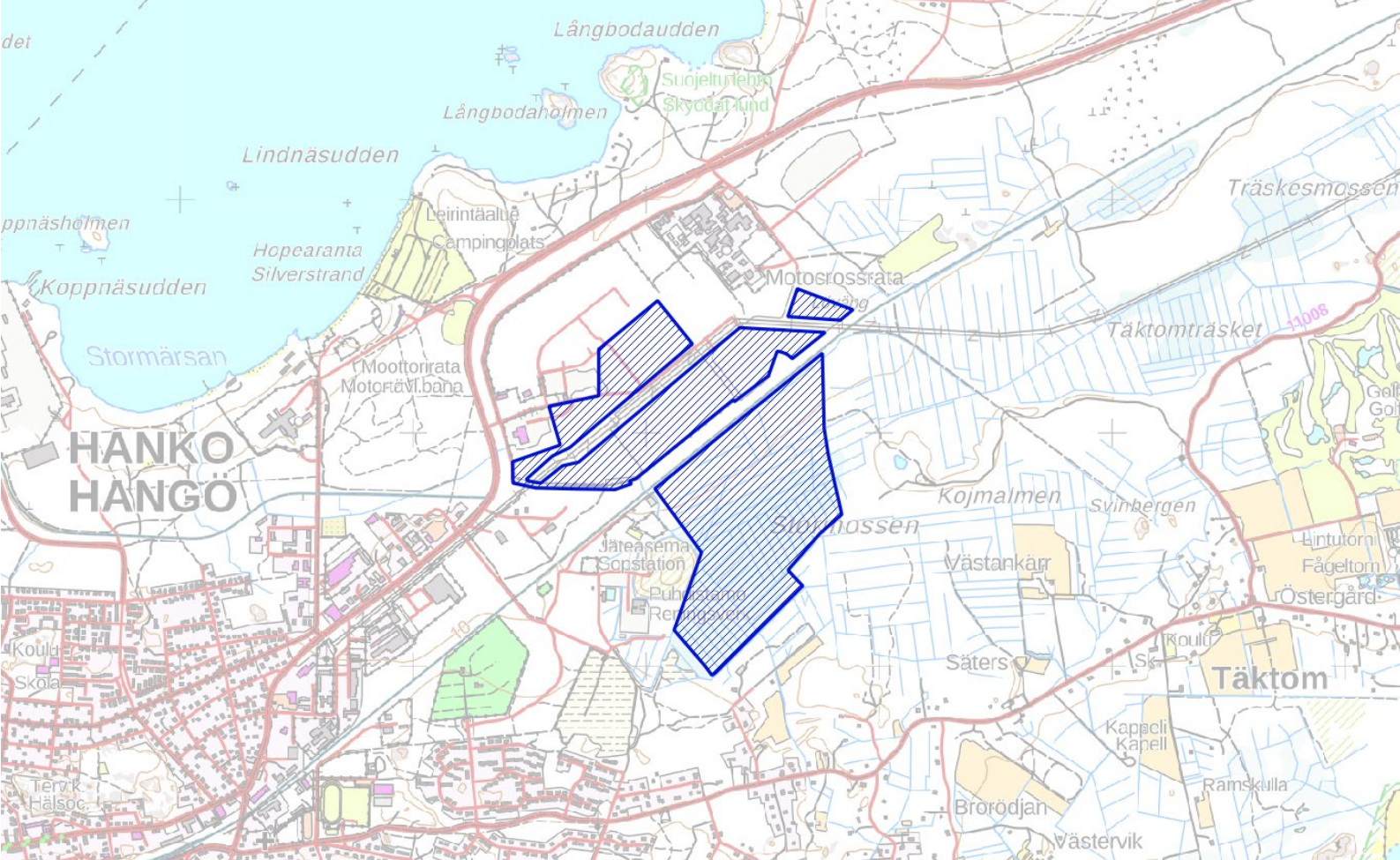




# forus

## Stormossenin aurinkovoimala

Hiilitaseselvitys

31.8.2023

### Yhteystiedot

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

## Sisällysluettelo

|                                                              |          |
|--------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. Johdanto</b>                                           | <b>3</b> |
| <b>2. Laskelman oletukset, metodit ja tietolähteet</b>       | <b>3</b> |
| 2.1 Aurinkovoimalan elinkaaren hiilijalanjälki               | 3        |
| 2.2 Tietolähteet                                             | 4        |
| 2.3 Elinkaaren vaiheet                                       | 4        |
| 2.4 Laskelman raja                                           | 5        |
| 2.5 Maaperän ja kasvillisuuden arviointi                     | 6        |
| 2.6 Tuotetun sähkön vaikutus                                 | 8        |
| <b>3. Tulokset</b>                                           | <b>9</b> |
| 3.1 Aurinkovoimalan elinkaaren hiilijalanjälki               | 9        |
| 3.2 Metsien hakkuiden ja maaperän käytön muutosten hiilitase | 11       |
| 3.3 Aurinkovoimalan tuottaman sähkön syrjäyttämät päästöt    | 12       |
| 3.4 Tulosten yhteenveto                                      | 13       |
| 3.5 Johtopäätökset                                           | 14       |

## 1. Johdanto

Tämän raportin tarkoituksena on esittää Hangon Stormossenin suolle sekä sen pohjoispuoliselle teollisuusalueelle suunnitellun aurinkovoimahankkeen ilmastovaikutusselvityksen 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             | 98 ha      |
| Voimalan teho                     | 68 MWp     |
| Voimalan vuotuinen sähköntuotanto | 89 GWh     |
| Voimalan käyttöikä                | 30 vuotta  |
| Verkkoliittymän tyyppi            | Maakaapeli |
| Maakaapelin pituus                | 1 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

