

Energiamurros ja maankäytön ilmastovaikutusten
arviointi Pohjois-Pohjanmaalla

EMMI-hanke TP2

Pohjois-Pohjanmaan energia- ja
ilmastovaihekaavun tuulivoimatuotannon ja
sähkönsiirron ilmastovaikutukset sekä
aurinkovoimatuotannon yleistarkastelu



Sisällysluettelo

1. Johdanto
2. Laskentaoletukset ja epävarmuudet
3. Työpaketti 1.1: **Tuulivoimahankkeiden ja sähkönsiirron ilmastovaikutusten arviointi**
Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavaluonnoksessa esitetyt alueet
4. Työpaketti 1.2: **Tuulivoimahankkeiden ja sähkönsiirron ilmastovaikutusten arviointi** Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomaisehdotuksessa esitetyt alueet
5. Työpaketti 2.1: Aurinkoenergiatuotannon ilmastovaikutuksien tarkastelu koko elinkaaren ajalta yleistasolla
6. Työpaketti 2.2: Aurinkovoimatuotanto kuntakohtaisten ohjausvälineiden kautta
7. Johtopäätökset

Lähteet

Johdanto / Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaaakuntakaava



Pohjois-Pohjanmaan tavoitteena on, että se kehittyy jatkossakin uusiutuvan ja vähäpäästöisen energian maakuntana. Maakunnassa kehitetään ja lisätään fossiilittoman energian tuotantoa, älykkäitä energiajärjestelmiä ja energiatehokkuutta. Maankäytön ratkaisut, yritykset ja uusien teknologioiden mahdollistava tutkimus-, kehitys- ja innovointitoiminta ovat merkittävässä roolissa energiatuotannon kestävässä kasvussa.

Maankäytön suunnitteluprosessi pohjautuu aina selvityksiin ja niiden kautta tehtyyn vaikutusten arviointiin. Energia- ja ilmastovaihe-maaakuntakaavan valmisteluvaiheen eli kaavaluonnoksen ratkaisu perustui teoreettiseen sijainninhjausmallin luomaan kaavaratkaisuun. Ehdotus-vaiheessa laadittiin tarkempia maakunnallisia selvityksiä, joiden kautta saatiin myös tarkempaa vaikutusten arviointia.

TUULI-hankkeessa laadittiin vuosina 2021-2023 useita tuulivoima-tuotantoa ja sijoittamista koskevia selvityksiä (viherrakenne- ja ekosysteemipalveluselvitys, linnuston päämuuttoreitin päivitysselvitys, susireviiriselvitys ja sähkönsiirtoselvitys), jotka toimivat energia- ja ilmastovaihemaaakuntakaavan taustaselvityksinä. Nämä selvitykset ja TUULI-hankkeen sijainninhjausmallin tulokset olivat energia- ja ilmastovaihemaaakuntakaavan **valmisteluvaiheen** kaavakartalla ja muissa kaava-asiakirjoissa esitettävän tuulivoimaohjauksen lähtökohtina.

Ehdotusvaiheessa laadittiin lisäksi maakotkaselvitys ja maisemaselvitys, jotka ovat tuoneet taustatietoa maakuntakaavan yhteisvaikutusten arviointiin. Syksyllä 2022 laadittiin Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun maakuntakaavojen tuulivoimaloiden alueille TUULI-hankkeen rinnalla liikennöitävyys-/erikoiskuljetusreitiselvitys. Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaaakuntakaavan ehdotusvaiheessa toteutetaan myös Natura-alueita koskeva selvitys ennen ehdotusvaiheen julkista kuulemistä.

Tuulivoimahankkeiden sähkönsiirtoreittisuunnittelu etenee hankkeiden yhteydessä laaditun erillisen ympäristövaikutusten arviointimenettelyn pohjalta ja täsmentyy sen jälkeen. Joillekin tuulivoima-alueille ei ollut lainkaan voimajohtoreittiä tiedossa. Nämä seikat kasvattavat epävarmuutta ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Vaikutusten arviointi kaavoituksessa perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä -asetukseen. Arviointi on olennainen osa kaavoitusta ja sen tarkoituksena on tuottaa kaavan valmisteluun ja siihen liittyvän vuorovaikutuksen ja päätöksenteon tarvitsemää tietoa. **Tämä selvitys on tilattu tarkentamaan vaihemaaakuntakaavan vaikutusten arviointia ilmastovaikutusten osalta.**

On huomioitava, että arviointi ei ota kantaa hankkeiden vaikutuksiin koskien luonnonmonimuotoisuutta tai muita ympäristövaikutuksia.

Selvitystyötä ohjasivat seuraavat Pohjois-Pohjanmaan liiton suunnittelun ja osaamisen vastuualueen asiantuntijat: projektipäällikkö, erityisasiantuntija **Ritva Isomäki**, aluesuunnitteluasiantuntija **Sari Pulkka**, kaavoituspäällikkö **Mari Kuukasjärvi**, maankäyttöpäällikkö **Rauno Malinen**, ympäristöpäällikkö **Erika Kylmänen**, ja erityisasiantuntija **Ari Näpänkangas**.

Selvitystyön sparrausryhmä koostui laaja-alaisesta asiantuntijajoukosta. Sparrausryhmä kokoontui hankkeen aikana kaksi kertaa. Sparrausryhmään kuuluivat metsien käytön professori **Anne Tolvanen** (LUKE), elinkeinopäällikkö **Eeva-Liisa Repo** (Metsäkeskus), erikoistutkija **Santtu Karhinen** (SYKE) sekä ilmasto- ja kiertotalousasiantuntija **Sanna Moilanen** (ELY).

Rambollin työryhmään kuuluivat projektipäällikkö **Anna-Maria Rauhala**, energia-asiantuntija **Mira Helve**, päästölaskennan asiantuntija **Tuuli Teittinen**, paikkatietoasiantuntija **Milla Mikkola** sekä aurinkovoima-asiantuntija **Soile Tanner**.

Selvitys on osa Pohjois-Pohjanmaan liiton *Energiamurros ja maankäytön ilmastovaikutusten arviointi Pohjois-Pohjanmaalla* (EMMI) -hanketta, ja se tuottaa tietoa käynnissä olevaan Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaaakuntakaavaan.

EMMI-hanke on saanut Alueiden kestävä kasvun ja elinvoiman tukeminen (AKKE) -rahoitusta.

Johdanto / Selvityksen tausta ja tavoitteet

Ilmastonmuutos ja siihen kytkeytyvät luonnon monimuotoisuus ja luonnonvarojen käyttö ovat vahvoja teemoja kansainvälisessä ja valtakunnallisessa päätöksenteossa. EU tavoittelee hiilineutraalisuutta ennen vuotta 2050 ja Suomen hiilineutraalisuustavoite on asetettu vuoteen 2035. Pohjois-Pohjanmaa on osaltaan tukemassa näitä tavoitteita. Laajassa yhteistyössä laadittu, uusimpaan tietoon ja kokonaiskestävään tarkasteluun pohjautuva **Pohjois-Pohjanmaan ilmastotiekartta 2021–2030 - Kohti hiilineutraalia Pohjois-Pohjanmaata** linjaa kärkiteemat ja liki 130 toimenpidettä. Tiekartta päivitetään tänä vuonna. Ilmastotavoitteiden toteutuminen edellyttää laajasti eri sektorien toimenpiteitä ja yhteistyötä sekä elinkeinoelämän, uusien elinkeinojen ja liiketoimintamahdollisuuksien kytkentää.

Suomen ilmastopolitiikan keskeinen pilari on **kansallinen ilmastolaki**. Uusi ilmastolaki tuli voimaan 1.7.2022. Ilmastolakiin on lisätty uudet päästövähennystavoitteet vuosille 2030 ja 2040, ja vuoden 2050 päästövähennystavoitetta on päivitetty. Laki on laajentunut koskemaan myös maankäyttösektoria ja lakiin on lisätty hiilinielujen vahvistamista koskeva tavoite.

Metsien rooli hiilinieluna ja hiilivarastoina on Pohjois-Pohjanmaalla merkittävä. Maakunnan metsävarannot ovat Suomen toiseksi suurimmat ja suurin ylläpidettävissä oleva aines- ja energiapuun hakkuukertymä on Suomen maakunnista suurin. Pohjois-Pohjanmaa on myös Suomen soisin maakunta; metsätalousmaasta noin 50 % on turvemaita. (VMI11/12).

Maankäytön ratkaisut ovat keskiössä pitkän aikavälin toimenpiteissä. Ennakoivalla ja harkitulla maankäytön suunnittelulla varmistetaan laaja-alaisesti vaikuttava vihreä siirtymä, bio- ja kiertotalouden sekä uusiutuvan energiantuotannon toimintaedellytykset ja vaikutetaan merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjen vähenemiseen kaikilla päästösektoreilla. Myös valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet (VAT) on uudistettu.

Kansainvälinen taso:

Pariisin ilmastosopimus: Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa asteessa suhteessa esiteolliseen aikaan ja pyrkiä toimiin, joilla lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 asteen.

EU 2050: EU on sitoutunut vähentämään nettokasvihuonekaasupäästöjään vähintään 55 prosentilla vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta. EU:n tavoitteena on saavuttaa EU-tason ilmastoneutraalius, eli EU:n lainsäädännössä säänneltyjen päästöjen ja poistumien tasapaino vuoteen 2050 mennessä. EU:n vuosien 2030 ja 2050 ilmastotavoitteet sisältyvät asetukseen eurooppalaisesta ilmastolaista, joka tuli voimaan vuonna 2021. Tulevaisuudessa asetusta muutetaan siten, että siihen sisällytetään myös vuodelle 2040 asetettava EU:n ilmastotavoite.



Suomi 2035:

Suomi on hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen nopeasti sen jälkeen.



Pohjois-Pohjanmaa 2035:

Pohjois-Pohjanmaan ilmastotiekartta 2021-2030: Pohjois-Pohjanmaa on osaltaan vauhdittamassa Suomen 2035 hiilineutraalisuustavoitetta.



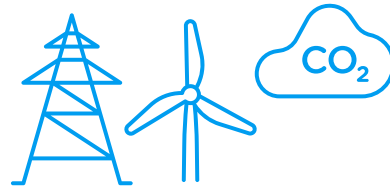
Hinku-verkosto ja muita ilmastoverkostoja:

Maakunnassa on 11 Hinku-kuntaa. Hinku on Suomen ympäristökeskuksen koordinoima Hiililineutraalien kuntien verkosto, jonka tavoite on vähentää päästöjä 80 % vuodesta 2007 vuoteen 2030 mennessä. Oulun kaupungilla on oma määrätietoinen ilmasto-ohjelmansa.

Kuva 1. Pohjois-Pohjanmaan maakuntakaavaan heijastuvat ilmastositoumukset ja -strategiat

Selvitys koostuu kahdesta työpaketista

Työpaketti I Hankkeiden ilmastovaikutusten arviointi



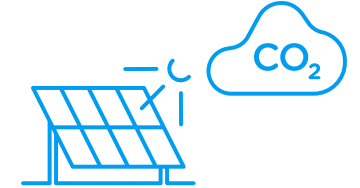
Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavassa olevien hankkeiden ilmastovaikutukset tuulivoimatuotannon ja sähkönsiirron osalta

1. vaiheessa arvioidaan Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavaluonnoksessa esitetyt alueet
2. vaiheessa arvioidaan Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomaisohdotuksessa esitetyt alueet

Selvityksessä tarkastellaan:

- Rakentamisen aikaiset ilmastovaikutukset mukaan lukien rakennusmateriaalit ja kuljetukset, tuulivoimatuotannon maa-ainesten tarpeet, tuulivoima-alueiden sähköasemat, huoltotiet ja maakaapelointi sekä ulkoinen sähkönsiirto
- Toiminnan aikaiset ilmastovaikutukset
- Toiminnan päättymisen jälkeiset ilmastovaikutukset
- Maankäytön muutokset – kasvillisuuden ja puuston hiilivarastot ja -nielut sekä vaikutukset maaperän hiilivarastoon
- Ilmastovaikutusten arvioissa otetaan huomioon sekä kielteiset että myönteiset ilmastovaikutukset

Työpaketti II Aurinkovoimatuotannon tarkastelu



Aurinkovoimatuotannon ilmastovaikutukset koko elinkaaren ajalta. Aurinkovoimaa ei ohjata maakuntakaavatasolla, joten aurinkovoimantuotannon ilmastovaikutukset on arvioidaan yleistasolla.

1. vaiheessa tarkastellaan aurinkoenergiatuotannon ilmastovaikutuksia koko elinkaaren ajalta yleistasolla
2. vaiheessa tarkastellaan aurinkovoimatuotantoa kuntakohtaisten ohjausvälineiden kautta

Selvityksessä tarkastellaan:

- Muualla kuin rakennuskannan yhteyteen rakennettavaa aurinkovoimatuotantoa
- Aurinkoenergiatuotannon ilmastovaikutuksia koko elinkaaren ajalta yleistasolla sekä arviointi tehdään muutamalle erilaiselle potentiaaliselle maankäyttömuodon alueelle
- Ilmastovaikutusten arvioissa otetaan huomioon sekä kielteiset että myönteiset ilmastovaikutukset
- Aurinkovoimatuotantoa kuntakohtaisten ohjausvälineiden kautta

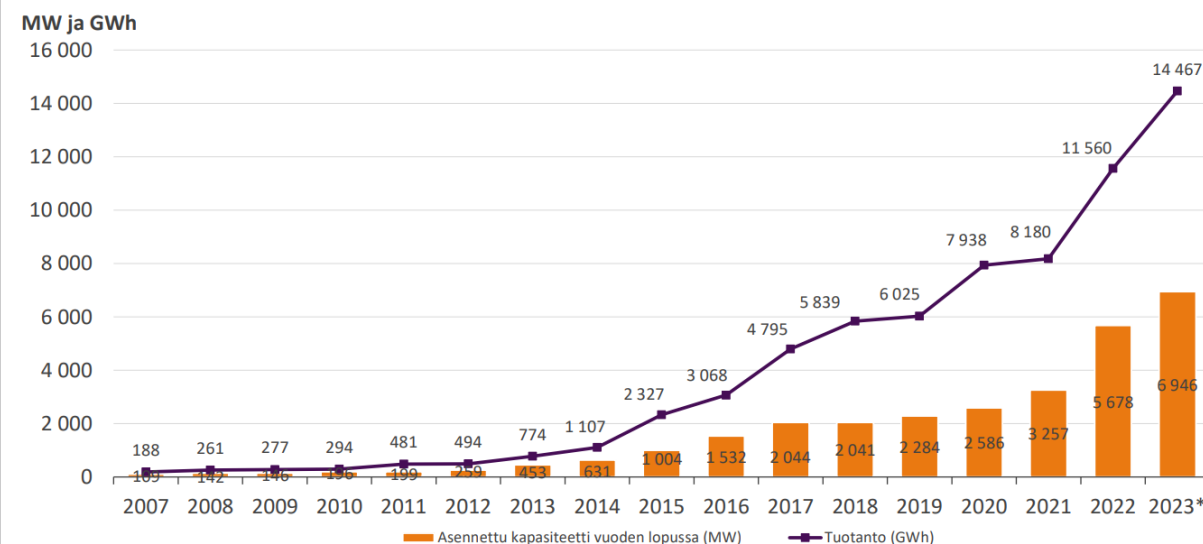
Energia-alan sähköistyminen

Pohjois-Pohjanmaa on Suomen johtava tuulivoiman tuottaja, joka pyrkii kehittämään kestäväää, tehokasta ja vähäpäästöistä energiantuotantoa. Tuulivoima itsessään on noussut nopeasti nimelliskapasiteetiltaan Pohjois-Pohjanmaan suurimmaksi sähköntuotantomuodoksi. Maakunnassa tuotetaan tällä hetkellä lähes 40 % Suomen tuulisähköstä. Pohjois-Pohjanmaa on vahvasti mukana uusiutuvan ja vähäpäästöisten energian tuotantomuotojen kehittämisessä ja energiatalouden murroksen aiheuttamien haasteiden ratkaisemisessa. Pohjois-Pohjanmaalla 11 kuntaa on sitoutunut Suomen ympäristökeskuksen koordinoimaan Hiilineutraalien kuntien verkostoon, joiden tavoitteena on vähentää 80 % päästöjä vuodesta 2007 vuoteen 2030 mennessä.

Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimaprojektit ovat tehneet Suomesta tuulivoiman voimakkaan kasvualustan vähentäen hiilipäästöjä. Suomen pyrkiessä kohti hiilineutraaliutta Pohjois-Pohjanmaa ja energiantuotannon sähköistyminen ovat avainasemassa tässä tavoitteessa.

Suomen energiasektorin kehittymistä ohjaavat ilmastopolitiikassa Suomen energia- ja ilmastostrategian tavoitteet, joihin on sitouduttu kansainvälisillä sopimuksillakin. Suomen uusiutuvan energiatuotannon kapasiteettia kasvatetaan ja vastataan siten omalta osaltaan Suomen ilmastotavoitteisiin. Kansallisen energia- ja ilmastostrategian pitkän aikavälin tavoitteiden mukaan toimittaessa kasvihuonepäästöt vähenevät 80–95 prosentilla vuoteen 2050 mennessä.

Petteri Orpon hallitusohjelman (2023-) tavoitteena on lisätä merkittävästi sähköntuotantokapasiteettia, erityisesti uusiutuvien energialähteiden avulla. Tämä on keskeinen osa teollisuuden kasvua ja fossiilisten polttoaineiden korvaamista sähköpohjaisilla ratkaisuilla. Suomen energiaomavaraisuutta vahvistetaan kestäväällä tavalla edistämällä puhtaan energian siirtymää. Sähköntuotannon monipuolisuutta ja alueellista kattavuutta korostetaan osana kokonaisturvallisuutta.



Kuva 2. Tuulivoiman tuotanto Suomessa on kasvanut merkittävästi viimeisten vuosien aikana (Energiateollisuus ry, 2024).

Energia-alan sähköistyminen

Suomessa energiasektorin murroksesta kertovat teollisuuden sähkönkulutuksen kasvaminen sekä kaukolämmön tuotannossa uusiutuvien ja hukkalämpöjen osuuden kasvaminen. Teollisuuden arvioidaan kuluttavan sähköä vuonna 2030 noin 30 prosenttia enemmän kuin vuonna 2006, jolloin sen sähkönkulutus oli 48 TWh. Sähkön kysynnän kasvaessa kasvaa myös sähkön kulutuksen huipputeho, jonka on arvioitu kasvavan 19 000 MW:iin vuoteen 2030 mennessä.

Kaukolämmön tuotannossa uusiutuvien ja hukkalämpöjen osuus oli vuonna 2022 noin 60 prosenttia. Energiateollisuus on sitoutunut ympäristöystävällisempiin vaihtoehtoihin ja energiakulutuksen tehostamiseen. Kaiken kaikkiaan energiakriisi on antanut sysäyksen kestävämmän energiantuotannon kehittämislle ja energiamarkkinoiden muutoksille.

Kansallisten ja kansainvälisten arvioiden mukaan energiajärjestelmien sähköistyminen voi vähentää merkittävästi hiilidioksidipäästöjä. Sähköistymistä voidaan hyödyntää muun muassa liikenteessä, teollisuuden prosesseissa, rakennusten lämmittämisessä sekä digitalisoinnissa. Sähköntuotannon kehittyminen vähäpäästöiseksi ja eri sektoreilla tapahtuva sähköistyminen voivat avata uusia mahdollisuuksia suurille päästöleikkauksille. Sähköistyminen ja sähkön hinnanmuodostuksen periaatteet tulevat muuttumaan ja muuttamaan sähkön roolia kulutushyödykkeenä ja tuotannontekijänä.

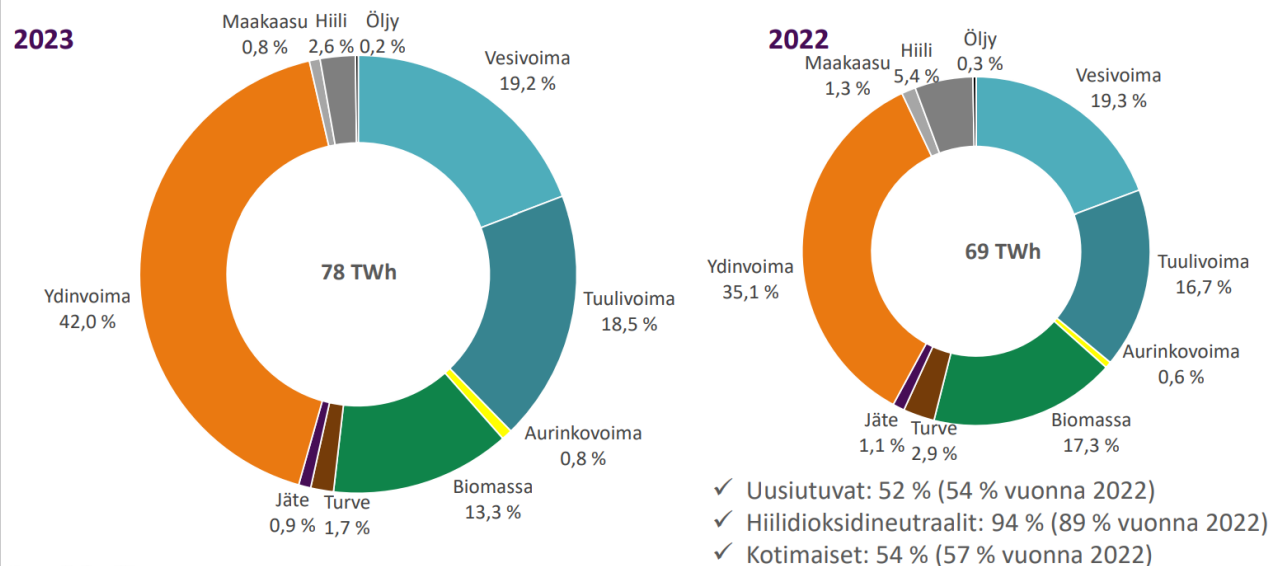
Sähköistämällä on keskeinen rooli Suomen kasvihuonekaasupäästövähenemistavoitteiden saavuttamisessa. Sähkön tuotannon arvioidaan muuttuvan päästöttömäksi* Pohjoismaissa ja Suomessa 2030-luvun alkuun mennessä eli nopeammin kuin muilla sektoreilla. Päästötöntä sähköä käyttämällä muut toimialat voivat hyötyä sähköntuotannon nopeasti alenevista päästöistä. Sähkö auttaa saavuttamaan kasvihuonekaasupäästövähenemiset, mutta sitä tarvitaan paljon lisää.

*Päästötön sähkö tarkoittaa sähköä, jonka tuotantovaiheessa ei synny kasvihuonekaasupäästöjä. Päästöttömiä sähköntuotantomuotoja ovat mm. vesi-, tuuli- ja aurinkovoima sekä ydinvoima. Kuitenkin myös näistä energiamuodoista aiheutuu elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä esimerkiksi rakentamisvaiheessa.

Sähkön tarve Suomessa kasvaa sähköistymiskehityksen myötä jopa yli kaksinkertaiseksi vuoteen 2050 mennessä. Sähköistymisen avulla kasvihuonekaasupäästöjä voitaisiin leikata 95 prosenttia vuoteen 2050 mennessä.

Euroopan Unioni asettaa kunnianhimoisia tavoitteita kestävänsä energian tuotannon ja käytön suhteen. Pohjois-Pohjanmaan innovaatiot ja panostukset uusiutuvaan energiaan ovat esimerkki alueellisen osaamisen edistämisestä EU:n ilmastomuutoksen torjunnassa ja kestävänsä tulevaisuuden rakentamisessa.

Voimakkaasti vaihteleva tuotanto ja tuotantokapasiteetti haastavat sähköjärjestelmää sekä sähkömarkkinoita. Lisäksi EU:n Venäjälle asettamat pakotteet Ukrainan hyökkäyssodan takia on haastanut energiajärjestelmää.



Kuva 3. Hiilidioksidipäästöttömän sähkön osuus Suomen sähköntuotannosta on jo 94 % (Energiateollisuus ry, 2024).

Sähkön tuotannon päästöjen vähentyminen

Suomen sähköntuotanto on kokonaisuudessaan laskusuhdanteinen. Sähköntuotanto vähentynyt vuoden 2022 82 TWh:sta vuoden 2023 80 TWh:iin. Samaan aikaan sähkönkäyttö on vähentynyt vuoden aikana 1,9 TWh, joka on jopa 2 %:n vähennys. Hiilidioksidivapaa sähköntuotanto on kasvanut 89 prosentista (2022) 94 prosenttiin. Suomen sähköntuotannon päästökertoimina (taulukko 1) on hyödynnetty tuotantomuotoja keskiarvopäästöjä, jotka Tilastokeskus ja Energiateollisuus ry ovat määritelleet yhteistyössä.

Vesi-, ydin-, tuuli- ja aurinkovoima määritellään laskennassa päästöttömäksi. Sähköntuotannon päästökertoimet on määritelty maakohtaisesti ja IEA on määritellyt maakohtaiset päästökertoimet Ruotsille, Norjalle, Venäjälle ja Virolle. Sähkön tuonnissa otetaan huomioon vain tuontimaan sähköntuotannon päästökertoimen. IEA:n määritelmässä sähkön tuonti lisää Suomessa kulutettuun sähkseen liittyviä päästöjä ja sähkön vienti puolestaan vähentää Suomessa kulutettuun sähkseen liittyviä päästöjä.

Taulukossa 1 'Suomen sähköjärjestelmän päästökertoimet vuositasolla' on esitetty sähköntuotannon ja -kulutuksen CO₂-päästöarviot vuodesta 2018 vuoteen 2023. Suomen sähköjärjestelmän reaaliaikainen CO₂-päästöarvion laskenta perustuu Fingridin käytönvalvontajärjestelmän reaaliaikaisiin tuotanto- ja tuonti-/vientitietoihin sekä määritettyihin päästökertoimiin. Kotimaisen sähköntuotannon päästökertoimet on määritelty jokaiselle tuotantomuodolle sekä sähköntuonnille omat CO₂-päästökertoimet, joiden avulla arvioidaan niin Suomen sähköntuotannon kuin Suomessa kulutetun sähkön tuottamisesta aiheutuneet CO₂-päästöt. Laskenta ei ota huomioon tuotantolaitosten ja infrastruktuurin elinkaareen liittyviä kasvihuonekaasuja eikä muita ympäristövaikutuksia. Lisäksi EU:n päästökauppaa tai alkuperätakuuta ei ole huomioitu laskennassa.

Suomen sähköntuotannon päästöt saadaan laskemalla yhteen jokaisen tuotantomuodon päästökertoimen ja tuotantomäärän tulo, ja jakamalla tämä summa Suomen kokonaissähköntuotannolla. Suomessa kulutetun sähkön päästöt lasketaan huomioimalla niin Suomen sähköntuotanto, sähkön tuonti Suomeen kuin myös sähkön vienti Suomesta muihin maihin.

Taulukko 1. Suomen sähköjärjestelmän päästökertoimet vuositasolla (keskiarvo) (Fingrid, 2023)

Vuosi	Suomen sähköntuotannon päästökertoimen (gCO ₂ /kWh)		Suomessa kulutetun sähkön päästökertoimen (gCO ₂ /kWh)	
	Volyymipainotettu***	Aritmeettinen	Volyymipainotettu***	Aritmeettinen
2018	104	101	120	119
2019	91	87	104	101
2020	76	74	73	72
2021	75	71	94	91
2022	57	55	63	60
2023	40	38	38	36

***Fingrid on siirtynyt käyttämään volyymipainotettua vuosikeskiarvoa vuosiraportoinnissaan 2023 alkaen aiemmin raportoidun aritmeettisen vuosikeskiarvon sijaan. Volyymipainotetut vuosikeskiarvot on laskettu ja lisätty taulukkoon takautuvasti aiemmille vuosille. Vuosikeskiarvojen laskennassa on painotettu Suomen hetkellisiä kokonaiskulutuksen tai -tuotannon arvoja vastaavien päästökertoimen hetkellisiin arvoihin.

Volyymipainotettu vuosikeskiarvo on tietyn ajan keskiarvo, jossa jokainen arvo on painotettu sen esiintymistiheyden perusteella. Volyymipainotettu vuosikeskiarvo korostaa arvoja, joita esiintyy eniten, ja soveltuu tilanteisiin, joissa arvojen välillä on suuria vaihteluita. Aritmeettinen vuosikeskiarvo on yksinkertainen keskiarvo, joka lasketaan jakamalla tietyn ajanjakson arvojen summa niiden lukumäärällä. Kaikki arvot ovat samanarvoisia eikä niitä painoteta esiintymistiheyden perusteella.

Sähkön tuotannon päästöjen vähentyminen

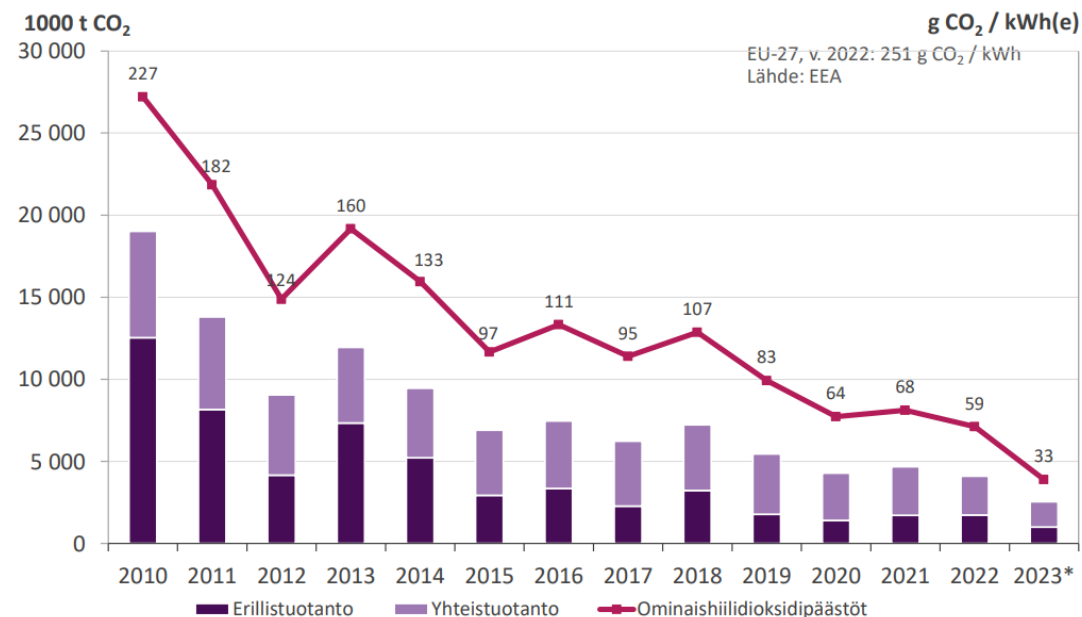
Päästökertoimet ovat laskevia, sillä kertoimissa otetaan huomioon sähköntuotannon uusiutuvan energian investoinnit, samalla kun kasvatetaan hiilinieluja ja vähennetään kasvihuonekaasujen nettopäästöjä. Arviot päästökertoimen laskuun ovat uusiutuvan energiantuotannon kasvussa sekä sähkön omavaraisuusasteen kasvamisessa.

