

2026

# Sun Rajamäki aurinkovoimalahankkeen hiilitaselaskenta



## Sun Rajamäki aurinkovoimalahankkeen hiilitaselaskenta

Sun Rajamäki on Nurmijärven Savikon alueelle suunniteltu teollisen mittakaavan aurinkovoimahanke, jonka nimellisteho on noin 119 MWp. Aurinkovoiman tuotantoalueeksi kaavoitetaan on noin 174 ha. Hankkeeseen kuuluu aurinkopaneelikenttien lisäksi energiavarastojärjestelmä (BESS), sähköasemia, muuntajia, sisäinen sähkösiirtoverkko sekä 110 kV liityntäkaapeli valtakunnan sähköverkkoon. Aurinkovoimalan vuosituotannoksi on arvioitu noin 116 GWh ja käyttöikäsi noin 40 vuotta.

Hankkeen ilmastovaikutuksia on aiemmin arvioitu pääosin laadullisesti. Tässä työssä hankkeelle laadittiin hiilitaselaskenta, jossa tarkasteltiin sekä hankkeen toteuttamisesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä että käytönaikaisesta uusiutuvan sähköntuotannon mahdollistamia päästövähennyksiä. Tarkastelu kattaa materiaalien valmistuksen, kuljetukset, rakentamisen, keskeiset maankäytön muutokset sekä aurinkovoimalan käytönaikaisen ilmastohyödyn. Laskennan tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva hankkeen elinkaaren aikaisista ilmastovaikutuksista sekä arvioida hankkeen nettoilmastohyötyä ja hiilivelan takaisinmaksuaikaa.

### Materiaalien valmistuksen päästöt

#### *Aurinkopaneelit*

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 kgCO<sub>2</sub>e/Wp, jotta eri valmistajien tuotteita voitiin vertailla ilman käyttöpaikan säteilyolosuhteista johtuvaa vaihtelua.

Vertailuryhmään valittiin asiakkaan paneelia teknisiltä ominaisuuksiltaan lähimpänä olevat bifacial-rakenteiset, n-typin kennoteknologiaa käyttävät utility-scale-paneelit, joiden nimellisteho oli vähintään 650 W. Vertailuaineistoon sisällytettiin Jinkon, Trinan, Tongwein ja Astronergyn tuotteita teholuokassa 650-728 W. Näiden paneelien ympäristöselosteista johdetut valmistuksen päästökertoimet vaihtelivat välillä 0,383-0,640 kgCO<sub>2</sub>e/Wp. Vertailuryhmän keskimääräiseksi valmistuksen päästökertoimeksi saatiin 0,501 kgCO<sub>2</sub>e/Wp. Paneelien valmistuksen (A1-A3) hiilijalanjäljeksi laskettiin aurinkopuiston nimellistehon 118,8 MWp perusteella 59 500 tCO<sub>2</sub>e.

Paneelien telinejärjestelmän teräsmäärä arvioitiin utility-scale-aurinkovoimaloiden kiinteän (fixed tilt) telinejärjestelmän keskimääräisen massan perusteella. Teräksen päästökerroin haettiin Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä kansallisesta CO<sub>2</sub>data-päästötietokannasta. Paneelikentän telinejärjestelmän valmistuksen (A1-A3) päästöksi arvioitiin noin 9 600 tCO<sub>2</sub>e.

#### *Invertteit ja muuntajat*

Invertterien valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin SMA Sunny Central 4600 UP -invertterille laaditun elinkaariarvioinnin perusteella. Hankkeen edellyttämien 36 invertterin kokonaispäästöksi arvioitiin noin 440 tCO<sub>2</sub>e.

Muuntajien valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin ABB T&D S.p.A.:n julkaisemasta ympäristöselosteesta Large Distribution Transformer 10 MVA (ONAN). Ympäristöseloste koskee 5-25 MVA nestejäähdytteisiä jakelumuuntajia ja EPD:n mukaan valmistusvaiheen ilmastovaikutus on 6,71 kgCO<sub>2</sub>e/kVA. LV/MV-muuntajien (36 kpl á 3 MVA) valmistuksen päästöksi arvioitiin tällä perusteella noin 725 tCO<sub>2</sub>e, energiavaraston muuntajien (7 kpl á 13,5 MVA) valmistuksen päästöiksi noin 630 tCO<sub>2</sub>e ja 110 kV päämuuntajien (2 kpl á 45 MVA) valmistuksen päästöiksi noin 600 tCO<sub>2</sub>e.

