

Loviisan Jokiniemen aurinkovoimala – kasvihuonekaasuvaikutukset

Kimmo Klemola, Cleanfi Oy

30.12.2024

Sisällys

Lyhyesti.....	3
Taustaa ja tarkastelun rajausta	7
Tulokset.....	9
Puusto ja maaperä	14
Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt	18
Aurinkovoimalan alueen päästöt.....	23
Aurinkosähkön verrokki	26
Päästöjen vähentämismahdollisuudet	31
Arvioinnin epävarmuustekijät.....	32
Vaikutukset paikalliseen ilmanlaatuun	33
Vaikutusten tunnistaminen ja vaikutusalue	33
Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	35
Nykytila.....	36
Vaikutusten arviointi ja merkittävyys	36
Haitallisten vaikutusten vähentäminen	36
Arvioinnin epävarmuustekijät.....	36
Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja ilmastonmuutokseen varautuminen.....	36
Myrskyt, tuulet, sateet ja tulvariski.....	36
Kuivuus ja kuumuus	37
Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	39
Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	40
Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	41
Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	42
Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	43
Liite II: Sähköntuotannon päästökertoimia.....	44
Liite IV (2): Lähtötietoja, puusto ja maaperä.....	47

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.

Suunnitellun aurinkovoimalan sähköntuotanto on 30 vuoden elinkaaren aikana keskimäärin 145 GWh vuodessa, mikä on noin 0,18 % Suomen sähkönkulutuksesta vuonna 2023. Tarkasteluaajan 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 119,3 ktCO₂e. Lisäksi puuston hakkuusta ja maaperän hiilivarastojen ja -nielujen muutoksista johtuvien päästöjen arvioidaan olevan maksimissaan 6,8 ktCO₂e. Yhteensä aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat siis 126,1 ktCO₂e. Alueelta hakattava runkopuu menee teollisuuden käyttöön. Runkopuun mukana poistuva hiilivaraston menetys voitaisiin kohdentaa teollisuudelle, jolloin aurinkovoimalan elinkaaren päästöt olisivat pienemmät.

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

Aurinkovoimalan alle jäävä peltomaa on 1,2 % Loviisan viljelysmaasta.¹ Suomessa bensiiniautot kuluttavat pitkälti amerikkalaisilla pelloilla tuotetusta viljasta jalostettua etanolia noin 150 miljoonaa litraa vuodessa. Sen tuottamiseen vaadittaisiin Suomessa noin 150 000 hehtaaria ohrapeltoa. Yhden hehtaarin vuosittaisella ohraetanolituotolla eli tuhannella litralla etanolia autolla ajetaan noin 13 000 kilometriä. Jos pellohehtaarille asennetaan aurinkopaneelit, vuoden aikana hehtaarilla tuotetulla aurinkosähköllä sähköautolla ajetaan lähes neljä miljoonaa kilometriä.

Vaikka aurinkovoimalan sähköä ei käytettäisi sähköautoihin, kuvaa esimerkki aurinkopaneelien kykyä ottaa talteen aurinkoenergiaa verrattuna fotosynteesiin. Sähkömoottorin polttomoottoria huomattavasti parempi hyötysuhde vielä kasvattaa eroa aurinkopaneelien eduksi. Kun yhden etanolilla toimivan henkilöauton vuoden kilometreihin tarvitaan hehtaari peltoa, maa-aurinkovoimalan pinta-alaa tarvitaan vain 35 neliömetriä.

¹ Käytössä oleva maatalousmaa kunnittain, Loviisa, Luonnonvarakeskuksen tietokanta, 2024.

Etanolin tuotannossa syntyy lisäksi hehtaaria kohti noin 700 kg valkuaisrehua. Toisaalta myös aurinkovoimala-alue voi toimia viljelysmaana.

Vastaavasti voidaan verrata Uudenmaan metsänkasvua ja maa-asennetun aurinkovoimalan sähköntuotantoa. Uudellamaalla metsän vuosikasvu (runkopuu + oksisto) on noin 7,5 m³ hehtaarilta. Sähköä hehtaarin vuosikasvulla voidaan tuottaa noin 6 GWh. Aurinkovoimala tuottaa sähköä vuodessa noin 750 GWh hehtaarilta eli 125 kertaa enemmän. Suomessa puulla tuotetaan sähköä yli 10 TWh vuodessa, mikä vastaa noin 2,5 miljoonan metsähehtaarin vuosikasvua.

Aurinkovoimalla tuotetun sähkön päästöjä voidaan verrata muuhun sähköntuotantoon tai toimintoihin, joita voidaan korvata lisäisellä aurinkosähköllä. Tällaisia ovat esimerkiksi teräksen tuotanto kivihiilellä, autoilu fossiilisilla 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. Niiden toteutuessa lisäisen uusiutuvan sähköntuotannon tarve on merkittävä. Suomeen on myös kaavailtu kiinalaisomisteista akkukennostotehdasta, jonka tuotanto on sähköintensiivistä ja päästöt Suomessa aurinkosähköllä tai muulla puhtaalla sähköllä tuotettuna olisivat huomattavasti pienemmät kuin fossiilisella sähköllä tuotettuna Kiinassa.

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 51 % (126 ktCO₂e vs. 259 ktCO₂e). Aurinkosähkön päästöissä on mukana maankäytön muutos verrattuna tilanteeseen, jossa alueen pellot ovat tarkasteluajan viljelykäytössä ja metsät hakkaamatta. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 95 %. Aurinkosähkön korvatussa polttomootoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on suurin, yli 97 %. Vastaavan hiiliteräsmäärän päästöt ovat nykyään 2513 ktCO₂e ja bensiiniautojen 4915 ktCO₂e.

Maakaasun vedyntuotantoa öljynjalostamolla korvatussa aurinkovoimalan sähkö vähentää päästöjä 86 % ja kiinalaista sähköä akkukennostojen valmistuksessa korvatussa 96 %. Aurinkosähkön 126 ktCO₂e sijaan maakaasuvedyntuotannon päästöt ovat 898 ktCO₂e ja kiinalaisen sähkön päästöt akkukennostojen tuotannossa ovat 2897 ktCO₂e.

Alueelta poistetaan arvion mukaan 2748 kiintokuutiota runkopuuta, jonka kuljetukseen tarvitaan noin 60 perävaunullista tukkirekkaa. Lisäksi laskennassa oletetaan, että alueelle katemateriaaliksi levitettäväksi haketetaan lähes 11000 kiintokuutiota kantoja ja hakkuista tähteeksi jääneitä oksia, jotka ensin lisäävät maaperän hiilivarastoa mutta 30 vuoden aikana osaksi lahoavat hiilidioksidiksi. Järkevämpi vaihtoehto on todennäköisesti käyttää hake energiaksi ja tehdä aurinkopaneelialueesta monimuotoinen hiiltä sitova niitty.

Metsäalueelle rakennetun aurinkosähkövoimalan hiilihyöty voi vertailukohdasta riippuen olla menetettyyn metsän puuston hiilivarastoon verrattuna yli 100-kertainen ja puuston

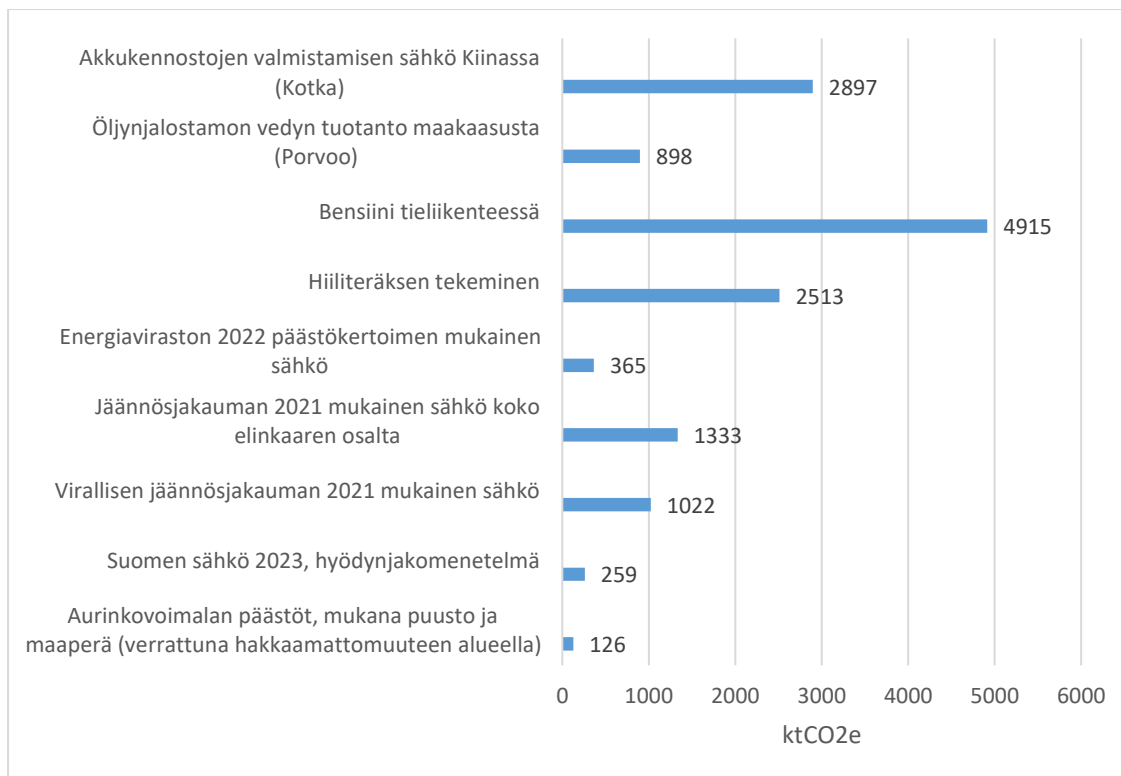
menetettyyn hiilivarastoon- ja nieluun (30 vuoden toteutumaton kasvu) verrattuna yli 50-kertainen.

