



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Hanna-Mari Kaunismäki

Aurinkovoimapuiston rakentaminen enti- selle turvetuotantoalueelle

Case Heinineva

Tekniikka
2025

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Hanna-Mari Kaunismäki
Opinnäytetyön nimi	Aurinkovoimapuiston rakentaminen entiselle turvetuotantoalueelle
	Case Heinineva
Vuosi	2025
Kieli	Suomi
Sivumäärä	111 + 1
Ohjaaja	Jan Nyman

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan entiselle turvetuotantoalueelle rakennettavan aurinkovoimapuiston vaatimia lupamenettelyjä, kaavoitusta ja lainsäädäntöä. Lisäksi tarkastellaan turvetuotantoalueelle soveltuvia jatkokäyttömuotoja sekä aurinkovoiman ympäristövastuullisuutta. Työn toimeksiantajana toimii EPV Energia Oy, joka rakentaa aurinkovoimapuistoa entiselle turvetuotantoalueelle Lapuan Heininevalle. Aurinkovoimarakentamista varten on olemassa sitä ohjaava sääntely, mutta lainsäädäntöön on tulossa muutoksia koskien teollista aurinkovoimaa. Yhtenäisen valtakunnallisen ohjeiston puutteen seurauksena aurinkovoimapuiston rakentamisen lupamenettelyt voivat olla epäselviä, eikä toiminnanharjoittajalla aina ole selkeää käsitystä siitä, miten lupaprosessi toimii. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää mitä lupamenettelyitä vaaditaan ja miten ympäristövastuu otetaan huomioon.

Tutkimuksen teoreettisena taustana on hyödynnetty asiantuntija- ja viranomaislähteiden raportteja ja päätöksiä, lainsäädäntöä sekä toimeksiantajan haastattelua.

Yhtenäisten käytäntöjen puute aiheuttaa erilaisia tulkintoja lupaviranomaisten välillä ja viivästyttää hankkeita sekä investointipäätöksiä. Ympäristöministeriön opas tulee luultavasti selkeyttämään kaavoitus- ja lupaprosessia. Turvetuotantoalueet ovat potentiaalisia sijoituspaikkoja aurinkovoimapuistoille tietyissä olosuhteissa, mutta niiden toiminnan aiheuttamista ilmasto- ja ympäristövaikutuksista tarvitaan lisää tutkimustietoa. Huolellisella suunnittelulla, erityisesti vesienkäsittelyn osalta voidaan minimoida päästöt. Jatkokäyttömuodon valinnassa ohjaavat tekijät ovat turvekerroksen paksuus, kosteusolosuhteet ja pohjamaan ominaisuudet.

Avainsanat aurinkovoima, turvetuotantoalue, uusi maankäyttömuoto, lupamenettelyt, ympäristövaikutukset

ABSTRACT

Author	Hanna-Mari Kaunismäki
Title	Aurinkovoimapuiston rakentaminen entiselle turvetuotantoalueelle
	Case Heinineva
Year	2025
Language	Finnish
Pages	111 + 1
Name of Supervisor	Jan Nyman

This thesis examines the permit procedures, zoning and legislative requirements for a solar farm to be built on a former peatland. In addition, further use patterns suitable for the peatland and the environmental responsibility of solar power were examined. The thesis was examined by EPV Energia Oy, which is building a solar farm in a former peatland area in Heinineva, Lapua. There is a regulatory framework governing solar power construction, but changes are forthcoming in the legislation concerning industrial-scale solar power. As a result of the lack of uniform national guidelines, the permit procedures for the construction of a solar farm can also be unclear and the operator does not always have a clear understanding of how the permit process works. The purpose of this study was to clarify what permit procedures are required and how environmental responsibility is considered.

The theoretical background of the research is based on reports from experts and official sources and permit decisions, legislation and an interview with the commissioner.

The lack of uniform practices causes different interpretations between permitting authorities and delays projects and investment decisions. The Ministry of the Environment's guide will probably clarify the planning and permitting process. Peat production areas are potential locations for solar power parks, under certain circumstances, but more research is needed on the climate and environmental impacts of their operations. Careful planning, especially regarding water treatment, can minimize emissions. The guiding factors in choosing the form of further use are the thickness of the peat layer, moisture conditions and the properties of the subsoil.

Keywords solar energy, peat production area, new land use type, permit procedures, environmental impacts

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	11
2	TURVETUOTANTOALUEIDEN YMPÄRISTÖLUVAN PÄÄTTÄMINEN	12
	2.1 Ympäristölupa	14
	2.2 Vesilaki	15
	2.3 Jätelaki ja asetus	15
	2.4 Luontoselvitys	16
	2.5 Ympäristöluvan hylkäämisperusteet	19
3	TURVETUOTANTOALUEEN JATKOKÄYTTÖ	21
	3.1 Jatkokäyttömuodon valinta	23
	3.2 Jatkokäyttöä ohjaavat tekijät.....	26
	3.3 Metsitys.....	27
	3.4 Kasvinviljely ja maatalous	30
	3.5 Lintukosteikko	32
	3.6 Aurinko- ja tuulivoima.....	36
	3.7 Ennallistaminen suoksi.....	38
	3.8 Soiden ennallistamisen ilmastovaikutukset.....	39
4	ENNALLISTAMISEN TAVOITTEET JA TOTEUTUS.....	44
5	TURVETUOTANTOALUEEN ENNALLISTAMINEN SUOKSI	47
6	AURINKOVOIMARAKENTAMISEN SÄÄNTELY – LAIT JA OPPAAT.....	48
	6.1 Teollisen aurinkovoimalan luvat ja menettelyt	51
	6.2 Suomen kaavoitusjärjestelmä.....	53
	6.3 Yleiskaavoitus.....	54
	6.4 Asemakaavoitus	54
	6.5 Suunnittelutarveratkaisu	55
	6.6 Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA)	56

6.7	Lupamenettely vuoden 2025 lakimuutosten jälkeen	57
7	TURVETUOTANTOALUEEN VALMISTELU AURINKOVOIMAPUISTON RAKENTAMISTA VARTEN.....	59
8	AURINKOVOIMAN YMPÄRISTÖVASTUULLISUUS.....	62
8.1	Päästöt	63
8.2	Ympäristö-, ilmasto- ja maaperäpäästöjen hallintakeinot	65
8.3	Ekologinen kompensatio.....	66
9	AURINKOVOIMAPUISTON TUOTANNON PÄÄTTÄMINEN JA KIERTOTALOUS	69
9.1	Aurinkokennotyypit	69
9.1.1	Yksikiteinen piikkenno	70
9.1.2	Monikiteinen piikkenno	71
9.2	Aurinkopaneelien kierrätys.....	72
9.3	Kierrätysprosessi.....	74
10	HEININEVA HANKKEEN LUVITUS JA YMPÄRISTÖVASTUU	78
10.1	Turvetuotannon päättyminen ja jälkihoito.....	78
10.2	Aurinkovoimapuiston rakentamisen valmistelu	79
10.3	Aurinkovoimapuiston rakentamisen aikaiset ympäristökysymykset	82
10.4	Ympäristö-, ilmasto- ja maaperäpäästöjen hallintakeinot	84
10.5	Aurinkovoimapuiston tuotannon päättäminen ja jälkihoito	85
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	87
	LÄHTEET	89
	LIITTEET	112

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Luontoselvityksen tilaajan ja luontoselvityksen tekijän välinen työnjako luontoselvityksen taustatietojen hankinnassa ja kokoamisessa (Mäkelä ja Salo, 2024, s. 48).....	19
Kuva 2. Monitavoitearviointia hyödyntävä lähestymistapa (Räsänen ja muut, 2023, s. 31).....	24
Kuva 3. Turvetuotantoalueen jatkokäyttömuodon tavoitteet (Räsänen ja muut, 2023, s. 32).....	25
Kuva 4. Jatkokäyttömuotojen valintakriteerit (GTK, 2023).	27
Kuva 5. Vasemmalla kunnostusta vaativa ojitus ja oikealla toimiva kuivatusoja (Hilli ja muut, 2024).	28
Kuva 6. Metsityksen valintaa ohjaavat ominaisuudet (Aro ja muut, 2023).	29
Kuva 7. Erilaisia pohjamaan ja turvekerroksen paksuuden omaavia pohjamaita. Kuvassa a ja b on alle 30 cm:n turvekerros ja hietainen tai sitä hienompi kivennäismaa. Kuvassa c hiekkamaa. Kuvassa d yli 40 cm:n turvekerros ja pohjamaana hiesusavi. (Aro ja muut, 2023; kuva d, Aro ja Hytönen, 2019; kuvat a,b ja c, Lasse Aro, n.d.).....	29
Kuva 8. Maaperän päästöt eri käyttömuodoilla (Tapio-Biström, 2021).....	32
Kuva 9. Murtosuon kosteikko lokakuussa 2020 ennen kunnostustöiden alkua (Suomen riistakeskuksen SOTKA-kosteikot, 2023–2025; Kuva; Lauri Laitila).....	33
Kuva 10. Valmis kosteikko kesällä 2023 (Suomen riistakeskuksen SOTKA-kosteikot, 2023–2025; Kuva; Tero Salmela).	34
Kuva 11. Turvetuotantoalueille suunnitellut tuulivoimalat Etelä-Pohjanmaan alueella (Laasasenaho & Lauhanen, 2022).	38
Kuva 12. Metsäojitetun suon ennallistamisen ilmastovaikutus maaperän päästöihin (Ojanen, 2019b). (Rhtk = ruohoturvekangas, Mtkg = mustikkaturvekangas, Ptkg = puolukkaturvekangas ja Jätkg = jäkäläturvekangas).	39

Kuva 13. Ennallistamisen ilmastoa lämmittävä vaikutus karulla ja rehevällä suolla ilman puustoa (Rönty, 2020, alkuperäinen lähde Helsingin yliopisto/Paavo Ojanen).....	40
Kuva 14. Metsäojitettujen soiden ennallistamisen aiheuttamien maaperän päästömuutosten vaikutus säteilypakotteen kehittymiseen. Positiivinen arvo = lämmittävä vaikutus, negatiivinen arvo = viilentävä vaikutus. Ruohoturvekangas (Rhtkg,), mustikkaturvekangas (Mtkg), puolukkaturvekangas (Ptkg), varputurvekangas (Vatkg), jäkäläturvekangas (Jätkg); Ojitetun suon kuivatusaste: ojikko- tai muuttuma-aste (OM), turvekangasaste (T); Ennallistamisen tavoite: Aito puustoinen suo (aito), sekatyypin suo (seka), avosuo (avo). (Kareksala ja muut, 2021, s. 63.).....	41
Kuva 15. Ennallistettu suo. Kuvassa a suonpohja ennen ennallistamista. Kuvassa b suonpohja vuoden jälkeen sille suoritetun maansiirron ja vettämisen jälkeen. Kuvassa c on kulunut kolme vuotta ennallistamisesta, ja alueelle on muodostunut luontaisesti levittäytynyttä suokasvillisuutta. (Aro ja muut, 2023, s. 39.)	45
Kuva 16. Luvat ja muut hallinnolliset menettelyt aurinkoenergian tuotantolaitokselle (ELY-keskus, Menettelykäsikirja, 2024, s. 42).	49
Kuva 17. Vireillä olevien ja toteutettujen teollisen mittakaavan aurinkovoimalahankkeiden menettelyt (Rauhala ja muut, 2024).	50
Kuva 18. Laaja-alaisten maa-asenteisten aurinkovoimaloiden suunnitteluvälineet (Rauhala ja muut, 2024, s. 28).	50
Kuva 19. Teollisen mittakaavan aurinkovoimaloiden sijoituspaikat (Motiva, 2024).	51
Kuva 20. Kaavoitusjärjestelmän kaavatasot (Vaasan yleiskaava 2040, 2023).	54
Kuva 21. YVA-menettelyn vaiheet (ELY-keskus, Menettelykäsikirja, 2024, s. 63).57	
Kuva 22. Alueen soveltuvuuden kriteerejä (Pöyry, 2016, s. 50).....	60
Kuva 23. Aurinkovoimalan hankeprosessin kuvaus (Kaurala, 2023).	61
Kuva 24. Eri energialähteiden elinkaaripäästöjä (Auvinen, 2020; Koffi ja muut 2017 ja Schlömer ja muut, 2014).	62
Kuva 25. Eri energialähteiden materiaalien tarve (UNECE, 2021).....	65

Kuva 26. Aurinkovoimalakäyttöön otettujen alueiden hiilidioksidipäästöjen muutos hehtaaria kohden vuoden aikana (Alam ja muut, 2024).	66
Kuva 27. Aurinkovoimalan elinkaaren aikaiset toimet (Forus, 2023, s. 4).	69
Kuva 28. Yksikiteinen aurinkopaneeli (DS New Energy, n.d.).	71
Kuva 29. Czochralski menetelmä (Järvinen, 2024, s. 16).	71
Kuva 30. Monikiteisen piiharkon valmistus (Järvinen, 2024).	72
Kuva 31. Monikiteinen aurinkopaneeli (MECC, n.d.).	72
Kuva 32. Asennetun aurinkosähkökapasiteetin kasvu Suomessa, Saksassa ja globaalisti (Haapaniemi ja muut, 2022).	73
Kuva 33. Fingridin ennuste aurinkovoiman kasvusta tulevina vuosina (Fingrid, 2024).	74
Kuva 34. Piipohjaisten aurinkopaneelien komponenttien materiaalit (Panula ja muut, n.d.).	75
Kuva 35. Perinteisen piipohjaisen aurinkopaneelin sisältämä materiaalmäärä prosentteina (Ali ja muut, 2024).	75
Kuva 36. Piikidekennojen kierrätysprosessi eri menetelmillä (IEA, 2018).	76
Kuva 37. Piikentekniikkaan perustuvan aurinkomoduulin rakenne (Ko ja muut 2023).	77
Kuva 38. Hankealueen tasaus ennen perustuksia (EPV Aurinkovoima Oy, 2024).	79
Kuva 39. Paneelirivistö Heininevalla (Kaunismäki, Hanna-Mari, 2024).	81
Kuva 40. Heininevan aurinkovoimapuisto kuvattuna etelästä pohjoiseen (EPV, Aurinkovoima Oy, 2024).	81
Kuva 41. Muuntajalohkojen 1 ja 2 paneelien asennus (EPV, Aurinkovoima Oy, 2024).	82
Kuvio 1. Turpeen osuus Suomen kokonaisenergian kulutuksesta ja sillä tuotettu energia vuosina 1971–2023 (Tilastokeskus, 2024).	12
Kuvio 2. Turvetuotannon pinta-alan muutos (Aro ja muut, 2023).	13

Kuvio 3. Turvetuotantoon liittyvän ympäristöluvan yleisimmät hylkäämisperusteet (Nikkilä, 2013). 20

Kuvio 4. Turvetuotannon lopettamisen vaiheet (Väänänen, 2022, s. 11). 23

Taulukko 1. Suokokonaisuuksien luonnontilaisuusasteikko (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, s.18)..... 16

Taulukko 2. Tietolähteitä luontoselvitystä varten (Ympäristöministeriö, 2016, s. 37). 18

Taulukko 3. Neljätoista tapaa rauettaa ympäristölupa (Matila ja Alatalo, 2023). 22

Taulukko 4. Ennallistamisen vaikutukset eri aikaväleillä tarkasteltuna (Ketola ja muut, 2021, s. 8). 43

LIITELUETTELO

LIITE 1. Haastattelu

1 JOHDANTO

Turpeen käytöstä luopuminen ilmastopolitiikan myötä tulee vapauttamaan turvetuotantoalueita uuteen maankäyttöön. Aurinkovoiman rakentaminen on kasvanut voimakkaasti viime vuosina energiamurroksen myötä. Teollisen mittakaavan aurinkovoimaloiden suuri pinta-alan tarve ja ilmastotavoitteiden saavuttaminen on ohjaamassa niiden rakentamista entisille turvetuotantoalueille.

Kuivatetut turvetuotantoalueet vapauttavat ilmakehään hiilidioksidia turpeen hajoamisen seurauksena. Turvetuotantoalueita voidaan ennallistaa, jolloin alue pyritään palauttamaan hiilinieluksi sekä edistämään luonnon monimuotoisuutta, palauttamalla suolajistoa. Kohdistamalla erilaiset jatkokäyttömuodot entisille turvetuotantoalueille voidaan edistää ilmasto- ja ympäristötavoitteiden toteutumista. Turvetuotantoalueiden hyödyntäminen energiamuotojen, kuten aurinkovoimaloiden sijoittamispaikkana yhdistää myös taloudellisen kannattavuuden.

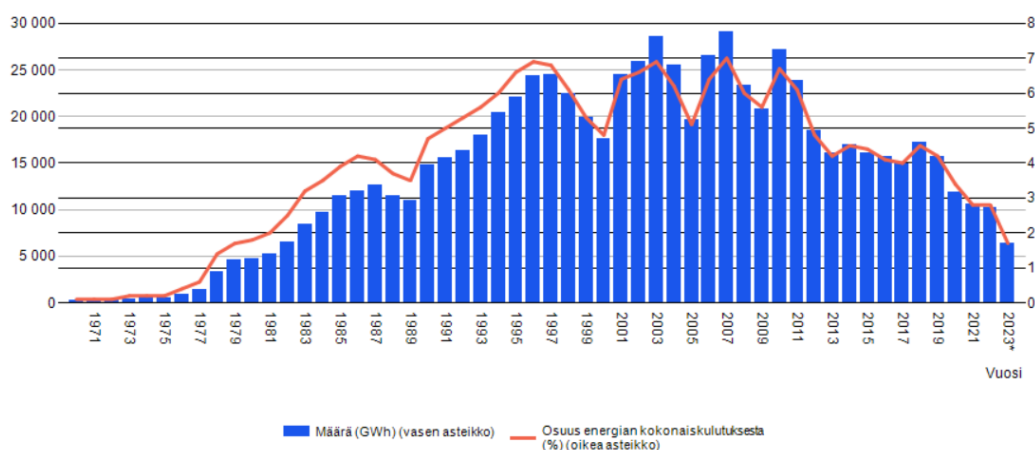
Työssä keskitytään teollisen mittakaavan aurinkovoimaloihin. Teollisen mittakaavan aurinkovoimalan rakentaminen entiselle turvetuotantoalueelle on uusi maankäyttömuoto, jolle ei ole yhtenäistä valtakunnallista ohjeistoa. Perehdyn Suomen kaavoitusjärjestelmän rakenteeseen ja aurinkovoimalan rakentamiseen vaadittuihin lupamenettelyihin. Työn toimeksiantajana toimii EPV, joka on toteuttamassa teollisen mittaluokan aurinkovoimalaa Lapualla, Heininevalle.

Tarkastelen aluksi turvetuotantoalueiden ympäristölupien sisältöä ja perehdyn tuotannon päättymistä seuraavaan jälkihoito vaiheeseen, josta alue siirtyy uuteen maankäyttöön. Käyn myös läpi jatkokäyttömuodon valintaa ohjaavat tekijät vaihtoehtoineen, sekä niiden aikaansaamat ilmastovaikutukset. Tarkastelussa on myös aurinkovoimalan hankeprosessin kulku ja ympäristövastuullisuus.

2 TURVETUOTANTOALUEIDEN YMPÄRISTÖLUVAN PÄÄTTÄMINEN

Suomessa on turvemaita ja soita 9,1 miljoonaa hehtaaria eli lähes kolmannes Suomen maapinta-alasta. Näistä noin 0,6 % on turvetuotantokäytössä. Suurin osa turvemaista sijaitsee Pohjois-Suomessa. Turve on eloperäistä maa-ainesta, jota syntyy suokasvien jäännösten epätäydellisen hajoamisen tuloksena kerrostuen niiden muodostumispaikalle. Geologisesti turpeeksi määritellään maa-ainesta, jonka kuivamassa sisältää vähintään 75 prosenttia orgaanista ainesta. Turvemaaksi luokitellaan geologisesti turvemaata, jossa turvekerroksen paksuus on vähintään 30 senttimetriä. (Bioenergia, 2024; Turveinfo, n.d.)

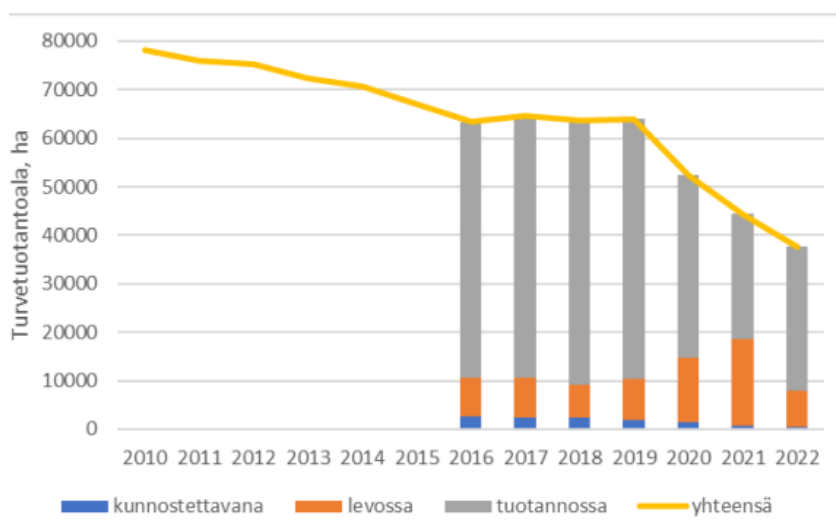
Suomessa turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi biopolttoaineeksi. Ilmastonmuutospaneeli (IPCC) taas luokittelee turpeen omaksi polttoaineluokaksi. Turpeen poltosta aiheutuvat CO₂-päästöt sisällytetään kansallisiin päästöihin, sillä turpeen kasvihuonekaasupäästö ominaisuuksien katsotaan olevan verrattavissa fossiilisiin (Leinonen, 2010, s. 61.) Turpeen polton hiilidioksidipäästöt (106,0 g/MJ) ovat jopa enemmän kuin kivihieillä (94,6 g/MJ) (Bioenergia, n.d.) Turpeen käyttö oli huipussaan vuonna 2007, jolloin se kattoi 7 % energian kokonaiskulutuksesta (kuvio 1; Tilastokeskus 2024).



Kuvio 1. Turpeen osuus Suomen kokonaisenergian kulutuksesta ja sillä tuotettu energia vuosina 1971–2023 (Tilastokeskus, 2024).

Turvetta on pääasiallisesti käytetty energialähteenä sekä kasvualusta- ja kuivikekäytössä (Soimakallio ja muut, 2020). Turvetta käytetään myös seospoltossa biomassan kanssa sen polttoteknisten hyötyjen takia. Turpeen sisältämät rikkiyhdisteet ja alumiinisilikaatit auttavat ehkäisemään voimalaitoksen kattilaa korroosiolta, vähentäen samalla pienhiukkaspäästöjä. (Vesala ja muut, 2010, s. 26.)

Kuviosta 2 nähdään, että ympäristöluvan alaisessa oleva turvetuotantoalueen pinta-ala on supistunut merkittävästi vuosien 2010 ja 2022 välillä. Pinta-alaan on laskettu mukaan aktiivisessa turpeennostossa olevat, tilapäisesti lepoon siirretyt ja kunnostettavana olevat turvesuot. Pinta-alaan sisältyvät suot, joiden pintakerros ja kasvillisuus on poistettu ja maankäyttötarkoituksen muuttaminen edellyttää toimenpiteitä tulevaisuudessa. (Aro ja muut, 2023, s. 8, 10.) Turvetuotantokäytöstä poistunut pinta-ala on ollut viimeisen vuosikymmenen aikana 2000–3000 hehtaaria. Turvetuotannon vähentyminen Ilmastopolitiikan myötä tulee vapauttamaan alueita entistä enemmän. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021.) Viimeisen viiden vuoden aikana aktiivisen turvetuotannon pinta-ala on supistunut reilussa viidessä vuodessa 30 000 hehtaariin, mikä on noin puolet aiemmasta (Bioenergia, 2024).



Kuvio 2. Turvetuotannon pinta-alan muutos (Aro ja muut, 2023).

2.1 Ympäristölupa

Ympäristönsuojelulain 527/2014 tavoitteena on ehkäistä ja vähentää ympäristön pilaantumista ja torjua ympäristövahinkoja. Sillä pyritään turvaamaan terveellinen ja kestävä ympäristö, joka edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, vähentää jätteen haittoja ja parantaa kansalaisten mahdollisuuksia ympäristöpäätöksiin. Ympäristönsuojelulakia sovelletaan jätteen käsittelyyn sekä toimintaan, joka aiheuttaa jätteen syntyä tai ympäristön pilaantumisen vaaraa.

Turvetuotanto on ympäristöluvan varaista toimintaa, ja toimivaltaisena ympäristölupaviranomaisena toimii aluehallintovirasto (Ympäristönsuojelulaki 28 §; Ympäristönsuojeluasetus 169/2000; YSL 34 §). Alle 10 hehtaarin turvetuotantoalue ei välttämättä tarvitse ympäristölupaa, jos toimintaa ei katsota ammattimaiseksi ja turpeenotto on pienimuotoista omaan käyttöön (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus opas 1, 2019). Toiminnanharjoittajaa sitoo kuitenkin YSL 6 §, jonka mukaan hänen on oltava tietoinen toimintansa ympäristövaikutuksista ja -riskeistä, niiden hallinnasta sekä haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista, riippumatta siitä, edellyttääkö toiminta lupaa vai ei. Ympäristöluvan yhteydessä voidaan YSL 199.1 § nojalla hakea lupaa töiden aloittamiseen muutoksenhausta huolimatta vakuutta vastaan.

Ympäristölupahakemuksessa tulee ilmoittaa kaikki lupahakemuksen kannalta oleelliset tiedot toiminnasta, sen vaikutuksista, asianosaisista sekä muista merkityksellisistä seikoista (YSL 39.2 §). Ympäristöluvassa käydään läpi yleiskuvaus toiminnasta, vesien käsittely ja päästöt veteen, pöly, melu ja liikenne, varastointi ja jätteet, paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) ja ympäristön kannalta paras käytäntö (BEP). Tuotantoalue, sen ympäristö ja toiminnan vaikutukset ympäristöön - osiossa selvitetään tuotantoalueen nykytila, asutus ja maankäyttö, luonto ja suojeluarvot, pohjavesialueet, vesistö ja sen tila, vesienhoitosuunnitelma sekä ympäristöriskit. Hakijan tulee antaa selvitys myös toiminnan ja sen vaikutusten tarkkailusta. (Aluehallintovirasto [AVI], 2021.)

Ympäristölupapäätös voi olla toistaiseksi voimassa oleva tai se voidaan määrätä olemaan voimassa tietyn määräajan toiminnanharjoittajan hakemuksesta. Määräaikainen ympäristölupa voidaan myöntää toiminnan erityispiirteiden tai tekniikan uutuuden vuoksi (YSL 87.1 §.) Ympäristöluvan hakemuksen laatijalta vaaditaan riittävää asiantuntemusta sekä selvityksiä siitä, mihin aineistoihin ja laskenta-, tutkimus- tai arviointimenetelmiin annetut tiedot perustuvat (YSL 39.3 §). Turvetuotantohankkeissa yleistä on luontoselvitysten ulkoistaminen konsulttitoimistolle (Ympäristöministeriö, 2016).

2.2 Vesilaki

Ympäristöluvassa määrätään vesienkäsittelyrakenteista, niiden kunnossapidosta, käytöstä sekä tehosta. Alueelta lähtevälle vedelle saatetaan myös asettaa pitoisuusrajoja ravinteiden osalta. (Ympäristöministeriö, 2020.) Vesilain mukaisen vesiluvan tarve on esitetty tarkemmin luvussa 6.1.

Turvetuotantoalueelta lähtevän veden laatua ja määrää tarkkaillaan turvetuotannon eri vaiheissa, sillä vesistöön päätyvät päästömäärät ja vedenlaatu riippuvat useista tekijöistä kuten turvetuotantovaiheesta, vuodenajasta ja hydrologisista olosuhteista. Vesienkäsittelyrakenteen tehoa mitataan pintavalutus kentän, kosteikon ja kemiallisella käsittelyllä parannellun veden mittaustuloksista. Vesinäytteet otetaan sekä vesienkäsittelyrakenteilta lähtevän, että sinne tulevan veden pitoisuuksien osalta, joiden vuosikeskiarvo kertoo puhdistustehon. (Ympäristöministeriö, 2020.)

2.3 Jätelaki ja asetus

Turvetuotannosta syntyvän jätteen käsittelyä ohjaa Jätelaki 646/2011. Jätteen määrää ja haitallisuutta tulee ehkäistä ja hoitaa jätehuolto niin, että se ei aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle ja ympäristölle. Jäte, jota ei voida välttää, tulee ensisijaisesti käsitellä uudelleenkäyttöä varten jätteen haltijan toimesta. Toissijainen

käyttö on kierrätys, mikäli tämä ei ole mahdollista tulee jäte hyödyntää muulla tavalla kuten energiana. Viimeinen vaihtoehto on jätteen loppukäsittely.

2.4 Luontoselvitys

YSL 11 §:n mukaisesti sijoituspaikka tulee valita niin että toiminta ei aiheuta ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa ja pilaantuminen voidaan ehkäistä. Lisäksi YSL 13.1 § velvoittaa huomioimaan uhanalaiset suolajit- ja luontotyytit. Tämä koskee luonnontilaisuusluokittelussa luokkia 3–5 jotka luetaan luonnontilaisiksi tai luonnontilaisten kaltaisiksi soiksi (Ympäristöministeriö, 2016). Taulukossa 1 näkyvien luonnontilaisuuden arvioinnissa käytettävä luonnontilaisuusasteikko (Maa- ja metsätalousministeriö, 2012, s. 18).

Taulukko 1. Suokokonaisuuksien luonnontilaisuusasteikko (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, s.18).

	Kuivatus	Kasvillisuus	Vedenpinta
LUONNONTILAISET			
5	Suolla ja sen välittömässä läheisyydessä ei häiriötekijöitä.	Suokasvillisuus vallitsee aluskasvillisuudessa (pl. luontaisesti ruoppaiset tai pohjakerrokseltaan sulkeutumattomat suotyypit). Osassa keidassoiden laiteita voi olla vähäisiä kasvillisuuden muutoksia.	Vedenpinta kullekin suopinnan tasolle tyypillisissä rajoissa.
4	Suon välittömässä läheisyydessä tai reunassa häiriö(tä), esim. oja, tie tms., jotka eivät aiheuta näkyvää muutosta suolla. Osassa keidassoiden laiteita voi kuitenkin olla vesitalouden muutoksia.		
3	Valtaosa suosta ojitamatonta. Aapasuon reunoja ei kauttaaltaan estä vesien valumista suolle eikä luonnollista vaihtumista kangasmetsään (tms.); merkittävää kuivahtamista ei suon muissa osissa. Keidassoiden laideosissa voi olla laajalti vesitalouden muutoksia.	Suokasvillisuudessa ei muutoksia suon reunavyöhykettä lukuun ottamatta. Keidassoilla laiteella puuvartisten kasvien osuus voi olla merkittävästi lisääntynyt.	Suoveden pinta alentunut ojen tuntumassa, joskus myös suon pinta.
2	Suolla ojitettuja ja ojitamattomia osia. Ojitus estää hydrologisen yhteyden suon ja ympäristön välillä. Osalla ojitamatonta alaa kuivahtamista. Keidassoilla ojitus on muuttanut myös reunaluisun ja keskustan vesitaloutta.	Suolle tyypillinen kasvistoaines kärsinyt; varpuisuus voi olla lisääntynyt välipinnoilla; merkkejä puuston kasvun lisääntymisestä tai taimettumisesta. Osalla suon ojitamatonta alaa kasvillisuusmuutoksia. Keidassoiden keskiosien muutokset voivat laidetta lukuun ottamatta olla vähäisiä.	Suoveden pinta voi olla hivenen alentunut kauempanakin ojista, jos ne ovat "puhkaisseet" laajoja rimpäitä tai keidassoiden kuljuja taikka allikoita. Suon ennallistamisen tai suolle tulevien pisto-ojen aiheuttamat taikka esim. penkkateiden patoamat vettyvät kuuluvat tähän luokkaan.
1	Vesitalous muuttunut kauttaaltaan, kasvillisuusmuutokset selviä.	Puuston kasvu selvästi lisääntynyt ja/ tai alue taimettunut/ metsittyneet. Kasvillisuusmuutokset voivat kauttaaltaan ojitetuillakin alueilla olla hitaita. Alue voi olla myös jäkälöitynyt tai karhunsammaloitunut vailla merkittävää puustokerrosta.	Suoveden pinta kauttaaltaan alentunut.
0	Muuttunut peruuttamattomasti: vesitalous muuttunut, kasvillisuuden muutos edennyt pitkälle.	Kasvillisuus muuttunut kauttaaltaan ja sen kehitys osissa tapauksista edennyt turvekangasvaiheeseen.	

LUONNONTILANSA MENETTÄNEET

Luontoselvityksen laajuus määräytyy hankealueen koon ja sen ympäristön luonnontilan mukaan. Hankkeen vaikutusalueetta arvioitaessa huomioidaan suoekosysteemin hydrologinen sekä ekologinen kokonaisuus. Erityistä huomiota tulee kiinnittää vaikutusalueella mahdollisesti sijaitseviin suojelualueisiin tai lajistollisesti arvokkaisiin alueisiin. Luonnontilainen alue edellyttää tarkempia selvityksiä kuin ojituksen takia muuttunut, luontoarvojaan menettänyt alue. (Ympäristöministeriö, 2016.)