Päästökauppasektorilla päästöt vähenevät nykytoimi- ja politiikkatoimiskenaarioissa erityisesti sähkön ja lämmön tuotannossa, joissa tehokkaana taloudellisena ohjaustekijänä on päästökauppa ja siinä määräytyvä päästöoikeuksien hinta.

EEA (European Environment Agency) arvioi, että uusiutuvan sähkön osuus kaikesta sähköntuotannosta tulisi kasvaa 70 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä, jotta kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää netto 55 prosenttia vuoteen 2050 mennessä ja ilmastoneutraalius saavutetaan vuoteen 2050 mennessä.

Suomen kansallisen ilmastolain tavoitteena on, että päästöt vähenevät ja poistumat kasvavat edelleen vuoden 2035 jälkeen, jolloin nettopäästöjen tulisi olla negatiiviset. Ilman uusiutuvan energiantuotannon investointeja ja energian käytön tehostamista päästökerroin ei laske odotetulle tasolle.

Kuvassa 4 'Suomen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitys' on poimittu Energiateollisuus ry:n julkaisemasta Sähkövuosi 2023 -raportista hiilidioksidipäästöt vuodesta 2010 vuoteen 2023. On huomioitava, että taulukon vuoden 2023 on arvio. Sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästöt ovat laskeneet vuodesta 2022 (4,1 MT CO₂/kWh(e)) vuoteen 2023 (2,5 MT CO₂/kWh(e)) jopa 38 %. Viimeisen 5 vuoden aikana päästöt ovat laskeneet 65 %, ja vuodesta 2010 päästöt ovat laskeneet jopa 87 %.



Kuva 4. Suomen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitys (Energiateollisuus ry, 2024).

Kuvassa 4 on esitetty ominaishiilidioksidipäästöjen muodostuminen erillistuotannosta sekä yhteistuotannosta. Sähkön erillistuotannolla tarkoitetaan sähkön tuotantoa pelkästään sähköntuotantoon suunnitelluissa voimalaitoksissa. Yhteistuotanto tarkoittaa sähkön ja lämmön tuotantoa yhdessä. Yleensä se tarkoittaa, että se osa energiantuotannosta mitä ei saada hyödynnettyä sähköntuotantoon, pystytään hyödyntämään lämpönä.

Tuulivoima

- Tekniset tiedot ja selitteet

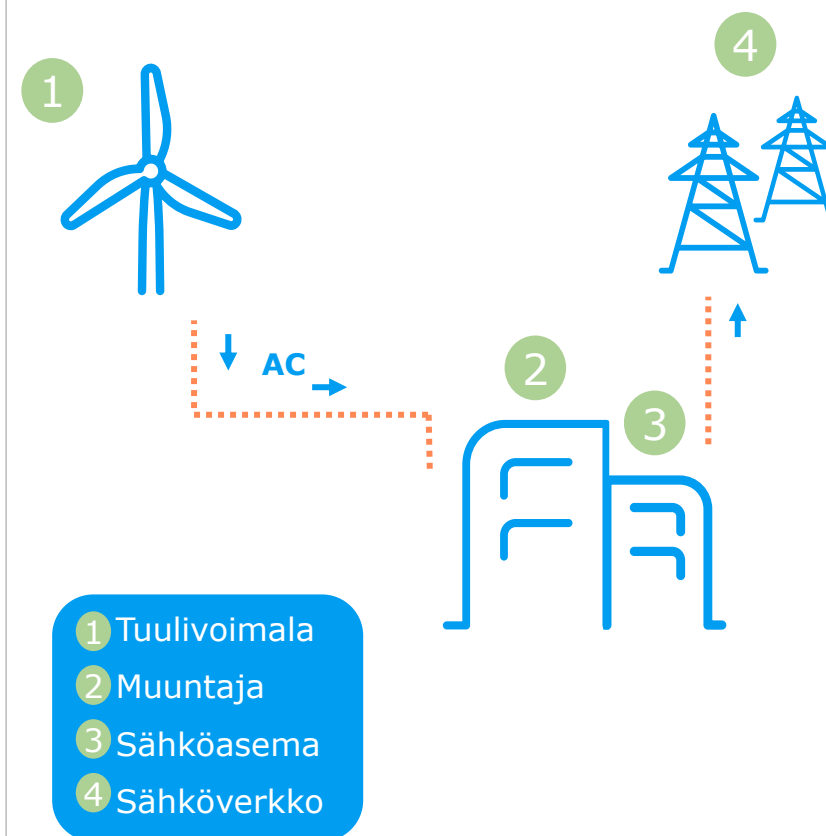
Tuulivoimalan keskeisimmät osat ovat:

Tuulivoimala: Koostuu tornista, perustuksista, lavoista koostuvasta roottorista ja generaattorista. Tuuli pyörittää lapojen avulla roottoria ja generaattori muuntaa roottorin mekaanisen liike-energian sähköenergiaksi.

Tuulivoimaloiden korkeudet ovat kasvaneet tekniikan kehittyessä ja nykyaikaiset voimalat ovat jo **250 m korkeita**. Tuulivoimalan tuottama sähkö on vaihtovirtaa (AC), tarvittaessa sähkö voidaan tasasuunnata esimerkiksi ladattaessa sähköakkuja.

Muuntaja: Tuulivoimalan generaattorista tulevan sähkönn jännite nostetaan muuntajalla sopivaksi suurjännitteiseen jakeluverkkoon.

Sähköverkon liitäntä: Tuulivoimala on kytketty sähköverkkoon, jotta tuotettu sähkö voidaan syöttää sähkönjakeluverkkoon ja hyödyntää kulutuksessa. Kytchentä toteutetaan usein sähköaseman kautta. **Sähköasema** vastaa tuulivoimalan tuottaman sähkönn muuntamisesta, jakelusta ja hallinnasta. Teollisen kokoluokan tuulivoimala kytketään yleensä valtakunnalliseen tai alueelliseen sähköverkkoon.



Kuva 5. Tuulivoimalan osat

Sähkönsiirto

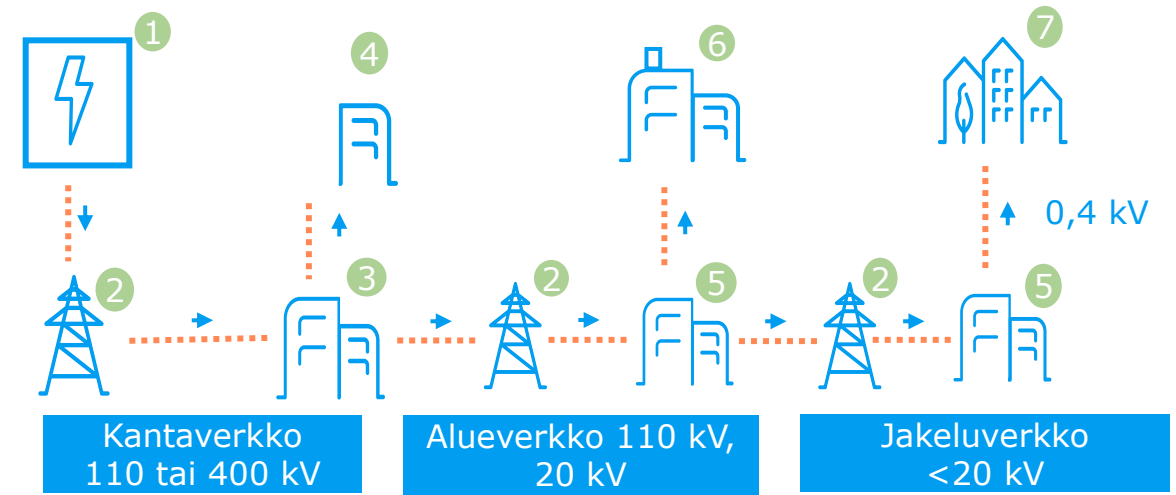
- Tekniset tiedot ja selitteet

Sähkönsiirron tekninen rakenne

Suomen sähköverkko koostuu **kanta-, alue- ja jakeluverkosta**. Kantaverkko muodostaa sähkönsiirron runkoverkon, ja siihen on liitetty suurimmat voimalaitokset ja tehtaat. Kantaverkkoa (110 tai 400 kV) hallinnoi Fingrid Oyj, alueverkkoja (20 - 110 kV) alueelliset sähkönsiirtoyhtiöt ja jakeluverkkoa (0,4 - 20 kV) paikalliset sähköjakeluyhtiöt.

Sähköverkko koostuu sähköjohdoista, kaapeleista, sähköasemista, muuntamoista ja sähköpääkeskuksista. **Sähkönsiirtorakenteiden** tehtävänä on tukea sähköä siirtäviä johtimia ja kestää kaikki niihin kohdistuvat mekaaniset kuormitukset.

Sähkö siirretään suurilla jännitteillä ja jaetaan paikallisesti pienemmillä jännitteillä ja virroilla **muuntajia** hyödyntäen.



- 1 Sähköntuotanto
- 2 Siirtojohdot
- 3 Sähköasema
- 4 Raskas teollisuus
- 5 Muuntaja
- 6 Pienteollisuus
- 7 Pienkulutus

Kuva 6. Sähkönsiirron tekninen rakenne

Merituulivoima

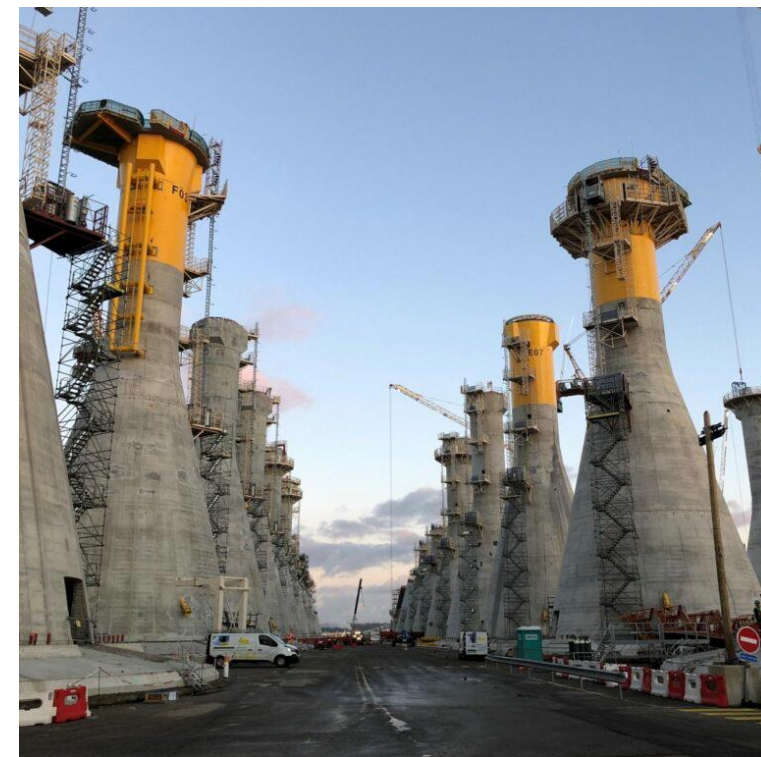
Merituulivoimalat ovat ulkonäöltään maatuulivoimaloita vastaavia, mutta suurempia. Merituulivoimapuisto koostuu useammasta merituuliturbiinin yksiköstä, sekä yleensä niihin liitetystä sähköasemasta. Merituulivoimalan tornin suhde roottoriin on suurempi kuin maatuulivoimaloissa. Lisäksi niiden perustukset ja osa tornista ovat merenpinnan alla.

Tuuliturbiineilla tuotettu sähkö ohjataan mantereelle joko sähköaseman kautta, jossa se muunnetaan haluttuun jännitteeseen, tai tuuliturbiineilta vedetään merikaapelit suoraan mantereeseen liitännäspisteeseen. Suunnitteilla olevissa merituulivoimahankkeissa on pidetty myös vedyn tuotantoa suoraan tuulivoimalan tornin alaosassa, jolloin elektrolyysit ja muut komponentit asennetaan merikontteihin torniin kiinnitettävälle tasolle. Voimalan perustuksen koko ei ole merkittävästi suurempi, kuin tuulivoimalan perustuksen ilman vedyntuotantoa. Tässä vaihtoehdossa vety johdetaan putkistojen avulla keskitettyyn paikkaan tuulivoimapuistossa, josta päävientiputki johtaa vedyn mantereelle.

Merituulivoimaloiden perustukset räätälöidään kulloisenkin asennusalueen mukaisesti, jolloin valittava perustustapa voi vaihdella yksittäisen tuulipuiston sisälläkin. Lopulliset perustukset voivat olla myös yhdistelmiä eri perustustyypeistä. Perustustyyppinä on karkeasti neljä: Monopile, Jacket, Gravity-based ja kelluvat.

Pohjois-Pohjanmaalla Pohjanlahden merenpohja on alavaa ja matala jatkuu kauas merelle. Oulun edustan ulkosaaret ovat moreenisia, kuten myös osa pohjaakin. Perämerellä on muista merialueista poiketen paljon hiekan peittämiä alueita, jotka ovat osin jääkauden aikaisien jääjokien kasaamia. Pohjanlahden perustusolosuhteissa suositaan yleensä Gravity-based perustuskonseptia. Gravity-base (teräsvahvistettua betonia yleensä) nähdään todennäköisenä vaihtoehtona monessa hankkeessa.

Perustustyypeistä monopile on maailmalla yleisin (yli 90% uusista hankkeista) ja halvin. Jacket perustustyyppiä käytetään yleensä joko hankkeissa, joissa on haastava merenpohjakoostumus, tai hankkeet jotka ovat syvissä vesissä (Monopile ei ole enää helppo yli ~45 metrin syvyydessä). Pohjanlahdelle on suunnitteilla myös kelluvia hankkeita, mutta niihin liittyy paljon epävarmuutta.



Kuva 7. Tuulivoimalan gravitaatioperustus (Kuva: wpd)

Laskentaoletukset ja epävarmuudet

Tuulivoimantuotannon elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset

Tuulivoimantuotannon elinkaari muodostuu rakennusvaiheesta, käyttövaiheesta ja käytöstä poistosta. Rakennusvaihe kestää noin 1,5-3 vuotta projektin koosta ja vaativuudesta riippuen. Nykyisin toiminnassa olevien tuulivoimaloiden käyttöikä on 20-25 vuotta, mutta suunnitteilla olevat puistot tavoittelevat 35 vuoden käyttöikää. Tuulipuiston käytöstä poistaminen ja alueen ennallistaminen vie arviolta 1-2 vuotta. Alla on kuvattu tarkemmin tuulivoimantuotannon eri elinkaaren vaiheissa tehtäviä toimenpiteitä.

Rakennusvaihe (A1-5)



- Voimalan osien, perustusten materiaalien ym. materiaalien valmistus
- Puuston ja muun kasvillisuuden poisto
- Tiestön rakentaminen
- Tarvittavien sähkölinjojen, muuntamoiden ja sähköasemien rakentaminen
- Tuulivoimaloiden perustusten rakentaminen
- Voimalan osien ja muiden materiaalien kuljetus alueelle
- Tuulivoimalan pystytys

Käyttö (B)



- Voimaloiden huolto
- Kuluneiden ja rikkoontuneiden osien kunnostus tai vaihto
- Öljyn ja suodattimien vaihto
- Huoltoon ja kunnossapitoon liittyvät kuljetukset
- Uusiutuvan energian tuotanto

Käytöstä poisto (C)



- Voimaloiden purkaminen
- Voimalaosien kuljetus pois alueelta
- Materiaalien kierrätys ja jätteiden käsittely
- Tiestö ja sähkölinjat jätetään tyypillisesti alueelle, mutta tarvittaessa poistetaan
- Alueen entisöinti tai jälkikäyttö

Laskentaperiaatteet: tuulivoimatuotannon ja sähkönsiirron ilmastovaikutukset

Tuulivoima-alueiden ja sähkönsiirron ilmastovaikutukset arvioitiin koko elinkaaren ajalta huomioiden myönteiset ja kielteiset ilmastovaikutukset.

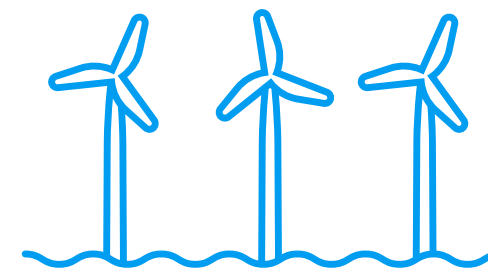
Ilmastovaikutusten arvioinnissa huomioitiin rakentamisen ja käytön aikaiset kasvihuonekaasupäästöt, maankäytön muutoksista aiheutuva kasvillisuuden hiilivarastojen menetys sekä metsien hiilinielujen menetys.

Lisäksi erikseen arvoitiin puhtaan uusiutuvan energian tuotannolla aikaansaataavaa päästövähennemää, eli tuulivoimantuotannon positiivisia ilmastovaikutuksia.

Arvioinnissa laskettiin maksimipotentiali, kuinka paljon tuulivoimaa vaihemaakuntakaavassa merkityille alueille (tv-1-, tv-2- ja tv-3 alueet luonnosvaiheessa, ja tv-1 ja tv-2 alueet viranomais ehdotusvaiheessa) voidaan enimmillään rakentaa.

Tuulivoimaloiden elinkaaren pituudeksi oletettiin **35 vuotta**.

Päästölaskennassa oletettiin tulevaisuudessa rakennettavien maatuulivoimaloiden vuosituotannoksi **25 GWh/a** ja merituulivoimaloiden vuosituotannoksi **80 GWh/a**. Oletukset perustuivat Rambollin tuulivoima-asiantuntijan näkemyksiin.



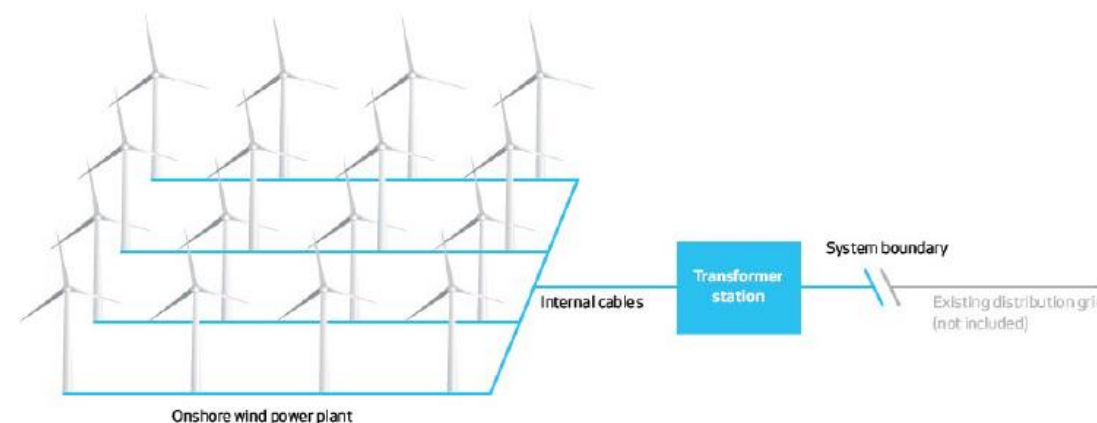
Laskentaperiaatteet: tuulivoiman rakentamisen ja toiminnan aikaiset CO₂e-päästöt

Tuulivoimalan elinkaaren aikaisten ilmastovaikutusten arvioimisessa hyödynnettiin tanskalaisen tuulivoimala-toimittaja Vestas Wind Systemsin elinkaariarviointia EnVentus V162 -tuulivoimalalle. Vestaksen elinkaariarvio on kattava ja siinä on otettu laajasti huomioon tuulivoimalan komponenttien (mukaan lukien itse turbiini, perustukset, turbiinit yhdistävä kaapelointi sekä muut osat, kuten muuntaja-aseman ja huoltotiet) valmistamisen, kuljetusten, asennuksen sekä toiminnan aikaiset ja toiminnan päättymisen jälkeiset päästöt.

Osien valmistus aiheuttaa suurimman osan tuulivoimalan päästöistä. Valmistuspäästöt jakautuvat seuraavasti: torni (34 %), perustukset (16 %), lavat (13 %), akseli ja vaihteisto (11 %), kotelo (9 %) ja kaapelit (2 %) ja muut (15 %).

Vestaksen elinkaariarviossa tuulivoimalan elinkaareksi on määritetty 20 vuotta ja laskelma perustuu 20 vuoden aikana tuotetun sähkön määrään, vaikka arvioinnissa todetaan, että turbiinit voivat hyvin saavuttaa pidemmän elinkaaren.

Tässä laskennassa Vestaksen elinkaariarviota laajennettiin vastaamaan 35 vuoden elinkaarta suhteuttamalla sähköntuotanto ja toiminnan aikaiset päästöt pidemmälle elinkaarelle. Näin tuulivoiman koko elinkaaren päästöiksi saatiin **5,5 gCO₂e/kWh** ilman materiaalien kierrätyksestä saatujen hyötyjen huomioimista elinkaaren lopussa. Valmistus- ja asennus muodostavat tästä 95 % ja toiminta-aika 5 %.



Kuva 8. Vestaksen elinkaarilaskentaan sisältyvät osat (Vestas 2023)

Taulukko 2. Tuulivoimalan päästöt (Vestas 2023) suhteutettuna 35 vuoden elinkaarelle

gCO ₂ e/kWh (kgCO ₂ e/MWh)		
Valmistus ja asennus	Toiminta	Yhteensä
5,2	0,3	5,5

Laskentaperiaatteet: sähkönsiirron rakentamisen CO₂e-päästöt

Tietoa voimajohtojen rakentamisen päästöistä on huonosti saatavilla julkisesti, joten voimajohtojen päästökertoimia tiedusteltiin suoraan Fingridiltä.

Fingrid käyttää omissa YVA-selostuksissaan Hikiä-Orimattila -voimajohtohankkeen perusteella laskettua päästökerrointa, joka on **500 tCO₂e/johto-km**. Päästökerroin sisältää voimajohtojen rakentamisessa käytettävät materiaalit, ml. johtimet, pylvää ja perustukset.

Päästökerroin on laskettu 400 kV + 110 kV voimajohdolle, mutta Fingridin arvion mukaan se soveltuu karkeassa tarkastelussa käytettäväksi myös pienemmille voimajohdoille.

Kantaverkon voimajohtojen tekninen käyttöikä on 65-80 vuotta. Johtoaukea pidetään avoimena raivaamalla noin 5-8 vuoden välein. Voimajohtorakenteita kunnossapidetään korjaamalla tarkastuksissa havaitut viat ja puutteet. Isoja korjaustöitä tehdään verraten harvoin, jos lainkaan, johdon kymmeniä vuosia kestävä elinkaaren aikana. (Fingrid, 2023)

Kaapelien päästökertoimena käytettiin keskijännitekaapelin päästökerrointa (51 tCO₂e/km; EPD, Prysmian Norge) ja kaapelien suojaputken päästökertoimen (1,9 tCO₂e/km) lähteenä rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokantaa.



Kuva 9. Sähkönsiirtolinja (Kuva: Sari Pulikka)

Laskentaperiaatteet: maankäytön muutosten ilmastovaikutukset

Laskennassa huomioitiin tuulivoiman ja sähkönsiirron rakentamisen aiheuttamien maankäytön muutosten ilmastovaikutukset, eli poistuvat hiilivarastot ja -nielut.

Maankäytön ilmastovaikutusten arvioinnissa huomioitiin vain maatuulivoima-alueet ja sähkönsiirto maa-alueilla, merialueet jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Maankäytön muutosten ilmastovaikutusten arvioimiseksi määritettiin tyypillisen tuulipuiston ja sähkönsiirron rakentamisen tilantarpeet eli alueet, joilta kasvillisuus poistetaan. Oletukset tuulivoiman tilantarpeista perustuvat Rambollin tuulivoima-asiantuntijan näkemyksiin ja oletukset ilmajohtojen johtoaukean leveydestä Fingridin tietoihin. Tilanteissa, joissa uusi johto rakennetaan olemassa olevan viereen, johtoaukean oletettiin olevan 10 m kapeampi kuin täysin uuteen käytävään rakennettaessa. Johtoaukean molemmin puolin on myös 10 metrin levyinen reunavyöhyke, jonka alueella puiden kasvukorkeus on rajoitettu. Reunavyöhykkeeltä poistettavaa latvottavaa puustoa ei huomioitu hiilivarastolaskelmissa.

Tiedot alueiden nykyisistä maanpeitteistä kerättiin Suomen ympäristökeskuksen Corine Land Cover -aineistosta (2018). Kaadettavien metsien puuston hiilivarastojen ja -nielujen suuruus arvioitiin perustuen LUKE:n tilastoihin puuston keskitilavuudesta (102 m³/ha) ja vuotuisesta kasvusta (3,5 m³/ha/a) Pohjois-Pohjanmaalla sekä oletukseen, että 1 m³ puuta varastoi n. 750 kg hiilidioksidia (Puuinfo, 2020).

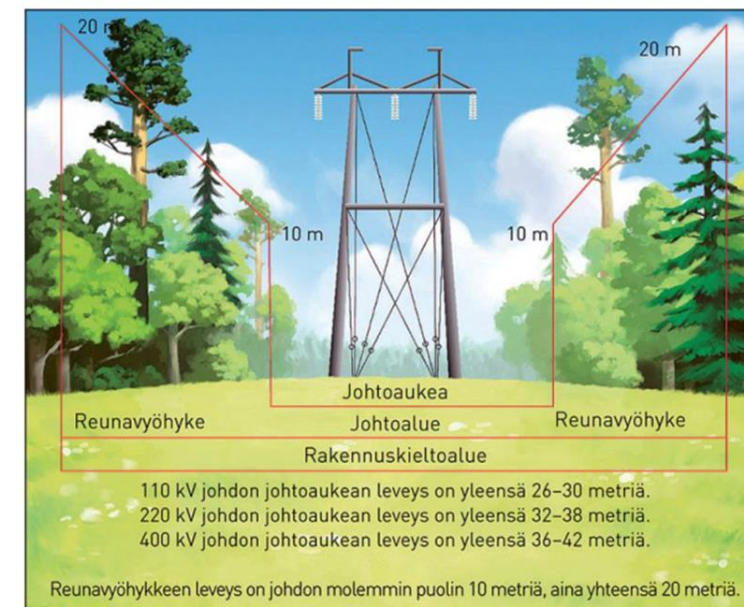
Muilta maankäyttömuodoilta poistuvan kasvillisuuden hiilivaraston suuruus arvioitiin hyödyntämällä Alueellisen hiilitaseen laskentatyökalun (Simosol Oy & Ramboll, 2014) kertoimia eri maankäyttöluokkien hiilivarastojen suuruudesta. Laskuri kuvaa paremmin Etelä-Suomen olosuhteita, joten sen arvoihin hiilivarastojen suuruudesta liittyy epävarmuutta.

Maaperän hiilivaraston muutokseen liittyy paljon epävarmuuksia siitä, mitä maaperän hiilivarastolle tapahtuu rakentamisen myötä. Tästä syystä maaperän hiilivarastojen muutosta ei arvioitu vaan maaperän osalta tarkasteltiin vain metsämaan maaperän hiilinielun menetystä. Metsämaan maaperän vuotuisen hiilinielun suuruudeksi oletettiin keskimäärin 36 gCO₂/m² (Lindroos ym. 2022).

Taulukko 3. Tuulivoiman ja sähkönsiirron rakentamisen tilantarpeet eli alue, jolta kasvillisuus poistuu

Tuulivoima	Ala	Yksikkö
Voimala + nostoalue	1,2	ha/voimala
Huoltotiet*	3,8	ha/voimala
Sähköasemat (1 per 20 voimalaa)	0,3	ha/kpl
Sähkönsiirto	Leveys	Yksikkö
Ilmajohto 110 kV	30	m
Ilmajohto 400 kV	42	m
Maakaapeli	4	m

*Huoltotietä n. 500 m/voimala. Huoltotien leveys 5 m, kasvillisuus poistetaan 15 m leveydeltä.



Kuva 10. Johtoaukean leveydet (Fingrid)

Laskentaperiaatteet: laskennan epävarmuudet ja oletukset

Arvioinnin epävarmuustekijät muodostuvat laskennassa tehdyistä oletuksista sekä laskennassa käytettyihin päästökertoimiin liittyvästä epätarkkuudesta.

Päästölaskennan tulokset perustuvat tehtyihin oletuksiin tuulivoiman vuotuisesta ja elinkaaren aikaisesta tuotantomäärästä. Mikäli nämä oletukset muuttuvat, se aiheuttaa muutosta myös tuloksiin.

Tuulivoimalan elinkaaren aikaisten ilmastovaikutusten arvioimisessa hyödynnetty tanskalaisen Vestas Wind Systemsin LCA on laadittu hieman pienemmille tuulivoimaloille, kuin tuulivoimalat, joita Pohjois-Pohjanmaan maakuntakaavan alueelle tullaan tulevaisuudessa todennäköisesti rakentamaan. Päästökerroin on kuitenkin suhteutettu tuulivoimalan tuottaman sähkön määrään. Meri- ja maatuulivoimalle käytettiin samaa päästökerrointa.

Tuulivoimaloiden elinkaaren loppuvaiheen päästöjä ei otettu huomioon siihen liittyvien epävarmuuksien vuoksi. Vestaksen LCA:ssa on oletettu, että tuulivoimaloiden materiaalit kierrätetään, mistä saadaan päästösäästöjä (negatiivinen päästö) mutta Suomessa tuulivoimaloiden osien kierrätys on vasta kehitteillä.

Eri kokoisille voimajohdoille käytettiin Fingridin arvioon perustuvaa päästökerrointa. Tämä saattaa yliarvioida pienempien voimajohtojen päästöjä. Maa- ja merikaapeleille käytettiin samaa päästökerrointa, sillä merikaapeleista oli puutteellisesti tietoa saatavilla.

Käytetyt päästökertoimet perustuvat nykyisiin teknologioihin ja kuvaavat siten nykyistä päästötasoa. On todennäköistä, että esimerkiksi energian ja liikenteen päästöt alenevat tulevaisuudessa teknologioiden kehityksen myötä.

Hiilivarastojen muutosten arvioinnissa käytetyt arviot metsien puuston hiilivarastojen suuruudesta perustuvat LUKE:n tietoihin maakunnan keskimääräisestä puuston tilavuudesta hehtaarilla. Alueellisesti puuston tilavuudessa voi olla vaihtelua.

