

FORUS

Isosuon aurinkovoimala

Hiilitaseselvitys

5.4.2024

Yhteystiedot

Roope Rauta
Projekti-insinööri
roope@forus.fi
+358 400 137372

Sisällysluettelo

1.	<i>Johdanto</i>	3
2.	<i>Laskelman oletukset, metodit ja tietolähteet</i>	3
2.1	Aurinkovoimalan elinkaaren hiilijalanjälki	3
2.2	Tietolähteet	4
2.3	Elinkaaren vaiheet	4
2.4	Laskelman rajaus	5
2.5	Maaperän ja kasvillisuuden arviointi	6
2.6	Tuotetun sähkön vaikutus	7
3.	<i>Tulokset</i>	8
3.1	Aurinkovoimalan elinkaaren hiilijalanjälki	8
3.2	Metsien hakkuiden ja maaperän käytön muutosten hiilitase	10
3.3	Aurinkovoimalan tuottaman sähkön syrjäyttämät päästöt	11
3.4	Tulosten yhteenveto	12
3.5	Johtopäätökset	13

1. Johdanto

Tämän raportin tarkoituksena on esittää Punkalaitumen Isosuolle suunnitellun aurinkovoimahankkeen ilmastovaikutus selvityksen tuloksia. Selvityksessä on tutkittu rakennettavan aurinkovoimalan vaikutusta ilmaston lämpenemiseen

1. komponenttien ja rakenteiden **elinkaariarvioinnin** keinoin.
2. voimalan rakentamisen yhteydessä tehtävien maankäytön muutosten **hiilitasearvion** avulla.
3. elinkaaren aikana tuotetun sähkön päästövaikutukset **kolmen eri skenaarioanalyysin** avulla.

Selvitys perustuu alustaviin suunnitelmiin ja oletuksiin aurinkovoimalan rakenteesta ja koosta. Suunnitelmat tarkentuvat hankkeen edetessä, ja hiilitaseselvitystä päivitetään tarvittaessa.

Aurinkovoimala koostuu aidattavasta alueesta, jolle aurinkopaneelikenttä sijoittuu. Paneelien ohella voimalan merkittävimpiä rakenteita ovat paneeleja kannattelevat terästelineet ja -paalut, sähkölaitteet kuten invertterit ja muuntajat kaapelointineen sekä muuntamorakennus perustuksineen. Alueelle rakennetaan myös huoltotiestö.

Elinkaariarviointi tarkastelee kaikkia hankealueelle rakennettavia pysyviä rakenteita. Suurjännitteinen maakaapeli, jolla hanke kytketään sähköverkkoon, sijoittuu osittain hankealueen ulkopuolelle. Maakaapeli on kokonaisuudessaan sisällytetty elinkaariarvion rajaukseen.

Aurinkovoimalan alustava käyttöikä on 30 vuotta, mutta on mahdollista, että sitä voidaan pitää toiminnassa pidempäänkin.

Taulukko 1. Aurinkovoimalan perustiedot

Hankealueen pinta-ala	118 ha
Voimalan käynnistysvuosi	2027
Voimalan teho	76 MWp
Voimalan vuotuinen sähköntuotanto	72 GWh
Voimalan käyttöikä	30 vuotta
Verkkoliitynnän tyyppi	Maakaapeli
Maakaapelin pituus	2,2 km

2. Laskelman oletukset, metodit ja tietolähteet

2.1 Aurinkovoimalan elinkaaren hiilijalanjälki

Hankkeen elinkaaren hiilijalanjälki on arvioitu käyttäen Ympäristöministeriön ohjeistamaa rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää, joka perustuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään ja mm. standardeihin EN 15643, EN 15978 ja 15804 [[Ympäristöministeriö](#)].

Elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta on tehty suorittamalla aurinkovoimalan materiaalien ja komponenttien määrälaskenta, josta ilmenee materiaalien ja komponenttien valmistuksesta, kuljetuksesta, käytöstä sekä purkamisesta aiheutuvat päästöt.

