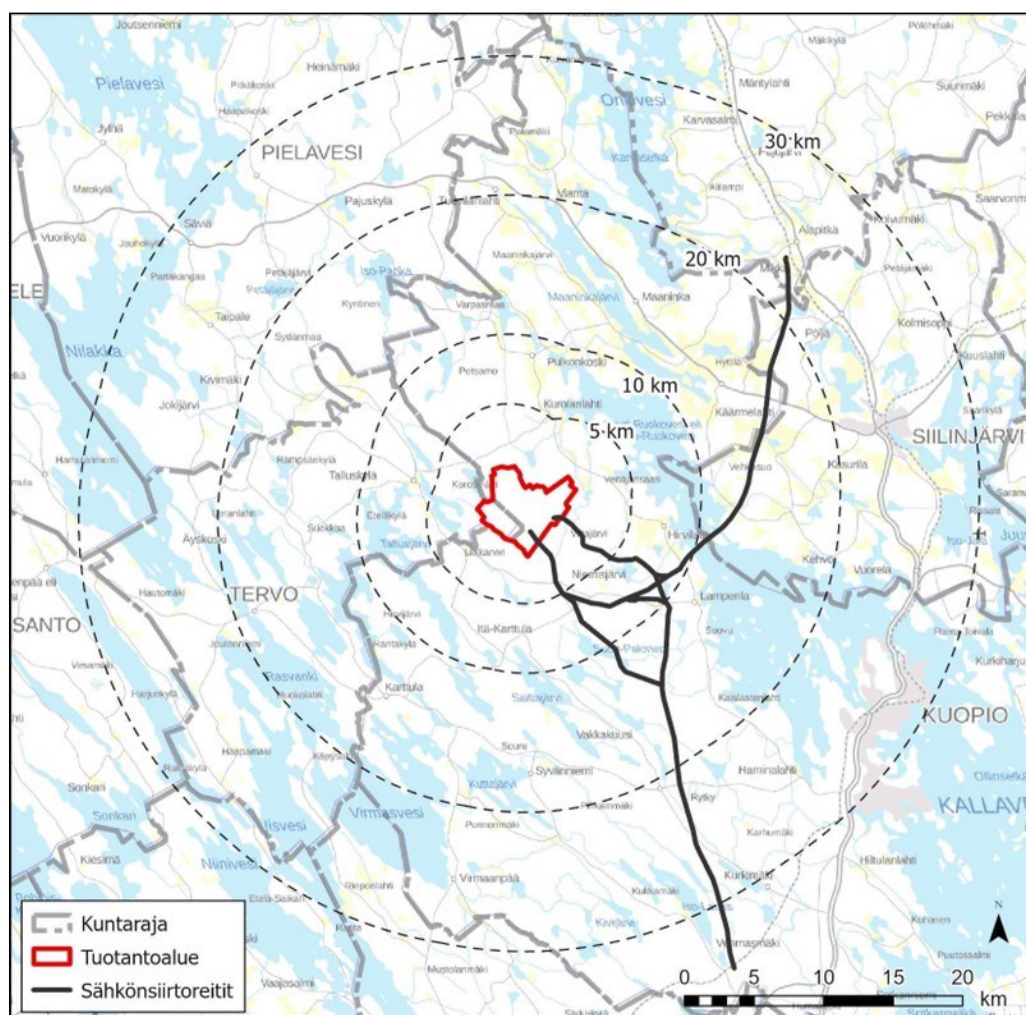


Junnunmäen hankkeen hiilitaselaskelma



Päiväys

10.2.2025

Tekijä

Milla Lehikoinen

SISÄLLYSLUETTELO

KÄSITTEET	2
1 SYSTEEMIRAJAUS	3
2 LASKENTAMENETELMÄ	4
3 LÄHTÖTIEDOT JA OLETUKSET	7
3.1 Tuulivoimalat	8
3.2 Aurinkopaneelit	8
3.3 Aurinkopaneelien asennusrakenteet	9
3.4 Sähkönsiirto	9
3.5 Tiet	10
3.6 Turvavarusteet	10
3.7 Energiavarasto	10
3.8 Hiilivarastot ja -nielut	10
4 HANKKEEN TIEDOT	12
5 TULOKSET	14
5.1 Päästöt	14
6 LÄHTEET	16

KÄSITTEET

Käsite	Selite
Elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment)	Menetelmä, jolla voidaan analysoida ja arvioida tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta.
Hiilidioksidiekvivalentti	Hiilijalanjäljen 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 lämmittävä vaikutus.
Kasvihuonekaasu	Ilmastonlämpenemistä aiheuttavat kaasut, joita 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 SYSTEEMIRAJAUS

Tuuli- ja 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. Ilmastonlämpenemisvaikutus aiheutuu hankkeen eri elinkaaren vaiheissa syntyneistä kasvihuonekaasupäästöistä. Eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus on yhteismitallistettu hiilidioksidin ilmastonlämpenemisvaikutusta vastaavaksi, jolloin tulokset esitetään yksikössä CO₂-ekv.