Muilta maankäyttömuodoilta poistuvan kasvillisuuden hiilivaraston suuruus arvioitiin hyödyntämällä Alueellisen hiilitaseen laskentatyökalun kertoimia eri maankäyttöluokkien hiilivarastojen suuruudesta. Laskuri kuvaa paremmin Etelä-Suomen olosuhteita, joten sen arvoihin hiilivarastojen suuruudesta liittyy epävarmuutta.

Maaperän hiilivaraston muutoksiin liittyy paljon epävarmuuksia siitä, paljonko hiiltä vapautuu maaperän hiilivarastosta, kun maata muokataan rakentamisen yhteydessä ja sen päälle rakennetaan esim. tuulivoimalan huoltotie. Tästä syystä maaperän osalta tarkasteltiin vain metsämaan maaperän hiilinielun menetystä, maaperän hiilivarastojen muutosta ei arvioitu.

Tuulivoimalla aikaansaataavaa sähkön tuotannon päästövähennemää on arvioitu laskennassa eri päästökertoimilla. Suomessa kulutetun sähkön päästöt ovat laskeneet hyvin paljon viimeisen 10 vuoden ajan ja kehityksen on odotettu jatkuvan samansuuntaisena tulevaisuudessa. On kuitenkin epävarmaa, miten sähkön päästökerroin todella kehittyy, johtuen mm. kuinka paljon vähäpäästöistä sähköntuotantoa Suomeen asennetaan sekä kasvaako sähkön kulutus yhteiskunnan sähköistymisen sekä sähköä hyödyntävän teollisuuden myötä.

Työpaketti I

Tuulivoima-alueiden ja sähkönsiirron ilmastovaikutusten arviointi

Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavavaluonnoksessa esitetyt alueet

Valmisteluvaiheen kuuleminen 8.8.-23.9.2022 (maankäyttö- ja rakennuslaki MRL 63 §, maankäyttö- ja rakennusasetus MRA 30 §)

Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan luonnosvaihe (MRL 62 §, MRA 30 §)

Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan keskeiset sisällöt:

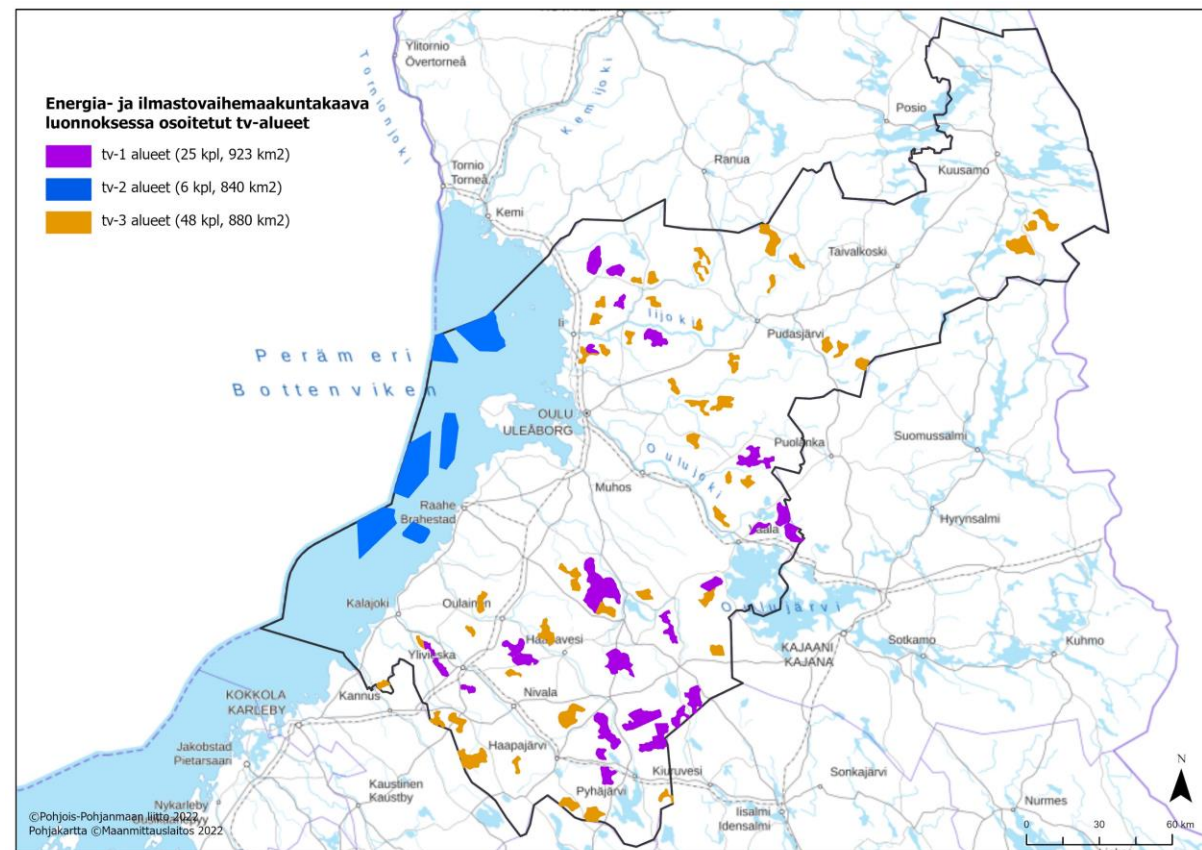
1. Aluerakenne ja saavutettavuus,
2. Energiantuotanto, varastointi ja siirto,
3. Liikennejärjestelmä ja logistiikka-alueet,
4. Viherrakenne ja ekosysteemipalveluiden tarkastelu,
5. Energiamurroksen vaikutukset ja
6. Ilmastovaikutusten arvioinnin kehittäminen.

Pohjois-Pohjanmaan maakuntakaavan uudistamisen ja päivittämisen tarvetta aiheuttivat useat kansainväliset, valtakunnalliset ja maakunnalliset strategiat ja poliittiset linjaukset sekä lainsäädännön muutokset. Ilmastomuutos on vahvana teemana kaikessa valtakunnallisessa päätöksenteossa, ja ilmastomuutoksen hillintä edellyttää uusiutuvien energiamuotojen käyttöön ottamista. Myös valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet (VAT) on uudistettu.

Maakuntakaava osoittaa tulevia maankäytön tarpeita myös sellaisilla alueilla, joille kunnat eivät ole kaavoja laatineet, jolloin maakuntakaava on ainoa maankäytön suunnittelua ohjaava kaava ennen mahdollista tarkempaa suunnittelua. Monet sekä ilmastomuutoksen hillinnän että sopeutumisen kannalta keskeiset teemat tulee ratkaista ylikunnallisesti, jotta mahdollisimman myönteinen ilmastovaikutus voidaan saavuttaa. Ilmastotoimien suunnittelussa on voitava huomioida riittävän laajat alueet sekä päästöjen hillinnän että hiilinielujen näkökulmasta.

Tuulivoima-alan nopea kehittyminen ja Pohjois-Pohjanmaan valtakunnallisesti merkittävä rooli tuulivoimatuotannon sijoittumisalueena loivat tarpeen uudelle tuulivoimaa koskevalle alueelliselle tavoitteenasettelulle ja kokonais selvitykselle, jonka avulla voidaan varautua toimialan pitkän aikavälin kehitykseen, ennaltaehkäistä maankäyttöön liittyviä konflikteja ja varmistaa toiminnan kokonaiskestävyys. Tuulivoimarakentamisen kolmannen aallon suunnitelmallisen etenemisen mahdollistamiseksi maakunnassa toteutettiin Pohjois-Pohjanmaan liiton koordinoimana maakunnallinen TUULI-hanke (1.6.2020-30.4.2023).

TUULI-hankkeen selvitysten ja poissulkevaan puskurianalyysiin perustuvan sijainninhjausmallin (SOM) perusteella arvioitiin tuulivoimalle kyllä-, ehkä- ja ei-alueet. Suojavyöhykkeiden määrittelyssä huomioitiin viranomaisten ohjeistukset ja sidosryhmien näkemykset. **Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan valmisteluvaiheessa kaavakarttaluonnokseen osoitettiin uusia tuulivoima-alueita 79 kappaletta, yhteensä 2643 km².** Valmisteluvaiheessa kaavakartalla käytettiin merkintöjä tv-1 (maa-alueet), tv-2 (merialueet) ja tv-3 -alueet (maa-alueet, joilla on rajaavia reunaehtoja).



Kuva 11. Vaihemaakuntakaavaluonnoksen tv-1, tv-2 ja tv-3 alueet (Pohjois-Pohjanmaan liitto, PPL 2022).

Energia- ja ilmastovaihemaakuntaavan luonnos - tuulivoiman maksimipotentiali

Taulukko 4. Tuulivoiman maksimipotentiali kaavassa osoitetuilla tuulivoima-alueilla

	Alueiden pinta-ala yhteensä, ha	Tuulivoimalat, kpl		
		Suunnitellut ^a	Arvio ^b	Yhteensä
TV1 Maatuulivoiman kyllä-alueet	92 300	804	16	820
TV2 Merialueet	84 000	0	274	274
TV3 Maatuulivoiman ehkä-alueet	88 000	472	410	882
	264 300	1276	700	1 976

a) Tuulivoimaloiden lukumäärä jo vireillä olevissa hankkeissa

b) Hilamallilla arvioitu tuulivoimaloiden maksimimäärä jo vireillä olevien hankkeiden lisäksi

Taulukko 5. Kaava-aineistossa esitetty sähkönsiirto

Sähkönsiirto	Pituus, km	Hankkeiden lkm
Ilmajohto 110 kV	33	5
Ilmajohto 400 kV	750	44
Maakaapeli	36	3
Merikaapeli	49	2

Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntaava-luonnoksessa on osoitettu tuulivoima-alueita yhteensä **264 300 ha**.

Osassa tuulivoima-alueista on jo vireillä hankkeita. Suunniteltuja voimaloita on yhteensä 1 276.

Suunniteltujen voimaloiden lukumäärän lisäksi alueille mahtuvan tuulivoiman maksimipotentialia arvioitiin ns. hilamallilla, jossa maa-alueille on laadittu 1 km x 1 km hila ja merelle 1,5 km x 2 km hila. Mallissa yhdelle hilaruudulle sijoittuu yksi voimala.

TV1, 2 ja 3 -alueiden maksimipotentiali on yhteensä **1 976 tuulivoimalaa**.

Näiden tuulivoimaloiden yhteenlaskettu vuosituotanto olisi n. **64 470 GWh**, mikä on lähes yhtä paljon kuin koko Suomen vuotuinen sähköntuotanto (69 324 GWh vuonna 2021). Laskennassa on käytetty oletusta tulevaisuudessa rakennettavien tuulivoimaloiden vuosituotannosta (maatuulivoimalat **25 GWh/a** ja merituulivoimalat **80 GWh/a**).

Sähkönsiirtoon tarvittavien ilmajohtojen pituus on kaavaluonnoksen mukaan n. 783 km, maakaapelin 36 km ja merikaapelin 49 km.

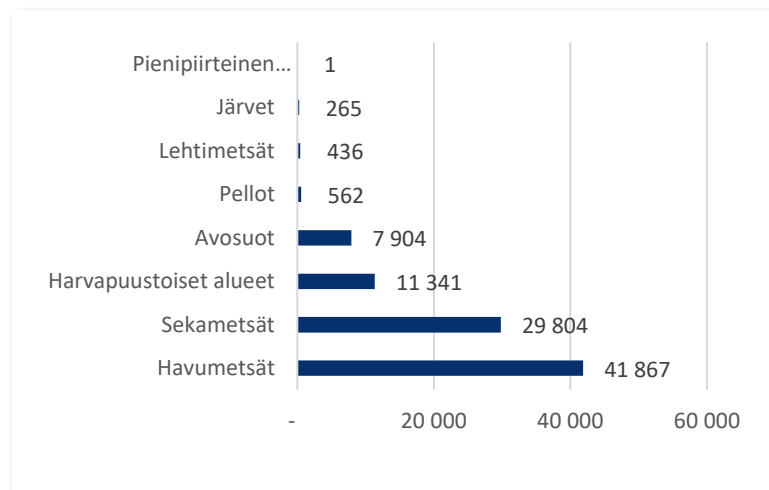
Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan luonnos - alueiden nykyinen maankäyttö

Sivulla 18 kuvattujen periaatteiden mukaan laskettuna tuulivoimaloiden, nostoalueiden, huoltoteiden ja sähköasemien maksimimäärän yhteenlaskettu **tilantarve, jolta kasvillisuus poistuu**, on **TV1-alueilla n. 4 059 ha**, eli noin 4,4 % alueiden kokonaispinta-alasta, ja **TV3-alueilla n. 4 366 ha**, eli n. 5 % alueiden kokonaispinta-alasta. TV2 alueet (84 000 ha) ovat merialueita. Sähkönsiirron rakentamisen tilantarve, jolta kasvillisuus poistetaan, on yhteensä n. 3 455 ha.

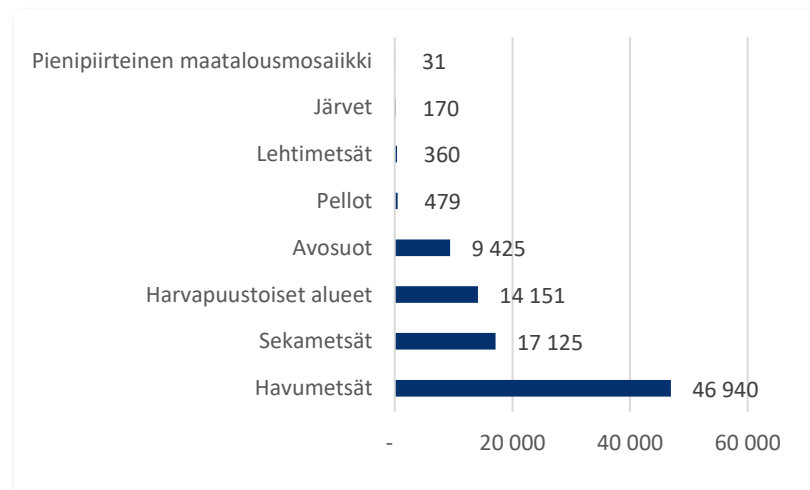
Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavassa esitettyjen TV1 ja TV3 tuulivoima-alueiden nykyinen maankäyttö on pääasiassa havu- ja sekametsiä sekä harvapuustoisia alueita ja avosoita. Myös valtaosa sähkönsiirtoon tarvittavista sähkölinjoista sijoittuu nykyisiin havu- ja sekametsiin. Tiedot alueiden nykyisistä maanpeitteistä kerättiin Suomen ympäristökeskuksen Corine Land Cover -aineistosta (2018).

Taulukko 6. Tuulivoiman rakentamisen tilantarpeet

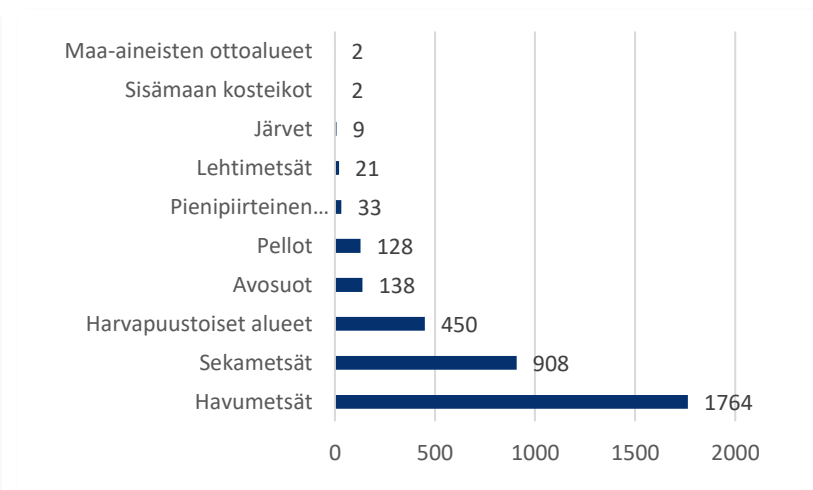
	Alueiden pinta-ala, ha	Tuuli-voimaloiden lkm, kpl	Tilantarve, eli alue, jolta kasvillisuus poistuu, ha				
			Voimalat + nostoalueet (1,2 ha/voimala)	Huoltotiet (3,8 ha/voimala)	Sähkö-asemat (0,3 ha/20 voimalaa)	Yht.	%-osuus TV-alueiden pinta-alasta
TV1 Maa-tuulivoiman kyllä-alueet	92 300	820	984	3 075	12	4 059	4,4 %
TV2 Meri-alueet	84 000	274					
TV3 Maa-tuulivoiman ehkä-alueet	88 000	882	1 058	3 308	13	4 366	4,9 %
Yht.	264 300	1 976				8 426	



Kuva 12. TV1-alueiden maankäyttö, ha



Kuva 13. TV3-alueiden maankäyttö, ha



Kuva 14. Sähkönsiirron johtoukeiden maankäyttö, ha

Tuulivoimantuotannon ja sähkönsiirron rakentamisen ja toiminnan aikaiset CO₂e-päästöt

Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaava-alueen esitetyille tuulivoima-alueille rakennettavan tuulivoimantuotannon maksimipotentiaalinen rakentamisen ja toiminnan CO₂e-päästöt (pois lukien maankäytön ilmastovaikutukset) ovat noin **12 410 475 tCO₂e** koko tuulivoimaloiden oletetun 35 vuoden elinkaaren ajalla. 95 % näistä päästöistä muodostuu tuulivoimaloiden valmistus- ja asennusvaiheessa.

Päästöt laskettiin kertomalla tuulivoima-alueiden maksimipotentiaalinen laskennallinen elinkaaren aikainen sähköntuotantomäärä päästökertoimella 5,5 gCO₂e/kWh. (Ks. sivut 15 ja 16)

Sähkönsiirron rakentamisen päästöt ovat noin **396 107 tCO₂e**. Sähkönsiirron rakentamisen päästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet on esitetty sivulla 17.

Todellisuudessa hankkeet toteutetaan vähitellen, joten päästöt jakaantuvat 35 vuotta pidemmälle aikavälille.

Taulukko 7. Kaavaluonnoksessa esitetyille tuulivoima-alueille rakennettavan tuulivoimantuotannon maksimipotentiaalinen rakentamisen ja toiminnan CO₂e-päästöt sekä sähkönsiirron rakentamisen päästöt, pois lukien maankäytön ilmastovaikutukset.

Tuulivoima	tCO ₂ e/35a
TV1 Maatuulivoiman kyllä-alueet	3 946 250
TV2 Merialueet	4 219 600
TV3 Maatuulivoiman ehkä-alueet	4 244 630
Yhteensä	12 410 475
Sähkönsiirto	tCO ₂ e/35a
Ilmajohto 110 kV	16 700
Ilmajohto 400 kV	374 950
Maakaapeli	1 888
Merikaapeli	2 570
Yhteensä	396 107

Tuulivoimantuotannon ja sähkönsiirron maankäytön ilmastovaikutukset

Sivulla 16 mainittujen periaatteiden mukaisesti laskettuna kaavaluonnoksen maatuulivoima-alueille rakennettavan maksimaalisen tuulivoiman ja sähkönsiirron aiheuttama kasvillisuuden hiilivarastojen menetys on yhteensä noin **1 023 978 tCO₂e**.

Rakentamisen aiheuttama metsien puuston hiilinielun menetys on 35 vuoden aikana yhteensä noin **979 785 tCO₂e** ja metsien maaperän hiilinielun menetys yhteensä **134 371 tCO₂e**. Hiilinielun menetys kuvaa puuston ja maaperän hiilen määrää, joka ei pääse kasvamaan tarkastellun elinkaaren aikana.

Sähkönsiirron johtoaukeilla kasvillisuuden hiilinielu palautuu osittain rakentamisen jälkeen, mutta aukea pidetään avoimena raivaamalla muutaman vuoden välein.

Hiilivarasto: Hiilivarastoja ovat muun muassa kasvillisuus, maaperä ja valtameret, joihin hiiltä on varastoitunut eri olomuotoina esimerkiksi biomassaan sitoutuneena. Hiilivarastot voivat ajoittain olla hiilen lähteitä, mikäli hiilivarastoista vapautuu ilmakehään enemmän hiiltä kuin sitä sitoutuu.

Hiilinielu: Hiilinielu tarkoittaa mitä tahansa prosessia, toimintaa tai mekanismia, joka sitoo hiilidioksidia ilmakehästä. Hiilinielun seurauksena hiilivarasto kasvaa.

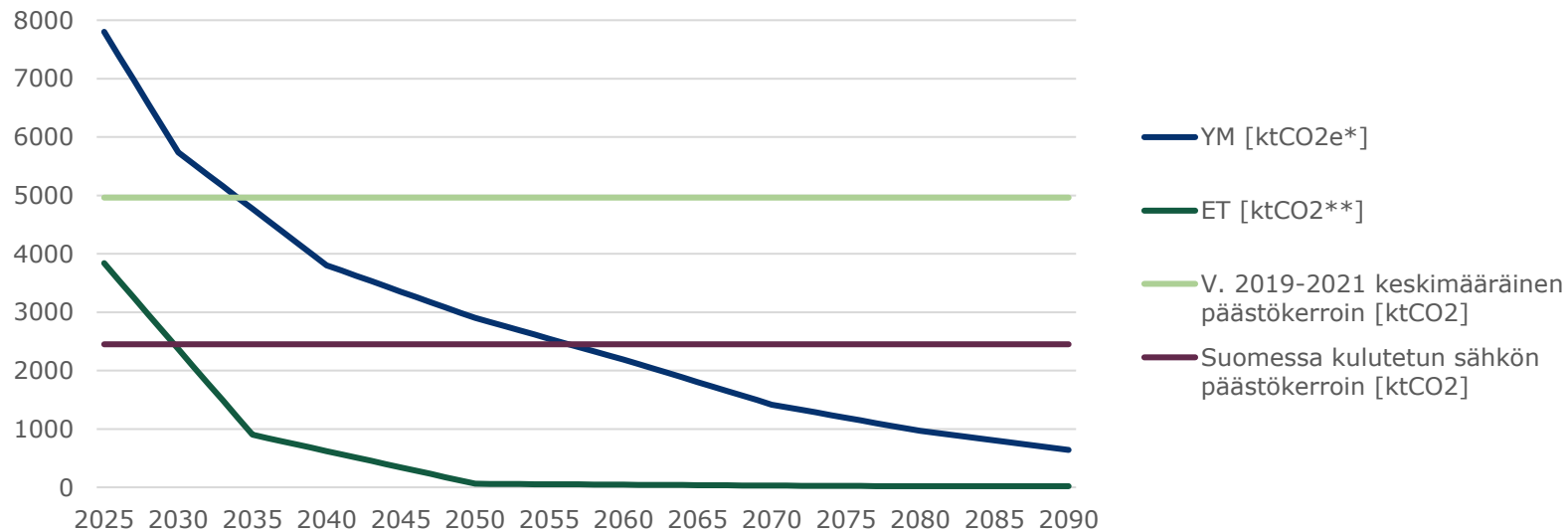
Taulukko 8. Kaavaluonnoksen maatuulivoima-alueille rakennettavan maksimaalisen tuulivoiman ja sähkönsiirron aiheuttama kasvillisuuden hiilivarastojen menetys

Kasvillisuuden hiilivarastojen menetys			
	Metsät, tCO ₂ e	Muut alueet, tCO ₂ e	Yhteensä, tCO ₂ e
TV1 alueet	280 887	76 249	357 136
TV3 alueet	294 541	101 253	395 794
Sähkönsiirto	240 392	30 655	271 047
			1 023 978

Taulukko 9. Kaavaluonnoksen maatuulivoima-alueille rakennettavan maksimaalisen tuulivoiman ja sähkönsiirron aiheuttama hiilinielujen menetys

	Metsien puuston hiilinielun menetys, tCO ₂ /a	Metsien maaperän hiilinielun menetys, tCO ₂ /a
TV1 alueet	9 638	1 322
TV3 alueet	10 107	1 386
Sähkönsiirto	8 249	1 131
Yhteensä, tCO ₂ /a	27 994	3 839
tCO ₂ , 35 vuoden elinkaaren aikana	979 785	134 371

Tuulivoiman tuottaman sähkön myönteiset ilmastovaikutukset



Kuva 15. Tuulivoimatuotannon vuosittainen päästövähennys eri sähkönpäästökertoimen skenaarioilla [ktCO2]

Taulukko 10. Kaavaluonnoksessa esitettyjen tuulivoima-alueiden maksimipotentialin sähköntuotannolla aikaansaatu päästövähennys eri sähkönpäästökertoimen skenaarioilla [ktCO2]

	Päästökerroin vaihteluväli v. 2025-2090 [kg/MWh]	Keskimääräinen vuosittainen päästövähennys 35 vuoden elinkaarella [ktCO ₂]	Päästövähennys 35 vuoden elinkaarella [ktCO ₂]
YM-skenaario*	121 - 10	4 096	143 300
ET-skenaario**	60 - 0	955	33 400
Keskimääräinen sähköntuotannon päästökerroin (2019-2021)	77	4 964	173 700
Suomessa kulutetun sähkön volyymipainotteinen päästökerroin v. 2023	38	2 450	85 700

- Tuulivoiman tuottama sähkön päästövähennys on esitetty oheisessa kuvaajassa ja taulukossa.
- Oletuksena sähkön tasainen vuosituotanto **64 470 GWh**.
- Todellisuudessa hankkeet toteutuvat vähitellen tulevina vuosina, jolloin päästövähennys ei ole näin suuri.
- Tuulivoimalla tuotetun sähkön tuoma päästövähennys on arvioitu vuositasolla ja 35 vuoden elinkaaren ajalta muutamalla eri sähkön päästökertoimella
 - Tilastokeskus julkaisee kertoimia Suomen keskimääräisen sähköntuotannon CO₂-päästöille. Näistä laskettu kolmen viimeisen tilastovuoden (2019-2021) keskiarvo, jossa yhteistuotanto on jaettu energiamenetelmällä, on **77 kg CO₂/MWh**.
 - Fingrid tilastoi ajantasaisesti Suomen sähkön kulutuksen ja tuotannon päästökertoimia. Tässä käytetty kulutetun sähkön volyymipainotteista sähkön päästökertoimia v. 2023 joka on **38 kg CO₂/MWh**.
 - Ympäristöministeriön arvio sähkön päästökertoimen kehityksestä*
 - Energiatieteiden tutkimuskeskuksen (ET) vähähiilisyystiekartassa esitetty skenaario**
- Vuosittainen päästövähennys on laskettu kertomalla tuulivoiman vuosituotanto 44 130 GWh kunkin skenaarion vuotuisella päästökertoimella, joka YM:n ja ET:n skenaariossa laskee kuvan 23 mukaisesti.

YM-skenaariossa yksikkönä on hiilidioksidiekvivalentti (CO₂e), muissa skenaarioissa yksikkö on hiilidioksidi (CO₂). Hiilidioksidiekvivalentilla tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen yhteismittaa, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmaston voimistumiseen. ET-skenaario sekä muut päästökertoimet huomioivat vain hiilidioksidin, eivät muita kasvihuonekaasupäästöjä.

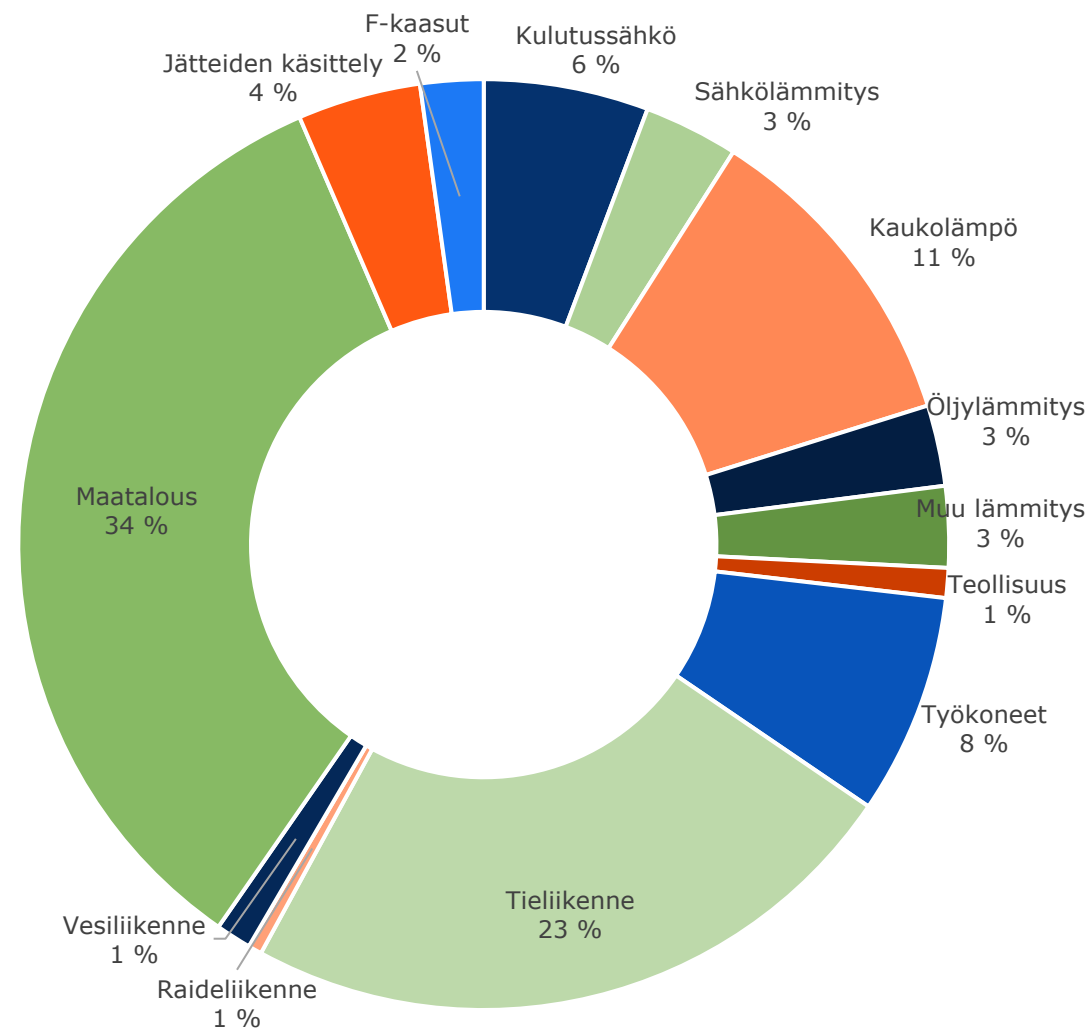
- Sähkön vähähiilistyessä tuulivoimalla tuotetun sähkön päästövähennys pienenee. Eri skenaarioilla halutaan tuoda esiin hankkeiden yhteisvaikutuksesta muodostuva Suomen sähköjärjestelmän muutos ja sen ennakoinnin vaikeus.
 - Toisaalta ilman investointeja päästöttömään sähkөөn päästökerroin ei pienene ennustetusti
 - Mitä aikaisemmin hankkeet toteutuvat, sitä suurempi ilmastohyöty niistä saadaan
 - On myös hyvin vaikeaa ennustaa miten sähkön kysyntä muuttuu Suomessa tulevaisuudessa, jolla on myös suuri vaikutus sähkön päästökertoimeen.

