

Vastaanottaja
Pennalan Aurinkovoima Oy

Asiakirjatyyppi
Hiilitaselaskenta

Päivämäärä
2.10.2026

Pennalan aurinkovoimahankkeen elinkaaren hiilitaselaskelma

Ramboll Finland Oy



Pennalan aurinkovoimahankkeen elinkaaren hiilitaselaskelma

Ramboll Finland Oy

Projekti **Pennalan aurinkovoiman osayleiskaava**
Projekti nro **1510086092-002**
Vastaanottaja **Pennalan Aurinkovoima oy**
Asiakirjatyyppi **Hiilitaselaskelma**
Päivämäärä **02.10.2026**
Laatija **Emma Piha**
Tarkastaja **Inka Koskinen**
Kuvaus **Elinkaaren hiilitaselaskelma**

Ramboll
Kansikatu 5B
33100 TAMPERE

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://www.ramboll.com/fi-fi/>

Sisältö

1.	Johdanto	2
2.	Laskelman lähtökohdat ja arviointimenetelmät	2
3.	Oletukset ja rajaukset	3
4.	Aurinkovoiman elinkaaren vaiheet ja ilmastovaikutukset	4
4.1	A1-A3: Tuotevaihe	5
4.2	A4-A5: Rakentamisvaihe	7
4.3	B: Käyttövaihe	9
4.4	C1: Käytöstä poisto ja purku	10
4.5	Käytönaikaiset ilmastohyödyt ja hiilivelan takaisinmaksuaika	11
5.	Johtopäätökset ja epävarmuustekijät	12
6.	Lähteet	14

1. Johdanto

Pennalan Aurinkovoima Oy suunnittelee Orimattilaan aurinkoenergian tuotantoa kaava-alueelle. Kaavoituksen tavoitteena on mahdollistaa aurinkovoimalan rakentaminen enintään noin 160 hehtaarin (ha) suuruiselle alueelle. Suunnittelualueen kokonaispinta-ala on noin 600 ha. Aurinkovoimalan teho olisi noin 169 megawattia (MWp), ja arvioitu vuosituotanto noin 157 gigawattituntia (GWh). Vuosituotanto perustuu hankkeesta käytettävissä olevaan tuotantoarvioon.

Aurinkopaneelit sijoittuvat pääosin peltomaille sekä joiltakin osin metsäisille alueille. Suunnittelualueelle sijoittuva luonnonympäristö on pääosin ihmisen voimakkaasti käsittelemää talousmetsää. Alueelle rakennetaan lisäksi tarvittava huoltotiestä ja sisäinen sähkönsiirto sekä maakaapelilla toteutettava liityntä sähköasemalle.

Tämän raportin tarkoituksena on arvioida aurinkovoimahankkeen hiilitasetta koko sen elinkaaren ajalta niiden tietojen pohjalta, jotka ovat tässä suunnitteluvaiheessa käytettävissä. Hiilitaseselvityksellä pyritään tunnistamaan ja laskennallisesti arvioimaan hankkeen eri vaiheisiin liittyvät hiilidioksidipäästöt sekä syntyvät ilmastohyödyt. Selvityksen tuloksena saadaan kokonaiskuva hankkeen ilmastovaikutuksista.

2. Laskelman lähtökohdat ja arviointimenetelmät

Pennalan aurinkovoimalan hiilitaselaskelmassa sovelletaan elinkaariarviointi eli LCA (life cycle assessment) -laskentaa. LCA-laskennan tarkoituksena on huomioida tuotteen tai prosessin koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. LCA-laskennan toteuttamisen tueksi on laadittu kansainvälisen standardointijärjestön ISO:n 14040-sarjan standardit. Elinkaarilaskennan yhtenä tarkastelun kohteena ovat muodostuvat ilmastovaikutukset, joihin myös tässä raportissa keskitytään. Vaikutus esitetään tavallisesti hiilidioksidiekvivalenteina (CO₂e), joka kuvaa vaikutusta ilmaston lämpenemiseen (global warming potential, GWP).

Aurinkovoima on uusiutuva energiatuotantomuoto, jonka tuotantovaiheessa ei synny suoria kasvihuonekaasupäästöjä. Tarkasteltaessa koko aurinkovoiman elinkaarta, päästöjä kuitenkin syntyy tuotantovaiheen ulkopuolisissa elinkaaren vaiheissa.

Aurinkovoiman elinkaaren ilmastovaikutukset koostuvat pääosin tuotantoketjun eri vaiheiden aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä sekä maankäytön muutoksista. Merkittävimmät päästöt syntyvät aurinkopaneelien valmistuksessa, erityisesti raaka-aineiden louhinnassa, paneelien tuotannossa ja kuljetuksissa. Rakentamisvaiheessa päästöjä aiheuttavat työkonien energiankäyttö. Mikäli aurinkopaneelien tuotantoalueelta poistetaan puustoa, kasvillisuutta ja/tai maa-aineksia, hiilivaraston ja -nielun osuudet vähenevät. Elinkaaren lopussa päästöjä syntyy aurinkovoimalan purkamisesta ja purkumateriaalien käsittelystä.

Aurinkovoimasta muodostuu myös merkittävä myönteinen vaikutus. Suunnitellun aurinkovoimalan avulla tuotetaan vähähiilistä uusiutuvaa energiaa, mikä edistää alueellisten ja valtakunnallisten ilmastotavoitteiden saavuttamista ja vastaa osaltaan kasvavaan sähkön kysyntään. Aurinkovoimalan käyttöiän aikana tuotettu sähkö lisää uusiutuvan energian osuutta sähköjärjestelmässä. Sen mahdollista sähköjärjestelmätason ilmastohyötyä tarkastellaan tässä selvityksessä suuntaa antavana arviona, joka perustuu Suomen ilmastopolitiikkatoimien arvioinnin päästökerrontarkasteluun (Sitowise, 2025). Vaikutus riippuu kuitenkin sähköjärjestelmän kehityksestä, eikä sitä ole perusteltua tulkita suorana fossiilisten polttoaineiden korvausvaikutuksena.

3. Oletukset ja rajaukset

Tarkasteluun sisällytettiin aurinkopaneelit, paneelitelineet, invertterit, sisäinen DC- ja keskijännitekaapelointi, LV/MV-muuntajat, akkujärjestelmä ja sen muuntajat sekä oletuksiin perustuva sähköasema. Lisäksi huomioitiin komponenttien kuljetukset, rakentaminen, maankäytön muutos, tekniseen käyttöikään perustuvat komponenttien uusimiset ja rakenteiden purkaminen. Hankealueen ulkopuolinen sähkönsiirto, kantaverkon vahvistamistarpeet sekä aurinkovoimalan aidat rajattiin tarkastelun ulkopuolelle.

