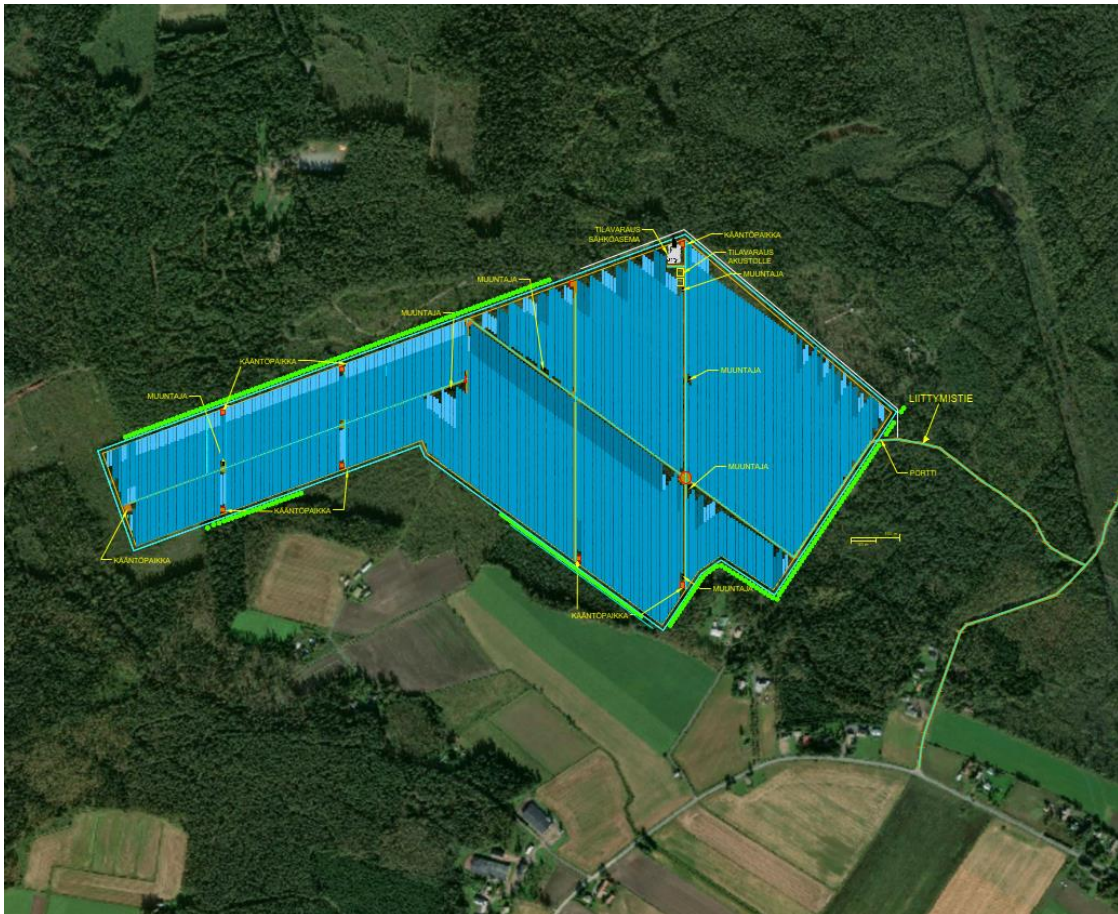


Nakkilan Pakkalan aurinkovoimahankeen ilmastovaikutusten arviointi

Tulokset ja menetelmäkuvaus



Päiväys	4.9.2025
Tekijä	Juha Seppälä
Tilaaja	Skarta Energy Oy
Projektinnumero	12018095

SISÄLLYSLUETTELO

KÄSITTEET	3
1 JOHDANTO	4
2 SYSTEEMIRAJAUS.....	7
3 LASKENTAMENETELMÄ	7
4 LÄHTÖTIEDOT JA OLETUKSET	12
4.1 Aurinkopaneelit	12
4.2 Aurinkopaneelien asennusrakenteet	12
4.3 Aurinkopaneelien auringonseurantalaitteet.....	13
4.4 Sähkön siirto.....	13
4.5 Tiet 14	
4.6 Turvavarusteet.....	14
4.7 Energiavarasto	14
4.8 Hiilivarastot ja -nielut.....	14
4.9 Hankkeen tiedot	15
5 TULOKSET	17
6 YHTEENVETO	23
7 LÄHTEET	24
Liite 1. Aurinkovoiman Hiilijalanjäljen Pienentäminen	Error! Bookmark not defined.

KÄSITTEET

Käsite	Selite
Elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment)	Menetelmä, jolla voidaan analysoida ja arvioida tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset koko sen elinkaaren ajalta.
Hiilidioksidiekvivalentti	Päästöjen yksikkö CO ₂ -ekv kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta muunnettuna vastaamaan hiilidioksidin ilmastoa lämmittävää vaikutusta.
Hiilitase	Hankkeen elinkaaren aikana aiheutuneiden päästöjen sekä sen myötä saavutettavien päästövähennysten erotus.
Hiilivarasto	Metsään, maaperän kasvillisuuteen sekä maaperään sitoutunut hiili hankkeen aloitushetkellä.
Hiilinielu	Kuvaa sitä, kuinka paljon metsän, maaperän kasvillisuuden sekä maaperän hiilivarasto olisi hankkeen elinkaaren aikana kasvanut, mikäli hanke olisi jäänyt toteuttamatta.
Ilmastovaikutus	Hankkeen, tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana ilmaan vapautuneiden kasvihuonekaasujen yhteenlaskettu ilmastoa lämmittävä vaikutus.
Kasvihuonekaasu	Ilmastonlämpenemistä aiheuttava kaasu. Kasvihuonekaasuja ovat mm. hiilidioksidi CO ₂ , metaani CH ₄ , ja dityppioksidi N ₂ O.
Päästö (ts. hiilijalanjälki)	Ilmaan vapautuneiden kasvihuonekaasujen yhteisvaikutus.
Päästövähennys	Kuvaa päästöjä, jotka olisivat aiheutuneet hankkeen toteutumisen myötä vältetystä vaihtoehtoisesta energiantuotannosta.
Ympäristötuoteseloste (EPD, Environmental Product Declaration)	Laatuvarmistettu elinkaariarviointiin ja kansainvälisiin standardeihin perustuva tuotteiden ympäristöselvitys.

1 JOHDANTO

Skarta Energy Pakkala Oy suunnittelee Nakkilan Pakkalan alueelle aurinkoenergian tuotantoaluetta. Hankealue on laajuudeltaan noin 64 ha. Hiilitaselaskennassa paneelialueiden alle jäävä pinta-ala on noin 60 hehtaaria. Sähkönsiirto tuotantoalueelta toteutetaan maakaapeleilla. Tuotantoalueelle sijoitetaan akkuvarasto tasoittamaan sähköverkkoon luovutettavan sähkömäärän vaihtelua. Tässä raportissa on esitetty hankkeen ilmastovaikutukset elinkaariarviointiin perustuen.

Tuotantoalueella tuotetaan vähäpäästöistä energiaa, jolloin vältetään päästöintensiivisempien sähköntuotantotapojen aiheuttamia päästöjä.

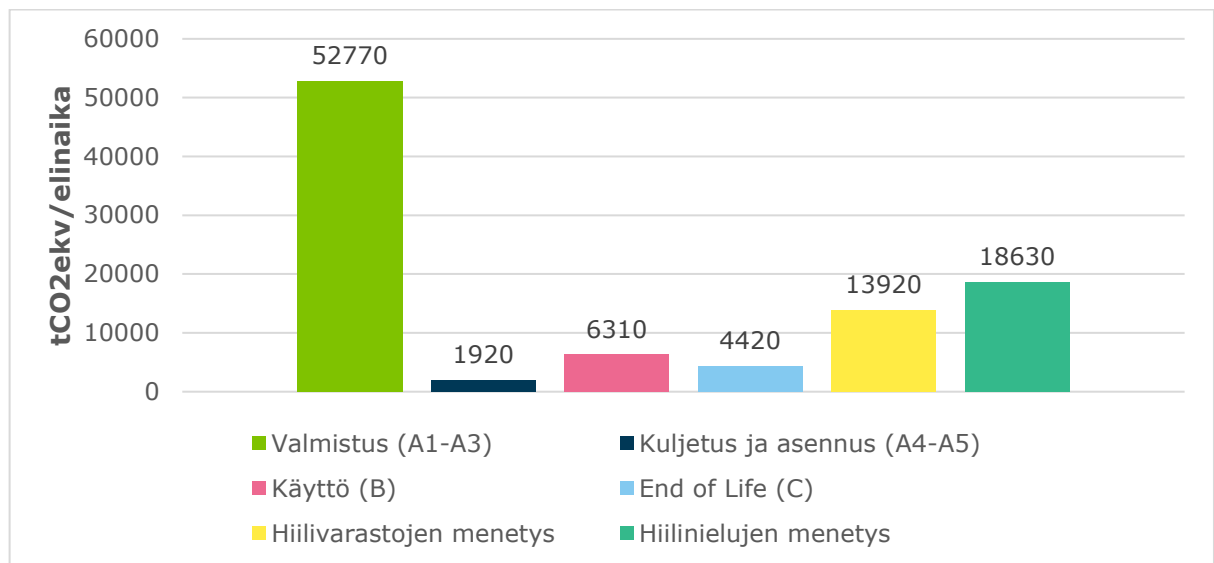
Arvioinnissa tarkastellaan kahta eri hankevaihtoehtoa, jotka ovat kiinteä asennus ja seuraava asennus. Kiinteä asennus (VE1) on yleisin ja yksinkertaisin asennustapa, jossa aurinkopaneelit asennetaan kiinteään kulmaan ja suuntaan, tyypillisesti etelään. Asennus on tukeva ja siinä ei ole liikkuvia osia, mikä tekee siitä kestävä ja huoltovapaamman. Kiinteä asennus on edullisempi, mutta sen energiantuotanto on pienempi kuin seuraavassa järjestelmässä, koska paneelien kulma aurinkoon nähden ei ole aina optimaalinen. Seuraavassa asennustavassa (VE2) aurinkopaneelit on asennettu telineeseen, joka liikuttaa paneeleita auringon liikkeen mukaan päivän aikana. Seuraavat järjestelmät voivat lisätä energiantuotantoa merkittävästi, mutta ne ovat kalliimpia, monimutkaisempia asentaa ja vaativat enemmän huoltoa liikkuvien osiensa vuoksi.