Tulosten suhteutus

Pohjois-Pohjanmaan maakunnan kokonaispäästöt taakanjakosektorilla vuonna 2021 olivat 3 047 100 tCO₂e. Kaavaluonnoksessa esitetyille tuulivoima-alueille rakennettavan tuulivoiman maksimipotentialin vuotuiset päästöt (= koko elinkaaren päästöt 14 954 000 tCO₂e jaettuna 35 vuodelle) vastaavat 12 % maakunnan kokonaispäästöistä (pl. maankäytön ilmastovaikutukset).

Toisaalta kaavaluonnoksessa esitetyille tuulivoima-alueille rakennettavan tuulivoiman tuottaman sähkön keskimääräinen vuosittainen päästövähennyspotentiali vastaa noin 90 % maakunnan kokonaispäästöistä laskettuna YM-päästökerroinskenaariolla ja noin 17 % maakunnan kokonaispäästöistä laskettuna Energiateollisuuden päästöskenaariolla. Arvioinnissa huomataan, että eri päästöskenaariot poikkeavat toisistaan huomattavasti, mikä vaikuttaa lopputulokseen.

Hinku-laskentamenetelmä: Kuntien tavoitteiden seurantaan tarkoitettu oletuslaskentamalli. Ei sisällä päästöhyvityksiä, päästökauppaan kuuluvien teollisuuslaitosten polttoaineiden käyttöä, teollisuuden sähkönkulutusta, teollisuuden jätteiden käsittelyn päästöjä eikä kuorma-, paketti- ja linja-autojen läpiajoliikennettä. Lähde: <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>



Kuva 18. Päästöjakauma vuonna 2021 Pohjois-Pohjanmaalla ns. Hinku-laskentamenetelmällä

Työpaketti I

Tuulivoima-alueiden ja sähkönsiirron ilmastovaikutusten arviointi

Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan alustavassa ehdotuksessa esitetyt alueet

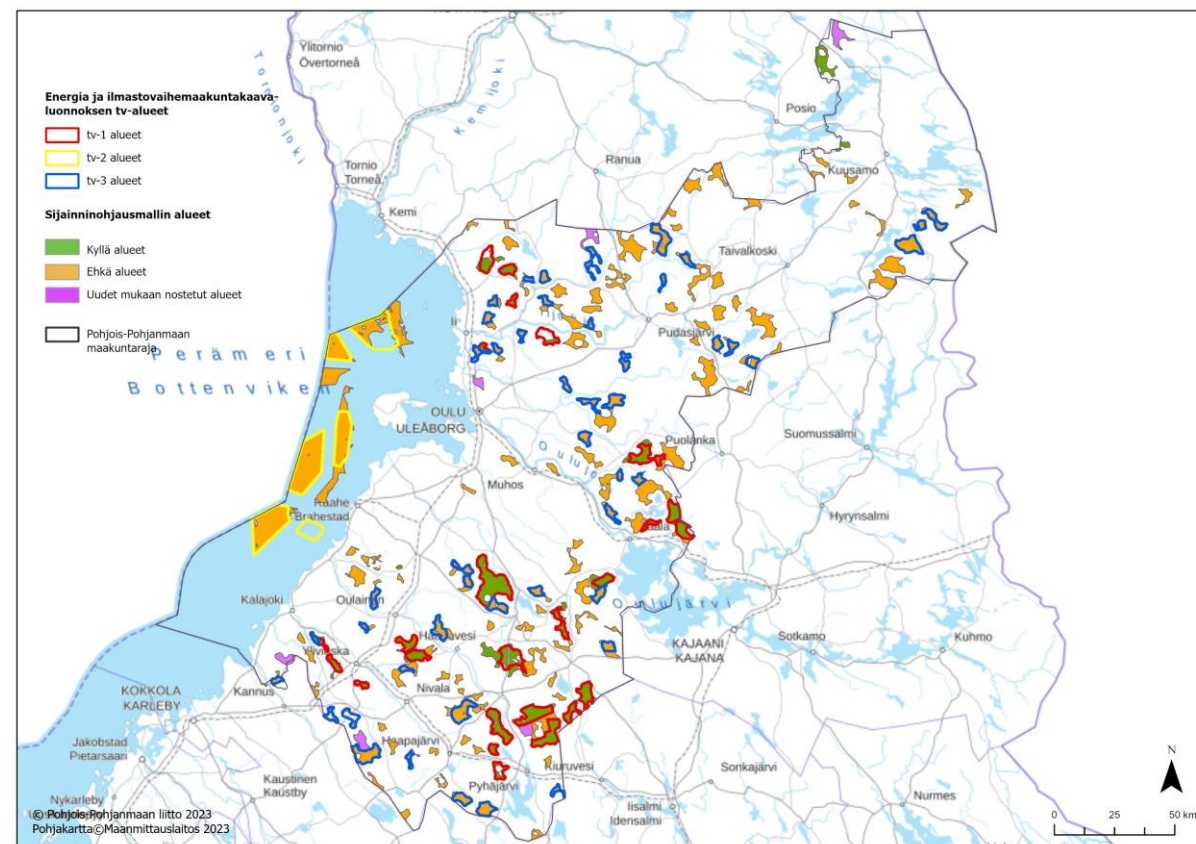
Viranomaiskuulemisvaiheen lausuntokierros 10.1.-23.2.2024
(maankäyttö- ja rakennusasetus MRA 13 §)

Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomaisehdotus (lausuntokierros 10.1.-23.2.2024)

Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan ehdotusvaiheen kaavaratkaisun ja vaikutusten arvioinnin tueksi on valmistunut maakotkaselvitys ja maisemaselvitys, joiden tulokset ovat tuoneet tärkeää laadullista taustatietoa maakuntakaavan yhteisvaikutusten arviointiin. Tuulivoimarakentamiseen soveltuvien seudullisesti merkittävien alueiden sijoittumiseen ovat kaavaratkaisussa vaikuttaneet myös tuulivoimahankkeiden YVA- ja kaavoitusmenettelyiden aikana laaditut selvitykset ja vaikutusten arvioinnit, viranomaisten ja kuntien näkemykset viranomaisneuvotteluiden, työneuvotteluiden ja TUULI-hankkeessa käydyn vuoropuhelun kautta, osallisten palaute kaavatyön eri vaiheissa ja maakuntahallituksen ohjaus.

Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan ehdotusvaiheessa on tarkasteltu ja arvioitu kaikki maakuntakaavan luonnoksessa osoitetut tv-alueet (79 kpl), luonnoksen tv-alueiden ulkopuolelle jääneet sijainninhjausmallin mukaiset ehkä-alueet (128 kpl). Ehdotusvaiheessa on lisäksi tarkasteltu kahta rakennusten vuoksi sijainninhjausmallin ulkopuolelle jäänyttä aluetta Sievissä ja Pyhäjärvellä. Kyseisillä alueilla on vireillä tuulivoimaosayleiskaavan laadinta, jonka yhteydessä alueelle sijoittuvien rakennusten lupatiedot on tarkistettu ja käyttötarkoituksen muutos kunnassa käsitelty. Ehdotusvaiheessa on kunnan toiveesta tarkasteluun otettu mukaan kaksi TUULI-hankkeessa kuntien aiemmalla omalla päätöksellään luokittelemaa ei-alueita Oulussa ja Pudasjärvellä.

Puolustusvoimilta saatiin uusi lausunto koskien tuulivoiman tutkavaikutuksia tammikuussa 2023. Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan ehdotusvaiheessa ei osoiteta seudullisesti merkittäviä tuulivoima-alueita, jotka ovat saaneet maakuntakaavaprosessin aikana kielteisen lausunnon puolustusvoimilta. Ehdotuksessa ei ole myöskään nostettu seudullisesti merkittäviä tuulivoima-alueita, jotka ovat muista syistä tämän hetkisten selvitysten mukaan mahdottomia toteuttaa.



Kuva 19. Vaihemaakuntakaavan viranomaisehdotusvaiheeseen (MRA 13 §) tarkastellut potentiaaliset tuulivoima-alueet. Pohjois-Pohjanmaan liitto PPL 2023. Yhteisvaikutusten arviointia tehtiin kaavaluonnosvaiheen jälkeen valmistuneiden laadullisten selvitysten (maakotka, maisema), kaavaluonnospalautteen sekä tuulivoimahankkeista saatujen tarkempien selvitysten pohjalta.

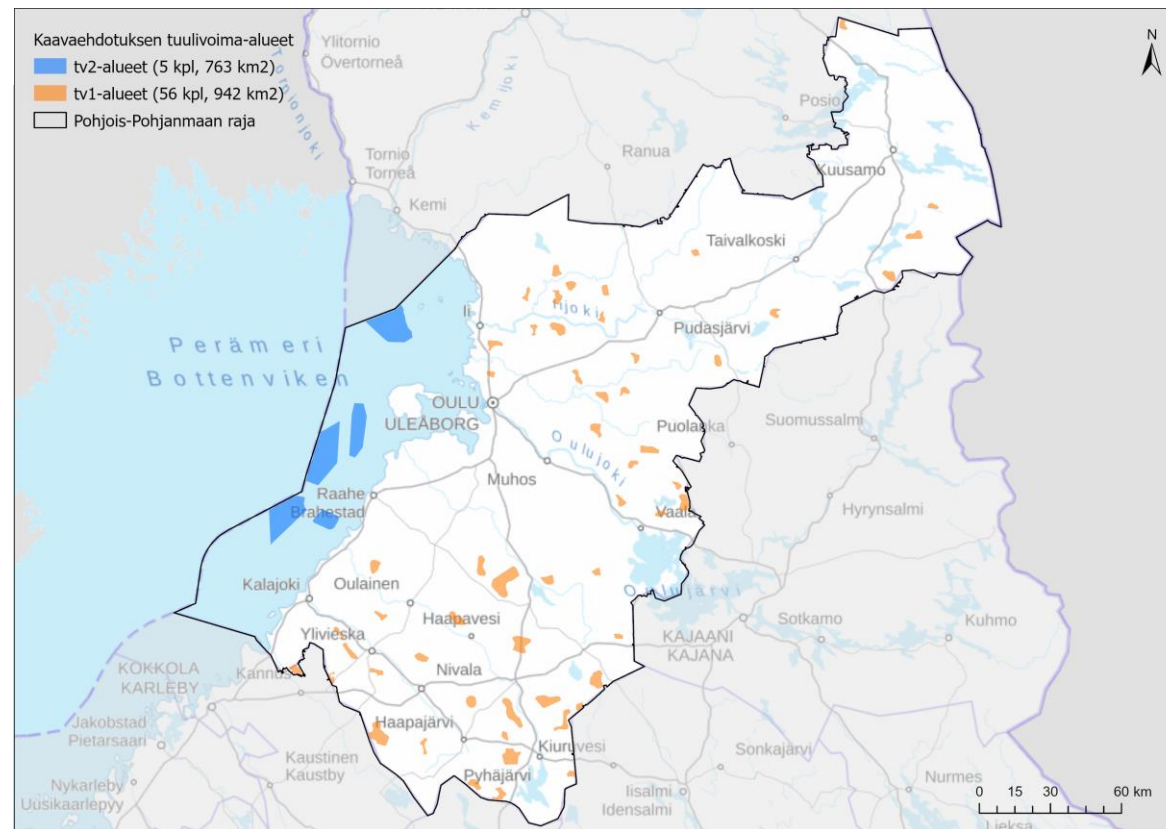
Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomaisehdotus (lausuntokierros 10.1.-23.2.2024)

Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan tavoitteena on osoittaa maakunnan tuulivoimarakentamista alueille, joissa tuulivoiman toteutumisen vaikutukset muulle maankäytölle, luonnolle ja maisemalle eivät muodostu merkittäviksi. Maakuntakaavassa esitetään vaikutuksiltaan vähintään seudullisesti merkittävät tv-alueet erityisominaisuutta osoittavalla merkinnällä. Seudullisen kokoluokan tuulivoimaloiden alueeksi on maa-alueilla (tv-1) määritelty pinta-alaltaan vähintään 7 km² suuruiset tuulivoimaloiden alueet. Tälle alueelle voisi sijoittua noin 7 voimalaa, mikä ylittää nykyisillä tuulivoimaloiden tehoilla YVA-menettelyn rajan (45 MW). Merialueilla (tv-2) tarkasteltujen merituulivoima-alueiden vähimmäiskoko on 50 km²

Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomaisehdotukseen on osoitettu uusia tuulivoima-alueita yhteensä 61 kappaletta, yhteensä 1 705 km².

Maakuntakaavan ohjausvaikutuksen näkökulmasta myös kaksi lähekkäin sijoittuvaa pienempää ei-seudullista aluetta muodostavat vaikutuksiltaan yhtenäisen seudullisesti merkittävän tuulivoimakokonaisuuden. Tässä tapauksessa kokonaisuuden on sijoitettava maakuntakaavassa osoitetulle seudullisesti merkittävälle tv-alueelle.

Tuulivoimateknologian kehitys on ollut nopeaa ja voimaloiden koko on kasvanut merkittävästi viimeisen 25 vuoden aikana. Vuosina 2022–2023 on maatuulivoimahankkeiden suunnittelussa (kaavoitusmenettelyissä ja ympäristövaikutusten arvioinneissa) käytetty ennakoivasti tuulivoimaloiden kokonaiskorkeutena 300–350 metriä. Maakuntakaavaratkaisu on mitoitettu kokonaiskorkeudeltaan 300–350 metriä korkeiden voimaloiden mukaan.



Kuva 20. Vaihemaakuntakaavan viranomaisehdotusvaiheen (MRA 13 §) tuulivoima-alueet. Yhteisvaikutusten arviointia tehtiin kaavaluonnosvaiheen jälkeen valmistuneiden laadullisten selvitysten (maotka, maisema), kaavaluonnospalautteen sekä tuulivoimahankkeista saatujen tarkempien selvitysten pohjalta. Natura-alueiden selvitys valmistuu huhtikuussa 2024 ja sen tulokset ovat käytettävissä maakuntakaavaehdotuksen julkisessa kuulemisessa. (Pohjois-Pohjanmaan liitto PPL, 2023).

Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan ehdotus - tuulivoiman maksimipotentiaali

Taulukko 11. Tuulivoiman maksimipotentiaali kaavaehdotuksessa osoitetuilla tuulivoima-alueilla

	Alueiden pinta-ala yhteensä, ha	Tuulivoimalat, kpl		
		Suunnitellut ^a	Arvio ^b	Yhteensä
TV1 Maatuulivoima-alueet	94 200	822	172	994
TV2 Merialueet	76 300	0	241	241
	170 500	822	413	1 235

a) Tuulivoimaloiden lukumäärä jo vireillä olevissa hankkeissa

b) Hilamallilla arvioitu tuulivoimaloiden maksimimäärä jo vireillä olevien hankkeiden lisäksi

Taulukko 12. Kaava-aineistossa esitetty sähkönsiirto

Sähkönsiirto	Pituus, km	Hankkeiden lkm
Ilmajohto 110 kV	115	10
Ilmajohto 400 kV	622	36
Maakaapeli	54	6
Merikaapeli	49	2

Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomais-ehdotuksessa on osoitettu tuulivoima-alueita yhteensä **170 500 ha**.

Osalle tuulivoima-alueista on jo vireillä hankkeita. Suunniteltuja voimaloita on yhteensä 822.

Suunniteltujen voimaloiden lukumäärän lisäksi alueille mahtuvan tuulivoiman maksimipotentiaalia arvioitiin ns. hilamallilla, jossa maa-alueille on laadittu 1 km x 1 km hila ja merelle 1,5 km x 2 km hila.

TV1 ja 2 -alueiden maksimipotentiaali on yhteensä **1 235 tuulivoimalaa**.

Luonnosvaiheeseen (264 300 ha) verrattuna TV-alueiden pinta-ala on siis pienentynyt noin 93 800 ha (35 %), minkä seurauksena tuulivoimaloiden maksimimäärä on ehdotusvaiheessa pienentynyt 741 voimalalla.

Ehdotusvaiheen TV-alueiden tuulivoimaloiden maksimipotentiaalin yhteenlaskettu vuosituotanto olisi n. **44 130 GWh**, mikä vastaa noin 60 % koko Suomen vuotuisesta sähköntuotannosta (69 324 GWh vuonna 2021).

Ehdotusvaiheessa sähkönsiirtoon tarvittavien ilmajohtojen pituus on n. 737 km, maakaapelin 54 km ja merikaapelin 49 km.

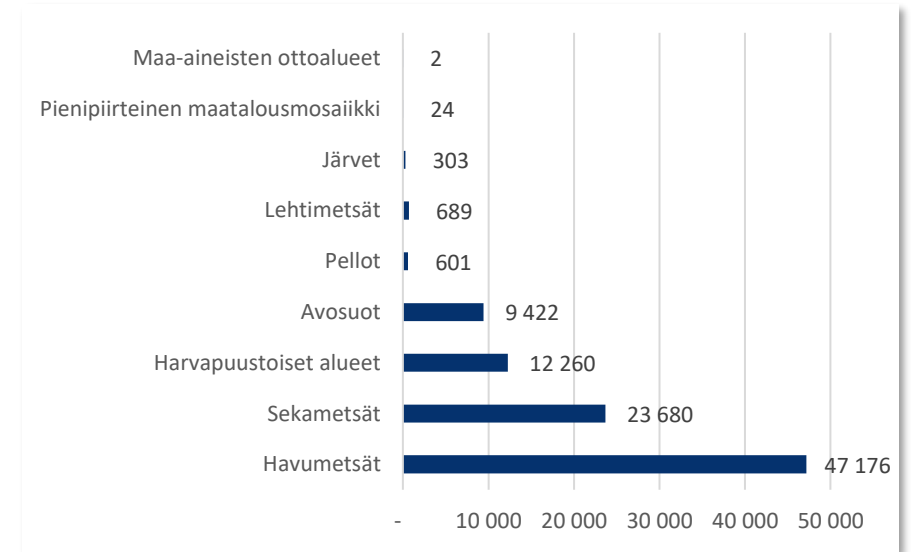
Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan ehdotus - alueiden nykyinen maankäyttö

Sivulla 18 esitettyjen periaatteiden mukaan laskettuna ehdotusvaiheen **TV1-alueiden** tuulivoimaloiden, nostoalueiden, huoltoteiden ja sähköasemien maksimimäärän yhteenlaskettu **tilantarve, jolta kasvillisuus poistuu**, on n. **4 920 ha**, eli noin 5,2 % alueiden kokonaispinta-alasta. TV2 alueet (76 300 ha) ovat merialueita. **Sähkönsiirron** rakentamisen tilantarve, jolta kasvillisuus poistetaan, on yhteensä **n. 2 959 ha**.

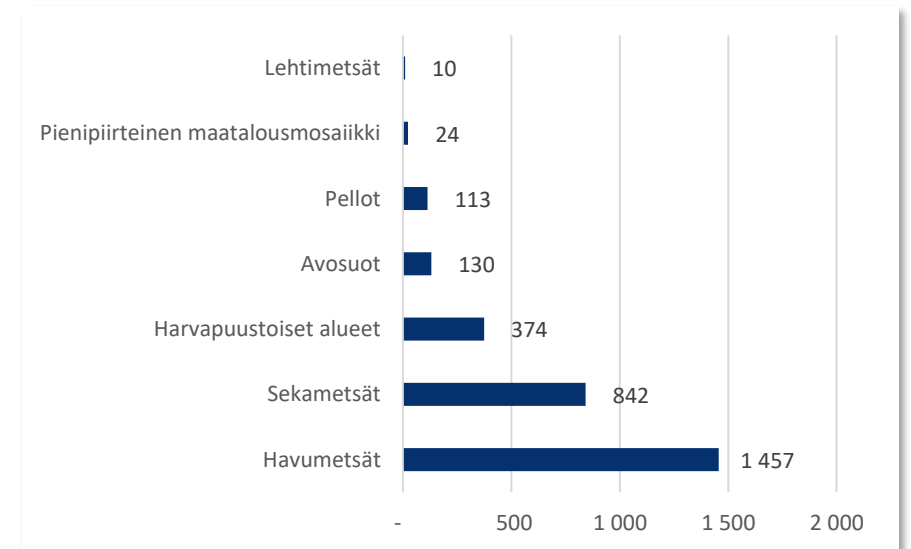
Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan ehdotusvaiheessa esitettyjen TV1 tuulivoima-alueiden nykyinen maankäyttö on pääasiassa havumetsiä (50 % TV1-alueiden pinta-alasta), sekametsiä (25 %) sekä harvapuustoisia alueita (13 %) ja avosoita (10 %). Myös valtaosa sähkönsiirtoon tarvittavista sähkölinjoista sijoittuu nykyisiin havumetsiin (49 %) ja sekametsiin (28 %). Tiedot alueiden nykyisistä maanpeitteistä kerättiin Suomen ympäristökeskuksen Corine Land Cover -aineistosta (2018)

Taulukko 13. Tuulivoiman rakentamisen tilantarpeet

	TV-alueiden pinta-ala, ha	Tuuli-voimaloiden lukumäärä, kpl	Tilantarve, eli alue, jolta kasvillisuus poistuu, ha				
			Voimalat +nostoalueet (1,2 ha/voimala)	Huoltotiet (3,8 ha/voimala)	Sähkö- asemat (0,3 ha/20 voimalaa)	Yhteensä	% TV- alueiden pinta-alasta
TV1	94 200	994	1 193	3 728	15	4 920	5,2 %
TV2	76 300	241					
Yht.	170 500	1 235				4 920	



Kuva 21. TV1 alueiden maankäyttö, ha



Kuva 22. Sähkönsiirron johtoaukeiden maankäyttö, ha

Tuulivoimantuotannon ja sähkönsiirron rakentamisen ja toiminnan aikaiset CO₂e-päästöt

Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomaisehdotuksessa esitetyille tuulivoima-alueille rakennettavan tuulivoimantuotannon maksimipotentiaalin rakentamisen ja toiminnan CO₂e-päästöt (pois lukien maankäytön ilmastovaikutukset) ovat edellä mainittujen periaatteiden mukaisesti laskettuna noin **8 495 025 tCO₂e** koko tuulivoimaloiden oletetun 35 vuoden elinkaaren ajalla. 95 % näistä päästöistä muodostuu tuulivoimaloiden valmistus- ja asennusvaiheessa.

Päästöt laskettiin kertomalla tuulivoima-alueiden maksimipotentiaalin laskennallinen elinkaaren aikainen sähköntuotantomäärä päästökertoimella 5,5 gCO₂e/kWh. (Ks. sivut 15 ja 16)

Sähkönsiirron rakentamisen päästöt ovat noin **374 714 tCO₂e**. Sähkönsiirron rakentamisen päästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet on esitetty sivulla 17.

Todellisuudessa hankkeet toteutetaan vähitellen, joten päästöt jakaantuvat 35 vuotta pidemmälle aikavälille.

Taulukko 14. Kaavaehdotuksessa esitetyille tuulivoima-alueille rakennettavan tuulivoimantuotannon maksimipotentiaalin rakentamisen ja toiminnan CO₂e-päästöt sekä sähkönsiirron rakentamisen päästöt, pois lukien maankäytön ilmastovaikutukset.

Tuulivoima	tCO ₂ e/35a
TV1 Maatuulivoiman kyllä-alueet	4 783 625
TV2 Merialueet	3 711 400
Yhteensä	8 495 025
Sähkönsiirto	tCO ₂ e/35a
Ilmajohto 110 kV	57 450
Ilmajohto 400 kV	310 850
Maakaapeli	2 845
Merikaapeli	2 570
Yhteensä	373 714

Tuulivoimantuotannon ja sähkönsiirron maankäytön ilmastovaikutukset

Sivulla 18 kuvattujen periaatteiden mukaisesti laskettuna kaavaehdotuksen maatuulivoima-alueille rakennettavan maksimaalisen tuulivoiman ja sähkönsiirron aiheuttama kasvillisuuden hiilivarastojen menetys on yhteensä **606 750 tCO₂e**.

Rakentamisen aiheuttama metsien puuston hiilinielun menetys on 35 vuoden aikana yhteensä **585 224 tCO₂e** ja maaperän hiilinielun menetys yhteensä **80 259 tCO₂e**

Hiilinielun menetys kuvaa puuston ja maaperän hiilen määrää, joka ei pääse kasvamaan tarkastellun elinkaaren aikana.

Sähkönsiirron johtoaueilla kasvillisuuden hiilinielu palautuu osittain rakentamisen jälkeen, mutta aukea pidetään avoimena raivaamalla muutaman vuoden välein.

Hiilivarasto: Hiilivarastoja ovat muun muassa kasvillisuus, maaperä ja valtameret, joihin hiiltä on varastoitunut eri olomuotoina esimerkiksi biomassaan sitoutuneena. Hiilivarastot voivat ajoittain olla hiilen lähteitä, mikäli hiilivarastoista vapautuu ilmakehään enemmän hiiltä kuin sitä sitoutuu.
Hiilinielu: Hiilinielu tarkoittaa mitä tahansa prosessia, toimintaa tai mekanismia, joka sitoo hiilidioksidia ilmakehästä. Hiilinielun seurauksena hiilivarasto kasvaa.

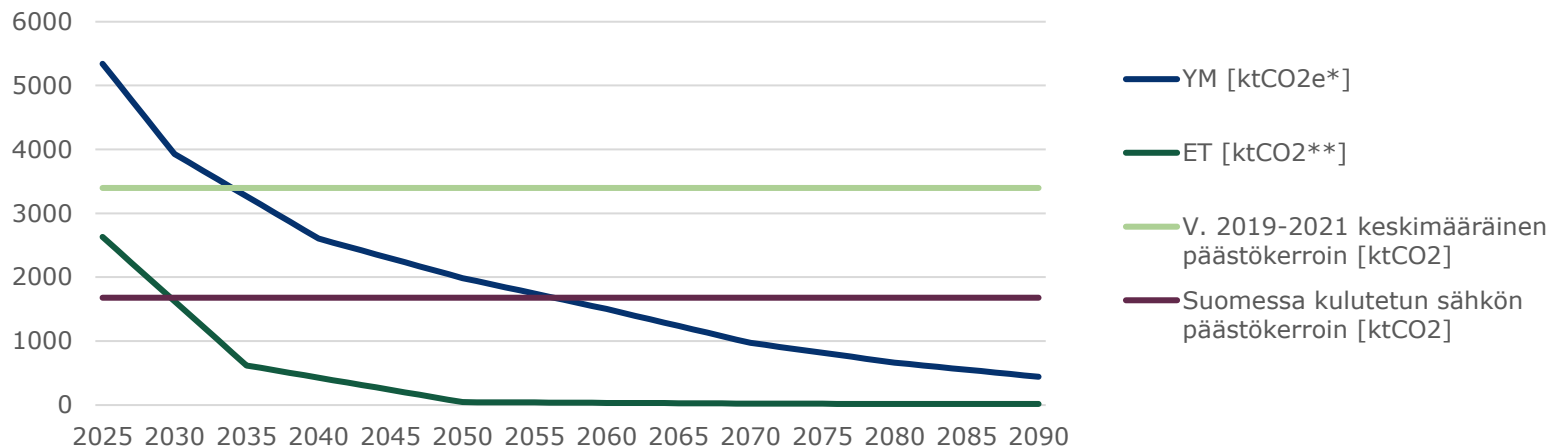
Taulukko 15. Kaavaluonnoksen maatuulivoima-alueille rakennettavan maksimaalisen tuulivoiman ja sähkönsiirron aiheuttama kasvillisuuden hiilivarastojen menetys

Kasvillisuuden hiilivarastojen menetys			
	Metsät, tCO ₂ e	Muut alueet, tCO ₂ e	Yhteensä, tCO ₂ e
TV1 alueet	282 085	90 895	372 980
Sähkönsiirto	205 203	28 567	233 770
			606 750

Taulukko 16. Kaavaluonnoksen maatuulivoima-alueille rakennettavan maksimaalisen tuulivoiman ja sähkönsiirron aiheuttama hiilinielujen menetys

	Metsien puuston hiilinielun menetys, tCO ₂ /a	Metsien maaperän hiilinielun menetys, tCO ₂ /a
TV1 alueet	9 679	1 327
Sähkönsiirto	7 041	966
Yhteensä, tCO ₂ /a	16 721	2 293
tCO ₂ , 35 vuoden elinkaaren aikana	585 224	80 259

Tuulivoiman tuottaman sähkön myönteiset ilmastovaikutukset



Kuva 23. Tuulivoimatuotannon vuosittainen päästövähennys eri sähkönpäästökertoimen skenaarioilla [ktCO2]

Taulukko 17. Kaavaehdotuksessa esitettyjen tuulivoima-alueiden maksimipotentiaalın sähköntuotannolla aikaansaatava päästövähennys eri sähkönpäästökertoimen skenaarioilla [ktCO2]

	Päästökerroin vaihteluväli v. 2025-2090 (kg/MWh)	Keskimääräinen vuosittainen päästövähennys 35 vuoden elinkaarella [ktCO ₂]	Päästövähennys 35 vuoden elinkaarella [ktCO ₂]
YM-skenaario	121 - 10	2 804	98 100
ET-skenaario	60 - 0	653	22 900
Suomessa kulutetun sähkön volyymipainotteinen päästökerroin v. 2023	38	1 677	58 700
Keskimääräinen sähköntuotannon päästökerroin (2019-2021)	77	3 398	118 900

- Tuulivoiman tuottama sähkön päästövähennys on esitetty oheisessa kuvaajassa ja taulukossa.
- Oletuksena sähkön tasainen vuosituotanto **44 130 GWh**.
- Todellisuudessa hankkeet toteutuvat vähitellen tulevina vuosina, jolloin päästövähennys ei ole näin suuri.
- Tuulivoimalla tuotetun sähkön tuoma päästövähennys on arvioitu vuositasolla ja 35 vuoden elinkaaren ajalta muutamalla eri sähkön päästökertoimella
 1. Tilastokeskus julkaisee kertoimia Suomen keskimääräisen sähköntuotannon CO₂-päästöille. Näistä laskettu kolmen viimeisen tilastovuoden (2019-2021) keskiarvo, jossa yhteistuotanto on jaettu energiamenetelmällä, on **77 kg CO₂/MWh**.
 2. Fingrid tilastoi ajantasaisesti Suomen sähkön kulutuksen ja tuotannon päästökertointa. Tässä käytetty kulutetun sähkön volyymipainotteista sähkön päästökertointa v. 2023, joka on **38 kg CO₂/MWh**.
 3. Ympäristöministeriön arvio sähkön päästökertoimen kehityksestä*
 4. Energiateollisuuden (ET) vähähiilisyystiekartassa esitetty skenaario**
- Vuosittainen päästövähennys on laskettu kertomalla tuulivoiman vuosituotanto 44 130 GWh kunkin skenaarion vuotuisella päästökertoimella, joka YM:n ja ET:n skenaariossa laskee kuvan 23 mukaisesti.

