



Suomen tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutukset

one planet
BY KARI & PANTSAR

 Suomen
uusiutuvat

Amanda Pasanen, Emma Kari, Christine Laine, Kalle Meller

Tiivistelmä

Kansainvälinen luontopaneeli IPBES ja hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli IPCC ovat todenneet, että ilmastonmuutos ja luontokato on ratkaistava yhdessä, muuten epäonnistumme molemmissa.¹ Tuuli- ja aurinkovoimaa tarvitaan korvaamaan fossiilisia polttoaineita ja bioenergiaa ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja luontokadon torjumiseksi. Kaikella ihmisen rakentamalla infrastruktuurilla on kuitenkin vaikutuksia luontoon, niin myös tuuli- ja aurinkovoimalla. Tässä selvityksessä on kartoitettu tuuli- ja aurinkovoimatoimialan olennaisimpia luontovaikutuksia Suomessa sekä vertailtu tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksia muihin energiantuotantomuotoihin. Selvitys ei käsittele merituuli-voimaa.

Selvityksen aineisto koostuu tieteellisestä tutkimuskirjallisuudesta, asiantuntijahaastatteluista, tuuli- ja aurinkovoimahankkeiden ympäristövaikutusten arviointien selvityksistä, ENCORE-työkalulla tehdystä luontovaikutusten arvioinnista sekä paikkatietopohjaisesta analyysistä tuulivoimaloiden sijoittumisesta Suomen eri elinympäristöihin. Koska luontovaikutusten mittaamiselle ja arvioinnille ei ole olemassa yhtä selkeää ja tarkkaa mittaria, on luontovaikutuksia tarkasteltu luontokadon eri ajureiden, eli maankäytön, ilmastonmuutoksen, luonnonvarojen kulutuksen sekä saasteiden yhteisvaikutusten näkökulmasta.

Tuuli- ja aurinkovoimarakentamisen on ennustettu jopa yli kymmenkertaistuvan Suomessa seuraavien vuosikymmenien aikana ja huoli uuden energiainfrastruktuurin vaikutuksista Suomen luontoon on aiheellinen ottaen huomioon Suomen lajien ja luontotyyppien nopean uhanalaistumiskehityksen. Luonnon ja ilmaston kannalta kestäväntä olisi vähentää energiankulutusta ja energian tarvetta, jotta uutta energiainfrastruktuuria tarvitsisi rakentaa mahdollisimman vähän. Mikäli nykyisenkaltaista tai nykyistä suurempaa energiankulutusta kuitenkin aiotaan pitää yllä, on fossiilisten ja biopohjaisten polttoaineiden korvaaminen tuuli- ja aurinkovoimalla luonnon kannalta merkittävästi kestävämpi vaihtoehto. Tehtyjen analyysien ja tarkastelujen perusteella on selvää, että tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutukset ovat merkittävästi muita energiantuotantomuotoja pienempiä. Tämä johtuu ennen kaikkea positiivisesta ilmasto- ja ympäristövaikutuksesta sekä vähäisistä saastevaikutuksista. Myös maankäyttövaikutukset sekä luonnonvarojen käyttöön liittyvät vaikutukset ovat merkittävästi esimerkiksi Suomessa laajamittaista bioenergian tuotantoa pienemmät. Ilmastonmuutos on yksi Suomen luonnon uhanalaistumisen merkittävimmistä ajureista ja näin ollen korkeapäästöisen energiantuotannon korvaaminen tuuli- ja aurinkovoimalla auttaa torjumaan myös Suomen luonnon uhanalaistumista.

Suomeen rakennetun tuuli- ja aurinkovoiman merkittävimmät globaalien tason luontovaikutukset syntyvät rakennusmateriaalien tuotannosta elinympäristöissä Suomen rajojen ulkopuolella. Merkittävien paikallinen luontovaikutus tuuli- ja aurinkovoimahankkeilla Suomessa on energiainfrastruktuurin aiheuttamat maankäytön muutokset, jotka pirstovat, pienentävät ja heikentävät elinympäristöjä ja saattavat aiheuttaa näin muun ihmistoiminnan kanssa lisäpainetta monille jo valmiiksi uhanalaistuneille lajeille ja luontotyypeille. Suomen elinympäristöistä tuulivoimalat vaikuttavat erityisesti metsiin, mitkä ovat myös Suomen yleisin elinympäristö. Optimistisimmassa tuulivoiman kasvuskenaarioissa tuulivoimaloiden ja niiden infran vaatima suora maankäyttövaikutus kohdistuu alle yhteen prosenttiin Suomen metsäpinta-alasta. Tuulivoimarakentamisen suora maankäyttövaikutus metsiin on suhteellisen pieni verrattaessa metsätalouteen, jonka käytössä on yli 90 prosenttia Suomen metsistä ja jonka myötä Suomessa avohakataan vuosittain monikymmenkertainen määrä metsää verrattuna tuulivoimaloiden suoraan maankäyttötarpeeseen. Tuulivoiman ympäristövaikutusten arvioinneissa erityistä huolta on kiinnitetty laajoja rauhallisia revierejä tarvitsevien lajien, kuten suurten nisäkkäiden sekä suurten petolintujen elinolosuhteisiin. Toistaiseksi tuulivoimarakentamisen vaikutuksista suuriin nisäkäslajeihin ei kuitenkaan ole tieteellisesti tutkittu Suomen oloissa, vaikka tämän selvityksen kirjoitushetkellä onkin meneillään useita tutkimushankkeita.

Teollisen mittakaavan aurinkovoimaa on Suomessa rakennettu tämän selvityksen kirjoitushetkellä vasta vähän ja toimiala on Suomessa vielä alkuvaiheessa. Selvityksen aineiston perusteella on kuitenkin oletettavaa, että teollisen mittakaavan aurinkovoiman osalta merkittävimmät luontovaikutukset Suomessa syntyvät aidattujen aurinkovoima-alueiden muodostamasta estevaikutuksesta eläinlajeille sekä laajojen voimalaitosalueiden hävittäessä metsäisiä elinympäristöjä, mikäli voimaloita sellaisiin sijoitetaan.

Niin tuuli- kuin aurinkovoimahankkeiden yhteydessä on mahdollista lisätä luonnon monimuotoisuutta itse hankealueilla, mikäli voimaloita sijoitetaan ihmisen jo valmiiksi muokkaamille alueille ja tehdään luonnon tilaa parantavia toimia sekä kompensoidaan haittoja. Jäljelle jäävien kielteisten luontovaikutusten kompensointi suojelemalla tai ennallistamalla luontoalueita lähialueilla on myös yksi tärkeä keino saavuttaa luonnon kannalta myönteisempi kokonaisvaikutus.

5.2.2025

Sisällysluettelo

1. Johdanto	5
2. Luonnon monimuotoisuus ja luontokato	6
2.1 Luonnon monimuotoisuus kuvaa elämän eri muotojen runsautta	6
2.2 Luonnon monimuotoisuuden perusta ja kehitys	7
2.3 Luontokato ja sen aiheuttajat	7-8
2.4 Luontokato Suomessa	8-10
2.5 Luontokatoon liittyvä politiikka ja sääntely	11
3. Tuuli- ja aurinkovoiman nykytila ja tulevaisuuden kehitysskenaariot Suomessa	12
3.1 Tuulivoiman nykytila ja tulevaisuus Suomessa	13-15
3.2 Aurinkovoiman nykytila ja tulevaisuus Suomessa	15
4. Luontovaikutusten arvioinnin menetelmät	16-17
5. Tuulivoiman luontovaikutukset	18-19
5.1 Maankäyttövaikutukset Suomessa	20
5.1.1 Vaikutukset elinympäristöihin ja luontotyyppeihin	20-23
5.1.2 Linnustovaikutukset	23-24
5.1.3 Vaikutukset muuhun eläimistöön	24-25
5.2 Ilmastovaikutukset	25-27
5.3 Vaikutukset luonnonvaroihin	28-29
5.4 Vaikutukset saasteisiin	29
6. Aurinkovoiman luontovaikutukset	30-31
6.1 Maankäyttövaikutukset	32
6.1.1 Vaikutukset elinympäristöihin ja luontotyyppeihin	33
6.1.2 Vaikutukset eläimistöön	34
6.2 Ilmastovaikutukset	34-35
6.3 Vaikutukset luonnonvaroihin	35
6.4 Vaikutukset saasteisiin	35
7. Vihreän siirtymän luontovaikutuksien vertailu fossiilisiin perustuvaan energijärjestelmään	36-43
8. Yhteenveto ja lopputulokset	44-45
9. Lähdeluettelo	46-55

1. Johdanto

Monimuotoinen luonto on kaiken ihmistoiminnan edellytys ja sen vuoksi myös tulevaisuuden energijärjestelmän on sopeuttava luonnon asettamiin reunaehtoihin ja tuettava osaltaan luonnon monimuotoisuutta.

Tuuli- ja aurinkovoimaa tarvitaan ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi sekä luontokadon pysäyttämiseksi. Ilmastonmuutos on maan- ja mertenkäytön sekä luonnonvarojen kulutuksen rinnalla merkittävin luontokadon aiheuttajia.² Ilmastonmuutoksen aiheuttamien ympäristömuutosten seurauksena lajien elinympäristöt muuttuvat liian nopeasti tai kutistuvat niin pieniksi, että lajit eivät niillä selviä.

Vihreän siirtymän myötä fossiilisia energialähteitä korvataan uusiutuvilla ja puhtailla energiantuotantomuodoilla ja energijärjestelmä sähköistyy. Ilmastolain (423/2022)³ mukaan Suomen tulee olla hiilineutraali vuonna 2035 ja pian sen jälkeen hiilinegatiivinen. Lisäksi Suomi on sitoutunut pysäyttämään luontokadon vuoteen 2030 mennessä ja tämän jälkeen vahvistamaan luonnon monimuotoisuutta. Tavoitteiden valossa on selvää, että uusiutuvan energian osuus kokonaisenergiantuotannosta tulee kasvamaan merkittävästi.

Puhtaan ja uusiutuvan energian tarve ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on suuri ja uuden fossiilisia korvaavan puhtaan energiantuotannon luontovaikutuksiin on viime vuosina alettu kiinnittämään alalla enemmän huomiota. Kansallinen sääntely ja ohjeistukset luontovaikutusten minimoinnista ja hyvittämisestä ovat vasta muotoutumassa, samaan aikaan kun alan investointitahti on kova. Nopeasti etenevän tuuli- ja aurinkovoiman rakentamisen kokonaisvaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen ei vielä tiedetä tarkkaan eikä niitä ole toistaiseksi arvioitu kovinkaan kattavasti Suomen mittakaavassa. Kansainvälisen tason selvitykset sekä energijärjestelmiä ja eri energiantuotantomuotoja vertailevat tutkimukset kuitenkin osoittavat kiistatta, kuinka uusiutuvaan energiaan pohjautuva vihreä energiasiirtymä on sekä luonnon että ilmaston kannalta monin verroin kestävämpi vaihtoehto kuin fossiilisiin perustuva järjestelmä.⁴ Vaikka uusiutuvaan energiaan pohjautuva energijärjestelmä on selvästi kestävämpi vaihtoehto fossiilisiin polttoaineisiin verrat-

tuna, myös uusiutuvan energian hankkeiden luontovaikutukset on arvioitava huolellisesti.

Tämä selvitys Suomen tuulivoima- ja aurinkovoimatoimialan luontovaikutuksista kokoaa ajankohtaisimman tutkimustiedon tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksista peilaten sitä tuuli- ja aurinkovoimahankkeiden ympäristövaikutusten arviointeihin, tutkijoiden näkemyksiin sekä paikkatietopohjaiseen arviointiin siitä, mihin tulevaisuuden tuuli- ja aurinkovoimahankkeet tulevat sijoittumaan. Tarkastelu rajautuu maalle rakennettavaan tuuli- ja aurinkovoimaan, ja selvityksessä keskitytään ennen kaikkea vaikutuksiin Suomen luonnossa. Selvitys toimii pohjana tuuli- ja aurinkovoima-alan luontovoitteen asetannalle sekä alan parhaiden luontokäytäntöjen kokoamiselle.

Selvityksessä käydään ensin läpi luonnon monimuotoisuuden perusta ja kehitys sekä luontokadon ajurit ja Suomessa tapahtuvan luontokadon erityispiirteitä. Tämän jälkeen käsitellään luontovaikutusten arvioinnin menetelmiä ja lähestymistapaa. Arvioinnin menetelmien esittelyn jälkeen käydään läpi tuuli- ja aurinkovoimatuotannon nykytilaa ja kasvuskenaarioita Suomessa. Skenaariot toimivat pohjana tuuli- ja aurinkovoiman paikkatietopohjaiselle arvioinnille seuraavissa luvuissa. Luvuissa neljä ja viisi käsitellään tuulivoiman ja aurinkovoiman luontovaikutuksia sekä yleisellä tasolla, että verraten vaikutuksia muihin energiantuotantomuotoihin. Selvityksen yhteenvedossa käydään läpi luontovaikutusten arvioinnin olennaisimmat tulokset ja opit.

Tämä selvityksen on laatinut Suomen uusiutuvat ry yhteistyössä One Planetin kanssa. Selvityksen laatimista on rahoittanut RELEX-säätiö.

² Pereira ym. 2024

³ Ilmastolaki 423/2022

⁴ Gibon ym. 2017; Gibon, ym. 2022; Luderer ym. 2019; The Biodiversity Consultancy & WWF 2023; WWF & BCG 2023

2. Luonnon monimuotoisuus ja luontokato



2.1 Luonnon monimuotoisuus kuvaa elämän eri muotojen runsautta

Luonnon monimuotoisuus tai biodiversiteetti kuvaa elämän rikkautta ja monimuotoisuutta mikroskooppisen pienistä eliöistä nisäkkäisiin, erilaisten ekosysteemien välistä vaihtelua ja toisaalta myös saman lajin sisäistä geneettistä vaihtelua. Luonnon monimuotoisuus ilmenee useilla eri tasoilla, esimerkiksi geneettisenä monimuotoisuutena, lajien monimuotoisuutena ja ekosysteemien monimuotoisuutena. Mitä monimuotoisempi ekosysteemi on, sitä paremmin se kestää ympäristössä tapahtuvia muutoksia ja toipuu siihen kohdistuneista häiriöistä, kuten esimerkiksi lämpenevästä ilmastosta, avohakkuusta tai vieraslajin leviämisestä.

Geneettinen monimuotoisuus viittaa geenien perinnöllisen vaihtelun runsauteen lajin tai eliöpopulaation sisällä. Jokaisella eliöyksilöllä on oma ainutlaatuinen perimä ja perinnöllinen vaihtelu mahdollistaa lajin sopeutumisen erilaisiin ympäristöolosuhteisiin. Geneettinen monimuotoisuus on vähentynyt elinympäristöjen häviämisen, pirstaloitumisen ja heikentymisen seurauksena sekä populaatioiden pienentymisen, luonnonvarojen ylikäytön ja haitallisten vieraslajien leviämisen vuoksi.

Lajien monimuotoisuus kuvaa lajien määrää ja runsautta tietyllä alueella. Maapallolta löytyy runsaasti erilaisia ekosysteemejä, joista jotkut ovat lajirikkaampia kuin toiset. Jokaisella lajilla ekosysteemissä on paikkansa, kasvilajit sitovat auringon säteilyenergiaa ja tuottavat ravintoa eläimille ja hajottajat, kuten sienet ja bakteerit käyttävät ravintonaan kuolleita eliöitä. Lajit ylläpitävät ekosysteemien vakautta ja kokonaisuutta. Yleensä mitä suurempi lajien monimuotoisuus on, sitä vakaampi on myös itse ekosysteemi.

Ekosysteemien monimuotoisuus tarkoittaa elinympäristöjen kuten erilaisten metsien, vesistöjen ja soiden monimuotoisuutta. Suomessa on esimerkiksi paljon erilaisia suo- ja metsäekosysteemejä, joita jaotellaan erilaisiin luontotyypppeihin kuten lehtometsiin tai kangasmetsiin. Ihmisen toiminnan seurauksena ekosysteemien kirjo on kaventunut, kun lehtometsiä on Etelä-Suomessa raivattu pelloiksi ja soita ojitettu metsä- ja maatalouskäyttöön. Erilaisten ekosysteemien väheneminen ja yksipuolistuminen vähentää luonnon resilienssiä, eli kykyä vastata ympäristössä tapahtuviin muutoksiin.

2.2 Luonnon monimuotoisuuden perusta ja kehitys

Luonnon monimuotoisuus on jatkuvan muutoksen alaisena ja monimuotoisuuden nykyinen tila perustuu satojen miljoonien vuosien mittaiseen eliöiden kehitykseen, eli evoluutioon. Lajien kehitystä selittävä evoluutioteoria kuvaa sitä kuinka uudet lajit ovat syntyneet olemassa olevista lajeista luonnonvalinnan avulla. Yksilöiden taistellessa olemassaolostaan ja populaatioiden eristytessä toisistaan, niistä on aikojen saatossa kehittynyt uusia lajeja. Luonnonvalinta tarkoittaa sitä, että ympäristöön parhaiten sopeutuneet yksilöt tuottavat eniten jälkeläisiä. Elinympäristöt ovat maapallon historian aikana muuttuneet jatkuvasti ja eliöt ovat sopeutuneet muutoksiin ja muodostaneet uusia lajeja. Maapallon 4,6 miljardia vuotta pitkän historian uusimpiin tulokkaisiin kuuluu ihminen, joka kehittyi lajina vasta noin 300 000 vuotta sitten. Ihminen on moniin muihin maapallon nykyisiin lajeihin verrattuna melko uusi laji.

Luonnon monimuotoisuuden perusta on vedessä ja geodiversiteetissä. Maa- ja kallioperän ominaisuudet yhdessä ilmaston kanssa asettavat reunaehdot biodiversiteetille ja elämälle kaikissa sen muodoissaan. Geodiversiteetti eli eloton luonto määrää ympäristön fyysiset ominaisuudet ja ulottuvuudet, esimerkiksi kivennäismaan laadun tai järvaltaan syvyyden. Elollinen luonto eli biodiversiteetti rakentuu maaperän geodiversiteetin ja ilmaston luomien vaihteluiden pohjalta. Toimivassa ekosysteemissä sekä geodiversiteetillä että biodiversiteetillä ja jokaisella eliöllä on oma roolinsa yhteen nivoutuneessa kokonaisuudessa.⁵

Maa- ja kallioperän ominaisuudet yhdessä ilmaston kanssa asettavat reunaehdot biodiversiteetille ja elämälle kaikissa sen muodoissaan.

Maa- ja kallioperän ominaisuudet yhdessä ilmaston kanssa asettavat reunaehdot biodiversiteetille ja elämälle kaikissa sen muodoissaan.

2.3 Luontokato ja sen aiheuttajat

Elämä maapallolla on synnystään 3,5 miljardia vuotta sitten kulkenut koko ajan kohti suurempaa lajikirjoa. Maapallolla elää tällä hetkellä arviolta noin 5-30 miljoonaa eliölajia. Lajien määrän lisääntymisessä on kuitenkin tapahtunut myös notkahduksia, kun lajeja on kuollut merkittävässä määrin viiden joukkosukupuutoksi kutsutun ajanjakson aikana. Ihmisen toiminnasta aiheutuvaa lajikatoa on luonnehdittu kuudenneksi sukupuuttoaallokseksi, sillä noin kolmasosa maailman luonnon monimuotoisuudesta on hävinnyt ihmisen toiminnan seurauksena. Selkärangaisia eläinlajeja häviää maapallolta noin sata kertaa nopeammin, kuin mikä on luontainen sukupuuttovauhti. Selkärankaisten villien eläinlajien populaatiot ovat kutistuneet jopa 73 % viimeisen 50 vuoden aikana, pitkälti ihmisen toiminnan seurauksena.⁹ Ihmisen mittavaa vaikutusta maailman eläinpopulaatioihin kuvaa myös se, että jopa 96 prosenttia maapallon nisäkkäistä on ihmisiä ja tuotantoeläimiä, kun taas luonnonvaraisia nisäkkäitä on vain neljä prosenttia.¹⁰

eli ”hot spotit”. Lähes puolet maailman putkilokasveista ja kolmasosa maan selkärangaisista eläistä vain monimuotoisuuskeskuksissa, eikä niitä esiinny muualla maapallolla. Yhdelläkään näistä alueista ei ole jäljellä yli kolmasosaa niiden alkuperäisestä elinympäristöistä ihmistoiminnan seurauksena.⁶ Luonnon monimuotoisuuden keskittymät voivat olla laajoja, kuten Välimeren alue tai Japanin saarivaltio merialueineen, mutta ainutlaatuisen lajistonsa vuoksi ne ovat erityisen herkkiä ihmisen toiminnan vaikutuksille. Monimuotoisuuskeskusten lisäksi maapallolla on kansallisesti tunnistettu tärkeitä biodiversiteettialueita (Key Biodiversity Areas, KBA), jotka ovat olennaisia globaalien biodiversiteetin säilymistä kannalta. Kansainvälisen luonnonsuojeluliiton IUCN:n mukaan tärkeitä biodiversiteettialueita on yhteensä 16 551, joista jokaisen pinta-alasta on keskimäärin 46,1 % suojelualueiden peitossa.⁷

Suomi ei sijaitse globaalien monimuotoisuuskeskusten alueella. Suomessa on kuitenkin luonnon monimuotoisuuden kannalta merkittäviä luontotyyppisiä metsien, soiden kuin vesistöjenkin osalta. Esimerkiksi lehdot, vanhat ja luonnontilaiset metsät, aapasuot ja palsasuot kuuluvat EU:n luontodirektiivin suojelumiin luontotyyppisiin.⁸ Suomi kuuluu pohjoisen pallonpuoliskon laajaan taigametsävyöhykkeeseen, jossa metsät ja suot sitovat huomattavan määrän hiiltä. Tästä syystä alueen säilyminen hiilinieluna on tärkeässä roolissa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä.

⁵ Tukiainen ym. 2022

⁶ Brooks ym. 2002

⁷ IUCN ei julkaisuvuotta

⁸ Neuvoston direktiivi 92/43/ETY 1992

⁹ WWF 2024

¹⁰ Bar-On ym. 2018

¹¹ World Economic Forum 2020

Luontokadon ajureiden ymmärtäminen on olennaista, jotta pystytään puuttumaan luontokatoa aiheuttavaan ihmistoimintaan ja lieventämään luontoon kohdistuvia paineita. Keskeisimmät luontokadon ajurit ovat maan ja merten käytön muutokset, lajien ja luonnonvarojen suora hyödyntäminen, ilmastonmuutos, saastuminen ja vieraslajit.¹² Ajureiden taustavoimina toimii mm. tuotanto- ja kulutuskäyttäytyminen, väestönkasvu ja taloudellinen kasvu.¹³ Luontokadon suurin aiheuttaja on maan ja merten käytön muutokset, eli käytännössä ihmisen viemä tila villiltä luonnolta ruoan viljelyn ja tuottamisen, teollisuuden sekä yhteiskuntien rakentamisen ja infrastruktuurin myötä. Maan ja merten käytön muutokset muokkaavat alueita pysyvästi, mikä heikentää niiden laatua tai tekee niistä osin tai kokonaan elinkelvottomia muille eliöille. Eliöiden ja luonnonvarojen suora hyödyntäminen taas näyttäytyy esimerkiksi merialueilla ylikalastuksena ja maalla metsien liikahakuina.

Ilmastonmuutoksen merkitys luontokadon aiheuttajana on koko ajan kasvussa, sillä muuttuva ilmasto aiheuttaa liian nopeita muutoksia ekosysteemeissä ja ilmasto-olosuhteissa, joihin moni laji ei ehdi sopeutumaan. Monimuotoinen luonto pystyy sopeutumaan paremmin ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin. Kun geenien, lajien ja ekosysteemien kirjo on laajempi, luonnolla on paremmin kyvykkyyttä kohdata häiriöitä

2.4 Luontokato Suomessa

Suomen luontotyypeistä lähes puolet ja lajeista 12 prosenttia ovat uhanalaisia.¹⁵ On kuitenkin tärkeää huomioda, että vain 47 % Suomen noin 48 000 tavatusta lajista tunnetaan niin hyvin, että niiden uhanalaisuus on voitu arvioida.¹⁶ Luonnonvarojen ylikulutus, maankäyttö ja rakentaminen ovat luontokadon merkittävimpiä syitä niin Suomessa kuin muualla maailmassa. Valtaosa Suomen maapinta-alasta, jopa 77 prosenttia, on metsää ja puustoisia soita, noin kahdeksan prosenttia Suomen pinta-alasta on maatalousympäristöjä ja kuusi prosenttia kosteikkoja, joista suurin osa on avosoita ja tuntureita.¹⁷ Luontotyyppien osalta tuoret, kuivahkot ja lehtomaiset kankaat kattavat jopa 53 prosenttia maa-alasta ja rämeet, eli mäntypuustoiset suot jopa 16 prosenttia. Suomen luonnon tilan kehitykselle on suuri merkitys sillä, miten laajimpien ja yleisimpien luontotyyppien tila kehittyy ja minkälaiselle ihmistoiminnalle nämä luontotyypit altistuvat.

Suomen yleisimmissä elinympäristöissä, eli metsissä ja soilla, ihmistoiminnan aiheuttamat muutokset luonnossa kiihtyivät 1900-luvulla. Soiden raivaus pelloiksi alkoi kasvaa voimakkaasti vuosisadan alussa väestönkasvun, rehuntuotannon lisääntymisen ja sotien jälkeisen asutustoiminnan myötä. Metsien käyttö puolestaan tehostui sotien jälkeen energiansaannin turvaamiseksi ja sotakorvausten maksamiseksi. Tehometsätalouden syntyä edisti myös metsäteollisuuden koneellistumisen sekä puutavaran kysynnän kasvu.¹⁸ 1960-1970-luvuilla soiden ojittaminen metsätaloudeksi kiihtyi entisestään, kun koneellis-

ten menetelmien kehitys mahdollisti nopeamman raivauksen. Arviolta 1990-luvun alkuun mennessä noin miljoona hehtaaria soita oli raivattu pelloiksi.¹⁹

ten menetelmien kehitys mahdollisti nopeamman raivauksen. Arviolta 1990-luvun alkuun mennessä noin miljoona hehtaaria soita oli raivattu pelloiksi.¹⁹

ten menetelmien kehitys mahdollisti nopeamman raivauksen. Arviolta 1990-luvun alkuun mennessä noin miljoona hehtaaria soita oli raivattu pelloiksi.¹⁹

Suomen Luontopaneelin tekemän kokonaisarvion mukaan Suomen luonnon heikentyminen on jatkunut 2000-luvulla ja heikentyminen on ollut erityisen merkittävää etenkin metsäisissä luontotyypeissä.²⁰ Uhanalaisten lajien määrällä mitattuna Suomen luonnon monimuotoisuuden heikentyminen on 2000-luvulla nopeutunut.²¹ Suomen ympäristökeskus ja Luonnonvarakeskus ovat tunnistaneet Suomessa suurimmiksi luonnon monimuotoisuuteen kohdistuviksi paineiksi metsätalouden, maatalouden, rakentamisen sekä saastumisen ja ilmastonmuutoksen.²²

Metsätalouden luonnon monimuotoisuutta heikentävät vaikutukset liittyvät metsien hakkuihin, metsäojitukseen, maanmuokkaukseen, lehtojen kuusettumiseen, kuolleen puun vähäiseen määrään, vanhojen metsien vähenemiseen sekä puulajisuhteiden yksipuolistumiseen.²³ Vuonna 2019 julkaistussa lajien Punaisessa kirjassa uhanalaisiksi arvioitujen metsälajien määrä oli selvästi suurin, lähes kolmasosa kaikista uhanalaisista lajeista.²⁴ Metsätalouden vaikutukset eivät jää kuitenkaan vain metsiin, vaan ulottuvat myös vesistöihin esimerkiksi soiden kuivattamisen, maanmuokkauksen sekä sateiden ja pintavalumien mukana kulkevien ravinteiden kautta.

¹² IPBES 2019

¹³ IPBES 2019

¹⁴ IPCC 2022

¹⁵ Hyvärinen ym. 2019; Kontula & Raunio 2018

¹⁶ Hyvärinen ym. 2019

¹⁷ Kangas ym. 2023

¹⁸ Metsähallitus ei julkaisuvuotta

¹⁹ Mylly & Sinkkonen, 2004

²⁰ Kotiaho ym. 2023

²¹ Auvinen ym. 2020

²² Auvinen ym. 2020

²³ Auvinen ym. 2020

²⁴ Hyvärinen ym. 2019

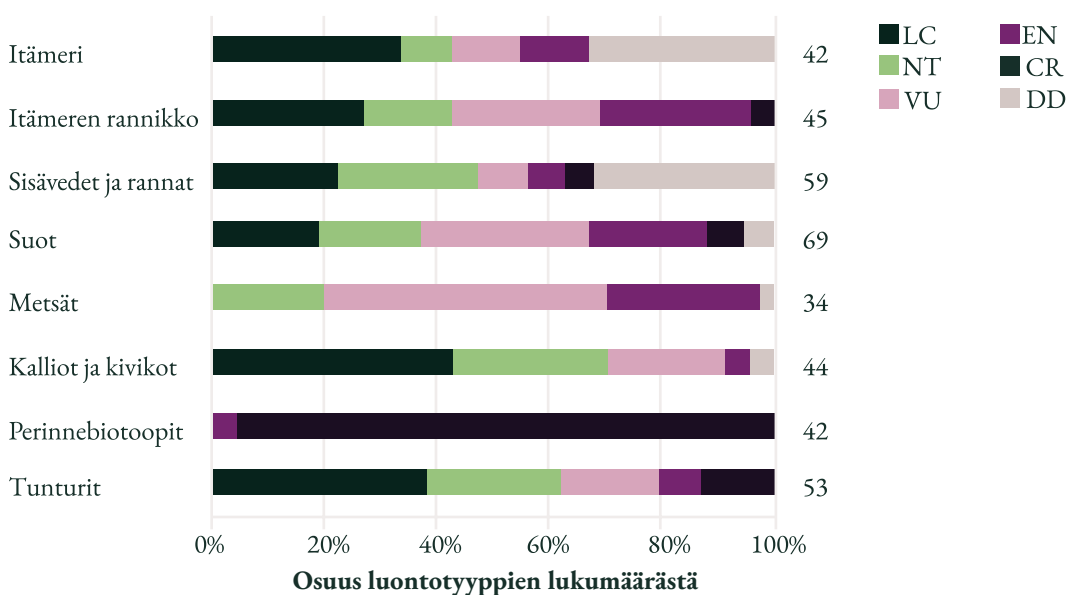
Maatalous on vaikuttanut Suomen monimuotoiseen luontoon yksinkertaistamalla maisemaa ja viemällä tilaa muulta luonnolta, kun esimerkiksi tilakoot ovat kasvaneet ja maankäyttö tehostunut mm. salaojituksien myötä. Perinteisen maatalouden loppuminen niittoineen ja laidunneuksineen on johtanut maatalouden perinneympäristöjen luontotyyppien ja lajien uhanalaistumiseen tai jopa häviämiseen.²⁵ Metsätalouden tavoin myös maatalouden haittavaikutuksia voidaan nähdä esimerkiksi vesistöissä. Lähes neljännes Suomen uhanalaisista lajeista on riippuvaisia perinnebiotoopeista, eli perinteisistä maatalousympäristöistä, jotka ovat maatalouden muuttumisen myötä häviämässä.²⁶ Suomen kaikki perinnebiotoopit ovat uhanalaisia.