Kaavaehdotuksen mukaisessa hankkeessa keskimääräinen vuosituotanto noin 52,4 GWh vaihtoehdon 1 osalta ja 53,9 GWh vaihtoehdon 2 osalta. Tuotantomäärät perustuvat Skarta Energy Oy:n tekemiin simulointeihin.

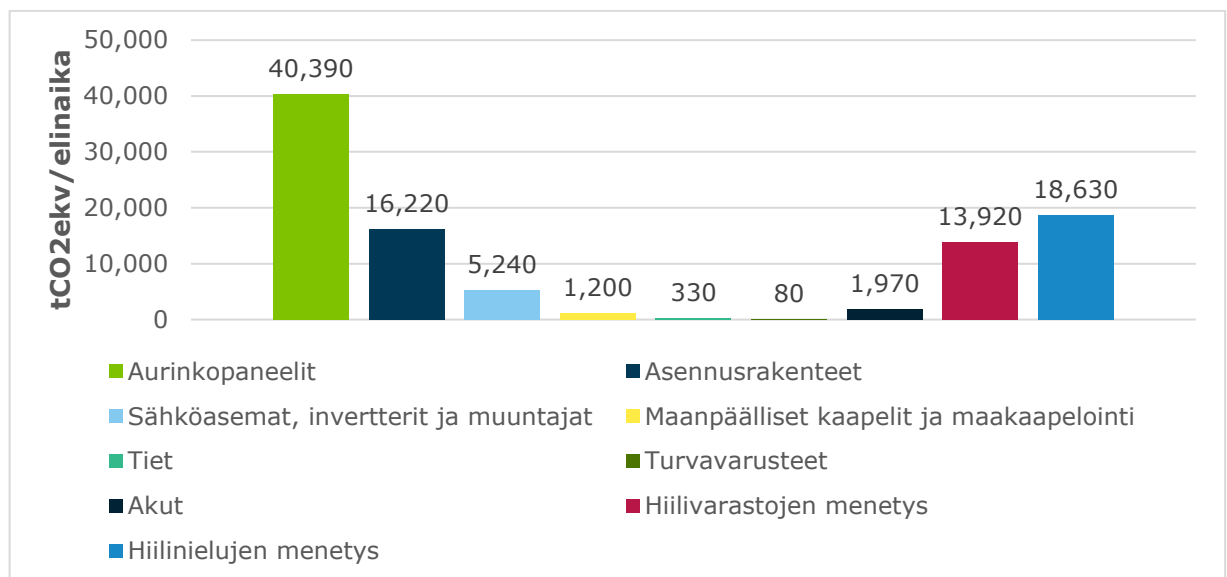
Tuotantoalueen kielteiset ilmastovaikutukset aiheutuvat voimalan rakentamisen (mm. materiaalit ja kuljetukset) sekä elinkaaren lopun toiminnoista. Lisäksi tuotantoalueen toteuttaminen vaikuttaa alueen kasvillisuuden nykyisiin ja tuleviin hiilinieluihin ja -varastoihin, kun metsäisillä alueilla puusto poistetaan. Laskennassa on huomioitu myös hankkeen myötä poistuva maaperän hiilivarasto.

Kaavaehdotuksen mukaisen hankkeen elinkaarin hiilijalanjälki on noin vaihtoehdon 1 osalta 97 980 t CO₂e ja vaihtoehdon 2 osalta 95 300 t CO₂e.

Kuvissa 1-1 ja 1-2 on esitetty kaavaehdotuksen mukaisen hankkeen päästöjakauma elinkaaren vaiheittain ja päästötekijöittäin mukaan lukien sähkönsiirron toteutuksesta aiheutuvat päästöt vaihtoehdolle 1.

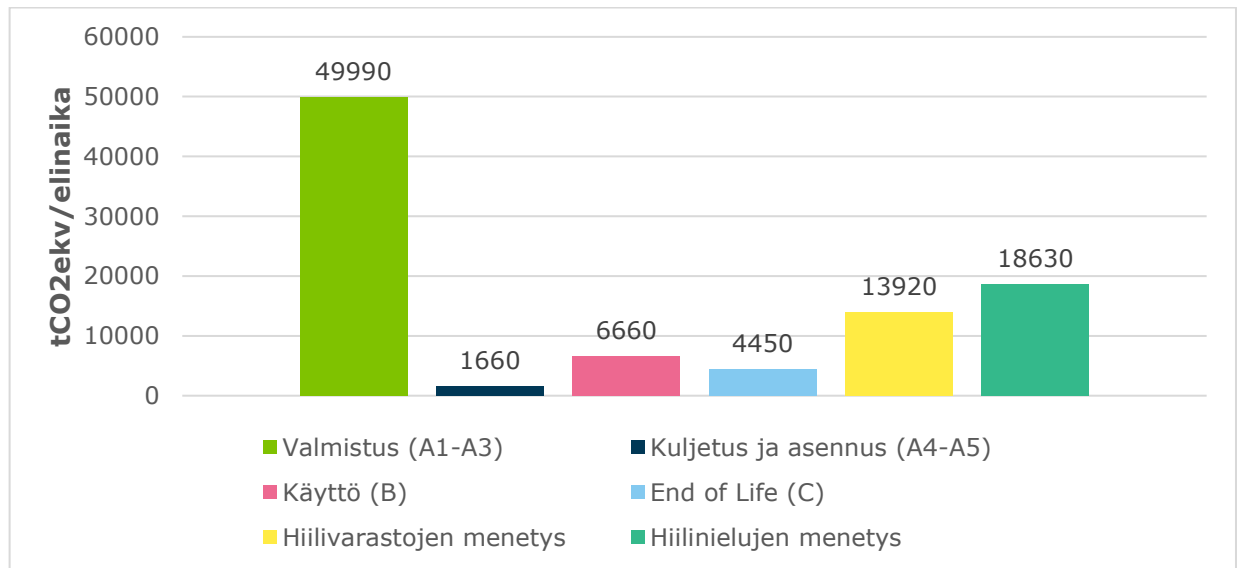


Kuva 1-1. Nakkilan Pakkalan aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen jakautuminen elinkaaren vaiheittain vaihtoehdolle 1.

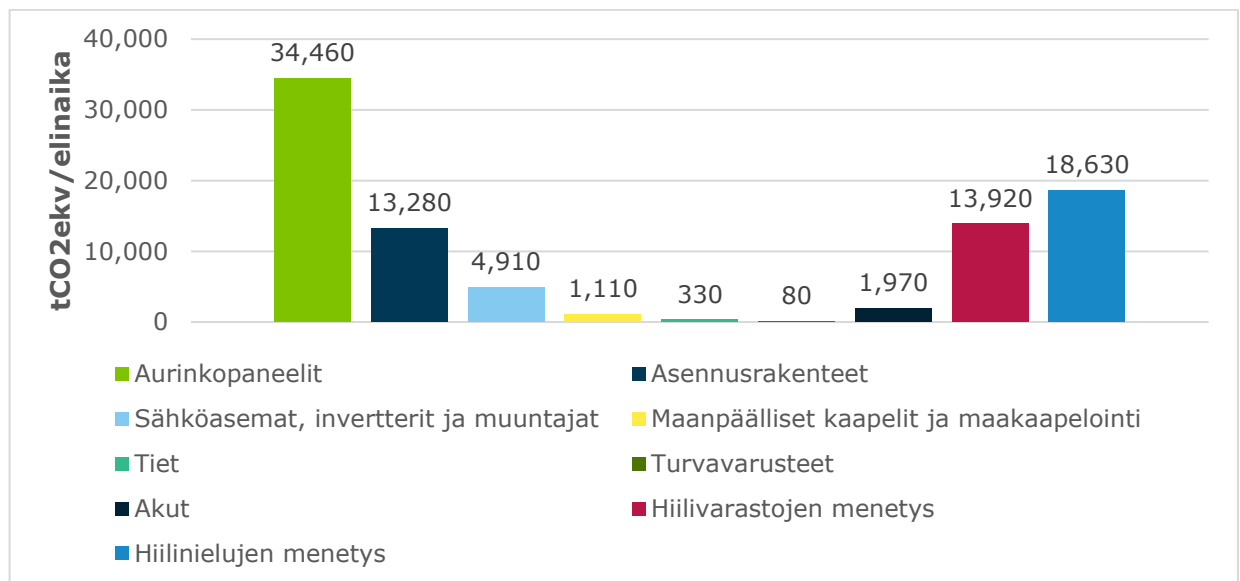


Kuva 1-2. Nakkilan Pakkalan aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen jakautuminen päästötekijöittäin vaihtoehdolle 1.

Kuvissa 1-3 ja 1-4 on esitetty kaavaehdotuksen mukaisen hankkeen päästöjakauma elinkaaren vaiheittain ja päästötekijöittäin mukaan lukien sähkönsiirron toteutuksesta aiheutuvat päästöt vaihtoehdolle 2.



Kuva 1-3. Nakkilan Pakkalan aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen jakautuminen elinkaaren vaiheittain vaihtoehdolle 2.



Kuva 1-4. Nakkilan Pakkalan aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen jakautuminen päästötekijöittäin vaihtoehdolle 2.

Tämä ilmastovaikutusten arviointi on esiselvitys, jossa arvioidaan alustavalla tasolla hankkeen vaikutusta ilmastoon.