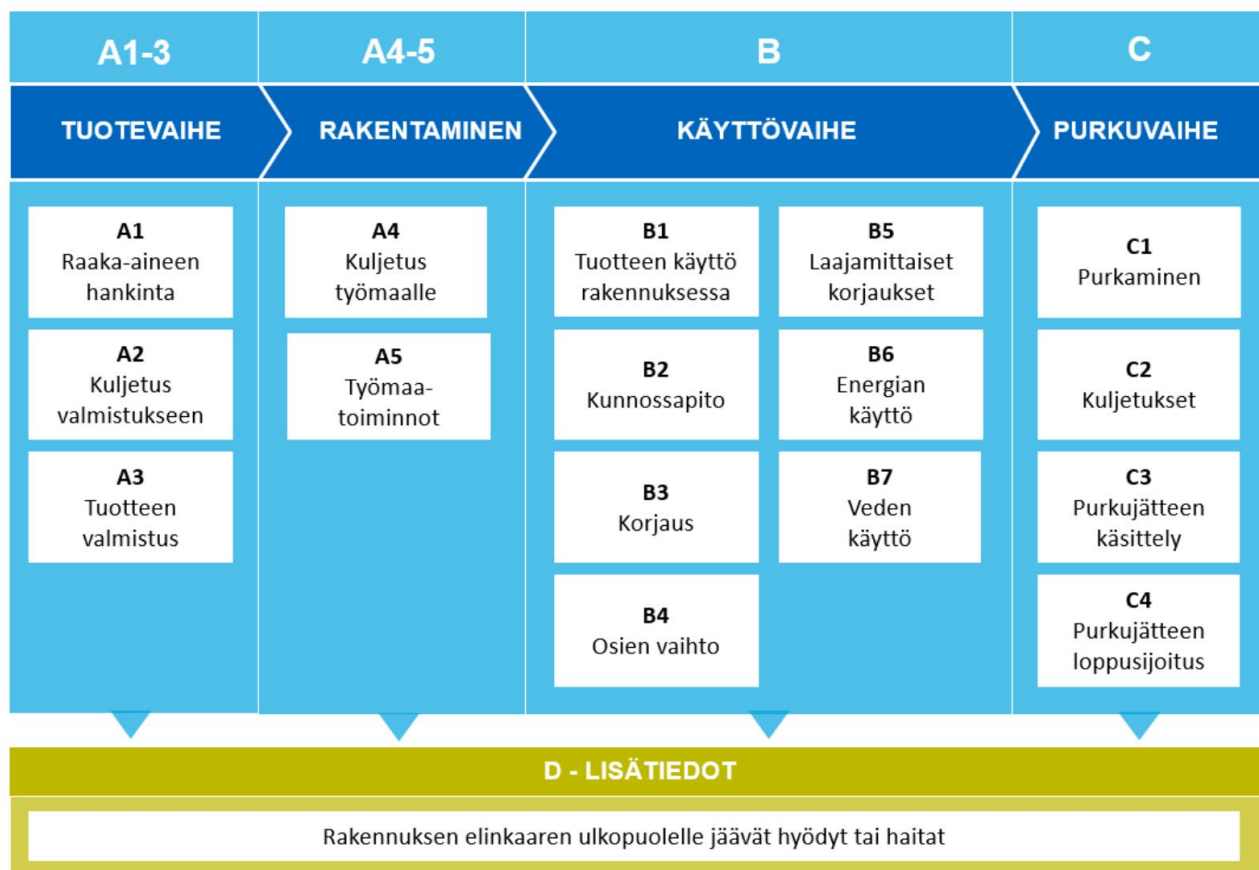
Määrälaskelman päästötietolähteinä on käytetty Suomen ympäristökeskuksen tekemää Rakentamisen päästötietokantaa materiaalien ja fyysisten komponenttien sekä aurinkopaneelien osalta [\[CO2data\]](#). Tietokantaa on käytetty myös kuljetusten ja työmaatoimen päästökertoimien lähteenä. Sähkökomponenttien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

Puuhakkuiden vuoksi menetettävä hiilinielu sekä hakattavan puuston menetetty hiilivarasto on arvioitu Metsäkeskuksen avointen metsätietojen perusteella. [\[Metsäkeskus\]](#). Puuhakkuiden vaikutusta maaperän hiilitaseeseen on arvioitu perustuen tieteellisiin artikkeleihin erikseen turvopohjaisilla metsäalueilla [\[Vestin ym.\]](#) ja kivennäispohjaisilla metsäalueilla [\[Humphreys ym.\]](#).

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.

