

Ilmastovaikutusten arviointi

PIHLASSUON AURINKOVOIMAHANKE

ROOPE VAINIO, VAPO TERRA OY

10/2025

PÄIVITETTY 02/2026

VAPO TERRA OY
Yrjönkatu 42, PL 22
40100 Jyväskylä

Vaihde 020 790 4000
etunimi.sukunimi@neova-group.com
Y-tunnus 3311755-5

vapo.fi

VAPO TERRA OY
Yrjönkatu 42, P.O. Box 22
FI-40100 Jyväskylä

Phone +358 20 790 4000
firstname.lastname@neova-group.com
VAT FI33117555

vapo.fi

Päivitykset:

Hankkeen teho muutettu 80 MW -> 60 MW ja laskennan tulokset päivitetty.

Sisällys

1. Johdanto	4
2. Laskentayksikkö	5
2.1 Aurinkopaneelit.....	5
2.2 Balance of System.....	5
2.3 Balance of Plant	5
2.4 Sähkön siirto.....	6
3. Hiilitase.....	7
3.1 Voimalan elinkaari	7
Tuotevaihe.....	8
Rakentaminen	8
Käyttövaihe	8
Elinkaaren loppu	8
3.2 Menetelmät ja lähteet	8
Laskentaperiaatteet	8
Tietolähteet.....	9
4. Hankkeen perustiedot	10
5. Päästökertoimet	15
5.1 Syrjäytetty sähkö	16
6. Tulokset.....	18
6.1 Aurinkovoimahanke toteutuu.....	18
6.2 Syrjäytetyn sähkön vaikutus.....	21
6.3 Hanke ei toteudu	23
6.4 Vedenpinnan tasoa nostetaan.....	23
6.5 Vertailu	23

7. Johtopäätökset	24
7.1 Haitallisten vaikutusten lieventäminen	25
7.2 Varautuminen ilmastonmuutokseen	26
7.3 Epävarmuudet	26
8. Lähteet	28

1. Johdanto

Aurinkovoimahankkeiden nähdään edistävän uusiutuvan energian tuotantoa kansallisella tasolla ja edistävän valtion päästövähennystavoitteita. Suomi on sitoutunut olemaan sähköjärjestelmätasolla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Uusiutuvan energian tuotantolaitosten osuus tulee olemaan suuri ja aurinkovoiman osuuden ennustetaan olevan merkittävä sähköntuotannossa tulevaisuudessa. Fingridin sähköjärjestelmävisiossa ennustetaan aurinkovoiman kapasiteetin olevan 6-20 GW vuonna 2035, kun tällä hetkellä aurinkovoiman kapasiteetti on noin 1 GW (Fingrid, 2023).

Kuitenkin, vaikka aurinkovoima nähdään uusiutuvana energianlähteenä, on aurinkovoimalalla elinkaaren aikaisia päästöjä, mistä suurin osa syntyy tuotevaiheessa. Hiilidioksidi ja hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä syntyy niin tuotevaiheessa, rakennusvaiheessa kun operoinnin aikanakin. Tuotevaiheessa syntyvät päästöt edustavat paneelivalmistamisen myötä tyypillisesti suurinta osaa aurinkovoimalan päästöistä. Lisäksi merkittävää voi myös olla maaperän päästöt, joko hiiliposiitivisena tai hiilinegatiivisena tekijänä. Aurinkovoimalan ilmastovaikutuksia on tärkeä arvioida, jotta voimalarakentamisen hiilijalanjälki voidaan huomioida voimalan suunnittelussa.

2. Laskentayksikkö

Aurinkovoimalaitos koostuu aurinkopaneeleista, aurinkopaneelien kiinnityksen telineistä, telineiden perustuksista, huoltorakennuksesta sekä muista sähkölaitteista kuten inverttereistä ja muuntamoista. Aurinkovoimalaitoksen tekninen käyttöikä on 30-40 vuotta, minkä jälkeen voimalaitoksen elinikää voi jatkaa vaihtamalla aurinkopaneelit tai sen voi ennallistaa voimalan rakentamista edeltävään tilaan. Puretun voimalan osat kierrätetään.

2.1 Aurinkopaneelit

Aurinkovoimalaitoksessa aurinkopaneelit muuttavat aurinkosäteilyn sähköksi. Ne koostuvat puolijohteisista materiaaleista, tyypillisesti piistä. Tällä hetkellä markkinoilla on sekä yksi – että kaksipuoleisia aurinkopaneeleita. Kaksipuoleiset aurinkopaneelit nostavat aurinkovoimalan hyötysuhdetta. Tarkemmat tekniset valinnat tarkentuvat suunnittelun edetessä.

2.2 Balance of System

Balance Of System (BOS), kattaa kaikki aurinkovoimalan komponentit ja rakenteet pois lukien aurinkopaneelit. Aurinkopaneelit kiinnitetään teräksisiin maa-asenteisiin telineisiin. Telineillä nostetaan aurinkopaneelit sopivalle korkeudelle maaperästä sekä suunnataan ne sopivaan ilmansuuntaan sekä asennuskulmaan. Pihlassuolla paneelit on suunniteltu asennettavan 25 – 35 asteen kulmaan. Tarkemmat tekniset valinnat tarkentuvat suunnittelun edetessä.

Aurinkopaneelitelineet kiinnitetään maahan useimmiten täryttämällä tai kiertämällä teräsmaalut maaperään routarajan alapuolelle. Mikäli maaperään ei saa paaluja, voidaan ne kiinnittää betonielementtien päälle. Perustamistapa ei vaadi maa-aineksen vaihtamista.

2.3 Balance of Plant

Balance Of Plant (BOP), tarkoitetaan voimalakokonaisuuden ulkopuolelle jäävää aluetta. BOP:n luetaan mukaan aurinkovoimalan tiestö sekä maaperä. Aurinkovoimalan tiestö jaetaan

kunnostettaviin ja uusiin teihin, joille lasketaan päästökertoimet. BOP rakentamiseen huomioidaan myös puusto, mikäli alueelta joudutaan karsimaan puita.

2.4 Sähkön siirto

Tuuli- ja aurinkovoimahankkeisiin kuuluu tyypillisesti voimajohto, millä siirretään sähkö sähköasemalle. Tässä laskennassa huomioidaan keskijännitteinen maakaapeli, sen maaperän muokkaukset ja sen muutoksen aiheuttamat päästöt.

3. Hiilitase

Hiilitase tarkoittaa yksinkertaisimmillaan hiilivaraston muutosta vuositason määritetyn alueen tai systeemin sisällä. Hiilitase kuvaa hiilen kiertokulkua, jossa hiiltä sitoutuu maaperään, mistä se joko luonnollisesti ajallaan hajoaa takaisin ilmakehään, tai ihmisen toiminnan seurauksena nopeammalla syklillä. Mikäli hiilitase on negatiivinen, on ympäristöön päässyt enemmän hiilidioksidia kuin sitä on sidottu, ja mikäli hiilitase on positiivinen, on ympäristöön sidottu enemmän hiilidioksidia kuin mitä vapautunut. (Vainio, 2024). Hiilitaselaskennassa lasketaan määritetyn järjestelmän sisällä hiilijalanjälki sekä hiilikädenjälki. Tyypillisesti näitä käsitellään erillisinä kokonaisuuksina, mutta tässä selvityksessä niiden vaikutukset esitetään myös toisiaan kumoavana. Tässä selvityksessä tarkastellaan sekä hiilidioksidipäästöjä (CO₂), että hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä (CO₂-e.) ja tulokset ilmoitetaan CO₂-e, päästöinä.

3.1 Voimalan elinkaari

Voimalan elinkaaren vaiheet luokitellaan tuotevaiheeseen, rakentamiseen, käyttövaiheeseen ja elinkaaren lopun vaiheeseen. Tämä luokittelu perustuu EN15804 standardiin, mitä myös käytetään Ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen oppaassa. (Kuittinen 2019).