Selvitysalue rajataan ekologisin/luonnontieteellisin perustein ja sen tulee ulottua tuotantoalueen ulkopuolelle. Vaikutusalueen laajuus vaihtelee riippuen siitä, arvioidaanko vaikutuksia vesistön, linnuston tai kasvilajiston osalta. Luontoselvityksen tarkkuus riippuu toiminnan arvioiduista luontovaikutusten merkittävydestä. (Mäkelä ja Salo, 2024; Ympäristöministeriö 2016, s. 23; Ympäristöministeriö, 2021, s. 48, 58.)

Luontoselvityksen laadinnassa voidaan hyödyntää aiemmin kerättyä tietoa ELY-keskukselta ja muilta viranomaislähteiltä (taulukko 2). Luontoselvityksen maastotöiden ajankohta on lajin esiintymisen kannalta olennaista, mikä tulee huomioida maastotutkimuksia suunniteltaessa. Useampi maastokausi on yleensä tarpeen lajien luotettavan havainnoinnin varmistamiseksi. (Ympäristöministeriö, 2016.)

Taulukko 2. Tietolähteitä luontoselvitystä varten (Ympäristöministeriö, 2016, s. 37).

Tutkittava osa-alue	Tietolähde
Luonto- ja kulttuuriarvot	
Ojitustilanne, avoimuus	GTK, maastotietokanta, painetut kartat, ilmakuvat SYKE:n suotietoaineisto laserkeilausaineistot (MML)
Arvokkaat luontotyytit (LSL:lla suojellut sekä uhanalaiset luontotyytit)	ELY-keskukset, SYKE, metsäkeskukset, GTK, luontojärjestöt
Uhanalaiset lajit (sekä valtakunnallisesti että alueellisesti), ja silmälläpidettävät lajit	SYKEN Hertta Eliölajit -tietojärjestelmä, ELY-keskusten tiedot, Metsähallituksen luontopalveluiden vastuulajitiedot
Rauhoitetut, erityisesti suojeltavat ja luontodirektiivin liitteiden II ja IV lajit	ELY-keskukset (rajauspäätökset), SYKE (suojeluohjelmat), Metsähallitus (vastuulajien havaintotiedot)
Tärkeät lintualueet (IBA), maakunnallisesti tärkeät lintualueet (MAALI)	ELY-keskukset, Bird-Life Suomi, SYKE, paikalliset lintutieteelliset yhdistykset
Natura 2000- ja muut suojelualueet (METSO)	ELY-keskukset, Natura 2000-tietokanta, Metsähallitus
Suojeluohjelmien ulkopuoliset, luonnonoloiltaan merkittävät tai ennallistettavat suot	ELY-keskukset, luontojärjestöt
Ekologiset verkostot	ELY-keskukset, luontojärjestöt, maakuntien liitot
Kulttuuriperintö, muinaisjäänökset ja muut kulttuurihistorialliset arvot	Museovirasto, maakuntamuseot, Metsähallitus, kunnat, kylätoimikunnat, vanhat kartat, paikallishistoriat
Maisema-alueet	Maakuntien liitot, ELY-keskukset
Arvokkaat pienvedet	ELY-keskukset, Metsähallitus
Vesistö tiedot	
Valumasuunnat ja purkuvesistöt	Suomen ympäristökeskuksen tietokanta, Maamittauslaitos, Maastotietokanta, painetut kartat
Pohjavedet	ELY-keskusten tietokannat
Kalasto	ELY-keskukset, osakaskunnat
Vesistön vedenlaatu ja sietokyky	ELY-keskusten Hertta-tietokanta. Tarkkailu yms. raportit, vesienhoitosuunnitelmat ja toimenpideohjelmat
Vesistön ekologinen tila ja tilatavoitteet	Hertta-tietokanta
Turvetuotantoalueita koskevat tiedot	
Olemassa olevat tuotantoalueet, vesiensuojelutaso, lupatilanne)	ELY-keskukset
Alueelta väistyvä elinkeino	
esim. metsätalous, maatalous, matkailu, poronhoito	Suomen metsäkeskus, matkailuyrittäjät, paliskunnat
Virkistysarvot	
Metsästyminen, marjastus ja ulkoilu	Kunnat ja järjestöt, Suomen riistakeskus, riistanhoitoyhdistykset

Selvitysalueen tuntemus helpottaa tarjouspyynnön tekemistä. Luontoselvityksen tekijän tulisi saada alustavat taustatiedot luontoselvityksen tilaajalta. Kuva 1 havainnollistaa osapuolten välistä tiedonhankintaa. Selvitysalueen taustatietojen

hankinnassa hyödynnetään useita tietolähteitä, mikä mahdollistaa täsmällisemmän luontoselvityksen mitoituksen ja fokuosoinnin. (Mäkelä ja Salo, 2024.)

Luontoselvityksen tilaaja	Luontoselvityksen tekijä
<ul style="list-style-type: none"> • kartat ja ilmakuvat • maanpeite- ja maaperätiedot, hydrologia, elinympäristöt ja muut oleelliset paikkatietoaineistot • aluetta koskevat kaavat ja niihin liittyvät luontoselvitykset • muut luontotiedot ja aiemmin tehdyt selvitykset kunnasta, maakunnasta, ELY-keskuksesta ja/tai Metsähallituksesta • tiedot muista hankkeista ja suunnitelmista 	<ul style="list-style-type: none"> • kartat ja ilmakuvat • maanpeite- ja maaperätiedot, hydrologia, elinympäristöt ja muut oleelliset paikkatietoaineistot • ekologisen verkoston kohteet • ennalta tunnetut valtakunnallisesti, maakunnallisesti ja paikallisesti arvokkaat luontokohteet • luontotyyppinä koskevat taustatiedot, kuten luonnonsuojelulain suojeltujen ja tiukasti suojeltujen luontotyyppien esiintymät, vesilain suojeltujen luontotyyppien esiintymät ja metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt • lajeja koskevat taustatiedot, kuten uhanalaisten, silmälläpidettävien ja luontodirektiivin liitteiden lajien esiintymät • paikallisilta toimijoilta saatava luontotieto

Kuva 1. Luontoselvityksen tilaajan ja luontoselvityksen tekijän välinen työnjako luontoselvityksen taustatietojen hankinnassa ja kokoamisessa (Mäkelä ja Salo, 2024, s. 48).

2.5 Ympäristöluvan hylkäämisperusteet

Nikkilän (2013) tarkastelemissa ympäristöluvuissa yleisimmät syyt turvetuotannon ympäristöluvan hylkäämiseen vuosina 2012–2013 liittyivät vesistövaikutuksiin ja vesienhoitosuunnitelmiin YSL 49 §:n vedoten (kuvio 3; Nikkilä, 2013). Useissa hylkäämisperusteissa vedottiin myös lakiin eräistä naapuruussuhteista 17 §, jossa arvioidaan toiminnan aiheuttamaa rasiusta lähistön osapuolille. Kielteinen ympäristölupapäätös, jossa esiintyi vain yksi hylkäämisperuste, perustui alueen rajaamiseen ja suojavyöhykkeen muodostamiseen. Useimmissa päätöksissä esiintyi kuitenkin enemmän kuin kolme syytä kielteiselle päätökselle.

Varovaisuusperiaatteeseen vetoaminen ilman selkeitä perusteluja koettiin myös ongelmalliseksi. Varovaisuusperiaatteeseen saatetaan vedota liian helposti, mikä

saattaa aiheuttaa epäselviä päätöksiä ja liioiteltuja riskejä. Tämä voi aiheuttaa hakijan kannalta epävarmuutta, sillä päätöstä on vaikea ennakoida varovaisuusperiaatteen epäselkeän soveltamisen takia. (Nikkilä, 2013, s. 88.)



Kuvio 3. Turvetuotantoon liittyvän ympäristöluvan yleisimmät hylkäämisperusteet (Nikkilä, 2013).

3 TURVETUOTANTOALUEEN JATKOKÄYTTÖ

Turvetuotannon loputtua alue siirtyy jälkihoitovaiheeseen. Jälkihoitovaiheesta vastaa toiminnanharjoittaja. Turvetuotannon aikaiset tarpeettomat rakenteet poistetaan ja alueelta siistitään kantokasat, tuotettu turve sekä turveaumojen peitossa käytetty muovi ja muu jäte. Kaivannot tulee tasoittaa ja huolehtia siitä, että massansiirtotöistä aiheutuneet maamassat ojien penkereillä eivät aiheuta vettymistä lähialueella. (Ympäristöministeriö, 2015, s. 60.) Jälkihoidon aikana pyritään estämään lisäpäästöt alapuoliseen vesistöön (Ymparisto.fi, 2024). Jälkihoitoon siirtyminen tapahtuu yleensä vähitellen, kun osa tuotantoalueesta poistuu tuotannosta aikaisemmin kuin muut alueet (Ympäristöministeriö 2015, s. 60). Ongelmaksi tässä koetaan lisäojituksen tarve alueen irrottamiseksi tuotantoalueesta, mikä lisää kuormitusta alapuoliseen vesistöön (Matila ja Alatalo, 2023, s. 36). Turvetuotannon lopettamisen vaiheet nähdään kuviossa 4.

Jos toiminnanharjoittaja on vuokrannut turvetuotantoalueen, jälkihoitotoimenpiteisiin vaikuttaa maanvuokrasopimuksessa määritellyt ehdot toiminnanharjoittajan ja maanomistajan välillä. Maanvuokrasopimuksessa määritellään milloin ja missä kunnossa tuotantoalue palautuu omistajalle. Maanvuokrasopimuksessa on myös tavallisesti määritelty, missä kuivatustilassa alue palautetaan omistajalle. (Virtanen & Hirvasniemi, 2007, s. 23.)

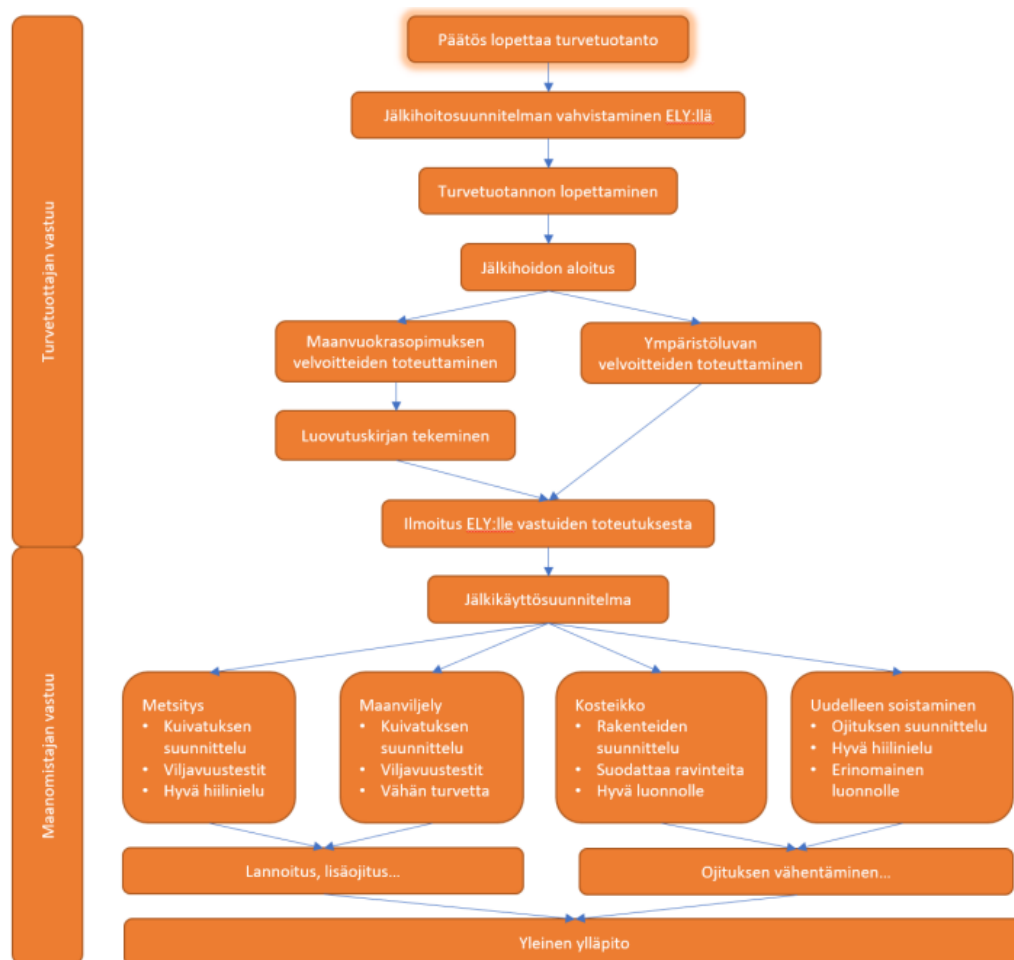
Ympäristövaikutusten tarkkailu kuuluu osaksi jälkihoitoa ja siitä säädelään ympäristöluvassa. Vesienkäsittelyrakenteet pidetään toiminnassa ympäristöluvassa määritetyn ajan. Vesienkäsittelyn velvoite päättyy yleensä, kun pintamaa on kasvittunut tai jälkikäyttö aloitettu. (Ympäristöministeriö, 2015, s. 60.) Matilan ja Alatalon (2023) raportissa tarkastelluissa ympäristöluvuissa vesienkäsittelyvelvoitteen päättyminen oli useissa tapauksissa sidottuna alueen kasvittumiseen. Kasvittumisella pyritään vähentämään eroosiota sekä ravinne- ja kiintoainekuormitusta (Selin, 1999, s. 98). Kasvittumisen vaikutuksista turvetuotannosta poistuneiden alueiden vesistöjästäisiin ei kuitenkaan ole tutkittua tietoa, vaikka metsätalouden

tutkimukset ovatkin osoittaneet ojan kasvittuneisuuden pidättävän kiintoainesta ja ravinteita. Tutkimustietoa ei ole saatavilla siitä, kuinka paljon ravinteita ja kiintoaineita turvetuotannosta poistuneella alueella lähtee liikkeelle ennen kasvipeitettä ja miten paljon kasvipeite vähentää näitä. Avoimeksi jää myös se, miten kuorimitukseen vaikuttaa pelkästään ojat kattava kasvipeite laajan alueen kattavan kasvipeitteen sijaan. Vastausten puuttuminen näihin kysymyksiin jättää kyseenseläiseksi riittävän kasvittumisen määritelmän. Tutkimustietoa puuttuu myös eri jatkokäyttömuotojen vesistö päästöistä, mikä vaikeuttaa arviointia siitä, milloin jatkokäyttöön siirtyneen alueen voi eristää yhä tuotannossa olevan alueen vesienkäsittelystä. (Matila ja Alatalo, 2023.)

Kun jälkihoitotyöt on hoidettu ympäristöluvan mukaisesti ELY-keskuksen hyväksymänä, ympäristölupa raukeaa (Ympäristöministeriö, 2015, s. 60). Matilan ja Alatalon (2023) raportin mukaan ympäristöluvan raukeamisen ehdoissa esiintyi vaihtelua. Raportissa tunnistettiin neljätoista eri vaihtoehtoa rauettaa ympäristölupa (taulukko 3).

Taulukko 3. Neljätoista tapaa rauettaa ympäristölupa (Matila ja Alatalo, 2023).

Määräaikaiset tarkastukset antavat mahdollisuuden keskusteluun ja yhteistyön sujuvuuden lisäämiseen. Tavoitteena on valita vaikuttavat menettelytavat ympäristöluvan rauettamiseksi erilaisten ympäristölupien, turvetuotantotoiminnan ja vesienkäsittelyn tilanteissa.	Ympäristöluvassa on riittävät vesien käsittelyn määräykset vesien käsittelyn lopettamiseen	Ympäristöluvassa ei ole riittäviä vesien käsittelyn määräyksiä vesien käsittelyn lopettamiseen
Toistaiseksi voimassa olevassa ympäristöluvassa on määräykset ympäristöluvan rauettamiseen toimintaa lopetettaessa, tarkentavia määräyksiä voi ELY-keskus antaa.	1) Toimitaan ympäristöluvan määräysten mukaisesti.	2) Ely-keskus antaa tarkentavia määräyksiä ympäristöluvan määräysten mukaisesti.
Toistaiseksi voimassa olevassa ympäristöluvassa on määräykset ympäristöluvan rauettamiseen toimintaa lopetettaessa, AVI antaa määräykset.	3) Toimitaan ympäristöluvan määräysten mukaisesti.	4) AVI määrää YSL:n 94 §:n mukaiset toiminnan lopettamisen jälkeiset velvoitteet toiminnanharjoittajan hakemuksesta.
Toistaiseksi voimassa olevassa ympäristöluvassa ei ole määräyksiä ympäristöluvan rauettamiseen toimintaa lopetettaessa.	5) Toiminnanharjoittaja hakee ympäristöluvan rauettamista YSL:n 88 §:n mukaisesti AVI:sta.	6) Toiminnanharjoittaja hakee ympäristöluvan rauettamista YSL:n 88 §:n mukaisesti ja samaan ympäristölupaan AVI määrää vesien käsittelyn määräyksiä YSL:n 94 § mukaisesti.
Toiminta on loppunut mutta toistaiseksi voimassa olevassa ympäristöluvassa ei ole määräyksiä ympäristöluvan rauettamiseen.	7) Toiminnanharjoittaja hakee ympäristöluvan rauettamista YSL:n 88 §:n mukaisesti AVI:sta.	8) AVI määrää YSL:n 94 §:n mukaiset toiminnan lopettamisen jälkeiset velvoitteet ympäristöluvan rauettamisen hakemisen yhteydessä.
Määräaikainen ympäristölupa, jossa turvetuotannon tulee olla päättyneet määräaikaan mennessä.	9) Toimitaan ympäristöluvan määräysten mukaisesti.	10) AVI määrää YSL:n 94 §:n mukaiset toiminnan lopettamisen jälkeiset velvoitteet.
Määräaikainen ympäristölupa, jossa turvetuotantoalueen jälkihoitotyöt tulee olla tehty määräaikaan mennessä.	11) Toimitaan ympäristöluvan määräysten mukaisesti.	12) AVI määrää YSL:n 94 §:n mukaiset toiminnan lopettamisen jälkeiset velvoitteet.
Ympäristölupa raukeaa toiminnan ollessa keskeytyneenä vähintään viisi vuotta lupaviranomaisen päätöksellä.	13) Kun toiminta on ollut keskeytyneenä yhtäjaksoisesti vähintään viisi vuotta YSL:n 88 § mukaan asian voi panna vireille lupaviranomaisen omasta aloitteestaan, valvontaviranomainen, kunta tai haitankärsijä.	14) Kun toiminta on ollut keskeytyneenä yhtäjaksoisesti vähintään viisi vuotta YSL:n 88 § mukaan asian voi panna vireille lupaviranomaisen omasta aloitteestaan, valvontaviranomainen, kunta tai haitankärsijä. Lupaviranomainen päättää vesien käsittelyn määräykset vesien käsittelyn lopettamiseksi YSL:n 94 § perusteella.



Kuvio 4. Turvetuotannon lopettamisen vaiheet (Väänänen, 2022, s. 11).

3.1 Jatkokäyttömuodon valinta

Perehtymällä ennakkoon alueen ominaisuuksiin, voidaan rajata toteutettavissa olevat jatkokäyttömuodot. Maanomistajan tulisi tietää eri jatkokäyttömuotoihin liittyvät velvoitteet sekä ympäristö- ja yhteiskuntavaikutukset. Kun vaihtoehdot tiedetään, voi maanomistaja miettiä omia tavoitteitaan jatkokäytölle. (Matila ja muut, 2023.)

Turvetuotantoalueen jatkokäytön suunnitteluun on luotu maanomistajaa helpottava monitavoitearviointi (kuva 2). Sen avulla voidaan arvioida alueen jatkokäytövaihtoehtoja kattavasti, alueen ominaisuuksien ja eri sidosryhmien tavoitteiden

perusteella. Monitavoitearviointi sisältää kahdeksan vaihetta, jossa painottuu sidosryhmien tunnistaminen, tavoitteiden määrittely sekä eri jatkokäyttövaihtoehtojen vaikutusten arviointi.



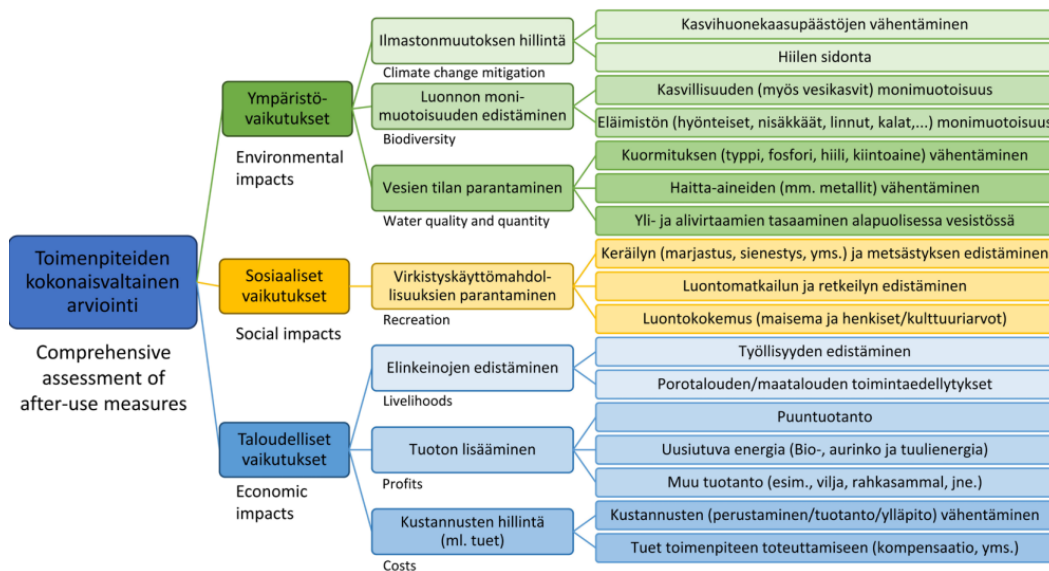
Kuva 2. Monitavoitearviointia hyödyntävä lähestymistapa (Räsänen ja muut, 2023, s. 31).

Ensimmäinen vaihe alkaa sidosryhmien tunnistamisesta käsittäen muun muassa maanomistajan, viereisten alueiden omistajat, turvetuottajat ja lupaviranomaiset. Seuraavaksi määritellään sidosryhmien tavoitteet jatkokäytölle. Tavoitteet voivat kohdistua taloudellisiin, sosiaalisiin tai ympäristöön liittyviin vaikutuksiin (kuva 3). Kustannukset ja jatkokäytöstä saatava tuotto nousevat usein oleellisiksi tavoitteiksi. Kolmannessa vaiheessa määritellään kullekin lohkolle erikseen paras jatkokäyttömuoto. Tämä on oleellista, sillä suoalueen ominaisuudet voivat vaihdella paljon saman turvetuotantoalueen sisällä esimerkiksi turpeen paksuuden, maaperän ja happamuuden osalta. Neljännessä vaiheessa kullekin lohkolle arvioidaan paras jatkokäyttömuoto ja viidennessä vaiheessa arvioidaan eri jatkokäyttömuotojen vaikutukset jokaisen eri tavoitteen suhteen. Arviointi voidaan tehdä numeerisesti, sanallisesti tai +/- tyyliin. Kuudes vaihe sisältää eri tavoitteiden tärkeyden tunnistamisen ja jatkokäyttömuodon valitsemisen lohkoille näiden näkökulmien

mukaisesti. Tavoitteet priorisoidaan ja pyritään löytämään jatkokäyttömuoto, jossa kaikkien sidosryhmien intressit kohtaavat.

Seitsemäs vaihe on synteessin muodostaminen, jossa tehdään laaja-alainen arvio parhaista jatkokäyttömuodoista kaikille lohkoille, huomioiden eri jatkokäyttömuotojen soveltuvuus, vaikutukset sekä näkökulmat tavoitteista. Lisäksi arvioidaan, miten eriävät jatkokäyttömuodot lohkojen välillä vaikuttavat viereisten lohkojen toimenpiteisiin ja tavoitteisiin. Viimeinen vaihe on tuloksista viestiminen osapuolille ja sidosryhmille. (Räsänen ja muut, 2023.)

Entisten turvetuotantoalueiden erilaisten jatkokäyttömuotojen vertailua ja valintaa varten on myös kehitetty Turve-Arvi. Työkalun avulla voidaan vastaavasti tehdä monitavoite- ja soveltuvuusarviointi. Taulukkoon kirjataan turvetuotantoalueen ominaisuudet tai tavoitellut arvot, jolloin voidaan tarkastella taulukkomuodossa eri jatkokäyttömuotojen soveltuvuutta sekä valita tavoitteiden mukainen jatkokäyttömuoto. (Turve-Arvi, n.d.)



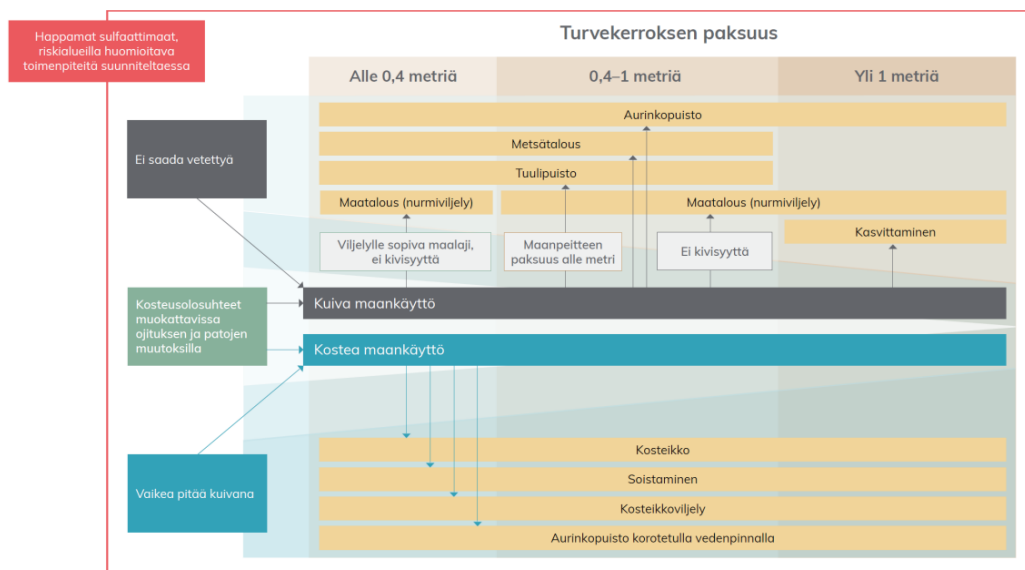
Kuva 3. Turvetuotantoalueen jatkokäyttömuodon tavoitteet (Räsänen ja muut, 2023, s. 32).

3.2 Jatkokäyttöä ohjaavat tekijät

Energiaturpeen käytön vähentyminen Suomen hiilineutraalitavoitteen 2035 ja päästökaupan myötä vapauttaa turvetuotantoalueita uuteen maankäyttöön. Suomessa on tehty useita tutkimuksia turvetuotantomaiden jatkokäytöstä (Aro ja muut, 2023; Science of The Total Environment, 2023). Jatkokäyttömuodoista metsitys on ollut suosituin. Kiinnostusta löytyy myös maatalouskäyttöön ja kosteikon perustamiseen. Viime aikoina aurinko- ja tuulivoimarakentamisen mahdollisuus on myös herättänyt kiinnostusta. (Suomen ympäristökeskus, 2023.)

Turvetuotantoalueen jatkokäyttövaihtoehtoihin vaikuttavia tekijöitä nähdään kuvassa 4. Turvetuotantoalueen ominaisuuksien, kuten kosteusolosuhteiden, jäännösturpeen paksuuden ja pohjamaan laadun vaihtelu lohkojen välillä on yleistä. Osalla lohkoista jäännösturvetta voi olla paksumpi kerros, kun taas osassa turve on nostettu kivennäismaahan saakka. Jäännösturpeen paksuuteen vaikuttavat myös pohjamaan pinnanmuodot ja kivisyys. (Aro ja muut, 2023.)

Maatunut jäännösturve sisältää paljon typpeä mutta vähän fosforia ja kaliumia. Turvetuotantoalueiden ravinnetalous on epätasapainoinen ja vaikeuttaa erityisesti metsitystä ja kasvinviljelyä. (Aro & Hytönen 2019; Geologian tutkimuslaitos [GTK], 2023.) Kosteusolosuhteet ovat jatkokäytön kannalta merkittävä tekijä, näihin voidaan vaikuttaa lisäojituksilla, padoilla tai maanmuokkauksella. (GTK, 2023.) Jäännösturpeen alla oleva pohjamaa on usein hienojakoista ja heikosti vettä läpäisevää (Korhonen, 1996; Korhonen ja Suomi, 2003).



Kuva 4. Jatkokäyttömuotojen valintakriteerit (GTK, 2023).

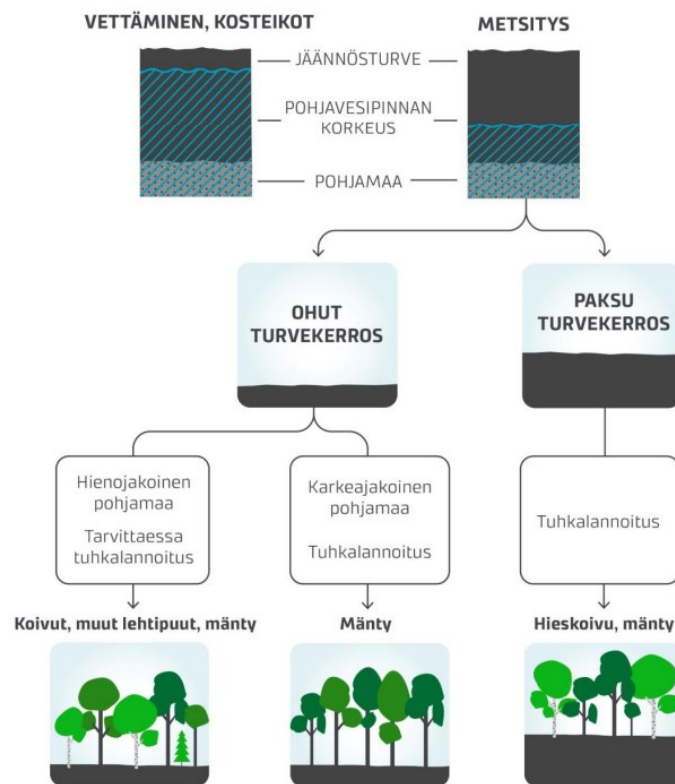
3.3 Metsitys

Metsitykseen hyvin soveltuvia turvetuotantoalueita on arviolta 60 prosenttia (Metsänhoidon suositukset, n.d.-a). Metsitykseen sopivan turvetuotantoalueen merkittävin vaikuttava tekijä on riittävä kuivatus. Alue soveltuu metsitykseen, jos kuivatuksessa voidaan hyödyntää tavallisia kuivatusoja. Tämä poissulkee alavat turvetuotantoalueet, joiden kuivatus toteutetaan pumpuilla. Turvetuotannon aikaiset ojitukset ovat yleensä toimintakuntoiset turpeennoston loputtua. Ojitus tulee tarvittaessa kunnostaa ja pohjamaan ominaisuuksien vaatiessa tehdä lisäojitus. Ojituksen kunnostuksessa voidaan käyttää laskeutusaltaita, kaivukatkoja ja pintavalutuskenttiä. Alueella olevia turvetuotannon aikaisia vesiensuojelurakenteita voidaan myös hyödyntää. Kuvassa 5 näkyy kunnostettu kuivatusoja. (Alhainen ja muut, 2015; Aro ja muut, 2023, s. 13.)



Kuva 5. Vasemmalla kunnostusta vaativa ojitus ja oikealla toimiva kuivatusoja (Hilli ja muut, 2024).

Jäännösturpeen paksuus ja alla olevan pohjamaan ominaisuudet määrittelevät puulajin ja lannoituksen tarpeen kuvan 6 mukaan. Ohutturpeiset maat soveltuvat paremmin metsitykseen sillä pohjamaa on lähempänä maanpintaa, jolloin kivennäisravinteiden saanti on helpompaa. Ohutturpeinen maa (alle 30 cm:n paksuinen turvekerros) ei välttämättä vaadi lannoitusta, mutta turpeen happamuuden takia se on usein tarpeellista. (Aro ja muut, 2023; Luonnonvarakeskus [Luke], n.d.) Paksturpeiset maat joudutaan yleensä lannoittamaan tuhkalannoitteella, sillä ne kärsivät kaliumin ja fosforin puutteesta (Hilli ja muut, 2024). Kuvassa 7 nähdään erityyppisiä pohjamaita. Hietainen tai sitä hienojakoisempi ohutturpeinen maa (kuva 7 a ja b) soveltuvat parhaiten metsitykseen. Metsityksen on todettu olevan paras vaihtoehto ilmaston kannalta yhdessä suoksi ennallistamisen kanssa.



Kuva 6. Metsityksen valintaa ohjaavat ominaisuudet (Aro ja muut, 2023).



Kuva 7. Erilaisia pohjamaan ja turvekerroksen paksuuden omaavia pohjamaita. Kuvassa a ja b on alle 30 cm:n turvekerros ja hietainen tai sitä hienompi kivennäis-maa. Kuvassa c hiekkamaa. Kuvassa d yli 40 cm:n turvekerros ja pohjamaana hiesu-savi. (Aro ja muut, 2023; kuva d, Aro ja Hytönen, 2019; kuvat a,b ja c, Lasse Aro, n.d.)

