheittain: materiaali- ja tuotevaihe luvussa 3.1, rakentamisvaihe luvussa 3.2, käyttövaihe luvussa 3.3 ja elinkaaren loppua luvussa 3.4. Tuloluviissa 4.1 ja 4.2 on käsitelty erikseen hankkeen hiilijalanjälkeä ja -kädenjälkeä. Raportin päättää luvun 5 yhteenveto. Raportin alussa on esitelty arvioinnissa käytetyt käsitteet ja lyhenteet.

Ilmastovaikutusten arvioinnin ovat laatineet KTM Marko Nurminen ja insinööri (AMK) Tiia Merta FCG Finnish Consulting Group Oy:stä.

2 Aurinkovoimalan elinkaari ja sen ilmastovaikutukset

Hiilijalanjäljen avulla voidaan kuvata aurinkovoimalan elinkaaren aikana syntyvien ilmasto-
päästöjen kokonaismäärää. Aurinkopaneelien ja muiden voimalan laitteiden ja rakenteiden
raaka-aineiden hankintaan ja tuotteiden valmistukseen liittyy kuvan 3 mukaisia välillisiä
päästöjä. Myös rakentamisen työkalujen ja kuljetusten energiankäyttö sekä syntyvien jät-
teiden käsittely ovat aurinkovoimalan elinkaaren alkuvaiheen päästölähteitä. Syntyvä
maankäytön muutos vaikuttaa puustoon, kasvillisuuteen ja maaperään sitoutuneeseen hii-
len 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 pääs-
töjä aurinkovoimalan purkamisesta ja purkumateriaalien käsittelystä.



Kuva 3 Aurinkovoimalan elinkaariarvioinnin mukaiset vaiheet.

Hiilijalanjäljen kuvaamien kielteisten ilmastovaikutusten lisäksi aurinkovoimalaan liittyy hii-
likädenjäljeksi kutsuttuja ilmastohyötyjä, joita voidaan saada hankkeen elinkaaren aikana,
mutta joita ei synny ilman hankkeen toteuttamista. Sähkökäyttäjälle hiilikädenjälki näkyy
mahdollisuutena alentaa oman kulutuksensa hiilijalanjälkeä, kun kulutettu aurinkovoima

korvaa ilmaston kannalta haitallisemmilla energialähteillä tuotettua sähköä ja enenevässä määrin myös muuta energiantuotantoa.

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 mennessä Päijät-Hämeen maakunnan keskilämpötilan ennustetaan kohoavan huomattavasti, sademäärien kasvavan ja lumen määrä vähenevän huomattavasti (Ilmastopaneeli 2021). Muutoksilla on vaikutusta aurinkovoiman tuotantoon ja niihin olisi syytä varautua. Esimerkiksi helteet voivat heikentää paneelien tehokkuutta ja voimistuvat rankkasateet voivat vaurioittaa voimalan laitteita ja rakenteita. Aurinkovoimalan toteutus ei todennäköisesti vaikuta juurikaan sen lähialueen ilmastonmuutoksen sopeutumiskykyyn mm. suhteellisen vähäisen läpäisemättömien pintojen rakentamisen vuoksi. Ilmastopäästöihin ja niiden vähentämiseen liittyvät nettomääräiset ilmastohyödyt ovatkin Pakaan aurinkovoimalassa keskeisempiä ilmastonäkökulmia kuin ilmastonmuutokseen sopeutumisen kysymykset.

3 Menetelmät, oletukset ja rajaukset

Orimattilan Pakaan 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.

Olennoisimpiin 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 Orimattilan Pakaan 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	Osin	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Arvioitavat päästölähteet	Aurinkopaneelit, asennustelineet ja telineiden paalut			Kuljetukset, paalutus ja puuston hiilivarastot			Puuston hiilinielut					

Aurinkovoimalan ilmastovaikutuksia on verrattu ns. nollavaihtoehtoon, jossa hanke jää toteutumatta ja selvitysalue jatkaa nykyisessä käytössään. Menetetty aurinkovoimantuotanto katetaan muulla sähköntuotannolla. Hankkeen toteuttamatta jättäminen ei vaikuta vertailussa käytettyyn sähköntuotannon ominaispäästökertoimeen. Nollavaihtoehdossa menetetään hankkeen hiilikädenjälkenä kuvatut myönteiset ilmastovaikutukset. Tällöin ei kuitenkaan synny hiilijalanjälkenä kuvattuja voimalan tuote- ja materiaalivaiheen, rakentamisen, käytön ja käytöstä poistamisen päästöjä. Selvitysalueen hiilivarastot ja -nielut jatkavat kehittymistä nykyisen maankäytön mukaisesti, jos aurinkovoimala jää rakentamatta alueelle.

Ilmastovaikutusten arviointi perustuu hankekohtaisiin tietoihin. Vaillinaisten määrätietojen ja kertoimien määrittely on tehty asiantuntija-arvioina käyttäen apuna avoimia tietokantoja sekä muita julkisesti saatavilla olevia selvityksiä ja aineistoja. Aurinkovoimalahankkeen ilmastopäästöjen laskennan kannalta keskeisimpiä perustietoja ovat koottu seuraavan sivun taulukkoon 2.

Taulukko 2 Orimattilan Pakaan aurinkovoimalahankkeen ilmastovaikutusten arvioinnin kannalta keskeiset piirteet ja lähtötiedot.

Kuvaus	Määrä	Yksikkö
Aurinkopaneelien lukumäärä*	203 750	kpl
Aurinkopaneelin nimellisteho*	585	W _p
Aurinkovoimalan nimellisteho*	100	MW _p
Laskennallinen sähköntuotanto ensimmäisenä käyttövuotena	105	GWh
Suunniteltu käyttöönottovuosi*	2026	
Käyttövaiheen pituus	30	vuosi
Sähkönsiirto ja sen niiden toteutustapa*	Sähkö siirretään maakaapeleilla selvitysalueella olevalle sähköasemalle	
Asennustelineiden lukumäärä*	4 223	kpl
Asennustelineiden perustamistapa	Teräksinen lyöntipaalu	
Inverttereiden lukumäärä*	258	kpl
Muuntamojen lukumäärä*	26	
Voimalan osien ja rakennusmateriaalien kuljetustapa	<i>Aurinkopaneelit:</i> Tiekuljetus Kiinassa Sanghain satamaan, merikuljetus Loviisaan ja tiekuljetus selvitysalueelle <i>Asennustelineet:</i> Tiekuljetus Saksassa Lyypekin satamaan, merikuljetus Loviisaan ja tiekuljetus selvitysalueelle <i>Teräspaalut:</i> Tiekuljetus Hämeenlinnasta	
Voimalan alueelta poistuvan metsämaan pinta-ala	25	ha

* Hankekohtainen tieto; muut taulukon tiedot arvioinnissa tehtyjä oletuksia tai laskennallisia tietoja.

