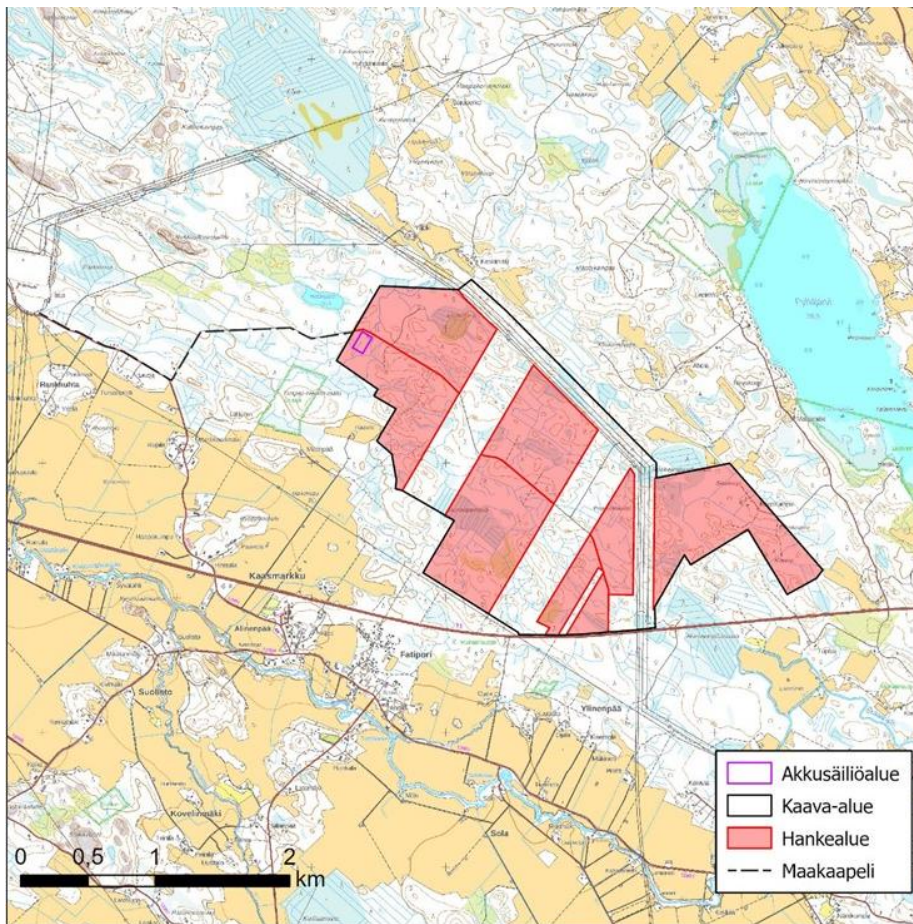


Uvilan Kaasmarkun aurinkovoimalan osayleiskaavan ilmastovaikutusten arviointi

Tulokset ja menetelmäkuvaus



Päiväys 25.2.2025
Tekijä Juha Seppälä
Tarkastaja Timo Huhtinen
Tilaaaja IBV Suomi Oy
Projektinumero YKK66895

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| KÄSITTEET | 3 |
| 1 JOHDANTO | 4 |
| 2 SYSTEEMIRAJAUS..... | 5 |
| 3 LASKENTAMENETELMÄ | 6 |
| 4 LÄHTÖTIEDOT JA OLETUKSET | 10 |
| 4.1 Aurinkopaneelit | 10 |
| 4.2 Aurinkopaneelien asennusrakenteet | 10 |
| 4.3 Sähkönsiirto..... | 10 |
| 4.4 Tiet | 11 |
| 4.5 Turvavarusteet..... | 12 |
| 4.6 Energiavarasto | 12 |
| 4.7 Hiilivarastot ja -nielut..... | 12 |
| 4.8 Hankkeen tiedot | 13 |
| 5 TULOKSET | 13 |
| 6 YHTEENVETO | 18 |
| 7 LÄHTEET | 19 |
| Liite 1. Ulvilan aurinkovoimahanke, metsien hiiliraportti | 20 |

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 | Ilmaan vapautuneiden kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää 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

IBV Suomi Oy suunnittelee Ulvilan Kaasmarkkuun aurinkoenergian tuotantoaluetta. Hankealue on laajuudeltaan noin 303 ha. Hiilitaselaskennassa paneelialueiden alle jäävän metsän pinta-ala on noin 258 hehtaaria. Sähkönsiirto tuotantoalueelta Ulvilan sähköasemalle toteutetaan maakaapelilla. Tuotantoalueelle sijoitetaan akkuvarasto tasoittamaan sähköverkkoon luovutettavan sähkön määrän vaihtelua. Tässä raportissa on esitetty hankkeen ilmastovaikutukset elinkaariarviointiin perustuen.

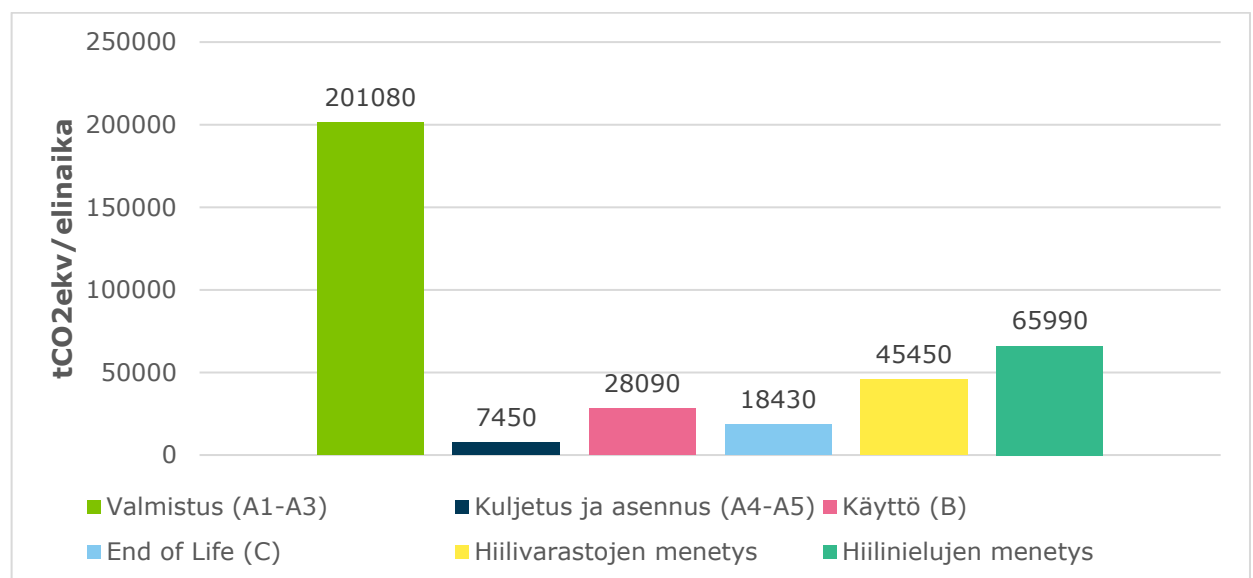
Tuotantoalueella tuotetaan vähäpäästöistä energiaa, jolloin vältetään päästöintensiivisempien sähköntuotantotapojen aiheuttamia päästöjä.

