

Ilmastovaikutusten arviointimenetelmät

1 Laskennan lähtötiedot

Ilmastovaikutuksia arvioitiin laskennallisesti laskemalla hankkeen elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt, eli hankkeen elinkaaren hiilijalanjälki, ja vertaamalla niitä VE0:n tilanteeseen. Laskennan hiilijalanjälki kuvaa hankkeen vaikutusta ilmastomuutokseen. Lisäksi arvioinnissa laskettiin hankkeen vaikutus hiilinieluihin ja -varastoihin sekä arvioitiin ilmastomuutoksen vaikutusta hankkeeseen ja hankkeen sopeutumista ilmastomuutokseen.

Hankkeen päästölaskennassa huomioitiin hiilidioksidin (CO₂) lisäksi muut kasvihuonekaasupäästöt, joita ovat metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O) ja ns. F-kaasut. Laskennan tulokset ilmoitettiin hiilidioksidiekvivalenteina (CO₂e), jossa kaikki laskentaan sisältyvät kaasut ovat yhteismitallistetussa muodossa. Tästä luvusta muodostuu myös hankkeen hiilijalanjälki.

Laskennan osakokonaisuudet on jaettu rakennusvaiheen, toiminnan aikaisiin ja toiminnan päättymisen jälkeisiin päästöihin. Tuulivoimapuiston päästöt määritettiin pohjautuen olemassa oleviin elinkaariarviointeihin ja infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmää soveltaen.

Käytetyt laskentamenetelmät ja lähtötiedot esitellään seuraavissa kappaleissa.

1.1 Tuulivoimapuisto

Tuulivoimapuiston ilmastovaikutukset on jaettu rakentamisen aikaisiin, toiminnan aikaisiin ja toiminnan päättymisen jälkeisiin vaikutuksiin. Tuulivoimapuiston ilmastovaikutuksiin sisältyy tuulivoimalat, niitä varten rakennettavat tiet, kunnostettavat olemassa olevat tiet ja alueen sisäiset maakaapelit.

Tuulivoimapuiston ilmastovaikutuksien arvioinnissa käytettiin seuraavia oletuksia:

- Tuulivoimaloiden teho on 10 MW/voimala
- Vuosittainen sähköntuotanto on VE1:ssä 450 GWh/a ja VE2:ssä 350 GWh/a.
- Rakennuspaikka on 1–2 ha/voimala (laskennassa käytettiin keskiarvoa 1,5 ha/voimala).
- Uuden tiestön pituus on VE1:ssä noin 10 km ja VE2:ssä noin 8 km.
- Kunnostettavan tiestön pituus on molemmissa vaihtoehtoissa noin 6 km.
- Uuden tiestön leveys on noin 12 m ja kunnostettavan tiestön levennys on noin 12 m.
- Tietöissä käytettävän murskeen määrä VE1:ssä on noin 96 000 m³ ja VE2:ssä noin 84 000 m³.
- Tuulivoimapuiston käyttöikä on 35 vuotta.

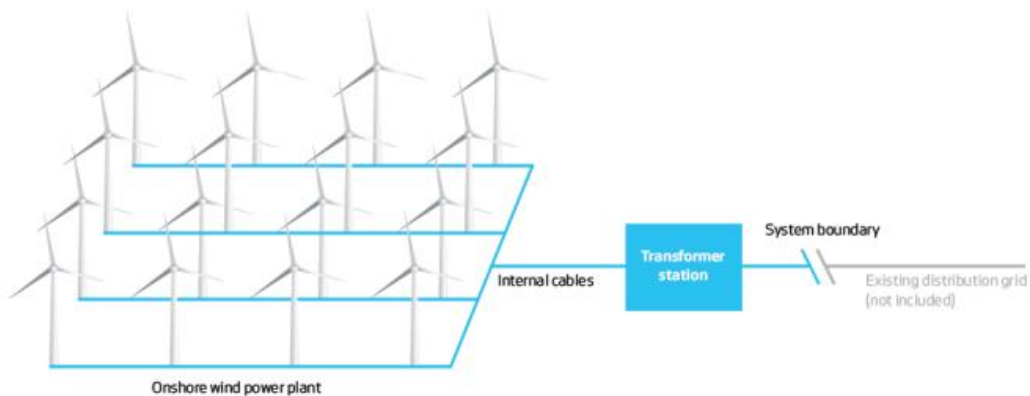
Laskennassa käytetyt lähteet on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 1-1)**Error! Reference source not found..**