3.1 Materiaali- ja tuotevaihe

Hankkeen materiaali- ja tuotevaiheen ilmastovaikutukset (A1–A3) on arvioitu kehdestä tehtaan portille -periaatteella. Orimattilan Pakaan aurinkovoimalaan suunniteltujen kiinalaisen TW Solarin valmistamien aurinkopaneelien hiilijalanjäljestä ja rakenteesta ei ollut käytettävissä tarkempia tietoja. Siksi paneelien raaka-aineiden hankinnan ja kuljetuksen sekä valmistuksen ilmastopäästöt on arvioitu vastaavatyypisten kiinalaisvalmisteisten yksikidepiikennopaneelien ympäristöseloste- ja esiteaineiston avulla (Xing 2023, LONGi 2021, 2023a ja 2023b sekä Jinko Solar 2021). Käytettyyn paneelin päästökertoimeen liittyy arviopohjaisuuden vuoksi epävarmuutta, joka voi lisätä tai pienentää voimalan hiilijalanjälkeä arviolta jopa 15 %. Suurin osa aurinkopaneelin materiaali- ja tuotevaiheen ilmastopäästöistä aiheutuu paneelia asuojaavan karaistun lasin ja aurinkokennojen valmistuksessa tarvittavien piiyhdisteiden tuotannossa.

Aurinkopaneelit asennetaan maanelineisiin. Telineistä ei ollut käytettävissä tarkempia rakennetietoja, joten niiden massa- ja materiaaliosuudet on arvioitu telinevalmistaja Scheleterin (2022 ja 2023) teräksestä ja alumiinista valmistettujen kaksijalkaisten ja 2V-rakenteisten perustelinemallien avulla. Ominaispäästökertoimet on määritelty Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämän rakentamisen ja infrarakentamisen CO2data-tietokannan (2023) sisältämien saksalaisten teräksen ja alumiinin kerrointietojen perusteella. Telineet asennetaan oletuksen mukaan pääosin savea olevaan maaperään teräksisillä lyöntipaaluilla. Yhtä asennustelinettä kohti on arvioitu tarvittavan kahdeksan nelimetristä kotimaassa valmistettua teräspaalua. Teräksen ominaispäästökerroin perustuu SSAB:n (2022) lyöntipaalujen ympäristöselosteen paalujen valmistuksen A1-A3-elinkaarivaiheiden ilmastopäästöihin.

Muiden aurinkovoimalan tarvitsemien laitteiden ja rakenteiden materiaali- ja tuotevaiheen ilmastopäästöt ei ole arvioitu. Rajaukseen syynä ovat puutteelliset tai epävarmat määrät tai kerrointiedot. Hiilijalanjälkitarkastelussa ei ole näin ollen mukana esim. inverttereitä, muuntamoja, kaapeleita, suojalaitteita, maadoitusosia tai voimalaa ympäröivää teräsaitea. Rajaus ei vaikuta merkittävästi arvioinnin lopputulokseen. Arviointityön yhteydessä tehtyjen suuntaa antavien laskelmien perusteella tarkastelun ulkopuolelle jäävien materiaali- ja tuotevaiheen päästölähteiden osuus Pakaan aurinkovoimalan kokonaispäästöistä on 10 %:n kokoluokkaa.

3.2 Rakentamisvaihe

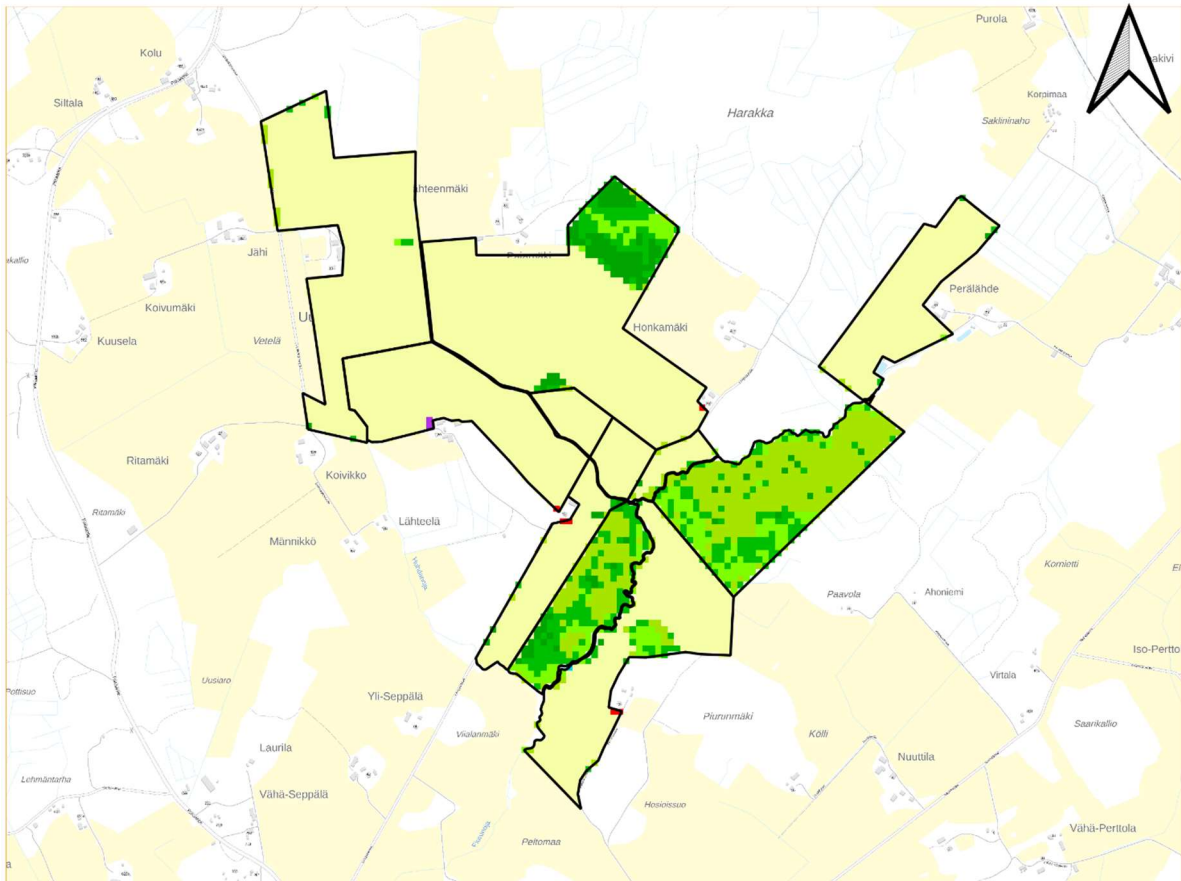
Aurinkovoimalan rakentamisvaiheen päästölähteistä (A4 ja A5 sekä D) on arvioinnissa mukana aurinkopaneelien, asennustelineiden ja paalujen kuljetukset selvitysalueelle, telien asentamisen energiankäyttö sekä maankäytön muutosten vaikutus hiilensidontaan selvitysalueella. Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan rakentamiseen oletetaan arvioinnissa kuluvan yhteensä noin kaksi vuotta.