Taulukko 1 EN 15804 standardin mukaiset elinkaaren vaiheet

Tuotevaihe A1-A3	Rakentaminen A4-A5	Käyttövaihe B1-B7		Elinkaaren loppu C1-C4
A1 Raaka-aineen hankinta	A4 Kuljetus työmaalle	B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa	B5 Laajamittaiset korjaukset	C1 Purkaminen
A2 Kuljetus valmistukseen	A5 Työmaatoiminnot	B2 Kunnossapito	B6 Energian käyttö	C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn
A3 Tuotteen valmistus		B3 Korjaukset	B7 Veden käyttö	C3 Purkujätteen käsittely
		B4 Osien vaihto		C4 Purkujätteen loppusijoitus

Tuotevaihe

Tuotevaiheessa tarvittavat komponentit valmistetaan raakamateriaalista. Tässä elinkaaren vaiheessa otetaan huomioon niin raaka-aineen hankinta, kuljetus valmistukseen sekä tuotteen valmistus. Useimmiten komponenttien päästöt sisältyvät standardin moduuleihin A1-A3.

Rakentaminen

Rakentamisvaiheessa komponentit kuljetetaan työmaalle sekä tarvittavat rakennelmat rakennetaan työmaalla. Rakentamisvaihe kattaa niin teiden rakentamisen, maaston muokkauksen kuin voimaloiden perustamisen.

Käyttövaihe

Käyttövaiheeseen siirytään kun aurinkovoimala alkaa tuottamaan sähköä. Käyttövaihe kattaa energiantuotannon sekä tarvittavat huoltotoimenpiteet. Aurinkovoimalaitoksella tarvittaviin huoltotoimenpiteisiin kuuluu esimerkiksi inverttereiden vaihto 15. vuoden kohdalla, sekä muiden komponenttien rikkoutumiset.

Elinkaaren loppu

Elinkaaren lopussa huomioidaan komponenttien kierrätys sekä purkamisen työmaatoimenpiteet. Eri tuotteilla on eri kierrätysasteet, mitkä otetaan laskennassa huomioon. Lainsäädännön mukaisesti aurinkovoimalat puretaan operointivaiheen jälkeen käytöstä poistaessa. Tähän poikkeuksena lainsäädäntö tällä hetkellä sallii kaapeleiden jättämisen maahan.

3.2 Menetelmät ja lähteet

Laskentaperiaatteet

Aurinkovoimalan hiilitaselaskentaan ei ole suoraan kehitettyä omaa standardia, joskin aurinkovoimalaa voidaan tarkastella rakennuksena ja käyttää rakennusten vähähiilisyyteen perustuvia standardeja. Tämä laskenta on toteutettu Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaan, mikä taas pohjautuu Euroopan Komission Level(s) standardiin sekä EN-15643, EN15978 ja EN15804 standardeihin (Kuittinen, 2019). Tässä selvityksessä toistetaan Vainion (2024), laskentamenetelmää aurinkovoimaloiden hiilitaseesta, mikä on toteutettu Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän pohjalta.

Tietolähteet

Tässä selvityksessä käytetään monipuolisesti eri lähteitä niiden todenmukaisuutta arvioiden. Aurinkopaneeleille (Siiskonen, 2023), monille muille komponenteille sekä terästuotteille (Häkkinen, 2020) tässä työssä hyödynnetään SYKE:n ylläpitämää päästötietokantaa. Komponenteille saatetaan myös hyödyntää suoraan valmistajan ilmoittamia arvoja, mikäli nähdään, että ne ovat yleisiä arvioita todenmukaisempia ja mikäli tarkat komponenttivalinnat ovat jo tiedossa.

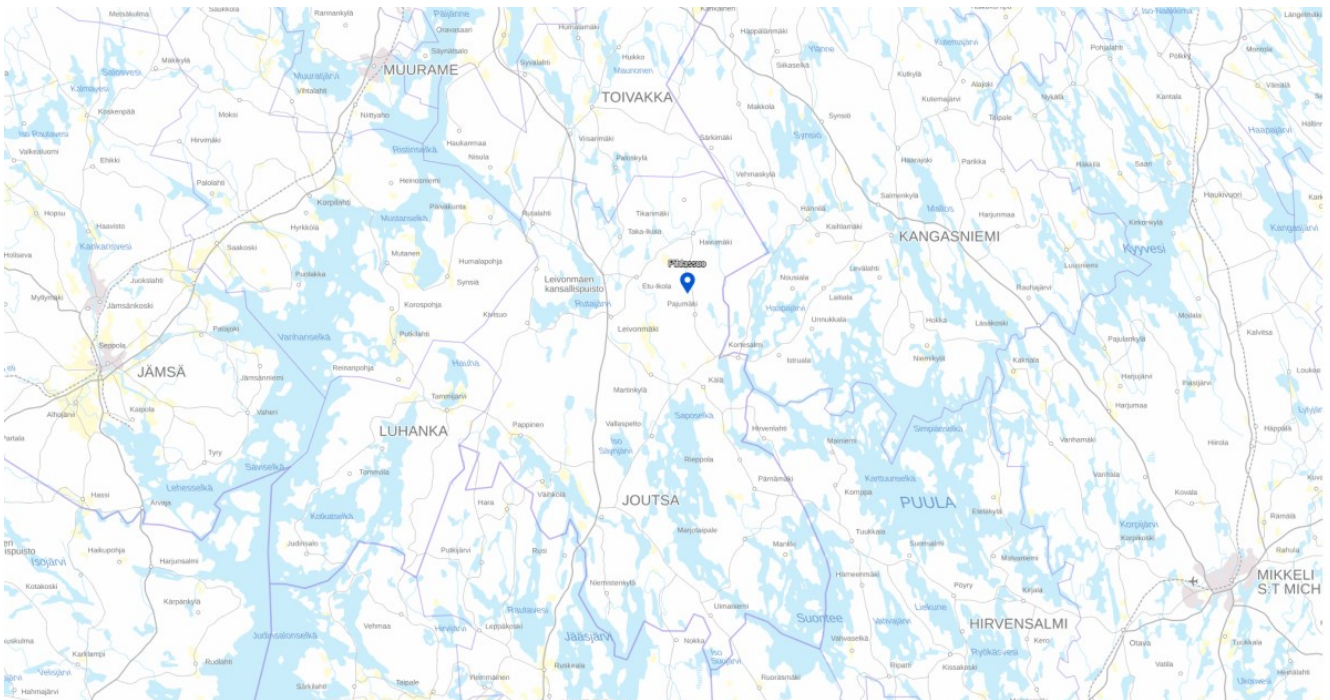
Maaperän päästöjä arvioidaan LUKE:n ja Tilastokeskuksen tutkimusten mukaisesti. (Aro 2023 & Statistics Finland, 2024). Maaperän päästöt arvioidaan tilanteessa, jossa aurinkovoimalaa ei toteudu sekä tilanteessa, jossa aurinkovoimala toteutuu. Tienrakentamisen päästöissä hyödynnetään infrarakentamisen päästötietokantaa (Syke 2024). Lisäksi metodien määrittämisessä sekä tulosten tulkinnassa on käytetty LUKE:n aurinkometsähankkeen loppuraporttia (Muhonen et.al. 2024)

Puuston osalta päästöjä arvioidaan maanmittauslaitoksen ylläpitämän MVMI tietokannan mukaisesti. Puuston sitomaa hiilidioksidia taas arvioidaan mm. Hamberg et. al. (2016), tutkimuksen perusteella.