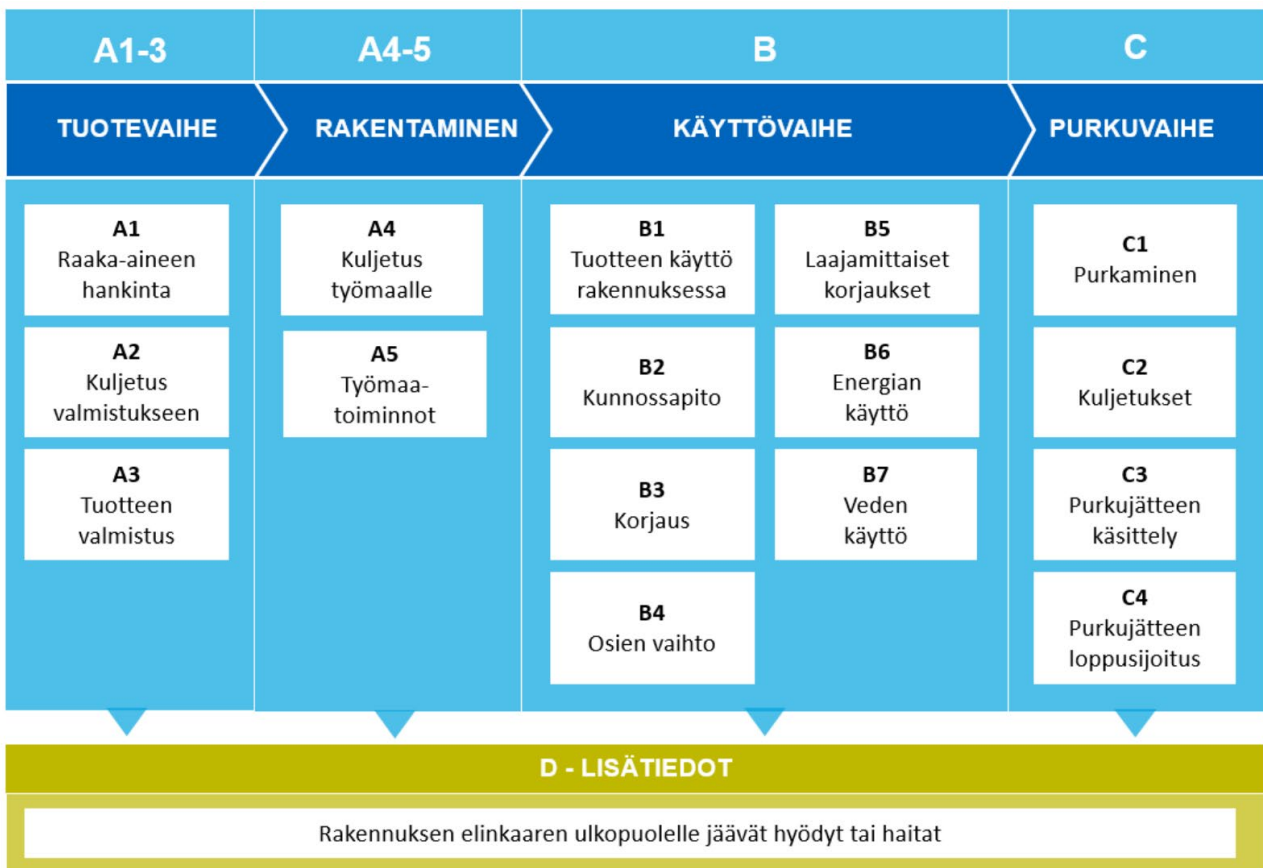
2.2 Tietolähteet

Määrälaskelman päästötietolähteinä on käytetty Suomen ympäristökeskuksen tekemää Rakentamisen päästötietokantaa materiaalien ja fyysisten komponenttien sekä aurinkopaneelien osalta [CO2data]. Tietokantaa on käytetty myös kuljetusten ja työmaatoiden päästökertoimien lähteenä. Sähkökomponenttien päästötietojen lähteenä on käytetty tuotteiden valmistajien tekemiä ympäristöselosteita (EPD, environmental product declaration).

Voimala-alueen eri maaperätyyppien hiilitaseen arviointi perustuu tieteellisiin julkaisuihin, joita on kerännyt yhteen Suomen Suoseura [Suoseura].

Aurinkovoimalan tuottaman sähkön päästöhyötyjen arvioinnissa on käytetty tilastokeskuksen lukuja keskimääräiselle verkkosähkön päästökertoimelle [Tilastokeskus] sekä polttoaineluokitusta korvattavien polttoaineiden päästökertoimille [Tilastokeskus].

2.3 Elinkaaren vaiheet



Kuva 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet [Ympäristöministeriö].

Aurinkovoimalan elinkaaren vaiheet jakautuvat

- tuote- ja rakennusvaiheeseen (A)
- käyttövaiheeseen (B) ja
- purkuvaiheeseen (C)
- lisäksi voidaan arvioida varsinaisen elinkaaren ulkopuolelle jääviä hyötyjä tai haittoja (D)

Tuotevaihe (A1-A3) kattaa aurinkovoimalan komponenttien raaka-aineiden hankinnan, kuljetuksen ja tuotteiden valmistuksen.

Rakentamisvaiheen (A4-A5) vaikutukset koostuvat kuljetuksista työmaalle rakennusvaiheessa ja työmaatöiden aiheuttamista päästöistä. Kuljetuksissa on oletettu kuljetusetäisyydeksi 100 km ja kuljetusvälineeksi puoliperävaunua. Työmaan päästöt on laskettu maatöiden osalta. Laajamittaisia maanmuokkaustöitä on oletettu tehtävän aurinkovoimalan muuntamoalueen ja huoltoteiden alueilla.

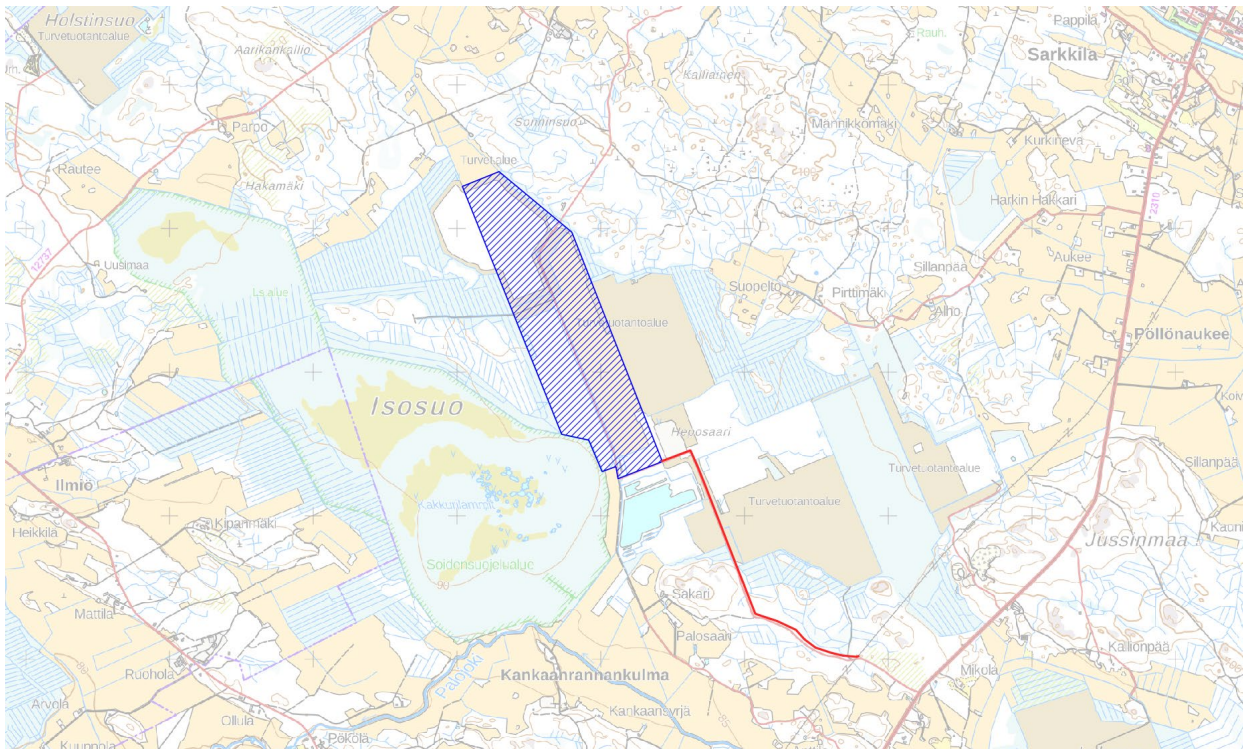
Aurinkovoimalan käyttövaiheen (B) päästöt syntyvät osien vaihdosta ja osien kuljetuksesta hankealueelle sekä vanhojen pois kuljetuksesta. Aurinkopaneeleista arvioidaan uusittavan noin 11 % ja inverttereistä 89 % voimalan elinkaaren aikana.