Teollisuutta ja asutusta varten rakennettava infrastruktuuri aiheuttaa myös luontokatoa Suomessa.²⁷ Tähän kuuluu esimerkiksi rakennusten ja muiden rakennelmien rakentaminen, liikenneväylien rakentaminen ja ylläpito sekä energiantuotannon tarvitsema infrastruktuuri. Rakentaminen pirstoo luonnonympäristöjä, mikä heikentää lajien elinympäristöjä ja eristää

eliöpopulaatioita toisistaan heikentäen näin myös geneettistä monimuotoisuutta.

Suomen uusimman luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin mukaan eniten uhanalaisia luontotyyppijä löytyy Suomen perinnebiotooppi- ja metsäluontotyypeistä (kuva 1).²⁸ Etenkin tunturiluontotyyppien ja vesistöjen uhanalaistumiskehitys on vahvasti kytköksissä ilmastonmuutoksen voimistuviin vaikutuksiin.²⁹ Tulevaisuuden uhkatekijänä ilmastonmuutos mainitaan yli 150 luontotyyppillä eli noin 40 %:lla kaikista arvioituista luontotyypeistä. Ilmastonmuutoksen on arvioitu vaikuttavan erityisesti tunturiluontotyyppien määrään ja levinneisyyteen. Lisäksi ilmastonmuutos voi voimistaa jo olemassa olevia paineita, kuten vesistöjen rehevöitymistä ja umpeenkasvua, routimismiöitä sekä ekosysteemien happamuuden lisääntymistä, jotka kaikki olennaisesti vaikuttavat luontotyyppien rakenteeseen ja toimintaan.³⁰

Suomen luontotyyppien jakautuminen uhanalaisuusluokkiin



Suomen lajien uhanalaisuus on kasvusuunnassa ja uhanalaisten lajien osuus on lisääntynyt uusimmissa uhanalaisuusarvioinneissa. Suurin osa uhanalaisista lajeista elää ensisijaisesti metsissä ja erityisesti vanhat ja luonnontilaiset metsät ovat tärkeitä monille uhanalaisille lajeille. Lisäksi erityisesti niittyjen ja kotojen sekä muiden perinneympäristöjen lajisto on kärsinyt perinteisen maatalouden vähenemisestä. Rannikkoalueiden ja Itämeren

lajistoa sekä sisävesiä uhkaa vesistöjen rehevöityminen ja sen myötä lajiston yksipuolistuminen. Vuoden 2019 uhanalaisuusarvioinnin mukaan Suomen uhanalaisimpiin lajiryhmiin kuuluu linnut (35 % uhanalaisia), sammat (31 % uhanalaisia) ja jäkälet (28 %) (kuva 2).³²

²⁵ Auvinen ym. 2020

²⁶ Hyvärinen ym. 2019

²⁷ Auvinen ym. 2020

²⁸ Kontula & Raunio 2018

²⁹ Kontula & Raunio 2018

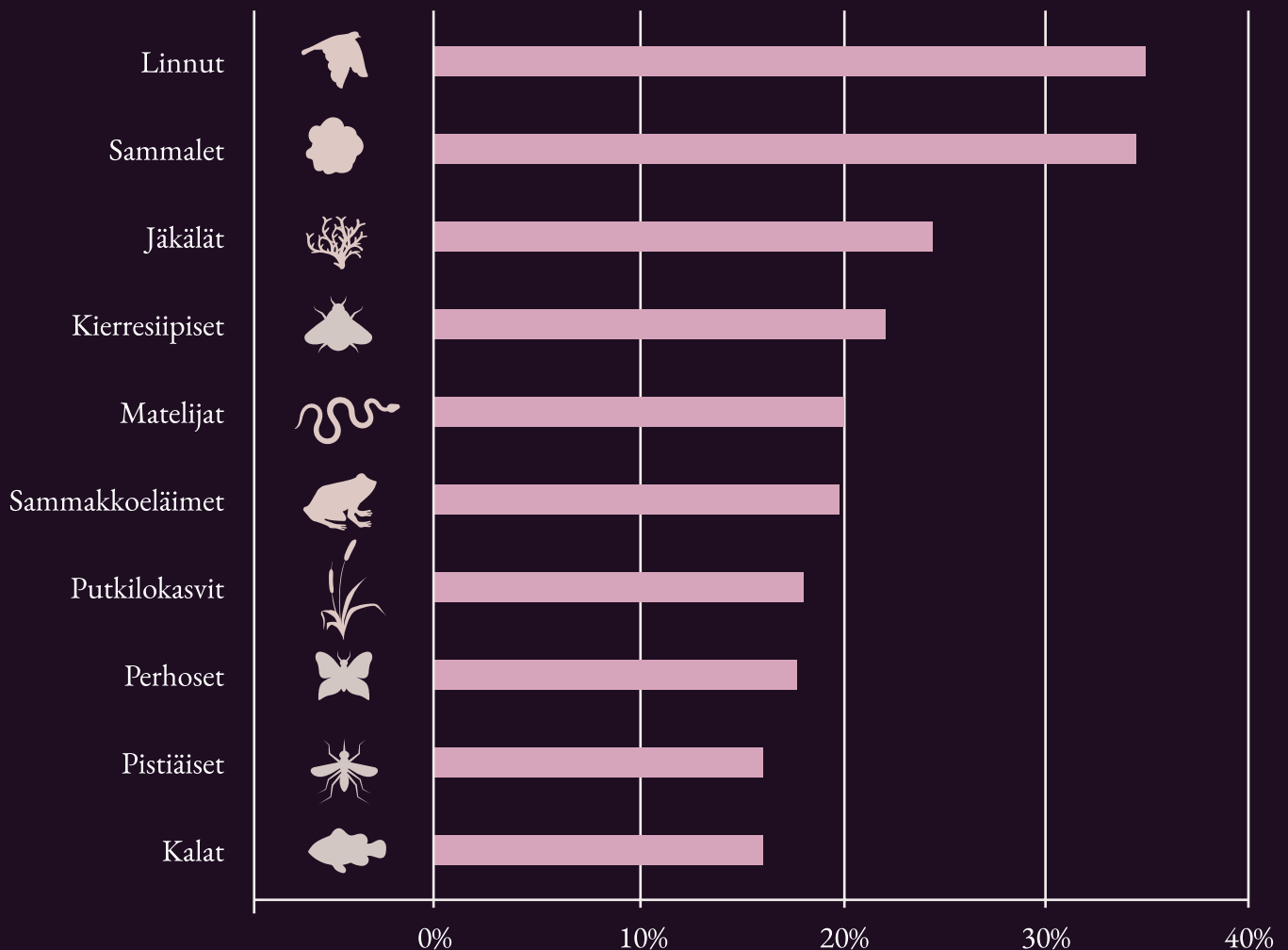
³⁰ Kontula & Raunio 2018

³¹ Kontula & Raunio 2018

³² Hyvärinen ym. 2019

Yli kolmannes Suomen linnuista ja sammalista on uhanalaisia, jäkälistä noin neljännes.

10 uhanalaisinta eläinryhmää : uhanalaisten osuus arvioiduista lajeista Suomessa



Kuva 2. Suomen uhanalaisimmat lajiryhmät uusimman Suomen lajien uhanalaisuusarvioinnin mukaan³³.

2.5 Luontokatoon liittyvä politiikka ja sääntely

Ihmissen aiheuttamaan kuudenteen sukupuuttoaaltoon ja luontokadon vakaviin riskeihin ja kriittisiin seurauksiin on herätty kansainvälisessä yhteisössä astetta myöhemmin kuin ilmastonmuutoksen aiheuttamiin riskeihin. Tänä päivänä luontokato on kuitenkin tunnistettu yhtä merkittäväksi uhaksi ihmisen hyvinvoinnille ja tulevaisuudelle kuin ilmastonmuutos, ja tästä johtuen YK:ssa on solmittu useita sopimuksia, joiden tavoitteena on pysäyttää luontokato.³⁴

Vuonna 1992 solmittiin ensimmäinen globaali sopimus biodiversiteetin köyhtymisen pysäyttämiseksi YK:n Rio De Janeiron huippukokouksessa.³⁵ Viimeisin, syksyllä 2022 allekirjoitettu maailmanlaajuinen viitekehys on Kunming-Montreal-asiakirja, jonka tavoitteena on pysäyttää luontokato vuoteen 2030 mennessä ja sen jälkeen vahvistaa luonnon monimuotoisuutta eli saavuttaa luontopositivisuus.³⁶ Samainen tavoite on myös EU:n biodiversiteettistrategiassa.³⁷ Suomi on muiden jäsenmaiden kanssa sitoutunut strategian avaintavoitteisiin. EU:n biodiversiteettistrategian päätavoitteisiin kuuluu muun muassa suojella vähintään 30 prosenttia EU:n maa- ja merialueista sekä asettaa tiukemmat suojelutoimet vähintään kolmannekselle EU:n suojelualueista, mukaan lukien kaikki jäljellä olevat iki- ja aarniometsät. Osana EU:n biodiversiteettistrategiaa laadittu ennallistamisasetus määrittelee, että vuoteen 2030 mennessä ennallistamistoimenpiteitä on toteutettava vähintään 20 prosentilla EU:n maa- ja merialueista.³⁸ Lisäksi tavoitteena on ulottaa toimenpiteet kattamaan kaikki ennallistamista tarvitsevat ekosysteemit vuoteen 2050 mennessä. Vuoteen 2030, 2040 ja 2050 mennessä heikennetyistä EU:n luontodirektiiviin kuuluvista luontotyypeistä tai luontotyyppiryhmistä 30, 60 ja 90 prosenttia on oltava ennallistettuna niin, että ne saavuttavat hyvän tilan. Tämä määräys koskee sekä suojelualueilla että niiden ulkopuolella sijaitsevia luontotyyppejä.³⁹

Suomen luontopolitiikkaa ohjaavat luonnollisesti kansainväliset sitoumukset ja EU:n biodiversiteettistrategia sekä siihen liittyvä lainsäädäntö, kuten ennallistamisasetus. Suomessa laaditaan parhaillaan suunnitelmia ennallistamisasetuksen velvoitteiden täyttämiseksi. Ennallistamisasetus velvoittaa Suomea nostamaan ennallistamistoimien määrä merkittävästi suhteessa nykyiseen tasoon, Suomen Luonnonvarakeskuksen mukaan esimerkiksi soiden ennallistaminen tulisi kahdeksankertaistaa nykyisestä ennallistamistahdista.⁴⁰ Tämä tarkoittaa, että ennallistamisasetuksen tavoitteiden saavuttamiseksi tullaan tarvitsemaan uusia keinoja. Keinot voivat liittyä erilaisiin taloudellisiin kannusteisiin sekä uusiin velvoitteisiin, kuten ekologisen kompensaation osittaiseen velvoittavuuteen.

Yhtenä ratkaisuja kansainvälisiin luontovelvoitteisiin ympäristöministeriö on kehittämässä vapaaehtoisia luonnonarvomarkkinoita yhdessä yksityisen sektorin kanssa.⁴¹ Luonnonarvomarkkinoiden tarkoituksena on, että markkinoilta voi ostaa yksiköitä

eli luonnonarvohehtaareita, joita käytetään luontoväittämien perustelemiseen yritysten, tuotteiden ja palveluiden markkinoinnissa. Ympäristöministeriössä valmistellaan luonnonsuojelulain säännösten täsmentämistä siten, että luonnonarvohehtaarien hyödyntäminen voi kattaa muutakin kuin haitan kompensoimista eli myös käyttämisen luontoväittämien tekemiseen. Tavoitteena on, että markkinaehtoiset ratkaisut ovat käytössä kansallisessa luonnonarvokaupassa vuoteen 2026 mennessä.

Yleisemmän luonnonsuojeluun liittyvän sääntelyn osalta Suomen luonnonsuojelulaki määrittelee esimerkiksi luonnonsuojelualueiden perustamisen ja hoidon sekä uhanalaisten lajien suojeluun liittyvän sääntelyn.⁴² Vuonna 2023 luonnonsuojelulakiin lisättiin säännös vapaaehtoisesta ekologisesta kompensatiosta, joka asettaa kriteerit sille miten luonnon tilaa heikentävää toimintaa on mahdollista kompensoida joko ennallistamalla tai suojelemalla vastaavia alueita toisaalla. Lisäksi valtio toteuttaa erilaisia luonnonsuojeluohjelmia, kuten METSO- ja HELMI-ohjelmat, joilla tuetaan metsien ja muiden arvokkaiden luontotyyppien suojelua, ennallistamista ja monimuotoisuuden vahvistamista. Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä ohjaa Suomessa sellaisten hankkeiden suunnittelua, joilla on merkittäviä ympäristövaikutuksia, kuten teollisuuslaitosten, liikenneväylien tai suurten rakennushankkeiden toteutusta.⁴³ YVA-menettelyssä arvioidaan hankkeen vaikutuksia esimerkiksi luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin, maaperään, ilmalatuun ja ihmisten elinympäristöön. Tavoitteena on tunnistaa ja minimoida haitalliset ympäristövaikutukset jo ennen hankkeen aloittamista sekä edistää kestävää päätöksentekoa.

Suomelle ollaan parhaillaan laatimassa kansallista luonnon monimuotoisuusstrategiaa sekä siihen liittyvää toimintaohjelmaa vuoteen 2035.⁴⁴ Strategialla tavoitellaan luontokadon pysäyttämistä ja luonnon monimuotoisuuden kehityksen kääntämistä elpymisuralle. Strategiassa on määrä asettaa myös suojelutavoitteita luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi. Tavoitteena on mm. suojella 30 % maa- ja merialueista vuoteen 2030 mennessä ja 10 % metsämaista vuoteen 2035 mennessä.⁴⁵

³⁴ Convention on Biological Diversity 2022; UNEP 2019

³⁵ Yhdistyneet kansakunnat 1992

³⁶ Convention on Biological Diversity 2022

³⁷ Euroopan Komissio 2020

³⁸ Euroopan Komissio 2022

³⁹ Euroopan Komissio 2022

⁴⁰ Räsänen ym. 2023

⁴¹ Ympäristöministeriö 2024

⁴² Luonnonsuojelulaki 9/2023

⁴³ Laki ympäristövaikutusten

arviointimenettelystä 252/2017

⁴⁴ Ympäristöministeriö 2021

⁴⁵ Ympäristöministeriö 2022

3. Tuuli- ja aurinkovoiman nykytila ja tulevaisuuden kehitysskenaariot Suomessa



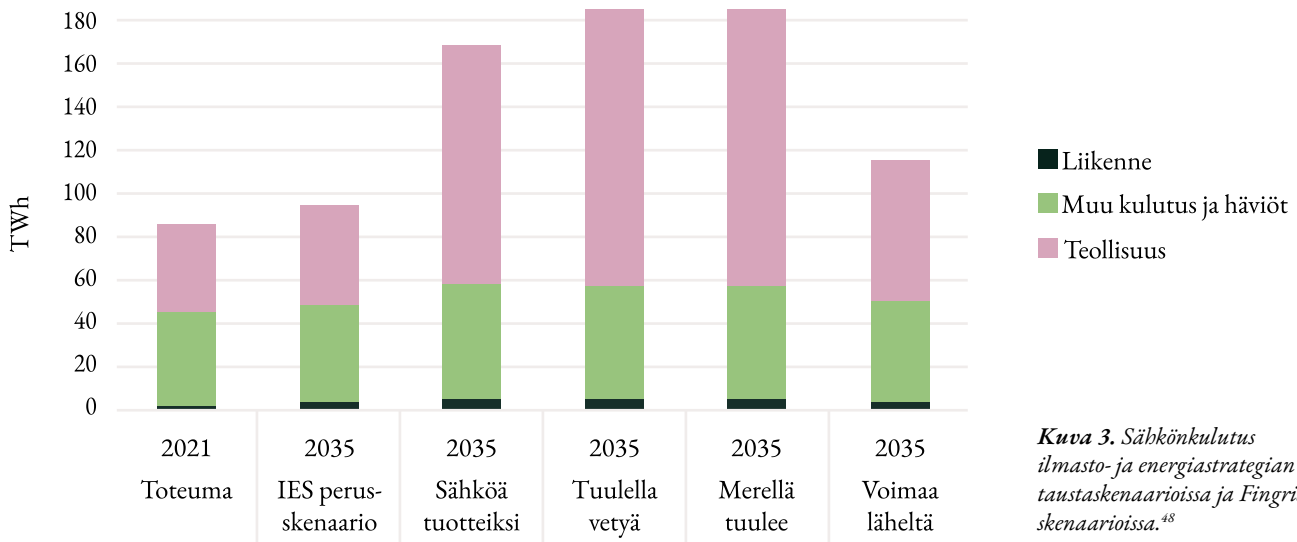
Energiasektorin tulevaisuuden näkymiä Suomessa ja EU:ssa ohjaa vahvasti sekä EU:n että Suomen kansallinen ilmasto- ja ympäristöpolitiikka ja siihen liittyvät taloudelliset ohjauskeinot, kuten EU:n päästökauppa.

Suomessa ratkaisevia kehityskulkuja uusiutuvan energian tuotannon kannalta on lämmöntuotannon sähköistyminen sekä teollisuuden vihreä siirtymä, joka vaatii energiajärjestelmältä siirtoverkkoyhteyksien lisäämistä sekä lisää energianvarastointi- ja säätökykyä. Vihreän siirtymän myötä fossiilisia energialähteitä korvataan uusiutuvilla ja puhtaammilla energiantuotantomuodoilla ja energiajärjestelmä sähköistyy. Polku hiilineutraaliin Suomeen kulkee sähköistämisen kautta: ensin tehdään sähköntuotannosta päästötöntä ja sen jälkeen sähköistetään yhteiskunnan ja talouden toiminnot niin pitkälle kuin se on mahdollista.

Energiateollisuus ry:n vuoteen 2040 ulottuvan Energiavision mukaan tuulivoima, pienydinvoima ja orastava vetytalous tarjoavat lupaavimmat kasvunäkymät energiajärjestelmän osalta, mutta energiamurroksen onnistuminen edellyttää sähkön kysynnän ja tuotannon investointien ajoittamista samanaikaisesti.⁴⁶ Uusiutuvan energian tuotannon merkittävä lisääntyminen on vahvasti kytköksissä teollisuuden kysyntään sekä puhtaan

vedyn tuotantoon ja vientiin. Energiateollisuus ry:n mukaan Suomen tuuli- ja aurinkovoimatuotannon pitäisi kasvaa nykyisestä määrästä kymmenkertaiseksi vuoteen 2040 mennessä, mikäli Suomi haluaisi päästä vihreän teollisuuden suurvallaksi.

Suomen energiajärjestelmän kehityssuuntia on hahmoteltu mallinnuksen avulla myös kantaverkkoyhtiö Fingridin toimesta.⁴⁷ Fingridin skenaariot perustuvat oletuksiin teollisuuden sähkönkysynnän kasvamisesta Suomen ollessa houkutteleva kohde energiantensiivisille teollisuusinvestoinneille (kuva 3). Fingridin mukaan jopa muutamat suuret toimijat, kuten akkuteollisuuden sähköintensiiviset osat tai uudet datakeskukset, voisivat merkittävästi lisätä sähkönkäyttöä. Power-to-X-teollisuus, jossa sähköä muunnetaan muiksi energianlähteiksi tai kemikaaleiksi, kuten vedyksi tai ammoniakiksi, nähdään Fingridin skenaarioissa suurimpana uusiutuvan energian kasvun vauhdittajana.

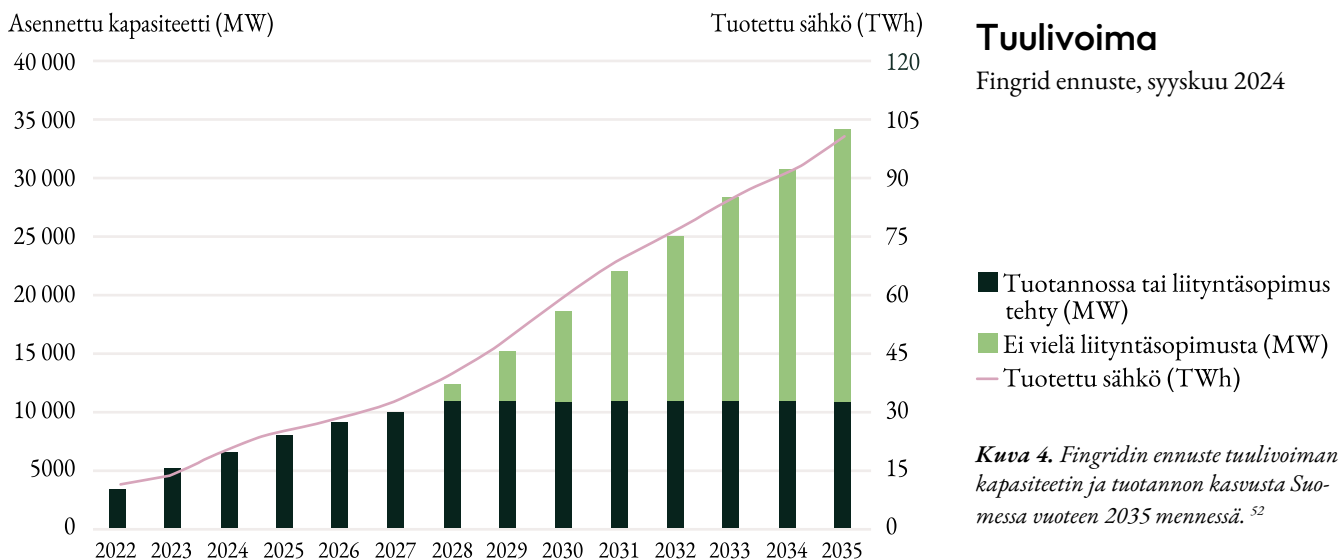


Kuva 3. Sähkönkulutus ilmasto- ja energiastrategian taustaskenaarioissa ja Fingridin skenaarioissa.⁴⁸

3.1 Tuulivoiman nykytila ja tulevaisuus Suomessa

Suomi on yksi Euroopan houkuttelevimmista paikoista rakentaa tuulivoimaa tuuliolosuhteiden, tilan ja otollisten maaperäolosuhteiden vuoksi. Maalle rakennettu tuulivoima on tällä hetkellä edullisin sähköntuotantomuoto Suomessa ja tuulivoima tulee olemaan Suomen tulevaisuuden merkittävin sähköntuotantomuoto. Suomen uusiutuvat ry raportoi kesäkuussa 2024, että Suomessa on käynnissä yhteensä 438 tuulivoimahanketta, joiden teho on yli 142 GW, eri kehitysvaiheissa. Näistä 22 hanketta (2,7 GW) oli rakenteilla, ja loput vielä suunnittelu- ja lupavaiheessa. Lähes puolet suunnitellusta kapasiteetista on merituulivoimahankkeita.⁴⁹

Suomessa oli vuoden 2024 loppuun mennessä toteutunut tuulivoimakapasiteetti noin 8358 MW mikä vastaa 1835 tuulivoimaa.⁵⁰ Vuonna 2023 tuulivoiman tuotanto kasvoi jopa 25 %.⁵¹ Fingridin ennusteen mukaan vuonna 2030 Suomen tuulivoimakapasiteetti voi olla jopa yli kaksinkertaistunut nykyisestä noin 18 000 MW:iin (kuva 4).



Tuulivoima

Fingrid ennuste, syyskuu 2024

Kuva 4. Fingridin ennuste tuulivoiman kapasiteetin ja tuotannon kasvusta Suomessa vuoteen 2035 mennessä.⁵²

Tuulivoimaloita on Suomen pinta-alaan nähden vielä verrattain vähän, jos vertaa esimerkiksi maapinta-alaltaan samaa kokoluokkaan olevaan Saksaan, jossa voimaloita oli vuoden 2023 lopussa 29 000.⁵³ Jo tehtyjen investointipäätösten perusteella tuulivoima tulee kasvamaan Suomen suurimmaksi sähköntuotantomuodoksi 2020-luvulla.⁵⁴

⁴⁸ Fingrid 2023

⁴⁹ Suomen uusiutuvat ry 2024c

⁵⁰ Suomen uusiutuvat ry 2024b

⁵¹ Energiategiaisuus ry 2024a

⁵² Fingrid 2024

⁵³ Wehrmann 2024

⁵⁴ Suomen uusiutuvat ry 2024d

Suomen uusiutuvat ry:n hankelistauksen mukaan elokuussa 2024 Suomeen oli suunnitteilla vajaa 73 000 MW tuulivoimaa maalle ja 70 000 MW merelle.⁵⁵ Vaikka tuulivoimahankkeiden kehittäminen on yhä vilkasta, taloudellinen epävarmuus, kustannusten nousu sekä Venäjän hyökkäyssota Ukrainassa ovat vaikuttaneet myös tuulivoimarakentamiseen. Epävarmuustekijöistä huolimatta suunnitteilla olevien tuulivoimahankkeiden määrä on tasaisessa kasvussa. Uusien tuulivoimainvestointien edistyminen riippuu paljon teollisuuden ja liikenteen vihreän siirtymän edistymisestä. Jatkossa teollisuuden sähköä kuluttavat investoinnit ja uudet tuulivoimainvestoinnit kulkevat käsi kädessä.

Fingridin energiajärjestelmän kehitysskenaarioissa maalle rakennetun tuulivoiman tuotantokapasiteetti vuonna 2035 on 13 ja 39 gigawatin ja vuonna 2045 13 ja 79 gigawatin välillä (Taulukko 1). Merkittävin vaihtelu skenaarioiden välillä tulee eroista teollisuuden sähkön kulutuksen kasvussa. Korkeamman tuulivoimakapasiteetin skenaarioissa Suomeen syntyy uutta sähköintensiivistä teollisuutta, kuten vety- ja sähköpolttoaineteollisuutta sekä akkuteollisuutta ja datakeskuksia.⁵⁶ Kaikissa Fingridin skenaarioissa maatuulivoiman määrä kasvaa merkittävästi.

Taulukko 1. Energiantuotantomuotojen kapasiteetti vuonna 2035 ja 2045 Fingridin sähköjärjestelmävision eri skenaarioissa.