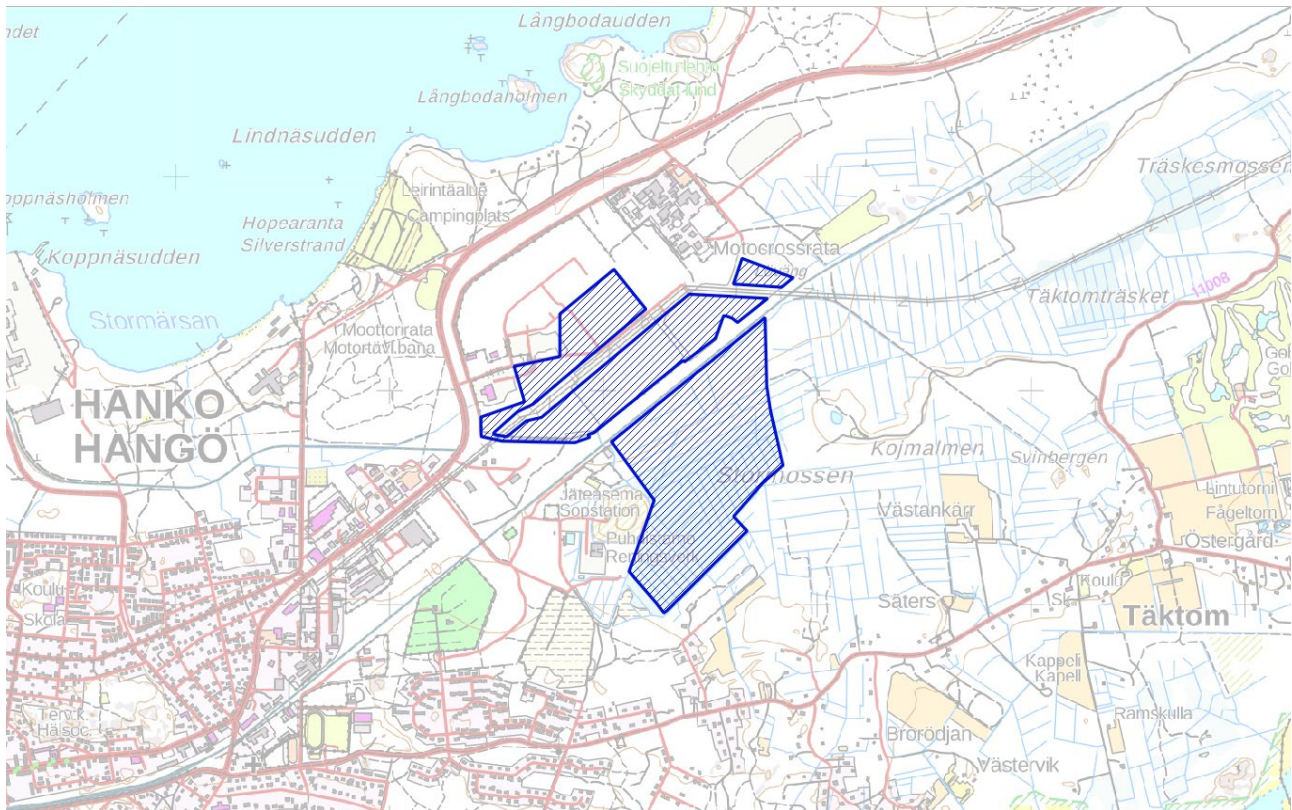
Purkuvaiheen (C) päästöissä otetaan huomioon purettujen materiaalien kuljetukset sekä purkujätteen käsittely sekä loppusijoitukset.

Elinkaaren ulkopuolelle jäävinä hyötyinä tai haittoina (D) on käsitelty kaadettavan metsän menetetyn hiilinielun vaikutuksia, maaperän muutoksista koituvia päästöhyötyjä ja -haittoja sekä voimalan tuottaman sähkön vaikutusta päästöintensitiivisemmän sähkön korvaajana sähköverkossa eri skenaarioittain.

## 2.4 Laskelman rajaus

Elinkaariarviointi rajautuu voimalan pysyviin rakenteisiin sekä aurinkovoimalalle rakennettavaan voimajohtoliityntään, jolla voimala kytketään sähköverkkoon. Hankealue muodostuu neljästä erillisestä aidattavasta alueesta. Elinkaaren pituutena on laskelmassa käytetty voimalan oletettua 30 vuoden käyttöikää. Kuvassa 2 on esitetty hankealue kartalla. Hankealue on rajattu sinisellä.





Kuva 2. Karttakuva hankealueesta.

## 2.5 Maaperän ja kasvillisuuden arviointi

Hankealuetta valitessa on pyritty suosimaan maaperätyyppejä, joilla negatiiviset ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman vähäiset ja joilla jopa saadaan aikaan päästövähennyksiä ennallistamiskeinoin. Hankkeen toteutuminen kokonaisuudessaan vaatii kuitenkin taloudellisista syistä myös näiden alueiden lisäksi metsäisiä suoalueita, joiden muuntaminen aurinkovoimalakelpoiseksi vähentää hiilinieluja ja aiheuttaa päästöjä.

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.