Laskennan lähtötietoina käytettiin Fortumin toimittamia hankekohtaisia tietoja sekä elinkaaren aikaisia päästökertoimia, jotka ovat saatavilla avoimista tietokannoista (Suomen ympäristökeskus 2026a). Käytetyt lähtötiedot ja päästökertoimet esitetään seuraavissa taulukoissa (Taulukko 3-1, Taulukko 3-2).

Taulukko 3-1. Hankkeen lähtötiedot.

Muuttuja	Arvo
Aurinkovoimalan teho	169 MWp
Paneelin yksikköteho	660 Wp
Arvioitu vuosituotanto	157 GWh
Toteutusalue	160 ha
Huoltotiet	Uudet huoltotiet: 2,5 km
Paneelimuodulit	2,6 m ² 25 kg/moduuli 256048 kpl
Käyttöikä	35-40 vuotta
Invertterit	378 kpl, 330 kVA/kpl
DC-kaapeloinnit	Noin 1 014 km
Keskijännitekaapeloinnit	Noin 11,5 km
Akkujärjestelmä	240 MWh (48 * 5 MWh)
LV/MV muuntajat	31 kpl
Akkuvaramuuntajat	12 kpl

Taulukko 3-2. Päästökertoimet

Toiminto	Päästökerroin	Lähde
Aurinkovoimaloiden valmistamisen päästökerroin	0,436 kgCO ₂ e/Wp	Keskiarvoistettu EPD:istä: S-P-12377 S-P-03811 NEPD-11344-11291 NEPD-4464-3725-EN NEPD-6586-5846-EN
Telineiden valmistuksen päästökerroin: teräs alumiini betoni	4,6 kgCO ₂ e/kg 3,1 kgCO ₂ e /kg 0,11 kgCO ₂ e/kg	Syke: Ruostumaton terästanko Alumiiniprofiili, romu min. 75% Valmisbetoni, C30/37, GWP.REF

Muut aurinkovoimalan komponentit: invertterit keskijännitemuuntajat DC-kaapelointi akkuvaraston muuntaja akkukontit keskijännitekaapeli	3,6 kgCO ₂ e/kg 6,71 kgCO ₂ e/kVA 0,41 kgCO ₂ e/m 6,71 kgCO ₂ e/kVA 80 kgCO ₂ e/kWh 25500 kgCO ₂ e/km	SUN2000-330KTL-H1 S-P-00055 EPD-IES-0027149:001 S-P-00055 Kirjallisuuslähde: Parlikar, 2025 & EPD China: EPD -CN - 00007 NXNS-00449-V01.01-EN
Sähköaseman komponentit: Päämuuntaja Betoni Teräs Kupari	6,71 kgCO ₂ e/kVA 0,11 kgCO ₂ e/kg 3 kgCO ₂ e/kg 4,2 kgCO ₂ e/kg	S-P-00055 Syke: Valmisbetoni, C30/37, GWP.REF Syke: rakenneteräs, kantavat rakenteet Syke: kuparilanka
Laivakuljetus	44,9 gCO ₂ e/tkm	Syke: Kuljetus, konttilaiva, 1 000 TEU
Maantiekuljetus: päästökerroin täysi	49,59 gCO ₂ e/tkm	Syke: Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 100 % kuorma, maantieajo
päästökerroin 80 % täysi	57,71 gCO ₂ e/tkm	Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 80 % kuorma, maantieajo
päästökerroin tyhjä	812,48 gCO ₂ e/km	Siirto, puoliperävaunuyhdistelmä, 0 % kuorma, maantieajo
Huoltotien rakentamisen päästökerroin	66,66 tCO ₂ e/km	Ramboll Finland Oy, 2025. Energiamurros ja maankäytön ilmastovaikutusten arviointi Pohjois- Pohjanmaalla EMMI-hanke TP2
Rakentamisen päästökerroin	7 kgCO ₂ e/m ²	Syke: Maa- ja pohjarakentaminen, rakennuspaikka
Purkamisen päästökerroin	0,75 kgCO ₂ e /m ²	Syke: Purku, rakennuspaikka

4. Aurinkovoiman elinkaaren vaiheet ja ilmastovaikutukset

Aurinkovoimasta syntyvät päästöt muodostuvat sen koko elinkaaren ajalta. Hiilijalanjälkeen vaikuttavat erityisesti materiaalien valmistus, kuljetukset, rakentaminen, käyttö sekä elinkaaren lopussa tapahtuva purku ja kierrätys. Elinkaaren vaiheet on jaettu elinkaarilaskennan mukaisten vaiheiden A-C (Taulukko 4-1) alle. Seuraavaksi esitellään kustakin vaiheesta muodostuvat ilmastovaikutukset ja laskennassa tehdyt oletukset.

Taulukko 4-1. Elinkaarilaskennan vaiheet

Elinkaaren vaihe	Toiminnot	Mukana tarkastelussa
A1-A3: Tuotevaihe	Raaka-aineen hankinta, kuljetus valmistukseen ja tuotteen valmistus	kyllä
A4-A5: Rakentamisvaihe	Kuljetus työmaalle, työmaatoiminnot	kyllä

B: Käyttövaihe	Tuotantovaiheen aikainen kunnossapito ja korjaukset ja osien vaihdot	kyllä
C1: Käytöstä poisto ja purku	Purkaminen	kyllä

4.1 A1-A3: Tuotevaihe

Elinkaaren ensimmäisessä vaiheessa valmistetaan aurinkovoimatuotantoon tarvittavat komponentit. Tuotevaiheessa päästöjä syntyy tarvittavien raaka-aineiden hankinnasta, niiden kuljetuksesta sekä itse komponentin valmistuksesta.

Tuotevaiheessa huomioitiin aurinkopaneelien, paneelitelineiden, invertterien, muuntajien, akkujärjestelmän, sisäisten kaapelointien sekä sähköaseman tarkasteltujen rakenteiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt. Päästökertoimet perustuivat CO₂data-palveluun, teknisesti soveltuvien komponenttien ympäristöselosteisiin sekä tieteelliseen kirjallisuuteen (Taulukko 3-2).

4.1.1 Aurinkopaneelit ja telineet

Aurinkopuiston ollessa vielä suunnitteluvaiheessa, ei tarkkoja teknisiä suunnitteluratkaisuja ja valmistajakohtaisia tietoja ollut käytettävissä arvioinnin tekoaikaan. Arviointi perustuu hankkeen alustaviin suunnitelmiin sekä aurinkopuistojen tyypillisiin laite- ja toteutusratkaisuihin.

