

Loviisan Jokiniemen aurinkovoimala – kasvihuonekaasuvaikutukset

Kimmo Klemola, Cleanfi Oy

8.10.2025

Sisällys

Lyhyesti.....	3
Taustaa ja tarkastelun rajaus	8
Tulokset.....	11
Puusto ja maaperä	15
Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt	18
Aurinkovoimalan alueen päästöt.....	23
Aurinkosähkön verrokkit	26
Päästöjen vähentämismahdollisuudet	33
Luonnontilaiset (ojittamattomat) ja ojitetut suot.....	33
Ennallistamisen ilmastohyödyt	34
Ennallistamismenetelmien merkitys (Hiilipörssin menetelmät).....	36
Arvioinnin epävarmuustekijät.....	37
Vaikutukset paikalliseen ilmanlaatuun	37
Vaikutusten tunnistaminen ja vaikutusalue	37
Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	40
Nykytila.....	40
Vaikutusten arviointi ja merkittävyys	40
Haitallisten vaikutusten vähentäminen	40
Arvioinnin epävarmuustekijät.....	41
Ilmastomuutoksen vaikutukset ja ilmastomuutokseen varautuminen.....	41
Myrskyt, tuulet, sateet ja tulvariski.....	41
Kuivuus, kuumuus ja maastopalot	42
Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	43
Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	44
Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	45
Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	46
Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	47
Liite II: Sähköntuotannon päästökertoimia.....	48
Liite IV (2): Lähtötietoja, puusto ja maaperä.....	51

Lyhyesti

Loviisan Jokiniemen alueelle suunnitellulle aurinkovoimalalle on laskettu kasvihuonekaasuvaikutukset. Alueen koko pois lukien tiet ja sähkölinjat on 194 hehtaaria ja voimalan kapasiteetti on 125 MWp. Teholukeman MWp tarkoittaa ”peak”-tehoa eli maksimitehoa, jota Suomen leveysasteilla ei missään olosuhteissa saavuteta. Sähkönsiirtolinja voimala-alueelta kantaverkkoon kulkee metsäisen alueen halki. Sen pituus on noin 4,5 km ja siirtolinjan takia 13,7 hehtaaria metsää on pidettävä puuttomana.

Suunnitellun aurinkovoimalan sähköntuotanto on 30 vuoden elinkaaren aikana keskimäärin 145 GWh vuodessa, mikä on noin 0,18 % Suomen sähkönkulutuksesta vuonna 2024. Tarkasteluajan jälkeen paneelit on mahdollista vaihtaa tehokkaampiin tai samoilla paneeleilla voidaan jatkaa sähköntuotantoa. Pidempi tarkasteluaika pienentäisi aurinkovoimalan päästökerrointa (gCO₂e/kWh).

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 30 vuoden ajalta 123,8 ktCO₂e. Lisäksi puuston hakkuusta ja maaperän hiilivarastojen ja -nielujen muutoksista johtuvien päästöjen arvioidaan olevan maksimissaan 12,9 ktCO₂e. Yhteensä aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 136,7 ktCO₂e. Alueelta hakattava runkopuu menee teollisuuden käyttöön. Runkopuun mukana poistuva 3,6 ktCO₂ hiilivaraston menetys voidaan myös kohdentaa teollisuudelle, jolloin aurinkovoimalan elinkaaren päästöiksi saataisiin 133,1 ktCO₂e. Tämän raportin vertailut on tehty suurempien päästöjen mukaan. Kuvassa 1 on esitetty aurinkovoimalan päästöjä aiheuttavat toiminnot.

Aurinkovoimalan ja sähkönsiirtolinjan komponentit 112 ktCO ₂ e 25,68 gCO ₂ e/kWh	Kuljetukset, asennukset ym. 3 ktCO ₂ e 0,63 gCO ₂ e/kWh	Käyttö ja huolto 5 ktCO ₂ e 1,26 gCO ₂ e/kWh
Elinkaaren loppu (purkaminen, jätteet, kierrätys) 4 ktCO ₂ e 0,89 gCO ₂ e/kWh	Maankäytön muutokset (puusto, kasvillisuus, maaperä) 13 ktCO ₂ e 2,96 gCO ₂ e/kWh	

Kuva 1. Loviisan Jokiniemen aurinkovoimalan päästöjen muodostuminen. Voimalan elinkaaren päästöt ovat 30 vuoden aikana hakkuut ja maankäyttö huomioiden 136,7 ktCO₂e eli tuotettua kilowattituntia kohti 31,4 gCO₂e/kWh.

Aurinkovoimala-alue on tällä hetkellä 92-prosenttisesti peltoa. Laskennassa arvioidaan peltoalueen pysyvän ”peltona” tai aurinkoviljelypeltona ja maaperän päästöjen jatkuvan entisenlaisina. Voimala-alueeksi muutettavan metsäalueen oletetaan muuttuvan ”pelloksi” tai maisemapelloksi, joka aiheuttaa jonkin verran päästöjä. Paneelialue on myös mahdollista muuttaa monimuotoiseksi hiiltä sitovaksi niityksi, jolloin alueen LULUFC-kokonaispäästöt (land use, land use change and forestry) olisivat hyvin pienet.

Aurinkovoimalla tuotetun sähkön päästöjä voidaan verrata muuhun sähköntuotantoon tai toimintoihin, joita voidaan korvata lisäisen aurinkosähkön käytöllä eri kohteissa. Tällaisia ovat esimerkiksi teräksen tuotanto kivihielessä, autoilu fossiililla polttoaineilla, maakaasusta tuotetun vedyn käyttö öljynjalostuksessa ja akkukennostojen valmistuksessa käytetty sähkö. Aurinkosähköä voidaan käyttää välittömästi tai hyvin pian lisääntyvään sähköautoiluun ja öljynjalostuksen vedyntuotantoon. Vetyterästehtaita on suunnitteilla Suomeen. Suomeen on myös kaavailtu kiinalaisomisteista akkukennostotehdasta, jonka tuotanto on sähköintensiivistä ja päästöt Suomessa aurinkosähköllä tai muulla puhtaalla sähköllä tuotettuna olisivat huomattavasti pienemmät kuin likaisen sähkön Kiinassa.

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 47,2 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 94,6 %. Aurinkosähkön korvattaessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,2 %.

Maakaasun vedyntuotantoa öljynjalostamalla korvattaessa aurinkovoimalan sähkö vähentää päästöjä 84,8 % ja kiinalaista sähköä akkukennostojen valmistuksessa korvattaessa 95,3 %.

Alueelta poistetaan 4900 kiintokuutiota runkopuuta, jonka kuljetukseen tarvitaan vajaa 200 perävaunullista tukkirekkaa. Lisäksi laskennassa oletetaan, että alueelle katemateriaaliksi levitettäväksi haketetaan noin 3300 kiintokuutiota kantoja ja hakkuista tähteeksi jääneitä oksia, jotka ensin lisäävät maaperän hiilivarastoa mutta 30 vuoden aikana osaksi lahoavat hiilidioksidiksi. Järkevämpi vaihtoehto on todennäköisesti jättää kannot maahan ja käyttää oksista tehty hake energiaksi ja tehdä aurinkopaneelialueesta monimuotoinen hiiltä sitova niitty.

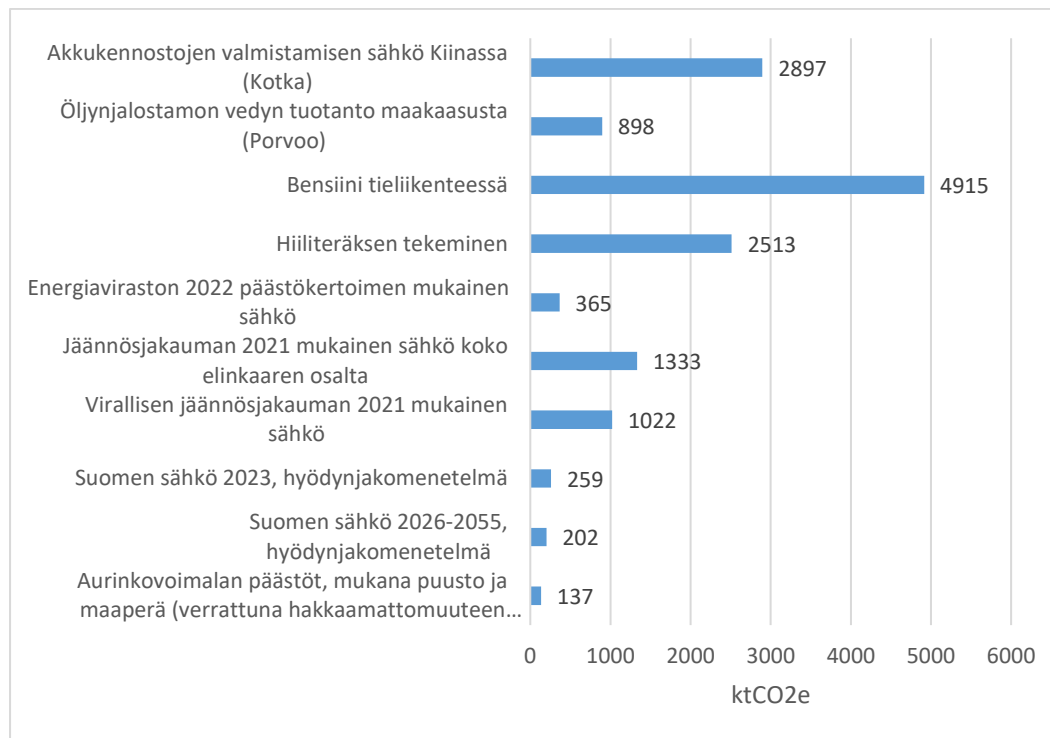
Aurinkosähkövoimalan hiilihyöty voi vertailukohdasta riippuen olla menetettyyn metsän puuston hiilivarastoon verrattuna jopa lähes 150-kertainen, puuston menetettyyn hiilivarastoon- ja nieluun (30 vuoden toteutumaton kasvu) verrattuna 70-kertainen.

Kun kaikki aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt otetaan huomioon, tuotetun aurinkosähkön hiilihyöty päästöihin verrattuna voi olla jopa 25-kertainen (aurinkosähköllä ladattu sähköauto verrattuna bensiiniautoon).

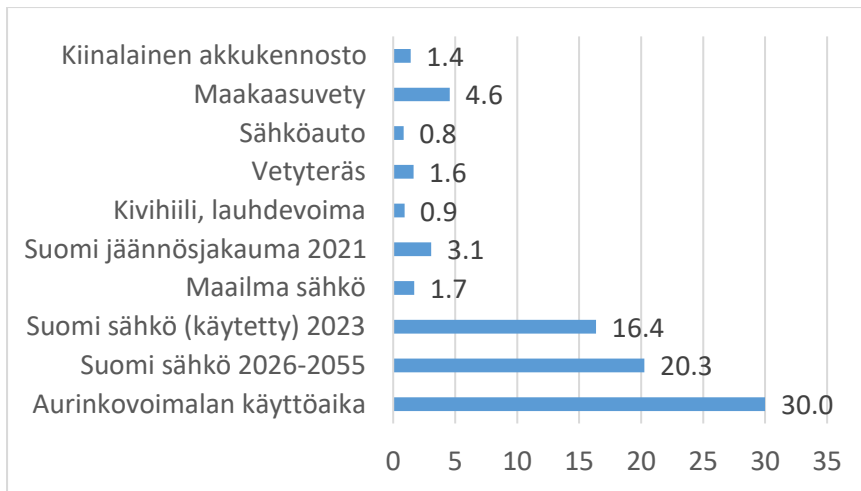
Fossiilisten polttoaineiden polttamisesta aiheutuvat päästöt voimala-alueella ovat vain noin 1,0 prosenttia (1,4 ktCO₂e) aurinkovoimalan kaikista päästöistä. Päästöt muodostuvat

voimalan rakentamisen ja huollon työkoneista ja ajoneuvoista. Itse voimalan toiminta ei aiheuta kasvihuonekaasupäästöjä.

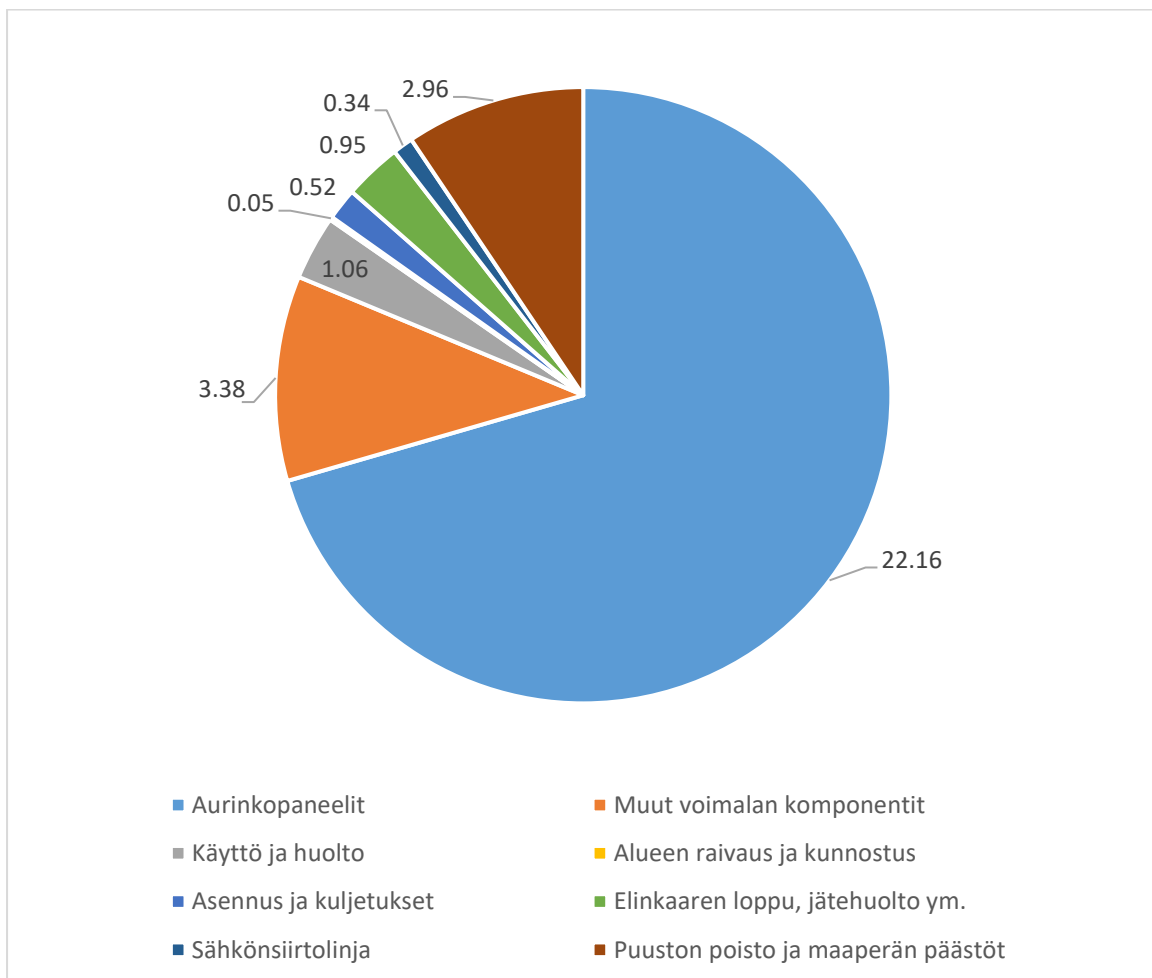
Kaikki päästöt huomioiden alueen aurinkovoimalan sähkön elinkaaren päästökertoimeksi tulee 31,4 gCO₂e/kWh (vertailun vuoksi likaisimpana pidetyn hiililauhdesähkön päästökerroin on noin 1000 gCO₂e/kWh). Mikäli alueelta hakatun runkopuun hiilivaraston menetys kohdennetaan puun ostajalle eli metsäteollisuudelle, oksien ja kantojen hiilivaraston menetys kohdennetaan niiden ostajalle eli energialaitoksille ja myös puiden korjuun ja kuljetuksen päästöt kohdennetaan ostajille, on aurinkovoimalan sähkön elinkaaren päästökerroin 30,2 gCO₂e/kWh. Itse aurinkovoimalan päästöt ovat 28,5 gCO₂e/kWh. Päästöjä lisäävät menetetty puunkasvu ja maaperän päästöt.



Kuva 2. Aurinkovoimalan sähköntuotannon elinkaaren (30 vuotta) päästöt ja päästöt, joita tuotettu aurinkovoima voi elinkaaren aikana korvata, mikäli aurinkosähkö käytetään korvaamaan vanhoja käytäntöjä. Esimerkiksi sähköautolla ajamisen kilometrimäärä (Loviisan Jokiniemen aurinkovoimalan tuottamalla sähköllä ajaa lähes 22 miljardia kilometriä), joka aiheuttaa aurinkovoimalan sähköllä ajettuna 137 ktCO₂e päästöt, aiheuttaisi vastaavalla bensiinialtolla ajettuna 4915 ktCO₂e päästöt. Erotus 4778 ktCO₂e on aurinkosähkön hiilikädenjälki.