YM-skenaariossa yksikkönä on hiilidioksidiekvivalentti (CO₂e), muissa skenaarioissa yksikkö on hiilidioksidi (CO₂). Hiilidioksidiekvivalentilla tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen yhteismittaa, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen. ET-skenaario sekä muut päästökertoimet huomioivat vain hiilidioksidin, eivät muita kasvihuonekaasupäästöjä.

- Sähkön vähähiilistyessä tuulivoimalla tuotetun sähkön päästövähennys pienenee. Eri skenaarioilla halutaan tuoda esiin hankkeiden yhteisvaikutuksesta muodostuva Suomen sähköjärjestelmän muutos ja sen ennakoinnin vaikeus.
 - Toisaalta ilman investointeja päästöttömään sähkseen päästökerroin ei pienene ennustetusti
 - Mitä aikaisemmin hankkeet toteutuvat, sitä suurempi ilmastohyöty niistä saadaan
 - On myös hyvin vaikeaa ennustaa miten sähkön kysyntä muuttuu Suomessa tulevaisuudessa, jolla on myös suuri vaikutus sähkön päästökertoimeen.

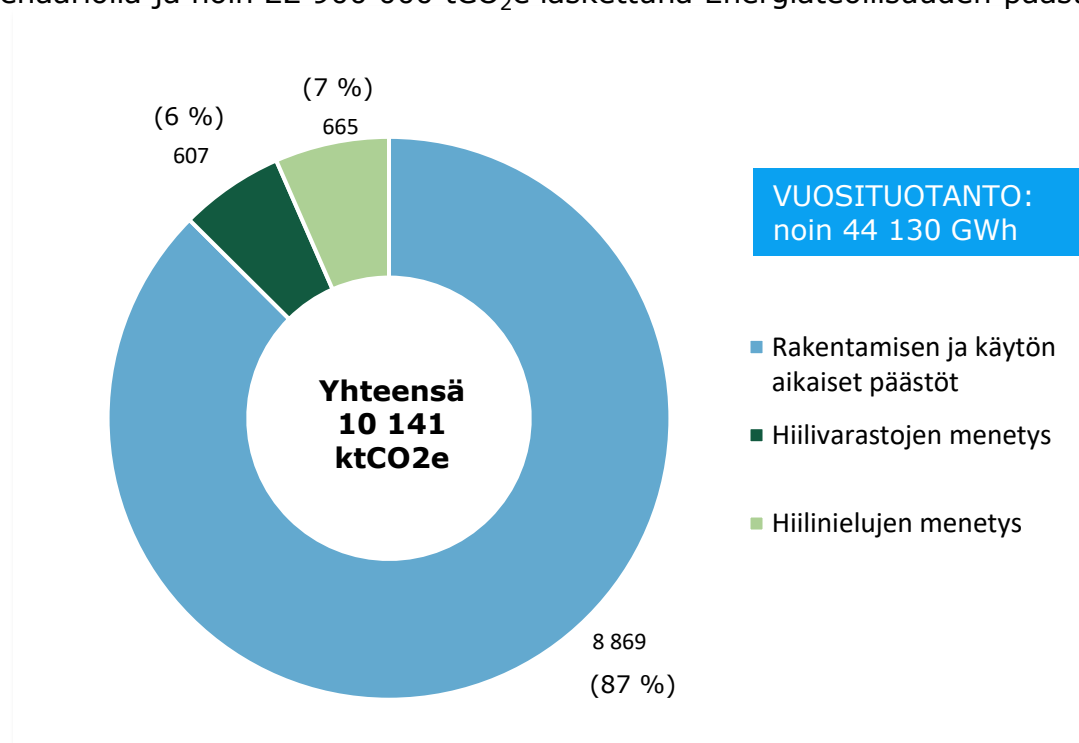
* Rakentamisen päästötietokanta, co2data.fi/rakentaminen. Skänaario perustuu julkaisuun Koljonen ym. 2019.

**Afry, 2020: Finnish Energy - Low carbon roadmap.

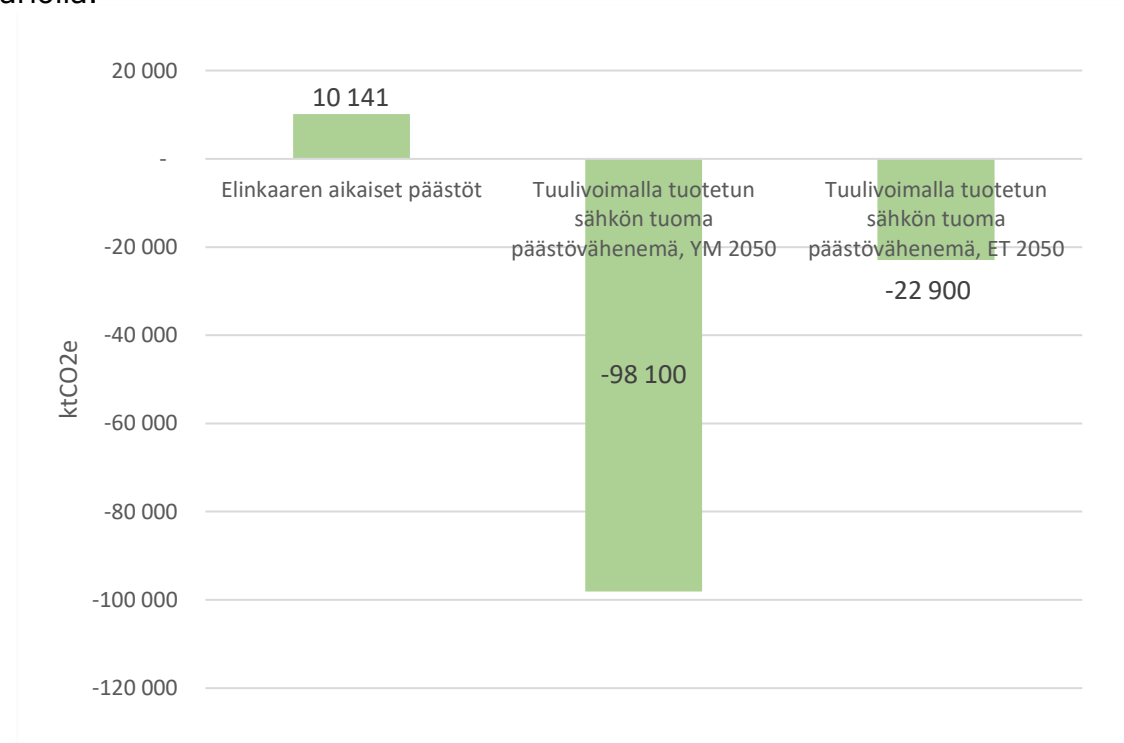
Tuulivoimantuotannon ja sähkönsiirron elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset

Kaavaehdotuksessa esitetyille kaava-alueelle rakennettavan tuulivoiman ja sähkönsiirron maksimipotentialin (yhteenlaskettu vuosituotanto noin 44 130 GWh) koko 35 vuoden elinkaaren aikaiset kielteiset ilmastovaikutukset yhteensä ovat n. 10 000 000 tCO₂e eli noin 7 gCO₂e/kWh (10 141 000 t CO₂e / (35 * 44 130 GWh)).

Puhtaan uusiutuvan energian tuotannosta aikaansaattava päästövähennys 35 vuoden elinkaaren aikana on noin 98 100 000 tCO₂e laskettuna YM-päästökerroin skenaariolla ja noin 22 900 000 tCO₂e laskettuna Energiategollisuuden päästöskenaariolla.



Kuva 24. Tuulivoiman ja sähkönsiirron kielteiset ilmastovaikutukset yhteensä, ktCO₂e



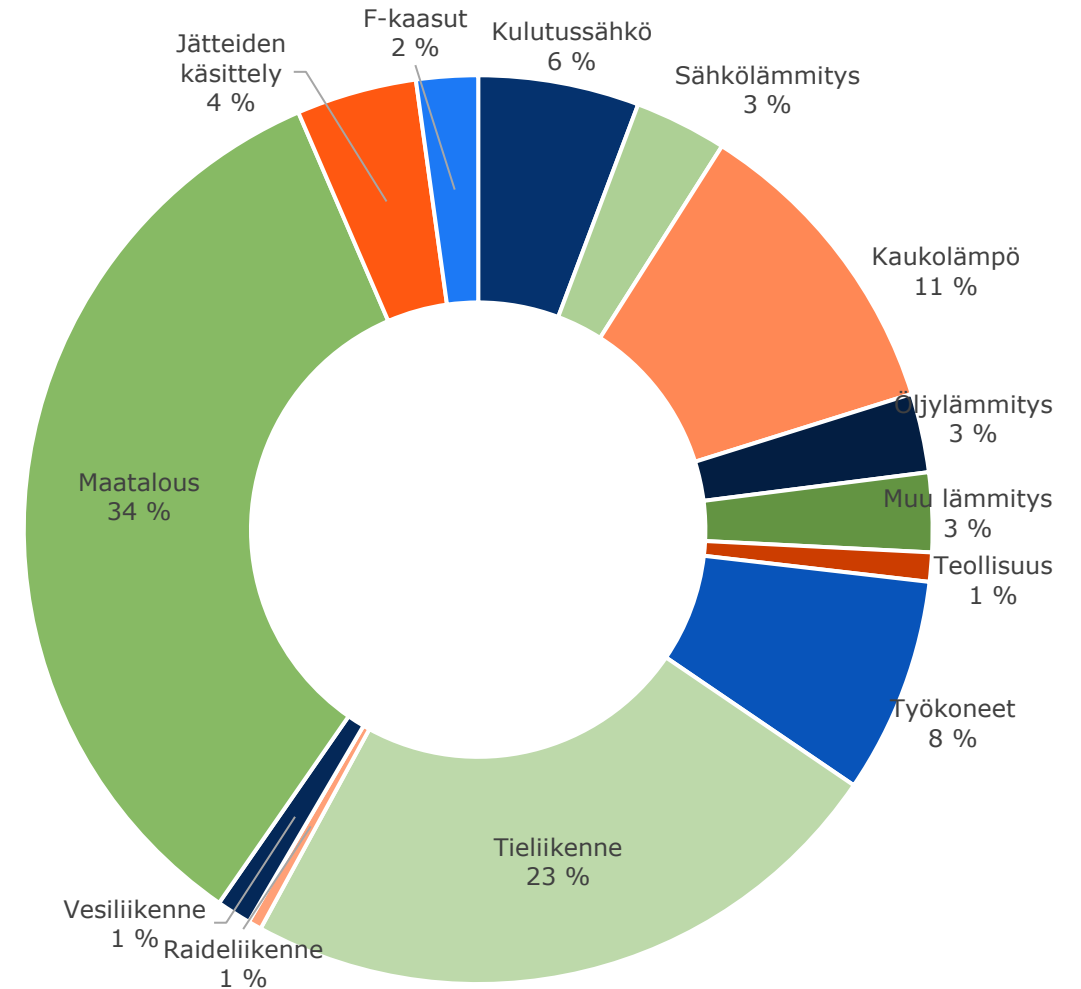
Kuva 25. Tuulivoiman ja sähkönsiirron elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset

Tulosten suhteutus

Pohjois-Pohjanmaan maakunnan taakanjakosektorin kokonaispäästöt vuonna 2021 olivat 3 047 000 tCO₂e. Kaavaehdotuksessa esitetyille tuulivoima-alueille rakennettavan tuulivoiman maksimipotentiaalin vuotuiset päästöt (= koko elinkaaren päästöt jaettuna 35 vuodelle) vastaavat 8 % maakunnan kokonaispäästöistä (pl. maankäytön ilmastovaikutukset).

Toisaalta kaavaluonnoksessa esitetyille tuulivoima-alueille rakennettavan tuulivoiman tuottaman sähkön päästövähennyspotentiaali vastaa noin 62 % maakunnan kokonaispäästöistä laskettuna YM-päästökerroinskenaariolla ja noin 12 % maakunnan kokonaispäästöistä laskettuna Energiateollisuuden päästöskenaariolla. Arvioinnissa huomataan, että eri päästöskenaariot poikkeavat toisistaan huomattavasti, mikä vaikuttaa lopputulokseen.

Hinku-laskentamenetelmä: Kuntien tavoitteiden seurantaan tarkoitettu oletuslaskentamalli. Ei sisällä päästöhvytyksiä, päästökauppaan kuuluvien teollisuuslaitosten polttoaineiden käyttöä, teollisuuden sähkönkulutusta, teollisuuden jätteiden käsittelyn päästöjä eikä kuorma-, paketti- ja linja-autojen läpiajoliikennettä. Lähde: <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>



Kuva 26. Päästöjakauma vuonna 2021 Pohjois-Pohjanmaalla ns. Hinku-laskentamenetelmällä

Työpaketti II **Aurinkovoimatuotannon tarkastelu**

Aurinkoenergiatuotannon ilmastovaikutuksien tarkastelu koko elinkaaren ajalta yleistasolla

Tekniset tiedot ja selitteet

Maa-asenteisen aurinkovoimalan keskeisimmät osat ovat:

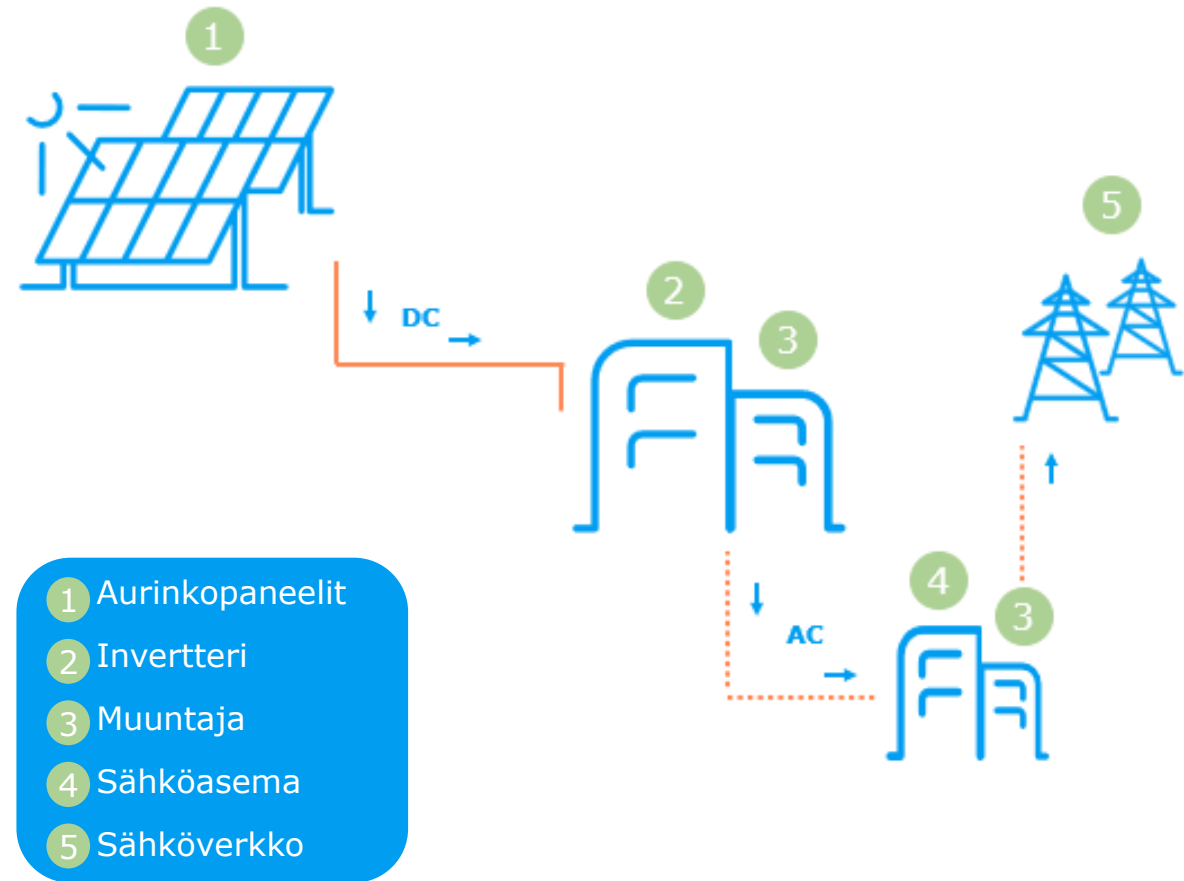
Aurinkopaneelit: Aurinkopaneelit eli aurinkokennot muodostavat aurinkovoimalan ydinosaan. Ne koostuvat useista aurinkokennoista, jotka muuntavat auringonvalon suoraan sähkövirraksi. Aurinkopaneelit asennetaan tavallisesti teräksestä tai alumiinista valmistettuihin [telineisiin](#), joka asennetaan maahan joko painojen tai erilaisten maahan upotettavien paalujen avulla.

Invertterit: Aurinkopaneelien tuottama tasavirta (DC) muunnetaan vaihtovirraksi (AC) inverttereillä.

Muuntaja: Aurinkovoimalan sähköenergia voidaan muuntaa eri jännitetasoille muuntajan avulla. Muuntaja nostaa tai laskee sähkön jännitettä tarpeen mukaan ennen sen syöttämistä sähköverkkoon.

Sähköverkon liitântä: Aurinkovoimala on kytketty sähköverkkoon, jotta tuotettu sähkö voidaan syöttää sähkönjakeluverkkoon ja hyödyntää kulutuksessa. Kytchentä toteutetaan usein sähköaseman kautta.

Sähköasema vastaa aurinkovoimalan tuottaman sähkön muuntamisesta, jakelusta ja hallinnasta. Teollisen kokoluokan aurinkovoimala kytketään yleensä valtakunnalliseen tai alueelliseen sähköverkkoon.



Kuva 27. Maa-asenteisen aurinkovoimalan keskeisimmät osat

Yleistä aurinkopuistojen rakenteesta

Aurinkovoimalassa aurinkokennopaneelit kootaan suuremmiksi kokonaisuuksiksi (moduuleiksi). Maa-asenteiset paneelimuodulit asennetaan tyypillisesti itä-länsi-suuntaan paneeliriveiksi siten, että aurinkokenno on suunnattu etelään. Rivit voivat muodostua kiinteäasenteisista telinejärjestelmistä tai aurinkoa kohden suuntautuvista Tracker-järjestelmistä.

Paneelien rivijako ja paneelikulma valitaan aurinkopaneelimallin, käytävissä olevan tilan sekä optimaalisen kulman aurinkoon nähden (asennuskulman) mukaan. Maa-asenteisissa järjestelmissä paneelien kallistuskulma vaihtelee tyypillisesti 10-40 asteen välillä. Paneeleja voidaan asentaa telineisiin useampi päällekkäin eli paneelimuodulin korkeus voi vaihdella suurestikin asennustavasta riippuen.

Asennusjärjestelminä käytetään maaperän mukaisia paaluja (putki- tai pehmeällä maaperällä ruuvipaalu), painollisia ja/tai maa-/kalliopilarijärjestelmiä.

Hankealueelta poistetaan paneeleja varjostava sekä vahingoittava kasvillisuus ja puusto aurinkopaneelien parhaan mahdollisen sähköntuotannon tuottamiseksi. Aurinkovoimala-alue tyypillisesti aidataan henkilöturvallisuuden, eläinvahinkojen sekä ilkivallan estämiseksi.

Hankealueelle rakennetaan usein huolto- ja pelastustietä. Huolto- ja pelastustiet ovat noin 4 metriä leveitä, ja niille rakennetaan maaperän mukaiset rakennekerrokset, joiden paksuus vaihtelee maalajin mukaan. Ajouria tarvittaessa vahvistetaan maaperän mukaisilla geoteknisillä rakenteilla.



Kuva 28. Aurinkovoimala
(Kuvan lähde: Rambollin kuvapankki)

Teollisen aurinkovoimatuotannon elinkaarenaikaiset ilmastovaikutukset

Aurinkovoimantuotannon elinkaari muodostuu rakennusvaiheesta, käyttövaiheesta ja käytöstä poistosta. Aurinkovoimantuotannon ilmastovaikutukset painottuvat voimalan rakennus- ja käyttöönottovaiheeseen, jolloin voimala-alue muokataan aurinkovoimantuotantoon soveltuvaksi. Käytönaikaiset ilmastovaikutukset ovat aurinkovoimantuotannossa vähäisiä. Aurinkoenergiaan perustuva sähköntuotanto ei aiheuta kasvihuonekaasu- tai muita savukaasupäästöjä.

Aurinkovoimalan purusta vastaa lähtökohtaisesti voimalan omistaja. Käytöstä poiston jälkeen voimalan osat myydään jälkimarkkinoille tai kierrätetään. Aurinkopaneelien kierrätyksessä voidaan saavuttaa noin 95 % kierrätysaste.

Rakennusvaihe (n. 1-3 vuotta)



- Paneelien tuotanto
- Puuston ja kasvillisuuden poisto aurinkovoimaloiden alueelta ja n. 30 metrin matkalla reunimmaisista paneeleista
- Maanmuokkaustyöt kuten alueen tasaus, tiestön rakennus
- Tarvittavien sähkölinjojen rakennus
- Muuntamoiden ja sähköasemien perustukset
- Aurinkopaneelien perustukset ja paneelien kuljetus alueelle (porapaalut tai painollinen asennus)
- Alueen aitaus

Käyttö (n. 20-40 vuotta)



- Kasvillisuuden poisto esimerkiksi säännöllisellä niitolla
- Inverttereiden vaihto n. 15 vuoden välein
- Satunnaiset huoltokäynnit huoltoajoneuvoilla
- Aluevalvonta
- Paneelien puhdistaminen
- Uusiutuvan sähkön tuotanto

Käytöstä poisto (n. 1 vuosi)



- Kaikkien aurinkovoimalan komponenttien (paneelit perustuksineen, aidat ja muuntamot) poisto alueelta.
- Paneelien, telineiden ja aitojen uudelleenkäyttö tai materiaalikierrätys.
- Muiden rakenteiden purku ja poisto alueelta
- Tiestön ja sähkölinjat jätetään tyypillisesti alueelle mutta tarvittaessa poistetaan
- Alueen entisöinti tai jälkikäyttö

Teollisen aurinkovoimatuotannon ympäristövaikutusten huomiointi

MAAPOHJA JA MAANPEITE



Kasvillisuuden poistolla vaikutus alueen luontoon. Massanvaihdot alueella voivat hankaloittaa alueen entisöintiä ja jälkikäyttöä.

LINNUSTO



Tutkittua tietoa aurinkovoiman vaikutuksista linnustoon on rajoitetusti. Aurinkovoimalla on kuitenkin vaikutuksia lintuihin etenkin muuttamalla niiden elinympäristöä.

EKOLOGISET YHTEYDET JA ELINYMPÄRISTÖT



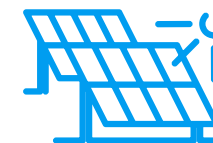
Sijoittelussa huomioitava ekologiset yhteydet, elinympäristöjen pirstaloituminen ja vaikutukset ekosysteemeihin.

HIRVIELÄIMET JA MUUT NISÄKKÄÄT



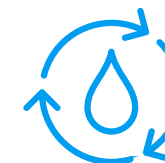
Voimaloiden aitarakenteet estävät suurikokoisten nisäkkäiden liikkumisen alueen läpi.

MAISEMA



Aurinkovoimalat ovat matalia mikä vähentää maisemavaikutuksia. Vaikutuksia voidaan myös rajata ympäröivällä kasvillisuudella ja voimalan sijoittelulla.

VESISTÖT JA POHJAVESIALUEET

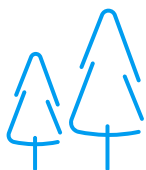


Pohjavesialueet tulee ottaa huomioon voimalan suunnittelussa ja rakennusvaiheessa. Aurinkovoiman vaikutus vesistöihin vähäistä.

Tarkasteltavat maankäyttömuodon alueet

Luonnontilaisia ja suojeltuja alueita tulee välttää teollisen aurinkoenergian tuotantoalueiden sijoittelussa. Tässä työssä on tarkasteltu aurinkovoimalan sijoitusta neljänlaiseen maastotyyppiin: metsämaastoon, pelto ja niittymaille, entisille turvetuotantoalueille sekä joutomaille.

01



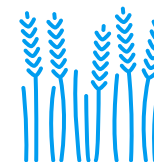
Metsämaasto

Aurinkovoimantuotanto edellyttää puuston ja kasvillisuuden poistoa alueelta millä on merkittävä vaikutus alueeseen.

Varjostava puustoa joudutaan poistamaan myös voimala-alueen ympäriltä. Kantojen poistaminen alueelta ei ole aina välttämätöntä. Aurinkopaneelien alla ja ympärillä voi kasvaa matalana pysyvää tai matalana pidettävää kasvillisuutta.

Metsäalueella viheralueiden ja luonnon pirstoutuminen voi ajaa lajeja pois, mutta toisaalta aurinkovoimala-alue voi myös tarjota uudenlaisen elinympäristön ja edistää näin alueen monimuotoisuutta.

02



Pelto ja niittymaa

Aurinkovoimalat tulisi ensisijaisesti sijoittaa aktiivisesta viljelystä poistuneille tai huonosti tuottaville peltomaille.

Mikäli aurinkopuisto sijoitetaan viljelykäytössä olevalle alueelle, olisi tärkeää, että alue voidaan palauttaa maatalouskäyttöön energiatuotannon loputtua. Aurinkovoimantuotanto voidaan myös yhdistää viljelyyn kuten on tehty mm. Saksassa, Italiassa ja Ranskassa. Joillekin viljelykasveille aurinkopaneelien tuomasta varjosta voi olla jopa hyötyä.

Peltoalueilla on yleensä käytössä maaperän kuivatusjärjestelmä perustuen joko avo- tai salaojiin. Nämä hyödyttävät myös aurinkovoiman sijoittamista alueelle.

Aurinkovoima-alue voi soveltua hyvin niittykasveille. Kasvillisuudesta ei ole haittaa aurinkovoimantuotannolle jos kasvillisuus ei varjosta paneeleja. Kasvillisuus voi jopa edesauttaa sähköntuotantoa sitomalla maata ja vähentämällä alueen pölyämistä.

Tarkasteltavat maankäyttömuodon alueet

Luonnontilaisia ja suojeltuja alueita tulee välttää teollisen aurinkoenergian tuotantoalueiden sijoittelussa. Tässä työssä on tarkasteltu aurinkovoimalan sijoitusta neljänlaiseen maastotyyppiin: metsämaastoon, pelto ja niittymaille, entisille turvetuotantoalueille sekä joutomaille.

03



Entiset turvetuotantoalueet

Entiset turvetuotantoalueet soveltuvat aurinkoenergian tuotantoalueiksi.

Turvetuotannon loputtua alueelle tehtävät toimet riippuvat siitä mikä on alueen jälkikäyttötarkoitus. Erilaisia jälkikäyttömuotoja ovat esimerkiksi metsitys, viljely, kosteikkojen perustaminen ja suon ennallistaminen. Myös aurinkovoimantuotanto on yksi jälkikäyttövaihtoehto. Aurinkovoimantuotannon päätyttyä alueen jälkikäyttö tulee miettiä vastaavasti kuin turvetuotannon päätyttyä.

Entiset turvetuotantoalueet sijaitsevat usein syrjässä. Aluilla ei ole tyypillisesti merkittäviä luontoarvoja tai puustoa ja alueet ovat valmiiksi tasaisia.

Aurinkovoiman sijoittaminen entisille turvetuotantoalueille ei usein edellytä uusia ojituksia. Jo olemassa olevia ojituksia voidaan osittain peittää tai niitä voidaan joissain määrin joutua siirtämään.

04



Joutomaat

Aurinkovoimantuotanto ei edellytä puuston ja kasvillisuuden poistoa alueelta.

Joutomaille syntyvät elinympäristöt eli ruderaatit syntyvät usein kaupunkiolosuhteisiin puuttomille alueille. Joutomailla tarkoitetaan tässä raportissa käytöstä poistettua, kulutuksen vuoksi avointa aluetta, jolla ei ole selkeää käyttötarkoitusta, kuten pilaantuneet maat, käytöstä poistetut maanottoalueet tai entiset kaatopaikat.

Joutomailla voi esiintyä yllättäviä luontoarvoja, jolloin voidaan mahdollisesti ajaa lajeja pois, mutta toisaalta aurinkovoimala-alue voi myös tarjota uudenlaisen elinympäristön ja edistää näin alueen monimuotoisuutta. Niiden kasvillisuus muodostuu alueen historian, lähialueiden kasvillisuuden ja maan ominaisuuksien perusteella.

Alueiden kasvillisuus on niin sanottua spontaania kasvillisuutta osana alueen niittyverkostoa, joka tarjoaa elinympäristön lintujen, matelijoiden lisäksi myös hyönteisille.

Laskentaperiaatteet – teollisen aurinkovoimantuotannon ilmastovaikutukset

Teollisen aurinkoenergiatuotannon ilmastovaikutuksia arvioitiin koko elinkaaren ajalta huomioiden myönteiset ja kielteiset ilmastovaikutukset yleistasolla.

Aurinkovoiman päästöt laskettiin **1 hehtaarin** voimala-alueetta kohden.

Lisäksi erikseen arvioitiin puhtaan uusiutuvan energian tuotannolla aikaansaataavaa päästövähennemää, eli aurinkovoimantuotannon positiivisia ilmastovaikutuksia.

Arvioinnissa laskettiin muualle kuin rakennuskannan yhteyteen rakennettavaa aurinkovoimantuotantoa.

Aurinkovoimaloiden elinkaaren pituudeksi oletettiin **30 vuotta**.

Ilmastovaikutusten arviointia varten määritettiin Rambollin aurinkovoima-asiantuntijan kanssa tyypillisen aurinkovoimalan parametrit, jotka on esitetty taulukossa alla. Parametrit perustuvat 12 olemassa tai suunnitteilla olevan aurinkovoimalan tietoihin eri puolilta Suomea.

Taulukko 18. Tyypillisen aurinkovoimalan parametrit

Aurinkovoimalan koko ja tuotanto	1 ha	
Alueen koosta paneelialaa	40	%
Paneelimäärä / ha	1 300	kpl/ha
Vuosituotanto keskimäärin	1060 742	MWh/MW MWh/ha
Huoltotiet / ha	90	m
Paneelien tuotantotehon vuosittainen lasku	0,5	%
30 vuoden elinkaaren aikainen tuotanto	20 719	MWh/ha

Laskentaperiaatteet – rakentamisen CO₂e-päästöt

Teollisen aurinkovoiman rakentamisen aikaisissa ilmastovaikutuksista huomioitiin aurinkopaneelien, paneelitelineiden sekä huoltoteiden materiaalien ja kuljetusten aiheuttamat CO₂e-päästöt. Päästökertoimien lähteet ja kuljetusoletukset on esitetty alla olevassa taulukossa.