#### *Akkuvarasto*

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 tarkastellaan litiumioniakkuvarastojen hiilijalanjälkeä sekä kirjallisuuskatsauksen että yksityiskohtaisten BESS-mallinnusten avulla. Tutkimuksessa todetaan kirjallisuudessa raportoitujen stationääristen litiumioniakkuvarastojen tuotantovaiheen päästöintensiteetin olevan tyypillisesti noin 60–100 kgCO<sub>2</sub>e/kWh nimellistä energiakapasiteettia kohti.

Tämän hankkeen akkuvaraston kokonaiskapasiteetti on noin 175 MWh (28 kpl á 6,25 MWh), jolloin tuotantovaiheen hiilijalanjäljeksi saatiin tämän perusteella 10 500-17 500 tCO<sub>2</sub>e. Jatkotarkasteluissa käytettiin keskiskenaariota 14 000 tCO<sub>2</sub>e.

#### *Sähköasemat*

110 kV sähköaseman päämuuntajat tarkasteltiin erillisenä laskentaeränä. Muiden sähköasemarakenteiden osalta ei ollut käytettävissä hankekohtaista materiaaliuuteloja, joten sähköaseman hiilijalanjälki arvioitiin aseman tyypillisten päämateriaalien perusteella. Tarkastelussa huomioitiin betoniperustukset, teräsrakenteet sekä kuparinen maadoitusverkko. Päästökertoimina käytettiin SYKE:n CO<sub>2</sub>data-tietokannan arvoja. Tarkasteltujen sähköasemarakenteiden valmistuksen päästöksi arvioitiin noin 470 tCO<sub>2</sub>e.

Hankkeeseen kuuluu lisäksi johdonvarren sähköasema, joka hankeaineiston mukaan ei sisällä muuntoa, vaan koostuu sähköaseman muista komponenteista kuten kytkinlaitteista, teräsrakenteista, maadoitusverkosta sekä suojaus- ja ohjausjärjestelmistä. Koska hankekohtaista materiaaliuuteloja ei ollut käytettävissä, johdonvarren sähköaseman hiilijalanjälki arvioitiin suhteuttamalla se 110 kV sähköaseman muiden rakenteiden päästöihin. Tarkastelussa huomioitiin betoniperustukset, teräsrakenteet, kuparinen maadoitusverkko sekä sähkötekniset laitteet, mutta ei muuntajia. Sähköaseman valmistuksen päästöksi arvioitiin noin 40 % 110 kV aseman rakenteiden päästöistä (n. 190 tCO<sub>2</sub>e).

#### *Kaapeloinnit*

Hankkeen aurinkokentän DC-kaapeloinnin pituudeksi on arvioitu 714 km. DC-kaapeloinnin valmistuksen hiilijalanjälki arvioitiin Solen Kablo Sanayi ve Ticaret A.S.:n julkaisemasta ympäristöselosteesta H1Z2Z2-K - 1x6 mm<sup>2</sup> (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 280 tCO<sub>2</sub>e.

Hankkeen keskijännitekaapeloinnin pituudeksi on arvioitu 42 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 kokoluokissa 3x50-3x300 mm<sup>2</sup>. Keskijännitekaapeloinnin valmistuksen päästöksi arvioitiin noin 770 tCO<sub>2</sub>e.

110 kV liityntäkaapelin valmistuksen päästöiksi arvioitiin 315 tCO<sub>2</sub>e pisimmän reittivaihtoehdon mukaisesti. Arvio perustuu Masaderin julkaiseman 64/110 kV AL/XLPE/CWS/HDPE -suurjännitekaapelin EPD-aineistoon.

## Kuljetukset

Hankkeen kuljetusketjussa aurinkopaneelien oletettiin kulkevan Kiinasta Suomeen konttialuksilla ja muiden pääkomponenttien, kuten energiavarastojärjestelmän, muuntajien, teräsrakenteiden ja kaapeleiden, yleisrahtialuksilla.