Kun kaikki aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt (mukaan lukien hiilinielujen ja -varastojen menetykset) otetaan huomioon, tuotetun aurinkosähkön hiilihyöty päästöihin verrattuna on noin kaksinkertainen (verrattuna Suomessa tuotettuun sähköön 2023) ja jopa lähes 40-kertainen (verrattuna bensiiniautoon).

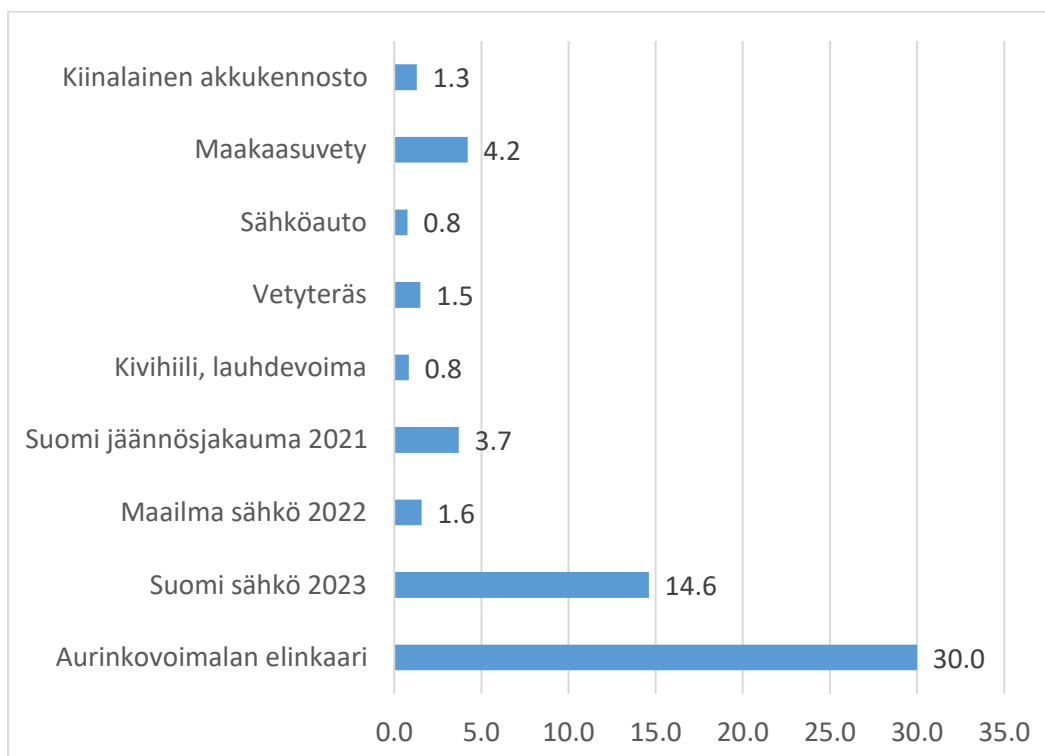
Fossiilisten polttoaineiden polttamisesta aiheutuvat päästöt voimala-alueella ovat vain noin 1,0 prosenttia (1,3 ktCO₂e) aurinkovoimalan kaikista päästöistä. Voimala-alueen päästöt muodostuvat voimalan rakentamisen ja huollon työkoneista ja ajoneuvoista. Itse voimalan toiminta ei aiheuta kasvihuonekaasupäästöjä.

Kaikki päästöt huomioiden alueen aurinkovoimalan sähkön elinkaaren päästökertoimeksi tulee 29,0 gCO₂e/kWh (hiililauhdesähkö 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 28,3 gCO₂e/kWh. Itse aurinkovoimalan päästöt ovat 27,4 gCO₂e/kWh. Päästöjä lisäävät menetetty puunkasvu ja maaperän päästöt.

Koska aurinkovoimalan alue on suurimmaksi osaksi peltoa, ovat maaperän käytön muutoksen päästöt vain noin viisi prosenttia aurinkovoimalan elinkaaren kokonaispäästöistä.



Kuva 1. 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 (lähes 22 miljardia kilometriä), joka aiheuttaa aurinkovoimalan sähköllä ajettuna 126 ktCO2e päästöt, aiheuttaisi vastaavalla bensiiniatolla ajettuna 4915 ktCO2e päästöt.



Kuva 2. Päästöjen korvautumiseen kulunut aika vuosina ja aurinkovoimalan elinkaari.

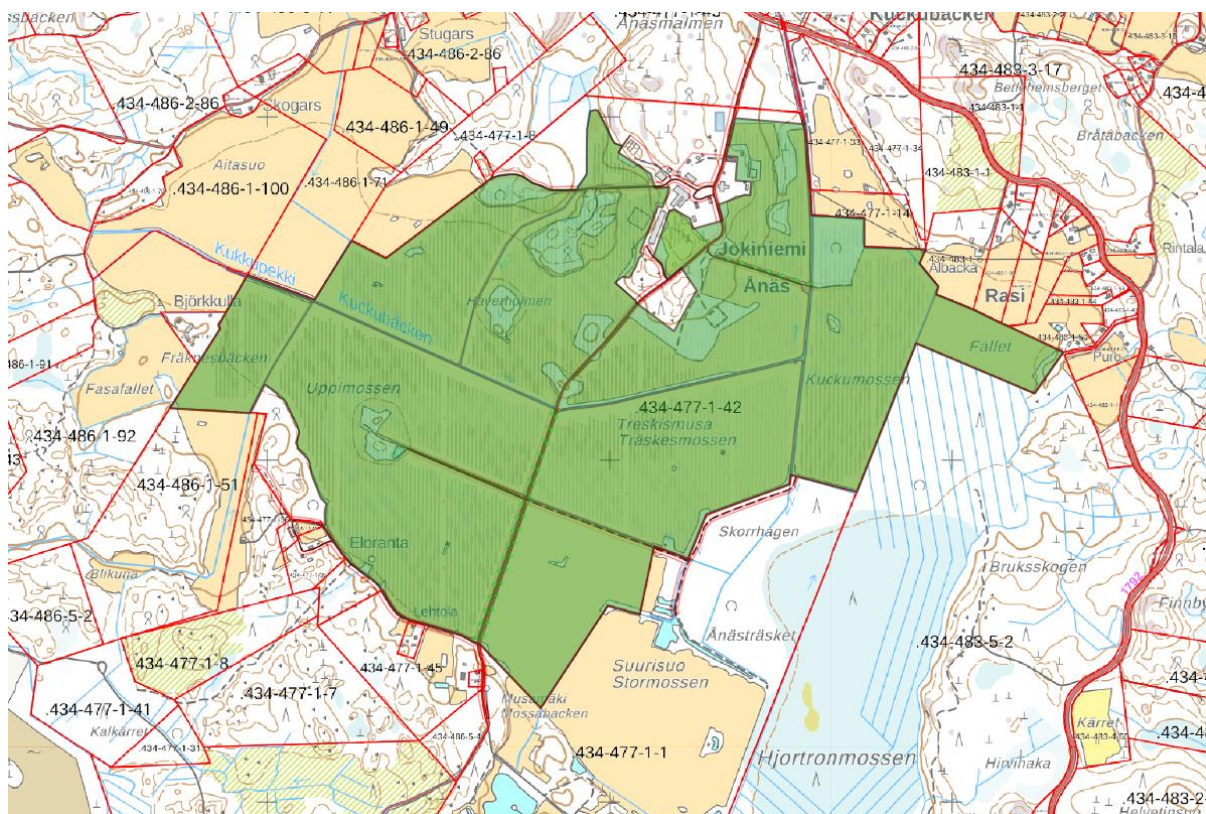
Taustaa ja tarkastelun rajaus

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 1 on esitetty alueen hehtaarimääräiset maatyypit.



Kuva 3. Aurinkovoimala-alue Loviisan Jokiniemen alueella.

Taulukko 1. Aurinkovoimala-alueen hehtaarimääräiset maatyypit.