2 SYSTEEMIRAJAUS

Aurinkovoimahankkeesta aiheutuu ilmastovaikutuksia koko sen elinkaaren ajalta, joita arvioidaan niin sanotulla hiilitaselaskennalla. Hiilitase muodostuu hankkeen elinkaaren aikana muodostuneiden päästöjen sekä sillä saavutettavien päästövähennysten erotuksena. Hiilitase voi olla joko negatiivinen tai positiivinen sen mukaan, aiheutuuko hankkeesta enemmän päästöjä vai voidaanko sillä välttää enemmän päästöjen muodostumista.

Hankkeen päästöjä on tarkasteltu koko sen elinkaaren ajalta (ns. cradle-to-grave) huomioiden materiaalien sekä komponenttien valmistus ja kuljetukset, asennus ja rakentaminen, käyttö ja kunnossapito, purkaminen sekä materiaalien ja komponenttien loppukäyttö. Hiilitaselaskennassa on otettu huomioon päästöt niin aurinkopaneelien, asennusrakenteiden, auringonseurantalaitteiden, hankealueen sähkönsiirron, hankealueen tiestön, turvavarusteiden kuin energiavaraston osalta. Lisäksi hankkeen päästöiksi luokitellaan myös hiilivaraston ja -nielun poistuma.

Myös hankkeella saavutettavaa päästövähennysvaikutusta on tarkasteltu koko sen elinkaaren ajalta. Päästövähennyksiä aiheutuu, kun aurinkovoimalla tuotetulla sähköllä korvataan esimerkiksi päästöintensiivisempien polttoaineiden käyttöä energiantuotannossa.

Toiminnallisena yksikkönä tässä tarkastelussa on yhden aurinkovoimahankkeen koko elinkaaren aikaiset päästöt. Päästöarvio esitetään tuloksissa elinkaaren aikana aiheutuneena absoluuttisena kokonaispäästönä (t CO₂-ekv) sekä elinkaaren aikana tuotettuun energiaan suhteutettuna päästönä (g CO₂-ekv/kWh).

3 LASKENTAMENETELMÄ

Hiilitaselaskenta on toteutettu elinkaariarvioinnin periaatteisiin nojautuen (ISO 14040 ja ISO14044). Arvioinnissa keskityttiin tunnistamaan merkittävimmät päästötekijät, suunnittelutiedot saatiin Tilaaajalta. Siltä osin kuin suunnittelutietoja ei ollut saatavissa, hyödynnettiin julkaistuja tutkimuksia sekä asiantuntija-arvioita.

Päästölaskennan osalta pyrittiin hyödyntämään ensisijaisesti eri elinkaariarvioinneissa (LCA, Life Cycle Assessment) sekä ympäristötuoteselosteissa (EPD, Environmental Product Declaration) esitettyjä päästötietoja vastaaville tuotteille. Näiden lisäksi laskennassa on myös hyödynnetty muun muassa infrarakentamisen päästötietokannan (CO2data.fi), Ihku-laskentapalvelun, Ecoinvent-elinkaariarvioinnin tietokannan (Ecoinvent v.3.11) sekä One Click LCA elinkaariarviointiohjelmiston tietoja.

Metsien hiilivarastojen ja hiilinielun kehitys on simuloitu käyttäen Sitowisen kehittämää tekoälypohjaista kasvumallia. Mallin opetusaineistona hyödynnetään Suomen Metsäkeskuksen avoimesta metsävaratiedosta¹ saatua laajaa metsikkökuvioiden kasvuennustedataa. Mallilla voidaan ennustaa vuotuisia

¹ <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto>

perusmetsikkötunnusten kehitystä, biomassaa ja puuston ja maaperän hiilivarastoja

Laskentamallille annetaan syötteenä lähtötilanteen metsikkötunnukset, simuloinnin alku- ja loppupäivä sekä toteutettavat metsänhoitotoimenpiteet. Simulointi voidaan ajaa joko ilman metsänhoitotoimenpiteitä, metsäsuunnitelman mukaisilla toimenpide-ehdotuksilla tai Tapion hyvän metsanhoidon suositusten² mukaisesti. Lisäksi kasvuun ja maaperän hiilimäärän kehitykseen vaikuttaa keskimääräinen säätila.

Malli laskee metsien vuotuista kasvua ja hiilinielua **metsikkökuviokohtaisesti**:

- Perusmetsämuuttujien (puuston pääpuulaji, keskipituus, keskiläpimitta, pohja-pinta-ala, tilavuus) vuotuinen kasvu/muutos
- Biomassa lehdissä, oksissa, rungossa, kannossa, juurissa³
- Puustoon sitoutunut hiili (ja CO₂e) biomassoista johdettuna
- Maaperään sitoutunut hiili lasketaan Yasso-mallilla⁴
- Hiilivaraston muutos (lähde vs. nielu)
- Metsänhoitotoimenpiteet (taimikonhoito, harvennukset ja päätehakkuu) simuloidaan kohteelle, jos hakkuukriteerit täyttyvät. Tällöin lasketaan myös hakkuupoistuma (tukki/kuitu/hukkapuu).

Vältettyjen päästöjen laskenta

Kun yritys tai yhteisö investoi omaan aurinkovoimatuotantoon, keskeinen kysymys on: mikä on hankkeen todellinen ilmastovaikutus? Vaikka aurinkopaneelit itsessään eivät tuota päästöjä, niiden tuottama päästövähennys syntyy siitä, että niiden tuottama sähkö syrjäyttää muuta, päästöjä aiheuttavaa sähköntuotantoa sähköverkosta.

Hankkeella saavutettavan päästövähennysvaikutuksen suuruus riippuu täysin tarkasteltavasta näkökulmasta eli siitä, mitä energiantuotantomuotoa hankkeen tuottaman energian on oletettu korvaavan. Aurinkovoimahankkeiden päästövähennysvaikutuksen arvioinnille ei ole olemassa yhtenäistä menetelmää tai ohjeistusta, joten tässä selvityksessä tarkastellaan päästövähennysvaikutusta kolmesta näkökulmasta:

1. Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sähkön hinta ja tuotanto määräytyvät kysynnän ja tarjonnan mukaan (ns. "merit order" -järjestys). Kun aurinkovoimala tuottaa sähköä verkkoon, se vähentää tarvetta ostaa sähköä markkinoilta. Ensimmäisenä tuotannosta putoaa pois kallein ja usein myös saastuttavin tuotantomuoto, joka markkinoilla on tyypillisesti kivihiihilauhdevoima.

² https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suositukses_Tapio_2019.pdf

³ <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/535968>

⁴ <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/yasso>

Aurinkovoimahanke ei siis vähennä sähköverkon keskimääräisiä päästöjä, vaan se iskee suoraan kalleimpaan ja päästöintensiivisimpään tuotantoon. Tämän vuoksi hankkeen todellisen ilmastohyödyn laskemiseen käytetään marginaalikerrointa, joka edustaa juuri tämän syrjäytetyn tuotannon päästöjä.

Tämän vaikutuksen laskemiseen voidaan käyttää Motivan marginaalipäästökerroin (600 kg CO₂/MWh)⁵, joka kuitenkin alkaa olla vanhentunut.

2. Energiaviraston, työ- ja elinkeinoministeriön sekä Motivan toimeksiannosta laadittu uusi päästökerrointarkastelu⁶ ehdottaa edellä mainittuun menetelmään merkittävää muutosta, joka vaikuttaa suoraan uusien aurinkovoimahankkeiden laskennallisiin päästövähennyksiin.

Selvityksen mukaan Suomen energiajärjestelmä on muuttunut niin merkittävästi, että vanha, vuoden 1990 tilanteeseen pohjautuva vertailutaso on käynyt teoreettiseksi. Erityisesti tuulivoiman massiivinen kasvu on jo syrjäyttänyt kivihillilauhdetta, jota käytetään enää poikkeustilanteissa. Tämän vuoksi tarvitaan uusi, nykytilannetta paremmin kuvaava tapa arvioida politiikkatoimien ja investointien vaikutuksia.

Uusi ehdotus perustuu ajatukseen, että päästökerroin muuttuu ajassa sen mukaan, mitä sähköntuotantoa uusiutuva energia kulloinkin todennäköisimmin korvaa. Selvitys on laadittu tuulivoimadataa hyödyntäen, mutta sen todetaan soveltuvan myös muiden sähköntuotantomuotojen, kuten aurinkovoiman, sekä energiatehokkuustoimien arviointiin. Käytetyt päästökertoimet on esitetty taulukossa 3-1.

Taulukko 3-1. Päästökerroin tarkastelu, Suomen ilmastopolitiikkatoimien arviointi. Kursivoidut luvut on johdettu lineaarisesti *välivuosille*. **Julkaisematon, luvut voivat vielä muuttua.**

Vuosi	Päästökerroin (t CO ₂ -ekv/GWh)
2017–2019	435
2020–2023	290
2024	271
2025	251
2026	232
2027	213
2028	194
2029	174
2030	155
2035	110
2040	80
2045	35
2050	0

⁵ <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto-suomessa/co2-paastokertoimet>

⁶ Sitowise (2025, julkaisematon). Päästökerrointarkastelu. Suomen ilmastopolitiikkatoimien arviointi.