Kuljetusten ilmastovaikutukset riippuvat kuljetusmuodosta ja kuljetusmatkan pituudesta. Oletuksena on, että aurinkopaneelit tuodaan Kiinasta merikonteissa. Laskennassa on mukana tiekuljetukset TW Solarin tehtailta Sichuanin maakunnasta Sanghain satamaan, merikuljetukset Göteborgin kautta selvitysalueen lähimpään satamaan Loviisaan ja maantiekuljetukset satamasta Orimattilaan Pakaan alueelle. Asennustelineiden osalta oletetaan, että ne kuljetetaan Etelä-Saksasta Lyypekin satamaan, josta ne rahdataan meriteitse kappalekuljetuksena Loviisaan ja sieltä edelleen maanteitse selvitysalueelle. Teräspaalut tuodaan kuorma-autolla Hämeenlinnasta. Tiekuljetusten pituudet on määritelty käyttämällä Google Maps -palvelua (Google 2023).

Kotimaisten ja saksalaisten tiekuljetusten ilmastopäästöjen kerroin perustuu CO2datan (2023) infrarakentamisen päästötietokannan täysperävaunuyhdistelmän maatiekuljetusten

kertoimeen. Kiinalaisten kuorma-autojen kerroin on laskettu LONGin (2023b) aurinkopaneelin ympäristöselosteen tietojen avulla. Kotimaisten kuljetusten kuorma-asteeksi on oletettu 50 %, sillä paluukuljetusten hyödyntämisestä ei ole tässä vaiheessa vielä tietoa. Kiinassa ja Saksassa paluukuljetukset hyödynnetään tehtävien paneeli- ja telinekuljetusten yhteydessä (100 %:n kuorma-asteoletus). Merikuljetusten reittikohtaiset päästökertoimet ovat määritellyt EcoTransIT Worldin (2023) laskurilla. Kaikki kuljetusten päästökertoimet huomioivat polttoaineiden käytön lisäksi päästöt polttoaineen lähteeltä kuljetusvälineen tankkiin eli ns. Well-to-Tank-päästöt.

Telineiden paalutuksen työmäärä on arvioitu Rakennustieto Oy:n Ratu-kortiston (Ratu 2017) menekkitietojen avulla. Paalutuskoneen päästökerroin on peräisin CO2datan (2023) infrarakentamisen tietokannasta. Selvitysalueen rakennettavuus selvityksen luonnoksen (FCG 2023b) perusteella on arvioinnissa oletettu, että aurinkopaneelien telineet voidaan asentaa selvitysalueella perusmaahan eikä alueella ole asentamista varten tarpeen tehdä merkittävää esirakentamista ja tasaamista.



Kuva 4 Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan selvitysalueen Corine Land Cover 2018 -aineiston mukainen maanpeiteluokitus, joka perustuu vuoden 2019 kartoitusaineistoon. Keltaiset alueet ovat peltoa, vihreät metsää, punaiset asuinalueita ja violetit palveluiden alueita.

Pakaan aurinkovoimalan rakentaminen aiheuttaa maankäytön muutosta, kun selvitysalueen peltoja, niittyjä ja metsämaita muutetaan voimalan tarvitsemiksi rakennetuksi maa-alueiksi. Eri aluetyyppien määrä on arvioitu Suomen ympäristökeskuksen (2023) LAPIO-latauspalvelusta saatavan CORINE Land Cover 2018 -maanpeiteaineiston avulla. Selvitysalueella on vuoden 2019 tietoihin perustuvan CORINE-aineiston perusteella noin 122 ha peltoa ja noin 25 ha metsää. Rasteriaineiston 20 m:n resoluutio aiheuttaa maanpeitetyyppien pinta-alojen arviointiin epätarkkuutta selvitysalueen pienemmissä tarkastelualueissa.

Poistuvan puuston hiilivarastojen suuruus on laskettu runkopuun hiilisisällön avulla. Se on oletettu 0,75 hiilidioksidiekvivalenttonniksi yhtä puukuutiometriä kohti. Puuston keskitilavuus metsämaalla perustuu Luonnonvarakeskuksen (2023) tilastoihin. Puuston keskitilavuutena metsämaalla on käytetty Päijät-Hämettä koskevaa tilastotietoa 166 m³/ha. Tieto perustuu vuosina 2017–2021 mitattuihin valtakunnan metsien inventointien aineistoon (Luonnonvarakeskus 2023).

Arvioinnissa on rajauduttu vain puuston hiilen tarkasteluun. Hiilivarastojen muutoksen ilmastovaikutus on myös todellisuudessa laskettua suurempi, koska puu sitoo hiiltä muuallekin kuin runkoon. Laskennassa käytetty CORINE-aineisto ei tarjoa sellaista puustoa ja maaperää koskevaa tietoa, jonka avulla voitaisiin luotettavasti huomioida laskennassa metsäisten alueiden koko hiilivarasto. Keskimääräiseen maakuntatason puuston hiilisisältötietoon perustuva laskenta ei ota kunnolla huomioon eri kasvuvaiheissa olevien eri ikäisten metsien hiilen varastojen välisiä eroja.

Ilmastovaikutusten arvioinnissa ei ole huomioitu Pakaan aurinkovoimalan rakennusvaiheen maanmuokkausten vaikutuksia maaperähiileen. Syynä tähän on tarvittavien maaperätietojen puuttumisen lisäksi laskennallisen arvioinnin haasteellisuus. Rajaus voi aiheuttaa jonkin verran epävarmuutta luvussa 4 esitettyihin tuloksiin, koska etenkin metsien osalta suurin osa hiilestä on varastoitunut metsämaan karikkeeseen, humukseen ja kivennäismaahan.