Kaavaehdotuksen mukaisessa hankkeessa vuosituotanto noin 264 GWh.

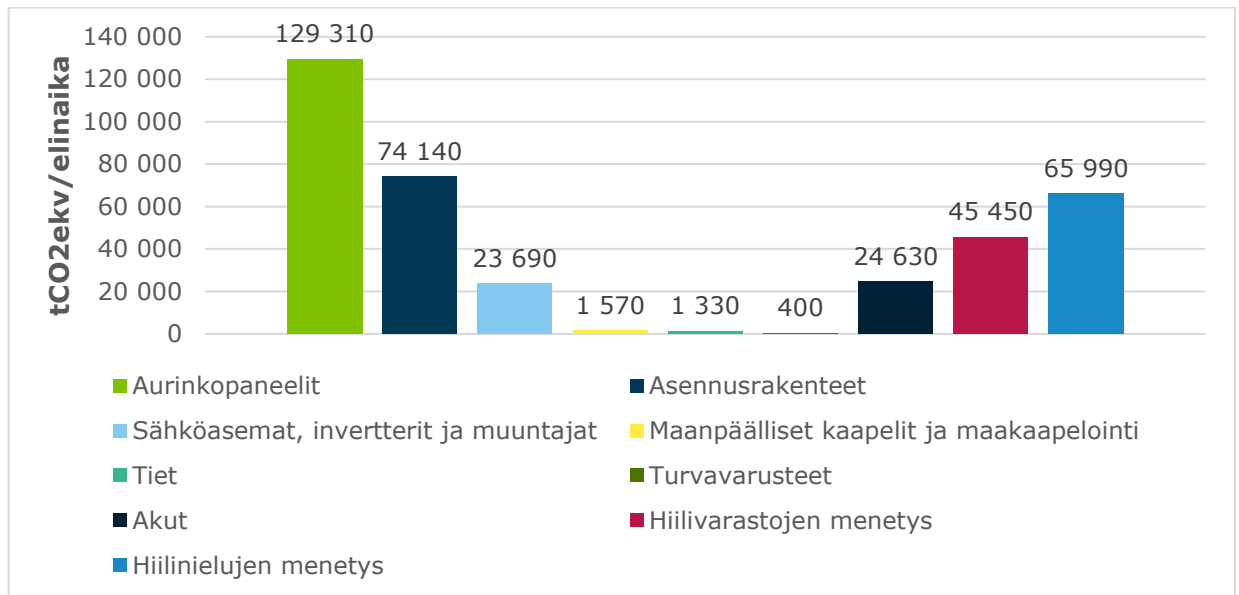
Tuotantoalueen kielteiset ilmastovaikutukset aiheutuvat voimalan rakentamisen (mm. materiaalit ja kuljetukset) sekä elinkaaren lopun toiminnoista. Lisäksi tuotantoalueen toteuttaminen vaikuttaa alueen kasvillisuuden nykyisiin ja tuleviin hiilinieluihin ja -varastoihin, kun metsäisillä alueilla puusto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

Kaavaehdotuksen mukaisen hankkeen elinkaarin hiilijalanjälki on noin 366 481 t CO₂e.

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



Kuva 1.1. Ulvilan Kaasmarkkuun aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen jakautuminen elinkaaren vaiheittain.



Kuva 1.2. Ulvilan Kaasmarkkuun aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen jakautuminen päästötেকijöittäin.

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.3.9.1) 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 kasvuennustedatata. 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 mukaisilla toimenpide-ehdotuksilla tai Tapion hyvän metsänhoidon 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)

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

² https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019.pdf

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

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

- Metsänhoitotoimenpiteet (taimikonhoito, harvennukset ja päätehakkuu) simuloidaan kohteelle, jos hakkuukriteerit täyttyvät. Tällöin lasketaan myös hakkuupoistuma (tukki/kuitu/hukkapuu).

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

1. Ensimmäinen näkökulma tarkastelee päästövähennysvaikutusta Euroopan tasolla, sillä Suomi on osa Euroopan yhteisiä sähkömarkkinoita, joilla sähköä kaupataan Pohjoismaiden välillä sekä myös Pohjoismaista muualle Eurooppaan. Aurinkovoimalla tuotetun energian voidaan olettaa korvaavan Suomessa tuontisähkön tarvetta. Tämä mahdollistaa esimerkiksi sen, että muissa Pohjoismaissa tuotettua uusiutuvaa sähköä vapautuu enemmän Euroopan markkinoille syrjäyttämään ei-toivottujen polttoaineiden käyttöä. Syrjäytetyistä sähköntuotannon polttoaineista 29 % olisi hiiltä, 36 % ydinvoimaa ja 35 % maakaasua (European Council, 2023). Tätä jakaumaa ja näillä polttoaineilla tuotetun energian elinkaarisia päästökertoimia (UNECE, 2022) hyödyntämällä saadaan tällä hankkeella korvattun sähkön päästökertoimeksi 425 g CO₂-ekv/kWh.
2. Toinen näkökulma tarkastelee päästövähennysvaikutusta yksittäisen kuluttajan näkökulmasta, jolloin aurinkovoimalla tuotetun energian voidaan olettaa korvaavan Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa. Tilastokeskukselta saatavan uusimman tiedon mukaan Suomen sähköntuotannon elinkaarinen päästökerroin on vuonna 2022 ollut 79 g CO₂-ekv/kWh (Tilastokeskus, 2024). Hankkeella saavutettavaa päästövähennysvaikutusta on arvioitava nimenomaan Suomen keskimääräisen sähköntuotannon elinkaariseen päästökertoimeen perustuen, jotta päästökertoimen rajaus on yhteneväinen tässä selvityksessä arvioidun aurinkovoimahankkeen elinkaarisen päästökertoimen kanssa. Tästä syystä päästövähennysvaikutusta ei voida arvioida esimerkiksi ajantasaisempaan Fingridin ilmoittamaan Suomen sähköntuotannon päästökertoimeen, sillä se sisältää vain sähköntuotannosta aiheutuneet suorat päästöt. Fingridin ilmoittama päästökerroin sisältää myös vain hiilidioksidin, eikä se huomioi muiden kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta.
 - Tässä näkökulmassa kuitenkin oletetaan, että aurinkovoimalla korvattaisi uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. On huomioitava, että hankkeen tuottama aurinkovoima ei todellisuudessa korvaa suoraan eri polttoaineilla tuotettua Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa. Todellisuudessa hankkeen tuottama energia lisää aurinkovoimalla tuotetun energian määrää Suomen sähköntuotannossa, samalla korvaten päästöintensivisempien polttoaineiden käyttöä. Mikäli halutaan tarkastella hankkeen vaikutusta Suomen keskimääräisen sähköntuotannon elinkaariseen päästökertoimeen, täytyisi Suomen sähköntuotantojakaumassa