Purkuvaiheen (C) päästöissä otetaan huomioon purettujen materiaalien kuljetukset sekä purkujätteiden käsittely sekä loppusijoitukset.

Elinkaaren ulkopuolelle jäävinä hyötyinä tai haittoina (D) on käsitelty maaperän muutoksista koituvia päästöhyötyjä ja -haittoja sekä voimalan tuottaman sähkön vaikutusta päästöintensivisemmän sähkön korvaajana sähköverkossa eri skenaarioittain.

2.4 Laskelman rajaus

Elinkaariarviointi rajautuu voimalan pysyviin rakenteisiin sekä aurinkovoimalalle rakennettavaan maakaapeliin, jolla voimala kytketään sähköverkkoon. Hankealue muodostuu yhdestä yhtenäisestä aidattavasta alueesta. Elinkaaren pituutena on laskelmassa käytetty voimalan oletettua 30 vuoden käyttöikää. Kuvassa 2 on esitetty hankealue kartalla. Hankealue on rajattu sinisellä ja alustava liityntämaakaapelireitti punaisella.



Kuva 2. Karttakuva hankealueesta ja maakaapelireitistä.

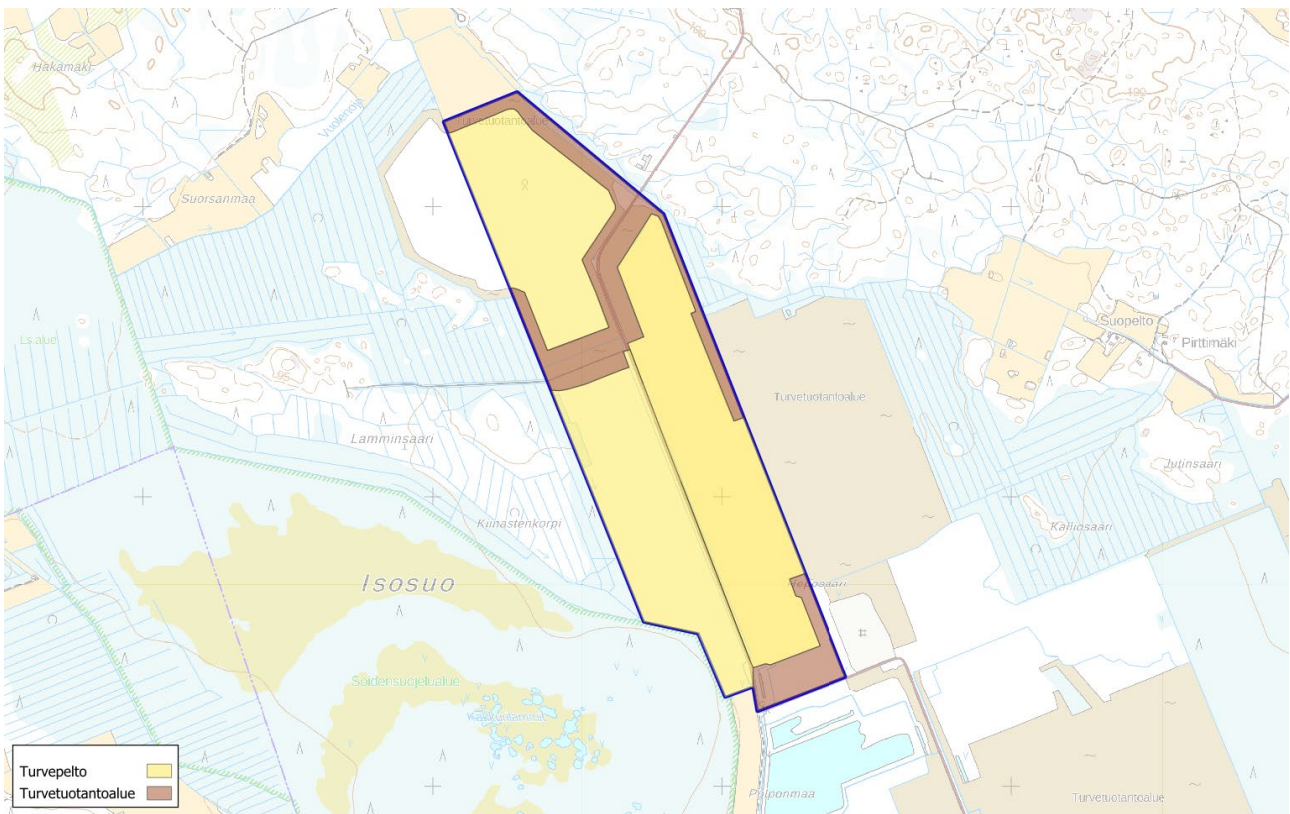
2.5 Maaperän ja kasvillisuuden arviointi

Hankealuetta valitessa on pyritty suosimaan maaperätyyppejä, joilla negatiiviset ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman vähäiset ja joilla saadaan aikaan päästövähennyksiä ennallistamiskeinoin. Ainoat puut hankealueella sijaitsevat aivan alueen koilliskulman reunalla kapealla kaistaleella. Puita ei ole tarkoitus kaataa hankkeen yhteydessä.

Hankealueen maaperää ja kasvillisuutta on arvioitu maaperän hiilitasearviointia varten mittaamalla eri maaperätyyppien pinta-alat kartta-aineistoista. Maaperän muutosten vaikutus on otettu huomioon hiilitaselaskelmassa varsinaisen elinkaaren ulkopuolisessa vaiheessa D.