3.4 Kasvinviljely ja maatalous

Arviolta 28 % suonpohjista on hyödynnettävissä maatalouskäyttöön. Lisäkustannuksilla saadaan suonpohjista 60 % hyödynnettyä maatalouskäyttöön. (Latva-Krekola & Luhtanen, 2021.) Turvemaiden osuus maatalouden kasvihuonekaasupäästöistä on 50–60 % (Hautala, 2023). Päästöjen pienentämiseksi turvemaiden kosteikkoviljely on noussut yhdeksi ympäristöystävällisemmäksi vaihtoehdoksi (Lång ja muut, 2022).

Viljelyskäyttöön soveltuminen riippuu ensisijaisesti jäännösturpeen paksuudesta, joka määrittää viljelymenetelmän ja sadon määrän. Kasvinviljelylle suotuisa suonpohja on tasainen, kivetön ja kuiva. Pohjamaaltaan hietainen tai keskikarkea moreenimaa on viljelyn kannalta ihanteellisin. Sen vedenpidätys- ja läpäisevyysominaisuudet luovat hyvät edellytykset viljelylle. (Aro ja muut, 2023, s. 27.)

Viljelyskäyttöön saattaminen vaatii kalkituksen, jolla parannetaan ravinteiden saatavuutta, nostamalla pH-arvoa. Turvemaiden vähäisempi alumiini- ja rautayhdisteiden määrä kuitenkin helpottaa viljelykasvien selviytymistä happamissa kasvuolosuhteissa. Lannoituksen avulla lisätään maan ravinnepitoisuutta. Lannoitteina käytetään typpi-, kalium- ja fosforilannoitteita. Tarvittavia hivenravinteita ovat kupari, sinkki ja boori. (Aro ja muut, 2023; Luhtala, 2021.)

Kasvivalinnassa poissulkevia ominaisuuksia on hallanarkuus ja pitkä kasvukausi. Jäännösturvetta tulisi olla enintään 40 cm, tätä paksumpi kerros vaikeuttaa turpeen ja pohjamaan sekoitusta kyntövaiheessa. Ohutturpeisemmat alueet luovat myös paremmat kasvuolosuhteet ja tuottavat vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä viljelyvaiheessa. (Luhtala, 2021, s. 27, 42, 55.)

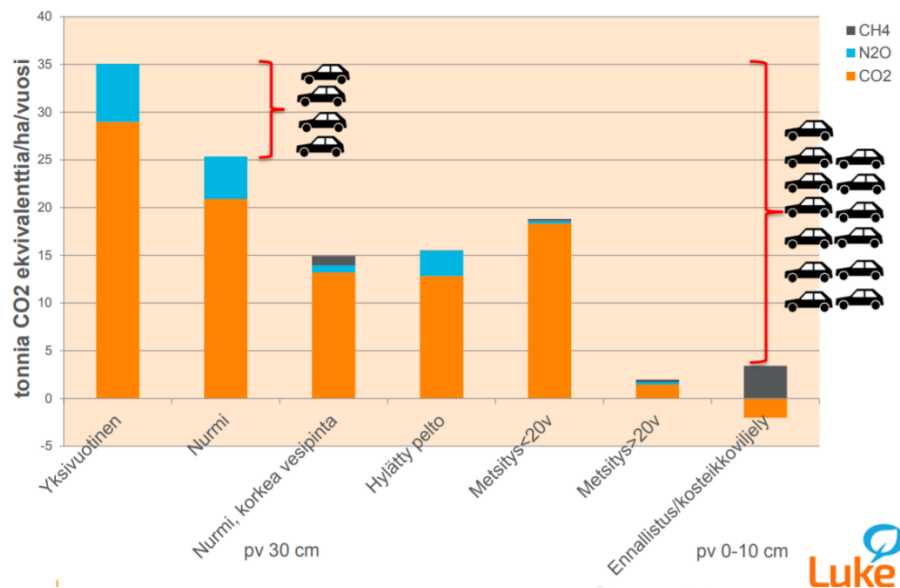
Entisten turvetuotantoalueiden hehtaarihinta on usein halvempi kuin viljelyskäytössä olevan peltomaan. Alueet ovat myös muodoltaan ja logistiikaltaan sopivia

viljelykäyttöön. Toisaalta alueiden etäisyys voi rajoittaa niiden hankkimista maatalouskäyttöön. (Latva-Krekola & Luhtanen, 2021.) Alkuvuosina ei ole tarvetta torjunta-aineille (Aro ja muut, 2023, s. 25).

Suonpohja muokkautuu hitaasti kivennäismaaksi, kun sen turvekerros kuluu. Muutos suonpohjasta maatalousmaata vastaavaksi pelloksi kestää noin kymmenen vuotta. Tämän jälkeen lannoitus voidaan toteuttaa normaalin maatalousmaan vaatimusten mukaisesti ja sato palautuu normaaliksi. (Aro ja muut, 2023, s. 25; Sompa, n.d.)

Suonpohjan olosuhteet alkuvuosina voivat olla haastavat. Viljelyn aloitus nurmilla auttaa luomaan paremman kasvualustan myöhemmille viljelykasveille. (Aalto, 2022.) Ruokohelppi on myös hyvä vaihtoehto ensimmäiseksi viljelykasviksi. Se menestyy hyvin turvetuotantoalueen kaltaisissa olosuhteissa, sillä se kestää hyvin kosteutta ja kuivuutta (Selin, 1999, s. 83). Ruokohelpeä voidaan käyttää eläinten rehuna tai kuivikkeena (Bioenergianeuvoja, 2024; Kuiviketurpeelle on vaihtoehtoja - tutkimus vertaili eri materiaalien sopivuutta eläintiloille, 2022).

Viljelykäytössä oleva turvemaa aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä jäännösturpeen hajoamisen kautta ja näin vähentää hiiltä (Hautala, 2023). Nurmiviljely on ilmastoltaan kannalta parempi vaihtoehto, kuten kuvasta 8 nähdään. Vedenpinnan nostolla voidaan pienentää päästöjä ennestään (Tapio-Biström, 2021). Turvekerroksen kulumisen viljelykäytössä on kuitenkin väistämätöntä, joten ilmasto näkökulmasta muut jatkokäyttövaihtoehdot ovat suositeltavampia (Lång ja muut, 2022, s. 36).



Kuva 8. Maaperän päästöt eri käyttömuodoilla (Tapio-Biström, 2021).

3.5 Lintukosteikko

Entiset turvetuotantoalueet ovat pohjamaaltaan hyvin soveltuvia lintukosteikon perustamiseen niiden vettä pidättävän ominaisuutensa ansiosta. Mahdollisesti jäljelle jäänyt turve tulee ottaa huomioon ennen vedennostoa, jotta vältetään ravinne- ja kiintoainekuormitukselta. Turpeen liikkeellelähtöä voidaan ehkäistä sekoittamalla turve ja kivennäismaa, verhoilemalla saaret kivillä tai antamalla alueen kasvittua ennen kosteikon perustamista. Turvetuotantoalue, jossa kuivatus on toteutettu pumpuilla, on erityisen suotuisa lintukosteikon perustamiselle, sillä veden nousu tapahtuu luontaisesti kuivatuksen loputtua eikä suuria maansiirtotöitä tarvita. Lintukosteikon rakentamisessa suositaan reheviä alueita, sillä karuilla alueilla ei ole yleensä edellytyksiä tarjota lintujen vaatimaa ravintoa ja suojaa. Lintukosteikon tulisi sisältää saarekkeitä, jotka mahdollistavat linnuille pesintä ja levähdyspaikkoja. Avoveden tulisi kattaa noin puolet kosteikon pinta-alasta ja vesikasveja tulisi olla runsaasti hajautettuna kosteikolle. Kosteikon vesisyvyyden tulisi vaihdella, mutta koostua pääosin alle 0,5 metrin syvisestä vedenpinnasta. Näin voidaan tarjota edellytyksiä eri lajeille sekä taata toimiva vedenpuhdistus. (Alhainen ja muut, 2015.)

Lintukosteikkojen perustamisesta on paljon kokemusta, ensimmäiset lintukosteikot on rakennettu jo 1990-luvulla (Aro ja muut, 2023). Lintukosteikolla voidaan tarjota elinympäristö uhanalaisille suolajeille ja lisätä luonnon monimuotoisuutta. Lintukosteikkoja voidaan hyödyntää myös virkistyskäyttönä. Yleisin tapa toteuttaa kosteikko on pengertämällä ja kaivamalla. Osa kosteikoista voidaan perustaa myös patoamalla, mikä on usein kustannustehokkain menetelmä. Patoamiseen soveltuvat hyvin alavat notkot. (Alhainen ja muut, 2015.)

Kuvassa 9 ja 10 nähdään Joensuussa sijaitseva Murtosuon kosteikko, joka on perustettu entiselle turvetuotantoalueelle. Ennen kosteikon perustamista alueen maapohja tuhkattiin ja kasvittumista edistettiin kylvämällä heinää. Kosteikko koostuu kahdesta alueesta ja on yhteispinta-alaltaan 21,2 hehtaaria josta 13,8 hehtaaria on vettä. Patopenkereinä hyödynnettiin alueelle jääneitä turvekasoja. Vedenpinnan säätely on toteutettu patokaivojen ja käänneltävän rumpuputken avulla.



Kuva 9. Murtosuon kosteikko lokakuussa 2020 ennen kunnostustöiden alkua (Suomen riistakeskuksen SOTKA-kosteikot, 2023–2025; Kuva; Lauri Laitila).



Kuva 10. Valmis kosteikko kesällä 2023 (Suomen riistakeskuksen SOTKA-kosteikot, 2023–2025; Kuva; Tero Salmela).

Vesiensuojelun kannalta huomioon tulee ottaa kosteikon pinta-ala suhteessa siihen päätyvien valumavesien määrään. Tehokas kiintoaineiden ja liukoisten ravinteiden sidonta saavutetaan mitoittamalla kosteikko vastaamaan 0,5 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta. Kosteikkojen on todettu estävän hyvin kiintoaine- ja fosforikuormitusta (60–70 %). (Alhainen ja muut, 2015.) Lintukosteikot lämmittävät ilmastoa niiden metaanipäästöistä johtuen (Aro ja muut, 2023).

Kosteikoille ei yleensä ole tarvetta tehdä istutuksia, ellei tarkoituksena ole houkuttaa tiettyjä vesikasveja suosivia lajistoja. Luontainen kasvillisuuden levittäytyminen on varsin nopeaa. Kosteikolla esiintyviä vesikasveja ovat palpakko, korte, sarakasvusto, ahvenvita, kilpukka, limaska ja ärviä. (Alhainen ja muut, 2015.)

Kosteikkoa suunniteltaessa tehdään selvitykset sen mahdollisista vaikutuksista ympäristöön ja ympäröivään maankäyttöön. Keskeiset säädökset, joita sovelletaan ovat vesilaki ja maankäyttö- ja rakennuslaki. Joissain tapauksissa saatetaan vaatia myös ympäristölupa, mikäli hankkeen katsotaan aiheuttavan ympäristön tai vesistön pilaantumisen vaaraa. Vesilupa vaaditaan aluehallintovirastolta aina kun

ruopataan yli 500 m³ tai nostetaan keskivedenkorkeutta. Kosteikon perustaminen vaatii suostumuksen kaikilta alueen omistajilta, joiden maita tai vesiä hanke saattaa koskettaa. Kosteikon rakentaminen edellyttää lisäksi luvan perkaus- ja ojitusyhtiöiltä sekä vesioikeudellisilta yhteisöiltä, jos se sijoittuu ojitustoimituksen mukaiselle hyötyalueelle. (Alhainen ja muut, 2015.)

Hoitotoimenpiteet riippuvat kohteen koosta, ravinteisuudesta ja rakentamista vasta. Rehevät kohteet vaativat usein kasvillisuuden niittoa umpeenkasvun estämiseksi. Runsastumaan päässyt järviruoko- ja osmankäämik kasvusto vaativat ruopasta. Tämä voidaan välttää säännöllisellä kitkemisellä. Puuston ja pensaikon liiallista kasvua torjutaan raivauksen avulla 1–2 vuoden välein. Niitto suoritetaan aluksi kerran vuodessa ja myöhemmin 2–4 vuoden välein. Hoitotoimenpiteisiin kuuluu myös laskeutusaltaiden lietteen poisto. Patopenkereillä varustetut kosteikot tarkastetaan säännöllisesti penkeresyöpymien varalta. Puuston kasvua penkereille tulee välttää, mutta kevyempää kasvillisuutta tulee tarpeen tullen kylvää vahvistamaan penkereiden rakennetta. Vesirakenteita tulee tarkkailla säännöllisesti tukkeumien varalta sekä erityisesti talven jälkeen mahdollisten routavaurioiden osalta. Huomiota tulee kiinnittää myös pienpetokannan hallintaan kosteikkolajien säilymisen vuoksi. (Alhainen ja muut, 2015.)

Lintukosteikon yhteyteen voidaan harkita myös riistapeltoa houkuttelemaan riistalajistoa ja lisäämään monimuotoisuutta. Riistapelot ovat helppohoitoisia, mutta saattavat aluksi vaatia lannoituksen ja kalkituksen. Riistapeltoa ei ole välttämättöntä niittää, mutta kosteikon yhteydessä se voi olla tarpeen liian rehevöitymisen estämiseksi. Kasvivalinta riippuu siitä halutaanko riistapellon tukevan lintujen vai hirvieläinten elinympäristöä ja ravinnonsaantia. Riistapellolle soveltuvia kasveja ovat esimerkiksi rapsi, apila, viljat, auringonkukka ja heinäkasvit kuten timotei. Viljelyyn valitaan aina vähintään kaksi kasvilajia. Riistapeltoja voidaan muodostaa myös kosteikon patopenkereille monivuotisilla kasveilla. (Alhainen ja muut, 2015; ELY-keskus, 2024c; Riistainfo.fi, 2025.)

3.6 Aurinko- ja tuulivoima

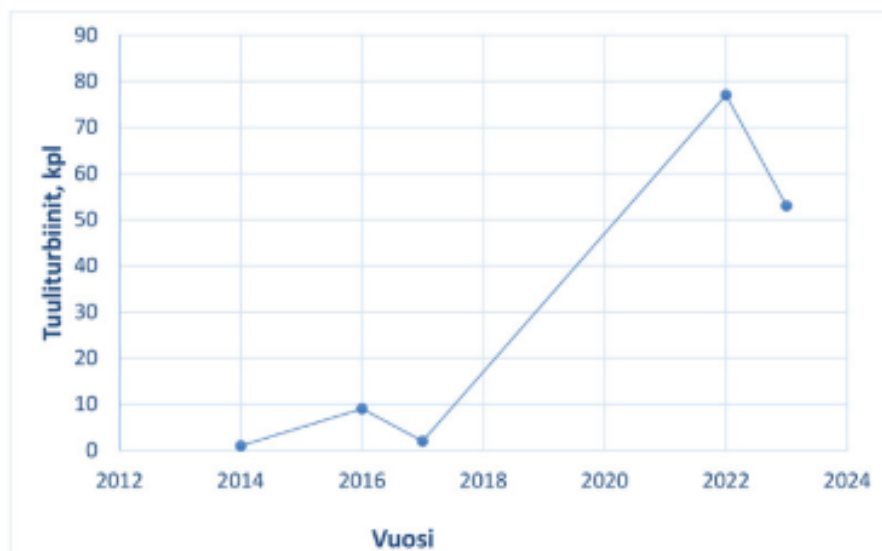
Turvetuotantoalueet soveltuvat aurinkovoimalle ympäristöltään, sillä alueet ovat suuria ja avoimia sekä suhteellisen tasaisia. Aurinkovoimalan visuaalinen vaikutus maisemaan on hyvin vähäinen niiden toimiessa maan tasalla. Alue on myös valmiiksi voimakkaasti muokattu turvetuotannon ajalta, joten sillä ei yleensä ole merkittäviä luontoarvoja. Toisaalta suolle syntyvät allikot voivat houkutella suolajiston paluuta ja monimutkaistaa ympäristövaikutusten arviointiprosessia. (Laasasenaho & Lauhanen, 2022.) Turvetuotantoalueelle kokonaan tai osittain sijoittuvia yli 150 MW:n aurinkovoimalahankkeita on tällä hetkellä suunnitteilla tai rakenteilla noin 10 kappaletta (Laasasenaho ja muut, 2024).

Aurinkovoimalan osalta poissulkeutuu korkean kasvillisuuden yhdistäminen rinnakkaiseksi jälkikäyttömuodoksi, paneelien varjostavuuden takia (Laasasenaho & Lauhanen, 2022, s. 32). Tuotannollisia maankäyttömuotoja aurinkopaneelien välissä voisivat olla esimerkiksi nurmi, mesikasvien viljely, laidunnus ja marjojen tuotanto (Matila ja muut, 2025). Turvetuotantoalueiden hyödyntäminen aurinkovoimalana voi myös estyä tai ainakin vaikuttaa talousteknilliseen toteuttamiseen ve-tisillä ja paksuturpeisilla soilla (Airaksinen, 2024).

Aurinkosähköviljely (ASV) on uusi konsepti, jota on Euroopassa tutkittu Saksassa, Italiassa ja Ruotsissa. ASV on viljelyn ja aurinkosähköntuotannon yhdistämistä samalle maa-alueelle. Ruotsissa suoritettu ASV kokeilu vuonna 2020–2022 osoitti lupaavia tuloksia vertikaalisten aurinkopaneelien ja nurmiviljelyn yhdistämisestä. Ranskassa ASVIA on edistetty vuonna 2023 käyttöönotetulla Act APER lailla. Kokeiluja on tehty myös Pohjois-Amerikassa ja Aasiassa, mutta kokonaisuudessaan kokeilumäärät ovat jääneet vähäisiksi. Aurinkovoimalan ja viljelyskäytön yhdistämisestä on käynnissä tutkimushankkeita myös Suomessa, esimerkiksi Energiequellella on käynnissä agrivoltaics hanke yhteistyössä, Turun ammattikorkeakoulun ja Helsingin yliopiston kanssa (Bressant & Bourrat, 2024; Ikonen/ Kemiamedia.fi, 2024; Nuokkola, 2024.)

Käytännössä viljely voitaisiin kohdistaa aurinkopaneelien väliin jääviin osuuksiin, sillä tällä hetkellä maataloustuki kattaa vain paneelirivien väliset alueet. Tukikehitys tulee kuitenkin pitää mielessä tapauksissa, joissa maanviljelijä vuokraa maatalousmaata energiayhtiölle. Jos maatalousmaa ei ole viljelijän omistama, tukea ei myönnetä. Lisäksi kaikki vuoden 2022 jälkeen viljelyskäyttöön otetut suonpohjat edellyttävät pysyvää nurmikasvustoa. (Laasasenaho ja muut, 2024b; Perkola, 2024.) Taloudellisesti ASV ei ole kokeilujen perusteella osoittautunut kannattavammaksi verrattuna aurinkosähkön erillistuotantoon (Energimyndigheten, 2023).

Tuulivoimatuotannon kannalta turvetuotantoalueet ovat houkuttelevia, sillä ne sijaitsevat yleensä kaukana asutuksesta, torjuen mahdollisia melu- ja maisemahaittoja. Turvetuotantoalueilla on myös hyvä kantava tiestö, sillä niiden on täytynyt kestää turvetuotantokalustoa. (Laasasenaho & Lauhanen, 2022.) Tuuliturbiinien sijoittelu tapahtuu viereiselle kivennäismaalle, sillä perustusten rakentaminen suonpohjalle ei ole mahdollista. Turbiinien tyyppinen sijoittelu etäälle toisistaan tuo ennestään lisää joustoa rinnakkaisille jatkokäyttömuodoille, kuten metsitykselle, kosteikolle, maataloudelle tai aurinkovoimalalle. (Laasasenaho & Lauhanen, 2022.) Hybridihankkeet ovatkin herättäneet uusiutuvan energian alalla toimivien yritysten mielenkiinnon. Esimerkiksi Neovalla on suunnitteilla kolme eri hybridihanketta, joissa tuulivoiman perustuksille sopimaton suonpohja hyödynnettäisiin aurinkovoimalana (Neova, 2025). Keski-Pohjanmaalle, Toholammin Isosuolle on suunnitteilla biometaanijalostamo, jonka rinnalla toimii aurinko- ja tuulivoima (Kommulainen, 2021). Tuuliturbiinien sijoittamisen suunnittelu turvetuotantoalueille on lähtenyt huomattavaan nousuun Etelä-Pohjanmaalla vuoden 2017 jälkeen (kuva 11).



Kuva 11. Turvetuotantoalueille suunnitellut tuulivoimalat Etelä-Pohjanmaan alueella (Laasasenaho & Lauhanen, 2022).

3.7 Ennallistaminen suoksi

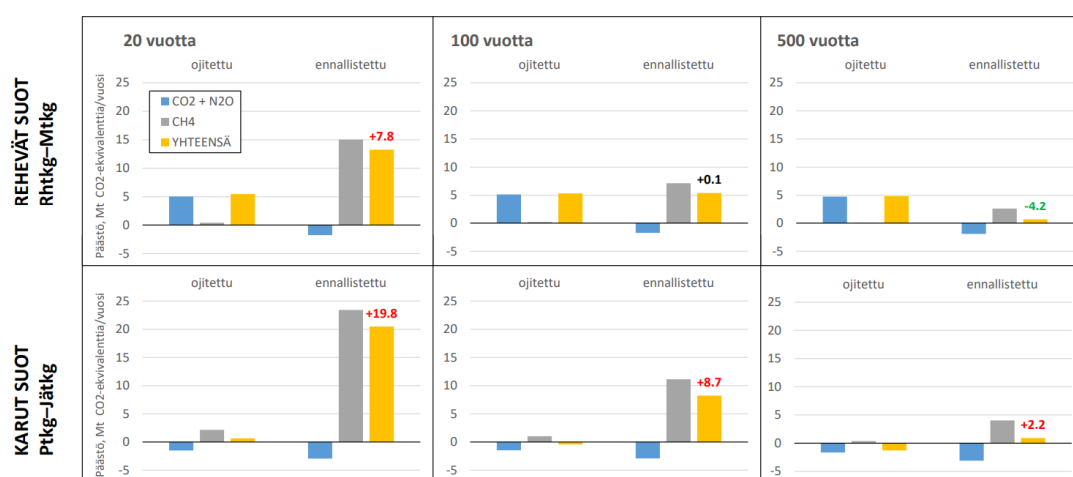
Metsäojitettuja soita on tähän mennessä ennallistettu 50 000 hehtaaria kohdistuen suurimmaksi osaksi suojelualueille. Ojitettuja soita on 4,7 miljoonaa hehtaaria ja ojittamattomia 4,1 miljoonaa hehtaaria. (Hotanen, 2023; Kareksala ja muut, 2021.) Soita ojitettiin aikoinaan metsä- ja maatalouden käyttöön, osa huonoin menestyksin. Metsätalouden käyttöön on ojitettu noin 5 miljoonaa hehtaaria ja arviolta noin 800 000 hehtaaria ojituksista on epäonnistunut. Hiilipörssi arvioi kannattamattomien metsäojitettujen soiden määräksi yli 2 miljoonaa hehtaaria. Nämä suot ovat olleet enimmäkseen liian köyhäravinteisia, jotta ne olisivat metsätaloudellisesti kannattavia. (Hiilipörssi, 2024; Suomen luonnonsuojeluliitto, 2018; Vanhatalo ja muut, 2019, s. 18.) Metsäojitus on ollut merkittävin syy suolajiston ja suoluontotyyppien heikentymiseen. Maanlaajuisesti suoluontotyypeistä 54 % ja suolajeista 11 % on uhanalaisia (Suoseura, 2020a; Suoseura, 2020b.)

Suolla kasvava puusto sitoo hiiltä enemmän mitä maaperästä vapautuu. Metsätaloukskäytössä hiilidioksidi kuitenkin vapautuu ilmakehään, kun puu hyödynnetään

energiantuotantoon, materiaaliksi tai se lahoaa. (Kimmo, 2017.) Puusto muodostaa lyhyen aikavälin hiilivaraston verrattuna maaperän turpeeseen, jossa hiili säilyy otollisissa olosuhteissa vuosituhsia (GTK, 2022). Hiilivarastoltaan 10 cm:n kerros turvetta vastaa yhtä paljon hiiltä kuin 100 m³/ha puustobiomassaa (Ojanen, 2019a). Maailmanlaajuisesti suot sitovat 600 gigatonnia hiiltä (Loisel ja muut, 2021).

3.8 Soiden ennallistamisen ilmastovaikutukset

Soiden ennallistaminen itsessään aiheuttaa kasvihuonepäästöjä. Alussa ennallistettu suon päästöt nousevat, mutta kääntyvät laskuun parinkymmenen vuoden kuluessa. Ojitettujen suon päästöt ovat pienemmät, mutta jatkuvat. (kuva 12.) Myös ravinnekuormitus vesistöön lisääntyy ennallistamisen alkuvaiheessa etenkin fosforin osalta, mutta kuormitus on lyhytkestoista, yleensä noin 10 vuotta. Luonnollisen huuhtoutumistason tavoitteeseen päästään alle 20 vuodessa. Riittämätön vettäminen tai tiheä ja haihduttava hieskoivikko voi pidentää tai jopa estää ravinnekuormituksen palautumista luonnonhuuhtouman kaltaiseksi. (Hotanen ja muut, 2024; Kareksala ja muut, 2021.)

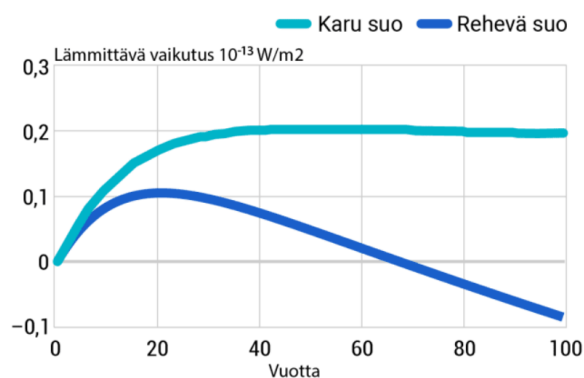


Kuva 12. Metsäojitetun suon ennallistamisen ilmastovaikutus maaperän päästöihin (Ojanen, 2019b). (Rhtk = ruohoturvekangas, Mtkg = mustikkaturvekangas, Ptkg = puolukkaturvekangas ja Jätkg = jäkäläturvekangas).

Kun suo ennallistetaan luonnontilaiseksi, se alkaa tuottamaan metaania, joka on 27 kertaa voimakkaampi kasvihuonepäästö kuin hiilidioksidi (IPCC, 2021). Metaanin hajoamisaika ilmakehässä on kuitenkin lyhyempi kuin hiilidioksidilla, noin 12 vuotta (Ilmasto-opas, n.d.). Kuvassa 12 huomataan ennallistettujen soiden huomattava metaanipäästöjen kasvu ensimmäisten 20 vuoden aikana.

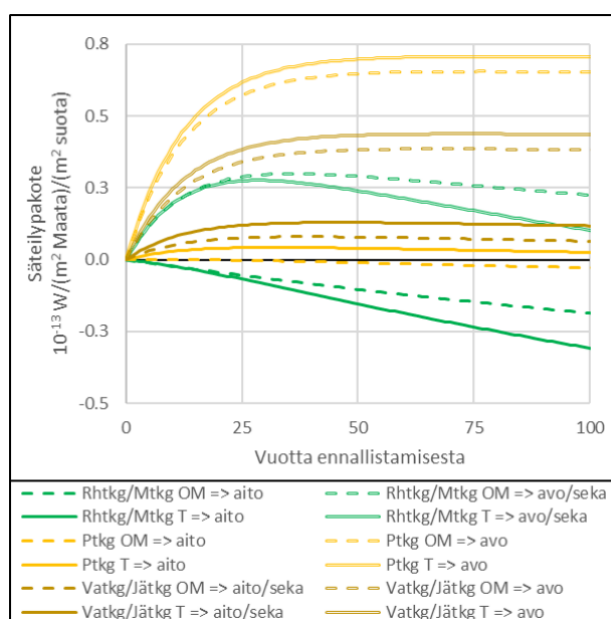
Suometsien ennallistaminen voi olla ilmaston kannalta haitallisempaa, etenkin karun suon osalta. Karujen soiden päästöt ovat vähäiset ja niiden ennallistaminen nostaa metaanipäästöjä merkittävästi. Karut, vähäisesti ojitetut suot, joilla turpeen hajoaminen ei ole merkittävää, tulisi antaa palautua luonnontilaan ilman aktiivisia ennallistamistoimia (Ojanen, 2019a).

Rehevien soiden ennallistaminen on ilmaston kannalta suositeltavaa pitkällä aikavälillä tarkasteltuna, sillä ne muuttuvat lopulta hiilinieluiksi (Kareksala ja muut, 2021, s. 2). Tiettyjen suotyyppien osalta tähän saattaa kuitenkin kulua pitkä aika. Ilmastoa viilentävä vaikutus saavutetaan vasta pitkän ajan kuluttua, rehevän suon osalta noin 60 vuoden jälkeen. Karujen soiden ilmastoa lämmittävä vaikutus voi jatkua jopa satoja vuosia. (kuva 13.) Ennallistamisen ilmastovaikutuksista metsäojitettujen soiden osalta boreaalisella vyöhykkeellä on kuitenkin vasta vähän tutkimustietoa (Kareksala ja muut, 2021).



Kuva 13. Ennallistamisen ilmastoa lämmittävä vaikutus karulla ja rehevällä suolla ilman puustoa (Rönty, 2020, alkuperäinen lähde Helsingin yliopisto/Paavo Ojanen).

Suurimmat ilmastohyödyt voidaan saavuttaa rehevien metsäojitettujen ja merkittävästi muokattujen (turvepellot ja turpeennostoalueet) soiden ennallistamisella. Näiden soiden päästöt ovat merkittävämmät kuin karujen soiden ja ilmastohyödyt saavutetaan lyhyellä aikavälillä. Toisaalta rehevien soiden ennallistaminen on vesistön kannalta kuormittavampaa. Vesistökuormitusta voidaan ehkäistä suhteuttamalla ennallistamistoimenpiteet niin, että ne eivät ylitä vesistön kuormituskyvyn. (Lång ja muut, 2021.) Kuvassa 14 havainnollistetaan metsäojitettujen soiden ennallistamisen vaikutusta ilmastoon. Huomioon on otettu ravinteisuustaso, ojitetun suon kuivatusaste ja tavoiteltu ennallistamisaste. Säteilypakote kuvastaa ilmastoa viilentävää tai lämmittävää vaikutusta. Kuvasta nähdään, että ennallistamalla rehevät ojitetut suot aidoiksi puustoisiksi soiksi, ilmastohyötyjä saavutetaan jo lyhyellä aikavälillä.



Kuva 14. Metsäojitettujen soiden ennallistamisen aiheuttamien maaperän päästömuutosten vaikutus säteilypakotteen kehittymiseen. Positiivinen arvo = lämmittävä vaikutus, negatiivinen arvo = viilentävä vaikutus. Ruohoturvekangas (Rhtkg), mustikkaturvekangas (Mtkg), puolukkaturvekangas (Ptkg), varputurvekangas (Vatkg), jäkäläturvekangas (Jätkg); Ojitetun suon kuivatusaste: ojikko- tai muuttuma-aste (OM), turvekangasaste (T); Ennallistamisen tavoite: Aito puustoinen suo (aito), sekatyypin suo (seka), avosuo (avo). (Kareksala ja muut, 2021, s. 63.)

Ennallistamisen päästökertoimet vaihtelevat riippuen suotyypistä sekä metsäojitetun suon osalta siitä, kuinka märkää suotyyppiä se tulee vastaamaan (Vasander, 2023). Vetisemmät ja ravinteikkaat suot tuottavat enemmän metaanipäästöjä riippumatta siitä onko suo luonnontilainen vai ennallistettu (Hotanen ja muut, 2023). Hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästöt ovat suuremmat kuivemmillä soilla, johtuen happipitoisuudesta mikä kiihdyttää turpeen hajoamista ja hiilen vapautumista (Hiilikompensaatioinfo, 2024; Ojanen & Minkkinen 2020, s. 192.) Ennallistamisessa tulee välttää liiallista suon kosteuden lisäämistä, sillä muuten ilmastohyötyjä ei välttämättä saavuteta (Lång ja muut, 2022). Taulukossa 4 näkyy ennallistamisen vaikutuksia suoluontoon, vesistöön ja ilmastoon eri aikaväleillä tarkasteltuna.

Ekosysteemien kasvihuonekaasutaseen muodostumiseen vaikuttavat sääolosuhteet, kasvupaikka sekä puuston kasvu. Kasvihuonekaasutase voi siis vaihdella merkittävästi metsäojitettujen ja ennallistettujen soiden osalta. (Hotanen ja muut, 2023.) Kasvihuonekaasutase on kasvihuonekaasupäästöjen ja nielujen, eli kasvihuonekaasuja ilmakehästä sitovien hiilivarastojen erotus (Metsänhoidon suositukset, n.d.).

Taulukko 4. Ennallistamisen vaikutukset eri aikaväleillä tarkasteltuna (Ketola ja muut, 2021, s. 8).