Vaikutukset muiden maankäyttötapojen kuten peltojen, laitumien ja harvapuustoisten alueiden hiilivarastoihin ja -nieluihin ovat todennäköisesti suhteellisen vähäisiä metsäisempiin alueisiin kohdistuviin vaikutuksiin verrattuna. Vain pieni osa maaperän hiilestä vapautuu rakentamisen maanmuokkausten yhteydessä suoraan ilmaan. Voimakkaampaa muokkausta liittyy aurinkovoimalan rakentamisvaiheessa lähinnä asennustelineiden paalutukseen, huoltoteiden rakentamiseen ja sähkönsiirtoon liittyvien rakenteiden perustamiseen. Maaperähiilen muutosta pienentää lisäksi se, että Pakaan aurinkovoimalan alueella ei ole juurikaan turvemaata, vaan alue on pääosin kivennäismaihin kuuluvaa savimaata. Eloperäisten maiden raivaus tuottaisi moninkertaiset ilmastopäästöt kivennäismaihin verrattuna (ks. esim. Heinonsalo 2021).

Muita aurinkovoimalan rakentamisvaiheen toimintojen ilmastopäästöjä ei ole arvioitu tietojen puuttumisen vuoksi. Näitä ovat rakentamiseen liittyvät energiaperäiset päästöt, joita

syntyy mm. selvitysalueen maaperän käsittelystä ja hakkuista, huoltoteiden rakentamisesta ja kunnostamisesta, paneelien ja muiden laitteiden asennuksista sekä työmatkoista. Myöskään rakentamisen jätteiden käsittelystä ja kierrätyksestä aiheutuvia energia- ja prosessipäästöjä ei ole arvioitu. Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan tuottama sähkö siirretään sähköasemalle, joka sijaitsee selvitysalueella. Hanketta varten ei tarvitse rakentaa uutta sähkönsiirtokäytävää, vaan voidaan hyödyntää olemassa olevaa sähköinfraa. Sähkö siirretään aurinkovoimalasta alueelle olevalle sähköasemalle maakaapeleiden avulla.

3.3 Käyttövaihe

Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan käyttövaiheen pituus on oletettu 40 vuodeksi. Tulosten tarkastelun yhteydessä on käytetty vertailukohtana myös kansainvälisen energiajärjestön IEA:n aurinkovoimaloiden hiilijalanjäljen laskennan ohjeiden (Frischknecht ym. 2020) mukaista 30 vuoden aikajännettä.

Aurinkovoimalan käyttövaiheen hiilijalanjälki (B1–B7 sekä D) syntyy aurinkopaneelien ja alueen muiden voimalalaitteiden ja -rakenteiden ylläpidon, huollon ja uusimisen päästölähteistä. Itse voimalan sähköntuotannosta ei synny suoria ilmastopäästöjä. Hankalasti arvioitavat käyttövaiheen ylläpidon ja huollon energiankäytön päästöillä ei ole juurikaan merkitystä hankkeen ilmastovaikutusten elinkaaritarkastelussa.

Inverttereitä, muuntajia ja aurinkopaneeleja joudutaan uusimaan 40 vuoden käyttöjälkeen aikana. 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 paneelitekniikat kehittyvät, valmistusprosessit tehostuvat, materiaalit muuttuvat ilmastomyötäisemmiksi ja tuotannossa käytettävät energiamuodot muuttuvat yhä vähäpäästöisemmiksi.

Pakaan selvitysalueen metsäpoistumasta seuraa käyttövaiheessa näkyvä tulevien hiilinielujen muutos. Tulevaisuudessa ajan myötä näkyviä hiilinielujen menetyksen ilmastovaikutuksia ei ole sisällytetty rakennusvaiheen tuloksiin, vaan niitä on tarkasteltu osana käyttövaiheen vaikutuksia. Nykytilanteeseen perustuva keskimääräinen vuosittainen hiilinielutulos ei kuvaa todellisuudessa ajan alueen kasviston kehittymisestä ja käsittelyistä aiheutuvia hiilinielun muutoksia.

Hiilinieluarvio perustuu kaadettavan runkopuun hiilensitomispotentiaalin määrään. Laskennassa on käytetty CORINE-aineiston (Suomen ympäristökeskus 2023) maanpeiteluokkien tietoja ja vuosien 2017–2021 metsäinventointitietoihin perustuvaa Päijät-Hämeen puuston hehtaarikohtaista vuosittaista keskipäätystä $7,7 \text{ m}^3/(\text{ha}, \text{vuosi})$ (Luonnonvarakeskus 2023). Laskennassa ei ole huomioitu aurinkovoimalan rakentamisen vaikutusta rakennettavan alueen peltojen ja niittyjen hiilinieluun.

Aurinkovoimalan tuottamaan tehoon vaikuttaa eniten voimalan aurinkopaneelisiin kohdistuva auringon säteilyintensiteetti (Heikkilä 2020). Pakaan 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 1 060 kWh/(m² vuosi) vaihtelisi vuosittain ±4 %.

Häviöt vaikuttavat voimalan hyötysuhteeseen ja järjestelmän lopulliseen sähköntuottoon. Piikiteiden heikkeneminen vähentää paneelien tehoa. Voimalan ensimmäisenä käyttövuonna aiheutuu 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, tasavirtakaapelointiin, inverttereiden 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.

Arvioinnin oletusten perusteella aurinkovoimalan häviöt pienentävät Pakaan aurinkovoimalan tuottoa laskennallisesti yhteensä 17 %. Järjestelmän kokonaishyötysuhde on voimalan 40 vuoden käyttövuoden aikana keskimäärin 17 %, kun valmistajan (Xing 2023) ilmoittama aurinkopaneelin hyötysuhde on STC-olosuhteissa 22,6 %. Arvioinnissa tehtyjen oletusten perusteella ensimmäisenä käyttövuotena aurinkovoimala tuottaisi yhteensä 106 GWh sähköä. Aurinkopaneelien piikiteiden heikkenemisen vuoksi laskennallinen sähköntuotanto olisi viimeisenä 40. käyttövuotena 90 GWh. PVGIS-laskelmien mukaisen kokonaissäteilyn määrän vaihtelun perusteella Pakaan aurinkovoimalan vuosituotannon vaihteluväli olisi arviolta ±5 GWh.