Laskelmassa eri maaperätyyppien pinta-alat on kerrottu keskimääräisillä kasvihuonekaasutaseilla ennen ja jälkeen voimalan rakentamisen, jolloin voidaan arvioida aurinkovoimalan rakentamisen aiheuttamaa muutosta maaperän päästöissä ja nieluissa. Kaasutaseen muutos on laskettu kestävän koko voimalan elinkaaren ajan tasaisesti. Voimalan elinkaaren jälkeisestä maankäytöstä ei ole tehty oletuksia, eikä sitä ei olla sisällytetty laskelmaan.

Hankealueen eri maaperätyypit on esitetty kartalla kuvassa 3 ja maaperätyyppien pinta-alat taulukossa 2.



Kuva 3. Hankealueen maaperätyypit.

Taulukko 2. Hankealueen maaperätyyppien pinta-alat.

Maaperätyyppi	Pinta-ala
Pelto turvemaalla	98 ha
Turvetuotantoalue	20 ha

Maankäytön muutosten kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusten arvioinnissa on käytetty 100 vuoden arviointijaksoa (GWP-100).

2.6 Tuotetun sähkön vaikutus

Aurinkovoimalan sähköntuotannon on oletettu alkavan vuoden 2027 alussa. Suunniteltu aurinkovoimala tuottaa vuodessa noin 72 GWh sähköä, mikä vastaa noin 40 000 suomalaisen kerrostalokaksion vuotuista sähkönkulutusta. Elinkaarensa aikana voimala tuottaa sähköä noin 2 200 GWh.

Aurinkovoimalan tuottama sähkö korvaa markkinaehtoisesti kalliimpaa päästöintensiivisempää sähköä sähköverkosta, sillä aurinkovoimalan tuottama sähkö on marginaalikustannuksiltaan tuotantohetkellä ilmaista ja päästövapaata, ja siten myös päästökaupan ulkopuolella. Aurinkovoimalan syrjäyttämän sähkön päästöhyötyjä on arvioitu kolmen eri skenaarion avulla perustuen eri oletuksiin.

Selvyyden vuoksi todettakoon, että sähköskenaarioissa korvatus sähkö osalta tarkastellaan sähköverkon tuotannon päästöjä, jotka ovat esimerkiksi aurinko- ja tuulivoimalle sekä ydinenergialle 0 kg CO₂/MWh. Myöhemmin tämän raportin tulososiossa nämä luvut suhteutetaan aurinkovoimalan elinkaaripäästöihin, jotta voidaan arvioida vaikutusten suuruusluokkaa. On kuitenkin pidettävä mielessä, ettei sähköverkosta korvatus sähkö päästökertoimissa ole huomioitu sähköverkosta korvatus muun sähkö elinkaaripäästöjä, joten korvatut elinkaarihyödyt ovat todellisuudessa vielä sähköskenaariovertailua suuremmat. Taulukossa 3 on esitetty eri sähköntuotantomuotojen elinkaaripäästöjen keskiarvoja [IEA].

Taulukko 3. Eri sähköntuotantomuotojen elinkaaripäästöjen keskiarvoja.

Sähköntuotantomuoto	Päästökerroin (kg CO ₂ e/MWh)
Kivihiili	185
Maakaasu	82
Biokaasu	48
Jäte	39
Aurinkovoima	33
Ydinvoima	12
Tuulivoima	12

Lisäksi tuotetun sähkön päästödata sisältää muista selvityksen osista poiketen ainoastaan hiilidioksidipäästöt ilman muita kasvihuonekaasupäästöjä hiilidioksidiekvivalenttien muodossa. Näin ollen päästömäärät eivät ole aivan suoraan vertailtavissa, mutta niiden tarkastelu antaa silti käsityksen vaikutuksen suuruusluokasta, sillä hiilidioksidi on merkittävin kasvihuonekaasu energiantuotannossa. Koska korvatus sähkö päästöissä ei ole otettu muita kasvihuonekaasuvaikutuksia huomioon, ovat korvatus sähköstä saadut hyödyt todellisuudessa jonkin verran skenaarioanalyysissä laskettuja suuremmat ja voimala saavuttaa päästönegatiivisuuden nopeammin.

Skenaario 1

Aurinkovoimalan tuottaman sähkö oletetaan korvaavan marginaalikustannuksiltaan kalliimpaa ja päästöintensiivisempää sähköä verkosta. Korvatus sähkö oletetaan olevan tuotettu kivihiilellä, öljyllä, maakaasulla ja turpeella. Korvattavan sähkö päästökerroin on laskettu näiden sähköntuotantomuotojen määrien perusteella painotettuna keskiarvona vuodelta 2021. Painotettu

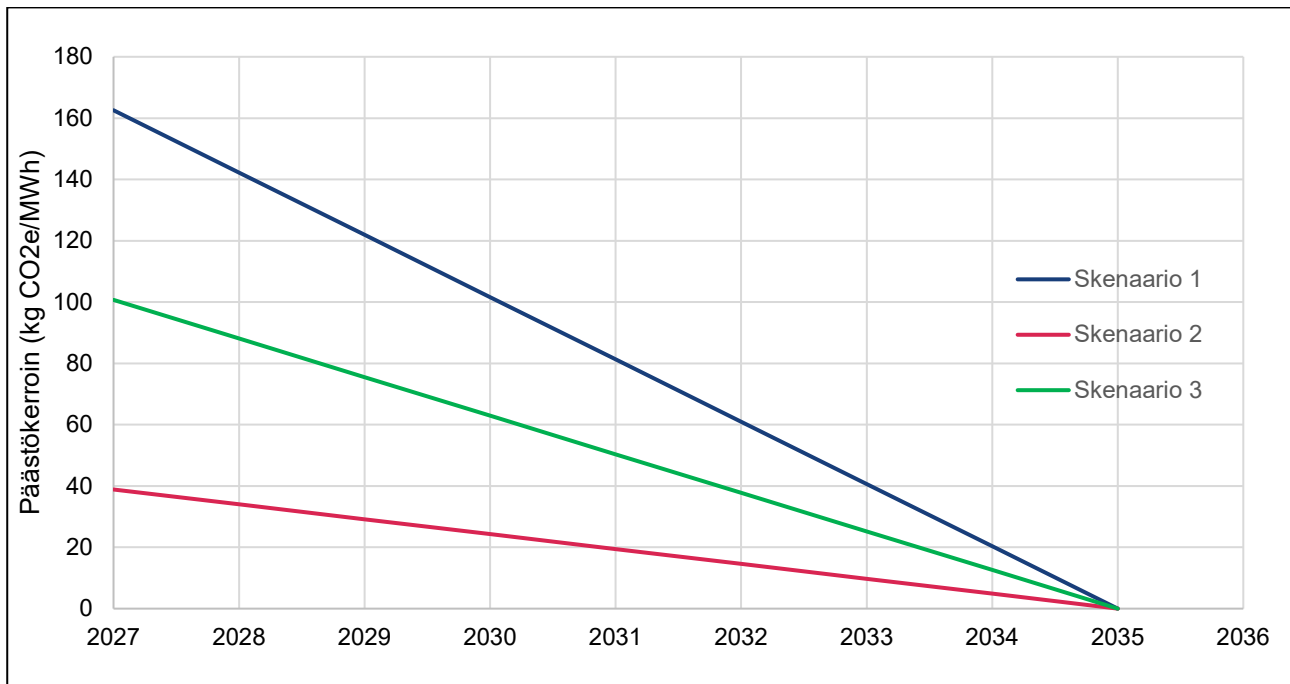
keskiarvio skenaarion 1 syrjäytetylle sähkölle on 284 kg CO₂/MWh. Päästökerroin laskee lineaarisesti vuoden 2021 arvosta nollaan vuoteen 2035 mennessä.

