

AXPO RENEWABLE FINLAND OY KIVIJÄRVEN TUULIVOIMAHANKE

TUULIVOIMAHANKKEEN HIILITASELASKELMA



Sisältö

1. Johdanto	4
2. Työn tausta ja tarkoitus	5
2.1. Laskentamenetelmät	6
2.2. Laskennan oletukset.....	6
2.3. Laskennan lähtötiedot.....	7
3. Hankkeen liittyminen kansainvälisiin ja kansallisiin strategioihin ja tavoitteisiin	7
4. Hankealueen nykytila, ilmasto ja ilmanlaatu	11
4.1. Maankäytön muutos	12
5. Tulosten tarkastelu	13
5.1. Hiilijalanjälki.....	13
5.2. Tuulivoimahankkeen päästökerroin ja muiden päästökertoimien tarkastelu ...	16
6. Huomioita ja johtopäätöksiä	17
7. Arvioinnin epävarmuus	18
Lähteet	19

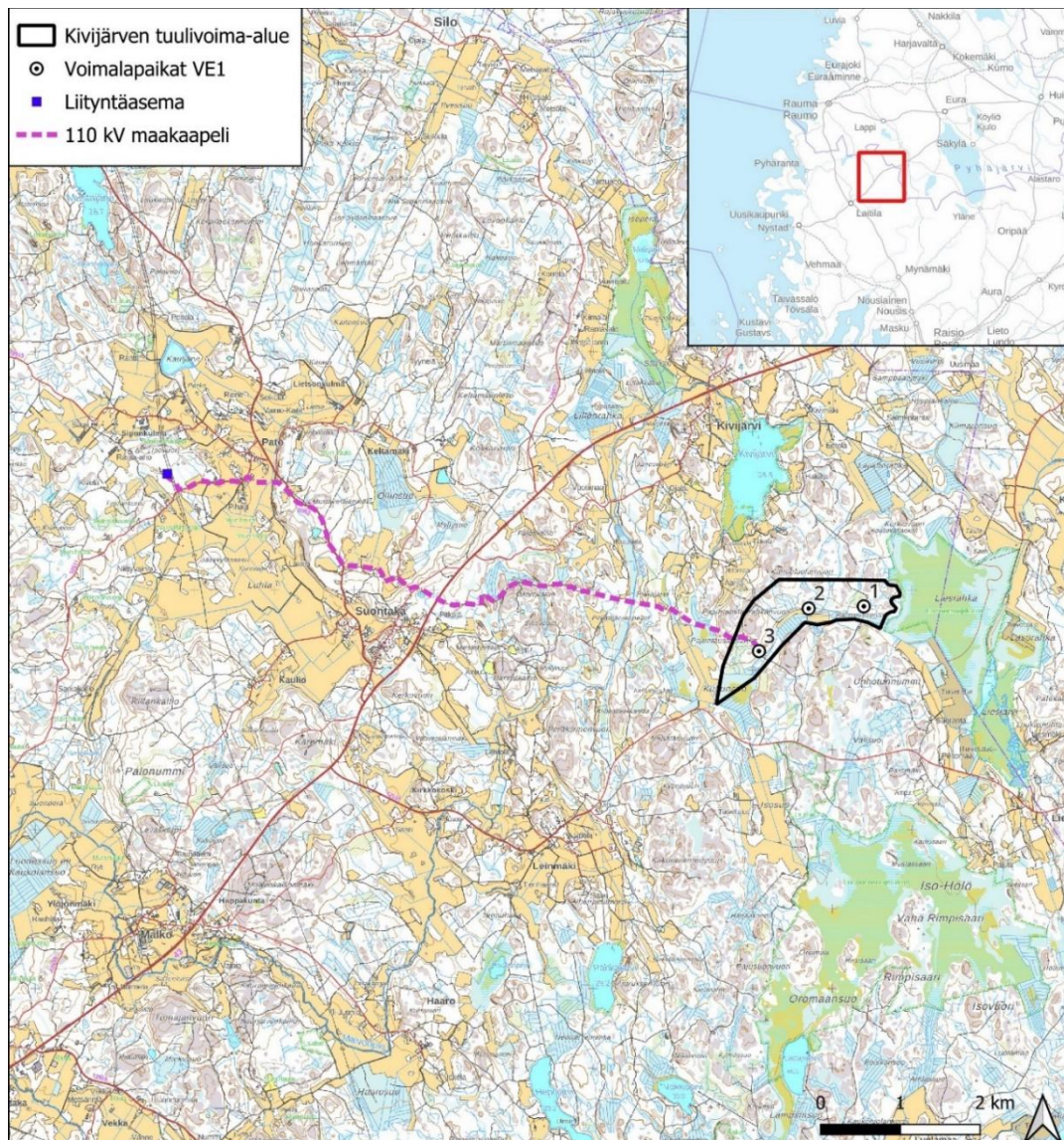
LYHENTEET JA SANASTO

CO ₂	Hiilidioksidi
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti. Hiilidioksidiekvivalentti huomio hiilidioksidipäästöjen lisäksi muut merkittävät kasvihuonekaasut. Hiilijalanjälki raportoidaan useimmiten hiilidioksidiekvivalentteina.
Elinkaariarviointi	Tuotteen tai palvelun koko elinkaaren, eli sen eri vaiheiden aikana syntyvien ympäristövaikutusten arviointi.
EPD	Environmental Product Declaration (ympäristöseloste), joka on kolmannen osapuolen verifioima dokumentti, jossa esitetään tuotteen ympäristövaikutukset koko sen elinkaaren ajalta.
Hiilijalanjälki	Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan ihmisen toiminnan aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Useimmiten hiilijalanjälki raportoidaan hiilidioksidiekvivalentteina (CO ₂ e), mikä huomioi hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös muut merkittävät kasvihuonekaasupäästöt, kuten metaanin (CH ₄) ja dityppioksidin (N ₂ O).
Hiilikädenjälki	Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla voidaan pienentää kasvihuonekaasupäästöjä tai edistää ilmastohyötyjä. Se kuvaa tietyn ratkaisun positiivisia ilmastovaikutuksia sen elinkaaren aikana.
Hiilivarasto	Hiilen määrä, joka on sitoutuneena esimerkiksi puuhun tai muuhun biomassaan, eikä siis ole vapaana ilmakehässä.
Hiilinielu	Prosessi, toiminta tai mekanismi, joka poistaa kasvihuonekaasua, kasvihuonekaasun, tai aerosolin ensiasteen ilmakehästä.
Päästökerroin	Päästökertoimella tarkoitetaan syntyvän päästön määrää suhteessa tuotetun tuotteen tai palvelun määrään. Päästökertoimen yksikkö riippuu tarkasteltavan kohteen rajauksesta, ja se voidaan ilmoittaa esimerkiksi g CO ₂ e/kWh

1. Johdanto

Axpo Renewable Finland Oy suunnittelee Laitilan Kivijärven alueelle tuulivoiman tuotantoaluetta. Hankealueesta käytetään nimeä Kivijärjen hankealue. Hankealueen koko on yhteensä noin 132 ha ja alueelle suunnitellaan kolmea tuulivoimalaa. Tuulivoimalan yksikköteho on noin 6–8 MW. Voimaloiden kokonaiskorkeus on enintään 300 m. Hankealue sijaitsee noin 12 km Laitilan keskusta-alueesta koilliseen. Hankkeen sähkönsiirto suuntaa noin 9 km länteen, missä sen on tarkoitus liittyä Fingridin 110 kV kantaverkkoon. Hankealueen sijainti on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 1.1).

Tässä raportissa kuvataan vuonna 2025 Kivijärven tuulivoimahankkeen kaavaselostusta varten laaditun ilmastovaikutusten arvioinnin tulokset. Arvioinnin tavoitteena on tuottaa tietoa suunnitellun tuulivoimalan vaikutuksista ilmastoon ja ilmanlaatuun.



Kuva 1.1 Kivijärven hankealueen sijainti.