huomioida aurinkovoiman kohdalla tämän hankkeen vuotuinen sähköntuotanto ja poistaa vastaava sähköntuotanto ei toivotuista polttoaineista. Koska yhden aurinkovoimahankkeen sähköntuotanto ei ole Suomen sähköntuotannosta merkittävä, ei yksittäisellä hankkeella saada suurta vaikutusta kansalliseen päästökertoimeen. Mikäli hankkeen tuottaman aurinkovoiman oletetaan korvaavan sähköntuotantojakaumassa päästöintensiivisimmän polttoaineen eli kivihiilen käyttöä, olisi kansallisen sähköntuotannon elinkaarinen päästökerroin tällöin karkeasti arvioiden noin 48,5 g CO₂-ekv/kWh. Tarkasteltavan aurinkovoimahankkeen päästövähennysvaikutus Suomen keskimääräisen sähköntuotannon elinkaariseen päästökertoimeen olisi tällöin noin 1 g CO₂-ekv/kWh.

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 2050 asti, joten arvioidaan keskiarvoista sähköntuotannon päästöä vuosien 2030–2050 välillä. Tuotannon ajankohdalle ennustettavaksi sähköntuotannon elinkaariseksi päästökertoimeksi on arvioitu 37 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 rajaus 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. 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.

4 LÄHTÖTIEDOT JA OLETUKSET

Hankealue on kooltaan noin 303 hehtaaria ja aurinkovoimalalla tuotetun sähköenergian määrän arvioitiin vuositasolla olevan potentiaalisesti noin 264 GWh. Aurinkovoimalan oletettiin tuottavan sähköä 40 vuoden ajan, jonka aikana aurinkovoimalan sähköntuotantopotentiaalin arvioidaan olevan noin 10 560 GWh.

4.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit voivat olla yksikide- tai monikidepaneeleja, tässä hankkeessa on suunniteltu hyödynnettävän 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. 25 prosenttia paneeleista arvioidaan uusittavan hankkeen 40 vuoden eliniän aikana.

Aurinkopaneelien elinkaaren aikaisia päästöjä on arvioitu LONGi Green Energy Technology Co., Ltd:n yksikiteisten aurinkopaneelien ympäristötuoteselosteeseen⁵ perustuen. Ympäristötuoteselosteessa tarkastellut aurinkopaneelit olivat teholtaan 620 W_p ja niissä on esitetty aurinkopaneelien kasvihuonekaasupäästöjä elinkaarenvaiheittain. Näissä tietolähteissä päästötiedot olivat esitetty yksikössä (g CO₂-ekv/W_p), jolloin päästöt voidaan suhteuttaa myös tässä hankkeessa käytettäville 650 W_p paneeleille.

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.

4.3 Sähkönsiirto

Hankkeen sähkönsiirto koostuu inverttereistä, vaihto- ja tasavirtakaapeleista, muuntajista, maakaapeloinneista sekä hankealueen sisäisestä sähköasemasta. Näiden osalta huomioidaan päästöt komponenttien valmistuksesta ja kuljetuksesta

⁵ <https://www.environdec.com/library/epd16504>

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 työkonoiden käytöstä (polttoaineiden valmistus ja poltto). Materiaalien kulutukset ja työsuoritteet perustuvat asiantuntija-arvioihin, päästötietolähteenä on hyödynnetty infrarakentamisen päästötietokannan tietoja.

4.4 Tiet

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

4.5 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.

4.6 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).

4.7 Hiilivarastot ja -nielut

Metsien hiilivarastojen ja hiilinielun kehitys on simuloitu käyttäen Sitowisen kehittämää tekoälypohjaista kasvumallia. Mallin opetusaineistona hyödynnetään Suomen Metsäkeskuksen avoimesta metsävaratiedosta⁶ 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 mukaisilla toimenpide-ehdotuksilla tai Tapiion hyvän metsänhoidon suositusten⁷ 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, juurissa⁸
- Puustoon sitoutunut hiili (ja CO₂e) biomassoista johdettuna
- Maaperään sitoutunut hiili lasketaan Yasso-mallilla⁹
- Hiilivaraston muutos (lähde vs. nielu)

⁶ <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto>

⁷ https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019.pdf

⁸ <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/535968>

⁹ <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/yasso>

- Metsänhoitotoimenpiteet (taimikonhoito, harvennukset ja päätehakkuu) simuloidaan kohteelle, jos hakkuukriteerit täyttyvät. Tällöin lasketaan myös hakkuupoistuma (tukki/kuitu/hukkapuu).

Hiilinielujen poistuma on arvioitu vuoteen 2065 asti.

4.8 Hankkeen tiedot

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

Taulukko 1. Tilaajalta saadut lähtötiedot.

| Kuvaus | Tieto |
|------------------------------------|--------------------|
| Aurinkopaneelien lukumäärä | 441 000 kpl |
| Yhden aurinkopaneelin nimellisteho | 650 W _p |
| Invertterien lukumäärä | 782 kpl* |
| Yhden invertterin teho | 352 kW |
| Muuntajien lukumäärä | 50 kpl |
| Yhden muuntajan nimellisteho | 6,0 MVA |
| Tasavirtakaapelien pituus | 1 663,7 km |
| Vaihtovirtakaapelien pituus | 272,2 km |
| Maakaapeloinnin pituus | 2,7 km |
| Uuden tien pituus | 22,8 km |
| Aitauksen pituus | 20,7 km |
| Energiavaraston kapasiteetti | 250 MWh |