3.4 Elinkaaren loppu

Aurinkovoimala puretaan elinkaaren lopussa. Käytöstä poistamisen ilmastovaikutukset (C1–C4) riippuvat purettavien rakenteiden määrästä. Suomessa ei vielä juuri 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 kehittyi nopeasti, kun kierrätettävää materiaalia syntyy enemmän voimaloiden määrien lisääntyessä. Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan elinkaareksi

on arvioitu 40 vuotta. Pakaan aurinkovoimalan elinkaaren lopussa aurinkopaneelien kierrätyksen ja materiaalien hyödyntämistapojen voidaan siis olettaa olevan nykyistä huomattavasti kehittyneempiä, jolloin myös purkamisesta ja jätteen käsittelystä aiheutuvien ilmastopäästöjen voidaan olettaa olevan tulevaisuudessa nykyistä pienemmät.

4 Tulokset

4.1 Hiilijalanjälki

Suurin osa Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan 37 800 tonnin CO₂ekv hiilijalanjäljestä syntyy heti sen elinkaaren alkuvaiheessa. Rakentamiseen tarvittavien laitteistojen ja rakenteiden raaka-aineiden hankinnasta ja tuotteiden valmistuksesta aiheutuu 86 % voimalan ilmastopäästöistä. Arvioinnin perusteella aurinkopaneelit vastaavat 79 % voimalan materiaali- ja tuotevaiheen hiilijalanjäljestä ja 67 % voimalan koko hiilijalanjäljestä. Loppu 21 % materiaali- ja tuotevaiheen päästöistä liittyy paneelien asennustelineiden ja niiden perustamiseen tarvittavien teräspaalujen valmistukseen.

Luvussa 3.2 tehtyjen rajausten mukaisesti Pakaan aurinkovoimalan rakentamisvaiheen ilmastovaikutusten arvioinnissa on mukana aurinkopaneelien, asennustelineiden ja teräspaalujen kuljetukset selvitysalueelle ja telineiden paalutustyökoneen polttoaineiden käytöstä syntyvät suorat energiaperäiset ilmastopäästöt. Lisäksi on huomioitu rakentamisen synnyttämän maankäytön muutoksen vaikutus selvitysalueen hiilivarastoihin. Rakentamisvaiheen hiilijalanjälki on yhteensä 5 300 tonnia CO₂ekv. Se on 14 % aurinkovoimalalle lasketuista ilmastopäästöistä.

Selvitysalue on suurimmalta osin peltoa, mutta aurinkovoimalan rakentamisen yhteydessä tapahtuu myös metsäpoistumaa. Hakatun puuston hiilivarastojen menetys muodostaa 60 % rakentamisvaiheen hiilijalanjäljestä. Kuljetuksen osuus rakentamisen ilmastopäästöistä on 36 % ja paalutuksen 4 %.

Arvioitu 3 200 tonnin CO₂ekv hiilivaraston muutos on laskettu runkopuun hiilisisällön avulla Päijät-Hämeen puuston maakuntatason keskitilavuustiedolla. Laskennan ulkopuolelle rajatut hakkuiden ja maanmuokkauksen myötä ilmaan pääsevän metsien ja peltojen maaperähiilen vaikutukset sekä puuston hiilivaraston muutosarvion epävarmuustekijät vaikuttavat siten, että rakentamisvaiheen hiilivaraston muutoksen synnyttämä hiilipiikki on todennäköisesti tässä arvoitua suurempi.

Aurinkovoimalan käyttövaiheen hiilijalanjäljen laskenta on rajattu luvun 3.3 oletusten mukaan pelkästään hiilinieluvaikutuksiin. Selvitysalueelta poistettavan runkopuun myötä menetettävän hiilinielupotentiaalin vaikutus näkyy vasta rakentamisen jälkeen voimalan käyttövaiheen aikana vuosittain menetettävänä hiilensidontana, joka olisi tapahtunut, jos puusto olisi jatkanut alueella kasvuaan. Taulukon 3 mukaan selvitysalueelta poistettavan puuston myötä menetettävä hiilinielu on keskimäärin 150 tonnia CO₂ekv vuodessa.

Aurinkovoimalan käytöstä poistamisen ja purkamisen elinkaarivaiheen lopun ilmastovaikutuksia ei ole luvun 3.4 oletusten mukaisesti arvioitu niiden vähäisen merkittävyyden vuoksi.

Taulukossa 3 on esitetty Orimattilan Pakaan aurinkovoimalahankkeen merkittävämpien elinkaarivaiheiden ilmastovaikutusten lähteiden ilmastopäästöt.

*Taulukko 3 Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan ilmastovaikutusten kannalta keskeisten elinkaarivaiheiden hiilijalanjäljen koko ja niiden suhteelliset osuudet **

Elinkaarivaihe	Päästöt (tonnia CO ₂ ekv)	Kokonaisosuus
Aurinkovoimalan materiaali- ja tuotevaihe	32 500	86 %
<i>Aurinkopaneelit</i>	<i>25 500</i>	<i>67 %</i>
<i>Paneelien asennustelineet</i>	<i>3 400</i>	<i>9 %</i>
<i>Asennustelineiden paalut</i>	<i>3 600</i>	<i>24 %</i>
Rakentamisvaihe	5 300	14 %
<i>Kuljetukset selvitysalueelle</i>	<i>1 900</i>	<i>5 %</i>
<i>Aurinkopaneelit</i>	<i>1 860</i>	<i>5 %</i>
<i>Paneelien asennustelineet</i>	<i>30</i>	<i>0 %</i>
<i>Asennustelineiden paalut</i>	<i>10</i>	<i>0 %</i>
<i>Telineiden paalutus</i>	<i>200</i>	<i>1 %</i>
<i>Hiilivarastojen muutos</i>	<i>3 200</i>	<i>8 %</i>
Yhteensä	37 800	100 %
Hiilinielun vuosimuutos (tonnia CO ₂ ekv/vuosi)*	150	

* Hiilinieluja tarkastellaan erikseen, koska poistettavan puuston myötä keskimäärin menetettävän hiilinielun suuruus on laskettu vuosimuutoksena ja yksiköissä tonnia CO₂ekv/vuosi, kun taas elinkaarivaiheiden päästöt kuvaavat elinkaarivaiheen aikana syntyvien päästöjen yhteenlaskettua määrää

Pakaan aurinkovoimala tuottaa luvussa 3.3 esitettyjen oletusten pohjalta 40 vuoden käyttövaiheen aikana yhteensä 3 900 GWh aurinkovoimaa. Keskimääräinen vuosituotanto on 98 GWh. Jakamalla voimalan elinkaaren aikana syntynyt hiilijalanjälki sen käyttövaiheen aikana tuottaman aurinkovoiman kokonaismäärällä saadaan sen elinkaarenaikaiseksi ominaispäästökertoimeksi 9,8 g CO₂ekv/kWh. Seuraavan sivun taulukossa 4 on eritelty päästökerroin elinkaarivaiheittain.

