

# **Lappeenrannan Huuhansuon 555 MWp aurinkovoimala – kasvihuonekaasuvaikutukset**

Kimmo Klemola, Cleanfi Oy

26.04.2025

## Sisällys

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Lyhyesti.....                                                   | 3  |
| Taustaa ja tarkastelun rajausta .....                           | 7  |
| Tulokset.....                                                   | 10 |
| 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 .....                     | 37 |
| Arvioinnin epävarmuustekijät.....                               | 37 |
| Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen ..... | 38 |
| Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen ..... | 39 |
| Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen ..... | 40 |
| Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen ..... | 41 |
| Liite I (5): 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

Lappeenrannan Huuhansuon alueelle suunnitellulle aurinkovoimalalle on laskettu kasvihuonekaasuvaikutukset. Alueen koko on 775 hehtaaria ja voimalan kapasiteetti on 555 MWp. Teholukeman MWp p tarkoittaa ”peak”-tehoa eli maksimitehoa, jota Suomen leveysasteilla ei missään olosuhteissa saavuteta.

Lappeenrannan Huuhansuon alueelle suunnitellun aurinkovoimalan sähköntuotanto on 30 vuoden elinkaaren aikana keskimäärin 644 GWh vuodessa, mikä on noin 0,78 % Suomen vuoden 2024 sähkönkulutuksesta. Aurinkopaneeleissa on seurantalaitteet (trakkerit), jotka lisäävät voimalan sähköntuotantoa. Voimalan elinkaareksi arvioidaan 30 vuotta.

Tarkasteluaajan jälkeen paneelit on mahdollista vaihtaa tehokkaampiin tai samoilla paneeleilla voidaan jatkaa sähköntuotantoa. Pidempi tarkasteluaika pienentäisi aurinkovoimalan päästökerrointa (gCO<sub>2</sub>e/kWh).

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 30 vuoden ajalta 617,7 ktCO<sub>2</sub>e. Lisäksi puuston hakkuusta ja maaperän hiilivarastojen ja -nielujen muutoksista johtuvat päästöt ovat maksimissaan 259,8 ktCO<sub>2</sub>e. Yhteensä aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 877,5 ktCO<sub>2</sub>e. Alueelta hakattava runkopuu menee teollisuuden käyttöön. Runkopuun mukana poistuva 76,3 ktCO<sub>2</sub> hiilivaraston menetys voidaan myös kohdentaa teollisuudelle, jolloin aurinkovoimalan elinkaaren päästöiksi saataisiin 801,2 ktCO<sub>2</sub>e. Tämän raportin vertailut on tehty suurempien päästöjen mukaan. Kuvassa 1 on esitetty aurinkovoimalan päästöjä aiheuttavat toiminnot.

|                                                                                                              |                                                                                                                 |                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Aurinkovoimalan ja sähkönsiirtolinjan komponentit<br>560 ktCO <sub>2</sub> e<br>28,98 gCO <sub>2</sub> e/kWh | Kuljetukset, asennukset ym.<br>16 ktCO <sub>2</sub> e<br>0,85 gCO <sub>2</sub> e/kWh                            | Käyttö ja huolto<br>24 ktCO <sub>2</sub> e<br>1,26 gCO <sub>2</sub> e/kWh |
| Elinkaaren loppu (purkaminen, jätteet, kierrätys)<br>17 ktCO <sub>2</sub> e<br>0,89 gCO <sub>2</sub> e/kWh   | Maankäytön muutokset (puusto, kasvillisuus, maaperä)<br>260 ktCO <sub>2</sub> e<br>13,45 gCO <sub>2</sub> e/kWh |                                                                           |

*Kuva 1. Huuhansuon aurinkovoimalan päästöjen muodostuminen. Voimalan elinkaaren päästöt ovat 30 vuoden aikana hakkuut ja maankäyttö huomioiden 877,5 ktCO<sub>2</sub>e eli tuotettua kilowattituntia kohti 45,4 gCO<sub>2</sub>e/kWh.*

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. 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 21,2 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 92,1 %. Aurinkosähkön korvattaessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 96,0 %.

Maakaasun vedyntuotantoa öljynjalostamolla korvattaessa aurinkovoimalan sähkö vähentää päästöjä 78,0 % ja kiinalaista sähköä akkukennostojen valmistuksessa korvattaessa 93,2 %.

Alueelta poistetaan 103000 kiintokuutiota runkopuuta, jonka kuljetukseen tarvitaan noin 2300 perävaunullista tukkirekkaa. Lisäksi laskennassa oletetaan, että alueelle katemateriaaliksi levitettäväksi haketetaan yli 70000 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.

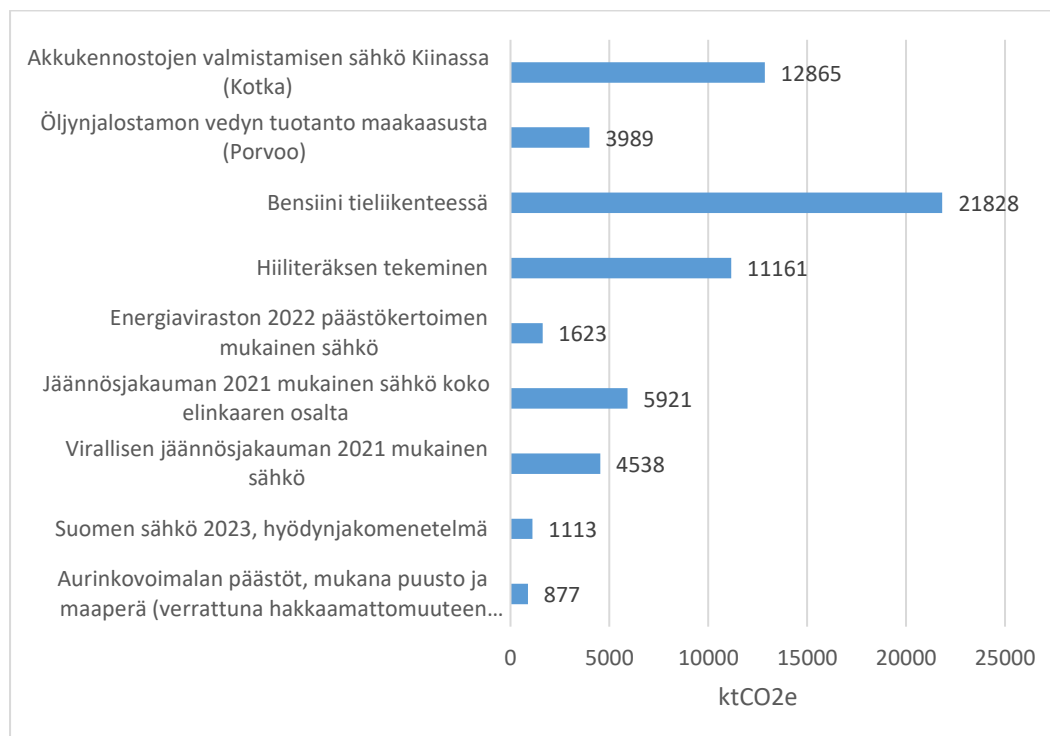
Aurinkosähkövoimalan hiilihyöty voi vertailukohdasta riippuen olla menetettyyn metsän puuston hiilivarastoon verrattuna jopa lähes 150-kertainen, puuston menetettyyn hiilivarastoon- ja nieluun (30 vuoden toteutumaton kasvu) verrattuna 70-kertainen.

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

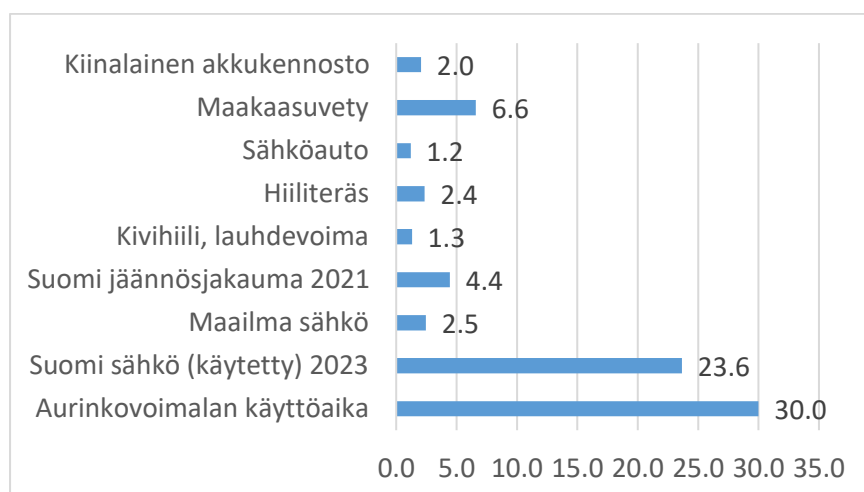
Fossiilisten polttoaineiden polttamisesta aiheutuvat päästöt voimala-alueella ovat vain noin 1,1 prosenttia (9,3 ktCO<sub>2</sub>e) aurinkovoimalan kaikista päästöistä. Päästöt muodostuvat voimalan rakentamisen ja huollon työkoneista ja ajoneuvoista. Itse voimalan toiminta ei aiheuta kasvihuonekaasupäästöjä.

Kaikki päästöt huomioiden alueen aurinkovoimalan sähkön elinkaaren päästökertoimeksi tulee 45,4 gCO<sub>2</sub>e/kWh (likaisimpana pidetty hiililauhdesähkö noin 1000 gCO<sub>2</sub>e/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 39,6 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Itse aurinkovoimalan

päästöt ovat 32,0 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Päästöjä lisäävät menetetty puunkasvu ja mahdolliset maaperän päästöt.



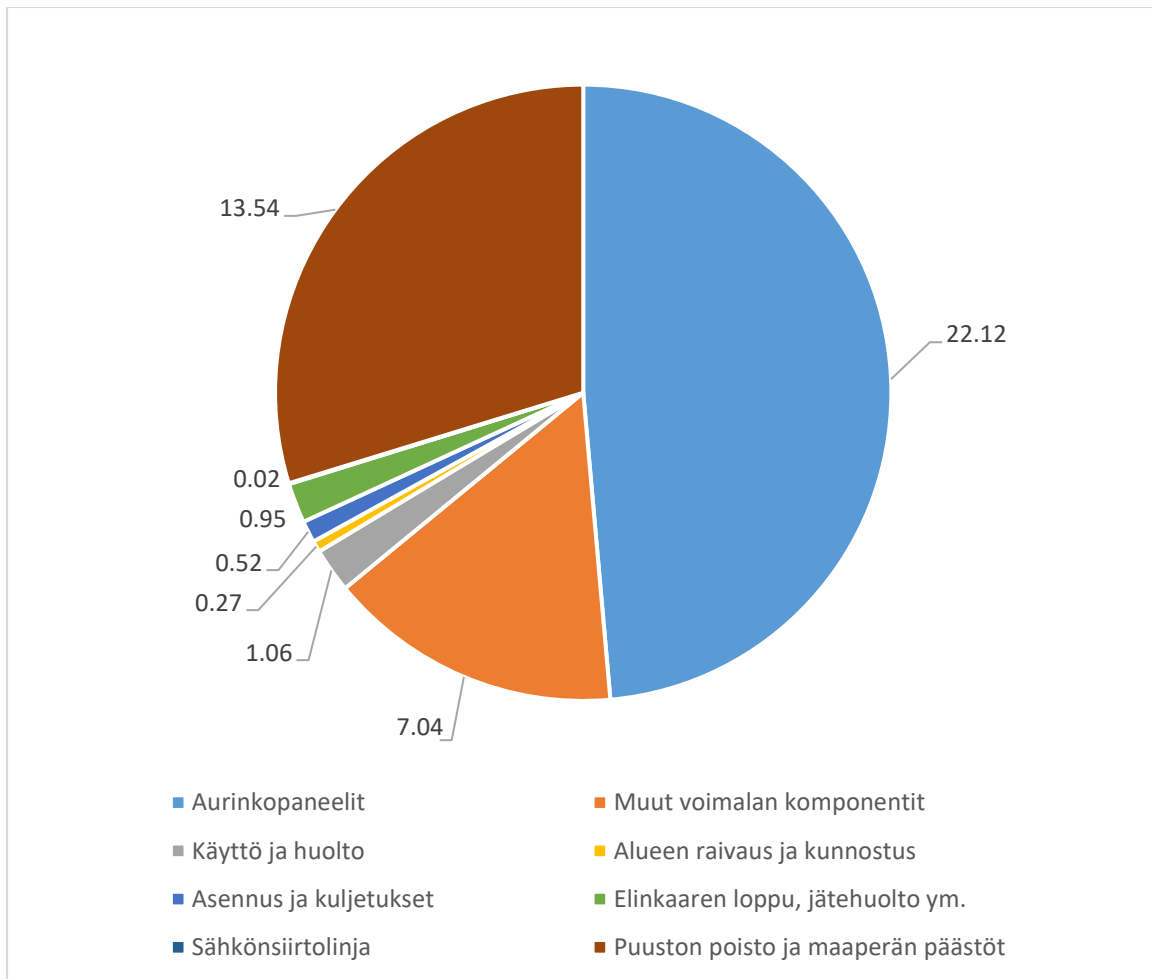
Kuva 2. Aurinkovoimalan sähköntuotannon elinkaaren (30 vuotta) päästöt ja päästöt, joita tuotettu aurinkovoima voi elinkaaren aikana korvata, mikäli aurinkosähkö käytetään korvaamaan vanhoja käytäntöjä. Esimerkiksi sähköautolla ajamisen kilometrimäärä (Huuhausuon tuottamalla sähköllä ajaa noin 100 miljardia kilometriä), joka aiheuttaa aurinkovoimalan sähköllä ajettuna 879 ktCO<sub>2</sub>e päästöt, aiheuttaisi vastaavalla bensiinialalla ajettuna 21828 ktCO<sub>2</sub>e päästöt. Erotus 20949 ktCO<sub>2</sub>e 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.

*Taulukko 1. Huuhansuon aurinkosähkön ja verrokkien hiilikädenjäljen yhteenvedo. Hiilikädenjälki tarkoittaa aurinkosähkön tuottamaa päästöjen pienennystä käyttökohteessa. Esimerkiksi sähköautoissa käytettynä aurinkosähkön hiilikädenjälki vastaa noin puolta Suomen nykyisistä vuotuisista päästöistä. Hankkeen toteutuminen edellyttää käytännössä pitkäaikaista sähkön ostosopimusta (PPA).*

| Vertailukohta                                            | Hiilikädenjälki              | Huomioita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                          | ktCO <sub>2</sub> e          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                   | 234                          | Laskettu sähköntuotannon koko elinkaari ja huomioitu CHP:n 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 45 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 57 gCO <sub>2</sub> e/kWh. |
| Suomen sähkö 2025-2055                                   | Todennäköisesti negatiivinen | On oletettavaa, että Suomen sähköntuotannon päästökerroin tulee pieneneen tulevien kymmenien vuosien aikana. Aurinkovoimalan päästöt tulevat pitkälti rakennusvaiheessa, joten näin laskettu hiilikädenjälki on käytännössä kaikelle nyt rakennettavalle uusiutuvalle sähköntuotannolle negatiivinen.                                                                                                  |
| Suomen sähkö 2023, mukana bio-CO <sub>2</sub>            | 2091                         | Huuhansuon aurinkosähkölle on laskettu itse aurinkovoiman lisäksi maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt (puiden hiilivarasto) ja maaperä. Jos halutaan verrata Suomen sähkөөn, vastaavasti olisi otettava huomioon myös Suomen sähköntuotannon puun poltosta vapautunut bioperäinen hiilidioksidi. Aurinkosähkö 45 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 154 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                    |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö      | 744                          | Energiaviraston päästökerrointa käytetään usein verrokkina. Päästökerroin seuraa viiveellä Energiateollisuuden ilmoittamia lukuja. Aurinkosähkö 45 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 84 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                                                                                                                                                                                         |
| Hiiliteräksen tekeminen                                  | 10282                        | Hiiliteräksen korvaaminen uusiutuvalla sähköllä valmistetulla vetyteräksellä on tulevaisuuden teknologia. Potentiaalinen vaihtoehto pitkäaikaisen PPA-aurinkosähkön asiakkaaksi.                                                                                                                                                                                                                       |
| Bensiini tieliikenteessä                                 | 20949                        | Liikenteen sähköistyminen vaatii lisäistä sähköntuotantoa ja liikenteen päästöjen tosiasiallinen alentaminen vähäpäästöistä sähköä. Latausinfra-työt ovat potentiaalisia asiakkaita pitkäaikaisen PPA-aurinkosähkön ostajiksi.                                                                                                                                                                         |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)      | 3109                         | 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)     | 11985                        | Akkukennostot valmistetaan pitkälti Kaakkois-Aasiassa. Prosessi kuluttaa paljon sähköä ja tuotantoa halutaan siirtää Eurooppaan. Potentiaalinen asiakas PPA-aurinkosähkölle.                                                                                                                                                                                                                           |
| Red III, vertailu Euroopan fossiilisähköntuotantoon 2023 | 14023                        | 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 45 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 771 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                                      |
| Euroopan sähkö 2023                                      | 3953                         | Aurinkosähkö 45 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 250 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Datakeskukset, maailman sähköntuotanto 2023              | 9488                         | Datakeskuksia on kaikkialla maailmassa (>6000), joten datakeskus joka ostaa PPA-aurinkosähkön Suomessa vähentää globaaleja päästöjä. Aurinkosähkö 45 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 537 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                                                                                                                                                                                      |



Kuva 4. Huhhansuon aurinkovoimalan elinkaaren päästöjen jakautuminen. Lukemissa yksikkö on gCO<sub>2</sub>e/kWh. Yhteensä aurinkovoimalan päästökerroin on 45,4 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Suurimmat päästöt tulevat aurinkopaneeleista ja maankäytön muutoksesta.

### Taustaa ja tarkastelun rajaus

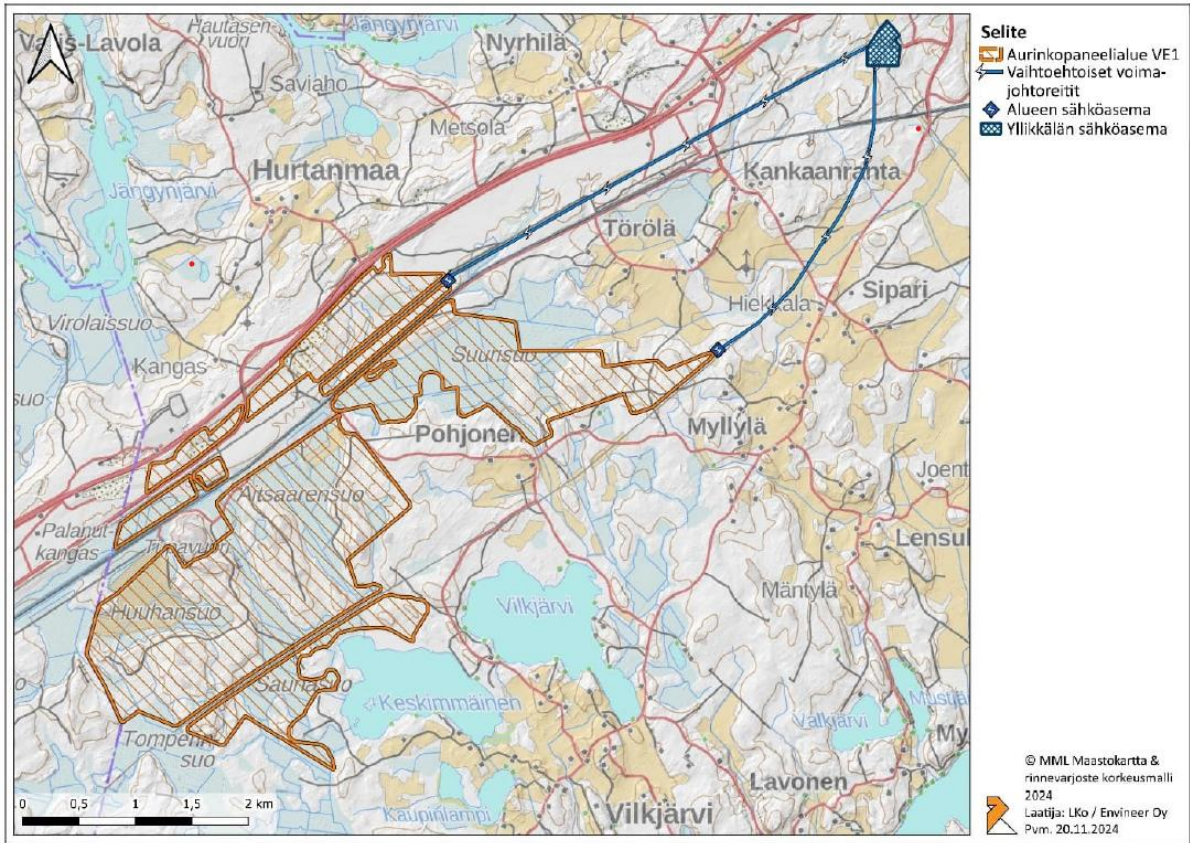
Aurinkosähköjärjestelmän ympäristövaikutukset tulevat lähinnä järjestelmän laitteiden raaka-aineiden tuottamisesta ja jalostamisesta, rakentamisesta, kuljetuksesta ja asentamisesta. Järjestelmä vaatii varsin vähän huolto- ja kunnossapitotoimintoja eikä itse sähköntuotanto aiheuta päästöjä.

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 Lappeenrannan Huuhansuon alueella on kuvassa 5.



Kuva 5. Aurinkovoimala-alue Lappeenrannan Huuhansuon alueella.

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

|                                   | Tot        |
|-----------------------------------|------------|
|                                   | ha         |
| <b>Kivennäismaa</b>               | <b>233</b> |
| Metsä (ml. taimikko, hakkuuaukea) | 218        |
| Pelto                             | 0          |
| Louhos, murskaamo                 | 15         |
| Kallio                            | 0          |
| <b>Turvemaa</b>                   | <b>547</b> |
| Metsä (ml. taimikko, hakkuuaukea) | 509        |
| Pelto/turvetuotantoalue           | 38         |

Kasvihuonekaasulaskelmat ja hiilitasearvioinnit tehtiin seuraaville vaihtoehdoille:

- VE0 eli 0-vaihtoehto: Hanketta ei toteuteta.
- VE0-vertailuvaihtoehdot



- VE0-ei hakkuita (alue pysyy ”koskemattomana” 30 vuotta ja metsän annetaan kasvaa)
- VE0-hakkuilla (alueella hakataan normaalisti 30 vuoden aikana eli alueen metsät jatkavat talousmetsäkäytössä)
- VE1: Kokonaispinta-ala 775 ha + 5,6 ha siirtolinjaa. Voimalan kapasiteetti 555 MWp.

Aurinkovoimala aiheuttaa maankäytön muutosten johdosta metsän hiilivaraston (alueelta hakataan puut) ja hiilinielujen (toteutumaton metsänkasvu) menetyksiä ja vaikutuksia on myös maaperän hiilen määrin (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 vetytelkistykseen 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 555 MWp voimala tuottaa sähköä ensimmäisenä vuonna keskimäärin 78 MW teholla. Voimalan teho tippuu keskimäärin 0,4 % vuodessa. Kapasiteettikerroin perustuu kääntyviin aurinkopaneeleihin.
- 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 ktCO<sub>2</sub>. Muuten käytetään yksikköjä gCO<sub>2</sub>e, tCO<sub>2</sub>e, ktCO<sub>2</sub>e, joissa CO<sub>2</sub>e tarkoittaa hiilidioksidiekvivalenttia. Hiilidioksidiekvivalentti ottaa huomioon kaikki kasvihuonekaasut, hiilidioksidin lisäksi tärkeimpinä metaanin ja typpioksiduulin.

## **Tulokset**

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 30 vuoden ajalta 618 ktCO<sub>2</sub>e. Voimala tuottaa 30 vuoden aikana 19,3 TWh sähköä ja aurinkosähkön päästökertoimeksi tulee 32,0 gCO<sub>2</sub>e/kWh.