	Lyhytaikainen vaikutus alle 10 vuotta	Keskipitkä vaikutus 10–50 vuotta	Pitkäaikainen vaikutus yli 50 vuotta
Rehevät suot			
Suoluonto	Suon toiminnallisuus on palautunut. Suolajiston palautuminen on käynnistynyt.	Suon toiminnallisuus on palautunut. Suolajiston palautuminen on hyvässä vauhdissa ja tyypillisin lajisto on palautunut.	Suon toiminnallisuus on luonnontilaisen kaltaista. Soiden lajisto on palautunut ja vain osa huonoimmin leviävistä lajeista puuttuu.
Vesistö	Mahdollisia voimakkaita mutta väheneviä ennallistamisesta johtuvia vesistöhaittoja erityisesti fosforista.	Fosfori ja typpi ovat palautuneet ennallistamista edeltäneelle tasolle. Ennallistettu ala alkaa puhdistaa valuma-alueen vesiä.	Ennallistettu ala puhdistaa valuma-alueen vesiä ja toimii luonnontilaisen suon vesivaraston tavoin valumia tasaavana.
Ilmasto	Ilmastovaikutukset voivat olla myönteisiä, kunhan ei ennallisteta avoimeksi ja liiallisen märäksi suoksi.	Ilmastovaikutukset ovat usein myönteisiä, kunhan ei ennallisteta avoimeksi ja liiallisen märäksi suoksi.	Ilmastovaikutukset ovat yleensä myönteisiä, kunhan ei ennallisteta avoimeksi ja liiallisen märäksi suoksi.
Karut suot			
Suoluonto	Suon toiminnallisuus on pitkälti palautunut. Suolajiston palautuminen on käynnistynyt.	Suon toiminnallisuus on palautunut. Suon lajiston palautuminen on hyvässä vauhdissa ja tyypillisin lajisto on palautunut.	Suon toiminnallisuus on luonnontilaisen kaltaista. Soiden lajisto on palautunut ja vain osa huonoimmin leviävistä lajeista puuttuu.
Vesistö	Ennallistamisen haitalliset vesistövaikutukset ovat poistuneet. Typen osalta ojituksen aiheuttama lisä on poistunut.	Fosforin osalta ojituksen aiheuttama lisä on poistunut. Ennallistettu ala puhdistaa valuma-alueen vesiä.	Ennallistettu ala puhdistaa valuma-alueen vesiä ja toimii luonnontilaisen suon vesivaraston tavoin valumia tasaavana.
Ilmasto	Ilmastovaikutus on yleensä kielteinen. Metaanin tuotanto kumoo hiilidioksidin sidonnan myönteiset vaikutukset.	Ilmastovaikutus on yleensä kielteinen. Metaanin tuotanto kumoo hiilidioksidin sidonnan myönteiset vaikutukset.	Ilmastovaikutus on usein kielteinen, harvemmin myönteinen. Metaanin tuotanto kumoo hiilidioksidin sidonnan myönteiset vaikutukset.

4 ENNALLISTAMISEN TAVOITTEET JA TOTEUTUS

Ennallistamisessa pyritään palauttamaan suon ekosysteemi luonnontilaiseksi suokasvillisuutta palauttamalla ja edistämällä turpeen uudelleen kertymistä (Aro ja muut, 2023). Ennallistaminen tapahtuu vettämällä eli nostamalla suon pohjavedenpinta lähelle maanpintaa patojen ja pengerryksien avulla. Ojia voidaan myös tukkia. Vedenpinnan säätely toteutetaan patoihin asennettavilla ylivirtaamaputkilla. (Aapala ja muut, 2013; Aro ja muut, 2023.) Ojien täyttäminen ja patoaminen tehdään yleensä kaivinkoneella tai tarvittaessa käsityönä (Aapala ja muut, 2013, s. 121). Mahdolliset puustonkorjuutoimet ajoitetaan talveen ja suoritetaan ennen ojien tukkimista, jolloin suo ei ole niin upottavaa. Ojien tukkimis- tai patoamisvaiheessa veden kulku ohjataan halutuille alueille. Patoaminen ja täyttö tapahtuu alueen turpeella ojien kaivuunmassoista sekä suolta. Ennallistaminen patoamalla voi olla tarpeen, jos ojien täyttö ei ole mahdollista ojien koon, syöpyneisyyden tai ojamateriaalin puutteen vuoksi. (Aapala ja muut, 2013.)

Vettämiseen soveltuvat sekä ohut- että paksuturpeiset suot. Paksuturpeisella suolla riskinä on jäännösturpeen irtoaminen ja sitä myötä ravinnepestöt ja kiintoainekuormitukset alapuoliseen vesistöön. Ohutturpeisten alueiden osalta tulee kiinnittää huomiota mineraaliravinteiden liukenemiseen pohjamaasta. (Aro ja muut, 2023, s. 39.) Happamat sulfaattimaat ja mustaliuskealueet ovat ennallistamiskohteina vähän tutkittuja ja niiden ennallistaminen on syytä tehdä harkiten (Ketola ja muut, 2021).

Jäännösturpeen paksuuden ja korkeuserojen vaihtelu alueen sisällä voi vaikeuttaa pohjavedenpinnan tason säätämistä tarpeeksi korkealle. Suokasvillisuus ei palaa muista toimenpiteistä huolimatta, jos pohjavedenpinta jää liian matalalle. (Aro ja muut, 2023.) Fysikaalisten (vedenpidätyskyky, maatumisaste, tiheys) ja kemiallisten (alkuainekoostumus, orgaaniset aineet ja tuhka) ominaisuuksien vaihtelu vaikeuttaa entisestään ennallistamista. (Aro ja muut, 2023; Hu & Ma, n.d.)

Se, kauanko aikaa suon palautumiseen luonnontilaiseksi kuluu, riippuu mitä ennallistamisella tavoitellaan. Suon ennallistamisessa ei pyritä palaamaan ojitusta edeltävään tilaan vaan keskitytään saamaan suo luontaisen kaltaiseksi. (Aapala & muut, 2013, s. 20.) Ennallistaminen palauttaa yleistä suolajistoa mutta harvinaisten lajien palauttaminen ei ole välttämättä mahdollista (Ketola ja muut, 2021, s. 5). Suon yleiset lajit, kuten sarakasvit, rahkasammal ja tupasvilla, palaavat ennallistetulle suolle nopeasti, mutta vaativammat lajit on vaikea palauttaa nykyisillä ennallistamistoimenpiteillä (Hotanen, 2023; Ketola ja muut, 2021). Ennallistamisen tavoitteena voi olla ilmastonmuutoksen hillitseminen, monimuotoisuuden lisääminen, vesiensuojelu tai esimerkiksi virkistyskäyttö (Aapala ja muut, 2013). Kuvassa 15 nähdään ennallistettu suonpohja.



Kuva 15. Ennallistettu suo. Kuvassa a suonpohja ennen ennallistamista. Kuvassa b suonpohja vuoden jälkeen sille suoritetun maansiirron ja vettämisin jälkeen. Kuvassa c on kulunut kolme vuotta ennallistamisesta, ja alueelle on muodostunut luontaisesti levittäytynyttä suokasvillisuutta. (Aro ja muut, 2023, s. 39.)

Tyypillinen kustannusarvio suon ennallistamiselle on 500–1000 euroa hehtaarilta. Suolla olevan puuston mahdolliset myyntitulot voivat kompensoida kustannuksia. (Metsänhoidon suositukset, n.d.-b; Ketola ja muut, 2021.) Rahkasammaleen siirtoistutuksen kustannukset ovat 5000–10 000 euroa hehtaarilta (Aro ja muut, 2023, s. 41).

Yksityiselle maanomistajalle taloudellisesti kannattavan metsätalouskäytössä olevan suon ennallistaminen ei ole houkuttelevaa. Houkuttelevuutta vähentää entistään se, että puunmyyntitulot vähennetään ennallistamistöiden tuesta ilman pääomaverovähennystä. Suuri kertaluontoinen arvonlisäveromaksu saattaa myös olla taloudellinen este metsänomistajalle aloittaa ennallistamistyöt. (Niskanen, 2024.)

5 TURVETUOTANTOALUEEN ENNALLISTAMINEN SUOKSI

Sammaleet ja ruohovartiset kasvit palautuvat alueelle nopeasti ennallistamisen jälkeen. Vesitason nosto ja kasvillisuuden palauttaminen voi muuttaa turvetuotantoalueen hiilinieluksi kahdessa vuodessa. Turvetuotantoalueen ennallistamisen jälkeen hiilidioksidin lähteenä olevien sammaleiden on todettu muuttuvan hiilidioksidipäästöistä hiilensitojiksi, edistäen alueen hiilensidontaa. Erityisesti rahkasammaleen on havaittu parantavan ja nopeuttavan hiilensidontaa, mutta riskinä on muun kasvillisuuden syrjäyttäminen. Rahkasammal reagoi myös liialliseen vesitason muutokseen, mikä vaikuttaa negatiivisesti sen hiilensidontakykyyn. (Kivimäki ja muut, 2008; Tuittila ja muut, 2004; Waddington ja muut, 2010.)

Ketola ja muut (2021) raportissa mainitaan tutkimuksia (Beyer & Höper, 2015; Nugent ja muut, 2018) joiden mukaan suoksi ennallistettu tai ennallistumaan jätetty turvetuotantoalue voi vuosikymmenien jälkeen vastata hiilidioksidinielultaan ojittamatonta suota. Tämä kuitenkin edellyttää sen, että alue säilyttää kosteutensa. Ennallistamisesta aiheutuva metaanipäästöjen kasvu voi vaihdella suuresti. (Ketola ja muut, 2021.)

6 AURINKOVOIMARAKENTAMISEN SÄÄNTELY – LAIT JA OPPAAT

Aurinkovoimarakentamista ohjaava sääntely on olemassa, mutta teollisen mitta-kaavan aurinkovoimahankkeiden lainsäädäntöön on tulossa muutoksia. Suomessa ei ole vielä yhtenäistä valtakunnallista ohjeistoa aurinkoenergiajärjestelmien rakentamiseen, joten rakentamiseen sovelletaan tällä hetkellä voimassa olevaa maankäyttö- ja rakennuslakia (132/1999). Eduskunnan hyväksymä rakentamislaki tulee voimaan 1.1.2025, jolloin maankäyttö- ja rakennuslaki muuttuu alueidenkäyttölainsäädännöksi ja rakentamisen osuus kumotaan (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999). Opinnäytetyö perustuu ennen 1.1.2025 voimassa olleeseen lainsäädäntöön, joten opinnäytetyöprosessin aikana tulleet muutokset käsitellään vain lyhyesti kappaleessa 6.7.

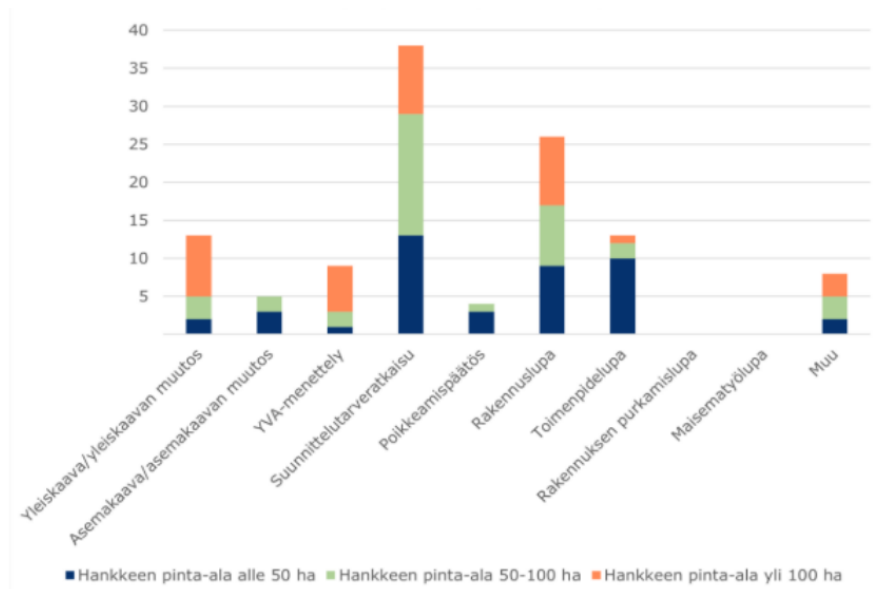
Ympäristöministeriö on asettanut ohjausryhmän, joka valmistelee opasta aurinkovoimaloiden kaavoituksen ja lupamenettelyiden tueksi. Oppaan tarkoituksena on yhtenäistää suurten aurinkovoimaloiden kaavoituksen ja rakentamisen käytäntöjä. Oppaan pyrkimyksenä on myös selvittää aurinkovoimaloiden keskeisimmät ympäristövaikutukset. (Ympäristöministeriö, n.d.)

Hankkeen vaatimat alueidenkäyttöön liittyvät suunnitelmat ja menettelyt riippuvat hankkeen koosta, vaikutuksista, sijainnista, alueen kaavatilanteesta ja eri alueidenkäytön muotojen yhteensovittamistarpeesta (kuva 16). Kuvassa 17 nähdään toteutuneet ja valmistelussa olevat aurinkovoimalan rakentamisen kaava- ja lupamenettelyt hankkeen koon mukaan. Yli 100 hehtaarin hankkeissa molemmat menettelyt, yleiskaava tai sen muutos ja suunnittelutarveratkaisu ovat yhtä yleisesti käytössä. Aurinkovoiman kaavoituksessa voidaan soveltaa maakuntakaavaa, asemakaavaa tai yleiskaavaa. Kuvassa 18, kunnille laaditun kyselyn perusteella yleisin sovellettava suunnitteluväline on yleiskaava yhdessä suunnittelutarveratkaisun kanssa.

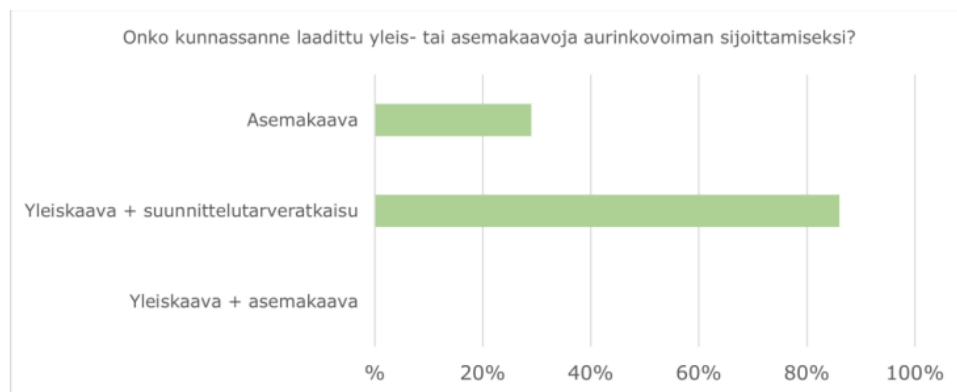
Menettely (laki, vastuuviranomainen)	Aurinkoenergia		
	Teollinen aurinkovoimala (> 1 MW)	Keskikokoinen (10kW–1 MW)	Kotitalouskäyttö (<10 kW)
Alueidenkäytön suunnittelu			
Kaavoitus (MRL, Maakunnan liitto tai kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Suunnittelutarveratkaisu (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Poikkeamispäätös (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Tuotantolaitoksen suunnittelu			
YVA (YVAL, ELY-keskus)	Ehkä	–	–
Tutkimuslupa (Muinaismuistolaki, Museovirasto)	Ehkä	–	–
Natura-arviointi (LSL)	Ehkä	–	–
Tutkimuslupa (LunL, Maanmittauslaitos)	Ehkä	–	–
Tuotantolaitoksen rakentaminen, päivittäminen ja verkkoon liittäminen			
Voimalaitosten rakentamista ja käytöstä poistamista koskevat ilmoitukset (Sähkömarkkinalaki, Energiavirasto)	Kyllä	–	–
Rakennuslupa (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Toimenpidelupa (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	Ehkä	Ehkä
Rakennuksen purkulupa (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Rakennuksen purkamisilmoitus (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Kajoamislupa (Muinaismuistolaki, Museovirasto)	Ehkä	–	–
Poikkeus luontotyyppien suojelusta (LSL, ELY-keskus)	Ehkä	–	–
Poikkeus rauhoitussäännöksistä ja eliölajien suojelusta (LSL, YM, ELY-keskus)	Ehkä	–	–
Ilmoitus Natura-alueeseen vaikuttavasta toimenpiteestä (LSL, ELY-keskus)	Ehkä	–	–

Hankelupa suurjännitejohdon rakentamiseen (Sähkömarkkinalaki, Energiavirasto, TEM)	Ehkä	–	–
Kiinteän omaisuuden käyttöoikeus			
Lunastuslupa (LunL, Maanmittauslaitos, valtioneuvosto)	Ehkä	–	–
Yhdyskuntateknisten laitteiden sijoittaminen (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	Ehkä	Ehkä
Ilmoitus johdon sijoittamisesta toisen vesialueelle (VL, ELY-keskus)	Ehkä	Ehkä	Ehkä
Kunnan suostumus (Sähkömarkkinalaki, kunta)	Ehkä	–	–

Kuva 16. Luvat ja muut hallinnolliset menettelyt aurinkoenergian tuotantolaitokselle (ELY-keskus, Menettelykäsikirja, 2024, s. 42).



Kuva 17. Vireillä olevien ja toteutettujen teollisen mittakaavan aurinkovoimalahankkeiden menettelyt (Rauhala ja muut, 2024).



Kuva 18. Laaja-alaisten maa-asenteisten aurinkovoimaloiden suunnitteluvälineet (Rauhala ja muut, 2024, s. 28).

6.1 Teollisen aurinkovoimalan luvat ja menettelyt

Teollisen mittakaavan aurinkovoimalana pidetään yli 1000 kW järjestelmää (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2024). Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat ovat kookkaita, joten niiden sijoitus tapahtuu usein haja-asutusalueille, joilla ei ole suoraan rakentamista ohjaavaa yleis- tai asemakaavaa (Rauhala ja muut, 2024, s. 32). Kuvassa 19 nähdään teollisen mittakaavan aurinkovoimaloiden tyypilliset sijoituspaikat.



Kuva 19. Teollisen mittakaavan aurinkovoimaloiden sijoituspaikat (Motiva, 2024).

Alue, jolla ei ole rakentamista suoraan ohjaavaa kaavaa voi edellyttää suunnittelutarveratkaisua tai poikkeamispäätöstä ennen rakennusluvan hakemista. Keskimääräinen käsittelyaika suunnittelutarveratkaisuhakemukselle on noin kolme kuukautta. (Suomi.fi, 2022). Rakennusluvan myöntämisen edellytyksistä suunnittelutarvealueella mainitaan MRL 137 §:ssä.

Suurien paneeliryhmien muusta alueesta erotetut sijoitukset maastoon tai laajamittaiset aurinkovoimalat vaativat vähintään maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen toimenpideluvan. Jos aurinkovoimalaa pidetään mittaluokkansa puolesta rakennuksena, se saattaa edellyttää rakennuslupaa (ELY-keskus, 2024). Rakennuslupa haetaan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta (MRL 131 §). Rakennusluvan myöntämiseen sisältyy eri edellytyksiä riippuen kaavoitusalueesta. Rakennusluvan hakeminen tapahtuu Luvat ja valvonta- palvelun kautta tai kunnan Lupa-piste.fi asiointijärjestelmässä (ELY-keskus, Menettelykäsikirja, 2024, s. 72).

Hanketoimija on velvollinen tekemään Natura-arvioinnin, jos hankkeen vaikutukset kohdistuvat Natura-alueen suojelun perusteena oleviin luontoarvoihin, heikentävät näitä arvoja tai ovat merkittäviä ja ennalta arvioiden todennäköisiä. (Luonnonsuojelulaki [LSL] 5:35 §.) Suomen Natura-2000-verkosto on laajuudeltaan 5 miljoonaa hehtaaria (Ymparisto.fi, 2025).

Vesilupa vaaditaan, jos hanke muuttaa vesistön olosuhteita kuten asemaa, syvyyttä, vedenkorkeutta tai virtaamaa, aiheuttaen luonnon vahingoittumista, vesistön tilan heikkenemistä, terveydellisiä riskejä tai haittaa kalastukselle, vesiliikenteelle tai virkistyskäytölle. Lupa vaaditaan myös, jos muutos merkittävästi vähentää luonnonkauneutta, viihtyisyyttä tai kulttuuriarvoja. (Vesilaki [VL] 3:2 §.) Tietyt hankkeet, jotka edellyttävät aina vesiluvan, mainitaan VL 3:3 §:ssä. Vesiluvan myöntää aluehallintovirasto (VL 1:7 §).

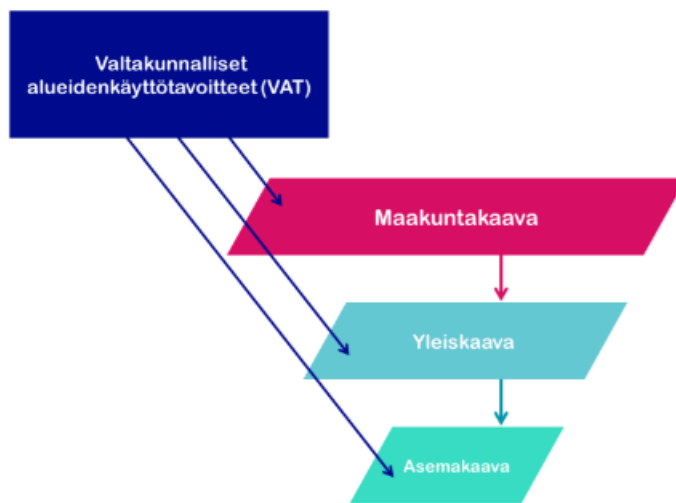
Suurjännitejohdon rakentaminen vaatii hankeluvan energiamarkkinavirastolta sen ollessa nimellisjännitteeltään vähintään 110 kilovolttia. Jos suurjännitejohto ylittää valtakunnan rajat, hankelupa pyydetään ministeriöltä. (Sähkömarkkinalaki [SML] 3:14 §.) Lisäksi sähköjohdon nimellisjännitteen ollessa vähintään 110 kilovolttia tarvitaan kunnan suostumus, jos oikeutta johdon sijoittamiseen ei perusteta lunastuslain mukaisella lunastusluvalla. Tämä koskee tilanteita, joissa sähköjohto rakennetaan muualle kuin kaavassa tätä varten varatulle alueelle. (SML 3:17 §.)

Jos hanketta varten tarvittavia alueita hankitaan pakkolunastamalla, tarvitaan lunastuslupa. Maanpäällisen, yli 15 kilometrin pituisen ja vähintään 220 kilovoltin sähköjohdon rakentaminen vaatii lunastusluvan. Lunastuslupa vaaditaan myös silloin kun hankkeeseen sovelletaan YVA-menettelyä. Jos hankealueella on tarpeen tehdä maastotutkimuksia hankkeen suunnittelun ja lunastustarpeen arvioimiseksi, haetaan tutkimuslupa maanmittauslaitokselta. (ELY-keskus, 2024.) Johtojen sijoittamisen käyttöoikeutta haetaan kunnan rakennusviranomaiselta, mikäli sijoittamisesta ei ole sovittu maanomistajan kanssa (MRL 21:161 §).

6.2 Suomen kaavoitusjärjestelmä

Kaavoituksella ohjataan maankäytön suunnittelua eri käyttötarkoituksiin. Kaavassa osoitetaan alueita esimerkiksi teitä, kaupallisia palveluita, asutusta, teollisuutta, satamaa, virkistysalueita, arvokkaita luontoalueita, maa- ja metsätalousalueita sekä tuulivoimaloita varten. Suomessa maankäytön suunnittelusta ja rakentamisen ohjauksesta vastaa Ympäristöministeriö. Kaavoitus sujuvoittaa ja mahdollistaa elinkeino- ja yhdyskuntatoimintojen kehittämisen. (Pohjanmaan liitto, 2024.)

Kaavoitusjärjestelmä muodostuu kolmesta eri kaavatasosta, joita ohjaa maankäyttö- ja rakennuslaki. Ohjaavana linjana toimii valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet (VAT), joilla valtioneuvosto määrittää koko maata koskevia merkittäviä alueidenkäytön kysymyksiä. Seuraavana tulee maakuntakaava, joka on yleispiirteinen suunnitelma alueiden käytöstä maakunnassa. Maakuntakaavan laatii maakuntaliitto ja hyväksyy ympäristöministeriö. Maakuntakaavaa tarkentaa yleiskaava, joka osoittaa alueiden käytön päämäärät. (Vaasan yleiskaava 2040, 2023, s. 3.) Viimeisenä on asemakaava, jolla kunta määrittelee alueen tulevan käytön (Ympäristö.fi, 2023). Kaavoitusjärjestelmä perustuu hierarkkiseen järjestelmään, jossa ylempi kaavataso ohjaa aina alemmaa, kuvan 20 mukaan.



Kuva 20. Kaavoitusjärjestelmän kaavatasot (Vaasan yleiskaava 2040, 2023).

6.3 Yleiskaavoitus

Yleiskaavalla ohjataan kunnan maankäyttöä pitkällä aikavälillä, se sovittaa yhteen yhdyskunnan eri toiminnot kuten asutuksen, palvelut ja työpaikat sekä virkistysalueet, ohjaten niiden sijoitusta. Jos yleiskaava koskee vain tiettyä osa-aluetta, sitä kutsutaan osayleiskaavaksi. Yleiskaava toimii ohjeena asemakaavalle ja sen laatii kunta, kunnanvaltuuston hyväksymänä. Kuntien laatiessa yhteisen yleiskaavan, sen hyväksyy kuntien yhteinen toimielin. (Ymparisto.fi, 2023.)

6.4 Asemakaavoitus

Asemakaava laaditaan alueiden yksityiskohtaista järjestämistä, rakentamista ja kehittämistä varten. Sillä myös osoitetaan tarpeelliset alueet eri tarkoituksia varten sekä ohjataan rakentamista ja muuta maankäyttöä paikallisten olosuhteiden, kaupunki- ja maisemakuvan, hyvän rakentamistavan, olemassa olevan rakennuskannan käytön edistämisen ja kaavan muun ohjaustavoitteen edellyttämällä tavalla (MRL 7:50 §). Asemakaavan laatimisesta vastaa kunta (Ympäristöministeriö, 2022).

Asemakaavan laatimista, muuttamista ja alueiden käytön järjestämistä ohjaa yleiskaava. Viranomaisten on myös varmistettava, että heidän tekemänsä päätökset ja

toimenpiteet alueiden käyttöä koskien eivät vaikeuta yleiskaavan toteutumista (MRL 5:42 §). Asemakaavan hyväksyy kunnanvaltuusto tai tarvittaessa kunnanhallitus tai lautakunta (MRL 7:52 §).

Maanrakennuslain 53 §:n mukaisesti, asemakaava on laadittava siten, että se mahdollistaa terveellisen, turvallisen ja viihtyisän elinympäristön sekä palvelujen ja liikenteen hyvän saatavuuden. Luontoympäristöä ja rakennettua ympäristöä tulee vaalia ja mahdolliset niihin liittyvät erityisarvot säilyttää. Myös riittävä virkistysmahdollisuus ja puistot kaavoitusalueella tai sen lähiympäristössä tulee ottaa huomioon. Jos asemakaava laaditaan alueelle, jolla ei ole oikeusvaikutteista yleiskaavaa, (MRL:n mukaisesti laadittu kunnan hyväksymä yleiskaava 1.1.2020 jälkeen) täytyy asemakaavassa ottaa huomioon soveltuvin osin myös yleiskaavan sisältövaatimukset (MRL 54 §).

6.5 Suunnittelutarveratkaisu

Kunta tekee suunnittelutarveratkaisun suunnittelutarvealueilla silloin kun rakentaminen kohdistuu asemakaavan ulkopuolelle (ELY-keskus, 2014, s. 1). Suunnittelutarvealueella tarkoitetaan aluetta, jonka käyttötarpeiden täyttämiseksi ryhdytään erilaisiin toimenpiteisiin kuten teiden, vesijohdon tai viemärin rakentamiseen (Ymparisto.fi, 2023). Suunnittelutarvealuetta koskevia säännöksiä voidaan soveltaa myös rakentamiseen, joka merkittävien ympäristövaikutusten vuoksi vaatii tavomaista lupamenettelyä perusteellisempaa harkintaa (MRL 1:16§).

Oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa tai rakentamislain (751/2023) 17 §:ssä tarkoitettussa rakennusjärjestyksessä suunnittelutarvealueeksi voidaan osoittaa myös alue, jonka sijainti ennakoi suunnittelua edeltävää yhdyskuntakehitystä. Suunnittelutarvealueeksi voidaan osoittaa myös alue, jossa erityisten ympäristöarvojen tai haittojen takia maankäytön suunnittelu on tarpeen. Suunnittelutarveratkaisu ei ole kuitenkaan pysyvä maankäyttöratkaisu, sillä alue voidaan osoittaa suunnittelutarvealueeksi korkeintaan kymmenen vuoden ajaksi kerrallaan (MRL 6.3 §).

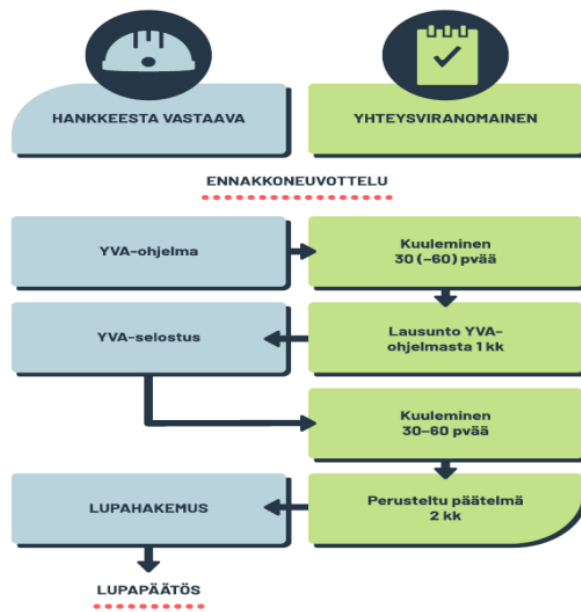
Suunnittelutarvealueiden tavoitteena on varmistaa maankäyttö, joka ilman suunnittelua voisi aiheuttaa taloudellisia, yhdyskuntarakenteellisia tai ympäristöllisiä haittoja. Samalla pyritään estämään, että alue muuttuisi yksittäisten rakennushankkeiden vuoksi sellaiseksi, ettei suunnittelulle jäisi enää vaihtoehtoja. Rakentaminen suunnittelutarvealueelle sisältää kaksivaiheisen päätöksenmenettelyn:

1. Aluksi kunta tekee suunnittelutarveratkaisun
2. Ainoastaan siinä tapauksessa, että suunnittelutarveratkaisu on myönteinen ja lainvoimainen, kunta voi myöntää hakijalle rakennusluvan

(ELY-keskus, 2014, s. 1.)

6.6 Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA)

Teollisen mittakaavan aurinkovoimalan ei tarvitse automaattisesti käydä läpi YVA-menettelyä, mutta se voi edellyttää ympäristövaikutusten arviointia esimerkiksi yksittäistapauspäätöksen perusteella, jos hankkeen katsotaan todennäköisesti aiheuttavan laadultaan ja laajuudeltaan merkittäviä ympäristövaikutuksia, myös eri hankkeiden yhteisvaikutukset huomioon ottaen. (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä [YVA] 1:3§). Yksittäistapauksessa ELY-keskus tekee päätöksen YVA-menettelyn soveltamistarpeesta. Kuvassa 21 nähdään YVA-menettelyn eri vaiheet. Aurinkoenergian tuotantoalueen vaatima suuri pinta-ala ja sen yhteyteen rakennettavat suurjännitejohdot aiheuttavat merkittävimmät ympäristövaikutukset. (ELY-keskus, Menettelykäsikirja, 2024, s. 44.)



Kuva 21. YVA-menettelyn vaiheet (ELY-keskus, Menettelykäsikirja, 2024, s. 63).

YVAA sovelletaan lain hankeluettelon mukaan hankkeisiin, jotka liittyvät energian ja aineiden siirtoon tai varastointiin, sisältäen vähintään 220 kilovoltin maanpäälliset voimajohdot, jotka ylittävät pituudeltaan 15 kilometriä (YVA 7:40.8b §). Vaikka YVA-menettelyn lain liitteen 1 hankeluettelon eivät sisällä aurinkovoimalat, mainitaan liitteen 1 kohdassa 2f: ”yli 200 hehtaarin laajuinen, yhtenäiseksi katsottavan alueen metsä-, suo- tai kosteikkoluonnon pysyväisluonteinen muuttaminen toteuttamalla uudisojituksia tai kuivattamalla ojittamattomia suo- ja kosteikkoalueita, poistamalla puusto pysyvästi tai uudistamalla alue Suomen luontaiseen lajistoon kuulumattomilla puulajeilla;” (YVA 7:40:2f §). Osa ELY-keskuksista on edellyttänyt YVA-menettelyä tähän hankeluettelon kohtaan vedoten (Rauhala ja muut, 2024).

6.7 Lupamenettely vuoden 2025 lakimuutosten jälkeen

Maankäyttö- ja rakennuslaki muuttui 1.1.2025 alueidenkäyttölaki ja se korvataan neljällä uudella lailla; rakentamislaki, alueidenkäyttölaki, yhdyskuntakehittämislaki ja yhdyskuntarakentamislaki. Alueidenkäyttölakiin on tulossa lisää tarkennuk-

sia vuoteen 2026 mennessä. Nykyinen menettely aurinkovoimahankkeelle on sijoittamislupa yhdessä rakentamisluvan kanssa ja yleis- tai asemakaava yhdessä rakentamisluvan kanssa. Suoraan rakentamisluvalla eteneminen voi myös olla mahdollista, riippuen alueen ominaisuuksista ja kunnan menettelytavasta. (Luhtala, henkilökohtainen viestintä 6.8.2025; Rakennustieto, 2025.)