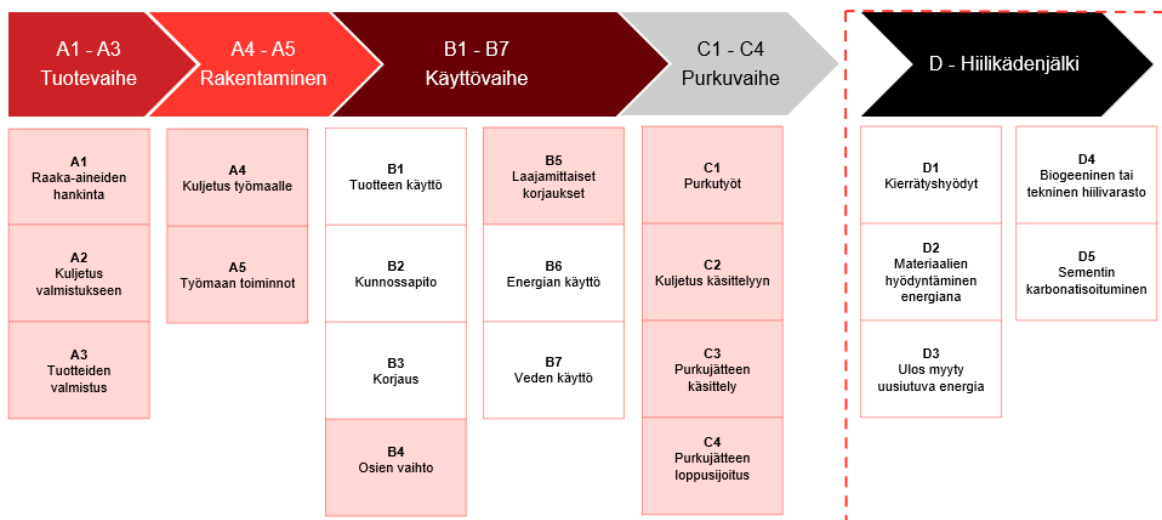
2. Työn tausta ja tarkoitus

Työn tarkoituksena on tarkastella Kivijärven tuulivoimahankkeen elinkaaren aikaisia päästöjä sekä hankkeen ilmastovaikutuksia. Vaikutuksia ilmastoon arvioidaan tarkastelemalla hankkeen hiilijalanjälkeä, hiilinielua, hiilikädenjälkeä sekä ilmastomuutokseen sopeutumista. Lisäksi arvioidaan hankkeen vaikutuksia ilmanlaatuun. Suoria tuulivoimahankkeen elinkaaren ilmastovaikutuksia tarkastellaan laskennallisesti sekä laadullisesti. Ilmastovaikutuksia arvioidaan myös tarkastelemalla hankkeen suhdetta kansainvälisiin ja kansallisiin energia- ja ilmastotavoitteisiin.

Työn tarkoituksena on myös tarkastella Varsinais-Suomen ELY-keskuksen lausunnon vaatimia hankkeen ilmastovaikutuksia. Varsinais-Suomen ELY-keskus on antanut 8.10.2025 YVA-tarveharkintapäätöksen, jonka mukaan YVA-menettelyä ei sovelleta Laitilan Kivijärven tuulivoimahankkeeseen. ELY-keskus toteaa päätöksessään seuraavasti: ”Vaikka hankkeeseen ei sovelleta YVA-menettelyä, on hankkeesta vastaavan YVA-lain 31§:n mukaisesti sen lisäksi, mitä erikseen säädetään, oltava riittävästi selvillä hankkeensa ympäristövaikutuksista siinä laajuudessa kuin kohtuudella voidaan edellyttää.”

Päätöksessä on maininta, jonka mukaan hankkeen jatkosuunnittelussa on esitettävä hankkeen ilmastovaikutukset esimerkiksi elinkaari päästöjen arvioinnilla, hiilinielujen menetykset hankealueelta ja sähkönsiirtoreitiltä (puuston poistuma ja maaperävaikutus). Laadittu hiilitaselaskelma kattaa nämä osa-alueet. Ilmastovaikutukset suhteutetaan alueellisiin ilmastotavoitteisiin kuten Ympäristöministeriön oppaassa ”Ilmastovaikutusten arviointi YVA:ssa ja SOVA:ssa” (2021) on ohjeistettu.

Hiilitaselaskennassa keskitytään tuulivoimalan elinkaaren vaiheisiin A1–A5 (A1–A3 tuotevaihe, mm. käytettävien materiaalien valmistuksen päästöt ja kuljetukset, A4 liikkuminen, mm. materiaalien kuljettaminen työmaalle, A5 rakennusprosessi, mm. rakenteiden asentaminen), vaiheisiin B4–B5, mm. korvaaminen ja kunnostaminen sekä vaiheisiin C1–C4 (elinkaaren loppu: C2 jätteen kuljetus, C3 jätteen tuotanto, C4 jätteenloppusijoitus). Elinkaaren vaiheet on esitetty Kuva 2.1.



Kuva 2.1 Työssä tarkasteltavat elinkaaren vaiheet

Lähtötietoina käytetään Kivijärven tuulivoimahankkeen YVA-tarveharkinnan dokumenttia, tilaajan toimittamia tietoja (16.1.2026, 19.1.2026), julkaistuja ympäristötuoteselosteita (EPD) ja päästökertoimia (co2data.fi ja One Click LCA) sekä Hiilikarttaa.

2.1. Laskentamenetelmät

Hankkeen ilmastovaikutuksia maankäytön osalta arvioidaan Hiilikartta-työkalun avulla. Hiilikartta auttaa arvioimaan maankäytön aiheuttamat muutokset maaperän ja kasvillisuuden hiilivarastoon. Massojen kuljetusten, muun energiankulutuksen sekä muiden mahdollisten CO₂-päästöjä aiheuttavien toimintojen ilmastovaikutukset arvioidaan laskennallisesti esim. One Click LCA-laskentaohjelmaa hyödyntäen.

Maakaapeliin ja huoltoteiden elinkaaren aikana muodostuneet hiilidioksidipäästöt lasketaan One Click LCA työkalulla infrahankkeen laskentamallilla. Laskentamallin päästökertoimet perustuvat CO₂datan ja julkaistujen ympäristötuoteselosteiden (EPD) tietoihin.

Hankkeen vaikutuksia maaperän ja kasvillisuuden hiilivarastoon arvioidaan Suomen ympäristökeskuksen laatiman Hiilikartta -työkalun avulla. Hiilikartta -työkalun tarkoituksena on tukea ilmastokestävää maankäyttöä ja se auttaa arvioimaan, miten erilaiset maankäytön muutokset vaikuttavat maaperän ja kasvillisuuden hiilivarastoihin sekä hiilinieluihin. Se on laadittu erityisesti kaavoituksen ja alueellisen suunnittelun tueksi, mutta työkalua voi hyödyntää myös tuulivoimahankkeisiin.

2.2. Laskennan oletukset

Tuulivoimaloiden elinkaaren hiilidioksidipäästöjen arvioinnissa hyödynnetään Guezuraga ym. (2012) tutkimusta 2 MW tuulivoimalan elinkaaren hiilidioksidipäästöistä. Tutkimuksessa elinkaariarvion laskenta-ajaksi on määritetty 20 vuotta ja tuulivoimalan roottorin halkaisijaksi 90 m ja tornin korkeudeksi 105 m. Kivijärven tuulivoimahankkeessa suunniteltujen tuulivoimaloiden teho on noin 6–8 MW ja kokonaiskorkeus korkeintaan 300 metriä. Yksinkertaisuuden vuoksi oletetaan, että tuulivoimalat kasvavat lineaarisesti tehon suhteen. Täten Kivijärven tuulivoimahankkeen tuulivoimaloiden elinkaaren vaiheissa arvioidaan aiheutuvan nelinkertainen määrä hiilidioksidipäästöjä Guezuraga ym. (2012) saamiin tuloksiin verrattuna. Hankkeen hiilijalanjäljen arvioinnissa käytetään laskentajaksona 20 vuotta, kuten Guezuraga ym. (2012) tutkimuksessa. Tuulivoimaloiden tekninen käyttöikä on 30–40 vuotta, joten laskentajakso voisi olla myös jopa 40 vuotta.

