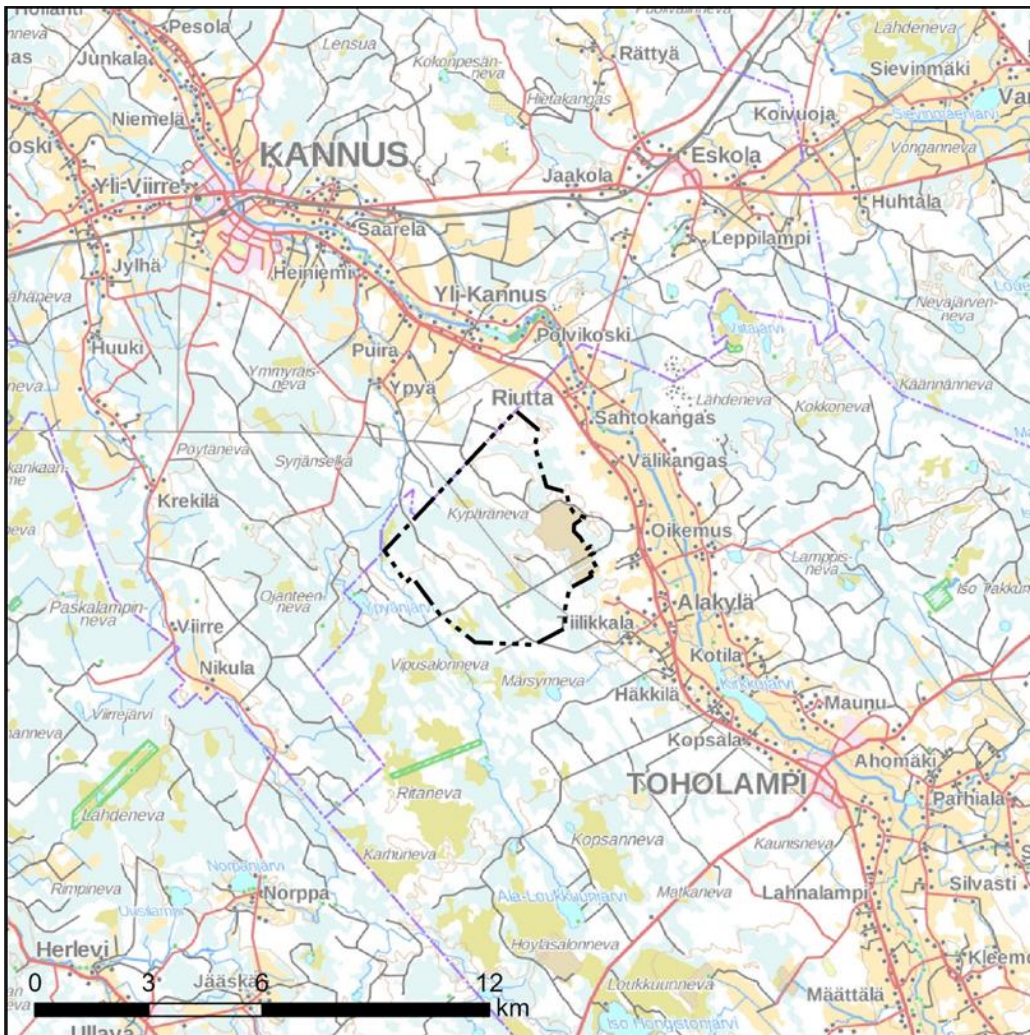


Pitkälehdon tuulivoimahankkeen hiilitaselaskennan menetelmäkuvaus



Päiväys 13.3.2024

Tekijä Milla Lehtikoinen

Projektinumero YKK66834

Sisällys

KÄSITTEET.....	2
1 SYSTEEMIRAJAUS	3
2 LASKENTAMENETELMÄ.....	4
3 LÄHTÖTIEDOT JA OLETUKSET	6
3.1 Tuulivoimalat	6
3.2 Sähkönsiirto.....	6
3.3 Tiet	7
3.4 Hiilivarastot ja -nielut	7
4 HANKKEEN TIEDOT	9
5 LÄHTEET	10