Voimalan päästöt koostuvat suurimmalta osin aurinkopaneelien ja muiden komponenttien valmistuksesta. Alueella tapahtuvat fossiilienergian polttamisesta johtuvat päästöt ovat vain 1,1 prosenttia (9,3 ktCO<sub>2</sub>e) voimalan päästöistä (mukaan lukien puusto ja maaperä). Alueen energiankäytön päästöt koostuvat puuston hakkaamisesta (harvesterit), metsäkuljetuksesta (kuormatraktorit), 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 (9,3 ktCO<sub>2</sub>e) ovat ns. scope 1 -päästöjä. Polttoaineiden jalostamisesta ja sähköntuotannosta johtuvat päästöt ovat ns. scope 2 -päästöjä (2,8 ktCO<sub>2</sub>e). 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 260 ktCO<sub>2</sub> maankäytön muutosten LULUCF-vaikutusta (land use, land use change and forestry; puusto ja maaperä). Se on alueen hiilitaseen negatiivinen vaikutus verrattuna tilanteeseen, jossa aurinkovoimalaa ei rakennettaisi ja alue olisi jäänyt käyttöön, jossa alueella ei hakattaisi metsää 30 vuoteen. Mikäli metsiä hakattaisiin eli ne jatkaisivat normaalissa metsätalousskäytössä, maaperän ja metsien päästölisyys olisi pienempi eli 249 ktCO<sub>2</sub>. Aurinkosähkön päästökerroin on maksimissaan 45,4 gCO<sub>2</sub>e/kWh, kun puusto ja maaperän päästöt otetaan huomioon. Mikäli alueelta poistetun puuaineksen hiilivaraston

menetys kohdennetaan puun ostajalle ja käyttäjälle, aurinkosähkön päästökerroin on 39,6 gCO<sub>2</sub>e/kWh.

Aurinkovoimalan ilmastohyödyt tulevat aurinkosähkön korvatussa muuta sähköntuotantoa tai muita toimintoja, joita sähköllä voidaan korvata. Tällaisina toimintoina esimerkeiksi on otettu hiilivapaa teräs, 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.

*Vertailun oletus: alueella ei hakkuita tarkasteluaikana:*

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 21,2 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 92,1 % ja aurinkosähkön korvatussa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 96,0 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvatussa päästövähennys on 78,0 % ja akkukennostojen valmistuksessa 93,2 %.

*Vertailun oletus: alueella normaali metsätalous tarkasteluaikana:*

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 22,2 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 92,2 % ja aurinkosähkön korvatussa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 96,0 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvatussa päästövähennys on 78,3 % ja akkukennostojen valmistuksessa 93,3 %.

*Vertailun oletus: puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon:*

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 44,5 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 94,5 % ja aurinkosähkön korvatussa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,2 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvatussa päästövähennys on 84,5 % ja akkukennostojen valmistuksessa 95,2 %.

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

| Vaihtoehto                                                                                 | VE1                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Aurinkovoimalan tietoja:</b>                                                            |                          |
| Tehokapasiteetti, MWp                                                                      | 555                      |
| Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh                                                      | 19320                    |
| Pinta-ala, ha                                                                              | 781                      |
| <b>Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:</b>                                                | <b>ktCO<sub>2</sub>e</b> |
| Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen    | 260                      |
| Aurinkovoimalan päästöt                                                                    | 618                      |
| Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella) | 877                      |
| <b>Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:</b>                                       | <b>ktCO<sub>2</sub>e</b> |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                     | 1113                     |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                             | 4538                     |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                                 | 5921                     |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                        | 1623                     |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                    | 11161                    |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                   | 21828                    |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                        | 3989                     |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                       | 12865                    |
| <b>Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:</b>                                   | <b>%</b>                 |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                     | 21.2                     |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                             | 80.7                     |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                                 | 85.2                     |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                        | 45.9                     |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                    | 92.1                     |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                   | 96.0                     |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                        | 78.0                     |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                       | 93.2                     |

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

| Vaihtoehto                                                                                               | VE1                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Aurinkovoimalan tietoja:</b>                                                                          |                          |
| Tehokapasiteetti, MWp                                                                                    | 555                      |
| Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh                                                                    | 19320                    |
| Pinta-ala, ha                                                                                            | 781                      |
| <b>Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:</b>                                                              | <b>ktCO<sub>2</sub>e</b> |
| Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen                  | 249                      |
| Aurinkovoimalan päästöt                                                                                  | 618                      |
| Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti) | 866                      |
| <b>Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:</b>                                                     | <b>ktCO<sub>2</sub>e</b> |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                                   | 1113                     |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                                           | 4538                     |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                                               | 5921                     |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                                      | 1623                     |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                                  | 11161                    |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                                 | 21828                    |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                                      | 3989                     |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                                     | 12865                    |
| <b>Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:</b>                                                 | <b>%</b>                 |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                                   | 22.2                     |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                                           | 80.9                     |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                                               | 85.4                     |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                                      | 46.6                     |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                                  | 92.2                     |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                                 | 96.0                     |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                                      | 78.3                     |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                                     | 93.3                     |

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

| Vaihtoehto                                                                              | VE1   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Aurinkovoimalan tietoja:</b>                                                         |       |
| Tehokapasiteetti, MWp                                                                   | 555   |
| Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh                                                   | 19320 |
| Pinta-ala, ha                                                                           | 781   |
| <b>Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:</b>                                             |       |
| Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen | 0     |
| Aurinkovoimalan päästöt                                                                 | 618   |
| Aurinkovoimalan päästöt                                                                 | 618   |
| <b>Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:</b>                                    |       |
| <b>ktCO<sub>2</sub>e</b>                                                                |       |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                  | 1113  |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                          | 4538  |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                              | 5921  |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                     | 1623  |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                 | 11161 |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                | 21828 |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                     | 3989  |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                    | 12865 |
| <b>Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:</b>                                |       |
| <b>%</b>                                                                                |       |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                  | 44.5  |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                          | 86.4  |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                              | 89.6  |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                     | 61.9  |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                 | 94.5  |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                | 97.2  |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                     | 84.5  |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                    | 95.2  |

## 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.

Alue on varsin tyypillistä eteläkarjalaista talousmetsää, jossa on myös avohakkuualueita ja nuoria taimikoita. Suurimmaksi osaksi alue on havumetsää. Alueen länsiosassa sijaitsee turpeennostoalue ja alueella on maa-ainestenottoalueita. Alueen metsien rakenteen voi katsoa olevan varsin tyypillistä eteläkarjalaista metsää ja laskennassa on käytetty luonnonvarakeskuksen Etelä-Karjalan metsien puuvara-, hakkuu-, kasvu- ja poistumatietoja.

Alueelta hakatun puuston oksisto, kannot ja juuret haketetaan ja hake levitetään alueelle. Tarkasteluajan 30 vuoden kuluessa puolet hakkeesta oletetaan hajoavan hiilidioksidiksi.<sup>1</sup> 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.

---

<sup>1</sup> Pukkala Timo, Hakkuut ja hiilinielut – ajattelua ja toiveajattelua, [www.arvometsa.fi](http://www.arvometsa.fi), 15.11.2017.

Taulukko 6. Maaperän ja puuston päästöjen, hiilivaraston ja hiilinielujen laskennassa käytetyt lähtötiedot.<sup>2,3,4,5,6,7,8,9,10</sup> Maaperän osalta positiivinen luku tarkoittaa päästöä, negatiivinen luku tarkoittaa nielua. Alueella ei ole arvometsää tai jäkäläturvekangasta.

| Hiilivaraston muutos maaperässä, kivennäismaat: |                                                                                |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| tCO <sub>2</sub> /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 <sub>2</sub> /ha/a                          |                                                                                |
| 1.8                                             | Turvepellot                                                                    |
|                                                 | Metsämaa:                                                                      |
| 7.2                                             | Ruohoturvekangas                                                               |
| 3.0                                             | Mustikkaturvekangas                                                            |
| 0.5                                             | Puolukkaturvekangas                                                            |
| -0.4                                            | Varputurvekangas                                                               |
| -1.6                                            | Jäkäläturvekangas                                                              |
| Puusto (Etelä-Karjala):                         |                                                                                |
| 141.8                                           | Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla (runkopuu), m <sup>3</sup> /ha |
| 7.2                                             | Puuston vuotuinen kasvu (runkopuu), m <sup>3</sup> /ha/a                       |
| 6.0                                             | Hakkuut (runkopuu), m <sup>3</sup> /ha/a                                       |
| 1.0                                             | Luonnollinen poistuma (runkopuu), m <sup>3</sup> /ha/a                         |
| 31.0                                            | Oksisto ja lehvästö (biomassa) runkopuun määrästä, %                           |
| 37.3                                            | Kannot ja juuret (biomassa) runkopuun määrästä, %                              |
| 0.739                                           | Puun sitoma hiilidioksidi, tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>                    |

<sup>2</sup> Kasvupaikat metsämaan kankailla ja soilla (1000 ha) muuttujina inventointi, maakunta ja kasvupaikka, Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>3</sup> Puuston vuotuinen kasvu metsä- ja kitumaalla, Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>4</sup> Puuston biomassa metsä- ja kitumaalla (milj. t), Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>5</sup> Puuston poistuma omistajaryhmittäin ja maakunnittain 2015-, Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>6</sup> Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla kehitysluokittain (m<sup>3</sup>/ha), Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>7</sup> Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista, Loppuraportti, Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymä, 2021.

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

<sup>9</sup> 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.

<sup>10</sup> Metsä Group, aurinkovoimalan alueen puumäärätietojen arviointi, 2022.



Taulukko 7. Hiilen osuus puulajien kuiva-aineesta<sup>11</sup>, puulajien kuivatuoretiheys<sup>12,13</sup> ja Suomen puuston puulajien kuutiomäärät ja prosenttiosuudet<sup>14</sup>. Suomalaiseen puuhun on keskimäärin sitoutunut 0,739 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

|                            | Hiilen osuus<br>kuiva-<br>aineesta | Kuiva-<br>tuoretiheys | Hiiltä             | Sitoutunutta<br>hiilidioksidia    | Suomen<br>puusto | Suomen<br>puusto |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|
|                            | massa-%                            | kg/m <sup>3</sup>     | kgC/m <sup>3</sup> | kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | Mm <sup>3</sup>  | %                |
| 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<br>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<br>hakkuita  | VE0-<br>hakuilla    | VE1                 |                                                                                                          |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ktCO <sub>2</sub> e | ktCO <sub>2</sub> e | ktCO <sub>2</sub> e |                                                                                                          |
| 297.37              | 135.71              | 0.00                | Alueen puuston hiilivarasto lopussa                                                                      |
| 128.40              | 128.40              | 128.40              | Alueen puuston hiilivarasto alussa                                                                       |
| 168.97              | 7.32                | -128.40             | Puuston hiilivaraston muutos                                                                             |
| 0.00                | 96.05               | 76.29               | Alueelta hakattu runkopuu                                                                                |
| 0.00                | 0.00                | 168.97              | Toteutumatta jäänyt puuston kasvu                                                                        |
| 0.00                | 65.60               | 52.11               | Alueelta energiapuuna poistuvat kannot ja oksat                                                          |
| -32.19              | -32.19              | -20.65              | Maaperän hiilimuutos (positiivinen luku = päästö)                                                        |
|                     | 11.03               | 259.77              | Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen (päästö)        |
|                     |                     | 248.75              | Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-hakuilla (päästö)                               |
|                     |                     | 617.71              | Aurinkovoimalan päästöt                                                                                  |
|                     |                     | 9.26                | Aurinkovoimalan päästöt alueella                                                                         |
|                     |                     | 877.48              | Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)               |
|                     |                     | 866.45              | Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti) |

<sup>11</sup> 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.

<sup>12</sup> Alakangas Eija, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT tiedotteita 2045, 2000.

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

<sup>14</sup> Puuston tilavuus metsä- ja kitumaalla puulajeittain VMI 13:n mukaan, Luke tilastotietokanta. 2022.

## Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt

Aurinkopaneeliin perustuvan aurinkosähkövoimalan päästökertoimet (gCO<sub>2</sub>e/kWh) vaihtelevat kirjallisuudessa välillä 8–83 gCO<sub>2</sub>e/kWh.<sup>15</sup> 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.<sup>16</sup> Paneelien maantieteellisen sijoittumisen merkitystä kuvaa, että Etelä-Suomessa paneelien tuottama vuotuinen sähkömäärä jää yhdysvaltalaisen NREL:n laskurin mukaan 44 % pienemmäksi kuin Koillis-Brasiliassa.<sup>17</sup>

Laskennassa käytettyjä oletuksia:

- Alue on aurinkovoimakäytössä 30 vuotta ja sen jälkeen alue palaa metsä/peltomaaksi.
- Alussa kapasiteettikerroin on 14 % eli 555 MWp voimala tuottaa sähköä keskimäärin 78 MW teholla 683 GWh vuodessa. Sähköntuotantoteho vaihtelee välillä 0–461 MW (maksimiteho 83 % ”piikki”tehosta<sup>18</sup>). 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 kaksikolmasosa pienempi.<sup>19,20</sup>
- Invertterit vaihdetaan keskimäärin 15 vuoden välein eli kerran 30 vuoden elinkaaren aikana.

Itse aurinkovoimalan päästöistä (pois lukien maankäytön muutokset) ylivoimaisesti suurin osa tulee voimalan komponenteista valmistusvaiheessa: aurinkopaneelit, invertterit, tukirakenteet, sähköjohdot jne. Aurinkovoimalan päästöjen määrittämisessä käytettiin tuoreiden

---

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

<sup>16</sup> Photovoltaics Report, Fraunhofer institute for solar energy systems ise, 2022.

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

<sup>18</sup> Prof. Antti Kosonen, LUT, suullinen tiedonanto.

<sup>19</sup> 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.

<sup>20</sup> 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.

tiedejulkaisujen tietoja.<sup>21,22,23</sup> 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.

Tutkimuksessa<sup>24</sup> kiintokuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus puunkorjuussa (pitäen sisällään sekä harvesterien että kuormatraktorien polttoaineen kulutuksen) oli keskimäärin pätehakkuulla yhteensä 1,4 litraa/m<sup>3</sup> runkopuuta. Suoria päästöjä hakkuusta ja metsäkuljetuksesta tulee 3,8 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Jokaista hakattua runkopuukuutiometriä kohti jää hakkuutähteenä 0,31 m<sup>3</sup> oksia ja maaperään 0,373 m<sup>3</sup> kantoja ja juuria. Niiden hakettamiseen kuluu dieseliä 1,655 L/m<sup>3</sup>.<sup>25</sup>

Maansiirtokoneiden polttoaineen kulutukseksi arvioitiin 1635 litraa/ha metsämaata golfkenttien rakentamisesta saatujen tietojen perusteella.<sup>26,27</sup> Dieselin (Diesel B7, bio-osuus 7 %) elinkaaren päästöt ovat 3533 gCO<sub>2</sub>e/L, suorat polton päästöt ovat 2708 gCO<sub>2</sub>e/L.<sup>28,29</sup> Nesteen uusiutuvan biodieselin (My Diesel, NExBTL) elinkaaren päästöt ovat 461 gCO<sub>2</sub>e/L, suorat polton päästöt ovat 4,3 gCO<sub>2</sub>e/L.<sup>30,31</sup> Taulukossa 13 on esitetty aurinkovoimalan päästöt, kun diesel on uusiutuvaa biodieseliä. Biodieselin käytön vaikutus kokonaispäästöihin on varsin pieni.

Puunkorjuun päästöt voitaisiin kohdentaa myös puuta käyttävälle teollisuudelle. Alueen raivauksen ja kunnostuksen päästöt ovat kuitenkin vain muutama promille aurinkovoimalan

---

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

<sup>22</sup> 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.

<sup>23</sup> Smith B.L., Sekar A., Mirletz 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.

<sup>24</sup> Kärhä Kalle, Kääriäinen Heikki, Roininen Kimmo, Haavikko Hanna, Palander Teijo, Polttoaineen kulutusta puunkorjuussa selvitetiin laajalla seurantatutkimuksella, *Metsäalan ammattilehti*, 2020.

<sup>25</sup> Kärhä Kalle, Mutikainen Arto, Hautala Antti, Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa, *Metsäteho*, 2010.

<sup>26</sup> 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.

<sup>27</sup> Klemola Kimmo, Golf course carbon footprint calculator, Cleanfi Oy, 2022.

<sup>28</sup> Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

<sup>29</sup> European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

<sup>30</sup> 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>.

<sup>31</sup> 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.

päästöistä. Puiden kuljetus puuta jalostavalle sahalle tai tehtaalle ja siitä johtuvat päästöt katsotaan puun käyttäjän päästöiksi. Alueella tapahtuvat puukuljetusten päästöt on kuitenkin arvioitu.

Aurinkopaneelien oletettiin tulevan Kiinasta >7500 TEU:n konttialuksella<sup>32</sup> Rotterdamiin, josta ne tulevat 2000 TEU:n konttialuksella<sup>33</sup> Suomeen. Invertterit ja muuntajat tulevat pienemmillä aluksilla Saksasta. Maantiekuljetusten päästöt arvioitiin VTT Lipaston tietokannan yksikköpäästöjen avulla.<sup>34,35</sup>

Aidan ja aidan rakentamisen päästöt saatiin Desiderin *et al.*<sup>36</sup> artikkelista. Aidan hiilijalanjälki on kokonaispäästöissä mitätön.

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

*Taulukko 9. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen (tCO<sub>2</sub>e).*

|                                  | <b>VE1</b>              |
|----------------------------------|-------------------------|
|                                  | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Aurinkopaneelit                  | 427350                  |
| Invertterit                      | 13115                   |
| Muuntajat                        | 13550                   |
| Seurantalaitteet (trakkerit)     | 72150                   |
| Tukirakenteet ja kaapelointi     | 32505                   |
| KytKentärasiat                   | 527                     |
| Huoltorakennukset                | 3805                    |
| Käyttö ja huolto                 | 20471                   |
| Alueen raivaus ja kunnostus      | 5127                    |
| Asennus ja kuljetukset           | 10071                   |
| Aita                             | 393                     |
| Purku ja kuljetukset             | 1132                    |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym. | 17205                   |
| Sähkönsiirtolinja                | 306                     |
| <b>Yhteensä</b>                  | <b>617707</b>           |

<sup>32</sup> Information CO<sub>2</sub> des prestations de transport, October 2012;

[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide\\_Information\\_CO2-2.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_Information_CO2-2.pdf)

<sup>33</sup> Konttialuksen keskimääräiset päästöt ja energian käyttö vuonna 2016, VTT Lipasto.

<sup>34</sup> Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, kokonaismassa 76 t, kantavuus 51 t, 9 akselia, taajama, katuajo, VTT Lipasto.

<sup>35</sup> Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, kokonaismassa 60 t, kantavuus 40 t, VTT Lipasto.

<sup>36</sup> 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 (gCO<sub>2</sub>e/kWh).

|                                  | <b>VE1</b>                  |
|----------------------------------|-----------------------------|
|                                  | <b>gCO<sub>2</sub>e/kWh</b> |
| Aurinkopaneelit                  | 22.12                       |
| Invertterit                      | 0.68                        |
| Muuntajat                        | 0.70                        |
| Seurantalaitteet (trakkerit)     | 3.73                        |
| Tukirakenteet ja kaapelointi     | 1.68                        |
| KytKentärsiat                    | 0.03                        |
| Huoltorakennukset                | 0.20                        |
| Käyttö ja huolto                 | 1.06                        |
| Alueen raivaus ja kunnostus      | 0.27                        |
| Asennus ja kuljetukset           | 0.52                        |
| Aita                             | 0.02                        |
| Purku ja kuljetukset             | 0.06                        |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym. | 0.89                        |
| SähkÖnsiirtolinja                | 0.02                        |
| Yhteensä                         | 31.97                       |

Taulukko 11. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (tCO<sub>2</sub>e).

|                                    | <b>VE1</b>              |
|------------------------------------|-------------------------|
|                                    | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Aurinkopaneelit                    | 427350                  |
| Invertterit                        | 13115                   |
| Muuntajat                          | 13550                   |
| Seurantalaitteet (trakkerit)       | 72150                   |
| Tukirakenteet ja kaapelointi       | 32505                   |
| KytKentärsiat                      | 527                     |
| Huoltorakennukset                  | 3805                    |
| Käyttö ja huolto                   | 20471                   |
| Alueen raivaus ja kunnostus        | 5127                    |
| Asennus ja kuljetukset             | 10071                   |
| Aita                               | 393                     |
| Purku ja kuljetukset               | 1132                    |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.   | 17205                   |
| SähkÖnsiirtolinja                  | 306                     |
| Puuston poisto ja maaperän päästöt | 259773                  |
| Yhteensä                           | 877480                  |

*Taulukko 12. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO<sub>2</sub>e/kWh).*

|                                                                           | <b>VE1</b>                  |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                           | <b>gCO<sub>2</sub>e/kWh</b> |
| Aurinkopaneelit                                                           | 22.12                       |
| Invertterit                                                               | 0.68                        |
| Muuntajat                                                                 | 0.70                        |
| Seurantalaitteet (trakkerit)                                              | 3.73                        |
| Tukirakenteet ja kaapelointi                                              | 1.68                        |
| KytKentärsiat                                                             | 0.03                        |
| Huoltorakennukset                                                         | 0.20                        |
| Käyttö ja huolto                                                          | 1.06                        |
| Alueen raivaus ja kunnostus                                               | 0.27                        |
| Asennus ja kuljetukset                                                    | 0.52                        |
| Aita                                                                      | 0.02                        |
| Purku ja kuljetukset                                                      | 0.06                        |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.                                          | 0.89                        |
| SähkÖnsiirtolinja                                                         | 0.02                        |
| Puuston poisto ja maaperän päästöt*                                       | 13.45                       |
| Yhteensä                                                                  | 45.42                       |
| Yhteensä, verrattuna<br>normaalihakkuisiin, puuaines<br>energiakäyttöön** | 39.55                       |

\*Mikäli alueella jatketaan hakkuita normaalisti, lukema on 12,88 gCO<sub>2</sub>e/kWh

\*\*Mikäli lisäksi hakatun runkopuun hiilipoistuma allokoidaan teollisuudelle ja hake käytetään energiaksi, lukema on 7,58 gCO<sub>2</sub>e/kWh

*Taulukko 13. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO<sub>2</sub>e/kWh). Kaikki dieselpolttoaine on uusiutuvaa biodieseliä.*

|                                                                           | <b>VE1</b>                  |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                           | <b>gCO<sub>2</sub>e/kWh</b> |
| Aurinkopaneelit                                                           | 22.12                       |
| Invertterit                                                               | 0.68                        |
| Muuntajat                                                                 | 0.70                        |
| Seurantalaitteet (trakkerit)                                              | 3.73                        |
| Tukirakenteet ja kaapelointi                                              | 1.68                        |
| KytKentärsiat                                                             | 0.03                        |
| Huoltorakennukset                                                         | 0.20                        |
| Käyttö ja huolto                                                          | 0.92                        |
| Alueen raivaus ja kunnostus                                               | 0.03                        |
| Asennus ja kuljetukset                                                    | 0.36                        |
| Aita                                                                      | 0.02                        |
| Purku ja kuljetukset                                                      | 0.01                        |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.                                          | 0.89                        |
| SähkÖnsiirtolinja                                                         | 0.02                        |
| Puuston poisto ja maaperän päästöt*                                       | 13.45                       |
| Yhteensä                                                                  | 44.83                       |
| Yhteensä, verrattuna<br>normaalihakkuisiin, puuaines<br>energiakäyttöön** | 38.96                       |

\*Mikäli alueella jatketaan hakkuita normaalisti, lukema on 12,88 gCO<sub>2</sub>e/kWh

\*\*Mikäli lisäksi hakatun runkopuun hiilipoistuma allokoidaan teollisuudelle ja hake käytetään energiaksi, lukema on 7,58 gCO<sub>2</sub>e/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 ynm 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. Voimalavaihtoehdossa 1 työmatka-autoilua henkilöautolla voimala-alueella arvioitiin olevan elinkaaren aikana 86 tuhatta kilometriä.<sup>37,38,39</sup> Kilometrikohtaiseksi päästöksi käytettiin Lappeenrannan kaupungin henkilöautokannan päästöjä vuonna 2019.<sup>40</sup> Voimala-alueen työmatkaliikenteen päästöt ovat noin 0,02 promillea voimalan kaikista päästöistä.

---

<sup>37</sup> Päiviö Olli, Topi Vilenius ajaa jo kolmatta Kobelcoaan, Konepörssi, 2015.