4. Hankkeen perustiedot

Vapo Terra Oy on tunnistanut Pihlassuon käytöstä poistuneen turvetuotantoalueen potentiaalisesti aurinkovoima-alueeksi. Suunnittelualueen koko on noin 154 ha. Suunnittelualueen turvetuotanto on lopetettu 2021. Käytöstä poistuneella turvetuotantoalueella kasvaa sarkaojissa heinikkoa ja lyhytkasvuista puustoa. Suunnitellun voimalan koko on maksimissaan 60 MWac, mitä käytetään tässä selvityksessä. Käytöstä poistunutta turvetuotantoaluetta ei kuivateta lisää, vaan aurinkovoimala pyritään rakentamaan nykyisissä olosuhteissa, tai mikäli teknistaloudellisesti se nähdään myöhemmässä suunnitteluvaiheessa mahdolliseksi, nostetaan vedenpinnan tasoa. Mikäli aurinkovoimala ei toteudu, käytöstä poistuneelle turvetuotantoalueelle annetaan levitä kasvillisuutta luontaisesti vuonna 2023 tehdyn tuhkalannoittamisen jälkeen. Hankkeelle on tehty vesienhallintasuunnitelma, missä avataan tarkemmin vesienhallinnallisia toimia, mikä on esitetty liitteessä 1.

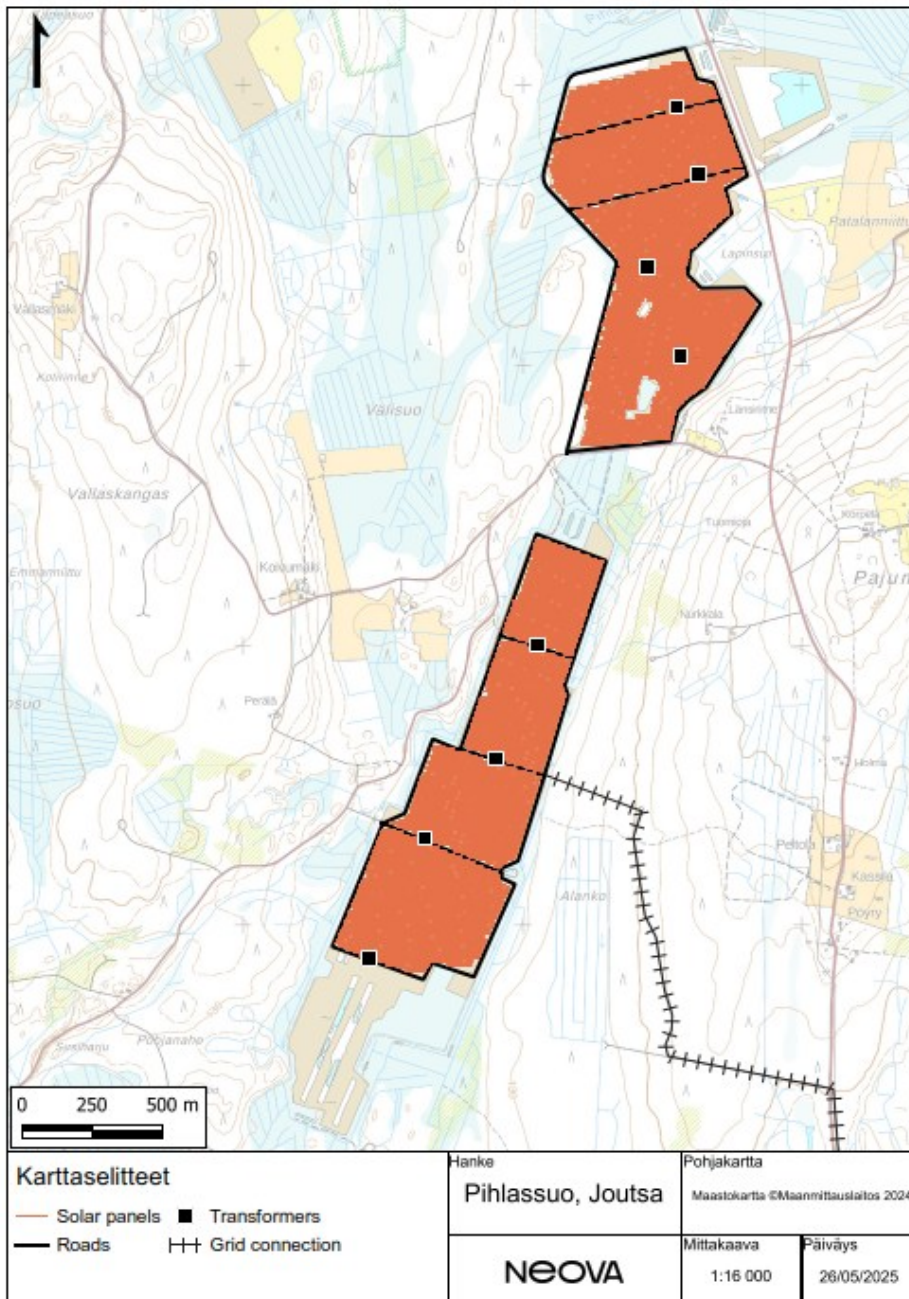
Hankealueen sijainti: 61°55'50.8"N 26°15'38.2"E. Hankealueen sijainti esitetty kuvassa 2.



Kuva 1 Hankealue kartalla

Alueen eteläpuolelta kulkee Järvi-Suomen Energian 110kV voimalinja, johon liitytään johdonvarsiliitynnällä.

Aurinkovoimala-alue, johon sijoitellaan paneeleja, muita sähkölaitteistoa sekä huolto-/varastorakennus, tullaan aitaamaan. Kuitenkaan koko suunnittelualueetta ei aidata, sillä suunnittelualueella on enemmän pinta-alaa kuin on suunniteltu hyödynnettävän.



Kuva 2 Hankealue

Kuvassa 4 esitetään ilmakehu Pihlassuon käytöstä poistuneesta turvetuotantoalueesta. Tilassa, jossa alueelle perustettaisiin aurinkovoimala, alueella ei ole juuri kasvillisuutta. Muutamia sarkaojien varsia on ehtinyt kasvittua. Alueella ei ole näiden lisäksi kasvillisuutta mitä jouduttaisiin poistamaan.



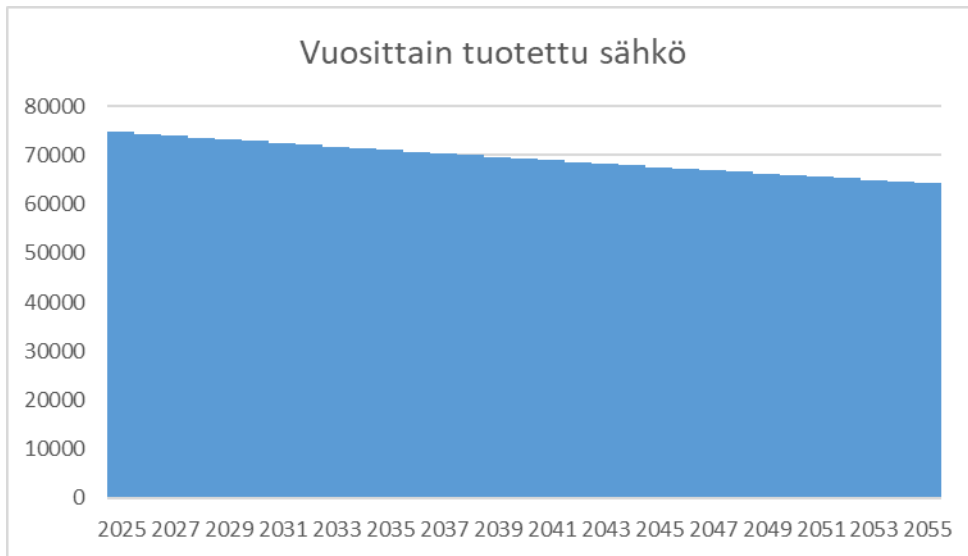
Kuva 3 Ilmakehu Pihlassuon käytöstä poistuneesta turvetuotantoalueesta

Taulukossa 1 ilmoitetaan laskennan lähtötiedot pitäen sisällään komponenttimäärät, maaperän olosuhteet sekä muut tarvittavat tiedot laskentaan.