	Alue ha
Kivennäismaa	68
Hakkuuaukea	2
Metsä	7
Pelto	59
Kallio	0
Turvemaa	129
Hakkuuaukea	2
Metsä	7
Pelto	120
Suo luonnontilainen	0
Suo ojitettu	0

Kasvihuonekaasulaskelmat ja hiilitasearvioinnit tehtiin seuraaville vaihtoehdoille:

- VE0 eli 0-vaihtoehto: Hanketta ei toteuteta.
 - VE0-ei hakkuita (alue pysyy ”koskemattomana” 30 vuotta ja metsän annetaan kasvaa), pellot pidetään viljelyksessä
 - VE0-hakkuilla (alueella hakataan normaalisti 30 vuoden aikana eli alueen metsät jatkavat talousmetsäkäytössä), pellot pidetään viljelyksessä
- VE1: Hankealueen pinta-ala 194 ha (siirtolinjoinen 197,2 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 kohdennettu sähkölle ja lämmölle käyttäen hyödynjakomenetelmää. Sähkön tuonti ja vienti on otettu huomioon.
 - Päästöjen laskennassa on otettu huomioon koko elinkaari.
- 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 17,5 MW teholla. Voimalan teho tippuu keskimäärin 0,4 % vuodessa. Kapasiteettikerroin perustuu kääntyviin aurinkopaneelisiin.
- 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 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 119,3 ktCO₂e. Voimala tuottaa 30 vuoden aikana 4,35 TWh sähköä ja aurinkosähkön päästökertoimeksi tulee 27,4 gCO₂e/kWh.

Voimalan päästöt koostuvat suurimmalta osin aurinkopaneelien ja muiden komponenttien valmistuksesta. Alueella tapahtuvat fossiilienergian polttamisesta johtuvat päästöt ovat vain

1,0 prosenttia (1,3 ktCO₂e) voimalan päästöistä (mukaan lukien puusto ja maaperä). Alueen energiankäytön päästöt koostuvat puuston hakkaamisesta (harvesterit), metsäkuljetuksesta (kuormatraktorit), juurien ja hakkuutähteiden hakettamisesta, maansiirtotöistä (myös tien rakentaminen), asennuksista, kuljetuksista, huoltotöistä, lopetusvaiheen purkutöistä ja työmatkoista – käytännössä pitkälti dieselin polttamisesta. Alueella tapahtuvat suorat fossiilisten polttoaineiden polttamisesta (pakoputki) johtuvat päästöt (1,3 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 6,8 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 päästölisäys olisi pienempi eli 6,6 ktCO₂. Aurinkosähkön päästökerroin on maksimissaan 29,0 gCO₂e/kWh, kun puusto ja maaperän päästöt otetaan huomioon. Mikäli alueelta poistetun puuaineksen hiilivaraston menetys kohdennetaan puun ostajalle ja käyttäjälle, aurinkosähkön päästökerroin on 28,3 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 2 on esitetty päästötiedot, kun oletetaan että vertailukohtana on tilanne, jossa alueella ei hakata tarkasteluaikana puuta lainkaan. Taulukossa 3 on esitetty päästötiedot, kun oletetaan että vaihtoehdossa alueen metsät ovat normaalissa metsätalouskäytössä tarkasteluajan. Taulukossa 4 on esitetty päästötiedot, kun alueen puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon.

Vertailun oletus: aurinkovoimalan vaihtoehdossa alueella ei hakkuuta tarkasteluaikana:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 51,3 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 95,0 % ja aurinkosähkön korvataessa polttomootoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,4 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvataessa päästövähennys on 86,0 % ja akkukennostojen valmistuksessa 95,6 %.

Vertailun oletus: aurinkovoimalan vaihtoehdossa alueella normaali metsätalous tarkasteluaikana:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 51,4 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 95,0 % ja aurinkosähkön korvattaessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,4 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvattaessa päästövähennys on 86,0 % ja akkukennostojen valmistuksessa 95,7 %.

Vertailun oletus: puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2022 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 53,9 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 95,3% ja aurinkosähkön korvattaessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,6 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvattaessa päästövähennys on 86,7% ja akkukennostojen valmistuksessa 95,9 %.

Taulukko 2. Aurinkovoimalan ja aurinkosähköllä korvattavien toimintojen päästötiedot. Alueella ei hakata tarkasteluaikana on vertailukohta.

Vaihtoehto	VE1
Aurinkovoimalan tietoja:	
Tehokapasiteetti, MWp	125
Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh	4350
Pinta-ala, ha	197
Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:	ktCO₂e
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen	7
Aurinkovoimalan päästöt	119
Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)	126
Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:	ktCO₂e
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	259
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	51.3
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	87.7
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	90.5
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	65.5
Hiiliteräksen tekeminen	95.0
Bensiini tieliikenteessä	97.4
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	86.0
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	95.6

Taulukko 3. Aurinkovoimalan ja aurinkosähköllä korvattavien toimintojen päästötiedot. Normaali metsätalous tarkasteluaikana on vertailukohta.

Vaihtoehto	VE1
Aurinkovoimalan tietoja:	
Tehokapasiteetti, MWp	125
Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh	4350
Pinta-ala, ha	197
Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:	ktCO₂e
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen	7
Aurinkovoimalan päästöt	119
Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti)	126
Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:	ktCO₂e
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	259
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	51.4
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	87.7
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	90.6
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	65.6
Hiiliteräksen tekeminen	95.0
Bensiini tieliikenteessä	97.4
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	86.0
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	95.7

Taulukko 4. 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	197
Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:	
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen	0
Aurinkovoimalan päästöt	119
Aurinkovoimalan päästöt	119
Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:	
ktCO₂e	
Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä	259
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	53.9
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	88.3
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	91.1
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	67.4
Hiiliteräksen tekeminen	95.3
Bensiini tieliikenteessä	97.6
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	86.7
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	95.9

Puusto ja maaperä

Taulukossa 5 on esitetty maaperän ja puuston päästöjen, hiilivaraston ja hiilinielujen laskennassa käytettyjä lähtötietoja. Taulukossa 6 on esitetty Suomen puuston hiilipitoisuuden määrittäminen.

Alueesta noin 8 % 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.

Laskennassa oletetaan, että alueelta hakatun puuston oksisto, kannot ja juuret haketetaan ja hake levitetään alueelle. Tarkasteluajan 30 vuoden kuluessa puolet hakkeesta oletetaan hajoavan hiilidioksidiksi.² V0-tapauksessa, jossa alue säilyy talousmetsäkäytössä, kannot ja juuret jäävät hakkuussa maahan ja hajoavat hitaasti. Mikäli alueella jatkettaisiin normaalia metsätaloutta, hakkuutähteiden hajoaminen hiilidioksidiksi on tasaisella hakkuutahdilla tarkasteluajanjaksona 30 vuotta noin puolta pienempi kuin alueelle alussa haketetun puumassan. Kantojen hajoaminen on oleellisesti hitaampaa. Vaikka laskelmat on tehty päästöjä aiheuttavalle maapohjan haketukselle, oksat ja kannot voidaan myös myydä energialaitoksille ja maapohjasta tehdä hiiltä sitova niitty.

² Pukkala Timo, Hakkuut ja hiilinielut – ajattelua ja toiveajattelua, www.arvometsa.fi, 15.11.2017.

Taulukko 5. Maaperän ja puuston päästöjen, hiilivaraston ja hiilinielujen laskennassa käytettyjä lähtötietoja.^{3,4,5,6,7,8,9,10} Maaperän osalta positiivinen luku tarkoittaa päästöä, negatiivinen luku tarkoittaa nielua. 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

³ Kasvupaikat metsämaan kankailla ja soilla (1000 ha) muuttujina inventointi, maakunta ja kasvupaikka, Luke tilastotietokanta, 2024.

⁴ Puuston vuotuinen kasvu metsä- ja kitumaalla, Luke tilastotietokanta, 2024.

⁵ Puuston biomassa metsä- ja kitumaalla (milj. t), Luke tilastotietokanta, 2024.

⁶ Puuston poistuma omistajaryhmittäin ja maakunnittain 2015-, Luke tilastotietokanta, 2024.

⁷ Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla kehitysluokittain (m³/ha), Luke tilastotietokanta, 2024.

⁸ Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista, Loppuraportti, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, 2021.

⁹ Liski J., Westman C.J., Carbon storage in forest soil of Finland. Biogeochemistry 36: 261–274, 1997.

¹⁰ 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 6. Hiilen osuus puulajien kuiva-aineesta¹¹, puulajien kuivatuoretiheys^{12,13} ja Suomen puuston puulajien kuutiomäärät ja prosenttiosuudet¹⁴. 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 7 on esitetty puuston poistamisen, talousmetsähakkuiden ja maaperän päästöt. Mukaan on laitettu myös aurinkovoimalan elinkaaren päästöt.

¹¹ Hamberg Leena, Henttonen Helena M., Tuomainen Tarja, Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaariossa: Menetelmäkehitys Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016, Luke Luonnonvarakeskus, 2016.

¹² Alakangas Eija, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT tiedotteita 2045, 2000.