Kuva 3. Päästöjen korvautumiseen kulunut aika vuosina aurinkosähkön eri käyttökohteissa ja aurinkovoimalan elinkaari. Toisin sanoen kuinka nopeasti aurinkovoimalan koko elinkaaren päästöt on kuitattu, kun aurinkosähkö korvaa vanhoja käytäntöjä.



Kuva 4. Loviisan Jokiniemen aurinkovoimalan elinkaaren päästöjen jakautuminen. Lukemissa yksikkö on gCO₂e/kWh. Yhteensä aurinkovoimalan päästökerroin on 31,4 gCO₂e/kWh. Suurimmat päästöt tulevat aurinkopaneeleista.

Taulukko 1. Loviisan Jokiniemen aurinkosähkön (125 MWp) ja aurinkosähkön korvaavien verrokkien hiilikädenjäljen yhteenveto. Hiilikädenjälki tarkoittaa aurinkosähkön tuottamaa päästöjen pienennystä käyttökohteessa. Hankkeen edellytys on käytännössä pitkäaikainen PPA-sopimus.

Vertailukohta	Hiilikädenjälki	Huomioita
	ktCO ₂ e	
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	114	Laskettu sähköntuotannon koko elinkaari ja huomioitu yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon osuus hyödynjakomenetelmällä. Suomen sähkön päästökerroin on tyypillisesti (Energiateollisuus, tilastokeskus) esitetty vain piipun pään päästöinä ottamatta huomioon koko elinkaarta. Siinä laskelmassa esimerkiksi aurinkosähkö on oletettu nollapäästöiseksi. Aurinkosähkö 31 gCO ₂ e/kWh, verrokki 58 gCO ₂ e/kWh.
Suomen sähkö 2026-2055, keskiarvo	66	Vertailukohta on kansallisen sähkönkulutuksen päästöskenaario vuosille 2026-2055 (hyödynjakomenetelmä). Skenaariossa päästöt on laskettu oikeaoppisesti jakamalla yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon päästöt hyödynjakomenetelmällä lämmölle ja sähkölle ja laskemalla koko elinkaaren päästöt. Skenaariossa on enenevässä määrin tuuli- ja aurinkosähköä eli tässä aurinkosähköä vertaillaan uuteen uusiutuvaan sähköön, siis pitkälti itseensä. On huomioitava, että tässä raportissa aurinkosähkön maankäytön vaikutukset on otettu huomioon. Skenaariolaskelmissa niitä ei ole otettu huomioon ja bioenergialla tuotettu sähkö on laskettu nollapäästöisenä. Aurinkosähkö 31 gCO ₂ e/kWh, verrokki 47 gCO ₂ e/kWh.
Suomen sähkö 2023, mukana bio-CO ₂	532	Loviisan Jokiniemen aurinkosähkölle on laskettu itse aurinkovoiman lisäksi maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt (puiden hiilivarasto) ja maaperä. Jos halutaan verrata Suomen sähköön, vastaavasti olisi otettava huomioon myös Suomen sähköntuotannon puun poltosta vapautunut bioperäinen hiilidioksidi. Lisäksi tulisi ottaa huomioon myös Suomen sähköntuotannon aiheuttamat maankäytön muutoksen päästöt, joita ei tässä oteta huomioon. Aurinkosähkö 31 gCO ₂ e/kWh, verrokki 154 gCO ₂ e/kWh.
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	229	Energiaviraston päästökerrointa käytetään usein verrokkina. Päästökerroin seuraa viiveellä Energiateollisuuden ilmoittamia lukuja. Aurinkosähkö 31 gCO ₂ e/kWh, verrokki 84 gCO ₂ e/kWh.
Hiiliteräksen tekeminen	2376	Hiiliteräksen korvaaminen uusiutuvalla sähköllä valmistetulla vetyteräksellä on tulevaisuuden teknologia. Potentiaalinen vaihtoehto pitkäaikaisen PPA-aurinkosähkön asiakkaaksi.
Bensiini tieliikenteessä	4778	Liikenteen sähköistyminen vaatii lisää sähköntuotantoa ja liikenteen päästöjen tosiasiallinen alentaminen vähäpäästöistä sähköä. Latausinfra-työt ovat potentiaalisia asiakkaita pitkäaikaisen PPA-aurinkosähkön ostajiksi.
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	761	Öljynjalostamo käyttää vedyntuotantoon suuria määriä fossiilista maakaasua. Elektrolyysillä aurinkosähköstä tehty vety on suoraviivainen ja nopea tapa alentaa jalostamon, bensiinin ja dieselin päästöjä. Potentiaalinen asiakas PPA-aurinkosähkölle.
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	2760	Akkukennostot valmistetaan pitkälti Kaakkois-Aasiassa. Prosessi kuluttaa paljon sähköä ja tuotantoa halutaan siirtää Eurooppaan. Potentiaalinen asiakas PPA-aurinkosähkölle.
Red III, vertailu Euroopan fossiilisähköntuotantoon 2023	3219	EU:n Red III -direktiivi on tarkoitettu lähinnä biopolttoaineiden ja P2x-polttoaineiden (sähköstä valmistetut) kestävyysvertailuun. Red III:ssa aurinkosähkö oletetaan nollapäästöiseksi, mutta maankäytön muutokset otetaan huomioon. Vertailukohta on Euroopan fossiilivaihtoehto. Aurinkosähkö 31 gCO ₂ e/kWh, verrokki 771 gCO ₂ e/kWh.
Euroopan sähkö 2023	951	Aurinkosähkö 31 gCO ₂ e/kWh, verrokki 250 gCO ₂ e/kWh.
Datakeskukset, maailman sähköntuotanto 2023	2198	Datakeskuksia on kaikkialla maailmassa (>6000), joten datakeskus, joka ostaa PPA-aurinkosähkön Suomessa, vähentää globaaleja päästöjä. Aurinkosähkö 31 gCO ₂ e/kWh, verrokki 537 gCO ₂ e/kWh.

Käytännössä aurinkosähkön käyttökohteiden hiilijalanjälki on useimmissa tapauksissa niin suuri, että aurinkovoimalan päästöillä maankäytön muutoksineen on varsin vähän vaikutusta hiilikädenjäljen suuruuteen.

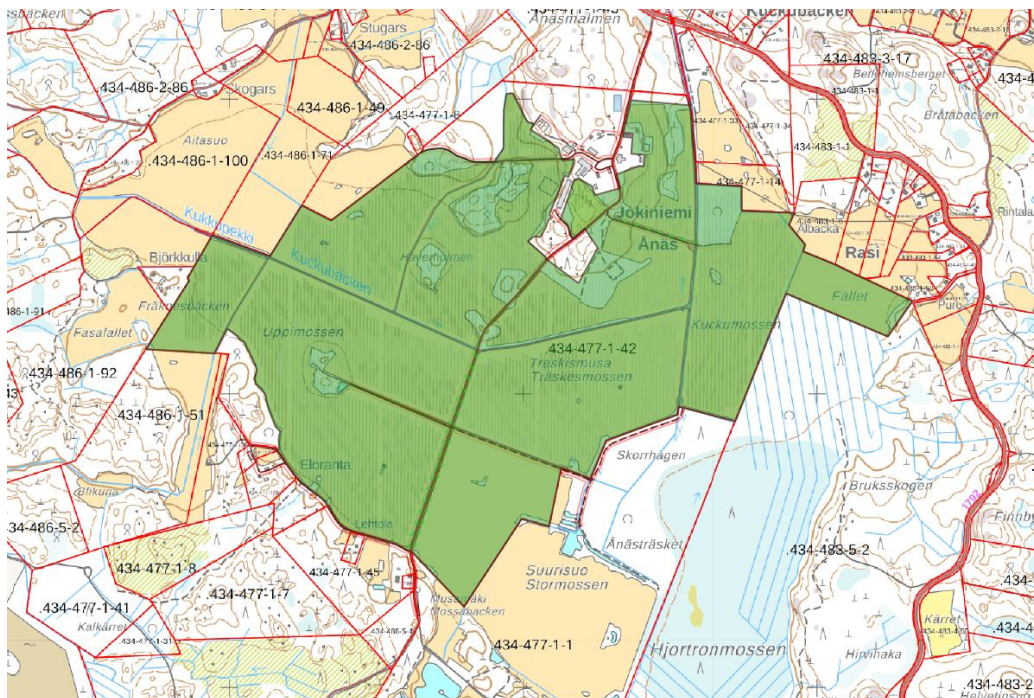
Taustaa ja tarkastelun raja

Aurinkosähköjärjestelmän ympäristövaikutukset tulevat lähinnä järjestelmän laitteiden raaka-aineiden tuottamisesta ja jalostamisesta, rakentamisesta, kuljetuksesta ja asentamisesta. Järjestelmä vaatii varsin vähän huolto- ja kunnossapitotoimintoja eikä itse sähköntuotanto aiheuta päästöjä.

Aurinkopaneeleissa on yleensä alumiinikehykset, ja tavallisesti piistä valmistetut aurinkokennot on suojattu noin 3,2 mm paksuisella lasilla. Lisäksi laitteistoon kuuluu mm. inverttereitä (vaihtosuuntaajia), muuntajia, tukirakenteita ja kaapelia. Elektroniikkalaadun piikiekoista valmistetaan aurinkokennoja.

Kvartsi on maankuoressa yleinen aine ja sen louhiminen on helppoa. Metallurgialaadun piitä valmistetaan kvartsista suurissa sulatoissa, joissa pelkistämiseen käytetään kivihiiltä. Metallurgialaadun pii muutetaan Siemensin menetelmällä trikloorisilaaniksi, joka reagoi vedyn kanssa suuressa sähköuunissa muodostaen elektroniikkalaatuista piitä. Piiharkkojen valmistusprosessissa käytetään mm. Czochralskin prosessia.

Tarkasteltavan aurinkovoimalan sijoitusalue Loviisan Jokiniemen alueella on kuvassa 3. Taulukossa 2 on esitetty alueen hehtaarimääräiset maatyypit.



Kuva 3. Aurinkovoimala-alue Loviisan Jokiniemen alueella. Sähkönsiirtolinja kantaverkkoon lähtee alueen pohjoisosasta ja on noin 4,5 kilometriä pitkä.

Taulukko 2. Aurinkovoimala-alueen ml. siirtolinja hehtaarimääräiset maatyypit.

	Alue
	ha
Kivennäismaa	80
Hakkuuaukea	3
Metsä	20
Pelto	58
Kallio	0
Turvemaa	127
Hakkuuaukea	2
Metsä	7
Pelto	118
Suo luonnontilainen	0
Suo ojitettu	0

Kasvihuonekaasulaskelmat ja hiilitasearvioinnit tehtiin seuraaville vaihtoehdoille:

- VE0 eli 0-vaihtoehto: Hanketta ei toteuteta.
 - VE0-ei hakkuita (metsäalue pysyy ”koskemattomana” 30 vuotta ja metsän annetaan kasvaa), pellot pidetään viljelyksessä
 - VE0-hakkuilla (metsäalueella hakataan normaalisti 30 vuoden aikana eli alueen metsät jatkavat talousmetsäkäytössä), pellot pidetään viljelyksessä
- VE1: Hankealueen pinta-ala 193,7 ha (siirtolinjoinen 207,4 ha). Voimalan kapasiteetti 125 MWp.

Aurinkovoimala aiheuttaa maankäytön muutosten johdosta metsän hiilivaraston (metsäisiltä alueilta hakataan puut) ja hiilinielujen (toteutumaton metsänkasvu) menetyksiä ja vaikutuksia on myös maaperän hiilen määriin (riippuen mitä maapohjalle tehdään maaperän hiilimäärä voi myös kasvaa). Menetetty hiilivarasto eli hakattu runkopuu menee tosin metsäteollisuuden tarpeisiin normaalien hakkuiden tapaan. Aurinkovoimalan komponentit, voimalan rakentaminen ja huolto elinkaaren aikana aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä. Maankäytön muutoksista johtuvia päästöjä lukuun ottamatta vain hyvin pieni osa aurinkovoimalan elinkaaren päästöistä tulee alueella tapahtuvista toimista.

Aurinkovoimalan tuottama sähkö korvaa suuripäästöisempää sähköntuotantoa tai muuta toimintaa. Näiden vertailukohteiden päästöt ja aurinkovoimalan elinkaaren aikana aikaansaamat päästövähennykset on laskettu. Tarkastellut vertailukohteet ovat:

- Suomen sähkö 2023
 - Suomessa käytetty sähkö tuotantomuotojen osuuksien mukaan, yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon päästöt on päästökerrointa laskettaessa kohdennettu sähkölle ja lämmölle käyttäen hyödynjakomenetelmää. Sähkön tuonti ja vienti on otettu huomioon.
 - Päästöjen laskennassa on otettu huomioon koko elinkaari, pl. tuuli- ja aurinkosähkön maankäytön vaikutukset.

- Suomen sähköntuotannon skenaario 2026-2055¹
 - Suomessa tuotettu sähkö vuosina 2026-2055 tuotantomuotojen osuuksien mukaan, yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon päästöt on päästökerrointa laskettaessa kohdennettu sähkölle ja lämmölle käyttäen hyödynjakomenetelmää.
 - Bioenergialla (puu) tuotettu sähkö arvioidaan nollapäästöiseksi.
 - Maankäytön vaikutuksia ei ole otettu huomioon tuuli- ja aurinkosähkölle.
- Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö
 - Energiaviraston julkaisema vuoden 2021 jäännösjakauman mukainen päästökerroin.
 - Ei ota huomioon sähköntuotannon koko elinkaarta, vain ”piipun pään” päästöt.
- Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta
 - Laskettu sähköntuotannon koko elinkaaren päästöt.
- Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö
- Hiiliteräksen tekeminen
 - Aurinkosähköä voidaan käyttää vedyn valmistamiseksi teräksen vetypelkistykseen ns. rautasieneksi ja valokaariuunissa rautasienen sulattamiseen. Nykyään pelkistys tehdään kivihiilellä.
- Bensiini tieliikenteessä
 - Aurinkosähköä käytetään sähköautoissa korvaamaan polttomoottoriautoissa käytettyä bensiiniä.
- Maakaasusta valmistettu vety öljynjalostuksessa
 - Aurinkosähköstä valmistetaan elektrolyysillä vetyä vedestä maakaasusta valmistettua vetyä korvaamaan.
- Kiinalaisen sähkön korvaaminen akkukennostojen valmistuksessa.
 - Akkukennostojen valmistus kuluttaa paljon sähköä.
 - Sähköautojen akkujen akkukennostot valmistetaan pitkälti varsin suuren päästökertoimen sähkön maissa, mm. Kiinassa ja Etelä-Koreassa.
 - Kotkaan on suunnitteilla 50 GWh akkukennostotehdas noin miljoonan sähköauton vuosittaiseen akkutarpeeseen.

Laskennassa käytettyjä oletuksia:

- Alue on aurinkovoimakäytössä 30 vuotta ja sen jälkeen alue palautuu metsä- ja peltomaaksi tai muuhun käyttöön. Alue voi jatkaa myös aurinkovoimalana.
- Alussa kapasiteettikerroin on 14 % eli esimerkiksi 125 MWp voimala tuottaa sähköä ensimmäisenä vuonna keskimäärin 17,6 MW teholla. Voimalan teho tippuu keskimäärin 0,4 % vuodessa. Kapasiteettikerroin perustuu kääntyviin aurinkopaneeliin. Mikäli aurinkopaneelit ovat kiinteitä, on kapasiteettikerroin pienempi ja elinkaaren sähköntuotanto on jonkin verran pienempi.
- Paneelit tuottavat sähköä 30 vuotta. Osa paneeleista vaihdetaan tänä aikana esimerkiksi rikkoutumisen takia.
- Invertterit vaihdetaan 15 vuoden välein eli kerran elinkaaren aikana.

Puuston hiilivarastot, hiilinielut, hakkuumäärä ja maaperän hiilinielut/päästöt arvioitiin mm. Luonnonvarakeskuksen tilastojen avulla. Hiilivarastoissa ja -nieluissa käytetään yksikköä

¹ Sompakallio Sampo, Determination of specific greenhouse gas emissions for electricity, district heat and district cooling used in buildings for 2020–2120, Syke, 2024.

ktCO₂. Muuten käytetään yksikköjä gCO₂e, tCO₂e, ktCO₂e, joissa CO₂e tarkoittaa hiilidioksidiekvivalenttia. Hiilidioksidiekvivalentti ottaa huomioon kaikki kasvihuonekaasut, hiilidioksidin lisäksi tärkeimpinä metaanin ja typpioksiduulin.

Tulokset

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ilman maankäytön muutosta ovat 30 vuoden ajalta 123,8 ktCO₂e. Voimala tuottaa 30 vuoden aikana 4,35 TWh sähköä ja aurinkosähkön päästökertoimeksi tulee 28,5 gCO₂e/kWh.