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.
Hiilijalanjälki	Hankkeesta aiheutunut ilmastonlämpenemisvaikutus (ts. päästöt).
Hiilivarasto	Puustoon ja maaperään sitoutunut hiili.
Hiilinielu	Puuston ja maaperän hiilivaraston kasvu.
Kasvihuonekaasu	Ilmastonlämpenemistä aiheuttavat kaasut, joita ovat mm. hiilidioksidi CO ₂ , metaani CH ₄ ja dityppioksidi N ₂ O.
Ympäristötuoteseloste (EPD, Environmental Product Declaration)	Laatuvarmistettu elinkaariarviointiin ja kansainvälisiin standardeihin perustuva tuotteiden ympäristöselvitys.

1 SYSTEEMIRAJAUS

Tuulivoimahankkeesta aiheutuu ilmastovaikutuksia koko sen elinkaaren ajalta. Hankkeen vaikutusta ilmastonlämpenemiseen kuvataan niin sanotulla hiilitaselaskennalla, jossa arvioidaan hankkeen aiheuttamat kielteiset sekä myönteiset ilmastovaikutukset. 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 kielteisiä ilmastovaikutuksia 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. Ilmastovaikutusten arvioinnissa on otettu huomioon päästöt niin tuulivoimaloiden, sisäisen sähkönsiirron kuin tiestön osalta. Lisäksi tarkastelussa on myös huomioitu hankkeen myötä menetetyt puuston ja maaperän hiilivarastot ja -nielut.

Hankkeen myönteisiä ilmastovaikutuksia aiheutuu, kun tuulivoimalla tuotetulla vähäpäästöisellä sähköllä korvataan ilmaston kannalta haitallisemmilla polttoaineilla tuotettua sähköä.

Toiminnallisena yksikkönä tässä tarkastelussa on ollut yhden tuulivoimahankkeen koko elinkaaren aikainen ilmastovaikutus. Ilmastovaikutus esitetään tuloksissa elinkaaren aikana aiheutuneena absoluuttisena kokonaisvaikutuksena (t CO₂-ekv) sekä elinkaaren aikana tuotettuun energiaan suhteutettuna vaikutuksena (g CO₂-ekv/kWh).

2 LASKENTAMENETELMÄ

Ilmastovaikutusten arviointi on toteutettu elinkaariarvioinnin periaatteisiin nojautuen (ISO 14040 ja ISO14044). Arvioinnissa keskityttiin tunnistamaan merkittävimmät päästötekijät ja hyödynnettiin ensisijaisesti 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 hyödynnetty myös kattavasti infrarakentamisen 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 kehittämä (nykyisin osa Sitowiseä) tekoälypohjainen kasvumalli. Mallin opetusaineistona hyödynnetään Suomen Metsäkeskuksen avoimesta metsävaratiedosta saatua laajaa metsikkökuvioiden kasvuennustedataa (Metsäkeskus, 2023). Mallilla voidaan ennustaa vuotuisia perusmetsikkötunnusten kehitystä, biomassaa ja puuston ja metsämaan maaperän hiilivarastoja. Laskentamallille annetaan syötteenä lähtötilanteen metsikkötunnukset, simuloinnin alku- ja loppupäivä sekä toteutettavat metsänhoitotoimenpiteet. Lisäksi kasvuun ja maaperän hiilimäärän kehitykseen vaikuttaa keskimääräinen säätila. Tässä tapauksessa laskenta on toteutettu tästä ajankohdasta 30 vuodelle eteenpäin sekä huomioiden suositusten mukaiset metsänhoitotoimenpiteet.