Kuljetuspäästöjen arvioinnissa hyödynnettiin ensisijaisesti Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) päästötietokantaa. Merikuljetusten osalta päädyttiin kuitenkin käyttämään Yhdistyneen kuningaskunnan Department for Environment, Food & Rural Affairsin (Defra) julkaisemia päästökertoimia. Valinta tehtiin, koska Defran tietokanta sisältää merikuljetuksille huomattavasti yksityiskohtaisemman alus- ja kokoluokkakohtaisen kertoimiston kuin käytettävissä ollut kansallinen aineisto. Defran aineistossa päästökertoimet on eritelty muun muassa konttialusten, yleisrahtialusten, irtolastialusten ja muiden merikuljetusluokkien mukaan sekä edelleen alusten kokoluokan perusteella, mikä mahdollistaa tarkasteltavan toimitusketjun realistisemman mallintamisen.

Kaikki kuljetusten päästölaskennassa käytettävät kertoimet huomioivat sekä polttoaineen tuotantoketjun päästöt (well-to-tank, WTT) sekä polttoaineen käytöstä aiheutuvat päästöt (tank-to-wheel, TTW). Tarkastelu kattaa siten koko polttoaineketjun ilmastovaikutukset.

Hankkeen kuljetusten kokonaispäästöiksi arvioitiin 5 400 tCO<sub>2</sub>e.

## Rakennusvaihe

Rakennusvaiheen kasvihuonekaasupäästöt arvioitiin työkonoiden käytön perusteella. Arvioitavat työkonetunnit perustuvat aurinkovoimahankkeiden toteutuksesta saatuun asiantuntija-arvioon ja vastaavien hankkeiden tyyppisiin työmenekkeihin. Tarkasteluun sisällytettiin logistiikka-, paalutus- ja maanrakennustyöt sekä työmaan kuljetukset ja muu konekalusto. Päästölaskenta toteutettiin käyttäen Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) infrarakentamisen päästötietokannan konetyyppikohtaisia päästökertoimia. Rakennusvaiheen päästöiksi arvioitiin yhteensä noin 1 200 tCO<sub>2</sub>e.

## Käytönaikaiset päästöt

Aurinkovoimalan käytönaikaisia kasvihuonekaasupäästöjä ei ole huomioitu erillisenä päästölähteenä tässä laskennassa. Aurinkovoimalan normaali käyttö ei edellytä suuremmin huoltotoimenpiteitä, minkä vuoksi käytönaikaiset suorat kasvihuonekaasupäästöt ovat erittäin vähäisiä verrattuna materiaalien valmistuksesta, kuljetuksista ja rakentamisesta aiheutuviin päästöihin.

Laskennassa ei myöskään ole huomioitu mahdollisia käyttöiän aikana tehtäviä laitteiden korvauksia, komponenttien uusimisia tai varaosien valmistusta ja kuljetuksia. Tällaisia voivat olla esimerkiksi yksittäisten invertterien, muuntajien, kaapeliosuuksien tai muiden teknisten komponenttien korvaaminen käyttöiän aikana. Näiden päästöjen arvioidaan olevan vähäisiä suhteessa hankkeen alkuvaiheen

materiaalipäästöihin, eikä niiden huomioimatta jättäminen vaikuta olennaisesti tarkastelun johtopäätöksiin. Laskelma kuvaa siten aurinkovoimalan elinkaaren alkuvaiheen päästöjä sekä käytönaikaisen sähköntuotannon aikaansaamia ilmastohyötyjä ilman käyttöiän aikaisia korvausinvestointeja.

## Käytöstä poisto ja purku

Aurinkovoimalan käytöstä poistamisen ja purkuvaiheen päästöjä ei ole arvioitu erillisenä laskentana. Purkuvaiheeseen liittyvät päästöt muodostuvat pääasiassa aurinkopaneelien, telineiden, inverttereiden, sähköasemarakenteiden, energiavarastojärjestelmien sekä kaapelointien purkamisesta, materiaalien kuljettamisesta jatkokäsittelyyn sekä jätteiden käsittelystä ja kierrätyksestä. Kaava-aineiston mukaan aurinkovoimatuotannon päätyttyä alue tulee ennallistaa maatalouskäyttöön ja käytöstä poistettavat rakenteet tulee purkaa sekä materiaalit käsitellä kulloinkin voimassa olevan lainsäädännön mukaisesti.