Kapasiteetti 2035 (GW)	Sähköä tuotteiksi	Tuulella vetyä	Merellä tuulee	Voimaa läheltä
Vesivoima	3	2	3	3
Maatuulivoima	30	39	13	13
Merituulivoima	7	5	15	1
Aurinkovoima	20	15	6	7
Ydinvoima	4	3	4	6
Muu lämpövoima	4	4	3	3
Sähkövarastot (vuorokausi- ja päivänsisäisellä markkinalla)	4	4	1	3

Kapasiteetti 2045 (GW)	Sähköä tuotteiksi	Tuulella vetyä	Merellä tuulee	Voimaa läheltä
Vesivoima	3	2	3	3
Maatuulivoima	50	79	13	13
Merituulivoima	10	11	32	1
Aurinkovoima	39	30	9	14
Ydinvoima	4	2	4	8
Muu lämpövoima	4	5	4	3
Sähkövarastot (vuorokausi- ja päivänsisäisellä markkinalla)	6	4	1	4

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) maakuntakaavojen aineistoihin ja haastatteluihin perustuvan vuonna 2024 julkaistun selvityksen mukaan Suomessa on potentiaalista uutta maatuulivoimakapasiteettia lähes 70 000 MW:n, eli noin 7700 uuden tuulivoimalan verran.⁵⁷ Määrä on hiukan suurempi kuin Suomen uusiutuvien uusimmassa hankelistauksessa suunnitteilla ja rakenteilla olevien maatuulivoimaloiden yhteenlaskettu kapasiteetti. Todennäköistä kuitenkin on, että osa hankkeista jää toteuttamatta suunnittelun edetessä. Useimmiten hankkeiden laajuus myös pienenee suunnittelun aikana johtuen luontohaittojen välttämisestä YVA-menettelyn ja luontoselvitysten tuloksista johtuen. Syke:n selvityksessä on lisäksi arvioitu tuulivoiman toteutumista ja optimistisimman skenaarion mukaan

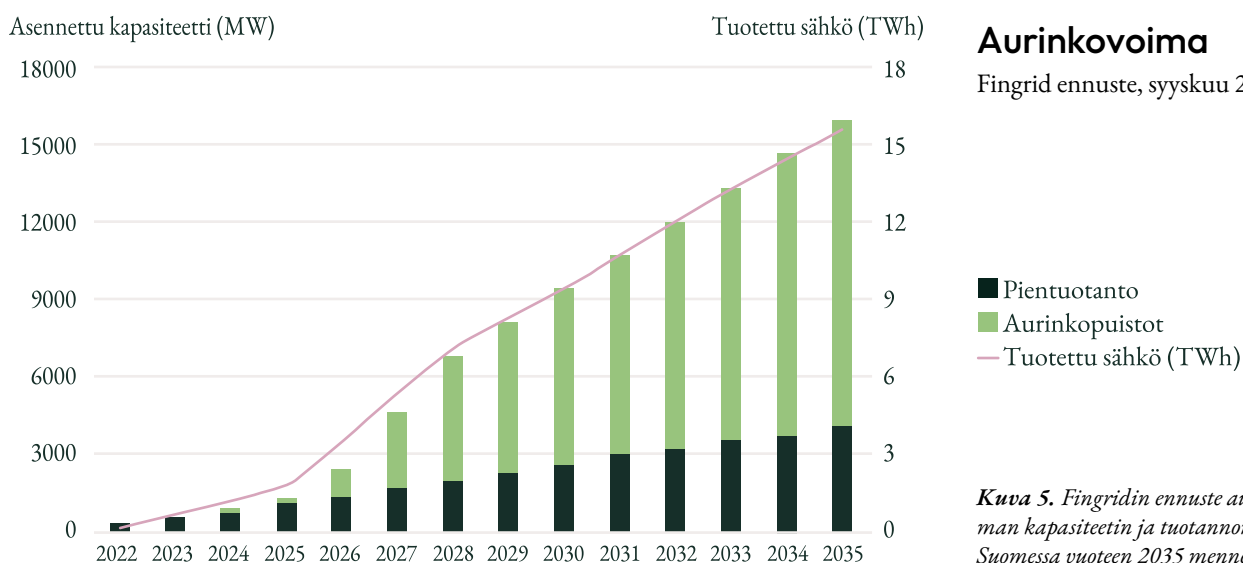
vuonna 2030 maatuulivoimakapasiteettia on lähes 33 000 MW, mikä on samassa mittaluokassa aiemmin mainittujen Fingridin sähköjärjestelmävision maatuulivoiman kannalta optimistisempien skenaarioiden kanssa. Energiategollisuus ry:n energiavision kunnianhimoisimmassa skenaariossa maatuulivoiman tuotanto kahdeksankertaisesti vuoteen 2040 mennessä, mikä vastaa noin 56 000 MW tuotantokapasiteettia.⁵⁸ Fingridin ennusteissa syyskuulta 2024 maatuulivoiman ennustetaan kasvavan vuoteen 2030 mennessä vajaaseen 20 000 MW:iin (kuva 4), mikä on merkittävästi vähemmän kuin optimistisimmassa skenaarioissa Fingridin sähköjärjestelmävisiossa tai Syke:n tuulivoimapotentiaali -selvityksessä.

Optimistisimpien tuulivoiman kasvuskenaarioiden toteutuminen edellyttää sähkönkulutuksen merkittävää kasvua, sähkön-siirtokapasiteetin vahvistamista sekä teknologista kehitystä. Kasvaneen tuulivoimapotentialin hyödyntäminen kestävästi edellyttää Syke:n selvityksen mukaan ylimatekunnallista yhteistyötä ja tuulivoiman yhteisvaikutusten hallintaa. Valtaosa uudesta tuulivoimasta tulee selvityksen mukaan sijoittumaan länteen, mitä myös merituulivoimapotentialin kasvu korostaa.

3.2 Aurinkovoiman nykytila ja tulevaisuus Suomessa

Suomessa vuodesta 2019 lähtien verkkoon kytketyn aurinkosähkön kapasiteetti on kasvanut noin sadalla megawatilla vuosittain.⁵⁹ Vuonna 2023 aurinkoenergian kapasiteetti Suomessa oli noin 1000 MW:n luokkaa, ja suurin osa Suomen aurinkovoimakapasiteetista on edelleen pienimuotoista tuotantoa.⁶⁰ Vuoden 2024 lopussa teollisen kokoluokan aurinkovoimaa oli tuotannossa reilu 120 megawattia ja tästä lähes puolet, eli hieman alle 60 megawattia, valmistui vuonna 2024.⁶¹ Aurinkovoiman osuus Suomen sähkötuoannosta on tällä hetkellä noin prosentin luokkaa. Fingridin arvion mukaan vuoteen 2030 mennessä Suomessa voisi toimia aurinkovoimaloita 9000 megawatin tehon verran (kuva 5).⁶² Suomen aurinkovoiman kapasiteetti saattaa siis jopa monikymmenkertaistua seuraavien vuosikymmenten aikana, mikäli vihreä siirtymä ja vihreä

teollisuus etenee optimistisimpien skenaarioiden mukaisesti (Taulukko 1). Niin ikään Energiategollisuus ry:n tuottaman Energiavision mukaan aurinkovoiman vuosituotannon pitäisi yli kymmenkertaistua nykyisestä noin yhdestä terawattitunnista jopa 13:a terawattituntiin vuoteen 2040 mennessä, mikäli Suomi haluaa nousta energiamurroksen johtajaksi Euroopassa ja saada vihreästä siirtymästä maksimaalisen taloudellisen ja teollisuuden hyödyn irti.⁶³ Suomeen on Motiva Oy:n:n hankelistauksen mukaan tällä hetkellä suunnitteilla ja rakenteilla lähes 16 000 megawatin edestä teollisen mittakaavan aurinkovoimatuotantoa.⁶⁴ On kuitenkin todennäköistä, että kaikki suunnitteilla olevat hankkeet eivät tule toteutumaan ja moni hanke karsiutuu erinäisistä reunaehdoista johtuen pois.



Aurinkovoima

Fingrid ennuste, syyskuu 2024

Kuva 5. Fingridin ennuste aurinkovoiman kapasiteetin ja tuotannon kasvusta Suomessa vuoteen 2035 mennessä.⁶⁵

Aurinkoenergian tuotannon hinta on laskenut teknisen kehityksen ja kasvavan kysynnän ansiosta ja aurinkosähköasennusten määrä on kasvussa myös Suomessa. Suomessa on verrattain suotuisat olosuhteet aurinkoenergian tuotannolle ja vuositasolla Suomessa aurinkosäteilyn määrä on suurinpiirtein sama kuin Saksassa tai Tanskassa. Valoisina kesinä aurinkoa riittää melkein vuorokauden ympäri ja lisäksi ympäristön matalat lämpötilat parantavat aurinkokennojen hyötysuhdetta. Suomessa on kuitenkin vielä suhteellisen vähän aurinkosähkön tuotantoa

moniin Euroopan maihin verrattuna. Asennettu aurinkosähkökapasiteetti on Saksassa 110 kertaa ja Ruotsissa neljä kertaa suurempi kuin Suomessa. Suomessa vuosittainen säteilysumma on noin noin 900 kWh/m², eteläisimmässä Suomessa hieman enemmän ja pohjoisosissa vähemmän. Maailman parhailla alueilla säteilysumma on Suomeen verrattuna kaksinkertainen, eli noin 2500 kWh/m² vuodessa.⁶⁶

⁵⁹ Ahola ym. 2024

⁶⁰ Fingrid 2024

⁶¹ Suomen uusiutuvat 2025

⁶² Fingrid 2024

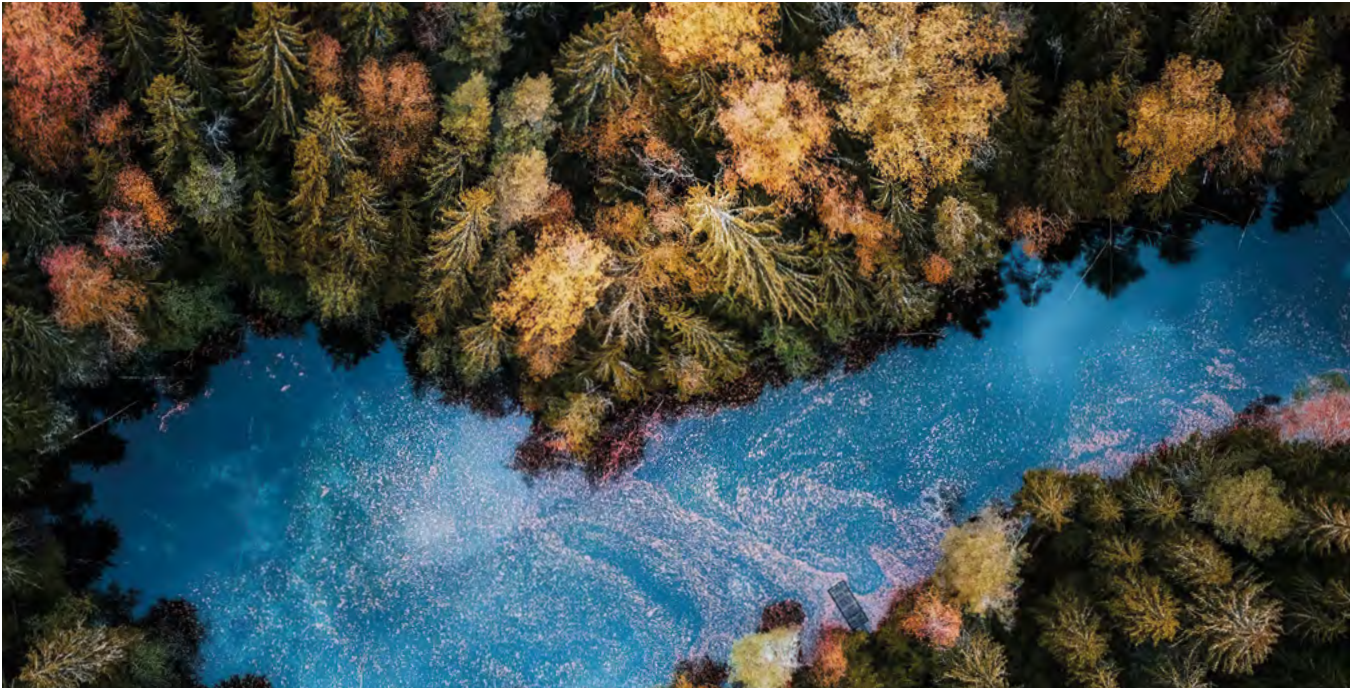
⁶³ Energiategollisuus ry 2024b

⁶⁴ Motiva Oy 2024a

⁶⁵ Fingrid 2024

⁶⁶ LUT-yliopisto 2023

4. Luontovaikutusten arvioinnin menetelmät



Tämän selvityksen luontovaikutusten arvioinnin tavoitteena on selventää ja suhteuttaa tuuli- ja aurinkovoiman merkittävimpiä luontovaikutuksia Suomen luonnossa sekä vertailla tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksia muihin energiantuotantomuotoihin.

Tässä selvityksessä tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksia Suomessa on arvioitu olemassa olevan tutkimuskirjallisuuden, asiantuntijahaastatteluiden, ympäristövaikutusten arviointien, ENCORE-analyysin sekä paikkatietopohjaisen analyysin pohjalta. Monipuolisen aineiston ja erilaisten menetelmien avulla on pyritty muodostamaan mahdollisimman laaja-alainen kokonaiskuva tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksista. Laadullisessa tutkimuksessa useiden menetelmien ja tietolähteiden käyttö, eli triangulaatio, on keino kehittää kokonaisvaltaista ymmärrystä tutkittavasta ilmiöstä.⁶⁷

Luontovaikutusten mittaamiselle ja arvioinnille ei ole olemassa yhtä selkeää mittaria, sillä luonnon monimuotoisuuden köyhtymiseen vaikuttavat moninaiset paineet ihmisen aiheuttamista maan- ja mertenkäytön muutoksista, muuttuvaan ilmastoon, saasteisiin, vieraslajeihin ja luonnonvarojen ylikulutukseen. Luontovaikutuksia ei näin ollen voi arvioida vain yhdestä nä-

kökulmasta tai yhdellä mittarilla, vaan arvioinnissa on otettava huomioon luontoon kohdistuvien erilaisten paineiden kokonaisuus. Uusiutuvalla energialla voidaan nähdä lähtökohtaisesti olevan ilmastonmuutosta hillitseviä vaikutuksia, millä on myös positiivisia luontovaikutuksia, sillä ilmastonmuutos on yksi merkittävimmistä luonnon köyhtymistä aiheuttavista tekijöistä.

Tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksiin on Suomessa viime vuosina saatettu kiinnittää enemmän huomiota kuin moniin pitkäaikaisempien energiantuotantomuotojen luontovaikutuksiin johtuen uusiutuvan energian kiihtyneestä rakennustahdistasta, luontokadon ymmärryksen lisääntymisestä sekä hajautetun energiantuotannon näkymisestä useamman ihmisen lähiympäristöissä. Tämän vuoksi on tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutusten yleisen kartoittamisen lisäksi olennaista pyrkiä suhteuttamaan ja vertaamaan luontovaikutuksia myös muihin energiantuotantomuotoihin. Vertailukohtien asettaminen

vaikuttaa myös paljon vaikutusten merkittävyyden arviointiin: vertaammeko tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksia tilanteeseen, jossa oletetaan energiankulutuksen kasvavan, taantuvan vai pysyvän nykyisellään ja mitkä ovat näissä eri skenaarioissa vaihtoehtoiset keinot tuottaa energiaa.

Valtaosa tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksiin liittyvästä tutkimuksesta on tehty Suomen rajojen ulkopuolella Suomen luonnosta poikkeavissa oloissa. Luonnon monimuotoisuus, ekosysteemin toiminta ja lajisto vaihtelevat maantieteellisen sijainnin mukaan merkittävästi eikä siksi ole mahdollista vetää suoria johtopäätöksiä luonnon monimuotoisuusvaikutuksista eri sijainneissa tapahtuvien vaikutusten välillä. Aurinkovoiman luontovaikutuksista Suomessa ei ole ainuttakaan empiiristä tutkimusta ja myös tuulivoiman lajistovaikutuksista Suomessa on suhteellisen vähän tutkimustietoa vielä saatavilla. Kansainvälisen tutkimuskirjallisuuden katsauksen lisäksi tämän selvityksen yhteydessä on tehty analyysi kuuden tuulivoimahankkeen YVA-menettelyn mukaisesta ympäristövaikutusten arvioinnista sekä kuuden aurinkovoimahankkeen ympäristövaikutusten arvioinnista, jotka perustuvat joko YVA-menettelyyn, kaavaselvityksiin tai suunnittelutarveratkaisujen selvityksiin. Ympäristövaikutusten arvioinneista, viranomaisen antamista lausunnoista sekä perustelluista päätelmistä on pyritty identifioimaan kyseisten arviointien määrittämiä tuuli- ja aurinkovoimahankkeiden merkittävimpiä luontovaikutuksia. Analyysiin valikoituneet tuuli- ja aurinkovoimahankkeet on valittu satunnaisotannalla siten, että ne ovat tehty viimeisen kymmenen vuoden sisällä ja sijoittuvat mahdollisimman moneen eri maakuntaan. Lisäksi analyysiin valikoituneet hankkeet ovat kohtuullisen suuria, mikä tuulivoimahankkeiden kohdalla tarkoittaa vähintään kymmenen voimalan kokoisia kokonaisuuksia, ja aurinkovoimahankkeissa teollisen mittakaavan aurinkosähkövoimalaitoksia.

Selvityksen taustahaastatteluihin on haastateltu luonnon monimuotoisuuskysymyksiin keskittyviä tutkijoita ja asiantuntijoita Suomen luonnonvarakeskuksesta (3), Suomen ympäristökeskuksesta (2), Luomukselta (1), luontojärjestöistä (1) sekä tuulivoimayrityksistä (1). Haastateltavia oli yhteensä kahdeksan ja haastattelut tehtiin puhelimitse tai etäyhteyden välityksellä ja niiden kesto oli keskimäärin 30 minuuttia. Haastattelukysymykset koskivat tuuli- ja aurinkovoiman merkittävimpiä luontovaikutuksia Suomessa, vaikutuksia eri eliölajeihin ja eliöryhmiin sekä jo tehtyä ja meneillään olevaa tutkimusta tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksista. Haastatteluaineisto on osaltaan ohjannut tämän selvityksen rakennetta ja muun aineiston tulkintaa ja täydentänyt muista lähteistä saatua tietoa tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksista.

Selvitystä varten toteutettiin lisäksi paikkatietopohjainen analyysi uusiutuvan energian tuotannon sijoittumisesta Suomessa aiemman maankäyttötarkoituksen näkökulmasta. Paikkatieto on tiettyyn paikkaan tai alueeseen sidottua tietoa. Tieto voi kuvata mitä vain sijaintiin sidottavissa olevaa toimintaa, kuten tässä selvityksessä voimaloiden sijaintia tai maankäyttötarkoitusta. Aurinkovoiman sijoittumiseen liittyvää aurinkovoiman

maankäytön tarkastelun mahdollistavaa aineistoa ei ollut saatavilla, joten tarkastelu koskee vain maatuulivoimaa.

Aiemman maankäyttötarkoituksen määrittelyssä hyödynnettiin Suomen ympäristökeskuksen Corine Land Cover (CLC) 2018 aineistoa, joka jaottelee maanpeitteen viiteen pääkategoriaan: 1) vesialueet, 2) rakennetut alueet, 3) maatalousalueet, 4) kosteikot ja avoimet suot sekä 5) metsät sekä avoimet kankaat ja kallio-maat. Pääluokat on jaettu portaittain alaluokkiin tarkempaa tarkastelua varten.⁶⁸ Maanpeiteaineisto yhdistettiin QGIS-paikkatieto-ohjelman avulla Suomen Uusiutuvat ry:n koostamaan aineistoon Suomen maatuulivoimahankkeista. Aineisto kuvaa tilannetta kesäkuussa 2024. Aineistoon kootuilla tuulivoimahankkeilla on koko hanketta kuvaavat koordinaatit. Hankkeiden viemää maapinta-alaa hahmoteltiin aineiston mukana tulleen tuulivoimahankelistan avulla. Hankelistassa on koottuna muun tiedon lisäksi hankkeen sisältävien tuulivoimaloiden minimi ja maksimi lukumäärä. Koordinaattien määrittelemälle alueelle oletettiin analyysissä sijoittuvan listauksen mukainen maksimimäärä tuulivoimaloita. Yksittäisen tuulivoimalan oletettiin vievän 2 hehtaaria maa-alaa⁶⁹ ja sijoittuvan 800 metrin päästä toisistaan, vastaten keskimäärin suositeltua viisinkertaista etäisyyttä suhteessa roottorin halkaisijaan.⁷⁰ Analyysissä otettiin huomioon kaikki tiedossa olevat esiselvitysvaiheen hankkeet sekä jo tuotannossa olevat tuulivoimalat. Kaikkien hankkeiden ei oleteta päätyvän tuotantovaiheeseen, mutta luvussa 3.1 kuvatus mukaisesti aineiston sisältämät tuulivoimalat kuvaavat karkeasti ottaen Suomen tuulivoimapotentiaalin maksimia ja näin tulokset osoittavat maankäytön näkökulmasta suurimpia mahdollisia vaikutuksia. Koordinaattitietojen kuvastaessa yksittäisten tuulivoimaloiden sijasta koko hankkeita, voi todellisten tuulivoimaloiden sijainnit myös erota analyysissä käytetyistä sijainneista.

⁶⁸ SYKE 2018

⁶⁹ Soimakallio 2021

⁷⁰ Motiva Oy 2024b

5. Tuulivoiman luontovaikutukset



Tuulivoiman merkittävimmät vaikutukset luonnon monimuotoisuuden syntyvät voimaloiden rakennusmateriaaleista, joiden louhinta ja tuotanto aiheuttaa päästöjä, muutoksia maankäytössä ja vaikutuksia luonnonvaroihin kuten vedenkäyttöön.⁷¹

Ruotsalaisen tuulivoimajärjestön Svensk Vindenergin teettämän Science Based Targets for Nature arvioinnin mukaan tuulivoimaloiden rakennusmateriaalien kuten teräksen, kuparin ja alumiinin tuotannon luontovaikutukset ovat merkittävämät kuin tuulivoimarakentamisen paikalliset luontovaikutukset Etelä-Ruotsin Karlskruvissa.⁷² Tämä johtuu siitä, että alue, jolle tuulivoimala sijoittuu Etelä-Ruotsissa ei ole luonnon monimuotoisuudeltaan yhtä rikas kuin alueet, joilla terästä, alumiinia ja kuparia tuotetaan esimerkiksi Australiassa, Kiinassa ja Brasiliassa. Koska tämän selvityksen ensisijaisena tavoitteena on kartoittaa tuuli- ja aurinkovoiman merkittävimpiä luontovaikutuksia Suomessa, painotetaan tässä luvussa tuulivoimarakentamisen vaikutuksia Suomen luontoon. Keskityttäessä tuulivoiman vaikutuksiin Suomessa, merkittävimmät kielteiset luontovaikutukset liittyvät tuulivoiman maankäyttövaikutuksiin voimala-alueiden pirstoessa ja heikentäessä elinympäristöjä. Tuulivoiman paikalliset luontovaikutukset riippuvat merkittävästi voimaloiden sijainnista ja tarvittavista siirtoyhteyksistä. Tuulivoimahankkeet, joiden yksittäisten laitosten lukumäärä on vähintään 10 kappaletta tai kokonaisteho vähintään 45 MW, vaativat lain mukaan aina ympäristövaikutusten arviointimenettelyn, hankkeita ohjataan menettelyn myötä jo valmiiksi arvokkaiden luontoalueiden ulkopuolelle ja pois herkkien lajien elinympäristöistä.⁷³

Tuulivoiman nopea kasvu ja laajojen tuulipuistojen rakentaminen aiheuttaa kuitenkin yhdessä muun ihmistoiminnan kanssa

elinympäristöjä pirstovia ja muita yhteisvaikutuksia Suomen lajistoon ja ekosysteemeihin. Näistä vaikutuksista tiedetään toistaiseksi melko vähän. Tuulivoiman luontovaikutuksia käsitellään seuraavissa alaluvuissa luontokadon ajureiden, eli maankäytön muutosten, ilmastonmuutoksen, luonnonvarojen kulutuksen sekä saasteiden näkökulmasta. Tuulivoiman merkittävimmät kielteiset luontovaikutukset tulevat luonnonvarojen kulutuksesta sekä materiaalien tuotannon ja voimala-alueiden vaatimista maankäytön muutoksista. Tuulivoimalla on myös merkittäviä positiivisia luontovaikutuksia sen korvattessa saastuttavampia energiantuotantomuotoja ja vähentäen näin ilmastopäästöjä. Myös saastevaikutusten voidaan nähdä olevan osittain myönteisiä tuulivoiman korvattessa merkittävästi saastuttavampaa energiantuotantoa, kuten fossiilisia polttoaineita. Tuulivoiman vaikutuksia luontokadon eri ajureihin on koottu kuvaan 6.

Projektitasolla tuulivoimaloiden luontovaikutuksia ja optimaalista sijoittumista luonnon kannalta säädellään lain vaatiman ympäristövaikutusten arviointimenettelyn avulla. YVA-arviointien lisäksi hankkeiden maankäyttövaikutuksia luontotyyppiin on mahdollista selvittää luonnonsuojelulain ekologisen kompensaaion asetuksen määrittelemien luonnonarvohehtaarien laskennan kautta ja pyrkiä sijoittamaan voimaloita siten, että ne eivät haittaa kaikista arvokkaimpia luontoalueita.

Luontokadon ajurit ja tuulivoima



Maankäyttö

- Elinympäristöjen pirstaloituminen rakennusalueilla
- Rakennusmateriaalien tuotannon aiheuttama elinympäristöjen häviäminen



Ilmastonmuutos

- Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki
- Positiivinen ilmastvaikutus fossiili- ja bioenergian korvaamisessa



Luonnonvarojen käyttö

- Maa-aineksen ja veden käyttö alueella
- Hankintaketjun metallit ja mineraalit



Vieraslajit

- Kuljetuksen ja maa-aineisten mukana mahdollisesti leviävät lajit



Saasteet

- Melusaaste
- Tuotantoprosessien ja liikenteen ilmansaasteet

Kuva 6. Tuulivoiman vaikutukset luontokadon eri ajureihin, eli maankäyttöön, ilmastonmuutokseen, luonnonvarojen käyttöön, vieraslajeihin ja saasteisiin. Merkittävimmät kielteiset vaikutukset tulevat maankäytön muutoksista sekä luonnonvarojen käytöstä ja myönteiset vaikutukset ilmastonmuutoksen hillinnästä. Vieraslaji- sekä saastevaikutukset ovat tuulivoiman kannalta vähemmän olennaisia. Kuva: Kari & Pantsar Co.

5.1 Maankäyttövaikutukset Suomessa

Energiateollisuus ry:n Energiavisiossa vuonna 2040 tuulivoimatarvittavat pinta-alat vastaisivat sitä, että 1,7 % Suomen pinta-alasta olisi alle 500 metrin etäisyydellä tuulivoimalasta. Tämä vastaa noin Kuusamon kokoista aluetta.⁷⁴ Tuulivoiman tuotannon maankäyttövaikutusten merkittävyys riippuu siitä, minkälaisiin elinympäristöihin voimalaitosalueet sijoittuvat. Tuulivoimalat vaativat yleisesti ottaen laajoja alueita, mutta valtaosa voimalaitosalueesta säilyy entisellään pois lukien voimaloiden, tiestön ja sähkön jakelun vaatimista rakenteista. Laskennallisesti vain noin 3 – 4 % tuulivoimaloiden osayleiskaava-alueista on varsinaisten tuulivoimaloiden ja niiden vaatiman infrastruktuurin käytössä. Yksittäisen tuulivoimalan rakentaminen vie maa-alaa arviolta 2 hehtaaria.⁷⁵ Keskimäärin tuulivoiman ja voimalaitosalueen vaatiman tiestön suora maankäyttövaikutus on 0,34 – 1,37 km²/TWh välillä. Kun mukaan lasketaan myös sähkösemien ja voimajohtojen vaatima pinta-ala, aluetta tarvitaan noin 2,32 – 2,9 km²/TWh.⁷⁶ Voimajohtoalueita on kuitenkin mahdollista hoitaa myös luonnon monimuotoisuutta lisäävin toimenpitein ja perustaa niiden alle esimerkiksi uhanalaisia ketomaisia elinympäristöjä.

Taulukko 2. Energiantuotantomuotojen suoria maankäyttövaikutuksia.⁷⁷

Energiantuotantomuoto	Maankäyttö km ² /TWh
Ydinvoima	2,9
Tuulivoima	1-10
Aurinkovoima	6-16
Energiaturve	25-27
Vesivoima virtavesiä patoamalla	680
Puuenergia	1 300 - 1 500

Tuulivoimarakentamisen osuus Suomessa tapahtuvasta metsäkadosta on kohtuullisen pieni. Jos oletetaan, että kaikki uudet tuulivoimalat rakennettaisiin metsiin, olisi tuulivoimarakentamisen osuus Suomen metsäkadosta vuonna 2024 ollut noin kolmesta neljään prosenttia ja kasvaisi maksimissaan kymmeneen prosenttiin vuonna 2045, mikäli tuulivoiman optimisimmat kasvuskenaariot toteutuisivat. Metsäkadolla tarkoitetaan niitä metsähakkuita, joiden tilalle ei enää istuteta uutta metsää, vaan maankäyttö muuttuu pysyvästi esimerkiksi maatalouden tai rakennetun ympäristön käyttöön. Luken arvioiden mukaan metsäkatoala Suomessa on keskimäärin 14 000 hehtaaria vuodessa.

Vertailtuna esimerkiksi puuenergian tai vesivoiman maankäyttövaikutuksiin tuulivoiman suora maankäyttövaikutus on mittaluokaltaan pienemmästä päästä (Taulukko 2). Tuulivoiman suora maankäyttövaikutus ei kuitenkaan yksinään riitä havainnollistamaan kaikkia maankäytöstä koituvia elinympäristö ja eliöstövaikutuksia, sillä laajoille alueille levittäytyvien voimala-alueiden infrastruktuuri aiheuttaa elinympäristöjen pirstoutumista ja lisää ihmisen aiheuttamaa häiriövaikutuksia monille eliölajeille.

Vaikka tuulivoimala-alueet eivät estä eläinten liikkumista ja lisääntymistä voimalaitosalueilla, on niillä havaittu olevan häirintävaikutuksia ja elinympäristövaikutuksia useisiin eläinlajeihin ja lajiryhmiin. Tuulivoimaloita pyritään sijoittamaan niin etäälle asutuksesta, että ääni- ja välkehaitat eivät aiheuta kohtuuttomia häiriöitä ihmiselle. Mitä kauempana asutuksesta ja muista ihmistoiminnoista tuulivoimarakentaminen tapahtuu, sitä todennäköisemmin rakentaminen sijoittuu rauhallisille alueille, jotka ovat häiriöille herkille lajeille suotuisia.

5.1.1 Vaikutukset elinympäristöihin ja luontotyypeihin

Ympäristövaikutusten arvioinneissa todetaan useimmiten, että tuulivoimahankkeilla on korkeintaan vähäisiä vaikutuksia kasvillisuuteen ja luontotyypeihin, sillä ne sijoittuvat ensisijaisesti talousmetsiin ja muualle kuin arvokkaimmille luontoalueille. Suurien voimaloiden rakenteiden sijoittelussa huomioidaan YVA-menettelyn myötä paikallisesti arvokkaat luontotyypit eikä niiden alueelle suunnitella voimaloita tai muita rakenteita. Ympäristövaikutusten arvioinneissa tuodaan myös usein esiin, että merkittävimmät vaikutukset luontotyypeihin liittyvät elinympäristöjen pirstaloitumiseen uuden tiestön ja voimaloiden rakentamisen myötä. Uuden tiestön rakentaminen saattaa myös aiheuttaa hydrologisia muutoksia sekä muutoksia ravinteiden kulkeutumisessa vesistöihin etenkin alueilla, joissa joudutaan kaivamaan merkittäviä määriä uusia veden kulun

ohjaamiseksi. Hydrologisilla muutoksilla on vaikutuksia myös soihin ja muihin kosteikkoihin. Tuulivoima-alueiden rakentamisen lähtökohtana on kuitenkin, että alueen vesien virtaukset pidetään ennallaan.