Voimalan päästöt koostuvat suurimmalta osin aurinkopaneelien ja muiden komponenttien valmistuksesta. Alueella tapahtuvat fossiilienergian polttamisesta johtuvat päästöt ovat vain 1,0 prosenttia (1,4 ktCO₂e) voimalan päästöistä (mukaan lukien puusto ja maaperä). Alueen (ml. siirtolinja) energiankäytön päästöt koostuvat puuston hakkaamisesta (harvesterit), metsäkuljetuksesta (kuormatraktorit), juurien ja hakkuutähteiden hakettamisesta, maansiirtotöistä (myös teiden rakentaminen), asennuksista, kuljetuksista, huoltotöistä, lopetusvaiheen purkutöistä ja työmatkoista – käytännössä pitkälti dieselin polttamisesta. Alueella tapahtuvat suorat fossiilisten polttoaineiden polttamisesta (pakoputki) johtuvat päästöt (1,4 ktCO₂e) ovat ns. scope 1 -päästöjä. Polttoaineiden jalostamisesta ja sähköntuotannosta johtuvat päästöt ovat ns. scope 2 -päästöjä (0,4 ktCO₂e). Scope 2 -päästöt siis johtuvat dieselin polttamisesta ja sähkönkulutuksesta, mutta ne syntyvät alueen ulkopuolella.

Puuston ja maaperän hiilivarastojen ja -nielujen muutoksista johtuen aurinkovoimalan päästöihin lisätään 12,9 ktCO₂e maankäytön muutosten LULUCF-vaikutusta (land use, land use change and forestry; puusto ja maaperä). Se on alueen hiilitaseen negatiivinen vaikutus verrattuna siihen, että aurinkovoimalaa ei rakennettaisi ja alue olisi jäänyt käyttöön, jossa alueella ei hakattaisi metsää 30 vuoteen ja alueella jatkuisi peltoviljely. Mikäli metsiä hakattaisiin eli ne jatkaisivat normaalissa metsätalouskäytössä, maaperän ja metsien päästölisyys olisi hieman pienempi eli 12,5 ktCO₂. Aurinkosähkön päästökerroin on maksimissaan 31,4 gCO₂e/kWh, kun puusto ja maaperän päästöt otetaan huomioon. Mikäli alueelta poistetun puuaineksen hiilivaraston menetys kohdennetaan puun ostajalle ja käyttäjälle, aurinkosähkön päästökerroin on 30,2 gCO₂e/kWh.

Aurinkovoimalan ilmastohyödyt tulevat aurinkosähkön korvata muuta sähköntuotantoa tai muita toimintoja, joita sähköllä voidaan korvata. Tällaisina toimintoina esimerkeiksi on otettu hiilivapaa vetyteräs, sähköautoilu, maakaasun korvaaminen öljynjalostuksessa ja akkukennostojen valmistuksen siirtyminen Kiinasta Suomeen.

Taulukossa 3 on esitetty päästötiedot, kun oletetaan että vertailukohtana on tilanne, jossa alueella ei hakata tarkasteluaikana puuta lainkaan. Taulukossa 4 on esitetty päästötiedot, kun oletetaan että vaihtoehdossa alueen metsät ovat normaalissa metsätalouskäytössä

tarkasteluajan. Taulukossa 5 on esitetty päästötiedot, kun alueen puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon. Vertailukohdissa peltoviljely jatkuu normaalisti.

Vertailun oletus: aurinkovoimalan vaihtoehdossa alueella ei hakkuita tarkastelu aikana:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 45,5 %. Suomen sähköntuotannon 2026-2055 skenaarion mukaan laskettu päästövähennys on 32,5 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 94,6 % ja aurinkosähkön korvattaessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,2 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvattaessa päästövähennys on 84,8 % ja akkukennostojen valmistuksessa 95,3 %.

Vertailun oletus: aurinkovoimalan vaihtoehdossa alueella normaali metsätalous tarkastelu aikana:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 45,6 %. Suomen sähköntuotannon 2026-2055 skenaarion mukaan laskettu päästövähennys on 32,7 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 94,6 % ja aurinkosähkön korvattaessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,2 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvattaessa päästövähennys on 84,8 % ja akkukennostojen valmistuksessa 95,3 %.

Vertailun oletus: puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 50,6 %. Suomen sähköntuotannon 2026-2055 skenaarion mukaan laskettu päästövähennys on 38,8 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 95,1 % ja aurinkosähkön korvattaessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,5 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvattaessa päästövähennys on 86,2 % ja akkukennostojen valmistuksessa 95,7 %.

Taulukko 3. Aurinkovoimalan ja aurinkosähköllä korvattavien toimintojen päästötiedot. Alueella ei hakata tarkasteluaikana ja peltoviljely jatkuu normaalisti on vertailukohta.

Vaihtoehto	VE1
Aurinkovoimalan tietoja:	
Tehokapasiteetti, MWp	125
Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh	4350
Pinta-ala, ha	207
Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:	ktCO₂e
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen	13
Aurinkovoimalan päästöt	124
Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)	137
Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:	ktCO₂e
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	251
Suomen sähkö 2026-2055, skenaario	202
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	1022
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	1333
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	365
Hiiliteräksen tekeminen	2513
Bensiini tieliikenteessä	4915
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	898
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	2897
Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:	%
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	45.5
Suomen sähkö 2026-2055, skenaario	32.5
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	86.6
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	89.7
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	62.6
Hiiliteräksen tekeminen	94.6
Bensiini tieliikenteessä	97.2
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	84.8
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	95.3

Taulukko 4. Aurinkovoimalan ja aurinkosähköllä korvattavien toimintojen päästötiedot. Normaali metsätalous tarkasteluaikana ja peltoviljelyn jatkuminen normaalisti on vertailukohta.

Vaihtoehto	VE1
<i>Aurinkovoimalan tietoja:</i>	
Tehokapasiteetti, MWp	125
Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh	4350
Pinta-ala, ha	207
<i>Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:</i>	ktCO₂e
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen	12
Aurinkovoimalan päästöt	124
Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti)	136
<i>Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:</i>	ktCO₂e
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	251
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	202
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	1022
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	1333
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	365
Hiiliteräksen tekeminen	2513
Bensiini tieliikenteessä	4915
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	898
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	2897
<i>Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:</i>	%
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	45.6
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	32.7
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	86.7
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	89.8
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	62.7
Hiiliteräksen tekeminen	94.6
Bensiini tieliikenteessä	97.2
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	84.8
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	95.3

Taulukko 5. Aurinkovoimalan ja aurinkosähköllä korvattavien toimintojen päästötiedot. Puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon.

Vaihtoehto	VE1
Aurinkovoimalan tietoja:	
Tehokapasiteetti, MWp	125
Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh	4350
Pinta-ala, ha	207
Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:	ktCO₂e
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen	131
Aurinkovoimalan päästöt	124
Aurinkovoimalan päästöt	124
Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:	ktCO₂e
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	251
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	202
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	1022
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	1333
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	365
Hiiliteräksen tekeminen	2513
Bensiini tieliikenteessä	4915
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	898
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	2897
Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:	%
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	50.6
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	38.8
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	87.9
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	90.7
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	66.1
Hiiliteräksen tekeminen	95.1
Bensiini tieliikenteessä	97.5
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	86.2
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	95.7

Puusto ja maaperä

Taulukossa 6 on esitetty maaperän ja puuston päästöjen, hiilivaraston ja hiilinielujen laskennassa käytettyjä lähtötietoja. Taulukossa 7 on esitetty Suomen puuston hiilipitoisuuden määrittäminen.

Aurinkovoimalan 194 hehtaarin pinta-alasta noin 9 % eli 18 hehtaaria on talousmetsää, jossa on myös avohakkuualueita. Laskennassa on käytetty luonnonvarakeskuksen Uudenmaan metsien keskimääräisiä puuvara-, hakkuu-, kasvu- ja poistumatietoja. Suurin osa eli noin 92

% alueesta on peltoa. Lisäksi kantaverkolle rakennettavan sähkönsiirtolinjan takia joudutaan hakkaamaan vajaa 14 hehtaaria metsää.

Taulukko 6. Maaperän ja puuston päästöjen, hiilivaraston ja hiilinielujen laskennassa käytettyjä lähtötietoja.^{2,3,4,5,6,7,8,9} Maaperän osalta positiivinen luku tarkoittaa päästöä, negatiivinen luku tarkoittaa niehua. Alueella ei ole arvometsää tai jäkäläturvekangasta.

Hiilivaraston muutos maaperässä, kivennäismaat:	
tCO ₂ /ha/a	
0.3	Maisemapellot
0.6	Maisemaniitty
-1.5	Talousmetsä
-5.7	Arvometsä
0	Louhos, maa-ainesten ottoalue ym.
Hiilivaraston muutos maaperässä, turvemaat:	
tCO ₂ /ha/a	
1.8	Turvepellot
	<i>Metsämaa:</i>
7.2	Ruohoturvekangas
3.0	Mustikkaturvekangas
0.5	Puolukkaturvekangas
-0.4	Varputurvekangas
-1.6	Jäkäläturvekangas
Puusto (Uusimaa):	
154.8	Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla (runkopuu), m ³ /ha
6.8	Puuston vuotuinen kasvu (runkopuu), m ³ /ha/a
5.3	Hakkuut (runkopuu), m ³ /ha/a
1.1	Luonnollinen poistuma (runkopuu), m ³ /ha/a
31.0	Oksisto ja lehvästö (biomassa) runkopuun määrästä, %
37.3	Kannot ja juuret (biomassa) runkopuun määrästä, %
0.739	Puun sitoma hiilidioksidi, tCO ₂ /m ³

² Kasvupaikat metsämaan kankailla ja soilla (1000 ha) muuttujina inventointi, maakunta ja kasvupaikka, Luke tilastotietokanta, 2024.

³ Puuston vuotuinen kasvu metsä- ja kitumaalla, Luke tilastotietokanta, 2024.

⁴ Puuston biomassa metsä- ja kitumaalla (milj. t), Luke tilastotietokanta, 2024.

⁵ Puuston poistuma omistajaryhmittäin ja maakunnittain 2015-, Luke tilastotietokanta, 2024.

⁶ Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla kehitysluokittain (m³/ha), Luke tilastotietokanta, 2024.

⁷ Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista, Loppuraportti, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, 2021.

⁸ Liski J., Westman C.J., Carbon storage in forest soil of Finland. Biogeochemistry 36: 261–274, 1997.

⁹ Heikkinen J., Ketoja E., Nuutinen V., Regina K., Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009, Global Change Biology, 19, 1456–1469, 2013.

Taulukko 7. Hiilen osuus puulajien kuiva-aineesta¹⁰, puulajien kuivatuoretiheys^{11,12} ja Suomen puuston puulajien kuutiomäärät ja prosenttiosuudet¹³. Suomalaiseen puuhun on keskimäärin sitoutunut 0,739 tCO₂/m³.

	Hiilen osuus kuiva- aineesta	Kuiva- tuoretiheys	Hiiltä	Sitoutunutta hiilidioksidia	Suomen puusto	Suomen puusto
	massa-%	kg/m ³	kgC/m ³	kgCO ₂ /m ³	Mm ³	%
Mänty	50.1	390	195	716	1248	49.80
Kuusi	50.1	380	190	698	757	30.21
Koivu	49.6	490	243	891	418	16.68
Haapa ja muut lehtipuut	50.1	376	188	691	83	3.31
Suomen puusto	50.0	403	202	739	2506	100.00

Taulukossa 8 on esitetty puuston poistamisen, talousmetsähakkuiden ja maaperän päästöt. Mukaan on laitettu myös aurinkovoimalan elinkaaren päästöt.

Taulukko 8. Puuston poistamisen, talousmetsähakkuiden ja maaperän päästöt.

VE0-ei hakkuita	VE0- hakkuilla	VE1	
ktCO ₂ e	ktCO ₂ e	ktCO ₂ e	
12.74	6.53	0.00	Alueen puuston hiilivarasto lopussa
6.06	6.06	6.06	Alueen puuston hiilivarasto alussa
6.69	0.47	-6.06	Puuston hiilivaraston muutos
0.00	3.69	3.60	Alueelta hakattu runkopuu
0.00	0.00	6.69	Toteutumatta jäänyt puuston kasvu
0.00	0.00	1.39	Alueelta energiapuuna poistuvat kannot ja oksat
		12.88	Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen (päästö)
		12.46	Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-hakkuilla (päästö)
		123.82	Aurinkovoimalan päästöt
		1.38	Aurinkovoimalan päästöt alueella
		136.70	Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)
		136.27	Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti)

¹⁰ Hamberg Leena, Henttonen Helena M., Tuomainen Tarja, Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaariorissa: Menetelmäkehitys Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016, Luke Luonnonvarakeskus, 2016.

¹¹ Alakangas Eija, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT tiedotteita 2045, 2000.

¹² Heräjärvi Henrik., Junkkonen Reijo, Wood density and growth rate of European and hybrid aspen in southern Finland, Baltic Forestry 12.1, 2006.

¹³ Puuston tilavuus metsä- ja kitumaalla puulajeittain VMI 13:n mukaan, Luke tilastotietokanta. 2024.

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt

Aurinkopaneeliin perustuvan aurinkosähkövoimalan päästökertoimet ($\text{gCO}_2\text{e/kWh}$) vaihtelevat kirjallisuudessa välillä 8–83 $\text{gCO}_2\text{e/kWh}$.¹⁴ Aurinkopaneelien teknologia, paneelien käyttöaika, maantieteellinen/paikallinen sijoittuminen ja laskentatavat ja -rajaukset vaikuttavat aurinkosähkön päästökertoimiin. Noin 85 % valmistetuista paneeleista on yksikidepiipaneeleja ja vuonna 2021 Aasiassa valmistettiin 93 % maailman aurinkopaneeleista.¹⁵ Paneelien maantieteellisen sijoittumisen merkitystä kuvaa, että Etelä-Suomessa paneelien tuottama vuotuinen sähkömäärä jää yhdysvaltalaisen NREL:n laskurin mukaan 44 % pienemmäksi kuin Koillis-Brasiliassa.¹⁶

Laskennassa käytettyjä oletuksia:

- Alue on aurinkovoimakäytössä 30 vuotta ja sen jälkeen alue joko palautuu pelto- ja metsämaaksi, jatkaa aurinkovoimalana tai on muussa käytössä.
- Alussa kapasiteettikerroin on 14 % eli esimerkiksi 125 MW_p voimala tuottaa ensimmäisenä vuonna sähköä keskimäärin 17,6 MW teholla 154 GWh vuodessa. Sähköntuotantoteho vaihtelee välillä 0–104 MW (parhaana hetkenä Etelä-Suomessa maksimiteho 83 % ”piikki”tehosta¹⁷). Voimalan teho tippuu keskimäärin 0,4 % vuodessa. Alussa teho tippuu enemmän, lopussa vähemmän.
- Paneelit tuottavat sähköä 30 vuotta ja ne ovat kääntyviä. Osa paneeleista vaihdetaan tänä aikana esimerkiksi rikkoutumisen takia. Elinkaaren lopussa paneelit ja rakenteet puretaan. Tukirakenteita ja infrastruktuuria on kuitenkin mahdollista käyttää myös uuden aurinkovoimalan rakentamiseen. Paneelit olisivat nykyistä tehokkaampia.
 - Aurinkoteknologian ja aurinkovoimalan päästöjen kehityksen ennustaminen ei ole helppoa. Kehitys on ollut vuodesta toiseen ennustettua nopeampaa. On arvioitu, että vuoteen 2020 verrattuna vuonna 2040 aurinkosähkön päästökerroin olisi puolet pienempi ja vuonna 2050 kaksikolmasosaa pienempi.^{18,19}
- Invertterit vaihdetaan keskimäärin 15 vuoden välein eli kerran 30 vuoden elinkaaren aikana.
- Aurinkovoimalan materiaalien kierrätystä ei sisällytetty analyysiin, koska ei ole tietoa tulevaisuuden kierrätysratkaisuista. Komponenttien materiaalien kierrättäminen vähentää esimerkiksi päästöintensiivisten primäärisen alumiinin, piin tai kuparin tarvetta.

¹⁴ Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources, United Nations Economic Commission for Europe, 2022.

¹⁵ Photovoltaics Report, Fraunhofer institute for solar energy systems ise, 2022.

¹⁶ PVWatts Calculator, National Renewable Energy Laboratory, 2022. <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

¹⁷ Prof. Antti Kosonen, LUT, suullinen tiedonanto.

¹⁸ Louwen A., Van Sark W.G., Faaij A.P., Schropp R.E., Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development, Nature Communications, 7(1), 1-9, 2016.

¹⁹ Pehl M., Arvesen A., Humpenöder F., Popp A., Hertwich E.G., Luderer G., Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling, Nature Energy, 2(12), 939-945, 2017.

Itse aurinkovoimalan päästöistä (pl. maankäytön muutokset) ylivoimaisesti suurin osa tulee voimalan komponenteista valmistusvaiheessa: aurinkopaneelit, invertterit, tukirakenteet, sähköjohdot jne. Aurinkovoimalan päästöjen määrittämisessä käytettiin kahden tuoreehkon tiedejulkaisun tietoja.^{20,21,22} Schultzin ja Carvalhon (2022) artikkelin 16,59 MWp maa-asennettua aurinkovoimalaa käytetään referenssinä. Aurinkovoima on varsin lineaarisesti skaalautuvaa, joten artikkelista saadaan päästötiedot asennettua megawattikapasiteettia kohti.

Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty aurinkovoimalan päästöt. Taulukoissa 11 ja 12 on otettu huomioon myös alueen puuston poistamisen ja maaperän päästöjen vaikutus. Alueen raivaus ja kunnostus tarkoittaa puunkorjuuta ja alueen tasoittamista maansiirtokoneilla.

Tutkimuksessa²³ kiintokuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus puunkorjuussa (pitäen sisällään sekä harvesterien että kuormatraktorien polttoaineen kulutuksen) oli päätehakkuulla keskimäärin 1,4 litraa/m³ runkopuuta. Suoria päästöjä hakkuusta ja metsäkuljetuksesta tulee 3,8 kgCO₂e/m³. Jokaista hakattua runkopuukuutiometriä kohti jää hakkuutähteenä 0,31 m³ oksia ja maaperään 0,373 m³ kantoja ja juuria. Jos ne haketetaan, hakettamiseen kuluu dieseliä 1,655 L/m³.²⁴

Maansiirtokoneiden polttoaineen kulutukseksi arvioitiin 1635 litraa/ha metsämaata golfkenttien rakentamisesta saatujen tietojen perusteella.^{25,26} Dieselin (Diesel B7, bio-osuus 7 %) elinkaaren päästöt ovat 3533 gCO₂e/L, suorat polton päästöt ovat 2708 gCO₂e/L.^{27,28} Nesteen uusiutuvan biodieselin (My Diesel, NExBTL) elinkaaren päästöt ovat 461 gCO₂e/L, suorat polton päästöt ovat 4,3 gCO₂e/L.^{29,30} Taulukossa 13 on esitetty aurinkovoimalan

²⁰ Schultz Herwin Saito, Carvalho Monica, Design, Greenhouse Emissions, and Environmental Payback of a Photovoltaic Solar Energy System, *Energies* 15.16:6098, 2022.

²¹ Fthenakis Vasilis, Leccisi Enrica, Updated sustainability status of crystalline silicon-based photovoltaic systems: Life-cycle energy and environmental impact reduction trends, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 29.10:1068-1077, 2021.

²² Smith B.L., Sekar A., Mirlletz H., Heath G., Margolis R., An Updated Life Cycle Assessment of Utility-Scale Solar Photovoltaic Systems Installed in the United States (No. NREL/TP-7A40-87372), National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States), 2024.

²³ Kärhä Kalle, Kääriäinen Heikki, Roininen Kimmo, Haavikko Hanna, Palander Teijo, Polttoaineen kulutusta puunkorjuussa selvitetään laajalla seurantatutkimuksella, *Metsäalan ammattilehti*, 2020.

²⁴ Kärhä Kalle, Mutikainen Arto, Hautala Antti, Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa, *Metsäteho*, 2010.

²⁵ Tehrani F.M., Alexandrou A., Adhikari D., Mahoney M., Maestas R., Energy inputs and carbon dioxide emissions during construction of a golf course, *International Journal of Engineering Research & Innovation*, Vol. 78–86, 2014.

²⁶ Klemola Kimmo, Golf course carbon footprint calculator, Cleanfi Oy, 2022.

²⁷ Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

²⁸ European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

²⁹ NExBTL® renewable diesel Singapore plant tallow pathway description, Neste Oil, March, 2013. available at: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board, <http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/2a2b/apps/neste-aus-rpt-031513.pdf>.

³⁰ Williams A., Audsley E., Sandars D., Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities: Defra project report IS0205, 2006.

päästöt, kun diesel on uusiutuvaa biodieseliä. Biodieselin käytön vaikutus kokonaispäästöihin on hyvin pieni.

Puunkorjuun päästöt voitaisiin kohdentaa myös puuta käyttävälle teollisuudelle. Alueen raivauksen ja kunnostuksen päästöt ovat kuitenkin vain pari promillea aurinkovoimalan päästöistä. Puiden kuljetus puuta jalostavalle sahalle tai tehtaalle ja siitä johtuvat päästöt katsotaan puun käyttäjän päästöiksi. Alueella tapahtuvat puukuljetusten päästöt on kuitenkin arvioitu.

Paneelien oletettiin tulevan Kiinasta >7500 TEU:n konttialuksella³¹ Rotterdamiin, josta ne tulevat 2000 TEU:n konttialuksella³² Suomeen. Invertterit ja muuntajat tulevat pienemmillä aluksilla Saksasta. Maantiekuljetusten päästöt arvioitiin VTT Lipaston tietokannan yksikköpäästöjen avulla.^{33,34}

Aidan ja aidan rakentamisen päästöt saatiin Desiderin *et al.*³⁵ artikkelista. Aidan hiilijalanjälki on kokonaispäästöissä hyvin pieni.

Liitteeseen I on koottu tarkemmat tiedot aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostumisesta. Liitteen II kuvassa on esitetty Suomen sähköntuotannon tuotantomuotojen koko elinkaaren päästökertoimia.

³¹ Information CO2 des prestations de transport, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'énergie, October 2012; <https://www.scribd.com/document/293045727/Guide-Information-CO2-2>

³² Konttialuksen keskimääräiset päästöt ja energian käyttö vuonna 2016, VTT Lipasto.

³³ Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, kokonaismassa 76 t, kantavuus 51 t, 9 akselia, taajama, katuajo, VTT Lipasto.

³⁴ Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, kokonaismassa 60 t, kantavuus 40 t, VTT Lipasto.

³⁵ Desideri U., Proietti S., Zepparelli F., Sdringola P., Bini S., Life Cycle Assessment of a ground-mounted 1778 kWp photovoltaic plant and comparison with traditional energy production systems. *Applied Energy*, 97, 930-943, 2012.

Taulukko 9. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen (tCO₂e).

	VE1
	tCO₂e
Aurinkopaneelit	96389
Invertterit	2958
Muuntajat	3056
Seurantalaitteet (trakkerit)	0
Tukirakenteet ja kaapelointi	7331
KytKentärsiat	119
Huoltorakennukset	858
Käyttö ja huolto	4617
Alueen raivaus ja kunnostus	225
Asennus ja kuljetukset	2276
Aita	384
Purku ja kuljetukset	260
Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.	3881
SähkÖnsiirtolinja	1461
Yhteensä	123816

Taulukko 10. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen (gCO₂e/kWh).

	VE1
	gCO₂e/kWh
Aurinkopaneelit	22.16
Invertterit	0.68
Muuntajat	0.70
Seurantalaitteet (trakkerit)	0.00
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.69
KytKentärsiat	0.03
Huoltorakennukset	0.20
Käyttö ja huolto	1.06
Alueen raivaus ja kunnostus	0.05
Asennus ja kuljetukset	0.52
Aita	0.09
Purku ja kuljetukset	0.06
Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.	0.89
SähkÖnsiirtolinja	0.34
Yhteensä	28.46

Taulukko 11. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (tCO₂e).

	VE1
	tCO₂e
Aurinkopaneelit	96389
Invertterit	2958
Muuntajat	3056
Seurantalaitteet (trakkerit)	0
Tukirakenteet ja kaapelointi	7331
KytKentärsiat	119
Huoltorakennukset	858
Käyttö ja huolto	4617
Alueen raivaus ja kunnostus	225
Asennus ja kuljetukset	2276
Aita	384
Purku ja kuljetukset	260
Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.	3881
SähkÖnsiirtolinja	1461
Puuston poisto ja maaperän päästöt	12879
Yhteensä	136695

Taulukko 12. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO₂e/kWh).

	VE1
	gCO₂e/kWh
Aurinkopaneelit	22.16
Invertterit	0.68
Muuntajat	0.70
Seurantalaitteet (trakkerit)	0.00
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.69
KytKentärsiat	0.03
Huoltorakennukset	0.20
Käyttö ja huolto	1.06
Alueen raivaus ja kunnostus	0.05
Asennus ja kuljetukset	0.52
Aita	0.09
Purku ja kuljetukset	0.06
Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.	0.89
SähkÖnsiirtolinja	0.34
Puuston poisto ja maaperän päästöt*	2.96
Yhteensä	31.42

*Mikäli alueella jatketaan hakkuita normaalisti, lukema on 1,72 gCO₂e/kWh

Taulukko 13. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO₂e/kWh). Kaikki dieselpolttoaine on uusiutuvaa biodieseliä.

	VE1
	gCO₂e/kWh
Aurinkopaneelit	22.16
Invertterit	0.68
Muuntajat	0.70
Seurantalaitteet (trakkerit)	0.00
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.69
KytKentärsiat	0.03
Huoltorakennukset	0.20
Käyttö ja huolto	0.92
Alueen raivaus ja kunnostus	0.01
Asennus ja kuljetukset	0.36
Aita	0.09
Purku ja kuljetukset	0.01
Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.	0.89
Sähkönsiirtolinja	0.34
Puuston poisto ja maaperän päästöt*	2.96
Yhteensä	31.02
Yhteensä, verrattuna normaalihakkuihin, puuaines energiakäyttöön**	29.77

*Mikäli alueella jatketaan hakkuita normaalisti, lukema on 1,72 gCO₂e/kWh

Aurinkovoimalan alueen päästöt

Aurinkovoimalan alueella päästöjä aiheuttavia toimintoja ovat:

- Puuston hakkuut (harvesterit ja kuormatraktorit)
- Oksien ja juurien haketus
- Tukkirekat
- Alueen maansiirto- ja tietyöt
- Paneelien asennus- ja kaapelointityöt
- Betonikuljetukset
- Paneelien kuljetukset
- Muuntajien kuljetukset
- Invertterien kuljetukset
- Teräs ym kuljetukset
- Aitamateriaalin kuljetus (jos aita rakennettaisiin)
- Aidan asennus
- Työntekijöiden työmatkat

- Kasvillisuuden niitto
- Paneelien pesu/huolto
- Elinkaaren lopun purkutyöt ja kuljetukset

Lisäksi maankäytön muutoksista johtuen maaperän kasvihuonekaasupäästöt kasvavat alueella ja alueelle mahdollisesti haketetut kannot, juuret ja oksat hajoavat suurelta osin hiilidioksidiksi voimalan käyttöaikana.

Taulukossa 14 on esitetty aurinkovoimalan aluepäästöt. Taulukossa 15 on esitetty päästöt, kun työkoneissa ja kuljetuksissa käytetty polttoaine on uusiutuvaa biodieseliä.

Työntekijöiden työmatkojen päästöjä ei ole huomioitu aurinkovoimalan päästöissä. Ne kuitenkin laskettiin voimala-alueen päästöihin. Työmatka-autoilua henkilöautolla voimala-alueella arvioitiin olevan elinkaaren aikana 44 tuhatta kilometriä.^{36,37,38} Kilometrikohtaiseksi päästöksi käytettiin Loviisan henkilöautokannan päästöjä vuonna 2019.³⁹ Voimala-alueen työmatkaliikenteen päästöt ovat noin 0,08 promillea voimalan kaikista päästöistä.

³⁶ Päiviö Olli, Topi Vilenius ajaa jo kolmatta Kobelcoan, Konepörssi, 2015.

³⁷ Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen, esitutkimus, Metsäteho Oy, 2003.

³⁸ Kärhä Kalle, Mutikainen Arto, Hautala Antti, Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa, Metsäteho, 2010.

³⁹ Hiilijalanjälki- ja kulutusraportti, Loviisan kulutusperäiset päästöt, Cleanfi Oy, 2021.

Taulukko 14. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella.

			VE1		
			Scope 1	Scope 2	Yhteensä
		L, MWh	tCO2e	tCO2e	tCO2e
Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)	Diesel B7	6816	18	6	24
Haketus (kannot oksat)	Diesel B7	5503	15	5	19
Hakatun puuston kuljetus	Diesel B7	906	2	1	3
Alueen maansiirto- ja tietyöt	Diesel B7	51414	139	42	182
Asennus, tukirakenteet	Diesel B7	46452	126	38	164
Asennus, kaapelointi ynm	Diesel B7	104249	282	86	368
Asennus, aurinkopaneelit	Diesel B7	11937	32	12	44
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	Diesel B7	64	0.2	0.1	0.2
Paneelien kuljetukset	Diesel B7	496	1.3	0.4	1.8
Muuntajien kuljetus	Diesel B7	69	0.2	0.1	0.2
Invertterien kuljetus	Diesel B7	47	0.1	0.0	0.2
Teräs ynm kuljetukset	Diesel B7	502	1.4	0.4	1.8
Aidan kuljetus	Diesel B7	48	0.1	0.0	0.2
Työmatkat	* (ks. alla)		8	3	10
Kasvillisuuden niitto	Diesel B7	95044	257	78	336
Paneelien pesu	Diesel B7	108203	293	89	382
Purku ja kuljetus	Diesel B7	73518	199	61	260
Yhteensä (fossiiliset päästöt)			1376	422	1797
Maaperän lisääntyneet päästöt					1205
Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen					693
Yhteensä (maaperän päästöt)					1898
Yhteensä					3696

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

* Henkilöautolla: bensiini, diesel, kaasu, sähkö, pluginhybridi

Taulukko 15. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella, kun työkonneissa ja kuljetuksissa käytetty polttoaine on uusiutuvaa biodieseliä.

			VE1		
			Scope 1	Scope 2	Yhteensä
		L, MWh	tCO ₂ e	tCO ₂ e	tCO ₂ e
Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)	HVO biodiesel	7133	0	3	3
Haketus (kannot oksat)	HVO biodiesel	5759	0	2	3
Hakatun puuston kuljetus	HVO biodiesel	906	0	0	0
Alueen maansiirto- ja tietyöt	HVO biodiesel	53801	2	23	25
Asennus, tukirakenteet	HVO biodiesel	48609	2	20	22
Asennus, kaapelointi ynm	HVO biodiesel	109090	5	46	50
Asennus, aurinkopaneelit	HVO biodiesel	12491	1	7	8
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	HVO biodiesel	67	0.0	0.0	0.0
Paneelien kuljetukset	HVO biodiesel	519	0.0	0.2	0.2
Muuntajien kuljetus	HVO biodiesel	72	0.0	0.0	0.0
Invertterien kuljetus	HVO biodiesel	52	0.0	0.0	0.0
Teräs ynm kuljetukset	HVO biodiesel	526	0.0	0.2	0.2
Aidan kuljetus	HVO biodiesel	50	0.0	0.0	0.0
Työmatkat	* (ks. alla)		8	3	10
Kasvillisuuden niitto	HVO biodiesel	99457	4	42	46
Paneelien pesu	HVO biodiesel	113228	5	47	52
Purku ja kuljetus	HVO biodiesel	74339	3	31	34
Yhteensä (fossiiliset päästöt)			30	225	255
Maaperän lisääntyneet päästöt					1205
Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen					693
Yhteensä (maaperän päästöt)					1898
Yhteensä					2153

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

* Henkilöautolla: bensiini, diesel, kaasua, sähkö, pluginhybridi

Aurinkosähkön verrokki

Aurinkosähkölle on otettu raportissa muitakin verrokkeja kuin vaihtoehtoinen sähköntuotanto, koska varsinkin lisäinen aurinkosähkö voidaan käyttää esimerkiksi suoraan terästeollisuudessa ja liikenteessä fossiilisia vaihtoehtoja korvaamaan. Sähköverrokeiksi on otettu Suomessa vuonna 2023 käytetty sähkö ja vuosien 2026-2055 sähköskenaarion keskimääräinen päästökerroin. Päästövertailu verrokkien kesken on esitetty raportin alussa taulukossa 2.

Suomen sähkö 2023 ja sähköntuotannon skenaario 2026-2055, hyödynjakomenetelmä

Suomessa vuonna 2023 käytetyn sähkön elinkaaren päästöt määritettiin laskemalla Suomessa tuotetun sähkön päästökerroin ja ottamalla huomioon myös eri maista ja maihin tuotu/viety sähkö.^{40,41,42,43} Puun, maakaasun, kivihiilen, turpeen ja jätteen polton osalta määritettiin kullekin polttoaineelle yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon osuudet. Päästöjen kohdentamisessa sähkölle ja lämmölle käytettiin hyödynjakomenetelmää.⁴⁴ Kuvissa 4 ja 5 on Suomessa tuotetun ja käytetyn sähkön sähkönlähteiden osuudet. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty Suomessa tuotetun ja käytetyn sähkön päästöjen jakautuminen. Suomessa tuotetun sähkön päästökerroin vuonna 2023 oli 59,5 gCO₂e/kWh. Suomessa käytetyn sähkön päästökerroin vuonna 2023 oli 57,6 gCO₂e/kWh.

Suomen sähköntuotannon päästöt tulevat aurinkovoimalan elinkaaren eli 30 vuoden aikana tippumaan pitkälti lisääntyvän aurinko- ja tuulisähkön tuotannon ansiosta. Suomen sähköntuotannolle on laskettu päästöskenaariot koko elinkaarelle tuleviksi vuosikymmeniksi samalla tavalla kuin Suomen vuoden 2023 sähkö on laskettu.⁴⁵ Kummassakaan tapauksessa maankäytön muutoksia ei ole otettu huomioon ja bioenergia oletetaan nollapäästöiseksi. Vuosille 2026-2055 skenaario antaa sähköntuotannon keskimääräiseksi päästöksi 46,5 gCO₂e/kWh.