Kuljetusten päästökertoimina käytettiin rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokannan* kuljetuspäästökertoimia.

Aurinkovoimalat liitetään koosta riippuen kantaverkkoon tai sähköasemaan. Sähköaseman päästöt jätettiin tarkastelun ulkopuolelle soveltuvan päästökertoimen puutteen vuoksi. Sähköaseman osuuden kokonaispäästöistä oletetaan kuitenkin olevan vähäinen.

Taulukko 19. Aurinkovoimantuotannon rakentamisen päästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet ja oletukset

Oletukset	
Aurinkopaneelit	Aurinkopaneelien päästökertoimena käytettiin rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokannan päästökerrointa 10,79 kgCO ₂ e/kg. Lisäksi laskettiin paneelien laivakuljetus Kiinasta Ouluun sekä 100 km maantiekuljetus.
Paneelitelineet	Paneelitelineille ei löytynyt päästökerrointa julkisista päästötietokannoista, joten paneelitelineiden päästöt laskettiin telineiden pääasiallisten materiaalien (teräs, alumiini, painollisissa telineissä myös betoni) päästökertoimien avulla, jotka saatiin rakentamisen ja infrarakentamisen- ja ICE Database -tietokannoista. Telineitoimittaja Finnwindiltä saatiin tiedot kolmen tyyppillisen maa-asenteisen telinemallin materiaalimääristä paneelineliötä kohden, ja näistä materiaalimääristä laskettiin keskiarvo. Lisäksi laskettiin maantiekuljetus, oletuksena 500 km kuljetusmatka (Lempäälä-Oulu).
Huoltotiet	Huoltotiet oletettiin rakennettavan kalliomurskeesta, jolle käytettiin rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokannan päästökerrointa. Oletuksena 4 m leveä huoltotie, jossa 0,75 m paksu murskekerros. Lisäksi laskettiin maantiekuljetus, oletuskuljetusmatka 50 km.

* Rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokanta CO2data.fi-palvelu tarjoaa puolueetonta dataa Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ja -palvelujen ilmastovaikutuksista. Palvelusta vastaa Suomen ympäristökeskus SYKE ympäristöministeriön toimeksiannosta ja se on kaikille avoin ja maksuton.

Laskentaperiaatteet – maankäytön muutosten ilmastovaikutukset

Aurinkovoiman rakentamisen aiheuttamien maankäytön muutosten ilmastovaikutuksia, eli rakennettavilta alueilta poistuvien hiilivarastojen ja -nielujen suuruutta, tarkasteltiin valittujen maankäyttömuotojen (metsämaa, pelto- ja niittymaa, entinen turvetuotantoalue, joutomaa) osalta.

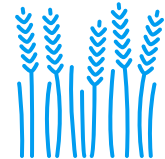
Arvioinnissa käytettiin samoja periaatteita kuin tuulivoimantuotannon maankäytön ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Metsien hiilivarastojen ja -nielujen suuruus arvioitiin perustuen LUKE:n tilastoihin puuston keskitilavuudesta (102 m³/ha) ja vuotuisesta kasvusta (3,5 m³/ha/a) Pohjois-Pohjanmaalla sekä oletukseen, että 1 m³ puuta varastoi n. 750 kg hiilidioksidia.

Muilta maankäyttömuodoilta poistuvan kasvillisuuden hiilivaraston suuruus arvioitiin hyödyntämällä Alueellisen hiilitaseen laskentatyökalun (Simosol Oy & Ramboll, 2014) kertoimia eri maankäyttöluokkien hiilivarastojen suuruudesta.

Laskentatyökalun mukaan pellon ja turvetuotantoalueen kasvillisuuden hiilivarasto on 0. Joutomaiden kasvillisuuden hiilivaraston suuruutta ei laskurissa ole määritetty.

Maaperän hiilivaraston muutoksiin liittyy paljon epävarmuuksia siitä, mitä maaperän hiilivarastolle tapahtuu rakentamisen myötä. Tästä syystä maaperän hiilivarastojen muutosta ei arvioitu vaan maaperän osalta tarkasteltiin vain metsämaan maaperän hiilinielun menetystä. Metsämaan maaperän vuotuisen hiilinielun suuruudeksi oletettiin keskimäärin 36 gCO₂/m² (Lindroos ym. 2022).

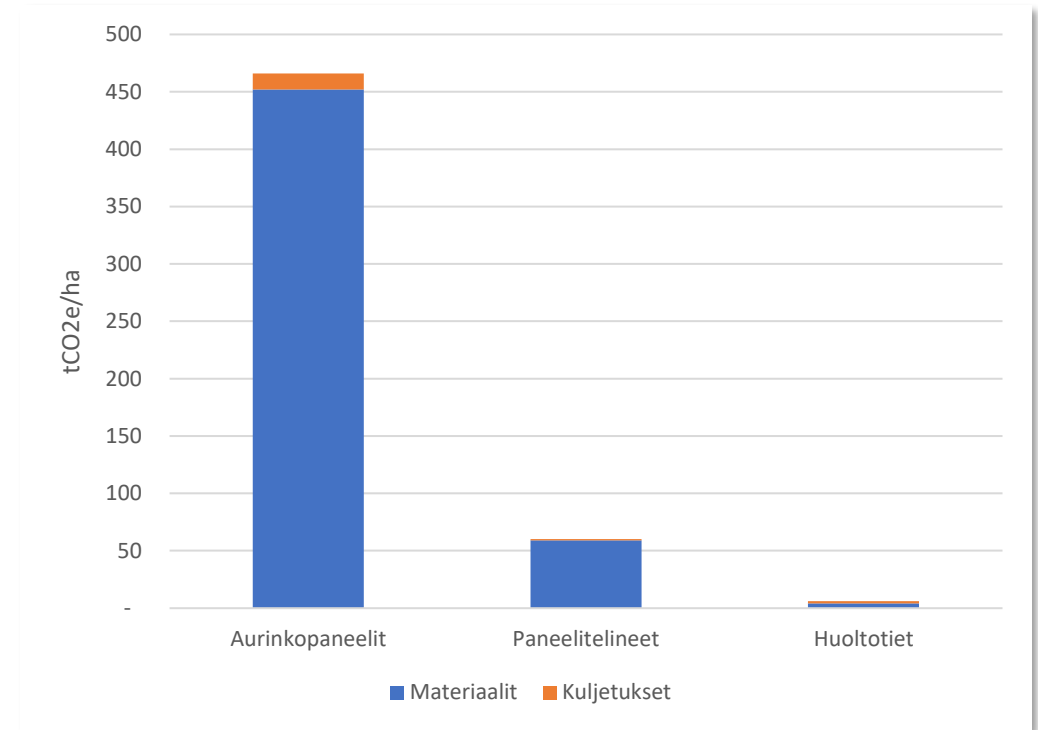


Aurinkovoiman rakentamisen CO₂e-päästöt

Hehtaarin kokoisen aurinkovoimalan materiaalien valmistuksen ja kuljetuksen päästöt ovat yhteensä noin 531 tCO₂e.

Aurinkovoimalan rakentamisen päästöistä aurinkopaneelit aiheuttavat suurimman osan, n. 88 % päästöistä, paneelilinjat noin 11 % ja huoltotiet noin 1 %.

Aurinkopaneelien valmistuksen ja kuljetuksen päästöt ovat yhteensä noin 465 tCO₂e, josta paneelien valmistus muodostaa valtaosan. Paneelilinjien valmistuksen ja kuljetuksen päästöt ovat noin 60 tCO₂e / ha. Aurinkovoimalan huoltotien rakentamisessa tarvittavan murskeen valmistus- ja kuljetuspäästöt ovat noin 6 tCO₂e / ha.



Kuva 29. Aurinkovoimalan materiaalien ja kuljetusten päästöt hehtaaria kohden (tCO₂e/ha)

Aurinkovoiman rakentamisen aiheuttaman maankäyttömuutoksen ilmastovaikutukset

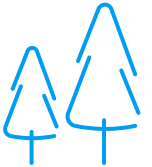
Metsämaa

Metsämaalla aurinkovoimantuotanto edellyttää puuston ja kasvillisuuden poistoa alueelta, millä on merkittävä vaikutus alueen hiilivarastoihin.

Pohjois-Pohjanmaalla metsien puuston keskimääräinen hiilivarasto on n. 76,5 tCO₂e/ha.

Aurinkovoimaloiden oletetun 30 vuoden elinkaaren aikana menetettävä metsän kasvillisuuden hiilinielun suuruus on lisäksi n. 79 tCO₂e/ha ja menetetty maaperän hiilinielun suuruus n. 11 tCO₂e/ha

Varjostavaa puustoa voidaan joutua poistamaan myös voimala-alueen ympäriltä, joten hiilivarastojen ja -nielujen menetykset voivat olla edellä laskettuja suuremmat.

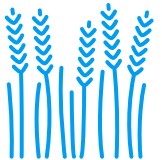


Pelto- ja niittymaa

Pelloilla kasvillisuuden hiilivaraston suuruus on 0, sillä suurin osa kasvillisuudesta poistetaan vuosittain, kun sato korjataan. Myös hoidetuilta niityiltä kasvillisuus niitetään vuosittain.

Aurinkovoima-alue voi soveltua hyvin niittykasveille. Kasvillisuudesta ei ole haittaa aurinkovoimantuotannolle, jos kasvillisuus ei varjosta paneeleja.

Kun aurinkovoimala perustetaan pelto- tai niittymaalle, alueen kasvillisuuden hiilivarastoissa ja -nieluissa ei välttämättä tapahdu kovin merkittävää muutosta.



Aurinkovoiman rakentamisen aiheuttaman maankäyttömuutoksen ilmastovaikutukset

Entiset turvetuotantoalueet

Entiset turvetuotantoalueet ovat avoimia ja puuttomia alueita, joilla kasvillisuuden hiilivarasto on 0.

Turvetuotantoalueiden jälkikäyttö Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa -selvityksen (Kittamaa ja Tolvanen, 2015) mukaan ilman jälkitoimenpiteitä, kuten maanmuokkaus ja lannoitus, tuotannosta poistunut turvetuotantoalue pysyy kasvipeitteettömänä vuosia, koska jäljelle jäänyt turvekerros on sekä rakenteeltaan että ravinnetaloudeltaan epäedullinen puiden ja muiden kasvien alkukehitykselle. Selvityksen mukaan turvetuotantoalueiden jälkikäytössä olennaisinta olisi saada käytöstä poistuneet alueet mahdollisimman kokonaisvaltaisesti kasvi- tai vesipeitteellisiksi, sillä paljas turve-/kivennäismaapinta toimii pahimmassa tapauksessa kasvihuonekaasujen lähteenä sekä aiheuttaa ravinne- ja kiintoainevirtaamia.

Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa -raportin mukaan entiset turvetuotantoalueet sopivat hyvin myös aurinkovoimaloiden perustamiseen, mutta silloinkin turpeen pintaan tulisi syntyä kasvillisuutta, jotta sekä jäännösturpeen hajoamisen kasvihuonekaasupäästöt että pintaturpeen eroosio pienenisivät.

Joutomaa

Joutomailla tarkoitetaan tässä raportissa käytöstä poistettua, kulutuksen vuoksi avointa aluetta, jolla ei ole selkeää käyttötarkoitusta, kuten pilaantuneet maat, käytöstä poistetut maanottoalueet tai entiset kaatopaikat.

Joutomaiden hiilivarastojen suuruutta on vaikea arvioida, mutta koska ne ovat avoimia, puuttomia alueita, niiden kasvillisuuden hiilivarasto ei ole kovin merkittävä.

Koska joutomaat ovat avoimia alueita, aurinkovoimantuotanto ei edellytä puuston ja kasvillisuuden poistoa alueelta, eikä näin ollen aiheuta merkittäviä muutoksia alueen hiilivarastoihin.

Aurinkovoimalan alueella voi kasvaa matalaa kasvillisuutta.



Aurinkovoimalan käytön ja käytöstä poiston aikaiset CO₂-päästöt

Käytön aika

Aurinkovoimalan käytön aikaiset CO₂-päästöt ovat vähäisiä, sillä voimaloiden huoltotarve on vähäistä. Aurinkovoimalan käytön aikana kasvillisuus pidetään matalana esimerkiksi niittämällä säännöllisesti. Alueella tehdään satunnaisia huoltokäyntejä huoltoajoneuvolla.

Käytön aikaisten päästöjen suuruutta on vaikea arvioida.

Elinkaaren loppu

Kun aurinkovoimalan käytöstä poiston jälkeen voimalan osat myydään jälkimarkkinoille tai kierrätetään. Rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokannan mukaan aurinkopaneelien elinkaaren lopussa jätteenkäsittelystä aiheutuvat päästöt (elinkaaren vaihe C3) ovat 0,5 kgCO₂e/kg, mutta materiaalien kierrätyksestä saatavat hyödyt (D1) -0,51 kgCO₂e/kg ja energian talteenotosta saatavat hyödyt (D2) -0,02 kgCO₂e/kg.

Hehtaarin kokoisen aurinkovoimalan paneelien jätteenkäsittelystä aiheutuvat päästöt olisivat siis noin 21 tCO₂e, mutta materiaalien kierrätyksestä ja energiahyödyntämisestä saatavat hyödyt yhteensä n. 22 tCO₂e.

Elinkaaren loppupään päästöihin liittyy kuitenkin paljon epävarmuuksia, sillä se sijoittuu pitkälle tulevaisuuteen.

Taulukko 20. Infrahankkeiden elinkaaren vaiheet (Väylävirasto, 2023)

Elinkaaren vaihe				
A1-A3	A4-A5	B1-B8	C1-C4	D
Tuotevaihe	Rakentamisvaihe	Käyttövaihe	Elinkaaren loppuvaihe	Potentialiset hyödyt ja haitat

Aurinkovoiman tuotannon elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset

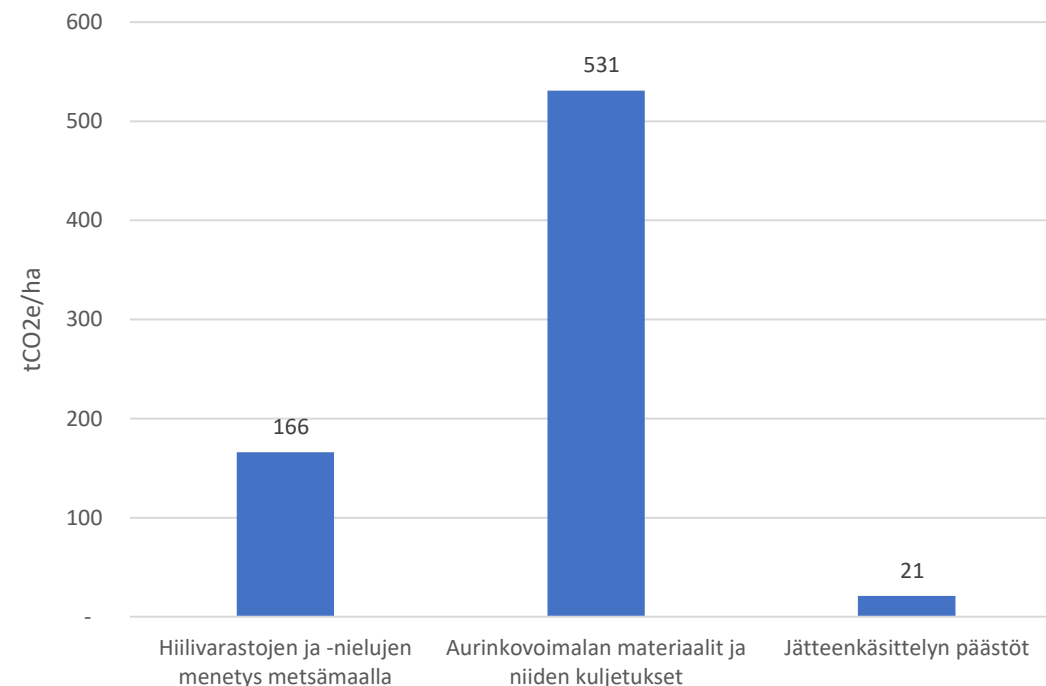
Aurinkovoimalan materiaalien valmistamisen ja kuljetusten hiilijalanjälki on noin 531 tCO₂e/ha.

Metsämaalla aurinkovoiman rakentamisen aiheuttama hiilivarastojen ja -nielujen menetys on noin 166 tCO₂e/ha. Muilla tarkastelluilla alueilla hiilivarastoihin ja -nieluihin ei kohdistu merkittäviä vaikutuksia.

Jätteenkäsittelyn päästöt elinkaaren aurinkovoimalan elinkaaren loppuvaiheessa ovat noin 21 tCO₂e/ha.

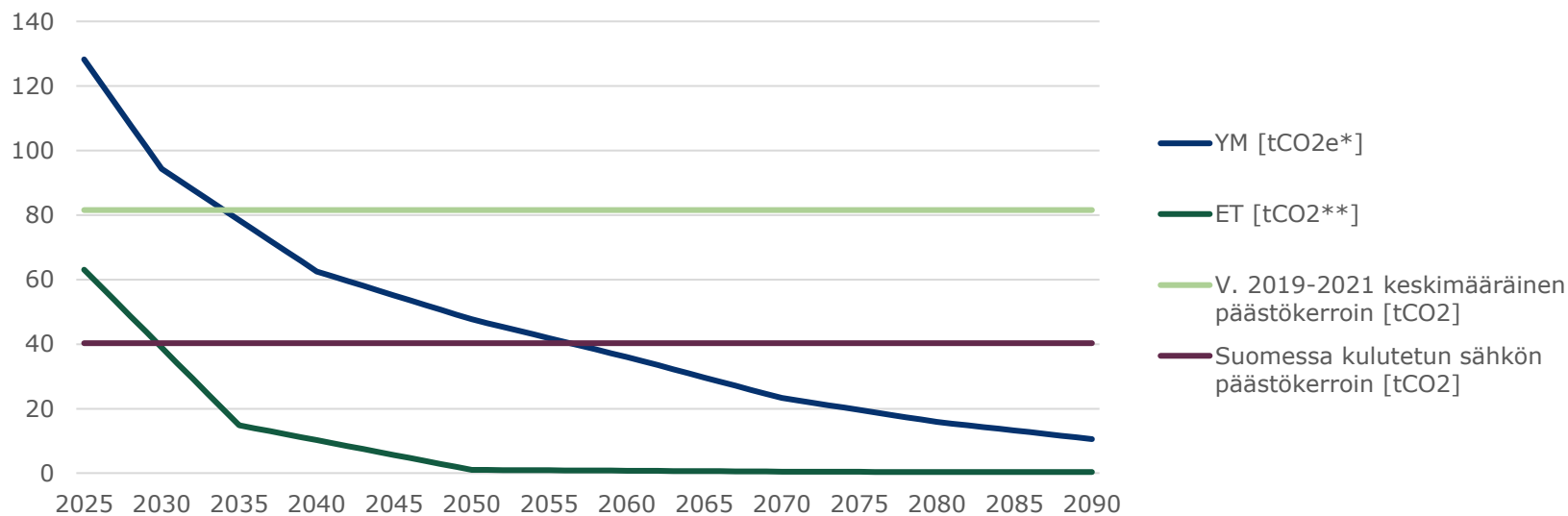
Näin ollen aurinkovoiman rakentamisen elinkaaren aikaiset päästöt ovat yhteensä noin 718 tCO₂e/ha metsämaalla ja noin 552 tCO₂/ha pelto- ja niittyalueilla, entisillä turvetuotantoalueilla ja joutomailla.

Aurinkovoiman tuotannon päästöt koko elinkaaren aikaan sähköntuotantoon suhteutettuna olisivat metsämaalla noin **35 gCO₂e/kWh** ja noin **27 gCO₂e/kWh** pelto- ja niittyalueilla, entisillä turvetuotantoalueilla ja joutomailla.



Kuva 30. Aurinkovoiman tuotannon elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset hehtaaria kohden (tCO₂e/ha)

Aurinkovoiman tuotannon myönteiset ilmastovaikutukset



Kuva 31. Aurinkovoimatuotannon vuosittainen päästövähennys eri sähkönpäästökertoimen skenaarioilla [tCO2/ha]

Taulukko 21. Aurinkovoimantuotannolla aikaansaatu päästövähennys eri sähkönpäästökertoimen skenaarioilla [tCO2/ha]

	Päästökerroin vaihteluväli v. 2025-2090 (kg/MWh)	Keskimääräinen vuosittainen päästövähennys 30 vuoden elinkaarella [tCO2/ha]	Päästövähennys 30 vuoden elinkaarella [tCO2/ha]
YM-skenaario*	121 - 10	72	2 160
ET-skenaario**	60 - 0	18	550
Keskimääräinen sähköntuotannon päästökerroin (2019-2021)	77	82	2 450
Suomessa kulutetun sähkön volyymipainotteinen päästökerroin v. 2023	38	40	1 200

- Aurinkovoiman tuottama sähkön päästövähennys on esitetty oheisessa kuvaajassa ja taulukossa.
- Oletuksena sähkön tasainen vuosituotanto **1 060 MWh/ha**. Elinkaaren aikainen uusiutuvan sähkön tuotanto huomioiden tuotantotehon vuosittainen lasku olisi yhteensä noin **20 700 MWh 30 vuoden aikana**.

- Aurinkovoimalla tuotetun sähkön tuoma päästövähennys on arvioitu vuositasolla ja 30 vuoden elinkaaren ajalta muutamalla eri sähkön päästökertoimella
 - Tilastokeskus julkaisee kertoimia Suomen keskimääräisen sähköntuotannon CO₂-päästöille. Näistä laskettu kolmen viimeisen tilastovuoden (2019-2021) keskiarvo, jossa yhteistuotanto on jaettu energiamenetelmällä, on **77 kg CO₂/MWh**.
 - Fingrid tilastoi ajantasaisesti Suomen sähkön kulutuksen ja tuotannon päästökertoimia. Tässä käytetty kulutetun sähkön volyymipainotteista sähkön päästökertoimia v. 2023 joka on **38 kg CO₂/MWh**.
 - Ympäristöministeriön arvio sähkön päästökertoimen kehityksestä*
 - Energiategonomin (ET) vähähiilisyystiekartassa esitetty skenaario**
- Vuosittainen päästövähennys on laskettu kertomalla tuulivoiman vuosituotanto 44 130 GWh kunkin skenaarion vuotuisella päästökertoimella, joka YM:n ja ET:n skenaariossa laskee kuvan 23 mukaisesti.

YM-skenaariossa yksikkönä on hiilidioksidiekvivalentti (CO₂e), muissa skenaarioissa yksikkö on hiilidioksidi (CO₂). Hiilidioksidiekvivalentilla tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen yhteismittaa, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmaston voimistumiseen. ET-skenaario sekä muut päästökertoimet huomioivat vain hiilidioksidin, eivät muita kasvihuonekaasupäästöjä.

- Sähkön vähähiilistyessä aurinkovoimalla tuotetun sähkön päästövähennys pienenee. Eri skenaarioilla halutaan tuoda esiin hankkeiden yhteisvaikutuksesta muodostuva Suomen sähköjärjestelmän muutos ja sen ennakkoinnin vaikeus.
 - Toisaalta ilman investointeja päästöttömään sähkseen päästökerroin ei pienene ennustetusti
 - Mitä aikaisemmin hankkeet toteutuvat, sitä suurempi ilmastohyöty niistä saadaan
 - On myös hyvin vaikeaa ennustaa miten sähkön kysyntä muuttuu Suomessa tulevaisuudessa, millä on myös suuri vaikutus sähkön päästökertoimeen.

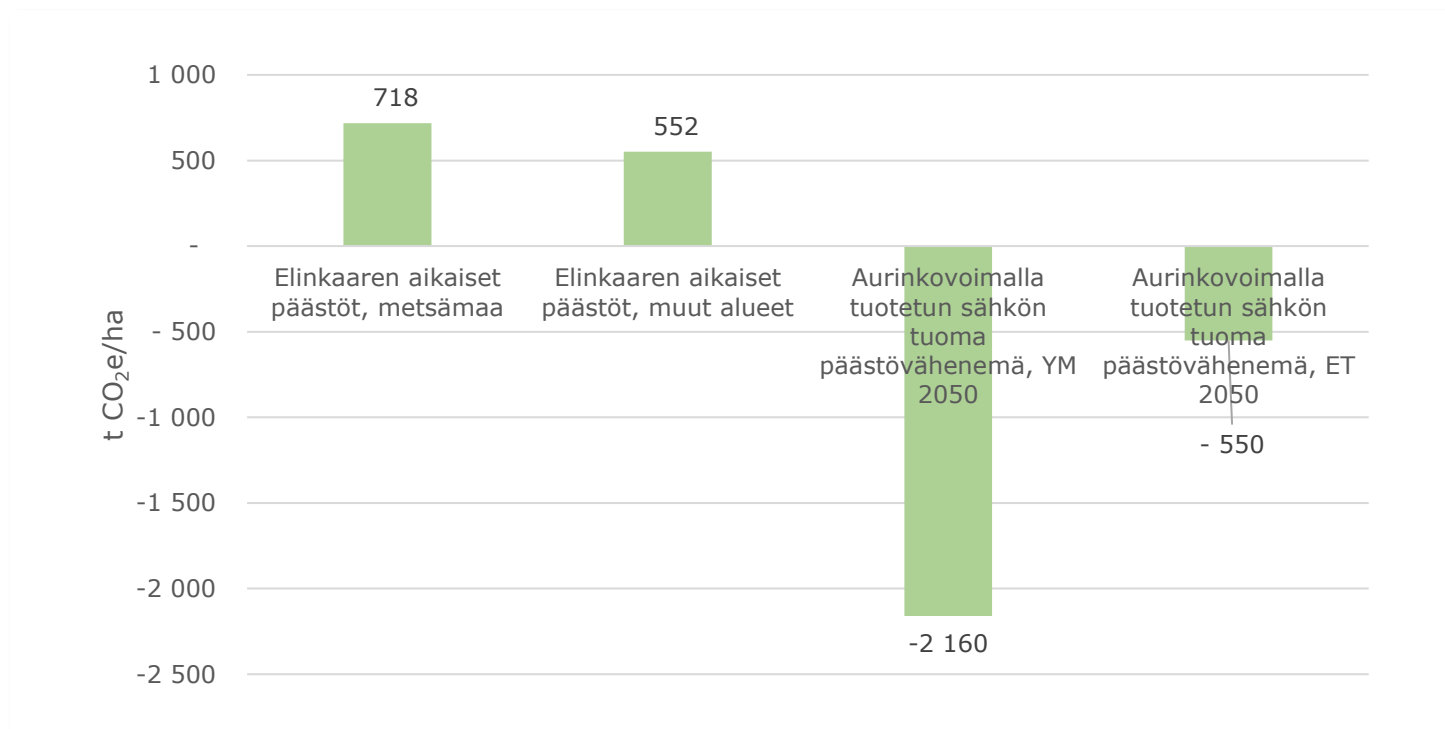
* Rakentamisen päästötietokanta, co2data.fi/rakentaminen. Skenaario perustuu julkaisuun Koljonen ym. 2019.

**Afry, 2020: Finnish Energy - Low carbon roadmap.

Aurinkovoimantuotannon kielteiset ja myönteiset ilmastovaikutukset

Tyypillisen aurinkovoiman rakentamisen elinkaaren aikaiset päästöt eli kielteiset ilmastovaikutukset ovat yhteensä noin 718 tCO₂e/ha metsämaalla ja noin 552 tCO₂/ha pelto- ja niittymaalla, entisillä turvetuotantoalueilla ja joutomailla.

Aurinkovoiman tuotannolla aikaansaatu päästövähennys 30 vuoden elinkaaren aikana on noin 2 160 tCO₂e/ha laskettuna YM:n päästökeroinskenaariolla ja noin 550 tCO₂e/ha laskettuna Energiategollisuuden päästökeroinskenaariolla.



Kuva 32. Aurinkovoiman tuotannon elinkaaren aikaiset kielteiset ja myönteiset ilmastovaikutukset hehtaaria kohden (tCO₂e/ha)

Työpaketti II **Aurinkovoimatuotannon tarkastelu**

Tarkastellaan aurinkovoimatuotantoa kuntakohtaisten ohjausvälineiden kautta

Pohjois-Pohjanmaan aurinkovoimatuotannon soveltumattomat maankäyttöalueet

Maankäyttöalueiden tarkastelu on tässä työssä toteutettu tarkastelemalla alueita joille aurinkovoimaa ei tulisi sijoittaa (No go -alueet) ja tarkastelemalla alueita, jotka tulee ottaa sijoituksessa ja myöhemmin voimalan suunnittelussa erityisesti huomioon.

No GO eli soveltumattomat alueet

- Natura-alueet, luonnonsuojeluohjelma-alueet ja muut luonnonsuojelualueet
- Maakunta-, yleis- tai asemakaavassa osoitetut muut suojelualueet
- Valtakunnallisesti ja maakunnallisesti arvokkaat maisema-alueet sekä merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt
- Asuinalueet, lomarakennukset (50 m etäisyys)
- Laajat, yhtenäiset metsäalueet
- Aktiiviset maatalousalueet ja pellot
- Kosteikot (tarkennettavuus- ja ympäristörajoitteet huomioitava)
- Kulttuuriympäristökohteet, Valtakunnallisesti arvokas rakennettu kulttuuriympäristö (RKY 2009)
- Maakuntakaavan kansallispuistot, virkistys- ja matkailualueet, -reitit ja -kohteet
- Sähkolinjat (yli 10 km päässä olevat alueet)
- Arvokohteet, suojellut rakennukset
- Joki (50 m etäisyys), jokialueet (50 m etäisyys), meri ja järvet
- Pohjoisrinteellä sijaitsevat maa-alueet, joiden kaltevuus 15%
- Autotiealueet, pl. ajotie (yksikaistainen, ajoradan leveys alle 3 m)

Erityistä huomiota edellyttävät alueet

- Pohjavesialueet
- Muinaisjännökset
- Tuotettu aurinkosähkö liitetään yleensä verkkoon joko keski- tai suurjännitteisesti. Tuotanto on hyvä sijoittaa lähelle olemassa olevia sähkölinjoja huomioiden myös sähköverkon laajentuminen. Aurinkovoiman sijoittaminen lähelle tuulivoimantuotantoa voi tuoda synergiaetuja.
- Aurinkovoimala edellyttää tieyhteyttä alueelle. Olemassa oleva tiestö on hyvä huomioida sijoituskohteen valinnassa.
- Lentokenttäalue
- Luonnontilaiset suoalueet
- Tulvariskialueet
- Ekologiset yhteydet
- Eläinten pääkulkureitit

Pohjois-Pohjanmaan aurinkovoimatuotannon potentiaaliset maankäyttöalueet

Aurinkovoimalle soveltumattomien alueiden lisäksi on tarkasteltu maankäyttöalueita, jotka ovat aurinkovoiman sijoittamiselle erityisen potentiaalisia. Tämän lisäksi on tarkasteltu alueita, joille aurinkovoiman sijoittaminen on mahdollista.