Purkuvaiheen päästöjen arvioidaan olevan selvästi pienempiä kuin rakennusvaiheen materiaalien valmistuksesta, kuljetuksista ja rakentamisesta aiheutuvat päästöt. Hankkeen rakenteista merkittävä osa koostuu metalleista, kuten teräksestä, alumiinista ja kuparista, joilla on korkea kierrätysaste ja joiden materiaalit voidaan hyödyntää uudelleen käyttöiän päätyttyä. Myös aurinkopaneelien kierrätysmenetelmät kehittyvät jatkuvasti hankkeen pitkän käyttöiän aikana.

Koska käytöstä poistaminen tapahtuu vasta noin 40 vuoden kuluttua mahdollisesta käyttöönotosta, liittyy purkuvaiheen toteutukseen, käytettäviin menetelmiin, kierrätysteknologioihin sekä materiaalien hyödyntämisasteisiin merkittävää epävarmuutta. Tästä syystä purkuvaiheen päästöjä eikä myöskään materiaalien kierrätyksestä saatavia ilmastohyötyjä ole sisällytetty tämän tarkastelun hiilijalanjälkilaskentaan.

## Maankäytön muutoksen ilmastovaikutukset

Maankäytön muutoksen ilmastovaikutukset arvioitiin hankkeen kaava-aineiston, maankäyttötietojen sekä alustavan teknisen suunnittelun perusteella. Aurinkovoimalan varsinaiset voimala-alueet sijoittuvat lähes kokonaan nykyisille peltoalueille. Kaava-aineiston mukaan voimala-alueista vain noin kaksi hehtaaria sijoittuu ennestään avohakattuun metsikköön, eikä hankkeen toteuttaminen siten edellytä merkittäviä metsänraivauksia tai laajamittaista puuston hiilivaraston poistumista.

Aurinkopaneelit asennetaan teräksisiin telineisiin paaluperustoille. Paneelikentille ei rakenneta laajoja betoniperustoja eikä maanpintaa pääsääntöisesti päällystetä. Kaavamääräysten mukaisesti maanpinnan tulee säilyä pääosin vettä läpäisevänä ja alueilla mahdollistetaan matalan luonnonmukaisen kasvillisuuden kehittyminen myös toiminnan aikana. Tämän vuoksi aurinkopaneelikenttien alueella maaperän hiilivaraston muutoksen arvioidaan olevan hyvin vähäinen.

Merkittävin pysyvä maankäytön muutos kohdistuu aurinkovoimalan sähköasema- ja energiavarastoalueelle (sä-1), jolle sijoitetaan sähköasema ja energiavarastojärjestelmä murske- ja sorapintaiselle alueelle. Kaavakartan perusteella alueen pinta-alaksi arvioitiin noin 3 ha. Suomen ympäristökeskuksen julkaiseman Hiilikartta-palvelun perusteella hankealueen maaperän hiilivarasto on suuruusluokaltaan noin 176 tCO<sub>2</sub>e/ha. Tällöin sähköasema- ja energiavarastoalueen nykyinen maaperän hiilivarasto on arviolta 530 tCO<sub>2</sub>e. Oletuksena on, että koko maaperän hiilivarasto ei hankkeen myötä

katoa, koska perustuksia ei voi paineellisen pohjaveden takia tehdä kovin syvälle. Konservatiivisesti arvioituna laskennassa on kuitenkin huomioitu koko potentiaalisen hiilivaraston menetys.

Huolto- ja pelastustieverkoston osalta vaikutusten arvioidaan olevan vähäisiä. Kaikille voimala-alueille on olemassa olevia kulkuyhteyksiä, minkä vuoksi uusia sorapintaisia tieyhteyksiä rakennetaan lähinnä pelastustoiminnan edellyttämässä laajuudessa. Alueen tasainen peltomaasto vähentää merkittävien maanmuokkaustoimenpiteiden tarvetta, ja alueen pohjavesiolosuhteet rajoittavat syvien rakennekerrosten toteuttamista. Lisäksi huoltoteiden yhteydessä pyritään säilyttämään olemassa oleva reunakasvillisuus mahdollisuuksien mukaan.