Sähkönsiirtoreitin hiilidioksidipäästöjen arvioinnissa käytetään Fingridin 2022 ja 2023a vuosikertomuksissa annettuja tietoja uusista voimajohtomateriaalihankinnoista. Vuonna 2022 käyttöön otettiin 500 km uutta voimajohtoa ja niiden materiaalihankinnoista aiheutui päästöjä yhteensä 144 000 t CO₂e. Vuonna 2023 vastaavat luvut olivat 60 km uutta voimajohtoa ja materiaalihankintojen päästöt olivat yhteensä 12 100 t CO₂e. Vuosikertomusten perusteella voimajohtojen keskimääräiseksi päästökertoimeksi saadaan 245 t CO₂e/km. Päästökerroin sisältää vain materiaali- ja valmistusvaiheessa syntyneet päästöt.

Tuulivoimala koostuu roottorista, konehuoneesta, tornista sekä voimalan perustuksesta. Tuulivoimala oletetaan valmistettavan pääosin ruostumattomasta teräksestä, valuraudasta, kuparista, epoksista, muovista ja lasikuidusta. Voimalan perustusten oletetaan olevan teräsbetonia. (Guezuraga ym., 2012). Maakaapeleiden oletetaan olevan 33 kV keskijännitekaapeleita, jotka valmistetaan pääosin metalleista ja muovista.

Tuulivoima-alueelle tarvitaan maa-aineksia voimaloiden perustusten massanvaihtoihin, nostoalueiden, kaapelioiden, uusien teiden ja sähköaseman rakentamiseen sekä olemassa olevien teiden vahvistamiseen. Tarvittavan maa-aineksen oletetaan olevan soraa. Huoltoteiden oletetaan olevan viisi metriä leveitä. Laskennassa uusien teiden alle oletetaan tulevan suodatinkangas.

2.3. Laskennan lähtötiedot

Alla olevassa taulukossa on esitetty arvioinnissa käytetyt lähtötiedot ja keskeiset tekniset tiedot (Taulukko 2.1). Tiedot perustuvat tähänhetkisiin suunnitelmiin ja pääosin hankkeesta vastaavalta saatuihin lähtötietoihin. Alueelle suunnitellaan kolmen yksikköteholtaan 6–8 MW:n tuulivoimalan kokonaisuutta. Laskelmissa oletetaan tuulivoimalan yksikkötehon olevan 8 MW. Tuulivoimahankkeen vuosituotanto on laskettu yhteistehon ja voimalan huipunkäyttöajan perusteella. Tuulivoimalan huipunkäyttöaika on arvioitu Suomen uusiutuvat ry:n (2019) arvion mukaan. Tuulivoima-alueella sisäinen sähkönsiirto tapahtuu maakaapeleilla.

Taulukko 2.1 Tuulivoimahankkeen ja voimajohton ilmastovaikutusten arviointiin käytetyt lähtötiedot

Kuvaus	Arvo	Yksikkö
Tuulivoimaloiden lukumäärä	3	kpl
Yksikköteho	8	MW
Yhteisteho	24	MW
Tuulivoimalan huipunkäyttöaika	3500	h/vuosi
Vuosituotanto	84	GWh
Tuulivoimalan tornin päämateriaali	Teräs	
Tuulivoimalan perustamistapa	Teräsbetoni	
Tarvittava maa-aines	17 844	m ³
Sähkönsiirto	Sisäinen sähkönsiirto (maakaapeli) 3 Voimajohto (maakaapeli) 9	km

3. Hankkeen liittyminen kansainvälisiin ja kansallisiin strategioihin ja tavoitteisiin

Taulukossa (Taulukko 3.1) on esitetty hankkeen liittyminen kansainvälisiin sekä kansallisiin strategioihin ja tavoitteisiin.

Taulukko 3.1 Hankkeen liittyminen kansallisiin strategioihin ja tavoitteisiin

Kansainväliset energia- ja ilmastotavoitteet	
YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus (UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, SopS 61/1994)	YK:n ilmastosopimuksen keskeisenä päämääränä on ilmaston kasvihuonekaasujen pitoisuuden vakauttaminen vaarattomalle tasolle. Tämä taso tulisi saavuttaa sellaisessa ajassa, että ekosysteemit ehtivät sopeutua ilmastomuutokseen luonnollisella tavalla.
Kioton pöytäkirja (SopS 12/2005, SopS 13/2005)	Pöytäkirjan tavoitteena on ollut rajoittaa teollisuusmaiden kasvihuonekaasupäästöjä 5,2 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. Kioton pöytäkirjan jälkimmäinen velvoitekausi päättyi vuonna 2020, ja tämän jälkeen kansainvälinen ilmastopolitiikka on perustunut Pariisin ilmastosopimukseen.
Pariisin ilmastosopimus (SopS 75-76/2016)	Keskeisenä tavoitteena on pitää ilmaston lämpeneminen selkeästi alle kahdessa asteessa ja pyrkiä toimiin, joilla lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 asteen tämän vuosisadan loppuun mennessä. Osapuolten täytyy laatia säännöllisesti, viiden vuoden välein, uusia päästövähennystavoitteita, joiden on oltava aiempia tavoitteita edistyneempiä. Kaikilta osapuolilta odotetaan kunnianhimoisia, vähitellen kiristyviä toimia usean tavoitteen suhteen: päästöjen vähentämiseksi, ilmastomuutokseen sopeutumiseksi, ilmatorahoitukseen lisäämiseksi, teknologian kehittämiseksi ja siirtämiseksi, toimintavalmiuksien vahvistamiseksi sekä läpinäkyvyyden lisäämiseksi.
EU:n energia- ja ilmastotavoitteet	
EU:n tavoiteohjelma Green Deal ja Fit for 55 -paketti	Euroopan vihreän kehityksen ohjelman Green Deal:n tavoitteena on tehdä Euroopasta ensimmäinen ilmastoneutraali maanos. EU-maat ovat sopineet, että EU:sta tulee ilmastoneutraali talous ja yhteiskunta vuoteen 2050 mennessä. EU:n tavoite on vähentää päästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä.
Taakanjakoasetus (EU) 2018/842	Taakanjakoasetuksen tarkoituksena on varmistaa, että EU saavuttaa tavoitteensa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä taakanjakoon kuuluvilla aloilla 30 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2005 tasoihin. Taakanjakoon kuuluvia aloja ovat rakennusten lämmitys, maatalous (muut kuin hiilidioksidipäästöt), jätehuolto ja liikenne (lentoliikennettä ja kansainvälistä meriliikennettä lukuun ottamatta).

	<p>Taakanjakoasetus on yksi 55-valmiuspaketin lainsäädäntöehdotuksista. Suomen päästövähennysvelvoite on 39 %, mutta EU-komissio on ehdottanut, että taakanjakosektorin (päästökaupan ulkopuoliset alat) päästövähennysvelvoitetta kiristetään koko EU:ssa 10 prosenttiyksiköllä, Suomen velvoitteeksi on ehdotettu 50 %.</p>
LULUCF-asetus (EU) 2018/841	<p>Maankäyttöä, maankäytön muutosta ja metsätaloussektoria koskevassa asetuksessa määritellään laskentasäännöt sille, miten maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsänhoidon nielut ja päästöt otetaan huomioon EU:n ilmastotavoitteissa. Jäsenvaltion tulee varmistaa, että LULUCF-sektorista ei aiheudu laskennallisia päästöjä. Aurinko- ja tuulivoimaloiden rakentamisesta voi aiheutua metsäkatoa, joka vaikuttaa hiilinielujen määrään.</p>
Uusiutuvan energian direktiivi (RED III (EU) 2023/2413)	<p>Uusiutuvan energian direktiivi RED III tuli voimaan marraskuussa 2023, työ- ja elinkeinoministeriö valmistelee tällä hetkellä direktiivin kansallista toimeenpanoa Suomessa. EU:n yleistavoite on, että uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuus on vähintään 42,5 % unionin energian kokonaisloppukulutuksesta vuonna 2030. Suomen osalta tavoite tulee olemaan noin 60 % 2030 mennessä. Direktiivi pyrkii myös nopeuttamaan uusiutuvan energian tuotantolaitosten rakentamista. Toistaiseksi suoria tuulivoimahankkeiden lupamenettelyjen kestoon kohdistuvia vaikutuksia ei Suomessa ole aiheutunut.</p>
Energiatehokkuusdirektiivi (EU) 2023/1791	<p>Energiatehokkuusdirektiivillä säädetään EU- ja kansallisen tason energiatehokkuustavoitteista, kansallisesta energiansäästövelvoitteesta ja lukuisista energiatehokkuuden edistämisen toimenpiteistä.</p> <p>Aiempi energiatehokkuusdirektiivi on Suomessa toimeenpantu energiatehokkuuslailla (1429/2014). Työ- ja elinkeinoministeriö on asettanut toukokuussa 2023 työryhmän valmistelemaan uudistetun energiatehokkuusdirektiivin kansallista toimeenpanoa, jonka pitäisi valmistua 31.12.2024 mennessä.</p>
Kansalliset energia- ja ilmastotavoitteet	
Kansallinen energia- ja ilmastostrategia 2025	<p>Kansallisessa ilmasto- ja energiastrategiassa (VNS 8/2025 vp) linjataan toimia, jolla Suomi täyttää EU:n vuoden 2030 ilmastovelvoitteet ja saavuttaa</p>