Vuoden 2026 alusta alkaen tulee voimaan myös aluehallintouudistus, jonka myötä ELY-keskukset ja AVI lakkautetaan ja korvataan kymmenellä elinvoimakeskuksella sekä Lupa- ja valvontavirastolla. ELY-keskusten ympäristötehtävät ja valtaosa AVIN lupa-, ohjaus- ja valvontatehtävistä siirtyvät Lupa- ja valvontavirastoon (LVV). Uudistuksen tarkoituksena on sujuvoittaa ja yhdenmukaistaa lupien käsittelyä. (Kainuun ELY-keskus, 2025.)

7 TURVETUOTANTOALUEEN VALMISTELU AURINKOVOIMAPUUSTON RAKENTAMISTA VARTEN

Hallitusohjelman mukaisesti aurinkovoimarakentamista ohjataan myös turvetuotannosta vapautuneille alueille (Valtioneuvosto, 2023). Suoalueet ovat avoimia alueita, joihin auringonpaiste pääsee esteettä. Aurinkovoiman visuaalinen vaikutus maisemaan on myös vähäisempi niiden sijoituessa maan tasalle toisin kuin tuulivoima.

Aurinkovoimala hankkeen ensimmäinen vaihe on esiselvitys, jossa kartoitetaan soveltuvat alueet ja niiden aurinkovoimapotentiaali. Alueen soveltuvuutta arvioi-
dessa voidaan asettaa erilaisia kriteerejä kuvan 22 mukaan. Esiselvitysvaiheessa määritellään aurinkovoimalan kokoluokka ja arvioidaan sen sosiaalisia ja ympäristöllisiä vaikutuksia. (Neova, 2024; Pöyry, 2016, s. 50.) Hankkeella on tässä vaiheessa yleensä myös alustava investointipäätös. Lopullista investointipäätöstä varten selvitetään hankkeen taloudellinen kannattavuus ja varmistetaan, että hanke on teknisesti toteutettavissa (Markkanen, 2024). Lopullinen investointipäätös edellyttää, että kaikki tarvittavat luvat on hyväksytty. Aurinkovoimalan hankeprosessi kuvassa 23 osoittaa, että osa prosessin vaiheista on limittäin, jolloin useampi vaihe etenee samaan aikaan.

Tekninen suunnittelu sisältää maaperätutkimuksia, sähkösuunnittelua ja paneelien sijoitusta. Lisäksi suunnitellaan hankealueen ojitus ja vesitalous. Kun potentiaalinen alue on valittu, neuvotellaan maa-alueen vuokrasopimuksista maanomistajien kanssa ja laaditaan vuokrasopimus. (Kaurala, 2023; Neova, 2024).

Maakunnallisesti merkittävän kokoluokan tuotantolaitoksille soveltuvien alueiden kriteerit	
Kriteeri	Perustelu / kuvaus
Pinta-ala	Maakunnallisen mittakaavan näkökulmasta vaaditaan riittävän iso alue aurinkopaneelien käyttöön. Ehdotus: >60 ha.
Auringonsäteily	Vuoden aikana saatava säteily pinta-alayksikköä kohden (esim. >800 kWh/m ²), vuodenaikaisvaihtelu, varjostuksen minimointi (etäisyys mahdollisesti varjostaviin rakenteisiin)
Infrastruktuuri	Alueen saavutettavuus, ei esteitä kaapeliojitukselle
Verkkoonliityntä	Noin 2-15 MW:n tuotantolaitosten enimmäisetäisyys soveltuvasta 20 kV:n sähköasemasta noin 10-15 km. Tätä suuremmat tuotantolaitokset (maakunnallisesti merkittävä kokoluokka) on liitettävä lähtökohtaisesti 110 kV:n verkkoon, noin 15 km maksimietäisyydellä (teknistaloudellisesti järkevä etäisyys riippuu tuotantolaitoksen tehosta). Alueella oleva muu hajautettu energiantuotanto (tuulivoima, aurinkoenergia): voi vaikuttaa verkkoliittymän mahdollisuuksiin. Lähtökohtaisesti tuuli- ja aurinkovoima voidaan yhdistää.
Alusta / rakennettavuus	Tasainen tai kaltevuus etelän suuntaan (SE-S-SW), ei tulvariskiä, riittävä kantavuus. Perustusten valinnassa tulee huomioida alustan ominaisuudet.

Kuva 22. Alueen soveltuvuuden kriteerejä (Pöyry, 2016, s. 50).

Luvitusprosessi määräytyy hankekohtaisesti. Lupaviranomaisen tulee käsitellä uusiutuvan energian voimalaitosten rakentamiseen, verkkoon liittämiseen ja käyttämiseen liittyvät lupamenettelyt sekä muut hallinnolliset hyväksymismenettelyt kahden vuoden sisällä. Sähköntuotantokapasiteetin ollessa alle 150 kilowattia, aikaraja on yksi vuosi. (Laki uusiutuvan energian tuotantolaitosten lupamenettelyistä ja eräistä muista hallinnollisista menettelyistä 10 §.) Määräaikaa voidaan pidentää korkeintaan vuodella, jos kyseessä on poikkeuksellisen laajojen selvityksien tarve LSL 31 § mukaisesti tai tiettyyn vuodenaikaan sidottu luontoselvitys. Hankkeen muuttuminen olennaisesti menettelyn aikana tai vireille laitettu muutoksenhaku saattavat myös pidentää määräaikaa. Määräajan pidennystä voidaan soveltaa myös lupamenettelyiltään erityisen laajaan tai tulkinnanvaraiseen hankkeeseen. (ELY-keskus, 2024, s. 106.) Rakentamisvaiheen kesto on yleensä yhdestä

kolmeen vuotta (Fortum, 2024; OX2, n.d.). Aurinkovoimalahankkeen kesto vaihtelee riippuen tarvittavista luvista ja luvitusprosessin sujuvuudesta (Honkkanen, 2020). Edellä mainittuun taas vaikuttavat hankkeen vaikutukset, koko ja sijainti.

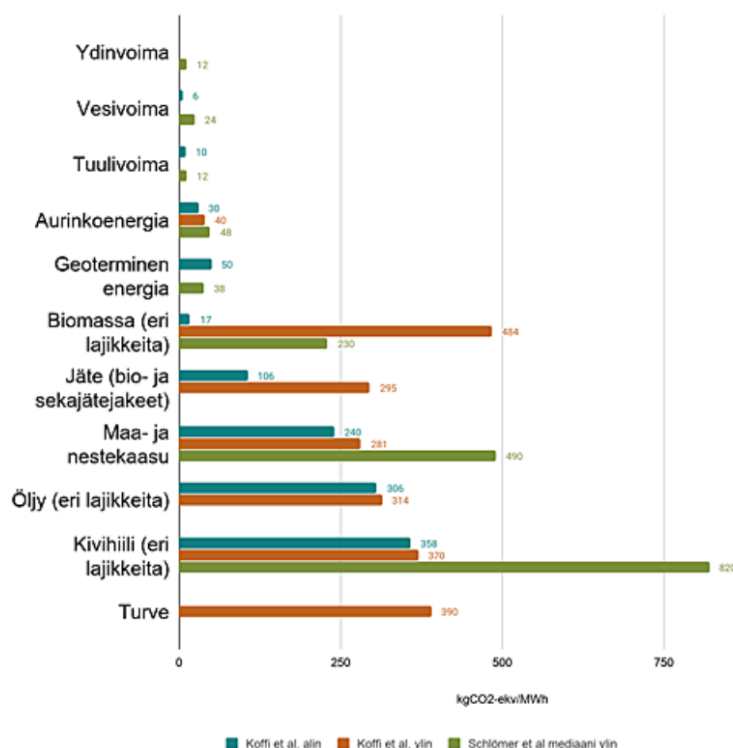


Kuva 23. Aurinkovoimalan hankeprosessin kuvaus (Kaurala, 2023).

8 AURINKOVOIMAN YMPÄRISTÖVASTUULLISUUS

Aurinkovoima on uusiutuva energiamuoto, jonka päästöt syntyvät lähinnä paneelien valmistuksesta ja rakentamisvaiheesta. Elinkaaripäästöiltään aurinkoenergia on huomattavasti fossiilisia alhaisempi (Auvinen, 2020; kuva 24). Aurinkovoimalla edistetään myös uusiutuvan sähköntuotannon ajallisen vaihtelun tasapainottamista (Ympäristöministeriö, n.d.-a).

Kiinan dominoiva asema aurinkopaneelimarkkinoilla on tehnyt muut maat riippuvaiseksi sen aurinkoenergiateknologiasta. Suurin osa, yli 95 % Euroopassa toimivista aurinkopaneeleista tulee Kiinasta. Aurinkopaneelien hinnat ovat laskeneet huomattavasti johtuen Kiinan suuresta tarjonnasta. Kiinan tuki ja verohelpotukset sekä raaka-aineiden saatavuus ovat tehneet aurinkopaneelien tuotannosta Kiinassa kannattavaa. (McWilliams ja muut, 2024.)



Kuva 24. Eri energialähteiden elinkaari päästöjä (Auvinen, 2020; Koffi ja muut 2017 ja Schlömer ja muut, 2014).

8.1 Päästöt

Sähköntuotannon painottuminen vähähiilisempään ja prosessien kehittyminen ovat supistaneet aurinkopaneelien valmistuksesta aiheutuvia päästöjä 45 % vuosien 2011–2021 välillä. Suurimmat CO₂ päästöt syntyvät yksinomaan polysilikonin eli puhtaan piin tuotannosta, joka toimii aurinkokennojen puolijohteena (International Energy Agency [IEA], 2022, s. 40, 42; Wickerman, 2024.) Aurinkovoimalan hiilidioksidikompensaatio elinkaaren aikana on kuitenkin suurempi kuin moduulien valmistuksen aikaansaamat päästöt; 1 GW aurinkosähköä vastaa vuosittain 1.5 miljoonan tonnin vuosittaista päästövähennystä hiilivoimalan energiantuotannosta syntyvistä hiilidioksidipäästöistä (IEA, 2022; IEA, 2020). Kuljetuksen osuus kokonaispäästöistä ei ole merkittävä, ollen ainoastaan 3 % (IEA, 2022, s. 6).

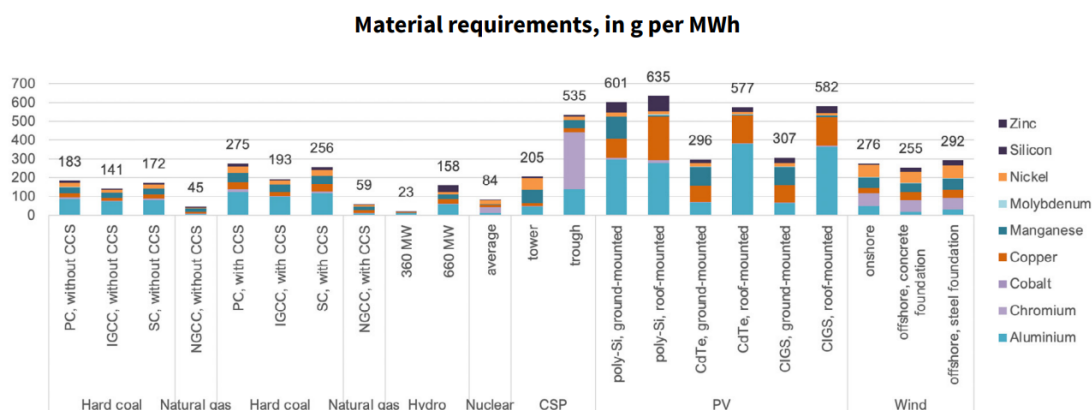
Uusiutuvan energian käytöllä voidaan kompensoida aurinkopaneelien valmistuksesta aiheutuvia päästöjä. Aurinkopaneelien tuotanto painottuu kuitenkin Kiinaan, jossa sähköntuotannosta 62 % tuotetaan edelleen hiilellä. Uusiutuvien energialähteiden käyttö on kuitenkin osoittanut kasvua ja Kiina on myös asettanut tavoitteeksi olla hiilineutraali ennen vuotta 2060. (Hongqiao ja muut, 2023; IEA, 2024.) IPCC:n mukaan teollisen mittakaavan aurinkopaneelien elinkaaren aikaiset päästöt ovat noin 48 g CO₂-ekv/kWh. Verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin kuten hiileen (820 g CO₂-ekv/kWh) ja kaasuun (490 g CO₂-ekv/kWh), aurinkopaneelien elinkaaren aikaiset päästöt ovat huomattavasti pienemmät. (IPCC, 2021 s. 1335.) Aurinkovoima on merkittävä askel kohti hiilineutraalia sähköntuotantoa ja yhteiskuntaa.

Bosmans ja muut (2023) suorittamassa tutkimuksessa aurinkovoimaloiden kasvihuonekaasupäästöjä on arvioitu globaalisti. Tutkimuksessa keskeisimmäksi vaikuttavaksi tekijäksi hiilijalanjälkeen nousi paneelityyppi. Korkean säteilyn omaavat maat mahdollistavat lähtökohtaisesti pienemmän hiilijalanjäljen, sillä aurinkopaneelit pystyvät tuottamaan enemmän sähköä, mutta yksikiteisen piikennon energiantensiivinen valmistusprosessi saattaa kumota säteilyn tuoman hyödyn kasvat-

taen hiilijalanjälkeä. Keskimääräiseksi kasvihuonekaasupäästökseksi teollisen mittakaavan aurinkovoimalalle saatiin 58,7 g CO₂-ekv/kWh. Maailmanlaajuisesti aurinkosähköjärjestelmien yhteenlasketusta vuosittaisesta 457 TWh:n tuotannosta, 99,6 % pystyttiin tuottamaan hiilijalanjäljellä, joka jäi alle 100 CO₂-ekv/kWh.

De Wild-Scholten ja muut (2014) tutkimuksen mukaan Suomessa aurinkosähköjärjestelmän hiilijalanjäljen on arvioitu olevan 81 g CO₂-ek/kWh. Keskimäärin aurinkosähkön tuotannosta maailmanlaajuisesti syntyy 55 g CO₂-ek/kWh. Tutkimuksessa aurinkopaneelien iäksi oletettiin 30 vuotta, suorituskertoimena käytettiin 0,75 ja tehon oletettiin heikkenevän 0,23 % vuodessa. Huomioon otettiin myös aurinkopaneelien valmistusmaan sähkön tuotantotapa. Valmistusprosessissa ei huomioitu elinkaaren loppuvaihetta. (De Wild-Scholten ja muut, 2014.) Aurinkopaneelien hiilijalanjälki vaihtelee riippuen paneelityypistä, sijainnista sekä valmistuksessa käytetystä energialähteestä. Suurin osa hiilijalanjäljestä koostuu raaka-aineiden hankinnasta ja paneelien valmistuksesta.

Aurinkosähkön ongelmallinen puoli on sen teknologian mahdollistavien mineraalien tarve (The United Nations Economic Commission of Europe [UNECE], 2021). Maa-asennettu aurinkosähköjärjestelmä monikiteisillä aurinkopaneeleilla on yksi materiaali-intensiivisimmistä energialähteistä. Kuvasta 25 nähdään, että maa-asenteiseen tuulivoimaan verrattuna, materiaalin tarve maa-asenteisella aurinkosähköjärjestelmällä, jossa on monikiteiset aurinkopaneelit, on yli kaksinkertainen.



Kuva 25. Eri energialähteiden materiaalien tarve (UNECE, 2021).

8.2 Ympäristö-, ilmasto- ja maaperäpäästöjen hallintakeinot

Aurinkovoimaloiden vaikutuksista luonnon monimuotoisuuteen ei ole vielä kattavaa tutkimustietoa, mutta mahdollisina haittoina on esitetty mikroilmaston muutokset, lintujen törmäyskuolleisuus, vesihyönteisten kuolleisuus, aitauksen rajoittama maanisäkkäiden kulku sekä yhtenäisten ja yksittäisten metsäalueiden väheneminen. Aurinkovoimalan sijoituspaikalla voidaan vaikuttaa päästöihin ja monimuotoisuuden säilymiseen. Sijoittamalla aurinkovoimala alueelle, joka ei vaadi puuston poistoa tai omaa valmiin infrastruktuurin vähentää itsessään päästöjen syntymistä. Tällaisten alueiden suosiminen vähentää haitallisia vaikutuksia ympäristölle ja luonnon monimuotoisuudelle, sillä ne ovat jo valmiiksi ihmistoiminnan muokkaamia. (Alam ja muut, 2024.)

Vesistöpäästöjen huomioiminen on keskeistä suunniteltaessa aurinkovoimalaa entiselle turvetuotantoalueelle. Työmaaliikenne alueella aurinkovoimalan rakentamisen aikana altistaa vesistökuormitukselle. Turvetuotannon jälkeisten vesiensojelu rakenteiden toimivuus tulee tarkastaa, mikäli niitä hyödynnetään. Toimivilla vesiensojelu rakenteilla voidaan ehkäistä ravinne- ja kiintoaineiden kulkeutuminen vesistöön. Virtaamansäätöpatojen hyödyntäminen rakennusvaiheen jälkeen nostamalla vedenpintaa, edesauttaa turpeeseen sitoutuneiden ravinteiden pysymistä turpeessa sillä hapettomissa olosuhteissa ravinteiden vapautuminen estyy. Rakentamisvaiheen suunnittelussa otetaan huomioon maaperän kantokyky

valiten vuodenaika, jolloin on kuivaa tai routainen maa. Työkoneiden kulkua alueella tulee rajoittaa mahdollisimman vähäiseksi maan tiivistymisen ehkäisemiseksi ja kulkureitit tulee suunnitella niin, että niistä ei aiheudu haittaa alueen valuma- ja virtausreiteille. Näillä toimilla voidaan minimoida haitat maaperään ja vesitalouteen. Toiminnanharjoittajaa sitova YSL 6 § edesauttaa vesistöriskien hallintaa hyödyntämällä olemassa olevaa tietoa turvetuotannon ja jälkihoitovaiheen aikaisista tarkkailuista vesistö päästöjen ja vesistövaikutusten osalta. (Matila ja muut, 2025.)

Alam ja muut (2024) raportissa todettiin, että aurinkovoimalan perustaminen turvetuotantoalueelle nostaa maaperän hiilidioksidipäästöjä, kun taas turvetuotantoalueen vettäminen laskee niitä huomattavasti. Vettäminen haittana on metaanipäästöjen kasvu. Ilmastohyöty joka aurinkovoimalla saavutetaan verrattuna fossiilisiin energialähteisiin, tekee nämä päästöt kuitenkin minimaaliksi. Koska vettäminen vähentää hiilidioksidipäästöjä, sitä tulisi hyödyntää aurinkovoimala alueen rakennusvaiheen jälkeen. (Alam ja muut, 2024; kuva 26.)

Aiempi maankäyttö	Hiilidioksidi t CO ₂ e/ha/v	Metaani t CO ₂ e/ha/v	Dityppioksidi t CO ₂ e/ha/v	Yhteensä t CO ₂ e/ha/v
Kivennäismaa	1,38	0	0	1,38
Ruohoturvekangas (a)	9,89	0	0	9,89
Mustikkaturvekangas (b)	8,50	0	0	8,50
Puolukkaturvekangas (c)	13,98	0	0	13,98
Varputurvekangas (d)	11,56	0	0	11,56
Turvetuotantoalue	3,94	0	0	3,94
Vetetty turvetuotantoalue	-10,76	3,11	-0,9	-8,55

Kuva 26. Aurinkovoimalakäyttöön otettujen alueiden hiilidioksidipäästöjen muutos hehtaaria kohden vuoden aikana (Alam ja muut, 2024).

8.3 Ekologinen kompensatio

Ekologisen kompensaation avulla voidaan kompensoida ihmisen toiminnan aiheuttamaa haittaa luonnon monimuotoisuudelle, lisäämällä luonnon monimuotoisuutta toisaalla. Ekologista kompensatiota käytetään tapauksissa, joissa haittoja ei voida täysin välttää tai lieventää. (Ympäristöministeriö, n.d.) Ekologinen kompensatio on vapaaehtoista (Luonnonsuojelulaki [LSL] 11:98 §).

Ekologisen kompensaation tavoite on varmistaa luonnon kokonaisheikentymättömyys eli kompensaatiotoimenpiteiden on tuotettava vähintään saman verran luontohyötyjä kuin mitä aiheutuva heikennys on määrällisesti. Ekologisella kompensaatiolla voidaan pyrkiä myös luonnon kokonaisparanemaan, jolloin luontohyöty on suurempi kuin heikennys. Kompensaatioiden laadusta vastaa ELY-keskus. (Pappila ja muut, 2024.) Yksittäisen luontoarvon kompensaation sijasta parempi vaikutus saadaan kohdistamalla kompensointi kaikkiin luontoarvoihin, joihin heikennys kohdistuu, riippumatta niiden suojelullisesta asemasta (Kujala ja muut, n.d.).

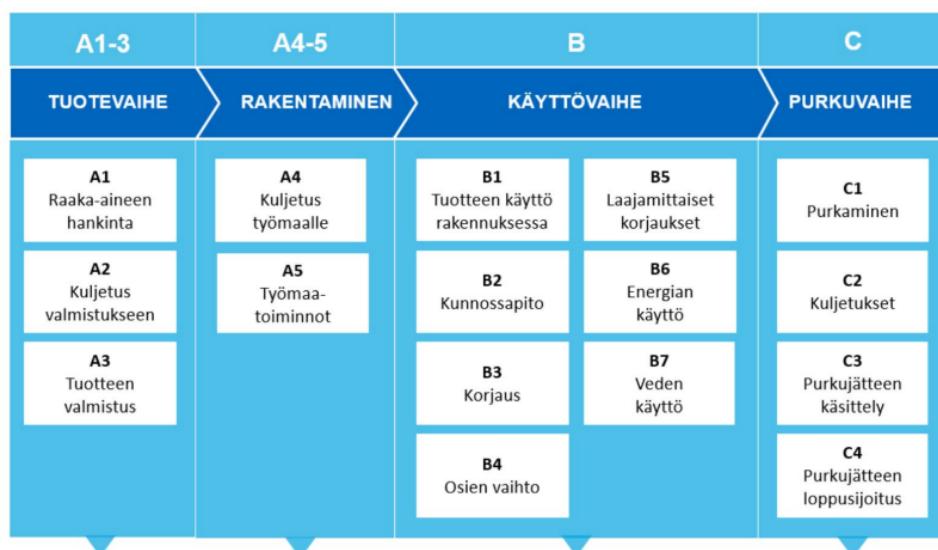
Luonnonarvojen heikennystä korvaavia toimenpiteitä kutsutaan hyvittäviksi toimenpiteiksi, joilla korvataan luontotyyppille tai eliölajiin elinympäristölle aiheutuva heikennys. Hyvitettävänä toimenpiteinä voidaan pitää esimerkiksi luonnonarvoiltaan tai kunnoltaan heikentyneen alueen ennallistamista kohti luonnontilaa tai luonnon monimuotoisuuden kannalta tavoiteltua tilaa. Tällaisiin toimenpiteisiin voi kuulua myös elinympäristön pinta-alan lisääminen ja ekologisen laadun parantaminen luontotyyppille tai eliölajille. (LSL 5:99 §.) Hyvittävät toimenpiteet tulee tehdä ennen heikennystä. Hyvitykselle asetetaan pysyvä hävittämis- ja heikentämiskielto (LSL 11:104 §). Hyvittävänä toimenpiteenä käy myös suojeluhyvitys, mikäli sillä saavutetaan parempi ekologinen lopputulos kuin LSL 11:99 §:n mukaisilla toimenpiteillä. Suojeluhyvityksellä suojellaan pysyvästi uhanalaista luontotyyppien esiintymää.

Ympäristöministeriön asetuksessa vapaaehtoisesta ekologisesta kompensaatiosta 933/2023 tarkennetaan, kuinka arvioidaan heikennettävän ja hyvitetävän alueen luonnonarvojen nykytila sekä tuleva tila. Näin voidaan määritellä aiheutuvan heikennyksen ja tuotettavan lisäyksen määrä. Hyvityksen luonnonarvovastaavuus arvioidaan sekä laadullisten, että määrällisten tekijöiden osalta ja mittayksikkönä käytetään luonnonarvohehtaaria. Luonnonarvohehtaari kuvaa alueen luonnonarvoa hehtaaria kohden suhteessa hehtaarin luonnontilaisessa tai siihen verrattavissa olevaan alueeseen. Luonnonarvohehtaarien määrä alueelle on tällöin pinta-

ala kerrottuna luonnonarvon tilalla. Heikennettävän luonnonarvon uhanalaisuustyypeille/eliöille on oma kerroin riippuen luokituksesta.

9 AURINKOVOIMAPUISTON TUOTANNON PÄÄTTÄMINEN JA KIER- TOTALOUS

Aurinkovoimalan tekninen käyttöikä tulee täyteen aurinkopaneelien osalta keskimäärin 25–40 vuoden sisällä. Aurinkopaneelit tuottavat sähköä vielä tämän jälkeen, mutta niiden teho heikentyy noin 0,5–1 prosenttia vuodessa. Käyttöikään voidaan vaikuttaa aurinkopaneelien materiaalin valinnalla, huomioimalla luonnonolosuhteet ja säännöllisellä huollolla. (Energiateollisuus, n.d.; Suodenjoki, 2024.) Aurinkovoimalan saavuttaessa elinkaaren loppuvaiheen, aloitetaan rakenteiden ja komponenttien purkaminen ja kierrätys. Kuvassa 27 nähdään aurinkovoimalan elinkaaren eri vaiheet. Aurinkovoimalan purkaminen on suhteellisen vaivatonta, sillä se koostuu lähinnä aurinkopaneelien runkorakenteista sekä perustus- ja paneelikomponenteista (Haataja ja Malkamäki, 2024).



Kuva 27. Aurinkovoimalan elinkaaren aikaiset toimet (Forus, 2023, s. 4).

9.1 Aurinkokennotyypit

Ensimmäisen sukupolven aurinkopaneelisiin lukeutuvat yksi- ja monikiteiset pii-kennot. Kiteinen pii on aurinkokennojen käytetyin puolijohdemateriaali sen saatuuden ja hyötysuhteen takia, muodostaen valtaosuuden markkinoilla olevasta aurinkokennotarjonnasta. (Ala-Myllymäki, 2016; Basengreen, 2024; Motiva, 2024.)

Näiden aurinkopaneelien hintakehitys on ollut jo pitkään laskeva, mikä on tehnyt niistä entistä suosittumia (Solarum, 2023).

Toisen sukupolven ohutkalvokenno toimii samalla periaatteella kuin pii- ja monikiteiset piikennot. (Motiva, 2024.) Ohutkalvoteknologiaan perustuvia kaupallisessa käytössä olevia aurinkokennoja ovat Cdt (kadmiumtelluridi), CIGS (kupari-indium-gallium-seleniitti) ja a-Si:H (vedytetty amorfinen pii) (Moon ja muut, 2019). Ohutkalvoteknologioista suosituin on kadmiumtelluridi. Maailmanlaajuisesti ohutkalvoteknologiaa hyödyntävien aurinkokennojen markkinaosuus kattaa noin 10 % (Băjenescu, 2020; Scarpulla ja muut, 2023.)

Kolmannen sukupolven aurinkokennot pyrkivät yhdistämään korkean hyötysuhteen ja edullisen valmistuksen. Näihin tutkimusvaiheessa oleviin aurinkokennoihin lukeutuvat esimerkiksi perovskiitti, väriaineherkistetyt ja orgaaniset kennot. Kolmannen sukupolven aurinkokennoilla on potentiaalia saavuttaa kaupallinen käyttö, mutta ne vaativat vielä lisää tutkimuksia. (Shah ja muut, 2023.)

9.1.1 Yksikiteinen piikkenno

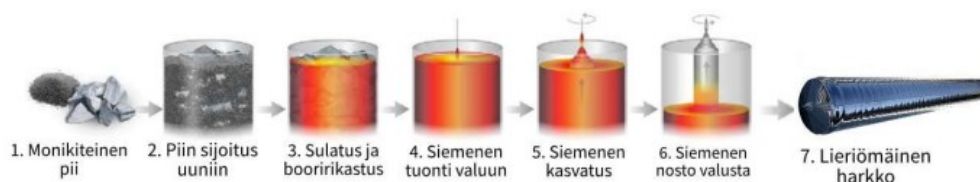
Yksikiteisen piin valmistuksessa käytetään Czochralski menetelmää, jota havainnollistaa kuva 29. Piistä muodostuu lieriömäisen muotoinen harkko, joka sahataan kiekon muotoisiksi paloiksi. (Järvinen, 2024; ZhenAn, n.d.) Aurinkokenno koostuu yksittäisestä kiekon muotoisesta piikiteestä. Kuvassa 28 nähdään yksikiteinen aurinkopaneeli.

Yksikidepaneelin hyötysuhde on 16–23 prosentin luokkaa. Sillä on pienempi lämpötilakerroin kuin monikidepaneelilla. Aurinkopaneelin lämpötilakerroin kertoo aurinkopaneelin suorituskyvyn korkeissa lämpötiloissa. (FreyrEnergy, 2024; Maysun Solar, 2023.)

Yksikiteisen piikennon valmistus on kalliimpaa kuin monikiteisen. Tämä johtuu valmistusprosessin materiaalihukasta ja energiantensiivisestä valmistuksesta. (American solar energy society, 2021.) Piin sahausvaiheessa muodostuu noin 40 prosenttia hukkamateriaalia (Rantaruoko, 2022, s. 30).



Kuva 28. Yksikiteinen aurinkopaneeli (DS New Energy, n.d.).

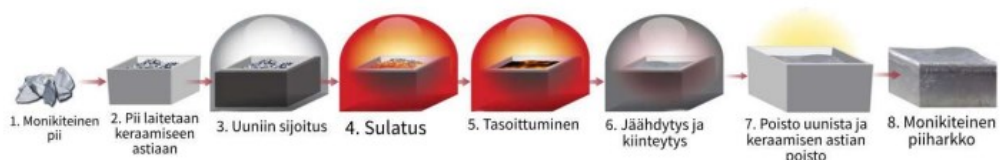


Kuva 29. Czochralski menetelmä (Järvinen, 2024, s. 16).

9.1.2 Monikiteinen piikkenno

Monikiteisen piin valmistusprosessi on yksinkertaisempi ja kustannustehokkaampi. Valmistus kuluttaa 7 kWh/kg yksikiteisen 32 kWh/kg sijaan. (Energysage, 2023; Järvinen, 2024; kuva 30.) Monikidepii muodostuu useista piikiteistä. Kiinteät piit sulatetaan sulatusastiassa, minkä jälkeen sen annetaan jäähtyä hitaasti. Hitaan jäähdytyksen aikana syntyy monikiteisiä rakenteita. Lopuksi valmis harkko leikataan kiekoksi. (Järvinen, 2024; PV Education, n.d.) Monikiteinen aurinkopaneeli nähdään kuvassa 31.

Monikidepaneelin hyötysuhde on 13–16 prosentin luokkaa. Sen lämpökerroin on suurempi eli se ei suoriudu korkeissa lämpötiloissa yhtä hyvin kuin yksikiteinen piikenno. Materiaalin kestävyys on myös huonompi johtuen materiaalin kide-rajosta. (FreyrEnergy, 2024; PV Education n.d.)



Kuva 30. Monikiteisen piharkon valmistus (Järvinen, 2024).



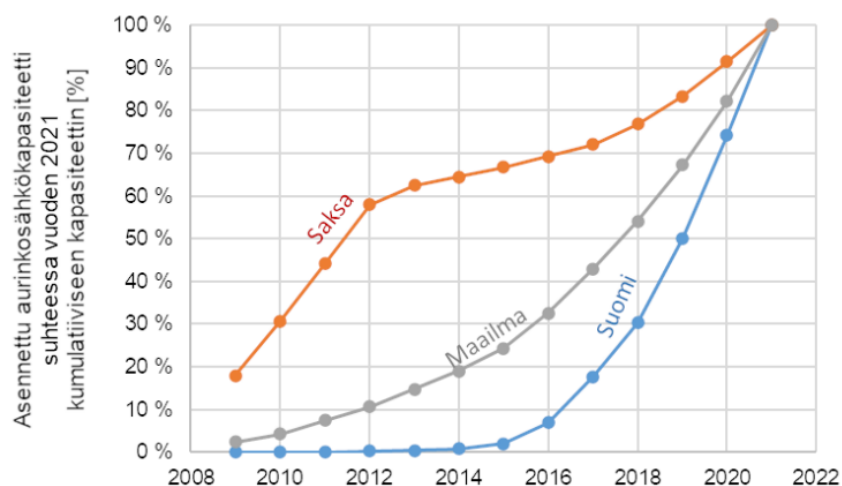
Kuva 31. Monikiteinen aurinkopaneeli (MECC, n.d.).

9.2 Aurinkopaneelien kierrätys

Aurinkopaneelien kierrätykseen sovelletaan sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätyksestä määräävää direktiiviä 2012/19/EU. Direktiivi velvoittaa valmistajan keräämään ja kierrättämään käytöstä poistuvat aurinkopaneelit. (EUR-Lex, 2012.) Ranskassa sijaitsee Euroopan ensimmäinen aurinkopaneelien kierrätykseen keskittynyt laitos (European Environment Agency, 2024).

Rantaruokon (2022) tekemässä asiantuntijahaastattelussa aurinkopaneelien kierrätyksestä, esiin nousi Suomen osalta kierrätysmateriaalin puute ja tästä johtuva este kierrätysprosessien toimivuuden arvioinnille. Suomessa aurinkopaneelien suurimittainen kierrättäminen ei ole vielä ajankohtaista sillä paneeleita ei tule tarpeeksi kierrätykseen, jolloin investointi aurinkopaneeleita kierrättävään tehtaaseen ei ole kannattava. Lisäksi harva asutus aiheuttaa logistiikkahaasteita. Todennäköisempänä pidettiin sitä, että aurinkopaneelit viedään kierrätettäväksi ulkomaille, esimerkiksi saksaan. Muissa Euroopan maissa käytettyjä kierrätysmalleja voitaisiin soveltaa Suomessakin, mutta kuten edellä todettiin, se vaatii riittävästi materiaalivirtaa, mahdollisesti myös ulkomailta tulevia aurinkopaneeleja.