<sup>38</sup> Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen, esitutkimus, Metsäteho Oy, 2003.

<sup>39</sup> Kärhä Kalle, Mutikainen Arto, Hautala Antti, Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa, Metsäteho, 2010.

<sup>40</sup> Hiilijalanjälki- ja kulutusraportti, Lappeenrannan 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    | 144528  | 391         | 119         | 511          |
| Haketus (kannot oksat)                              | Diesel B7    | 116692  | 316         | 96          | 412          |
| Hakatun puuston kuljetus                            | Diesel B7    | 11418   | 31          | 9           | 40           |
| Alueen maansiirto- ja tietyöt                       | Diesel B7    | 1189953 | 3222        | 982         | 4204         |
| Asennus, tukirakenteet                              | Diesel B7    | 205951  | 558         | 170         | 728          |
| Asennus, kaapelointi ynm                            | Diesel B7    | 462198  | 1252        | 381         | 1633         |
| Asennus, aurinkopaneelit                            | Diesel B7    | 52925   | 143         | 53          | 196          |
| Betonin/betonilevyjen kuljetukset                   | Diesel B7    | 282     | 0.8         | 0.2         | 1.0          |
| Paneelien kuljetukset                               | Diesel B7    | 2199    | 6.0         | 1.8         | 7.8          |
| Muuntajien kuljetus                                 | Diesel B7    | 306     | 0.8         | 0.3         | 1.1          |
| Invertterien kuljetus                               | Diesel B7    | 209     | 0.6         | 0.2         | 0.7          |
| Teräs ynm kuljetukset                               | Diesel B7    | 2227    | 6.0         | 1.8         | 7.9          |
| Aidan kuljetus                                      | Diesel B7    | 49      | 0.1         | 0.0         | 0.2          |
| Työmatkat                                           | * (ks. alla) |         | 24          | 8           | 32           |
| Kasvillisuuden niitto                               | Diesel B7    | 421385  | 1141        | 348         | 1489         |
|                                                     |              |         |             |             |              |
| Paneelien pesu                                      | Diesel B7    | 479729  | 1299        | 396         | 1695         |
| Purku ja kuljetus                                   | Diesel B7    | 320480  | 868         | 264         | 1132         |
| <b>Yhteensä (fossiiliset päästöt)</b>               |              |         | <b>9259</b> | <b>2832</b> | <b>12091</b> |
| Maaperän lisääntyneet päästöt                       |              |         |             |             | -11539       |
| Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen |              |         |             |             | 26053        |
| <b>Yhteensä (maaperän päästöt)</b>                  |              |         |             |             | <b>14514</b> |
| <b>Yhteensä</b>                                     |              |         |             |             | <b>26605</b> |

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

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

|                                                     |               |         | VE1                |                    |                    |
|-----------------------------------------------------|---------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                     |               |         | Scope 1            | Scope 2            | Yhteensä           |
|                                                     |               | L, MWh  | tCO <sub>2</sub> e | tCO <sub>2</sub> e | tCO <sub>2</sub> e |
| Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)     | HVO biodiesel | 151238  | 6                  | 63                 | 70                 |
| Haketus (kannot oksat)                              | HVO biodiesel | 122110  | 5                  | 51                 | 56                 |
| Hakatun puuston kuljetus                            | HVO biodiesel | 11418   | 1                  | 5                  | 6                  |
| Alueen maansiirto- ja tietyöt                       | HVO biodiesel | 1245205 | 53                 | 521                | 574                |
| Asennus, tukirakenteet                              | HVO biodiesel | 215513  | 9                  | 90                 | 99                 |
| Asennus, kaapelointi ynm                            | HVO biodiesel | 483659  | 21                 | 202                | 223                |
| Asennus, aurinkopaneelit                            | HVO biodiesel | 55378   | 2                  | 33                 | 35                 |
| Betonin/betonilevyjen kuljetukset                   | HVO biodiesel | 296     | 0.0                | 0.1                | 0.1                |
| Paneelien kuljetukset                               | HVO biodiesel | 2301    | 0.1                | 1.0                | 1.1                |
| Muuntajien kuljetus                                 | HVO biodiesel | 320     | 0.0                | 0.1                | 0.1                |
| Invertterien kuljetus                               | HVO biodiesel | 229     | 0.0                | 0.1                | 0.1                |
| Teräs ynm kuljetukset                               | HVO biodiesel | 2330    | 0.1                | 1.0                | 1.1                |
| Aidan kuljetus                                      | HVO biodiesel | 51      | 0.0                | 0.0                | 0.0                |
| Työmatkat                                           | * (ks. alla)  |         | 24                 | 8                  | 33                 |
| Kasvillisuuden niitto                               | HVO biodiesel | 440951  | 19                 | 184                | 203                |
| Paneelien pesu                                      | HVO biodiesel | 502004  | 21                 | 210                | 231                |
| Purku ja kuljetus                                   | HVO biodiesel | 324122  | 14                 | 136                | 149                |
| <b>Yhteensä (fossiiliset päästöt)</b>               |               |         | 176                | 1506               | 1682               |
| Maaperän lisääntyneet päästöt                       |               |         |                    |                    | -11539             |
| Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen |               |         |                    |                    | 26053              |
| <b>Yhteensä (maaperän päästöt)</b>                  |               |         |                    |                    | 14514              |
| <b>Yhteensä</b>                                     |               |         |                    |                    | 16197              |

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

## Aurinkosähkön verrokki

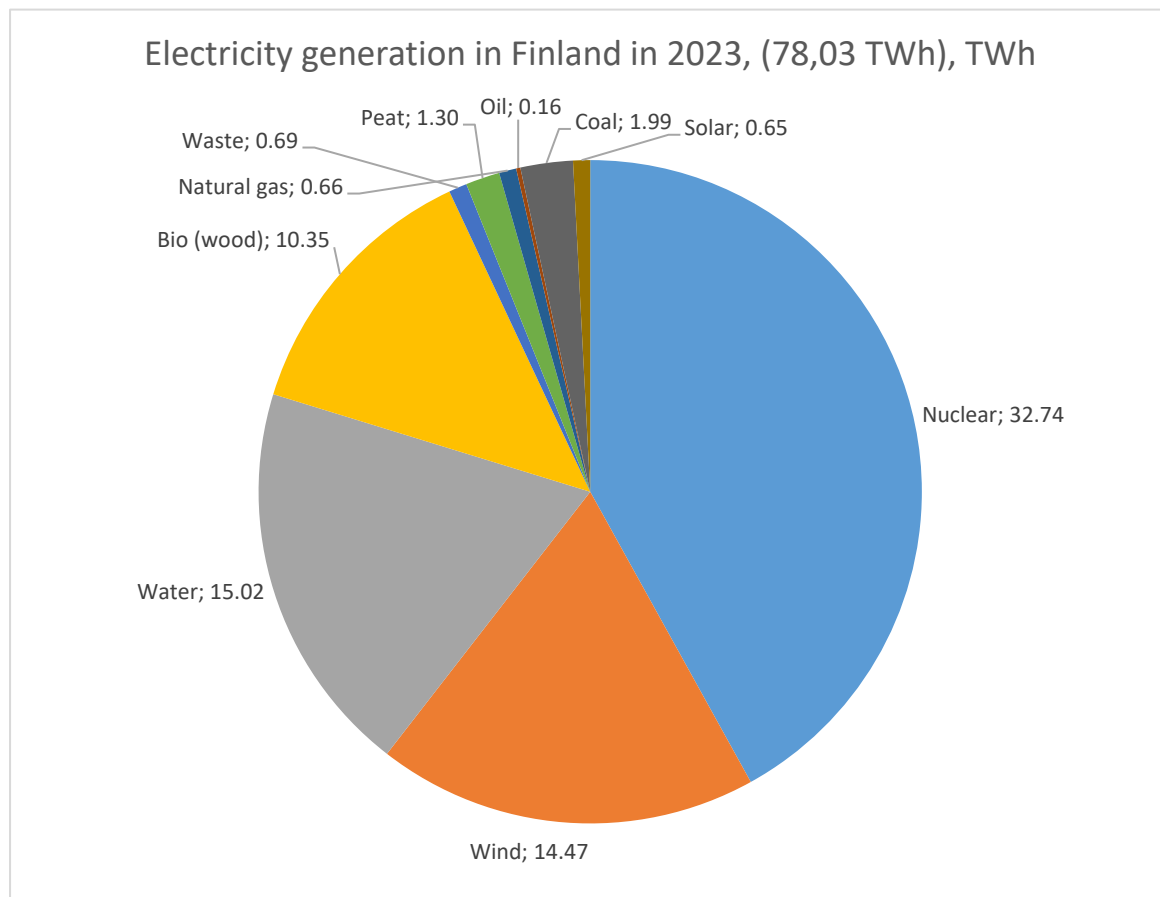
Aurinkosähkölle on otettu raportissa muitakin verrokkeja kuin vaihtoehtoinen sähköntuotanto, koska varsinkin lisäinen aurinkosähkö voidaan käyttää esimerkiksi suoraan terästeollisuudessa ja liikenteessä fossiilisia vaihtoehtoja korvaamaan. Sähköverrokkiksi on otettu Suomessa vuonna 2023 käytetty sähkö. Päästövertailu verrokkien kesken on esitetty raportin alussa taulukoissa 1 ja 3.

## 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.<sup>41,42,43,44</sup> Puun, maakaasun, kivihiilen, turpeen ja jätteen polton osalta määritettiin kullekin polttoaineelle yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon osuudet. Päästöjen kohdentamisessa sähkölle ja lämmölle käytettiin hyödynjakomenetelmää.<sup>45</sup> Kuvissa 6 ja 7 on Suomessa tuotetun ja käytetyn sähkön sähkönlähteiden osuudet. Kuvissa 8 ja 9 on esitetty Suomessa tuotetun ja käytetyn sähkön päästöjen jakautuminen. Suomessa tuotetun sähkön päästökerroin vuonna 2023 oli 57,6 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Suomessa käytetyn sähkön päästökerroin vuonna 2023 oli 57,0 gCO<sub>2</sub>e/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 6. Suomen sähköntuotanto 2023.

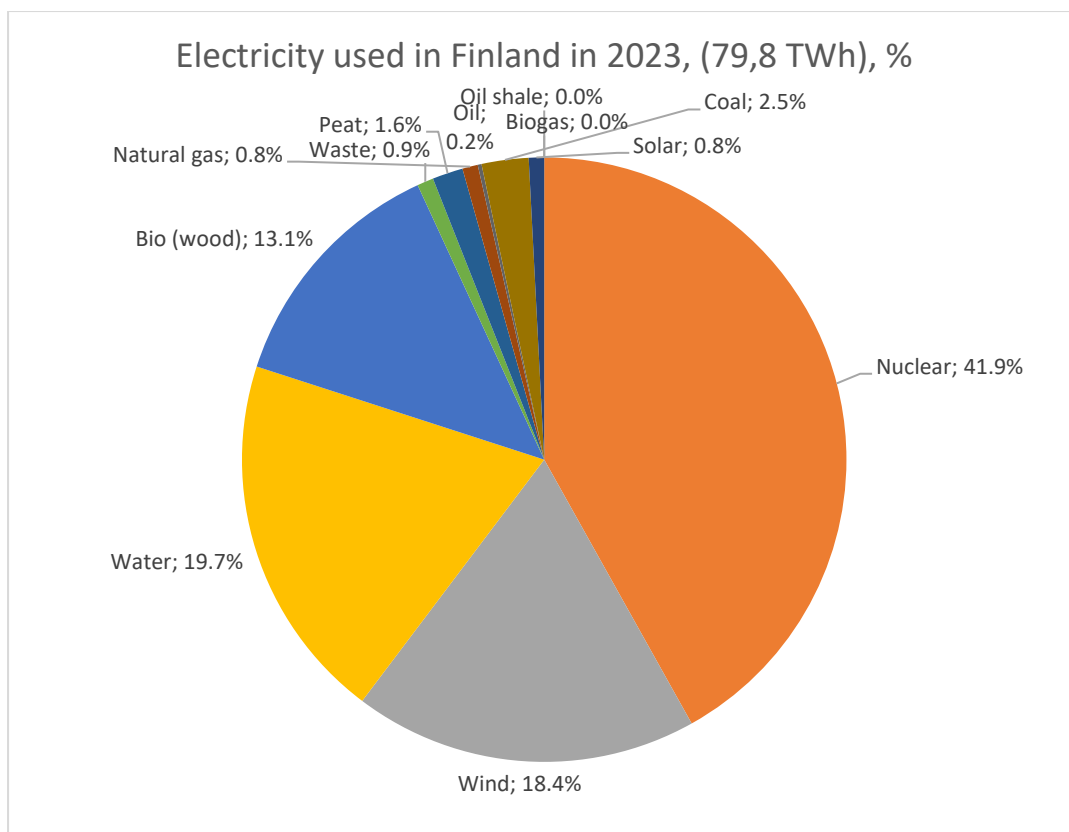
<sup>41</sup> Sähkön hankinta energialähteittäin 2007–2023, Energiateollisuus, 2024.

<sup>42</sup> Statistics Estonia, <https://andmed.stat.ee/en/stat>.

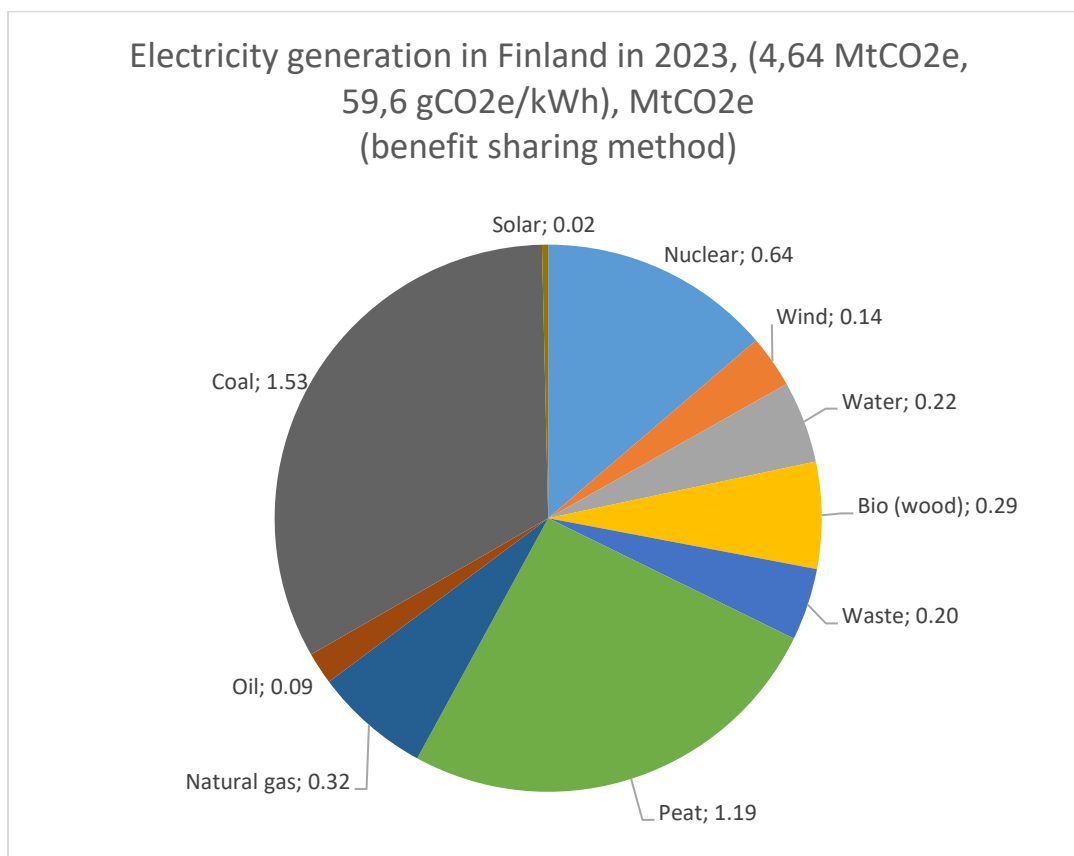
<sup>43</sup> Electricity production (net production) by type of power from 1970, TWh, Statistikdatabas, Energimyndigheten.

<sup>44</sup> Klemola Kimmo, Electricity generation and use in Finland – fuels and CO<sub>2</sub>e emissions, Years 2013–2023, Cleanfi Oy, 2024.

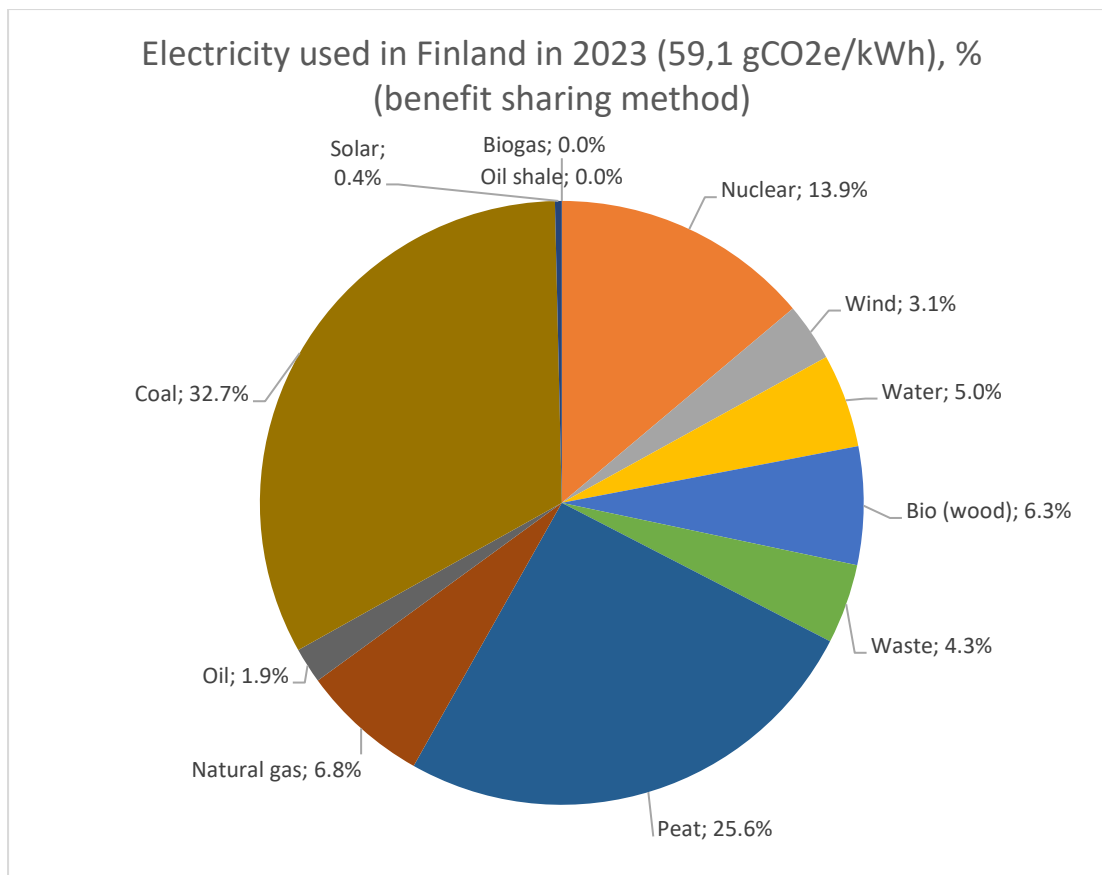
<sup>45</sup> Hyödynjakomenetelmä (Benefit sharing method), Motiva.



Kuva 7. Suomessa käytetty sähkö 2023, mukana vienti ja tuonti.



Kuva 8. Suomessa tuotetun sähkön päästöjen jakautuminen 2023.



Kuva 9. 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.<sup>46</sup> Vuonna 2021 jäännösjakauman mukainen virallinen päästökerroin oli 234,9 gCO<sub>2</sub>e/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 gCO<sub>2</sub>e/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

<sup>46</sup> 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 gCO<sub>2</sub>e/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.<sup>47</sup> Perinteisellä hiili-intensiivisellä prosessilla teräksen päästöt ovat 1,85 tCO<sub>2</sub>e/tonni.<sup>48</sup> Vuonna 2021 SSAB:n Raahen terästehtaan tuotanto oli 3,4 miljoonaa tonnia.<sup>49</sup> Raahessa hiilivapaan teräksen tekemiseen tarvitaan vuosittain yli 10 TWh puhdasta sähköä – noin 16 Huuhansuon VE1-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),<sup>50,51,52,53,54</sup> on bensiinilitran elinkaaren päästökerroin 3072 gCO<sub>2</sub>e. Bensiinikilowattituntia kohti päästökerroin on 340 gCO<sub>2</sub>e, mikä on lähes kymmenen kertaa suurempi kuin aurinkosähkön

---

<sup>47</sup> 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.

<sup>48</sup> The World Steel Association (worldsteel), www.worldsteel.org, 2022.

<sup>49</sup> SSAB:n Raahen tehtaan ympäristövuosi 2021, SSAB, 2022.

<sup>50</sup> Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

<sup>51</sup> European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

<sup>52</sup> 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.

<sup>53</sup> Hammerschlag Roel, Ethanol's energy return on investment: a survey of the literature 1990-present, Environmental Science & Technology, Vol. 40, 1744–1750, 2006.

<sup>54</sup> 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 96 % 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. Huuhansuon alueen aurinkovoimalan sähkö korvaisi noin 25 % fossiilisen vedyn tuotannosta Nesteen Porvoon jalostamolla. Maakaasu- ja aurinkosähkövedyn merkittävät parametrit ovat:<sup>55,56</sup>

- Vety maakaasusta:
  - 48 kWh maakaasua/kgH<sub>2</sub>
  - 230 gCO<sub>2</sub>e/kWh maakaasua
- Vety aurinkosähköstä:
  - 53 kWh sähköä/kgH<sub>2</sub>
  - 45 gCO<sub>2</sub>e/kWh aurinkosähköä

#### *Kiinalaisten akkukennostojen valmistus*

Akkukennostojen valmistus on sähköintensiivinen prosessi. Yhden kilowattitunnin akkukennoston valmistus kuluttaa sähköä 57,5 kWh.<sup>57</sup> Akkukennostojen valmistus tapahtuu pitkälti Kiinassa ja Etelä-Koreassa, joiden sähkön päästökerroin on suuri – Kiinassa 666 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Kotkaan on suunnitteilla kiinalaisomisteinen akkukennostotehdas, joka valmistaisi akkukennostoja vuosittain miljoonan sähköauton tarpeisiin.<sup>58</sup> Tehtaan kapasiteetti olisi 50 GWh akkukennostoja. Huuhansuon voimalan sähköntuotanto kattaisi reilut 20 % tehtaan sähköntarpeesta ja riittäisi vuosittaiseen noin 200 000 sähköauton akuston valmistamiseen.

### **Päästöjen vähentämismahdollisuudet**

Aurinkovoimalan osalta kasvihuonekaasupäästöjä vähentävät tehokkaammat energiatehokkaammin ja vähähiilisemmin valmistetut aurinkopaneelit. Aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön päästökerroin tulee todennäköisesti edelleen pienenemään, joten

---

<sup>55</sup> Hytönen Linda, Vetylaitoksen tuotannon energiataseen ja energiahäviöiden seurannan kehittäminen, Energiateknikka/Prosessi- ja automaatiotekniikka, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, 2013.

<sup>56</sup> Blain Loz, Record-breaking hydrogen electrolyzer claims 95% efficiency, 16.3.2022, <https://newatlas.com/energy/hysata-efficient-hydrogen-electrolysis>

<sup>57</sup> Kurland Simon Davidsson, Energy use for GWh-scale lithium-ion battery production, Environ. Res. Commun. 2, 2020.

<sup>58</sup> 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 11,4 ktCO<sub>2</sub>e vähennyksen kasvihuonekaasupäästöihin, mikä vastaa 1,3 % päästövähennemää voimalan päästöissä (0,6 gCO<sub>2</sub>e/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 alueiden ennallistaminen tekisi niistä myös hiiltä sitovia. Aurinkopaneelien varjostus saattaa lisätä rahkasammaleen kasvua ja turpeen kerääntymistä ennallistettuun suohon. Kasvillisuudella pystytään vaikuttamaan paneelialueen maaperän päästöihin ja huoltotarpeeseen.