	<p>ilmastolain mukaiset tavoitteet kasvihuonekaasujen vähentämisestä 60 prosentilla vuoteen 2030 ja vuotta 2035 koskevan hiilineutraaliustavoitteen. Strategia kattaa kaikki kasvihuonekaasupäästölähteet (päästökauppasektori, taakanjakosektori, maankäyttösektori) ja nielut (maankäyttösektori). Strategiassa tarkastellaan energia- ja ilmastopolitiikkaa EU:n energiaunionin viiden ulottuvuuden mukaisesti: vähähiilisyys, energiatehokkuus, energiamarkkinat, energiaturvallisuus sekä tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimet. Lisäksi se sisältää ilmastomuutokseen sopeutumisen linjaukset, ajantasaiset energia- ja kasvihuonekaasutaseet sekä kattavat vaikutusarviot politiikkatoimista – mukaan lukien ympäristö-, kansantalous-, valtiontalous-, sukupuolten tasa-arvo- sekä sosiaaliset ja alueelliset vaikutukset. Strategian keskeisiä painopisteitä ovat puhtaan siirtymän vauhdittaminen, vetytalouden ja uuden energiainfrastruktuurin kehittäminen, energiajärjestelmän sähköistyminen sekä energiaomavaraisuuden ja huoltovarmuuden vahvistaminen tilanteessa, jossa Suomi on irtautunut lähes kaikesta venäläisestä energiasta. Suomi on ilmoittanut kansalliseksi tavoitteekseen nostaa uusiutuvan energian osuuden 62 %:iin energian loppukulutuksesta vuoteen 2030, mikä täyttää EU:n RED III-direktiivin velvoitteet.</p>
Ilmastolaki 423/2022 (uusi laki voimaan 1.7.2022)	<p>Laissa säädetään ilmastopolitiikan suunnitelmista. Vuonna 2022 laki laajeni koskemaan maankäytön, metsätalouden ja maatalouden päästöjä, ja ensimmäistä kertaa lakiin on kirjattu hiilinielujen vahvistamistavoite. Uudistetussa ilmastolaissa on asetettu päästövähennystavoitteet vuosille 2030, 2040 ja 2050. Lisäksi lakiin on kirjattu, että Suomen on oltava hiilineutraali viimeistään vuonna 2035.</p>
KAISU 3 – Suomen keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma	<p>Suunnitelma laaditaan kerran vaalikaudessa ilmastolain mukaisesti, ja se sisältää toimenpideohjelman taakanjakosektorin päästöjen vähentämiseksi. Suomen veloitteena on vähentää taakanjakosektorin päästöjä 50 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 tasoon verrattuna, ja suunnitelma esittää toimenpiteet tämän saavuttamiseksi. Suunnitelma on laadittu vastaamaan sekä vuoden 2030 kiristyvää EU-velvoitetta että Suomen ilmastolain mukaista tavoitetta saavuttaa hiilineutraalisuus vuoteen</p>

	2035 mennessä ja siirtyä sen jälkeen hiilinegatiiviseksi. Sekä energia- ja ilmastostrategia että KAISU annettiin eduskunnalle 4.12.2025 selontekoina.
Kunnalliset/paikalliset energia- ja ilmastotavoitteet	
Hinku-verkosto	<p>Hinku-verkosto on vuonna 2008 perustettu ilmastonmuutoksen hillinnän edelläkävijöiden verkosto, joka kokoaa yhteen kunnianhimoisiin päästövähennyksiin sitoutuneet kunnat ja maakunnat, ilmastoystävällisiä tuotteita ja palveluita tarjoavat yritykset sekä energia- ja ilmastoalan asiantuntijat.</p> <p>Hinku-verkostossa on mukana jo lähes 100 Hinku-kuntaa sekä viisi Hinku-maakuntaa, jotka ovat sitoutuneet vähentämään käyttöperusteisia kasvihuonekaasupäästöjään 80 prosenttia 2030 mennessä vuoden 2007 tasosta. Laitila on liittynyt vuonna 2013 Hinku-verkostoon. (Hiilineutraalisuomi.fi, 2024)</p>
Laitilan ilmasto-ohjelma 2025	<p>Laitilan kaupunki on laatinut ilmasto-ohjelman vuosille 2025–2030, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 80 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2007 tasoon verrattuna. Ohjelma perustuu Hinku-verkoston tavoitteisiin ja sisältää toimenpiteitä, jotka kohdistuvat erityisesti energiankäyttöön, liikenteeseen, maatalouteen sekä hiilinielujen vahvistamiseen. Ilmasto-ohjelmassa korostetaan uusiutuvan energian käytön lisäämistä ja energiajärjestelmän vähähiilistämistä osana kunnan kehitystä.</p>

4. Hankealueen nykytila, ilmasto ja ilmanlaatu

Laitilan kaupunki kuuluu Varsinais-Suomen maakuntaan, joka kuuluu kokonaisuudessaan eteläboreaaliseen ilmasto- ja kasvillisuusvyöhykkeeseen ja suurelta osin sen sisällä olevaan hemiboreaaliseen vyöhykkeeseen. Alueen ilmasto leimaa vanha merellisyys ja Varsinais-Suomen ilmastolle tyypillistä ovat pitkät ja suhteellisen lämpimät kesät ja varsin lyhyet lauhdat talvet. Vuotuinen sademäärä vaihtelee ulkosaariston 500–550 millimetrin ja sisämaan 600–750 millimetriä välillä. (Ilmasto-opas, 2022) Ilmastonmuutoksen myötä on odotettavissa sademäärän kasvua ja keskilämpötilojen nousua (Suomen ilmastopaneeli 2021).

Hankealueella tai sen läheisyydessä ei ole toimintoja, joista aiheutuisi nykytilanteessa merkittäviä ilmanlaatuvaikutuksia. Vähäisiä määriä ilmansaasteita syntyy alueen liikenteestä ja muusta energian käytöstä, jonka lisäksi niitä tulee kaukokulkeumana etäämpää. Hankealueen sijainti huomioiden, voidaan arvioida, että hankealueen ilmanlaatu on nykyisellään pääosin hyvä. Ilmanlaadun mittauspisteitä ei sijaitse hankealueen

välittömässä läheisyydessä. Lähin mittauspiste Rauman Tarvonsaaren mittauspiste noin 32 kilometrin etäisyydellä hankealueesta.