Aurinkovoimalan 110 kV liityntäkaapeli toteutetaan maakaapelina. Kaapelin vaihtoehtoisten reittien pituudet ovat noin 4,0-4,5 km ja kaapelin pysyvän käyttöoikeusalueen leveys noin 6 m. Pisimmän tarkastellun reittivaihtoehdon (4 496 m) perusteella maakaapelin pysyvän käyttöoikeusalueen pinta-alaksi muodostuu noin 2,7 ha. Kaapelireitit sijoittuvat pääosin olemassa olevien tiekäytävien, peltojen reunojen sekä muiden jo ennestään ihmistoiminnan muokkaamien alueiden yhteyteen. Kaavamääräysten mukaisesti maakaapelit tulee sijoittaa ensisijaisesti teiden yhteyteen.

Maakaapelin rakentaminen edellyttää kaivutöitä ja paikallista kasvillisuuden poistamista rakentamisen aikana. Kaapelin asentamisen jälkeen kaivannot täytetään ja maanpinta palautuu pääosin kasvillisuuden käyttöön, minkä vuoksi kaapelireitti ei muodosta sähköasema- tai energiavarastoalueen kaltaista pysyvästi rakennettua aluetta.

Merkittäviä kasvillisuuden hiilivaraston menetyksiä ei arvioida syntyvän, koska kaapelointi sijoittuu pääosin nykyisten tielinjojen yhteyteen sekä reittivaihtoehdosta riippuen osittain tai suurelta osin peltoalueille. Itäinen reittivaihtoehto on kasvillisuuden hiilivarastoon kohdistuvilta vaikutuksiltaan voimakkaampi, koska linjauksen varrella sijaitsee enemmän metsäalueita. Koska maakaapelin käyttöoikeusalue jää rakentamisen jälkeen valtaosin kasvillisuuden peittämäksi, arvioidaan kasvillisuuden hiilivaraston menetysten ja maaperän hiilivaraston muutosten jäävän vähäisiksi ja pääosin väliaikaisiksi.

## **Käytönaikaiset ilmastohyödyt ja hiilivaran takaisinmaksuaika**

Aurinkovoimalan vuosituotanto arvioitiin hankkeesta julkaistun tuotantoarvion perusteella. Julkisessa hankeaineistossa 125 MWp:n aurinkovoimalalle on esitetty vuosituotannoksi noin 122 000 MWh, mikä vastaa noin 976 MWh/MWp:n ominaistuotantoa. Ominaistuotanto skaalattiin tarkasteltavan aurinkovoimalan suunniteltuun nimellistehoön (118,8 MWp), jolloin vuosituotannoksi saatiin noin 116 GWh. Aurinkopuiston käyttöäksi oletettiin 40 vuotta ja aurinkopuiston käytön oletettiin alkavan vuonna 2030.

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, koska sähköjärjestelmän arvioidaan vähähiilistyvän merkittävästi tulevina vuosikymmeninä.

Vähähiilistymisskenaario perustuu oletukseen, että uusiutuvan energiantuotannon osuus Suomessa kasvaa tulevana vuosikymmeninä energiasektorille tehtävien investointien tukemana. Ilmastohyötyjen laskennassa on käytetty suositeltuja päästökertoimet ovat 155 tCO<sub>2</sub>/GWh vuonna 2030, 110 tCO<sub>2</sub>/GWh vuonna 2035, 80 tCO<sub>2</sub>/GWh vuonna 2040, 35 tCO<sub>2</sub>/GWh vuonna 2045 ja 0 tCO<sub>2</sub>/GWh vuonna 2050.

Edellä kuvatuilla päästökertoimilla laskettuna aurinkovoimalan tuotannon arvioidaan vähentävän sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöjä yhteensä noin 220 300 tCO<sub>2</sub>e 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 ja kuljetuksista aiheutuviksi elinkaaren alkuvaiheen päästöiksi arvioitiin yhteensä noin 94 600 tCO<sub>2</sub>e. Kun tätä verrataan hankkeen käytönaikaisiin päästövähennyksiin, aurinkovoimalan hiilivelan takaisinmaksuajaksi saadaan noin kuusi vuotta. Tämän jälkeen hanke tuottaa nettoilmastohyötyä koko jäljellä olevan käyttöikänsä ajan. Tarkastelujakson lopussa hankkeen nettoilmastohyödyksi muodostuu noin 125 700 tCO<sub>2</sub>e.