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 tuulivoimaloiden, aurinkopaneelien, asennusrakenteiden, sähkönsiirron, tiestön kuin energiavaraston osalta. Lisäksi hankkeen päästöiksi luokitellaan myös hiilivaraston ja -nielun poistuma.

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

Toiminnallisena yksikkönä tässä tarkastelussa on ollut yhden tuuli- ja 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).

2 LASKENTAMENETELMÄ

Hiilitaselaskenta on toteutettu elinkaariarvioinnin periaatteisiin nojautuen (ISO 14040 ja ISO14044). Arvioinnissa keskityttiin tunnistamaan merkittävimmät päästötekijät ja hyödynnettiin ensisijaisesti Ti-laajalta saatavia suunnitteluvaiheen tietoja. Siltä osin kuin tarkkoja määrätietoja 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 kattavasti infraraken-tamisen päästötietokannan (CO2data.fi) sekä Ecoinvent-elinkaariarvioinnin tietokannan (Ecoinvent v.3.9.1) tietoja.

Metsän ja metsämaan maaperän hiilivarasto ja -nielulaskennan taustalla on Bitcomp Oy:n (nykyisin osa Sitowiseä) kehittämä tekoälypohjainen kasvumalli. Mallin opetusaineistona hyödynnetään Suomen Metsäkeskuksen avoimesta metsävaratiedosta saatua laajaa metsikkökuvioiden kasvuennustedat-taa (Metsäkeskus, 2023). Mallilla voidaan ennustaa vuotuisia perusmetsikkötunnusten kehitystä, bio-massaa ja puuston ja metsämaan maaperän hiilivarastoja. Laskentamallille annetaan syötteenä lähtö-tilanteen metsikkötunnukset, simuloinnin alku- ja loppupäivä sekä toteutettavat metsänhoitotoimen-piteet. Lisäksi kasvuun ja maaperän hiilimäärän kehitykseen vaikuttaa keskimääräinen säätila.

Malli laskee perusmetsämuuttujien (puuston pääpuulaji, keskipituus, keskiläpimitta, pohjapinta-ala, tilavuus) vuotuista kasvua ja hiilinielua metsikkökuviokohtaisesti. Laskennassa huomioidaan puustoon sitoutunut hiili (ja CO₂-ekv) biomassasta johdettuun vuotuiseseen kariketasoon perustuen (Repola et al., 2007). Metsämaan maaperään sitoutunutta hiiltä arvioidaan YASSO-malliin perustuen (Ilmatieteenlai-tos, 2023; Euroopan geotieteiden liitto, 2023). Lisäksi malli arvioi hakatusta puusta valmistettuihin pit-käaikaisiin puutuotteisiin sitoutunutta hiiltä, jolloin kaikki hakattu puu on pois hiilinielusta, mutta ei kokonaisuudessaan pois hiilivarastosta. Hiilivaraston ja -nielun arvioinnissa huomioidaan kasvillisuu-den vaihteleva ikärakenne sekä puulajien vaihtelevuus.

Tällä tekoälypohjaisella mallilla arvioidaan metsän ja maaperän hiilivarastoa ja -nielua koko aurinko-voima-alueella. Aurinkovoima-alueen metsän hiilivaraston ja -nielun oletetaan poistuvan kokonaisuudessaan, kun taas alueen maaperän hiilivaraston ja -nielun oletetaan poistuvan 50 prosenttisesti. Lo-pun aurinkovoima-alueen maankäytön oletetaan säilyvän ennallaan. Kun nämä tiedot suhteutetaan hankealueen aurinkovoima-alueen pinta-alaan, saadaan hiilivaraston ja -nielun poistumille hehtaari-kohtaiset kertoimet (t CO₂-ekv/ha). Näitä kertoimia hyödynnetään tuulivoima-alueella yhdessä kysei-seltä alueelta todellisuudessa raivatus pinta-alatiedon kanssa. Tuulivoimahankkeen tieltä pysyvästi sekä väliaikaisesti poistuvan puuston pinta-alaa on arvioitu olemassa oleviin selvityksiin sekä asiantun-tija-arvioihin perustuen. Tässä päästölaskennassa on huomioitu pysyvät sekä tilapäiset puuston ja maaperän poistumat tuulivoimaloiden perustus- ja kokoamisalueelta, nosturin kokoamisalueelta, säh-köasema-alueelta sekä sähkönsiirron rakenteiden ja uuden sekä levennetyn tiestön edestä. Sähkön-siirtolinjojen osalta laskennassa oletetaan vain puuston poistuma, maaperän pysyessä edelleen hiiliva-rastona ja -nieluna. Muiden rakenteiden oletetaan vaikuttavan sekä puustoon että maaperään pois-taen niiden hiilivarastot ja -nielut kokonaisuudessaan.