Suomessa aurinkopaneelien käyttö on yleistynyt vasta viime vuosina ja aurinkovoimalle on ennustettu huomattavaa kasvua (Fingrid, 2024; Haapaniemi ja muut, 2022; kuva 32; kuva 33). Aurinkopaneelien iän ollessa 20–45 vuotta, kierrätys tulee olemaan ajankohtaista Suomessa seuraavien vuosikymmenten aikana. Teollisten aurinkovoimapuistojen yleistyminen Suomessa tulee lisäämään entisestään kierrätettävien aurinkopaneelien määrää.

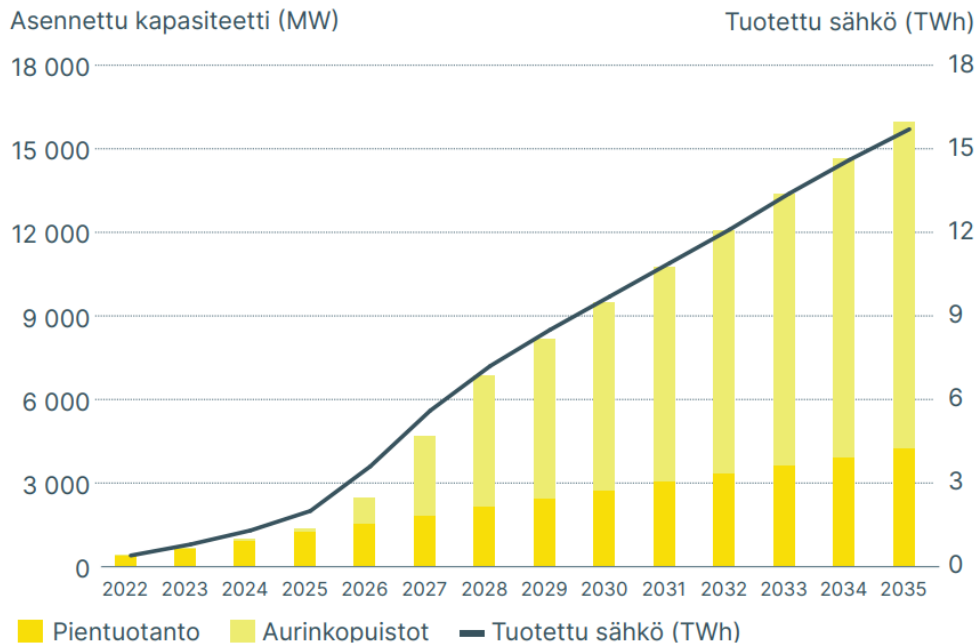


Kuva 32. Asennetun aurinkosähkökapasiteetin kasvu Suomessa, Saksassa ja globaalisti (Haapaniemi ja muut, 2022).

Aurinkovoima

Fingridin ennuste, syyskuu 2024.

FINGRID



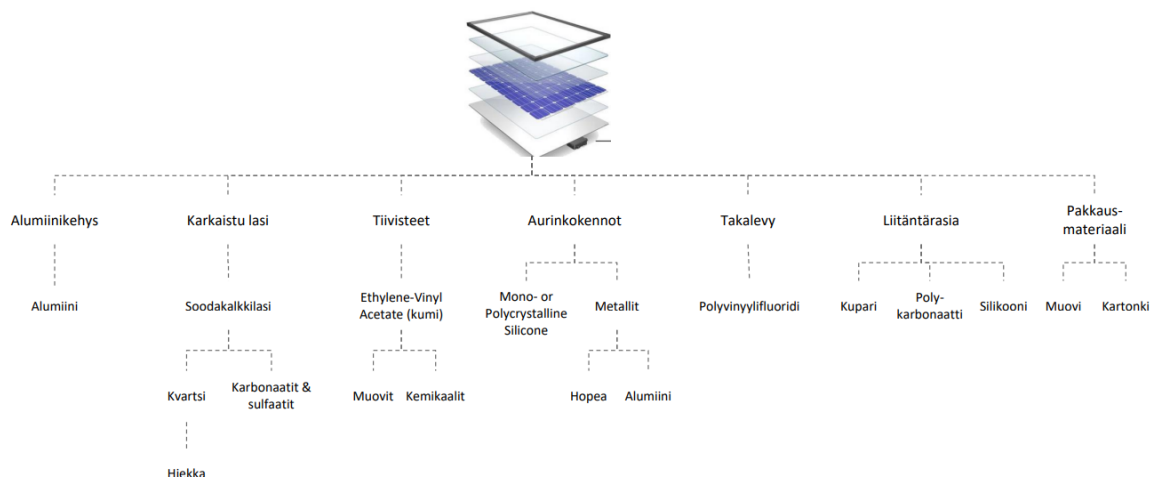
Kuva 33. Fingridin ennuste aurinkovoiman kasvusta tulevina vuosina (Fingrid, 2024).

9.3 Kierrätysprosessi

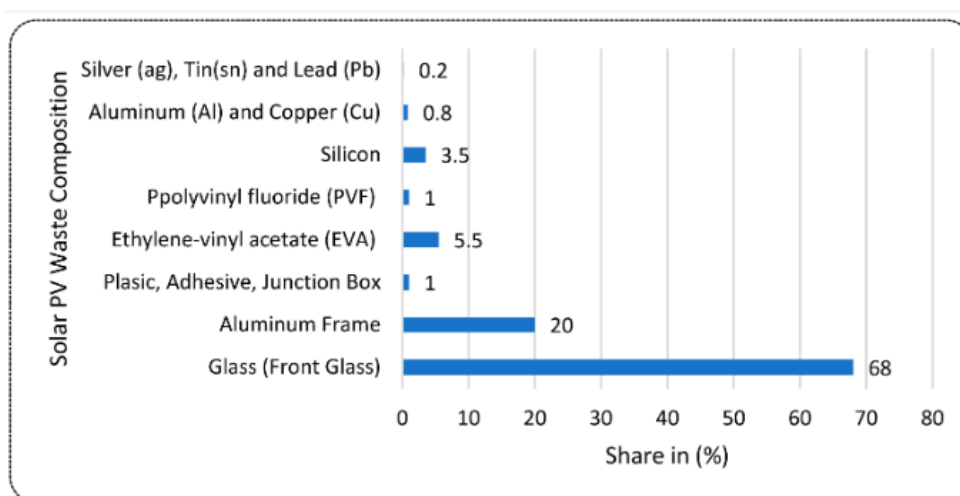
Kierrätysprosessi voidaan toteuttaa eri menetelmien (kemiallinen, mekaaninen, termien) yhdistelmällä. Piikidekennojen kierrätyksessä yleisin lähestymistapa on mekaaninen menetelmä ja sen käyttö yksinään on yleistä. Syyt sen laajan suosioon perustuvat sen kustannus- ja energiatehokkuuteen. (Ali ja muut, 2024; Menéndez, 2019.)

Aurinkopaneelien materiaalien talteenotossa ja uudelleenkäytössä hyödynnetään mekaanista, termistä ja kemiallista menetelmää. Näillä menetelmillä pyritään erottamaan lasi, aurinkokennot ja kapselointiaine toisistaan. Etyyli-vinyylisetaatti (EVA) on yleisin kapselointiaine, jolla kiinnitetään piikennot lasikerrosten väliin aurinkopaneelin taustalevyä vasten. EVA kapseloi aurinkokennot ilma- ja pölytiivisiin olosuhteisiin. (IEA, 2018; kuva 37; MyTech, 2020; Ndalloka ja muut, 2024.) Kuva

34 ja 35 havainnollistavat yksi- ja monikiteisen aurinkopaneelin eri komponenttien sisältämät materiaalit ja niiden osuuden.



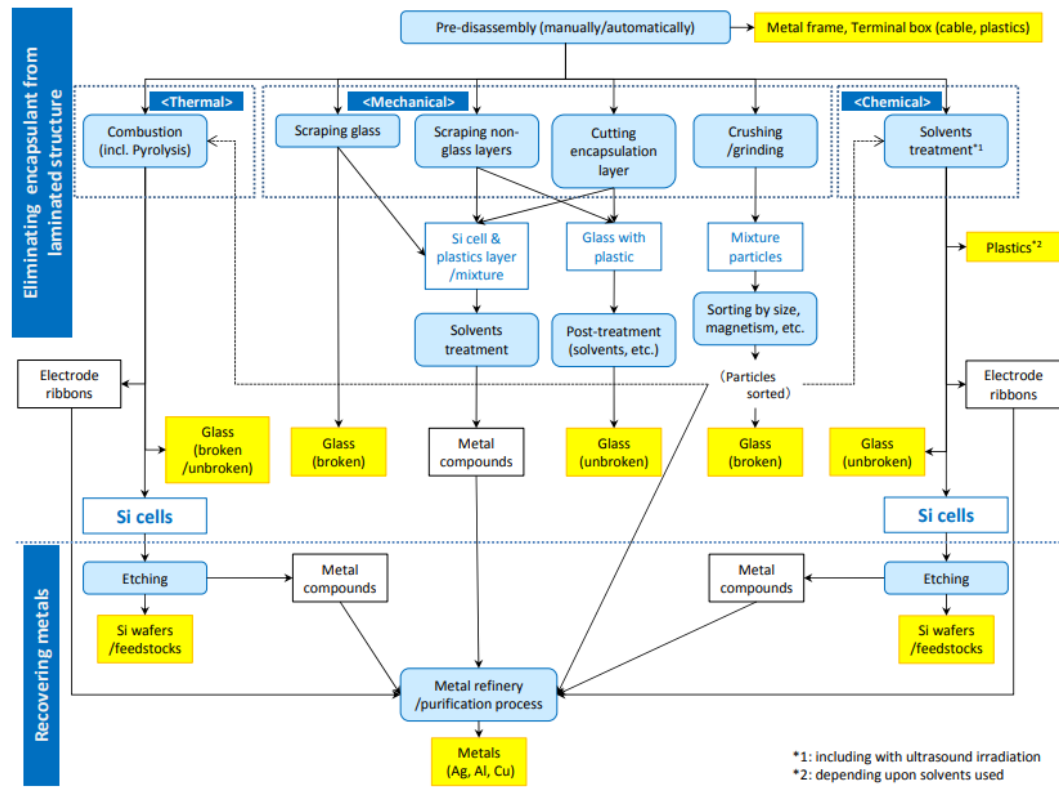
Kuva 34. Piipohjaisten aurinkopaneelien komponenttien materiaalit (Panula ja muut, n.d.).



Kuva 35. Perinteisen piipohjaisen aurinkopaneelin sisältämä materiaalmäärä prosentteina (Ali ja muut, 2024).

Kierrätysprosessi piikidekennolle koostuu kolmesta vaiheesta ja alkaa liitântärasian ja alumiinikehysten poistolla. Tämä vaihe voidaan suorittaa manuaalisesti tai automaattisesti. Seuraava vaihe on delaminointi jossa poistetaan aurinkopaneelin ongelmallisin osuus eli kapselointikerros. Viimeisessä vaiheessa talteenotetut metallit ja pii puhdistetaan. Termisellä ja kemiallisella menetelmällä erotetut

piikennot voidaan etsata eli syövyttää ja kierrättää uusiksi piikiekoiksi. Piikentöjen sisältämät metallit, alumiini, hopea ja kupari voidaan ottaa talteen myös syövyttämällä tai käsitellä metallinajalostamossa. (kuva 36.)



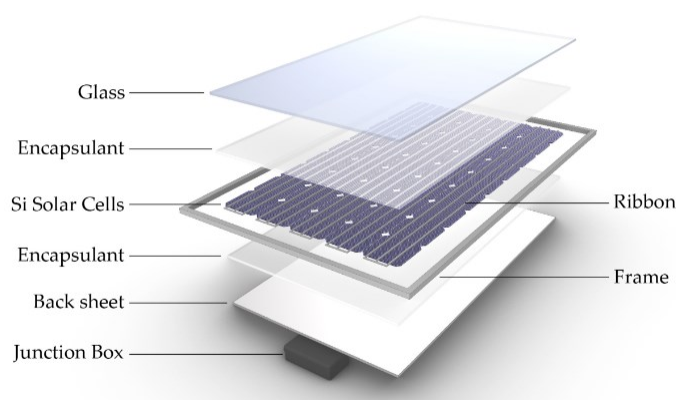
Kuva 36. Piikidekennöjen kierrätysprosessi eri menetelmillä (IEA, 2018).

Aurinkopaneelin sisältämä materiaalmäärä vaihtelee riippuen aurinkopaneelin tyypistä, mutta vallitsevin materiaali on lasi. Mekaaninen prosessi voidaan toteuttaa usealla eri tavalla riippuen mitä materiaaleja halutaan talteenottaa. Osalla prosesseista myös lasi on mahdollista talteenottaa ehjänä. Yleensä mekaanisella menetelmällä talteenotettu lasi sisältää kuitenkin epäpuhtauksia ja on heikompi laatu verrattuna toisiin menetelmiin. Menetelmän haittana on myös muiden talteenotettujen materiaalien alempi puhtausaste sekä matalampi arvokkaiden materiaalien saanti. Mekaanisella menetelmällä saadaan talteen yli 85 % aurinkopaneelin keskeisistä materiaaleista, mikä täyttää EU:n tämänhetkisen kierrätystavoitteen. Aurinkopaneelin sisältämät metallit kuten alumiini ja kupari voidaan

kierrättää. (Ali ja muut, 2024; EUR-Lex, 2012; IEA, 2018; International Renewable Energy Agency, 2016; Ndalloka ja muut, 2024.)

Terminen menetelmä on energiaintensiivinen prosessi, mutta sen etuna on sekä lasin että piikentöjen talteenotto ehjänä mikä lisää kierrätysmateriaalin markkina-arvoa. Termisessä prosessi käytetään korkeita lämpötiloja (500-600 °C), jossa aurinkopaneelin polymeerikomponentit hajoavat ja jäljelle jääneet komponentit, lasi, piikentöt ja metalli voidaan hyödyntää. Käytetyin menetelmä on pyrolyysi, jossa korkea lämpötila muodostetaan hapettomassa tilassa estäen materiaalin palamisen. Pyrolyysin haittana on hidas prosessi, joka rasittaa lasia saaden sen hajoamaan. (Diez-Suarez ja muut, 2024; IEA, 2018; Kamano ja muut, 2022.)

Kemiallinen menetelmä perustuu erilaisten liuottimien kuten typpihapon ja natriumhydroksidin käyttöön, jossa kemialliset reaktiot erottavat komponentit toisistaan. Haittapuolena on pitkä käsittelyaika, mutta piikentöjen palautusaste on huomattavasti suurempi ja puhtaampi muihin menetelmiin verrattuina. (IEA, 2018; Ndalloka ja muut, 2024.) Haittapuolena on myrkyllisten kemikaalien aiheuttamat ympäristö- ja terveysriskit (Chowdhury ja muut, 2020).



Kuva 37. Piikentötekniikkaan perustuvan aurinkomoduulin rakenne (Ko ja muut 2023).

10 HEININEVA HANKKEEN LUVITUS JA YMPÄRISTÖVASTUU

EPV Aurinkovoiman Heininevan aurinkopuisto on ensimmäinen hanke, joka rakennetaan entiselle turvetuotantoalueelle. Pinta-alaltaan 120 hehtaaria ja aurinkopaneeleja 123 00 kappaletta omaava, tekee siitä yhden suomen suurimmista aurinkovoimapuistoista. Sähköntuotanto tulee olemaan yli 80 gigawattituntia vuodessa. Turvetuotannon aikainen toiminnanharjoittaja on ollut EPV Energia Oy:n täysosistuksessa oleva tytäryhtiö EPV Aluevarannot Oy.

Heininevan alue on ollut turvetuotanto käytössä vuodesta 2000 alkaen ja sille on myönnetty toistaiseksi voimassa oleva ympäristölupa aluehallintovirastolta vuonna 2014. Tuotantopinta-ala on ollut 127,7 hehtaaria. Turvetuotanto päättyi vuonna 2021 ja investointipäätös aurinkovoima hankkeelle saatiin 2023. Sähköntuotannon on tarkoitus alkaa täydellä kapasiteetilla loppuvuodesta 2025.

Hankkeen kokonaiskustannukseksi on arvioitu noin 70 miljoonaa euroa. Hankkeelle on myönnetty 12 miljoonan euron tuki Euroopan unionin NextGenerationEU:n Euroopan elpymis- ja palautumissuunnitelmalta (EPV Aurinkovoima, 2022; EPV Aurinkovoima, 2024.) Hankeosion tietolähteinä on hyödynnetty hankkeen eri lupaprosesseihin liittyviä asiakirjoja, EPV:ltä saatua tietoa sekä hankkeessa toimivien urakoitsijoiden sivuilta saatuja tietoja.

10.1 Turvetuotannon päättyminen ja jälkihoito

Turvetuotannon päättyttyä vuonna 2021 alue siirtyi kahden vuoden ajaksi jälkihoitoon. Turvetuotannon aikainen ympäristölupa raukesi vuonna 2023. (EPV, Aurinkovoima, 2025.) Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus vastaa ympäristöluvassa määriteltyjen velvoitteiden täyttymisestä turvetuotannon päättyttyä. Tuotannosta poistuvat alueet tulee ilmoittaa vuosittain ELY-keskukselle. Vesienkäsittelyvelvoite päättyy tuotannon loputtua aikaisintaan kahden vuoden kuluttua, edellyttäen, että alueella on kasvipeite tai se on siirretty pysyvästi muuhun käyttöön. Tähän saakka

vedet tulee ohjata vesienkäsittelyrakenteita pitkin, kunnes ELY-keskukselle on annettu selvitys alueen tilasta ja veloitteet katsotaan päättyneeksi.

Tuotannon päättymisestä tehdään ilmoitus ennakkoon ELY-keskukselle. Alue siistitään ja turvetuotannon aikaiset tarpeettomat rakenteet poistetaan. Vesienkäsittelyä sekä päästö- ja vaikutustarkkailua jatketaan kahden vuoden ajan tai siihen saakka, kunnes tuotantoalue on siirretty muuhun käyttöön.

10.2 Aurinkovoimapuiston rakentamisen valmistelu

Hankealueella aloitettiin maaperäkartoitus vuonna 2018 kairauksella. Turvekerros vaihtelee alueella ollen 0,5–2,2 metriä. Alueen pohjamaa on osittain savea ja osittain hiekkamoreenia. Alueella ei ole yleiskaavaa tai asemakaavaa, joten rakentamista varten haettiin suunnittelutarveratkaisua MRL 137 §:n mukaan. Suunnittelutarveratkaisusta kerrotaan enemmän luvussa 6.5. Hanketta varten haettiin myös rakennuslupa, joka tuli lainvoimaiseksi kesällä 2022. Hankealueelle ei ollut tarpeen tehdä puuston poistoa tai rakentaa tieverkostoa, sillä turvetuotannon aikaista tiestöä voitiin hyödyntää. Heininevalla oli myös valmiina 110 kV:n sähkölinja, jonka läheisyyteen rakennettiin uusi sähköasema aurinkovoiman tuotantoa varten. Yhdenäisen alueen saamiseksi turvekentällä olleet ojat täytettiin turpeella ja alue tasattiin käyttämällä tasausruuvia (kuva 38).



Kuva 38. Hankealueen tasaus ennen perustuksia (EPV Aurinkovoima Oy, 2024).

Hanke vaati turvetuotannon aikaisten sarkaojien muuttamisen säätösalojiksi. Suuremmista ojitusmuutoksista tulee ilmoittaa ELY-keskukseen 60 vuorokautta ennen toimenpiteisiin ryhtymistä. Heininevan tapauksessa myös hapan sulfaattimaa edellytti ojitusilmoitusta. Happamien sulfaattimaiden takia vaadittiin lisäksi vesilain mukainen lupa. Alueelle oli jätetty turvetuotannon aikaiset vesienkäsitteilyrakenteet, joita hyödynnettiin yhdistämällä uusi säätösalojitus niihin. Ennen jälkikäyttöön siirtymistä Heininevan tarkkailuita hoidettiin turvetuotannon ympäristöluvan velvoittamalla tavalla.

Aurinkopaneelit ja telineet tuotetaan Kiinassa ja niiden vastuullisuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota. EPV käyttää ulkopuolista konsultointiyritystä Sinovoltaicia, joka on laatinut ESG raportin, johon kirjattiin myös tuotantoprosessin parannusvaatimuksista. Aurinkopaneelien raaka-aineiden ja komponenttien alkuperä on rajattu tietyiltä alueilta saapuviksi. Betoniperusrakenteet on tuotettu Suomessa.

Aurinkovoimala on toteutettu kelluvalla rakenteella. Paneelit nojaavat betoniharkkojen päällä telineissä, joiden kiinnitys maaperään on tehty kuumasinkityin kierrepaaluin (kuva 39.) Kierrepaalujen asennuksessa käytetään GPS ohjattua paa-lutuskonetta. Aurinkopaneelit nostetaan telineisiin nostokaivinkoneella. Huoltoa helpottaa jokaiselle paneelille yksilöidyt koordinaatit, joiden avulla voidaan helposti paikantaa viallinen paneeli. Kuvassa 40 ja 41 nähdään Heininevan aurinkovoimapuiston perustusten ja paneeliasennusten aloitus.



Kuva 39. Paneelirivistö Heininevalla (Kaunismäki, Hanna-Mari, 2024).



Kuva 40. Heininevan aurinkovoimapuisto kuvattuna etelästä pohjoiseen (EPV, Aurinkovoima Oy, 2024).



Kuva 41. Muuntajalohkojen 1 ja 2 paneelien asennus (EPV, Aurinkovoima Oy, 2024).

10.3 Aurinkovoimapuiston rakentamisen aikaiset ympäristökysymykset

Heininevan hankkeen ympäristövaikutusten osalta YVA:n ei katsottu olevan tarpeen. Hanke sijoittuu alueelle, joka ei ole luonnontilainen, eikä sen toiminta aiheuta merkittäviä päästöjä. Hankealue ei myöskään sijoitu Natura 2000 verkoston tai muiden luonnonsuojelualueiden läheisyyteen. Hankealueelta on olemassa turvetuotannon aikaisia luontoselvityksiä.

Hankkeesta ei aiheudu haittaa ympäröivälle maankäytölle, sillä alue on jo ennestään ollut energiantuotantokäytössä. Maisemaan kohdistuvaa haittaa ei ole sillä aurinkopaneelit sijaitsevat maan tasalla ja aluetta ympäröivä puusto vähentää näkyvyyttä entisestään. Hankkeen välittömässä läheisyydessä ei myöskään ole asutusta.

Erityisesti vesistövaikutukset ovat nousseet esille aurinkovoimaloiden osalta. Käytännön tietoa teollisen mittakaavan aurinkovoimaloiden vaikutuksista vesistöön ei ole vielä kertynyt Suomessa edes maatalousmaiden ja metsien osalta, puhumattakaan turvetuotantoalueille sijoittuvista aurinkovoimaloista. (Matila ja muut, 2025). Aurinkovoimalan perustamista voidaan ajatella rinnastettavan turvetuotannon aiheuttamiin vesistövaikutuksiin rakentamistoimenpiteiden takia, mutta tähän vaikuttaa olennaisesti myös jäännösturpeen paksuus. Toisaalta aurinkovoimalan valmistuttua jatkuvaa ravinnekuormitusta ei enää oletettavasti tapahdu. Kasvillisuuden hyödyntäminen ja pohjamaalajin huomioiminen vesienhallintasuunnitelmassa auttaa ehkäisemään haitallisia vesistövaikutuksia.

Heininevalla kosteikolle tulevaa veden pH:ta ja sähkönjohtavuutta tarkkaillaan rakennustöiden aikana kahden viikon välein sekä rakennustöiden loputtua kahden kuukauden välein. Mikäli arvot eivät ole sallittujen rajoissa otetaan tarvittaessa lisäanalyysyjä. Vesistötarkkailua kosteikolle tulevan veden osalta ei ole tarpeen suorittaa, jos pH on vakiintunut tasolle 5 tai enemmän ja sähkönjohtavuus on alle 20 mS/m.

Entisille turvetuotantoalueille sijoitettavien aurinkovoimaloiden vesiluvan tarpeen arvioi ELY-keskus, mutta toimivaltaisena lupaviranomaisena toimii aluehallintovirasto. Vesiluvan tarvetta käsitellään luvussa 6.1. Heininevan tapauksessa vesiluvan tarve herätti eri näkemyksiä lupaviranomaisten, ELY-keskuksen ja aluehallintoviraston välillä. Varovaisuusperiaatteen nojalla happamiin sulfaattimaihin vedoten hankkeelle haettiin lopulta vesilupa.

Uuden käyttömuodon myötä useissa hankkeissa, myös tässä opinnäytetyössä suoritettua haastattelussa on tullut ilmi, että varovaisuusperiaatteeseen vedotaan herkästi. Varovaisuusperiaate perustuu YSL (527/2014) 20 §:iin. Varovaisuusperiaate jättää paljon tulkinnan varaa ympäristölupaviranomaiselle. Tihinen (2024, s. 9) kuvaa hyvin varovaisuusperiaatteen tulkinnan eri näkökulmia ja liukuvaa määritelmää. Riskin epävarmuus ympäristön pilaantumisen vaarasta voi olla syy ym-

päristölupaviranomaiselle kieltää tai myöntää lupa varovaisuusperiaatteen vedoten, sillä varmuutta toiminnan haitasta ei ole. Toisaalta ympäristölupaviranomainen voi tulkita lakia myös tiukemmin vetoamalla epävarmuuteen siitä, että toiminta voi aiheuttaa pilaantumisen haittaa ympäristölle ja antaa kielteisen päätöksen, ellei riskejä ole toiminnanharjoittajan osalta riittävästi tunnistettu ja osoitettu toimintaa turvalliseksi. Teollisen mittakaavan aurinkovoimalan osalta varovaisuusperiaatetta voidaan vesiluvan lisäksi soveltaa ympäristöluvan myöntämisessä ja YVA:n osalta. Yhtenäisten käytäntöjen puute on johtanut siihen, että ELY-keskukset tulkitsevat lakia eri tavalla. Hanketoimijan kannalta tämä aiheuttaa viivästyksiä hankkeen etenemiseen. Valmisteilla oleva opas koskien aurinkovoimaloiden kaavoitusta ja lupamenettelyjä, tulee todennäköisesti selkeyttämään prosessia (Valtioneuvosto, 2023b).

10.4 Ympäristö-, ilmasto- ja maaperäpäästöjen hallintakeinot

Happamia sulfaattimaita esiintyy erityisesti Pohjanmaalla, sillä alue on ollut merenpohjaa. Maankohoamisen ja ojituksen myötä rikkihappoiset kerrostumat ovat päässeet reagoimaan hapen kanssa, synnyttäen rikkihappoa. Rikkihappo muodostuu, kun maaperän sulfidi hapettuu sulfaatiksi, tehden maaperästä happaman. Hapan maaperä aiheuttaa metallien liukenemistä ympäristöön erityisesti kosteusolosuhteiden äkillisten muutosten, kuten tulvien ja rankkasateiden jälkeen. (GTK, 2022, Vesi.fi, n.d.)

Säätösalaajituksella pystytään hallitsemaan maaperä- ja ilmastopäästöjä. Hapamilla sulfaattimailla säätösalaajitus on yksi parhaista käyttökelpoisista tekniikoista peltoviljelys puolella (Maa- ja metsätalousministeriö, 2011). Heininevalla säätösalaajien avulla voidaan kuivina kausina nostaa vedenpintaa ja estää hapettumisen aikaansaama rikkihapon muodostuminen ja metallien liukeneminen. Märkinä kausina voidaan vastaavasti laskea vedenpintaa ja estää happamuuden ja metallien huuhtoutuminen ympäristöön. Säätösalaajilla voidaan estää myös turpeen hajoaminen ja siitä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Heininevalla on myös jätetty 15

cm turvekerros happaman savimaan päälle ehkäisemään hapettumista. Veden happamuuden hallintaa on tehostettu myös kahdella kalkkirouhepadolla.

Rakentamisen aikana vedet käsitellään turvetuotannon aikaisen kosteikon kautta, joka sisältää kaksi kalkkirouhepatoa. Kalkkirouhepadot auttavat veden happamuuden neutraloinnissa. Aurinkovoimalan tuotantovaiheessa alueen kuormitus vähenee turvetuotannon aikaiseen verrattuna, sillä aktiivista maaperän muokkausta ei enää tapahdu ja luontainen kasvittuminen alueella alkaa. Pintavalunnan aiheuttamaa eroosiota ja ravinnehuuhtoumia pystytään myös vähentämään salaojituksen avulla.

Heininevan säätösalaojituksen myötä vesi johdetaan säätökaivojen kautta laskeutusaltaisiin, josta ne jatkavat kulkuaan kasvillisuuskentälle. Kaikki vesi poistuu samasta pisteestä, helpottaen veden laadun tarkkailua. Säätökaivoja on alueella 18 kappaletta, joiden avulla vedenpinnan säätelyä voidaan hallita alueellisesti eri lohkoilla. Aurinkovoimalan käyttövaiheessa tavoiteltu vedenpinta on -30 cm maanpinnasta.

10.5 Aurinkovoimapuiston tuotannon päättäminen ja jälkihoito

Aurinkovoimapuiston tuotannon päättyessä toiminnan aikaiset tarpeettomat rakenteet poistetaan. Toiminta lopetetaan ympäristöluvan määräysten mukaisesti ja tehdään tarvittavat jälkihoitotoimenpiteet. Aurinkovoimapuiston rakenteet ja komponentit koostuvat suurimmilta osin lasista, metallista ja betonista, joten niiden kierrätys on helppoa. Alueen sähkönsiirtoyhteydet sekä kuivatus- ja tieinfra luovat mahdollisuuden hyödyntää aluetta tulevaisuudessa erilaisiin käyttötarkoituksiin niin kulutuksen kuin tuotannonkin kannalta. Seuraavia jatkokäyttömuotoja voivat olla esimerkiksi metsitys, alueen vettäminen tai peltoviljely. Seuraavasta jatkokäyttömuodosta vastaa alueen omistaja.

Aurinkopaneelien käyttöikä on noin 40 vuotta. Aurinkovoimapuiston tuotantoa voidaan kuitenkin jatkaa vaihtamalla käyttöön päähän tulleet aurinkopaneelit uusiin. Aurinkopaneelien asennuksessa voidaan hyödyntää samoja telineitä. Koska aurinkovoimateknologia kehittyy jatkuvasti, on mahdollista, että myöhemmin samalla pinta-alalla saavutetaan tehokkaampi aurinkoenergian tuotanto.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Aurinkovoimalahankkeet ovat lisääntyneet voimakkaasti viime vuosina. Tällä hetkellä pelkästään suunniteltujen hankkeiden yhteiskoko on yli 23 300 MW ja rakenteilla olevien 531 MW. Aurinkovoimalat vaativat paljon maapinta-alaa, suurimmat useita satoja hehtaareja. Turpeen energiakäytön vähentymisen myötä turvetuotantoalueet ovat nousseet potentiaalisiksi vaihtoehdoiksi niiden suuren koon ja avoimuuden kannalta. Aurinkovoimalan sijoittaminen turvetuotantoalueelle ei vaadi suurta puuston poistoa, eikä näillä alueilla ole yleensä merkittäviä luontoarvoja. Toisaalta turvetuotantoalueella toimivan aurinkovoimalan vaikutuksista vesistöön ja ilmastoon ei ole vielä tutkimustietoa. Yksi keskeinen huolenaihe on turpeen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt erityisesti rakentamisvaiheen aikana, kun aluetta joudutaan kuivattamaan. Vedenpinnan nostolla näitä hiilidioksidipäästöjä voidaan kuitenkin hallita. Aurinkovoimalan hiilijalanjälki on myös huomattavasti fossiilisia pienempi. Sijoittelu tällaiselle valmiiksi ihmisen muokkaamalle ja energiakäytössä olevalle alueelle ehkäisee myös luontokatoa toisaalla, mahdollisesti luontoarvoiltaan suuremmalla alueella.

Aurinkovoiman tuotantoketjuun liittyy myös negatiivisia ympäristö- ja ilmastovaiikutuksia, kuten aurinkopaneelien energiaintensiivinen valmistus, materiaalin tarve ja tuotannon keskittyminen Kiinaan. Prosessit ja teknologia kuitenkin kehittyvät jatkuvasti ja kierrätyksen myötä aurinkopaneelien materiaalit voidaan hyödyntää uudelleen, mikä tulee vähentämään uusien raaka-aineiden louhintaa ja siihen liittyviä ympäristövaikutuksia. Kokonaisvaltaisesti tarkasteltuna aurinkovoima on kuitenkin elinkaaripäästöiltään fossiilisia huomattavasti alhaisempi.

Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat ovat mittavia ja pitkiä hankkeita, jotka vaativat paljon suunnittelua ja selvityksiä. Teollista aurinkovoimarakentamista koskeva sääntely on olemassa, mutta siihen on tulossa muutoksia. Aurinkovoimalan sijoittaminen turvetuotantoalueelle on myös uusi maankäyttötapa, jonka yhtenä-

nen ohjeistus on vasta valmisteilla. Tämä aiheuttaa erilaisia tulkintoja lupaviranomaisten kesken, mikä osaltaan viivästyttää hankkeiden toteuttamista ja investointipäätöksiä. Uusi yhtenäinen ohjeistus, ja aluehallintouudistus on kuitenkin työ alla, ja tulee sujuvoittamaan sekä nopeuttamaan ja yhtenäistämään aurinkovoimaloiden lupaprosesseja. Mahdollisia muita lupaprosessia helpottavia toimia voisi olla aurinkovoimalahankkeiden sisällyttäminen YVA hankeluetteloon. Alueidenkäyttölakiin lisätty aurinkovoimaloita koskeva sääntely voisi myös osaltaan sujuvoittaa prosessia. Tämä opinnäytetyö perustui ennen 1.1.2025 voimassa olleeseen lainsäädäntöön, joten tämän jälkeiset muutokset kaava- ja lupamenettelyihin käsiteltiin vain lyhyesti.

Jatkokäyttömuodon valinnassa ensisijainen määräävä tekijä on turvekerroksen paksuus ja pohjamaalaji. Jatkokäyttömuodon valintaa ohjaavat myös maanomistajan tavoittelemat arvot, jotka voidaan jakaa sosiaalisiin, taloudellisiin tai ympäristöön liittyviin vaikutuksiin. Kosteusolosuhteisiin voidaan vaikuttaa ojituksilla ja padoilla, mutta kosteikon perustaminen on yleensä helpoin ja kustannustehokkain kosteimmilla turvetuotantoalueilla. Ilmastovaikutuksiltaan parhaimmat jatkokäyttömudot ovat metsitys ja suoksi ennallistaminen rehevien soiden osalta.

LÄHTEET

- Aalto, J. (2022). *Turvetuotannosta poistuneen suonpohjan viljelyskuntoon saattaminen* [AMK-opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202203103332>
- Airaksinen, A. (2024). *Suomen turvesoiden piti olla loistavia paikkoja aurinkovoimaloille, mutta toisin kävi - Tässä syy*. Tekniikka & Talous. Noudettu 2.4.2025 osoitteesta <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/suomen-turvesoiden-piti-olla-loistavia-paikkoja-aurinkovoimaloille-mutta-toisin-kavittassa-syy/628b7eb1-754d-4426-8f59-c78a75e0085d>
- Alam, A., Haara, A., Khan, M., Kilpeläinen, H., Leinonen, I., Leppänen, J., Myllykangas, J., Tolvanen, A. & Wall, A. (2024). *Aurinkovoimaloiden rakentamisen vaikutuksia ilmastoon, metsiin ja metsätalouteen: Aurinkometsä - hankkeen loppuraportti*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 95/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-988-8>
- Ala-myllymäki, E. (2016). *Aurinkodemo*. Noudettu 23.8.2024 osoitteesta https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf
- Ala-Myllymäki, E. (2016). *Aurinkodemo*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf
- Alhainen, M., Niemelä, T., Siekkinen, J., Svensberg, M., Kuittinen, J., Nurmi, J., Väyrynen, H., Rautiainen, M., Väänänen, V., Nummi, P., Berndtson, S. & Korkiakosti, P. (2015). *Kosteikko-opas*. Noudettu 6.11.2024 osoitteesta <https://www.riistainfo.fi/wp-content/uploads/2023/09/kosteikko-opas-2015.pdf>
- Ali, A., Shahid, M., Qadir, S. A., Islam, M. T., Khan, M. W., & Ahmed, S. (2024). *Solar PV End-of-Life Waste Recycling: An Assessment of Mechanical Recy-*

cling Methods and Proposed Hybrid Laser and High Voltage Pulse Crushing Method. Resources, 13(12), 169. <https://doi.org/10.3390/resources13120169>

- Aluehallintovirasto. (2021). *Nanhiansuon turvetuotantoalueen ympäristölupa, Huittinen*. Noudettu 28.10.2024 osoitteesta <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1851620>
- American solar energy society. (2021). *Monocrystalline vs Polycrystalline Solar panels*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://ases.org/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>
- Aro, L. & Hytönen, J. (2019). *Suonpohjasta metsäksi*. Noudettu 13.11.2024 osoitteesta <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/suonpohjasta-metsaksi-opas.pdf>
- Aro, L., Jylhä, P., Järvenranta, K., Matila, A., Ramstadius, U., Ronkainen, T., Räsänen, A., Silvan, N., Silvenius, F., Virkajärvi, P., Wall, A., & Tolvanen, A. (2023). *Turvetuotannosta poistuvien alueiden jatkokäytön vaihtoehdot Suomessa sekä arvio niiden ympäristö- ja talousvaikutuksista*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 120/2023. Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-853-9>
- Auvinen, K. (2020). *Hiilineutraalisuomi. Elinkaaripäästöjen laskennalla energiantuotannon ytimeen: aurinko-, geo-, tuuli-, vesi- ja ydinvoima puhtaimpia energialähteitä*. [Blogi]. Noudettu 28.11.2024 osoitteesta [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliliblogi/Elinkaaripaastojen_laskennalla_energiant\(58629\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliliblogi/Elinkaaripaastojen_laskennalla_energiant(58629))
- Băjenescu, T. (2020). *Reliability and ecological aspects of photovoltaic modules*. Intechopen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82613>
- Basengreen. (2024). *Miksi piitä käytetään aurinkokennoissa*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta https://basengreen.com/fi/why-silicon-is-used-in-photovoltaic-cells/?srsltid=AfmBOogNdhe6nqRmWgP1iw0-Y5D_aN92QmcPZReLkuioE-b1evNPfS9g

- Bioenergia. (2024). *Turve-energia*. Noudettu 6.8.2025 osoitteesta <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/turve/>
- Bioenergia. (n.d.). *Turpeen käytön ilmastovaikutukset*. Noudettu 16.10.2024 osoitteesta <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/turve/#energia>
- Bioenergianeuvoja. (2024). *Ruokohelpi*. Noudettu 13.11.2024 osoitteesta <https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/peltobiomassat/ruokohelpi/>
- Bosmans, J. Dammeier, L. & Huijbregts, M. (2023). *Greenhouse gas footprints of utility-scale photovoltaic facilities at the global scale*. Noudettu 7.1.2025 osoitteesta <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac1df9>
- Bressant, C., & Bourrat, F. (2024, 19. huhtikuuta). *Rising opportunities for agrivoltaics energy projects under France's regulatory strategy*. Pinset Masons. Noudettu 9.3.2025 osoitteesta <https://www.pinsentmasons.com/out-law/analysis/rising-opportunities-agrivoltaic-energy-projects-under-regulatory-strategy>
- Chowdhury, M.S, Rahman, K.S., Chowdhury, T., Nuthammachot, N., Techato, K., Akhtaruzzaman, M., Tiong, S.K., Sopian, K., & Amin, N. (2020). *An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling*. Energy Strategy Reviews, 27, 100431. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100431>
- De Wild Scholten M., Cassagne V. & Huld T. *Solar Resources and Carbon Footprint of Photovoltaic Power in Different Regions in Europe*. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC89270>
- Diez-Suarez, A.-M., Martínez-Benavides, M., Manteca Donado, C., Blanes-Peiró, J.-J., & Martínez Torres, E. J. (2024). *Recycling of Silicon-Based Photovoltaic Modules: Mediterranean Region Insight*. Energies, 17(23), 6015. <https://doi.org/10.3390/en17236015>
- Direktiivi 2013/19/EU. *EUR-Lex*. Noudettu 13.1.2025 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=celex:32012L0019>

- DS New Energy. (n.d.). *Vakio 380W 390W 400W PERC Yksikiteinen Aurinkopaneeli*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://fi.dsnsolar.com/solar-panel/mono-solar-panel/standard-380w-390w-400w-perc-monocrystal-line.html>
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus opas 1. (2019). *Ympäristölupahakemuksen laatiminen tuotannossa olevalle alle 10 hehtaarin turvetuotantoalueelle*. Noudettu 2.10.2024 osoitteesta <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/169534/Opas%201%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2014). *Suunnittelutarveratkaisu*. Noudettu 25.7.2024 osoitteesta [55a4b043-e434-412f-9508-f9b0e83fde31 \(ely-keskus.fi\)](https://www.ely-keskus.fi/55a4b043-e434-412f-9508-f9b0e83fde31)
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2024). *Turvetuotantoalueet uuteen maankäyttöön*. Noudettu 13.11.2024 osoitteesta <https://www.ely-keskus.fi/web/turvetuotantoalueiden-jatkokaytto/uuden-maank%C3%A4yt%C3%B6n-suunnittelu>
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2024). Uusiutuvan energian lupaneuvonta. *Aurinkoenergia*. Noudettu 1.8.2024 osoitteesta <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/aurinkoenergia>
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2024). *Uusiutuvan energian tuotantolaitosten lupamenettelyt ja muut hallinnolliset menettelyt*. Menettelykäsikirja hakijoille. Noudettu 7.8.2024 osoitteesta <https://www.ely-keskus.fi/documents/44517405/0/Menettelyk%C3%A4sikirja+2022.pdf/0d83b61b-a18e-7d54-5083-41ffbaedd2bf?t=1667475643062>
- Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus. (2024). Uusiutuvan energian lupaneuvonta. *Liittyminen sähköverkkoon*. Noudettu 26.9.2024 osoitteesta <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/aurinkoenergia>

- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2024c). *Turvetuotantoalueet uuteen käyttöön. Riistapelto*. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.ely-keskus.fi/web/turvetuotantoalueiden-jatkokaytto/kosteikot-ja-riistanhoito>
- Energiateollisuus. (n.d.). *Aurinkovoima*. Noudettu 12.1.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima/>
- Energimyndigheten. (2023). *Projektinformation*. Noudettu 27.3.2025 osoitteesta <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdata/sokresultat/?registrationnumber=2020-009353>
- Energysage. (2023). *Monocrystalline vs. Polycrystalline solar panels*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://www.energysage.com/solar/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar/>
- EPV Aurinkovoima. (2022). *Lapuan aurinkovoimapuistolle 12 miljoonan euron tuki*. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.epvaurinkovoima.fi/lapuan-aurinkovoimapuistolle-12-miljoonan-euron-tuki/>
- EPV Aurinkovoima. (2024). *Rakentamisaikaiset vaikutukset*. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.koneyrittajat.fi/media/Julkinen/Liitteet/Tapahumat/Energiapaiva2024/2Orava.pdf>
- EPV, Aurinkovoima. (2025). *Näin vastuullista toimintaa toteutetaan Heininevan aurinkovoimahankkeessa*. Noudettu 11.2.2025 osoitteesta <https://www.epvaurinkovoima.fi/nain-vastuullista-toimintaa-toteutetaan-heininevan-aurinkovoimahankkeessa/>
- European Environment Agency. (2024). *Recycling materials from green energy technologies (Signal)*. Noudettu 10.1.2025 osoitteesta <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/recycling-from-green-technology>

- Fingrid. (2024). *Sähköntuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät*. Noudettu 9.1.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-q3-2024-fingrid.pdf>
- Finlex. (2011). *Vesilaki* [VL] 27.5.2011/587. Noudettu 25.9.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>
- Finlex. (2013). *Sähkömarkkinalaki* [SML] 9.8.2013/588. Noudettu 25.9.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>
- Finlex. (2014). *Ympäristönsuojelulaki* [YSL] 27.6.2014/527. Noudettu 2.10.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527#L21P230>
- Finlex. (2017). *Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä* [YVA] 5.5.2017/252. Noudettu 2.9.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170252>
- Finlex. (2020). *Laki uusiutuvan energian tuotantolaitosten lupamenettelyistä ja eräistä muista hallintokeinoista*. 17.12.2020/2020. Noudettu 31.10.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20201145>
- Finlex. (2023). *Luonnonsuojelulaki 9/2023*. Noudettu 25.9.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230009>
- Finlex. (2023). *Ympäristöministeriön asetus vapaaehtoisesta ekologisesta kompensatiosta 933/2023*. Noudettu 25.9.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230933>
- Finlex. (2024). *Maankäyttö- ja rakennuslaki* [MRL] (Alueidenkäyttölaki) 5.2.1999/132. Noudettu 25.7.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
- Finlex. (2024). *Suunnittelutarvealue*. Noudettu 14.8.2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2024/20240814> Maankäyttö- ja rakennuslaki... 132/1999 - Ajantasainen lainsäädäntö - FINLEX®
- Fortum. (2024). *Fortum suunnittelee Varsinais-Suomeen kahta aurinkovoimahan- ketta*. Noudettu 31.10.2024 osoitteesta <https://www.fortum.fi/tietoa->

[meista/energiantuotanto/aurinkoenergia/fortum-suunnittelee-varsinais-suomeen-kahta-aurinkovoimahanketta](#)

Forus. (2023). *Lepästensuon aurinkovoimala*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://www.miehikkala.fi/content/uploads/2024/01/Lepastensuon-aurinkovoimalan-hiilitaseselvitys.pdf>

FreyrEnergy. (2024). *Monocrystalline vs. Polycrystalline Solar Panels 2024: Complete Guide*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://freyr-energy.com/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels-2024-a-complete-guide/>

Geologian tutkimuslaitos. (2022). *Miten vähentää soiden hiilidioksidipäästöjä? Vedenpinnan säätely on hyvä lähtökohta, mutta erilaiset suot vaativat erilaisia työkaluja-rahastakin on pakko puhua*. Noudettu 19.11.2024 osoitteesta <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/miten-vahentaa-soiden-hiilidioksidipaastoja-vedenpinnan-saately-on-hyva-lahtokohta-mutta-erilaiset-suot-vaativat-erilaisia-tyokaluja-rahastakin-on-pakko-puhua/>

Geologian tutkimuslaitos. (2023). *Ilmastoviisaat ratkaisut turvetuotantoalueiden jatkokäyttöön*. Noudettu 13.11.2024 osoitteesta <https://story-maps.arcgis.com/stories/e596596f4aa24758aef64f0f069a99d0>

Geologian tutkimuslaitos. (2024). *Yleiskartoituksesta riskienhallintaan-sulfaattimaat ovat Suomen sitkein ympäristöhaitta, mutta vaikutuksia ehkäistään tutkimuksen avulla*. Noudettu 11.2.2024 osoitteesta <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/yleiskartoituksesta-riskienhallintaan-sulfaattimaat-ovat-suomen-sitkein-ymparistohaitta-mutta-vaikutuksia-ehkaistaan-tutkimuksen-avulla/>

Haapaniemi, J., Supponen, A., Räisänen, O., Haakana, J., Vilppo, J., Repo, S., & Lassila, J. (2022). *Laaja-alaisen aurinkosähkön yleistymisen huomioivat sähköverkon mitoitusperiaatteet* [Tutkimusraportti], Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto]. LutPub. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-889-8>

- Haataja, P. & Malakamäki, O. (2024, 27. toukokuuta). Aurinkovoimaloiden purku ja kierrätys käy helposti. *Korkia*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://korkia.fi/fi/aurinkovoimaloiden-purku-ja-kierratys-kay-helposti/>
- Hautala, E. (2023). *Turvemaiden viljely*. Noudettu 15.11.2024 osoitteesta <https://www.proagria.fi/uploads/EP/Turvemaiden-viljely-tietokortti.pdf>
- Hiilikompensaatioinfo. (2024). *Turvetuotannosta poistetun alueen metsitys*. Noudettu 22.11.2024 osoitteesta <https://hiilikompensaatioinfo.fi/kompensaatiokeino/turvetuotannosta-poistetun-alueen-metsitys/>
- Hiilipörssi. (2024). *Tietoa hiilipörssistä ja soista*. Noudettu 13.11.2024 osoitteesta <https://www.hiiliporssi.fi/tietoa>
- Hilli, A., Aro, L., Jylhä, P., Juntunen, P. (2024). *Metsitettävä joutoalue*. Noudettu 6.11.2024 osoitteesta <https://storymaps.arcgis.com/stories/e95d2b70864b4b99b0315b5e096fbcf6>
- Hongqiao, L., Evans, S., Zizhu, Z., Wanyuan, S. & Xiaoying, Y. (2023). *The Carbon Brief Profile: China*. Noudettu 8.11.2025 osoitteesta <https://interactive.carbonbrief.org/the-carbon-brief-profile-china/index.html>
- Honkanen, J. (2020). Blogisarja osa 1: Aurinkovoimalahankkeiden lupa-asiat. *Solarigo*. Noudettu 1.11.2024 osoitteesta <https://www.solarigo.fi/post/blogisarja-osa-1-aurinkovoimalahankkeiden-lupa-asiat>
- Hotanen, J. (2023). Soiden ennallistamisella on nopeita ja hitaita vaikutuksia suoluontoon. *Luke*. Noudettu 26.11.2024 osoitteesta <https://www.luke.fi/fi/blogit/soiden-ennallistamisella-on-nopeita-ja-hitaita-vaikutuksia-suoluontoon>
- Hotanen, J., Nieminen, M. & Sarkkola, S. (2024). Soiden ennallistamisen vesistöhyötyjä maltettava odottaa. *Luke*. <https://www.luke.fi/fi/blogit/soiden-ennallistamisen-vesistohyotyja-maltettava-odottaa>
- Hotanen, J., Sarkkola, S. & Mäkipää, R. (2023). Soiden ennallistamisen ilmastovaiikutukset ovat monitahoiset. *Luke*. Noudettu 19.11.2024 osoitteesta <https://www.luke.fi/fi/blogit/soiden-ennallistamisen-ilmastovaiikutukset-ovat-monitahoiset>

- Hu, J. Ma, X. (n.d.). *Physical and chemical properties of peat*. Noudettu 21.11.2024 osoitteesta <https://www.eolss.net/sample-chapters/c08/E3-04-06-03.pdf>
- Ikonen, P., & Kemiamedia.fi. (2024). Pilottitutkimus solmii uudenlaista liittoa – aurinkovoiman ja viljelyn yhdistäminen tekisi maankäytöstä kestävämpää. *Uusiouutiset*. Noudettu 7.3.2025 osoitteesta <https://uusiouutiset.fi/pilottitutkimus-solmii-uudenlaista-liittoa-aurinkovoiman-ja-viljelyn-yhdistaminen-tekisi-maankaytosta-kestavampaa/>
- Ilmasto-opas. (n.d.). Mitä ilmastonmuutos on? Noudettu 18.11.2024 osoitteesta https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/metaani#ref_ref2
- International Energy Agency. (2018). *End-Of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies*. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/End_of_Life_Management_of_Photovoltaic_Panels_Trends_in_PV_Module_Recycling_Technologies_by_task_12.pdf
- International Energy Agency. (2020). *Annual direct CO2 emissions avoided per 1 GW of installed capacity by technology and displaced fuel*. Noudettu 7.1.2025 osoitteesta <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-direct-co2-emissions-avoided-per-1-gw-of-installed-capacity-by-technology-and-displaced-fuel>
- International Energy Agency. (2022). *Special Report on Solar PV Global Supply Chains*. Noudettu 13.12.2024 osoitteesta <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d2ee601d-6b1a-4cd2-a0e8-db02dc64332c/SpecialReportonSolarPVGlobalSupplyChains.pdf>
- International Energy Agency. (2024). *Sources of electricity generation*. Noudettu 7.1.2025 osoitteesta <https://www.iea.org/countries/china/electricity>
- International Renewable Energy Agency. (2016). *End-Of-Life Management. Solar Photovoltaic Panels*. Noudettu 10.2.2025 osoitteesta https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf

- IPCC. (2014). *Technology specific Cost and Performance Parameters*. Noudettu 8.1.2025 osoitteesta https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf
- IPCC. (2021). *Climate change 2021*. Noudettu 15.11.2024 osoitteesta https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- Järvinen, J. (2024). *Aurinkopaneelin energiatakaisinmaksuaika suomessa* [Amk-opinnäytetyö, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024053018275>
- Kainuun ELY-keskus. (2025). *Valtion aluehallinnon uudistuksessa 2026 ELY-keskusten tehtäviä uusille virastoille*. Noudettu 12.8.2025 osoitteesta <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70984564/valtion-aluehallinnon-uudistuksessa-2026-ely-keskusten-tehtavia-uusille-virastoille?publisherrid=69817878&lang=fi>
- Kamano, K., Jaroenhasemmesuk, C., Chaisartra, C., Thoopkaew, T., & Tip-payawong, N. (2022). *Glass separation process for recycling of solar photovoltaic panels by microwave heating*. <https://doi.org/10.1063/5.0115199>
- Kareksala, S., Ojanen, P., Aapala, K., Haapalehto, T., Ilmonen, J., Koskinen, M., Laiho, R., Laine, A., Maanavilja, L., Marttila, H., Minkkinen, K., Nieminen, M., Ronkanen, A.-K., Sallantaus, T., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tuittila, E.-S. & Vasander, H. (2021). *Soiden ennallistamisen suoluonto-, vesistö- ja ilmastovaikutukset*. Suomen luontopaneelin julkaisuja 3b/2021. Noudettu 18.11.2024 osoitteesta <https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/07/suomen-luontopaneelin-julkaisuja-3b-2021-soiden-ennallistamisen-vaikutukset.pdf>
- Kaurala, M. (2023). *Aurinkovoimaloiden hankekehityksen prosessikuvas* [AMK-opinnäytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023051711340>

- Ketola, T., Ahlvik, L., Boström, C., Bäck, J., Jokimäki, J., Kallio, K., Kulmala, L., Lehtikoinen, A., Nieminen, T., Oksanen, E., Pappila, M., Pöyry, J., Saarikoski, H., Sinkkonen, A., Sääksjärvi, I. & Kotiaho, J. (2021). *Soiden ennallistamisen suoluonto-, vesistö- ja ilmastovaikutukset*. Suomen luontopaneelin julkaisu 3A/2021. Noudettu 3.9.2024 osoitteesta <https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/07/luontopaneelin-raportin-yhteenveto-3a-2021-soiden-ennallistamisen-vaikutukset.pdf>
- Kimmo, K. (2017). Mikä ihmeen hiilinielu? *Metsä*. Noudettu 18.11.2024 osoitteesta <https://www.metsagroup.com/fi/uutiset-ja-julkaisut/artikkelit/mika-ihmeen-hiilinielu/>
- Kivimäki, S., Yli-petäys, M. & Tuittila, E. (2008). *Carbon sink function of sedge and Sphagnum patches in a restored cut-away peatland: increased functional diversity leads to higher production*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01458.x>
- Ko, J., Kim, K., Sohn, J. W., Jang, H., Lee, H.-S., Kim, D., & Kang, Y. (2023). Review on Separation Processes of End-of-Life Silicon Photovoltaic Modules. *Energies* 16(11), 4327. <https://doi.org/10.3390/en16114327>
- Komulainen, K (2021). Entinen turvesuo muuttumassa ainutlaatuiseksi energia-keskukseksi Keski-Pohjanmaalla – suunnitteilla biometaanijalostamo, aurinkovoimala ja tuulivoimaa. *Yle*. Noudettu 2.3.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-12089263>
- Korhonen, R. & Suomi, T. (2003). *Jalasjärvellä tutkitu suot ja niiden turvevarat osa 2*. Noudettu 13.11.2024 osoitteesta https://tupa.gtk.fi/raportti/turve/ttr_343.pdf
- Korhonen, R. (1996). *Jalasjärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat osa 1*. Noudettu 13.11.2024 osoitteesta https://tupa.gtk.fi/raportti/turve/ttr_302.pdf
- Kujala, H., Halme, P., Pekkonen, M., Rytteri, T., Raunio, A., Kullberg, P., Koljonen, S., Kostamo, K., & Keränen, I. (n.d.). *Heikennyksen ja hyvityksen arviointi*

ekologisessa kompensaatiossa – suuntaviivat luonnonsuojelulakiin. Noudettu 20.6.2025 osoitteesta https://ym.fi/documents/1410903/0/Heikennyksen+ja+hyvityksen+arviointia_asiantuntijaryhm%C3%A4n+muistio_Finjal_040621.pdf/d1dea811-999d-e98f-86e0-dfd279dbdd19/Heikennyksen+ja+hyvityksen+arviointia_asiantuntijaryhm%C3%A4n+muistio_Finjal_040621.pdf?t=1622802223120

Laasasenaho, K. & Lauhanen, R. (2022). Tuuli- ja aurinkovoima kasvattavat suosiotaan turvetuotannosta vapautuvien suonpohjien jälkikäyttömuotona: Aluetarkastelu Etelä-Pohjanmaalta. *Suo*. Noudettu 27.11.2024 osoitteesta <https://suo.fi/article/10794>

Laasasenaho, K., Lauhanen, R., & Luhtala, M. (2024). Aurinkovoimalat turvetuotannosta vapautuvilla suonpohjilla ovat massiivisia rakennustyömaita – lisätietoja ympäristövaikutuksista ja maankäyttöristiriidoista tarvitaan. *Suo*. Noudettu 2.3.2025 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/387820642_Aurinkovoimalat_turvetuotannosta_vapautuvilla_suonpohjilla_ovat_massiivisia_rakennustyomaita_-_lisatietoja_ymparistovai- kutuksista_ja_maankayttoristiriidoista_tarvitaan

Laasasenaho, K., Lauhanen, R., Maanavilja, L., & Miettinen, A. (2024b). Riskinä menettää oikeus maataloustukiin: Aurinkovoima ja kosteikkoviljely turvepelloilla vaativat viljelijöiltä tarkkuutta. *Maaseudun tulevaisuus*. Noudettu 7.3.2025 osoitteesta <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/ec5c48d4-b0a1-43e3-8f12-3b59407d755c>

Latva-Krekola, J., Luhtanen, J. (2021). *Turvetuotantoalueiden jälkikäyttö viljelyssä eteläpohjalaisilla tiloilla* [AMK- opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021061616142>

Leinonen, A. (2010). *Turpeen tuotanto ja käyttö -Yhteenveto selvityksistä*. VTT tiedotteita – Research Notes 2550. Noudettu 16.10.2024 osoitteesta <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2010/T2550.pdf>

Loisel, J., Gallego-Sala, A.V., Amesbury, M.J., Magnan, G., Anshari, G., Beilman, D.V., Benavides, J.C., Blewett, J., Camill, P., Charman, D.J., Chawchai, S.,

- Hedgpeth, A., Kleinen, T., Korhola, A., Large, D., Mansilla, C.A., Müller, J., van Bellen, S., West, J.B., ... Wu, J. (2021). Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature Climate Change*, 11(11), 70–77. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00944-0>
- Luhtala, M. (2021). *Turvetuotantoalueiden jälkikäyttö peltoviljelyssä* [ylempi AMK-opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021052711668>
- Luonnonvarakeskus. (n.d.). Suonpohjien jatkokäyttönä metsitystä ja kosteikkoja-
Limingan Hirvineva. Noudettu 6.11.2024 osoitteesta <https://www.luke.fi/fi/suonpohjien-jatkokayttona-metsitysta-ja-kosteikkoja-limingan-hirvineva>
- Lång, K., Aro, L., Assmuth, A., Haltia, E., Hellsten, S., Larmola, T., Lempinen, H., Lindfors, L., Lohila, A., Miettinen, A., Minkkinen, K., Ollikainen, M., Ojanen, P., Sarkkola, S., Sorvali, J., Seppälä, J., Tolvanen, A., Vainio, A., Wall, A. & Vesala, T. (2022). *Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa*. Noudettu 15.11.2024 osoitteesta <https://ilmastopaneeli.fi/hallinta/wp-content/uploads/2024/03/ilmastopaneelin-raportti-2-2022-turvemaiden-kayton-vaihtoehdot-hiilineutraalissa-suomessa.pdf>
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2011). Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020. Noudettu 10.8.2025 osoitteesta https://mmm.fi/documents/1410837/1721026/mmmjul-kaisu2011_2.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2012). *Valtioneuvoston periaatepäätös soiden ja turvemaiden kestävästä ja vastuullisesta käytöstä ja suojelusta*. Noudettu 23.10.2024 osoitteesta https://mmm.fi/documents/1410837/1516663/mmm-119690-v5-suostrategia_valtioneuvoston_periaatepaatos_v4/005425e8-e3c4-497d-8cff-26f343896c37
- Markkanen, L. (2024). *Aurinkovoimalan sijoittaminen ja perustamistaparatkaisut* [Diplomityö, Tampereen yliopisto]. Trepo. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202406157223>

- Matila, A. & Alatalo, I. (2023). *Turvetuotannosta poistuvien alueiden maankäytön ohjauskeinot*. Tapion raportteja nro 54. Noudettu 12.10.2024 osoitteesta https://tapio.fi/wp-content/uploads/2023/02/Turvetuotannosta-poistuvien-alueiden-maankayton-ohjauskeinot_nro-54.pdf
- Matila, A., Launiainen, P., Salin, S., Virta, M. & Ranta, M. (2025). *Aurinkovoimaloiden vesienhallinta ja luontoteot turvetuotannosta poistuvilla alueilla*. Tapion julkaisuja 78. Noudettu 24.1.2025 osoitteesta <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2025/01/Aurinkovoimaloiden-vesienhallinta-ja-luontoteot-turvetuotannosta-poistuvilla-alueilla.pdf>
- Matila, A., Maanavilja, L., Räsänen, A. (2023). *Turvetuotannosta poistuvat suonpohjat monipuoliseen jatkokäyttöön-maanomistajan askelmerkit siirtymään*. Noudettu 31.10.2024 osoitteesta https://tapio.fi/wp-content/uploads/2023/09/1.11.2023_Turvetuotannosta-poistuvat-suonpohjat-monipuoliseen-jatkokayttoon-n-maanomistajan-askelmerkit-siirtymaan.pdf
- Maysun Solar. (2023). *Lämpötilakerroin ja aurinkopaneelit: opas 2023*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://www.solarpanelsfi.com/blog/lampotilakerroin-ja-aurinkopaneelit-opas-2023>
- McWilliams, B., Tagliapietra, S. & Trasi, C. (2024). *Smarter European Union industrial policy for solar panels*. Noudettu 8.11.2025 osoitteesta https://www.bruegel.org/policy-brief/smarter-european-union-industrial-policy-solar-panels#footnote3_5zcr04p
- MECC. *340 W PERC Poly-Aurinkopaneeli*. (n.d.). Noudettu 6.11.2024 osoitteesta <https://fi.mecc-xpower.com/solar-panel/polycrystalline-solar-panel/340w-perc-poly-solar-panel.html>
- Menéndez, Y.G. (2019). *Solar panel recycling: a second life for sustainable power*. Noudettu 26.2.2025 osoitteesta <https://www.activesustainability.com/renewable-energy/solar-panel-recycling/>

- Metsänhoidon suositukset. (n.d.). *Kasvihuonekaasutase-, päästö, ja -nielu*. Noudettu 27.2.2025 osoitteesta <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/sa-nasto/kasvihuonekaasutase-paasto-ja-nielu>
- Metsänhoidon suositukset. (n.d.-a). *Metsitys*. Noudettu 8.11.2024 osoitteesta <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/metsitys/toteutus>
- Metsänhoidon suositukset. (n.d.-b). *Soiden ennallistaminen*. Noudettu 26.11.2024 osoitteesta <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/soiden-ennallistaminen/paatoksenteko#section-1303>
- Moon, Md., Rahman, Md., Hossain, J. & Ismail, Md. (2019). Comparative Study of the Second Generation a-Si:H, CdTe, and CIGS Thin-Film Solar Cells. *Advanced Materials Research*. 1154. 102-111.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1154.102>
- Motiva. (2024). *Aurinkosähköteknologiat*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat
- Motiva. (2024). *Teollisen mittakaavan aurinkosähkö*. Noudettu 1.11.2024 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/22385/14.5.2024_Teollisen_mittakaavan_aurinkosahko-seminaari.pdf
- MyTech. (2020). *Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) Film for Solar Panels*. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta <https://www.gteek.com/ethylene-vinyl-acetate-eva-film-for-solar-panels>
- Mäkelä, K. & Salo, P. (2024). *Luontoselvitykset ja luontovaikutusten arviointi: Opas tekijälle, tilaajalle ja viranomaiselle-2. korjattu painos*. Suomen ympäristökeskus (Syke). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5640-3>
- Ndalloka, Z., Nair, H., Alpert, S., & Schmid, C. (2024). Solar photovoltaic recycling strategies. *Solar energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112379>
- Neova. (2024). *Aurinkovoiman hankekehitys*. Noudettu 30.10.2024 osoitteesta <https://www.neova-group.com/fi/tuotteet/tuuli-ja-aurinkovoima/aurinkovoiman-hankekehitys/>

- Neova. (2025). *Tuuli- ja aurinkovoimahankkeet*. Noudettu 2.3.2025 osoitteesta <https://www.neova-group.com/fi/tuotteet/tuuli-ja-aurinkovoima/tuuli-ja-aurinkovoimahankkeet/>
- Nikkilä, A. (2014). *Turvetuotannon ympäristölupien hylkäämisen perusteet-Analyysi ajankohtaisesta ympäristölupakäytännöstä* [Pro-gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto]. Helda. <http://hdl.handle.net/10138/42579>
- Nimi. (2022). Kuiviketurpeelle on vaihtoehtoja - tutkimus vertaili eri materiaalien sopivuutta eläintiloille. *Luke*. Noudettu 13.11.2024 osoitteesta <https://www.luke.fi/fi/uutiset/kuiviketurpeelle-on-vaihtoehtoja-tutkimus-vertaili-eri-materiaalien-sopivuutta-elaintiloille>
- Niskanen, A. (2024). Kaksi vuotta aikaa raivata ennallistamisen käytännön esteet. *Metsään*. Noudettu 26.11.2024 osoitteesta <https://www.metsaanlehti.fi/blogi/anssi-niskanen-kaksi-vuotta-aikaa-raivata-ennallistamisen-kaytannon-esteet.html>
- Nuokkola, S. (2024). *Aurinkosähköviljelyn mahdollisuudet Suomessa* [Diplomityö, Aalto yliopisto]. Aaltodoc. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202406234883>
- Ojanen, P. & Minkkinen, K. (2020). Metsäojitetun suon ilmastovaikutukset. *Suo*. Noudettu 22.11.2024 osoitteesta <https://www.suo.fi/article/10587/author/20452>
- Ojanen, P. (2019a). *Metsäojitettujen soiden kasvihuonekaasupäästöistä*. Noudettu 18.11.2024 osoitteesta https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/10/Paavo-Ojanen_Metsaojitettujen-soiden-kasvihuonekaasupaastot.pdf
- Ojanen, P. (2019b). *Suometsien käytön vaikutus ilmastoon-kolme tietä tulevaisuuteen*. Noudettu 15.11. 2024 osoitteesta https://isy.fi/wp-content/uploads/2019/08/2108_Yhteinensessio_P_Ojanen.pdf
- OX2. (n.d.). *Aurinkovoimalla elinvoimaa*. Noudettu 1.11.2024 osoitteesta https://www.ox2.com/files/Finland_materials/OX2_Aurinkovoimaa-esite_FI.pdf