3. Kolmas näkökulma tarkastelee päästövähennysvaikutusta yksittäisen kuluttajan tulevaisuuden näkökulmasta, jolloin aurinkovoimalla tuotetun energian voidaan olettaa korvaavan tulevaisuuden keskimääräistä sähköntuotantoa. Oletetaan aurinkovoimalla tuotetun sähkön korvaavan kansallisesti tuotetun keskiarvoisen tulevaisuuden sähkön käyttöä (TEM, 2019). Sähköntuotantotavan ja päästöjen kehitystä on arvioitu vuoteen 2067 asti, joten arvioidaan keskiarvoista sähköntuotannon päästöä vuosien 2028–2067 välillä. Tuotannon ajankohdalle ennustettavaksi sähköntuotannon elinkaariseksi päästökertoimeksi on arvioitu 34,9 g CO₂-ekv/kWh (Ensisijaisesti: UNECE, 2022; Toissijaisesti: IPCC, 2018). Hankkeella saavutettavaa päästövähennysvaikutusta on tässä näkökulmassa arvioitava tulevaisuudelle arvioituun sähköntuotannon polttoainejakaumaan perustuen. Tällöin voidaan määrittää tulevaisuuden sähköntuotannolle elinkaarinen päästökerroin, jotta päästökertoimen raja on yhteneväinen tässä selvityksessä arvioidun hankkeen elinkaarisen päästökertoimen kanssa. Tästä syystä päästövähennysvaikutusta ei voida arvioida suoraan esimerkiksi Energiateollisuuden ilmoittamaan tulevaisuudelle arvioituun sähköntuotannon päästökertoimeen. Energiateollisuuden ilmoittamassa tulevaisuudelle arvioidussa sähköntuotannon päästökertoimessa on huomioitu vain sähköntuotannosta aiheutuvat suorat päästöt, eikä niissä ole huomioitu esimerkiksi tuotantolaitosten rakentamisesta tai polttoaineiden hankinnasta aiheutuvia päästöjä. Lisäksi Energiateollisuuden ilmoittamissa tulevaisuudelle arvioiduissa päästökertoimissa on mukana vain hiilidioksidista aiheutuvat päästöt, eikä kaikkien kasvihuonekaasujen vaikutusta ole huomioitu. Tällöin päästökertoimet eivät ole vertailukelpoisia tästä laskennasta saatavan päästökertoimen kanssa, joka sisältää aurinkovoimahankkeen elinkaariset päästöt.

- Tässä näkökulmassa kuitenkin oletetaan, että Suomessa useita uusiutuvan energian hankkeita olisi toteutunut. Käytännössä tämän hankkeen toteutuminen mahdollistaa tämän ennusteellisen päästökertoimen toteutuminen. Ilman hankkeen toteutumista tulevaisuuden sähköntuotannon alhaisempi päästökerroin ei realisoidu, jolloin tällä menetelmällä laskettaessa päästövähennysvaikutus on täysin hypoteettinen.

On keskeistä huomioida, että hankkeella saavutettavan päästövähennysvaikutuksen suuruudesta voidaan saada hyvinkin erilaisia tuloksia riippuen siitä, mistä näkökulmasta asiaa halutaan tarkastella. Lisäksi on tärkeää huomioida, että kahdesta ensimmäisestä tarkastelunäkökulmasta puuttuu elinkaaristen päästökertoimien osuus ja kaikista kolmesta LULUCF päästöjen vaikutukset. Puutteiden huomiointi kasvattaisi vältettävien päästöjen määrää, mutta menetelmää niiden arvioimiseksi ei ole saatavilla. Joka tapauksessa hankkeella saavutettavan päästövähennysvaikutuksen suuruuden arviointiin liittyy useita erilaisia näkemyksiä, eikä siihen ole tällä hetkellä olemassa yhtenäistä arviointimenetelmää. Päästövähennysvaikutuksen suuruuteen on siten suhtauduttava suuntaa antavana arviona.

LULUCF-päästöjen puuttuminen (Kaikki kolme näkökulmaa)

Mitä tarkoitetaan? LULUCF (Land Use, Land-Use Change, and Forestry) tarkoittaa maankäytön muutoksista syntyviä päästöjä. Tässä hankkeessa nämä päästöt syntyvät, kun metsää raivataan ja sen kyky sitoa ja varastoida hiiltä (hiilinielu ja -varasto) poistuu. Nämä päästöt on sisällytetty aurinkovoimahankkeen kokonaispäästöihin. Vaihtoehtojen 1 osalta LULUCF päästöt ovat 32 550 tonnia CO₂-ekv. ja vaihtoehtojen 2 osalta 32 544 tonnia CO₂-ekv.

Mikä puuttuu vertailusta? Yksikään kolmesta vertailunäkökulmasta ei ota huomioon korvattavan energiantuotannon, kuten kivihiilivoiman, vaatimia maankäytön muutoksia ja niiden päästöjä (esim. kaivosalueiden vaikutukset).

Miksi tämä on tärkeää? Myös tämä epäkohta tekee vertailusta epätäydellisen. Fossiilisten polttoaineiden tuotantoketju aiheuttaa merkittäviä maankäytön päästöjä, joiden huomioiminen parantaisi aurinkovoimahankkeen hiilitasetta entisestään.

Yhteenvedon voidaan todeta, että raportin käyttämät menetelmät vältettyjen päästöjen laskemiseksi ovat konservatiivisia. Ne aliarvioivat todennäköisesti fossiilisen energian todellisia ilmastovaikutuksia, minkä vuoksi aurinkovoimahankkeen todellinen ilmastohyöty on oletettavasti raportissa esitettyjä lukuja suurempi.

4 LÄHTÖTIEDOT JA OLETUKSET

Hankealue on kooltaan noin 64 hehtaaria ja aurinkovoimalalla tuotetun sähköenergian määrän arvioitiin vuositasolla olevan potentiaalisesti noin 52,4–53,9 GWh. Aurinkovoimalan oletettiin tuottavan sähköä 40 vuoden ajan, jonka aikana aurinkovoimalan sähköntuotantopotentiaalin arvioidaan olevan noin 2096–2155 GWh.

4.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit voivat olla yksikide- tai monikidepaneeleja sekä yksi- tai kaksipuolisia, tässä hankkeessa on suunniteltu hyödynnettävän kaksipuolisia yksikidepaneeleja. Aurinkopaneelien päästöjen osalta huomioidaan koko elinkaaren aikaiset päästöt sisältäen seuraavat päästötekijät: aurinkopaneelien valmistus ja kuljetus asennuspaikalle, kiinnitys asennusrakenteisiin, käyttö ja kunnossapito, purkaminen asennusrakenteista, paneelien kuljetus jatkokäsittelyyn ja jatkokäsittely. Paneelien jatkokäsittelynä on kierrätys, jolloin materiaalit saadaan pääasiassa uudelleenkäyttöön. 20 prosenttia paneeleista arvioidaan uusittavan hankkeen 40 vuoden eliniän aikana.

Aurinkopaneelien elinkaaren aikaisia päästöjä on arvioitu LONGi Green Energy Technology Co., Ltd:n kaksipuolisten yksikideaurinkopaneelien ympäristötuoteselosteeseen⁷ perustuen. Ympäristötuoteselosteessa tarkastellut aurinkopaneelit olivat teholtaan 475 W_p ja niissä on esitetty aurinkopaneeleiden kasvihuonekaasupäästöjä elinkaarenvaiheittain. Näissä tietolähteissä päästötiedot olivat esitetty yksikössä (g CO₂-ekv/W_p), jolloin päästöt voidaan suhteuttaa myös tässä hankkeessa käytettäville 630 W_p paneeleille. Ympäristötuoteseloste on suunniteltu skaalautuvaksi 450–630 W_p välillä ja malli LR7-72HTH vastaa tehoalueeltaan ja kooltaan hankkeessa käytettäviä paneeleita.

4.2 Aurinkopaneelien asennusrakenteet

Aurinkopaneelit sijoitetaan avoimelle maalle ja asennuksen on oletettu tapahtuvan paalutettuna asennuksena. Asennusrakenteiden päästöjen osalta huomioidaan asennusrakenteiden keskeisimpien materiaalien valmistus (sinkitty teräs, ruostumaton teräs, alumiini) ja kuljetus asennuspaikalle, asennus, jatkokäsittelyyn kuljetus sekä jatkokäsittely. Arviot asennusrakenteiden materiaalien kulutuksesta sekä asennuksen polttoaineenkulutuksesta perustuvat julkaistuun elinkaariarviointiin (Jungbluth et al., 2012), päästötietolähteenä on hyödynnetty Ecoinvent-elinkaariarvioinnin tietokannan tietoja. Materiaalien kulutustietoja hyödynnetään myös arvioitaessa asennusrakenteiden jatkokäsittelyyn kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn päästöjä.

⁷ <https://shop.kpenenergy.se/globalassets/product-sheets/mounting-system/mapab/epd-himox6-max.pdf>

4.3 Aurinkopaneelien auringonseurantalaitteet

Aurinkopaneelien auringonseurantalaitteiden päästöjen osalta huomioidaan auringonseurantalaitteiden keskeisimpien materiaalien valmistus (sinkitys teräs, ruostumaton teräs, alumiini) ja kuljetus asennuspaikalle, asennus, jatkokäsittelyyn kuljetus sekä jatkokäsittely. Arviot auringonseurantalaitteiden materiaalien kulutuksesta perustuvat julkaistuun elinkaariarviointiin (Miller et al., 2019), päästötietolähteenä on hyödynnetty Ecoinvent-elinkaariarvioinnin tietokannan tietoja. Materiaalien kulutustietoja hyödynnetään myös arvioitaessa asennusrakenteiden jatkokäsittelyyn kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn päästöjä.

4.4 Sähkönsiirto

Hankkeen sähkönsiirto koostuu inverttereistä, vaihto- ja tasavirtakaapeleista, muuntajista, maakaapeloinneista sekä hankealueen sisäisestä sähköasemasta. Näiden osalta huomioidaan päästöt komponenttien valmistuksesta ja kuljetuksesta asennuspaikalle, jatkokäsittelyyn kuljetuksesta sekä jatkokäsittelystä. Invertterit vaihdetaan kerran elinkaaren aikana.

Inverttereiden osalta niiden valmistuksen ja kuljetuksen päästöjä arvioidaan Ecoinvent-elinkaariarvioinnin tietokannan massaperusteisiin tietoihin perustuen. Ecoinvent-elinkaariarvioinnin tietokannassa päästöjä on esitetty eri tehoisille inverttereille. Näiden tietojen pohjalta invertterin valmistuksen ja kuljetuksen päästöille on laadittu lineaarinen sovite, jonka perusteella arvioidaan eri tehoisten inverttereiden päästöjä. Inverttereiden massaa on arvioitu keskeisimpien materiaalien (alumiini, kupari, teräs) kulutustietoihin perustuen. Materiaalien kulutustiedot perustuvan julkaistuun elinkaariarviointiin (Jungbluth et al., 2012). Massatietoja hyödynnetään myös arvioitaessa inverttereiden jatkokäsittelyyn kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn päästöjä.