### **Arvioinnin epävarmuustekijät**

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

Lappeenrannan Huuhansuon alueen aurinkovoimalan kohdalla ylivoimaisesti suurimmat päästöjen aiheuttajat ovat aurinkopaneelien valmistus ja maankäytön muutosten aiheuttamat päästöt.

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.



Suomen ympäristökeskuksen hiilikarttasovelluksella voidaan tehdä päästöarvioita alueen maankäytön muutokselle, mutta ne ovat vain suuntaa antavia.

### **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<sub>x</sub>)
- Pienhiukkaspäästöt
- Metaanipäästöt
- Typpioksiduulipäästöt (N<sub>2</sub>O)
- Rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>)

#### *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<sub>x</sub>)*

Polttoaineen palaessa osa polttoaineen sisältämästä ja ilman tyydestä hapettuu ja syntyy typen oksideja. Niiden syntyyn voidaan vaikuttaa esimerkiksi säätämällä palamislämpötilaa. NO<sub>x</sub>-yhdisteet kulkeutuvat ilmakehän mukana ja päätyvät laskeutumaan 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.

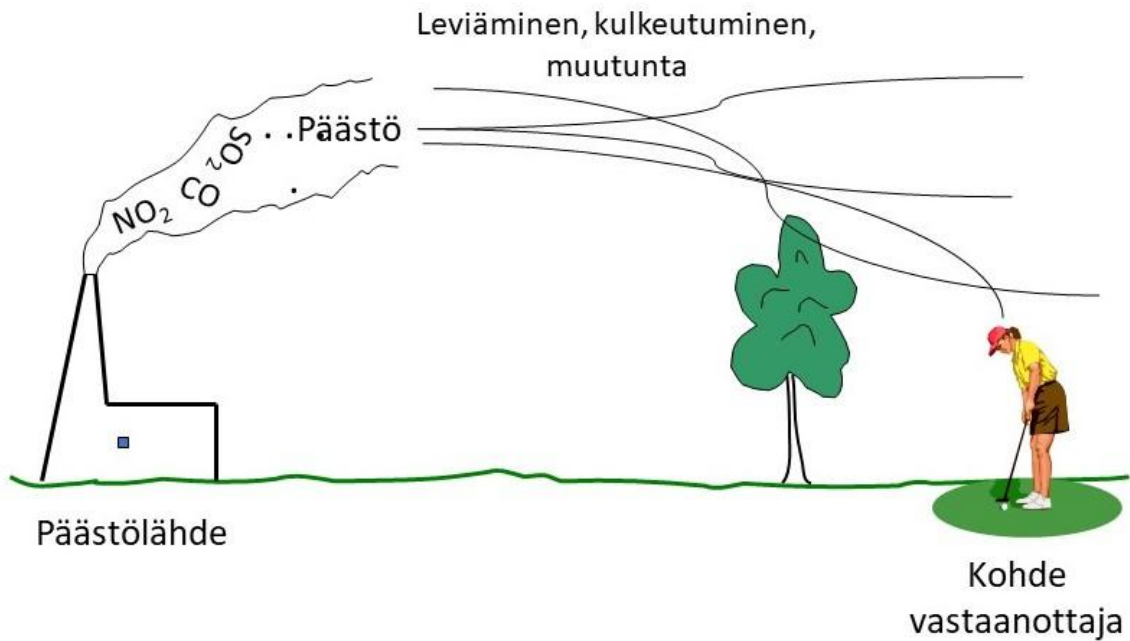
### *Typpioksiduulipäästöt (N<sub>2</sub>O)*

Typpioksiduuli eli N<sub>2</sub>O on yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasuista. Gramma typpioksiduulia ilmakehässä aiheuttaa noin 300 kertaa voimakkaamman kasvihuonekaasuvaikutuksen kuin gramma hiilidioksidia. Typpioksiduuli aiheuttaa myös otsonikatoa.

### *Rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>)*

Polttoaineet sisältävät rikkiä vaihtelevia määriä ja palamisprosesseissa rikki muuttuu rikkidioksidiksi (SO<sub>2</sub>). 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 muutunutta (kemiallisia reaktioita), päästöjen viipymäaika vaihtelee ja lopulta ne päätyvät maahan tai vesistöihin märkä- tai kuivalaskeumana. Kuvassa 10 on esitetty yksinkertaistettuna päästöt, kulkeutuminen, muutunutta ja laskeuma.



Kuva 10. 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.<sup>59</sup> 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 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 |

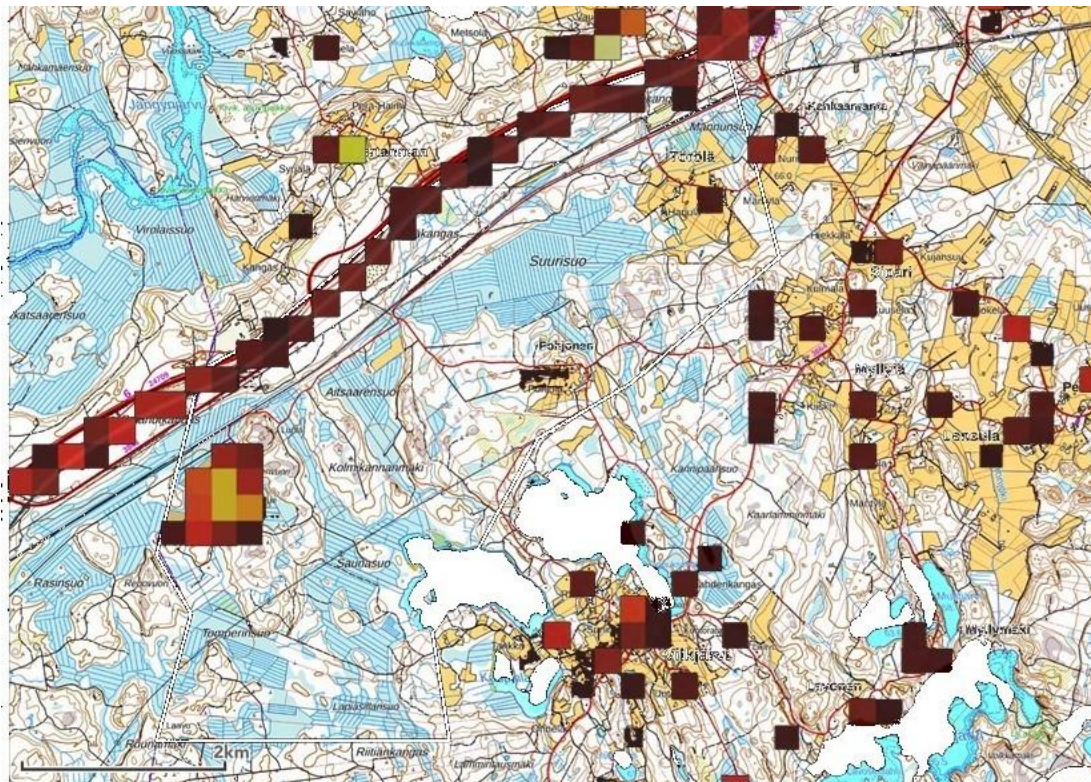
<sup>59</sup> Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä Lipasto, VTT.

Päästöt arvioitiin koko 30 vuoden elinkaaren ajalle. Vertailun vuoksi arvioitiin myös Lappeenrannan kaupungin asukkaiden henkilöliikenteen päästöt yhden vuoden ajalta.<sup>60</sup>

### **Nykytila**

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

Suomen ympäristökeskuksella on Ilmansaasteiden päästökartat -karttapalvelu, joka sisältää ilmansaasteiden ja kasvihuonekaasujen päästöt Suomessa vuosille 2015 ja 2030. Päästöt on laskettu alueellisella päästöskenaariomallilla (FRES). Mukana olevia päästöjä ovat mm. hiukkaset, musta hiili, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, BaP, CO<sub>2</sub> ja CH<sub>4</sub>. Voimala-alueen läheisyydessä on asutusta ja vilkas kuutostie. Voimala-alueen länsiosassa on turvetuotantoalue, joka erottuu kuvassa 11 vasemmalla merkittävämpänä ilmapäästöjen lähteenä.



Kuva 11. Suomen ympäristökeskuksen ilmansaasteiden päästökartat -karttapalvelun ilmoittamat ilman lähipäästöt voimala-alueella ja alueen lähistöllä.

### **Vaikutusten arviointi ja merkittävyys**

Liitteessä III on esitetty voimala-alueen ilmapäästöt.

<sup>60</sup> Klemola Kimmo, Lappeenranta, kulutusperäiset päästöt 2019, Cleanfi Oy, 2021.

### ***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.

## Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Aurinkosähköjärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt.*

|                                       | VE1                |
|---------------------------------------|--------------------|
|                                       | tCO <sub>2</sub> e |
| Aurinkosähkökennot (yksikiteinen pii) | 255918             |
| Alumiiniseos (AlMg3)                  | 76431              |
| Aurinkolasi                           | 35605              |
| Sähkö (keskijännite)                  | 11826              |
| Eteenivinyyliaetaatti (EVA)           | 9693               |
| Polyvinyylifluori (PVF)               | 6879               |
| Karkaistu lasi                        | 5605               |
| Lasikuituvahvistettu muovi            | 5460               |
| Aurinkosähköpaneelien valmistus       | 4130               |
| Polyeteenitereftalaatti (PET)         | 3809               |
| Muovijäämät                           | 3055               |
| Kupari                                | 2926               |
| Aaltopahvilaatikko                    | 2429               |
| Piituote                              | 1297               |
| Polyvinyylifluoridi (PVF) -jäämät     | 833                |
| Lämpö (maakaasu)                      | 585                |
| Kuparilanka                           | 278                |
| Juotos (kadmiumiton)                  | 177                |
| Propanoli                             | 163                |
| Asetoni                               | 108                |
| Vesi                                  | 77                 |
| Jätevesi                              | 39                 |
| Voiteluöljy                           | 7                  |
| Nikkeli                               | 7                  |
| Mineraaliöljyjäämät                   | 7                  |
| Metanoli                              | 5                  |
| Yhteensä                              | 427350             |

*Taulukko. Invertterien kasvihuonekaasupäästöt.*

|             | VE1                |
|-------------|--------------------|
|             | tCO <sub>2</sub> e |
| Invertterit | 13115              |
| Yhteensä    | 13115              |

## Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Muuntajien kasvihuonekaasupäästöt.*

|             | <b>VE1</b>              |
|-------------|-------------------------|
|             | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Muuntajat   | 8467                    |
| Muuntajat 2 | 5083                    |
| Yhteensä    | 13550                   |

*Taulukko. Seurantalaitteiden (trakkerien) kasvihuonekaasupäästöt.*

|                              | <b>VE1</b>              |
|------------------------------|-------------------------|
|                              | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Seurantalaitteet (trakkerit) | 72150                   |
| Yhteensä                     | 72150                   |

*Taulukko. Tukirakenteisiin ja kaapelointiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.*

|                          | <b>VE1</b>              |
|--------------------------|-------------------------|
|                          | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Kupari                   | 13599                   |
| Betoniteräs              | 5729                    |
| Niukkaseosteinen teräs   | 5405                    |
| Kuparilanka              | 2413                    |
| Polyvinyylikloridi (PVC) | 2358                    |
| Betoni                   | 1322                    |
| Sinkki                   | 946                     |
| Alumiinin tuotanto       | 503                     |
| Alumiini                 | 229                     |
| Yhteensä                 | 32505                   |

### Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Kytkentärasioihin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.*

|                                  | <b>VE1</b>   |
|----------------------------------|--------------|
|                                  | <b>tCO2e</b> |
| Polyeteeni                       | 288.71       |
| Polyeteenin jäämät               | 88.28        |
| Kupari                           | 57.71        |
| Nylon                            | 25.63        |
| Polyvinyylikloridi (PVC)         | 20.47        |
| Teräs                            | 18.77        |
| Sähköjohtojen jäämät             | 12.04        |
| Kuparilanka                      | 5.49         |
| Kupariromu                       | 4.58         |
| Messinki                         | 1.61         |
| Sinkki                           | 1.47         |
| Polyvinyylikloridi (PVC) -jäämät | 1.37         |
| Polykarbonaatti                  | 0.20         |
| Epoksihartsi                     | 0.10         |
| Teräsromu                        | 0.10         |
| Yhteensä                         | 527          |



## Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Huoltorakennusten kasvihuonekaasupäästöt.*

|                               | <b>VE1</b>              |
|-------------------------------|-------------------------|
|                               | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Ikkunan kehykset, alumiinia   | 2234.02                 |
| Tiilet                        | 564.33                  |
| Keraaminen tiili              | 503.85                  |
| Alumiiniromu                  | 126.19                  |
| Pinnoitettu lasi              | 105.88                  |
| Tuuletin + lämmönvaihdyksikkö | 78.42                   |
| Betoni                        | 68.65                   |
| Puiset ovet                   | 44.33                   |
| Keramiikka                    | 27.57                   |
| Betonijäämät                  | 21.61                   |
| Kipsilevy                     | 9.53                    |
| Alkydimaali                   | 8.06                    |
| Muut tähdemateriaalit         | 4.11                    |
| Diesel                        | 3.68                    |
| Lasijäämät                    | 1.81                    |
| Vesi                          | 0.90                    |
| Seinämaalijäämät              | 0.87                    |
| Jätevesi                      | 0.77                    |
| Sähkö (pienjännite)           | 0.60                    |
| Kipsilevyn jäämät             | 0.27                    |
| Yhteensä                      | 3805                    |

*Taulukko. Käyttöön, korjauksiin ja huoltoon liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.*

|                       | <b>VE1</b>              |
|-----------------------|-------------------------|
|                       | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Vaihto: paneelit      | 8535                    |
| Vaihto: Invertterit   | 8753                    |
| Kasvillisuuden niitto | 203                     |
| Paneelien pesu        | 231                     |
| Yhteensä              | 17723                   |

## Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Asennuksiin ja kuljetuksiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.*

|                             | <b>VE1</b>              |
|-----------------------------|-------------------------|
|                             | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Asennus, tukirakenteet      | 95                      |
| Asennus, kaapelointi<br>ynm | 213                     |
| Asennus,<br>aurinkopaneelit | 34                      |
| Betonikuljetukset           | 4                       |
| Paneelien kuljetukset       | 6208                    |
| Muuntajien kuljetus         | 169                     |
| Invertterien kuljetus       | 115                     |
| Teräs ynm kuljetukset       | 34                      |
| Aidan kuljetus              | 1                       |
| Yhteensä                    | 6873                    |

*Taulukko. Purku ja kuljetus, kasvihuonekaasupäästöt.*

|                        | <b>VE1</b>              |
|------------------------|-------------------------|
|                        | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Purku, tukirakenteet   | 19                      |
| Purku, kaapelointi ynm | 43                      |
| Purku, aurinkopaneelit | 5                       |
| Purku, sähkö           | 2                       |
| Betonikuljetukset      | 4                       |
| Paneelien kuljetukset  | 34                      |
| Muuntajien kuljetus    | 5                       |
| Invertterien kuljetus  | 3                       |
| Teräs ynm kuljetukset  | 34                      |
| Aidan kuljetus         | 1                       |
| Yhteensä               | 149                     |

*Taulukko. Aita (mahdollinen) ja siirtolinja, kasvihuonekaasupäästöt.*

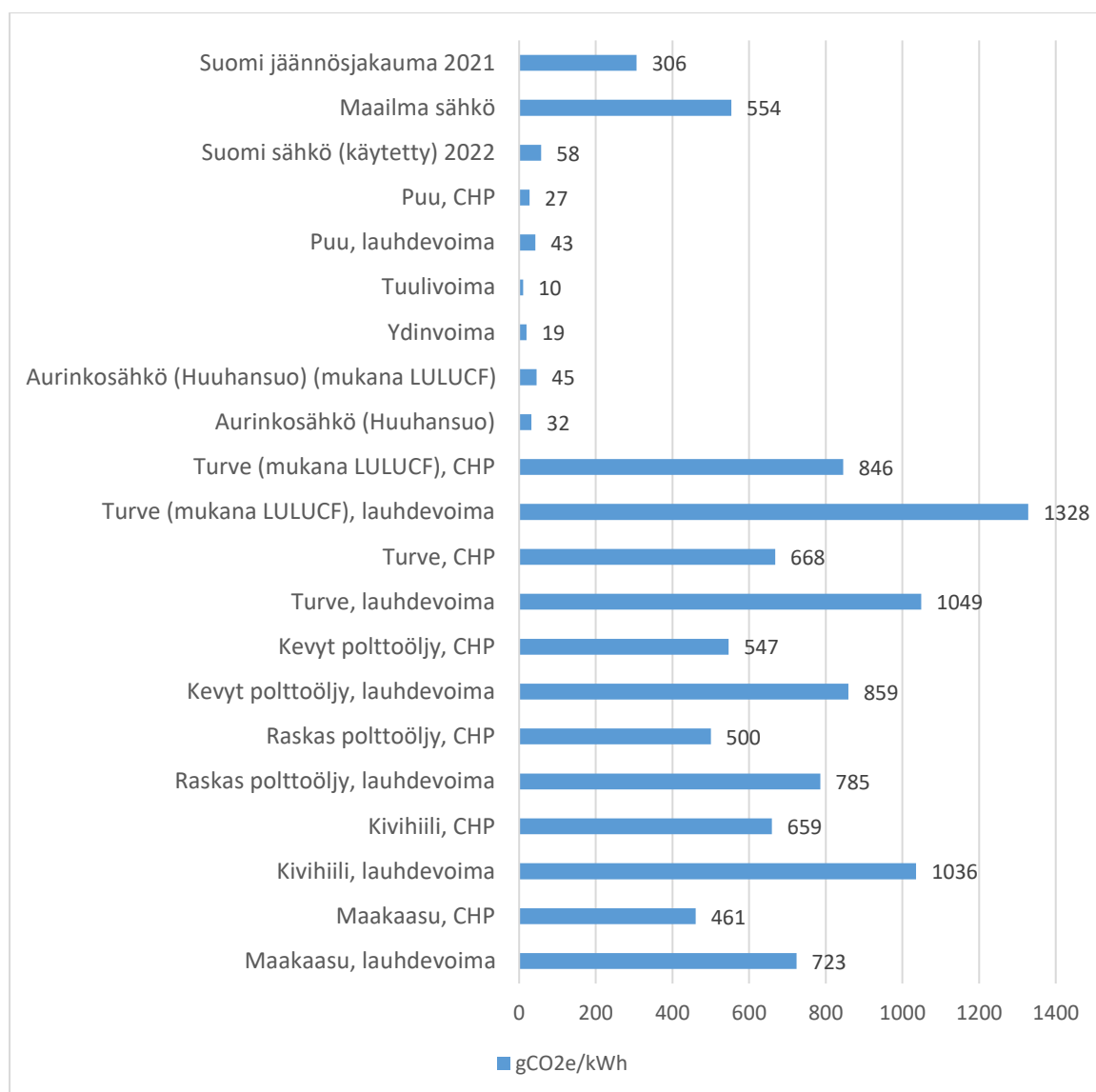
|             | <b>VE1</b>              |
|-------------|-------------------------|
|             | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Aita        | 393                     |
| Siirtolinja | 306                     |
| Yhteensä    | 699                     |

## Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Elinkaaren lopun, jätehuollon ym. kasvihuonekaasupäästöt.

|                                  | <b>VE1</b>   |
|----------------------------------|--------------|
|                                  | <b>tCO2e</b> |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym. | 17205        |
| Yhteensä                         | 17205        |

## Liite II: Sähköntuotannon päästökertoimia



*Kuva. Sähköntuotannon 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       | 96094    | 548.11   | 69.61   | 379.47   | 7.92    | 14.79  | 4.08  | 0.78 |
| Puuston poisto (kuormatraktorit)           | Diesel B7       | 48433    | 381.10   | 45.39   | 288.84   | 9.47    | 7.42   | 2.03  | 0.39 |
| Haketus (kannot oksat)                     | Diesel B7       | 116692   | 2020.45  | 642.80  | 2931.24  | 250.45  | 17.98  | 5.04  | 0.94 |
| Hakatun puuston kuljetus                   | Diesel B7       | 11418    | 4.02     | 0.66    | 7.62     | 0.11    | 0.02   | 0.70  | 0.09 |
| Alueen maansiirto- ja tietyöt              | Diesel B7       | 1189953  | 15943.99 | 2781.74 | 15943.62 | 736.90  | 189.96 | 50.59 | 9.60 |
| Asennus, tukirakenteet                     | Diesel B7       | 205951   | 2401.02  | 790.58  | 4118.09  | 289.23  | 30.39  | 8.34  | 1.66 |
| Asennus, kaapelointi ynm                   | Diesel B7       | 462198   | 5388.41  | 1774.24 | 9241.90  | 649.10  | 68.20  | 18.72 | 3.73 |
| Asennus, aurinkopaneelit                   | Diesel B7       | 52837    | 615.98   | 202.82  | 1056.49  | 74.20   | 7.80   | 2.14  | 0.43 |
| Betonin/betonilevyjen kuljetukset          | Diesel B7       | 282      | 0.10     | 0.02    | 0.19     | 0.00    | 0.00   | 0.02  | 0.00 |
| Paneelien kuljetukset                      | Diesel B7       | 2199     | 0.77     | 0.13    | 1.47     | 0.02    | 0.00   | 0.14  | 0.02 |
| Muuntajien kuljetus                        | Diesel B7       | 306      | 0.11     | 0.02    | 0.20     | 0.00    | 0.00   | 0.02  | 0.00 |
| Invertterien kuljetus                      | Diesel B7       | 209      | 0.07     | 0.01    | 0.14     | 0.00    | 0.00   | 0.01  | 0.00 |
| Teräs ynm kuljetukset                      | Diesel B7       | 2227     | 0.78     | 0.13    | 1.49     | 0.02    | 0.00   | 0.14  | 0.02 |
| Aidan kuljetus                             | Diesel B7       | 49       | 0.02     | 0.00    | 0.03     | 0.00    | 0.00   | 0.00  | 0.00 |
| Työmatkat*                                 | Bensiini        | 6783     | 51.68    | 3.74    | 9.13     | 0.14    | 0.21   | 0.29  | 0.08 |
| Työmatkat*                                 | Diesel B7       | 3652     | 5.63     | 0.98    | 39.92    | 1.54    | 0.02   | 0.39  | 0.03 |
| Kasvillisuuden niitto*                     | Diesel B7       | 421385   | 8284.71  | 3672.61 | 13569.06 | 1465.90 | 61.94  | 16.79 | 3.40 |
| Paneelien pesu*                            | Diesel B7       | 479729   | 5592.79  | 1841.54 | 9592.43  | 673.72  | 70.79  | 19.43 | 3.87 |
| Purku ja kuljetukset*                      | Diesel B7       | 320480   | 112.74   | 18.57   | 213.95   | 3.20    | 0.64   | 19.70 | 2.51 |
| <b>Yhteensä</b>                            |                 | 3420877  | 41352    | 11846   | 57395    | 4162    | 470    | 149   | 28   |
| Lappeenrannan henkilöliikenne (vuosi 2019) | Bensiini/diesel | 31280430 | 216050   | 42021   | 137280   | 4631    | 2542   | 1896  | 318  |

\* Ei rajoitu ainoastaan rakennusvaiheeseen

**Liite IV (1): Lähtötietoja, aurinkovoimala**

| <b>Aurinkovoimala</b>                                               | <b>VE1</b> |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| Aurinkovoimala-alueen koko, ml. siirtolinja, ha                     | 780.60     |
| Aurinko-voimalan kapasiteetti, MWp                                  | 555        |
| Paneeli, Wp                                                         | 630        |
| Paneelien määrä                                                     | 880952     |
| Sähkö paneelien asennukseen, MWh                                    | 88.10      |
| Asennustöihin käytetyn sähkön päästökerroin, gCO <sub>2</sub> e/kWh | 109.60     |
| Betonin määrä, tonnia                                               | 4526       |
| Betonilaattojen rekkakuljetuksia, kpl                               | 113        |
| Betonilaattojen kuljetusmatka rekalla, km                           | 100        |
| Teräs, alumiini, muovi ynm rekkakuljetuksia, kpl                    | 892        |
| Teräs, alumiini, muovi ynm 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                                     | 881        |
| Paneelien kuljetusmatka rekalla, km                                 | 250        |
| Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetuksia, kpl                  | 206        |
| Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetusmatka, km                 | 300        |
| Muuntajien ja inverttereiden laivarahti, km                         | 1500       |
| Alueelle aittaa, km (jos alue aidattaisiin)                         | 21.94      |
| Aidan asennukseen dieseliä, L/m                                     | 2.06       |
| Aitarekkakuljetuksia, kpl                                           | 25         |
| Aitarekka, km/kuljetus                                              | 100        |
| Paneelien tukirakenteita, kpl                                       | 880952     |
| Tukirakenteiden asennukseen dieseliä, L/tukirakenne                 | 0.23       |

## Liite IV (2): Lähtötietoja, puusto ja maaperä

| <b>Puusto ja maaperä</b>                        | <b>VE1</b> |
|-------------------------------------------------|------------|
| Alueella runkopuuta alussa, m3                  | 103234     |
| Alueella puuston oksistoa alussa, m3            | 32003      |
| Alueella puuston juuria ja kantoja alussa, m3   | 38506      |
| Metsää kivennäismaalla alussa, ha               | 364        |
| Hakkuuaukeaa kivennäismaalla alussa, ha         | 79         |
| Peltoa kivennäismaalla alussa, ha               | 0          |
| Metsää turvemaalla alussa, ha                   | 96         |
| Hakkuuaukeaa turvemaalla alussa, ha             | 37         |
| Peltoa turvemaalla alussa, ha                   | 0          |
| Ojitettua avosuota turvemaalla alussa, ha       | 102        |
| Luonnontilaista suota turvemaalla alussa, ha    | 0          |
| <b>Polttoaineen kulutuksia, diesel</b>          |            |
| 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       |
| <b>Henkilötyöpäiviä</b>                         |            |
| Harvesterit                                     | 848        |
| Kuormatraktorit                                 | 736        |
| Haketus (kannot oksat)                          | 172        |
| Alueen maansiirto- ja tietyöt                   | 9596       |
| Asennus, tukirakenteet                          | 11012      |
| Asennus, kaapelointi ynm                        | 14683      |
| Asennus, aurinkopaneelit                        | 22024      |
| Kunnossapito                                    | 10950      |

**Lappeenrannan Huuhansuon 303 MWp  
aurinkovoimala –  
kasvihuonekaasuvaikutukset**

Kimmo Klemola, Cleanfi Oy

26.04.2025



## Sisällys

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Lyhyesti.....                                                   | 3  |
| Taustaa ja tarkastelun rajausta .....                           | 7  |
| Tulokset.....                                                   | 10 |
| Puusto ja maaperä .....                                         | 14 |
| Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt .....                        | 17 |
| 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 .....                     | 37 |
| Arvioinnin epävarmuustekijät.....                               | 37 |
| Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen ..... | 38 |
| Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen ..... | 39 |
| Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen ..... | 40 |
| Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen ..... | 41 |
| Liite I (5): 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

Lappeenrannan Huuhansuon alueelle suunnitellulle aurinkovoimalalle on laskettu kasvihuonekaasuvaikutukset. Alueen koko on 452 hehtaaria ja voimalan kapasiteetti on 303 MWp. Teholukeman MWp tarkoittaa ”peak”-tehoa eli maksimitehoa, jota Suomen leveysasteilla ei missään olosuhteissa saavuteta.