Taulukko 2 Laskennan lähtötiedot

	<i>Osa-alue</i>	<i>yksikkö</i>	<i>lukumäärä</i>
<i>Voimalan komponentit</i>	Paneelit	kpl	132932
	Invertterit	kpl	170
	Muuntamot	kpl	9
	Telineet	kpl	5538
	Kierrepaalu	kpl	22 155
<i>Maaperä</i>	Hävitetty puusto	m ³	0
	Käytöstä poistunutta turvetuotantoaluetta	ha	130
<i>BOP-rakentaminen</i>	Uudet tiet	km	10
	Kunnostettavat tiet	km	10
<i>Energia</i>	Vuosituotto alussa	GWh	99
	Vuosittainen rappeuma	%	0,50 %
<i>Lähtötiedot</i>	1. Laskentavuosi		2025
	Tuotanto käynnistyy		2026
	Pitoaika		30
	Kuljetusreitti		Shanghai-Joutsa

Kuviossa 1 havainnollistetaan hankkeen vuosittain tuottaman sähkön määrää ja sen kehitystä vuoteen 2055 mennessä. Hankkeen sähköntuotanto vähenee paneelien rappeuman myötä vuosittain 0,5 %. Hankkeen kokonaissähköntuotanto on 2151 GWh.



Kuvio 1 Sähköntuotannon kehittyminen 0,5 % rappeumalla

5. Päästökertoimet

Päästökertoimet on arvioitu valmistajien ilmoittamien arvojen, kirjallisuuden tai päästötietokannan avulla.

Taulukko 3 Voimalan komponenttien päästökertoimet

	Komponentti	Yksikkö	Kerroin	Lähde
<i>Voimalan komponentit</i>	Paneelit	kg CO ₂ / n	350,68	Päästötietokannan arvo (Siiskonen 2023)
	Invertterit	kg CO ₂ / kWp	56,25	Salassapidettävän valmistajan arvo
	Muuntamot	kg CO ₂ / MVA	37800	Rintala 2021
	Telineet	kg CO ₂ / kg	4,6	Häkkinen 2020
	Perustukset	kg CO ₂ / kg	4,6	Häkkinen 2020

Maaperän päästökertoimet on arvioitu LUKE:n tutkimuksen (Aro, 2023) mukaisesti ja teihin menevän murskeen päästökertoimet on arvioitu päästötietokannan päästökertoimen mukaisesti sekä murskemäärät Räsänen (2015) tutkimuksen mukaisesti. Turvemaalla aurinkovoimalan rakentamisen jälkeen maaperä nähdään ruohikkoalueena. Lisäksi raportissa arvioidaan vedenpinnan nostamisen vaikutusta päästökertoimeen. Käytöstä poistuneelle turvetuotantoalueelle annetaan levitä kasvillisuutta lannoituksen jälkeen. Vedenpinnan nostamiseen ei ole olemassa suoraan käytettävää päästökerrointa, joten päästökerron on arvioitu lineaarisella mallilla käyttäen datapisteinä käytöstä poistuneen turvetuotantoalueen (vedenpinta 100cm maanpinnan alapuolella) sekä vettämisen (vedenpinta samassa tasossa) päästökertoimia. Todellisuudessa päästöt eivät käyttäydy aivan lineaarisen mallin mukaisesti, mutta tulos on kuitenkin suuntaa antava kuvaamaan tehtyjen toimien vaikutusta.

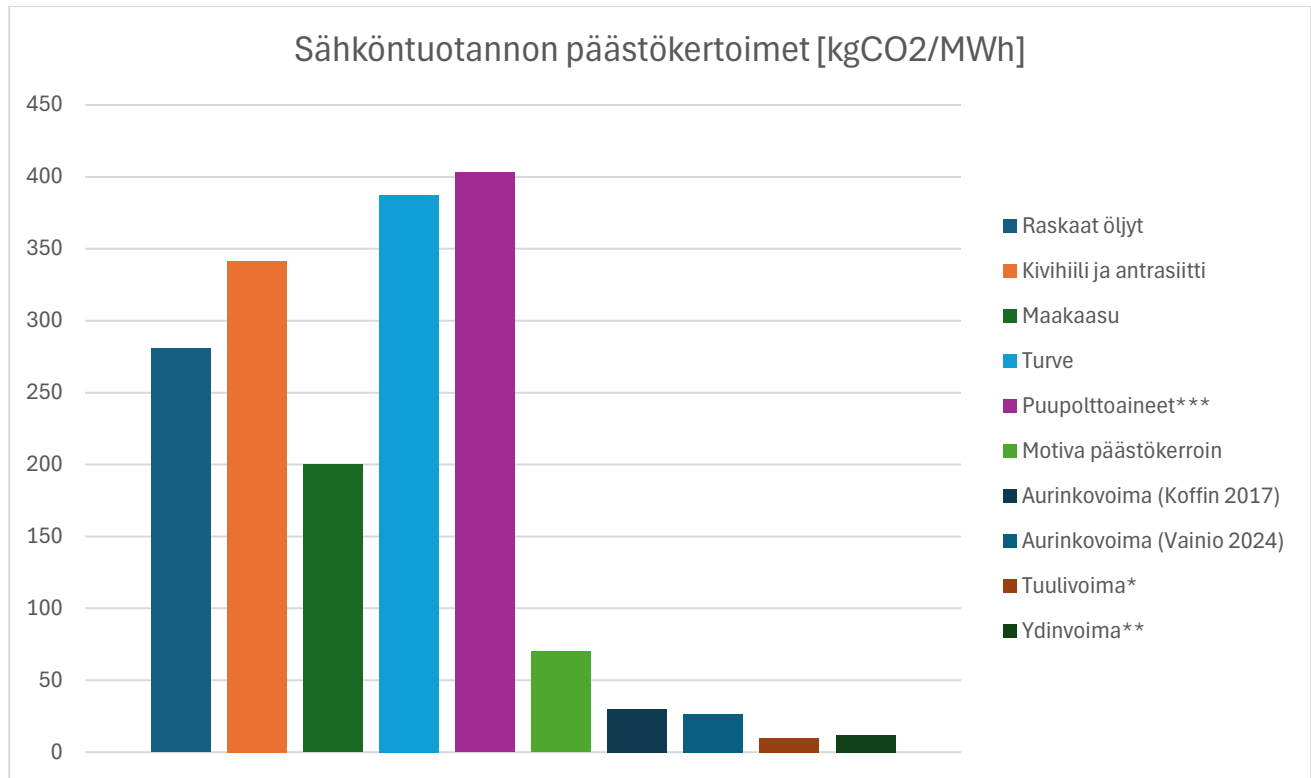
Toimitusketjun päästöt on arvioitu EcoTransit ohjelman avulla, mikä noudattaa EN14083 standardia. Toimitusketjusta ei tässä hetkessä ole täyttä varmuutta paneelien osalta, mutta sen on ennustettu olevan Shanghai – Joutsa.

Taulukko 4 Maaperän ja BOP rakentamisen päästökertoimet

	Osa-alue	Yksikkö	Määrä	Muutos (vrt. käytöstä poistunut tur.tuot.al.)
Maaperä	Hävitetty puusto	kg CO ₂ / m ³	999	
	Turvetuotantoalue	t CO ₂ /ha/a	16,2	5,8
	Käytöstä poistunut turvetuotantoalue	t CO ₂ /ha/a	10,6	0
	Vettynyt turvetuotantoalue	t CO ₂ /ha/a	1,2	-9,4
	Vedenpinta nostettu 20 cm maanpinnan tason alapuolelle	t CO ₂ /ha/a	3,1	-7,5
BOP-rakentaminen	Uudet tiet	kg CO ₂ /km	13250	
	Kunnostettavat tiet	kg CO ₂ /km	5300	
Kuljetus	Kuljetus	t CO ₂ /kontti	2,04	

5.1 Syrjäytetty sähkö

Aurinkovoimahankkeen positiivisia vaikutuksia arvioidaan vertaamalla aurinkovoiman päästökerrointa suomen sähköjärjestelmän päästökertoimeen sekä yksittäisiin energiantuotantomuotoihin. Kuviossa 2 tarkastellaan Suomen sähköntuotantomuotojen päästökertoimia sekä Motivan ilmoittamaa suomen sähköntuotannon keskimääräistä päästökerrointa. Motiva on ilmoittanut Suomen sähköntuotannon päästökertoimeksi 70 kg CO₂/MWh. Monet tutkimukset ovat havainneet aurinkovoimalan päästökertoimen olevan noin 30. (Koffin et. al. 2017 & Vainio 2024), joten tyypillisesti aurinkovoimalan päästökerroin on keskimääräistä sähköjärjestelmän päästökerrointa pienempi. Tähän kuitenkin vaikuttaa voimalakohtaiset suunnittelutekijät. On myös huomioitava, että polttoaineiden kohdalla huomioidaan pelkästään primääripäästöt polttoaineiden polttamisesta eikä esimerkiksi voimalaitokset rakentamisen päästöjä tai polttoaineiden hankinnan aiheuttamia päästöjä, eli todellisuudessa näillä polttoaineilla tuotettu sähkö on tämän selvityksen vertautuvalla tavalla arvioituna kuviossa ilmaistua suuremmat.