Hankkeella saavutettavan päästövähennysvaikutuksen suuruus riippuu täysin tarkasteltavasta näkö-kulmasta eli siitä, mitä energiantuotantomuotoa tämän hankkeen tuottaman energian on oletettu kor-vaavan. Hankkeella tuotettua sähköä voidaan hyödyntää esimerkiksi suoraan kulutussähköinä, mutta sillä voidaan tuottaa myös esimerkiksi kaukolämpöä tai vetyä, josta voidaan jalostaa uusiutuvia liiken-nepolttoaineita. Laskennassa kuitenkin oletetaan, että uusiutuvan sähkön lisääntyminen ei tällä het-kellä kasvata sähkönkulutuksen osuutta lämmön- tai liikennepolttoaineiden tuotannossa, jolloin se korvaisi suoraan esimerkiksi fossiilista dieseliä liikennekäytössä. Uusiutuvan sähköntuotannon olete-taan vaikuttavan lämmön- ja liikennepolttoaineiden tuotannon päästöihin epäsuorasti pienentäen

sähköntuotannon päästökerrointa. Rajauksen yksinkertaistamiseksi tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun sähkön oletetaan siis korvaavan vaihtoehtoista sähköntuotantoa, eikä suoraan fossiilisten polttoaineiden käyttöä kaukolämmön tai liikennepolttoaineen tuotannossa. Tuuli- ja aurinkovoiman 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. Tuuli- ja 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 korvatus sähkön päästökertoimeksi 425 g CO₂-ekv/kWh.
2. Toinen näkökulma tarkastelee päästövähennysvaikutusta yksittäisen kuluttajan nykyhetken näkökulmasta, jolloin tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun energian voidaan olettaa korvaavan Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa. Tilastokeskukselta saatavan uusimman tiedon mukaan Suomen sähköntuotannon elinkaarinen päästökerroin on vuonna 2023 ollut 48,5 g CO₂-ekv/kWh (Tilastokeskus, 2024). Hankkeella saavutettavaa päästövähennysvaikutusta on tässä näkökulmassa arvioitava nimenomaan Suomen keskimääräisen sähköntuotannon elinkaariin päästökertoimeen perustuen, jotta päästökertoimen raja on yhteneväinen tässä selvityksessä arvioidun hankkeen elinkaarisen päästökertoimen kanssa. Tästä syystä päästövähennysvaikutusta ei voida arvioida esimerkiksi ajantasaisempaan Fingridin ilmoittamaan Suomen sähköntuotannon päästökertoimeen, sillä se sisältää vain sähköntuotannosta aiheutuvat suorat päästöt. Fingridin ilmoittama päästökerroin sisältää myös vain hiilidioksidin, eikä se huomioi muiden kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta.
 - Tässä näkökulmassa kuitenkin oletetaan, että tuuli- ja aurinkovoimalla korvattaisi uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. On huomioitava, että hankkeen tuottama tuuli- ja aurinkovoima ei todellisuudessa korvaa suoraan eri polttoaineilla tuotettua Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa. Todellisuudessa hankkeen tuottama energia lisää tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun energian määrää Suomen sähköntuotannossa, samalla korvaten päästöintensiivisempien polttoaineiden käyttöä.
3. Kolmas näkökulma tarkastelee päästövähennysvaikutusta yksittäisen kuluttajan tulevaisuuden näkökulmasta, jolloin tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun energian voidaan olettaa korvaavan tulevaisuuden keskimääräistä sähköntuotantoa. Oletetaan tuuli- ja 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 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 Energiategollisuuden 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 tuuli- ja 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.

3 LÄHTÖTIEDOT JA OLETUKSET

Toteutuessaan tuuli- ja aurinkovoimahanke tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon. Tässä selvityksessä on arvioitu ilmastovaikutuksia seuraavassa taulukossa (Taulukko 3.1) esitetyille hankevaihtoehdoille.

Taulukko 3.1. Kuvaukset hankevaihtoehdoista.