Vaihto- ja tasavirtakaapeleiden valmistuksen sekä jatkokäsittelyn päästöjä on arvioitu Ecoinvent-elinkaariarvioinnin tietokantaan perustuen. Kaapelien kuljetusten päästöjen arvioinnissa on hyödynnetty infrarakentamisen päästötietokannan tietoja.

Muuntajien osalta niiden valmistuksen, kuljetuksen ja jatkokäsittelyn päästöjä arvioidaan julkaistuun selvitykseen perustuen (Serres, 2022). Selvityksessä on esitetty päästöjä eri tehoisille muuntajille. Näiden tietojen pohjalta on laadittu lineaarinen sovite, jonka perusteella voidaan arvioida eri tehoisten muuntajien päästöjä.

Maakaapeleiden valmistuksen, asennuspaikalle kuljetuksen, käytön ja kunnossapidon, jatkokäsittelyyn kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn päästöjä on arvioitu keskijännitekaapeleiden ympäristötuoteselosteiden tietoihin perustuen. Keskijännitekaapelien ympäristötuoteselosteissa ei ole otettu riittävällä tarkkuudella huomioon kaapelien asennusta ja purkamista, joten sitä on arvioitu erikseen. Maakaapelien asennuksen osalta huomioidaan päästöt keskeisimpien materiaalien valmistuksesta (suojaputket, suodatinkangas, murske) ja niiden

kuljetuksesta sekä kaivuuseen, tiivistykseen ja täyttöön tarvittavien työkoneiden käytöstä (polttoaineiden valmistus ja poltto). Materiaalien kulutukset ja työsuoritteet perustuvat asiantuntija-arvioihin, päästötietolähteenä on hyödynnetty infrarakentamisen päästötietokannan tietoja.

4.5 Tiet

Tiestön osalta hankealueelle suunnitellaan uusien sorapäällysteisten teiden rakentamista. Tiestön päästöjen osalta huomioidaan päästöt keskeisimpien materiaalien valmistuksesta (suodatinkangas, murske) ja niiden kuljetuksesta sekä työkoneiden (kaivinkone, täry, tiehöylä) käytöstä (polttoaineiden valmistus ja poltto). Materiaalien kulutukset ja työsuoritteet perustuvat asiantuntija-arvioihin, päästötietolähteenä on hyödynnetty infrarakentamisen päästötietokannan tietoja.

4.6 Turvavarusteet

Turvavarusteiden osalta huomioidaan aitauksen valmistuksesta, asennuksesta, purkamisesta sekä jatkokäsittelyyn kuljetuksesta aiheutuneet päästöt. Materiaalien oletetaan menevän käytön jälkeen uusiokäyttöön. Päästötietolähteenä on hyödynnetty Ihku-laskentapalvelun päästötietoja.

4.7 Energiavarasto

Energiavaraston osalta huomioidaan akkujen valmistus ja loppukäyttö. Energiavaraston häviöitä ja kuljetuksia ei ole huomioitu. Energiavaraston valmistuksen ja loppukäytön päästöjä on arvioitu kirjallisuuslähteeseen perustuen (Emilsson et al., 2019).

4.8 Hiilivarastot ja -nielut

Metsien hiilivarastojen ja hiilinielun kehitys on simuloitu käyttäen Sitowisen kehittämää tekoälypohjaista kasvumallia. Mallin opetusaineistona hyödynnetään Suomen Metsäkeskuksen avoimesta metsävaratiedosta⁸ saatua laajaa metsikkökuvioiden kasvuennustedataa. Mallilla voidaan ennustaa vuotuisia perusmetsikkötunnusten kehitystä, biomassaa ja puuston ja maaperän hiilivarastoja

Laskentamallille annetaan syötteenä lähtötilanteen metsikkötunnukset, simuloinnin alku- ja loppupäivä sekä toteutettavat metsänhoitotoimenpiteet. Simulointi voidaan ajaa joko ilman metsänhoitotoimenpiteitä, metsäsuunnitelman

⁸ <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto>

mukaisilla toimenpide-ehdotuksilla tai Tapion hyvän metsänhoidon suositusten⁹ mukaisesti. Lisäksi kasvuun ja maaperän hiilimäärän kehitykseen vaikuttaa keskimääräinen säätila.

Malli laskee metsien vuotuista kasvua ja hiilinielua **metsikkökuviokohtaisesti**:

- Perusmetsämuuttujien (puuston pääpuulaji, keskipituus, keskiläpimitta, pohja-pinta-ala, tilavuus) vuotuinen kasvu/muutos
- Biomassa lehdissä, oksissa, rungossa, kannossa, juurissa¹⁰
- Puustoon sitoutunut hiili (ja CO₂e) biomassoista johdettuna
- Maaperään sitoutunut hiili lasketaan Yasso-mallilla¹¹
- Hiilivaraston muutos (lähde vs. nielu)
- Metsänhoitotoimenpiteet (taimikonhoito, harvennukset ja päätehakkuu) simuloidaan kohteelle, jos hakkuukriteerit täyttyvät. Tällöin lasketaan myös hakkuupoistuma (tukki/kuitu/hukkapuu).

Hiilinielujen poistuma on arvioitu vuoteen 2067 asti.

4.9 Hankkeen tiedot

Hiilitaselaskenta perustuu ensisijaisesti Tilaajalta saatuihin tietoihin, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 4-1. Tilaajalta saadut lähtötiedot.

Kuvaus	VE1	VE2
Aurinkopaneelien lukumäärä	98 384 kpl*	80 574
Yhden aurinkopaneelin nimellisteho	630 W _p	630 W _p
Invertterien lukumäärä	140 kpl**	127 kpl**
Yhden invertterin teho	350 kW	350 kW
Muuntajien lukumäärä	8 kpl	8 kpl
Yhden muuntajan nimellisteho	6,3 MVA	6,3 MVA
Tasavirtakaapelien pituus	246,0 km	214,1 km
Vaihtovirtakaapelien pituus	21,0 km	19,1 km
Maakaapeloinnin pituus	2 km	2 km
Uuden tien pituus	5,7 km	5,7 km

⁹ https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suositukses_Tapio_2019.pdf

¹⁰ <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/535968>

¹¹ <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/yasso>

Aitauksen pituus	4,2 km	4,2 km
Energiavaraston kapasiteetti	20 MWh	20 MWh

* Aurinkopaneeleista arvioidaan uusittavan 20 prosenttia elinkaaren aikana.

** Vaihdetään kerran hankkeen elinkaaren aikana, jolloin tarvittavien invertterien kokonaismäärä on 254–280 kpl.

5 TULOKSET

Hiilitaselaskennan tulokset esitetään tässä kappaleessa. Hankkeen aiheuttamat päästöt esitetään päästötekijöihin jaoteltuna. Kukin tekijä sisältää sille sektorille kohdistuvat päästöt kappaleessa 4 esitettyjen rajausten mukaisesti. Taulukossa 2 esitetään arvio hankkeen kokonaispäästöistä ilman kierrätyshyvityksiä (t CO₂-ekv).

Taulukko 5-1. Hankkeesta aiheutuvat päästöt eri päästötekijöihin jaoteltuna sekä niiden suhteelliset osuudet.

Päästötekijä	VE1 (t CO ₂ - ekv)	VE1 (Osuus %)	VE2 (t CO ₂ - ekv)	VE2 (Osuus %)
Aurinkopaneelit	40 390	41,2 %	34 461	36,2 %
Asennusrakenteet	16 220	16,6 %	13 284	13,9 %
Auringonseurantalaitteet	0	0,0 %	6 610	6,9 %
Sähköasema, invertterit ja muuntajat	5 240	5,3 %	4 910	5,2 %
Maanpäälliset kaapelit ja maakaapelointi	1 200	1,2 %	1 110	1,2 %
Tiet	330	0,3 %	330	0,3 %
Turvavarusteet	80	0,1 %	80	0,1 %
Energiavarasto	1 970	2,0 %	1 970	2,1 %
Hiilivaraston poistuma	13 920	14,2 %	13 915	14,6 %
Hiilinielun poistuma	18 630	19,0 %	18 629	19,5 %
Yhteensä	97 980	100,0 %	95 302	100,0 %

Hankkeen toteutuessa siitä aiheutuvat kokonaispäästöt olisivat yhteensä noin 95 302–97 980 t CO₂-ekv koko elinkaaren ajalta. Kokonaispäästöjen lisäksi hankkeen päästöjä arvioitiin myös elinkaaren aikana tuotettuun energiamäärään suhteutettuna. Nakkila Pakkalan aurinkovoimahankkeen elinkaарisen päästökertoimen arvioidaan olevan 44,2–46,7 g CO₂-ekv/kWh, huomioiden myös hiilivarastojen ja -nielujen menetys. Ilman hiilivarastojen ja -nielujen menetyksen huomioimista hankkeen elinkaарisen päästökertoimen arvioidaan olevan 29,1–31,2 g CO₂-ekv/kWh.

Vertailun vuoksi seuraavassa kuvassa 5–1 on esitetty elinkaарisia päästökertoimia myös muiden energianlähteiden sähköntuotannolle. Nämä päästökertoimet ovat suuntaa antavia ja kuvaavat yleisimpiä tuotantomenetelmiä. Näissä ei siis ole huomioitu eri tuotantomenetelmien keskiarvoa tai vaihtelua. Kuvassa 5–1 esitetty

Nakkila Pakkalan aurinkovoimahankkeen elinkaarinen päästökerroin huomioi myös hiilivarastojen ja -nielujen poistuman vaikutuksen.