**Vaihdetaan kerran hankkeen elinkaaren aikana, jolloin tarvittavien invertterien kokonaismäärä on 1 564 kpl.*

5 TULOKSET

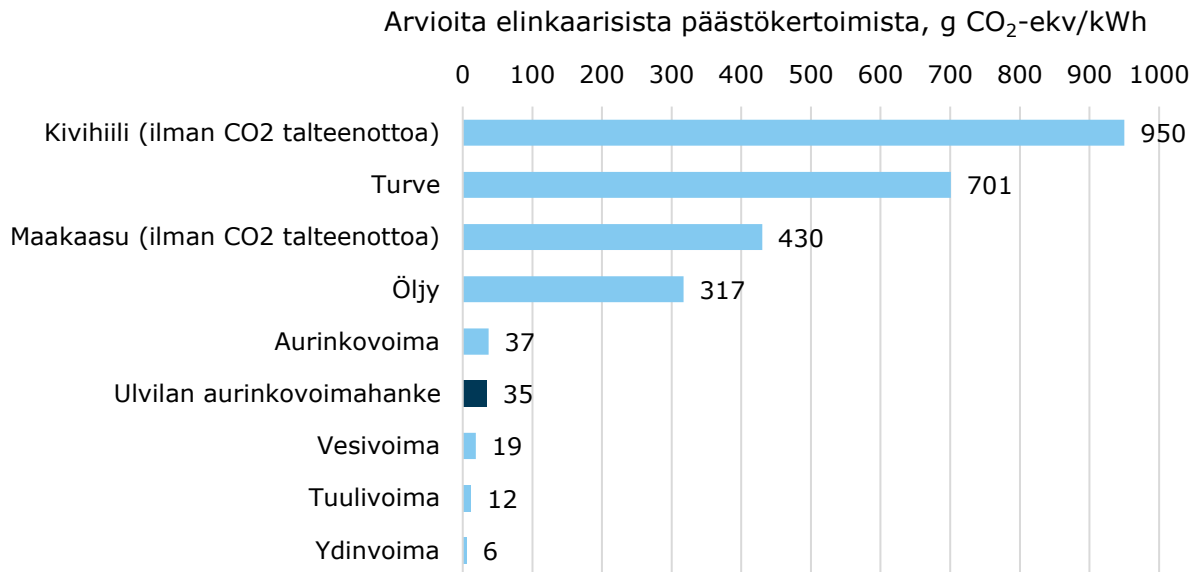
Hiilitaselaskennan tulokset esitetään tässä kappaleessa. Hankkeen aiheuttamat päästöt esitetään päästötekijöihin jaoteltuna. Kukin tekijä sisältää sille sektorille kohdistuvat päästöt kappaleessa 4 esitettyjen rajausten mukaisesti. Taulukossa 2 esitetään arvio hankkeen kokonaispäästöistä ilman kierrätysshyötyksiä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

Taulukko 2. Hankkeesta aiheutuvat päästöt eri päästötekijöihin jaoteltuna sekä niiden suhteelliset osuudet.

| Päästötekijä | Päästö, t CO ₂ -ekv | Osuus |
|--|-----------------------------------|--------------|
| Aurinkopaneelit | 129 310 | 35,3 % |
| Asennusrakenteet | 74 140 | 20,2 % |
| Sähköasema, invertterit ja muuntajat | 23 690 | 6,5 % |
| Maanpäälliset kaapelit ja maakaapelointi | 1 570 | 0,4 % |
| Tiet | 1 330 | 0,4 % |
| Turvavarusteet | 400 | 0,1 % |
| Energiavarasto | 24 630 | 6,7 % |
| Hiilivaraston poistuma | 45 450 | 12,4 % |
| Hiilinielun poistuma | 65 990 | 18,0 % |
| Yhteensä | 366 480 | 100 % |

Hankkeen toteutuessa siitä aiheutuvat kokonaispäästöt olisivat yhteensä noin 366 480 t CO₂-ekv koko elinkaaren ajalta. Kokonaispäästöjen lisäksi hankkeen päästöjä arvioitiin myös elinkaaren aikana tuotettuun energiamäärään suhteutettuna. Ulvilan aurinkovoimahankkeen elinkaarisen päästökertoimen arvioidaan olevan 34,7 g CO₂-ekv/kWh, huomioiden myös hiilivarastojen ja -nielujen menetys. Ilman hiilivarastojen ja -nielujen menetyksen huomioimista hankkeen elinkaarisen päästökertoimen arvioidaan olevan 24,2 g CO₂-ekv/kWh.

Vertailun vuoksi seuraavassa kuvassa 5–1 on esitetty elinkaarisia 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 Ulvilan aurinkovoimahankkeen elinkaarinen päästökerron huomioi myös hiilivarastojen ja -nielujen poistuman vaikutuksen.

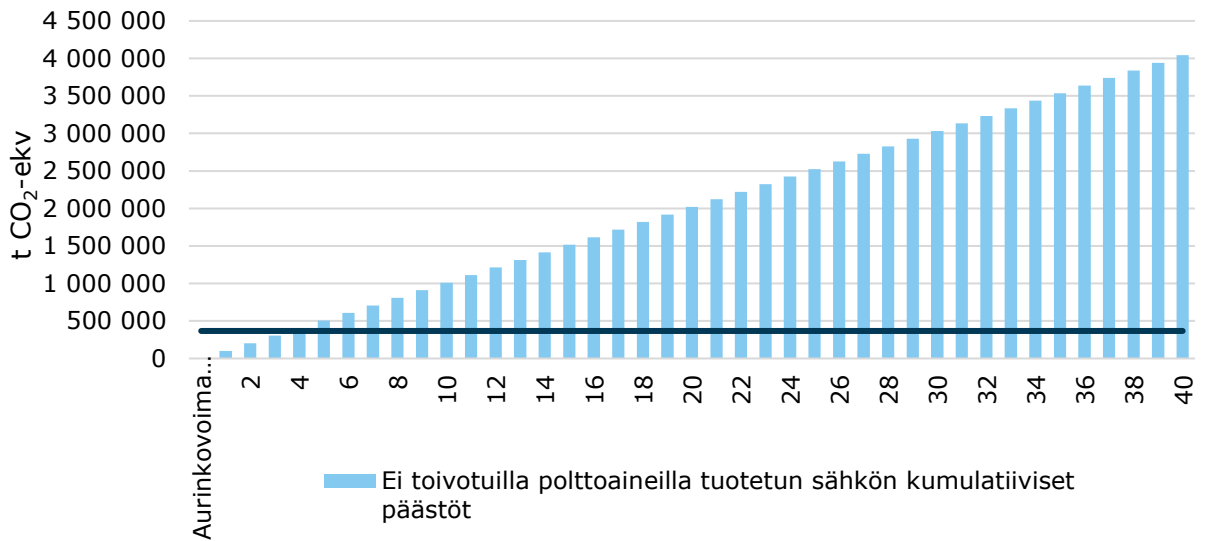


Kuva 5.1. Arvioita muilla energialähteillä tuotetun sähkön elinkaarisista päästökertoimista.