Lappeenrannan Huuhansuon alueelle suunnitellun aurinkovoimalan sähköntuotanto on 30 vuoden elinkaaren aikana keskimäärin 335 GWh vuodessa, mikä on noin 0,4 % Suomen vuoden 2024 sähkönkulutuksesta. Aurinkopaneeleissa on seurantalaitteet (trakkerit), jotka lisäävät voimalan sähköntuotantoa. Voimalan elinkaareksi arvioidaan 30 vuotta. Tarkasteluaajan jälkeen paneelit on mahdollista vaihtaa tehokkaampiin tai samoilla paneeleilla voidaan jatkaa sähköntuotantoa. Pidempi tarkasteluaika pienentäisi aurinkovoimalan päästökerrointa (gCO<sub>2</sub>e/kWh).

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 30 vuoden ajalta 337,0 ktCO<sub>2</sub>e. Lisäksi puuston hakkuusta ja maaperän hiilivarastojen ja -nielujen muutoksista johtuvat päästöt ovat maksimissaan 141,7 ktCO<sub>2</sub>e. Yhteensä aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 478,8 ktCO<sub>2</sub>e. Alueelta hakattava runkopuu menee teollisuuden käyttöön. Runkopuun mukana poistuva 35,4 ktCO<sub>2</sub> hiilivaraston menetys voidaan myös kohdentaa teollisuudelle, jolloin aurinkovoimalan elinkaaren päästöiksi saataisiin 443,4 ktCO<sub>2</sub>e. Tämän raportin vertailut on tehty suurempien päästöjen mukaan. Kuvassa 1 on esitetty aurinkovoimalan päästöjä aiheuttavat toiminnot.

|                                                                                                              |                                                                                                                 |                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Aurinkovoimalan ja sähkönsiirtolinjan komponentit<br>306 ktCO <sub>2</sub> e<br>30,46 gCO <sub>2</sub> e/kWh | Kuljetukset, asennukset ym.<br>8 ktCO <sub>2</sub> e<br>0,85 gCO <sub>2</sub> e/kWh                             | Käyttö ja huolto<br>13 ktCO <sub>2</sub> e<br>1,32 gCO <sub>2</sub> e/kWh |
| Elinkaaren loppu (purkaminen, jätteet, kierrätys)<br>9 ktCO <sub>2</sub> e<br>0,94 gCO <sub>2</sub> e/kWh    | Maankäytön muutokset (puusto, kasvillisuus, maaperä)<br>142 ktCO <sub>2</sub> e<br>14,11 gCO <sub>2</sub> e/kWh |                                                                           |

*Kuva 1. Huuhansuon aurinkovoimalan päästöjen muodostuminen. Voimalan elinkaaren päästöt ovat 30 vuoden aikana hakkuut ja maankäyttö huomioiden 478.8 ktCO<sub>2</sub>e eli tuotettua kilowattituntia kohti 47,7 gCO<sub>2</sub>e/kWh.*

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. 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 17,3 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 91,7 %. Aurinkosähkön korvattaessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 95,8 %.

Maakaasun vedyntuotantoa öljynjalostamalla korvattaessa aurinkovoimalan sähkö vähentää päästöjä 76,9 % ja kiinalaista sähköä akkukennostojen valmistuksessa korvattaessa 92,8 %.

Alueelta poistetaan 48000 kiintokuutiota runkopuuta, jonka kuljetukseen tarvitaan yli 1000 perävaunullista tukkirekkaa. Lisäksi laskennassa oletetaan, että alueelle katemateriaaliksi levitettäväksi haketetaan noin 33000 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.

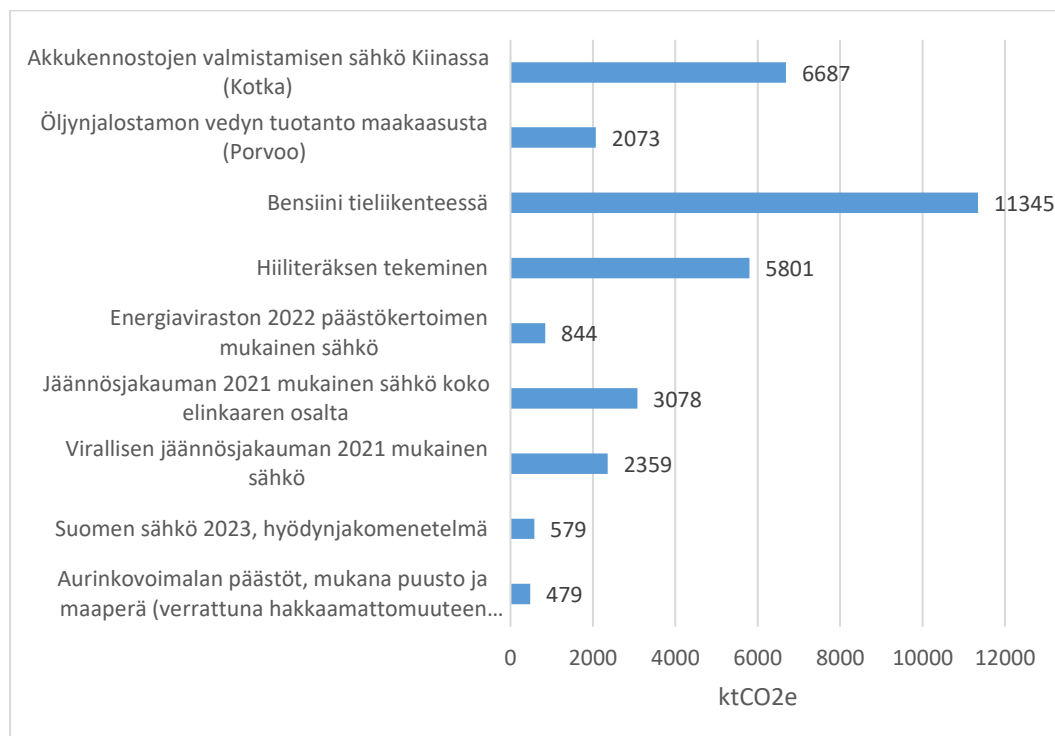
Aurinkosähkövoimalan hiilihyöty voi vertailukohdasta riippuen olla menetettyyn metsän puuston hiilivarastoon verrattuna jopa lähes 150-kertainen, puuston menetettyyn hiilivarastoon- ja nieluun (30 vuoden toteutumaton kasvu) verrattuna 70-kertainen.

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

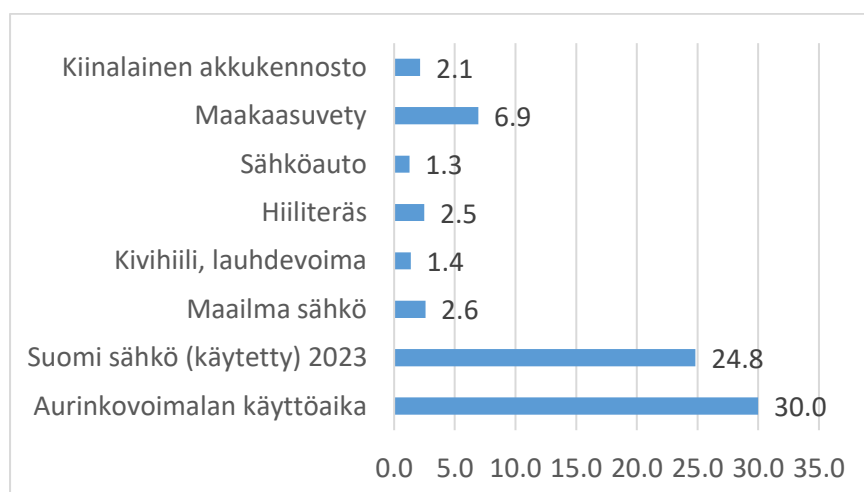
Fossiilisten polttoaineiden polttamisesta aiheutuvat päästöt voimala-alueella ovat vain noin 1,0 prosenttia (4,7 ktCO<sub>2</sub>e) aurinkovoimalan kaikista päästöistä. Päästöt muodostuvat voimalan rakentamisen ja huollon työkoneista ja ajoneuvoista. Itse voimalan toiminta ei aiheuta kasvihuonekaasupäästöjä.

Kaikki päästöt huomioiden alueen aurinkovoimalan sähkön elinkaaren päästökertoimeksi tulee 47,7 gCO<sub>2</sub>e/kWh (likaisimpana pidetty hiililauhdesähkö noin 1000 gCO<sub>2</sub>e/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 42,4 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Itse aurinkovoimalan

päästöt ovat 33,6 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Päästöjä lisäävät menetetty puunkasvu ja mahdolliset maaperän päästöt.



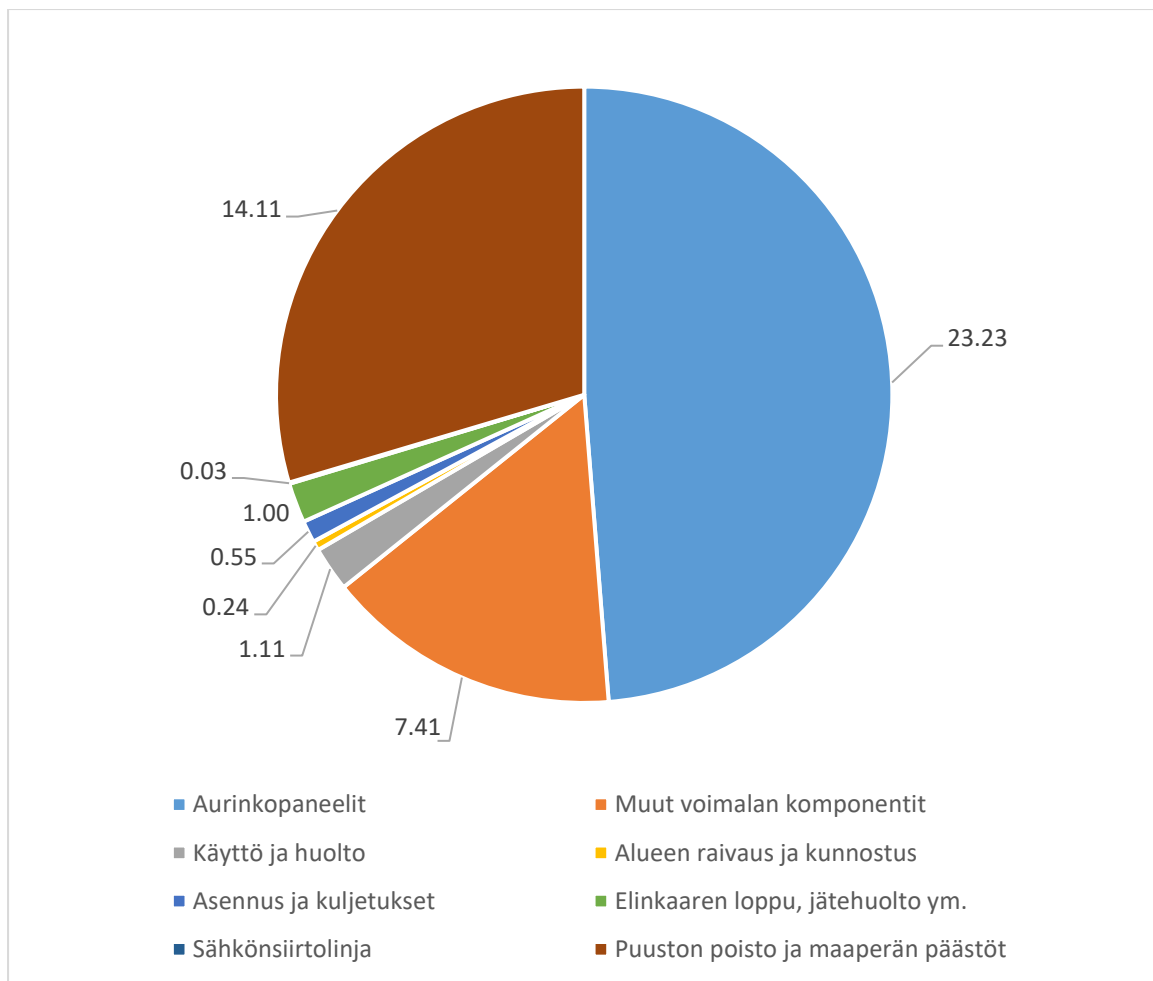
Kuva 2. Aurinkovoimalan sähköntuotannon elinkaaren (30 vuotta) päästöt ja päästöt, joita tuotettu aurinkovoima voi elinkaaren aikana korvata, mikäli aurinkosähkö käytetään korvaamaan vanhoja käytäntöjä. Esimerkiksi sähköautolla ajamisen kilometrimäärä (Huuhausuon tuottamalla sähköllä ajaa lähes 65 miljardia kilometriä), joka aiheuttaa aurinkovoimalan sähköllä ajettuna 497 ktCO<sub>2</sub>e päästöt, aiheuttaisi vastaavalla bensiinialalla ajettuna 11345 ktCO<sub>2</sub>e päästöt. Erotus 10848 ktCO<sub>2</sub>e 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.

*Taulukko 1. Huuhansuon aurinkosähkön ja verrokkien hiilikädenjäljen yhteenvedo. Hiilikädenjälki tarkoittaa aurinkosähkön tuottamaa päästöjen pienennystä käyttökohteessa. Esimerkiksi sähköautoissa käytettynä aurinkosähkön hiilikädenjälki vastaa noin puolta Suomen nykyisistä vuotuisista päästöistä. Hankkeen toteutuminen edellyttää käytännössä pitkäaikaista sähkön ostosopimusta (PPA).*

| Vertailukohta                                            | Hiilikädenjälki     | Huomioita                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                          | ktCO <sub>2</sub> e |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                   | 100                 | Laskettu sähköntuotannon koko elinkaari ja huomioitu CHP:n 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 48 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 57 gCO <sub>2</sub> e/kWh. |
| Suomen sähkö 2025-2055                                   | ?                   | On oletettavaa, että Suomen sähköntuotannon päästökerroin tulee pienemään tulevien kymmenien vuosien aikana. Aurinkovoimalan päästöt tulevat pitkälti rakennusvaiheessa, joten näin laskettu hiilikädenjälki on käytännössä kaikelle nyt rakennettavalle uusiutuvalle sähköntuotannolle negatiivinen.                                                                                                  |
| Suomen sähkö 2023, mukana bio-CO <sub>2</sub>            | 1065                | Huuhansuon aurinkosähkölle on laskettu itse aurinkovoiman lisäksi maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt (puiden hiilivarasto) ja maaperä. Jos halutaan verrata Suomen sähkөөn, vastaavasti olisi otettava huomioon myös Suomen sähköntuotannon puun poltosta vapautunut bioperäinen hiilidioksidi. Aurinkosähkö 48 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 154 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                    |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö      | 365                 | Energiaviraston päästökerrointa käytetään usein verrokkina. Päästökerroin seuraa viiveellä Energiateollisuuden ilmoittamia lukuja. Aurinkosähkö 48 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 84 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                                                                                                                                                                                         |
| Hiiliteräksen tekeminen                                  | 5322                | Hiiliteräksen korvaaminen uusiutuvalle sähköllä valmistetulla vetyteräksellä on tulevaisuuden teknologia. Potentiaalinen vaihtoehto pitkäaikaisen PPA-aurinkosähkön asiakkaaksi.                                                                                                                                                                                                                       |
| Bensiini tieliikenteessä                                 | 10867               | Liikenteen sähköistyminen vaatii lisäistä sähköntuotantoa ja liikenteen päästöjen tosiasiallinen alentaminen vähäpäästöistä sähköä. Latausinfrahytyt ovat potentiaalisia asiakkaita pitkäaikaisen PPA-aurinkosähkön ostajiksi.                                                                                                                                                                         |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)      | 1594                | 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)     | 6208                | Akkukennostot valmistetaan pitkälti Kaakkois-Aasiassa. Prosessi kuluttaa paljon sähköä ja tuotantoa halutaan siirtää Eurooppaan. Potentiaalinen asiakas PPA-aurinkosähkölle.                                                                                                                                                                                                                           |
| Red III, vertailu Euroopan fossiilisähköntuotantoon 2023 | 7267                | 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 48 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 771 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                                      |
| Euroopan sähkö 2023                                      | 2033                | Aurinkosähkö 48 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 250 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Datakeskukset, maailman sähköntuotanto 2023              | 4910                | Datakeskuksia on kaikkialla maailmassa (>6000), joten datakeskus, joka ostaa PPA-aurinkosähkön Suomessa, vähentää globaaleja päästöjä. Aurinkosähkö 48 gCO <sub>2</sub> e/kWh, verrokki 537 gCO <sub>2</sub> e/kWh.                                                                                                                                                                                    |



Kuva 4. Huuhansuon aurinkovoimalan elinkaaren päästöjen jakautuminen. Lukemissa yksikkö on gCO<sub>2</sub>e/kWh. Yhteensä aurinkovoimalan päästökerroin on 47,7 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Suurimmat päästöt tulevat aurinkopaneeleista ja maankäytön muutoksesta.

### Taustaa ja tarkastelun rajaus

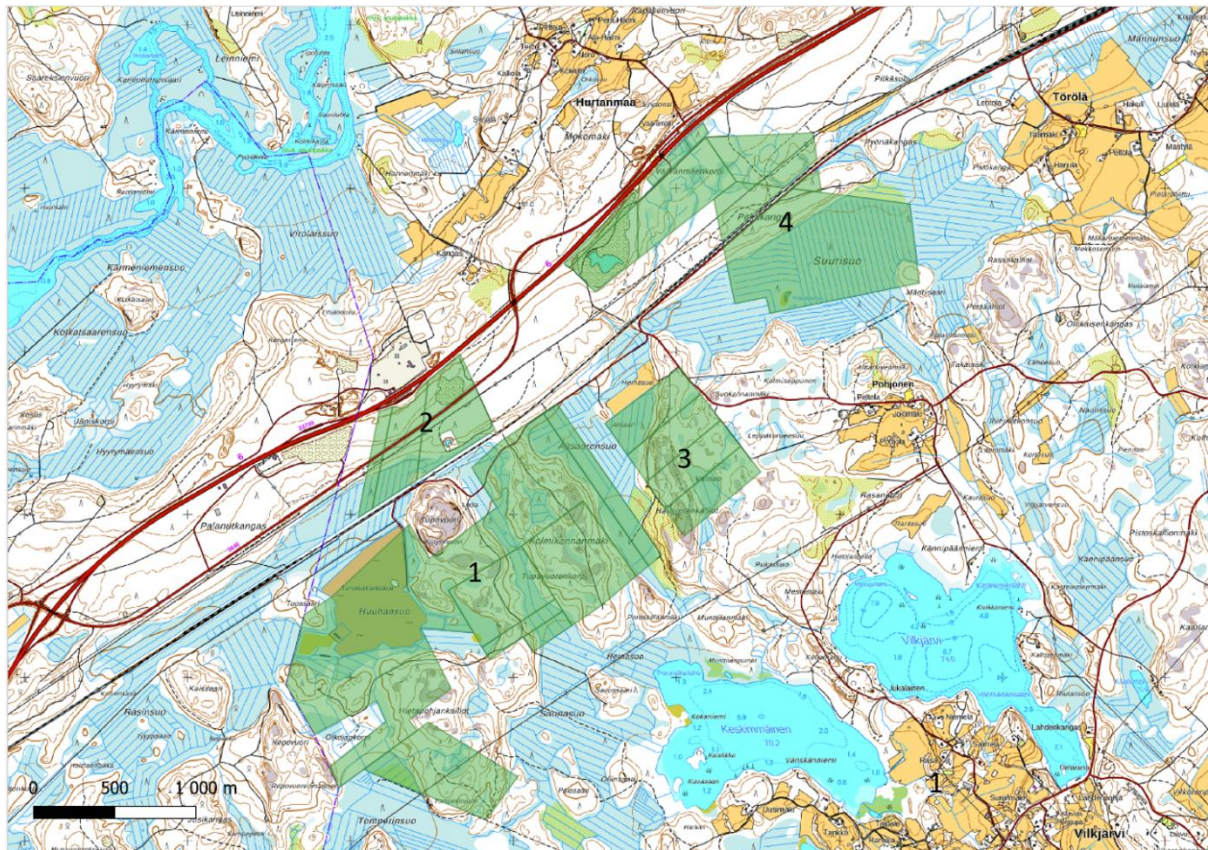
Aurinkosähköjärjestelmän ympäristövaikutukset tulevat lähinnä järjestelmän laitteiden raaka-aineiden tuottamisesta ja jalostamisesta, rakentamisesta, kuljetuksesta ja asentamisesta. Järjestelmä vaatii varsin vähän huolto- ja kunnossapitotoimintoja eikä itse sähköntuotanto aiheuta päästöjä.

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 Lappeenrannan Huuhansuon alueella on kuvassa 5.



Kuva 5. Aurinkovoimala-alue Lappeenrannan Huuhansuon alueella.