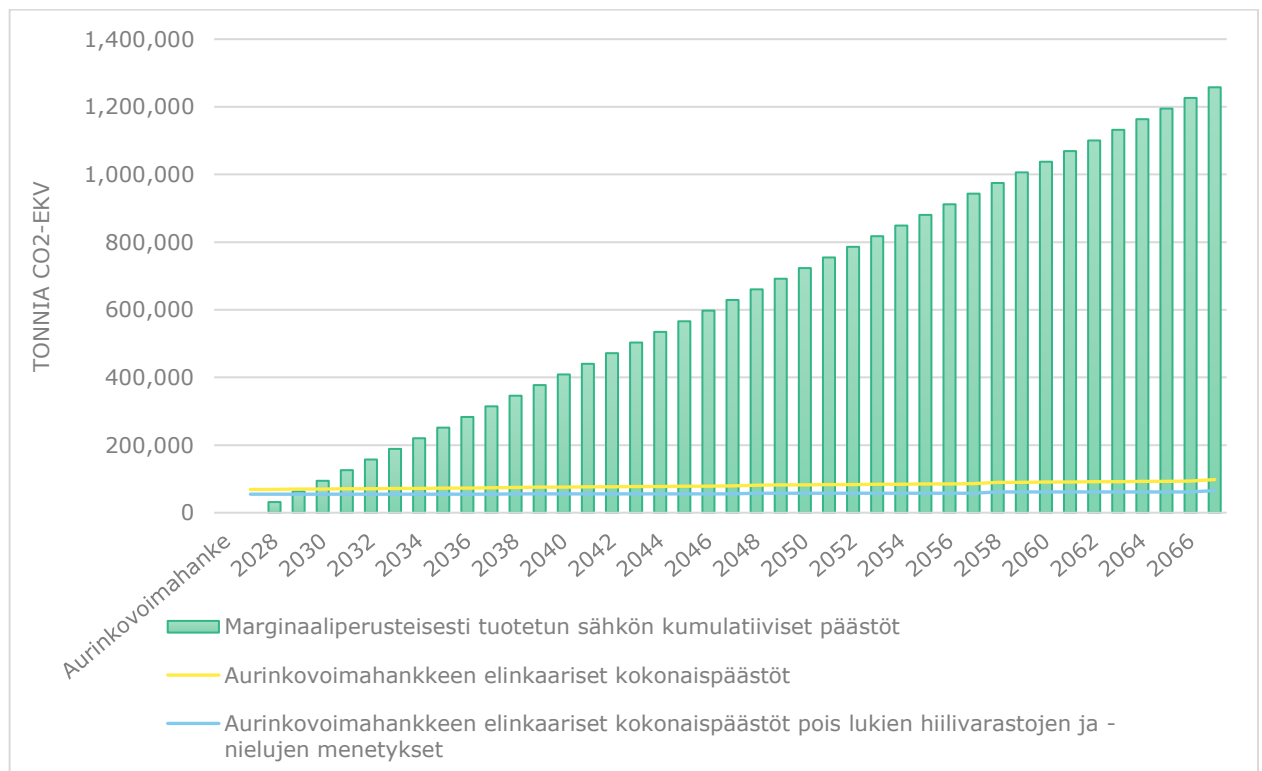
Kuva 5-1. Arvioita muilla energialähteillä tuotetun sähkön elinkaarista päästökertoimista.

Hankkeella saavutetaan päästövähennysvaikutusta, kun aurinkovoimalla tuotetulla sähköllä korvataan esimerkiksi päästöintensiivisempien polttoaineiden käyttöä energiantuotannossa. Tässä tarkastelussa hankkeen päästövähennysvaikutusta tarkastellaan kolmesta eri näkökulmasta, jotka on esitetty luvussa 3.

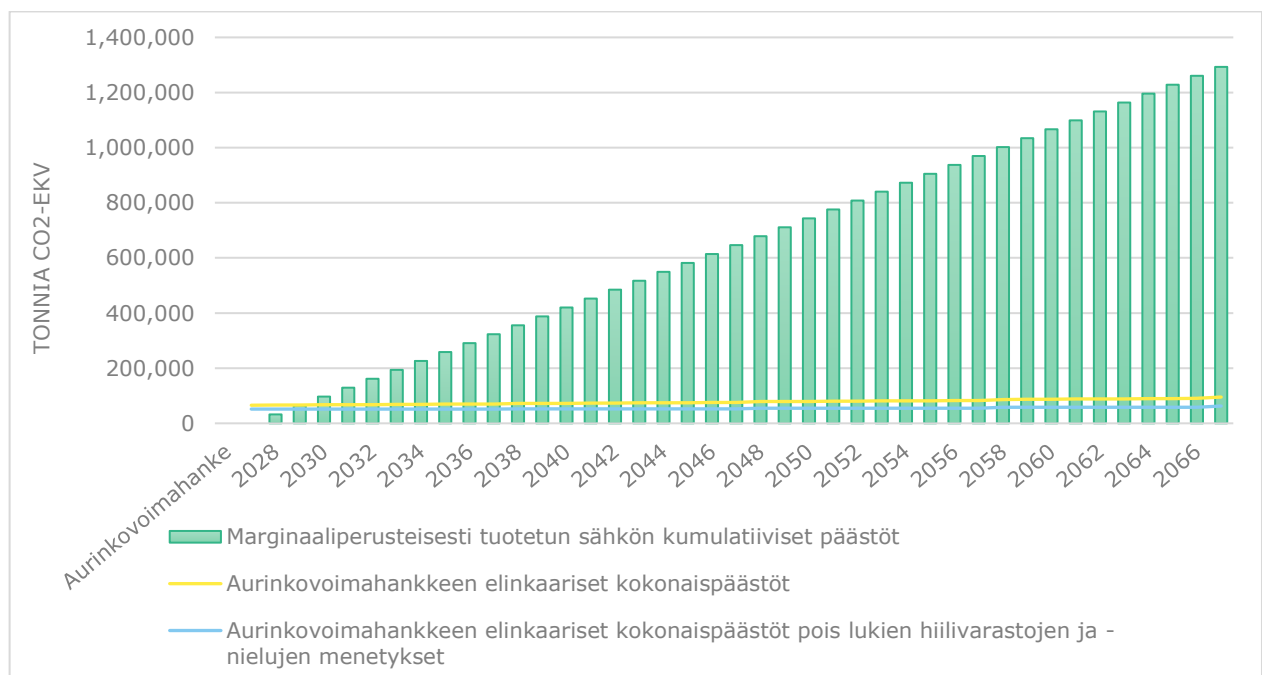
Näkökulma 1: Marginaalipäästökerroin

VE1: Jos aurinkovoimahankkeen tuottama energia tuotettaisiin hiililauhdevoimalla eli marginaali päästökertoimella, tuotetulla sähköllä, niin sähköntuotannosta aiheutuisi päästöjä noin 1 257 810 t CO₂-ekv. Aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen ollessa noin 97 980 t CO₂-ekv, olisi hiilitase tällöin -1 159 830 t CO₂-ekv. Hiilitaseen negatiivinen arvo kuvaa sitä, että hankkeella vältetään sen elinkaaren aikana enemmän päästöjä kuin niitä tuotetaan. Hankkeen aiheuttamien päästöjen kompensoitumisaika tässä näkökulmassa on esitetty kuvassa 5-2.

VE2: Jos aurinkovoimahankkeen tuottama energia tuotettaisiin hiililauhdevoimalla eli marginaali päästökertoimella, tuotetulla sähköllä, niin sähköntuotannosta aiheutuisi päästöjä noin 1 293 000 t CO₂-ekv. Aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen ollessa noin 95 300 t CO₂-ekv, olisi hiilitase tällöin -1 197 700 t CO₂-ekv. Hiilitaseen negatiivinen arvo kuvaa sitä, että hankkeella vältetään sen elinkaaren aikana enemmän päästöjä kuin niitä tuotetaan. Hankkeen aiheuttamien päästöjen kompensoitumisaika tässä näkökulmassa on esitetty kuvassa 5-3.



Kuva 5-2. VE1: Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotettu sähkö tuotettaisiin hiililauhdevoimalla eli marginaali päästökertoimen avulla.