Aurinkopaneelien valmistuksen päästökerroin määritettiin Kim et al. vertailevan tutkimuksen *Comparative evaluation of the material consumption and carbon footprint of silicon PV modules* perusteella, jossa analysoitiin 71 ympäristöselostetta (EPD) 23 aurinkopaneelivalmistajalta ja yli 220 paneelimallista. Tutkimuksessa kaikki päästöt normalisoitiin yksikköön kgCO₂e/Wp, jotta eri valmistajien tuotteita voitiin vertailla ilman käyttöpaikan säteilyolosuhteista johtuvaa vaihtelua.

Vertailuryhmään valittiin asiakkaan paneelia teknisiltä ominaisuuksiltaan lähimpänä olevat bifacial-rakenteiset, n-tyyppin kennoteknologiaa käyttävät utility-scale-paneelit, joiden nimellisteho oli vähintään 600 W. Vertailuaineistoon valittiin 5 EPD:tä teholuokassa 600-700 W. Vertailuun sisällytettiin Leptonin, Jolywoodin, Jinkon, Risen ja Aikon tuotteita. Näiden paneelien ympäristöselosteista johdetut valmistuksen päästökertoimet vaihtelivat välillä 0,342-0,492 kgCO₂e/Wp. Vertailuryhmän keskimääräiseksi valmistuksen päästökertoimeksi saatiin 0,436 kgCO₂e/Wp. Paneelien valmistuksen (A1-A3) hiilijalanjäljeksi laskettiin aurinkopuiston nimellistehon 169 MWp perusteella 73 680 tCO₂e.

Paneelitelineille ei ole päästökerrointa julkisissa päästötietokannoissa, joten paneelitelineiden päästöt laskettiin telineiden pääasiallisten materiaalien (teräs, alumiini, painollisissa telineissä myös betoni) päästökertoimien avulla, jotka saatiin Rambollin rakentamisen ja infrarakentamisen- ja ICE Database -tietokannoista. Telineitoimittaja Finnwindiltä saatiin tiedot kolmen tyypillisen maa-asenteisen telinemallin materiaalmäärästä paneelineliötä kohden, ja näistä materiaalmäärästä laskettiin keskiarvo. Paneelitelineet ovat 85% terästä, 10% betonia ja 5% alumiinia. Aurinkovoimaloiden telineiden paino vaihtelee 20-40 kg/kW välillä. Laskentaan valittiin 30 kg/kW keskiarvo, jolloin telineiden kokonaispainoksi saatiin 5 070 t, kun paneelien keskiarvoinen nimellisteho on 660 Wp. Teräksen, betonin ja alumiinin päästökertoimet haettiin Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä kansallisesta CO₂data-päästötietokannasta. Paneelientäntä telinejärjestelmän valmistuksen (A1-A3) päästökseksi arvioitiin noin 20 664 tCO₂e.

4.1.2 Invertterit ja muuntajat

Invertterien valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin hankkeen lähtötietojen mukaista 330 kVA:n invertteriluokkaa vastaavan Huawei SUN2000-330KTL-H1 -invertterin ympäristöselosteen perusteella. Hankkeeseen suunniteltujen 378 invertterin valmistuksen (A1-A3) päästöiksi arvioitiin yhteensä noin 1 512 tCO_{2e}.

Muuntajien valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin ABB T&D S.p.A.:n julkaisemaan ympäristöselosteeseen perustuen. Ympäristöselosteen mukaan 5-25 MVA nestejäähdytteisten jakelumuuntajien valmistusvaiheen ilmastovaikutus on 6,71 kgCO_{2e}/kVA. Tämän perusteella aurinkovoimalan LV/MV-muuntajien valmistuksen päästöiksi arvioitiin noin 840 tCO_{2e} ja energiavaraston muuntajien valmistuksen päästöiksi noin 423 tCO_{2e}.

4.1.3 Akkukontit

Akkuvaraston valmistusvaiheen hiilijalanjälki arvioitiin kirjallisuudessa raportoitujen stationääristen litiumioniakkuvarastojen tuotantovaiheen päästöintensiteettien perusteella. Arvio perustuu Technische Universität Münchenin vuonna 2025 hyväksyttyyn väitöskirjaan The Carbon Footprint of Stationary Lithium-Ion Battery Energy Storage Systems (Parlikar, 2025), jossa kirjallisuudessa raportoitujen stationääristen litiumioniakkuvarastojen tuotantovaiheen päästöintensiteetin todetaan olevan tyypillisesti noin 60–100 kgCO_{2e}/kWh nimellistä energiakapasiteettia kohti. Tämän hankkeen akkuvaraston kokonaiskapasiteetti on noin 240 MWh (48 kpl × 5 MWh), jolloin tuotantovaiheen hiilijalanjäljeksi saatiin 14 400–24 000 tCO_{2e}. Jatkotarkasteluissa käytettiin keskiskenaariota 19 200 tCO_{2e}

4.1.4 Sähköasemat

Hankkeen sähköaseman tarkkoja teknisiä tietoja ei ollut käytettävissä. Laskentaa varten oletettiin yksi noin 160 MVA:n päämuuntaja aurinkovoimalan noin 125 MVA:n AC-kapasiteetin perusteella. Päämuuntajan valmistuspäästö arvioitiin lineaarisesti ABB:n 5–25 MVA:n jakelumuuntajia koskevan ympäristöselosteen yksikkökohtaisen päästökertoimen avulla. Koska vertailutuotteen teholuokka ja tekninen rakenne poikkeavat hankkeelle oletetusta päämuuntajasta, tulokseen liittyy merkittävä epävarmuus.

Päämuuntajan kooksi oletettiin 160 MVA, mikä vastaa tyypillistä mitoitusta noin 125 MVA:n liityntätehon omaaville uusiutuvan energian tuotantolaitoksille. Muuntajien valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin niin ikään ABB T&D S.p.A.:n julkaisemaan ympäristöselosteeseen perustuen. Ympäristöselosteen mukaan 5-25 MVA nestejäähdytteisten jakelumuuntajien valmistusvaiheen ilmastovaikutus on 6,71 kgCO_{2e}/kVA. Hankkeen päämuuntajan valmistuksen päästöiksi arvioitiin noin 1 074 tCO_{2e} käyttäen oletuksena yhtä 160 MVA:n päämuuntajaa.

Muiden sähköasemarakenteiden osalta hankekohtaista materiaaliluetteloa ei ollut käytettävissä. Sähköaseman muiden rakenteiden hiilijalanjälki arvioitiin aiemmissa vastaavan tyyppisissä aurinkovoimahankkeissa käytettyjen materiaalmäärien perusteella. Tarkastelussa huomioitiin betoniperustukset, teräsrakenteet sekä kuparinen maadoitusverkko. Tarkastelu ei sisältänyt sähkölaitteiden eikä kytkinlaitteiden yksityiskohtaista materiaalitarkastelua. Sähköaseman muiden rakenteiden valmistuksen hiilijalanjäljeksi arvioitiin noin 500 tCO_{2e}.