4.1. Maankäytön muutos

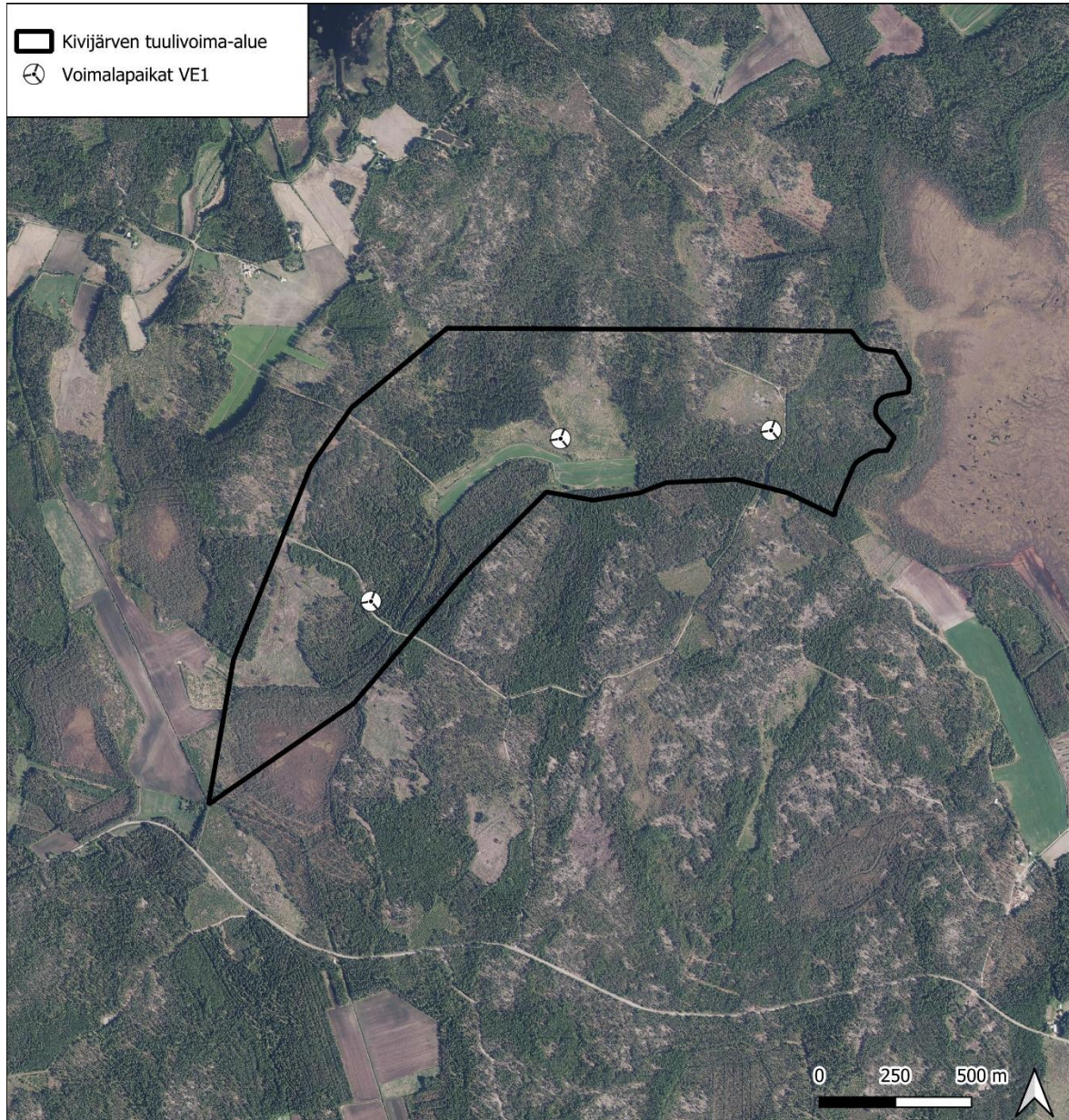
Tuulivoimalan hankealue on nykyisesti pääsääntöisesti peltomaata sekä talousmetsää. Hankealueen nykytila on esitetty kuvassa Kuva 4.1.

Hiilitaselaskennassa kasvillisuuden poistuminen alueelta otetaan huomioon poistuvana hiilivarastona sekä tuulivoimalan elinkaaren ajalta menetettävänä hiilinieluna. Hiilikartalla on arvioitu hankkeen vaikutusta nostoalueiden, tiestön sekä sähköaseman alueille. Nostoalueet ja sähköaseman alue on määritetty työkalussa energianhuollon alueiksi (EN), jossa kerroin olettaa puolet alueesta olevan kasvipeitteetöntä uutta maankäyttöä ja puolet puolestaan kasvipeitteistä uutta maankäyttöä. Alueiden rajaukset perustuvat hankkeesta vastaavalta saatuihin aineistoihin. Tiestö on puolestaan työkalussa määritetty liikennealueeksi (L), jossa kasvipeitteetöntä uutta maankäyttöä oletetaan olevan 60 % alueesta ja kasvipeitteistä uutta maankäyttöä puolestaan 40 %. Molemmissa luokissa oletetaan, että aiempaa maankäyttöä ei jää jäljelle.

Sähkönsiirtolinjoilla sijaitsevan puuston keskitilavuus ja -kasvu metsämaalla on puolestaan määritetty alueellisten metsävaratietojen mukaan (Vaahtera ym., 2021). Tuulivoimahanke sijaitsee Varsinais-Suomen maakunnassa. Laskelmissa puuston keskitilavuus ja -kasvukertoimina on käytetty Varsinais-Suomen kertoimia. Täten puuston keskitilavuutena on käytetty 157 m³/ha ja puuston keskikasvuna puulajien keskiarvoa 6,2 m³/ha/vuosi. Hiilen osuus puuston kuiva-tuoretiheydestä oletetaan olevan 50 % ja hiilen osuus hiilidioksidista 27 %. Laskelmassa oletetaan puun sitovan hiilidioksidia 0,83 t CO₂/m³, perustuen puulajien kuiva-tuoretiheyksiin (Vaahtera ym., 2021) ja hiilen osuuksiin puusta ja hiilidioksidista.

Sähkönsiirtolinjojen vaikutuksia maaperän hiilivarastoon ei ole huomioitu laskennassa.

Hiilivaraston muutokset huomioidaan laskuissa rakentamisvaiheessa muodostuviin päästöihin ja hiilinielun muutokset puolestaan tuotantovaiheen aikaisiin päästöihin.



Tulostettu 16/12/2024, JL.
Lähteet:
Pohjakartta: Maanmittauslaitos



Kuva 4.1 Ilmakuva hankealueesta

5. Tulosten tarkastelu

5.1. Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kuvaa tuulivoimahankkeen elinkaaren aikana muodostuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Seuraavissa kappaleissa on esitetty hiilijalanjälki tuulivoima-alueelle ja sähkönsiirtoreiteille erikseen.