Paikkatietopohjainen analyysi tukee yleistä käsitystä siitä, että maatuulivoimaa rakennetaan useimmiten metsiin. Taulukko 3 esittää kuinka tällä hetkellä tiedossa olevat eri vaiheessa olevat maatuulivoimahankkeet tulisivat viemään eri käytössä olevaa maa-alaa. Pinta-ala-arviot kuvastavat tuulivoimaloiden, tiestön ja sähkön siirtoon tarvittavan infran viemää suoraa maankäyttöä. Todellisuudessa hankealueet ovat suurempia ja eri toimintojen väliin jää laajempia maa-alueita. Eri vaiheessa olevien

hankkeiden yhteispinta-alasta 88 % sijoittuu metsiin sekä avoimille kankailla ja kalliomailla, 7 % kosteikoille ja avoimille soille ja 3 % maatalousalueille. Lisäksi 2 % hankkeista sijoittuu vesialueille ja alle 1 % jo rakennetuille alueille. Käytännössä tuulivoimaloiden rakentamista suoalueille vältetään, vaikka hankealueella suota olisikin. Tästä huolimatta voimala-alueiden rakentamisella on todennäköisesti vaikutuksia soiden vesitasapainoon ja siten suoekosysteemeihin. Tulokset kuvaavat kaikkia tällä hetkellä toiminnassa, rakenteilla ja suunnitteilla

olevia maatuulivoimahankkeita Suomessa. On hyvä huomioda, että suunnitteluvaiheessa olevista hankkeista kaikki eivät tule etenemään rakentamisvaiheeseen asti. Tyypillisesti hankkeiden tuulivoimaloiden lukumäärät myös vähenevät hankkeiden edetessä. Kyseinen tuulivoimahankkeiden määrä on aiemmin kuvatusn mukaan suunnilleen samassa mittaluokassa, kuin mitä Syke:n tutkijat ovat arvioineet Suomen tuulivoimapotentiaalin maksimiksi. Näin ollen pinta-aloja tarkastellessa todellinen toteutuma jää oletettavasti tässä esitettyä alhaisemmaksi.

Alempi maankäyttötarkoitus	Pinta-ala (ha)	%-osuus
Metsät sekä avoimet kankaat ja kalliomaat	18 869	88
Havumetsät	10 764	50
Sekametsät	5 166	24
Harpuustoiset alueet	2 852	13
Lehtimetsät	66	0
Kalliomaat	17	0
Varvikot ja nummet	4	0
Kosteikot ja avoimet suot	1 467	7
Avosuot	1 457	7
Sisämaan kosteikot	10	0
Maatalousalueet	592	3
Pellot	449	2
Pienipiirtinen maatalousmosaiikki	139	1
Peltojen ja niittyjen muodostama mosaiikki	2	0
Laidunmaat	2	0
Vesialueet	372	2
Meri	231	1
Järvet	138	1
Merenrantakosteikot	2	0
Joet	1	0
Rakennetut alueet	103	0
Väljästi rakennetut asuinalueet	29	0
Maa-aineisten ottoalueet	24	0
Teollisuuden ja palveluiden alueet	22	0
Satama-alueet	15	0
Kaatopaikat	9	0
Urheilu- ja vapaa-ajan toiminta-alueet	3	0
Rakennustyöalueet	1	0
Taajamien viheralueet ja puistot	1	0
Yhteensä	21 404	100%

Taulukko 3. Suomessa toiminnassa, rakenteilla ja suunnitteilla olevan maatuulivoiman vaikutus maankäyttöön ja eri elinympäristöihin.

Aineiston koostamisen aikaan 16 % tarkastelluista maatuulivoimahankkeista koostuu tuotannossa olevista voimaloista, 4 % rakentamisvaiheessa, 65 % luvitusvaiheessa ja loput 65 % esiselvitysvaiheessa olevista hankkeista. Taulukko 4 havainnollistaa eri kehitysvaiheissa olevien hankkeiden sijoittumista erilaisiin elinympäristöihin.

Taulukko 4. Tuulivoiman maankäyttövaikutukset eri kehitysvaiheissa olevilla hankkeilla

Kehitysvaihe	Metsät sekä avoimet kankaat ja kalliomaat	Kosteikot ja avoimet suot	Maatalousalueet	Vesialueet	Rakennetut alueet	Yhteensä
Tuotannossa	86%	3%	6%	4%	1%	100%
Rakenteilla	89%	5%	5%	1%	0%	100%
Luvitusvaiheessa	89%	7%	3%	1%	0%	100%
Esiselvityksessä	81%	13%	1%	4%	1%	100%

Metsät sekä avoimet kankaat ja kalliomaat ovat tyypillisin ympäristö tuulivoimahankkeille kehitysvaiheesta riippumatta. Tarkastelu osoittaa lisääntyneitä kiinnostusta kosteikkojen ja avointen soiden alueisiin (Taulukko 4), kun nykyisellään tuotannossa ja rakenteilla olevat tuulivoimahankkeet sijoittuvat enemmän maatalousalueille. On kuitenkin todennäköistä, että tuulivoimaloita pyritään ensisijaisesti rakentamaan metsäisille alueille soiden sijaan helpompien perustamisolosuhteiden vuoksi.

Suomessa on 26,9 miljoonaa hehtaaria metsää.⁷⁸ Vaikka metsää on Suomessa paljon, on metsäluontotyypeistä 76 prosenttia jo nykyisellään uhanalaisia.⁷⁹ Metsäluonnon suurin uhanalaistumisen syy on metsien luontoa yksipuolistava metsätalous. Suomen metsistä yli 90 prosenttia on metsätalouksikäytössä.⁸⁰ Syke:n tutkijoiden arvio tuulivoimarakentamisen toteutumisesta vuoteen 2030 mennessä veisi yhteensä nykyisten tuulivoimaloiden kanssa Suomen metsäpinta-alasta noin 0,03 prosenttia, mikäli oletetaan, että yksittäisen voimalan ja siihen liittyvän tiestön pinta-alatarve on kaksi hehtaaria. Mikäli Suomeen toteutuisi kaikki Suomen uusiutuvien hankelistauksen hankkeet, veisivät ne samalla kaavalla laskettuna Suomen metsäpinta-alasta 0,07 prosenttia.

Lisääntynyt kiinnostus tuulivoimarakentamiseen suo- ja kosteikkoalueilla saattaa tuoda mukanaan uusia vaikutuksia myös Suomen suoluontoon, mikäli kiinnostus kohdistuu myös muille kuin entisille turvetuotantoalueille. Tehty tarkastelu ei erottele ihmisen vahvasti muokkaamia suoalueita luonnontilaisista soista. Tuulivoiman kielteiset vaikutukset suoekosysteemeihin koskevat suoekosysteemien kuivattamista ja pirstoutumista.⁸¹ Suomen 50:stä arvioidusta suoluontotyypistä 27 on uhanalaisia ja 76 % arvioiduista suoluontotyypeistä on viimeisimmässä luontotyypin uhanalaisuusarvioinnissa arvioitu kehityssuunnaltaan heikkeneviksi.⁸² Suoluonnon heikkenevä kehityssuunta johtuu ojitusten ja muun maankäytön aiheuttamista häiriöistä

vesitalouteen, metsätaloustoimenpiteistä sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksista.

Taulukossa 3 esitettyä 21 000 hehtaarin kokonaispinta-alaa voi pyrkiä hahmottamaan ja suhteuttamaan siten, että se vastaa noin Helsingin maa-alueiden kokoista pinta-alaa. Syke:n optimistisimpaan maatuulivoiman toteutumista kuvaavaan skenaarioon (33 000 MW) vuonna 2030 verrattuna⁸³, taulukossa esitetyistä hankkeista toteutuisi vain 45 prosenttia tehosta. Olettaen kaikille hankkeille pinta-alaan suhteutettuna toisiaan vastaava teho, tulisi maatuulivoima viemään tämän skenaarion mukaan pinta-alaa vuonna 2030 noin 9 676 ha, joista 8520 ha kohdistuisi metsiin. Hehtaarimäärää voi suhteuttaa esimerkiksi metsätalouteen ja siihen, että vuonna 2023 Suomessa avohakattiin noin 137 000 hehtaaria metsää.⁸⁴ Suomessa avohakataan siis vuosittain noin 16 kertainen määrä metsää, kuin mikä tuulivoiman suora maankäyttövaikutus metsiin voisi olla optimistisimmassa tulevaisuusskenaarioissa vuonna 2030. Näin ollen tuulivoimarakentamisen vaikutus metsäisiin elinympäristöihin on metsätalouteen verrattuna melko pieni.

Uhanalaisuusluokittelussa metsäluontotyyppejä arvioidaan pääsääntöisesti kasvupaikan kautta, eikä näin maanpeiteaineston puustoon keskittynyt jaottelu ole yhdenmukaisesti sovellettavissa analyysin tuloksiin. Havumetsiisiin lukeutuvia luontotyyppejä voi kuitenkin johtaa luontyyppien alaluokista. Luokittelussa metsät jaotellaan yltäasolla kangasmetsiin, lehtoihin ja metsien erikoistyyppisiin. Kangasmetsien luontotyypit jaotellaan alaluokkiin kasvupaikan mukaisesti lehtomaisiin, tuoreisiin, kuivahkoihin, kuiviin sekä karukkokankaisiin ja vielä tarkempiin alaluokkiin iän mukaisesti; nuoret, varttuneet ja vanhat. Sekä lehtomaisilla että tuoreilla kankailla alaluokat on lisäksi eroteltu valtuustoon mukaan havupuuvaltaisiin ja tuoreilla kankailla lehtipuuvaltaisiin lehtomaisiin tyyppisiin varttuneilla ja vanhoilla kohteilla. Havupuuvaltaiten metsäluontotyypin voi suurella todennäköisyydellä olettaa kuuluvan maanpeiteai-

⁷⁸ Maa- ja metsätalousministeriö, 2024

⁷⁹ Kontiola & Raunio 2018

⁸⁰ Peltola ym. 2020

⁸¹ Metzger 2018

⁸² Kontula & Raunio 2018

⁸³ Nurmio & Pakarinen 2024

⁸⁴ Luonnonvarakeskus ei julkaisuvuotta a

neiston havupuu-luokkaan. Uhanalaisuusluokittelun havupuuvaltaisista luontotyypeistä molemmat vanhoiksi luokitellut kangasmetsätyypit ovat uhanalaisia. Molemmat varttuneiksi luokitellut kangasmetsätyypit taas ovat koko maan tasolla silmälläpidettäviä. Silmälläpidettävät luontotyypit eivät ole uhanalaisia, kuitenkin nimensä mukaisesti kohtaavat uhanalaisutumisen painetta.

Havumetsien lisäksi maatuulivoimasta suuri osa sijoittuu sekametsiin sekä harvapuustoisille alueille. Sekametsiin voi kuulua kaikenlaiset metsäluontotyypit. Harvapuustoiset alueet voivat olla metsämaaksi luokiteltuja kitu- ja joutomaita joiden puuston kasvu on vähäistä, mutta luokka sisältää myös hakkuualueet sekä taimikot. On kuitenkin huomionarvoista, että elinvoimaisiksi luokiteltuja metsäluontotyyppejä on metsäluontotyyppien tarkimmalla jaottelulla vain Pohjois-Suomessa esiintyvät havupuuvaltaiset varttuneet lehtomaiset kangasmetsät sekä erikoismetsien kalliometsät. Toisin sanoen maatuulivoiman,

kuten muunkaan laajamittaisen ihmistoiminnan, rakentaminen vain elinvoimaisille metsäluontotyypeille on käytännössä mahdotonta.

Maatuulivoimaa sijoittuu analyysin mukaan myös jonkin verran avosoille. Avosoita ovat yleisesti puuttomat suot eli nevat, aapasuot ja letot. Maanpeiteaineistossa avosoiksi lukeutuvat paksaturpeiset avosuot sekä turvetuotantoalueet. Uhanalaisuusluokituksen mukaisesti avosoiksi luokiteltuja suoluontotyyppejä on 35 prosenttia kaikista suoluontotyypeistä. Näistä tarpeeksi hyvin luokittelua varten tunnetuista 41 prosenttia on uhanalaisia koko suomen tasolla. Avo- ja pensaikkoluhdat, rimpinevat, ombrotrofiset lyhytkorsinevat, kiljunevat sekä rahakarämeet (35 prosenttia) ovat elinvoimaisiksi luokiteltuja.

5.1.2 Linnustovaikutukset

Nykytiedon mukaan laajamittaisella tuulivoiman lisärakentamisella Suomessa ei todennäköisesti olisi merkittäviä linnustovaikutuksia, jos tuulivoimalat sijoitetaan muualle kuin herkimpien lajien ydinreviirin (esimerkiksi kaakkuri ja maakotka) ja elinympäristöjen (esimerkiksi lintukosteikot) läheisyyteen.⁸⁵ Erityisesti sisämaahan, rannikoiden merkittävien muuttoreitien ulkopuolelle, ja metsäympäristöön sijoitettavilla tuulivoimaloilla, ei tutkimusten mukaan todennäköisesti olisi merkittäviä populaatiotason linnustovaikutuksia. BirdLife Suomi ry:n mukaan voimaloiden linnustovaikutuksista merkittävimpiä ovat häirintä- eli pelotusvaikutukset, joiden vuoksi linnut välttävät voimala-alueita ja joutuvat siirtymään huonolaatuisimmille alueilla ruokailemaan. Lintulajien välillä on merkittäviä eroja siinä, miten herkkiä ne ovat tuulivoiman häirintävaikutuksille. Esimerkiksi vaikutukset pienikokoisiin maalintulajeihin ovat yleensä vähäisiä. Kansainvälisissä tutkimuksissa häirintävaikutusten merkittävyyden on havaittu kasvavan lintujen koon ja vesiympäristön suosimisen lisääntyessä.⁸⁶ Kotimaisten seurantojen perusteella suurikokoiset linnut (kurki, hanhet ja joutsenet) eivät välttele voimaloiden läheisyyttä muuten kuin niihin törmäämisen välttämisen osalta, mikä ei vaikuttanut lajeille tärkeiden ruokailualueiden käyttöön.⁸⁷ Merkittävää häirintävaikutusta ei siis ole havaittu. Erot selittyvät ainakin osittain sillä, että Suomessa tuulivoimaloita rakennetaan lähinnä metsäalueille, kun taas suurimmassa osassa maailmaa voimalat rakennetaan pääosin avoimille alueille.

Nopeasti laajenevan tuulivoimarakentamisen yhteisvaikutusten on arvioitu kohdistuvan erityisesti petolintuihin, kuten maakotkaan ja merikotkaan Suomessa. Petolinnut lentävät säännöllisesti lähellä voimaloiden lapakorkeutta ja niillä on myös taipumus taartelemaan saaliin etsinnässä. Maakotkan herkkyyteen

tuulivoimaloiden sijoittumisen suhteen vaikuttaa paitsi yleinen herkkyys ihmistoiminnan aiheuttamille häiriöille myös muun muassa maakotkan laajat saalistusreviirit, jotka saattavat olla jopa 300 neliökilometrin laajuisia.⁸⁸ Tämän lisäksi herkkyyksiin luetaan myös petolintujen riski törmätä tuulivoimaloihin ja kotkien alhainen vuosittainen poikastuotto, jonka seurauksena jo vähäinen lisäkuolleisuus voi heikentää kannan elinkykyä.⁸⁹ Suomessa on toistaiseksi havaittu vain yksi maakotkan törmäys tuulivoimalaan, joten tähän asti maatuulivoima on onnistuttu sijoittamaan melko hyvin kotkien näkökulmasta. Maakotka vaikuttaakin olevan selvästi vähemmän altis laji törmäämään tuulivoimaloihin kuin merikotka. Myös sähkölinjojen tiedetään aiheuttavan kuolleisuutta petolinnuille ja Suomessa rengastettujen maakotkien löytöaineistojen mukaan voimajohdot ovat aiheuttaneet maakotkien kuolemia.⁹⁰

Maa- ja merikotkien kannat ovat kasvaneet Suomessa jo vuosikymmenten ajan ympäristömyrkköjen ja vainon aiheuttaman populaatioiden aallonpohjan jälkeen, jatkuen myös tuulivoimarakentamisen voimakkaan kasvun ajan. Tuulivoiman rakentaminen ei siis ainakaan toistaiseksi ole aiheuttanut merkittäviä populaatiotason vaikutuksia kotkille. Suunnitellusta tuulivoiman lisärakentamisesta merkittävä osa sijoittuu tunnettujen maakotkareviirien alueelle⁹¹, joten ne pitää jatkossakin huomioida riittävällä tasolla, jotta yhteisvaikutukset eivät ala vaikuttaa lajin kannankehitykseen negatiivisesti. Tiedot kotkien herkkyydestä tuulivoimalle ja sitä kautta tarvittavat varoetäisyydet tulevat päivittymään lähivuosina tarkkojen satelliittiseurantojen ansiosta.

⁸⁵ Meller 2017

⁸⁶ Birdlife Suomi ry 2024

⁸⁷ Suorsa 2019

⁸⁸ Tikkanen 2022

⁸⁹ Meller 2017

⁹⁰ Saurola ym. 2013

⁹¹ Tikkanen 2022

Viimeaikaisissa Suomessa tehdyissä seurantatutkimuksissa on havaittu, että linnut osaavat hyvin kiertää ja väistää tuulivoimaloita. Vuosina 2014 – 2020 toteutetussa linnustoseurannassa Perämeren rannikkoalueilla kulkevien lintujen muuttoreiteille sijoittuvien tuulivoimaloiden alueella havaittiin, että voimaloilla on vain vähäisiä vaikutuksia lintujen muuttoreittihin ja vaikutukset ilmenevät lintujen muuttoreittien sisällä tapahtuneena paikallisena ja pienipiirteisempänä muutoksena lintujen pyrkinessä kiertämään tuulipuistoja.⁹² Tuulivoimala-alueilla ei ole havaittu olleen vaikutuksia lintujen lepäily- ja ruokailualueisiin tai niiden ja yöpymisalueen välisiin lentoihin. Lukumääräisesti eniten tuulivoimaloihin on havaittu törmänneen metsäkanalintuja, jotka eivät törmää voimalan lapoihin vaan tornin alaosaan. Pohjois-Pohjanmaalla toteutetussa viisivuotisessa linnustoseurannassa eniten voimaloihin törmännyt laji oli metso, johtuen todennäköisesti heikosta näkökyvystä vaalean tuulivoimalan erottuessa “aukkona” tummaa metsää vasten.⁹³ Metsäkanalintujen on havaittu joskus hakeutuvan voimaloiden lähelle, mikä johtuu todennäköisesti siitä, että ne käyttävät soraa apuna ruoansulatuksessaan.

Kansainvälisissä tutkimuksissa on noin 40 %:ssa tutkimustapauksissa havaittu lintujen välttävän tuulivoimaloita.⁹⁴ Etenkin kurkilajien, pöllöjen ja kanalintujen osalta vaikutukset voivat ulottua useiden kilometrien päähän, mikä viittaa siihen, että kyseisten lajiryhmien toiminnallisten elinympäristöjen laatu heikkenee tuulivoimarakentamisen myötä.⁹⁵ Koostetutkimuksissa on havaittu, että tuulivoimalle herkimmat lintulajit ovat vesilinnut, petolinnut ja kanalinnut.⁹⁶ Huomionarvoista on, että valtaosa tehdystä tutkimuksesta on tehty pääosiltaan avoimissa ympäristöissä, joissa monet vasteet ovat erilaisia kuin Suomen metsäisissä ympäristöissä. Lisäksi suuressa osassa tutkimuksista tuulivoimalat olivat alle 100 metrin korkuisia, kun tällä hetkellä Suomeen rakennettavat tuulivoimalat ovat tätä huomattavasti korkeampia.

Tätä selvitystä varten läpikäydyissä ympäristövaikutusten arvioinneissa on niin ikään arvioitu tuulivoimarakentamisen vaikutuksia suuriin petolintuihin sekä metsäkanalintuihin. Rakentamisen aikainen häiriövaikutus sekä metsäisten elinympäristöjen pirstoutuminen on arvioitu linnuston kannalta merkittävimmiksi vaikutuksiksi metsäisissä elinympäristöissä, vaikka asiasta ei olekaan Suomen oloissa vielä merkittävässä määrin tutkimustietoa. Tuulivoimaloiden läheisyyden on lisäksi arvioitu heikentävän runsaslintuisten kosteikkojen laatua. Lisäksi viranomaisen on huomauttanut, että useiden tuulivoimaloiden yhteisvaikutuksista lintupopulaatioihin ei vielä tiedetä riittävästi. Ennen-jälkeen tutkimukset tuulivoimala-alueiden linnuston mahdollisista muutoksista toisivat hyödyllistä tietoa tuulivoimaloiden vaikutuksista lintupopulaatioihin.

5.1.3 Vaikutukset muuhun eläimistöön

Tuulivoiman vaikutuksista Suomen eläinlajistoon on toistaiseksi vain vähän julkaistua ja tieteellisesti tutkittua tietoa. Kansainvälisissä tutkimuksissa on tutkittu eri lajien käyttäytymistä tuulivoimaloiden lähetyvillä. Tutkimuksissa on havaittu, että monet nisäkäryhmät väistävät tuulivoimaloita ja pyrkivät siirtymään pois tuulivoima-alueilta, mikä uhkaa pienentää populaatiokokoa etenkin alueilla, joille sijoittuu suuria määriä tuulivoimaa.⁹⁷ On kuitenkin tärkeä huomata, että kyseiset tuulivoimaloiden vaikutuksia koskevat tutkimukset on enimmäkseen tehty pienemmillä voimaloilla, jotka ovat lähempänä toisiaan ja alueet eroavat myös avoimuuden kannalta merkittävästi Suomen metsäisistä ympäristöissä. Näin ollen tutkimustuloksista ei voi vetää suoraa johtopäätöksiä tuulivoimaloiden vaikutuksiin nisäkkäisiin Suomen elinympäristöissä. Suomen maalla liikkuvien nisäkkäiden siirtymisestä tuulivoima-alueilta on vielä suhteellisen vähän tutkimusta olemassa.⁹⁸

Tuulivoimarakentaminen voi aiheuttaa muutoksia suurten nisäkkäiden alueidenkäytössä ja vaelluskuvioissa pirstoutumisen, elinympäristön laadun muuttumisen ja häiriöiden vuoksi. Metsäkauriiden ja rusakkojen on esimerkiksi havaittu välttelevän tuulivoima-alueita Puolassa ja todennäköisimpänä syynä alueiden välttelylle on todettu olevan tuulivoimaloista lähtevä ääni.⁹⁹ Toisaalta tuulivoimarakentamisella ei ole havaittu olevan suoraa vaikutuksia kettuihin.¹⁰⁰ Suomessa ei ole toistaiseksi tutkittu tuulivoiman vaikutuksia hirviin, mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa tutkitun vapitin ei ole havaittu muuttavan elinalueitaan tuulivoimarakentamisen vuoksi.¹⁰¹

Tuulivoiman vaikutuksia metsäpeuroihin on tutkittu vain vähän, mutta vaikutuksia läheistä sukua oleviin poroihin, tunturipeuroihin ja karibuihin on tutkittu enemmän. Suomessa tehdyissä poroja koskevissa tutkimuksissa, joissa ei ollut tuulivoimaa mukana, on havaittu, että ihmistoiminta ja infrastruktuuri vaikuttavat porojen alueiden valintaan ja laidunten käyttöön ja välttämisyöhykkeet suhteessa ihmistoimintaan vaihtelevat eläinten iästä ja vuodenajasta riippuen ulottuen enimmillään useisiin kilometreihin.¹⁰² Ruotsissa toteutetussa kuusivuotisessa papanahavaintoihin perustuvassa seuranta-tutkimuksessa porot yleisesti vähensivät tuulivoimala-alueen ympäristön käyttöä laajalta alueelta niiden rakentamisen ja toiminnan aikana verrattuna ajanjaksoon ennen rakentamista, mutta etäisyydellä voimaloihin ei ollut selkeää vaikutusta havaittujen papanoiden määrään.¹⁰³ Myös samalla alueella toteutetussa GPS-seurantatutkimuksessa havaittiin porojen yleisesti välttelevän tuulivoimaloiden läheisyyttä toiminnan alkamisen jälkeen. Aiemmissä tutkimuksissa on saatu myös päinvastaisia tuloksia, esimerkiksi Pohjois-Norjan Kjøllefjordin tuulipuistossa Nordkynnin niemimaalla porot välttelivät tuulipuistoa vain rakennusvaiheessa, mutta eivät toiminnan aikana.¹⁰⁴ GPS-data ja poronhoitajien haastattelut ovat tuottaneet havaintoja siitä, että tuulivoimalat ovat lisänneet laidunpainetta niistä kauem-

⁹² FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 2017

⁹³ Suorsa 2019

⁹⁴ Marques ym. 2021

⁹⁵ Tolvanen ym. 2023

⁹⁶ Stewart ym. 2007; Tolvanen ym. 2023

⁹⁷ Tolvanen ym. 2023

⁹⁸ Tolvanen ym. 2023

⁹⁹ Łopucki ym. 2017

¹⁰⁰ Łopucki ym. 2017

¹⁰¹ Suzuki & Parker 2016; Walter ym. 2006

¹⁰² Anttonen ym. 2011; Helle ym. 2012

¹⁰³ Skarin & Alam 2017

¹⁰⁴ Colman ym. 2013

mas sijoittuneilla laiturilla ja porot ovat vältelleet tuulivoimala-alueita kaikkina muina vuodenaikoina paitsi kesinä.¹⁰⁵ Poron vaelluskäyttäytymisen muutoksia tuulivoimaloista johtuen on myös pystytty lieventämään paimennuksen avulla.

Luonnonvarakeskus on tuulivoimakaavojen lausunnoissa esittänyt huolen siitä, että pelkästään Natura 2000 -alueiden verkosto ei pysty ylläpitämään elinkykyistä metsäpeurapopulaatiota, sillä alueet ovat pienialaisia ja liian kaukana toisistaan.¹⁰⁶ Toisaalta useille Natura-alueille on tulossa metsäpeura suojeluperusteeksi ja Luonnonvarakeskuksen mukaan Suomenselän alueen, jonne myös iso osa Suomen tuulivoimasta sijoittuu, metsäpeurakanta on pysynyt vakaana viime vuosina ja kasvanut viime vuosina vuoden 2018 noin 1500 yksilöstä nykyiseen noin 2000 yksilöön.¹⁰⁷ Erityisen herkkiä peurat ovat tuulivoimalle vasomisaikaan, jolloin ne ovat ruotsalaisten tutkimusten perusteella siirtyneet kauemmaksi tuulivoimala-alueista johtuen todennäköisesti voimaloiden äänen aiheuttavasta häiriötekijästä.¹⁰⁸ Lisäksi melu voi vaikeuttaa peurojen kykyä havaita petoja, mikä saattaa olla yksi syy sille, että peuraeläimet välttelevät tuulivoimaloiden vaikutusalueita. Tutkimuksissa on havaittu meluvaikutuksesta johtuvan karkotusvaikutuksen ulottuvan peuraeläimillä noin 1 – 2 kilometrin päähän tuulivoimalasta ja jopa 9 kilometrin päähän vasomisaikaan.¹⁰⁹ Tuulivoimaloiden vaikutuksista peuraeläimiin voi olemassa olevan tutkimuksen perusteella todeta, että tuulivoimaloiden ja muun ihmisen rakentaman infrastruktuurin yhteisvaikutukset pirstovat eläinten elinympäristöjä ja vähentävät kulkureittien, vasomisaikojen ja laidunten käyttöä.¹¹⁰ Aiheesta tarvittaisiin kuitenkin lisää monivuotista seuranta tutkimusta vaikutusten syvällisemmän ymmärryksen kartuttamiseksi.

Ympäristövaikutusten arvioinneissa eläimistövaikutuksissa korostuvat oletetut vaikutukset suurpetoihin, jotka tarvitsevat laajoja revierejä ja ovat herkkiä ihmistoiminnan aiheuttamille häiriöille. Lausunnoissa on lisäksi nostettu esille, että esimerkiksi suden osalta olennaista ei ole vain voimalahankkeiden sijoittuminen eläimen revierille, vaan myös vaikutukset suden saaliseläimiin. Tuulivoimaloiden vaikutuksia susiin on tutkittu verrattain vähän Suomen leveysasteilla. Ruotsissa tehty tutkimus susien käyttäytymisestä tuulivoimala-alueilla osoitti, että tuulivoimalat vaikuttavat susien liikkumiseen ja alueiden käyttöön etenkin kesäolosuhteissa, mutta tutkimuksesta ei pystytty vetämään johtopäätöksiä siitä vaikuttaako tuulivoimaloiden länsäolo kielteisesti susien elinolosuhteisiin.¹¹¹ Susien osalta tuulivoimaloiden suorien vaikutusten on todettu olevan vähäisiä, mutta pitkäaikaisseurannoissa on havaittu, että sudet välttelevät lisääntymistä tuulivoimala-alueiden läheisyydessä.¹¹²

Kansainvälisissä tutkimuksissa on havaittu, että tiettyjen maisemapiirteiden, kuten rannikoiden, kukkuloiden tai suurten jokien läheisyydessä sijaitsevilla voimala-alueilla leppäkokoluokseisuus on suurinta.¹¹³ Eteläisemmällä leveysasteilla leppäkolajisto kuitenkin poikkeaa Suomen lajistosta koon ja käyttäytymisen osalta, joten muualla tehdyistä tutkimuksista ei voida vetää suoraa johtopäätöksiä vaikutuksista Suomessa tavattiin leppä-

kolajeihin. Suomessa tuulivoimarakentaminen vaikuttaa eniten metsäisissä elinympäristöissä eläviin leppäkolajeihin, kuten siippalajeihin, jotka karttavat avoimia alueita.¹¹⁴ Suomessa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että pohjanleppäkoita esiintyy vähemmän tuulivoimala-aukioilla kuin noin 600 - 800 metrin etäisyydellä niistä ja siippalajeilla vastaava ero havaittiin 1000 metrin etäisyydellä.¹¹⁵ Tämän tulkittiin johtuvan tuulivoimaloiden leppäkoita karkottavasta vaikutuksesta, mutta ainakin osittain tulos voi myös olla seurausta tuulivoimaloiden tarkoitussellisesta sijoittamisesta sellaisille alueille, jotka eivät ole tärkeitä leppäkoalueita. Tutkimustulosten perusteella ei vielä tiedetä välttelevätkö leppäkotit itse tuulivoimaloita vai niiden ympäristöä.