Skenaario 2

Toisessa skenaariossa aurinkovoimalan sähkön on oletettu korvaavan sähkömarkkinoilta muitakin sähköntuotannon muotoja päästöintensivisten lisäksi. Arviossa on käytetty päästökertoimen markkinoiden sähkön keskiarvoa, joka on Suomen sähkömarkkinoilla vuosien 2019–2023 viiden vuoden liukuvalla keskiarvolla 68 kg CO₂/MWh. Tämä päästökertoimen arvo on hyvin alhainen, sillä sitä käyttäen laskelmassa oletetaan, että aurinkosähkö korvaa myös todellista huomattavasti enemmän päästötöntä uusiutuvaa ja ydinsähköä, ja vastaavasti vähemmän fossiilisista lähteistä tuotettua sähköä. Skenaarion 1 tavoin päästökerroin laskee nollaan vuoteen 2035 mennessä.

Skenaario 3

Todellisuudessa aurinkovoiman korvaama sähkö ei ole pelkästään fossiilista, eikä myöskään pelkästään keskimääräistä, vaan ajanhetkestä riippuen jotakin näiden väliltä. Tämän vuoksi esittelemme myös skenaarion 3, jossa korvatus sähkön päästökerroin on joka arviointivuodella skenaarioiden 1 ja 2 päästökertoimen keskiarvo. Forus pitää tätä sähköskenaariota kaikista todenmukaisimpana.

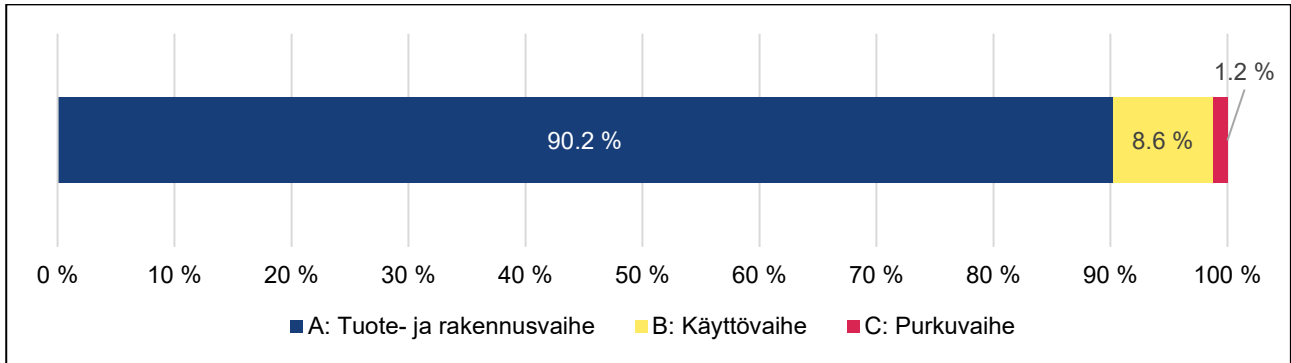


Kuva 4. Sähköskenaarioiden päästökertoimien oletettu kehitys.

3. Tulokset

3.1 Aurinkovoimalan elinkaaren hiilijalanjälki

Aurinkovoimalan rakenteiden ja komponenttien elinkaaren hiilijalanjälki on yhteensä 70 064 t CO₂e. Suhteutettuna voimalan tuottamaan energiaan päästöt ovat 32,6 g CO₂e/kWh, joka on hieman matalampi kuin IEA:n ilmoittama aurinkovoiman globaali keskiarvo 33 g CO₂e/kWh (esitetty aiemmin taulukossa 3). Päästöt jakautuvat elinkaaren vaiheisiin A-C kuvan 5 mukaisesti.