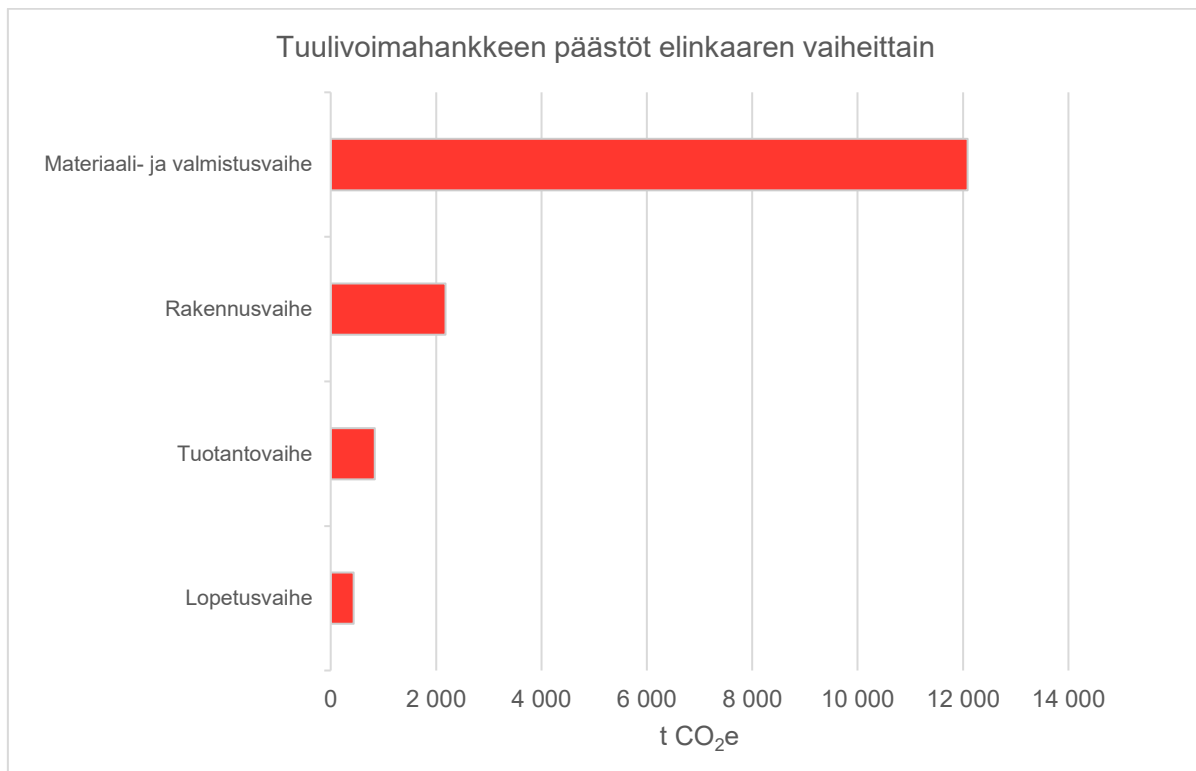
Tuulivoima-alue

Kivijärven tuulivoima-alueen koko elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 5.1). Tuulivoimahankkeen päästöt ovat yhteensä noin 15 540 t CO₂e. Suurimmat päästöt aiheutuvat tuulivoimaloista, joiden päästöt ovat noin 13 970 t CO₂e. Pienimmät päästöt syntyvät puolestaan maakaapelista. Hankkeen vaikutukset kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoon ja hiilinieluun on laskettu Hiilikartta -työkalun avulla

Taulukko 5.1 Tuulivoima-alueen elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt ja niiden osuudet päästölähteittäin

Päästölähde	(t CO ₂ e)
Tuulivoimalat	13 968
Rakennekerrokset (tarvittava maa-aines, suodatinkangas)	235
Maakaapeli	107
Hiilivarasto ja hiilinielu	1 228
Yhteensä	15 538

Alla olevassa kuvassa nähdään tuulivoima-alueen kokonaispäästöt elinkaaren vaiheittain (Kuva 5.1). Tuulivoima-alueen suurimmat päästöt aiheutuvat materiaali- ja valmistusvaiheessa. Pienimmät päästöt syntyvät puolestaan purkamisvaiheessa, kun tuulivoima-alue puretaan ja käsitellään loppusijoitukseen. Toiseksi eniten päästöjä syntyy rakennusvaiheessa, kun rakennusvaiheeseen sisällytetään myös hiilivaraston menetys. Tuotantovaiheessa tuulivoima-alue tuottaa uusiutuvaa energiaa, joka ei itsessään aiheuta suoria päästöjä. Tuulivoima-alueen huolto ja kunnossapito aiheuttavat kuitenkin tuotantovaiheessa päästöjä. Tuotantovaiheeseen on sisällytetty huoltotöiden lisäksi hiilinielun menetys.



Kuva 5.1 Tuulivoimahankkeen päästöt elinkaaren vaiheittain

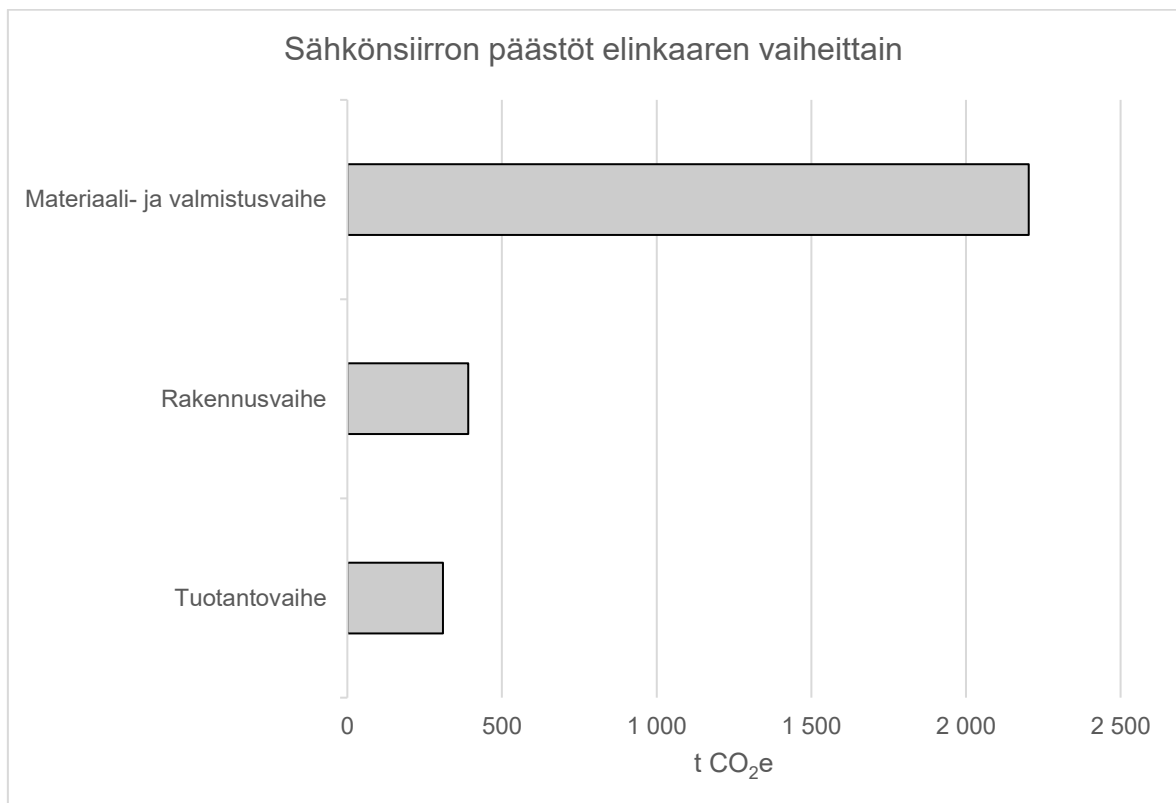
Sähkönsiirtoreitit

Sähkönsiirron elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 5.2). Sähkönsiirron vaihtoehtoja tarkastellessa havaitaan, että syntyy päästöjä yhteensä noin 2 900 t CO₂e.

Taulukko 5.2 Sähkönsiirron elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt ja niiden osuudet päästölähteittäin.

Päästölähde	(t CO ₂ e)
Voimajohto	2 204
Menetetyn kasvillisuuden hiilivarasto ja hiilinielu	700
Yhteensä	2 903