Malli laskee perusmetsämuuttujien (puuston pääpuulaji, keskipituus, keskiläpimitta, pohjapinta-ala, tilavuus) vuotuista kasvua ja hiilinielua metsikkökuviokohtaisesti. Laskennassa huomioidaan puustoon sitoutunut hiili (ja CO₂-ekv.) biomassoista johdettuun vuotuiseseen kariketasoon perustuen (Repola et al., 2007). Metsämaan maaperään sitoutunutta hiiltä arvioidaan YASSO-malliin perustuen (Ilmatieteenlaitos, 2023; Euroopan geotieteiden liitto, 2023). Hiilivaraston ja -nielun arvioinnissa huomioidaan kasvillisuuden vaihteleva ikärakenne sekä puulajien vaihtelevuus.

Tällä tekoälypohjaisella mallilla arvioidaan metsän ja metsämaan maaperän hiilivarastoa ja -nielua koko hankealueella. Kun nämä tiedot suhteutetaan hankealueen pinta-alaan, saadaan hiilivaraston ja -nielun poistumille hehtaarikohtaiset kertoimet (t CO₂-ekv/ha). Näitä kertoimia hyödynnetään yhdessä hankealueelta todellisuudessa raivatun alueen pinta-aratiedon kanssa. Tuulivoimahankkeen tieltä pysyvästi sekä väliaikaisesti poistuvan puuston pinta-alaa on arvioitu olemassa oleviin selvityksiin sekä asiantuntija-arvioihin perustuen. Tässä selvityksessä on huomioitu pysyvät sekä tilapäiset puuston ja maaperän poistumat tuulivoimaloiden perustus- ja kokoamisalueelta, nosturin kokoamisalueelta, sähköasema-alueelta sekä uuden tiestön edestä.

Hankeen myönteisiä ilmastovaikutuksia on arvioitu usealla eri menetelmällä sen mukaan, mitä tuotantomuotoa tuulivoimalla tuotetulla sähköllä on ajateltu syrjäytettävän. Kuvaukset tuulivoimalla syrjäytetyn sähköntuotannon vaihtoehtoista on esitetty seuraavassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Kuvaukset tuulivoimalla syrjäytetyn sähköntuotannon vaihtoehtoista.

Vaihtoehto	Kuvaus vaihtoehdosta
Tuulivoimahankkeen vaikutus Euroopan päästöihin, huomioiden syrjäytettävän sähköntuotannon päästöt kiinteällä keskimääräisellä ei-toivottujen polttoaineiden päästökertoimella.	Oletetaan tuulivoimalla tuotetun sähkön syrjäyttävän Euroopassa fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Jos fossiilisten polttoaineiden käyttöä ei voida korvata Suomessa, on hankkeen sähköntuotannon katsottu vähentävän tuontisähkön tarvetta. Tällöin pohjoismaista uusiutuvaa sähköä voidaan käyttää muissa maissa ei-toivottujen sähköntuotantomuotojen korvaajana. Syrjäytettyjen sähköntuotantomuotojen osuuksina käytettiin seuraavia (European Council, 2023): • Hiili 29 % • Ydinvoima 36 % • Maakaasu 35 % Tätä jakaumaa ja näillä polttoaineilla tuotetun energian elinkaarisia päästökertoimia (UNECE, 2022) hyödyntämällä saadaan tällä hankkeella korvautun sähkön päästökertoimeksi 425 g CO₂-ekv/kWh.
Tuulivoimahankkeen vaikutus kansallisiin päästöihin, huomioiden syrjäytettävän sähköntuotannon päästöt kiinteällä nykyhetken (2023) kansallisella päästökertoimella.	Oletetaan tuulivoimalla tuotetun sähkön korvaavan kansallisesti tuotettua keskiarvoista sähköä (Energiateollisuus, 2022). Nykyhetken kansallisen sähköntuotannon elinkaarisiksi päästökertoimeksi on arvioitu 98 g CO₂-ekv/kWh (Ensisijaisesti: UNECE, 2022; Toissijaisesti: IPCC, 2018). Tässä kuitenkin osittain oletetaan, että tuulivoimalla korvattaisi uusiutuvalla energialla tuotettua sähköntuotantoa, joka aliarvioi hankkeesta saavutettavia positiivisia ilmastovaikutuksia.
Tuulivoimahankkeen vaikutus kansallisiin päästöihin, huomioiden syrjäytettävän sähköntuotannon päästöt tuotannon ajankohdalle ennustettavalla kansallisella päästökertoimella.	Oletetaan tuulivoimalla tuotetun sähkön korvaavan kansallisesti tuotetun keskiarvoisen tulevaisuuden sähkön käyttöä (TEM, 2019). Sähköntuotannon tuotantotavan ja päästöjen kehitystä on arvioitu vuoteen 2050 asti, joten arvioidaan keskiarvoista sähköntuotannon päästöä vuosien 2030–2050 välillä. Tuotannon ajankohdalle ennustettavaksi sähköntuotannon elinkaarisiksi päästökertoimeksi on arvioitu 46 g CO₂-ekv/kWh (Ensisijaisesti: UNECE, 2022; Toissijaisesti: IPCC, 2018). Tässä 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 positiiviset ilmastovaikutukset ovat täysin hypoteettiset.