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

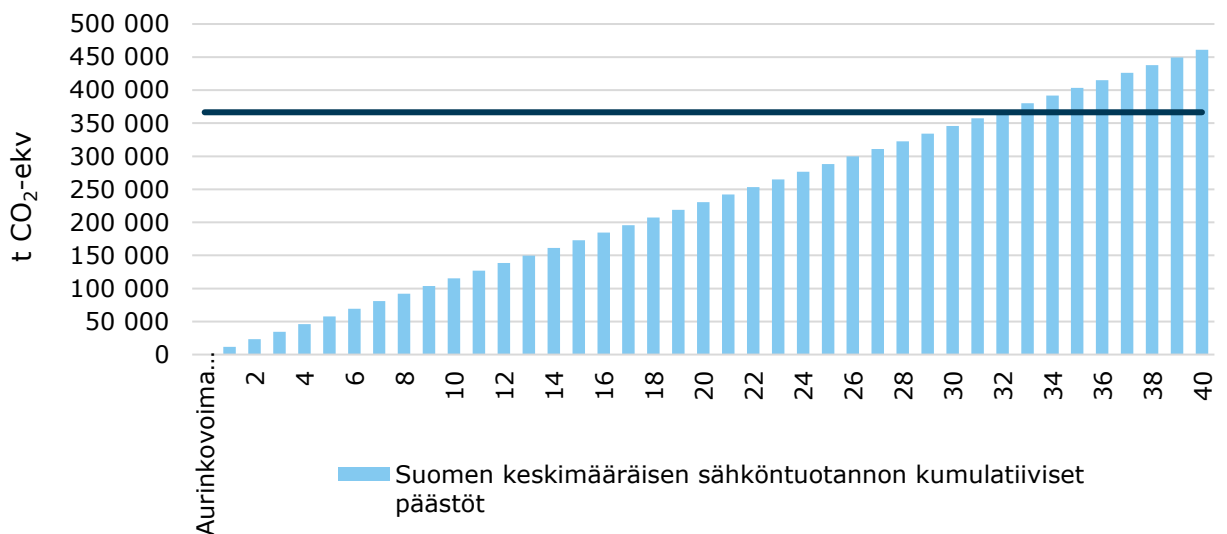
Aurinkovoimahankkeen arvioidaan tuottavan sähköä sen elinkaaren aikana noin 10 560 GWh. Hankealueen sisäisestä sähkönsiirrosta ja energian varastoinnista aiheutuvien häviöiden oletetaan olevan noin 10 %. Tällöin elinkaaren aikana verkkoon syötetyn energian arvioidaan olevan noin 9 504 GWh.

Näkökulma 1. Jos aurinkovoimahankkeen tuottamalla energialla korvattaisiin ei-toivottujen polttoaineiden käyttöä (29 % hiiltä / 36 % ydinvoimaa / 35 % maakaasua), saavutettaisiin silloin noin 4 041 430 t CO₂-ekv päästövähennysvaikutus. Aurinkovoimahankkeen elinkaaristen päästöjen ollessa noin 366 481 t CO₂-ekv, olisi hiilitase tällöin -3 674 950 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.



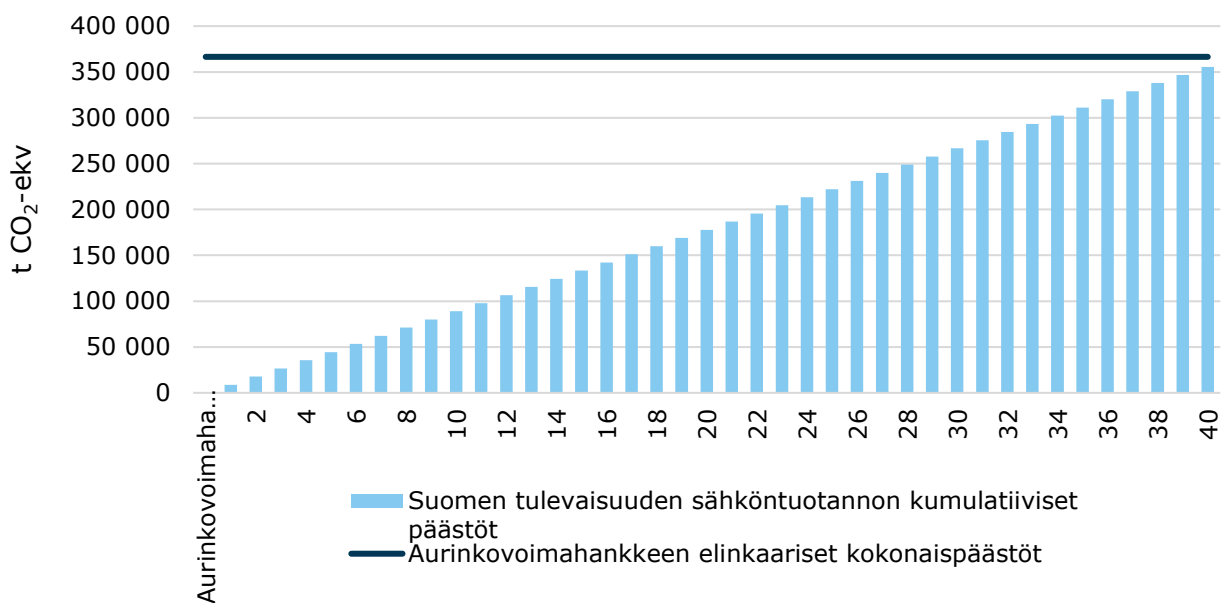
Kuva 5.2. Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotetun energian oletetaan korvaavan ei toivottujen polttoaineiden käyttöä Euroopan sähkömarkkinoilla.

Näkökulma 2. Jos aurinkovoimahankkeen tuottamalla energialla korvattaisiin Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa, saavutettaisiin silloin noin 460 944 t CO₂-ekv päästövähennysvaikutus. Hankkeesta aiheutuvien päästöjen ollessa noin 366 481 t CO₂-ekv, olisi hankkeen hiilitase noin -94 463 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 5.3. Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotetun energian oletetaan korvaavan Suomen nykyhetken keskimääräistä sähköntuotantoa.

Näkökulma 3. Jos aurinkovoimahankkeen tuottamalla energialla korvattaisiin Suomen keskimääräistä tulevaisuuden sähköntuotantoa, saavutettaisiin silloin noin 355 602 t CO₂-ekv päästövähennysvaikutus. Hankkeesta aiheutuvien päästöjen ollessa noin 366 481 t CO₂-ekv, olisi hankkeen hiilitase noin 10 879 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 5–4.