Tuulivoimayritysten rahoittamassa Luonnonvarakeskuksen WINDLIFE -tutkimushankkeessa 2023 – 2027 selvitetään tuulivoiman vaikutuksia muun muassa Suomen metsäisissä elinympäristöissä eläviin EU:n direktiivilajeihin, kuten suteen, metsäpeuraan ja maakotkaan sekä lisäksi hirveen ja poroon. Tutkimuksessa on tarkoitus selvittää, välttelevätkö eläimet tuulivoimaloita, vai pystyvätkö ne hyödyntämään lajeille tärkeitä elinympäristöjä myös tuulivoimaloiden läheisyydessä. Suomen ympäristökeskuksella sekä Luonnonvarakeskuksella on myös tämän selvityksen kirjoitushetkellä meneillään monivuotisia RePowerEU-tutkimushankkeita tuuli- ja aurinkovoiman vaikutuksista elinympäristöille Suomessa.

5.2 Ilmastovaikutukset

Tuulivoimarakentamisella on merkittäviä positiivisia ilmastovaikutuksia, kun tuulivoimalla korvataan fossiilienergiaa tai bioenergiaa. Fossiilisen energiantuotannon sekä puun ja turpeen polton aiheuttama ilmastonmuutos ja sen myötä elinympäristöjen laadun heikkeneminen on yleisesti tunnistettu olevan esimerkiksi uusiutuvan energian tuotantoa ja tuulivoiman törmäysvaikutuksia merkittävämpiä lintulajien uhanalaistumisen ja sukupuuttouhan syytä.¹¹⁷

Arktisilla alueilla ihmisen aiheuttama ilmaston lämpeneminen on aiheuttanut keskilämpötilojen nousua jopa kolminkertaisesti verrattuna maapallon keskiarvoon¹¹⁸, mikä vaikuttaa peruuttamattomasti moniin Suomessa tavattaviin luontotyyppisiin lajeihin. Lämpenemisen seurauksena useat pohjoisen luontotyyppit ovat nopeassa muutoksessa tai vaarassa hävitä kokonaan eikä pohjoisiin oloihin sopeutuneille eliölajeille jää aikaa sopeutua ympäristön muutoksiin. Suomen tunturipaljakoiden lajeista on jo nyt uhanalaisia lähes 40 prosenttia.¹¹⁹ Suomen ympäristökeskuksen koordinoima analyysi Tunturi-Lapin lämpenemisestä osoitti, että esiteolliseen aikaan verrattuna Tunturi-Lapin keskilämpötila on noussut jo noin kaksi astetta ja lämpötilannousu tulee pahimmillaan nousemaan lähes 7 asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. Lämpötilan nousu on kuitenkin mahdollista rajoittaa 3–4 asteeseen, mikäli päästöt vähentäviä ilmastotoimia otetaan laajasti ja tehokkaasti käyttöön.¹²⁰ Vaikka Suomen päästöt eivät yksin ratkaise ilmastonmuutoksen globaaleja

¹⁰⁵ Eftestøl ym. 2023

¹⁰⁶ Luonnonvarakeskus 2024c; Luonnonvarakeskus 2024b

¹⁰⁷ Luonnonvarakeskus 2024d

¹⁰⁸ Skarin & Sandström 2018

¹⁰⁹ Skarin & Sandström 2018; Skarin & Åhman 2014

¹¹⁰ Paulomäki 2024

¹¹¹ Miltz ym. 2024

¹¹² da Costa ym. 2017; Suzuki & Parker 2016

¹¹³ Rydell ym. 2012

¹¹⁴ Gaultier ym. 2020

¹¹⁵ Gaultier ym. 2023

¹¹⁶ Luonnonvarakeskus 2023

¹¹⁷ Birdlife International 2021, Jetz ym. 2007; Meller 2017; Thomas ym. 2004

¹¹⁸ Zhou ym. 2024

¹¹⁹ Hyvärinen ym. 2019

¹²⁰ Suomen ympäristökeskus 2023

vaikutuksia, tuulivoiman rakentamatta jättäminen voi osaltaan lisätä ilmastonmuutoksen seurauksia, joilla on mittakaavaltaan merkittävämpiä vaikutuksia Suomen luonnon monimuotoisuuteen kuin tuulivoimarakentamisen suorat luontovaikutukset.

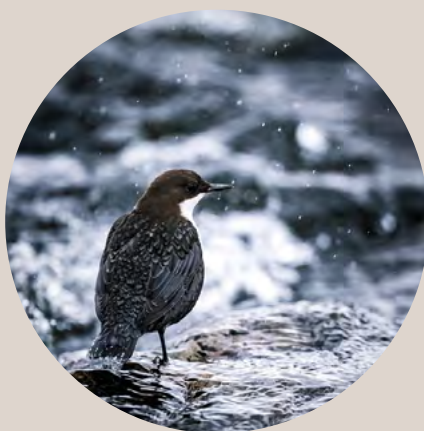
Tuulivoimahankkeen elinkaari koostuu neljästä vaiheesta: materiaali- ja tuotevaiheesta, rakentamisvaiheesta, käyttövaiheesta sekä käytöstä poistamisen vaiheesta (kuva 7). Koko elinkaaren mittaisia päästövaikutuksia arvioitaessa on huomioitava kaikkien eri vaiheiden päästöt. Tuulivoimaloita valmistava Vestas on tuottanut omista voimaloistaan verifioituja elinkaariarvioita, joissa on huomioitu tuulivoimaloiden koko elinkaaren päästöt rakennusmateriaaleista kuljetuksiin ja huoltoon sekä tuulivoimalan käytöstä poistoon. Elinkaarilaskelmat osoittavat, että merkittävimmät päästöt syntyvät materiaali- ja tuotevaiheessa.¹²¹ Suurin osa, usein jopa 70 % tuulivoimaloiden rakennusmateriaalista on betonia ja teräksen osuus on noin 20 %. Materiaalimäärät ja eri materiaalien osuudet riippuvat kuitenkin paljon tuulivoimaloiden perustustyyppistä. Kallioankuroidussa tuulivoimaloissa betonin osuus on maanvaraisia perustuksia pienempi. Loput materiaaleista koostuvat muista metalleista, polymeereistä, lasista sekä muista keraameista.

1

Materiaali- ja tuotevaihe



- Raaka-aineiden hankinta
- Kuljetus tuotantolaitoksiin
- Materiaalien ja komponenttien valmistus



2

Rakentamisvaihe

- Kuljetus hankealueelle
- Hiilivarasto
- Työmaatoiminnot

3

Käyttövaihe

- Tuulienergian tuotanto
- Aurinkoenergian tuotanto
- Sähkösiirtohäviöt
- Tuuli- ja aurinkovoimaston ja sähkönsiirtolinjan aiheuttaman hiilinielun pienentyminen
- Huolto, kunnossapito ja korjaukset

4

Elinkaaren loppu

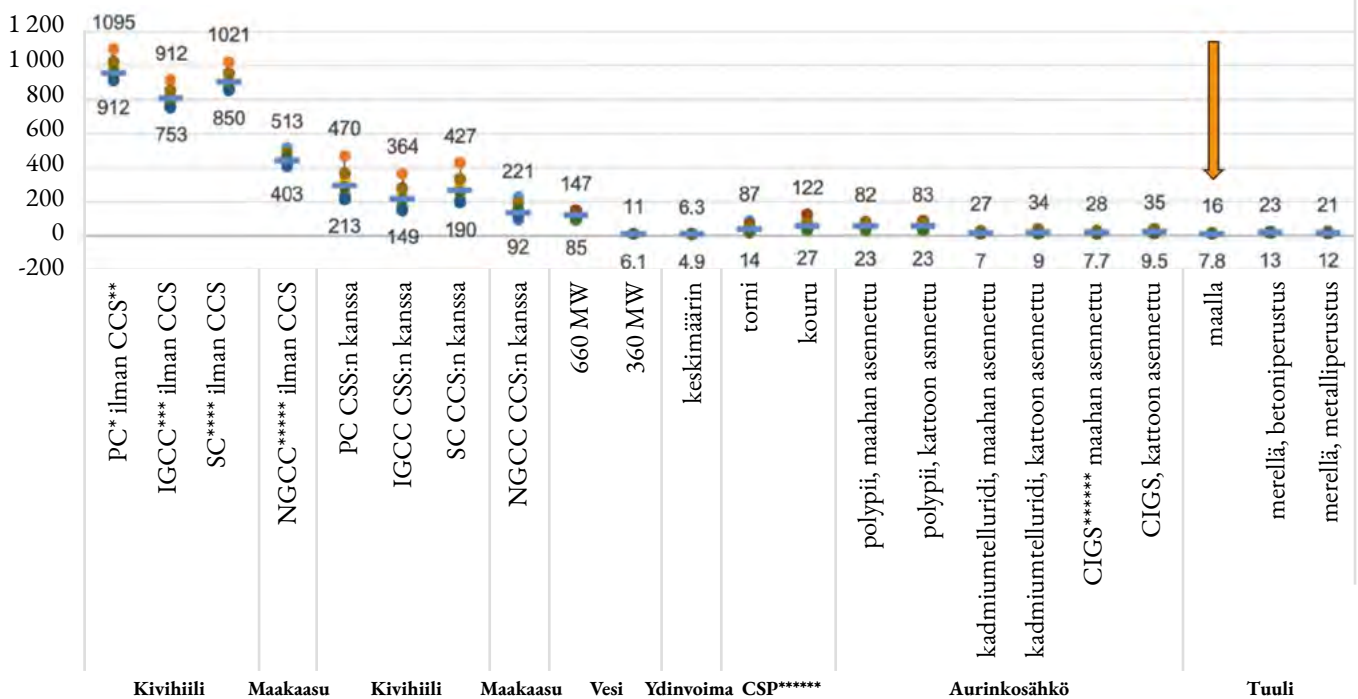
- Käytöstä poisto ja purku
- Jätteen kuljetus käsittelyyn
- Jätteen käsittely kierrätyksiä varten ja/tai loppukäsittely

Kuva 7. Tuulivoiman elinkaarien päästöjen muodostuminen.¹²²

Tuulivoiman positiivinen ilmastovaikutus, eli ilmastokäden jälki riippuu paljon siitä, mitä energiantuotantoa tuulivoimalla korvataan. Tuulivoimahankkeen päästövähennys saattaa olla jopa 14-kertainen hankkeen rakentamisen hiilipäästöihin verrattuna, jos tuulivoimalla korvataan biopolttoaineilla tuotettua energiaa.¹²³ Elinkaarivertailuissa on suhteutettu eri energiantuotantomuotojen koko elinkaaren aikana tuottamia päästöjä per tuotettu kilowattitunti. Tuulivoiman energiantuotannon elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt voivat olla jopa 100 kertaa pienemmät kuin fossiilisten energiantuotantomuotojen (kuva 8).

Tuulivoiman aiheuttama hiilinielujen pienentymisen vaikutus on verrattain pieni verrattuna muihin metsäkadon aiheuttajiin, sillä laajoista voimalaitosalueista huolimatta tuulivoimaloiden rakenteet vievät vain joitakin prosentteja maapinta-alaa hankealueen kokonaisuudesta. Esimerkiksi 30 vuoden 100 TWh tuulivoimatuotannon metsäkadosta aiheutuva päästövaikutus on noin 3 g CO₂-ekv./kWh, kun Suomessa pellonraivauksesta ja yhdyskuntien rakentamisesta aiheutuva metsäkato on ollut vuosittain vuosina 1990-2020 jopa 3 Mt CO₂-ekv.¹²⁵

Elinkaaren aikaisen kasvihuonepäästöt, g CO₂ -ekv./kWh, alueellinen vaihtelu 2020



- * Jauhettu hiili (eng. Pulverized coal)
- **Hiilidiosidin talteenotto ja varastointi (eng. Carbon capture and storage)
- *** Maakaasun käyttö (eng. Integrated gasification combined cycle)
- **** Ylikriittinen (eng. Supercritical)
- ***** Kaasutetun kiinteän polttoaineen käyttö (eng. Natural gas combined cycle)
- ***** Keskittävä aurinkovoima (eng. Concentrated solar power)
- ***** Kupari-indium-gallium-selenidi

- Kanada, Australia ja Uusi-Seelanti
- Kiina
- Eurooppa
- Intia
- Japani
- Lätinalainen Amerikka
- Lähi-Itä ja Afrikka
- EU:n ulkopuolinen Eurooppa
- Muu Aasia
- Saharan eteläpuoleinen Afrikka
- Uudistuvat maat
- Yhdysvallat
- Keskimäärin

Kuva 8. Eri energiantuotantotapojen elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt g CO₂ eq. per kWh, eri maissa 2020. Maa-tuulivoima merkitty oranssilla nuolella.¹²⁴

¹²³ ABO Wind Oy & Metsähallitus 2022

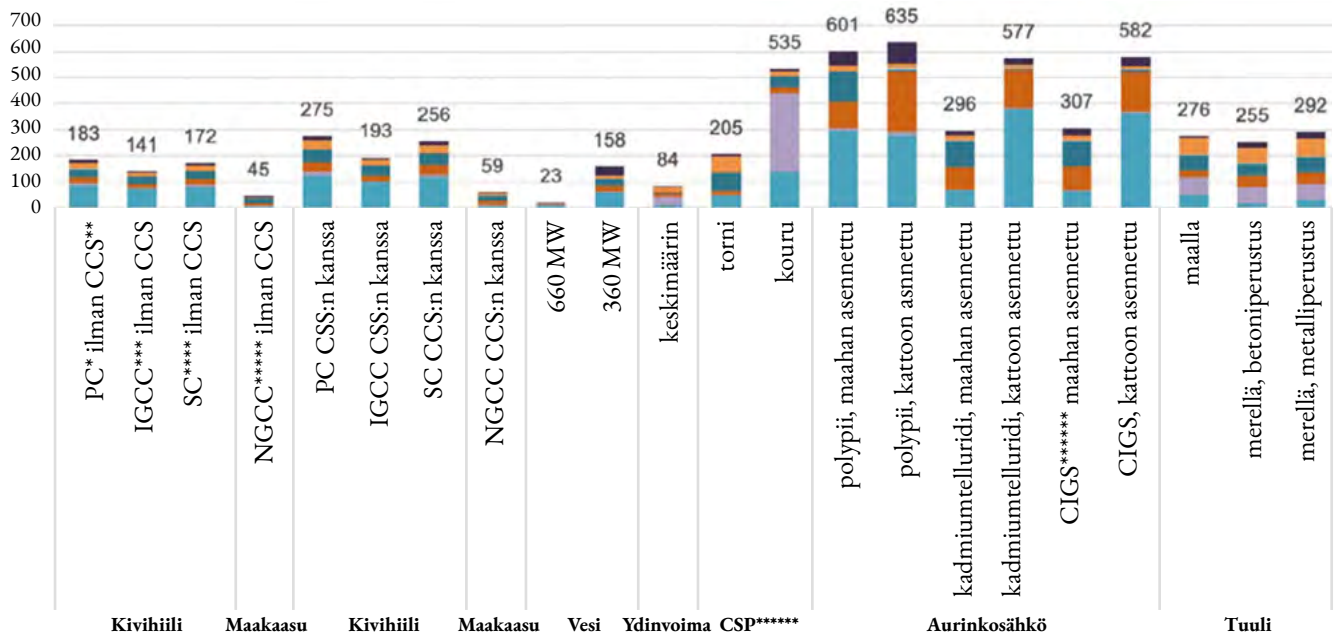
¹²⁴ Gibon ym. 2022

¹²⁵ Seppälä 2023

5.3 Vaikutukset luonnonvaroihin

Kun eri energiantuotantomuotojen ympäristövaikutuksia arvioidaan elinkaariarviointi -menetelmällä (LCA), tuulivoima menestyy muita energiantuotantomuotoja paremmin kaikilla muilla mittareilla lukuun ottamatta ottamatta materiaali- ja mineraalitarvetta.¹²⁶ Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuulivoimalla tuotettu energia on jokseenkin materiaali- ja mineraali-intensiivistä harvinaisempien ja niukimpien materiaalien ja mineraalien osalta (kuva 9). Tuulivoiman materiaalitärpeet ovat suhteellisen teräspainotteisia, ja esimerkiksi niiden kromin tarve on 60-70 grammaa megawattituntia kohti (kuva 9).¹²⁷

Materiaalivaatimukset, g/MWh



* Jauhettu hiili (eng. Pulverized coal)

**Hiilidiosidin talteenotto ja varastointi (eng. Carbon capture and storage)

*** Maakaasun käyttö (eng. Integrated gasification combined cycle)

**** Ylikriittinen (eng. Supercritical)

***** Kaasutetun kiinteän polttoaineen käyttö (eng. Natural gas combined cycle)

***** Keskittävä aurinkovoima (eng. Concentrated solar power)

***** Kupari-indium-gallium-selenidi



Kuva 9. Eri energiantuotantomuotojen elinkaariset materiaalitärpeet gramoissa per megawattitunti eri maissa alumiinin sekä niiden materiaalien osalta¹²⁸, jotka Kansainvälinen IEA on listannut kriittisiksi mineraaleiksi vihreässä siirtymässä.¹²⁹

Tuulivoiman kokonaisvaikutukset luonnonvarojen kulutukseen ovat kuitenkin isossa kuvassa useimpia muita energiantuotantomuotoja pienemmät, sillä energiantuotantoon ei tarvita ehtyvistä luonnonvaroista koostuvaa polttoainetta, kuten fossiilienergian kohdalla tai merkittäviä määriä hitaammin uusiutuvaa polttoainetta kuten bioenergian käytössä.

Tuulivoimaloista voidaan kierrättää tällä hetkellä noin 80-95 % materiaaleista. Muovikomposiittimateriaalia olevien lapojen kierrättäminen on ollut haastavaa, mutta siihen on Suomessa kehitetty ratkaisu, jossa murskattua muovikomposiittimateriaalia hyödynnetään sementin valmistuksessa.¹³⁰ Kyse on rinnakkaisprosessoinnista, jossa puolet materiaalista hyödynnetään energiana sementin välivaiheen, klinkkerin, valmistuksessa ja puolet sitoutuu raaka-aineena valmistettavaan sementtiin.

5.4 Vaikutukset saasteisiin

Tuulivoimasta syntyy muihin energiantuotantomuotoihin verrattuna vain vähän saastevaikutuksia. Merkittävimmät saastevaikutukset liittyvät tuulivoiman rakennusmateriaalien valmistukseen, rakentamisen aikaisiin päästöihin sekä tuulivoimaloiden tuottamaan meluun. Voimaloiden rakentaminen aiheuttaa melua, mutta myös toiminnassa oleva voimala on melun lähde. Linnuston osalta meluvaikutukset saattavat häiritä voimala-alueiden pesimälajistoa. Erityisen herkkiä meluvaikutuksille ovat yhtenäisiä metsäalueita suosivat lajit, kuten esimerkiksi metso.¹³¹

Tuulivoimarakentamisella saattaa myös olla välillisiä vaikutuksia saasteiden ja rehevöittävien ravinteiden kulkeutumiseen vesistöihin, mikäli tuulivoima-alueiden infrastruktuurin, kuten tiestön ja voimalaitosalueiden rakentaminen edellyttää merkittäviä määriä uusien ojien kaivamista.

¹³⁰ Muoviteollisuus ry 2023

¹³¹ Ympäristöministeriö 2016

6. Aurinkovoiman luontovaikutukset



Tässä selvityksessä tarkasteltavat luontovaikutukset koskevat teollisen mittakaavan aurinkovoimaloita, eivätkä esimerkiksi kotitalouksien katoille asennettavia aurinkovoimajärjestelmiä.

Aurinkovoimaloiden biodiversiteettivaikutuksia on tutkittu toistaiseksi melko vähän ja tieteellisiä julkaisuja aurinkovoiman luontovaikutuksista on tuotettu merkittävässä määrin vasta vuoden 2020 jälkeen. Tieteelliset julkaisut aurinkovoiman luontovaikutuksista ovat keskittyneet erityisesti Yhdysvaltoihin, Isoon Britanniaan sekä Ranskaan.¹³² Suomesta ei tämän selvityksen kirjoitushetkellä ole julkaistu vielä tutkimusjulkaisuja aurinkovoiman luontovaikutuksista. Elinkaariarviointien perusteella aurinkovoiman merkittävimmät luontovaikutukset tulevat tuulivoiman tapaan rakennusmateriaaleista ja niiden tuotannosta.¹³³

Aurinkovoimalat vaativat suhteellisen suuria pinta-aloja, joten näin ollen aurinkovoiman paikalliset luontovaikutukset riippuvat paljon voimaloiden sijoittelusta. Myös aurinkovoiman osalta luontovaikutuksia käydään seuraavissa alaluvuissa läpi luontokadon ajureiden näkökulmasta. Aurinkovoiman vaikutukset luontokadon viiteen pääasialliseen ajuriin on koottu kuvaan 10.

Luontokadon ajurit ja aurinkovoima



Maankäyttö

- Elinympäristöjen pirstaloituminen ja estevaikutus
- Rakennusmateriaalien tuotannon aiheuttama elinympäristöjen häviäminen



Ilmastonmuutos

- Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki
- Positiivinen ilmastovaikutus fossiili- ja bioenergian korvaamisessa



Luonnonvarojen käyttö

- Maa-aineksen ja rakennusmateriaalit
- Hankintaketjun metallit ja mineraalit



Vieraslajit

- Kuljetuksen ja maa-aineisten mukana mahdollisesti leviävät lajit



Saasteet

- Riski myrkyllisten rakennuskomponenttien päätyemisestä ympäristöön erityislaitteissa
- Tuotantoprosessien ja liikenteen ilmansaasteet

6.1 Maankäyttövaikutukset

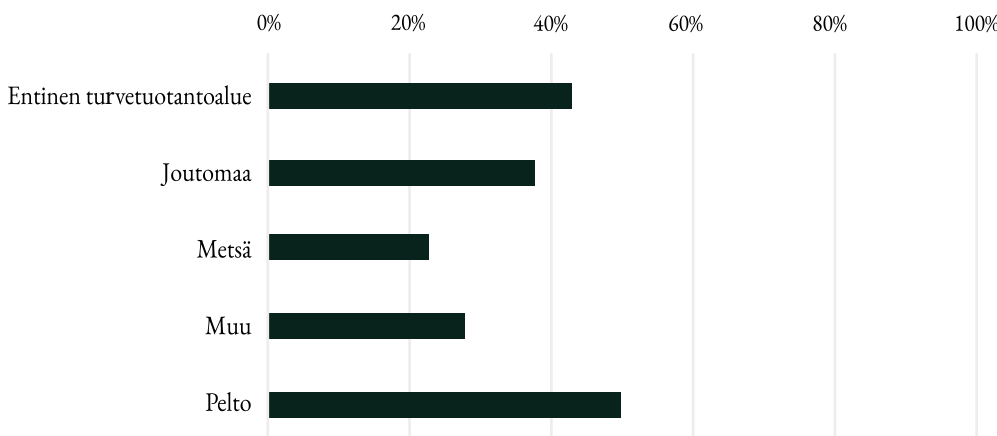
Aurinkovoima on suhteellisen pinta-alaintensiivinen energiantuotantomuoto ja sen mahdolliset kielteiset luontovaikutukset riippuvat paljon voimaloiden sijoittumisesta. Toisaalta hyvällä sijoittelulla on mahdollista myös parantaa edellytyksiä luonnon monimuotoisuuden vahvistumiselle, mikäli aurinkovoima-alueita kehitetään luontonäkökulmat edellä. Suomessa suunniteilla olevien teollisen mittakaavan aurinkovoimahankkeiden pinta-alat vaihtelevat kymmenien hehtaarien kokoisista aurinkovoima-alueista jopa 700 hehtaarin kokoiisiin alueisiin. Pääosa aurinkovoimahankkeista sijoittuu Etelä-Suomeen ja länsirannikolle. Petteri Orpon hallituksen hallitusohjelmassa on otettu kantaa aurinkovoimaloiden sijoittamiseen muualle kuin pelloille ja metsämaalle, tarkoituksena pyrkiä välttämään peltojen ja metsämaan merkittävä käyttö aurinkovoimaan.¹³⁴ Tämä on hyvin linjassa toimialan yritysten näkemysten kanssa, sillä alan sidosryhmille toteutetun kyselyn mukaan suurin osa teollisen mittakaavan aurinkovoimasta on suunniteltu sijoittumaan muualle kuin talousmetsään.¹³⁵ Jonkin verran aurinkovoimaa tulee todennäköisesti sijoittumaan myös talousmetsiin, mutta aurinkovoiman vaatimat pinta-alat ovat metsäteollisuuden metsien käyttöön verrattuna kohtuulliset. Esimerkiksi vuonna 2022 talousmetsien uudistushakkuut kattoivat 1600 km², kun aurinkovoiman viemä kokonaispinta-ala kunnianhimoisimmissa kasvuskenaarioissa vuonna 2035 olisi arviolta 300

km² sisältäen voimaloiden huoltotiet ja muun infrastruktuurin. Lisäksi on otettava huomioon, että valtaosaa aurinkovoimasta ei sijoiteta metsiin.

Teollisen mittakaavan aurinkovoima on toimialana vielä alkuvaiheessa, joten aurinkovoiman todelliset maankäyttövaikutukset ovat toteutusvaiheessa olevien tai valmistuneiden aurinkovoimahankkeiden pienen lukumäärän johdosta erittäin vähäisiä seuraavien vuosien aikana. Suunnittelupöydällä olevista hankkeista läheskään kaikki eivät toteudu, joten maankäyttövaikutuksia tulisi tarkastella investointipäätökseen edenneiden hankkeiden kautta.

Aurinkovoimaloiden kaavoitus ja lupamenettelyjen opasaineiston taustaselvityksen koonnin yhteydessä suoritetusta kuntakyselystä selviää, minkä tyyppisille alueille aurinkovoimaloita on suunniteltu, luvitettu tai jo toteutettu (Kuva 11). Kuntakyselyn vastausten perusteella aurinkovoimaloita kaavoitetaan eniten peltoalueille sekä entisille turvetuotantoalueille, ja vähiten metsäalueille.¹³⁶

Minkä tyyppisille alueille voimaloita on pääasiassa suunniteltu tai jo luvitettu/toteutettu? (kunna)



*Kuva 11. Kunnille kohdistetun kyselyn vastausten yhteenvedo siitä, minkä tyyppisille alueille voimaloita on suunniteltu, luvitettu tai jo toteutettu.*¹³⁷

6.1.1 Vaikutukset elinympäristöihin ja luontotyypeihin

Aurinkovoiman elinympäristö- ja luontotyyppi-vaikutukset riipuvat paljon siitä minkälaisiin elinympäristöihin voimailotukset sijoitetaan. Aurinkosähkö tuotannon elinkaaren biodiversiteettivaikutusten arvioinnissa, jossa arvioitiin Suomessa, Saksassa ja Marokossa sijaitsevia hankkeita havaittiin, että suurin osa maaekosysteemien biodiversiteettivaikutuksista liittyi voimaloiden tarvitsemaan maankäyttöön ja voimaloiden käyttövaiheeseen, mikä selittyi voimaloiden vaatimalla suurella maa-alalla.¹³⁸ Myös raaka-aineiden hankinnalla oli merkittäviä vaikutuksia makeanveden ekosysteemeille. Aurinkovoimahankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa joko YVA-menettelyn yhteydessä tai kaava- tai suunnittelutarveratkaisujen yhteydessä on nostettu esille metsäisiin elinympäristöihin sijoitettujen aurinkovoimahankkeiden merkittävät kielteiset vaikutukset kasvillisuuden muutoksiin sekä luonnontilaisiin suoympäristöihin sijoitettuna soiden kuivattamisen kielteiset ekologiset vaikutukset. Metsiin sijoitettaessa aurinkovoimaloilla on metsien luonnon monimuotoisuutta merkittävästi vähentävä vaikutus, sillä voimalaitosalueella on tehtävä avohakkuu ja poistettava puut sekä tehtävä maanmuokkausta, mikä käytännössä hävittää metsäekosysteemin pysyvästi. Toisaalta talousmetsien avohakkuut tuhoavat myös yhtälailla metsäekosysteemiä. Metsätaloustaloudessa oleville avohakattaville metsäalueille istutetaan useimmiten uutta metsää, joka pidemmän ajan kuluessa kehittyy takaisin talousmetsäksi. Talousmetsien avohakkuuden vaikutus metsäluontoon ei ole yhtä pysyväluonteinen kuin aurinkovoimaloiden, vaikka ne molemmat hävittävät metsäekosysteemiä. Aurinkovoimaloiden kielteiset luontovaikutukset ovat merkittävästi pienemmät tai jopa luonnon kannalta myönteiset, kun ne sijoitetaan alueille, joilla on vähäiset luonnonarvot ja jotka ovat jo voimakkaasti ihmisen muokkaamia, kuten entisille turvetuotantoalueille, pelloille tai teollisuusalueille.¹³⁹

Talousmetsien muuttuminen avoimemmiksi ympäristöiksi voi muuttaa alueen mikroilmastoa. Myös itse aurinkopaneelirakenteet voivat muuttaa alueen mikroilmastoa. Aurinkopaneelien alla ilman ja maaperän päivittäiset ja yölliset lämpötilavaihtelut ovat vähäisemmät verrattuna avoimiin alueisiin.¹⁴⁰ Aurinkopaneelien alapuolella ilma ja maaperä lämpenevät päivisin hitaammin, koska ne vastaanottavat vähemmän auringon säteilyä.¹⁴¹ Pohjoisella pallonpuoliskolla päivän aikana tapahtuvan epätasaisen lämpenemisen on havaittu vaikuttavan kasvillisuuden kasvuun sekä hiilen varastointiin.¹⁴²

Vahvasti ihmisen muokkaamiin elinympäristöihin sijoitettuna, kuten peltoalueilla tai entisille turvetuotantoalueille rakennettaessa aurinkovoimalla voi olla myös merkittäviä positiivisia vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen, mikäli voimalaitosalueille luodaan uusia monipuolisempia elinympäristöjä. Lisäksi pelto- ja turvealueiden muuttaminen aurinkovoiman tuotannon alueeksi voi merkittävästi vähentää ravinne- ja kiintoainekuormitusta, mikä puolestaan vaikuttaa positiivisesti lähialueen vesistöjen tilaan. Turvemaille rakennettavaan aurinkovoimaan liittyi riskejä vesistövaikutuksista erityisesti rakentamisaikana,

mutta huolellisella vesienhallinnan suunnittelulla, kuten riittävällä vesien pidättämisen ja suodattamisen avulla, riskejä voidaan tehokkaasti hallita. Entisille turpeenottoalueille rakennettaessa aurinkovoiman rakentamisen yhteydessä on mahdollista parantaa luonnon tilaa, mikäli alue suunnitellaan suoluonnon vesitasapainon kannalta optimaalisella tavalla.