Vaihtoehto	Kuvaus vaihtoehdosta
Tuulivoimahankkeessa tarkasteltavat vaihtoehdot	
VE0	Tuulivoimahanke ei toteudu, jolloin materiaalien valmistuksen, rakentamisen, käytön sekä käytöstä poistamisen ilmastovaikutuksia ei aiheudu. Tuulivoimaloiden elinkaarenaikainen sähköntuotantopotentiaali menetetään, joka tuotetaan edelleen muilla tuotantomenetelmillä. Vaikutukset riippuvat siitä, millä menetelmällä sähköä arvioidaan tuotettavan ja mitä sähköntuotantoa hanke toteutuessaan korvaisi. Hankkeen toteuttamatta jättämisen lisäksi myös olemassa olevat hiilivarastot ja -nielut säilyvät.
VE1	Tuotantoalueelle toteutetaan 33 tuulivoimalaa. Materiaalien valmistuksen, rakentamisen, käytön sekä käytöstä poistamisen ilmastovaikutukset tulevat esiin ja tuotantoalueelta menetetään hiilivarastoja ja -nieluja. Tuulivoimaloiden elinkaarenaikainen sähköntuotantopotentiaali realisoituu.
VE2	Tuotantoalueelle toteutetaan 24 tuulivoimalaa. Materiaalien valmistuksen, rakentamisen, käytön sekä käytöstä poistamisen ilmastovaikutukset tulevat esiin ja tuotantoalueelta menetetään hiilivarastoja ja -nieluja. Tuulivoimaloiden elinkaarenaikainen sähköntuotantopotentiaali realisoituu.
Aurinkovoimahankkeessa tarkasteltavat vaihtoehdot	
AVE0	Aurinkovoimahanke ei toteudu, jolloin materiaalien valmistuksen, rakentamisen, käytön sekä käytöstä poistamisen ilmastovaikutuksia ei aiheudu. Aurinkovoimaloiden elinkaarenaikainen sähköntuotantopotentiaali menetetään, joka tuotetaan edelleen muilla tuotantomenetelmillä. Vaikutukset riippuvat siitä, millä menetelmällä sähköä arvioidaan tuotettavan ja mitä sähköntuotantoa hanke toteutuessaan korvaisi. Hankkeen toteuttamatta jättämisen lisäksi myös olemassa olevat hiilivarastot ja -nielut säilyvät.
AVE1	Tuotantoalueen pohjoisosaan toteutetaan noin 90 hehtaarin aurinkovoima-alue. Aurinkovoima-alue ei toteudu ilman tuulivoimaa.

Yllä olevien hankevaihtoehtojen lisäksi tässä selvityksessä on arvioitu ilmastovaikutuksia seuraavassa taulukossa (Taulukko 3.2) esitetyille sähkönsiirron vaihtoehdoille.

Taulukko 3.2. Kuvaukset sähkönsiirron vaihtoehtoista.

Vaihtoehto	Kuvaus vaihtoehdosta
SVE1A	Uusi n. 37 km pituinen 110 / 400 kV ilmajohto hankealueen itäosasta Fingridin olemassa olevalle 400 kV voimajohdolle (Järvinlinja) ja sen vierellä itä- tai länsipuolella kohti pohjoista Lapinlahteen sijoittuvalle Alapitkän liityntäpisteelle
SVE1B	Uusi n. 39 km pituinen 110 / 400 kV ilmajohto hankealueen itäosasta Fingridin olemassa olevalle 400 kV voimajohdolle (Järvinlinja) ja sen vierellä itä- tai länsipuolella kohti etelää Kuopioon sijoittuvalle liityntäpisteelle.
SVE2A	Uusi n. 39 km pituinen 110 / 400 kV ilmajohto hankealueen itäosasta, Fingridin olemassa olevalle 400 kV voimajohdolle (Järvinlinja) ja sen vierellä itä- tai länsipuolella kohti pohjoista Lapinlahteen sijoittuvalle Alapitkän liityntäpisteelle
SVE2B	Uusi n. 40 km pituinen 110 / 400 kV ilmajohto hankealueen itäosasta Fingridin olemassa olevalle 400 kV voimajohdolle (Järvinlinja) ja sen vierellä itä- tai länsipuolella kohti etelää Kuopioon sijoittuvalle liityntäpisteelle.
SVE3B	Uusi n. 36,5 km pituinen 110 / 400 kV ilmajohto hankealueen itäosasta Fingridin olemassa olevalle 400 kV voimajohdolle (Järvinlinja) ja sen vierellä itä- tai länsipuolella kohti etelää Kuopioon sijoittuvalle liityntäpisteelle.

3.1 Tuulivoimalat

Tuulivoimalan pääkomponentteja ovat perustukset, torni, konehuone, roottori sekä lavat. Tuulivoimaloiden päästöjen osalta huomioidaan koko elinkaaren aikaiset päästöt, sisältäen seuraavat päästötekijät: komponentteihin tarvittavien materiaalien valmistus ja kuljetus, komponenttien valmistus ja kuljetus asennuspaikalle, asennus, käyttö ja kunnossapito, purkaminen, komponenttien kuljetus jatkokäsittelyyn ja jatkokäsittely.