Sähköaseman kokonaisvalmistuksen hiilijalanjäljeksi arvioitiin siten noin 1 600 tCO_{2e}, josta pääosa muodostuu päämuuntajan valmistuksesta.

4.1.5 Kaapeloinnit

Hankkeen aurinkokentän DC-kaapeloinnin pituudeksi on arvioitu 1014 km, kun 1 MWp vaatii 6 km kaapelointia. DC-kaapeloinnin valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin Solen Kablo Sanayi ve Ticaret A.S.:n julkaisemasta ympäristöselosteesta H1Z2Z2-K - 1x6 mm² (EPD-IES-0027149). Ympäristöseloste koskee EN 50618- ja IEC 62930 -standardien mukaista aurinkosähköjärjestelmien DC-kaapelia, jota käytetään aurinkopaneelien ja inverttereiden välisissä kytkennöissä. DC-kaapeloinnin valmistuksen päästöksi arvioitiin noin 416 tCO₂e.

Hankkeen keskijännitekaapeloinnin pituudeksi on arvioitu 11,5 km. Tarkkaa kaapelityyppiä ei ollut käytettävissä, minkä vuoksi valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin Nexansin keskijännitekaapeleita koskevan ympäristöselosteen perusteella. Ympäristöseloste kattaa Suomessa yleisesti käytettäviä AHXAMK-WP 10-36 kV -keskijännitekaapeleita. Keskijännitekaapeloinnin valmistuksen päästöksi arvioitiin noin 293 tCO₂e.

4.2 A4-A5: Rakentamisvaihe

Rakentamisvaiheessa muodostuvat päästöt syntyvät maankäytön muutoksista, tarvittavien komponenttien kuljettamisesta hankealueelle, sekä itse tuotantoalueen rakentamisesta.

4.2.1 Maankäyttö

Maankäytön kokonaisilmastovaikutuksen arvioinnissa hyödynnettiin Suomen ympäristökeskuksen (2026c) Hiilikartta-palvelua, joka huomioi samanaikaisesti kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastojen muutokset suhteessa vertailutilanteeseen. Tarkastelun perusteella hankkeen toteuttaminen vähentää alueen hiilivarastoa vuoteen 2070 mennessä noin 3 510 tCO₂e verrattuna tilanteeseen, jossa aluetta ei toteuteta aurinkovoimatuotantoon. Hiilikartta-arvion perusteella kasvillisuuden hiilivaraston muutos on noin -2 742 tCO₂e ja maaperän hiilivaraston muutos noin -1 200 tCO₂e.

Aurinkopaneelit asennetaan paaluperustoille eikä paneelikenttiä päällystetä. Tämän vuoksi maaperän muutokset jäävät pääosin paikallisiksi eikä koko tuotantoalueen maaperän hiilivaraston menetystä oletettu tapahtuvan. Maankäytön merkittävimmät ilmastovaikutukset liittyvät puuston poistamiseen ja siitä aiheutuvaan kasvillisuuden hiilivaraston pienenemiseen.

Lisäksi hankkeeseen liittyvien uusien huoltoteiden rakentamisesta arvioitiin aiheutuvan päästöjä. Pohjois-Pohjanmaalle laaditun aurinkovoimaselvityksen (Ramboll 2025) perusteella uusien huoltoteiden rakentamisen päästöiksi oletettiin noin 67 tCO₂e/km. Parannettavien teiden osalta päästöjen oletettiin olevan noin puolet uuden tien rakentamisen päästöistä. Pennalan aurinkovoimahankkeen uusien ja parannettavien huoltoteiden päästöiksi arvioitiin yhteensä noin 167 tCO₂e. Huoltoteiden vaikutus on kuitenkin selvästi pienempi kuin alueen kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoihin kohdistuva vaikutus.

Maankäytön muutoksen arviointiin liittyy epävarmuutta erityisesti pitkän aikavälin kasvillisuuskehityksen, metsänkasvun sekä maaperän hiilivaraston muutosten osalta. Hiilikartta-palveluun perustuva tarkastelu tarjoaa kuitenkin kokonaisvaltaisemman arvion maankäytön muutoksen ilmastovaikutuksista kuin yksinomaan puuston poistumaan perustuva tarkastelu, sillä se huomioi samanaikaisesti sekä kasvillisuuden että maaperän hiilivarastojen muutokset suhteessa vertailutilanteeseen. Tämän vuoksi hankkeen maankäytön muutoksen ilmastovaikutuksena käytettiin Hiilikartta-palvelun mukaista noin 3 510 tCO₂e:n hiilivaraston vähenemistä, joka kuvaa kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastojen nettomuutosta suhteessa vertailutilanteeseen.

4.2.2 Kuljetukset

Aurinkovoimalan komponenttien kuljetuksista aiheutuvat päästöt arvioitiin komponenttikohtaisten kuljetusmatkojen, arvioitujen kuljetusmäärien sekä CO₂data-tietokannan kuljetusmuotokohtaisten päästökertoimien perusteella. Kuljetukset mallinnettiin erikseen meri- ja maantiekuljetuksille niiltä osin kuin komponenttien oletettu valmistuspaikka oli tiedossa.

Aurinkopaneelien oletettiin toimitettavan hankealueelle 10 000 km:n laivakuljetuksena sekä 150 km:n maantiekuljetuksena. Lähtötietojen mukaan aurinkovoimalaan tulee 256 048 paneelia, joiden kokonaispainoksi arvioitiin noin 6 401 t. Kuljetuksissa oletettiin yhteen puoliperävaunuyhdistelmään mahtuvan noin 800 paneelia, jolloin toimituksiin tarvitaan noin 321 kuormallista. Paneelien kuljetuksista aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin yhteensä noin 2 961 tCO₂e.

Paneelitelineiden oletettiin valmistettavan Suomessa ja niiden kuljetusmatkan pituudeksi arvioitiin 150 km. Telineiden kokonaispainoksi arvioitiin noin 5 070 t ja yhdessä kuljetuksessa oletettiin kuljetettavan noin 15 tonnia telineateriaa. Telineiden toimituksiin arvioitiin tarvittavan noin 338 kuormallista. Telineiden kuljetuksista aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin noin 85 tCO₂e.

Invertterien kuljetuspäästöt arvioitiin hankkeen lähtötietojen mukaista 330 kVA:n invertteriä vastaavan Huawei SUN2000-330KTL-H1 -invertterin ympäristöselosteen perusteella. Hankkeessa käytettävien 378 invertterin kuljetuspäästöiksi (A4) arvioitiin yhteensä noin 12,2 tCO₂e. Laskenta perustuu ympäristöselosteessa ilmoitettuun kuljetuspäästöön 32,2 kgCO₂e invertteriä kohden.