Peltoalueilla rakennettaessa aurinkovoiman biodiversiteettivaikutukset ovat vähäisemmät kuin talousmetsiin sijoitettaessa, sillä peltoalueiden kasvillisuus ja eläimistö on usein melko yksipuolista, kun taas talousmetsien elinympäristöt ovat talouskäytöstä huolimatta saaneet kehittyä ja kerrostua luonnolta monipuolisemmiksi. Kansainvälisissä tutkimuksissa on todettu, että aurinkovoimahankkeet ovat jopa lisänneet luonnon monimuotoisuutta entisille peltoalueille sijoitettuna, sillä aurinkovoimaloiden alueelle kasvava kasvillisuus on viljelypeltoja monimuotoisempaa.¹⁴³ Suomen uhanalaisimpiin luontotyypeihin kuuluvat perinnebiotoopit, kuten niityt ja kedot ovat elinympäristöjä, joita istuttamalla ja hoitamalla on mahdollista lisätä pelloille sijoitettavien aurinkovoimala-alueiden monimuotoisuutta.

Teollisen kokoluokan aurinkovoimaloiden luvitukselle ja kaavoitukselle ei ole vielä olemassa yhtenäistä toimintatapaa Suomessa ja toisin kuin suurten tuulivoimahankkeiden kohdalla. Aurinkovoimahankkeet eivät automaattisesti edellytä YVA-menettelyä, joka on tarpeen silloin kun hankkeella on todennäköisesti merkittäviä ympäristövaikutuksia.¹⁴⁴ Useimmat aurinkovoimalahankkeet eivät täytä YVA-menettelyn soveltamisen kriteerejä, jolloin niiden kohdalla ympäristövaikutukset arvioidaan normaalisti kaava- ja luvitusvaiheissa. Kaava- ja luvitusvaiheet edellyttävät luontoselvityksiä, koska hankkeesta vastaava sitoo lakisääteinen vastuu selvittää ja ottaa huomioon alueen luontoarvot.¹⁴⁵ Sijoittamisluvissa ja siihen liittyvän hakemuksen laadinnassa tehtävät erilliset ympäristö- ja luontoselvitykset ovat useissa tapauksissa toimiva, riipeä ja resurssitehokas tapa aurinkovoimahankkeiden luvituksessa. Sijoittamisluparatkaisuilla on myös mahdollista toteuttaa kaavoitusta vastaavalla tavalla siten, eri viranomaisilla ja muilla osallisilla on ollut mahdollisuus lausua käsityksensä hakemuksen johdosta.

Suurten aurinkovoimaloiden kaavoitus ja rakentamiskäytäntöjen yhtenäistämiseksi on laadittu vuoden 2024 aikana opasta, joka kokoaa yhteen aurinkovoimaloiden merkittävimmät ympäristövaikutukset sekä esittää näkemyksen aurinkovoimaloiden toteuttamisessa sovellettavista kaavoitus- ja lupamenettelyistä.¹⁴⁶ Tämän selvityksen kirjoitushetkellä opas ei vielä ole valmistunut. Oppaan tarkoituksena on auttaa viranomaisia soveltamaan nykyistä lainsäädäntöä erilaisten esimerkkien avulla, eikä sen ole siten tarkoitus tuoda muutoksia sovellettaviin kaavoitus- ja lupamenettelyihin.

¹³⁸ Leiviskä 2024

¹⁴¹ Armstrong ym. 2016

¹⁴⁴ Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2021

¹³⁹ Bennun ym. 2021

¹⁴² Peng ym. 2013

¹⁴⁵ Mäkelä & Salo 2024

¹⁴⁰ Armstrong ym. 2016

¹⁴³ Montag ym. 2016

¹⁴⁶ Valtioneuvosto 2024

6.1.2 Vaikutukset eläimistöön

Aurinkovoiman vaikutuksista eri eläinlajeihin on vielä suhteellisen vähän tutkimustietoa olemassa ja aiheesta kaivattaisiin lisää alkuperäisjulkaisuja. Hyönteiset ja muut niveljalkaiset on tutkituin taksoni aurinkovoiman luontovaikutusten osalta.¹⁴⁷ Lisää tutkimusta on peräänkuulutettu etenkin nisäkkäistä, sammakkoeläimistä ja matelijoista.¹⁴⁸

Aurinkovoiman vaikutukset paikalliseen eläimistöön voivat olla niin negatiivisia kuin positiivisiakin lajista riippuen. Suuret aurinkovoimala-alueet ja niihin liittyvä infrastruktuuri voivat häiritä nisäkkäslajien liikkumista ja pienentää näiden reviirejä.¹⁴⁹ Koska aurinkovoimala-alueet usein myös aidataan, muodostavat ne myös suoran estevaikutuksen alueella liikkuville eläimille, mikä on nostettu esille myös aurinkovoimahankkeiden ympäristövaikutusten arvioinneissa. Suuremmissa aurinkovoimahankkeissa varataan kuitenkin tilaa riistakäytävälle hankealueilla tai niiden välittömässä läheisyydessä. Lisäksi laajoja reviirejä vaativien eläinlajien elinympäristöjen pirstoutuminen ja laadun heikentyminen nousee arvioinneissa esille. Linnustovaikutukset on aurinkovoimahankkeissa usein arvioitu vähäisiksi, vaikka arvioinneissa on myös nostettu esiin, että esimerkiksi metsäisen ympäristön muuttuminen avoimeksi aurinkovoimala-alueeksi voi olla merkittäviä vaikutuksia metsiä suosiviin lintulajeihin.

Lepakoita koskeissa tutkimuksissa on havaittu, että lepakoiden yleinen aktiivisuus oli samanlaista aurinkovoimala-alueilla kuin muissa avoimissa elinympäristöissä.¹⁵⁰ Joidenkin suojelun kannalta merkittäviä lajien kuten siippalajien ja kääpiölepakoiden on kuitenkin havaittu kuitenkin välttelevän aurinkovoimala-alueita.¹⁵¹

Avoimille paikoille sijoitetut suuret aurinkovoimalat saattavat esimerkiksi hävittää muuttolintujen levähdyspaikkoja ja tutkimuksissa on havaittu, että lintulajien määrä ja yksilötiheys on

ollut alhaisempaa aurinkovoimala-alueilla, kuin niiden reuna-alueilla.¹⁵² Toisaalta aurinkovoimaloiden on myös havaittu vaikuttavan positiivisesti avoimia alueita suosivaan lintulajistoon. Esimerkiksi västäräkki, jonka luonnolliselle elinympäristölle on tyypillistä paljaat pinnat sekä matala kasvipeite, on potentiaalinen aurinkovoimalaitosten puitteista hyötyvä lintulaji.¹⁵³ Mikäli aurinkovoimala-alueilla onnistutaan lisäämään monimuotoista ja uhanalaistunutta niitty- ja ketokasvillisuutta ja sen myötä myös hyönteisten määrää, voivat vaikutukset olla positiivisia myös monien perinneympäristöjen katoamisesta kärsiville, avoimien alueiden lintulajeille sekä hyönteisille.

Asianmukaisen suunnittelun ja kunnossapidon avulla, aurinkovoimalaitokset voivat lisätä pölyttäjien monimuotoisuutta.¹⁵⁴ Torjunta-aineiden käytön minimointi, kasvillisuuden ajoittainen hoitamattomuus sekä voimalaitosten viheryhteydet luonnollisiin elinympäristöihin ovat esimerkkejä toimenpiteistä, jotka edistävät pölyttäjien menestymistä alueella.¹⁵⁵ Hyönteisvaikutusten osalta aurinkovoimalat saattavat toimia polarisointuneen valon lähteenä ja toimia ekologisen ansoina vesihyönteisille, jotka erehtyvät luulemaan aurinkokennojen heijastusta vedenpinnaksi.¹⁵⁶ Aurinkopaneelin heijastavan pinta-alan pirstominen vähentää kuitenkin niiden houkuttelevuutta polrotaktisten hyönteisten kannalta.¹⁵⁷

Peltoympäristöissä aurinkovoimalat voivat parhaimmillaan lisätä luonnon monimuotoisuutta. Viisivuotisessa kenttätutkimuksessa Yhdysvalloissa Minnesotassa tutkittiin maatalousympäristöön sijoittuvan aurinkovoimalan vaikutuksia hyönteisyhteisöihin ja havaittiin, että luonnon monimuotoisuus lisääntyi alueella niin kasvillisuuden kuin hyönteisten osalta.¹⁵⁸ Lisääntyneet pölyttäjämäärät aurinkovoimala-alueella tukivat myös voimala-alueen läheisyydessä sijaitsevien maatalouskäytössä olevien peltojen viljelykasvien pölytystä.

6.2 Ilmastovaikutukset

Aurinkovoiman ilmastovaikutukset muodostuvat voimaloiden rakennusmateriaaleista, voimaloiden rakentamisen aikana tuotetuista päästöistä, voimala-alueiden aiheuttamista maankäytön muutoksista ja niiden vaikutuksista hiilinieluihin ja -varastoihin sekä siitä, minkälaista energiantuotantoa aurinkovoimalla korvataan. Korvatussa fossiilienergiaa tai bioenergiaa aurinkovoimalla on merkittäviä positiivisia ilmastovaikutuksia.

Elinkaariarvioinneissa huomioidaan energiantuotantoteknologian koko elinkaaren aikana muodostuva hiilijalanjälki.

Energiantuotantomuotojen elinkaariarvointien vertailussa aurinkosähköteknologiat tarjoavat merkittäviä ympäristöhyötyjä ilmastopäästöjen osalta.¹⁵⁹ Jos voimaloiden rakentaminen aiheuttaa merkittäviä muutoksia maankäyttöön, jotka vaikuttavat hiilinieluihin tai -varastoihin, aurinkovoimaloiden elinkaaren kokonaispäästöt voivat nousta.¹⁶⁰ Maankäytön muutoksista johtuvia päästöjä voidaan kuitenkin vähentää maapeitteen kunnossapitokäytäntöjen avulla.

Pohjois-Karjalan maakuntaliiton rahoittamassa ja Luonnonva-

¹⁴⁷ Lafitte ym. 2023

¹⁴⁸ Lafitte ym. 2023

¹⁴⁹ Bennun ym. 2021

¹⁵⁰ Szabadi ym. 2023

¹⁵¹ Szabadi ym. 2023; Tinsley ym. 2023

¹⁵² Visser ym. 2019

¹⁵³ Jarčuška ym. 2024

¹⁵⁴ Blydes ym. 2021; Graham ym. 2021

¹⁵⁵ Blydes ym. 2021

¹⁵⁶ Horváth ym. 2010; Szabadi ym. 2023

¹⁵⁷ Horváth ym. 2010

¹⁵⁸ Walston ym. 2023

¹⁵⁹ UNEP 2016

¹⁶⁰ Van de Ven ym. 2021

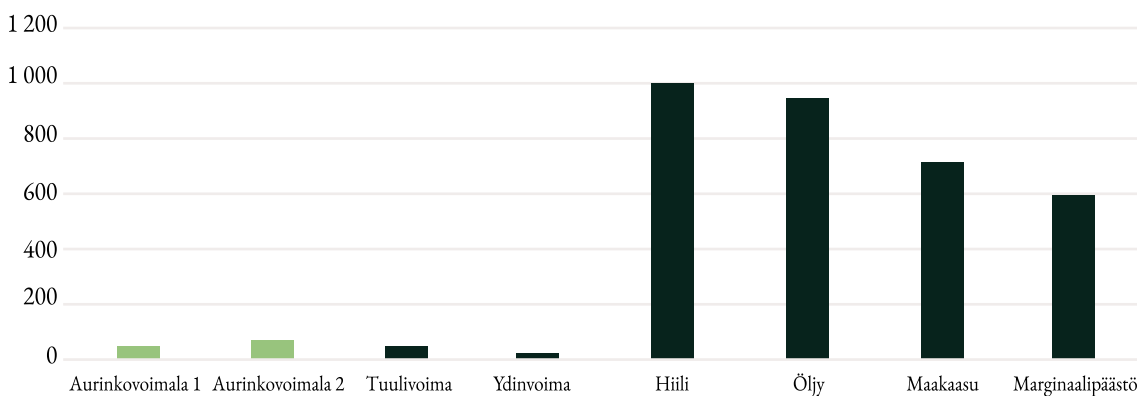
rakeskuksen toteuttamassa Aurinkometsä -hankkeessa tehtiin esimerkkitapausten tarkastelujen pohjalta selvitys, jossa arvioitiin aurinkovoimalan rakentamisen ja aurinkoenergian tuotannon elinkaarisia vaikutuksia metsämaalla ja muilla maankäyttömuodoilla.¹⁶¹ Mikäli aurinkovoimaloita rakennetaan metsiin muutokset metsän hiilivarastossa tulevat puuston hiilivaraston menetyksestä, maaperän hiilivaraston pienenemisestä sekä metsätaloustalouden siirtyessä uusille alueille. Metsäisten elinympäristöjen kasvupaikat ja luontotyypit vaikuttavat merkittävästi siihen, onko alue lähtökohtaisesti hiilen nielu vai lähde. Aurinkovoimalan rakentamisen aiheuttama maankäytön muutos lisää maaperän kasvihuonekaasujen päästöjä metsämaalla lukuun ottamatta vetettyjä turvetuotantoalueita sekä ojitettuja metsiä, joista tulee hiilen nieluja.¹⁶² Hiilinielujen ja -varastojen häviöstä huolimatta myös metsään rakennettu aurinkovoima on elinkaarisilta päästövaikutuksiltaan jopa 100 kertaa vähäpäästöi-

sempi verrattuna fossiilisiin energiantuotantomuotoihin, vaikka häviääkin päästövertailussa tuulivoimalle ja ydinvoimalle (kuva 12).

Aurinkovoiman merkittävimmät päästövaikutukset tulevat rakennusmateriaalien tuotannosta ja jalostuksesta. Aurinkovoimassa tärkeän materiaalin piin jalostus on erittäin energiaintensiivistä. Piipohjaisten aurinkokennojen osalta noin puolet kasvihuonekaasupäästöistä voidaan johtaa piin valmistuksesta, kun taas loput päästöistä jakautuvat moduulin muiden osien, asennuspaikan valmistelun ja invertterien kesken.¹⁶⁴ Ohutkalvo-paneelien elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat pienemmät, koska niiden valmistuksessa vältetään piin jalostuksen energiaintensiiviltä vaiheilta.¹⁶⁵

Sähköntuotannon päästöt: suuruusluokkien vertailua

Ilmastovaikutus, kg CO₂e/MWh



Kuva 12. Eri energiantuotantomuotojen sähköntuotannon elinkaaristen päästöjen vertailu. Aurinkovoimala 1, sijoittuu metsätaloustaloudessa olevalla kivennäismaalle, jossa pieni osuus turvemaata, Aurinkovoimala 2 sijoittuu turvemaalle, jossa ojitettua metsää ja entisiä turvetuotantoalueita.¹⁶³

6.3 Vaikutukset luonnonvaroihin

Aurinkovoiman elinkaariset materiaalitärpeet vihreän siirtymän kannalta kriittisten materiaalien ja mineraalien osalta ovat korkeammat kuin muilla energiantuotantomuodoilla (kuva 9).¹⁶⁶ Etenkin kupari, alumiini ja mangaani ovat aurinkovoiman eri tuotantomuodoissa tärkeitä materiaaleja. Aurinkosähkön tuotantoteknologioiden oletetaan kehittyvän ja tehostuvan merkittävästi lähivuosikymmeninä vähentäen metallien kulu- tusta moduulien materiaalitehokkuuden tehostuessa.¹⁶⁷

6.4 Vaikutukset saasteisiin

Aurinkoenergian saastevaikutukset syntyvät ensisijaisesti kuparin ja piin jalostuksesta.¹⁶⁸ Lisäksi aurinkopaneelit sisältävät eliöille myrkyllisiä raaka-aineita kuten lyijyä ja tinaa, jotka voivat aiheuttaa vaaraa ihmisille ja muille eliöille joutuessaan luontoon.¹⁶⁹

¹⁶¹ Luonnonvarakeskus 2024a

¹⁶² Luonnonvarakeskus 2024d

¹⁶³ Luonnonvarakeskus ei julkaisuvuotta b

¹⁶⁴ Luonnonvarakeskus 2024a

¹⁶² Luonnonvarakeskus 2024d

¹⁶³ Luonnonvarakeskus ei julkaisuvuotta b

¹⁶⁴ Gibon ym. 2022

¹⁶⁵ Gibon ym. 2022

¹⁶⁶ Gibon ym. 2022; Luderer ym. 2019

¹⁶⁷ UNEP 2016

¹⁶⁸ Luderer ym. 2019

¹⁶⁹ Li ym. 2024

7. Vihreän siirtymän luontovaikutuksien vertailu fossiilisiin perustuvaan energiajärjestelmään



Luontokadon ja ilmastokriisin ratkaisujen kiireellisyyden valossa on tärkeää ymmärtää myös vihreän siirtymän riskit ja kokonaisvaikutukset luontoon ja ilmastoon.

Keskeisimmät vaikutukset	Aurinkosähkö ja CSP	Maatuulivoima	Merituulivoima	Vesivoima	Bioenergia
Meren ja maankäytön muutokset	▼▼	▼	▼	▼▼▼	▼▼▼▼
Lajien liikakäyttö	▼	▼	▼	▼▼	▼▼▼
Vieraslajit ja sairaudet	▼	▼	▼▼	▼▼	▼▼
Saasteet	▼	▼	▼	▼▼	▼▼
Ilmastonmuutos	▼	▼	▼	▼▼	▼▼
Vertailukelpoiset elinkaarituloset - luonnomaan muutokset	●	●	●	●	●
Vertailukelpoiset elinkaarituloset- ekotoksikologia	●	●	●	●	●

Riskejä ja vaikutuksia on kuitenkin punnittava suhteessa vaihtoehtoon: fossiilisen energiantuotannon jatkamisen vaikutuksiin ja vihreän siirtymän toteuttamatta jättämiseen. Tässä luvussa vertaillaan vihreän siirtymän luontovaikutuksia fossiilisiin perustuvan energijärjestelmän luontovaikutuksiin kansainväliseen tutkimuskirjallisuuteen ja aiempiin selvityksiin pohjautuen.

Uusiutuviin energiantuotantomuotoihin perustuva energijärjestelmä edellyttää paitsi siirtymää fossiilisesta energiantuotannosta uusiutuviin ja puhtaisiin energiantuotantomuotoihin, myös mittavia muutoksia energijärjestelmän siirtoyhteyksissä, energian varastoinnissa sekä energijärjestelmän joustoratkaisuissa. Energiamurrosta ei näin ollen ole mielekäästä tarkastella pelkästään yksittäisiä energiantuotantomuotoja toisiinsa vertaillen, vaan koko järjestelmän muutosten ja vaatimusten näkökulmasta. Useat eri energiantuotantomuotojen elinkaari-vaikutuksia vertailevat tutkimukset sekä vihreän siirtymän kokonaisympäristövaikutuksia käsittelevät selvitykset osoittavat kuinka uusiutuviin energiantuotantomuotoihin perustuva energijärjestelmä on luonnon kannalta moninkertaisesti kestävämpi ja turvallisempi vaihtoehto (kuva 13).¹⁷⁰

Kun vihreän siirtymän energiaskenaariota, jossa hiilipäästöt vähenevät nopeasti ja vähähiilistä energiantuotantoa laajennetaan merkittävästi verrataan business-as-usual skenaarioon, jossa jatketaan nykyistä politiikkaa ja pidetään kiinni fossiiliriippuvaisesta taloudesta on havaittu, että suurimmat erot energiaskenaarioiden luontovaikutusten välillä tulevat vaikutuksista luonnon monimuotoisuuteen, aktiivisesti louhittujen alueiden määrästä, ilmanlaatuvaikutuksista, vedenlaatuvaikutuksista, ilmastovai-

kutusten vuoksi menetetyistä maista sekä muista vaikutuksista (kuva 14). Vihreän siirtymän positiiviset vaikutukset luontoon tulevat suurimmilta osin hiilikaivosten käytöstä poistamisesta, fossiilisten polttoaineiden polton vähentämisestä sekä ilmastomuutoksen vaikutusten vähentämisestä.¹⁷² Ilmaston keskilämpötilan nousu yli kolmen asteen ennustetaan siirtävän maapallon kasvillisuusvyöhykkeitä ja hävittävän kasvillisuutta laajoilta alueilta aiheuttaen siten merkittäviä muutoksia ekosysteemeissä sulattaessaan lisäksi ikiroutaa sekä vähentäen kuivien alueiden vesivarantoja lisäten myös maaperän eroosiota sekä maastopalojen riskiä.¹⁷³ Rannikko- ja merialueilla ilmaston lämpeneminen johtaa helleaaltojen voimistumiseen, mikä myös lisää elinympäristöjen romahtamisen riskiä. Kun ilmastoriskit yhdistyvät muihin ekologiin paineisiin kuten saastumiseen, elinympäristöjen pirstoutumiseen ja maankäytön muutoksiin vaikutukset luontoon voimistuvat ja kertaantuvat ja niiden hallitsemisesta tulee yhä vaikeampaa.

Kuva 13. Energiantuotantomuotojen ympäristövaikutusten vertailua. Vertailut perustuvat energiantuotantomuotojen elinkaariarviointeihin.¹⁷¹

Geoterminen energia	Ydinvoima	Öljy ja kaasu	Hiili
▼▼	▼▼	▼▼	▼▼▼
▼▼	▼▼	▼▼	▼▼
▼▼	▼▼	▼▼▼	▼▼
▼▼▼	▼▼	▼▼▼	▼▼▼▼
▼	▼▼	▼▼▼▼	▼▼▼▼
●	●	●	●
	●	●	●



= Suhteellinen mittakaavavaikutus

Suhteellinen vaikutus

- ▼ = Pieni vaikutus
- ▼▼ = Keski-suuri vaikutus
- ▼▼▼ = Korkea vaikutus
- ▼▼▼▼ = Erittäin korkea vaikutus

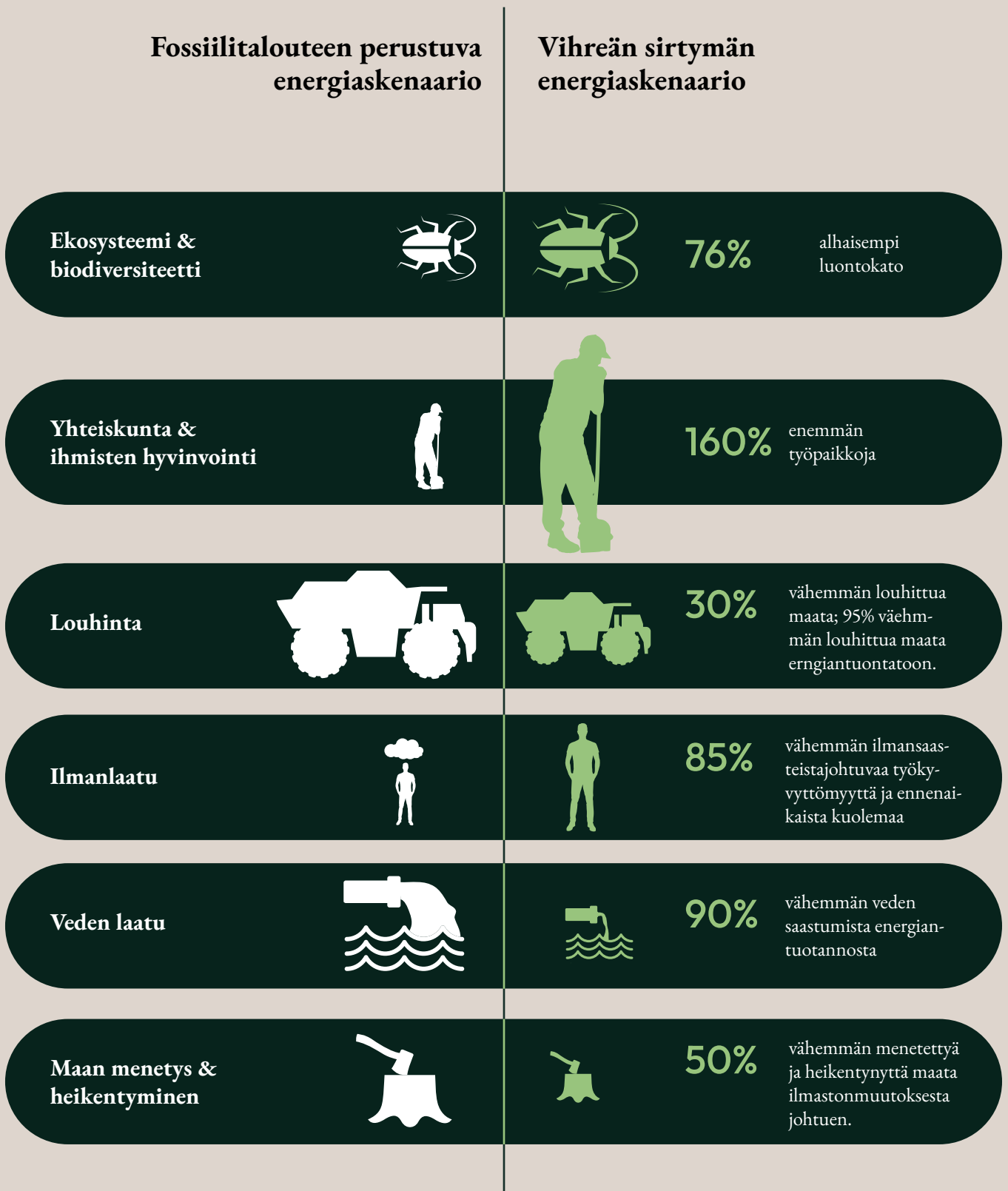
¹⁷⁰ Gibon ym. 2017; Gibon ym. 2022; Luderer ym. 2019; The Biodiversity Consultancy & WWF 2023; WWF & BCG 2023

¹⁷¹ The Biodiversity Consultancy & WWF 2023

¹⁷² WWF & BCG 2023

¹⁷³ IPCC 2022

Positiivinen vaikutus vihreän siirtymän energiaskenaariossa

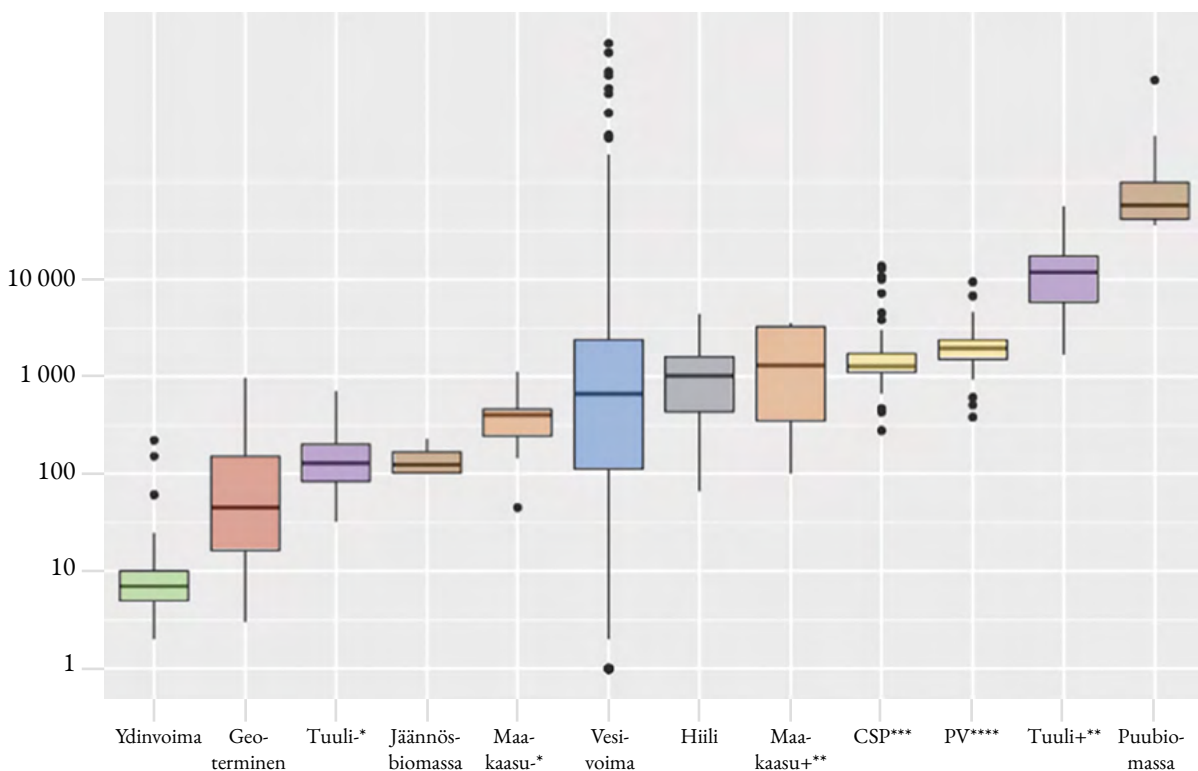


Kuva 14. Fossiilitalouteen perustuvan energiaskenaarion (Business-As-Usual) ja vihreän siirtymän (Rapid Transition) energiaskenaarion vaikutusten vertailua. Fossiilitalouden skenaario perustuu maailman maiden vuodesta 2020 alkaen päätettyihin ilmastopolitiikkoihin sekä uusimpiin ilmastolupauksiin, mikä johtaisi maapallon lämpötilan nousuun noin 2,2 °C - 3,5 °C vuosisadan loppuun mennessä. Fossiilitalouden skenaariossa fossiilisten polttoaineiden osuus maailmanlaajuisista primäärienergian toimituksista olisi vuonna 2050 edelleen noin 80 prosenttia. Vihreän siirtymän skenaario perustuu oletukseen siitä, että ilmaston lämpeneminen onnistutaan pitämään Pariisin sopimuksen linjaamassa 1,5 asteessa ja vuonna 2050 uusiutuvien energiantuotantomuotojen osuus energiantuotannosta on 85%.¹⁷⁴

Vihreän siirtymän osalta huolta on herättänyt erityisesti hajautetun uusiutuvan energian laajentumisen vaatima maankäyttötarve. Yllä mainitussa vihreää siirtymää ja fossiilientergiaa vertailevassa skenaariotarkastelussa vihreän siirtymän energjaskenaario vaatii 8-35 % enemmän maa-alueita, kuin fossiilitalouden skenaario johtuen kuitenkin pääosin bioenergian viljelykasvien vaatimasta pinta-alasta.¹⁷⁵ Uusiutuvien energiantuotantomuotojen maankäyttötarpeen vertailu muihin energiantuotantomuotoihin riippuu paljon siitä, miten energiantuotantoyksikköjen väliin jäävä pinta-ala huomioidaan vertailussa. Tuulivoimapuistojen hankealueet ovat laajoja mutta on arvioitu että suorat maankäyttövaikutukset ovat noin 3 – 5% luokkaa suhteessa koko hankealueen laajuuteen.¹⁷⁶ Tuulivoiman sähköntuotannon maankäyttöintensiteetti on näin ollen energiantuotantomuotojen vertailussa joko matalimpien

joukossa (suora maankäyttövaikutus) tai korkeimpien joukossa (koko voimala-alueen maankäyttövaikutus) (kuva 15). Tuulivoiman osalta maankäyttövaikutusten vertaaminen muihin energiantuotantomuotoihin onkin haastavaa, sillä pelkästään suora maankäyttövaikutus ei kerro laajojen voimala-alueiden aiheuttamasta elinympäristöjä pirstovasta vaikutuksesta eliöstöön, mutta koko voimalaitosalueen oletaminen elinkelvottomaksi alueeksi ei myöskään vastaa todellisuutta. Olemassa olevan tutkimuskirjallisuuden valossa ei ole näyttöä siitä, että tuulivoimalat tekisivät niiden väliin jäävistä alueista elinkelvottomia millekään eläinlajille, vaikka tutkimuksissa onkin havaittu joidenkin lajien välttelevän tuulivoimaloiden läheisyyttä.