¹³ Heräjärvi Henrik., Junkkonen Reijo, Wood density and growth rate of European and hybrid aspen in southern Finland, Baltic Forestry 12.1, 2006.

¹⁴ Puuston tilavuus metsä- ja kitumaalla puulajeittain VMI 13:n mukaan, Luke tilastotietokanta. 2024.

Taulukko 7. Puuston poistamisen, talousmetsähakkuiden ja maaperän päästöt.

VE0-ei hakkuita	VE0- hakkuilla	VE1	
ktCO ₂ e	ktCO ₂ e	ktCO ₂ e	
7.19	3.68	0.00	Alueen puuston hiilivarasto lopussa
3.42	3.42	3.42	Alueen puuston hiilivarasto alussa
3.78	0.27	-3.42	Puuston hiilivaraston muutos
0.00	2.08	2.03	Alueelta hakattu runkopuu
0.00	0.00	3.78	Toteutumatta jäänyt puuston kasvu
0.00	1.42	1.39	Maaperään hakkuutähteenä/hakkeena tai kantoina ja juurina siirtyvä hiili
0.00	0.24	0.69	Tarkasteluaikana hajoava hakkuutähteen/hakkeen tai kantojen ja juurien hiili
-7.33	-7.33	-7.67	Maaperän hiilimuutos ilman hakkuutähdettä/haketta
-7.33	-6.14	-6.97	Maaperän hiilimuutos, mukana hakkuutähdde/hake
-3.55	-5.87	-10.39	Hiilivarasto tarkasteluajan lopussa verrattuna alkutilaan
-3.55	-3.79	-14.17	Hiilivarasto tarkasteluajan lopussa verrattuna alkutilaan, mukana menetetty kasvu ja alueelta poistunut hakattu puu
	0.24	6.84	Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen (päästö)
		6.60	Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-hakkuilla (päästö)
		119.27	Aurinkovoimalan päästöt
		1.31	Aurinkovoimalan päästöt alueella
		126.11	Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)
		125.87	Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti)

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt

Aurinkopaneeliin perustuvan aurinkosähkövoimalan päästökertoimet (gCO₂e/kWh) vaihtelevat kirjallisuudessa välillä 8–83 gCO₂e/kWh.¹⁵ 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.¹⁶ Paneelien maantieteellisen sijoittumisen merkitystä kuvaa, että Etelä-Suomessa paneelien tuottama vuotuinen sähkömäärä jää yhdysvaltalaisen NREL:n laskurin mukaan 44 % pienemmäksi kuin Koillis-Brasiliassa.¹⁷

¹⁵ Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources, United Nations Economic Commission for Europe, 2022.

¹⁶ Photovoltaics Report, Fraunhofer institute for solar energy systems ise, 2022.

¹⁷ PVWatts Calculator, National Renewable Energy Laboratory, 2022. <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

Laskennassa käytettyjä oletuksia:

- Alue on aurinkovoimakäytössä 30 vuotta ja sen jälkeen alue palaa pelto- ja metsämaaksi.
- Alussa kapasiteettikerroin on 14 % eli esimerkiksi 125 MWp voimala tuottaa ensimmäisenä vuonna sähköä keskimäärin 17,5 MW teholla 154 GWh vuodessa. Sähköntuotantoteho vaihtelee välillä 0–104 MW (parhaana hetkenä Etelä-Suomessa maksimiteho 83 % ”piikki”tehosta¹⁸). 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.^{19,20}
- 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 päästöintensiteettien primäärisen alumiinin, piin tai kuparin tarvetta.

Itse aurinkovoimalan päästöistä (pois lukien maankäytön muutokset) ylivoimaisesti suurin osa tulee voimalan komponenteista valmistusvaiheessa: aurinkopaneelit, invertterit, tukirakenteet, sähköjohdot jne. Aurinkovoimalan päästöjen määrittämisessä käytettiin kahden tuoreehkon tiedejulkaisun tietoja.^{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 8 ja 9 on esitetty aurinkovoimalan päästöt. Taulukoissa 10 ja 11 on otettu huomioon myös alueen puuston poistamisen ja maaperän päästöjen vaikutus. Alueen raivaus ja kunnostus tarkoittaa puunkorjuuta ja alueen tasoittamista maansiirtokoneilla.

¹⁸ Prof. Antti Kosonen, LUT, suullinen tiedonanto.

¹⁹ 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.

²⁰ 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.

²¹ Schultz Herwin Saito, Carvalho Monica, Design, Greenhouse Emissions, and Environmental Payback of a Photovoltaic Solar Energy System, *Energies* 15.16:6098, 2022.

²² 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.

Tutkimuksessa²³ kiintokuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus puunkorjuussa (pitäen sisällään sekä harvesterien että kuormatraktorien polttoaineen kulutuksen) oli keskimäärin päätehakkuulla yhteensä 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. Niiden 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 12 on esitetty aurinkovoimalan 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}

²³ Kärhä Kalle, Kääriäinen Heikki, Roininen Kimmo, Haavikko Hanna, Palander Teijo, Polttoaineen kulutusta puunkorjuussa selvitetiin 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.

³¹ Information CO₂ des prestations de transport, October 2012;

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_Information_CO2-2.pdf

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.

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.

Taulukko 8. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen (tCO₂e).

	VE1
	tCO₂e
Aurinkopaneelit	96250
Invertterit	2954
Muuntajat	3052
Tukirakenteet ja kaapelointi	7321
KytKentärsiat	119
Huoltorakennukset	857
Käyttö ja huolto	4611
Alueen raivaus ja kunnostus	127
Asennus ja kuljetukset	2358
Aita	303
Purku ja kuljetukset	264
Sähkönsiirtolinja	1056
Yhteensä	119271

Taulukko 9. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen (gCO₂e/kWh).

	VE1
	gCO₂e/kWh
Aurinkopaneelit	22.13
Invertterit	0.68
Muuntajat	0.70
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.68
KytKentärsiat	0.03
Huoltorakennukset	0.20
Käyttö ja huolto	1.06
Alueen raivaus ja kunnostus	0.03
Asennus ja kuljetukset	0.54
Aita	0.07
Purku ja kuljetukset	0.06
Sähkönsiirtolinja	0.24
Yhteensä	27.42

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

	VE1
	tCO₂e
Aurinkopaneelit	96250
Invertterit	2954
Muuntajat	3052
Tukirakenteet ja kaapelointi	7321
KytKentärsiat	119
Huoltorakennukset	857
Käyttö ja huolto	4611
Alueen raivaus ja kunnostus	127
Asennus ja kuljetukset	2358
Aita	303
Purku ja kuljetukset	264
Sähkönsiirtolinja	1056
Puuston poisto ja maaperän päästöt	6842
Yhteensä	126112

Taulukko 11. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO₂e/kWh).

	VE1
	gCO₂e/kWh
Aurinkopaneelit	22.13
Invertterit	0.68
Muuntajat	0.70
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.68
KytKentärsiat	0.03
Huoltorakennukset	0.20
Käyttö ja huolto	1.06
Alueen raivaus ja kunnostus	0.03
Asennus ja kuljetukset	0.54
Aita	0.07
Purku ja kuljetukset	0.06
Sähkönsiirtolinja	0.24
Puuston poisto ja maaperän päästöt*	1.57
Yhteensä	28.99
Yhteensä, verrattuna normaalihakkuihin, puuaines energiakäyttöön**	28.31

*Mikäli alueella jatketaan hakkuita normaalisti, lukema on **1,52** gCO₂e/kWh

Mikäli lisäksi hakatun runkopuun hiilipistuma allokoidaan teollisuudelle ja hake käytetään energiaksi, lukema on **0,89 gCO₂e/kWh

Taulukko 12. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO₂e/kWh). Kaikki dieselpolttoaine on uusiutuvaa biodieseliä.

	VE1
	gCO₂e/kWh
Aurinkopaneelit	22.13
Invertterit	0.68
Muuntajat	0.70
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.68
KytKentärsiat	0.03
Huoltorakennukset	0.20
Käyttö ja huolto	0.92
Alueen raivaus ja kunnostus	0.00
Asennus ja kuljetukset	0.37
Aita	0.07
Purku ja kuljetukset	0.01
Sähkönsiirtolinja	0.24
Puuston poisto ja maaperän päästöt*	1.57
Yhteensä	28.60
Yhteensä, verrattuna normaalihakkuihin, puuaines energiakäyttöön**	27.92

*Mikäli alueella jatketaan hakkuita normaalisti, lukema on **1,52** gCO₂e/kWh

Mikäli lisäksi hakatun runkopuun hiilipoistuma allokoidaan teollisuudelle ja hake käytetään energiaksi, lukema on **0,89 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 13 on esitetty aurinkovoimalan aluepäästöt. Taulukossa 14 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. Voimalavaihtoehdossa 1 työmatka-autoilua henkilöautolla voimala-alueella arvioitiin olevan elinkaaren aikana 37 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 Kobelcoaan, 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 13. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella.