LV/MV-muuntajien, energiavaraston muuntajien sekä päämuuntajan oletettiin valmistettavan Italiassa sijaitsevassa Monselicen tuotantolaitoksessa. Kuljetusmatkaksi arvioitiin noin 750 km maantiekuljetusta ja 1 400 km merikuljetusta. Muuntajien kuljetuksista aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin noin 124 tCO₂e.

Keskijännitekaapeleiden oletettiin valmistettavan Suomessa, jolloin niiden kuljetusmatkaksi arvioitiin noin 500 km maantiekuljetusta. Keskijännitekaapeleiden kuljetuksista aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin noin 2,8 tCO₂e. Turkissa valmistettavien DC-kaapeleiden kuljetuksista aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin noin 10,3 tCO₂e.

Akkuvaramon oletettiin koostuvan Kiinassa valmistetuista konttirakenteisista litiumioniakkujärjestelmistä. Akkukonttien kuljetusmatkaksi arvioitiin noin 300 km maantiekuljetusta ja 18 000 km merikuljetusta. Akkukonttien kuljetuksista aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin noin 1 135 tCO₂e.

Kuljetuksista aiheutuviksi kokonaispäästöiksi arvioitiin siten noin 4 330 tCO₂e, josta suurin osa muodostuu aurinkopaneelien sekä akkukonttien pitkistä merikuljetuksista.

4.2.3 Rakentaminen

Rakentamisvaiheen (A5) päästöt muodostuvat työmaalla tehtävistä rakennus- ja asennustöistä, työkoneiden energiankulutuksesta, materiaalien käsittelystä sekä rakentamisen aikaisista väliaikaisista rakenteista. Hankekohtaisia tietoja rakentamisen aikaisesta energiankulutuksesta, työkoneista tai työmaavaiheen materiaalivirroista ei ollut saatavilla, minkä vuoksi rakentamisvaiheen päästöt arvioitiin käyttäen SYKE:n CO₂data-tietokannan päästökerrointa Maa- ja pohjarakentaminen, rakennuspaikka (7 kgCO₂e/m²).

Aurinkovoimalan nimellisteho on noin 169 MWp ja suunnitelman mukainen paneelimäärä 256 048 kappaletta. Paneelien yhteenlasketuksi pinta-alaksi arvioitiin noin 665 725 m², kun yhden paneelin oletettu pinta-ala on 2,6 m². Rakentamisvaiheen päästöjen arvioinnissa käytettiin paneelikentän pinta-alaa, koska se kuvaa paremmin varsinaisten aurinkovoimalarakenteiden toteuttamiseen liittyvää maa- ja pohjarakentamista kuin koko 160 hehtaarin toteutusalue. Aurinkopaneelit asennetaan paaluperustuksille eikä koko toteutusaluetta rakenneta tai päällystetä.

Paneelientakan pinta-alan ja käytetyn päästökertoimen perusteella rakentamisvaiheen (A5) päästöiksi arvioitiin noin 4 660 tCO₂e. Arvio sisältää tavanomaiset maa- ja pohjarakentamisen sekä työmaavaiheen päästölähteet, mutta siihen liittyy epävarmuutta, koska laskenta perustuu yleiseen päästökertoimeen eikä hankekohtaisiin työmaatietoihin

4.3 B: Käyttövaihe

Käyttövaiheen päästöt muodostuvat pääasiassa huolto- ja kunnossapitotoimenpiteistä sekä käyttöikänsä päähän tulevien komponenttien uusimisesta. Käyttövaiheessa huomioitiin invertterien, akkujärjestelmän sekä pienempien LV/MV-muuntajien uusiminen niiden teknisen käyttöiän perusteella. Aurinkopaneelien, paneelitelien sekä kaapeloinnin käyttöiän oletettiin olevan vähintään sama kuin tarkastelujakso, minkä vuoksi niiden uusimista ei huomioitu laskennassa.

Sähköaseman päämuuntajan osalta uusimista ei huomioitu. Päämuuntajan valmistuksen päästöt arvioitiin käyttäen ABB Large Distribution Transformer 10 MVA (ONAN) -ympäristöselostetta soveltuvana vertailulähteenä, koska hankekohtaista päämuuntajaa koskevia tietoja ei ollut käytettävissä. Käytetty ympäristöseloste koskee kuitenkin jakelumuuntajia eikä suurjännitteistä sähköaseman päämuuntajaa. Voimansiirto- ja sähköasemakäytössä olevien päämuuntajien tekninen käyttöikä on tyypillisesti pienempiä jakelumuuntajia pidempi, minkä vuoksi päämuuntajan oletettiin säilyvän käytössä koko 40 vuoden tarkastelujakson ajan.

Käyttövaiheen päästöjen arviointiin liittyy epävarmuutta, koska hankekohtaisia tietoja huoltotoimenpiteistä, varaosatarpeista, energiankulutuksesta tai yksittäisten komponenttien todellisista uusimisväleistä ei ollut käytettävissä.

Komponentti	Arvioitu käyttöikä	Lähde	Huomioidaanko uusiminen?
Aurinkopaneelit	35-40	Paneelien EPD-aineistoissa käytetty viiteikä (RSL)	Ei
Paneelitelien	40	Kuumasinkittyjen teräsrakenteiden tyypillinen tekninen käyttöikä	Ei
DC-kaapelointi	45	EPD: EPD-IES-0027149:001	Ei
MV-kaapelointi	40	PEP: NXNS-00449-V01.01-EN	Ei
LV/MV-muuntajat	30	EPD: S-P-00055	Kyllä
Energiavaraston muuntaja	30	EPD: S-P-00055	Kyllä
Päämuuntaja		EPD: S-P-00055	Ei
Invertterit	20	SUN2000-330KTL-H1	Kyllä
Akkujärjestelmä	20	Laskennassa käytetty kirjallisuus ja Huawei Smart String Energy Storage System -EPD vertailulähteenä.	Kyllä

Pienempien LV/MV-muuntajien tekniseksi käyttöiäksi oletettiin 30 vuotta käytetyn ABB Large Distribution Transformer 10 MVA (ONAN) -ympäristöselosteen mukaisesti. Koska hankkeen

tarkastelujakso on 40 vuotta, muuntajien oletettiin uusittavan kerran käyttöjakson aikana. Uusimisesta aiheutuvien päästöjen oletettiin vastaavan alkuperäisten muuntajien valmistus- ja kuljetuspäästöjä. Tämän perusteella LV/MV-muuntajien ja energiavaraston muuntajien uusimisen (B4) päästöiksi arvioitiin noin 1 330 tCO₂e, josta noin 1 263 tCO₂e muodostuu valmistuksesta (A1–A3) ja noin 67 tCO₂e kuljetuksista (A4).