Hankkeen elinkaaren aikainen sähköntuotannon päästökerroin on noin 20,4 gCO<sub>2</sub>e/kWh, kun huomioidaan rakentamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt sekä voimalan arvioitu 40 vuoden käyttöikä. Taso on selvästi alhaisempi kuin fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkön elinkaariset päästöt, jotka ovat tyypillisesti noin 400-1000 gCO<sub>2</sub>e/kWh (taulukko 1).

**Taulukko 1.** Sähköntuotantoteknologioiden harmonisoidut elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt (gCO<sub>2</sub>e/kWh, IPCC 2014)

| Energian tuotantomuoto    | Elinkaaripäästöt<br>(gCO <sub>2</sub> e/kWh) |          |      |
|---------------------------|----------------------------------------------|----------|------|
|                           | Min.                                         | Mediaani | Max. |
| Kivihiili                 | 740                                          | 820      | 910  |
| Biomassan rinnakkaispoltt | 620                                          | 740      | 890  |
| Maakaasu                  | 410                                          | 490      | 650  |
| Biomassan erillispoltto   | 130                                          | 230      | 420  |
| Aurinkosähkö, voimalaitos | 18                                           | 48       | 180  |
| Aurinkosähkö, katto       | 26                                           | 41       | 60   |
| Geoterminen energia       | 6                                            | 38       | 79   |
| Aurinkolämpö              | 8,8                                          | 27       | 63   |
| Vesivoima                 | 1                                            | 24       | 2200 |
| Ydinvoima                 | 3,7                                          | 12       | 110  |
| Merituulivoima            | 8                                            | 12       | 35   |
| Maatuulivoima             | 7                                            | 11       | 56   |

Hankkeen päästökerroin sijoittuu aurinkosähkölle kansainvälisissä elinkaaritarkasteluissa esitetyn vaihteluvälin alalaitaan ja on keskimääräisiä aurinkovoimahankkeita pienempi. Tämä johtuu osaltaan siitä, että hankkeen toteuttaminen ei edellytä merkittävää puuston poistamista eikä aiheuta huomattavia hiilivarastojen menetyksiä.

## Yhteenveto hiilitaselaskennasta

Tässä työssä laadittiin Sun Rajamäki -aurinkovoimahankkeelle hiilitaselaskenta, jossa arvioitiin hankkeen rakentamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt sekä käytönaikaisen sähköntuotannon aikaansaamat päästövähennykset koko hankkeen elinkaaren näkökulmasta. Tarkastelu kattoi aurinkopaneelit, telinejärjestelmät, invertterit, muuntajat, energiavarastojärjestelmän, kaapeloinnit, sähköasemat, kuljetukset, rakentamisen sekä maankäytön muutosten keskeiset ilmastovaikutukset. Lisäksi arvioitiin hankkeen hiilikädenjälki vältettyinä sähköntuotannon päästöinä.

Aurinkovoimalan rakentamisesta, materiaalien valmistuksesta, kuljetuksista ja rakentamisesta aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin yhteensä noin 94 600 tCO<sub>2</sub>e. Suurimmat yksittäiset päästölähteet olivat aurinkopaneelien valmistus (n. 59 500 tCO<sub>2</sub>e), energiavarastojärjestelmä (n. 14 000 tCO<sub>2</sub>e) sekä paneelikenttien teräksiset telinejärjestelmät (n. 9 600 tCO<sub>2</sub>e). Kuljetusten osuus oli noin 5 400 tCO<sub>2</sub>e ja varsinaisen rakentamisvaiheen noin 1 200 tCO<sub>2</sub>e.