			VE1		
			Scope 1	Scope 2	Yhteensä
		L, MWh	tCO2e	tCO2e	tCO2e
Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)	Diesel B7	3847	10	3	14
Haketus (kannot oksat)	Diesel B7	3106	8	3	11
Hakatus puuston kuljetus	Diesel B7	304	1	0	1
Alueen maansiirto- ja tietyöt	Diesel B7	29018	79	24	103
Asennus, tukirakenteet	Diesel B7	48705	132	40	172
Asennus, kaapelointi ym	Diesel B7	104099	282	86	368
Asennus, aurinkopaneelit	Diesel B7	12516	34	13	46
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	Diesel B7	67	0.2	0.1	0.2
Paneelien kuljetukset	Diesel B7	520	1.4	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 ym kuljetukset	Diesel B7	502	1.4	0.4	1.8
Aidan kuljetus	Diesel B7	38	0.1	0.0	0.1
Työmatkat	* (ks. alla)		8	3	10
Kasvillisuuden niitto	Diesel B7	94907	257	78	335
Paneelien pesu	Diesel B7	108047	293	89	382
Purku ja kuljetus	Diesel B7	74595	202	62	264
Yhteensä (fossiiliset päästöt)			1309	401	1710
Maaperän lisääntyneet päästöt					342
Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen					693
Yhteensä (maaperän päästöt)					1035
Yhteensä					2745

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

Taulukko 14. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella, kun työkoneissa 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	4026	0	2	2
Haketus (kannot oksat)	HVO biodiesel	3250	0	1	1
Hakatun puuston kuljetus	HVO biodiesel	304	0	0	0
Alueen maansiirto- ja tietyöt	HVO biodiesel	30365	1	13	14
Asennus, tukirakenteet	HVO biodiesel	50966	2	21	23
Asennus, kaapelointi ym	HVO biodiesel	108932	5	46	50
Asennus, aurinkopaneelit	HVO biodiesel	13096	1	8	8
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	HVO biodiesel	70	0.0	0.0	0.0
Paneelien kuljetukset	HVO biodiesel	544	0.0	0.2	0.3
Muuntajien kuljetus	HVO biodiesel	72	0.0	0.0	0.0
Invertterien kuljetus	HVO biodiesel	51	0.0	0.0	0.0
Teräs ym kuljetukset	HVO biodiesel	525	0.0	0.2	0.2
Aidan kuljetus	HVO biodiesel	40	0.0	0.0	0.0
Työmatkat	* (ks. alla)		8	3	10
Kasvillisuuden niitto	HVO biodiesel	99313	4	42	46
Paneelien pesu	HVO biodiesel	113064	5	47	52
Purku ja kuljetus	HVO biodiesel	75456	3	32	35
Yhteensä (fossiiliset päästöt)			29	214	243
Maaperän lisääntyneet päästöt					342
Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen					693
Yhteensä (maaperän päästöt)					1035
Yhteensä					1279

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

Aurinkosähkön verrokki

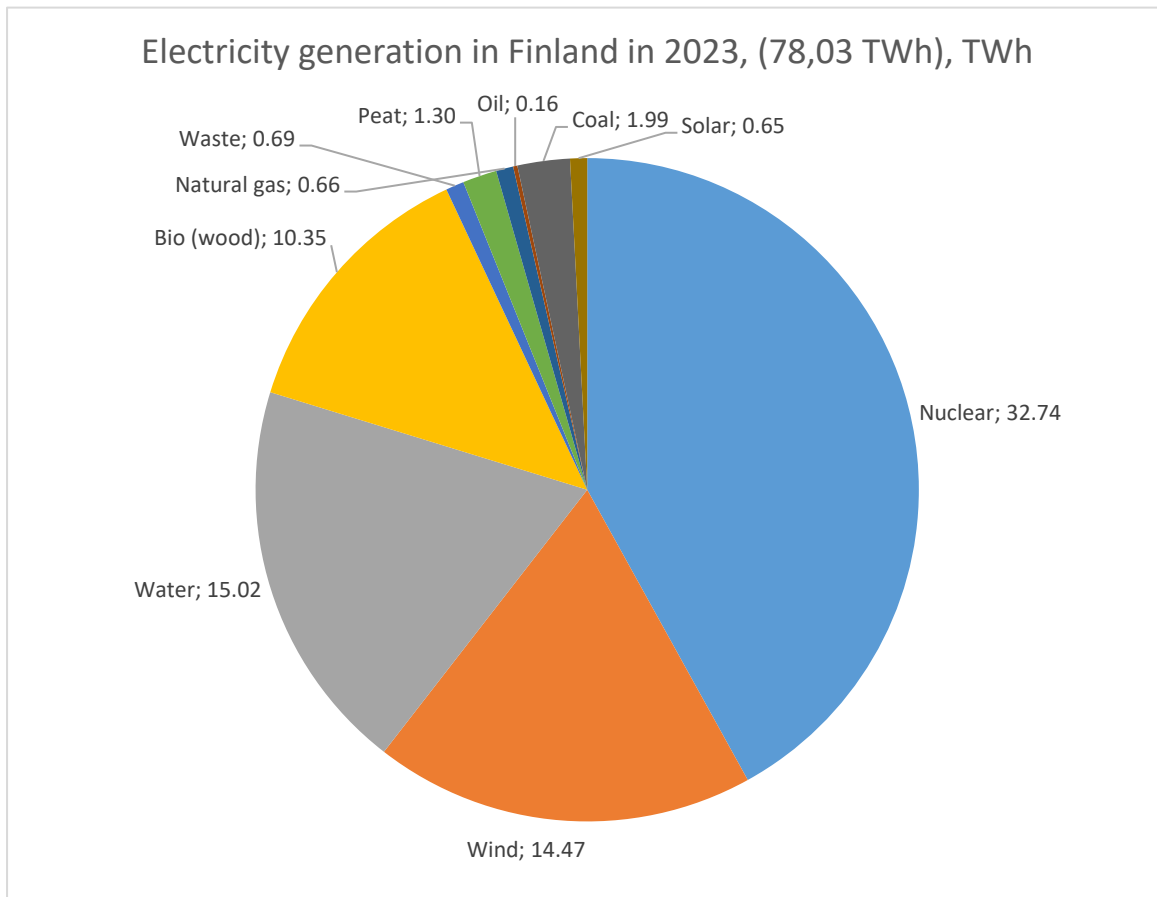
Aurinkosähkölle on otettu raportissa muitakin verrokkeja kuin vaihtoehtoinen sähköntuotanto, koska varsinkin lisäinen aurinkosähkö voidaan käyttää esimerkiksi suoraan terästeollisuudessa ja liikenteessä fossiilisia vaihtoehtoja korvaamaan. Sähköverrokkiksi on otettu Suomessa vuonna 2023 käytetty sähkö.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

Suomen sähkö 2023, 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 2022 oli 58,8 gCO₂e/kWh.

Suomen sähköntuotannon päästöt tulevat aurinkovoimalan elinkaaren eli 30 vuoden aikana tippumaan pitkälti lisääntyvän aurinko- ja tuulisähkön tuotannon ansiosta. Olisi mahdollista tehdä ennuste Suomen tulevien vuosien sähköntuotannosta ja sen hiilijalanjäljestä, mutta lopulta aurinkosähkön vertailukohta olisi enenevässä määrin uusiutuva sähköntuotanto eli esimerkiksi aurinkosähkö. Tällaista vertailua ei katsottu olevan mielekäästä tehdä.



Kuva 4. Suomen sähköntuotanto 2023. TWh.

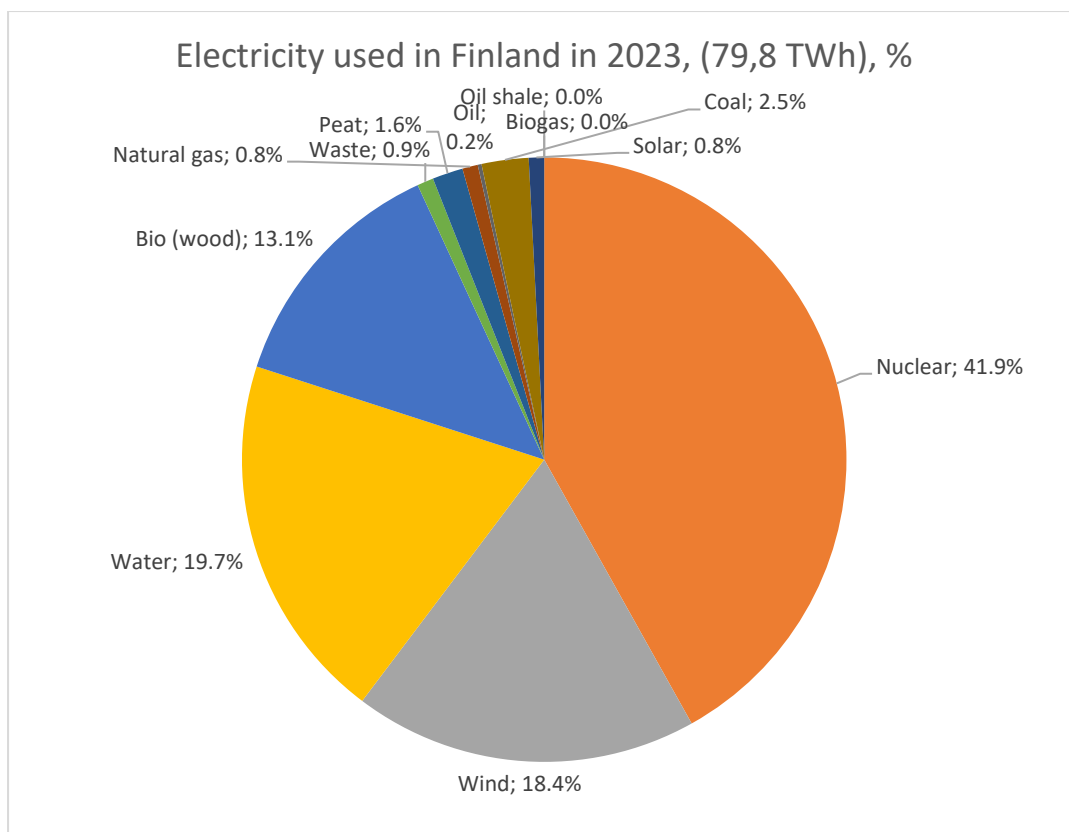
⁴⁰ Sähkön hankinta energialähteittäin 2007–2023, Energiateollisuus, 2024.