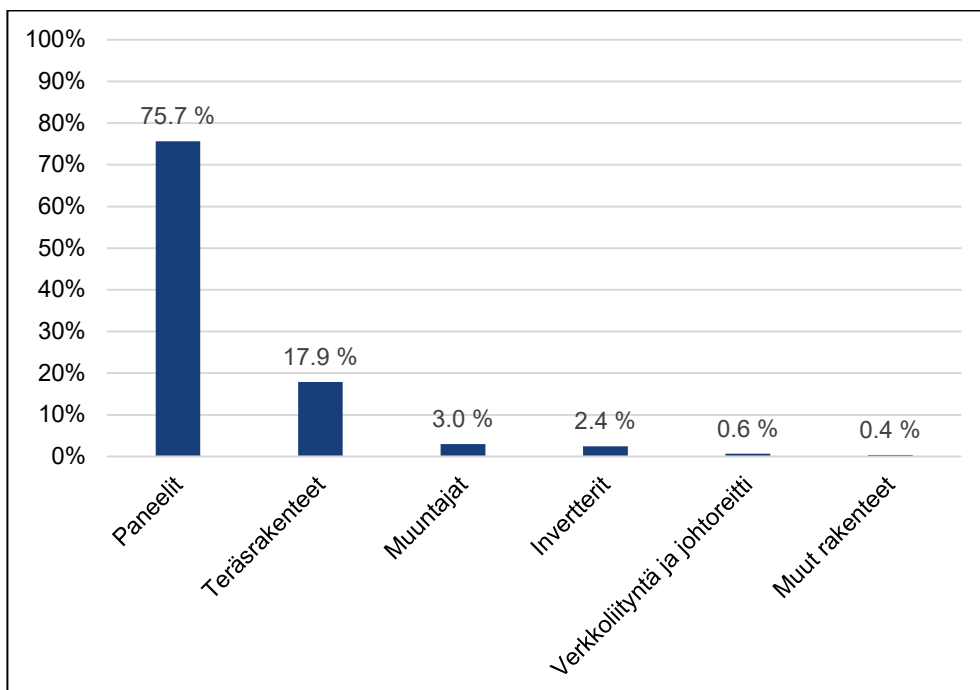
Kuva 5. Aurinkovoimalan päästöjakauma elinkaarivaiheittain.

Valtaosa päästöistä syntyy tuote- ja rakennusvaiheessa komponenttien valmistuksesta. Kuljetuksen ja työmaan päästöt ovat vähäiset kaikissa elinkaaren vaiheissa. Koko elinkaaren kuljetus- ja työmaapäästöt ovat yhteensä noin 269 t CO₂e, mikä vastaa noin 0,4 % elinkaaripäästöistä.

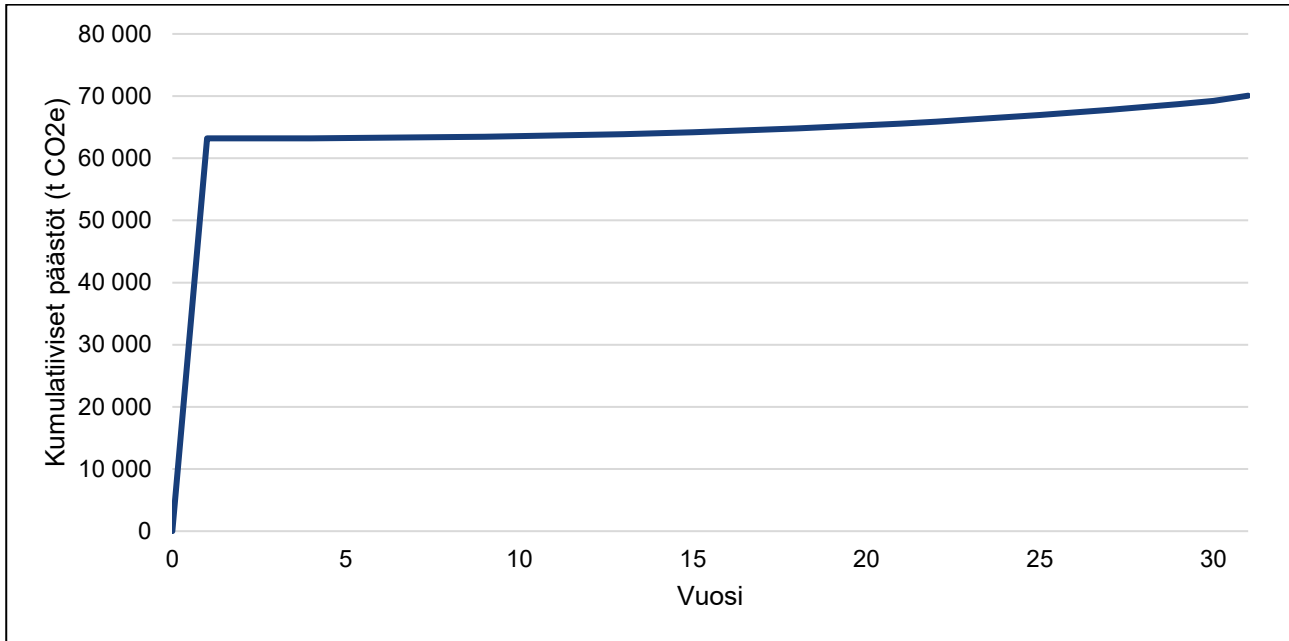
Aurinkopaneelit ovat merkittävin yksittäinen komponentti päästöjen kannalta. Noin 80 % kaikkien komponenttien päästöistä aiheutuu aurinkopaneeleista. Laskennassa on käytetty aurinkopaneeleille Ympäristöministeriön CO₂data-tietokannan markkinatutkimukseen perustuvaa tyypillistä päästökerroinarvoa 10,79 kg CO₂e per paneelikilogramma [CO₂data].

Kuvassa 6 on esitettyä aurinkovoimalan päästöjakauma komponenteittain. Luvuissa on huomioitu koko elinkaari, mukaan lukien käyttö- ja purkuvaihe sekä kaikki kuljetukset komponenteittain.

Selkeästi toiseksi suurin päästölähde on teräsrakenteet. Puiston sähkökomponentit (muuntajat, invertterit, verkkoliittynän komponentit sekä johtoreitin rakenteet muodostavat yhteensä noin 6 % päästöistä. Muut rakenteet sisältävät voimalan huoltotiet, muuntamoalueen maanpäälliset rakenteet sekä betoniperustukset.



Kuva 6. Aurinkovoimalan komponenttien päästöjakauma ja osuudet.



Kuva 7. Aurinkovoimalan rakenteiden ja komponenttien elinkaaren kumulatiiviset päästöt.

Kuvassa 7 on esitetty aurinkovoimalan päästöt kumulatiivisesti. Rakennusvaihe on oletettu suoritettavan kokonaisuudessaan vuonna 0 sisältäen komponenttien valmistamiset ja kuljetukset sekä työmaatoiminnot.

Rakennusvaiheen jälkeen puiston käyttövaihe alkaa vuodesta 1. Käyttövaihe kestää 30 vuotta, ja sen aikaiset päästöt muodostuvat aurinkovoimalan osien uusimisista ja niiden vaatimista kuljetuksista. Voimalan vanhentuuessa uusimisten tarve lisääntyy, mikä näkyy kumulatiivisen päästökäyrän jyrkkenemisenä.