Tuulivoimaloiden elinkaarisia päästöjä on arvioitu Vestaksen ja Nordexin tuulivoimaloiden elinkaariarviointeihin perustuen. Elinkaariarvioinneissa tarkastellut tuulivoimalat olivat teholtaan 2–6,2 MW ja niissä on esitetty tuulivoimaloiden päästöjä elinkaarenvaiheittain. Tässä yhteydessä huomattiin tuulivoimaloiden päästöjen olevan tuotettua energiaa kohti melko vakio, riippumatta tuulivoimalan tehosta. Tähän perustuen näiden ympäristötuoteselosteiden keskiarvoisia ilmastonlämpenemisvaikutuksia (g CO₂-ekv/kWh) on voitu hyödyntää tässä laskennassa, vaikka tuulivoimalat eivät teholtaan olisikaan täysin vastaavat.

3.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit voivat olla yksi- tai monikidepaneeleja, tässä tarkastelussa paneelien on arvioitu olevan 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.

Aurinkopaneelien elinkaarisia päästöjä on arvioitu REC Solar:in aurinkopaneelien ympäristötuoteselosteisiin perustuen. Ympäristötuoteselosteissa tarkastellut aurinkopaneelit olivat teholtaan 375–410 W_p ja niissä on esitetty aurinkopaneelien päästöjä elinkaarenvaiheittain yksikössä (g CO₂-ekv/W_p).

3.3 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. Asennusrakenteiden materiaalien kulutukset sekä asennuksen polttoaineenkulutustiedot perustuvat julkaistuun elinkaariarviointiin, päästötietolähteenä on hyödynnetty Ecoinvent-elinkaariarvioinnin tietokannan tietoja. Materiaalien kulutustietoja hyödynnetään myös arvioitaessa asennusrakenteiden jatkokäsittelyyn kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn ilmastolämpenemisvaikutusta.

3.4 Sähkönsiirto

Sähkönsiirto tuotantoalueella tapahtuu maakaapeleilla ja tuotantoalueen ulkopuolella ilmajohdoilla. Lisäksi aurinkovoimalan osalta tarvitaan erillisiä inverttereitä, muuntajia sekä maanpäällisiä tasavirta- ja vaihtovirtakaapeleita. Sähkönsiirron päästöjen osalta huomioidaan koko elinkaaren aikaiset päästöt.

Maakaapeleiden valmistuksen, asennuspaikalle kuljetuksen, käytön ja kunnossapidon, jatkokäsittelyyn kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn päästöjä on arvioitu keskiarvitekniikalla ympäristötuoteselosteiden tietoihin perustuen. 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 työkalujen käytöstä (polttoaineiden valmistus ja poltto). Materiaalien kulutukset ja työsuoritteet perustuvat asiantuntija-arvioihin, päästötietolähteenä on hyödynnetty infrarakentamisen päästötietokannan tietoja.

Ilmajohtojen osalta huomioidaan sähkönsiirtorakenteiden komponenttien valmistus ja kuljetus asennuspaikalle, käyttö ja kunnossapito, kuljetus jatkokäsittelyyn sekä jatkokäsittely. Voimalinjan päästöjä on arvioitu Statnett -kantaverkkoyhtiön elinkaariarviointiin perustuen. Maakaapeleiden ja ilmajohtojen lisäksi laskennassa huomioidaan myös sähköasemien valmistus.

Invertterien 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 invertterien päästöjä. Invertterien massaa on arvioitu keskeisimpien materiaalien (alumiini, kupari, teräs) kulutustietoihin perustuen. Materiaalien kulutustiedot perustuvat julkaistuun elinkaariarviointiin (Jungbluth et al., 2012). Massatietoja hyödynnetään myös arvioitaessa invertterien jatkokäsittelyyn kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn ilmastolämpenemisvaikutusta.

Tasa- ja vaihtovirtakaapeleiden 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.

3.5 Tiet

Tiestön osalta laskennassa on huomioitu uusien sorapäälysteisten teiden sekä olemassa olevien teiden parantamisen päästöt. 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.

3.6 Turvavarusteet

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

3.7 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).

3.8 Hiilivarastot ja -nielut

Hankkeen hiilivarastojen ja -nielujen poistuman osalta huomioidaan metsän ja maaperän hiilivarastojen ja -nielujen menetys seuraavien pysyvien rakenteiden tieltä: tuulivoimaloiden perustukset, aurinkopaneelikenttä, sähköasema, energiavarastot sekä uudet tiet. Tuotantoalueen ulkopuolella sijaitsevien sähkönsiirtorakenteiden osalta arvioidaan, että niiden rakentaminen poistaa alueelta puuston hiilivaraston sekä -nielun. Oletetaan, että sähkönsiirtorakenteiden alle jäävän maaperän hiilivarasto sekä -nielu säilyvät ennallaan. Todellisuudessa tämän alueen hiilensidonta voi aiemmasta hieman hidastua, sillä ympäröivien puiden hakkuun myötä alueen maaperään ei enää kerry aiempaan tapaan hiiltä sitovaa kariketta. Tuulivoimahankkeen hiilivarastojen ja -nielujen poistumaa on arvioitu olettaen, että kaikki rakenteet pystytetään metsäiselle alueelle. Aurinkovoimahankkeen hiilivarastojen ja -nielujen poistumaa on arvioitu olettaen, että hankkeen toteutuminen poistaa puuston hiilivarastot ja -nielut koko aurinkovoima-alueelta. Aurinkovoima-alueen maaperän hiilivarastojen ja nielujen arvioidaan poistuvan 50 prosenttisesti.