Mahdollisia sijoittumisalueita	Erityisen hyvin soveltuvat sijoittumisalueet
<ul style="list-style-type: none"> • Alueet, jotka ovat erityisen potentiaalisia aurinkovoiman sijoittamiselle • Alueet, joille aurinkovoiman sijoittaminen vaatii erityistä huomiointia. Näille alueille teollisen kokoluokan aurinkovoiman sijoittaminen voi olla mahdollista, mutta se vaatii erillistä selvitystä ja mahdollisesti lupakäsittelyä. • Käytännössä kaikki alueet, jotka eivät ole NO-GO alueita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Käytöstä poistuneet turvesuot • Louhokset • Niityt • Maa-aineksen ottoalueet • Joutomaat • Entiset maankäyttöalueet



Kuva 33. Alueiden jaottelu aurinkovoiman tuotannolle soveltuvuuden mukaan

Aurinkovoimatuotannolle erityisen hyvin soveltuvat maankäyttöalueet Pohjois-Pohjanmaalla

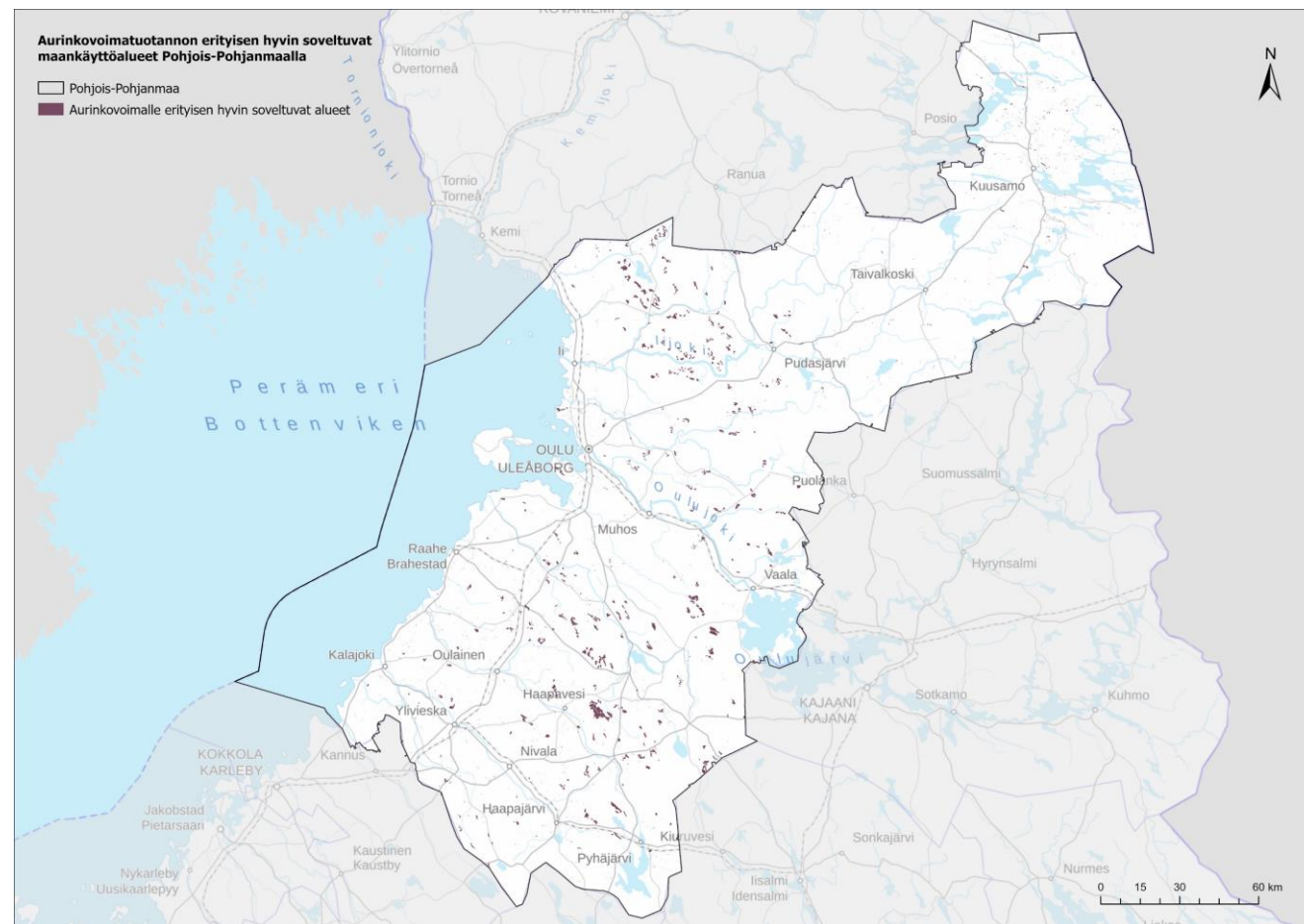
Erityisen hyvin aurinkovoimatuotannolle soveltuvia maankäyttöalueita ovat maa-aineksen ottoalueet, louhokset, niityt ja käytöstä poistuneet turvesuot. Nämä alueet eivät vaadi voimakasta maan muokkausta tai puuston kaatamista paneelien sijoittamiseen.

Erityisen hyvin soveltuvia alueita on Pohjois-Pohjanmaalla yhteensä noin 43 000 ha, joka on noin 1 % koko Pohjois-Pohjanmaan maapinta-alasta (37 149 km²).

Tämä tarkoittaa aurinkovoimatuotantojärjestelmien sähkön kokonaistuotantokapasiteettina noin 37 317 MW. Jos kaikki aurinkovoimalle erityisen hyvin soveltuvat alueet rakennettaisiin, niiden vuosituotanto vastaisi lähes puolta koko Suomen vuotuisesta sähköntuotantomäärästä ja rakentamisen aiheuttamat päästöt olisivat n. 23 736 000 tCO₂e.

Aurinkovoiman sijoittamiseksi alueiden tulee olla tieverkon ja sähköverkon yhteydessä. Pohjois-Pohjanmaalla tieverkko kattaa 5 kilometrin säteellä koko maakunnan alueen, ja sähköverkko kattaa 10 kilometrin säteellä lähes koko maakunnan alueen.

Yli 10 km päässä sähkönpäälinoista on vain muutamia kohteita. Nämä alueet on luokiteltu osaksi aurinkovoimalle soveltumattomia alueita.



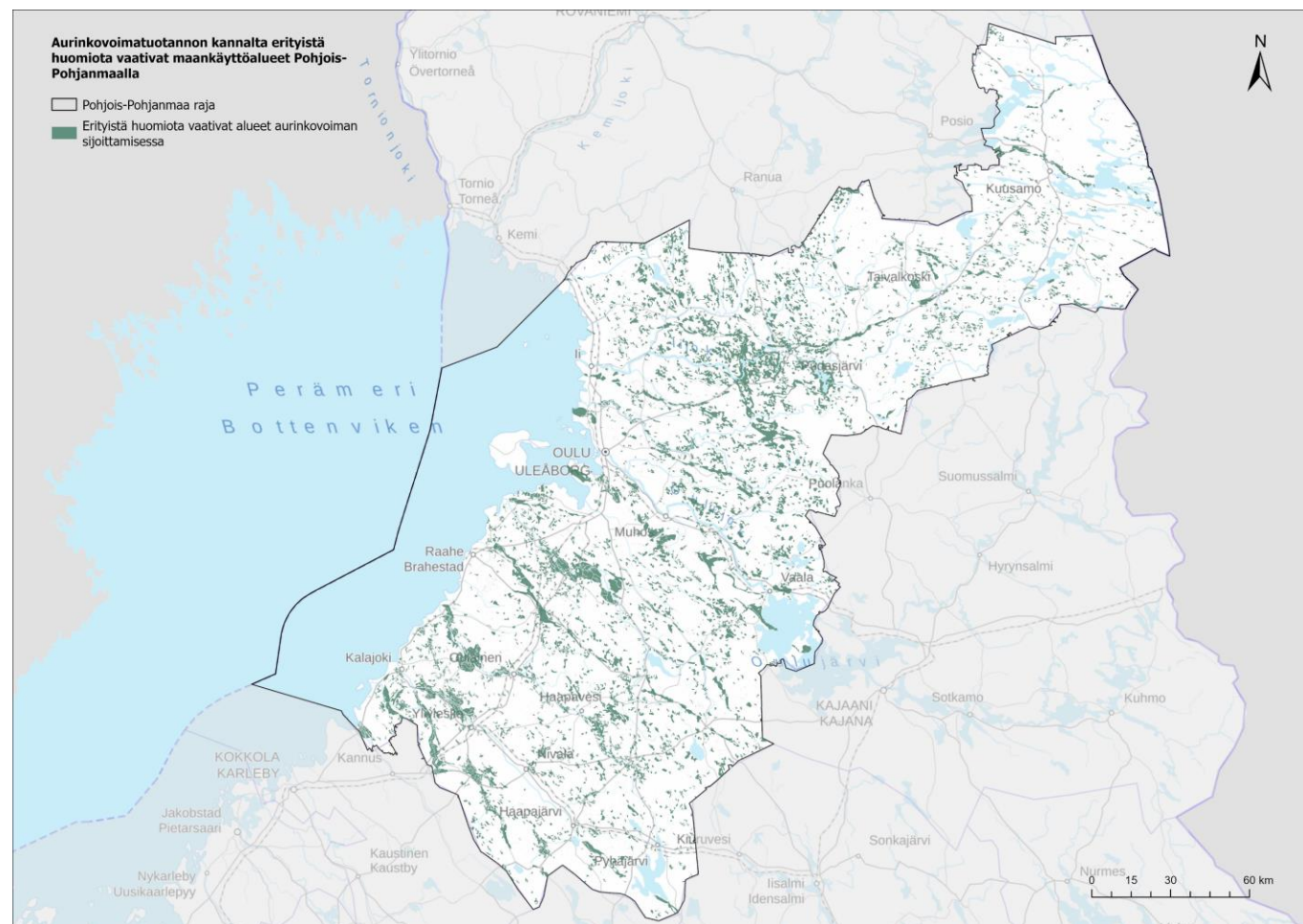
Kuva 34. Aurinkovoimantuotannolle erityisen hyvin soveltuvat maankäyttöalueet Pohjois-Pohjanmaalla

Aurinkovoimatuotannon kannalta erityistä huomiota vaativat maankäyttöalueet Pohjois-Pohjanmaalla

Aurinkovoimatuotannon kannalta erityistä huomiota vaativia alueita ovat pohjavesialueet, muinaisjäännökset, olemassa olevien sähkölinjojen läheisyys, tuulivoimatuotannosta saatavat synergiaedut, lentokenttäalue, luonnontilaiset suoalueet, tulvariskialueet, ekologiset yhteydet sekä eläinten pääkulkureitit.

Erityistä huomiota vaativat alueet ovat siis alueita, joille aurinkovoimatuotannon sijoittaminen vaatii erillistä tilannekohtaista harkintaa ja selvitystä. Alueet eivät ole ominaisuuksiltaan yksiselitteisesti hyviä tai huonoja tuotannon sijoittamiselle.

Aurinkovoiman sijoittamisen kannalta erityistä huomiota vaativia maa-alueita on yhteensä noin 433 000 ha. Tämä on noin 11 % koko Pohjois-Pohjanmaan maapinta-alasta (37 149 km²).



Kuva 36. Aurinkovoimantuotannon kannalta erityistä huomiota vaativat maankäyttöalueet Pohjois-Pohjanmaalla

Aurinkovoimatuotannon soveltumattomia maankäyttöalueita Pohjois-Pohjanmaalla

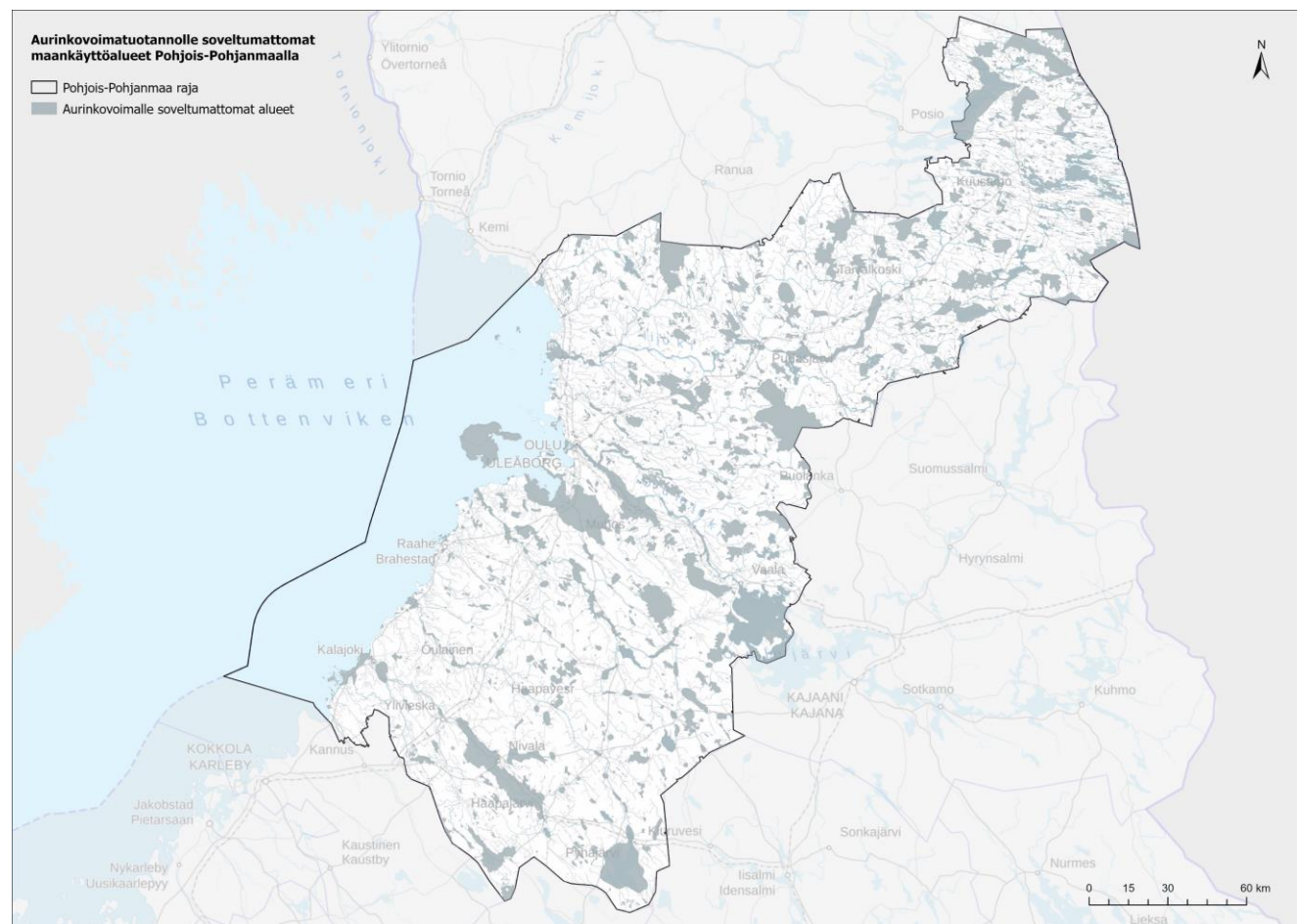
Aurinkovoimatuotannolle soveltumattomia maankäyttöalueita ovat vesistöalueet, RKY-alueet (valtakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt), suojelualueet, asuin- ja lomarakennukset sekä niiden ympäristö, teialueet sekä maa- ja metsätalousalueet.

Aurinkovoimalle soveltumattomia maa-alueita on yhteensä noin 1100 000 ha. Aurinkovoimalle soveltumattomia maankäyttöalueita on noin 29 % koko Pohjois-Pohjanmaan maapinta-alasta (37 149 km²)*.

Aurinkovoimatuotannon tulee sijoittua sähkölinjojen läheisyyteen, minkä vuoksi yli 10 kilometrin päähän pääsähkölinjoista sijoittuvat alueet on luokiteltu tuotannolle soveltumattomiksi alueiksi.

Lisäksi aurinkovoimalle soveltumattomia alueita ovat jyrkät pohjoisrinteet. Näitä alueita ei ole tässä tarkastelussa kuitenkaan erikseen arvioitu, koska alueiden koko ja osuus maakunnan pinta-alasta ovat pieniä.

* Aurinkovoimalle soveltumattomien ja mahdollisten alueiden prosenttilukujen summa ei ole 100 % johtuen paikkatietoaineiston tarkkuudesta, kokonaismaapinta-alan erotessa aineistossa hieman todellisesta



Kuva 37. Aurinkovoimantuotannolle soveltumattomat maankäyttöalueet Pohjois-Pohjanmaalla (NO GO -alueet)

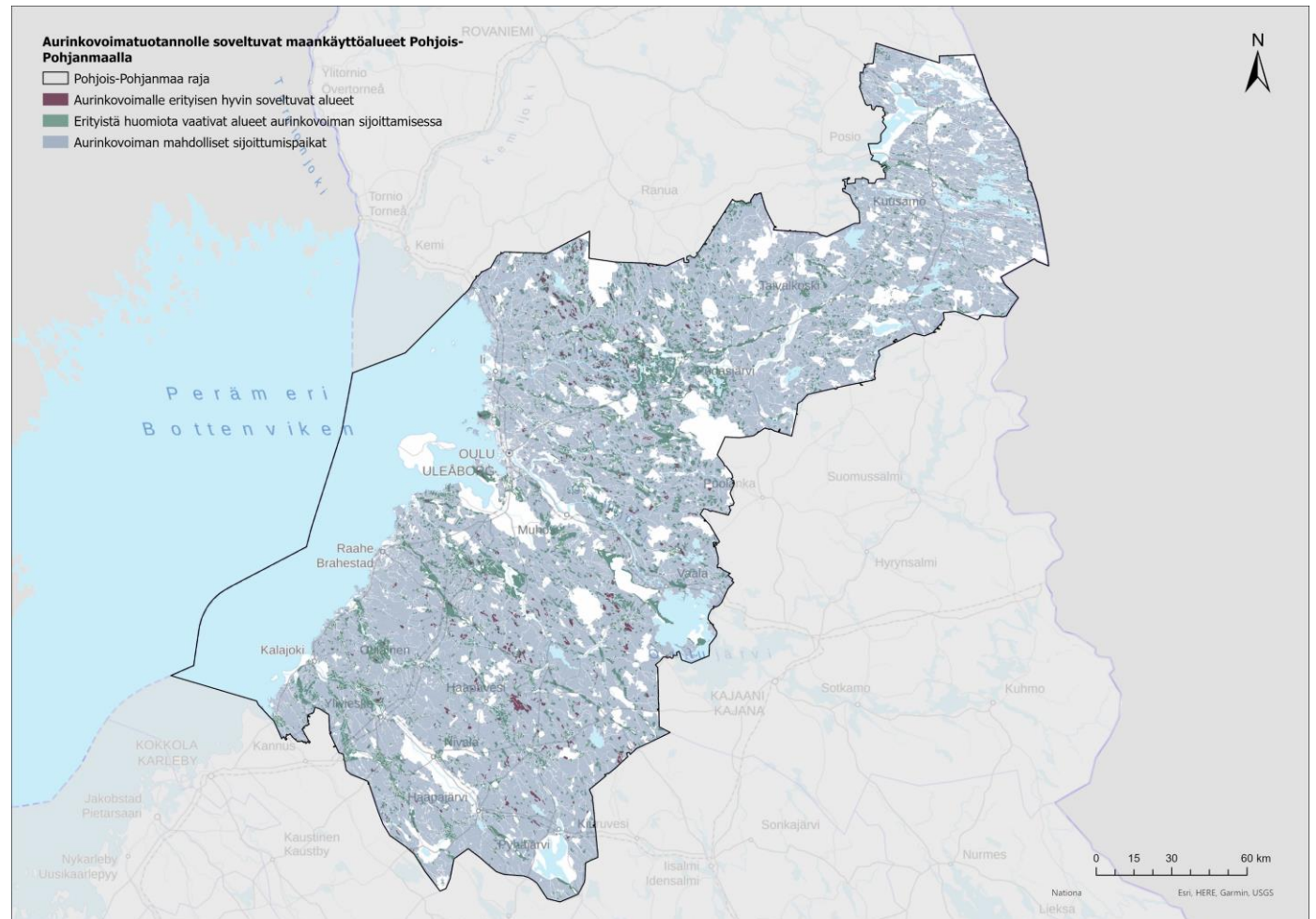
Ristiin tarkastelu aurinkovoimatuotannolle soveltuvista maankäyttöalueista

Aurinkovoimatuotannolle sopimattomat alueet eli niin sanotut no-go alueet ovat alueita, joille aurinkovoimaa ei voida sijoittaa joko sen nykyisen käyttötarkoituksen, herkkyden tai rakentamiselle sopimattomuuden vuoksi.

Aurinkovoimatuotannolle mahdolliset alueet ovat käytännössä kaikki muut kuin no-go alueet. Alueilla ei ole teoreettista estettä aurinkovoiman sijoittamiseen, mutta se voi silti olla kannattamatonta.

Huomioitavat alueet kuuluvat tuulivoimatuotannon mahdollisiin alueisiin. Huomioitavat alueet vaativat erillistä tilannekohtaista tarkastelua mietittäessä aurinkovoimatuotannon sijoittamista.

Aurinkovoimatuotannolle erityisen hyvin soveltuvat alueet ovat alueita, joille aurinkovoimaa voidaan sijoittaa maankäytön näkökulmasta matalalla kynnyksellä. Alueet ovat valmiiksi avoimia eikä niissä lähtökohtaisesti ole estettä sijoittamiselle. Myös erityisen hyvin soveltuvien alueiden kohdalla on kuitenkin syytä tehdä tarkempia erillisiä tarkasteluita.



Kuva 38. Aurinkovoimantuotannolle erityisen hyvin soveltuvat, mahdolliset ja erityistä huomiota vaativat maankäyttöalueet Pohjois-Pohjanmaalla

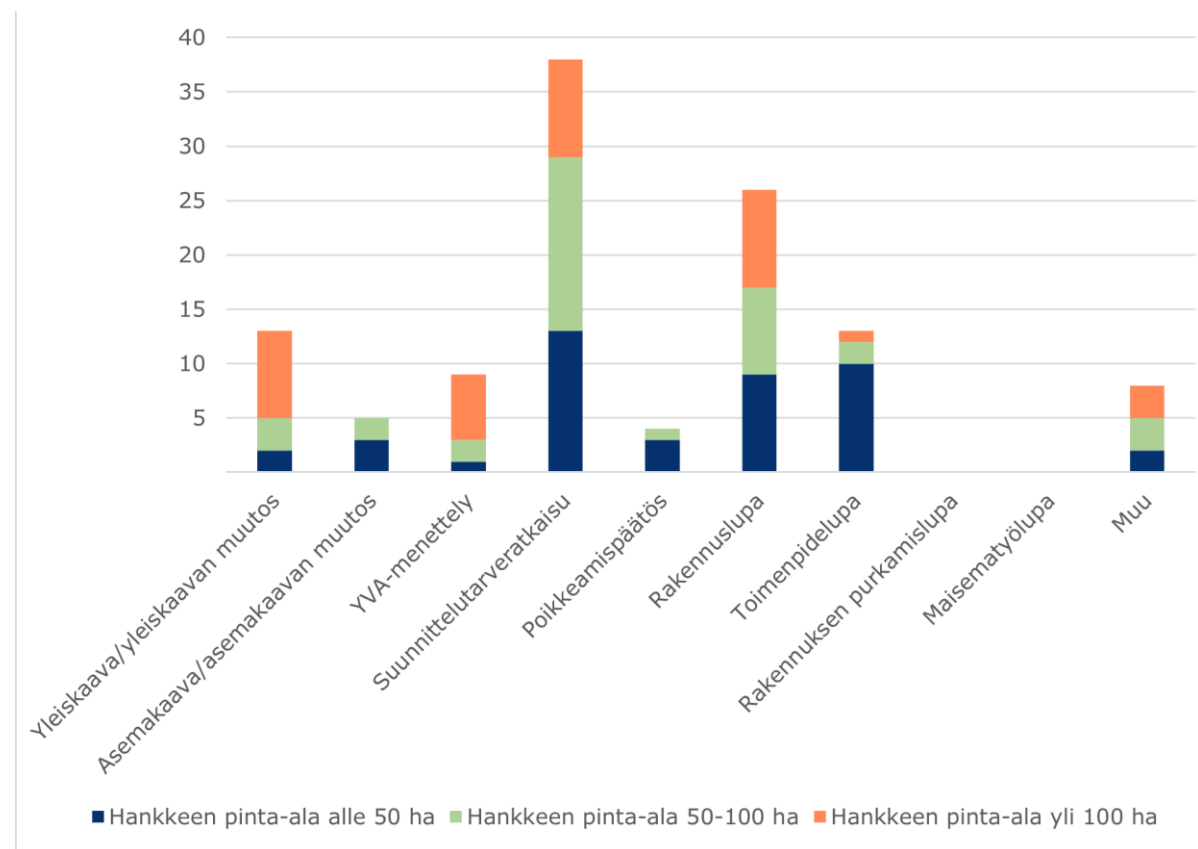
Kuntakohtaiset ohjausvälineet

Kunnat voivat ohjata alueelleen sijoittuvaa maa-asenteista aurinkovoimaa usein eri tavoin: joko poissulkemalla soveltumattomia alueita tai tunnistamalla erityisen soveltuvia alueita. Kunta voi ohjata sijoittumista kaavoituksella ja luvituksella. Selvitystä tehdessä ei ole yhteneväisiä näkemyksiä mm. sovellettavista lupakäytännöistä tai YVA-menettelyn rajoista, koska valtakunnallinen oikeuskäytäntö puuttuu.

Ympäristöministeriöllä on valmisteilla aurinkovoimaloiden kaavoitusta ja lupamenettelyä koskeva opas. Ympäristöministeriö on koonnut ohjausryhmän, jonka johdolla valmistellaan opasaineisto suurten aurinkovoimaloiden kaavoitukseen ja lupamenettelyyn. Oppaan avulla pyritään yhtenäistämään kaavoitusta ja rakentamista ja selvittää aurinkovoimaloiden merkittävimmät ympäristövaikutukset. Lisäksi se antaa näkemyksensä kaavoitus- ja lupamenettelyjen soveltamisesta, kun voimaloita sijoitetaan erilaisiin kohteisiin. Opas valmistuu huhtikuussa 2024 ja sen laatimisen tueksi on tehty taustaselvitys.

Aurinkoenergiarakentamisen käytännöistä päätetään kuntakohtaisesti lainsäädännön asettamien reunaehtojen puitteissa. Aurinkoenergiakaavoitus käynnistyy pääasiassa kiinteistöliiketoiminnan tarpeista ja aloitteista. Kuntien alueidenkäytön ja rakentamisen ohjausvälineet (yleiskaava, asemakaava, rakennusjärjestys sekä suunnittelutarveratkaisu, rakennus- ja toimenpidelupa) ovat yleensä riittäviä keinoja ohjata aurinkoenergian tuotantoalueiden suunnittelua ja rakentamista.

Maankäyttö- ja rakennuslakiin ei tällä hetkellä sisälly aurinkovoimarakentamista koskevia erityisiä säännöksiä, ts. yleiskaavan käytöstä aurinkovoiman rakentamisluvan perusteena ei ole vastaavalla tavalla säädetty kuin tuulivoimayleiskaavoituksessa (MRL 77 a §). Alueidenkäyttölain uudistus voi tuoda muutoksia, joita keväällä 2024 julkaistavassa oppaassa ei voida huomioida. Uusi alueidenkäyttölaki sisältää valtakunnallisia alueidenkäyttötavoitteita, kaavoitusjärjestelmää sekä merialuesuunnittelua koskevat säännökset. Pääministeri Petteri Orpon hallitusohjelman (2023-) mukaisesti tavoitteena on mm. vähentää maakuntakaavan yksityiskohtaisuutta sekä sisällyttää lakiin maanomistajan aloiteoikeus yleis- ja asemakaavalle ja mahdollisuus kumpanuuskaavoitukseen.



Kuva 39. Aurinko-oppaan taustaselvityksen kyselytulosten perusteella vireillä olevissa tai toteutetuissa hankkeissa olleita prosesseja tai hankkeissa edellytetyjä päätöksiä tai lupia. Yleisin MRL:n tai YVA-lain mukainen menettely on ollut suunnittelutarveratkaisu. (YM Aurinko-oppaan taustaselvitys, 2024).

Kuntakohtaiset ohjausvälineet

Yleiskaava

Yleiskaavan tarkoituksena on kunnan tai sen osan yhdyskuntarakenteen ja maankäytön yleispiirteinen ohjaaminen sekä toimintojen yhteensovittaminen (MRL 35 §). Lähtökohtana kaavoitukselle on kunnan tarve kehittää yhdyskuntaa ja varautua tulevaisuuden muutoksiin sekä edellytysten luominen tavoitellulle kehitykselle. Yleiskaava voi ohjata suoraan rakentamista. Maankäyttö- ja rakennuslain 44 §:ssä säädetään yleiskaavan käytöstä rakentamisluvan perusteena: *Rakennuslupa rakennuksen rakentamiseen voidaan 137 §:n 1 momentissa säädetyn estämättä myöntää, jos oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa on erityisesti määrätty kaavan tai sen osan käyttämisestä rakennusluvan myöntämisen perusteena. Määräys ei voi koskea aluetta, jolla maankäytön ohjaustarve edellyttää asemakaavan laatimista. Edellytyksenä on lisäksi, että yleiskaava ohjaa riittävästi rakentamista ja muuta maankäyttöä kyseisellä alueella. Yleiskaavan käytöstä rakennusluvan perusteena ranta-alueella säädetään 72 §:ssä ja tuulivoimaloiden rakennusluvan perusteena säädetään 77 a §:ssä.*

Monissa kunnissa pohditaan, voidaanko MRL 44 §:ää soveltaa aurinkovoimarakentamiseen, mikäli ko. yleiskaava on laadittu siinä tarkoituksessa, että rakennuspaikkojen rakennusluvut voidaan rantavyöhykkeen ulkopuolella myöntää suoraan yleiskaavan perusteella. MRL 44 §:n mukaan pykälän soveltaminen edellyttää, että oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa on erityisesti määrätty kaavan tai sen osan käyttämisestä rakennusluvan myöntämisen perusteena.