⁴⁰ Sähkön hankinta energialähteittäin 2007–2023, Energiategollisuus, 2024.

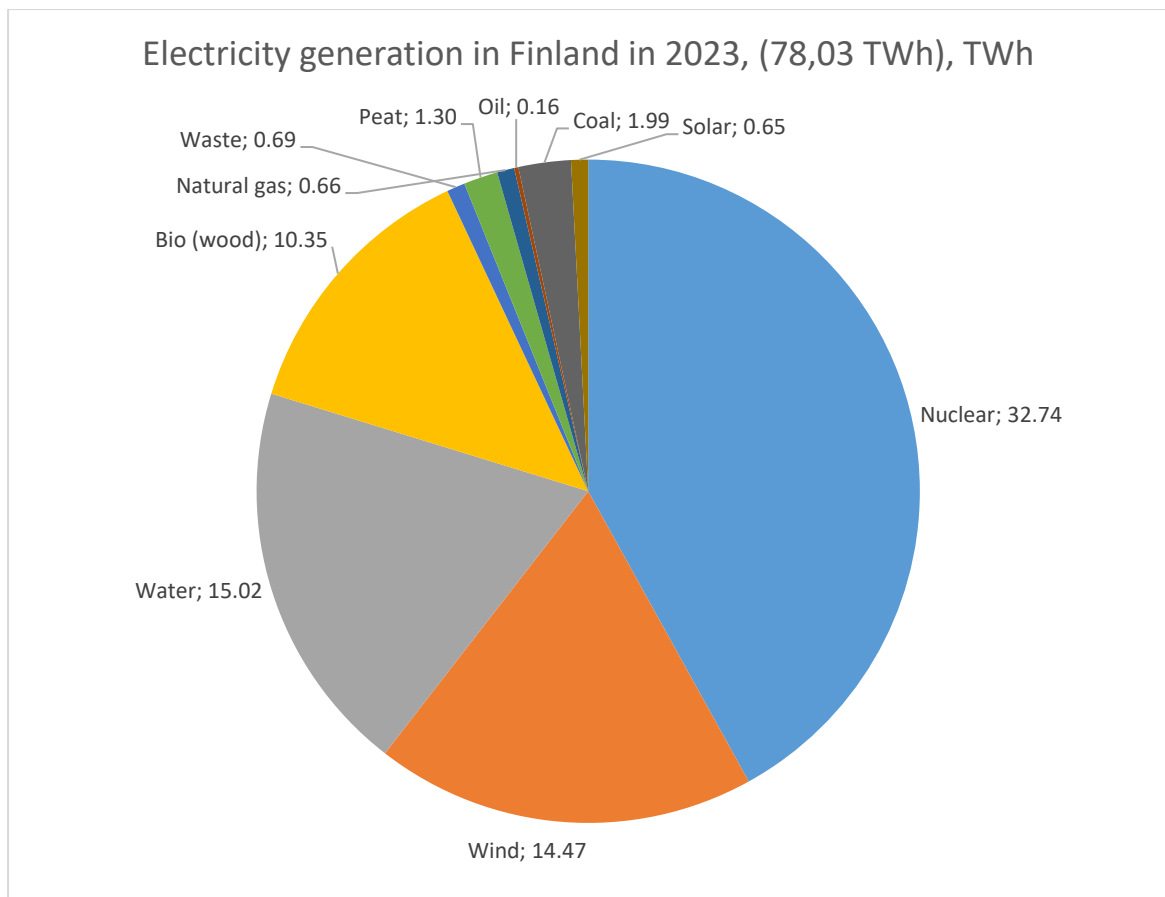
⁴¹ Statistics Estonia, <https://andmed.stat.ee/en/stat>.

⁴² Electricity production (net production) by type of power from 1970, TWh, Statistikdatabas, Energimyndigheten.

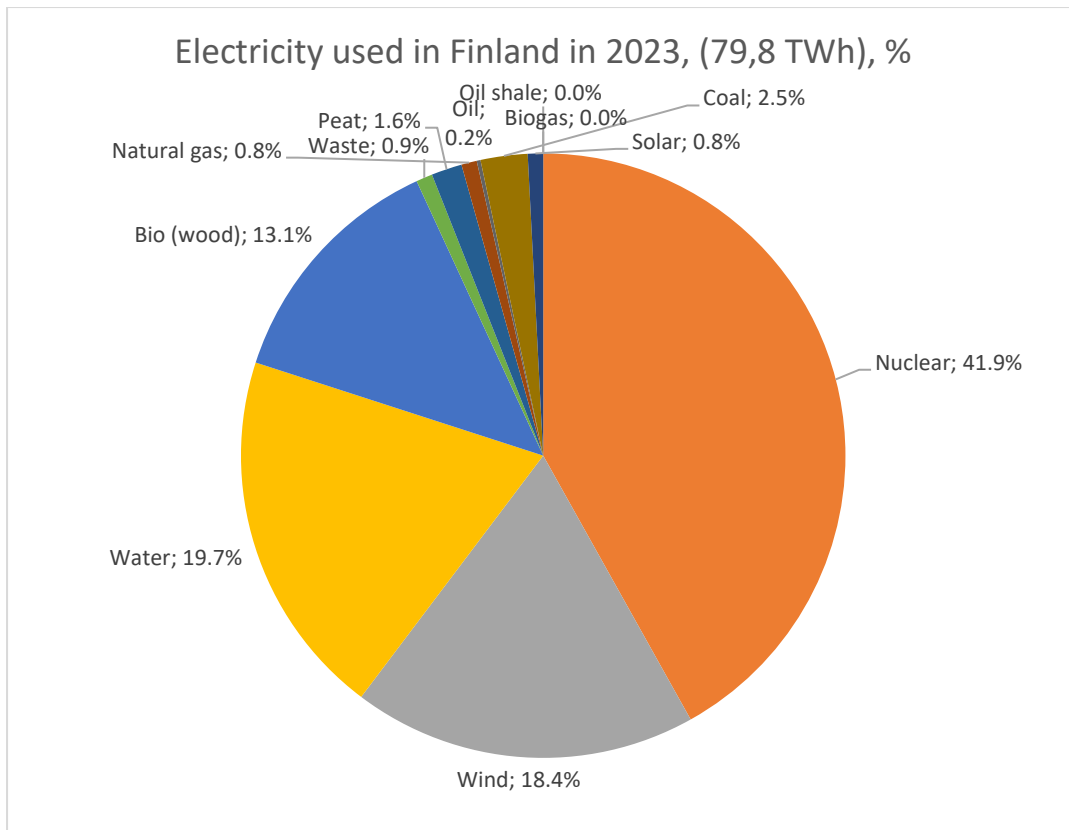
⁴³ Klemola Kimmo, Electricity generation and use in Finland – fuels and CO₂e emissions, Years 2013–2023, Cleanfi Oy, 2024.

⁴⁴ Hyödynjakomenetelmä (Benefit sharing method), Motiva.

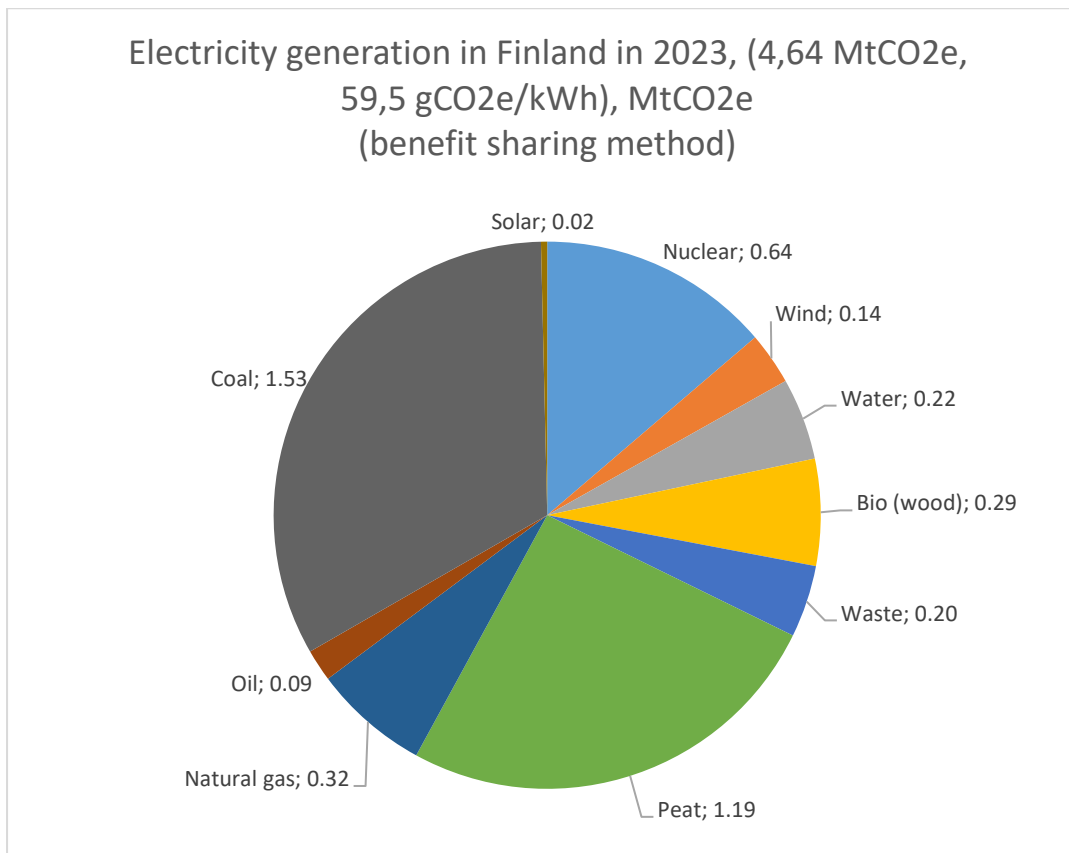
⁴⁵ Sompakallio Sampo, Determination of specific greenhouse gas emissions for electricity, district heat and district cooling used in buildings for 2020–2120, Syke, 2024.



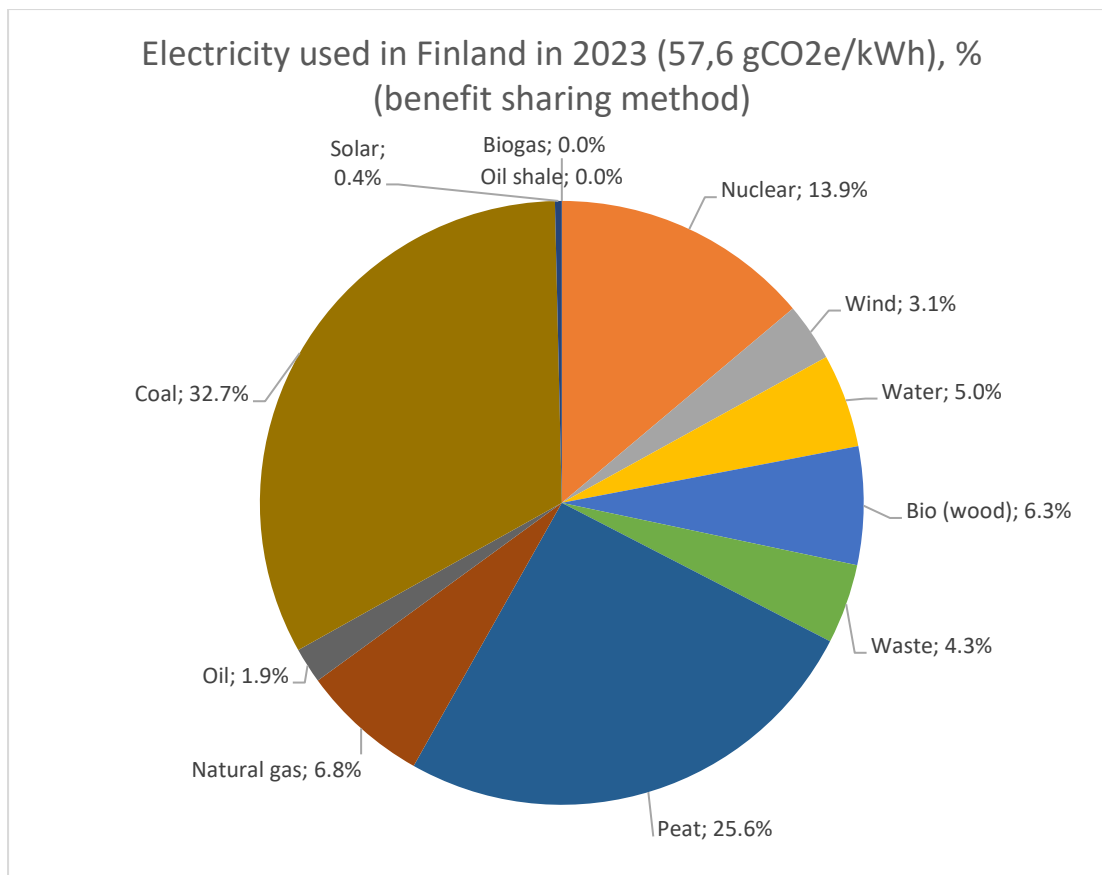
Kuva 4. Suomen sähköntuotanto 2023. TWh.



Kuva 5. Suomessa käytetty sähkö 2023, mukana vienti ja tuonti.



Kuva 6. Suomessa tuotetun sähkön päästöjen jakautuminen 2023.



Kuva 7. Suomessa käytetyn sähkön päästöjen jakautuminen 2023.

Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö

Jäännösjakauma kertoo Suomessa kulutetun varmentamattoman sähkön tuotantojakauman. Jäännösjakaumassa sähkön tuotantoon käytetyt energialähteet jaetaan kolmeen ryhmään: fossiiliset energialähteet ja turve, uusiutuvat energialähteet ja ydinvoima.⁴⁶ Vuonna 2021 jäännösjakauman mukainen virallinen päästökerroin oli 234,9 gCO₂e/kWh.

Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta

Energiaviraston ilmoittama virallinen jäännösjakauma ottaa huomioon vain sähköntuotannossa suoraan piipun päästä tulevat päästöt. Vuoden 2021 jäännösjakauman mukaiset koko elinkaaren päästöt laskettiin ja jäännösjakauman mukaiseksi päästökertoimeksi saatiin 306,5 gCO₂e/kWh, joka on 30 % suurempi kuin virallinen jäännösjakauman päästökerroin.

Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö

Energiavirasto ilmoittaa harvakseltaan Suomen sähköntuotannon päästökeroimen. ”Sähköntuotannon päästökerroin on Tilastokeskuksen tilastosta johdettu kerroin, joka kuvaa

⁴⁶ Jäännösjakauma vuoden 2021 osalta, Energiavirasto, 2022.

Suomessa tuotetun sähkön keskimääräisiä päästöjä. Kerroin on johdettu kestävyyslain ja liikennepolttoaineiden päästöjen vähentämistä koskevan lain vaatimuksia varten. Sähköntuotannon päästökerrointa käytetään kestävyyslain mukaisesti biopolttoaineiden ja bionesteiden elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa, sekä liikennepolttoaineiden päästöjen vähentämistä koskevan lain mukaisesti liikenteessä jaellun sähkön päästökertoimenä.” Voimassa oleva päästökerroin 84 gCO₂e/kWh on vuodelta 2022.⁴⁷

Hiiliteräksen tekeminen

Aurinkosähköä voidaan käyttää vedyn tuottamiseen käytettäväksi terästeollisuuden vetypelkistyksessä ja teräksen sulatuksessa korvaamaan perinteistä hiili-intensiivistä prosessia. Suomessa SSAB ja Ruotsissa Stegra (entinen H2 Green Steel) ovat aktiivisia teräksen vetypelkistysprosessien kehittäjiä.

Laskennassa on käytetty terästonniin tarvittavan sähkön määräksi 3,2 MWh.⁴⁸ Perinteisellä hiili-intensiivisellä prosessilla teräksen päästöt ovat 1,85 tCO₂e/tonni.⁴⁹ Vuonna 2021 SSAB:n Raahen terästehtaan tuotanto oli 3,4 miljoonaa tonnia.⁵⁰ Raahessa hiilivapaan teräksen tekemiseen tarvitaan vuosittain yli 10 TWh puhdasta sähköä – 70 Loviisan Jokiniemen aurinkovoimalan tuotannon verran.

Bensiini tieliikenteessä

Aurinkosähkön ilmeinen käyttökohde ovat sähköautot, jotka korvaavat henkilöautoliikenteessä pitkälti bensiiniä käyttäviä polttomoottoriautoja. Vertailuun otettiin Volkswagenin ID.3-sähköauto ja sitä vastaava bensiiniauto Golf 1.0 TSI. WLTP-kulutuslukema ID.3:lle on 15,5 kWh/100 km ja Golfille 5.7 L/100 km. Kulutuslukemista nähdään, että sähköauton energiankulutus on 70 % pienempi kuin bensiiniauton (15,5 kWh/100 km vs. 51 kWh/100 km, 1 L bensiiniä = 9 kWh).