Voimalan elinkaari pohjainen päästökerroin on selvästi pienempi kuin Suomen sähköntuotannon vuoden 2022 hiilidioksidipäästöjen ominaispäästökerroin 62 g CO₂/kWh (Energiateollisuus ry 2023) tai esimerkiksi heinäkuun 2023 kansallisen sähkön tuotannon ja kulutuksen kuukausikertoimet 18,4 g CO₂/kWh ja 17,7 g CO₂/kWh (Fingrid 2023).

Aurinkovoimalan elinkaarikerrointa ei ole täysin mielekäästä verrata kansalliseen kertoimeen tai edes sen kehitykseen, sillä Suomen sähköntuotannon päästökertoimen laskennassa huomioidaan ainoastaan käytetyn energialähteen hiilisisältö eikä se sisällä voimaloiden muita elinkaarenaikaisia päästölähteitä. Lisäksi laskettu aurinkovoimalan päästökerroin mitataan hiilidioksidiekvivalentteina toisin kuin kansallinen päästökerroin, joka sisältää vain hiilidioksidipäästöt.

Taulukko 4 Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan elinkaarivaiheiden hiilijalanjäljet suhteessa voimalan 40 vuoden käyttöajan aikana tuottamaan aurinkovoiman määrään.

Elinkaarivaihe	Ominaispäästöt (g CO ₂ ekv/kWh)	Kokonaisuus
Aurinkovoimalan materiaali- ja tuotevaihe	8,4	86 %
<i>Aurinkopaneelit</i>	6,6	67 %
<i>Paneelien asennustelineet</i>	0,9	9 %
<i>Asennustelineiden paalut</i>	0,9	24 %
Rakentamisvaihe	1,4	14 %
<i>Kuljetukset selvitysalueelle</i>	0,5	5 %
<i>Aurinkopaneelit</i>	0,5	5 %
<i>Paneelien asennustelineet</i>	0,01	0 %
<i>Asennustelineiden paalut</i>	0,00	0 %
<i>Telineiden paalutus</i>	0,05	1 %
<i>Hiilivarastojen muutos</i>	0,8	8 %
Yhteensä	9,8	100 %

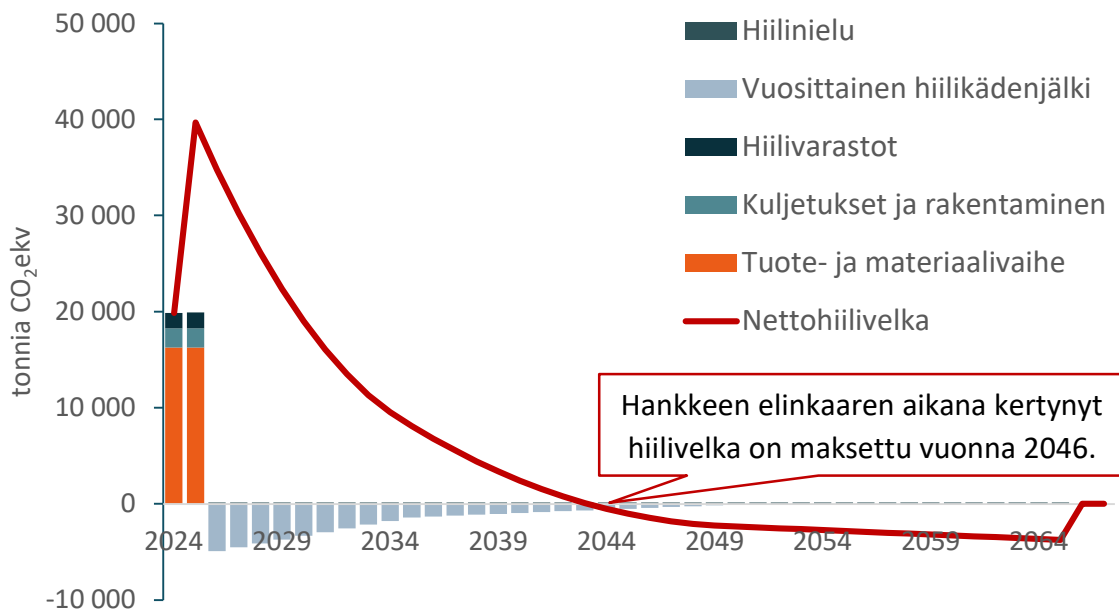
4.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki kuvaa Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan elinkaarenaikana syntyneitä myönteisiä ilmastovaikutuksia. Sen koko riippuu siitä, mitä sähköntuotantoa ja muuta energiantuotantoa tuotetulla aurinkovoimalla korvataan voimalan käyttövaiheen aikana. On määriteltävä, mitä sähköntuotantoa tai -hankintaa vuodenajan ja vuorokauden mukaan vaihteleva aurinkovoiman tuotanto korvaa. Korvattavan sähkön tarkastelua hankaloittaa tuotantorakenteen muutoksen ja sähkön ominaispäästökertoimen ennustaminen.

Hiilikädenjälki voidaan laskea kansallisen sähköntuotannon ominaispäästöjen arvioidun kehityksen pohjalta. Apuna voidaan käyttää Energiateollisuus ry:n energia-alan vähähiilisyys-tiekartan perusskenaariota (AFRY 2020). Sen perusteella sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen ominaispäästökerroin pienenisi lineaarisesti vuoden 2022 arvosta 62 g CO₂/kWh vuoteen 2035 mennessä arvoon 14 g CO₂/ kWh ja vuonna 2050 arvoon 1 g CO₂/kWh. Arvio on varovainen, sillä tällä hetkellä ennakoidaan, että sähköntuotanto olisi Suomessa fossiilitonta on jo 2030-luvulla.

Pakaan aurinkovoimalan päästöttömän aurinkoenergian ilmastohyödyt kattaisivat voimalan rakentamisen, käytön ja käytöstä poiston aikana syntyvän hiilivelan 15 vuoden ja 7 kuukauden kuluttua, jos voimalan 3 900 GWh:n tuotannolla korvattaisiin 40 käyttövuoden aikana AFRY:n (2020) kotimaisen sähköntuotannon perusskenaarion päästökertoimen kehityksen mukaista kotimaista sähköntuotantoa. Kansallinen ominaispäästökerroin olisi voimalan käyttövaiheen aikana keskimäärin 10,7 g CO₂/kWh.