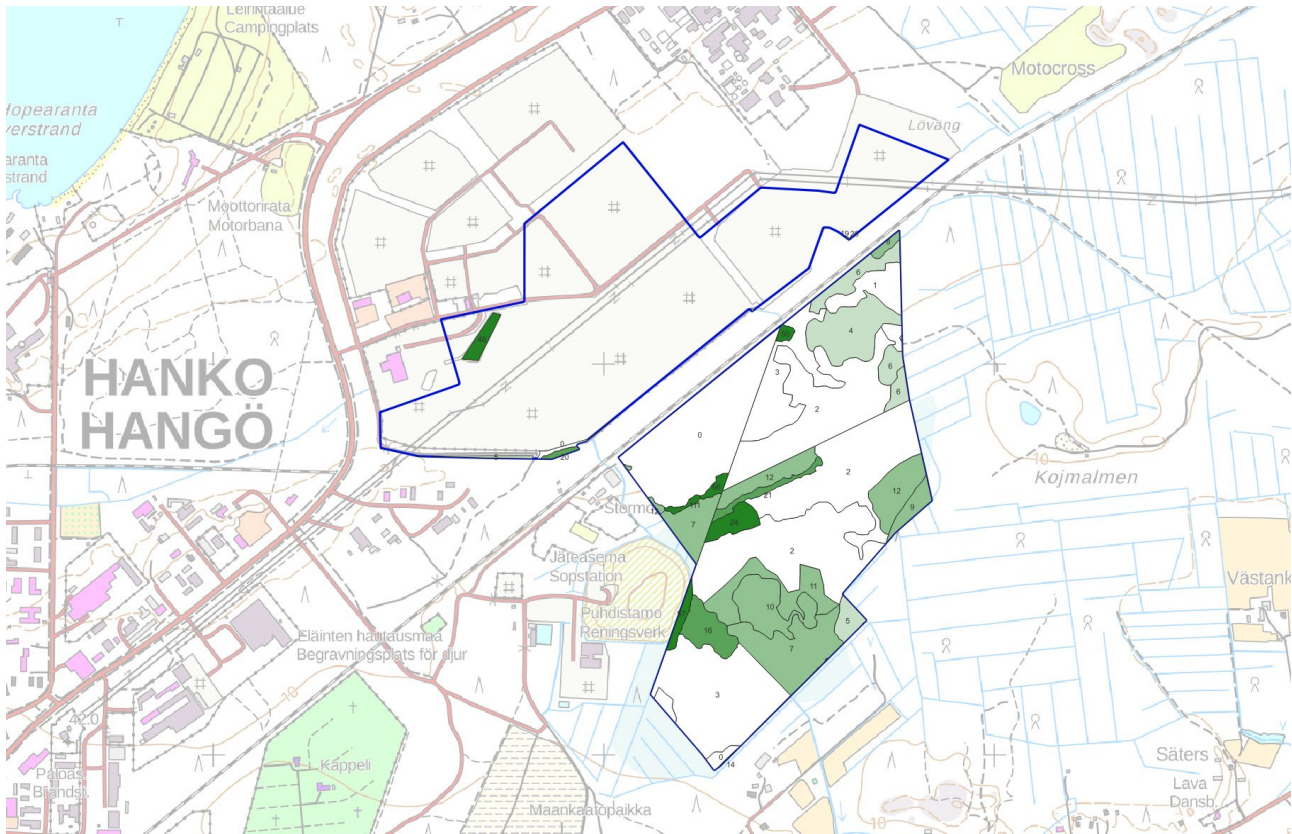
Laskelmassa eri maaperätyyppien pinta-alat on kerrottu keskimääräisillä kasvihuonekaasutaseilla ennen ja jälkeen voimalan rakentamisen, jolloin voidaan arvioida aurinkovoimalan rakentamisen aiheuttamaa muutosta maaperän päästöissä ja nieluissa. Kaasutaseen muutos on laskettu kestävän koko voimalan elinkaaren 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.





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



Kuva 4. Hankealueelta poistuvat vuotuiset hiilinielut tonneina per hehtaari metsäalueittain.

## 2.6 Tuotetun sähkön vaikutus

Suunniteltu aurinkovoimala tuottaa vuodessa noin 89 GWh sähköä, mikä vastaa noin 50 000 suomalaisen kerrostalokaksion vuotuista sähkönkulutusta. Elinkaarensa aikana voimala tuottaa sähköä noin 2 700 GWh.

Aurinkovoimalan tuottama sähkö korvaa päästöintensiivisempää sähköä markkinoilta, sillä aurinkovoimalan tuottama sähkö on marginaalikustannuksiltaan tuotantohetkellä ilmaista ja päästövapaata. Aurinkovoimalan syrjäyttämän sähkön päästöhyötyjä on arvioitu kolmen eri skenaarion avulla perustuen eri oletuksiin.

### Skenario 1

Aurinkovoimalan tuottaman sähkön oletetaan korvaavan marginaalikustannuksiltaan kalliimpaa ja päästöintensiivisempää sähköä verkosta. Korvattavan sähkön oletetaan olevan tuotettu kivihiilellä, öljyllä, maakaasulla ja turpeella. Korvattavan sähkön päästökerroin on laskettu näiden sähköntuotantomuotojen määrien perusteella painotettuna keskiarvona vuodelta 2021. Painotettu keskiarvio skenaarion 1 syrjäytetylle sähkölle on 284 kg CO<sub>2</sub>e/MWh.

### Skenario 2

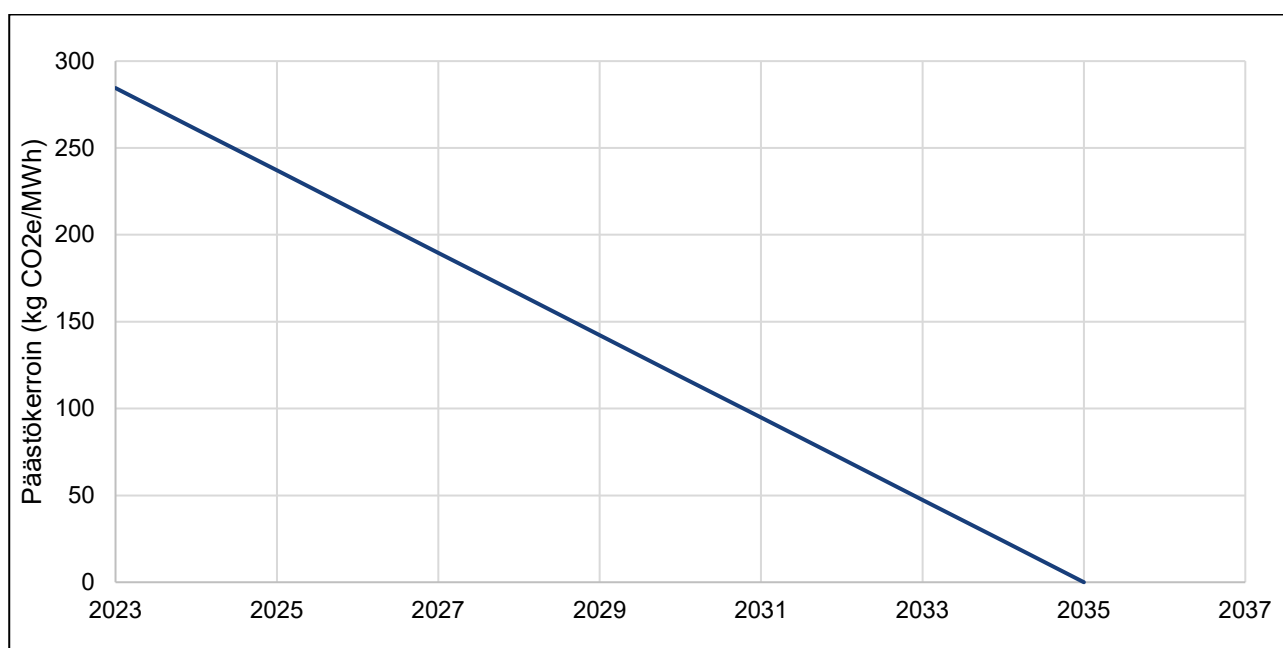
Toisessa skenaariossa aurinkovoimalan sähkön on oletettu korvaavan sähkömarkkinoilta muitakin sähköntuotannon muotoja päästöintensiivisten lisäksi. Arviossa on käytetty päästökertoimenä markkinoiden sähkön keskiarvoa, joka on Suomen sähkömarkkinoilla vuosien 2016–2021 viiden vuoden liukuvalla keskiarvolla 89 kg CO<sub>2</sub>e/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.