⁴⁷ Biomassojen ja biopolttoaineiden kestävyys, Energiavirasto, 2024. <https://energiavirasto.fi/biomassojen-ja-biopolttoaineiden-kestavyys>

⁴⁸ Kushnir D., Hansen T., Vogl V., Åhman M., Adopting hydrogen direct reduction for the Swedish steel industry: A technological innovation system (TIS) study. Journal of Cleaner Production, 242, 118185, 2020.

⁴⁹ The World Steel Association (worldsteel), www.worldsteel.org, 2022.

⁵⁰ SSAB:n Raahen tehtaan ympäristövuosi 2021, SSAB, 2022.

Mikäli bensiinissä on 10 % etanolia (maissietanoli + sokeriruokoetanoli),^{51,52,53,54,55} on bensiinilitran elinkaaren päästökerroin 3072 gCO₂e. Bensiinikilowattituntia kohti päästökerroin on 340 gCO₂e, mikä on lähes kymmenen kertaa suurempi kuin aurinkosähkön päästökerroin. Yhdistettynä sähköauton paljon pienempään energiankulutukseen aurinkosähköllä ajamalla päästään 97 % bensiiniautoa pienempiin päästöihin.

Maakaasu öljynjalostuksen vedyntuotannossa

Suomessa teollisuudessa vedyntuotantoon käytetyn maakaasun korvaaminen uusiutuvalla sähköllä tuotetulla vedyllä on järkevyyslistalla ensimmäisiä aurinkosähkön käyttökohteita. Käyttökohde on valmiina olemassa. Loviisan Jokiniemen alueen aurinkovoimalan sähkö korvaisi noin 10 % fossiilisen vedyn tuotannosta Nesteen Porvoon jalostamolla. Maakaasu- ja aurinkosähkövedyn merkittävät parametrit ovat:^{56,57}

- Vety maakaasusta:
 - 48 kWh maakaasua/kgH₂
 - 230 gCO₂e/kWh maakaasua
- Vety aurinkosähköstä:
 - 53 kWh sähköä/kgH₂
 - 45 gCO₂e/kWh aurinkosähköä

Kiinalaisten akkukennostojen valmistus

Akkukennostojen valmistus on sähköintensiivinen prosessi. Yhden kilowattitunnin akkukennoston valmistus kuluttaa sähköä 57,5 kWh.⁵⁸ Akkukennostojen valmistus tapahtuu pitkälti Kiinassa ja Etelä-Koreassa, joiden sähkön päästökerroin on suuri – Kiinassa 666 gCO₂e/kWh. Kotkaan on suunnitteilla kiinalaisomisteinen akkukennostotehdas, joka valmistaisi akkukennostoja vuosittain miljoonan sähköauton tarpeisiin.⁵⁹ Tehtaan kapasiteetti olisi 50 GWh akkukennostoja. Loviisan Jokiniemen voimalan sähköntuotanto kattaisi noin 4

⁵¹ Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

⁵² European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

⁵³ Shapouri H., Duffield J.A., Wang M.Q., The energy balance of corn ethanol: an update. No. 34075, United States Department of Agriculture, Economic Research Service, 2002.

⁵⁴ Hammerschlag Roel, Ethanol's energy return on investment: a survey of the literature 1990-present, Environmental Science & Technology, Vol. 40, 1744–1750, 2006.

⁵⁵ García Carlos A., Fuentes Alfredo, Hennecke Anna, Riegelhaupt Enrique, Manzini Fabio, Masera Omar, Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico, Applied Energy, 88(6), 2088-2097, 2011.

⁵⁶ Hytönen Linda, Vetylaitoksen tuotannon energiataseen ja energiahäviöiden seurannan kehittäminen, Energiatekniikka/Prosessi- ja automaatiotekniikka, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, 2013.

⁵⁷ Blain Loz, Record-breaking hydrogen electrolyzer claims 95% efficiency, 16.3.2022, <https://newatlas.com/energy/hysata-efficient-hydrogen-electrolysis>

⁵⁸ Kurland Simon Davidsson, Energy use for GWh-scale lithium-ion battery production, Environ. Res. Commun. 2, 2020.

⁵⁹ Sajari Petri, Kiinalainen Svolt suunnittelee Suomeen neljän miljardin euron investointia – työllistäisi yli 3000 henkeä, Helsingin Sanomat, 24.10.2023.

% tehtaan sähköntarpeesta ja riittäisi vuosittaiseen noin 40 000 sähköauton akuston valmistamiseen.

Päästöjen vähentämismahdollisuudet

Aurinkovoimalan osalta kasvihuonekaasupäästöjä vähentävät tehokkaammat energiatehokkaammin ja vähähiilisemmin valmistetut aurinkopaneelit. Aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön päästökerroin tulee todennäköisesti edelleen pienenemään, joten aurinkovoimalan rakentamisen viivästyminen tarkoittaisi käytännössä päästöjen vähentymistä.

Kaikessa dieselin käytössä uusiutuvaan dieseliin vaihtaminen koko elinkaaren ajaksi toisi 1,8 ktCO₂e vähennyksen kasvihuonekaasupäästöihin, mikä vastaa 1,3 % päästövähennemää voimalan päästöissä (0,4 gCO₂e/kWh pienemmät päästöt). Voimalan huoltotöissä, kuljetuksissa ja tulevaisuuden asennustöissä tullaan todennäköisesti käyttämään enenevässä määrin sähkökäyttöisiä kulkuneuvoja ja työkoneita, mikä tarkoittaa päästöjen alenemista.

Mikäli arvokkaampia alueita jätetään metsäisiksi, niiden hiilivarasto säilyy ja kasvaa ja myös alueen maaperä saattaa pysyä hiiltä sitovana. Joidenkin soisten tai alun perin suoperäisten alueiden ennallistaminen tekisi niistä myös hiiltä sitovia. Loviisan Jokiniemen hankealueella soita ei ole, mutta osa pelloista on soille aikanaan raivattuja turvepeltoja. Suoalueella aurinkopaneelien varjostus saattaa lisätä rahkasammaleen kasvua ja turpeen kerääntymistä ennallistettuun suohon.⁶⁰ Kasvillisuudella pystytään vaikuttamaan paneelialueen maaperän päästöihin ja huoltotarpeeseen.

Loviisan Jokiniemen aurinkopaneelialueesta suuri osa on turvepeltoa, ojitettua entistä suota, joka on kuivan turpeen hajotessa päästölähde. Tällaisen alueen veden pinnan nostaminen eli ennallistaminen hiiltä sitovaksi suoksi ja aurinkopaneelientäksi on mahdollista. Lisähyötyä tuo, jos alue toimii samanaikaisesti uppopuunieluna.^{61,62}

Turvepeltomaa, jota on suurin osa aurinkovoimalan alueesta, voitaisiin muuttaa ennallistamistoimin maaperän päästöjä vähentäväksi aurinkovoimala-alueeksi. Käytännössä koko voimala-alueen maankäytön muutosten päästöt jäisivät tällöin hyvin vähäisiksi. Seuraavassa ennallistamisen vaikutuksia soiden osalta on tarkasteltu tarkemmin.

Luonnontilaiset (ojittamattomat) ja ojitetut suot

Luonnontilaisen suon(tai ennallistetun) turvekerros paksunee vuosittain hyvin hitaasti. Vuosituhansien aikana turvekerros on saattanut kuitenkin kasvaa jopa kymmenmetriseksi. Suon ojitus aloittaa turpeen lahoamisen, koska vedenpinta laskee ja turvekerrokseen pääsee

⁶⁰ Simola Heikki, Itä-Suomen yliopisto, suullinen tiedonanto 2023.

⁶¹ Malmi Seppo, Method of creating a foundation arrangement for a structure on a peatland and a foundation arrangement, Finnish patent FI131644, 2025.

⁶² Klemola Kimmo, Aurinkovoimala suolle – ennallistaminen ja hiilivaikutukset, Cleanfi Oy, 12.11.2023.

happea.⁶³ Suomessa soita on ojitettu noin kuusi miljoonaa hehtaaria pelto- ja metsämaaksi. Ojituksen vaikutus voidaan poistaa ennallistamisella.⁶⁴ Ennallistettu suo alkaa jälleen toimia hiiltä ilmakehästä maaperään siirtävänä ekosysteeminä viimeistään noin viidessä suodessa, ja kasvillisuudeltaan suo palautuu luonnonsuon kaltaiseksi noin vuosikymmenessä.⁶⁵

Simolan *et al.*⁶⁶ mukaan 50 vuoden välein tehdyt kairaukset samoilla soilla osoittivat, että Väli-Suomen alueella ojitetuilta soilta hävisi ojituksen seurauksena noin 5500 kgCO₂/ha/vuosi. Suomen ojitetuilta soilta olisi siis turpeen hajoamisen seurauksena hävinnyt vuosikymmenten aikana jopa miljardi tonnia hiilidioksidia. Osa hiilestä on tosin päätynyt valumina vesistöihin. Joka tapauksessa hiilipäästöt ovat olleet suuria.

Ojittamattomat suot sitovat kasvavaan rahkasammaleeseen ja muuhun suokasvillisuuteen ilmasta hiilidioksidia. Ojitetuilta soilta karkaa suon kuivumisen ja turpeen hajoamisen seurauksena hiilidioksidia. Lisäksi suot päästävät ilmakehään metaania (1 g CH₄ = 23 gCO₂e) ja typpioksiduulia (1gN₂O = 296 gCO₂e).

Ojitettaessa kuivuva suo alkaa päästää hiilidioksidia ilmaan ja samaan aikaan metaanin synty suossa vähenee. Ennallistus puolestaan palauttaa luonnontilaisen suon metaanipäästön, pysäyttää turpeen lahoamisen hiilidioksidiksi ja synnyttää hiilinielun kasvattaen turvekerroksen pysyvää hiilivarastoa. Avain sekä hiilen varastoitumiseen että metaanin syntyyn on turvekerroksen hapettomuus, jota turpeen huokoset täyttävä ja paikallaan pysyvä vesi ylläpitää. Metaanin synty on siis myös edellytys turpeen hiilivaraston säilymiselle ja kasvamiselle.⁶⁷

Metsäojitetuilla soilla paikallista vesistökuormitusta aiheuttavat erityisesti voimakkaat hakkuut, koska niiden seurauksena ravinteita ottava kasvillisuus vähenee ja vedenpinta turpeessa nousee.⁶⁸

Ennallistamisen ilmastohyödyt

Sadan vuoden perspektiivillä soiden ennallistamisen on todettu olevan ilmastolle hyödyllisempää kuin ennallistamatta jättäminen. On hyvä huomata, että soiden

⁶³ Sulkava Risto, Tieteellinen tausta ja toimintaperiaatteet Hiilipörssin soiden ennallistuksessa ja hiilikompensaatioissa, 2021.

⁶⁴ Laine A., Mehtätalo L., Tolvanen A., Frolking S., Tuittila E-S, Impacts of drainage, restoration and warming on boreal wetland greenhouse gas fluxes, Science of the total environment, 2019.

⁶⁵ Kareksela S., Haapalehto T., Juutinen R., Matilainen R., Kotiaho J., Fighting carbon loss of degraded peatlands by jump-starting ecosystem functioning with ecological restoration, Science of the total environment, 2015.

⁶⁶ Simola H., Pitkänen A., Turunen J., Carbon loss in drained forestry peatlands in Finland, estimated by re-sampling peatlands surveyed in the 1980s, European Journal of Soil Science, 2012.

⁶⁷ Sulkava Risto, Tieteellinen tausta ja toimintaperiaatteet Hiilipörssin soiden ennallistuksessa ja hiilikompensaatioissa, 2021.

⁶⁸ Ojanen P., Aapala K., Hotanen J-P., Kokko A., Kortelainen P., Marttila H., Nieminen M., Nieminen T.M., Punttila P., Rehell S., Sallantausta T., Sarkkola S., Tiainen J., Turunen J., Valpola S., Vasander H., Vähäkuopus T., Minkkinen K., Ojituksen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen, ilmastoon ja vesistöihin – yhteenveto, Helsingin yliopisto, Suomen ympäristökeskus, Luonnonvarakeskus, Oulun yliopisto, Metsähallitus Luontopalvelut, Geologian tutkimuskeskus, 15.2.2021.

ennallistamisen myötä kasvavat metaanipäästöt ovat paluuta soiden luonnolliseen tilaan ja päästöihin.

Hiilipörssin⁶⁹ Risto Sulkavan mukaan eri suotyyppien välisten erojen huomiointi käytännön ennallistamistyössä on lopulta mahdotonta, koska yksikään suo ei ole yhtä ja samaa suotyyppiä. Tutkimus voi osoittaa, että kannattaa ennallistaa ennemmin ruohoturvekangasta kuin varputurvekangasta, mutta koska suotyypit ovat mosaiikkina suolla, eikä niitä voi erottaa toisistaan ja ennallistaa vain jotakin osaa, molempia käytännössä ennallistetaan samalla kertaa.

Ennallistetussa suossa rahkasammaleet alkavat kasvaa ja ne myös sitovat suosta vapautuvaa metaania. Rahkasammalen vesisoluissa symbionttina elävät bakteerit sitovat energiantuotantoonsa pääosan suosta vapautuvasta metaanista. Ne käyttävät metaanin aineenvaihdunnassaan, josta vapautuu hiilidioksidia, jonka puolestaan sammalen viherhiukkaset nappaavat yhteyttämiseensä. Näin symbionttibakteerit siirtävät suosta vapautuneen metaanin kasvussaan sammaleeseen osaksi turvekerroksen hiilivarastoa.⁷⁰ Metaania synnyttävien bakteerien lisääntyminen on myös hidasta ja siksi muutokset eivät näy heti. Samoin myös metaania syövien bakteerien lisääntyminen vie aikaa. Näihin voi vaikuttaa ennallistamismenetelmillä. Aurinkopaneelien varjostus voi lisätä rahkasammaleen kasvua ja siis myös hiilensidontaa ennallistetulla suolla.⁷¹

Sulkava on raportissaan kiinnittänyt huomiota myös puustoisten ja puuttomien soiden albedoon. Puuston lisääntyminen suolla vähentää albedoa (auringon säteilyn heijastumista avaruuteen) ja siten lämmittää ilmakehää. Albedon heikkeneminen ojitettujen soiden puuston kasvaessa vaikuttaa säteilypakotteeseen suunnilleen yhtä paljon kuin turvekerroksen pinnalta mitattujen kaasutaseiden muutos ojituksen seurauksena.⁷²

Lyhyesti sanottuna soiden ennallistaminen muuttaa suon märemmäksi mikä voi tuottaa metaanipäästöjä, mutta vähentää hiilidioksidin ja typpioksiduulin päästöjä (Hotanen *et al*⁷³). Luonnontilaisen ja ennallistetun suon metaanipäästöt vaihtelevat voimakkaasti suon märkyyden ja ravinteisuuden mukaan. Eniten metaania päästävien vetisten ja ravinteikkaiden saraisten avosoiden päästöt ovat yli kymmenkertaiset verrattuna kuivempien mätäspintaisten korprien ja rämeiden päästöihin.

⁶⁹ Hiilipörssi on Suomen luonnonsuojeluliiton alun perin käynnistämä kompensatiopalvelu, jonka keskiössä on soiden ennallistaminen.

⁷⁰ Larmola T., Tuittila E-S., Tirola M., Nykänen H., Martikainen P., Yrjälä K., Tuomivirta T., Fritze H., The role of Sphagnum mosses in the methane cycling of a boreal mire, Ecology, 2010.

⁷¹ Simola Heikki, suullinen tiedonanto, 10.9.2023.

⁷² Lohila A., Minkkinen K., Laine J., Savolainen I., Tuovinen J-P., Korhonen L., Laurila T., Tietäväinen H., Laaksonen A., Forestation of boreal peatlands: Impacts of changing albedo and greenhouse gas fluxes on radiative forcing, J. Geophys. Res., 2010.

⁷³ Hotanen J-P., Sarkkola S., Mäkipää R., Soiden ennallistamisen ilmastovaikutukset ovat monitahoiset, Luonnonvarakeskus, 21.2.2023.

Hotasen *et al* mukaan mitä ravinteikkaampi ja puuntuotoskyvyltään parempi ojitettu suo on, sitä suuremmat kasvihuonekaasupäästöt turvekerroksesta ovat, ja ilmastomuutoksen torjumiseksi juuri tällaisia soita pitäisi ennallistaa. Karuja, vähäpäästöisiä soita voisi taas ennallistaa helposti ja paljon, mutta niiden ennallistamisen vaikutus ilmastoon jäisi pieneksi. Päästöt saattaisivat jopa kasvaa.

Suomessa on lähes miljoonaa hehtaaria metsänkasvatuksen näkökulmasta heikkotuottoisia ojitusalojen kasvupaikkoja. Näistä suuri osa olisi hyviä ennallistamiskohteita ilmaston ja etenkin monimuotoisuuden näkökulmasta.

Ennallistetuilla soilla tehdyt tutkimukset tukevat sitä oletusta, että pitemmän ajan kuluessa kasvihuonepäästöt palautuvat luonnontilaisen suon kaltaiselle, vedenpinnan ja ravinteisuuden määrittämälle tasolle. Ennallistaminen palauttaa pintaturpeen kertymisen ojitamattoman suon kaltaiseksi.