Kuva 5 havainnollistaa Pakaan aurinkovoimalan hiilikädenjäljen muodostumista ja tarkastelun aikajänteen merkitystä. Voimalan myönteisiä ilmastovaikutuksia kuvaava vuosittainen hiilikädenjälki näkyy kuvassa hieman intuition vastaisesti negatiivisina ilmastopäästöinä, koska voimalan tuottama sähkö korvaa AFRY:n (2020) perusskenaarion mukaista keskimääräistä kotimaista sähköntuotantoa 40 vuoden käyttövaiheen aikana. Kuvaajan pystyakselin positiiviset arvot kuvaavat siis ilmastopäästöjä eli ilmastohaittoja ja akselin negatiiviset arvot päästövähennyksiä eli ilmastohyötyjä.



Kuva 5 Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan elinkaaren aikana syntyvät ilmastopäästöt ja hiilensidonnain muutokset sekä niistä kertyneen hiilivelan kehitys, kun tuotetulla aurinkovoimalla korvataan AFRY:n (2020) skenaarion mukaista kansallista sähkön tuotantoa.

Voimalahankkeen elinkaaren alkuvuosina tuotteista ja materiaaleista, rakentamisesta ja hiilivarastojen muutoksesta syntynyt nettahiilivelka pienenee korvausvaikutuksen vuoksi. Kotimaisen sähköntuotannon vähähiilisyyshyöty pienentää vuosittaista korvausvaikutusta ja hidastaa takaisinmaksua. Nettomääräistä hiilivelkaa kuvaava punainen käyrä painuu negatiiviseksi reilun 15 käyttövuoden jälkeen vuonna 2044, jos voimala aloittaa toimintansa vuonna 2026. Negatiivinen osuus ilmaisee Pakaan aurinkovoimahankkeesta syntyvää nettomääräistä ilmastohyötyä, kun käyttövaiheen aikana kertynyt hiilikädenjälki kertymä kasvaa voimalan hiilijalanjälkeä suuremmaksi.

Aurinkovoimalan hiilikädenjälkeä voidaan arvioida myös Euroopan investointipankin menetelmällä (EIB 2023). Siinä päästövähennelmä lasketaan päästöjen nollavaihtoehdon ja hankevaihtoehdon skenaarioiden erotuksena. Nollaskenaarion korvattavan sähköntuotannon 810 000 tonnin CO₂ekv ilmastopäästöt saadaan kertomalla Pakaan aurinkovoimalan

3 900 GWh:n kokonaistuotanto IPCC:n IFI-työryhmän (IFI TWG 2021) Suomelle määrittämällä maakohtaisella aurinko- ja tuulivoiman kaltaisille uusiutuvan energian hankkeiden tarkasteluun tarkoitettulla Combined margin -ominaispäästökertoimella 209 g CO₂/kWh (EIB 2023). Hankeskenaarion ilmastopäästöt muodostuvat puolestaan aurinkovoimalan elinkaaren aikana syntyvästä 37 800 tonnin CO₂ekv hiilijalanjäljestä. Pakaan aurinkovoimalan sähköntuotannon korvausvaikutus hyvittäisi aurinkovoimalan rakentamisen, käytön ja käytöstä poiston aikana syntyneen hiilivelan yhdessä kuukaudessa, mikäli vertailukohtana olisi EIB-menetelmän ominaispäästötaso.

5 Yhteenveto

Suurin osa, 67 % Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan 37 800 tonnin CO₂ekv hiilijalanjäljestä muodostuu välillisesti aurinkopaneelien valmistusvaiheessa. Merkittäviä ilmastopäästöjä syntyy myös paneelien asentamiseen tarvittavien telineiden ja niiden teräspaalujen valmistuksessa sekä paneelien, telineiden ja paalujen kuljettamisesta selvitysalueelle. Niiden osuus lasketusta voimalan hiilijalanjäljestä on 35 %.

Pakaan aurinkovoimalan rakentamisen aiheuttaman maankäytön muutoksen metsien ja maaperän hiilensidonnan kielteisiä vaikutuksia pienentää se, että voimalan selvitysalue sijaitsee kivennäismaalla ja pääosin peltomaalla. Corine Land Cover 2018 -aineiston maanpeiteluokituksen mukaan määritelty 25 ha:n metsäala on 15 % selvitysalueen 167 ha:n pinta-alasta. Voimalan rakentamisen vuoksi poistettavan puuston syntyvä hiilivarastojen vähenemä on vain 8 % aurinkovoimalan hiilijalanjäljestä.

Pakaan aurinkovoimalan hiilijalanjälki on tuotettua sähkömäärää kohti pieni. Jos voimalan käyttövaiheen pituus oletetaan 30 vuodeksi, sen elinkaarenaikainen ominaispäästökerroin on 12,8 g CO₂ekv/kWh. Tätä kerrointa voi verrata esim. vastaavalle käyttöajalle määriteltyihin EU-maiden sähköntuotannon elinkaarikertoimiin. Maa-asennetuilla aurinkovoimaloilla kerroin liikkuu välillä 11,4–36,7 g CO₂/kWh, vesivoimalla välillä 10,7–147 g CO₂/kWh, kaasuvoimalaitoksilla 128 g CO₂/kWh:ssa ja ydinvoimalla 5,3 g CO₂/ kWh:ssa (UNECE 2022). Maa-tuulivoiman eurooppalaiset kertoimet ovat välillä 13,3–14,2 g CO₂/kWh, mutta viimeisimpien ympäristövaikutusarviointien perusteella kotimaisten tuulivoimapuistojen elinkaari-päästöt voivat olla alle 10 g CO₂/kWh. Tuulipuistojen ilmastovaikutuksiin aiheuttaa vaihtelua kuitenkin tuulivoimaloiden ja niiden voimajohtojen rakentamiseen liittyvän metsäpoistuman suuruus.

Pakaan aurinkovoimala on osa vihreää siirtymää. Sen tuottama sähkö syrjäyttää markkinoilta enemmän ilmastopäästöjä aiheuttavaa sähköntuotantoa. Pakaan aurinkovoiman tuotanto lisää osaltaan sähkön tuotannon omavaraisuutta maassamme ja vähentää tuontisähkön tarvetta. Suomi kytkeytyy pohjoismaisiin ja eurooppalaisiin energiemarkkinoihin. Päästöttömästi ulkomailla tuotettu sähkö, joka olisi tuotu Suomeen, voidaan myydä maahan, joka on enemmän riippuvainen fossiilisesta energiasta. Näin Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan positiiviset ilmastovaikutukset näkyvät myös globaalilla tasolla. Se tukee omalta osaltaan Suomen kehittymistä sähkön ja energian vientimaaksi.