Taulukko 1-1. Tuulivoiman ilmastovaikutusten arvioinnissa käytetyt lähteet.

Kohde	Tiedonlähde
Tuulivoimalan elinkaaripäästöt	Vestas Wind Systems A/S, Keskiarvo voimaloista: V162-6.2 MW, V150-6.0 MW, V150-4,2 MW, V136-4,2 MW, V136-3,45 MW, V112-3,3 MW, V120-2,0 MW, V90-2,0 MW. Saatavilla: https://www.vestas.com/en/sustainability/reports-and-ratings#lcadownload .
Maarakentamisen elinkaaripäästöt (murskeen tuotanto)	CO2data, 2023. Murske (konservatiivinen arvo). Saatavilla: https://co2data.fi/rakentaminen/
Kuljetukset	CO2data, 2023. Maansiirtoautot 32 t, 50 % kuorma, katuajo. Puoliperävaunuyhdistelmä 40 t, 50 % kuorma, maantieajo. Saatavilla: https://co2data.fi/infra/

Rakentaminen, käyttöaika ja käytöstä poisto

Tuulivoimapuistojen kolmannen osapuolen arvioituja elinkaariarvioita on tehty Vestas Wind Systems A/S tuulivoimalatoimittajan (myöhemmin Vestas) toimesta. Elinkaariarviot ovat kattavia ja niissä on otettu laajasti huomioon tuulivoimalan komponenttien päästöt, tuulivoimalan kuljettamisen päästöt, Vestaksen tiloissa ja tuulivoima-alueella tapahtuvan rakentamisen aiheuttamat päästöt, asennuksen päästöt, toiminta- ja huollon päästöt sekä tuulivoimalan käytöstä poiston päästöt. Vestaksen julkaiseman elinkaarilaskennan raja on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 1-1).



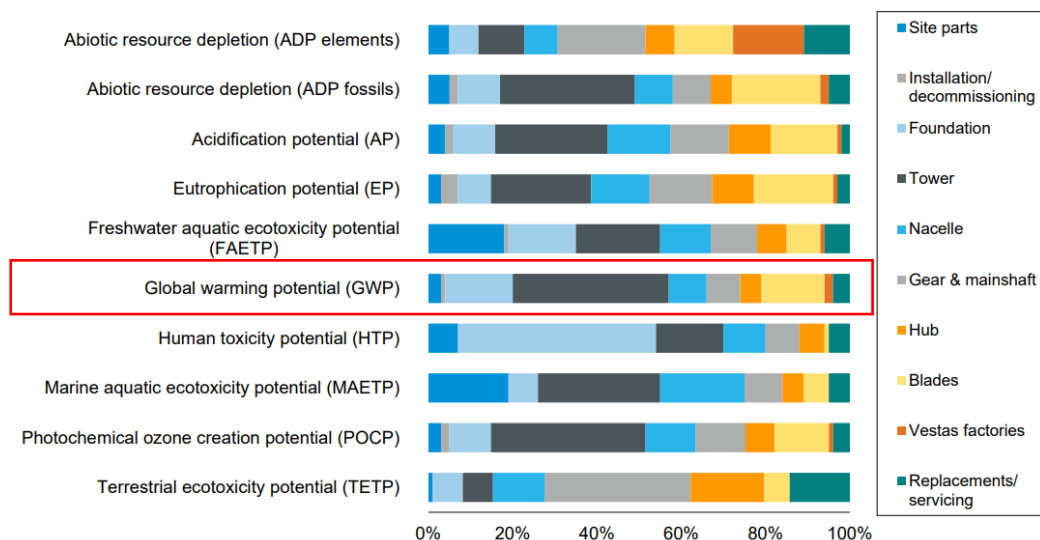
Kuva 1-1. Tuulivoimapuiston elinkaarilaskentaan sisältyvät osat (Vestas 2023b).