Aurinko-oppaan taustaselvityksen kyselyjen ja haastattelujen perusteella enemmistö kunnista ja toimijoista katsoo, että suunnittelutarveratkaisun edellyttäminen tilanteessa, jossa aurinkovoimalaitoksen sijoittamisen edellytykset on tutkittu yleiskaavassa ja vaikutukset arvioitu yleiskaavassa ja/tai YVA-menettelyssä, nähdään turhana, päällekkäisenä ja luvitusta hidastavana vaiheena. Tämä houkuttelee kuntia tulkitsemaan MRL 44 §:ää sen mukaan mitä pykälässä kirjaimellisesti lukee, vaikka lain perusteluissa tarkoitettaisiinkin muuta. Oikeustapauksia asiassa ei aurinkovoiman osalta vielä ole.

Asemakaava

Asemakaava laaditaan alueiden käytön yksityiskohtaista järjestämistä, rakentamista ja kehittämistä varten (MRL 50 §). Asemakaavan laatiminen on tarpeen, kun aurinkoenergiarakentamisen ja muun maankäytön yhteensovittamistarve sitä edellyttää. Rakennusta ei saa rakentaa vastoin asemakaavaa (rakentamisrajoitus) (MRL 58 §). Asemakaava-alueelle ei saa sijoittaa toimintoja, jotka aiheuttavat haittaa kaavassa osoitetulle muiden alueiden käytölle.

Asemakaavaa laadittaessa on MRL 54 §:n mukaan otettava huomioon yleispiirteisten kaavojen ohjausvaikutus. Jos asemakaava laaditaan alueelle, jolla ei ole oikeusvaikutteista yleiskaavaa, ohjaa asemakaavan laadintaa maakuntakaava. MRL 54 §:n mukaisissa asemakaavan sisältövaatimuksissa korostuvat ihmisen elinympäristön terveellisyyteen, turvallisuuteen ja viihtyisyyteen liittyvät seikat.

Aurinkoenergiarakentamista koskevassa asemakaavassa on siten kiinnitettävä huomiota erityisesti turvallisuuteen, maisemaan ja kaupunkikuvaan sekä virkistyskäyttöön liittyviin kysymyksiin. Laaja-alaisten, maa-asenteisten aurinkoenergiahankkeiden asemakaavoitus tulee tyypillisimmin kyseeseen silloin, kun hanke sijoittuu jo asemakaavoitetulle alueelle ja tarvitaan asema-kaavamuutos. Asemakaavoitus voi olla tarkoituksenmukaista myös, mikäli hankealue rajoittuu asemakaava-alueeseen tai sijoittuu asemakaavan lievealueelle. Myös hankkeen pinta-ala vaikuttaa soveltuvimman suunnitteluvälineen valinnassa.

Kuntakohtaiset ohjausvälineet

Suunnittelutarveratkaisu, rakennuslupa ja toimenpidelupa

Aina aurinkovoimalan luvitus ei edellytä kaavoitusta, vaan erityisesti vähäiset rakennushankkeet voivat edetä myös suunnittelutarveratkaisuin tai poikkeamispäätöksin ennen rakennuslupaa, suorilla luvilla (rakennuslupa tai toimenpidelupa) tai jopa vain ilmoitusmenettelyllä. ELY-keskuksen lupaneuvonnan mukaan keskikokoisten (10–1000 kW) ja kotitalouksien (alle 10 kW) aurinkoenergiahankkeisiin, joissa sähköä/lämpöä tuotetaan pääasiassa omaan kulutukseen, riittää yleensä pelkästään kunnan rakennustarkastukseen liittyvät menettelyt. Suunnittelutarveratkaisulla on kuitenkin voitu rakentaa vähäistä merkittävämpiäkin aurinkovoimaloita.

Rakennettaessa alueelle, jolla ei ole rakentamista suoraan ohjaavaa kaavaa, rakentaminen saattaa edellyttää suunnittelutarveratkaisua. Kun haetaan rakentamista suunnittelutarve-alueelle, on lupaprosessissa otettava huomioon rakennusluvan erityiset edellytykset (MRL 137 §).

Suunnittelutarveratkaisua ei saa myöntää tilanteissa, joissa kaavoitus on tarpeen. Suunnittelutarveratkaisua ei voi myöntää, jos rakennusluvan erityiset edellytykset jäävät edes osittain täyttymättä. Toisin sanoen, kaikki MRL 137 §:n mukaiset edellytykset on täytyttävä, jotta ratkaisu myönnetään.

Maankäyttö- ja rakennuslain 137 §:n (Rakennusluvan erityiset edellytykset suunnittelutarvealueella) mukaan sen lisäksi, mitä rakennusluvan edellytyksistä muutoin säädetään, rakennusluvan myöntäminen 16 §:ssä tarkoitetulla suunnittelutarvealueella, jolle ei ole hyväksytty asemakaavaa, edellyttää, että rakentaminen:

- ei aiheuta haittaa asemakaavoitukselle, yleiskaavoitukselle tai alueiden käytön muulle järjestämiselle;
- on sopivaa yhdyskuntateknisten verkostojen ja liikenneväylien toteuttamisen sekä liikenneturvallisuuden ja palvelujen saavutettavuuden kannalta; ja
- on sopivaa maisemalliselta kannalta eikä vaikeuta erityisten luonnon- tai kulttuuriympäristön arvojen säilyttämistä eikä virkistystarpeiden turvaamista.

Laaja-alaisimmat maa-asenteiset aurinkoenergiahankkeet sijoittuvat jo kokonsa vuoksi tyypillisesti tiiviisti rakennettujen alueiden ulkopuolelle, maaseutuvaltaisille alueille, joilla ei ole suoraan rakentamista ohjaavaa yleis- tai asemakaavaa. Suunnittelutarvealuetta koskevia säännöksiä sovelletaan tällöin aurinkoenergiarakentamiseen, joka mahdollisten ympäristö- tai muiden vaikutusten vuoksi edellyttää tavanomaista lupamenettelyä laajempaa harkintaa.

Aurinkokentän rakentaminen edellyttää joko MRL 125 §:n mukaisen rakennusluvan tai MRL 126 §:n mukaisen toimenpideluvan. ELY-keskuksen lupaneuvonnan mukaan teollisen mittakaavan aurinkovoimalaitokset (yli 1000 kW) tai suurien paneeliryhmien muusta alueesta erotetut sijoitukset maastoon edellyttävät vähintään MRL:n mukaista toimenpidelupaa. Hanke edellyttää rakennuslupaa, kun hankkeen lupakäsittely rinnastetaan siihen liittyvän ohjaustarpeen perusteella rakennuksen rakentamiseen. Mikäli aurinkoenergiahankkeelle on tehty ympäristövaikutusten arviointi (YVA), hanke tarvitsee rakennusluvan.

Pohjois-Pohjanmaan kuntakohtaiset ohjausvälineet

Tällä hetkellä Pohjois-Pohjanmaalla aurinkovoimaloille on myönnetty rakennuslupia eri kaavamerkinnän omaaville alueille mm. MT (maatalousalue)- ja T (teollisuusalue)-kaavoitetuille alueille. YVA-menettelyä ja kaavoitusta on pääsääntöisesti sovellettu hybridi-hankkeissa, joissa YVA-kynnys on ylittynyt tuulivoiman mukaisesti ja toisaalta maankäytön suunnittelussa ohjausvälineenä on ollut tuulivoimaosayleiskaava.

Pohjois-Pohjanmaalla on vireillä useita aurinkovoimahankkeita. Motivan kokoaman portaalin mukaan Pohjois-Pohjanmaalla olisi eri suunnitteluasteilla tai tuotannossa noin 14 hanketta (helmikuu 2024). Portaalista löytyviä hankkeita ovat mm. Utajärvellä Isosuon -hanke (102,5 MWp), Hietaselän -hanke (60 MWp), Pyhäjärvellä Callion -hanke (13 MWp), Nivalssa Hitura -hanke (63,5 MWp), Oulussa Vihreäsaari -hanke ja sen laajennus, Haukiputaalla Suokosen -hanke.

YVA-menettelyssä keväällä 2024 on useita hankkeita, useimmat hybridihankkeita tuulivoiman kanssa: mm. Tannilan tuuli- ja aurinkovoimahanke Oulussa, Vääräjoen tuuli- ja aurinkovoimahanke Sievissä, Kynkäänsuon tuuli- ja aurinkovoimahanke Oulussa, Kivinevan tuuli- ja aurinkovoimahanke Siikalatvassa, Mustasuo-Tynnyrikorven tuuli- ja aurinkovoimahanke Oulussa ja Utajärvellä sekä Honkakankaan tuuli- ja aurinkovoimahanke Siikalatvassa.

Pohjois-Pohjanmaan kunnat voivat ohjata aurinkovoiman sijoittumista ja kielteisten vaikutusten lieventämistä tunnistamalla esim. osayleiskaavoittamalla laaja-alaisille aurinkovoimaloille suunnittelut alueet. Olennaista on tunnistaa valtakunnallisten parhaiden käytäntöjen muodostuminen ja niiden soveltaminen Pohjois-Pohjanmaan kuntien tarpeisiin.

Ympäristöministeriön hankkeessa kunnille osoitetussa kyselyssä enemmistö vastaajista totesi suhtautumisen aurinkovoimaan kunnassaan olevan myönteinen tai neutraali. Osa totesi, että aiheen uutuuden takia mielipiteitä ei ole vielä muodostunut. Haasteita voi olla kuitenkin hyvien alueiden tunnistamisessa.

Aurinkoenergiainhankkeiden edistämiseksi tunnistettiin mm. seuraavia keinoja:

- selkeä ohjeistus ja yhteneväiset käytännöt
- riittävä osaaminen kaikilla hankeosapuolilla (ml. suunnittelijat)
- mahdollisimman varhaisessa vaiheessa kunnan tiedottaminen hankkeen suunnittelusta, vaikka maanvuokraussopimusneuvottelut yksityisten maanomistajien kanssa olisivat kesken
- tarvittaessa lainsäädännön kehittäminen ja selkeyttäminen, mutta myös nykyisen lainsäädännön soveltamisen arvioiminen
- soveltuvan prosessin muotoileminen kuitenkin välttäen turhaa selvittelyä ja byrokratiaa
- riittävät resurssit osallistamiseen ja sidosryhmien kuulemiseen kaikilla hankeosapuolilla, myös kunnalla itsellään
- erityisesti pienemmät kunnat tarvitsevat neuvontaa ja ohjeistusta viranomaisilta

Aurinkoenergiatuotannon ilmasto vaikutuksien tarkastelu koko elinkaaren ajalta yleistasolla

Tyypillisen aurinkovoimalan materiaalien valmistamisen ja kuljetusten hiilijalanjälki on noin 531 tCO₂e/ha. Aurinkovoimalan materiaalien valmistuksen ja kuljetusten päästöistä 88 % syntyy aurinkopaneelien valmistuksesta ja kuljetuksesta, noin 11% paneelitelineistä ja noin 1 % huoltoteiden rakentamiseen tarvittavista materiaaleista. Käytön ja käytöstä poiston ilmasto vaikutukset ovat aurinkovoimantuotannossa vähäisiä. Käytöstä poiston jälkeen aurinkovoimalan osat myydään tai kierrätetään.

Aurinkovoiman rakentamisen aiheuttamat maankäytön ilmasto vaikutukset riippuvat siitä, millaiselle alueelle aurinkovoimala rakennetaan. Maankäyttömuotoja tarkastellessa luonnontilaisia ja suojeltuja alueita tulisi välttää teollisen aurinkoenergian tuotannon sijoittelussa. Aurinkovoimantuotanto metsämaastossa vaatii puuston ja kasvillisuuden poistoa. Puuston ja kasvillisuuden poistolla on merkittävä vaikutus alueen hiilivarastoihin. Pohjois-Pohjanmaalla aurinkovoiman rakentaminen metsämaalle aiheuttaa noin 166 tCO₂e/ha hiilivarastojen ja -nielujen menetyksen.

Kun aurinkovoimala perustetaan pelto- tai niittymaalle, joutomaalle tai entiselle turvetuotantoalueelle, alueen kasvillisuuden hiilivarastoissa ja -nieluissa ei välttämättä tapahdu merkittävää muutosta. Entiset turvetuotantoalueet, joilla on syrjäinen sijainti, puuston puuttuminen ja tasainen topografia, ovat houkuttelevia aurinkovoiman sijoituskohteita, ja sijoittaminen ei yleensä vaadi uusia ojituksia. Joutomailla aurinkovoimantuotanto on mahdollista ilman puuston ja kasvillisuuden poistoa, ja näillä alueilla voi esiintyä yllättäviä luontoarvoja, joita aurinkovoimala-alueet voivat joko uhata tai tarjota uudenlaisen elinympäristön edistäen alueen monimuotoisuutta.

Materiaalien valmistuksen ja kuljetuksen sekä maanäytöstä aiheutuvat päästöt huomioiden **aurinkovoiman tuotannon päästöt koko elinkaaren aikaiseen sähköntuotantoon suhteutettuna** olisivat **metsämaalla noin 35 gCO₂e/kWh ja noin 27 gCO₂e/kWh pelto- ja niittymaalla, entisillä turvetuotantoalueilla ja joutomailla.**

Pohjois-Pohjanmaalla aurinkovoimantuotannolle erityisen hyvin soveltuvia alueita (maa-aineksen ottoalueet, louhokset, niityt ja käytöstä poistuneet turvesuot) on yhteensä 43 000 hehtaaria eli noin 1% maakunnan maapinta-alasta, ja niiden kokonaiskapasiteetti olisi noin 37 317 MW.

Aurinkovoimantuotannolle mahdolliset alueet, jotka sisältävät potentiaalisimmat tuotantoalueet ja erityistä huomiota vaativat alueet, kattavat noin 72% maakunnan kokonaismaapinta-alasta. Erityistä huomiota vaativat alueet käsittävät noin 11% maakunnan kokonaismaapinta-alasta ja edellyttävät tilannekohtaista harkintaa. Aurinkovoimalle soveltumattomia alueita on noin 27 % maakunnan pinta-alasta.

Johtopäätökset

Johtopäätökset

Energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan tavoitteena on osoittaa maakunnan tuulivoimarakentamista alueille, joissa tuulivoiman toteutumisen vaikutukset eivät muodostu merkittäviksi. Tuulivoimaa koskevat merkinnät ovat tarkentuneet merkittävästi ehdotusvaiheessa yhteisvaikutusten arvioinnissa käytössä olleiden laadullisten selvityksien ja tarkempien hankekohtaisten selvitystiedon perusteella.

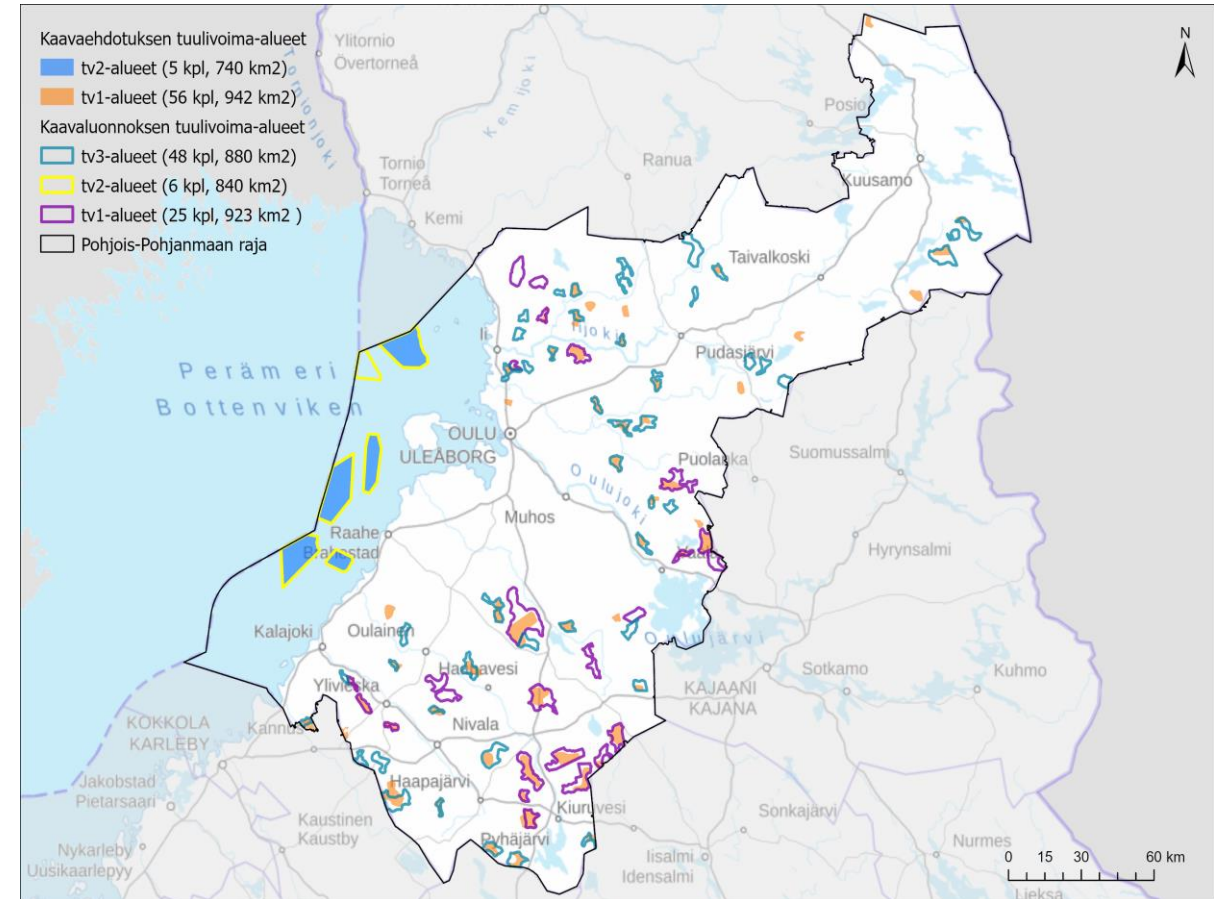
Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomais ehdotuksessa on osoitettu 61 uutta tuulivoima- aluetta, yhteensä **170 500 ha**. TV1 ja 2 -alueiden maksimipotentiali on yhteensä **1 235 tuulivoimalaa**. Näiden tuulivoimaloiden maksimipotentialin yhteenlaskettu vuosituotanto olisi n. **44 130 GWh**, mikä vastaa noin 60 % koko Suomen vuotuisesta sähköntuotannosta (69 324 GWh vuonna 2021).

Ehdotusvaiheen **TV1-alueiden** yhteenlaskettu **tilantarve, jolta kasvillisuus poistuu** tuulivoiman rakentamisen myötä, on n. **4 920 ha** (5,2 %). TV2 alueet (76 300 ha) ovat merialueita. **Sähkönsiirron** rakentamisen tilantarve, jolta kasvillisuus poistetaan, on yhteensä **n. 2 959 ha**.

Luonnosvaiheeseen verrattuna TV-alueiden pinta-ala on pienentynyt noin 94 439 ha, minkä seurauksena tuulivoimaloiden teoreettinen maksimimäärä on ehdotusvaiheessa pienentynyt 741 voimalalla.

Luonnosvaiheessa tuulivoimatuotannon ja sähkönsiirron elinkaaren aikaisiksi päästöiksi eli kielteiseksi ilmastovaikutuksiksi arvioitiin noin 15 MtCO₂e uusiutuvan sähkön tuotannosta saatavien myönteisten ilmastovaikutusten ollessa noin 143 MtCO₂e YM-päästökertoinskenaariolla ja 33,4 MtCO₂e ET-päästökertoinskenaariolla laskettuna.

Ehdotusvaiheessa vastaavat kielteiset vaikutukset arvioitiin noin 10 MtCO₂ suuruisiksi myönteisten ollessa noin 98,1 MtCO₂e YM-päästökertoimella ja 22,9 MtCO₂e ET-päästökertoimella. Sekä kielteiset että myönteiset vaikutukset pienenevät luonnosvaiheesta ehdotusvaiheeseen siis noin kolmanneksen. Nettovaikutukset ovat positiivisia: Viranomais ehdotusvaiheessa esitettyjen tuulivoima-alueiden nettoilmastovaikutukset ovat YM-päästökertoimella noin -88 MtCO₂e ja noin -12,8 MtCO₂e ET-päästökertoimella laskettuna. Tulokset on kuvattu tarkemmin taulukossa seuraavalla sivulla.



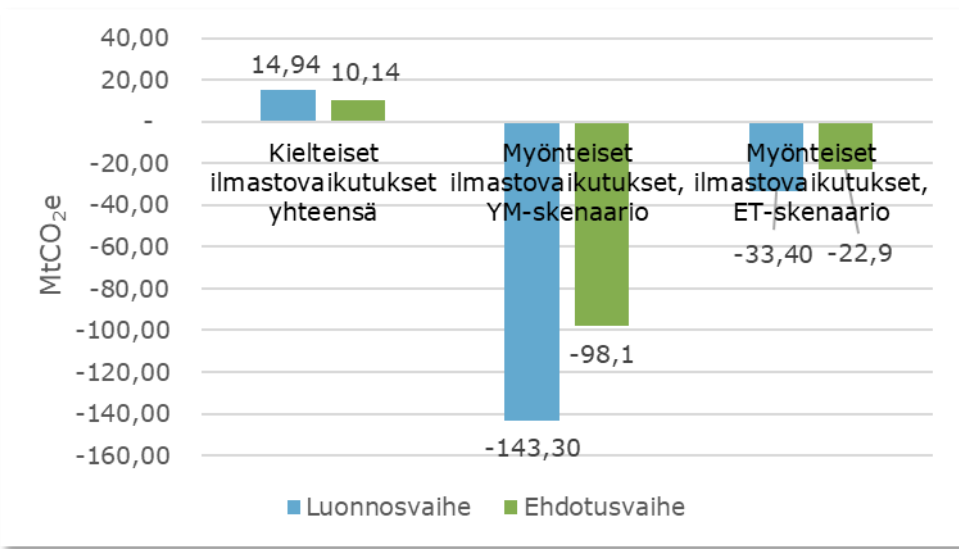
Kuva 40. Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomais ehdotuksen ja luonnosvaiheen tuulivoima-alueet.

Johtopäätökset

Jos Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan viranomaisehdotuksessa esitetyt tuulivoima-alueet rakennettaisiin täysimääräisesti, tuulivoimantuotannon rakentamisen ja toiminnan aikaiset CO₂-päästöt 35 vuoden elinkaaren aikana olisivat noin **10,1 miljoonaa tonnia CO₂e (Mt CO₂e)** mukaan lukien maankäytön muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset. Tuotetun uusiutuvan energian aikaansaama päästövähennys olisi **22,9 MtCO₂e - 98,1 MtCO₂e** riippuen käytetystä päästöskenaariosta (ET vai YM).

Vertailuna esimerkiksi koko Suomen energiasektorin vuotuiset päästöt olivat n. 33 miljoonaa tonnia CO₂e vuonna 2022 (Tilastokeskus, 2023).

Tuulivoiman ja sähkönsiirron rakentamisesta aiheutuu paikallisia vaikutuksia Pohjois-Pohjanmaan alueelle, kuten hiilivarastojen ja -nielujen vähenemistä. Uusiutuvan energian tuotannosta saatavat ilmastohyödyt ovat maailmanlaajuisia. Tässä selvityksessä tarkasteltiin ainoastaan tuulivoiman ja sähkönsiirron rakentamisen ilmastovaikutuksia, muita vaikutuksia ei otettu tässä selvityksessä huomioon.



Kuva 41. Yhteenveto luonnosvaiheen viranomaisehdotuksen tuulivoima-alueiden ja sähkönsiirron maksimipotentialin elinkaaren aikaisista ilmastovaikutuksista

Taulukko 22. Yhteenveto Pohjois-Pohjanmaan energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan luonnosvaiheen ja viranomaisehdotuksen ilmastovaikutuksista.

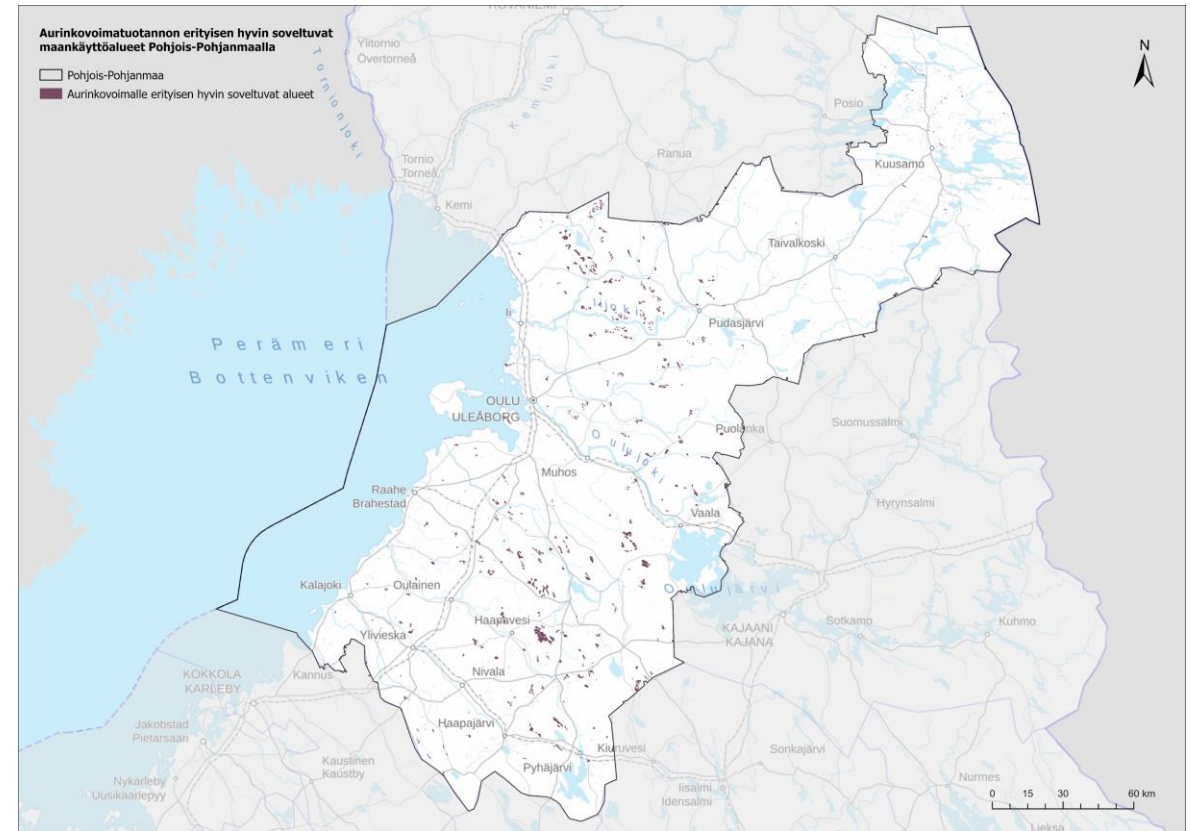
	Luonnosvaihe	Ehdotusvaihe	Muutos %
Tuulivoima-alueiden pinta-ala yhteensä (ha)	264 300	170 500	- 35 %
Tuulivoimaloiden maksimimäärä (kpl)	1 976	1 235	- 38 %
Sähkönsiirto (km)	868	839	- 3 %
Tuulivoimaloiden tilantarve, ha (eli alue, jolta kasvillisuus poistuu)	8 426	4 920	-42 %
KIELTEISET ILMASTOVAIKUTUKSET:	tCO₂	tCO₂	
Tuulivoimantuotannon rakentamisen ja toiminnan aikaiset CO ₂ -päästöt 35 vuoden elinkaaren aikana	12 410 475	8 495 025	-32 %
Sähkönsiirron rakentamisen ja toiminnan aikaiset CO ₂ -päästöt 35 vuoden elinkaaren aikana	396 107	373 714	- 6 %
Kasvillisuuden hiilivarastojen menetys (tuulivoima ja sähkönsiirto)	1 023 978	606 750	- 41 %
Metsien puuston hiilinielun menetys 35 vuoden elinkaaren aikana	979 785	585 224	- 40 %
Metsien maaperän hiilinielun menetys 35 vuoden elinkaaren aikana	134 371	80 259	- 40 %
Yhteensä:	14 944 716 (15 MtCO ₂ e)	10 140 972 (10,1 MtCO ₂ e)	-32 %
MYÖNTEISET ILMASTOVAIKUTUKSET	tCO₂	tCO₂	
Tuulivoiman tuottaman sähkön myönteiset ilmastovaikutukset (tCO ₂) 35 vuoden elinkaaren aikana:			
YM-skenaario	-143 300 000 (-143,3 MtCO ₂ e)	-98 100 000 (-98,1 MtCO ₂ e)	- 31 %
ET-skenaario	-33 400 000 (-33,4 MtCO ₂ e)	-22 900 000 (-22,9 MtCO ₂ e)	
NETTOVAIKUTUKSET:			
YM-skenaario	-128 355 284 (-128,4 MtCO ₂ e)	-87 959 028 (-88 MtCO ₂ e)	- 31 %
ET-skenaario	-18 455 284 (-18,4 MtCO ₂ e)	-12 759 028 (-12,7 MtCO ₂ e)	

Johtopäätökset

Eryyisen hyvin aurinkovoimatuotannolle soveltuvia maankäyttöalueita ovat maa-aineksen ottoalueet, louhokset, niityt ja käytöstä poistuneet turvesuot, jotka eivät vaadi voimakasta maan muokkausta tai puuston kaatamista paneelien sijoittamiseen. Tällaisia alueita on Pohjois-Pohjanmaalla yhteensä noin **43 000 ha**, joka on noin 1 % koko Pohjois-Pohjanmaan maapinta-alasta (37 149 km²). Tämä tarkoittaisi aurinkovoima-tuotantojärjestelmien sähkön kokonaistuotanto-kapasiteettina noin **37 317 MW**.

Tyypillisen aurinkovoimalan materiaalien valmistamisen ja kuljetusten hiilijalanjälki on noin **531 tCO₂e/ha**, minkä lisäksi rakennettaessa aurinkovoimala metsämaalle aiheutetaan noin **166 tCO₂e/ha** hiilivarastojen ja -nielujen menetys.

Aurinkovoiman tuotannolla aikaansaattava päästö-vähennelmä 30 vuoden elinkaaren aikana on noin **2 160 tCO₂e/ha** laskettuna YM:n päästökerroinskenaariolla ja noin **550 tCO₂e/ha** laskettuna Energiateollisuuden päästöskenaariolla.



Kuva 42. Aurinkovoimantuotannolle erityisen hyvin soveltuvat maankäyttöalueet Pohjois-Pohjanmaalla

Lähteet



POHJOIS-POHJANMAAN LIITTO | COUNCIL OF OULU REGION | Poratie 5 A, 90140 Oulu, Finland | +358 40 685 4000 | www.pohjois-pohjanmaa.fi