Voimalan purkuvaihe suoritetaan kokonaisuudessaan 31. vuotena, jolloin voimalan käyttö energiantuotantolaitoksena on lopetettu kokonaan.

3.2 Metsien hakkuiden ja maaperän käytön muutosten hiilitase

Hankealueen maankäytön muutoksia on arvioitu kahdella eri maastotyyppillä: turvetuotantoalue ja pelto turvemaalla. Hankealueella ei tehdä metsien hakkuita hankkeen yhteydessä.

Entiselle turpeentuotantoalueelle ja turvemaan pelloille saadaan päästövähennyksiä ennallistamiskeinoin, kun alueiden vesitasoa nostetaan voimalan rakentamisen jälkeen. Vaikutukset hiilitaseeseen eri maankäyttöalueittain on koottu taulukkoon 4.

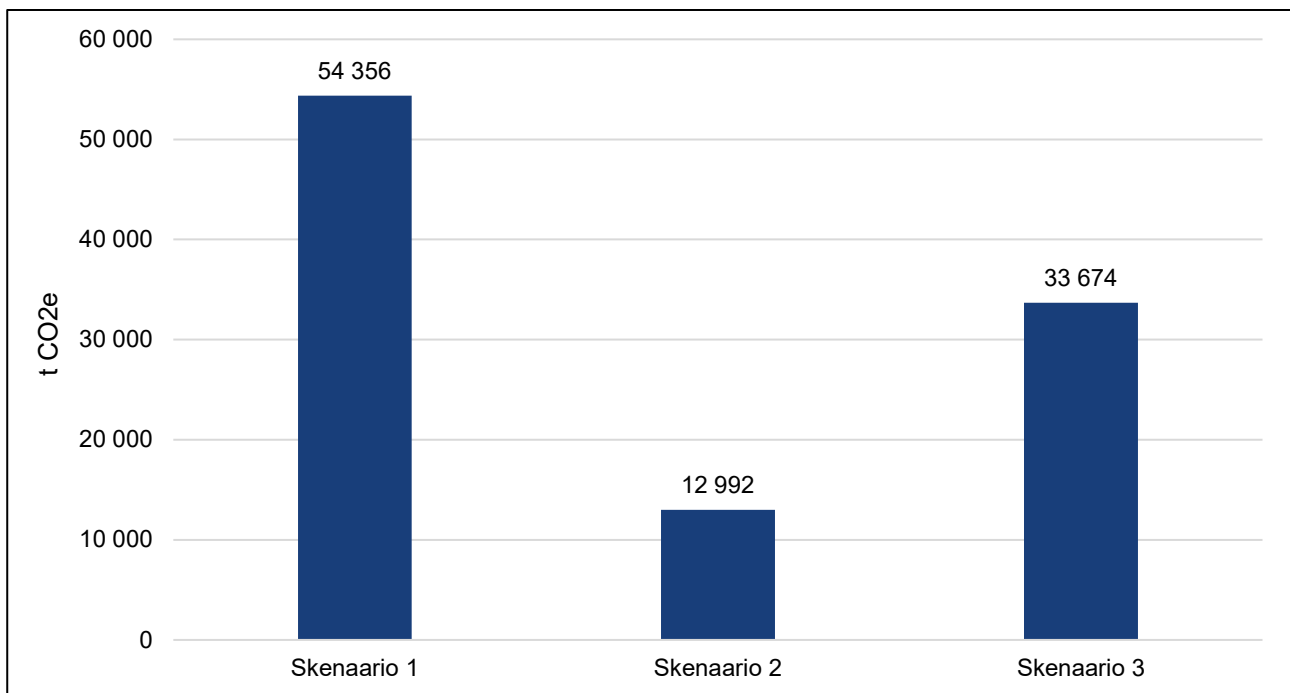
Taulukko 4. Maaperän käytön muutosten vaikutus hiilitaseeseen.

Maastotyyppi	Pinta-ala	Vuotuinen vaikutus	Elinkaarivaikutus
Pelto turvemaalla	98 ha	- 3 038 t CO ₂ e	- 91 138 t CO ₂ e
Turvetuotantoalue	20 ha	- 137 t CO ₂ e	- 4 109 t CO ₂ e
Muutosten yhteisvaikutus	118 ha	- 3 175 t CO ₂ e	- 95 246 t CO ₂ e

Maankäytön muutosten kokonaisvaikutus laskee päästöjä hankealueen maaperässä. Suhteutettuna aurinkovoimalan elinkaaripäästöihin maaperän muutosten vaikutus on noin 136 %, eli maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöhyödyt ovat suuremmat, kuin voimalan rakenteiden päästöt yhteensä. Suurin päästöjä alentava vaikutus on turvepelloilla, joiden viljelyn lopettaminen ja kosteuden palauttaminen vähentää maaperän päästöjä huomattavasti.