Kyseisissä tuulivoimalan elinkaariarvoissa tuulivoimalan elinkaareksi on määritetty 20 vuotta, vaikka arvioinnissa todetaan, että tuulivoimalan elinkaari ei ole näin lyhyt. Tuulivoimaloiden päästöt per tuotettua sähköä kohden 20 vuoden aikana pysyvät kahdeksan LCA:n otoksen tarkastelulla tehosta tai tuulivoimalan lapojen välistä huolimatta samalla tasolla, keskimäärin noin 6,9 gCO₂e/kWh, kun otetaan huomioon eri tuulivoimalan osien kierrätyksessä saavutetut hyödyt (Vestas 2023a). Vestaksen elinkaariarvioista laskettujen eri elinkaaren vaiheiden keskimääräisiä päästökertoimia käytettiin laskennan perusteena. Päästökertoimet 20 vuodelle on esitetty alla taulukossa 1-2.

Taulukko 1-2. Tuulivoimapuiston laskennan perustana käytetyt keskimääräiset päästökertoimet 20 vuoden pituiselle elinkaarelle (Vestas 2023a).

[gCO ₂ e/kWh]				
Valmistus	Rakennus	Käyttö	Käytöstä poisto	Yhteensä
10,06	0,09	0,29	-3,58	6,87

Vestas on elinkaariarvioinnissaan tuottanut eri päästölähteiden vaikutuksista seuraavan kuvan (Kuva 1-2). Kuvasta nähdään, että suurin osa päästöistä (GWP-rivi) muodostuu tuulivoimaloiden tornien ja muiden osien valmistuksessa sekä perustuksista. Paikalliset päästöt työkoneista edustavat päästöistä pientä osaa. (Vestas 2023b)



Kuva 1-2. Tuulivoimalan elinkaaren aikaisten vaikutusten jakautuminen, 162-6.2 MW (Lähde: Vestas 2023b)

Tässä laskennassa Vestaksen elinkaariarviota laajennettiin vastaamaan 35 vuoden elinkaarta, lisättiin tietöissä käytetyn murskeen tuotannon ja kuljetusten päästöt rakentamisen hiilijalanjälkeen, sillä sen lisääminen ei arvioitu aiheuttavan kaksoislaskentaa, sekä arvioitiin toiminnan päättymisen päästöt tuulivoimalan osien kuljetuksille kierrätykseen, sillä LCA:ssa tulokseen oli laskettu myös myönteiset vaikutukset eli kierrätyksestä saavutetut hyödyt.

Teiden rakennuksessa ja kunnostuksessa tarvittavan murskeen kuljetusetäisyydeksi oletettiin infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukainen 50 km/suunta. Laskennassa huomioitiin menopaluumatka.

Kierrätykseen kuljetettujen materiaalin määrä (tonnia) arvioitiin Vestaksen elinkaariarvioinnin massaluettelon perusteella (Vestas 2023b). Materiaalivirrat arvioitiin toimitettavan kierrätykseen Ruskon jätekeskukseen noin

40 kilometrin etäisyydelle. Laskennassa huomioitiin menopaluumatka. Kierrätyksestä saavutettuja hyötyjä ei huomioitu tässä laskennassa.

Näillä kriteereillä laskennassa käytettäväksi tuulivoiman päästöksi arvioitiin yhteensä 6,3 gCO₂e/kWh 35 vuoden ajalle.