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

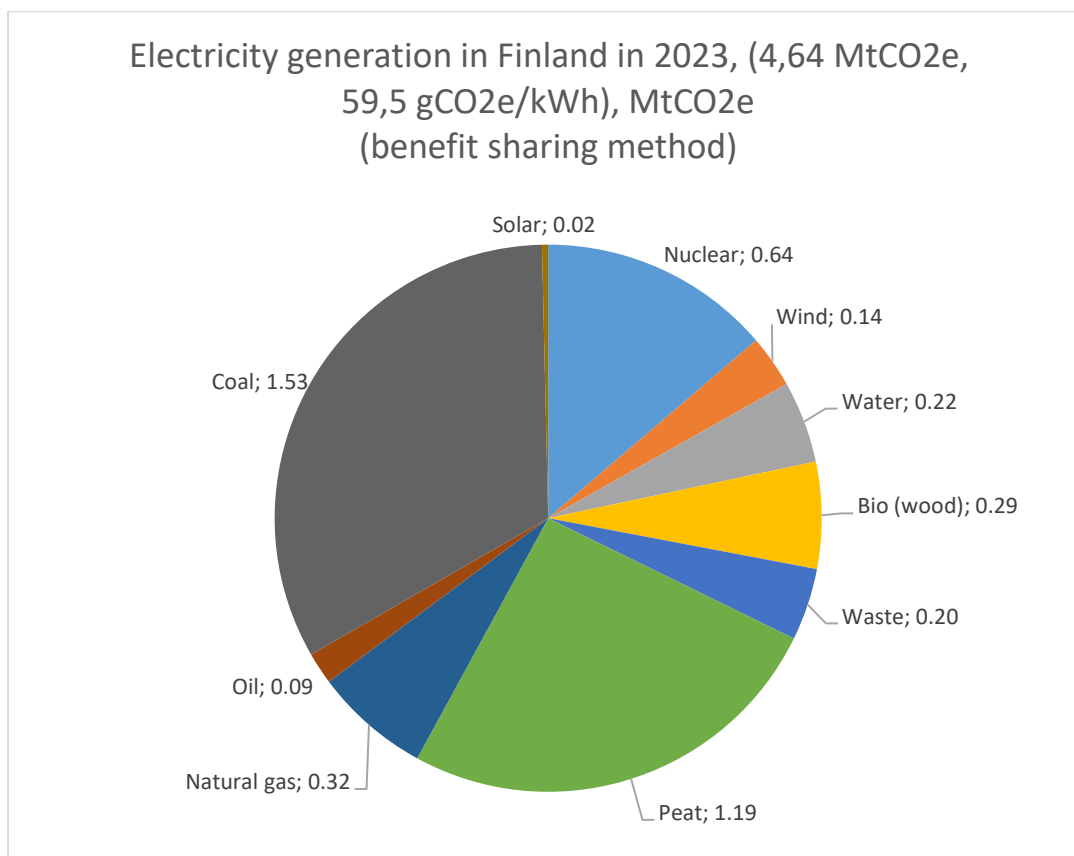
⁴² Electricity production (net production) by type of power from 1970, TWh, Statistikdatabas, Energimyndigheten.

⁴³ Klemola Kimmo, Electricity generation and use in Finland – fuels and CO₂e emissions, Years 2013–2022, Cleanfi Oy, 2023.

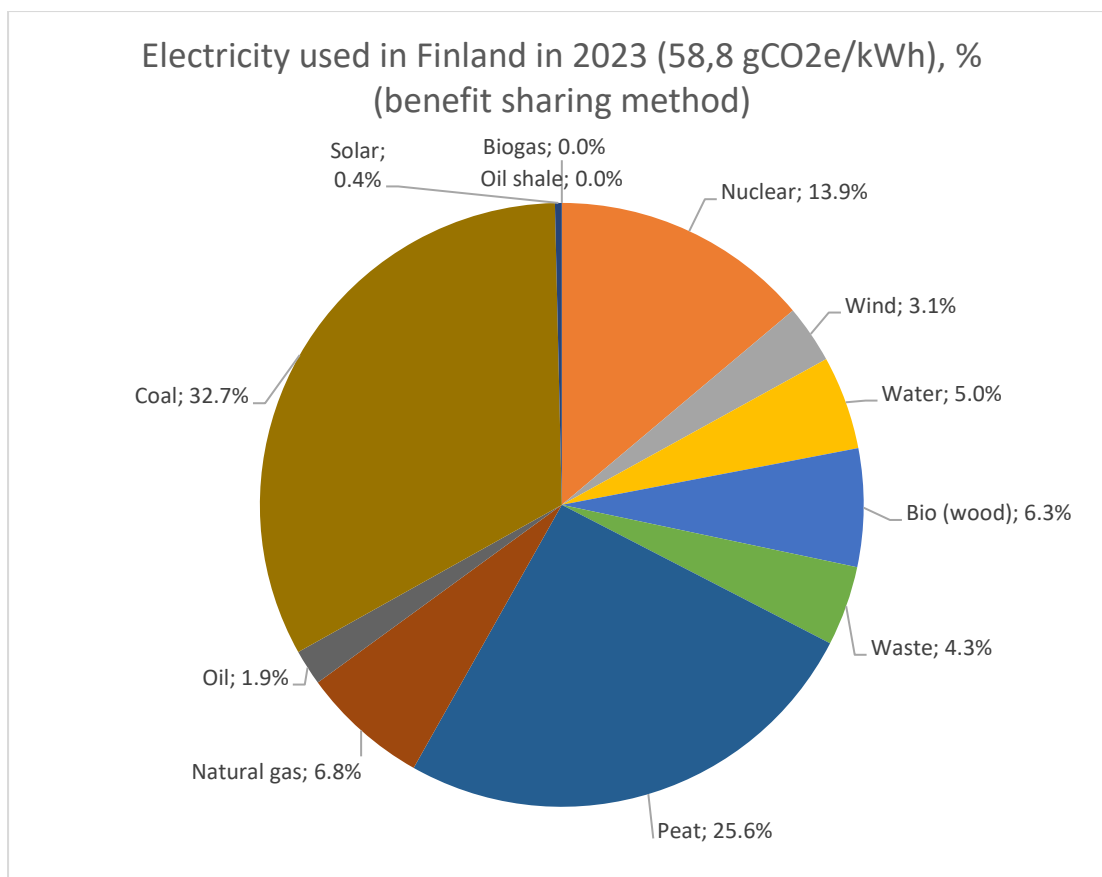
⁴⁴ Hyödynjakomenetelmä (Benefit sharing method), Motiva.



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.⁴⁵ 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

⁴⁵ 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.

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.⁴⁶ Perinteisellä hiili-intensiivisellä prosessilla teräksen päästöt ovat 1,85 tCO₂e/tonni.⁴⁷ Vuonna 2021 SSAB:n Raahen terästehtaan tuotanto oli 3,4 miljoonaa tonnia.⁴⁸ 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-kulutusluku 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).

Mikäli bensiinissä on 10 % etanolia (maissietanoli + sokeriruokoetanoli),^{49,50,51,52,53} on bensiinilitran elinkaaren päästökerroin 3072 gCO₂e. Bensiinikilowattituntia kohti päästökerroin on 340 gCO₂e, mikä on lähes kymmenen kertaa suurempi kuin aurinkosähkön

⁴⁶ 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.

⁴⁷ The World Steel Association (worldsteel), www.worldsteel.org, 2022.

⁴⁸ SSAB:n Raahen tehtaan ympäristövuosi 2021, SSAB, 2022.