Pakaan aurinkovoimalahanke tukee Päijät-Hämeen ilmastotavoitteita. Maakunnan tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä. Sen saavuttaminen vaatii hiilensidonnan ilmastopäästöjen vähentämistä ja hiilensidonnan lisäämistä 80 % vuoteen 2007 verrattuna. Päijät-Hämeen liiton (2020) julkaisemassa ilmastotiekartassa on seitsemän painopistettä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi, joista ensimmäinen käsittelee energian

kulutuksen vähentämistä ja siihen liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Ilmastotiekartassa on tunnistettu aurinkovoiman suosion kasvu ja sen potentiaali myös maakunnassa, vaikka sen lisäämiselle ei ole erikseen asetettu tiekartassa toimenpiteitä. (Päijät-Hämeen liitto 2020)

Se vie myös Orimattilan ilmastotyötä eteenpäin. Kaupunki on liittynyt Hinku-kuntien verkostoon vuonna 2019 (Hiilineutraalisuomi.fi 2019). Se ilmasto-ohjelmassa (Orimattilan kaupunki 2020) ei nosteta suoraan esiin aurinkoenergiaa, mutta energia- ja energiatehokkuutta koskevien toimenpiteiden joukossa ovat yhteishankkeet uusituvan energian tuotannon lisäämiseksi. Orimattilan käyttöperusteisen päästöjen laskennassa käytetty Suomen ympäristökeskuksen Hinku-menetelmässä (Hiilineutraalisuomi.fi 2023) voidaan laskea kaupungin alueella tuotetusta aurinkovoimasta päästöhyvitys samalla tavoin kuin tuulivoimalle (Lounasheimo ym. 2020). Näin valtakunnan verkkoon sähköä tuottavan Pakaan aurinkovoimalan tuotannon myönteiset ilmastovaikutukset näkyvät myös kaupungin ilmastopäästöissä ja tuotanto integroituu näkyvämmiin osaksi paikallista ilmastotyötä. Esimerkiksi vuoden 2021 Hinku-tulosten (Hiilineutraalisuomi.fi 2023) perusteella laskettuna aurinkovoimalan keskimääräinen vuosituotanto olisi pienentänyt laskennallisesti Orimattilan vuosittaisia päästöjä noin 7 %.

Lähteet

- AFRY 2020. Finnish Energy – Low carbon roadmap. Final report. 1 June 2020.
- CO2data 2023. Rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokannat. Suomen ympäristökeskus SYKE. [elinkaaritietokanta]
- 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.
- Energiateollisuus ry 2023. Energiavuosi 2022. Sähkö. 12.1.2023. https://energia.fi/files/4428/Sahkovuosi_2022.pdf
- Fingrid 2023. Real-time CO2 emissions estimate. Fingrid Oyj. Internetsivu: <https://www.fingrid.fi/en/electricity-market-information/real-time-co2-emissions-estimate/> Vierailtu 31.7.2023.
- FCG 2023a. Orimattila–Pakaa. Aurinkovoimalan aluekatsaus – alustava. 20.6.2023. FCG Finnish Consulting Group Oy.
- FCG 2023b. Orimattilan Pakaan aurinkovoimalan suunnittelutarve- (STR-) ja rakennuslupahakemusaineistojen (RL) laatiminen. Rakennettavuusselvitys. Luonnos 28.7.203. FCG Finnish Consulting Group Oy.
- 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 2023. 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
- Heinonsalo ,J. (toim.) 2020. Hiiliopas: Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin. Carbon Action & Baltic Sea Action Group, Kaarina.
- Hiilineutraalisuomi.fi 2019. Orimattila liittyi Hinku-verkostoon. Internetsivu: [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Orimattila_liittyi_Hinkuverkostoon\(52790\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Orimattila_liittyi_Hinkuverkostoon(52790)) Vierailtu 31.7.2023.
- Hiilineutraalisuomi.fi 2023. SYKE - Kuntien ja alueiden KHK-päästöt. Orimattila. Suomen ympäristökeskus. Internetsivu: https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/#fi_kunta560 Vierailtu 3.8.2023.
- IFI TWG 2021. Harmonized IFI Default Grid Factors 2021 v3.2. International Financial Institutions Technical Working Group. IPCC.

- Ilmastopaneeli 2021. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021 - Ilmastomuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet: Ote raportista – Päijät-Häme. Suomen ilmastopaneelin. Saatavissa: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/09/SUOMI-raportti_paijat-hame.pdf
- JinkO Solar2021. Environmental product declaration. Mono-crystalline silicon photovoltaic (PV) modules. Registration number EPDITALY0252. Issue date 16/06/2021. EPDItaly.
- JRC 2023. Photovoltaic geographical information system. Interactive tools. Internetsivu: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ Vierailtu 31.7.2023.
- LONGi 2021. Hi-MO 5. LR5-72HBD 530~550M. LONGi. Saatavissa: https://static.longi.com/L_Gi_LE_T_TMD_059_108_LR_5_72_HBD_530_550_M_35_30_and_1_5_V14_4c79e9b9a7.pdf
- LONGi 2023a. Environmental product declaration. LR4-72HBD, LR5-72HBD, LR5-72HPH, LR5-72HIBD, LR5-72HIH, LR5-54HPH, LR5-54HIH, LR5-54HIB. Registration number S-P-09079. Revision date 29/05/2023 (version 2). EPD International AB.
- LONGi 2023b. Environmental product declaration. LR5-54HIH, LR5-54HPB, LR5-54HPH, LR5-54HTB, LR5-54HTH, LR5-66HIH. Registration number MR-EPDITALY0057. Update 2023/01/09. EPDItaly.
- 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]
- Orimattilan kaupunki 2020. Olan oma ilmasto-ohjelma 2020–2030. Orimattilan kaupunki.
- Päijät-Hämeen liitto 2020. Hiilineutraali Päijät-Häme 2030, Ilmastotiekartta. Saatavissa: [Paijat-Hämeen-ilmastotiekartta.pdf](#)
- 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
- Ratu 2017. Ratu 0444, Paalutus. Menekki ja menetelmät. Ratu-kortisto. Rakennustieto.
- Scheltter 2022. PVMaX Kit 2V LT 11/72 4 Pfosten. 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.
- Suomen ympäristökeskus 2023. Latauspalvelu LAPIO. [Paikkatietokanta]
- 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%20Modules%20New%20Product%20Introduction0614\(1\).pdf](https://tw-solar.co.uk/n-type%20Modules%20New%20Product%20Introduction0614(1).pdf)