1.2 Hiilinielu ja -varastot sekä niiden muutokset

Tuulivoimapuiston rakentaminen edellyttää puuston poistoa ja raivausta. Tuulivoimalan alueella puustoa hakataan voimalapaikoilta sekä uusien ja levennettävien teiden alueelta (sisältäen maakaapelivedot). Hakatuille alueille oletetaan lisättävän mursketta, jolloin metsä ei kasva takaisin tuulivoimapuiston elinkaaren aikana (35 vuotta). Näiden toimien vaikutuksia alueen hiilinieluihin ja -varastoihin on arvioitu taulukossa Taulukko 1-3.

Taulukko 1-3. Hankkeen vaikutukset hankealueen hiilinieluihin ja -varastoihin.

Vaikutus	Syntytapa
Hiilinielun menetys	Puuston hakkuu poistaa puiden kasvusta muodostuvan nielun voimaloiden rakennuspaikoilta
	Hakkuut vaikuttavat maaperän hiilinielua pienentävästi
	Maanmuokkaukset muuttavat hiilitasetta
Hiilivaraston menetys	Puustoon sitoutunut hiili menetetään hakkuiden yhteydessä Maaperästä vapautuu hiiltä hakkuualueilla, erityisesti turvemaalla

Hankkeen vaikutusta hiilinieluun ja -varastoon on arvioitu yhdistelemällä eri tietolähteitä. Hankealueen puuston lajikohtaiset tilavuudet on saatu Luonnonvarakeskuksen avoimesta MVMI-aineistosta (Luke 2021a), ja puuston hiilivarasto on laskettu hankevaihtoehtojen pinta-alojen, puuston keskitilavuuksien ja puiden laskennallisen hiilipitoisuuden avulla. Hiilipitoisuuden laskennassa on käytetty havu- ja lehtipuille tiheyksiä 0,76 t/m³ ja 0,75 t/m³ (Lehtonen ym. 2004), ja puun biomassasta on oletettu olevan hiiltä 50 % (Alakangas ym. 2016). Hiilinielu taas on arvioitu MVMI-aineiston (Luke 2021b) maakuntakohtaisen keskimääräisen puuston kasvun perusteella. Pohjois-Pohjanmaan osalta kasvunopeus on tilastojen mukaan 3,9 m³/ha per vuosi, mistä havupuiden osuus on 3,2 m³/ha per vuosi ja lehtipuiden osuus 0,7 m³/ha per vuosi.

Maaperän hiilinielujen ja -varastojen laskennassa hankealue on jaettu MVMI-paikkatietoaineiston avulla kivennäismaahan, turvemaahan ja muihin alueisiin. Turvemaan osalta on lisäksi määritetty kasvupaikkatyyppi, ja muista alueista on vielä eritelty maatalousmaa, joka on jaettu peltoalueisiin ja pysyvän nurmen alueisiin Ruokaviraston avoimen paikkatietoaineiston avulla (Ruokavirasto 2022). Hiilinielu taas on laskettu käyttämällä maaperälle tehdyn jaottelun mukaisia Tilastokeskuksen kasvihuonekaasuinventaarion kertoimia (Tilastokeskus 2021, taulukko 1 (liite 6f), taulukko 3 (liite 6j) ja taulukko 6.4-6). Puustoalueiden maaperän hiilivaraston määrän laskennassa on hyödynnetty keskimääräisiä lukuarvoja turpeen ja siinä olevan hiilen määrälle (Minkkinen & Laine 1998) ja turvekerroksen keskipaksuudelle (Korhonen ym. 2013) ojitetulla

turvemaalla sekä hiilen määrälle kivennäismaalla (Liski ym. 2006). Maatalousmaan hiilivaraston arviointiin on käytetty Tilastokeskuksen kasvihuonekaasuinventaarista (Tilastokeskus 2021, taulukko 6.4–5) löytyviä kivennäismaan pellon ja nurmen keskimääräisiä hiilipitoisuuksia. Kaikkien tulosten osalta hiilen määrä on muutettu hiilidioksidiksi moolimassasuhteen 3,67 mukaisesti (IPCC 2007).