Invertterien tekniseksi käyttöiäksi oletettiin 20 vuotta. Koska hankkeen tarkastelujakso on 40 vuotta, invertterien oletettiin uusittavan kerran käyttöjakson aikana. Invertterien uusimisesta aiheutuvien päästöjen oletettiin vastaavan alkuperäisen invertterijärjestelmän valmistus- ja kuljetuspäästöjä. Invertterien valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin hankkeen lähtötietojen mukaista 330 kVA:n invertteriluokkaa vastaavan Huawei SUN2000-330KTL-H1 -invertterin ympäristöselosteen perusteella. Tämän perusteella invertterien uusimisen (B4) päästöiksi arvioitiin noin 1 524 tCO₂e, josta noin 1 512 tCO₂e muodostuu valmistuksesta (A1–A3) ja noin 12 tCO₂e kuljetuksista (A4).

Akkujärjestelmän tekniseksi käyttöiäksi oletettiin 20 vuotta. Koska hankkeen tarkastelujakso on 40 vuotta, akkujärjestelmän oletettiin uusittavan kerran käyttöjakson aikana. Akkujärjestelmän uusimisesta aiheutuvien päästöjen oletettiin vastaavan alkuperäisen järjestelmän valmistus- ja kuljetuspäästöjä. Tämän perusteella akkujärjestelmän uusimisen (B4) päästöiksi arvioitiin noin 20 335 tCO₂e, josta noin 19 200 tCO₂e muodostuu valmistuksesta ja noin 1 135 tCO₂e kuljetuksista.

Käyttövaiheen (B4) päästöiksi arvioitiin siten yhteensä noin 23 190 tCO₂e. Päästöistä noin 88 % muodostuu akkujärjestelmän uusimisesta, mikä tekee siitä käytön aikaisen vaiheen merkittävimmän yksittäisen päästölähteen.

Laskennassa ei huomioitu mahdollisia yksittäisiä vikakorjauksia, varaosien vaihtoja, huoltotoimenpiteitä tai muiden teknisten komponenttien osittaisia uusimisia. Tällaisia voivat olla esimerkiksi yksittäisten muuntajien, kaapeliosuuksien, sähkölaitteiden tai ohjausjärjestelmien korvaaminen käyttöiän aikana. Näiden päästöjen arvioidaan olevan vähäisiä suhteessa komponenttien valmistuksesta, kuljetuksista ja suunnitelluista uusimisista aiheutuviin päästöihin, eikä niiden huomioimatta jättämisen arvioida vaikuttavan olennaisesti tarkastelun johtopäätöksiin.

4.4 C1: Purku ja purkujätteen kuljetus

Elinkaaren loppuvaiheen (C1–C4) päästöjen arviointiin liittyy merkittävää epävarmuutta, koska aurinkovoimalan suunniteltu käyttöikä on useita vuosikymmeniä. Käytöstäpoiston ajankohtana käytettävät purku-, kierrätys- ja jätteenkäsittelymenetelmät sekä materiaalien hyödyntämisasteet voivat poiketa olennaisesti nykyisistä käytännöistä. Tämän vuoksi materiaalien jätteenkäsittelyä ja loppusijoitusta ei arvioitu yksityiskohtaisesti komponenttikohtaisesti, vaan tarkastelu rajattiin aurinkovoimalan rakenteiden purkamisesta ja purkumateriaalien kuljetuksesta aiheutuviin päästöihin.

Purkuvaiheen (C1) päästöt muodostuvat aurinkopaneelien, telineiden, invertterien, muuntajien, energiavarastojärjestelmän, kaapelointien sekä muiden sähköasemarakenteiden purkamisesta ja siihen liittyvien työkoneiden energiankulutuksesta. Purkuvaiheen päästöt arvioitiin käyttäen Suomen ympäristökeskuksen CO₂data-palvelun purkuprosessia kuvaavaa päästökerrointa 0,75 kgCO₂e/m².

Purkamisen pinta-alaksi pinta-alaksi arvioitiin A5 vaiheen tapaan noin 665 725 m², kun yhden paneelin oletettu pinta-ala on 2,6 m². Purkuvaiheen päästöjen arvioinnissa käytettiin paneelien yhteenlaskettua pinta-alaa, koska se kuvaa koko 160 hehtaarin toteutusaluetta paremmin aluetta, jolle purettavat aurinkovoimalarakenteet pääasiallisesti sijoittuvat. Koko toteutusaluetta ei rakenneta tai päällystetä, minkä vuoksi purkutoimenpiteiden ei oletettu kohdistuvan samalla tavalla alueen kaikkiin osiin.

Paneelien yhteenlasketun pinta-alan ja käytetyn purkukertoimen perusteella purkuvaiheen (C1) päästöiksi arvioitiin noin 499 tCO₂e. Arvio kuvaa aurinkovoimalan rakenteiden purkamisen ja

siihen liittyvien työmaatoimintojen välittömiä ilmastovaikutuksia. Arvio ei sisällä purettujen materiaalien kuljetuksia, jätteenkäsittelyä tai loppusijoitusta eikä materiaalien mahdollisesta kierrätyksestä tai uudelleenkäytöstä saatavia hyötyjä. Tulokseen liittyy epävarmuutta, koska laskenta perustuu yleiseen pinta-alaperusteiseen purkukertoimeen eikä hankekohtaisesti arvioituihin purkutyövaiheisiin, kalustoon tai energiankulutukseen.

Purkuvaiheen (C1) päästöt muodostuvat aurinkopaneelien, telineiden, inverttereiden, muuntajien, energiavarastojärjestelmän, kaapelointien sekä muiden sähköasemarakenteiden purkamisesta ja siihen liittyvien työkoneiden energiankulutuksesta. Purkuvaiheen päästöt arvioitiin käyttäen SYKE:n CO₂data-tietokannan purkuprosessia kuvaavaa päästökerrointa.

Elinkaaren loppuvaiheessa komponentit kuljetetaan purkupaikalta jätteenkäsittely- ja kierrätyslaitoksille. Kuljetusvaiheen (C2) päästöt arvioitiin komponenttien kokonaismassan sekä Suomen ympäristökeskuksen CO₂data-tietokannan päästökertoimen *Kuljetus, puoliperävaunun yhdistelmä (40 t), 100 % kuorma, maantieajo* perusteella. Komponenttien kuljetusmatkaksi jätteenkäsittelyyn oletettiin 75 km. Komponenttien yhteenlasketun massan perusteella kuljetuksista aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin noin 61 tCO₂e.