3 LÄHTÖTIEDOT JA OLETUKSET

Toteutuessaan tuulivoimahanke tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon. Tässä selvityksessä on arvioitu ilmastovaikutuksia taulukossa 2 esitetyille hankevaihtoehtoille.

Taulukko 2. Kuvaukset hankevaihtoehtoista.

Vaihtoehto	Kuvaus vaihtoehdosta
VE0	Tuulivoimahanke ei toteudu, jolloin materiaalien valmistuksen, rakentamisen, käytön sekä käytöstä poistamisen ilmastovaikutuksia ei aiheudu. Hankkeen toteuttamatta jäämisen seurauksena myös olemassa olevat hiilivarastot ja -nielut säilyvät. Tuulivoimaloiden elinkaarenaikainen sähköntuotantopotentiaali menetetään, jolloin sähkö on edelleen tuotettava muilla enemmän päästäjä aiheuttavalla tuotantomenetelmällä.
VE1	Pitkälehdon tuulivoimahanke toteutuu, alueelle toteutetaan 18 tuulivoimalaa.
VE2	Pitkälehdon tuulivoimahanke toteutuu, alueelle toteutetaan 16 tuulivoimalaa.

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 ilmastonlämpenemisvaikutuksia elinkaarenvaiheittain. Tässä yhteydessä huomattiin tuulivoimaloiden ilmastonlämpenemisvaikutuksen 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 olisi-kaan täysin vastaavat.

3.2 Sähkönsiirto

Sähkönsiirto voimaloiden välillä tapahtuu maakaapeleilla. Sähkönsiirron päästöjen osalta huomioidaan koko elinkaaren aikaiset päästöt.

Maakaapeleiden valmistuksen, asennuspaikalle kuljetuksen, käytön ja kunnossapidon, jatkokäsittelyyn kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn päästöjä on arvioitu

keskijännitekaapeleiden ympäristötuoteselosteiden tietoihin perustuen. Ympäristötuoteselosteissa ei ole otettu riittäväällä 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 työkonien käytöstä (polttoaineiden valmistus ja poltto). Materiaalien kulutukset ja työsuoritteet perustuvat asiantuntija-arvioihin, päästötietolähteenä on hyödynnetty infrarakentamisen päästötietokannan tietoja.

Hankealueen sähköasemalta sähkö siirretään ilmajohdolla Fingridin Jylkkä-Alajärvi-linjaan. Hankkeen ilmajohdot eivät tarvitse uusia johtokäytäviä, joten ulkoinen sähkösiirto ei vaikuta hiilitaseeseen.