1.3 VEO

Hankevaihtoehto VEO:ksi arvioidaan tilanne, jossa tuulivoimapuistoa ei toteuteta, eikä siten uutta uusiutuvaa sähköä tuoteta ja hankkeen tuottama 350 – 450 GWh/vuodessa (max.arvo) tulee tuottaa muilla menetelmillä.

VEO:n päästöt laskettiin Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2020 julkaisemalla sähkönkulutuksen hyödynjakomenetelmän mukaisilla ominaispäästöillä. Kyseinen ennuste on tehty vuosille 2020–2120 ja se on määritetty kotimaisessa energiatuotannossa syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen ja kulutukseen siirretyn energian perusteella. Skenaariossa sähkön päästöjen oletetaan pienenevän vuosien saatossa ja kulutetun sähkön määrän oletetaan kasvavan. SYKE:n skenaario ottaa huomioon sähköntuotannon päästöt ja tämän vuoksi sähkön ei oleteta muuttuvan täysin päästöttömäksi tällä ajanjaksolla. VEO:n ennuste kuvastaa päästöjä, jotka syntyisivät tuulivoiman elinkaaren aikana (35 vuotta), mikäli korvaava sähkö tuotettaisiin SYKE:n skenaarion mukaisella sähköntuotantojakaumalla. (Suomen ympäristökeskus 2020)

VEO:n tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että se perustuu arvioihin ja oikeaan toteutumiseen vaikuttaa mm. se kuinka paljon uusiutuvaa sähköä tuotetaan tulevaisuudessa, kuinka paljon valtakunnallinen sähkönkulutus kasvaa sekä minkälaista sähköä ulkomailta ostetaan.

2 Lähdeluettelo

Alakangas ym. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia (Properties of the fuels used in Finland). VTT Technical Research Centre of Finland Ltd., Espoo (2016).

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>.

IPCC 2007. Climate Change 2007. AR4 Synthesis Report.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf.

Korhonen ym. (2013). Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008.

<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/518978/Korhonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Lehtonen ym. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. Forest Ecology and Management 188 (2004) 211–224.

Liski ym. 2006. Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004—an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. Annals of forest science 63.7 (2006): 687–697.

<https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/2006/07/f6070.pdf>

Luke 2021a. Avoin data, Luke - aineistonlatauspalvelu.

<https://kartta.luke.fi/opendata/valinta.html>.

Luke 2021b. Puuston keskikasvu metsämaalla, Luke - Tilastotietokanta.
https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_06%20Metsavarat/1.25_Puuston_keskikasvu_metsamaalla.px/?rxid=f8ed5f38-9607-4c55-91c9-791d660b234e.

Minkkinen & Laine 1998. Effect of forest drainage on the peat bulk density of pine mires in Finland. Canadian Journal of Forest Research, 28(2), 178-186.
https://www.researchgate.net/profile/Kari-Minkkinen-2/publication/249534602_Effect_of_forest_drainage_on_the_peat_bulk_density_of_pine_mires_in_Finland/links/5e4ea16392851c7f7f48df4c/Effect-of-forest-drainage-on-the-peat-bulk-density-of-pine-mires-in-Fin.

Ruokavirasto 2022. Avoin data, Ruokavirasto - Inspire.
<https://www.ruokavirasto.fi/tietoa-meista/avointieto/inspire/>.

Suomen ympäristökeskus 2020. Specific emissions for district heat, district cooling and electricity used in building. 11.1.2020.
<https://co2data.fi/rakentaminen/reports/Energy%20service%20R01.00.pdf>

Tilastokeskus 2021. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2019. National inventory report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol.
<https://unfccc.int/documents/271571>.

Vestas 2023a. Life Cycle Assessments of electricity production from Onshore wind plants –2023. Vestas Wind Systems A/S.
<https://www.vestas.com/en/sustainability/reports-and-ratings#lcadownload>

Vestas 2023b. Life Cycle Assessment of electricity production from an Onshore V162-6,2 MW wind plant –2023. Vestas Wind Systems A/S.
<https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20EnVentus%20V162-6.2.pdf.coredownload.inline.pdf>