Tilapäisesti hiilivarastoja -ja nieluja menetetään tuulivoimaloiden sekä nosturin kokoamisalueelta. Hiilivarastojen ja -nielujen poistumaa on arvioitu olettaen, että kaikki rakenteet pystytetään metsäiselle alueelle. Rakentamisen tieltä raivatun alueen pinta-alaa on arvioitu seuraavan taulukon (Taulukko 3.3) tietoihin perustuen.

Taulukko 3.3. Rakentamisen tieltä raivatun alueen pinta-alat.

Pysyvä muutos	
Tuulivoimaloiden perustus	0,07 ha/tuulivoimala
Aurinkopaneeli alue	65 ha
Maakaapelit	Oletetaan rakennettavan tien viereen, jolloin uutta metsäistä aluetta ei tarvitse raivata.
Ilmajohtojen raivausleveys (400 kV)	42 metriä
Sähköasema	0,2 ha/asema
Uusien teiden raivausleveys	6 metriä (5 metriä leveä tie sekä puolen metrin pengerrykset)
Tilapäinen muutos	
Tuulivoimaloiden kokoamisalue	0,16 ha/tuulivoimala
Nosturin kokoamisalue	0,10 ha/tuulivoimala

Huomioitavaa on, että esimerkiksi tuulivoimaloiden nostamiseen on mahdollista hyödyntää rakennettua tiestöä, jolloin tuulivoimaloiden ja nosturin kokoamisalueen tilapäinen muutos voi jäädä arvioitua pienemmäksi. Pysyvän muutoksen oletetaan poistavan alueen hiilivaraston sekä hiilinielun seuraavaksi kolmeksikymmeneksi vuodeksi. Hankkeen elinkaaren jälkeen aluetta alettaisiin uudestaan metsittää, jolloin hiilinielu palautuisi ajan kuluessa. Tarkkaa tutkimustietoa siitä, milloin taimikko muuttuu hiilinieluksi, ei ole vielä saatavissa. On kuitenkin arvioitu, että taimikon alkaisi sitoa hiiltä noin 10–20 vuoden iässä. Tähän perustuen voidaan arvioida, että hankkeella olisi sen päättymisen jälkeen vielä seuraavat 20 vuotta kielteisiä vaikutuksia alueen hiilinieluihin. Tätä hankkeen jälkeistä kielteistä vaikutusta ei kuitenkaan voida suoraan arvioida, sillä tällä pitkällä aikavälillä alueen metsiin saatetaan toteuttaa hakkuita jo metsänhoidollisina toimenpiteinä. Koska tässä tarkastelussa rajauksena on hankkeen elinkaari, ei hankkeen elinkaaren jälkeisiä vaikutuksia ole tarkasteltu tämän tarkemmin. Myös nämä mahdolliset vaikutukset on kuitenkin hyvä tiedostaa.

Tilapäisen muutoksen oletetaan poistavan kokonaan sekä metsän että maaperän hiilivaraston hakutulta alueelta. Myös alueen hiilinielu poistuu hetkellisesti, mutta metsityksen jälkeen sen oletetaan palautuvan hakkuuta edeltäneelle tasolle noin 20 vuoden kuluttua.

4 HANKKEEN TIEDOT

Wpd Suomi Oy suunnittelee tuuli- ja aurinkovoimahanketta Junnunmäen alueelle, joka sijaitsee Kuopion kaupungin ja Tervon kunnan alueilla. Tarkempia tietoja hankkeen eri vaihtoehtoista on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 4.1).

Taulukko 4.1. Lähtötiedot eri hankevaihtoehtoissa.