Kuvio 2 Tilastokeskuksen ilmoittamat päästökertoimet yleisimmille energiatuotannon polttoaineille (Tilastokeskus, 2024),
*Koffin et. al (2017) ilmoittamat päästökertoimet tuulivoimalle ja **Shlömer et. al., ilmoittama päästökerroin ydinvoimalle. ***
Puupolttoaineita pidetään Suomen päästötarkastelussa uusiutuvana energiana, eli laskennallisesti puupolttoaineiden
päästöt ovat 0 kgCO₂-e./MWh. (Vainio, 2024)

Syrjäytetyn sähkön vaikutusta arvioidaan myös elinkaaren aikaisesti kahdella eri skenaariolla:

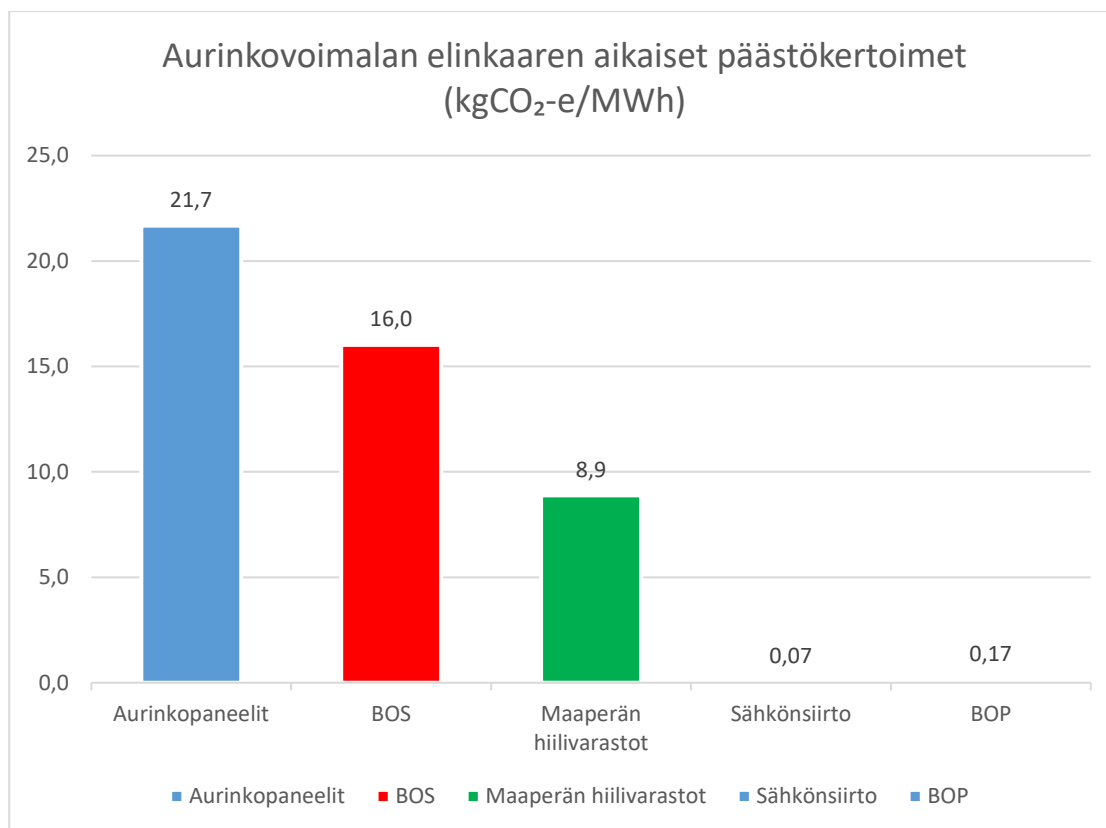
1. Hyödynnetään Motivan ilmoittamaa päästökerrointa 70 kg CO₂/MWh. Päästökerroin laskee lineaarisesti siten, että päästökerroin on 0 kg CO₂/MWh vuonna 2035.
2. Hyödynnetään päästökertoimenä 150 kg CO₂/MWh, sillä korvatus sähkön päästökerroin on todennäköisesti suurempaa kuin keskimääräinen päästökerroin. Päästökerroin laskee lineaarisesti siten, että päästökerroin on 0 kg CO₂/MWh vuonna 2035.

6. Tulokset

Tässä kappaleessa käsitellään hiilitaselaskennan tuloksia kahdesta näkökulmasta; aurinkovoimahanke toteutuu sekä aurinkovoimahanke ei toteudu. Ensin tarkastellaan aurinkovoimahankeen potentiaalisia kasvihuonekaasupäästöjä, minkä jälkeen tarkastellaan alueen päästöjä mikäli hanke ei toteudu. Näitä kahta vaihtoehtoa verrataan toisiinsa.

6.1 Aurinkovoimahanke toteutuu

Pihlassuon aurinkovoimalan elinkaaren aikainen hiilidioksidipäästöpotentiaali on 92 298t CO₂-e sekä aurinkovoimalan päästökerroin suhteutettuna elinkaaren aikaiseen energiantuotantoon on 42,9 kgCO₂-e/MWh. Tässä lukemassa huomioidaan myös maaperän päästöt, mitkä ovat yksinään 8,9 kgCO₂-e/MWh, sillä maankäytön muutosten myötä aurinkovoimalan elinkaaren aikana maaperästä vapautuu hiiltä 19 110 t CO₂-e. Ilman maankäytön muutosten huomioimista voimalan päästöt ovat 34 kgCO₂-e/MWh. Kuviossa 3 havainnollistetaan näitä päästökertoimia.



Kuvio 3 Aurinkovoimalan elinkaaren aikaiset päästökertoimet (kgCO₂-e/MWh)

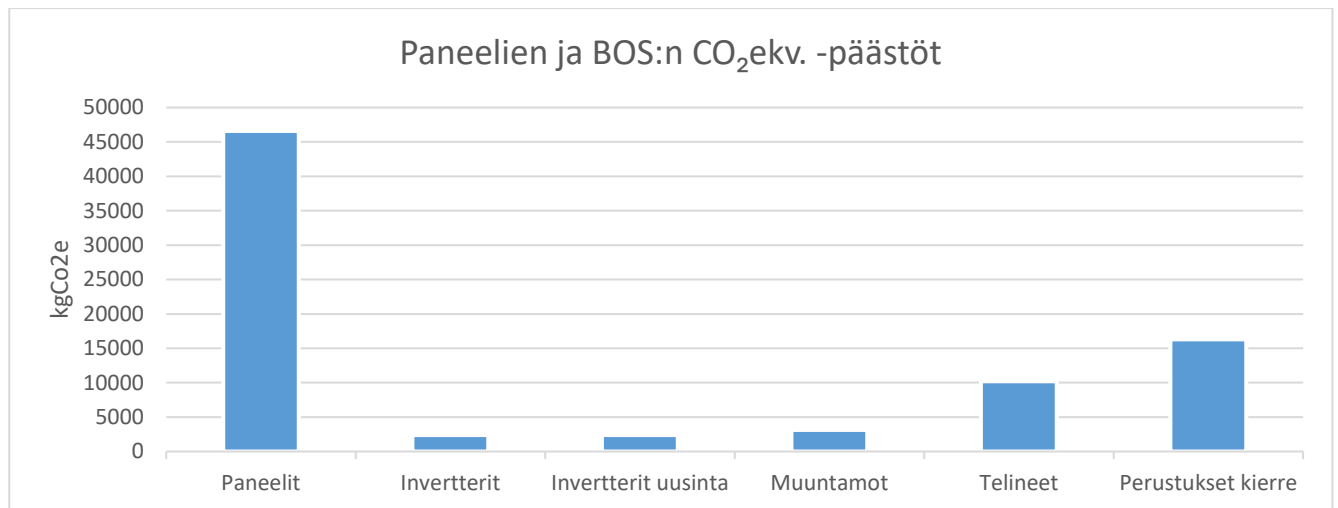
Maaperän päästökerroin on laskettu siten, että muutosten jälkeiset kokonaispäästöt ovat vähennetty ennen muutoksia tapahtuvista vuosittaisista päästöistä. Täten maaperän hiilinieluja menetetään 19 110 t CO₂-e. enemmän kuin tilanteessa, jossa hanke ei toteudu.