Ennallistamismenetelmien merkitys (Hiilipörssin menetelmät)

Jos vedenpinta nostetaan laajasti kasvillisuuspinnan yläpuolelle, todennäköisyys metaanin syntyyn lisääntyy voimakkaasti. Jos vedenpinnan taso taas vaihtelee 10–30 cm pinnan alapuolella, metaania ei synny juuri lainkaan. Vedenpinnan taso pyritäänkin pitämään suon pinnan alapuolella. Se hidastaa osan eliölajiston palautumista, mutta käynnistää prosessin, joka johtaa luonnontilaiseen suohon.

Ennallistamalla ei yleensä voi palauttaa alkuperäisen kaltaista suota. Keskeistä on palauttaa luonnonprosessi. Kun suon kehitys pääsee alkuun, kohde muokkautuu sellaiseksi suoksi kuin se nykyisissä olosuhteissa on luontaista.

Hiilipörssin ennallistamiskohteissa osa ojitetulle suolle kasvaneesta ja kaadetusta puustosta jätetään suolle tai upotetaan turpeeseen pitkäaikaiseksi hiilivarastoksi. Menetelmä hidastaa tai jopa estää puuhun sitoutuneen hiilimäärän vapautumista ilmakehään. Suon oppopuuhiilinielulle ja alueen kattamiselle aurinkopaneelientäksi eteläsuomalainen yritys on hakenut patenttia ja patentti on myönnetty syksyllä 2025.⁷⁴

Ilmaston ja suoluonnon kannalta tehokkain keino olisi upottaa puita pysyvään hiilivarastoon. Usein puuston taloudellinen arvo kuitenkin on niin suuri, että suurin osa puista myydään teollisuudelle tai energiaksi.

Veden pinnan nostamisella ilman oppopuuvarastointia 30 vuoden tarkasteluaikana turvepeltomaan päästöjä voidaan tiputtaa nykyisestä tasosta arviolta 78 tCO₂e/ha. Koko alueen potentiaali maaperän päästöjen tiputtamiseen on noin 9 ktCO₂e, mikä vastaa aurinkosähkön päästöissä 2,1 gCO₂e/kWh.

⁷⁴ Elonen Piia, Aurinkovoimayhtiö haluaa kokeilla suohon upotettavaa hiilivarastoa – ”Tämä on juuri sitä, mihin tulisikin pyrkiä”, Helsingin Sanomat, 29.10.2023.

Arvioinnin epävarmuustekijät

Kasvihuonekaasupäästöt pystytään arvioimaan varsin luotettavasti, mikäli lähtötiedot annetaan kattavasti. Itse kasvihuonekaasujen osalta on jonkin verran epävarmuutta määritettäessä hiilidioksidiekvivalenttikertoimia metaanin ja typpioksiduulin päästöille.

Loviisan Jokiniemen alueen aurinkovoimalan kohdalla ylivoimaisesti suurin päästöjen aiheuttaja on aurinkopaneelien valmistus. Maankäytön muutosten aiheuttamat päästöt ovat alueella varsin pienet, koska lähes koko paneelialue on peltomaata.

Aurinkopaneelien ja aurinkovoimalan päästöt on laskettu vertaisarvioitujen tiedeartikkelien tietojen perusteella ja tulokset ovat hyvin yhteneviä aurinkosähkölle julkaistujen päästötietojen kanssa. Aurinkopaneelien valmistuksen päästöt ovat pienentyneet vauhdilla ja kehityksen oletetaan jatkuvan. Laskennassa käytetyt tiedot ovat parin vuoden takaa, joten todennäköisesti uusien aurinkopaneelien päästöt ovat edelleen pienentyneet ja laskettu aurinkovoiman päästökerroin on hieman liian suuri.

Jonkin verran epävarmuutta arviointiin tuo aurinkovoimalan toteutuneen sähköntuotannon poikkeaminen suunnitellusta. Tähän vaikuttaa voimalan vuosituotannon määrä ja paneelien käyttöikä.

Maankäytön muutosten aiheuttamat päästöt koostuvat alueen puuston poistosta johtuvasta hiilivaraston menetyksestä ja puuston kasvun hiilinielun menetyksestä sekä maaperän päästöistä. Alueella oleva puuston määrä ja sen mukana poistuva hiili sekä puuston kasvun menetyksestä johtuva menetetty hiilinielu voidaan määrittää varsin tarkasti, koska puuston koostumus ja hiilipitoisuus ovat hyvin tiedossa. Maaperän päästöjen määrittämisessä on enemmän epävarmuuksia, mutta ne on pyritty arvioimaan parhaan tiedon mukaan.

Vaikutukset paikalliseen ilmanlaatuun

Aurinkovoimalan sähköntuotanto ei aiheuta minkäänlaisia paikallisia päästöjä ilmaan. Huoltotöissä ja kasvillisuuden poistossa käytettyjen polttoaineiden polttaminen aiheuttaa jonkin verran päästöjä. Samoin työmatkaliikenne, jota rakentamisvaiheen jälkeen on varsin vähän.

Rakentamisvaiheessa metsäkoneet, rekkakuljetukset, työkoneet ja työmatkaliikenne aiheuttavat päästöjä.

Vaikutusten tunnistaminen ja vaikutusalue

Arvioitavat ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät ovat:

- Hiilimonoksidipäästöt (CO)
- Hiilivetypäästöt (HC)
- Typen oksidien päästöt (NO_x)

- Pienhiukkaspäästöt
- Metaanipäästöt
- Typpioksiduulipäästöt (N₂O)
- Rikkidioksidipäästöt (SO₂)

Hiilimonoksidipäästöt (CO)

Epätäydellisessä palamisessa syntyy hiilimonoksidia, joka heikentää ilmanlaatua ja aiheuttaa ilmaston lämpiämistä.

Hiilivetyypäästöt (HC)

Hiilivetyjen päästöt heikentävät ilmanlaatua ja vesistöjen tilaa. Monet reaktiiviset kaksoissidoksia sisältävät hiilivedyt aiheuttavat alailmakehän fotokemiallisissa reaktioissa haitallisen otsonin muodostumista.

Typen oksidien päästöt (NO_x)

Polttoaineen palaessa osa polttoaineen sisältämästä ja ilman tyydestä hapettuu ja syntyy typen oksideja. Niiden syntyyn voidaan vaikuttaa esimerkiksi säätämällä palamislämpötilaa. NO_x-yhdisteet kulkeutuvat ilmakehän mukana ja päätyvät laskeumana happamoittamaan ja rehevöittämään vesistöjä ja maaperää.

Pienhiukkaspäästöt

Merkittävimpiä ilmansaasteita ovat hengitettävät hiukkaset ja niitä hiukan isommat pienhiukkaset, typpidioksidi, otsoni, rikkidioksidi sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Kaikki ne vaikuttavat korkeina pitoisuuksina haitallisesti terveyteen, viihtyvyyteen ja luontoon. Ihmisen toiminta, lähinnä fossiilisten polttoaineiden ja biomassan polttaminen, on lisännyt ilmakehän hiukkasten määriä. Hiukkasilla (PM = particulate matter) tarkoitetaan alle 500 µm kiinteitä tai nestemäisiä ”aerosoleja”. Aerosoli tarkoittaa kaasumaista väliainetta ja siinä leijuvia kiinteitä tai nestemäisiä hiukkasia. Pienet alle 10 µm hiukkaset päätyvät hengitysteihin ja alle 2,5 µm pienhiukkaset tunkeutuvat keuhkorakkuloihin. Pienten hiukkasten viipymäaika ilmakehässä on suuri ja siten ne myös kulkeutuvat kauas, jopa mantereelta toiselle.

Metaanipäästöt

Ihmistoiminta on lisännyt metaanipäästöjä. Metaanipäästöjä syntyy fossiilisten polttoaineiden tuotannosta ja käytöstä, maataloudesta ja tulevaisuudessa ehkä enenevässä määrin ilmastonlämpiämisestä johtuvasta metaanihydraattien vapautumisesta ilmakehään. Metaani on voimakas kasvihuonekaasu. Gramman metaania ilmastoa lämmittävä vaikutus on 21-kertainen hiilidioksidigrammaan verrattuna. Metaanipäästöt aiheuttavat myös haitallista alailmakehän otsonin muodostumista.

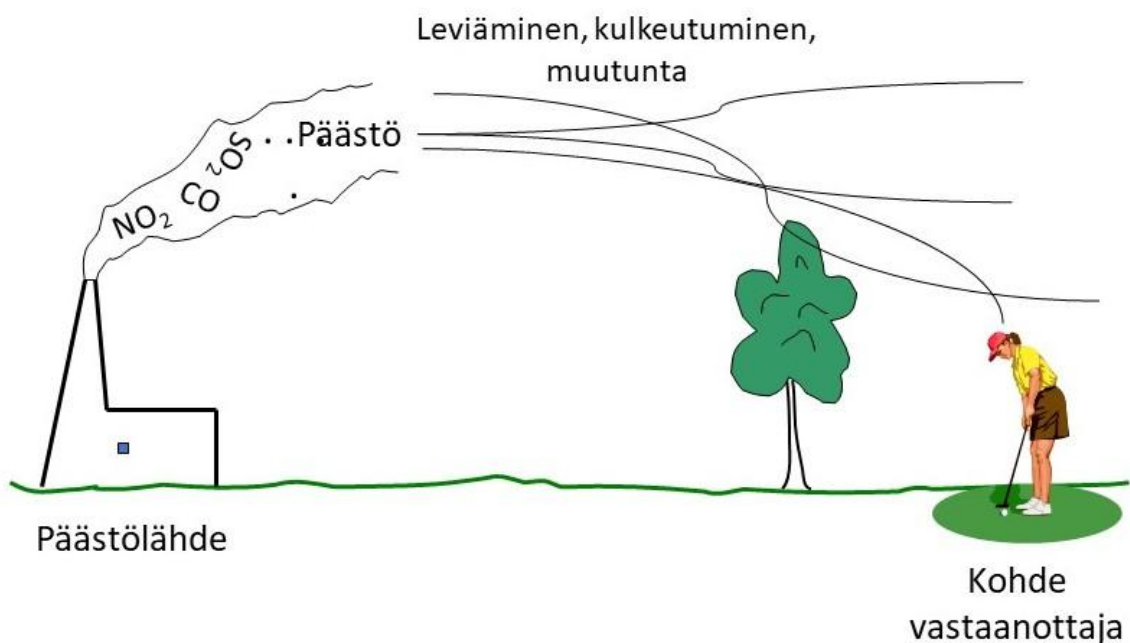
Typpioksiduulipäästöt (N₂O)

Typpioksiduuli eli N₂O on yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasuista. Gramma typpioksiduulia ilmakehässä aiheuttaa noin 300 kertaa voimakkaamman kasvihuonekaasuvaikutuksen kuin gramma hiilidioksidia. Typpioksiduuli aiheuttaa myös otsonikatoa.

Rikkidioksidipäästöt (SO₂)

Polttoaineet sisältävät rikkiä vaihtelevia määriä ja palamisprosesseissa rikki muuttuu rikkidioksidiksi (SO₂). Rikkidioksidi reagoi ilmakehässä rikkihapoksi ja happamoittaa sadevesiä. Rikkidioksidi voi myös reagoida pienhiukkasten kanssa ja päätyä pois ilmakehästä kuivalaskeumana. Rikkidioksidipäästöt aiheuttavat ennenaikaisia kuolemia ja sairauksia sekä vaikuttavat haitallisesti materiaaleihin ja kasvistoon.

Siinä missä kasvihuonekaasupäästöjen vaikutus on globaali, monien aineiden päästöjen vaikutukset ovat paikallisempia. Vaikutukset eivät kuitenkaan rajoitu voimala-alueelle. Ilmapäästöt leviävät ilmavirtausten mukana ajan ja etäisyyden myötä laimentuen. Ilmakehässä molekyyleille voi tapahtua muutuntaa (kemiallisia reaktioita), päästöjen viipymäaika vaihtelee ja lopulta ne päätyvät maahan tai vesistöihin märkä- tai kuivalaskeumana. Kuvassa 8 on esitetty yksinkertaistettuna päästöt, kulkeutuminen, muutunta ja laskeuma.



Kuva 8. Ilmapäästöjen kulkeutuminen, muutunta ja laskeuma.

Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

Aiemmin on käsitelty aurinkovoimalan alueen eri toimintojen polttoaineen kulutukseen vaikuttavia tekijöitä. VTT:n Lipasto-tietokannan yksikköpäästöjä käytettiin päästöjen arviointiin.⁷⁵ Taulukossa 16 on VTT:n Lipasto-tietokannan yksikköpäästöjä.

Taulukko 16. VTT:n Lipasto-tietokannan yksikköpäästöjä (litraa kohti).

		CO	HC	NOx	PM	CH4	N2O	SO2
		g	g	g	g	g	g	g
Hakkuukoneet (moto)	Diesel B7	5.70	0.72	3.95	0.08	0.15	0.04	0.01
Metsätraktorit	Diesel B7	7.87	0.94	5.96	0.20	0.15	0.04	0.01
Muut dieselmääräiset siirrettävät työkonet	Diesel B7	17.31	5.51	25.12	2.15	0.15	0.04	0.01
Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, 76t	Diesel B7	0.35	0.06	0.67	0.01	0.00	0.06	0.01
Kaivukoneet, tela- alustaiset	Diesel B7	13.40	2.34	13.40	0.62	0.16	0.04	0.01
Mönkijät, diesel	Diesel B7	11.66	3.84	20.00	1.40	0.15	0.04	0.01
Henkilöauto, bensiini	Bensiini	7.62	0.55	1.35	0.02	0.03	0.04	0.01
Henkilöauto, diesel	Diesel B7	1.54	0.27	10.93	0.42	0.01	0.11	0.01
Ajoruohtonleikkurit, diesel	Diesel B7	19.66	8.72	32.20	3.48	0.15	0.04	0.01

Päästöt arvioitiin koko 30 vuoden elinkaaren ajalle. Vertailun vuoksi arvioitiin myös Loviisan asukkaiden henkilöliikenteen päästöt yhden vuoden ajalta.⁷⁶

Nykytila

Alue on maaseutuvaltaista ja alueen liikenne on vähäistä. Harva asutus sekä maa- ja metsätalous aiheuttavat liikenteen lisäksi ilmapäästöjä. Päästöt voidaan katsoa vähäisiksi.

Vaikutusten arviointi ja merkittävyys

Liitteessä III on esitetty voimala-alueen ilmapäästöt.

Haitallisten vaikutusten vähentäminen

Alueella tapahtuvilla ilmapäästöillä ei ole merkittävää vaikutusta paikalliseen ilmanlaatuun missään elinkaaren vaiheessa. Päästöjä on mahdollista vähentää uusiutuvaa biodieseliä käyttämällä. Uusiutuvan biodieselin molekyylit ovat kuitenkin hyvin samankaltaisia fossiilisen dieselin molekyyliden kanssa, ja poltossa syntyvät päästöt eivät merkittävästi eroa toisistaan. Uusiutuvalla biodieselillä lähipäästöt ovat jonkin verran pienemmät.

Merkittävämpiä vaikutuksia lähipäästöihin tuo liikenteen ja työkonien sähköistyminen voimalan pitkän elinkaaren aikana.

⁷⁵ Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä Lipasto, VTT.

⁷⁶ Hiilijalanjälki- ja kulutusraportti, Loviisan kulutusperäiset päästöt, Cleanfi Oy, 2021.

Arvioinnin epävarmuustekijät

Jonkin verran epävarmuuksia on 30 vuoden elinkaaren polttoaineiden kulutuksen arvioimisessa. Liikenteen ja työkonien sähköistyminen tarkoittaa, että esimerkiksi kunnossapidon ja huollon työkonien ja kuljetusten polttoaineenkulutukset on mitä ilmeisimmin yliarvioitu. Polttoaineiden ja moottorien kehittymisen myötä polttamisen yksikköpäästöt todennäköisesti pienentyvät.

VTT:n Lipasto-tietokannan yksikköpäästöt ovat vuodelta 2016 ja niissä on epävarmuuksia. Pieneltä osin samoja yksikköpäästöjä on käytetty jopa 2050-luvulla tapahtuviin päästöihin.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja ilmastonmuutokseen varautuminen

Ilmastonmuutos lisää sään ääri-ilmiöitä. Voimakkaiden sateiden, myrskytuulten, kuivuuden ja tulvien todennäköisyys kasvaa. Aurinkovoimalat sijaitsevat ulkona ja ne on lähtökohtaisesti suunniteltu kestämaan kymmeniä vuosia eri vuodenaikoina erilaisissa olosuhteissa. Alla on käsitelty joitain ilmastonmuutokseen liittyviä riskejä, jotka on hyvä ottaa huomioon aurinkovoimaloita suunniteltaessa.