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

|                                   | ha         |
|-----------------------------------|------------|
| <b>Kivennäismaa</b>               | <b>286</b> |
| Metsä (ml. taimikko, hakkuuaukea) | 260        |
| Pelto                             | 0          |
| Louhos, murskaamo, maanottoalue   | 17         |
| Kallio                            | 10         |
| <b>Turvemaa</b>                   | <b>171</b> |
| Metsä (ml. taimikko, hakkuuaukea) | 78         |
| Pelto/turvetuotantoalue           | 34         |
| Suo luonnontilainen               | 0          |
| Suo ojitettu                      | 60         |

Kasvihuonekaasulaskelmat ja hiilitasearviointit tehtiin seuraaville vaihtoehdoille:

- VE0 eli 0-vaihtoehto: Hanketta ei toteuteta.

- VE0-vertailuvaihtoehdot
  - VE0-ei hakkuita (alue pysyy ”koskemattomana” 30 vuotta ja metsän annetaan kasvaa)
  - VE0-hakkuilla (alueella hakataan normaalisti 30 vuoden aikana eli alueen metsät jatkavat talousmetsäkäytössä)
- VE1: Kokonaispinta-ala 452,3 ha + 5,6 ha siirtolinjaa. Voimalan kapasiteetti 303 MWp.

Aurinkovoimala aiheuttaa maankäytön muutosten johdosta metsän hiilivaraston (alueelta 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 vetytelkistykseen ns. rautasieneksi ja valokaariuunissa rautasienen sulattamiseen. Nykyään telkistus 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 13,4 % eli esimerkiksi 303 MWp voimala tuottaa sähköä ensimmäisenä vuonna keskimäärin 40,5 MW teholla. Voimalan teho tippuu keskimäärin 0,4 % vuodessa. Kapasiteettikerroin perustuu kääntyviin aurinkopaneeleihin.
- 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 ktCO<sub>2</sub>. Muuten käytetään yksikköjä gCO<sub>2</sub>e, tCO<sub>2</sub>e, ktCO<sub>2</sub>e, joissa CO<sub>2</sub>e tarkoittaa hiilidioksidiekvivalenttia. Hiilidioksidiekvivalentti ottaa huomioon kaikki kasvihuonekaasut, hiilidioksidin lisäksi tärkeimpinä metaanin ja typpioksiduulin.

## Tulokset

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ilman maankäytön muutosta ovat 30 vuoden ajalta 337 ktCO<sub>2</sub>e. Voimala tuottaa 30 vuoden aikana 10,0 TWh sähköä ja aurinkosähkön päästökertoimeksi tulee 33,6 gCO<sub>2</sub>e/kWh.

Voimalan päästöt koostuvat suurimmalta osin aurinkopaneelien ja muiden komponenttien valmistuksesta. Alueella tapahtuvat fossiilienergian polttamisesta johtuvat päästöt ovat vain 1,0 prosenttia (4,7 ktCO<sub>2</sub>e) voimalan päästöistä (mukaan lukien puusto ja maaperä). Alueen energiankäytön päästöt koostuvat puuston hakkaamisesta (harvesterit), metsäkuljetuksesta (kuormatraktorit), 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 (4,7 ktCO<sub>2</sub>e) ovat ns. scope 1 -päästöjä. Polttoaineiden jalostamisesta ja sähköntuotannosta johtuvat päästöt ovat ns. scope 2 -päästöjä (1,4 ktCO<sub>2</sub>e). 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 142 ktCO<sub>2</sub> maankäytön muutosten LULUCF-vaikutusta (land use, land use change and forestry; puusto ja maaperä). Se on alueen hiilitaseen negatiivinen vaikutus verrattuna tilanteeseen, jossa aurinkovoimalaa ei rakennettaisi ja alue olisi jäänyt käyttöön, jossa alueella ei hakattaisi metsää 30 vuoteen. Mikäli metsiä hakattaisiin eli ne jatkaisivat

normaalissa metsätaloustaloudessa, maaperän ja metsien päästölisäys olisi pienempi eli 137 ktCO<sub>2</sub>. Aurinkosähkön päästökerroin on maksimissaan 47,7 gCO<sub>2</sub>e/kWh, kun puusto ja maaperän päästöt otetaan huomioon. Mikäli alueelta poistetun puuaineksen hiilivaraston menetys kohdennetaan puun ostajalle ja käyttäjälle, aurinkosähkön päästökerroin on 42,4 gCO<sub>2</sub>e/kWh.

Aurinkovoimalan ilmastohyödyt tulevat aurinkosähkön korvauksessa päästöintensiivistä sähköntuotantoa tai muita toimintoja, joita sähköllä voidaan korvata. Tällaisina toimintoina esimerkeiksi on otettu hiilivapaa teräs, 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 metsätaloustaloudessa tarkasteluajan. Taulukossa 5 on esitetty päästötiedot, kun alueen puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon.

*Vertailun oletus: alueella ei hakkuita tarkasteluaikana:*

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 17,3 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 91,7 % ja aurinkosähkön korvauksessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 95,8 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvauksessa päästövähennys on 76,9 % ja akkukennostojen valmistuksessa 93,2 %.

*Vertailun oletus: alueella normaali metsätalous tarkasteluaikana:*

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 18,1 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 91,8 % ja aurinkosähkön korvauksessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 95,8 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvauksessa päästövähennys on 77,2 % ja akkukennostojen valmistuksessa 92,9 %.

*Vertailun oletus: puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon:*

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2023 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 41,7 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 94,2 % ja aurinkosähkön korvauksessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,0 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvauksessa päästövähennys on 83,7 % ja akkukennostojen valmistuksessa 95,0 %.

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

| Vaihtoehto                                                                                 | VE1                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Aurinkovoimalan tietoja:</b>                                                            |                          |
| Tehokapasiteetti, MWp                                                                      | 303                      |
| Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh                                                      | 10042                    |
| Pinta-ala, ha                                                                              | 458                      |
| <b>Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:</b>                                                | <b>ktCO<sub>2</sub>e</b> |
| Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen    | 142                      |
| Aurinkovoimalan päästöt                                                                    | 337                      |
| Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella) | 479                      |
| <b>Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:</b>                                       | <b>ktCO<sub>2</sub>e</b> |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                     | 579                      |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                             | 2359                     |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                                 | 3078                     |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                        | 844                      |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                    | 5801                     |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                   | 11345                    |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                        | 2073                     |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                       | 6687                     |
| <b>Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:</b>                                   | <b>%</b>                 |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                     | 17.3                     |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                             | 79.7                     |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                                 | 84.4                     |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                        | 43.2                     |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                    | 91.7                     |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                   | 95.8                     |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                        | 76.9                     |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                       | 92.8                     |

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

| Vaihtoehto                                                                                               | VE1                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Aurinkovoimalan tietoja:</b>                                                                          |                          |
| Tehokapasiteetti, MWp                                                                                    | 303                      |
| Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh                                                                    | 10042                    |
| Pinta-ala, ha                                                                                            | 458                      |
| <b>Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:</b>                                                              | <b>ktCO<sub>2</sub>e</b> |
| Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen                 | 137                      |
| Aurinkovoimalan päästöt                                                                                  | 337                      |
| Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti) | 474                      |
| <b>Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:</b>                                                     | <b>ktCO<sub>2</sub>e</b> |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                                   | 579                      |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                                           | 2359                     |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                                               | 3078                     |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                                      | 844                      |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                                  | 5801                     |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                                 | 11345                    |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                                      | 2073                     |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                                     | 6687                     |
| <b>Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:</b>                                                 | <b>%</b>                 |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                                   | 18.1                     |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                                           | 79.9                     |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                                               | 84.6                     |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                                      | 43.8                     |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                                  | 91.8                     |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                                 | 95.8                     |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                                      | 77.2                     |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                                     | 92.9                     |

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

| Vaihtoehto                                                                              | VE1   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Aurinkovoimalan tietoja:</b>                                                         |       |
| Tehokapasiteetti, MWp                                                                   | 303   |
| Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh                                                   | 10042 |
| Pinta-ala, ha                                                                           | 458   |
| <b>Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:</b>                                             |       |
| Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen | 0     |
| Aurinkovoimalan päästöt                                                                 | 337   |
| Aurinkovoimalan päästöt                                                                 | 337   |
| <b>Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:</b>                                    |       |
| <b>ktCO<sub>2</sub>e</b>                                                                |       |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                  | 579   |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                          | 2359  |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                              | 3078  |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                     | 844   |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                 | 5801  |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                | 11345 |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                     | 2073  |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                    | 6687  |
| <b>Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:</b>                                |       |
| <b>%</b>                                                                                |       |
| Suomen sähkö 2023, hyödynjakomenetelmä                                                  | 41.7  |
| Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö                                          | 85.7  |
| Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta                              | 89.0  |
| Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö                                     | 60.0  |
| Hiiliteräksen tekeminen                                                                 | 94.2  |
| Bensiini tieliikenteessä                                                                | 97.0  |
| Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)                                     | 83.7  |
| Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)                                    | 95.0  |

## 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.

Alue on varsin tyypillistä eteläkarjalaista talousmetsää, jossa on myös avohakkuualueita ja nuoria taimikoita. Suurimmaksi osaksi alue on havumetsää. Alueen länsiosassa sijaitsee turpeennostoalue ja alueella on maa-ainestenottoalueita. Alueen metsien rakenteen voi katsoa olevan varsin tyypillistä eteläkarjalaista metsää ja laskennassa on käytetty luonnonvarakeskuksen Etelä-Karjalan metsien puuvara-, hakkuu-, kasvu- ja poistumatietoja.

Alueelta hakatun puuston oksisto, kannot ja juuret haketetaan ja hake levitetään alueelle. Tarkasteluajan 30 vuoden kuluessa puolet hakkeesta oletetaan hajoavan hiilidioksidiksi.<sup>1</sup> 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.

---

<sup>1</sup> Pukkala Timo, Hakkuut ja hiilinielut – ajattelua ja toiveajattelua, [www.arvometsa.fi](http://www.arvometsa.fi), 15.11.2017.

Taulukko 6. Maaperän ja puuston päästöjen, hiilivaraston ja hiilinielujen laskennassa käytettyjä lähtötietoja.<sup>2,3,4,5,6,7,8,9,10</sup> Maaperän osalta positiivinen luku tarkoittaa päästöä, negatiivinen luku tarkoittaa nielua. Alueella ei ole arvometsää tai jäkäläturvekangasta.

| Hiilivaraston muutos maaperässä, kivennäismaat: |                                                                                |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| tCO <sub>2</sub> /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 <sub>2</sub> /ha/a                          |                                                                                |
| 1.8                                             | Turvepellot                                                                    |
|                                                 | Metsämaa:                                                                      |
| 7.2                                             | Ruohoturvekangas                                                               |
| 3.0                                             | Mustikkaturvekangas                                                            |
| 0.5                                             | Puolukkaturvekangas                                                            |
| -0.4                                            | Varputurvekangas                                                               |
| -1.6                                            | Jäkäläturvekangas                                                              |
| Puusto (Etelä-Karjala):                         |                                                                                |
| 141.8                                           | Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla (runkopuu), m <sup>3</sup> /ha |
| 7.2                                             | Puuston vuotuinen kasvu (runkopuu), m <sup>3</sup> /ha/a                       |
| 6.0                                             | Hakkuut (runkopuu), m <sup>3</sup> /ha/a                                       |
| 1.0                                             | Luonnollinen poistuma (runkopuu), m <sup>3</sup> /ha/a                         |
| 31.0                                            | Oksisto ja lehvästö (biomassa) runkopuun määrästä, %                           |
| 37.3                                            | Kannot ja juuret (biomassa) runkopuun määrästä, %                              |
| 0.739                                           | Puun sitoma hiilidioksidi, tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>                    |

<sup>2</sup> Kasvupaikat metsämaan kankailla ja soilla (1000 ha) muuttujina inventointi, maakunta ja kasvupaikka, Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>3</sup> Puuston vuotuinen kasvu metsä- ja kitumaalla, Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>4</sup> Puuston biomassa metsä- ja kitumaalla (milj. t), Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>5</sup> Puuston poistuma omistajaryhmittäin ja maakunnittain 2015-, Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>6</sup> Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla kehitysluokittain (m<sup>3</sup>/ha), Luke tilastotietokanta, 2022.

<sup>7</sup> Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista, Loppuraportti, Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymä, 2021.

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

<sup>9</sup> 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.

<sup>10</sup> Metsä Group, aurinkovoimalan alueen puumäärätietojen arviointi, 2022.

Taulukko 7. Hiilen osuus puulajien kuiva-aineesta<sup>11</sup>, puulajien kuivatuoretiheys<sup>12,13</sup> ja Suomen puuston puulajien kuutiomäärät ja prosenttiosuudet<sup>14</sup>. Suomalaiseen puuhun on keskimäärin sitoutunut 0,739 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

|                            | Hiilen osuus<br>kuiva-<br>aineesta | Kuiva-<br>tuoretiheys | Hiiltä             | Sitoutunutta<br>hiilidioksidia    | Suomen<br>puusto | Suomen<br>puusto |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|
|                            | massa-%                            | kg/m <sup>3</sup>     | kgC/m <sup>3</sup> | kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | Mm <sup>3</sup>  | %                |
| 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<br>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<br>hakkuita  | VE0-<br>hakuilla    | VE1                 |                                                                                                          |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ktCO <sub>2</sub> e | ktCO <sub>2</sub> e | ktCO <sub>2</sub> e |                                                                                                          |
| 137.92              | 62.94               | 0.00                | Alueen puuston hiilivarasto lopussa                                                                      |
| 59.55               | 59.55               | 59.55               | Alueen puuston hiilivarasto alussa                                                                       |
| 78.37               | 3.39                | -59.55              | Puuston hiilivaraston muutos                                                                             |
| 0.00                | 44.55               | 35.38               | Alueelta hakattu runkopuu                                                                                |
| 0.00                | 0.00                | 78.37               | Toteutumatta jäänyt puuston kasvu                                                                        |
| 0.00                | 30.43               | 24.17               | Alueelta energiapuuna poistuvat kannot ja oksat                                                          |
| 3.77                | 3.77                | -12.11              | Maaperän hiilimuutos (positiivinen luku = päästö)                                                        |
|                     | 5.11                | 141.72              | Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen (päästö)        |
|                     |                     | 136.61              | Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VEO-hakuilla (päästö)                               |
|                     |                     | 337.04              | Aurinkovoimalan päästöt                                                                                  |
|                     |                     | 4.73                | Aurinkovoimalan päästöt alueella                                                                         |
|                     |                     | 478.76              | Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)               |
|                     |                     | 473.65              | Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti) |

<sup>11</sup> 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.

<sup>12</sup> Alakangas Eija, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT tiedotteita 2045, 2000.

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

<sup>14</sup> Puuston tilavuus metsä- ja kitumaalla puulajeittain VMI 13:n mukaan, Luke tilastotietokanta. 2022.



## Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt

Aurinkopaneeliin perustuvan aurinkosähkövoimalan päästökertoimet (gCO<sub>2</sub>e/kWh) vaihtelevat kirjallisuudessa välillä 8–83 gCO<sub>2</sub>e/kWh.<sup>15</sup> 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.<sup>16</sup> Paneelien maantieteellisen sijoittumisen merkitystä kuvaa, että Etelä-Suomessa paneelien tuottama vuotuinen sähkömäärä jää yhdysvaltalaisen NREL:n laskurin mukaan 44 % pienemmäksi kuin Koillis-Brasiliassa.<sup>17</sup>

Laskennassa käytettyjä oletuksia:

- Alue on aurinkovoimakäytössä 30 vuotta ja sen jälkeen alue palaa metsä/peltomaaksi.
- Alussa kapasiteettikerroin on 13,4 % eli 303 MWp voimala tuottaa sähköä keskimäärin 40,5 MW teholla 335 GWh vuodessa. Sähköntuotantoteho vaihtelee välillä 0–251 MW (maksimiteho 83 % ”piikki”tehosta<sup>18</sup>). 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 kaksikolmasosa pienempi.<sup>19,20</sup>
- Invertterit vaihdetaan keskimäärin 15 vuoden välein eli kerran 30 vuoden elinkaaren aikana.

Itse aurinkovoimalan päästöistä (pois lukien maankäytön muutokset) ylivoimaisesti suurin osa tulee voimalan komponenteista valmistusvaiheessa: aurinkopaneelit, invertterit, tukirakenteet, sähköjohdot jne. Aurinkovoimalan päästöjen määrittämisessä käytettiin tuoreiden

---

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

<sup>16</sup> Photovoltaics Report, Fraunhofer institute for solar energy systems ise, 2022.

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

<sup>18</sup> Prof. Antti Kosonen, LUT, suullinen tiedonanto.

<sup>19</sup> 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.

<sup>20</sup> 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.

tiedejulkaisujen tietoja.<sup>21,22,23</sup> 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.

Tutkimuksessa<sup>24</sup> kiintokuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus puunkorjuussa (pitäen sisällään sekä harvesterien että kuormatraktorien polttoaineen kulutuksen) oli keskimäärin pätehakkuulla yhteensä 1,4 litraa/m<sup>3</sup> runkopuuta. Suoria päästöjä hakkuusta ja metsäkuljetuksesta tulee 3,8 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Jokaista hakattua runkopuukuutiometriä kohti jää hakkuutähteenä 0,31 m<sup>3</sup> oksia ja maaperään 0,373 m<sup>3</sup> kantoja ja juuria. Niiden hakettamiseen kuluu dieseliä 1,655 L/m<sup>3</sup>.<sup>25</sup>

Maansiirtokoneiden polttoaineen kulutukseksi arvioitiin 1635 litraa/ha metsämaata golfkenttien rakentamisesta saatujen tietojen perusteella.<sup>26,27</sup> Dieselin (Diesel B7, bio-osuus 7 %) elinkaaren päästöt ovat 3533 gCO<sub>2</sub>e/L, suorat polton päästöt ovat 2708 gCO<sub>2</sub>e/L.<sup>28,29</sup> Nesteen uusiutuvan biodieselin (My Diesel, NExBTL) elinkaaren päästöt ovat 461 gCO<sub>2</sub>e/L, suorat polton päästöt ovat 4,3 gCO<sub>2</sub>e/L.<sup>30,31</sup> Taulukossa 13 on esitetty aurinkovoimalan päästöt, kun diesel on uusiutuvaa biodieseliä. Biodieselin käytön vaikutus kokonaispäästöihin on varsin pieni.

Puunkorjuun päästöt voitaisiin kohdentaa myös puuta käyttävälle teollisuudelle. Alueen raivauksen ja kunnostuksen päästöt ovat kuitenkin vain muutama promille aurinkovoimalan

---

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

<sup>22</sup> 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.

<sup>23</sup> Smith B.L., Sekar A., Mirletz 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.

<sup>24</sup> Kärhä Kalle, Kääriäinen Heikki, Roininen Kimmo, Haavikko Hanna, Palander Teijo, Polttoaineen kulutusta puunkorjuussa selvitetiin laajalla seurantatutkimuksella, *Metsäalan ammattilehti*, 2020.

<sup>25</sup> Kärhä Kalle, Mutikainen Arto, Hautala Antti, Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa, *Metsäteho*, 2010.

<sup>26</sup> 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.

<sup>27</sup> Klemola Kimmo, Golf course carbon footprint calculator, Cleanfi Oy, 2022.

<sup>28</sup> Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

<sup>29</sup> European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

<sup>30</sup> 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>.

<sup>31</sup> 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.

päästöistä. Puiden kuljetus puuta jalostavalle sahalle tai tehtaalle ja siitä johtuvat päästöt katsotaan puun käyttäjän päästöiksi. Alueella tapahtuvat puukuljetusten päästöt on kuitenkin arvioitu.

Aurinkopaneelien oletettiin tulevan Kiinasta >7500 TEU:n konttialuksella<sup>32</sup> Rotterdamiin, josta ne tulevat 2000 TEU:n konttialuksella<sup>33</sup> Suomeen. Invertterit ja muuntajat tulevat pienemmillä aluksilla Saksasta. Maantiekuljetusten päästöt arvioitiin VTT Lipaston tietokannan yksikköpäästöjen avulla.<sup>34,35</sup>

Aidan ja aidan rakentamisen päästöt saatiin Desiderin *et al.*<sup>36</sup> artikkelista. Aidan hiilijalanjälki on kokonaispäästöissä mitätön.

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

*Taulukko 9. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen (tCO<sub>2</sub>e).*

|                                  | <b>VE1</b>              |
|----------------------------------|-------------------------|
|                                  | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Aurinkopaneelit                  | 233310                  |
| Invertterit                      | 7160                    |
| Muuntajat                        | 7398                    |
| Seurantalaitteet (trakkerit)     | 39390                   |
| Tukirakenteet ja kaapelointi     | 17746                   |
| KytKentärasiat                   | 287                     |
| Huoltorakennukset                | 2078                    |
| Käyttö ja huolto                 | 11176                   |
| Alueen raivaus ja kunnostus      | 2378                    |
| Asennus ja kuljetukset           | 5500                    |
| Aita                             | 301                     |
| Purku ja kuljetukset             | 619                     |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym. | 9393                    |
| Sähkönsiirtolinja                | 306                     |
| <b>Yhteensä</b>                  | <b>337041</b>           |

<sup>32</sup> Information CO<sub>2</sub> des prestations de transport, October 2012;

[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide\\_Information\\_CO2-2.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_Information_CO2-2.pdf)

<sup>33</sup> Konttialuksen keskimääräiset päästöt ja energian käyttö vuonna 2016, VTT Lipasto.

<sup>34</sup> Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, kokonaismassa 76 t, kantavuus 51 t, 9 akselia, taajama, katuajo, VTT Lipasto.

<sup>35</sup> Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, kokonaismassa 60 t, kantavuus 40 t, VTT Lipasto.