Euroopan komission Level(s) menetelmän mukainen raportointi kasvihuonekaasupäästöpotentiaaleille esitetään taulukossa 4. Menetelmän mukaisesti kasvihuonekaasupäästöt eritellään fossiilisiin sekä bioperäisiin päästöihin.

Taulukko 5 Euroopan Komission Level(s) menetelmän mukainen kasvihuonekaasupäästöjen raportointi.

OSIO	YKSIKKÖ	TUOTE (A1-3)	RAKENTAMINEN (A4-5)	KÄYTTÖ (B1-7)	ELINKAAREN LOPPU (C1-4)	PROSESSIN ULKOPUOLELLA (D)
(1) GWP - FOSSIILISET	t CO ₂ e.	81074	370	-48921	-8862	0
(2) GWP - BIOPERÄISET	t CO ₂ e.	0	0,00	0	0	0
GWP - GHG 1+2	t CO ₂ e.	81074	370	0	0	0
(3) GWP - MAANKÄYTÖN MUUTOS	t CO ₂ e.	0	0	60450	0	0
GWP - YHTEENSÄ 1+2+3	T CO₂ E.	81074	370	11529	-8862	0

Aurinkovoimalan ilmastopäästöpotentiaalista 52 % tulee aurinkopaneelien tuottamista ilmastopäästöistä. Yhteenlaskettuna metallituotteet eli telineet ja perustukset tuottavat seuraavaksi eniten, 38 % päästöistä. Näitä päästömääriä on havainnollistettu kuviossa 4.



Kuvio 4 Aurinkovoimalan komponenttien päästöt

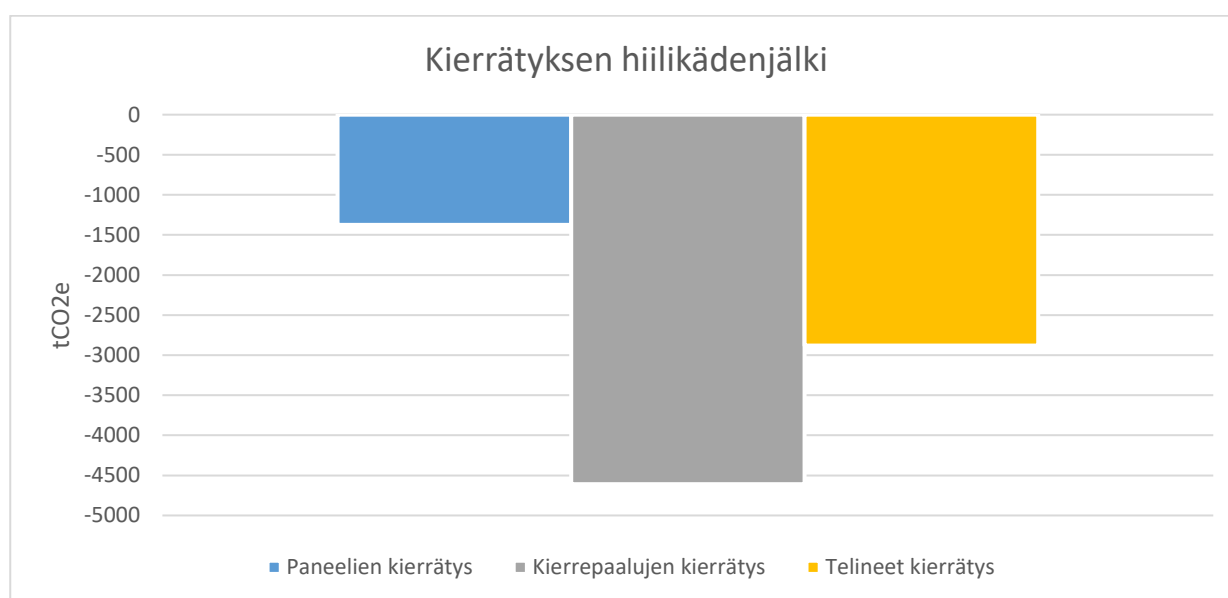
BOP:n eli alueen teiden ja maaperän rakentamisen CO₂-e. päästöpotentiaali on marginaalinen. Alueella ei toteuteta massanvaihtoa paitsi tiealueilla. Alueelle arvioidaan tulevan uusia teitä 10km ja kunnostettavia teitä 10km. Paneelikenttien alle ei toteuteta massanvaihtoa. Alueella ei ole puustoa, joten sen vaikutusta hiilinieluihin ei ole eikä myöskään hiilivuotoa. Taulukossa 5 esitetään BOP:n päästöt.

Taulukko 6 BOP päästöt

OSA-ALUE	YKSIKKÖ	MÄÄRÄ
Hävitetty puusto	t CO ₂	0,00
Uudet tiet	t CO ₂	265,00
Kunnostettavat tiet	t CO ₂	104,69
BOP	t CO₂	369,69

Aurinkovoimalan komponentit ja terästuotteet kierrätetään elinkaaren päättymisen jälkeen. Kierrätyksen laskenta on toteutettu rakennuksen vähähiilisyys - ohjeistuksen mukaisesti.

Paneeleista voidaan kierrättää suurin osa materiaaleista, mutta kierrätys on päästöintensiivistä. Yhdestä paneelistä saadaan takaisin vain 0,17 % CO₂-e. päästöistä, kun taas terästuotteista saadaan takaisin noin 28 % CO₂-e. päästöistä. Absoluuttisesti sekä suhteellisesti tarkasteltuna, metallituotteista saadaan suurin hyöty kierrättämällä. Paneelien kierrätyksestä saadaan takaisin 1 374 t CO₂-e. päästöistä, ruuvipaalujen kierrättämisestä 4608 t CO₂ -e. ja telineiden kierrätyksestä 2 880 CO₂ -e. Kuviossa 5 esitetään kierrätyksen hiilikädenjäljen absoluuttiset arvot. Tämän hetken aurinkopaneeleista on WEEE- direktiivin mukaisesti kierrätettävä vähintään 80 %, mutta koska tällä hetkellä käyttöönotetut paneelit poistetaan käytöstä noin 30 -vuoden päästä, on silloin todennäköisesti jo edistyskellisempiä tekniikoita voimaloiden kierrättämiseen. (Majewski et. al. 2021).