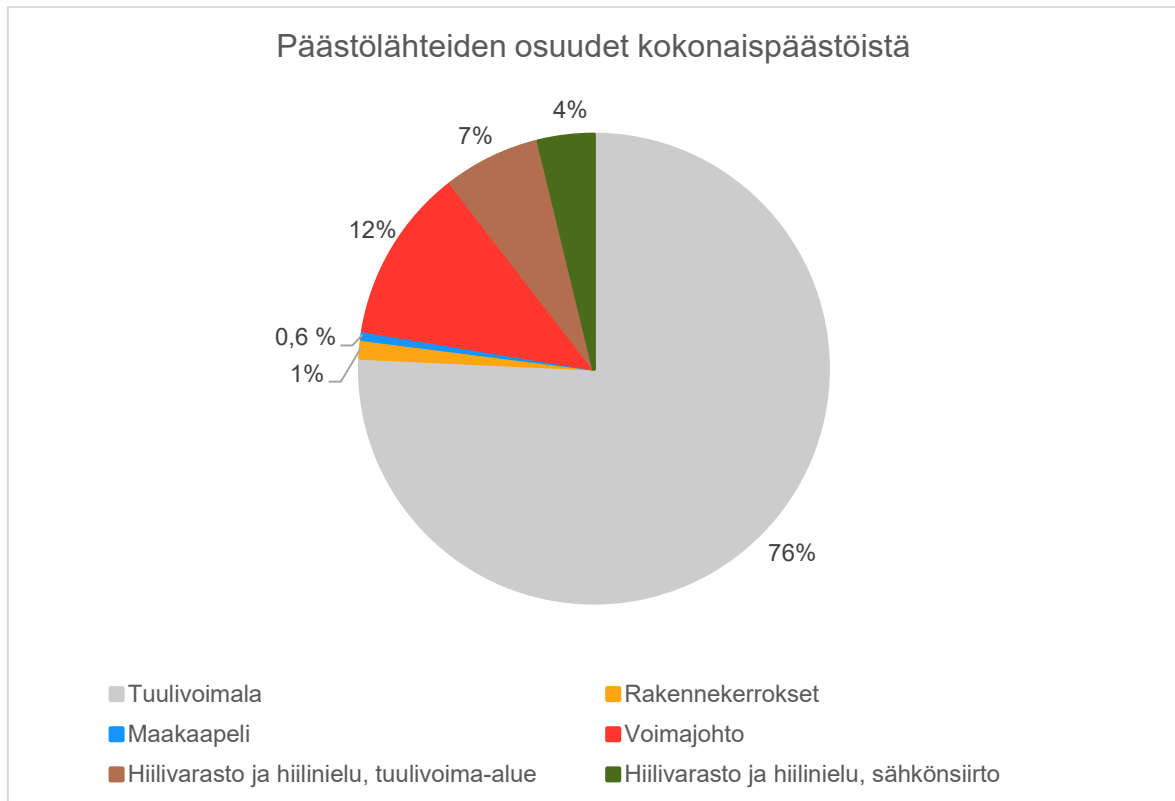
Alla olevassa kuvassa nähdään sähkönsiirron kokonaispäästöt elinkaaren vaiheittain (Kuva 5.2). Sähkönsiirron päästöt sisältävät vain voimajohdon materiaali- ja valmistusvaiheessa syntyvät päästöt sekä puuston kaatamisesta aiheutuva hiilivaraston menetyks rakennusvaiheessa ja hiilinielun menetyks tuotantovaiheessa. Laskelman mukaan sähkönsiirron osalta suurimmat päästöt aiheutuvat hiilivaraston menetyksestä, jonka vuoksi rakennusvaiheessa päästöjä muodostuu eniten. Laskelma ei ole sisältänyt muita voimajohdon rakentamisesta, tuotantovaiheesta tai purkamisvaiheesta aiheutuvia päästöjä. Tuulivoima-alueen elinkaaren aikaisiin päästöihin verraten, voidaan kuitenkin olettaa, että muut voimajohdon rakentamisesta, tuotantovaiheesta tai purkamisvaiheesta aiheutuvat päästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin voimajohdon materiaali- ja valmistusvaiheessa syntyvät päästöt. Esimerkiksi voimajohtojen tarkistuksia tehdään keskimäärin 1–3 vuoden välein. Tällöin muut tuotantovaiheen päästöt voidaan olettaa vähäisiksi. (Fingrid, 2023b)



Kuva 5.2 Sähkönsiirron päästöt elinkaaren vaiheittain

Tuulivoima-alueen ja sähkönsiirron kokonaispäästöt

Tuulivoimahankkeen kokonaishiilidioksidipäästöt, sähkönsiirtolinjan huomioiden, päästöt ovat yhteensä noin 18 440 t CO₂e. Seuraavassa kuvassa nähdään päästölähteiden keskimääräinen jakautuminen kokonaispäästöistä (Kuva 5.3). Kuvasta havaitaan, että tuulivoimaloiden osuus kokonaispäästöistä on 76 %. Voimajohton osuus kokonaispäästöistä on 12 %. Hiilivaraston ja hiilinielun poistuman osuus yhteensä on 11 %.



Kuva 5.3 Päästölähteiden osuudet hankkeen kokonaispäästöistä

5.2. Tuulivoimahankkeen päästökerroin ja muiden päästökertoimien tarkastelu

Tässä kappaleessa on esitetty Kivijärven tuulivoimahankkeen päästökerroin sekä tarkasteltu muutaman eri tuotantotavan päästökertoimia. Päästökertoimia tarkastellessa tulee kuitenkin huomioida, että nämä eivät ole verrattavissa keskenään johtuen muun muassa erilaisista laskentamenetelmistä.

Hiilijalanjälkilaskelman perusteella saadaan Kivijärven tuulivoimahankkeen päästökertoimeksi noin 11 g CO₂e/kWh vuosituotannon ollessa 84 GWh. Päästökertoimet sisältävät myös sähkönsiirron vaihtoehdot. Hankkeesta saadut päästökertoimet ja tulokset ovat laskettu 20 vuoden laskentajaksolla, kuten Guezuraga ym. (2012) tutkimuksessa. Tuulivoimalan käyttöikä voisi olla jopa 40 vuotta, ja hankkeesta aiheutuneet päästöt muodostuvat lähes yksinomaan voimaloiden valmistuksessa ja rakentamisvaiheessa.

Lisäksi tuulivoimahankkeen hiilijalanjälkeä ja hankkeen päästökerrointa voidaan pienentää kierrättämällä ja uudelleenkäyttämällä materiaalia osana kiertotaloutta. Tuulivoimalat valmistetaan pääosin metalleista ja betonista, jotka voidaan kierrättää. Lisäksi kaapelit sisältävät suurimmaksi osaksi metallia, kuten kuparia ja alumiinia, joita voidaan kierrättää

lähes loputtomiin ilman, että sen laatu tai ominaisuudet heikentyvät. Vestaksen (2022) tekemän tuulivoimalan elinkaariarvion mukaan tuulivoimalan materiaalien kierrätyksellä voimalan päästökerroin pienenesi noin kolmasosan. Mikäli tässä hankkeessa oletettaisiin samoin, Kivijärven tuulivoimahankkeen päästökertoimeksi saataisiin noin 7 g CO₂e/kWh (20 vuoden laskentajaksolla).

Vuonna 2023 Suomen keskimääräisen sähköntuotannon elinkaaren päästökerroin oli 48,5 g CO₂e/kWh. (Tilastokeskus, 2025). Kivihiilellä tuotetun sähkön päästökerroin on noin 923 g CO₂e /kWh ja maakaasulla noin 458 g CO₂e /kWh. (UNECE, 2021).

Suomen sähköntuotannon päästökerroin ei ole suoraan verrattavissa tässä laskettuun aurinkovoimalan päästökertoimeen, koska siinä ei ole huomioitu tuotantolaitosten ja infrastruktuurin elinkaaren aikana syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä eikä muita ympäristövaikutuksia.

6. Huomioita ja johtopäätöksiä

Tuulivoimahankkeen haitallisia ilmastovaikutuksia on mahdollista lieventää materiaalivalintoihin, rakentamiseen, kuljetuksiin sekä kierrätykseen liittyvillä keinoilla. Tuulivoimalan valmistuksessa on mahdollista käyttää vähähiilisempää metallia ja muita valmistusmateriaaleja. Tuulivoimaloiden perustuksissa voidaan käyttää esimerkiksi vähähiilistä betonia, lisäksi rakentamisessa voidaan käyttää muita kierrätysmateriaaleja. Näihin vaihtoehtoihin voidaan vaikuttaa suunnittelu- ja rakennusvaiheessa.

Hiilivarastojen sekä nielujen menetystä voidaan välttää optimoimalla rakentamisvaiheessa kaadettavan puuston määrää.

Kierrättämällä tuulivoimaloiden materiaaleja voidaan pienentää tuulivoimahankkeen loppuvaiheen päästöjä merkittävässä määrin, sillä esimerkiksi tuulivoimalat valmistetaan pääosin metalleista, jotka voidaan kierrättää. Arviolta 86,6 % tuulivoimalan materiaaleista voidaan kierrättää (Vestas, 2023) ja uusia kierrätyskohteita kehitetään jatkuvasti. Kaapelit sisältävät suurimmaksi osaksi metallia, kuten kuparia ja alumiinia. Niiden kierrätys on kannattavaa, sillä niitä voidaan teräksen tapaan kierrättää lähes loputtomiin ilman, että niiden laatu tai ominaisuudet heikentyvät.