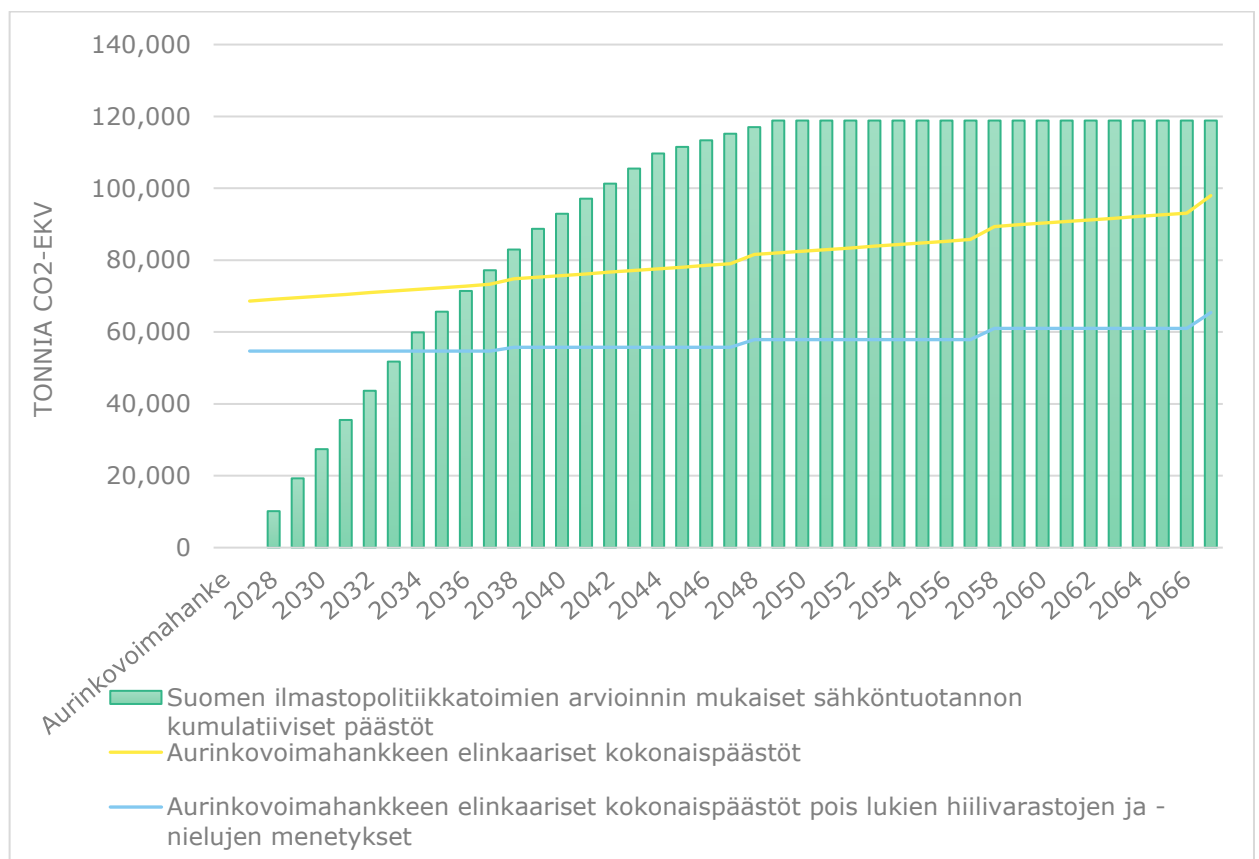


Kuva 5-3. VE2: Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotettu sähkö tuotettaisiin hiililauhdevoimalla eli marginaali päästökertoimen avulla.

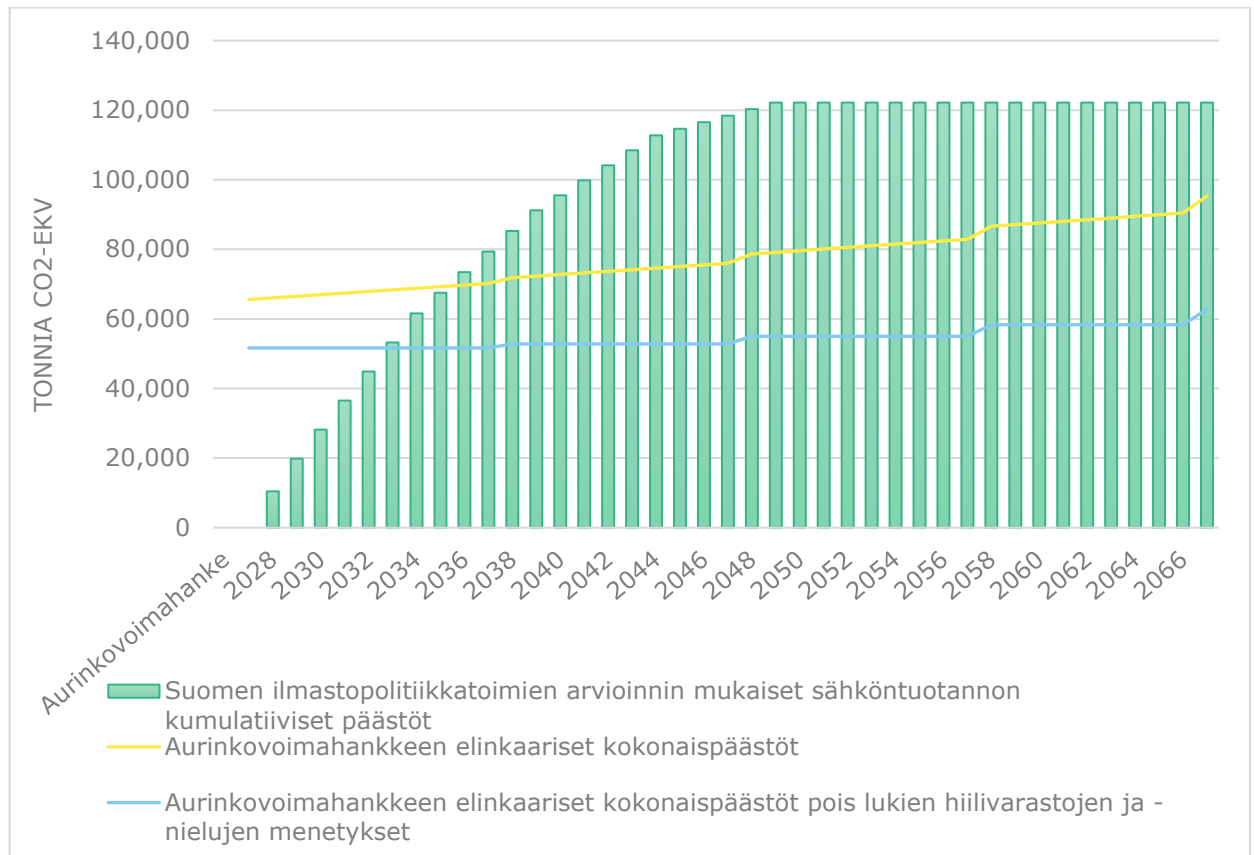
Näkökulma 2: Kansallisen ilmastopolitiikan päästökerroin

VE1: Jos aurinkovoimahankkeen tuottama energia tuotettaisiin Suomen ilmastopolitiikkatoimien arvioinnin päästökertoimilla, niin sähköntuotannosta aiheutuisi päästöjä noin 118 856 t CO₂-ekv. Aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen ollessa noin 97 980 t CO₂-ekv, olisi hiilitase tällöin -20 876 t CO₂-ekv. Hiilitaseen negatiivinen arvo kuvaa sitä, että hankkeella vältetään sen elinkaaren aikana enemmän päästöjä kuin niitä tuotetaan. Hankkeen aiheuttamien päästöjen kompensoitumisaika tässä näkökulmassa on esitetty kuvassa 5-4.

VE2: Jos aurinkovoimahankkeen tuottama energia tuotettaisiin Suomen ilmastopolitiikkatoimien arvioinnin päästökertoimilla, niin sähköntuotannosta aiheutuisi päästöjä noin 122 181 t CO₂-ekv. Aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen ollessa noin 95 300 t CO₂-ekv, olisi hiilitase tällöin -26 881 t CO₂-ekv. Hiilitaseen negatiivinen arvo kuvaa sitä, että hankkeella vältetään sen elinkaaren aikana enemmän päästöjä kuin niitä tuotetaan. Hankkeen aiheuttamien päästöjen kompensoitumisaika tässä näkökulmassa on esitetty kuvassa 5-5.



Kuva 5-4. VE1: Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotetun energian oletetaan korvaavan Suomen ilmastopolitiikkatoimien arvioinnin mukaista skenaariota.

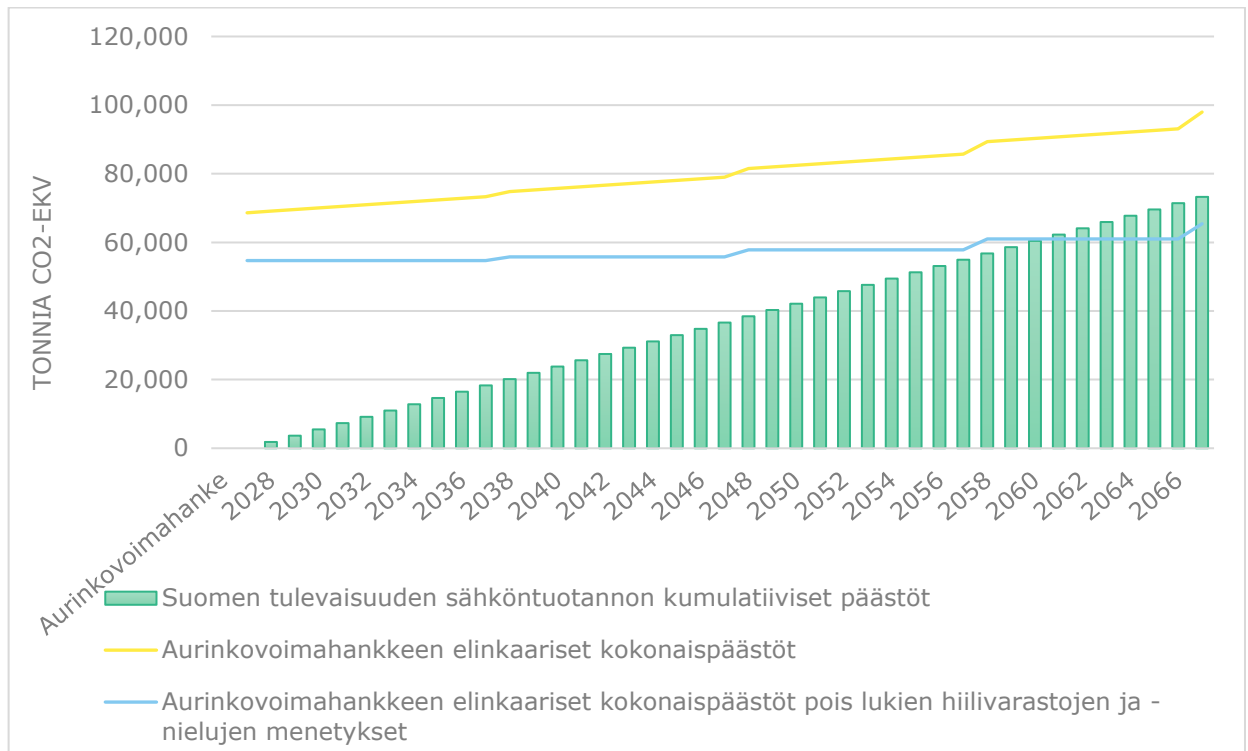


Kuva 5-5. VE2: Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotetun energian oletetaan korvaavan Suomen ilmastopolitiikkatoimien arvioinnin mukaista skenaariota.