Kuvio 5 Kierrätyksen hiilikädenjälki

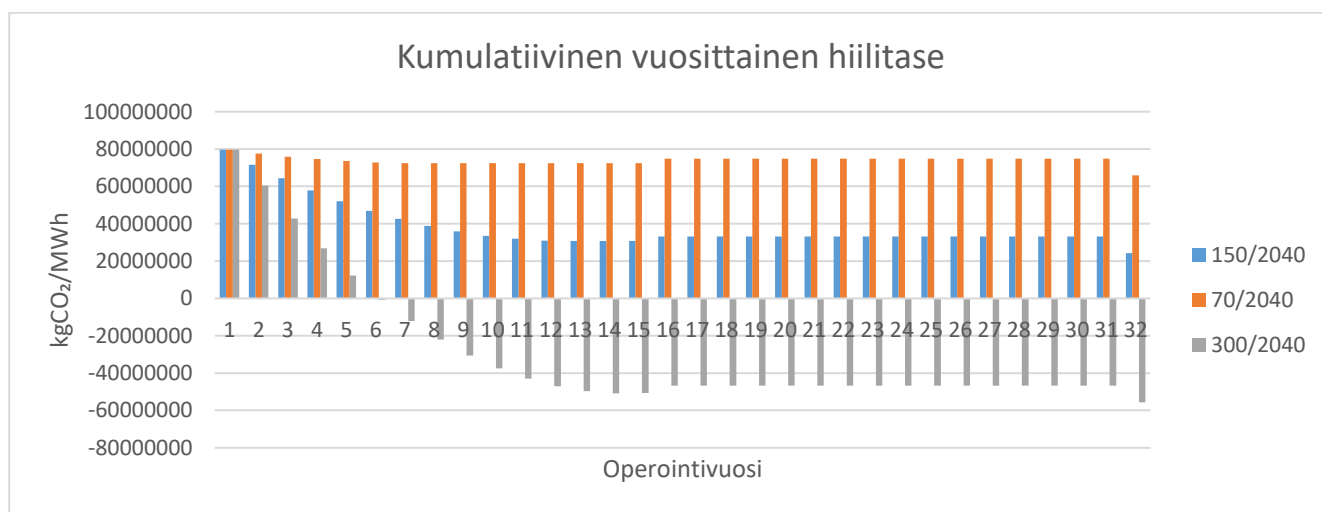
6.2 Syrjäytetyn sähkön vaikutus

Hanke tuottaa elinkaarensa aikana noin 2 151 GWh sähköenergiaa. Hankkeella on 13. ensimmäisellä operointivuotena Skenaarion 2 mukaisesti hiilikädenjälkipotentiaalia, minkä suuruutta havainnollistetaan kuviossa 6. Skenaariossa oletetaan, että vuoden 2035 jälkeen nykyisillä ilmastotoimilla Suomen sähköjärjestelmä on päästötön.



Kuvio 6 Vuositainen hiilikädenjälkipotentiaali operointiajalta

Kuviossa 7 havainnollistetaan hankkeen kumulatiivista vuosittaista hiilitasetta. Mikäli korvatus sähkön päästökertoimeksi arvioidaan 70 kgCO₂/MWh, ei hankkeen kumulatiivinen hiilitase pienene merkittävästi. Mikäli päästökertoimeksi arvioidaan 150 kgCO₂/MWh päästään hankkeessa lähelle hiilineutraalia lopputulosta. 15. operointivuoden nousu hiilitaseessa tapahtuu inverttereiden vaihdon myötä. Lisäksi kuviossa esitetään, mikäli korvattavan sähkön päästökerroin olisi 300 kgCO₂/MWh, millä hankkeen kumulatiiviset päästöt olisivat hiiliposiitiviset.



Kuvio 7 Hankkeen kumulatiivinen hiilitase

6.3 Hanke ei toteudu

Alueella ei ole tällä hetkellä muuta maankäyttömuotoa, mikä muuttaisi aluetta merkittävästi. Mikäli aurinkovoimahanke ei toteudu, annetaan alueelle levitä kasvillisuutta. Entinen turvetuotantoalue menettää vuodessa 1 378 t CO₂e. hiilivarastoja ja elinkaaren aikaisesti 41 340 t CO₂e.

6.4 Vedenpinnan tasoa nostetaan

Mikäli suunnitteluvaiheessa todetaan, että vesitasoa pystytään nostamaan 20 cm maanpinnan taso alapuolelle ja se on voimalaitoksen toiminnan kannalta mahdollista, muuttuu päästökerroin ruohikkoalueen päästökertoimesta (15,5 t CO₂e/ha/a), kertoimeen missä on huomioitu vedenpinnan tason vaikutus turvetuotantoalueen päästöihin (3,55 t CO₂e/ha/a).

Aurinkovoimalle osoitetun alueen elinkaaren aikaiset maaperän kokonaispäästöt, mikäli aluetta ei kostuteta enempää, ovat 72 075 t CO₂-e, ja mikäli vedenpinnan taso nostetaan 20 cm maanpinnan tason alapuolelle, ovat elinkaaren aikaiset maaperän päästöt 13 845 t CO₂-e. Vedenpinnan nostamisella saataisiin positiivisia vaikutuksia 27 495 t CO₂-e hankkeen elinkaaren ajalta.

On kuitenkin huomioitava, että vedenpinnan tason nostoa ei ole teknistaloudellisesti arvioitu ja se voisi asettaa haasteita, mikä tekee hankkeesta toteuttamiskelvottoman.

6.5 Vertailu

Mikäli hanke ei toteudu, jää noin 71 t CO₂e. päästöjä toteutumatta, mutta samalla menetetään myös hiilikädenjälkipotentiaali 1 893 GWh:n sähköntuotannosta. Maaperän päästöt aurinkovoimahankkeen toteutuessa on maankäytön muutosten myötä 28 639 t CO₂e., eli mikäli aurinkovoimahanke toteutuu, lisääntyvät maaperän päästöt 12 053 t CO₂e.

Taulukko 7 Vertailu hankkeen toteutumisesta

AURINKOVOIMAHANKKEEN TILA	PÄÄSTÖT (CO ₂ E.)	SÄHKÖNTUOTANTO
EI TOTEUDU	41 340 t	0 GWh
TOTEUTUU	92 298 t	2 151 GWh
TOTEUTUU OSITTAISELLA VETTÄMISELLÄ	45 692 t	2 151 GWh

7. Johtopäätökset

Pihlassuon aurinkovoimahankeen ilmastopäästöpotentiaali on 92 298 t CO₂e. ja energiantuotannon päästökerroin 42,9 kg CO₂e./MWh. Tästä päästökertoimesta 8,9 kgCO₂-e/MWh tulee maankäytön muutoksista. Aurinkovoimalan päästöt muodostuvat suurimmalta osin komponenttien valmistuksesta sekä voimalan rakentamisesta. Toinen päästölähde Pihlassuon aurinkovoimalalla on maaperän hiilivarastojen muutos. Mikäli aurinkovoimahanke sijoittuisi metsätalousmaalle, olisi myös hiilivuoto ja puuston hiilivaraston muutokset suuri yksittäinen tekijä, mutta Pihlassuon aurinkovoimahankeen sijoittuessa täysin käytöstä poistuneelle turvetuotantoalueelle, ei näitä vaikutuksia ole.

Ilmastaselvityksen tulokset osoittavat, että vain muut uusiutuvat energiantuotantomuodot sekä ydinvoima on vastaavalla tai pienemmällä päästökertoimella tuotettua energiaa. Polttovoimalla tuotettu energia on moninkertaisesti suuremman päästökertoimen omaavaa. Aurinkovoimalla korvattaessa sähkömarkkinoilla olevaa sekasähköä, on aurinkovoiman päästökerroin huomattavasti pienempi, vaikka Suomessa sähköntuotanto on jo verrattain vähäpäästöistä. Jopa Motivan ilmoittama sähköjärjestelmän päästökerroin on lähes tuplasti isompi verrattuna Pihlassuon aurinkovoimalaan. Pihlassuon aurinkovoimalan päästökerroin vastaa esimerkiksi Muhosen (2024) ja Koffin (2017) tutkimuksien aurinkovoimalan päästökertoimia, joten Pihlassuon aurinkovoimalan päästökerointa voidaan pitää oikeellisenä. Tutkimuksessa on huomioitu maaperän hiilivarastot mutta alueella ei ole kasvanut puustoa, eikä aluetta ole ollut

suunnitelmissa muuttaa metsätalousalueeksi, joten puuston hiilinielun vaikutusta tai hiilivuodon vaikutusta ei ole arvioitu.