<sup>36</sup> 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 (gCO<sub>2</sub>e/kWh).

|                                  | <b>VE1</b>                  |
|----------------------------------|-----------------------------|
|                                  | <b>gCO<sub>2</sub>e/kWh</b> |
| Aurinkopaneelit                  | 23.23                       |
| Invertterit                      | 0.71                        |
| Muuntajat                        | 0.74                        |
| Seurantalaitteet (trakkerit)     | 3.92                        |
| Tukirakenteet ja kaapelointi     | 1.77                        |
| KytKentärsiat                    | 0.03                        |
| Huoltorakennukset                | 0.21                        |
| Käyttö ja huolto                 | 1.11                        |
| Alueen raivaus ja kunnostus      | 0.24                        |
| Asennus ja kuljetukset           | 0.55                        |
| Aita                             | 0.03                        |
| Purku ja kuljetukset             | 0.06                        |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym. | 0.94                        |
| Sähkönsiirtolinja                | 0.03                        |
| <b>Yhteensä</b>                  | <b>33.56</b>                |

Taulukko 11. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (tCO<sub>2</sub>e).

|                                    | <b>VE1</b>              |
|------------------------------------|-------------------------|
|                                    | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Aurinkopaneelit                    | 233310                  |
| Invertterit                        | 7160                    |
| Muuntajat                          | 7398                    |
| Seurantalaitteet (trakkerit)       | 39390                   |
| Tukirakenteet ja kaapelointi       | 17746                   |
| KytKentärsiat                      | 287                     |
| Huoltorakennukset                  | 2078                    |
| Käyttö ja huolto                   | 11176                   |
| Alueen raivaus ja kunnostus        | 2378                    |
| Asennus ja kuljetukset             | 5500                    |
| Aita                               | 301                     |
| Purku ja kuljetukset               | 619                     |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.   | 9393                    |
| Sähkönsiirtolinja                  | 306                     |
| Puuston poisto ja maaperän päästöt | 141720                  |
| <b>Yhteensä</b>                    | <b>478761</b>           |

*Taulukko 12. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO<sub>2</sub>e/kWh).*

|                                                                           | <b>VE1</b>                  |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                           | <b>gCO<sub>2</sub>e/kWh</b> |
| Aurinkopaneelit                                                           | 23.23                       |
| Invertterit                                                               | 0.71                        |
| Muuntajat                                                                 | 0.74                        |
| Seurantalaitteet (trakkerit)                                              | 3.92                        |
| Tukirakenteet ja kaapelointi                                              | 1.77                        |
| KytKentärsiat                                                             | 0.03                        |
| Huoltorakennukset                                                         | 0.21                        |
| Käyttö ja huolto                                                          | 1.11                        |
| Alueen raivaus ja kunnostus                                               | 0.24                        |
| Asennus ja kuljetukset                                                    | 0.55                        |
| Aita                                                                      | 0.03                        |
| Purku ja kuljetukset                                                      | 0.06                        |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.                                          | 0.94                        |
| Sähkönsiirtolinja                                                         | 0.03                        |
| Puuston poisto ja maaperän päästöt*                                       | 14.11                       |
| Yhteensä                                                                  | 47.68                       |
| Yhteensä, verrattuna<br>normaalihakkuisiin, puuaines<br>energiakäyttöön** | 42.44                       |

\*Mikäli alueella jatketaan hakkuita normaalisti, lukema on 13,60 gCO<sub>2</sub>e/kWh

\*\*Mikäli lisäksi hakatun runkopuun hiilipoistuma allokoidaan teollisuudelle ja hake käytetään energiaksi, lukema on 8,88 gCO<sub>2</sub>e/kWh

*Taulukko 13. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO<sub>2</sub>e/kWh). Kaikki dieselpolttoaine on uusiutuvaa biodieseliä.*

|                                                                           | <b>VE1</b>                  |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                           | <b>gCO<sub>2</sub>e/kWh</b> |
| Aurinkopaneelit                                                           | 23.23                       |
| Invertterit                                                               | 0.71                        |
| Muuntajat                                                                 | 0.74                        |
| Seurantalaitteet (trakkerit)                                              | 3.92                        |
| Tukirakenteet ja kaapelointi                                              | 1.77                        |
| KytKentärsiat                                                             | 0.03                        |
| Huoltorakennukset                                                         | 0.21                        |
| Käyttö ja huolto                                                          | 0.96                        |
| Alueen raivaus ja kunnostus                                               | 0.03                        |
| Asennus ja kuljetukset                                                    | 0.37                        |
| Aita                                                                      | 0.03                        |
| Purku ja kuljetukset                                                      | 0.01                        |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym.                                          | 0.94                        |
| SähkÖnsiirtolinja                                                         | 0.03                        |
| Puuston poisto ja maaperän päästöt*                                       | 14.11                       |
| Yhteensä                                                                  | 47.09                       |
| Yhteensä, verrattuna<br>normaalihakkuisiin, puuaines<br>energiakäyttöön** | 41.86                       |

\*Mikäli alueella jatketaan hakkuita normaalisti, lukema on 13,60 gCO<sub>2</sub>e/kWh

\*\*Mikäli lisäksi hakatun runkopuun hiilipoistuma allokoidaan teollisuudelle ja hake käytetään energiaksi, lukema on 8,88 gCO<sub>2</sub>e/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 ynm 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. Voimalavaihtoehdossa 1 työmatka-autoilua henkilöautolla voimala-alueella arvioitiin olevan elinkaaren aikana 86 tuhatta kilometriä.<sup>37,38,39</sup> Kilometrikohtaiseksi päästöksi käytettiin Lappeenrannan kaupungin henkilöautokannan päästöjä vuonna 2019.<sup>40</sup> Voimala-alueen työmatkaliikenteen päästöt ovat noin 0,02 promillea voimalan kaikista päästöistä.

---

<sup>37</sup> Päiviö Olli, Topi Vilenius ajaa jo kolmatta Kobelcoaan, Konepörssi, 2015.

<sup>38</sup> Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen, esitutkimus, Metsäteho Oy, 2003.

<sup>39</sup> Kärhä Kalle, Mutikainen Arto, Hautala Antti, Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa, Metsäteho, 2010.

<sup>40</sup> Hiilijalanjälki- ja kulutusraportti, Lappeenrannan kulutusperäiset päästöt, Cleanfi Oy, 2021.

Taulukko 14. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella.

|                                                     |              |        | VE1                |                    |                    |
|-----------------------------------------------------|--------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                     |              |        | Scope 1            | Scope 2            | Yhteensä           |
|                                                     |              | L, MWh | tCO <sub>2</sub> e | tCO <sub>2</sub> e | tCO <sub>2</sub> e |
| Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)     | Diesel B7    | 67033  | 182                | 55                 | 237                |
| Haketus (kannot oksat)                              | Diesel B7    | 54122  | 147                | 45                 | 191                |
| Hakatus puuston kuljetus                            | Diesel B7    | 5296   | 14                 | 4                  | 19                 |
| Alueen maansiirto- ja tietyöt                       | Diesel B7    | 551905 | 1494               | 455                | 1950               |
| Asennus, tukirakenteet                              | Diesel B7    | 112438 | 304                | 93                 | 397                |
| Asennus, kaapelointi ynm                            | Diesel B7    | 252335 | 683                | 208                | 891                |
| Asennus, aurinkopaneelit                            | Diesel B7    | 28894  | 78                 | 29                 | 107                |
| Betonin/betonilevyjen kuljetukset                   | Diesel B7    | 154    | 0.4                | 0.1                | 0.5                |
| Paneelien kuljetukset                               | Diesel B7    | 1200   | 3.3                | 1.0                | 4.2                |
| Muuntajien kuljetus                                 | Diesel B7    | 167    | 0.5                | 0.1                | 0.6                |
| Invertterien kuljetus                               | Diesel B7    | 114    | 0.3                | 0.1                | 0.4                |
| Teräs ynm kuljetukset                               | Diesel B7    | 1216   | 3.3                | 1.0                | 4.3                |
| Aidan kuljetus                                      | Diesel B7    | 38     | 0.1                | 0.0                | 0.1                |
| Työmatkat                                           | * (ks. alla) |        | 15                 | 5                  | 19                 |
| Kasvillisuuden niitto                               | Diesel B7    | 230054 | 623                | 190                | 813                |
| Paneelien pesu                                      | Diesel B7    | 261906 | 709                | 216                | 925                |
| Purku ja kuljetus                                   | Diesel B7    | 175325 | 475                | 145                | 619                |
| <b>Yhteensä (fossiiliset päästöt)</b>               |              |        | <b>4732</b>        | <b>1448</b>        | <b>6180</b>        |
| Maaperän lisääntyneet päästöt                       |              |        |                    |                    | 15884              |
| Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen |              |        |                    |                    | 12084              |
| <b>Yhteensä (maaperän päästöt)</b>                  |              |        |                    |                    | <b>27968</b>       |
| <b>Yhteensä</b>                                     |              |        |                    |                    | <b>34147</b>       |

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 työkoneissa ja kuljetuksissa käytetty polttoaine on uusiutuvaa biodieseliä.*

|                                                     |               |        | VE1                |                    |                    |
|-----------------------------------------------------|---------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                     |               |        | Scope 1            | Scope 2            | Yhteensä           |
|                                                     |               | L, MWh | tCO <sub>2</sub> e | tCO <sub>2</sub> e | tCO <sub>2</sub> e |
| Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)     | HVO biodiesel | 70145  | 3                  | 29                 | 32                 |
| Haketus (kannot oksat)                              | HVO biodiesel | 56635  | 2                  | 24                 | 26                 |
| Hakatun puuston kuljetus                            | HVO biodiesel | 5296   | 0                  | 2                  | 3                  |
| Alueen maansiirto- ja tietyöt                       | HVO biodiesel | 577531 | 25                 | 242                | 266                |
| Asennus, tukirakenteet                              | HVO biodiesel | 117659 | 5                  | 49                 | 54                 |
| Asennus, kaapelointi ynm                            | HVO biodiesel | 264052 | 11                 | 110                | 122                |
| Asennus, aurinkopaneelit                            | HVO biodiesel | 30233  | 1                  | 18                 | 19                 |
| Betonin/betonilevyjen kuljetukset                   | HVO biodiesel | 161    | 0.0                | 0.1                | 0.1                |
| Paneelien kuljetukset                               | HVO biodiesel | 1256   | 0.1                | 0.5                | 0.6                |
| Muuntajien kuljetus                                 | HVO biodiesel | 175    | 0.0                | 0.1                | 0.1                |
| Invertterien kuljetus                               | HVO biodiesel | 125    | 0.0                | 0.0                | 0.1                |
| Teräs ynm kuljetukset                               | HVO biodiesel | 1272   | 0.1                | 0.5                | 0.6                |
| Aidan kuljetus                                      | HVO biodiesel | 39     | 0.0                | 0.0                | 0.0                |
| Työmatkat                                           | * (ks. alla)  |        | 15                 | 5                  | 20                 |
| Kasvillisuuden niitto                               | HVO biodiesel | 240735 | 10                 | 101                | 111                |
| Paneelien pesu                                      | HVO biodiesel | 274067 | 12                 | 115                | 126                |
| Purku ja kuljetus                                   | HVO biodiesel | 177314 | 8                  | 74                 | 82                 |
| <b>Yhteensä (fossiiliset päästöt)</b>               |               |        | <b>92</b>          | <b>770</b>         | <b>862</b>         |
| Maaperän lisääntyneet päästöt                       |               |        |                    |                    | 15884              |
| Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen |               |        |                    |                    | 12084              |
| <b>Yhteensä (maaperän päästöt)</b>                  |               |        |                    |                    | <b>27968</b>       |
| <b>Yhteensä</b>                                     |               |        |                    |                    | <b>28830</b>       |

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

## Aurinkosähkön verrokkit

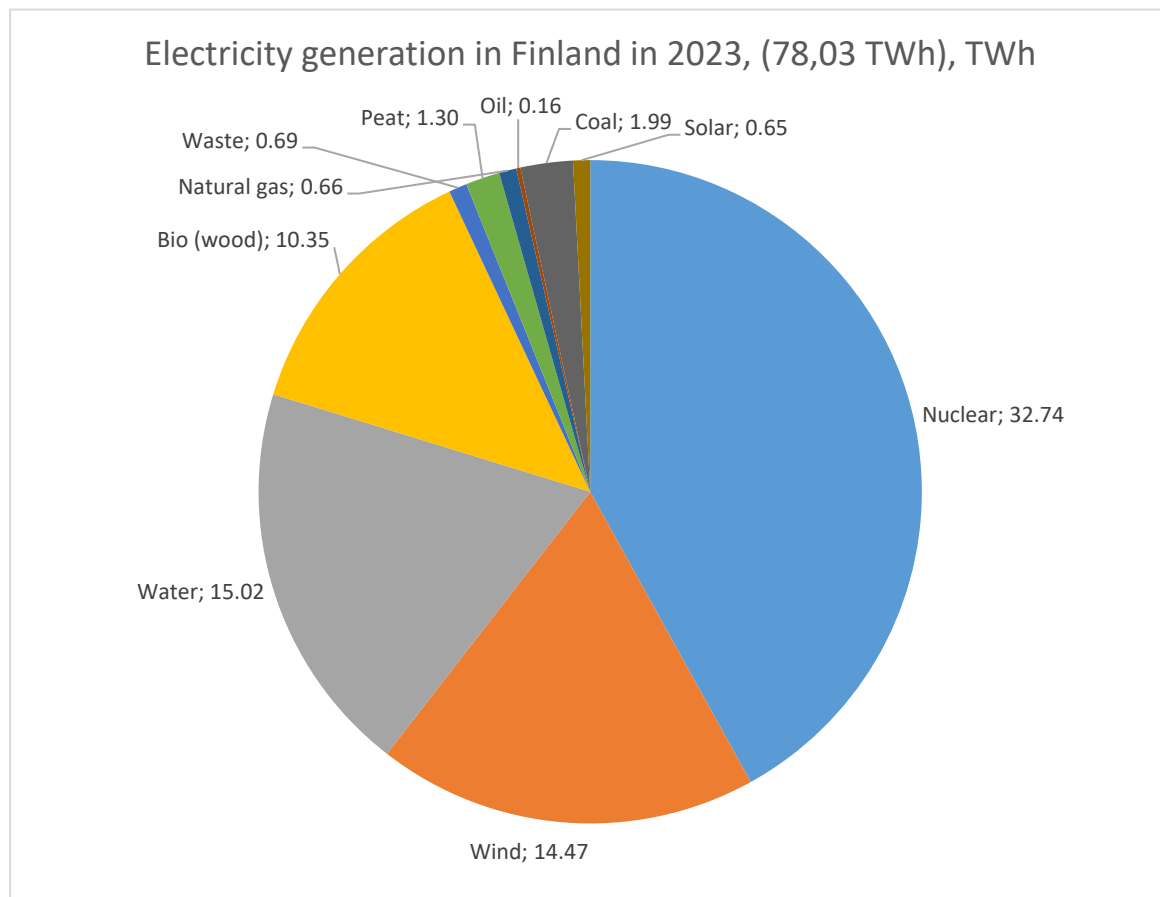
Aurinkosähkölle on otettu raportissa muitakin verrokkeja kuin vaihtoehtoinen sähköntuotanto, koska varsinkin lisäinen aurinkosähkö voidaan käyttää esimerkiksi suoraan terästeollisuudessa ja liikenteessä fossiilisia vaihtoehtoja korvaamaan. Sähköverrokkiksi on otettu Suomessa vuonna 2023 käytetty sähkö. Päästövertailu verrokkien kesken on esitetty raportin alussa taulukoissa 1 ja 3.

## 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.<sup>41,42,43,44</sup> Puun, maakaasun, kivihiilen, turpeen ja jätteen polton osalta määritettiin kullekin polttoaineelle yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon osuudet. Päästöjen kohdentamisessa sähkölle ja lämmölle käytettiin hyödynjakomenetelmää.<sup>45</sup> Kuvissa 6 ja 7 on Suomessa tuotetun ja käytetyn sähkön lähteiden osuudet. Kuvissa 8 ja 9 on esitetty Suomessa tuotetun ja käytetyn sähkön päästöjen jakautuminen. Suomessa tuotetun sähkön päästökerroin vuonna 2023 oli 57,6 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Suomessa käytetyn sähkön päästökerroin vuonna 2023 oli 57,0 gCO<sub>2</sub>e/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 6. Suomen sähköntuotanto 2023.

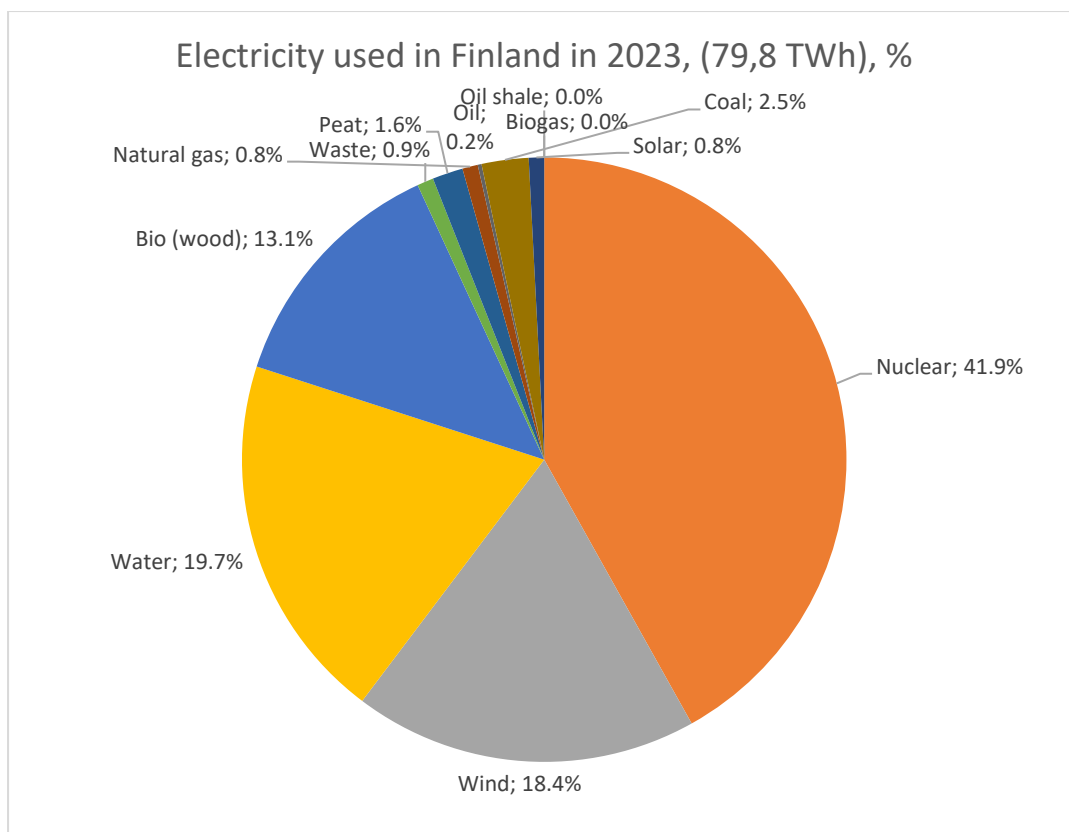
<sup>41</sup> Sähkön hankinta energialähteittäin 2007–2023, Energiateollisuus, 2024.

<sup>42</sup> Statistics Estonia, <https://andmed.stat.ee/en/stat>.

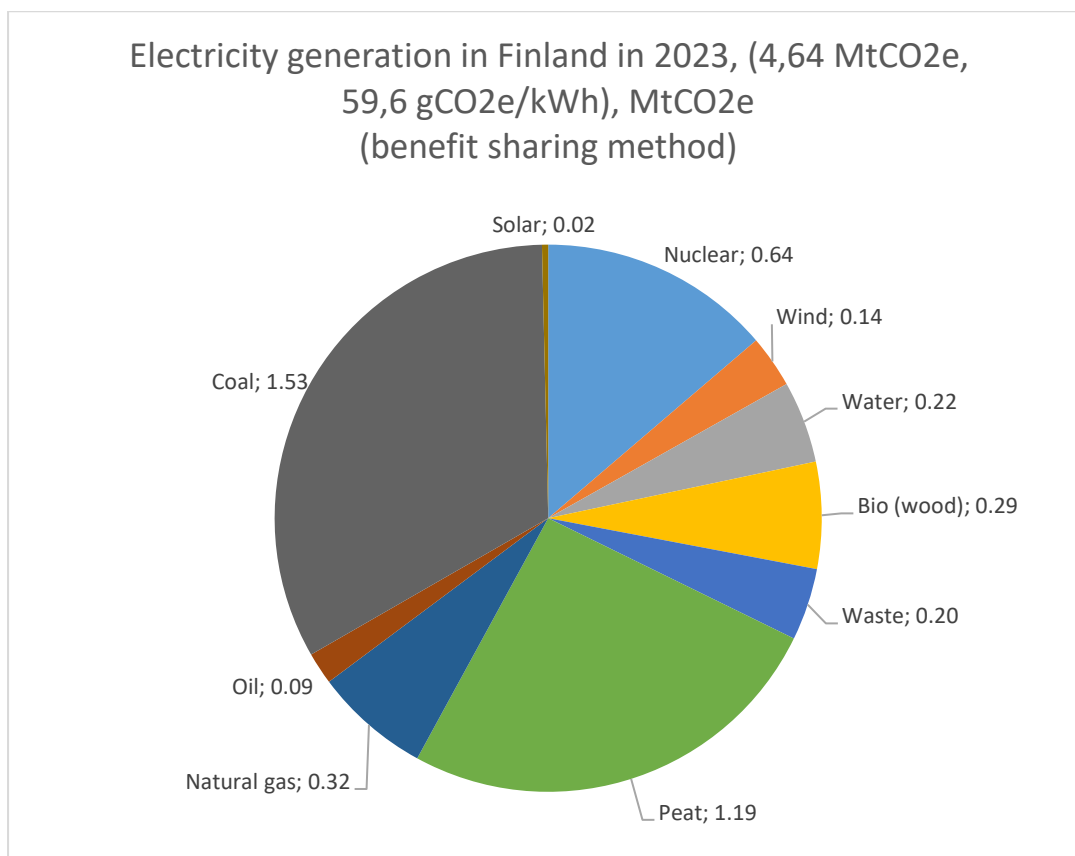
<sup>43</sup> Electricity production (net production) by type of power from 1970, TWh, Statistikdatabas, Energimyndigheten.

<sup>44</sup> Klemola Kimmo, Electricity generation and use in Finland – fuels and CO<sub>2</sub>e emissions, Years 2013–2023, Cleanfi Oy, 2024.

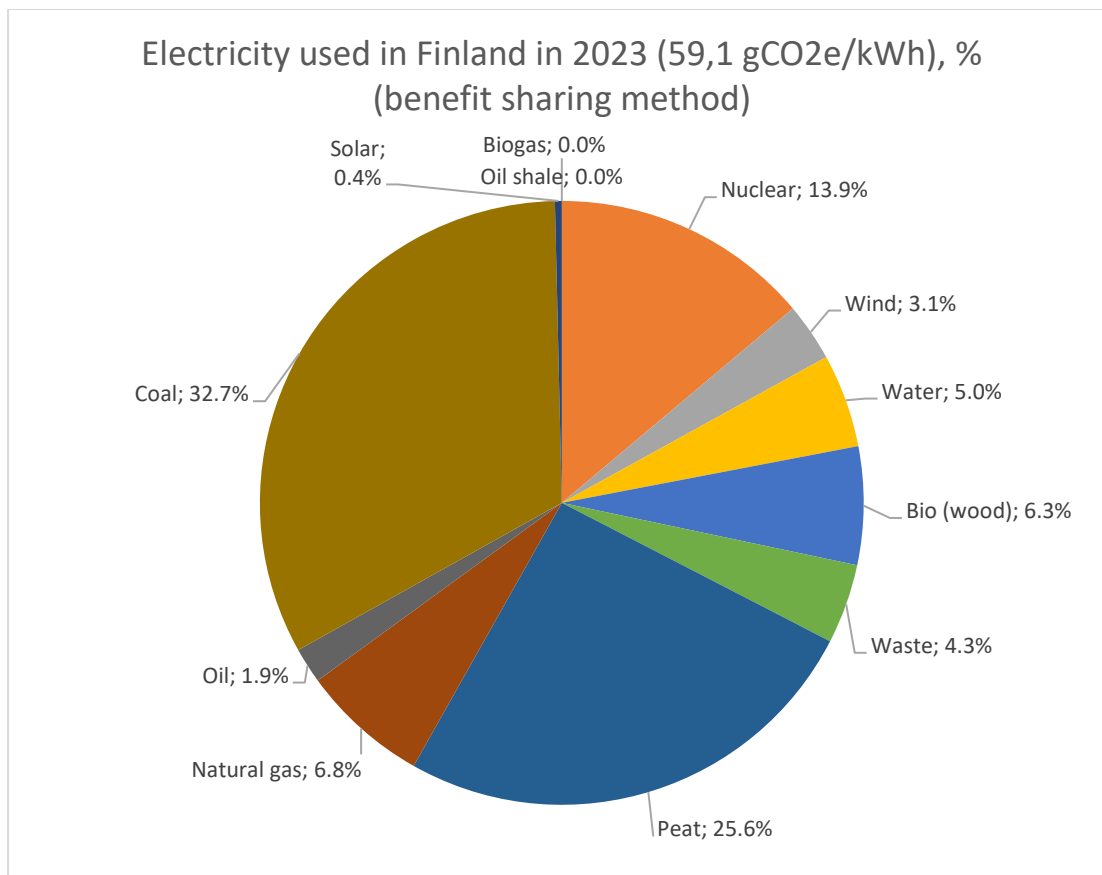
<sup>45</sup> Hyödynjakomenetelmä (Benefit sharing method), Motiva.



Kuva 7. Suomessa käytetty sähkö 2023, mukana vienti ja tuonti.



Kuva 8. Suomessa tuotetun sähkön päästöjen jakautuminen 2023.



Kuva 9. 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.<sup>46</sup> Vuonna 2021 jäännösjakauman mukainen virallinen päästökerroin oli 234,9 gCO<sub>2</sub>e/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 gCO<sub>2</sub>e/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

<sup>46</sup> 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 gCO<sub>2</sub>e/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.<sup>47</sup> Perinteisellä hiili-intensiivisellä prosessilla teräksen päästöt ovat 1,85 tCO<sub>2</sub>e/tonni.<sup>48</sup> Vuonna 2021 SSAB:n Raahen terästehtaan tuotanto oli 3,4 miljoonaa tonnia.<sup>49</sup> Raahessa hiilivapaan teräksen tekemiseen tarvitaan vuosittain yli 10 TWh puhdasta sähköä – 30 Huuhansuon VE1-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),<sup>50,51,52,53,54</sup> on bensiinilitran elinkaaren päästökerroin 3072 gCO<sub>2</sub>e. Bensiinikilowattituntia kohti päästökerroin on 340 gCO<sub>2</sub>e, mikä on lähes kymmenen kertaa suurempi kuin aurinkosähkön

---

<sup>47</sup> 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.