Sähkön maankäyttöintensiteetti (ha/TWh/y)



Sähkön lähteet

- * Suora maankäyttövaikutus
- ** Koko tuotantoalueen maankäyttövaikutus
- *** Keskitetty aurinkovoima
- **** Maahan asennettava aurinkoenergia

Kuva 15. Sähkön maankäyttöintensiteetti (LUIE: ha/TWh/v), esitetty logaritmisella asteikolla. Laatikot kuvaavat kvartiilien välistä vaihteluväliä, ja keskimäinen viiva kuvaa mediaania. Laatikoiden päästä lähtevät janaviivat ulottuvat korkeimpaan tai matalimpaan datapisteeseen, joka on 1,5-kertaisen kvartiilivälisen vaihteluvälisen sisällä; tämän vaihteluvälisen ulkopuolella olevat pisteet edustavat poikkeamia. Sähkönlähteet: ydinenergia (Nuclear), geoterminen energia (Geo), tuulivoima suoralla maankäyttövaikutuksella (Wind-), maakaasu suora maankäyttövaikutus (NG-) ja koko tuotantoalueen osalta (NG+), vesivoima patoaltaissa (Hydro), hiili (Coal), keskitetty aurinkovoima (CSP), maahan asennettava aurinkoenergia (PV), tuulivoima suoralla maankäyttövaikutuksella (Wind+) ja kokonaisten voimala-alueiden osalta (Wind+) sekä jäännösbiomassaa (BioRes) ja energiantuotanto varten viljeltyä puubiomassaa (BioDed).¹⁷⁷

¹⁷⁵ WWF & BCG 2023

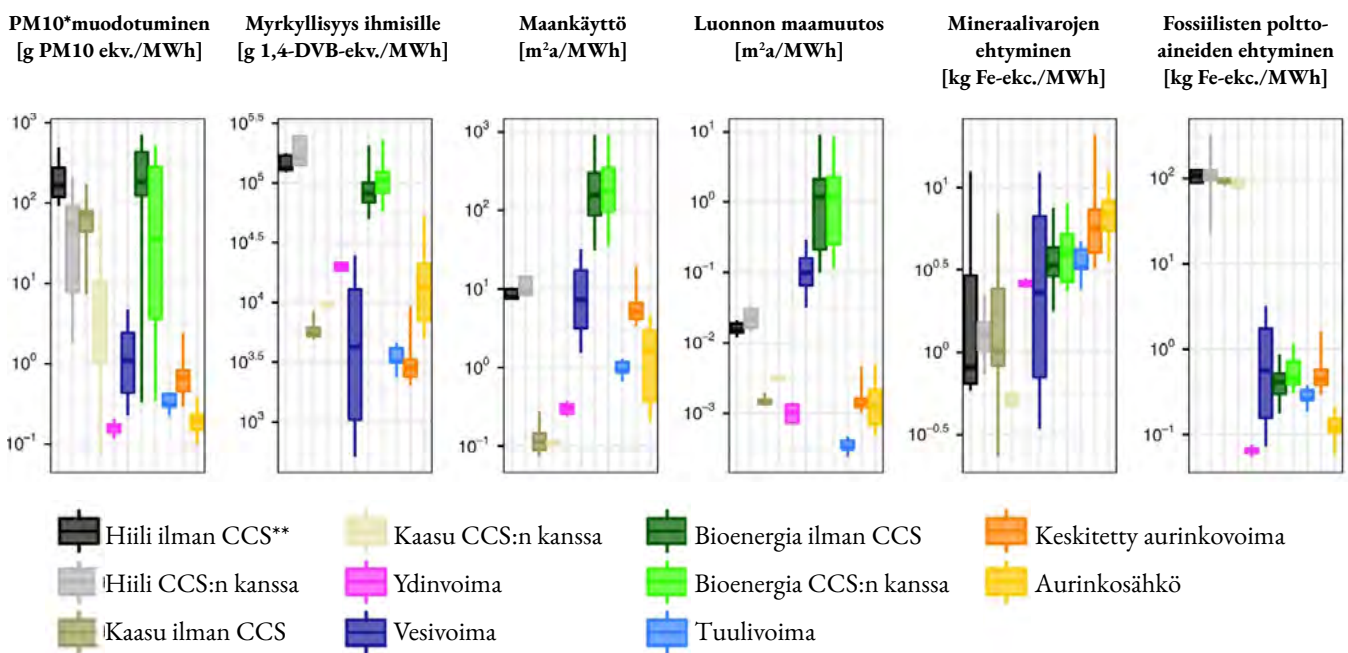
¹⁷⁶ Seppälä 2023

¹⁷⁷ Lovering ym. 2022

Yleisen maankäyttötarpeen lisäksi olennaista on myös luontolaisten maa-alueiden muokkaamisen määrä energiantuotannossa. Eri energiantuotantomuotoja vertailevassa elinkaariarvioinnissa on havaittavissa, kuinka bioenergian tuotanto on maankäyttövaikutusten osalta kaikista suurimman luontopaineen aiheuttava energiantuotantomuoto, kun taas tuuli- ja aurinkovoima vaativat suhteellisen pienen maankäyttötarpeen ja aiheuttavat melko pieniä maankäytön muutoksia verrattuna muihin energiantuotantomuotoihin (kuva 16).

Luonto- ja ympäristövaikutusten arvioinnissa ja suhteuttamisessa eri energiantuotantomuotojen välillä on tutkimuskirjallisuudessa yleisesti käytetty elinkaariarviointia (LCA). Elinkaariarviointi on menetelmä, jonka avulla voidaan kvantifioida

tuotteisiin liittyvät ympäristövaikutukset niiden koko elinkaaren aikana, vertailla eri tuotteiden ympäristötehokkuutta ja tunnistaa elinkaaren eri prosesseissa esiintyvät ongelmakohdat. Elinkaariarviointien vertailun perusteella fossiilisen energiantuotannon sekä bioenergian korvaaminen tuuli- ja aurinkoenergialla vähentää energiantuotannon luontovaikutuksia lähes kaikilla mittareilla mitattuna sisältäen niin saastevaikutukset, maankäyttövaikutukset, maankäytön muutoksen vaikutukset sekä fossiilivarantojen ehtymisen osalta (kuva 16). Aurinkovoiman heikkoutena elinkaariarvioinneissa korostuu myrkyllisten materiaalien käyttöön liittyvät riskit sekä harvinaisten metallien ja mineraalien käyttö (kuva 16). Tuulivoima pärjää energiantuotantomuotojen elinkaariarvioitusten vertailuissa kaikilla mittareilla melko hyvin verrattuna muihin energiantuotantomuotoihin.



* Pienhiukkaset, joiden halkaisija enintään 10 mikrometriä
 ** CCS = Hiilidioksidi talteenotto ja varastointi

Kuva 16. Teknologiaspesifit ympäristövaikutukset eri energiantuotantomuodoille per tuotettu energiayksikkö (MWh) esitettyinä logaritmisella asteikolla elinkaariarvioinnin perusteella koskien pienhiukkaspäästöjä, myrkyllisyyttä, maankäyttöä, maankäytön muutoksia, mineraalivarantojen ehtymistä sekä fossiilivarantojen ehtymistä. Ympäristövaikutus on sitä suurempi, mitä ylemmäs \neg -kyseisen energiantuotantomuodon laatikko- ja sen päistä lähtevät janaviivat sijoittuvat taulukossa. Laatikon ja janan suuri koko kertoo arvojen vaihtelusta, ruudun alareuna vastaa arvojen alaneljännestä ja yläreuna yläneljännestä.¹⁷⁸

Osana selvitystä tarkasteltiin eri energiantuotantomuotoja myös ENCORE (Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure) työkalulla, joka on luotu avustamaan eri toimialoilla toimivia organisaatioita ja sijoittajia luontovaikutusten ja riippuvuuksien hahmottamisessa.¹⁷⁹ Tieteellisiin tutkimuksiin ja asiantuntijoiden arvioihin perustuva ENCORE-työkalu keskittyy erityisesti siihen, miten yrityksen taloudelliset toiminnot vaikuttavat ja ovat riippuvaisia luonnonvaroista ja luonnon prosesseista, kuten puhtaan veden saannista ja ilmaston sääntelystä.¹⁸⁰ ENCORE tarjoaa tietoa siitä, miten eri taloudelliset toi-

minnot vaikuttavat luontokadon ajureihin kuten maankäytön muutoksiin, luonnonvarojen ylikulutukseen ja saastumiseen. ENCORE-työkalun antamat arviot perustuvat maailmanlaajuisiin yhteyksiin, joten se, että jonkin taloudellisen toiminnan osalta on kirjattu riippuvuus- tai paineyhteys, ei tarkoita, että kaikki kyseistä toimintaa harjoittavat yritykset ovat riippuvaisia kyseisestä riippuvuudesta tai harjoittavat kyseistä painetta.¹⁸¹ Tämän vuoksi työkalun antamat arviot eivät välttämättä ole suoraan sovellettavissa yksittäisen alueen, kuten Suomen, kontekstiin, niitä tulisi ennemminkin tarkastella suuntaa-antavana

tietona eri toimialojen ja vaikutuksen luontokadon ajureiden välisistä yhteyksistä.

Tarkasteluun valittiin tuuli- ja aurinkovoiman lisäksi vesivoima ja ydinvoima sekä biomassaan sekä fossiilisiin perustuva energiantuotanto. Tuulivoima pitää sisällään maatuulivoiman lisäksi merituulivoiman, sillä työkalu ei jaottele niitä omiksi tuotantomuodoiksi. ENCORE jaottelee vaikutusten ajurit 13 eri kategoriaan ja arvottaa jokaisen oleellisen ajurin vaikutuksen 5-portaisella asteikolla erittäin vähäisestä erittäin merkittävään. Eri energiantuotantomuodoille tunnistettiin yhteensä yhdeksän ajuria, joista viisi olivat kaikille yhteisiä. Taulukko 5 koostaa oleellisten ajureiden vaikutukset eri energiantuotantotavoille.

Taulukko 5. ENCORE analyysi eri energiantuotantomuotojen vaikutuksista luontokadon eri ajureihin, joista viisi ajuria ovat kaikille energiantuotantomuodoille yhteisiä. Vaikutukset on ENCORE työkalun mukaan jaoteltu 5-portaisella asteikolla erittäin vähäisestä merkittävään. Vaikutusten arviointi perustuu globaaleihin arvioihin perustuen tutkimuskirjallisuuteen ja asiantuntija-arvioihin.

ENCORE Luontovaikutusten ajurit	Aurinkovoima	Tuulivoima	Vesivoima	Ydinvoima	Bioenergia	Fossiilienergia
Maankäyttö	2	4	3	3	3	4
Vesialueiden käyttö		3	5	3		3
Makean veden kulutus	2	2	2	3	3	3
Muu elollisen luonnonvarojen kulutus					4	
Kasvihuonekaasupäästöt			2	1	4	5
Ilmansaasteet				2	4	5
Kiinteä jäte	1	1	2	4	4	4
Vesistöjen saastuttaminen	2	1		3	3	5
Häiriöt	1	3	4	3	4	5
Yhteensä	8	14	18	22	29	34

Työkalun tulokset näyttävät aurinko- ja tuulivoimalla olevan merkittävästi pienemmät luontovaikutukset verrattuna etenkin biomassaan ja fossiilisiin luonnonvaroihin perustuvaan energian tuotantoon. Maankäytön vaikutukset arvioidaan aurinkovoimaa lukuunottamatta kohtalaisiksi tai merkittäväksi kaikilla energiantuotantomuodoilla. Maankäytön vaikutukset syntyvät voimaloiden sekä muun tarpeellisen infrastruktuurin viemän maa-alan kautta. Ydinvoimaloille rajataan mahdollisten onnettomuuksien myötä laajat suoja-alueet. Tuulivoiman maankäytön merkittävät vaikutukset liittyvät rakentamisesta johtuvasta suuremmasta maanmuokkaustarpeesta. Vesialueita koskevat kohtalaiset vaikutukset liittyvät vain merituulivoimaan.

Makean veden kulutuksen vaikutukset tunnistetaan kaikilla energian tuotantotavoilla. Vettä kulutetaan esimerkiksi tuotantolaitosten jäähdytykseen, biomassan käsittelyyn sekä elinkaaren aikana tuotantolaitteiston valmistukseen. Muu elollisten luonnonvarojen varojen kulutus on merkittävää käytettäessä biomassaa. ENCORE ei tunnistanut elottomien luonnonvarojen kulutusta oleelliseksi ajuriksi yhdellekään energian tuotan-

totavalle. Myöskään kasvihuonekaasupäästöjä ei tunnistettu oleellisiksi aurinko- tai tuulivoimalle. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö kaikki energiantuotantotavat edellyttäisi elottomia luonnonvaroja kuten metalleja ja mineraaleja tai tuottaisi kasvihuonekaasupäästöjä elinkaarensa aikana.

Saastumista kuvaavat kiinteän jätteen syntyminen, vesistöjen saastuminen sekä häiriöt, joilla tarkoitetaan tässä yhteydessä esimerkiksi melu- ja valosaastetta. Aurinko- ja tuulivoiman aiheuttama saastuminen on pääsääntöisesti erittäin vähäistä. Tuulivoiman aiheuttama häiriö liittyy meluun, jonka vaikutukset ovat merkittävämmät kuin aurinkovoimaan liittyvän mahdollisen inverttereistä, muuntajista, jäähdytyspuhalletusta tai seurantalaitteista syntyvän melun ja valon. Muiden vertailtavien tuotantotapojen saastumiseen liittyvät vaikutukset vaihtelevat puolestaan kohtalaisesta erittäin merkittävään. Fossiilienergian erittäin merkittävät sekä bioenergia ja vesivoiman häiriövaikutukset syntyvät tuotannossa käytetyn laitteiston melusta sekä mahdollisesta valosaasteesta.

8. Yhteenveto ja johtopäätökset



Vihreän siirtymän on tapahduttava luonnon monimuotoisuutta vaalien, muuten uhkaamme synnyttää uusia ympäristöongelmia yrittäessämme ratkaista toisia.

Kansainvälinen luontopaneeli IPBES ja hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli IPCC ovat todenneet, että ilmastonmuutos ja luontokato on ratkaistava yhdessä, muuten epäonnistumme molemmissa.¹⁸² Niin luontokato kuin ilmastonmuutos uhkaavat ekologisten järjestelmien tasapainoa sekä maapallon elinkelpoisuutta ihmiselle ja nykyisellään tuntemallemme elämälle. Tämän selvityksen tavoitteena on ollut luoda kokonaiskuvaa tuuli- ja aurinkovoimatoimialan luontovaikutuksista Suomessa sekä suhteuttaa näitä vaikutuksia muihin energiantuotantomuotoihin sekä vihreän siirtymän toteuttamatta jättämiseen.

Tässä selvityksessä tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksia Suomessa on arvioitu olemassa olevan tutkimuskirjallisuuden, asiantuntijahaastatteluiden, ympäristövaikutusten arviointien, ENCORE-analyysin sekä paikkatietopohjaisen analyysin pohjalta. Monipuolisen aineiston ja erilaisten menetelmien avulla on pyritty muodostamaan mahdollisimman laaja-alainen kokonaiskuva tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksista. Koska luontovaikutusten mittaamiselle ja arvioinnille ei ole olemassa yhtä selkeää ja tarkkaa mittaria, on luontoon koh-

distuvia erilaisten paineiden yhteisvaikutusta pyritty tarkastelemaan kokonaisuutena ja vertaamaan tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutuksia muihin energiantuotantomuotoihin. Eri menetelmin tehdyt arviot ja analyysit (elinkaariarvioinnit ja ENCORE-analyysi) antavat myös hiukan toisistaan poikkeavia vertailulukuja, mikä kertoo vaikutusten mittaamisen vaikeudesta sekä menetelmien herkkyydestä tehdyille oletuksille. Tämän selvityksen perusteella on kuitenkin selvää, että tuuli- ja aurinkovoiman luontovaikutukset ovat merkittävästi muita energiantuotantomuotoja pienempiä ja että vihreän siirtymän edistäminen globaalisti on välttämätöntä suomalaisen luonnon monimuotoisuuden ja elinvoimaisuuden kannalta.

Tuuli- ja aurinkovoimarakentamisella, kuten kaikella muullakin ihmisen rakentamalla infrastruktuurilla, on jonkin verran kielteisiä vaikutuksia luontoon ja luonnon monimuotoisuuteen rakennusmateriaalien tuotannon sekä infrastruktuurin viemän tilan myötä. Samaan aikaan tuuli- ja aurinkovoimalla on merkittäviä positiivisia luontovaikutuksia niiden tuottaman positiivisen ilmastovaikutuksen kautta, kun uusiutuvan energian tuotanto korvaa kasvihuonekaasuja lisääviä ja hiilinieluja hävittäviä

energiantuotantomuotoja, kuten fossiilienergiaa ja bioenergiaa. Ilmastonmuutos on yksi Suomen ja globaalin luontokadon merkittävimmistä ajureista ja näin ollen ilmastonmuutoksen torjuminen on samalla myös luontokadon torjumista.

Suomeen rakennetun tuulivoiman ja aurinkovoiman merkittävimmät globaalin tason luontovaikutukset tulevat linkkaariaviointien sekä Science Based Targets for Nature viitekehyksen avulla arvioituna rakennusmateriaaleista. Suomen luonnon näkökulmasta tarkasteltuna merkittävimmät luontovaikutukset liittyvät tuuli- ja aurinkovoiman maankäyttöön, mikä pirstoo, pienentää ja heikentää elinympäristöjä ja saattaa aiheuttaa näin muun ihmistoiminnan kanssa lisäpainetta monille jo valmiiksi uhanalaistuneille lajeille ja luontotyypeille. Tuulivoiman ympäristövaikutusten arvioinneissa erityistä huolta on kiinnitetty laajoja rauhallisia revierejä tarvitsevien lajien, kuten suurten nisäkkäiden sekä suurten petolintujen elinolosuhteisiin. Toistaiseksi tuulivoimarakentamisen vaikutuksista suuriin nisäkkäslajeihin ei kuitenkaan ole tieteellisesti tutkittu Suomen oloissa, vaikka tämän selvityksen kirjoitushetkellä onkin meneillään useita tutkimushankkeita. Tuulivoiman linnustovaikutukset eivät vastoin yleisiä oletuksia ole merkittävän kielteisiä ja tuulivoiman haitallisia vaikutuksia lintuihin olisi myös mahdollista lieventää verrattain yksinkertaisiin keinoihin värittämällä tuulivoimaloiden tornien juuria ja lapoja sekä sijoittamalla voimalaitosalueita muualle kuin linnustoltaan erityisen herkille alueille. Tuulivoimalle herkimät lintulajit löytyvät vesilinnuista, petolinnuista ja kanalinnuista.¹⁸³

Teollisen mittakaavan aurinkovoimaa on Suomessa rakennettu tämän selvityksen kirjoitushetkellä vasta vähän ja toimiala on Suomessa vielä alkuvaiheessa. Näin ollen teollisen mittakaavan aurinkovoiman luontovaikutuksia ei ole vielä ollut mahdollista arvioida kovinkaan kattavasti Suomen oloissa. Kansainvälisen tutkimuskirjallisuuden, asiantuntijahaastatteluiden sekä ympäristövaikutusten arviointien valossa on kuitenkin oletettavaa, että teollisen mittakaavan aurinkovoiman osalta merkittävimmät luontovaikutukset Suomessa syntyvät aidattujen aurinkovoima-alueiden muodostamasta estevaikutuksesta eläinlajeille sekä laajojen voimalaitosalueiden hävittäessä metsäisiä elinympäristöjä, mikäli voimaloita sellaisiin sijoitetaan. Aurinkovoimahankkeet voivat kuitenkin myös lisätä luonnon monimuotoisuutta, mikäli hankkeita sijoitetaan jo vahvasti ihmisen muokkaamille alueille, kuten kasvillisuudeltaan yksipuolisille peltoalueille, joiden tilalle kasvatetaan monipuolisempaa niitty- ja ketokasvillisuutta. Myös vesistövaikutukset saattavat olla myönteisiä, mikä aurinkovoima-alueilla ennallistetaan entisiä turpeenottoalueita, vähenetään ihmisen toiminnasta heikentyneiden maaperien eroosioita ja ravinteiden kulkeutumista vesistöihin.

Suomen elinympäristöistä tuulivoimalat vaikuttavat erityisesti talousmetsiin, ja metsät ovat myös Suomen yleisin elinympäristö. Suomen metsistä yli 90 prosenttia on kuitenkin jo metsätalouksikäytössä, mikä yksipuolistaa niiden lajistoa ja johtaa useimmiten kokonaisten ekosysteemien häviämiseen avohak-

kuiden seurauksena. Optimistisimmissä tuulivoiman kasvuskenaarioissa tuulivoimaloiden ja niiden infran vaatima suora maankäyttövaikutus kohdistuu vain alle yhteen prosenttiin Suomen metsäpinta-alasta. Fingridin uusimpien ennusteiden mukaan maatuulivoiman kapasiteetin kasvu on myös kyseisiä skenaarioita jopa puolet hitaampaa (kuva 4), jolloin maankäyttövaikutus on ennusteiden toteutuessa myös merkittävästi pienempi. Tuulivoiman suora maankäyttövaikutus ei kuitenkaan ota huomioon laajoille alueille levittäytyvien voimala-alueiden infrastruktuurin aiheuttamaa elinympäristöjen pirstoutumisvaikutuksia ja häiriövaikutuksia. Tutkimuskirjallisuuden valossa ei kuitenkaan ole näyttöä siitä, että tuulivoimalat tekisivät voimala-alueista elinkelvottomia millekään eläinlajille. Näin ollen voideta, että tuuli- ja aurinkovoimatuotannon maankäyttövaikutukset eivät muodosta suhteellisesti katsottuna merkittävää uhkaa Suomen luonnon monimuotoisuudelle verrattuna muihin maankäyttöpaineisiin ja erityisesti metsätalouteen. Suomessa on myös tämän selvityksen kirjoitushetkellä käynnissä useampia selvitys- ja tutkimushankkeita tuulivoiman vaikutuksista Suomen luontotyyppeihin ja suojelemaan eläinlajeihin, joiden tulokset tuovat arvokasta uutta tietoa tuulivoiman sepäsuoremista luontovaikutuksista Suomen luontoon.

Tuuli- ja aurinkovoimarakentamisen on ennustettu jopa yli kymmenkertastuvan Suomessa seuraavien vuosikymmenien aikana ja huoli uuden energiainfrastruktuurin vaikutuksista Suomen luontoon on aiheellinen ottaen huomioon Suomen lajien ja luontotyyppien nopean uhanalaistumiskehityksen. Luonnon ja ilmaston kannalta kestäväntä olisi vähentää energiankulutusta ja energian tarvetta, jotta uutta energiainfrastruktuuria tarvitsisi rakentaa mahdollisimman vähän. Mikäli nykyisenkaltaista tai nykyistä suurempaa energiankulutusta kuitenkin aiotaan pitää yllä, on fossiilisten ja biopohjaisten polttoaineiden korvaaminen tuuli- ja aurinkovoimalla luonnon kannalta merkittävästi kestävämpi vaihtoehto.¹⁸⁴ Vihreän siirtymän positiiviset vaikutukset luontoon tulevat suurimmilta osin hiilikaivosten käytöstä poistamisesta, fossiilisten polttoaineiden polton vähentämisestä sekä ilmastonmuutoksen vaikutusten vähentämisestä.¹⁸⁵ Suomen pohjoisen luonnon ja uhanalaisen eliöstön näkökulmasta kiihtyvä ilmastonmuutos on merkittävästi suurempi uhka kuin lisääntynyt tuuli- ja aurinkovoimarakentaminen, jolla pyritään korvaamaan ilmastonmuutosta kiihdyttävää energiantuotantoa. Tuuli- ja aurinkovoiman kielteisiä luontovaikutuksia pystytään tehokkaasti minimoimaan sijoittamalla voimalaitokset muualle kuin luonto- ja lajistoarvoiltaan herkimille ja rikkaimille alueille, mihin ympäristövaikutusten arviointimenettelyt sekä muut luontoselvitykset jo nykyisellään ohjaavat melko hyvin. Lisäksi luonnon monimuotoisuuden vahvistaminen ja lisääminen etenkin sellaisilla voimalaitosalueilla, jotka ovat jo ennestään vahvasti ihmisvaikutteisia lisäävät tuuli- ja aurinkovoimarakentamisen myönteisiä luontovaikutuksia. Jäljelle jäävien kielteisten luontovaikutusten kompensointi suojelemalla tai ennallistamalla luontoalueita lähialueilla on myös yksi tärkeä keino saavuttaa luonnon kannalta myönteisempi kokonaisvaikutus.

¹⁸³ IPCC 2022

¹⁸⁴ Gibon ym. 2017; Gibon ym. 2022; Luderer ym. 2019; The Biodiversity Consultancy & WWF 2023; WWF & BCG 2023

¹⁸⁵ WWF & BCG 2023

9. Lähdeluettelo

Aamulehti. (2023). Aurinkovoimalat tulisi sijoittaa ensisijaisesti luontoarvoiltaan heikentyneille alueille kuten teollisuusalueille. Verkkokoartikkeli. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://www.aamulehti.fi/lukijalta/art-2000010654714.html>

ABO Wind Oy & Metsähallitus. (2022). Kajaanin Kivikankaan tuulipuisto ja hankkeen sähkönsiirtoon liittyvä 400 (+110) kV. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Kivikankaan_tuulipuisto_YVA_selostus.pdf

Ahola, J., Annala, S., Bryer, C., Dankowska, A., Grönman, A., Hynynen, K., ... & Hyvärinen, J. (2024). LUT-yliopiston energiase-lonteko 2024. Varma, kestävä ja kohtuuhintainen energia, 9/2024. LUT-yliopisto. Haettu 31.10.2024 osoitteesta: <https://www.lut.fi/sites/default/files/media/documents/LUT-yliopisto-Energiaselonteko-fi-2024-for-web.pdf>

Anttonen, M., Kumpula, J., & Colpaert, A. (2011). Range selection by semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in relation to infrastructure and human activity in the boreal forest environment, northern Finland. *Arctic*, 1-14.

Armstrong, A., Ostle, N. J., & Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074016.

Arvesen, A., & Hertwich, E. G. (2012). Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(8), 5994-6006.

Auvinen, A. P., Kemppainen, E., Jäppinen, J. P., Heliölä, J., Holmala, K., Jantunen, J., ... & Ahlroth, P. (2020). Suomen biodiversiteettistrategian ja toimintaohjelman 2012–2020 toteutuksen ja vaikutusten arviointi.

Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25), 6506-6511.

Bennun, L., Van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., & Carbone, G. (2021). Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. *Synthesis and key messages*.