	VE1	VE2	AVE1
Tuotantoalueen pinta-ala	2 380 ha	2 380 ha	91 ha
Aurinkopaneelikentän pinta-ala	-	-	65 ha
Tuulivoimaloiden lukumäärä	33 kpl	24 kpl	-
Tuulivoimalan maksimiteho	10 MW	10 MW	-
Aurinkopaneelien lukumäärä	-	-	99 000 kpl
Aurinkopaneelin teho	-	-	570 W _p
Arvioitu elinkaarinen sähköntuotanto	31 185 GWh	22 680 GWh	1 800 GWh
Maakaapelointi hankealueella	Pituus: 45,0 km Leveys: 1,1 m Syvyys: 1,1 m	Pituus: 35,0 km Leveys: 1,1 m Syvyys: 1,1 m	Pituus: 4,0 km Leveys: 1,1 m Syvyys: 1,1 m
Sähkönsiirtoasemat hankealueella	1 kpl	1 kpl	0 kpl
Invertterien lukumäärä	-	-	133 kpl*
Yhden invertterin teho	-	-	350 kW
Muuntajien lukumäärä	-	-	8 kpl
Yhden muuntajan nimellisteho	-	-	7 MVA
Tasavirtakaapeli pituus	-	-	299,0 km
Vaihtovirtakaapeli pituus	-	-	48,5 km
Uudet sorapäälysteiset huoltotiet	Pituus: 21,0 km Leveys: 5,0 m	Pituus: 17,0 km Leveys: 5,0 m	Pituus: 1,5 km Leveys: 5,0 m
Parannetut sorapäälysteiset huoltotiet	Pituus: 6,6 km Leveys: 5,0 m Ei lisälevennystä	Pituus: 6,6 km Leveys: 5,0 m Ei lisälevennystä	Pituus: 1,5 km Leveys: 5,0 m Ei lisälevennystä
Aitauksen pituus	-	-	7,5 km
Energiavaraston kapasiteetti	660 MWh**	660 MWh**	660 MWh
Raivattu alue tuotantoalueella, pysyvä	Tuulivoimalat: 2,3 ha Sähköasema: 0,2 ha Tiet: 12,6 ha	Tuulivoimalat: 1,7 ha Sähköasema: 0,2 ha Tiet: 10,2 ha	35 ha
Raivattu alue, palautuva	Tuulivoimalat: 8,4 ha	Tuulivoimalat: 6,1 ha	-
Poistuva puusto	3 730 m ³	2 880 m ³	5 530 m ³

*Vaihdetaan kerran hankkeen elinkaaren aikana, jolloin tarvittavien invertterien kokonaismäärä on 266 kpl.

**Perustuu oletukseen, jossa energiavaraston kapasiteetti olisi vastaava, kuin vaihtoehdossa AVE1.

Tarkempia tietoja hankkeen eri sähkönsiirtovaihtoehtoista on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 4.2).

Taulukko 4.2. Lähtötiedot eri sähkönsiirron vaihtoehtoissa.

Tarkasteluvälit		SVE1	SVE2	SVE3
Tuotantoalueelta Järvilinjalle	A reittivaihtoehto	11,3 km	14,7 km	
	B reittivaihtoehto	11,9 km	13,6 km	15,7 km
Pohjoiseen Järvilinjaa (A)	L (länsipuolella)	24,7 km	24,7 km	
	I (itäpuolella)	24,8 km	24,8 km	
Etelään Järvilinjaa (B)	L (länsipuolella)	26,7 km	26,7 km	21,0 km
	I (itäpuolella)	26,5 km	26,5 km	20,8 km

5 TULOKSET

5.1 Päästöt

Hankkeesta aiheutunut päästö on määritetty sekä absoluuttisena kokonaispäästönä koko hankkeen elinkaaren ajalle (t CO₂-ekv) sekä hankkeen elinkaaren aikana tuotettuun energiantuotantoon suhteutettuna (g CO₂-ekv/kWh). Seuraavassa taulukossa (Taulukko 5.1) on esitetty arvio hankkeen elinkaaren aikaisesta absoluuttisesta kokonaispäästöstä ilman kierrätysyhvityksiä (t CO₂-ekv).

Taulukko 5.1. Kokonaispäästö päästötekijöihin jaoteltuna eri hankevaihtoehtoisissa.

	VE1	VE2	AVE1
Tuulivoimalat, t CO ₂ -ekv	172 270	125 280	-
Aurinkopaneelit ja asennusrakenteet, t CO ₂ -ekv	-	-	94 560
Tuotantoalueen sisäinen sähkönsiirto, t CO ₂ -ekv	6 200	5 110	6 700
Huoltotiet, t CO ₂ -ekv	2 410	2 130	260
Turvavarusteet, t CO ₂ -ekv	-	-	140
Energiavarasto, t CO ₂ -ekv	65 010*	65 010*	65 010
Hiilivaraston poistuma, t CO ₂ -ekv	40 110	31 030	55 730
Hiilinielun poistuma, t CO ₂ -ekv	360	280	1 380
Kokonaispäästö yhteensä, t CO₂-ekv**	286 360	228 840	223 770

*Perustuu oletukseen, jossa energiavaraston kapasiteetti olisi vastaava, kuin vaihtoehtoisessa AVE1.

**Ei täsmää täysin eri päästötekijöiden summaan johtuen lukuarvojen pyöristyksestä.

Kokonaispäästön lisäksi hankkeen päästövaikutusta arvioitiin myös elinkaaren aikana tuotettuun energiamäärään suhteutettuna (g CO₂-ekv/kWh). Tuuli- ja aurinkovoimahankeeseen päästö tuotettua energiamäärä kohti eri vaihtoehtoisissa on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 5.2).