Myrskyt, tuulet, sateet ja tulvariski

Ilmastonmuutos tulee lisäämään myrskyjen, rankkojen sateiden ja tulvien riskiä. Loviisan Jokiniemen alue ei Suomen ympäristökeskuksen tulvakarttapalvelun mukaan ole tulvariskialuetta. Tulviin ja rankkasateisiin on kuitenkin hyvä varautua.

Tulvat voivat vaikuttaa monin tavoin maa-asennettuihin aurinkovoimaloihin. Paneelit voivat irrota tukirakenteista tai tukirakenteet maasta kovissa tulvissa, kuten Espanjassa tapahtui syksyllä 2024. Jos aurinkopaneelijärjestelmät altistuvat tulvavedelle, sillä voi olla vakavia seurauksia sähkölaitteille, kuten inverttereille ja mahdollisille akuille. Myös kovat tuulet ja myrskyt ovat vaurioittaneet maailmalla sekä maa- että kattoasennettuja aurinkovoimaloita.⁷⁷

Laadukkaat ja hyvin asennetut aurinkopaneelit eivät välttämättä vaurioidu myrskytuulten, kovien sateiden tai tulvaveden vaikutuksesta. Jos lisäksi invertterit, muuntajat ym. suojataan vedeltä, ei rankkasade tai tulva välttämättä aiheuta suuria vahinkoja maa-asennetulle aurinkovoimalalle. Suomessa maa-aurinkovoimaloiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös poikkeuksellisen voimakkaiden lumisateiden ja lumikuorman riskit.

⁷⁷ Richardson Janet, The Impact of Flooding and Storms on Ground-Mounted and Rooftop Solar Installations, The Renewable Energy Hub, 17.11.2024.

Kuivuus, kuumuus ja maastopalot

Ilmastonmuutoksen myötä myös Suomessa kasvavat riskit pitkille kuumille ja kuiville sääjaksoille. Maastopalo aurinkopaneelialueella voi syttyä aurinkovoimalan sähköjärjestelmän vian tai ulkoisen syyn seurauksena.

Paloriskiä voi pienentää panostamalla laadukkaisiin laitteisiin ja asennuksiin, alueen kasvillisuuden valinnalla ja hoidolla⁷⁸, aitaamalla alue lohkoihin estämään ulkopuolisten liikkumista, mahdollistamalla palontorjuntakaluston pääsy koko alueelle ja valvomalla/etävalvomalla paneelialuetta.

Paloriskin kannalta kasvisto tulisi pitää palokuorman takia lyhyenä. Toisaalta paikallinen monimuotoinen korkeana kasvava kasvisto kasvattaa syvän kosteutta ja hiiltä sitovan ja maaperän eroosiota ehkäisevän juuriston, josta on hyötyä rankkasateissa ja tulvissa.

Maastopalon jälkiseurauksena on tietty riski haitallisiin valumiin voimala-alueen ulkopuolelle. Alueen vedenpinnan nostaminen ojia tukkimalla vähentää osaltaan tätä riskiä.



Kuva 9. Maa-asennetun aurinkovoimalan suunnittelussa, huollossa ja hoidossa tulee ottaa huomioon mm. myrskyt, tulvat, kuivuus, paloriskit, luonnon monimuotoisuus⁷⁹ ja vieraslajit. (AI)

⁷⁸ Vaverková M. D., Winkler J., Uldrijan D., Ogrodnik P., Vespalcová T., Aleksiejuk-Gawron J., Koda E., Fire hazard associated with different types of photovoltaic power plants: Effect of vegetation management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112491, 2022.

⁷⁹ Klemola Kimmo, Maa-asennettu aurinkovoimala: luonnon monimuotoisuus ja voimala-alueen monikäyttö, Cleanfi Oy, 12.11.2023.

Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Aurinkosähköjärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Aurinkosähkökennot (yksikiteinen pii)	57723
Alumiiniseos (AlMg3)	17239
Aurinkolasi	8031
Sähkö (keskijännite)	2667
Eteenivinyylasetaatti (EVA)	2186
Polyvinyylifluori (PVF)	1552
Karkaistu lasi	1264
Lasikuituvahvistettu muovi	1232
Aurinkosähköpaneelien valmistus	932
Polyeteenitereftalaatti (PET)	859
Muovijäämät	689
Kupari	660
Aaltopahvilaatikko	548
Piituote	293
Polyvinyylifluoridi (PVF) -jäämät	188
Lämpö (maakaasu)	132
Kuparilanka	63
Juotos (kadmiumiton)	40
Propanoli	37
Asetoni	24
Vesi	17
Jätevesi	9
Voiteluöljy	2
Nikkeli	2
Mineraaliöljyjäämät	2
Metanoli	1
Yhteensä	96389

Taulukko. Invertterien kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Invertterit	2958
Yhteensä	2958

Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Muuntajien kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Muuntajat	1910
Muuntajat 2	1147
Yhteensä	3056

Taulukko. Tukirakenteisiin ja kaapelointiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Kupari	3067
Betoniteräs	1292
Niukkaseosteinen teräs	1219
Kuparilanka	544
Polyvinyylikloridi (PVC)	532
Betoni	298
Sinkki	213
Alumiinin tuotanto	114
Alumiini	52
Yhteensä	7331

Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Kytkentärasioihin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Polyeteeni	65.12
Polyeteenin jäämät	19.91
Kupari	13.02
Nylon	5.78
Polyvinyylikloridi (PVC)	4.62
Teräs	4.23
Sähköjohtojen jäämät	2.72
Kuparilanka	1.24
Kupariromu	1.03
Messinki	0.36
Sinkki	0.33
Polyvinyylikloridi (PVC) -jäämät	0.31
Polykarbonaatti	0.05
Epoksihartsi	0.02
Teräsromu	0.02
Yhteensä	119

Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Huoltorakennusten kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Ikkunan kehykset, alumiinia	503.89
Tiilet	127.29
Keraaminen tiili	113.64
Alumiiniromu	28.46
Pinnoitettu lasi	23.88
Tuuletin + lämmönvaihdyksikkö	17.69
Betoni	15.48
Puiset ovet	10.00
Keramiikka	6.22
Betonijäämät	4.87
Kipsilevy	2.15
Alkydimaali	1.82
Muut tähdemateriaalit	0.93
Diesel	0.83
Lasijäämät	0.41
Vesi	0.20
Seinämaalijäämät	0.20
Jätevesi	0.17
Sähkö (pienjännite)	0.14
Kipsilevyn jäämät	0.06
Yhteensä	858

Taulukko. Käyttöön, korjauksiin ja huoltoon liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Vaihto: paneelit	1925
Vaihto: Invertterit	1974
Kasvillisuuden niitto	336
Paneelien pesu	382
Yhteensä	4617

Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Asennuksiin ja kuljetuksiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Asennus, tukirakenteet	164
Asennus, kaapelointi ym	368
Asennus, aurinkopaneelit	44
Betonikuljetukset	8
Paneelien kuljetukset	1527
Muuntajien kuljetus	59
Invertterien kuljetus	40
Teräs ym kuljetukset	59
Aidan kuljetus	6
Yhteensä	2276

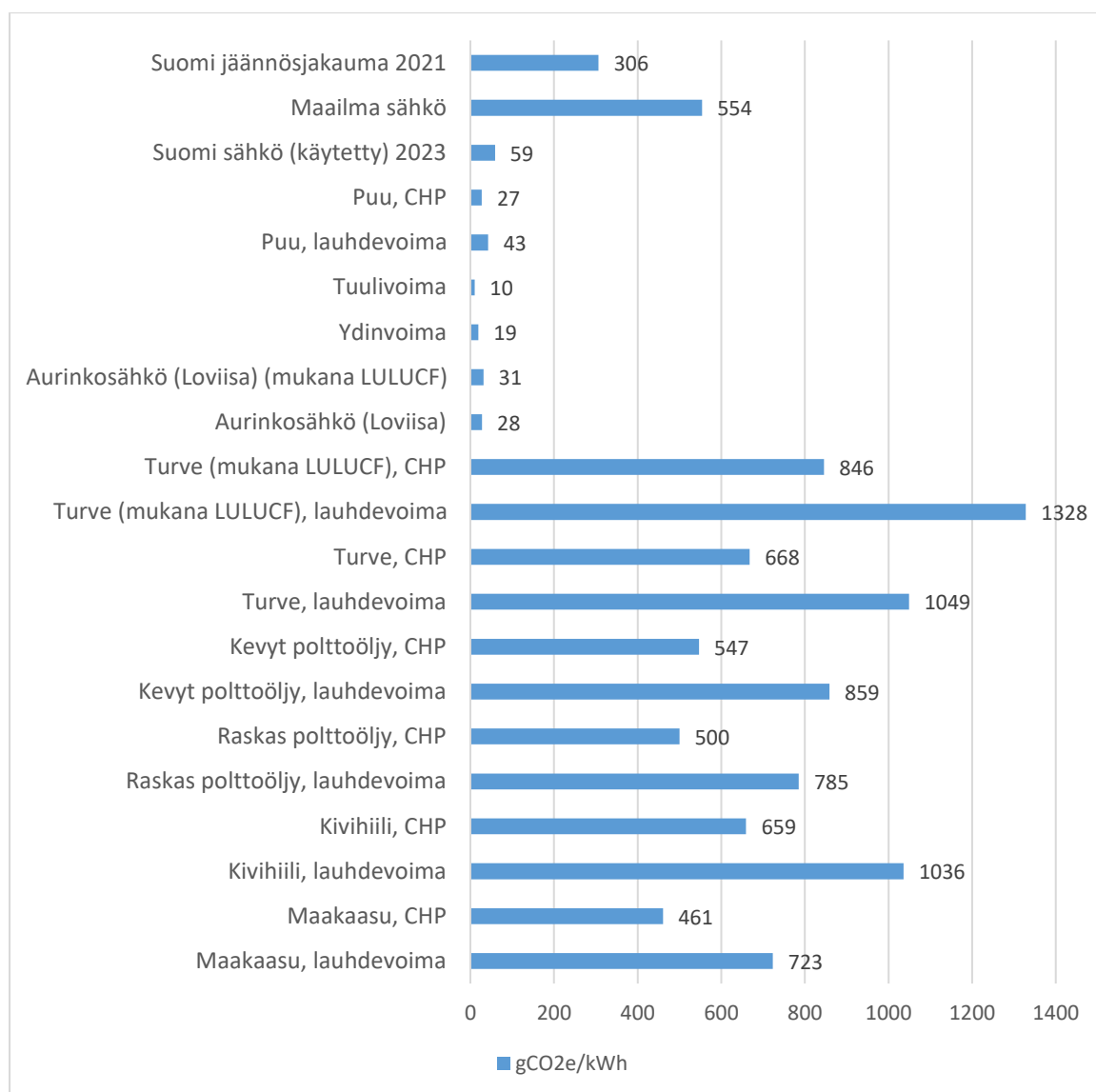
Taulukko. Purku ja kuljetus, kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Purku, tukirakenteet	33
Purku, kaapelointi ym	74
Purku, aurinkopaneelit	8
Purku, sähkö	0
Betonikuljetukset	8
Paneelien kuljetukset	58
Muuntajien kuljetus	8
Invertterien kuljetus	6
Teräs ym kuljetukset	59
Aidan kuljetus	6
Yhteensä	260

Taulukko. Aita (mahdollinen) ja siirtolinja, kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Aita	384
Siirtolinja	1461
Yhteensä	1845

Liite II: Sähkön­tuotannon päästökertoimia



Kuva. Sähkön­tuotannon päästökertoimia. Mukana koko elinkaari. Yhdistetyn sähkön- ja lämmön­tuotannon päästöjen kohdentamisessa käytetty hyödynjakomenetelmä.

Liite III: Voimala-alueen ilmapäästöt koko 30 vuoden elinkaaren ajalta

			VE1						
			CO	HC	NOx	PM	CH4	N2O	SO2
		L	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Puuston poisto (harvesterit)	Diesel B7	4532	25.85	3.28	17.90	0.37	0.70	0.19	0.04
Puuston poisto (kuormatraktorit)	Diesel B7	2284	17.97	2.14	13.62	0.45	0.35	0.10	0.02
Haketus (kannot oksat)	Diesel B7	5503	95.29	30.32	138.24	11.81	0.85	0.24	0.04
Hakatun puuston kuljetus	Diesel B7	906	0.32	0.05	0.61	0.01	0.00	0.06	0.01
Alueen maansiirto- ja tietyöt	Diesel B7	51414	688.89	120.19	688.87	31.84	8.21	2.19	0.41
Asennus, tukirakenteet	Diesel B7	46452	541.55	178.32	928.84	65.24	6.85	1.88	0.37
Asennus, kaapelointi ym	Diesel B7	104249	1215.36	400.18	2084.52	146.41	15.38	4.22	0.84
Asennus, aurinkopaneelit	Diesel B7	11917	138.94	45.75	238.29	16.74	1.76	0.48	0.10
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	Diesel B7	64	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Paneelien kuljetukset	Diesel B7	496	0.17	0.03	0.33	0.00	0.00	0.03	0.00
Muuntajien kuljetus	Diesel B7	69	0.02	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Invertterien kuljetus	Diesel B7	47	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Teräs ym kuljetukset	Diesel B7	502	0.18	0.03	0.34	0.01	0.00	0.03	0.00
Aidan kuljetus	Diesel B7	48	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Työmatkat*	Bensiini	2152	16.39	1.19	2.90	0.04	0.07	0.09	0.02
Työmatkat*	Diesel B7	1159	1.79	0.31	12.66	0.49	0.01	0.12	0.01
Kasvillisuuden niitto*	Diesel B7	95044	1868.63	828.36	3060.52	330.64	13.97	3.79	0.77
Paneelien pesu*	Diesel B7	108203	1261.46	415.36	2163.59	151.96	15.97	4.38	0.87
Purku ja kuljetukset*	Diesel B7	73518	25.86	4.26	49.08	0.73	0.15	4.52	0.58
Yhteensä		508560	5899	2030	9400	757	64	22	4
Loviisan henkilöliikenne (vuosi 2019)	Bensiini/diesel	7650978	48825	9119	37491	1306	543	493	76

* Ei rajoitu ainoastaan rakennusvaiheeseen

Liite IV (1): Lähtötietoja, aurinkovoimala

Aurinkovoimala	VE1
Aurinkovoimala-alueen koko, ml. siirtolinja, ha	207.42
Aurinko-voimalan kapasiteetti, MWp	125
Paneeli, Wp	630
Paneelien määrä	198700
Sähkö paneelien asennukseen, MWh	19.87
Asennustöihin käytetyn sähkön päästökerroin, gCO ₂ e/kWh	109.60
Betonin määrä, tonnia	1021
Betonilaattojen rekkakuljetuksia, kpl	26
Betonilaattojen kuljetusmatka rekalla, km	100
Teräs, alumiini, muovi ym rekkakuljetuksia, kpl	201
Teräs, alumiini, muovi ym rekkakuljetuksen pituus	100
Rekan dieselin kulutus täytenä, L/100	50.40
Rekan dieselin kulutus tyhjänä, L/100	32.80
Laivarahti Hong Kong - Rotterdam, km	20600
Laivarahti Rotterdam - Hamina, km	2500
Paneelien rekkakuljetuksia, kpl	199
Paneelien kuljetusmatka rekalla, km	250
Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetuksia, kpl	47
Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetusmatka, km	300
Muuntajien ja inverttereiden laivarahti, km	1500
Alueelle aittaa, km (jos alue aidattaisiin)	21.45
Aidan asennukseen dieseliä, L/m	2.06
Aitarekkakuljetuksia, kpl	24
Aitarekka, km/kuljetus	100
Paneelien tukirakenteita, kpl	3974
Tukirakenteiden asennukseen dieseliä, L/tukirakenne	0.23

Liite IV (2): Lähtötietoja, puusto ja maaperä

Puusto ja maaperä	VE1
Alueella runkopuuta alussa, m3	4869
Alueella puuston oksistoa alussa, m3	1509
Alueella puuston juuria ja kantoja alussa, m3	1816
Metsää kivennäismaalla alussa, ha	20
Hakkuuaukeaa kivennäismaalla alussa, ha	3
Peltoa kivennäismaalla alussa, ha	58
Metsää turvemaalla alussa, ha	7
Hakkuuaukeaa turvemaalla alussa, ha	2
Peltoa turvemaalla alussa, ha	118
Ojitettua avosuota turvemaalla alussa, ha	0
Luonnontilaista suota turvemaalla alussa, ha	0
Polttoaineen kulutuksia, diesel	
Kobelco-kaivinkone, L/h	15.50
Harvesteri, L/h	12.20
Kuormatraktori, L/h	10.50
Vermeer haketin, L/h	85.00
Puunkorjuu (harvesteri ja kuormatraktori), L/m3	1.40
Perävaunullinen tukkirekka, täysi, L/100 km	108.40
Perävaunullinen tukkirekka, tyhjä, L/100 km	57.50
Maansiirtokoneet alueen raivauksessa, L/ha	1635
Henkilötyöpäiviä	
Harvesterit	40
Kuormatraktorit	35
Haketus (kannot oksat)	8
Alueen maansiirto- ja tietyöt	415
Asennus, tukirakenteet	2484
Asennus, kaapelointi ym	3312
Asennus, aurinkopaneelit	4968
Kunnossapito	10950