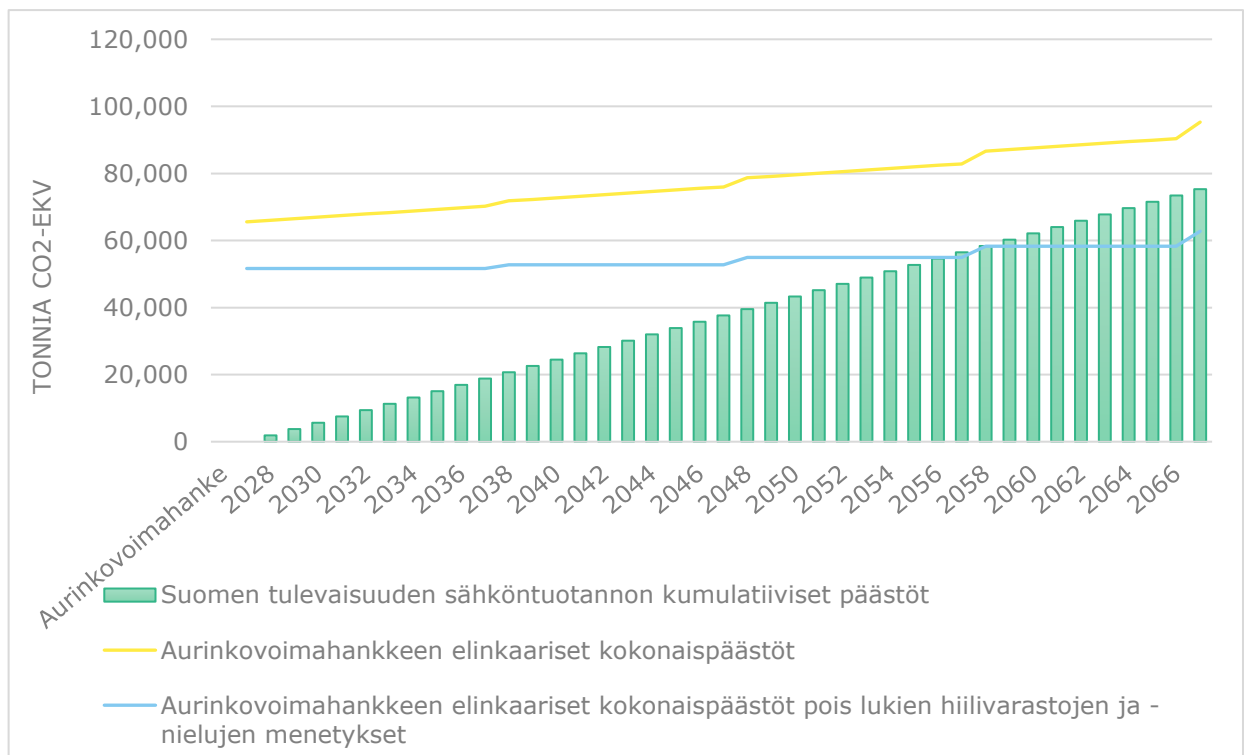
Näkökulma 3: Tulevaisuuden keskimääräinen sähköntuotanto

VE1: Jos aurinkovoimahankkeen tuottamalla energialla korvattaisiin Suomen keskimääräistä tulevaisuuden sähköntuotantoa, saavutettaisiin silloin noin 73 255 t CO₂-ekv päästövähennysvaikutus. Hankkeesta aiheutuvien päästöjen ollessa noin 97 980 t CO₂-ekv, olisi hankkeen hiilitase noin 24 725 t CO₂-ekv. Hiilitaseen positiivinen arvo kuvaa sitä, että hankkeella tuotetaan sen elinkaaren aikana enemmän päästöjä kuin niitä vältetään. Hankkeen aiheuttamien päästöjen kompensoitumisaika tässä näkökulmassa on esitetty kuvassa 5-6.

VE2: Jos aurinkovoimahankkeen tuottamalla energialla korvattaisiin Suomen keskimääräistä tulevaisuuden sähköntuotantoa, saavutettaisiin silloin noin 75 304 t CO₂-ekv päästövähennysvaikutus. Hankkeesta aiheutuvien päästöjen ollessa noin 95 300 t CO₂-ekv, olisi hankkeen hiilitase noin 19 996 t CO₂-ekv. Hiilitaseen positiivinen arvo kuvaa sitä, että hankkeella tuotetaan sen elinkaaren aikana enemmän päästöjä kuin niitä vältetään. Hankkeen aiheuttamien päästöjen kompensoitumisaika tässä näkökulmassa on esitetty kuvassa 5-7.



Kuva 5-6. VE1: Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotetun energian oletetaan korvaavan Suomen keskimääräistä tulevaisuuden sähköntuotantoa.



Kuva 5-7. VE2: Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotetun energian oletetaan korvaavan Suomen keskimääräistä tulevaisuuden sähköntuotantoa.

Jos aurinkovoimahankkeen tuottaman sähkön oletetaan korvaavan ei toivottujen polttoaineiden käyttöä, kompensoituisivat hankkeesta aiheutuvat elinkaariset päästöt noin kolmessa vuodessa. Jos aurinkovoimahankkeen tuottaman sähkön oletetaan korvaavan Suomen ilmastopolitiikkatoimien arvioinnin mukaista skenaariota, niin hankkeen aiheuttamat päästöt kompensoituvat alle kymmenessä vuodessa. Jos aurinkovoimahankkeen tuottaman sähkön oletetaan korvaavan Suomen keskimääräistä tulevaisuuden sähköntuotantoa, niin hanke ei kompensoi päästöjään elinkaarensa aikana, johtuen hankkeen aiheuttamista hiilivarasto ja -nielumenetyksistä.

6 YHTEENVETO

Tehdyt laskelmat kuvaavat hankkeesta aiheutuvia päästöjä ja sillä saavutettavia päästövähennyksiä yleisellä tasolla ja ovat suuntaa antavia arvioita. Suunnitteluarvoihin perustuvassa laskennassa joudutaan turvautumaan läpi laskennan useisiin oletuksiin, yleistykseen sekä keskimääräisiin päästökerrointietoihin. Tehtyihin oletuksiin sekä käytettyihin päästökerrointietoihin sisältyy siis epävarmuutta. Lisäksi määritetty energiantuotantopotentiaali on teoreettinen. Todellinen energiantuotanto voi vaihdella olosuhteiden mukaan, joka vaikuttaa hankkeella tuotettua energiaa kohti arvioituun päästökertoimeen.

Näillä rajauksilla, laskentatiedoilla ja oletuksilla hankkeen elinkaaren aikainen päästö olisi noin 95 300–97 980 t CO₂-ekv. Keskimääräisen suomalaisen aiheuttaa vuosittain noin 10 t CO₂-ekv päästön. Nakkila Pakkalan aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikaiset päästöt vastaavat noin 9 530–9 798 suomalaisen vuosittaisia päästöjä. Vaikka hankkeen elinkaaren aikana aiheutuu päästöjä, voidaan hankkeella saavutettavien päästövähennysten kuitenkin katsoa olevan aiheutuneita päästöjä suuremmat. Hankkeen hiilitaseen arvioidaan olevan negatiivinen, jolloin hankkeen vaikutus ilmastoon olisi positiivinen. Positiivisen ilmastovaikutuksen suuruus riippuu kuitenkin voimakkaasti tarkasteltavasta näkökulmasta, eli mitä sähköntuotantoa hankkeella tuotetun energian oletetaan korvaavan. Vertailun vuoksi, positiivisimmassa skenaariossa (Näkökulma 1) hanke välttää elinkaarensa aikana päästöt, jotka vastaavat yli 115 000 suomalaisen vuosipäästöjä, mikä asettaa hankkeen oman jalanjäljen oikeisiin mittasuhteisiin.

Hankkeen toteutumatta jäämisen myötä voitaisiin välttää aurinkovoimahankkeen elinkaariset päästöt sekä säilytettäisi alueen hiilivarasto ja -nielu. Tällöin kuitenkin sähkö täytyisi tuottaa päästöintensiivisimmillä polttoaineilla ja Suomen sähköntuotannon rakenne ja energiaomavaraisuus jäisi kehittymättä. Vuoteen 2030 tähtäävän kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti Suomen tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä niin, että sen osuus energian loppukulutuksesta nousee yli 50 prosenttiin 2020-luvulla. Vuonna 2022 uusiutuvien energianlähteiden osuus energian loppukulutuksesta Suomessa on hieman yli 40 prosenttia. (TEM, 2023.). Nakkila Pakkalan aurinkovoimahankkeen toteutuminen edistää kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteen toteutumista.

7 LÄHTEET

Emilsson et al., 2019. Lithium-Ion Vehicle Battery Production. Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Materials, Products Environmental Footprint and Recycling.

European Council, 2023. Infographic – How is EU electricity produced and sold? Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-is-eu-electricityproduced-and-sold/>

Jungbluth et al., 2012. Life Cycle Inventories of Photovoltaics.

Miller et al., 2019. Parametric modelling of life cycle greenhouse gas emissions from photovoltaic power.

Serres Hugo, 2022. Life Cycle Assessment of typical projects of the distribution power network.

Syke, 2024. Hiilikartta-työkalu. Saatavissa: <https://www.syke.fi/hiilikartta>

TEM, 2019. Sähköntuotannon skenaariolaskelmat vuoteen 2050. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2132100/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenaariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93+selvitys+22.2.2019/8d83651e-9f66-07e5-4755-a2cb70585262/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenaariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93+selvitys+22.2.2019.pdf>

TEM, 2023. Uusiutuva energia Suomessa. Saatavissa: <https://tem.fi/uusiutuva-energia>

Tilastokeskus, 2024. Energian hankinta ja kulutus. Sähköntuotannon päästökertoimet ja uusiutuvan sähkön tuotannon osuus, 2000–2023*. Saatavissa: https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_14qt.px/

UNECE, 2022. Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources. Saatavissa: https://unece.org/sites/default/files/2022-04/LCA_3_FINAL%20March%202022.pdf