- Panula, A., Korkeaoja, M. & Kaivonen, L. (n.d.). *Vastuullisuus arvoketjuissa*. Noudettu 3.2.2025 osoitteesta <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/06/Vastuullisuus-arvoketjuissa-tyon-loppuraportti.pdf>
- Pappila, M., Kujala, H., Mustajärvi, L., Tuomisaari, J., Nieminen, E., Leskinen, P. & Kotiaho, J.S. (2024). *Ekologinen kompensatio ja suojeluhyvityksen vaikeus*. Noudettu 25.9.2024 osoitteesta <https://www.versuslehti.fi/tiededebatti/ekologinen-kompensatio-ja-suojeluhyvityksen-vaikeus/>
- Perkola, T. (2024). *Maataloustukien hakumahdollisuudet aurinkopaneelien välialoilla*. Satakunnan ELY-keskus. Noudettu 9.3.2025 osoitteesta <https://www.af-innova.fi/2024Perkola.pdf>
- Pohjanmaan liitto. (2024). *Mitä on kaavoitus?* Noudettu 3.9.2024 osoitteesta <https://www.obotnia.fi/fi/aluesuunnittelu/maakuntakaavoitus/mita-on-kaavoitus/>
- PV Education. (n.d.). *Multi Crystalline Silicon*. Noudettu 6.11.2024 osoitteesta <https://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing-si-cells/multi-crystalline-silicon>
- Pöyry Finland Oy. (2016). *Esiselvitys aurinkoenergian tuotantoalueista*. Satakuntaliitto. Loppuraportti. Noudettu 15.10.2024 osoitteesta https://satakunta.fi/wp-content/uploads/2021/05/101001204_Satakuntaliitto_Esiselvitys_aurinkoenergian_tuotantoalueista_20160428_LOPPURAPORTTI.pdf
- Rakennustieto. (2025). Uusi rakentamislaki voimaan 1.1.2025. Noudettu 12.8.2025 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/rakentamislaki>
- Rantaruoko, T. (2022). *Aurinkopaneelien kierrättämisen haasteet Suomessa* [AMK-opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205098000>
- Rauhala, A., Broman, I., Korri, J., & Lahtinen, M. (2024). *Aurinkovoimaloiden kaavoitus ja lupamenettelyjen opasaineiston taustaselvitys*. Noudettu

- 2.7.2025 osoitteesta <https://ym.fi/documents/1410903/40549091/Aurinko-oppaan%20taustaselvitys.pdf/de1ae6ad-0af1-8492-dbe0-1a371e87cc35/Aurinko-oppaan%20taustaselvitys.pdf?t=1741338441335>
- Riistainfo.fi. (2025). *Peltoympäristöjen merkitys ja hoito*. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.riistainfo.fi/vastuullinen-metsastaja/peltoriistan-metsastaja/peltoymparistojen-merkitys-ja-hoito/>
- Räsänen, A. Mustajoki, J. Aro, L. Ulvi, T. Annala, M. & Marttunen, M. (2023). *Turvetuotantoalueiden jatkokäytön tavoitelähtöinen ja moniarvoinen suunnittelu*. Noudettu 18.10.2024 osoitteesta <https://suo.fi/article/10824>
- Rönty, H. (2020). *Suomessa luotiin valtava ongelma, jonka korjaamiseen menee vuosisatoja: soista tehtiin metsää vuosia, koska sen ilmastovaikutuksia ei tajuttu*. Yle. Noudettu 5.9.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-11157959>
- Scarpulla, M., McCandless, B., Philips, A., Yan, Y., Heben, M., Wolden, C., Xiong, G., Metzger, W., Mao, D., Krasikov, D., Sankin, I., Grover, S., Munshi, A., Sampath, W., Sites, J., Bothwell, A., Albin, D., Reese, M., Romeo, A., ... Hayes, S. (2023). CdTe-based thin film photovoltaics: Recent advances, current challenges and prospects. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 255, 112289. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112289>
- Science Of The Total Environment. (2023). After-use of peat extraction sites – A systematic review of biodiversity, climate, hydrological and social impacts. *Science of The Total Environment*, 882, 163583. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163583>
- Selin, P. (1999). *Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjine hyödyntäminen Suomessa* [väitöskirja, Jyväskylän yliopisto]. JYX. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-8766-4>
- Shah, N., Shah, A.A., Leung, P.K., Khan, S., Sun, K., Zhu, X., & Liao, Q. (2023). A Review of Third Generation Solar Cells. *Processes*, 11, 1852. <https://doi.org/10.3390/pr11061852>

- Soimakallio, S., Sankelo, P., Kopsakangas-Savolainen, M., Sederholm, C., Auvinen, K., Heinonen, T., Johansson, A., Judl, J., Karhinen, S., Lehtoranta, S., Räsänen, S., & Savolainen, H. (2020). *Turpeen rooli ja sen käytöstä luopumisen vaikutukset Suomessa*. Noudettu 25.11.2024 osoitteesta <https://www.sitra.fi/wp/wp-content/uploads/2020/06/turpeen-rooli-ja-sen-kaytosta-luopumisen-vaikutukset-suomessa-tekninen-raportti.pdf>
- Solarum. (2023). *Aurinkopaneelien hintakehitys*. Noudettu 5.7.2025 osoitteesta <https://solarum.fi/aurinkopaneelien-hintakehitys/>
- Sompa. (n.d.). *Mikä on turvemaan määritelmä*. Noudettu 12.11.2024 osoitteesta <https://project-archive.luke.fi/sompa/materiaalit/usein-kysytyt-kysymykset/index.html>
- Suodenjoki, J. (2024). Aurinkopaneelien käyttöikä-Miten pitkään todella kestävät? *Solle*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://solle.fi/aurinkopaneelien-kayttoika/>
- Suomen luonnonsuojeluliitto. (2018). Soiden suojeleminen ennen ja nyt. Noudettu 19.11.2024 osoitteesta <https://www.sll.fi/2018/02/26/soidensuojelu-ennen-ja-nyt/>
- Suomen riistakeskuksen SOTKA-kosteikot. (2023–2025). *Murtosuo, Joensuu*. Noudettu 23.1.2025 osoitteesta <https://kosteikko.fi/sotka-kosteikot/valmiit-kosteikot/murtosuo-joensuu/>
- Suomen ympäristökeskus. (2023). *Käytöstä poistuneiden turvetuotantoalueiden jatkokäytön vaikutuksista tarvitaan lisää tietoa*. Noudettu 18.11.2024 osoitteesta [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Kaytosta_poistuneiden_turvetuotantoaluei\(65454\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Kaytosta_poistuneiden_turvetuotantoaluei(65454))
- Suomi.fi. Suunnittelutarveratkaisu. (2022). Noudettu 16.9.2024 osoitteesta <https://www.suomi.fi/palvelut/suunnittelutarveratkaisu-mantsalan-kunta/0a1373a5-b76d-4a5f-8546-c49d5e455992>
- Suoseura. (2020a). Suoluontotyyppien uhanalaisuus. Noudettu 21.11.2024 osoitteesta <https://www.suoseura.fi/ojitettujen-soiden-kestava-kaytto/suoluontotyyppien-uhanalaisuus/>

- Suoseura. (2020b). Soiden eliölajit ja niiden uhanalaisuus. Noudettu 21.11.2024 osoitteesta <https://www.suoseura.fi/ojitettujen-soiden-kestava-kaytto/soiden-eliolajit-ja-niiden-uhanalaisuus/>
- Tapio-Biström, M. (2021). *Turvepeltojen viljely hiilineutraalissa Suomessa*. Noudettu 15.11.2024 osoitteesta https://www.luke.fi/sites/default/files/2022-05/Omaihka-Turvepeltojeviljelyhiilineutraalissa-Suomessa_esitys.pdf
- The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2021). *Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources*. Noudettu 28.6.2025 osoitteesta https://unece.org/sites/default/files/2022-04/LCA_3_FINAL%20March%202022.pdf
- Tihinen, T. (2024). *YSL 20 §:n mukainen varovaisuusperiaate ympäristölupia koskevassa hallintoprosessissa*. [Pro gradu -tutkielma/Maisteritutkielma, Lapin yliopisto]. Lauda. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2024042923104>
- Tilastokeskus. (2024). *Energian hankinta- ja kulutus: Energian kokonaiskulutus energialähteittäin*. Noudettu 25.11.2024 osoitteesta https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehk/statfin_ehk_pxt_12vq.px/
- Tuittila, E., Vasander, H. & Laine, J. Sensitivity of C Sequestrationin Reintroduced Sphagnum to Water-Level Variation in a Cutaway Peatland. *Restoration Ecology*, 12, 483–493. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.00280.x>
- Turunen, J. (2020). Jukka Turunen/GTK: Intensiivinen soiden käyttö muuttanut suoluontoa ja pienentänyt hiilivarastoa. *Suomen luonnonsuojeluliitto*. Noudettu 2.10.2024 osoitteesta <https://www.sll.fi/2020/12/03/jukka-turunen-gtk-intensiivinen-soiden-kaytto-muuttanut-suluontoa-ja-pienentanyt-hiilivarastoa/>
- Turve-Arvi. (n.d.). *Päästötyökalu entisten turvetuotantoalueiden jatkokäytölle*. Noudettu 31.10.2024 osoitteesta <https://turvearvi.syke.fi/>
- Turveinfo. *Tutkittua tietoa turpeesta*. (n.d.). Noudettu 26.9.2024 osoitteesta <https://turveinfo.fi/turve/mita-on-turve-ja-turvemaa/>

- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2021). *Turvetyöryhmän loppuraportti*. Noudettu 28.11.2024 osoitteesta https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163045/TEM_2021_24.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vaasan yleiskaava 2040. (2023). *Yleiskaava osana suunnittelujärjestelmää*. Noudettu 3.9.2024 osoitteesta <https://www.vaasa.fi/uploads/2023/05/92048f46-vaasan-yleiskaavan-2040-oas-9.5.2023.pdf>
- Valtioneuvosto. (2023). *Vahva- ja välittävä Suomi – hallituksen visio*. Noudettu 25.9.2024 osoitteesta <https://valtioneuvosto.fi/hallitukset/hallitusohjelma#/>
- Valtioneuvosto. (2023b). *Aurinkovoimalojen kaavoitusta ja lupamenettelyä koskevan opasaineiston valmistelu*. Noudettu 27.3.2025 osoitteesta <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=YM014:00/2023>
- Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A., & Äijälä, O. (2019). *Metsänhoidon suositukset suometsien hoitoon, työopas*. Tapiion julkaisu. Noudettu 19.11.2024 osoitteesta https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksien_hoitoon_TAPIO_2019.pdf
- Vasander, H. (2023). *Soiden ennallistaminen*. Noudettu 18.11.2024 osoitteesta https://www.sll.fi/app/uploads/sites/105/2023/04/Vasander_Soiden-ennallistaminen_SLL.pdf
- Vesala, T., Haila, Y., Korppi-Tommola, J., Kulmala, L., Lohila, A., Raivonen, M., Ruuhijärvi, R. & Savolainen, L. (2010). *Turpeen energiakäytön hyödyt ja haitat*. Noudettu 25.11.2024 osoitteesta <https://acadsci.fi/wp-content/uploads/2016/01/turpeenenergiakaytto.pdf>
- Vesi.fi. (n.d.). *Happamat sulfaattimaat vaativat maankäytöltä tarkkuutta*. Noudettu 12.2.2025 osoitteesta <https://www.vesi.fi/teemasivu/happamat-sulfaattimaat/>

- Virtanen, K. & Hirvasniemi, T. (2007). *Turvetuotantoalueiden hankintaopas PK-turvetuottajille*. Noudettu 12.10.2024 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/2006/Pk_turve_maanhankintaopas.pdf
- Väänänen, Aleks. (2022). *Turvetuotantoalueiden jälkikäyttösuunnitelman toimintamalli* [AMK-opinnäytetyö, Savonian ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205139129>
- Waddington, J., Strack, M. & Greenwood, M. (2010). Toward restoring the net carbon sink function of degraded peatlands: Short-term response in CO₂ exchange to ecosystem-scale restoration. *Journal of Geophysical Research*, 115. <https://doi.org/10.1029/2009JG001090>
- Wickerman, J. (2024). Ratedpower. *What is polysilicon and how is it made?* Noudettu 13.12.2024 osoitteesta <https://ratedpower.com/glossary/polysilicon/>
- Ymparisto.fi. (2023). *Asemakaavat*. Noudettu 3.9.2024 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/kaavoitus-ja-alueiden-kaytto/kaavoitus/asetakaavat>
- Ymparisto.fi. (2023). *Poikkeamispäätökset ja suunnittelutarvealueille rakentaminen*. Noudettu 16.9.2024 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/fi/luvat-ja-velvoitteet/suunnitteluratkaistu-vai-poikkeamispaaatos>
- Ymparisto.fi. (2023). *Yleiskaavat*. Noudettu 14.8.2024 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/kaavoitus-ja-alueiden-kaytto/kaavoitus/yleiskaavat>
- Ymparisto.fi. (2024). *Turvetuotannon lupa ja toiminnan päättäminen*. Noudettu 28.10.2024 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/fi/luvat-ja-velvoitteet/turvetuotannon-lupa-ja-toiminnan-paattaminen>
- Ympäristöministeriö. (2015). *Turvetuotannon ympäristönsuojeluohje*. Ympäristöhallinnon ohjeita 2. Noudettu 12.10.2024 osoitteesta https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/155221/OH_2_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ympäristöministeriö. (2016). *Turvetuotannon ympäristölupahakemuksen luontoselvitykset -ohje*. Ympäristöhallinnon ohjeita 3. Noudettu 24.10.2024 osoitteesta https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75330/OH_3_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ympäristöministeriö. (2020). *Turvetuotannon tarkkailuohje*. Ympäristöministeriön julkaisuja 2020:13. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-216-7>
- Ympäristöministeriö. (2022). *Asemakaavat*. Noudettu 6.7.2025 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/kaavoitus-ja-alueiden-kaytto/kaavoitus/asemakaavat>
- Ympäristöministeriö. (n.d.). *Aurinkovoimarakentaminen*. Noudettu 27.9.2024 osoitteesta <https://ym.fi/aurinkovoimarakentaminen>
- Ympäristöministeriö. (n.d.-a). *Aurinkovoimarakentaminen*. Noudettu 6.7.2025 osoitteesta <https://ym.fi/aurinkovoimarakentaminen>
- Ympäristöministeriö. *Ekologinen kompensatio*. (n.d.). Noudettu 24.7.2024 osoitteesta <https://ym.fi/ekologinen-kompensaatio>
- ZhenAn. (n.d.). *Yksi kiillotettu yksikiteinen piikiekko*. Noudettu 5.11.2024 osoitteesta <https://fi.ferro-silicon-alloy.com/monocrystalline-silicon-wafer/single-polished-monocrystalline-silicon-wafer.html>

LIITTEET

LIITE 1 Haastattelu

Mitkä ovat Heininevan aurinkovoimapuiston rakentamisen merkittävimmät ympäristövaikutukset ja miten niitä voidaan minimoida?

Rakentamisen aikaiset ympäristövaikutukset riippuvat enimmäkseen aurinkovoimapuiston sijoituspaikasta ja sen erityispiirteistä. Vesitalous, kuivatuksen toteutus ja perustustavan valinta vaikuttavat myös ympäristövaikutuksiin. Entinen turvetuotantoalue, ei vaadi esimerkiksi puuston tai kasvillisuuden poistoa sillä turvetuotantoalueet ovat valmiiksi paljaita, luonnostaan varjottomia kenttiä.

Heininevan perustukset ovat kelluvat eivätkä vaadi syvää maaperään muokkausta. Ojitustapa täytyi muuttaa turvetuotannon aikaisesta sarkaojituksesta. Sarkaojat eli avo-ojat olivat 20 metrin välein alueella. Kuivatus on muutettu paneelien alle jäävällä alueella säätösalojiksi. Ojitusmuutoksen aikana saattaa tulla pieni kuormituspiikki päästöissä, joka tasaantuu. Kuormitus ei kuitenkaan ole suurempaa ojitusmuutoksen aikana verrattuna turvetuotannon aikaisiin päästöihin. Avo-ojiin verrattuna säätösalojat hidastavat lähtevän veden virtaamaa alueelta ja vesien pidättyminen alueelle paranee. Heininevan säätökaivoilla saadaan nostettua vesipintaa alueella. Vedenpinnan nostolla saadaan hillittyä maaperä-, vesistö- ja ilmastopäästöjä. Kun turve on ilman vettä, turve hajoaa ja muodostaa hiilidioksidipäästöjä, mutta kun se on veden alla niin turve ei pääse hajoamaan. Turvetuotannon aikaiset vesienkäsittelyrakenteet ovat myös käytössä. Kaikki vedet menevät säätösalojien ja säätökaivojen kautta laskeutusaltaisiin, joissa on virtaamansäätöpädot. Sen jälkeen ne pumpataan kasvillisuuskentälle, jossa ravinteiden ja kiintoainneiden puhdistus jatkuu ja näitä vesiä tarkkaillaan vesilain mukaisen luvan mukaisesti. Tämän jälkeen vedet lähtevät ulkopuoliseen vesistöön.

Mitä ympäristöriskejä liittyy aurinkovoimalan rakentamiseen entiselle turvetuotantoalueelle ja miten niitä hallitaan?

Turvetta pidetään usein haitallisena sen hiilidioksidipäästöjen takia. Kun puhutaan entisestä turvetuotantoalueesta, tulee muistaa, että turve on tuotettu pääsääntöisesti loppuun. Voidaanko entinen turvetuotantoalue siis luokitella edelleen turvemaaksi vai luokitellaanko se jatkossa kivennäismaaksi?

Päästöt ovat erilaiset kivennäismaalla ja turpeella. Turpeen hajoamiseen vaikuttavat vesitalousolosuhteet ja perustamistapa sekä miten alue kasvittuu. Ympäristöriskejä voidaan hallita kuivatus- ja perustustavan optimaalisella valinnalla sekä vesien tarkkailulla. Heininevan maat ovat hapanta sulfaattimaata, joten alueelle on jätetty 15 cm turvekerros, jolla estetään potentiaalisesti happaman sulfaattimaan hapettuminen. Toimenpiteellä estetään happamien päästöjen syntyminen maaperään. ELY-keskuksen suurin huoli oli happamuuspiikkien aiheuttaminen kuivustavan muutoksessa. Peltoviljelypuolella happamien päästöjen hallintaan keskeinen suositeltu toimenpide on säätösalaajitus. Rakennusvaiheen aikana ei ole ilmennyt mitään turvetuotannosta poikkeavia tuloksia vesien tarkkailun osalta. Luontaisesti hapanta maaperää ja vettä on, mutta oletuksena ei ole ollut, että asia parantuisi hirveästi vielä rakentamisvaiheessa, sillä muokkauksen ja muutoksien takia päästöjä syntyy eniten tässä vaiheessa. Kun muokkaaminen alueella päättyy ja vesipintaa nostetaan ja alue kasvittuu niin päästöt tasaantuvat ja vakiintuvat.

Tuotantovaiheessa puisto on rauhallinen alue, jossa ei ole aktiivista kulkua tai häiriötä. On tutkimuksia, että lajisto, eläimet ja muut, erityisesti linnut tulevat alueelle levähtämään ja pesimään. Lajisto rikastuu pikkuhiljaa. On myös keinoja, joilla voidaan edesauttaa tai omaehtoisesti tuoda lajistoa, kasvillisuutta tai eläimistöä. Ulkomailla on esimerkiksi lampaita. Laidunnuksesta tulevan jätteen kautta tulee hyönteisiä ja sitä kautta lintuja ja lintujen kautta muita lajeja. EPV:ltä on tiedusteltu haluaisivatko he lampaita, mutta tästä on toistaiseksi kieltäytytty, sillä maaperä on niin köyhää, ettei siellä ole vielä luontaisesti niille ruokaa. Alue ei ole kokonaan aidattu, joten vaarana olisi myös lampaiden joutuminen petojen ruuaksi.

Miten entisen turvetuotantoalueen maaperän ominaisuudet vaikuttavat aurinkovoimalan rakentamiseen ja ympäristöpäästöihin?

Maaperän ominaisuudet vaikuttavat perustamistavan valintaan. Erilaiset perustamistavat soveltuvat erilaisille maapohjatyypeille. EPV on tutkinut vaihtoehtoisia perustamistapoja erilaisille maapohjatyypeille. Vuosien varrella on myös tutkittu rakenteiden käyttäytymistä erilaisissa sääolosuhteissa. Tutkimuksissa on arvioitu rakenteiden elämistä sekä tehty mm. vetolujuuskokeita paaluilla perustetuille ja kelluville ratkaisuille. Maaperä saattaa vaihdella merkittävästi yhdenkin entisen turvetuotantoalueen sisällä, minkä takia samalla alueella voi olla erilaisia perustamistapavalintoja rinnakkain.

Miten aurinkovoimapuiston rakentaminen vaikuttaa paikalliseen biodiversiteettiin ja ekosysteemiin?

Entisellä turvetuotantoalueella ei ole merkittäviä luontoarvoja. Luonto ja biodiversiteetti olosuhteet ovat yksipuoliset ja vähälajiset. Kun puisto siirtyy tuotantovaiheeseen, lajisto ja biodiversiteetti kuitenkin palautuu ja lisääntyy alueella, kun aikaa kuluu enemmän. Heininevan alue on aidattu vain tuloteiden osalta, joten eläimet pääsevät kulkemaan vapaasti alueella.

Kun alue kasvittuu ja rauhoittuu, se houkuttelee uusia kasvilajeja ja eläimiä alueelle. Usein ensimmäisinä kasvilajeina turvetuotantoalueelle ilmestyvät heinät, paju, mänty ja koivu. Heinineva oli turvetuotannon jälkihoitovaiheessa muutaman vuoden, ja lähti nopeasti kasvittumaan, vaikka varsinaisia kasvittamistoimenpiteitä ei tehty. Maaperän oma siemenpankki ja ympäröivä maasto vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti kasvittumista tapahtuu. Entinen turvetuotantoalue kasvittuu ensimmäisenä sieltä missä on ohuin turvekerros ja kivennäismaa on lähimpänä maanpintaa. Tällaisia alueita ovat yleensä sarkaojan pohjat ja sarkaojat, joista kasvittuminen lähtee leviämään keskisaralle paksuturpeisimmille osille päin. Vaikka alueella tehtiin ojitusmuutos, odotetaan kasvilajiston palautuvan suhteellisen nopeaa.

Millaisia maaperän ja vesistöjen suojelutoimenpiteitä tarvitaan aurinkovoimapuiston rakennusvaiheessa?

Jos maaperä on optimaalinen esimerkiksi hiekkamoreeni pohjainen, ei välttämättä tarvita kuivatusolosuhteiden tai ojitusten muuttamista. Jos verrataan maatalouteen, niin aluetta ei lannoiteta eikä maaperää enää muokata siinä vaiheessa, kun se tulee aurinkovoimalle. Päästöt ovat marginaalisemmat verrattuna moniin muihin maankäyttömuotoihin.

Maaperän ja vesistöjen suojelutoimenpiteitä tulee tarkastella alueen olosuhteiden mukaan, huomioiden turvepaksuus ja vesitalous sekä mahdolliset happamat sulfaattimaat tai mustaliuskealueista aiheutuvat riskit. Huomiota tulee kiinnittää myös turvetuotantoalueen alapuoliseen vesistön herkkyyteen. Tosin haitalliset vaikutukset alapuoliseen vesistöön pienentyvät siinä vaiheessa, kun aurinkovoimapuisto siirtyy tuotantovaiheeseen.

Jos verrataan aurinkovoimapuistoa turvetuotantovaiheeseen, päästöt pienentyvät ilmaan ja vesiin. Maaperää ei aktiivisesti enää muokata, jolloin ei lähde ravinne- ja kiintoainekuormaa, eikä turve hajoa tehokkaasti, kun siellä ei kuljeta. Tehokkain keino turpeen hajoamisen estämiseen on vesipinnan nostaminen. Lisäksi voidaan hyödyntää turvetuotannon aikaisia vanhoja vesiensuojelurakenteita, mikäli se on järkevästi toteuttavissa. Toimenpiteiden toteuttamisen ajankohta kuten esimerkiksi ojitusmuutokset tehdään mahdollisimman vähävetisenä aikana, jolloin estetään merkittävät haitta-ainekuormitukset vesistöön.

Kuinka rakentamisen aikainen liikenne ja logistiikka vaikuttavat alueen ilmanlaatuun ja melutasoon?

Liikenne ja logistiikka on runsaimmillaan rakennusvaiheessa. Melutaso ei poikkea turvetuotannon aikaisesta. Tavaroiden toimittamiseen ei tarvita erikoiskalustoa, vaan ne tulevat perinteisellä rekkaliikenteellä. Maaperän muokkausta ja tasoitusta

hoidetaan osittain vanhalla turvetuotannon kalustolla. EPV:llä ja yhteistyökumppaneilla on myös patentin takana olevaa erikoiskalustoa.

Miten aurinkovoimapuiston rakentaminen voi vaikuttaa alueen maankäytön tuleviin kehityssuunnitelmiin?

Alue on toistaiseksi poissa muusta maankäytöstä, mutta alueella on mahdollista yhdistää aurinkovoimatuotannon kanssa esimerkiksi maataloutta tai ilmasto- ja luonnonsuojelutoimenpiteitä esimerkiksi vettämällä tai kasvittamalla osa alueesta.

EPV voimalaitosyhtiönä näkee mahdollisuutena aurinkovoimalan infran hyödyntämisen esimerkiksi bio- tai terminaali-alueena. Aurinkopuistotyömaa sisältää paljon materiaaleja, joille täytyy olla järkevät varastointiolosuhteet. Nämä varastot voidaan myöhemmin rakentamisvaiheen päätyttyä hyödyntää esimerkiksi puutavaran varastointiin. Aurinkovoimapuisto ei poissulje muita maankäyttö vaihtoehtoja. Kun aurinkovoimapuisto tulee elinkaarensa päähän, alue on käytännössä joutomaa, jossa on toimiva ojitus ja infra. Aurinkovoimapuisto on pitkäaikainen ratkaisu ja toiminnan päättyessä voi olla käytössä jo uusia innovaatioita. Uusiutuvan energian kuten, aurinko- ja tuulivoiman tuotanto ovat säästä riippuvaisia. Kun sähköjärjestelmään lisätään uusiutuvia energian tuotantomuotoja, tarvitaan joustovaihtoehtoja tasapainottamaan tuotannon vaihteluja. Lisäjoustoa voidaan rakentaa aurinkopuiston yhteyteen esimerkiksi akkuvarasto systeemin muodossa.

Millaisia vaikutuksia rakennusaikaisilla toimenpiteillä on paikallisiin asukkaisiin ja sidosryhmiin?

Rakennusvaiheessa kuljetusliikenne alueelle lisääntyy hetkellisesti. Tiestöä on kunnostettu EPV:n toimesta ennen rakennusvaiheen aloittamista ja sitä jatketaan myös tarvittaessa aurinkovoimalan ollessa toiminnassa ja toiminnan päätyttyä. Melutaso ei lisääntynyt turvetuotannon aikaisesta.

Maisemavaikutukset ovat paikallisia sillä ei olla taajama-alueella. Etäisyys asutukseen on turvetuotannon ympäristöluvan kautta jo kunnossa. Koska alue on jo energiantuotannossa ollut alue, siitä ei aiheudu merkittäviä muutoksia ympäröivälle maankäytölle tai asukkaille.

Rakennusvaihe lisää paikallista työllisyyttä ja tukee myös paikallista elinvoimaa palvelujen käytön lisääntyessä työntekijöiden myötä. Tuotantoaikana alue työllistää paikallisia yrityksiä myös erilaisten huoltotöiden kuten aurauksen kautta. Paikallista hyvinvointia lisää myös kiinteistöverojen maksu Lapuan kaupungille.

Mitä päästöjä aurinkovoimalan tuotantovaiheessa syntyy ja miten ne voidaan minimoida?

Päästöt tasaantuvat ja pienentyvät tuotantovaiheen aikana, kun alue rauhoittuu, eikä siellä ole kulkua ja muokkausta.

Miten tuotannon aikaisia ympäristövaikutuksia seurataan?

Kuormitus ja vesistövaikutuksia seurataan vesilain mukaisen luvan ehtojen mukaisesti ja siinä veloitettun ajan. Kosteikolle tulevalle vedelle on asetettu vakiintunut pH taso, jonka pitää olla yli 5 ja sähkönjohtavuuden alle 20 mS/m. Käytännössä kun todetaan, että happamia päästöjä ei enää synny, esitetään ELY-keskukselle pyyntö vesientarkkailun lopettamisesta. Aluetta seurataan tarkasti ja jatkuvasti sekä tehdään tarvittavia huoltotoimenpiteitä. Kasvillisuutta saa olla, mutta sitä hillitään niin, että ne eivät varjosta paneeleita. Kemiallisia torjuntakeinoja ei käytetä. Tämän hetken näkemyksen mukaan paneelien välit niitetään kerran vuodessa.

Voiko alueen käyttö aurinkovoimalana hidastaa tai nopeuttaa turvetuotantoalueen luonnollista uudistumista tai palautumista luonnontilaan?

Alueen käyttö aurinkovoimala-alueena voi nopeuttaa luonnollista uudistumista, kun alue rauhoittuu maaperän muokkauksesta ja käsittelystä. Vedenpinnan nosto

saattaa palauttaa kosteikkolajeja. Aurinkovoimaloiden mahdollisen ennallistamisen yhteydessä luonto pyritään palauttamaan luonnontilaiseksi tai luonnontilaisen kaltaiseksi. Kun turve on nostettu alueelta loppuun kivennäismaahan saakka, niin alue ei palaudu nopeasti aiempaan ekologiseen tilaan. Suolajiston kannalta voidaan vettämällä alueita, siirtoistutuksilla ja muilla keinoin parantaa olosuhteita, mutta se ei ole välttämättä ympäristön ja ilmaston kannalta optimaalisin vaihtoehto. Kaikkia alueita ei myöskään ole järkevä ennallistaa. Mikäli kivennäismaa on lähellä pintaa, on metsitys parempi vaihtoehto ympäristön ja ilmaston kannalta. Paksun turvekerroksen alueilla, ennallistaminen on ilmaston kannalta paras vaihtoehto.

Turvetuotantoon ja teollisen mittakaavan aurinkovoimala-alueet ovat maankäytöllisesti ensisijaisesti uusiutuvan energian tuotantoon osoitettuja alueita. Tämä tulee jatkossakin rajoittamaan alueen maankäytön muotoja. Tämän vuoksi tulee jatkokäytön osalta harkita, mitkä alueen jälkikäyttötoimet ovat tarkoituksenmukaisia. On harkittava sekä luonnon ennallistamistoimia, että myös muita mahdollisia maankäyttövaihtoehtoja. Aiemmin kokemuksia aurinkovoimaloiden rakentamisesta turvetuotantoalueille on Suomessa vain vähän. Heininevan tapauksessa EPV on hankkeeseen ryhtynyt ja yhtiön mukaan tarkoitus on tehdä se mahdollisimman hyvin.

Heininevan hanke on merkittävä ja konkreettinen askel kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa. Myöhemmin muut toimenpiteet voivat olla sinne plussaa mutta ne ovat omaehtoisia asioita. Biodiversiteettiolosuhteet lisääntyvät alueella verrattuna turvetuotantoon ja keinoja edesauttaa on, mutta aina tulisi tehdä aluekohtainen tarkastelu. Lisäksi jos näitä toimia tekee, alueen sisäinen vaihtelu maaperän ja kosteusolosuhteiden osalta vaikuttaa niin, että osalla alueista tehdään jotain eri lailla kuin toisaalla. Kaikki luonnon monimuotoisuuden edistämisen toimet eivät sovi joka alueelle.

Miten vaikutukset ympäristöön muuttuvat päästöjen ja ilmaston osalta aurinkovoimalan myötä verrattuna turvetuotannon aikaiseen käyttöön?

Jos verrataan aurinkovoimapuistoa turvetuotantovaiheeseen, päästöt pienentyvät ilmaan ja vesiin sillä maaperää ei aktiivisesti muokata ja vesitalousolosuhteita muutetaan ympäristö- ja ilmastoystävällisempään suuntaan, jolloin ei lähde ravinne- ja kiintoainekuormaa eikä turve hajoa niin tehokkaasti, kun siellä ei kuljeta.

Mikä on ollut hankalin osuus luvitusprosessissa?

Uusi maankäyttömuoto, joten ei ole vakiintuneita toimintatapoja. Nojataan herkästi varovaisuusperiaatteeseen. Eri näkemykset eri viranomaisilla hidastavat ja hankaloittavat hankkeiden toteutumista.