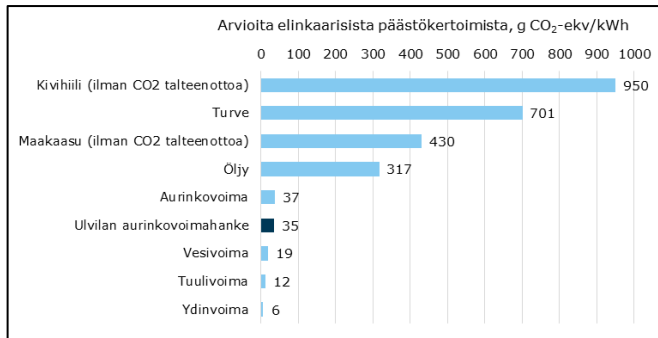


Kuva 5.4. Aurinkovoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvien päästöjen kompensoitumisaika, jos aurinkovoimalla tuotetun energian oletetaan korvaavan Suomen keskimääräistä tulevaisuuden sähköntuotantoa.

Jos aurinkovoimahankkeen tuottaman sähkön oletetaan korvaavan ei toivottujen polttoaineiden käyttöä, kompensoituisivat hankkeesta aiheutuvat elinkaariset päästöt noin viidessä vuodessa. Jos aurinkovoimahankkeen tuottaman sähkön oletetaan korvaavan Suomen nykyhetken keskimääräistä sähköntuotantoa, kompensoituisivat hankkeesta aiheutuvat elinkaariset päästöt noin 33 vuodessa. Jos aurinkovoimahankkeen tuottaman sähkön oletetaan korvaavan Suomen keskimääräistä tulevaisuuden sähköntuotantoa, niin hanke ei kompensoi päästöjään elinkaarensa aikana.

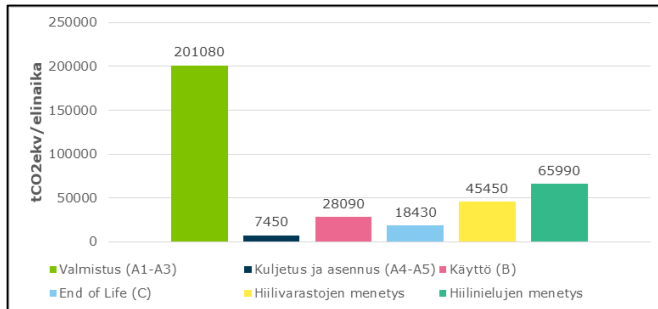
6 YHTEENVETO

Ulvilan aurinkoenergiaprojektin tuottaman sähkön elinkaarenaikainen päästökerroin on 35 g CO₂-ekv/kWh. Päästökerroin on alhainen, joten projektin sähköntuotannolla on myönteisiä ilmastovaikutuksia, ja se edistää kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteen toteutumista.



Kuva 6.1. Ulvilan aurinkoenergiaprojektin laskettu elinkaarinen päästökerroin ja arvioita muilla energialähteillä tuotetun sähkön elinkaarisista päästökertoimista.

Projektin kielteiset ilmastovaikutukset aiheutuvat suurimmaksi osaksi voimalan rakentamisessa tarvittavien materiaalien valmistuksesta.



Kuva 6.2. Ulvilan aurinkoenergiaprojektin elinkaaristen päästöjen jakautuminen elinkaaren vaiheittain.

Elinkaaren aikaiset päästöt ovat yhteensä 366 490 t CO₂-ekv. Näistä valmistuksen osuus on 55 prosenttia, hiilivarastojen menetyksen osuus 12 prosenttia ja hiilinielujen osuus 18 prosenttia.

Tehdyt laskelmat ovat suuntaa antavia arvioita, jotka kuvaavat projektista aiheutuvia päästöjä ja sillä saavutettavia päästövähennyksiä yleisellä tasolla. 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, ja todellinen energiantuotanto voi vaihdella olosuhteiden mukaan.

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%93selvitys+22.2.2019/8d83651e-9f66-07e5-4755-a2cb70585262/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenaariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93selvitys+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