IPCC (2023) ja IEA (2023) ilmastoraportit vahvistavat tämän selvityksen näkemystä. Raporttien mukaan aurinkovoima on tärkein yksittäinen ilmastotoimi, jolla ilmastomuutosta saadaan hillittyä aurinkoenergian korvatta fossiilista polttoainetta.

7.1 Haitallisten vaikutusten lieventäminen

Suurin ilmastokuorma tulee hankkeessa tuotevaiheesta komponenttien valmistamisessa. Suurin yksittäinen tekijä, mihin pystytään suunnittelulla vaikuttamaan on perusratkaisut, mitkä voivat olla esimerkiksi paaluperustukset tai kelluva ratkaisu, mikä perustetaan maanpäällisesti tyypillisesti betonielementeistä tai muulla massaan perustuvalla tavalla. On tyypillistä, että kelluvat ratkaisut vaikuttavat tuotteen ilmastopäästöjen lisäksi maaperän käyttöön. Usein näille on tarpeellista tehdä muutoksia ja lisätä mursketta, jotta kantavuus on tarpeeksi suurta. Tämä hanke on suunniteltu toteutettavaksi kierrepaaluilla, mikä vähentää perustamisen ilmastokuormaa.

Suunnitteluvaiheessa tarkastellaan mahdollisuutta nostaa alueella vedenpinnan tasoa olemaan 20cm maanpinnan tason alapuolella. Tämä hidastaisi turpeen hajoamista sen ollessa anaerobisessa tilassa, jolloin hajoamista ei tapahdu. Tällöin ilmastopäästöt muuttuvat metaanipainotteisiksi, mutta kokonaisilmastovaikutukset ovat positiiviset verrattuna kuivaan turvetuotantoalueeseen. Mikäli vedenpinnan tason nostaminen nähdään mahdollisena ja se toteutetaan, tulisi sillä noin 27 495 t CO₂-e positiiviset vaikutukset hankkeen maaperän elinkaaren aikaisesti verrattuna tilanteeseen, jossa aurinkovoima-alue nähdään ruohikkoalueena. Mikäli vedenpinnan taso on 20 cm maanpinnan tason alapuolella, olisi alueelle myös mahdollista jotakin kasvillisuutta, mikä edelleen vähentäisi turpeen hajoamista ilmastoon. Toimivan kasvin tai sammaleen valinta tehdään suunnitteluvaiheessa. Korostettakoon, että vedenpinnan tason muutokset eivät aina ole mahdollista ja sammalten kasvatus on nähty haastavana ja sen kasvatusalueet ovat vielä hyvin rajattuja.

7.2 Varautuminen ilmastomuutokseen

Ilmastomuutoksen edetessä tulee ääri-ilmiöiden kuten tulvien sekä kuivuuden todennäköisyydet suuremmaksi.

Tulvat kuormittaa vesienhallintarakenteita sekä nostattavat vedenpintaa ajoittain alueella. Aurinkovoimalan operoinnin kannalta ei ole ongelmallista, että vedenpinnan taso on ajoittain korkeammalla. Vesienhallintasuunnitelmassa tarkastellaan alueen vesienhallintaa.

Kuivuuteen varaudutaan jakamalla hankkeen paneelikentät ojilla tai teillä, jolloin mahdollisen palon leviäminen estyy ja vain rajatut paneelikentät tuhoutuvat palojen myötä. Lisäksi alueella säilytetään kosteikko, mikä tasaa tulvien ja kuivuuden vaikutusta alueella. Aurinkovoimalan rakenteet suunnitellaan kestävänsä myrskytuulet. Tämän esisuunnittelua on toteutettu vetokokeilla, sekä rakentamisvaiheessa tullaan analysoimaan tarkemmin maaperän vetolujuuksia.

7.3 Epävarmuudet

Selvityksen suurin epävarmuus keskittyy hankkeen elinkaaren aikaisten syrjäytetyn sähkön vaikutusten arviointiin. Tämän hetkisen tiedon valossa ei pystytä luotettavasti analysoimaan kuinka suuren päästökertoimen omaavaa sähköä korvataan markkinoilla. On lisäksi oletettavaa, että sähkönkulutus kasvaa tulevaisuudessa, sekä ilmastotoimien toteutuminen ei ole varmaa, minkä myötä sähkömarkkinoiden hiilineutraaliutta ei välttämättä saavuteta vuonna 2035.

Selvityksen epävarmuustekijät liittyvät päästökertoimien oikeellisuuteen sekä luotettavan aineiston saatavuuteen. Suurinta vaihtelua edustaa paneelien hiilijalanjälki, sillä pienetkin erot paneelien päästökertoimissa tuottavat suuria vaihteluita koko voimalan ilmastopäästöpotentiaalissa. Aurinkovoimalan tuotantosimuloinnit on tehty PVSyst ohjelmistolla perustuen Meteonorm 8.1 satelliittidataan. Vuosittainen sähköntuotanto kuitenkin vaihtelee tuotantovuoden olosuhteiden mukaisesti, eikä simuloitua sähköntuotantoa pystytä

pitämään täysin varmana. Maaperän päästöt ovat laskennallisia eikä ne perustu mitattuun dataan. Kuitenkin maaperän päästöjen tietolähteet ovat yleisesti Suomessa käytettyjä.

8. Lähteet

Aro, L., Jylhä, P., Järvenranta, K., Matila, A., Ramstadius, U., Ronkainen, T., Räsänen, A., Silvan, N., Silvenius, F., Virkajärvi, P., Wall, A. & Tolvanen, A. Turvetuotannosta poistuvien alueiden jatkokäytön vaihtoehdot Suomessa sekä arvio niiden ympäristö- ja talousvaikutuksista. 2023. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 120/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Fingrid. 2023. Fingridin sähköjärjestelmävisio 2023. Viitattu 19.12.2024. Saatavissa <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/sahkojarjestelmavisio/>.

Hamberg, L. Henttonen, H. Tuomainen, T., Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaariossa. 2016. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Häkkinen T., Generic Data for Metals – Stainless Steel. 2020. Suomen ympäristökeskus SYKE. Rakentamisen päästötietokanta.

IEA 2023. Net Zero Roadmap. A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal to Reach. 2023 Update. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-aglobal-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>

IPCC 2023. Sixth Assessment Report. Synthesis Report. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

Koffi B., Cerutti A.K., Duerr M., Iancu A., Kona A., Janssens-Maenhout G., 2017. Covenant of Mayors for Climate and Energy: Default emission factors for local emission inventories, EUR 28718 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017 (pdf)

Kuittinen M., 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

Majewski, P., Al-shammari, W., Dudley, M., Jit, J., Lee, S.-H., Myoung-Kug, K., & SungJim, K., 2021. Recycling of solar PV panels- product stewardship and regulatory approaches. Energy Policy, 149, 112062-. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112062>

Muhonen, T. (toim.) 2024. Aurinkovoimaloiden rakentamisen vaikutuksia ilmastoon, metsiin ja metsätalouteen : Aurinkometsä -hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 108/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki

Paikkatietoikkuna. 2024. Monilähteinen valtakunnan metsien inventoinnin aineista (MVMI). viitattu 19.12.2024. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>

Räsänen T., 2015, TIEN JA KADUN PÄÄLLYSRAKENTEEN LAATUVAATIMUKSET. Savonia ammattikorkeakoulu. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö.

Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wiser, 2014: Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Siiskonen Sara-Tuuli. 2023. Emissions and materials database for HVAC products and electrical installations. Suomen ympäristökeskus SYKE. Rakentamisen päästötietokanta.

Syke. 2024. Luonnonkivituotteet. Rakentamisen päästötietokanta. Suomen ympäristökeskus.

Vainio, R., 2024. Teollisen aurinkovoimalan hiilitase. LUT Lappeenranta University of Technology. Diplomityö.