⁴⁹ Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

⁵⁰ European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

⁵¹ 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.

⁵² Hammerschlag Roel, Ethanol's energy return on investment: a survey of the literature 1990-present, Environmental Science & Technology, Vol. 40, 1744–1750, 2006.

⁵³ 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.

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:^{54,55}

- 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.⁵⁶ 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.⁵⁷ Tehtaan kapasiteetti olisi 50 GWh akkukennostoja. Loviisan Jokiniemen voimalan sähköntuotanto kattaisi noin 4 % 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 pieneneään, joten

⁵⁴ Hytönen Linda, Vetylaitoksen tuotannon energiataseen ja energiahäviöiden seurannan kehittäminen, Energiatekniikka/Prosessi- ja automaatiotekniikka, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, 2013.

⁵⁵ Blain Loz, Record-breaking hydrogen electrolyzer claims 95% efficiency, 16.3.2022, <https://newatlas.com/energy/hysata-efficient-hydrogen-electrolysis>

⁵⁶ Kurland Simon Davidsson, Energy use for GWh-scale lithium-ion battery production, Environ. Res. Commun. 2, 2020.

⁵⁷ Sajari Petri, Kiinalainen Svolt suunnittelee Suomeen neljän miljardin euron investointia – työllistäisi yli 3000 henkeä, Helsingin Sanomat, 24.10.2023.

aurinkovoimalan rakentamisen viivästyminen tarkoittaisi käytännössä päästöjen vähentymistä.

Kaikessa dieselin käytössä uusiutuvaan dieseliin vaihtaminen koko elinkaaren ajaksi toisi 1,7 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 ole. Suoalueella aurinkopaneelien varjostus saattaa lisätä rahkasammaleen kasvua ja turpeen kerääntymistä ennallistettuun suohon. Kasvillisuudella pystytään vaikuttamaan paneelialueen maaperän päästöihin ja huoltotarpeeseen.

Aurinkovoimalan rakentaminen metsättömälle alueelle on hiilipäästöjen kannalta kannattavaa.

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)
- Hiilivetyypäästöt (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.

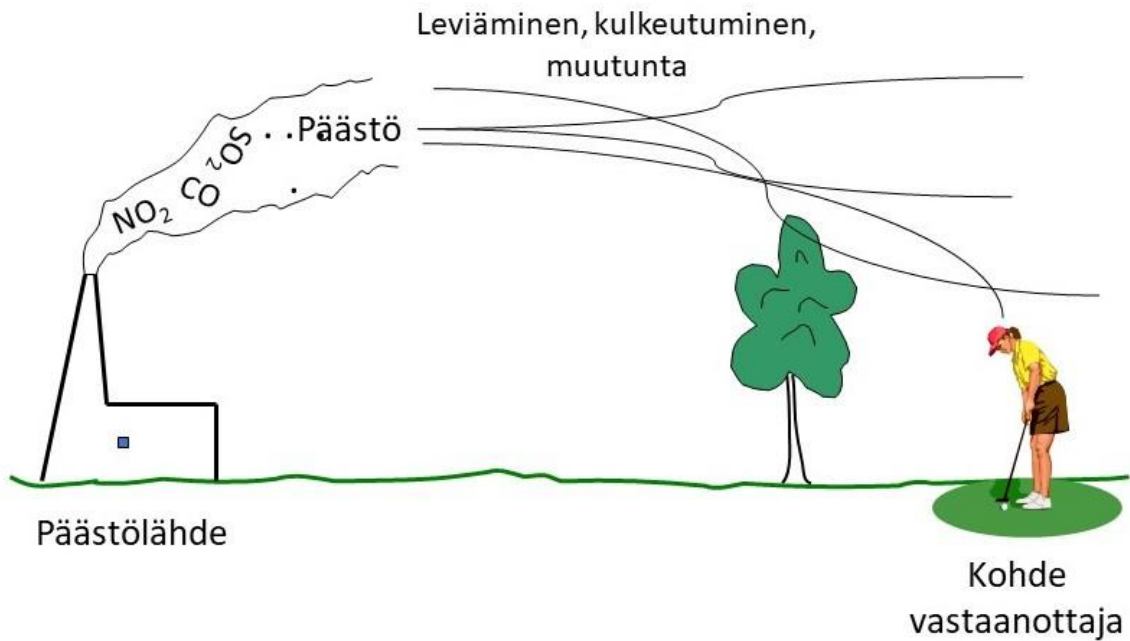
Typpioksiduulipäästöt (N₂O)

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.⁵⁸ Taulukossa 15 on VTT:n Lipasto-tietokannan yksikköpäästöjä.

Taulukko 15. 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 dieselkäyttöiset siirrettävät työkoneet	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, telalustaiset	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
Ajoruohonleikkurit, diesel	Diesel B7	19.66	8.72	32.20	3.48	0.15	0.04	0.01

⁵⁸ Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä Lipasto, VTT.

Päästöt arvioitiin koko 30 vuoden elinkaaren ajalle. Vertailun vuoksi arvioitiin myös Loviisan asukkaiden henkilöliikenteen päästöt yhden vuoden ajalta.⁵⁹

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 työkoneiden sähköistyminen voimalan pitkän elinkaaren aikana.

Arvioinnin epävarmuustekijät

Jonkin verran epävarmuuksia on 30 vuoden elinkaaren polttoaineiden kulutuksen arvioimisessa. Liikenteen ja työkoneiden sähköistyminen tarkoittaa, että esimerkiksi kunnossapidon ja huollon työkoneiden 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 kestäämään 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.

⁵⁹ Hiilijalanjälki- ja kulutusraportti, Loviisan kulutusperäiset päästöt, Cleanfi Oy, 2021.

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.⁶⁰

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.

Kuivuus ja kuumuus

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 hoidolla⁶¹, 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.

⁶⁰ Richardson Janet, The Impact of Flooding and Storms on Ground-Mounted and Rooftop Solar Installations, The Renewable Energy Hub, 17.11.2024.

⁶¹ 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.



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

Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Aurinkosähköjärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Aurinkosähkökennot (yksikiteinen pii)	57639
Alumiiniseos (AlMg3)	17214
Aurinkolasi	8019
Sähkö (keskijännite)	2664
Eteenivinyylasetaatti (EVA)	2183
Polyvinyylifluori (PVF)	1549
Karkaistu lasi	1262
Lasikuituvahvistettu muovi	1230
Aurinkosähköpaneelien valmistus	930
Polyeteenitereftalaatti (PET)	858
Muovijäämät	688
Kupari	659
Aaltopahvilaatikko	547
Piituote	292
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	96250

Taulukko. Invertterien kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Invertterit	2954
Yhteensä	2954

Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Muuntajien kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Muuntajat	1907
Muuntajat 2	1145
Yhteensä	3052

Taulukko. Tukirakenteisiin ja kaapelointiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Kupari	3063
Betoniteräs	1290
Niukkaseosteinen teräs	1217
Kuparilanka	543
Polyvinyylikloridi (PVC)	531
Betoni	298
Sinkki	213
Alumiinin tuotanto	113
Alumiini	52
Yhteensä	7321

Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Kytkentärasioihin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Polyeteeni	65.02
Polyeteenin jäämät	19.88
Kupari	13.00
Nylon	5.77
Polyvinyylikloridi (PVC)	4.61
Teräs	4.23
Sähköjohtojen jäämät	2.71
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	503.16
Tiilet	127.10
Keraaminen tiili	113.48
Alumiiniromu	28.42
Pinnoitettu lasi	23.85
Tuuletin + lämmönvaihdyksikkö	17.66
Betoni	15.46
Puiset ovet	9.98
Keramiikka	6.21
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	857

Taulukko. Käyttöön, korjauksiin ja huoltoon liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Vaihto: paneelit	1922
Vaihto: Invertterit	1971
Kasvillisuuden niitto	335
Paneelien pesu	382
Yhteensä	4611

Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Asennuksiin ja kuljetuksiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Asennus, tukirakenteet	172
Asennus, kaapelointi ym	368
Asennus, aurinkopaneelit	46
Betonikuljetukset	8
Paneelien kuljetukset	1601
Muuntajien kuljetus	59
Invertterien kuljetus	40
Teräs ym kuljetukset	59
Aidan kuljetus	4
Yhteensä	2358