Taulukko 5.2. Tuotettuun energiaan suhteutettu päästövaikutus eri hankevaihtoehtoisissa.

	VE1	VE2	AVE1
Päästö tuotettuun energiamäärään suhteutettuna, g CO₂-ekv/kWh	9,2	10,1	124,3

Hankevaihtoehtojen lisäksi tässä selvityksessä on tarkasteltu tuotantoalueen ulkopuolisten sähkönsiirtovaihtoehtojen päästövaikutusta. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 5.3) on esitetty arviot tuotantoalueen ulkopuolisen sähkönsiirron absoluuttisesta kokonaispäästöstä tarkasteluväleihin jaoteltuna, huomioiden päästöt sekä hiilivaraston ja -nielun menetys.

Taulukko 5.3. Sähkön siirron kokonaispäästö tarkasteluväleihin jaoteltuna.

Tarkasteluvälit		SVE1	SVE2	SVE3
Tuotantoalueelta Järvinjalle	A reittivaihtoehto, t CO ₂ -ekv	12 900	16 780	
	B reittivaihtoehto, t CO ₂ -ekv	13 580	15 520	17 920
Pohjoiseen Järvinjaa (A)	L (länsipuolella), t CO ₂ -ekv	28 190	28 190	
	I (itäpuolella), t CO ₂ -ekv	28 300	28 300	
Etelään Järvinjaa (B)	L (länsipuolella), t CO ₂ -ekv	30 470	30 470	23 970
	I (itäpuolella), t CO ₂ -ekv	30 240	30 240	23 740

Päästövähennysvaikutusta saavutetaan, kun tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetulla energialla saadaan syrjäytettyä päästöintensivisempien polttoaineiden käyttöä sähköntuotannossa. Kuten kappaleessa 2 todettiin, päästövähennysvaikutuksen suuruus on potentiaalinen ja sen suuruus riippuu tarkasteltavasta näkökulmasta. Tässä tarkastelussa päästövähennysvaikutusta on arvioitu kolmesta eri näkökulmasta, jotka on kuvattu kappaleessa 2. Päästövähennysvaikutus arvioidaan koko hankkeen elinkaarelle ja eri hankevaihtoehdoille. Nämä on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 5.4).

Taulukko 5.4. Päästövähennysvaikutus sekä hiilitase eri hankevaihtoehdoissa.

	VE1	VE2	AVE1
Hankkeen kokonaispäästö, t CO ₂ -ekv	286 360	228 840	223 770
Päästövähennysvaikutus			
Vältetty päästö hankkeen elinkaaren aikana, kun hankkeella tuotettu sähkö korvaisi ei toivotuilla polttoaineilla tuotettua sähköä, t CO ₂ -ekv	13 261 000	9 644 000	689 000
Vältetty päästö hankkeen elinkaaren aikana, kun hankkeella tuotettu sähkö korvaisi nykyhetken kansallista sähköntuotantoa, t CO ₂ -ekv	1 512 000	1 100 000	79 000
Vältetty päästö hankkeen elinkaaren aikana, kun hankkeella tuotettu sähkö korvaisi tulevaisuudelle ennustettua kansallista sähköntuotantoa, t CO ₂ -ekv	1 167 000	849 000	61 000
Hiilitase			
Hankkeen kokonaisvaikutus ilmastoon koko elinkaaren aikana, kun hankkeella tuotettu sähkö korvaisi ei toivotuilla polttoaineilla tuotettua sähköä, t CO ₂ -ekv	-12 974 640	-9 415 160	-465 230
Hankkeen kokonaisvaikutus ilmastoon koko elinkaaren aikana, kun hankkeella tuotettu sähkö korvaisi nykyhetken kansallista sähköntuotantoa, t CO ₂ -ekv	-1 225 640	-871 160	144 770
Hankkeen kokonaisvaikutus ilmastoon koko elinkaaren aikana, kun hankkeella tuotettu sähkö korvaisi tulevaisuudelle ennustettua kansallista sähköntuotantoa, t CO ₂ -ekv	-880 640	-620 160	162 770

6 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.

Euroopan geotieteiden liitto, 2022. Calibrating the soil organic carbon model Yasso20 with multiple datasets. Saatavissa: <https://gmd.copernicus.org/articles/15/1735/2022/>

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

Ilmatieteenlaitos, 2023. Soil carbon model – Yasso. Saatavissa: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/yasso>

IPCC, 2018. Annex III: Technology specific Cost and Performance Parameters. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf

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

Metsäkeskus, 2023. Avoin metsä- ja luontotieto. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto>

Repola et al., 2007. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/535968/mwp053.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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

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>

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_FI-NAL%20March%202022.pdf