Liite 1. Ulvilan aurinkovoimahanke, metsien hiiliraportti

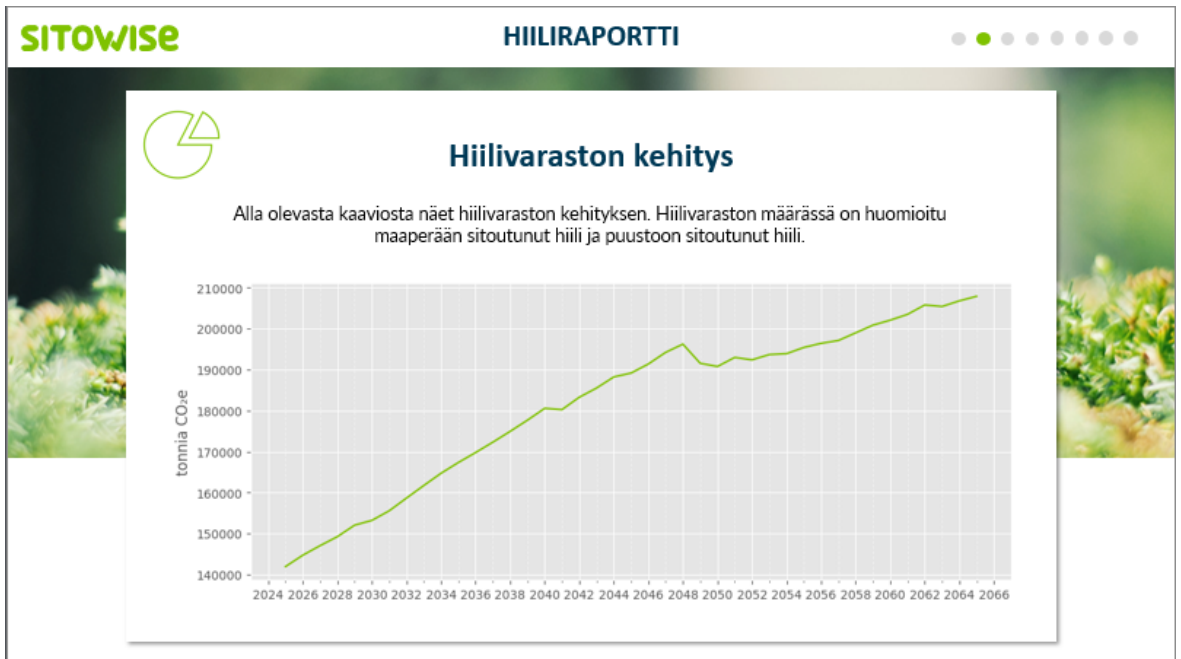


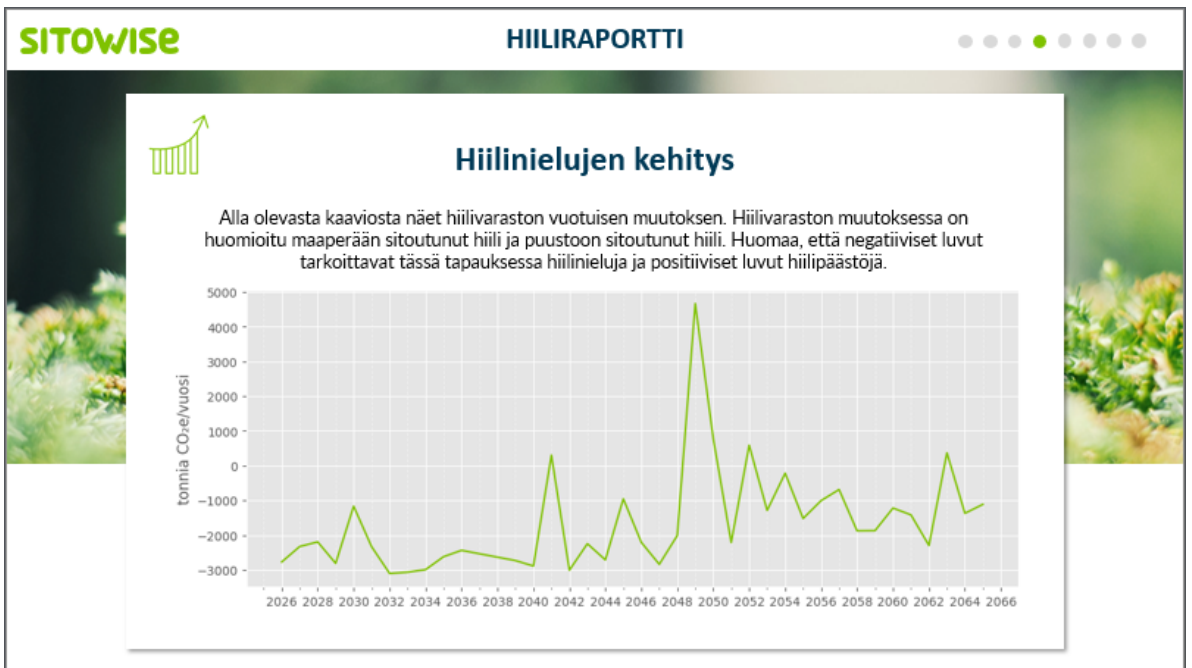
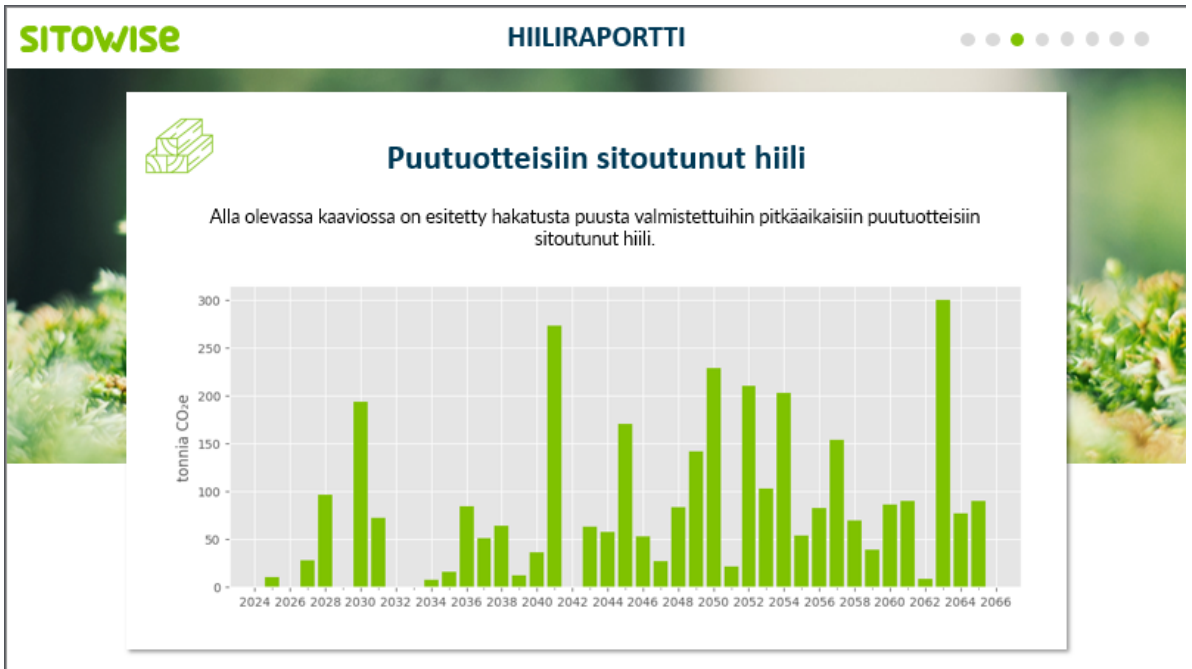
SITOWISE **HIILIRAPORTTI**