3.3 Tiet

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

3.4 Hiilivarastot ja -nielut

Hankkeen hiilivarastojen ja -nielujen poistuman osalta huomioidaan metsän ja metsäalueen maaperän hiilivarastojen ja -nielujen menetys seuraavien pysyvien rakenteiden tieltä: tuulivoimaloiden perustukset, sähköasemat sekä uudet tiet. Oletetaan, että maakaapelit sijoitetaan teiden viereen, jolloin niiden tieltä ei tarvitse raivata puustoa.

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 4 tietoihin perustuen.

Taulukko 3. Rakentamisen tieltä raivatun alueen pinta-alat.

Pysyvä muutos	
Tuulivoimaloiden perustus	0,07 ha/tuulivoimala
Maakaapelit	Oletetaan rakennettavan tien viereen, jolloin uutta aluetta ei tarvitse raivata.
Sähköasema	0,20 ha/asema

Uusien teiden raivausleveys	8 metriä (6 metriä leveä tie sekä 1,0 metrin pengerrykset)
Tilapäinen muutos	
Tuulivoimaloiden kokoamisalue	0,40 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 aloitetaan alueen metsitys, jolloin hiilinielu palautuisi ajan kuluessa. Tarkkaa tutkimustietoa siitä, milloin taimikko muuttuu hiilinieluksi, ei ole vielä saatavilla. 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 negatiivisia vaikutuksia alueen hiilinieluihin. Tätä hankkeen jälkeistä negatiivista 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 hakatulta alueelta. Myös alueen hiilinielu poistuu hetkellisesti, mutta metsityksen jälkeen sen oletetaan palautuvan hakkuuta edeltäneelle tasolle noin 20 vuoden kuluttua.

4 HANKKEEN TIEDOT

Tuulikolmio Oy suunnittelee tuulivoimahanketta Pitkälehdon alueella, joka sijaitsee Toholammin kunnassa. Tarkempia tietoja hankkeen eri vaihtoehtoista on esitetty seuraavassa taulukossa 5.

Taulukko 4. Lähtötiedot eri hankevaihtoehtoissa.

	VE1	VE2
Hankealueen pinta-ala	1 960 ha	1 960 ha
Tuulivoimaloiden lukumäärä	18 kpl	16 kpl
Tuulivoimalan teho	10 MW	10 MW
Arvioitu elinkaarinen sähköntuotanto	21 800 GWh	19 900 GWh
Maakaapelointi hankealueella	Pituus 18,0 km Leveys 1,5 m Syvyys 0,8 m	Pituus 18,0 km Leveys 1,5 m Syvyys 0,8 m
Sähkönsiirtoasemat hankealueella	1 kpl	1 kpl
Uudet sorapäälysteiset huoltotiet	Pituus 7,5 km Leveys 6 m	Pituus 6,5 km Leveys 6 m
Parannetut sorapäälysteiset huoltotiet	Pituus 9,4 km Leveys 6 m Ei lisälevennystä	Pituus 9,4 km Leveys 6 m Ei lisälevennystä
Raivattu alue	Tuulivoimalat 1,3 ha Sähköasema 0,2 ha Tiet 6,0 ha	Tuulivoimalat 1,1 ha Sähköasema 0,2 ha Tiet 5,2 ha
Poistuva puusto	1 450 m ³	1 280 m ³
Hankealueen hiilinieluvaikutus	2,48 t CO₂-ekv/ha/a	2,48 t CO₂-ekv/ha/a

5 LÄHTEET

Energiateollisuus, 2022. Sähkön hankinta energialähteittäin 2007–2021. Saatavissa: https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/sahkon_hankinta_energia-lahteittain_2007-2021.html#material-view

Euroopan geotieteiden liitto, 2023. Calibrating the soil organic carbon model Yasso20 with multiple datasets. Saatavissa: <https://gmd.copernicus.org/articles/15/1735/2022/>

ilmatincil, 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

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>

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>

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