4.5 Käytönaikaiset ilmastohyödyt ja hiilivelan takaisinmaksuaika

Aurinkovoimalan vuosituotanto arvioitiin hankkeesta käytettävissä olevan tuotantoarvion perusteella. Hankkeen nimellisteho on noin 169 MWp ja arvioitu vuosituotanto noin 157 GWh. Tällöin aurinkovoimalan ominaistuotannoksi muodostuu noin 929 MWh/MWp vuodessa. Aurinkopuiston käyttöiäksi oletettiin 40 vuotta ja aurinkopuiston käytön oletettiin alkavan vuonna 2030. Elinkaaren aikaiseksi sähköntuotannoksi muodostuu siten noin 6 280 GWh.

Aurinkovoimalan käytönaikaisia ilmastohyötyjä arvioitiin vältettyinä sähköntuotannon päästöinä. Tarkastelussa hyödynnettiin Motivan ja työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannosta laadittua Suomen ilmastopolitiikkatoimien arvioinnin ja päästökerrointitarkastelun selvitystä (Sitowise 2025). Selvityksessä suositellaan käytettäväksi sähköntuotannon vaikutusarvioinneissa marginaalituotannon päästökerrointa, joka kuvaa lisätuotannon syrjäyttämää tuotantoa sähköjärjestelmässä eikä sähkön hetkellistä keskimääräistä päästöintensiteettiä. Menetelmä on laadittu erityisesti uusiutuvan sähköntuotannon ja energiatehokkuustoimien ilmastovaikutusten arviointiin.

Selvityksen mukaisesti sähkön marginaalipäästökertoimen oletetaan pienenevän ajan myötä sähköjärjestelmän vähähiilistyessä. Ilmastohyötyjen laskennassa käytettiin päästökertoimia 155 tCO₂/GWh vuosille 2030–2034, 110 tCO₂/GWh vuosille 2035–2039, 80 tCO₂/GWh vuosille 2040–2044, 35 tCO₂/GWh vuosille 2045–2049 ja 0 tCO₂/GWh vuodesta 2050 eteenpäin.

Edellä kuvatuilla päästökertoimilla laskettuna aurinkovoimalan tuotannon arvioidaan vähentävän sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöjä yhteensä noin 298 300 tCO₂e käyttöikänsä aikana. Vältettyjen päästöjen määrä on suurimmillaan käyttöjakson alkuvuosina ja pienenee sähköjärjestelmän vähähiilistymisen myötä. Vuoden 2050 jälkeen vältettyjä päästöjä ei tässä menetelmässä enää synny, koska sähköjärjestelmän oletetaan olevan käytännössä päästötön.

Aurinkovoimalan rakentamisesta, materiaalien valmistuksesta, kuljetuksista, käytönaikaisista uusimisista, maankäytön muutoksista sekä käytöstä poistamisesta aiheutuviksi elinkaaren aikaisiksi päästöiksi arvioitiin yhteensä noin 154 784 tCO₂e. Kun tätä verrataan hankkeen käytönaikaisiin päästövähennyksiin, aurinkovoimalan hiilivelan takaisinmaksuajaksi saadaan noin 7 vuotta. Kumulatiivinen ilmastohyöty muuttuu positiiviseksi muuttuu positiiviseksi arviolta vuoden 2036 lopussa tai vuoden 2037 aikana, minkä jälkeen hanke tuottaa nettoilmastohyötyä koko jäljellä olevan käyttöikänsä ajan. Tarkastelujakson lopussa hankkeen nettoilmastohyödyksi muodostuu noin 143 500 tCO₂e.

Hankkeen elinkaaren aikainen sähköntuotannon päästökerroin on noin: 24,7 gCO₂e/kWh, kun huomioidaan rakentamisesta, materiaalien valmistuksesta, kuljetuksista, maankäytöstä, käytönaikaisista uusimisista ja käytöstä poistosta aiheutuvat päästöt sekä aurinkovoimalan

arvioitu 40 vuoden käyttöikä. Taso on selvästi alhaisempi kuin fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkön elinkaariset päästöt, jotka ovat tyypillisesti noin 400–1000 gCO₂e/kWh.

5. Johtopäätökset ja epävarmuustekijät

Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikaiset päästöt sekä käytönaikaisesta sähköntuotannosta muodostuvat ilmastohyödyt on esitetty yhteenvetotaulukossa (Taulukko 5-1). Suurimmat päästöt muodostuvat tuotevaiheessa aurinkopaneelien, paneelitelien ja akkujärjestelmän valmistuksesta. Merkittäviä päästöjä syntyy lisäksi rakentamisvaiheessa sekä komponenttien uusimisista käyttöjakson aikana.

Taulukko 5-1. Yhteenvetotaulukko aurinkovoimahankkeen eri elinkaaren vaiheissa syntyvistä päästöistä 40 vuoden aikana.

Elinkaaren vaihe	Vaikutus (tCO ₂ e)
A1-A3: Tuotevaihe	118 368
A4-A5: Rakentamisvaihe	
Kuljetukset	4 330
Rakentaminen	4 827
Maankäytön muutos	3510
B: Käyttövaihe	23 189
C1: Käytöstä poisto	
Purku	499
Kuljetus	60
A-C: yhteensä	154 785
Käytönaikaiset ilmastohyödyt	-298 300
Nettoilmastohyöty	-143 515

Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikaisiksi päästöiksi arvioitiin yhteensä noin 154 785 tCO₂e. Suurimmat päästöerät muodostuvat tuotevaiheesta (A1–A3), jossa päästöjä syntyy erityisesti aurinkopaneelien, paneelitelien ja akkujärjestelmän valmistuksesta. Rakentamisvaiheen (A4–A5) päästöihin sisältyvät komponenttien kuljetukset, työmaarakentaminen sekä maankäytön muutokset. Käyttövaiheessa (B) merkittävimmät päästöt aiheutuvat akkujärjestelmän, invertterien ja muuntajien uusimisesta niiden teknisen käyttöiän päättyessä. Elinkaaren loppuvaiheessa (C1) huomioitiin aurinkovoimalan rakenteiden purkamisesta aiheutuvat päästöt.

Aurinkovoimalan arvioitu vuosituotanto on noin 157 GWh, ja 40 vuoden käyttöiällä laskettu elinkaarituo-
tanno noin 6 280 GWh. Käytönaikaisia ilmastohyötyjä arvioitiin sähköntuotannon marginaalipäästökertoimien perusteella. Tarkastelun perusteella aurinkovoimalan käytönaikainen ilmastohyöty on noin 298 300 tCO₂e. Vältettyjen päästöjen määrä on suurimmillaan käyttöjakson alkuvuosina ja pienenee sähköjärjestelmän vähähiilistyydessä.