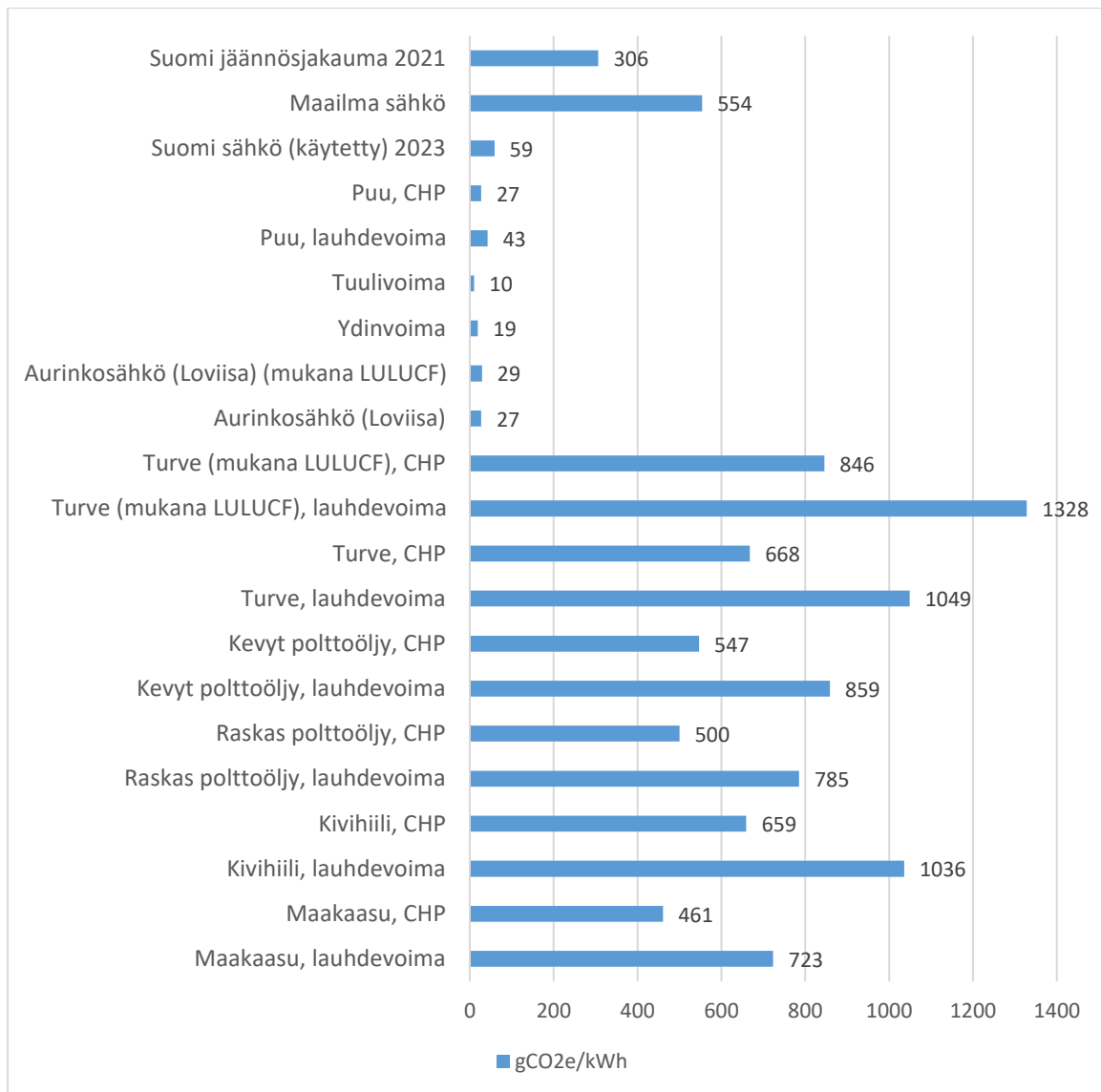
Taulukko. Purku ja kuljetus, kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Purku, tukirakenteet	34
Purku, kaapelointi ym	74
Purku, aurinkopaneelit	9
Purku, sähkö	0
Betonikuljetukset	8
Paneelien kuljetukset	61
Muuntajien kuljetus	8
Invertterien kuljetus	6
Teräs ym kuljetukset	59
Aidan kuljetus	4
Yhteensä	264

Taulukko. Aita (mahdollinen) ja siirtolinja, kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1
	tCO ₂ e
Aita	303
Siirtolinja	1056
Yhteensä	1359

Liite II: Sähkön tuotannon päästökertoimia



Kuva. Sähkön tuotannon päästökertoimia. Mukana koko elinkaari. Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon päästöjen kohdentamisessa käytetty hyödynjakomenetelmää.

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	205724	1173.43	149.03	812.40	16.96	31.67	8.74	1.66
Puuston poisto (kuormatraktorit)	Diesel B7	103689	815.87	97.18	618.36	20.28	15.88	4.34	0.84
Haketus (kannot oksat)	Diesel B7	249821	4325.50	1376.15	6275.36	536.18	38.49	10.79	2.02
Hakatun puuston kuljetus	Diesel B7	24444	8.60	1.42	16.32	0.24	0.05	1.50	0.19
Alueen maansiirto- ja tietyöt	Diesel B7	2333897	31271.52	5455.93	31270.78	1445.31	372.57	99.22	18.83
Asennus, tukirakenteet	Diesel B7	380359	4434.31	1460.09	7605.49	534.17	56.13	15.40	3.07
Asennus, kaapelointi ym	Diesel B7	853609	9951.57	3276.76	17068.38	1198.79	125.96	34.57	6.89
Asennus, aurinkopaneelit	Diesel B7	97581	1137.62	374.59	1951.18	137.04	14.40	3.95	0.79
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	Diesel B7	522	0.18	0.03	0.35	0.01	0.00	0.03	0.00
Paneelien kuljetukset	Diesel B7	4061	1.43	0.24	2.71	0.04	0.01	0.25	0.03
Muuntajien kuljetus	Diesel B7	565	0.20	0.03	0.38	0.01	0.00	0.03	0.00
Invertterien kuljetus	Diesel B7	386	0.14	0.02	0.26	0.00	0.00	0.02	0.00
Teräs ym kuljetukset	Diesel B7	4112	1.45	0.24	2.75	0.04	0.01	0.25	0.03
Aidan kuljetus	Diesel B7	69	0.02	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Työmatkat*	Bensiini	11785	89.79	6.51	15.86	0.24	0.37	0.50	0.13
Työmatkat*	Diesel B7	6346	9.78	1.71	69.36	2.67	0.04	0.67	0.05
Kasvillisuuden niitto*	Diesel B7	778234	15300.60	6782.75	25059.98	2707.29	114.40	31.01	6.28
Paneelien pesu*	Diesel B7	885986	10329.02	3401.04	17715.76	1244.26	130.74	35.88	7.15
Purku ja kuljetukset*	Diesel B7	591155	356.92	58.79	677.36	10.14	2.02	62.35	7.96
Yhteensä		6532344	79208	22442	109163	7854	903	310	56
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	197.20
Aurinko-voimalan kapasiteetti, MWp	125
Paneeli, Wp	600
Paneelien määrä	208333
Sähkö paneelien asennukseen, MWh	20.83
Asennustöihin käytetyn sähkön päästökerroin, gCO ₂ e/kWh	109.60
Betonin määrä, tonnia	1070
Betonilaattojen rekkakuljetuksia, kpl	27
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	208
Paneelien kuljetusmatka rekalla, km	250
Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetuksia, kpl	46
Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetusmatka, km	300
Muuntajien ja inverttereiden laivarahti, km	1500
Alueelle aittaa, km (jos alue aidattaisiin)	16.91
Aidan asennukseen dieseliä, L/m	2.06
Aitarekkakuljetuksia, kpl	19
Aitarekka, km/kuljetus	100
Paneelien tukirakenteita, kpl	208333
Tukirakenteiden asennukseen dieseliä, L/tukirakenne	0.23

Liite IV (2): Lähtötietoja, puusto ja maaperä

Puusto ja maaperä		VE1
Alueella runkopuuta alussa, m3	221009	2748
Alueella puuston oksistoa alussa, m3	68513	852
Alueella puuston juuria ja kantoja alussa, m3	82436	1025
Metsää kivennäismaalla alussa, ha	633	7
Hakkuuaukeaa kivennäismaalla alussa, ha	93	2
Peltoa kivennäismaalla alussa, ha	0	59
Metsää turvemaalla alussa, ha	633	7
Hakkuuaukeaa turvemaalla alussa, ha	0	2
Peltoa turvemaalla alussa, ha	23	120
Ojitettua avosuota turvemaalla alussa, ha	69	0
Luonnontilaista suota turvemaalla alussa, ha	0	0
Polttoaineen kulutuksia, diesel		
Kobelco-kaivinkone, L/h	15.50	15.50
Harvesteri, L/h	12.20	12.20
Kuormatraktori, L/h	10.50	10.50
Vermeer haketin, L/h	85.00	85.00
Puunkorjuu (harvesteri ja kuormatraktori), L/m3	1.40	1.40
Perävaunullinen tukkirekka, täysi, L/100 km	108.40	108.40
Perävaunullinen tukkirekka, tyhjä, L/100 km	57.50	57.50
Maansiirtokoneet alueen raivauksessa, L/ha	1635	1635
Henkilötyöpäiviä		
Harvesterit	1815	23
Kuormatraktorit	1575	20
Haketus (kannot oksat)	367	5
Alueen maansiirto- ja tietyöt	18822	234
Asennus, tukirakenteet	20337	2604
Asennus, kaapelointi ym	27116	3472
Asennus, aurinkopaneelit	40675	5208
Kunnossapito	10950	10950