### Skenaario 3

Todellisuudessa aurinkovoimalan korvaama sähkö ei ole pelkästään päästöintensiivistä, eikä myöskään keskimääräistä, vaan jotakin näiden väliltä riippuen muiden tuotantomuotojen määristä kullakin ajan hetkellä. Lisäksi Suomen sähkömarkkinat tulevat päästöttömän energian lisääntyessä jatkuvasti vähemmän päästöintensiivisiksi aurinkovoimalan elinkaaren aikana. Nämä asiat huomioon ottaen skenaariossa 3 on oletettu, että korvatus sähköön päästökerroin lähtee skenaarion 1 päästökertoimesta, mutta laskee Suomen päästötavoitteiden mukaisesti nollaan lineaarisesti kuvan 5 mukaisesti vuoteen 2035 mennessä.

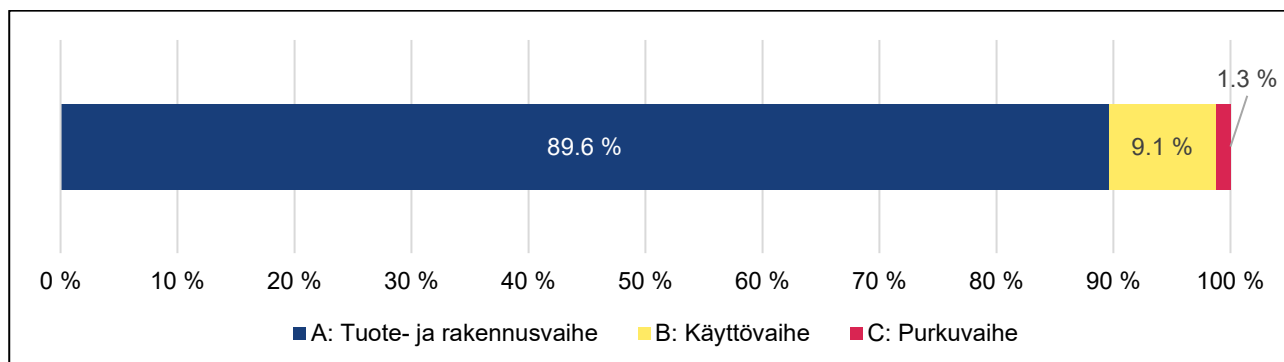


Kuva 5. Skenaariossa 3 syrjäytetyn sähkön päästökertoimen oletettu kehitys.

## 3. Tulokset

### 3.1 Aurinkovoimalan elinkaaren hiilijalanjälki

Aurinkovoimalan rakenteiden ja komponenttien elinkaaren hiilijalanjälki on yhteensä 75 442 t CO2e. Suhteutettuna voimalan tuottamaan energiaan päästöt ovat 28,3 g CO2e/kWh. Päästöt jakautuvat elinkaaren vaiheisiin A-C kuvan 6 mukaisesti.



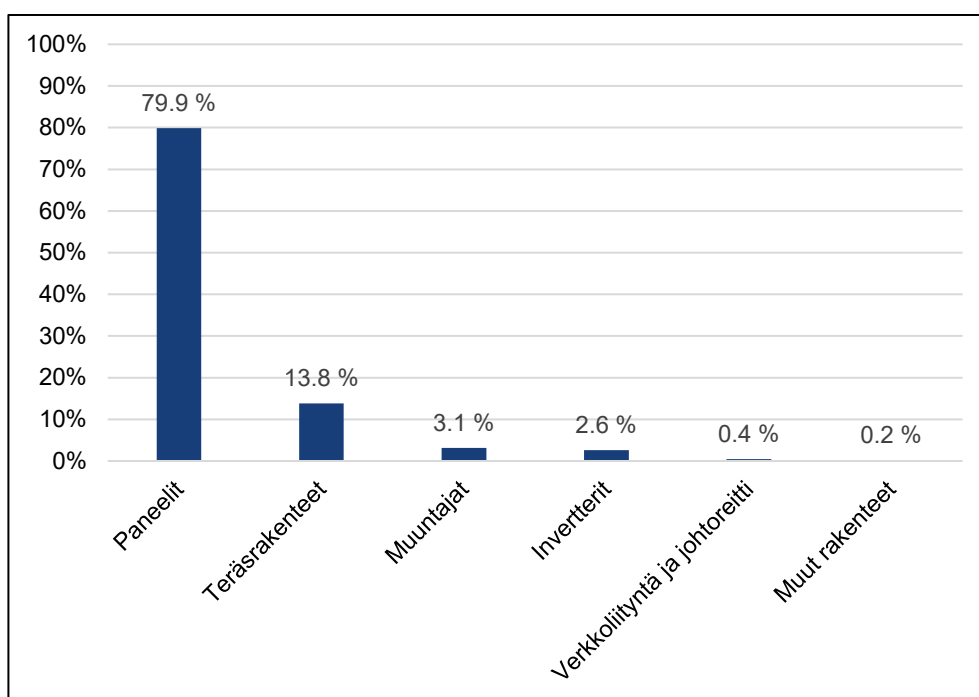
Kuva 6. Aurinkovoimalan päästöjakauma elinkaarivaiheittain.