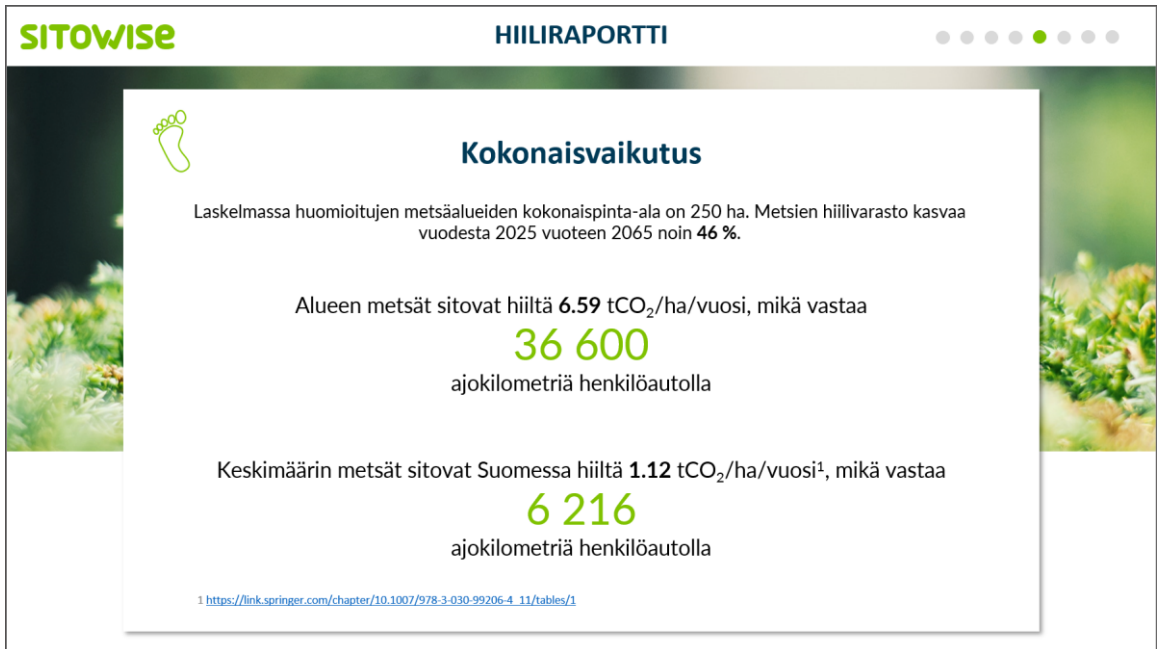
Metsien tila: Ulvila

Tässä raportissa alueen metsien nykytila, kasvu ja hiilinielun kehitys on simuloitu metsikkökuvioittain 40 vuotta eteenpäin. Tulokset esitetään hiilidioksidiekvivalenteina (tonnia CO₂e). Metsien hiilivarastojen ja hiilinielun kehitys on simuloitu käyttäen Sitowisen kehittämää tekoälypohjaista kasvumallia. Tarkemmat tiedot laskennasta löydät raportin lopusta.

-  Metsän nykytila
-  Hiilivarastot
-  Sitoutunut hiili
-  Hiilinielujen kehitys
-  Kokonaisvaikutus



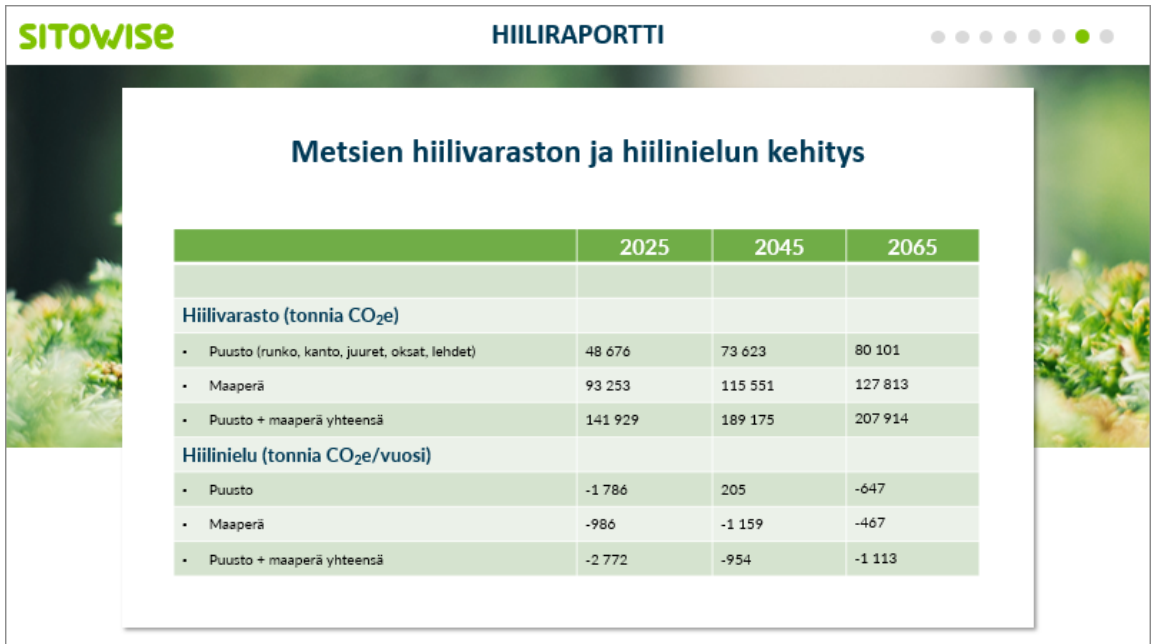




SITOWISE **HIILIRAPORTTI**

Perusmetsämuuttujat

| Muuttujat | Yksikkö | 2025 | 2065 |
|-----------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Puulajisuhteet | | Mänty 38 %, kuusi 32 %, muut 30 % | Mänty 33 %, kuusi 44 %, muut 23 % |
| Keskipituus | m | 14.6 | 17.6 |
| Ikä | vuotta | 39.0 | 52.5 |
| Keskiläpimitta | cm | 16.7 | 20.3 |
| Pohjapinta-ala | m ² /ha | 20.7 | 29.4 |
| Tilavuus | m ³ /ha | 164.1 | 280.9 |
| Vuotuinen kasvu | m ³ /ha | 6.3 | 3.0 |



Laskentamenetelmä

Metsien hiilivarastojen ja hiilinielun kehitys on simuloitu käyttäen Sitowisen kehittämää tekoälypohjaista kasvumallia. Mallin opetusaineistona hyödynnetään Suomen Metsäkeskuksen avoimesta metsävaratiedosta² saatua laajaa metsikkökuvioiden kasvuennustedatata. Mallilla voidaan ennustaa vuotuisia perusmetsikkötunnusten kehitystä, biomassaa ja puuston ja maaperän hiilivarastoja

Laskentamallille annetaan syötteenä lähtötilanteen metsikkötunnukset, simuloinnin alkua- ja loppupäivä sekä toteutettavat metsänhoitotoimenpiteet. Simulointi voidaan ajaa joko ilman metsänhoitotoimenpiteitä, metsäsuunnitelman mukaisilla toimenpide-ehdotuksilla tai Tapion hyvän metsänhoidon suositusten³ mukaisesti. Lisäksi kasvuun ja maaperän hiilimäärän kehitykseen vaikuttaa keskimääräinen säätila.

Malli laskee metsien vuotuista kasvua ja hiilinielua metsikkökuviokohtaisesti:

- Perusmetsämuuttujien (puuston pääpuulaji, keskikpituus, keskiläpimitta, pohja-pinta-ala, tilavuus) vuotuinen kasvu/muutos
- Biomassa lehdisissä, oksissa, rungossa, kannossa, juurissa⁴
- Puustoon sitoutunut hiili (ja CO₂e) biomassoista johdettuna
- Maaperään sitoutunut hiili lasketaan Yasso-mallilla⁵
- Hiilivaraston muutos (lähde vs. nielu)
- Metsänhoitotoimenpiteet (taimikonhoito, harvennukset ja päätehakkuu) simuloidaan kohteelle, jos hakkuukriteerit täyttyvät. Tällöin lasketaan myös hakkuupoistuma (tukki/kuitu/hukkapuu).

² <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto>

³ https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon-suositukset_Tapio_2019.pdf

⁴ <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/535968>

⁵ <https://doi.org/10.5194/gmd-15-1735-2022>