Elinkaaren purkamisvaiheella tarkoitetaan vaihetta, jossa tuulivoima-alue poistetaan käytöstä ja voimalat puretaan. Purkamisvaiheessa päästöjä syntyy työkoneiden käytöstä, kuljetuksista jatkokäsittelyyn sekä purkujätteen käsittelystä ja loppusijoituksesta.

Tuulivoimalat valmistetaan pääosin metalleista ja betonista, jotka voidaan kierrättää. Metallit voidaan muun muassa sulattaa uudelleenkäyttöön ja betonista voidaan valmistaa mursketta, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi tienrakennekerroksissa. Laskelmissa ei kuitenkaan huomioida materiaalien kierrätystä, vaan laskelmissa ne oletetaan purettavan ja kuljetettavan loppusijoitukseen. Tuulivoimaloiden lavat valmistetaan lasikuitukomposiitista, jonka kierrätys on vielä haastavaa. Lapojen kierrätykseen on kuitenkin jo löytynyt joitakin ratkaisuja, kuten lavoista tehdyn murskeen hyödyntäminen sementtiproessin raaka-aineena (Kuusankoski Oy, 2022).

Kaapelit sisältävät suurimmaksi osaksi metallia, kuten kuparia ja alumiinia. Kuparia ja alumiinia voidaan kierrättää, sillä sitä voidaan teräksen tapaan kierrättää lähes loputtomiin ilman että sen laatu tai ominaisuudet heikentyvät. One Click LCA työkalussa kuitenkin oletetaan kaapelien päätyvän loppusijoitukseen kierrätyksen sijaan.

7. Arvioinnin epävarmuus

Tuulivoimaloiden aiheuttamat päästöt perustuvat Guezuraga ym. (2012) tekemän tutkimuksen tuloksiin. Tutkimuksen tuulivoimala on kuitenkin eri mallinen sekä selvästi pienempi kuin Kivijärven hankkeessa suunnitellut tuulivoimalat. Yksinkertaisuuden vuoksi, tässä arvioinnissa on oletettu tuulivoimaloiden kasvavan lineaarisesti tehon suhteen. Täten Kivijärven tuulivoimahankkeen tuulivoimaloiden elinkaaren vaiheissa on arvioitu aiheutuvan nelinkertainen määrä hiilidioksidipäästöjä Guezuraga ym. (2012) saamiin tuloksiin verrattuna, mikä aiheuttaa epävarmuutta arviointiin. Lisäksi kyseessä olevan tutkimuksen tulokset ovat jo yli kymmenen vuoden takaisia. Kuitenkin UNECE:n (2022) tekemän raportin mukaan tuulivoima-alueen päästökerroin arvioidaan olevan 7,8–16 g CO₂e/kWh välillä. Tässä laskelmassa Kivijärven tuulivoimahankkeen päästökertoimeksi on saatu noin 11 g CO₂e/kWh, mikä osoittaa laskelman tuloksen olevan oikean suuntainen.

Epävarmuuksia on vähennetty valitsemalla tämänhetkisiin suunnitelmiin parhaiten soveltuvia päästökertoimia, jolloin voidaan kuitenkin todeta arvioinnissa saadun tuloksen antavan riittävän arvion Kivijärven tuulivoimahankkeesta aiheutuville hiilidioksidipäästöille. Edellä mainitut epävarmuudet sisältyvät päästölaskentaan lähes aina hankkeesta riippumatta. Tämän vuoksi Kivijärven tuulivoimahankkeen hiililaskennan tulokset eivät välttämättä ole suoraan vertailukelpoisia muiden tuulivoimahankkeiden päästölaskennan tulosten kanssa, sillä laskentamenetelmät ja lähtötietojen tarkkuus voivat poiketa merkittävästikin toisistaan. Kivijärven tuulivoimahankkeen vaihtoehtojen tulokset ovat kuitenkin vertailukelpoisia keskenään ja hankkeen tulos on oikean suuntainen UNECE:n (2022) saadun tuloksen kanssa.

On tärkeää huomioida, että tässä raportissa esitetyt laskennan tulokset ovat karkeita arvioita, jotka perustuvat tämänhetkiseen tietoon ja käytettävissä oleviin lähtötietoihin. Tulokset voivat tarkentua, mikäli menetelmiä tai lähtötietoja tai päivitetään tulevaisuudessa.

Lähteet

Fingrid. 2023a. Vuosikertomus 2023.

https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/vuosikertomus/2023/fingrid_oyj_vuosikertomus_2023.pdf

Fingrid, 2023b. Voimajohdot.

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kunnossapito/voimajohdot/>

Fingrid. 2022. Vuosikertomus 2022. <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/vuosikertomus/>

Gregow, H., Mäkelä, A., Tuomenvirta, H., Juhola, S., Käyhkö, J., Perrels, A., Kuntsi-Reunanen, E., Met-tiäinen, I., Näkkäläjärvi, K., Sorvali, J., Lehtonen, H., Hildén, M., Veijalainen, N., Kuosa, H., Sihvonen, M., Johansson, M., Leijala, U., Ahonen, S., Haapala, J., Korhonen, H., Ollikainen, M., Lilja, S., Ruuhela, R., Särkkä, J. ja Siiriä, S-M. 2021. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021. ISBN: 978-952-7457-04-7.

<https://ilmastopaneeli.fi/hae-julkaisuja/ilmastonmuutokseen-sopeutumisen-ohjauskeinot-kustannukset-ja-alueelliset-ulottuvuudet/>

Guezuraga B., Zauner R. & Pözl W. 2012. Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines. Renewable Energy. Vol 37 (1). s. 37-44.

doi:10.1016/j.renene.2011.05.008

Ilmatieteen laitos. 2025. Ilmanlaatu Suomessa. Luettu 13.1.2026

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>

Ilmatieteen laitos. Suomen ilmastovyöhykkeet. Luettu 15.12.2025.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/suomen-ilmastovyohykkeet>

Kuusankoski Oy. 2022. Ensimmäiset tuulivoimaloiden lavat kierrätetty onnistuneesti Suomessa – uusi kotimainen ratkaisu syntyi usean toimijan yhteisprojektissa. Julkaisu 30.8.2022. <https://www.kuusankoski.com/fi/finland/ajankohtaista/2022/ensimmaiset-tuulivoimaloiden-lavat-kierratetty-onnistuneesti-suomessa/>

Suomen uusiutuvat ry. 2019. Paljon tuulivoimalat tuottavat sähköä ja mitä tarkoittaa huipunkäyttöaika? <https://suomenuusiutuvat.fi/usein-kysyttya/tuulivoimasta/tuulivoimalat/>

UNECE. 2021. Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources. United Nations, Geneva. 97s.

https://unece.org/sites/default/files/2022-04/LCA_3_FINAL%20March%202022.pdf

Vaahtera, E. Niinistö, T. Peltola, A. Rätty, M. Sauvula-Seppälä, T. Torvelainen, J. Uotila, E. Kulju, I. Metsätalastollinen vuosikirja 2021. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-325-1>

Valtioneuvosto: työ- ja elinkeinoministeriö, 2025. Energia- ja ilmastostrategia 2025. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 4.12.2025. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/energia-ja-ilmastostrategia-vauhdittaa-puhdasta-siirtymaa-ja-paastojen-vahentamista>

Valtioneuvosto: ympäristöministeriö, 2025. Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma (KAISU 2025). Valtioneuvoston selonteko 4.12.2025. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/lisavauhtia-paastovahennyksiin-hallitus-hyvaksyi-keskipitkan-aikavalin-ilmastosuunnitelman>

Vestas, 2022. Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V136-4.2 MW Wind Plant – 22nd March 2022. Vestas Wind Systems A/S, Hedeager 42, Aarhus N,

8200, Denmark. https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V136-4.2MW%20Wind%20Plant_Final.pdf.coredownload.inline.pdf

Ympäristöministeriö. 2021a. Ilmastovaikutusten arviointi YVAssa ja SOVAssa - vaikutusten tunnistaminen käsittely. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-257-0>