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 160 t CO<sub>2</sub>e, mikä vastaa noin 0,2 % elinkaaripäästöistä.

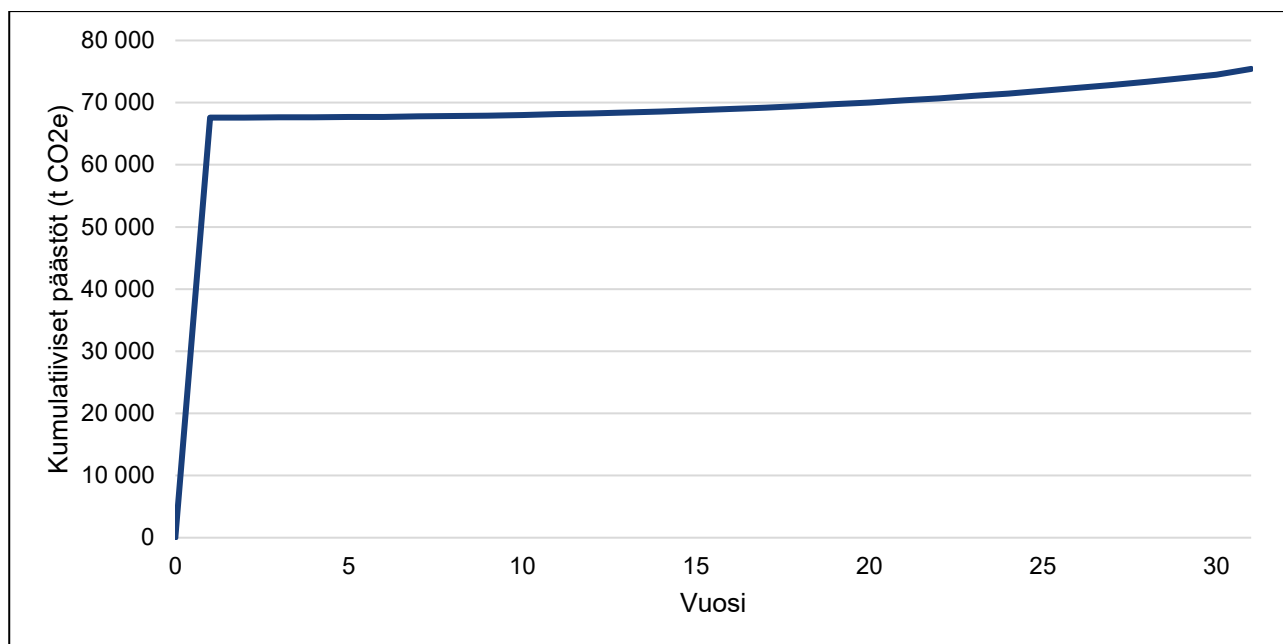
Aurinkopaneelit ovat merkittävin yksittäinen komponentti päästöjen kannalta. Noin 80 % kaikkien komponenttien päästöistä aiheutuu aurinkopaneeleista. Laskennassa on käytetty aurinkopaneelille Ympäristöministeriön CO<sub>2</sub>data-tietokannan markkinatutkimukseen perustuvaa tyypillistä päästökerroinarvoa 10,79 kg CO<sub>2</sub>e per paneelikilogramma [[CO2data](#)].

Kuvassa 7 on esitettyä aurinkovoimalan päästöjakauma komponentteittain. Luvuissa on huomioitu koko elinkaari, mukaan lukien käyttö- ja purkuvaihe sekä kaikki kuljetukset komponenteittain.

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



Kuva 7. Aurinkovoimalan komponenttien päästöjakauma ja osuudet.



Kuva 8. Aurinkovoimalan rakenteiden ja komponenttien elinkaaren kumulatiiviset päästöt.

Kuvassa 8 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 vanhentuessa uusimisten tarve lisääntyy, mikä näkyy kumulatiivisen päästökäyrän jyrkkenejänä.

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

### 3.2 Metsien hakkuiden ja maaperän käytön muutosten hiilitase

Metsien hakkuista aiheutuva poistuva hiilivarasto on 12 549 t CO<sub>2</sub> ja poistuva vuotuinen hiilinielu on 449 t CO<sub>2</sub>. Yhteensä puuston poistosta johtuva vaikutus on koko aurinkovoimalan elinkaaren ajalta 26 028 t CO<sub>2</sub>. Metsien hakkuiden hiilivarastojen ja -nielujen poisto vastaa yhteensä noin 35 % aurinkovoimalan rakenteiden elinkaaripäästöistä.

Hankealueen maankäytön muutoksia on arvioitu neljällä eri maastotyyppillä: ojitettu metsä turvemaalla, metsä kivennäismaalla, entinen turpeentuotantoalue ja pelto turvemaalla.