Kun käytönaikaisia ilmastohyötyjä verrataan hankkeen elinkaaren aikaisiin päästöihin, muodostuu aurinkovoimalan nettoilmastohyödyksi noin 146 412 tCO_{2e}. Kumulatiivisen tarkastelun perusteella hankkeen hiilivelka maksetaan takaisin noin 7 vuoden kuluttua käyttöönotosta. Tämän jälkeen hanke tuottaa nettoilmastohyötyä koko jäljellä olevan käyttöikänsä ajan.

Hankkeen elinkaaren aikainen sähköntuotannon päästökerroin on noin 24,7 gCO_{2e}/kWh, kun huomioidaan materiaalien valmistus, kuljetukset, rakentaminen, maankäytön muutokset, käytönaikaiset uusimiset ja käytöstä poistaminen sekä aurinkovoimalan arvioitu 40 vuoden käyttöikä. Taso on selvästi alhaisempi kuin fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkön elinkaariset päästöt.

Arvioinnin epävarmuustekijät liittyvät erityisesti käytettyihin päästökertoimiin, komponenttien käyttöikäoletuksiin, tulevaan sähköjärjestelmän kehitykseen sekä maankäytön muutosten pitkän aikavälin vaikutuksiin. Lisäksi aurinkovoimalan lopulliset tekniset ratkaisut voivat muuttua suunnittelun edetessä. Tämän vuoksi laskennan tulokset ovat suuntaa antavia arvioita hankkeen ilmastovaikutuksista eivätkä tarkkoja ennusteita toteutuvista päästöistä tai ilmastohyödyistä.

6. Lähteet

Aiko Solar Technology Co., Ltd. (2024). Environmental Product Declaration: Mono-crystalline Double Glass, N-Type, Solar Photovoltaic Modules. Declaration number NEPD-6586-5846-EN. Saatavilla: [nepd-6586-5846_mono-crystalline-double-glass--n-type--solar-photovoltaic-modules.pdf](#).

ABB T&D S.p.A. (2003). Environmental Product Declaration: Large Distribution Transformer 10 MVA (ONAN). Declaration number S-P-00055. Saatavilla: [ABB_10 MVA.pdf](#).

Huawei Digital Power Technologies Co., Ltd. (2023). Environmental Product Declaration: SUN2000-330KTL-H1 Solar Inverter. Registration number MR-EPDITALY0075. Saatavilla: [MR-EPDITALY0075.pdf](#).

Huawei Technologies Co., Ltd. (2024). Environmental Product Declaration: Smart String Energy Storage System. Registration number EPD-CN-00007. Saatavilla: [EPD-CN-00007报告.pdf](#).

Jinko Solar Co., Ltd. (2025). Environmental Product Declaration: Mono-crystalline Photovoltaic Module JKMxxxN-66HL4M-BDV. Declaration number NEPD-11344-11291. Saatavilla: [MR-EPDITALY0116.pdf](#).

Jolywood (Taizhou) Solar Technology Co., Ltd. (2023). Environmental Product Declaration: N-type Bifacial Double Glass Photovoltaic Modules JW-HD144N-182 ja JW-HD156N-182. Declaration number S-P-03811. Saatavilla: [EPD document S-P-03811 en.pdf](#).

Kim, M., Chan, C., Wang, S., Wang, L., Chang, N. & Hallam, B. (2026). Comparative evaluation of the material consumption and carbon footprint of silicon PV modules. Cell Reports Sustainability, 3, 100576. Saatavilla: [Comparative evaluation of the material consumption.pdf](#).

Lahti Energia Oy 2025. Energiantuotanto. Saatavilla: <https://www.lahtienergia.fi/meista/energia/energiantuotanto/>.

Leapton Solar (Changshu) Co., Ltd. (2024). Environmental Product Declaration: Photovoltaic Modules LP182×182-M-78-NB-XXXW. Declaration number S-P-12377. Saatavilla: [EPD document S-P-12377 en.pdf](#).

Luonnonvarakeskus, 2023. Tilastotietokanta. Puuston keskitilavuus metsämaalla (m³/ha)

Saatavilla:
https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__06%20Metsavarat/?tablelist=true&rxid=f8ed5f38-9607-4c55-91c9-791d660b234e.

Nexans (2024). Product Environmental Profile: AHXAMK-WP 36 kV 1x800. PEP ecopassport number NXNS-00449-V01.01-EN. Saatavilla: [NXNS-00449-V01.01-EN.pdf](#).

Parlikar, A. G. (2025). The Carbon Footprint of Stationary Lithium-Ion Battery Energy Storage Systems. Väitöskirja. Technische Universität München. Saatavilla: [The Carbon Footprint of Stationary Lithium-Ion Battery Energy Storage Systems.pdf](#).

Päijät-Hämeen liitto 2025. Tuulivoimaselvitys. Saatavilla: <https://paijat-hame.fi/alueidenkaytto-ja-liikenne/tuulivoimaselvitys/>.

Risen Energy Co., Ltd. (2023). Environmental Product Declaration: 132 High Performance Monocrystalline PERC Module. Declaration number NEPD-4464-3725-EN. Saatavilla: [EPDItaly-Risen-Energy-PV-Modules.pdf](#).

Ramboll Finland Oy, 2025. Energiamurros ja maankäytön ilmastovaikutusten arviointi Pohjois-Pohjanmaalla EMMI-hanke TP2. Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihehemaakuntakaavan tuulivoimatuotannon ja sähkönsiirron ilmastovaikutukset sekä aurinkovoimatuotannon yleistarkastelu. Pohjois-Pohjanmaan liitto. Saatavilla: <https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2024/02/EMMI-TP2-selvitys-022024.pdf>.

Solen Kablo Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2025). Environmental Product Declaration: H1Z2Z2-K - 1×6 mm². Declaration number EPD-IES-0027149:001. Saatavilla: EPD document_EP D-IES-0027149_002_en.pdf.

Stora Enso, 2025. Hyvin hoidettu metsä in ilmastoteko. Saatavilla: <https://www.storaensometsa.fi/hyvin-hoidettu-metsa-on-ilmastoteko/>.

Suomen ympäristökeskus, 2025a. CO2data -päästötietokanta. Saatavilla: <https://co2data.fi/>.

Suomen ympäristökeskus 2025b. SYKE - Kuntien ja alueiden KHK-päästöt. Saatavilla: <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>.

Sitowise (2025). Päästökerrointarkastelu - Suomen ilmastopolitiikkatoimien arviointi. Saatavilla: Vaikuttavuusarvioinnin-paastokerrointarkastelu-06-2025.pdf.