Käyttövaiheen kunnossapitoon liittyviä mahdollisia varaosia, laitteiden uusimisia tai korvausinvestointeja ei huomioitu erikseen laskennassa, koska niiden arvioitiin olevan vähäisiä suhteessa hankkeen rakentamisvaiheen päästöihin. Myöskään käytöstä poistamisen ja purkuvaiheen päästöjä ei sisällytetty laskentaan, sillä niiden toteutustapa, materiaalien kierrätysasteet ja käytettävät teknologiat ovat noin 40 vuoden päähän ulottuvassa tarkastelussa erittäin epävarmoja. Purkuvaiheen mahdollisia kierrätyshyötyjä ei myöskään laskettu mukaan.

Hankkeen maankäytön muutoksista aiheutuvien ilmastovaikutusten arvioitiin jäävän suhteellisen vähäisiksi. Aurinkopaneelikentät sijoittuvat lähes kokonaan nykyisille peltoalueille eikä hanke edellytä merkittäviä metsänraivauksia. Merkittävimmät pysyvät maankäytön muutokset liittyvät sähköasema- ja energiavarastoalueeseen sekä liityntäkaapelin käyttöoikeusalueeseen. Näiden vaikutusten arvioitiin olevan kokonaisuudessaan pieniä verrattuna hankkeen rakentamisvaiheen päästöihin ja käytönaikaisiin ilmastohyötyihin.

Aurinkovoimalan vuosituotannoksi arvioitiin noin 116 GWh ja käyttöiäksi 40 vuotta. Käytönaikaiset ilmastohyödyt arvioitiin sähkön marginaalipäästökertoimilla, jotka huomioivat sähköjärjestelmän ennakoitun vähähiilistymisen tulevina vuosikymmeninä. Tämän perusteella aurinkovoimalan sähköntuotannon arvioitiin vähentävän sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöjä yhteensä noin 220 300 tCO<sub>2</sub>e käyttöikänsä aikana.

Rakentamisen aiheuttamia päästöjä verrattiin käytönaikaisiin päästövähennyksiin, jolloin aurinkovoimalan hiilivelan takaisinmaksuajaksi saatiin noin kuusi vuotta. Tämän jälkeen hanke tuottaa nettoilmastohyötyä koko jäljellä olevan käyttöikänsä ajan. Tarkastelujakson lopussa hankkeen nettoilmastohyödyksi muodostuu noin 125 700 tCO<sub>2</sub>e.

Hiilitaselaskennan perusteella Sun Rajamäki -aurinkovoimahankkeen ilmastovaikutus on selvästi positiivinen. Vaikka hankkeen toteuttaminen aiheuttaa merkittäviä rakentamisvaiheen päästöjä, ylittävät käytönaikaisella uusiutuvan sähkön tuotannolla saavutettavat päästövähennykset nämä päästöt moninkertaisesti hankkeen käyttöiän aikana. Hanke tukee siten osaltaan Nurmijärven kunnan ilmastotavoitteita ja hiilineutraaliuteen tähtäävää kehitystä.

## Lähteet

ABB T&D S.p.A. (2003). Large Distribution Transformer 10 MVA (ONAN) Environmental product declaration.

Department for Environment, Food & Rural Affairs (2026). Greenhouse gas reporting: conversion factors 2025.

Hiilikartta (2026). Kaavoittajan karttatyökalu – Hiilikartta. <https://hiilikartta.avoin.org/>

IPCC (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Annex III, taulukko A.III.2. Sähköntuotantoteknologioiden harmonisoidut elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt (gCO<sub>2</sub>e/kWh)

Kim et al. (2026). Cell Reports Sustainability 3. Comparative evaluation of the material consumption and carbon footprint of silicon PV modules

Masader (2025). Single Core AL/XLPE/CWS/HDPE High Voltage Electricity Distribution Cables for 64/110 KV Environmental product declaration.

Parlikar, A. G. (2025). *The Carbon Footprint of Stationary Lithium-Ion Battery Energy Storage Systems*. Dissertation, Technische Universität München.

Sitowise (2025). Päästökerrointarkastelu - Suomen ilmastopolitiikkatoimien arviointi.

SMA (2025). Sunny Central 4600 UP Life cycle assessment.

Solen Kablo Sanayi ve Ticaret A.S. (2025). H1Z2Z2-K - 1x6 mm<sup>2</sup> Environmental product declaration.

Suomen ympäristökeskus (2026). Talo- ja infrarakentamisen kansallinen päästötietokanta CO2data. <https://co2data.fi/>