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



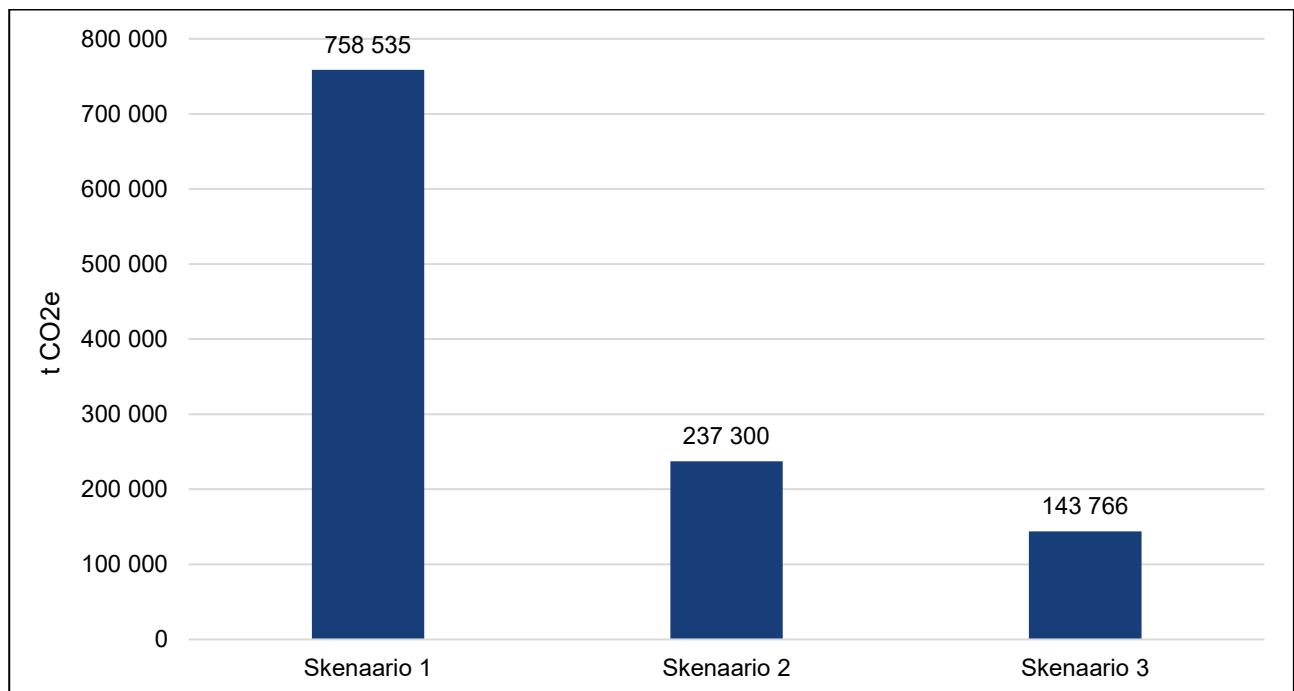
*Taulukko 4. Maaperän käytön muutosten vaikutus hiilitaseeseen.*

| Maastotyyppi             | Pinta-ala | Vuotuinen vaikutus      | Elinkaarivaikutus          |
|--------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|
| Metsä kivennäismaalla    | 33 ha     | 211 t CO <sub>2</sub> e | 6 318 t CO <sub>2</sub> e  |
| Metsä turvemaalla        | 26 ha     | 237 t CO <sub>2</sub> e | 7 097 t CO <sub>2</sub> e  |
| Muutosten yhteisvaikutus | 59 ha     | 447 t CO <sub>2</sub> e | 13 414 t CO <sub>2</sub> e |

Maankäytön muutosten kokonaisvaikutus laskee päästöjä hankealueen maaperässä. Suhteutettuna aurinkovoimalan elinkaaripäästöihin maaperän muutosten vaikutus on noin 18 %.

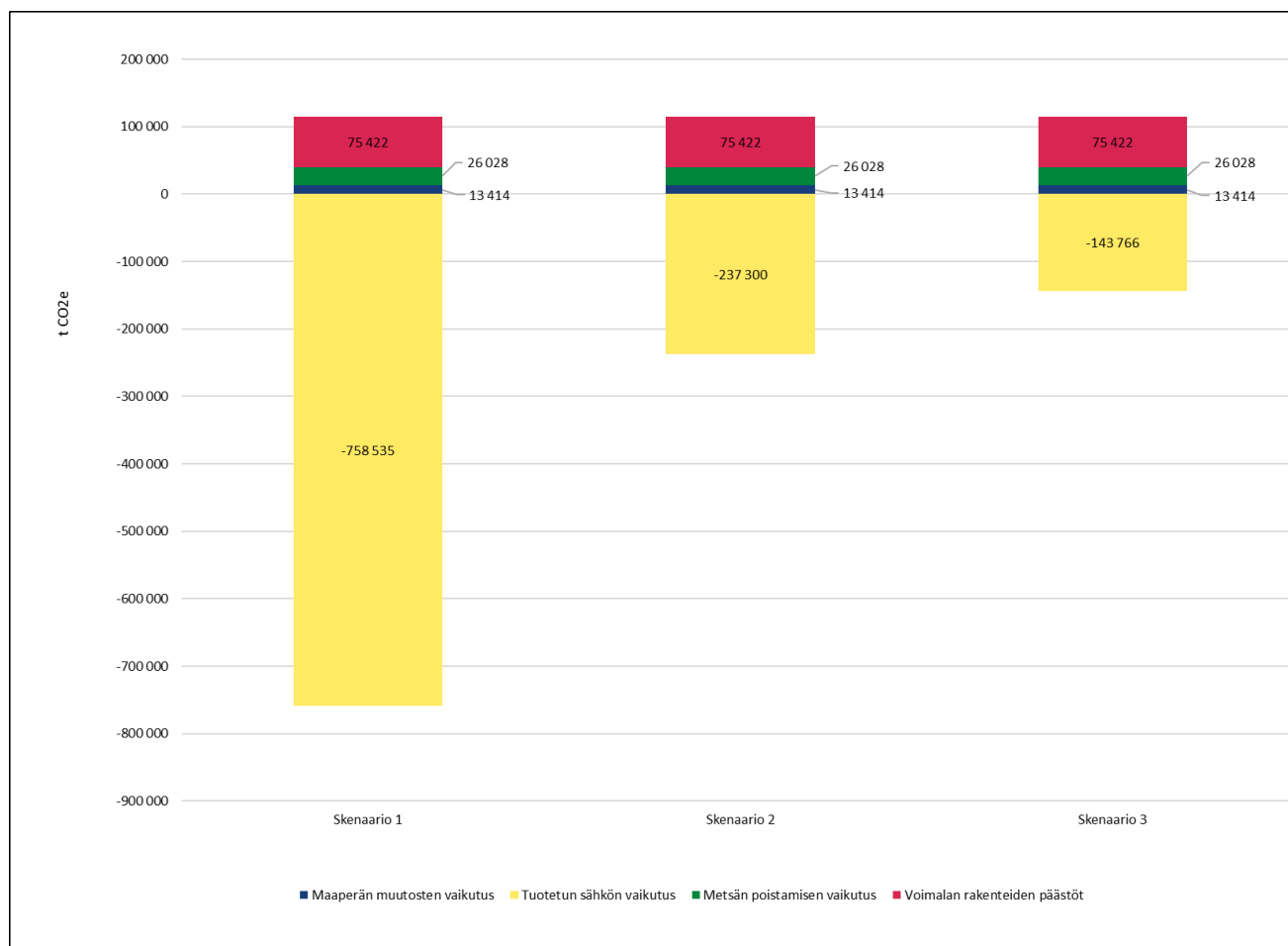
### 3.3 Aurinkovoimalan tuottaman sähkön syrjäyttämät päästöt