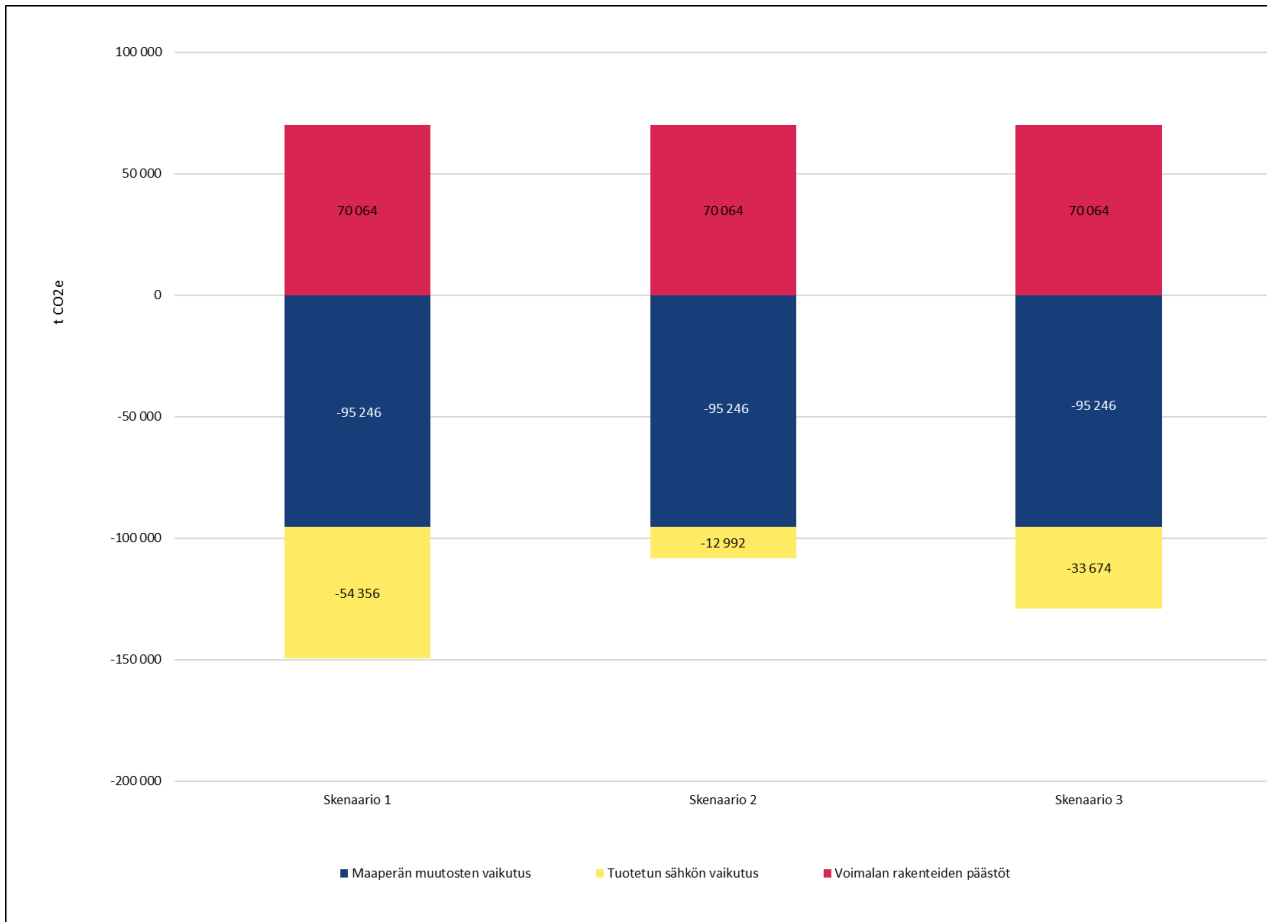
3.3 Aurinkovoimalan tuottaman sähkön syrjäyttämät päästöt

Kuvassa 8 on esitetty kolmen eri sähköntuotannon päästösyntytyksen skenaarion vaikutukset päästöjen vähenemisenä korvatus päästöintensivisemmän sähkön kulutuksen poistumisen muodossa.



Kuva 8. Aurinkovoimalan tuottaman sähkön syrjäyttämät päästöt skenaarioittain.

3.4 Tulosten yhteenveto



Kuva 9. Hiilitaseselvityksen eri osa-alueiden yhteenveto.

Kuvaan 9 on koottuna hiilitaseselvityksen kaikkien osa-alueiden kokonaisvaikutukset. Tulokset on esitetty kolmen eri sähköskenaarion mukaisesti. Tulokset on kerätty myös taulukkoon 5.

Taulukko 5. Tulosten yhteenveto (t CO2e)

Päästölähde	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3
Voimalan rakenteiden päästöt	70 064	70 064	70 064
Metsän poistamisen vaikutus*	0	0	0
Maaperän muutosten vaikutus	-95 246	-95 246	-95 246
Korvatus sähkön vaikutus*	-54 356	-12 992	-33 674
Päästönegatiivisuus	6. vuosi	17. vuosi	10. vuosi
Vaikutus yhteensä	-79 539	-38 175	-58 857

* Kasvihuonekaasuista huomioitu vain hiilidioksidi

Kaikissa kolmessa sähköskenaariossa voimala saavuttaa päästönegatiivisuuden, skenaariossa 1 tämä saavutetaan kuudentena vuotena, ja skenaarioissa 2 ja 3 myöhemmin, 17. ja 10. vuosina.

Kuten kaikissa skenaariossa arvioidaan, tulee Suomessa tuotettu sähkö puhdistumaan huomattavasti lähitulevaisuudessa. Lähivuosina uusiutuva sähkö vähentää sähkömarkkinoiden päästöjä, mutta vaikka maan sähköntuotannon päästöneutraaliuus saavutetaankin mahdollisesti jo vuonna 2035, mahdollistaa laajamittainen uusiutuvan sähkön tuotanto entistä enemmän vihreää teollisuutta samalla vähentäen koko maan päästöjä muillakin sektoreilla. Lisäksi Suomen sähkön kysynnän on arvioitu kasvavan huomattavasti jatkossa, mikä entisestään lisää päästöttömän sähkön tarvetta.

3.5 Johtopäätökset

Tässä raportissa tarkasteltiin Punkalaitumen Isosuolle suunnitellun aurinkovoimalan ympäristövaikutuksia hiilitaselaskennan keinoin. Selvityksen mukaan voimalan rakenteiden päästöt ovat pienemmät kuin maaperän muutoksista saatavat päästöhyödyt. Lisäksi päästöttömän sähkön korvaama verkon likaisempi sähkö tekee aurinkovoimalasta ilmastoposiitiivisen.

Suunnitellun aurinkovoimalan tuottaman sähkön ympäristövaikutuksia arvioitiin kolmen eri skenaarion avulla. Jokaisessa skenaariossa otettiin huomioon sähköntuotannon puhdistuminen oletuksella, että vuonna 2035 Suomen sähköntuotanto on päästötöntä.

Aurinkovoimala edistää Suomen sähköntuotannon päästötavoitteita ja vihreää siirtymää. Marginaalipäästöttömän sähköntuotannon lisääntyessä sähköverkon keskimääräinen päästökerroin pienenee. Tämän takia verkon sähkönkuluttajien päästöt pienenevät, mikä mahdollistaa huomattavat päästövähennykset tulevilla rakennuksilla ja prosesseilla muillakin sektoreilla.