BirdLife International (2021). A range of threats drives declines in bird populations. Haettu 04.11. osoitteesta: <https://datazone.birdlife.org/sowb/casestudy/a-range-of-threats-drives-declines-in-bird-populations>

BirdLife Suomi ry. (2024). Tuulivoima ja linnut. Verkkosivu. Haettu 24.10.2024 osoitteesta: <https://www.birdlife.fi/suojelu/oma-ymparistomme/tuulivoima/>

Blaydes, H., Potts, S. G., Whyatt, J. D., & Armstrong, A. (2021). Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111065.

Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., Rylands, A. B., Konstant, W. R., ... & Hilton-Taylor, C. (2002). Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation biology*, 16(4), 909-923.

Carter, N., Bryant-Lukosius, D., DiCenso, A., Blythe, J., & Neville, A. J. (2014). The use of triangulation in qualitative research. *Oncology Nursing Forum*, 41(5), 545–547.

Colman, J. E., Eftestøl, S., Tsegaye, D., Flydal, K., & Mysterud, A. (2013). Summer distribution of semi-domesticated reindeer relative to a new wind-power plant. *European journal of wildlife research*, 59, 359-370.

Convention on Biological Diversity. (2022). Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity (COP 15 Decision 04). Haettu 28.10.2024 osoitteesta: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>

da Costa, G., Petrucci-Fonseca, F., & Álvares, F. (2017). 15 years of wolf monitoring plans at wind farm areas in Portugal. What do we know? Where should we go? 4th Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts (CWW 2017), Estoril, Portugal. 10.13140/RG.2.2.29161.60001

- Eftestøl, S., Tsegaye, D., Flydal, K., & Colman, J. E. (2023). Effects of wind power development on reindeer: Global positioning system monitoring and herders' experience. *Rangeland Ecology & Management*, 87, 55-68.
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2021). Uusiutuvan energian tuotantolaitosten lupamenettelyt ja muut hallinnolliset menettelyt. Menettelykäsikirja hakijoille. Haettu 21.11.2024 osoitteesta: <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/menettelykäsikirja>
- Energiateollisuus ry. (2024a). Sähkövuosi 2023: Puhdas sähköntuotanto kasvoi, päästöt ja hinnat romahtivat. Tiedote 11.1.2024. Haettu 28.10.2024 osoitteesta: <https://energia.fi/tiedotteet/sahkokuusi-2023-puhdas-sahkontuotanto-kasvoi-paastot-ja-hinnat-romahtivat/>
- Energiateollisuus ry. (2024b). Visio menestyvän Suomen energiätulevaisuudesta. Haettu 16.9.2024 osoitteesta: <https://energia.fi/meista/visio/visio-menestyvan-suomen-energiatulevaisuudesta/>
- Euroopan Komissio. (2020). EU biodiversity strategy for 2030: Bringing nature back into our lives. European Commission. Haettu 28.10.2024 osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0380>
- Euroopan Komissio. (2022). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on nature restoration, COM(2022) 304 final. Haettu 29.10.2024 osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0304>
- FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. (2017). Kalajoki-Pyhäjoki Tuulivoimapuistot, Linnustovaikutusten Seuranta 2016. Haettu 28.10.2024 osoitteesta: <https://pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2020/08/5327.pdf>
- FCG Finnish Consulting Group Oy. (2024). Kolmihaaran tuuli- ja aurinkovoimahanke, Isojoki. Ympäristövaikutusten arviointiselostus 6.5.2024. Haettu 04.11.2024 osoitteesta: https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Kolmihaara_YVA_selostus_Optimized.pdf
- Fingrid. (2023). Fingridin sähköjärjestelmävisio 2023. Haettu 24.10.2024 osoitteesta https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/sahkomarkkinat/2023/fingrid_sahkojarjestelmavisio_2023.pdf
- Fingrid. (2024). Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät. Fingridin ennuste Q3/2024. Haettu 31.10.2024 osoitteesta: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-q3-2024-fingrid.pdf>
- Gaultier, S. P., Blomberg, A. S., Ijäs, A., Vasko, V., Vesterinen, E. J., Brommer, J. E., & Lilley, T. M. (2020). Bats and wind farms: The role and importance of the Baltic Sea countries in the European context of power transition and biodiversity conservation. *Environmental Science & Technology*, 54(17), 10385-10398.
- Gaultier, S. P., Lilley, T. M., Vesterinen, E. J., & Brommer, J. E. (2023). The presence of wind turbines repels bats in boreal forests. *Landscape and Urban Planning*, 231, 104636.
- Gibon, T., Hertwich, E. G., Arvesen, A., Singh, B., & Veronesi, F. (2017). Health benefits, ecological threats of low-carbon electricity. *Environmental Research Letters*, 12(3), 034023.
- Gibon, T., Menacho, Á. H. & Guiton, M. (2022). Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources. *Yhdistyneet kansakunnat*, Geneve.
- Graham, M., Ates, S., Melathopoulos, A. P., Moldenke, A. R., DeBano, S. J., Best, L. R., & Higgins, C. W. (2021). Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific Reports*, 11(1), 1-13.
- Helle, T., Hallikainen, V., Särkelä, M., Haapalehto, M., Niva, A., & Puoskari, J. (2012). Effects of a holiday resort on the distribution of semidomesticated reindeer. *Annales Zoologici Fennici*, 49(1-2), 23-35. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, Á., Kriska, G., Seres, I., & Robertson, B. (2010). Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology*, 24(6), 1644-1653.

- Hyvärinen, E., Juslén, A. K., Kempainen, E., Uddström, A., & Liukko, U. M. (2019). Suomen lajien uhanalaisuus 2019-Punainen kirja: The 2019 Red List of Finnish Species.
- IEA. (2022). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. Licence: CC BY 4.0. Paris. Haettu 6.12.2024 osoitteessa <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- Ilmastolaki 423/2022. Annettu Helsingissä 10.6.2022. Haettu 26.6.2024 osoitteessa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423>
- IPBES. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services (S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, & C. N. Zayas, Eds.). IPBES Secretariat.
- IPCC. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Metzger, M. (2018). The Ecosystem Approach in ecological impact assessment: lessons learned from windfarm developments on peatlands in Scotland. *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 72, pp. 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.011>
- Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IUCN. (ei julkaisuvuotta). Key Biodiversity Areas. Verkkosivu. Haettu 30.10.2024 osoitteesta: (<https://iucn.org/resources/conservation-tool/key-biodiversity-areas>)
- Jarčuška, B., Gálffyová, M., Schnürmacher, R., Baláz, M., Mišík, M., Repel, M., ... & Krištín, A. (2024). Solar parks can enhance bird diversity in agricultural landscape. *Journal of Environmental Management*, 351, 119902.
- Jetz, W., Wilcove, D. S., & Dobson, A. P. (2007). Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS biology*, 5(6), e157.
- Kangas, J., Majasalmi, T., Juva, H. M. K., Kotiaho, J. S., & Ahlviik, L. M. (2023). Suomen luonnon tila ja tulevaisuus – skenaariotarkastelu luontokadon pysäyttämiseksi vaadittavista toimista. Suomen Luontopaneelin julkaisuja, 4B/2023. Suomen Luontopaneeli.
- Kiesecker, J. M., & Naugle, D. E. (Eds.). (2017). Energy sprawl solutions: Balancing global development and conservation. Washington, DC: Island Press.
- Koistinen, J. (2004). Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset. Suomen ympäristö 721. Ympäristöministeriö. Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/40407>
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö, 5/2018. 388 s.
- Kotiaho, J. S., Bäck, J., Herzon, I., Häyrynen, S., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Kulmala, L., Laine, I., Lehikoinen, A., Nieminen, T.M., Oksanen, E., Onkila, T., Pappila, M., Silfverberg, O., Sinkkonen, A., Sääksjärvi, I. & Kangas, J. (2023). Suomen luonnon tila ja tulevaisuus – toimenpidekuilun analyysi ja ratkaisuja luontokadon pysäyttämiseksi. Suomen Luontopaneelin julkaisuja, 4A/2023.
- Kwak, J. I., Nam, S. H., Kim, L., & An, Y. J. (2020). Potential environmental risk of solar cells: Current knowledge and future challenges. *Journal of Hazardous Materials*, 392, 122297.
- Lafitte, A., Sordello, R., Ouédraogo, D. Y., Thierry, C., Marx, G., Froidevaux, J., ... & Reyjol, Y. (2023). Existing evidence on the effects of photovoltaic panels on biodiversity: a systematic map with critical appraisal of study validity. *Environmental Evidence*, 12(1), 25.
- Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017. Annettu Helsingissä 5.5.2017. Haettu 24.10.2024 osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170252>

- Leiviskä, I. (2024). Life cycle biodiversity impact assessment of solar electricity production. Pro gradu -tutkielma. Lappeenrantaan Lahden teknillinen yliopisto LUT.
- Li, F., Shaw, S., Libby, C., Preciado, N., Bicer, B., & Tamizhmani, G. (2024). A review of toxicity assessment procedures of solar photovoltaic modules. *Waste Management*, 174, 646-665.
- Lopucki, R., Klich, D., & Gielarek, S. (2017). Do terrestrial animals avoid areas close to turbines in functioning wind farms in agricultural landscapes?. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 1-11.
- Lovering, J., Swain, M., Blomqvist, L., & Hernandez, R. R. (2022). Land-use intensity of electricity production and tomorrow's energy landscape. *PLoS One*, 17(7), e0270155.
- Luderer, G., Pehl, M., Arvesen, A., Gibon, T., Bodirsky, B. L., De Boer, H. S., ... & Hertwich, E. G. (2019). Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies. *Nature communications*, 10(1), 5229.
- Luonnonsuojelulaki 9/2023. Annettu Helsingissä 5.1.2023. Haettu 29.10.2024 osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230009>
- Luonnonvarakeskus. (2020). Metsävarat maakunnittain. Julkaistu 13.11.2020. Haettu 4.11.2024. osoitteessa: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/metsavarat/metsavarat-maakunnittain-3>
- Luonnonvarakeskus. (2023). Luonnonvarakeskus tutkii eläinten esiintymistä tuulivoima-alueiden ympäristöissä. Uutinen 27.9.2023. Haettu 24.10.2024 osoitteesta: <https://www.luke.fi/fi/uutiset/luonnonvarakeskus-tutkii-elainten-esiintymista-tuulivoimaaluiden-ymparistoissa>
- Luonnonvarakeskus. (2024a). Aurinkometsä. Projektit. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://www.luke.fi/fi/projektit/aurinkometsa>
- Luonnonvarakeskus. (2024b). Kokkolan Peränevan tuulivoima-alueen osayleiskaavan luonnos (Peränevan tuulivoima-alueen osayleiskaava). Kokkolan kaupunki. Haettu 14.10.2024 osoitteesta: <https://www.luke.fi/fi/node/33920>
- Luonnonvarakeskus. (2024c). Lausuntopyyntö (KESELY/2275/2021) YVA-selostus, Volkkilankankaan tuulivoimahanke ja sähkönsiirto (Kivijärvi, Kinnula, Perho, Halsua, Lestijärvi) (KESELY/2275/2021). Keski-Suomen ELY-keskus. Haettu 14.10.2024 osoitteesta: <https://www.luke.fi/fi/node/33201>
- Luonnonvarakeskus. (2024d). Maaperän hiililaskelmat. Aurinkovoimaloiden rakentamisen vaikutuksia ilmastoon, metsiin ja metsätalouteen -webinaari 30.5.2024. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://www.luke.fi/fi/documents/aurinkometsa-maaperan-hiililaskelmat-wall>
- Luonnonvarakeskus. (2024e). Suomenselan metsäpeurakanta vakaa. Uutinen 20.3.2024. Haettu 9.12.2024 osoitteesta: <https://www.luke.fi/fi/uutiset/suomenselan-metsapeurakanta-vakaa-1>
- Luonnonvarakeskus. (ei julkaisuvuotta a). Hakkuupinta-alat maakunnittain muuttujina vuosi, maakunta, metsänomistajaryhmä, hakkuutapa ja yksikkö. Taulukko. Haettu 10.12.2024 osoitteesta: https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__02%20Rakenne%20ja%20tuotanto__12%20Metsanhoito-%20ja%20metsanparannustyot/08_Hakkuupinta-alat_mk.px/table/tableViewLayout2/?loadedQueryId=7cfd9b26-0276-4ac5-98a0-1acd6789f8f4&timeType=top&timeValue=1
- Luonnonvarakeskus. (ei julkaisuvuotta b). Maankäytön muutokset aurinkoenergian elinkaariarvioinnissa. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://www.luke.fi/fi/documents/aurinkometsa-maankayton-muutokset-aurinkoenergian-elinkaariarvioinnissa-leinonen>
- LUT-yliopisto. (2023). Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Verkkoartikkeli. Haettu 24.10.2024 osoitteesta: <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2024). Suomen metsät ja metsänhoito: Metsävarat ja käyttö Suomessa. Haettu 01.11.2024 osoitteesta: <https://mmm.fi/metsat/suomen-metsavarat>.
- Marques, A. T., Batalha, H., & Bernardino, J. (2021). Bird displacement by wind turbines: assessing current knowledge and recommendations for future studies. *Birds*, 2(4), 460-475.

- Meller, K. (2017). Kirjallisuusselvitys tuulivoimaloiden vaikutuksista linnustoon ja lepakoihin. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu- ja, 27/2017.
- Metsähallitus. (ei julkaisuvuotta). Metsätalouden kehitys kruunumetsistä monikäyttömetsiin. Verkkosivu. Haettu 02.12.2024 osoitteesta: <https://www.metsa.fi/metsahallitus/nain-toimimme/historia/metsatalouden-kehitys/>
- Miltz, C., Eriksen, A., Wikenros, C., Wabakken, P., Sand, H., & Zimmermann, B. (2024). Will future wind power development in Scandinavia have an impact on wolves?. *Wildlife Biology*, e01250.
- Montag, H., Parker, G., & Clarkson, T. (2016). The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. *Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity*.
- Motiva Oy. (2024a). Aurinkosähkövoimat Suomessa. Verkkosivu. Haettu 21.11.2024 osoitteesta: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/aurinkosahkovoimat_suomessa
- Motiva Oy. (2024b). Tuulivoimateknologia. Verkkosivu. Haettu 30.11.2024 osoitteesta: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia.
- Muoviteollisuus ry. (2023). Tuulisia vuosia edessä ja takana. Verkkosivu. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://www.plastics.fi/fin/ajankohtaista/?Tuulisia-vuosia-edessa-ja-takana&nid=585>
- Myllys, M., & Sinkkonen, M. (2004). Viljeltyjen turve- ja multamaiden pinta-ala ja alueellinen jakauma Suomessa. *Suo* 55: 53–60. Haettu 2.12.2024 osoitteesta: <http://www.suo.fi/article/9835>
- Mäkelä, K., & Salo, P. (2024). Luontoselvitykset ja luontovaikutusten arviointi: Opas tekijälle, tilaajalle ja viranomaiselle–2. korjattu painos.
- Natural Capital Finance Alliance & UNEP-WCMC. (2024a). ENCORE: Environmental & Climate Opportunities, Risks and Exposure. Verkkotyökalu. Haettu 04.11.2024 osoitteesta: <https://www.encorenature.org/en/explore>
- Natural Capital Finance Alliance & UNEP-WCMC. (2024b). ENCORE: Limitations. Verkkosivu. Haettu 02.12.2024 osoitteesta: <https://encorenature.org/en/data-and-methodology/limitations>
- Natural Capital Finance Alliance & UNEP-WCMC. (2024c). ENCORE: Methodology & Downloads. Verkkosivu. Haettu 02.11.2024 osoitteesta: <https://encorenature.org/en/data-and-methodology/methodology>
- Neuvoston direktiivi 92/43/ETY, annettu 21. päivänä toukokuuta 1992, luonnonvaraisten eläinten ja kasvien sekä luontotyyppien suojelusta. (1992). Euroopan unionin virallinen lehti, L 206, 7–50.
- Nurmio, K., & Pakarinen, H. (2024). Tuulivoimapotentiaali Suomessa. Suomen ympäristökeskusken raportteja, 10/2024. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/573122>
- Patton, M.Q. (1999). Enhancing the quality and credibility of qualitative analysis. *Health Sciences Research*, 34, 1189–1208.
- Paulomäki, H. (2024). Katsaus energiahankkeiden ekologisten ja sosiaalisten haittojen kompensointiin. Akordi Oy:n julkaisu. Haettu 24.10.2024 osoitteesta: https://akordi.fi/wp-content/uploads/2024/06/Akordi_Katsaus_energiահankkeiden_haittojen_kompensointiin_web.pdf
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Douse, A., & Langston, R. H. (2012). Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 386–394.
- Peltola, A., Rätty, M., Sauvula-Seppälä, T., Torvelainen, J., Uotila, E., Vaahtera, E., & Ylitalo, E. (2020). Suomen metsätalastot 2020. Luonnonvarakeskus.
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Myneni, R. B., Chen, A., Chevallier, F., ... & Zeng, H. (2013). Asymmetric effects of daytime and night-time warming on Northern Hemisphere vegetation. *Nature*, 501(7465), 88–92.
- Pereira, H. M., Martins, I. S., Rosa, I. M., Kim, H., Leadley, P., Popp, A., ... & Alkemade, R. (2024). Global trends and scenarios for

terrestrial biodiversity and ecosystem services from 1900 to 2050. *Science*, 384(6694), 458-465.

Rauhala, A.M., Broman, I., Korri, J. & Lehtonen, M. (2024). Aurinkovoimaloiden kaavoitus ja lupamenettelyjen opasaineiston taustaselvitys. Valtioneuvosto. Haettu 21.10.2024 osoitteesta: https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/8cd9eaa5-a3cd-46a9-87a8-e86990e-ce186/34712720-ddd8-44e7-8fb4-8edcfc0ab046/JULKAISU_20240130115646.pdf

Rydell, J., Engström, H., Hedenström, A., Larsen, J. K., Pettersson, J., & Green, M. (2012). The Effect of Wind Power on Birds and Bats: a Synthesis. Swedish Environmental Protection Agency, 152.

Räsänen, A., Kekkonen, H., Lehtonen, H., Miettinen, A., Wejberg, H., Kareksela, S., Tzemi, D., Aro, L., Kuningas, S., Louhi, P. & Ruuhijärvi, J. (2023). Euroopan unionin ennallistamisasetusehdotuksen luontotyyppi- ja turvemaatavoitteiden vaikutukset Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus, 1/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki, 76.

Sagar, A., & Garrett, B. (2021). Life cycle assessment of electricity production from an onshore EnVentus V162-6.2 MW wind turbine. Vestas. Haettu 04.11.2024 osoitteesta: <https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20EnVentus%20V162-6.2.pdf.coredownload.inline.pdf>.

Saurola, P., Valkama, J., & Velmala, W. (2013). Suomen Rengastusatlas. Osa I. Luonnontieteellinen keskusmuseo.

Savikko, H., Rintamäki, S., & Hokkanen, J. (2022). Kainuun tuulivoimamaakuntakaavan tarkistamisen aluetalousvaikutusten arviointi. Raportti 28.4.2022. Haettu 28.10.2024 osoitteesta: <https://kainuunliitto.fi/assets/uploads/2022/05/Kainuun-tuulivoimamaakuntakaavan-alue-talousvaikutusten-arviointi-28042022-1.pdf>

Schreiber, A., Marx, J., & Zapp, P. (2019). Comparative life cycle assessment of electricity generation by different wind turbine types. *Journal of cleaner production*, 233, 561-572.

Seppälä, J. (2023). Tuuli- ja aurinkovoiman ympäristö- ja maankäyttövaikutukset. Suomen ympäristökeskus. Powerpoint -esitys Säätytalolla 9.5.2023. Haettu 14.10.2024 osoitteesta: <https://www.syke.fi/download/noname/%7BBFEFB4D4-656F-4F42-921F-2B4CEE242605%7D/180473>

Skarin, A., & Åhman, B. (2014). Do human activity and infrastructure disturb domesticated reindeer? The need for the reindeer's perspective. *Polar biology*, 37, 1041-1054.

Skarin, A., & Alam, M. (2017). Reindeer habitat use in relation to two small wind farms, during preconstruction, construction, and operation. *Ecology and evolution*, 7(11), 3870-3882.

Skarin, A., Sandström, P., & Alam, M. (2018). Out of sight of wind turbines—Reindeer response to wind farms in operation. *Ecology and Evolution*, 8(19), 9906-9919.

Soimakallio, S., Tikkakoski, P., Niemistö, J., Savolahti, M., Rehunen, A., Seppälä, J., Hildén, M. (2021). Hiilineutraali Suomi 2035 - Kansallisen ilmasto- ja energiasstrategian vaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja, 2021:64. Haettu 9.1.2025 osoitteesta https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163642/VNTEAS_2021_64.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Stewart, G. B., Pullin, A. S., & Coles, C. F. (2007). Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. *Environmental Conservation*, 34(1), 1-11.

Suomen Tuulivoimayhdistys ry. (2023). Kuntalehti: Uusiutuvan energian rooli kunnallisessa päätöksenteossa. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://suomenuusiutuvat.fi/media/kuntalehti-verkkoversio-interactive.pdf>

Suomen uusiutuvat ry. (2024a). Suunnitteilla olevat tuulivoimahankkeet mahdollistavat uuden teollisuuden investoinnit. Tiedote 14.8.2024. Haettu 24.10.2024 osoitteesta: <https://suomenuusiutuvat.fi/17734-2/>

Suomen uusiutuvat ry. (2024b). Tuulivoimavuosi 2024: Suomen tuulivoimakapasiteetti kasvoi 20 prosenttia. Tiedote 8.1.2025. Haettu 26.1.2025 osoitteesta <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoimavuosi-2024-suomen-tuulivoimakapasiteetti-kasvoi-20-prosenttia/>

- Suomen uusiutuvat ry. (2024c). Tuulivoimahankkeet Suomessa. Suunnittelussa olevat hankkeet. Haettu 28.10.2024 osoitteesta: https://suomenuusiutuvat.fi/media/tuulivoimahankkeet_kevät_2024.pdf
- Suomen uusiutuvat ry. (2024d). Tuulivoimatuotanto kasvoi 25 % vuonna 2023 – Kotimainen lisätuulivoima kasvattaa sähkön saatavuutta. Tiedote 2.1.2024. Haettu 24.10.2024 osoitteesta: <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoimatuotanto-kasvoi-25-vuonna-2023-kotimainen-lisatuulivoima-kasvattaa-sahkon-saatavuutta/>
- Suomen uusiutuvat ry. (2025). Aurinkovoimavuosi 2024: Nopeaa kasvua ja kirkkaita kasvuennusteita. Tiedote 9.1.2025. Haettu 17.1.2025 osoitteesta <https://suomenuusiutuvat.fi/aurinkovoimavuosi-2024-nopeaa-kasvua-ja-kirkkaita-kasvuennusteita/>
- Suomen ympäristökeskus. (2023). Pohjoisen luonto muuttuu nopeasti ja osin peruuttamattomasti. Tiedote 27.9.2023. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70028306/pohjoisen-luonto-muuttuu-nopeasti-ja-osin-peruuttamattomasti?-publisherId=69819243&lang=fi%29>
- Suorsa, V. (2019). Linnustovaikutusten seuranta suomalaisissa tuulivoimapuistoissa. Linnut-vuosikirja, 2018, 148-155.
- Suzuki, N., & Parker, K. L. (2016). Potential conflict between future development of natural resources and high-value wildlife habitats in boreal landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 25, 3043-3073.
- Svensk Vindenergi. (2024). Pilotprojekt: Vetenskapligt baserade mål för naturen. Guide för att förstå och bedöma miljöpåverkan från landbaserad vindkraft, enligt Science Based Targets for Nature. Haettu 14.10.2024 osoitteesta: https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2024/02/Pilotprojekt_SBT_for_Nature_Svensk_Vindenergi-1.pdf
- SYKE. (2018). Corine Land Cover 2018. SYKEN paikkatietoaineistojen metatietojen viitedokumentti. Haettu 30.10.2024 osoitteesta: <https://geoportal.ymparisto.fi/meta/julkinen/dokumentit/CorineMaanpeite2018.pdf>.
- Szabadi, K. L., Kurali, A., Rahman, N. A. A., Froidevaux, J. S., Tinsley, E., Jones, G., ... & Zsebők, S. (2023). The use of solar farms by bats in mosaic landscapes: Implications for conservation. *Global Ecology and Conservation*, 44, e02481.
- The Biodiversity Consultancy & WWF. (2023). Nature-safe Energy: Linking energy and nature to tackle the climate and biodiversity crises. WWF, Gland, Sveitsi.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148.
- Tikkanen, H. (toim.). (2022). Hyvät käytännöt tuulivoimahankkeista maakotkalle aiheutuvien vaikutusten selvittämisessä ja arvioinnissa – Esimerkkiraportti: Nimettömänkankaan tuulivoimapuiston vaikutukset maakotkareviireihin. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, A241. Haettu 24.10.2024 osoitteesta: <https://julkaisut.metsa.fi/wp-content/uploads/sites/2/2023/03/a241.pdf>
- Tinsley, E., Froidevaux, J. S., Zsebők, S., Szabadi, K. L., & Jones, G. (2023). Renewable energies and biodiversity: Impact of ground-mounted solar photovoltaic sites on bat activity. *Journal of Applied Ecology*, 60(9), 1752-1762.
- Tolvanen, A., Routavaara, H., Jokikokko, M., & Rana, P. (2023). How far are birds, bats, and terrestrial mammals displaced from onshore wind power development?—A systematic review. *Biological conservation*, 288, 110382.
- Torrence, C. E., Libby, C. S., Nie, W., & Stein, J. S. (2023). Environmental and health risks of perovskite solar modules: Case for better test standards and risk mitigation solutions. *Iscience*, 26(1).
- Tukiainen, H., Toivanen, M., & Lehtonen, E. (2022). Geodiversiteetti on elottoman luonnon monimuotoisuutta.
- UNEP. (2016). Green Energy Choices: The benefits, risks, and trade-offs of low-carbon technologies for electricity production. Report of the International Resource Panel.
- UNEP. (2019) Resolution 73/284: United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030). <https://undocs.org/A/RES/73/284>
- Vaden, T., & Majava, A. (2022). Energiamurros ja metsäpinta-alan rooli suomalaisen yhteiskunnan aineenvaihdunnassa. *Alue ja ympäristö*, 51(2), 107-123.

- Valtioneuvosto. (2023). Vahva ja välittävä Suomi. Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Valtioneuvoston julkaisuja, 2023:58. Haettu 27.5.2024 osoitteesta: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165042/Paaministeri-Petteri-Orpon-hallituksen-ohjelma-20062023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valtioneuvosto. (2024). Aurinkovoimaloiden kaavoitusta ja lupamenettelyä koskevan oppaan valmistelu. Hankesivu. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=YM014:00/2023>
- Van de Ven, D. J., Capellan-Peréz, I., Arto, I., Cazcarro, I., De Castro, C., Patel, P., & Gonzalez-Eguino, M. (2021). The potential land requirements and related land use change emissions of solar energy. *Scientific reports*, 11(1), 1-12.
- Visser, E., Perold, V., Ralston-Paton, S., Cardenal, A. C., & Ryan, P. G. (2019). Assessing the impacts of a utility-scale photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa. *Renewable energy*, 133, 1285-1294.
- Walston, L. J., Hartmann, H. M., Fox, L., Macknick, J., McCall, J., Janski, J., & Jenkins, L. (2023). If you build it, will they come? Insect community responses to habitat establishment at solar energy facilities in Minnesota, USA. *Environmental Research Letters*, 19(1), 014053.
- Walter, W. D., Leslie, D. M., & Jenks, J. A. (2006). Response of Rocky Mountain elk (*Cervus elaphus*) to wind-power development. *The American midland naturalist*, 156(2), 363-375.
- Wehrmann, B. (2024). German onshore wind power - output, business and perspectives. Clean Energy Wire. Verkkosivu. Haettu 21.11.2024 osoitteesta: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/german-onshore-wind-power-output-business-and-perspectives>
- World Economic Forum. (2020). Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy. World Economic Forum, Geneve, Sveitsi.
- WWF. (2024). Living Planet Report 2024 – A System in Peril. WWF, Gland, Switzerland.
- WWF & BCG. (2023). Building a Nature-Positive Energy Transformation: Why a low-carbon economy is better for people and nature. WWF. Washington, DC.
- Yhdistyneet Kansakunnat. (1992). Agenda 21. Haettu 29.10.2024 osoitteesta: <https://www.un.org/esa/dsd/agenda21/Agenda%2021.pdf>
- Ympäristöministeriö. (2016). Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa. Suomen ympäristöministeriön julkaisuja, 6:2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4624-4>
- Ympäristöministeriö. (2021). Kansallinen luonnon monimuotoisuuden strategia ja toimintaohjelma vuoteen 2035. Hankesivu. Haettu 29.10.2024 osoitteesta: <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM039:00/2021>
- Ympäristöministeriö. (2022). Kansallinen luonnon monimuotoisuusstrategia lausunnoille - luontokato pysäytettävä vuoteen 2030 mennessä. Tiedote 14.12.2022. Haettu 29.10.2024 osoitteesta: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/kansallinen-luonnon-monimuotoisuusstrategia-lausunnoille-luontokato-pysaytettava-vuoteen-2030-mennessa>
- Ympäristöministeriö. (2024). Vapaaehtoisille luonnonarvomarkkinoille luotu raamit - seuraavaksi vauhditetaan markkinoiden kehittymistä. Tiedote 25.10.2024. Haettu 28.10.2024 osoitteesta: <https://ym.fi/-/vapaaehtoisille-luonnonarvomarkkinoille-luotu-raamit-seuraavaksi-vauhdittamaan-markkinoiden-kehittymista-yhteistyossa>
- Ympäristönsuojelulaki 527/204. Finlex. Haettu 25.10.2024 osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>
- Zhou, W., Leung, L.R. & Lu, J. (2024). Steady threefold Arctic amplification of externally forced warming masked by natural variability. *Nat. Geosci.* 17, 508–515. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01441-1>