Kuvassa 9 on esitetty kolmen eri sähköntuotannon päästösyrjäytyksen skenaarion vaikutukset päästöjen vähenemisenä korvatus päästöintensiivisemmän sähkön kulutuksen poistumisen muodossa.



*Kuva 9. Aurinkovoimalan tuottaman sähkön syrjäyttämät päästöt skenaarioittain.*

### 3.4 Tulosten yhteenveto



Kuva 10. Hiilitaseselvityksen eri osa-alueiden yhteenveto.

Kuvaan 10 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 | 75 422      | 75 422      | 75 422      |
| Metsän poistamisen vaikutus  | 26 028      | 26 028      | 26 028      |
| Maaperän muutosten vaikutus  | 13 414      | 13 414      | 13 414      |
| Korvatus sähkön vaikutus     | -758 535    | -237 300    | -143 766    |
| Vaikutus yhteensä            | -643 671    | -122 436    | -28 902     |

#### Skenaario 1

Skenaario 1 syrjäytetyn päästöintensiiivisen sähkön päästöt kattavat aurinkovoimalan elinkaaren aikana syntyneet päästöt viidentenä tuotantovuotena, minkä jälkeen voimalan toiminta on täysin päästöneatiivista. Skenaario 1 sähkön syrjäytyksellä voimalan komponentit ja maaperän

muutokset huomioon ottaen aurinkovoimala vähentäisi päästöjä elinkaarensa aikana noin 65 000 suomalaisen vuosipäästöjen verran.

#### Skenaario 2

Skenaarion 2 sähköverkon keskimääräistä sähköä korvaamalla aurinkovoimala saavuttaa päästönegatiivisuuden 13. käyttövuotenaan. Skenaarion 2 sähkön syrjäytyksellä voimalan komponentit ja maaperän muutokset huomioon ottaen aurinkovoimala vähentäisi päästöjä noin 12 000 suomalaisen vuosipäästöjen verran.

#### Skenaario 3

Päästöintensiivisen päästökertoimen laskun huomioon ottavassa skenaariossa 3 aurinkovoimala saavuttaa päästönegatiivisuuden 6. käyttövuotenaan. Vaikka skenaarion 3 kokonaispäästöhyödyt jäävät skenaarion 2 hyötyjä pienemmäksi, saavutetaan päästönegatiivisuus nopeammin, sillä voimalan alkuvuosina syrjäytetyn sähkön päästökerroin on huomattavasti korkeampi. Vuoden 2035 jälkeen skenaariossa 3 ei saada enää lainkaan hyötyjä markkinoilta syrjäytetystä sähköstä, ja koko voimalan elinkaaren ajalta jäädään niukasti päästönegatiiviseksi.

Kuten skenaariossa 3 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 Hankoon Stormossenin alueelle ja sen pohjoispuoliselle tehdasalueelle suunnitellun aurinkovoimalan ympäristövaikutuksia hiilitaselaskennan keinoin. Selvityksen mukaan voimalan rakenteet aiheuttavat yli puolet päästöistä ja hankealueen metsien kaato alle neljäsosan. Maaperän muutosten yhteisvaikutus kasvihuonekaasutaseeseen on kokonaisuuteen nähden pieni.

Suunnitellun aurinkovoimalan tuottaman sähkön ympäristövaikutuksia arvioitiin kolmen eri skenaarion avulla. Ensimmäisessä skenaariossa aurinkovoimalan tuottaman sähkön oletettiin korvaavan päästöintensiivisempää fossiilista sähköä verkosta. Forus ei pidä tätä skenaariota kovinkaan realistisena.

Toisessa skenaariossa verkosta korvatus sähkön oletettiin olevan keskimääräistä päästökertoimeltaan, ja kolmannessa otettiin huomioon sähköntuotannon puhdistuminen vuosi vuodelta Suomen edetessä kohti hiilineutraaliustavoitteitaan. Aurinkovoimalan sähköntuotannon todelliset päästöhyödyt ovat todennäköisesti skenaarioiden 2 ja 3 välillä, ja voimala saavuttaa elinkaarensa aikana päästönegatiivisuuden.

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