<sup>48</sup> The World Steel Association (worldsteel), www.worldsteel.org, 2022.

<sup>49</sup> SSAB:n Raahen tehtaan ympäristövuosi 2021, SSAB, 2022.

<sup>50</sup> Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

<sup>51</sup> European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

<sup>52</sup> 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.

<sup>53</sup> Hammerschlag Roel, Ethanol's energy return on investment: a survey of the literature 1990-present, Environmental Science & Technology, Vol. 40, 1744–1750, 2006.

<sup>54</sup> 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 96 % 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. Huuhansuon alueen aurinkovoimalan sähkö korvaisi noin 25 % fossiilisen vedyn tuotannosta Nesteen Porvoon jalostamolla. Maakaasu- ja aurinkosähkövedyn merkittävät parametrit ovat:<sup>55,56</sup>

- Vety maakaasusta:
  - 48 kWh maakaasua/kgH<sub>2</sub>
  - 230 gCO<sub>2</sub>e/kWh maakaasua
- Vety aurinkosähköstä:
  - 53 kWh sähköä/kgH<sub>2</sub>
  - 45 gCO<sub>2</sub>e/kWh aurinkosähköä

#### *Kiinalaisten akkukennostojen valmistus*

Akkukennostojen valmistus on sähköintensiivinen prosessi. Yhden kilowattitunnin akkukennoston valmistus kuluttaa sähköä 57,5 kWh.<sup>57</sup> Akkukennostojen valmistus tapahtuu pitkälti Kiinassa ja Etelä-Koreassa, joiden sähkön päästökerroin on suuri – Kiinassa 666 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Kotkaan on suunnitteilla kiinalaisomisteinen akkukennostotehdas, joka valmistaisi akkukennostoja vuosittain miljoonan sähköauton tarpeisiin.<sup>58</sup> Tehtaan kapasiteetti olisi 50 GWh akkukennostoja. Huuhansuon voimalan sähköntuotanto kattaisi reilut 10 % tehtaan sähköntarpeesta ja riittäisi vuosittaiseen yli 100 000 sähköauton akuston valmistamiseen.

### **Päästöjen vähentämismahdollisuudet**

Aurinkovoimalan osalta kasvihuonekaasupäästöjä vähentävät tehokkaammat energiatehokkaammin ja vähähiilisemmin valmistetut aurinkopaneelit. Aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön päästökerroin tulee todennäköisesti edelleen pienenemään, joten

---

<sup>55</sup> Hytönen Linda, Vetylaitoksen tuotannon energiataseen ja energiahäviöiden seurannan kehittäminen, Energiatekniikka/Prosessi- ja automaatiotekniikka, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, 2013.

<sup>56</sup> Blain Loz, Record-breaking hydrogen electrolyzer claims 95% efficiency, 16.3.2022, <https://newatlas.com/energy/hysata-efficient-hydrogen-electrolysis>

<sup>57</sup> Kurland Simon Davidsson, Energy use for GWh-scale lithium-ion battery production, Environ. Res. Commun. 2, 2020.

<sup>58</sup> 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 5,8 ktCO<sub>2</sub>e vähennyksen kasvihuonekaasupäästöihin, mikä vastaa 1,2 % päästövähennemää voimalan päästöissä (0,6 gCO<sub>2</sub>e/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 alueiden ennallistaminen tekisi niistä myös hiiltä sitovia. Aurinkopaneelien varjostus saattaa lisätä rahkasammaleen kasvua ja turpeen kerääntymistä ennallistettuun suohon. Kasvillisuudella pystytään vaikuttamaan paneelialueen maaperän päästöihin ja huoltotarpeeseen.

### **Arvioinnin epävarmuustekijät**

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

Lappeenrannan Huuhansuon alueen aurinkovoimalan kohdalla ylivoimaisesti suurimmat päästöjen aiheuttajat ovat aurinkopaneelien valmistus ja maankäytön muutosten aiheuttamat päästöt.

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.

Suomen ympäristökeskuksen hiilikarttasovelluksella voidaan tehdä päästöarvioita alueen maankäytön muutokselle, mutta ne ovat vain suuntaa antavia.

### **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<sub>x</sub>)
- Pienhiukkaspäästöt
- Metaanipäästöt
- Typpioksiduulipäästöt (N<sub>2</sub>O)
- Rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>)

#### *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<sub>x</sub>)*

Polttoaineen palaessa osa polttoaineen sisältämästä ja ilman tyydestä hapettuu ja syntyy typen oksideja. Niiden syntyyn voidaan vaikuttaa esimerkiksi säätämällä palamislämpötilaa. NO<sub>x</sub>-yhdisteet kulkeutuvat ilmakehän mukana ja päätyvät laskeutumaan 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.

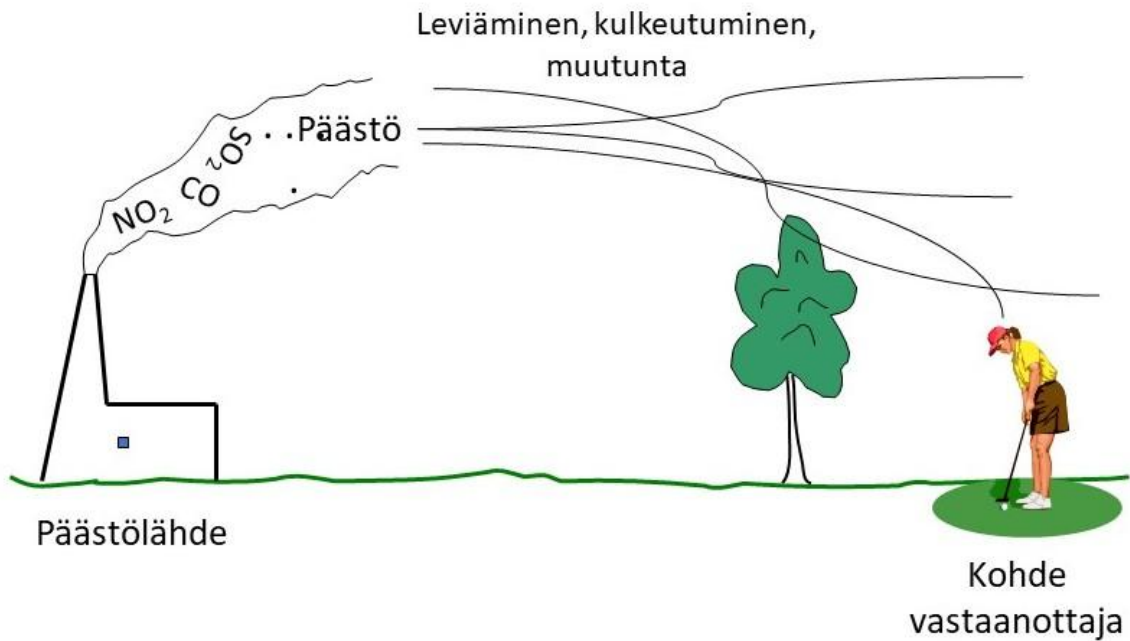
### *Typpioksiduulipäästöt (N<sub>2</sub>O)*

Typpioksiduuli eli N<sub>2</sub>O on yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasuista. Gramma typpioksiduulia ilmakehässä aiheuttaa noin 300 kertaa voimakkaamman kasvihuonekaasuvaikutuksen kuin gramma hiilidioksidia. Typpioksiduuli aiheuttaa myös otsonikatoa.

### *Rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>)*

Polttoaineet sisältävät rikkiä vaihtelevia määriä ja palamisprosesseissa rikki muuttuu rikkidioksidiksi (SO<sub>2</sub>). 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 muutunutta (kemiallisia reaktioita), päästöjen viipymäaika vaihtelee ja lopulta ne päätyvät maahan tai vesistöihin märkä- tai kuivalaskeumana. Kuvassa 10 on esitetty yksinkertaistettuna päästöt, kulkeutuminen, muutunutta ja laskeuma.



Kuva 10. 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.<sup>59</sup> 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 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 |

<sup>59</sup> Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä Lipasto, VTT.



### ***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.

## Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Aurinkosähköjärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt.*

|                                       | <b>VE1</b>              |
|---------------------------------------|-------------------------|
|                                       | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Aurinkosähkökennot (yksikiteinen pii) | 139718                  |
| Alumiiniseos (AlMg3)                  | 41727                   |
| Aurinkolasi                           | 19438                   |
| Sähkö (keskijännite)                  | 6456                    |
| Eteenivinyyliasetaatti (EVA)          | 5292                    |
| Polyvinyylifluori (PVF)               | 3756                    |
| Karkaistu lasi                        | 3060                    |
| Lasikuituvahvistettu muovi            | 2981                    |
| Aurinkosähköpaneelien valmistus       | 2255                    |
| Polyeteenitereftalaatti (PET)         | 2080                    |
| Muovijäämät                           | 1668                    |
| Kupari                                | 1597                    |
| Aaltopahvilaatikko                    | 1326                    |
| Piituote                              | 708                     |
| Polyvinyylifluoridi (PVF) -jäämät     | 455                     |
| Lämpö (maakaasu)                      | 319                     |
| Kuparilanka                           | 152                     |
| Juotos (kadmiumiton)                  | 97                      |
| Propanoli                             | 89                      |
| Asetoni                               | 59                      |
| Vesi                                  | 42                      |
| Jätevesi                              | 21                      |
| Voiteluöljy                           | 4                       |
| Nikkeli                               | 4                       |
| Mineraaliöljyjäämät                   | 4                       |
| Metanoli                              | 3                       |
| Yhteensä                              | 233310                  |

*Taulukko. Invertterien kasvihuonekaasupäästöt.*

|             | <b>VE1</b>              |
|-------------|-------------------------|
|             | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Invertterit | 7160                    |
| Yhteensä    | 7160                    |

## Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Muuntajien kasvihuonekaasupäästöt.*

|             | <b>VE1</b>              |
|-------------|-------------------------|
|             | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Muuntajat   | 4622                    |
| Muuntajat 2 | 2775                    |
| Yhteensä    | 7398                    |

*Taulukko. Seurantalaitteiden (trakkerien) kasvihuonekaasupäästöt.*

|                              | <b>VE1</b>              |
|------------------------------|-------------------------|
|                              | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Seurantalaitteet (trakkerit) | 39390                   |
| Yhteensä                     | 39390                   |

*Taulukko. Tukirakenteisiin ja kaapelointiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.*

|                          | <b>VE1</b>              |
|--------------------------|-------------------------|
|                          | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Kupari                   | 7424                    |
| Betoniteräs              | 3128                    |
| Niukkaseosteinen teräs   | 2951                    |
| Kuparilanka              | 1317                    |
| Polyvinyylikloridi (PVC) | 1287                    |
| Betoni                   | 722                     |
| Sinkki                   | 517                     |
| Alumiinin tuotanto       | 275                     |
| Alumiini                 | 125                     |
| Yhteensä                 | 17746                   |

### Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Kytkentärasioihin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.*

|                                  | <b>VE1</b>   |
|----------------------------------|--------------|
|                                  | <b>tCO2e</b> |
| Polyeteeni                       | 157.62       |
| Polyeteenin jäämät               | 48.20        |
| Kupari                           | 31.51        |
| Nylon                            | 13.99        |
| Polyvinyylikloridi (PVC)         | 11.18        |
| Teräs                            | 10.25        |
| Sähköjohtojen jäämät             | 6.58         |
| Kuparilanka                      | 3.00         |
| Kupariromu                       | 2.50         |
| Messinki                         | 0.88         |
| Sinkki                           | 0.80         |
| Polyvinyylikloridi (PVC) -jäämät | 0.75         |
| Polykarbonaatti                  | 0.11         |
| Epoksihartsi                     | 0.05         |
| Teräsromu                        | 0.05         |
| Yhteensä                         | 287          |

## Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Huoltorakennusten kasvihuonekaasupäästöt.*

|                               | <b>VE1</b>              |
|-------------------------------|-------------------------|
|                               | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Ikkunan kehykset, alumiinia   | 1219.65                 |
| Tiilet                        | 308.10                  |
| Keraaminen tiili              | 275.07                  |
| Alumiiniromu                  | 68.89                   |
| Pinnoitettu lasi              | 57.81                   |
| Tuuletin + lämmönvaihdyksikkö | 42.81                   |
| Betoni                        | 37.48                   |
| Puiset ovet                   | 24.20                   |
| Keramiikka                    | 15.05                   |
| Betonijäämät                  | 11.80                   |
| Kipsilevy                     | 5.21                    |
| Alkydimaali                   | 4.40                    |
| Muut tähdemateriaalit         | 2.25                    |
| Diesel                        | 2.01                    |
| Lasijäämät                    | 0.99                    |
| Vesi                          | 0.49                    |
| Seinämaalijäämät              | 0.47                    |
| Jätevesi                      | 0.42                    |
| Sähkö (pienjännite)           | 0.33                    |
| Kipsilevyn jäämät             | 0.15                    |
| Yhteensä                      | 2078                    |

*Taulukko. Käyttöön, korjauksiin ja huoltoon liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.*

|                       | <b>VE1</b>              |
|-----------------------|-------------------------|
|                       | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Vaihto: paneelit      | 4660                    |
| Vaihto: Invertterit   | 4778                    |
| Kasvillisuuden niitto | 813                     |
| Paneelien pesu        | 925                     |
| Yhteensä              | 11176                   |



## Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

*Taulukko. Asennuksiin ja kuljetuksiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.*

|                             | VE1                |
|-----------------------------|--------------------|
|                             | tCO <sub>2</sub> e |
| Asennus, tukirakenteet      | 397                |
| Asennus, kaapelointi<br>ynm | 891                |
| Asennus,<br>aurinkopaneelit | 107                |
| Betonikuljetukset           | 18                 |
| Paneelien kuljetukset       | 3697               |
| Muuntajien kuljetus         | 143                |
| Invertterien kuljetus       | 98                 |
| Teräs ynm kuljetukset       | 143                |
| Aidan kuljetus              | 4                  |
| Yhteensä                    | 5500               |

*Taulukko. Purku ja kuljetus, kasvihuonekaasupäästöt.*

|                        | VE1                |
|------------------------|--------------------|
|                        | tCO <sub>2</sub> e |
| Purku, tukirakenteet   | 79                 |
| Purku, kaapelointi ynm | 178                |
| Purku, aurinkopaneelit | 20                 |
| Purku, sähkö           | 1                  |
| Betonikuljetukset      | 18                 |
| Paneelien kuljetukset  | 141                |
| Muuntajien kuljetus    | 20                 |
| Invertterien kuljetus  | 13                 |
| Teräs ynm kuljetukset  | 143                |
| Aidan kuljetus         | 4                  |
| Yhteensä               | 619                |

*Taulukko. Aita (mahdollinen) ja siirtolinja, kasvihuonekaasupäästöt.*

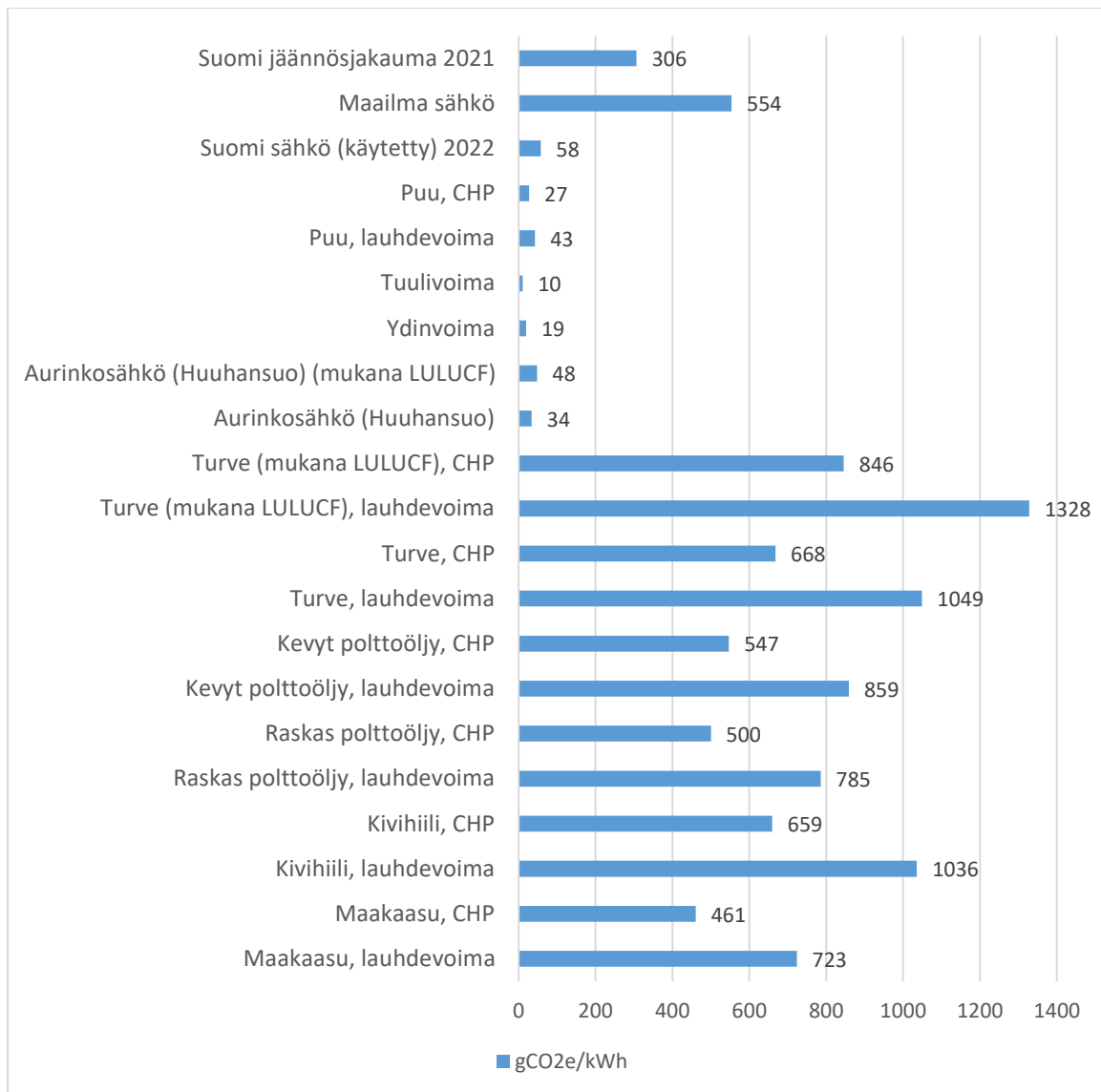
|             | VE1                |
|-------------|--------------------|
|             | tCO <sub>2</sub> e |
| Aita        | 393                |
| Siirtolinja | 306                |
| Yhteensä    | 699                |

## Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Elinkaaren lopun, jätehuollon ym. kasvihuonekaasupäästöt.

|                                  | <b>VE1</b>              |
|----------------------------------|-------------------------|
|                                  | <b>tCO<sub>2</sub>e</b> |
| Elinkaaren loppu, jätehuolto ym. | 9393                    |
| <b>Yhteensä</b>                  | <b>9393</b>             |

## Liite II: Sähköntuotannon päästökertoimia



*Kuva. Sähköntuotannon 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       | 44569    | 254.22  | 32.29   | 176.00  | 3.68   | 6.86  | 1.89  | 0.36 |
| Puuston poisto (kuormatraktorit)           | Diesel B7       | 22464    | 176.75  | 21.05   | 133.96  | 4.39   | 3.44  | 0.94  | 0.18 |
| Haketus (kannot oksat)                     | Diesel B7       | 54122    | 937.09  | 298.13  | 1359.52 | 116.16 | 8.34  | 2.34  | 0.44 |
| Hakatun puuston kuljetus                   | Diesel B7       | 5296     | 1.86    | 0.31    | 3.54    | 0.05   | 0.01  | 0.33  | 0.04 |
| Alueen maansiirto- ja tietyöt              | Diesel B7       | 551905   | 7394.89 | 1290.18 | 7394.72 | 341.78 | 88.10 | 23.46 | 4.45 |
| Asennus, tukirakenteet                     | Diesel B7       | 112438   | 1310.83 | 431.62  | 2248.26 | 157.90 | 16.59 | 4.55  | 0.91 |
| Asennus, kaapelointi ynm                   | Diesel B7       | 252335   | 2941.78 | 968.64  | 5045.58 | 354.37 | 37.23 | 10.22 | 2.04 |
| Asennus, aurinkopaneelit                   | Diesel B7       | 28846    | 336.29  | 110.73  | 576.79  | 40.51  | 4.26  | 1.17  | 0.23 |
| Betonin/betonilevyjen kuljetukset          | Diesel B7       | 154      | 0.05    | 0.01    | 0.10    | 0.00   | 0.00  | 0.01  | 0.00 |
| Paneelien kuljetukset                      | Diesel B7       | 1200     | 0.42    | 0.07    | 0.80    | 0.01   | 0.00  | 0.07  | 0.01 |
| Muuntajien kuljetus                        | Diesel B7       | 167      | 0.06    | 0.01    | 0.11    | 0.00   | 0.00  | 0.01  | 0.00 |
| Invertterien kuljetus                      | Diesel B7       | 114      | 0.04    | 0.01    | 0.08    | 0.00   | 0.00  | 0.01  | 0.00 |
| Teräs ynm kuljetukset                      | Diesel B7       | 1216     | 0.43    | 0.07    | 0.81    | 0.01   | 0.00  | 0.07  | 0.01 |
| Aidan kuljetus                             | Diesel B7       | 38       | 0.01    | 0.00    | 0.03    | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00 |
| Työmatkat*                                 | Bensiini        | 4094     | 31.19   | 2.26    | 5.51    | 0.08   | 0.13  | 0.17  | 0.05 |
| Työmatkat*                                 | Diesel B7       | 2205     | 3.40    | 0.59    | 24.10   | 0.93   | 0.01  | 0.23  | 0.02 |
| Kasvillisuuden niitto*                     | Diesel B7       | 230054   | 4523.01 | 2005.05 | 7407.97 | 800.30 | 33.82 | 9.17  | 1.86 |
| Paneelien pesu*                            | Diesel B7       | 261906   | 3053.36 | 1005.38 | 5236.95 | 367.81 | 38.65 | 10.61 | 2.11 |
| Purku ja kuljetukset*                      | Diesel B7       | 175325   | 61.67   | 10.16   | 117.04  | 1.75   | 0.35  | 10.77 | 1.38 |
| <b>Yhteensä</b>                            |                 | 1748447  | 21027   | 6177    | 29732   | 2190   | 238   | 76    | 14   |
| Lappeenrannan henkilöliikenne (vuosi 2019) | Bensiini/diesel | 31280430 | 216050  | 42021   | 137280  | 4631   | 2542  | 1896  | 318  |

\* Ei rajoitu ainoastaan rakennusvaiheeseen

#### Liite IV (1): Lähtötietoja, aurinkovoimala

| <b>Aurinkovoimala</b>                                               | <b>VE1</b>    |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|
| Aurinkovoimala-alueen koko, ml. siirtolinja, ha                     | <b>457.87</b> |
| Aurinko-voimalan kapasiteetti, MWp                                  | <b>303</b>    |
| Paneeli, Wp                                                         | 630           |
| Paneelien määrä                                                     | 480952        |
| Sähkö paneelien asennukseen, MWh                                    | 48.10         |
| Asennustöihin käytetyn sähkön päästökerroin, gCO <sub>2</sub> e/kWh | 109.60        |
| Betonin määrä, tonnia                                               | 2471          |
| Betonilaattojen rekkakuljetuksia, kpl                               | 62            |
| Betonilaattojen kuljetusmatka rekalla, km                           | 100           |
| Teräs, alumiini, muovi ynm rekkakuljetuksia, kpl                    | 487           |
| Teräs, alumiini, muovi ynm 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                                     | 481           |
| Paneelien kuljetusmatka rekalla, km                                 | 250           |
| Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetuksia, kpl                  | 113           |
| Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetusmatka, km                 | 300           |
| Muuntajien ja inverttereiden laivarahti, km                         | 1500          |
| Alueelle aittaa, km (jos alue aidattaisiin)                         | 16.80         |
| Aidan asennukseen dieseliä, L/m                                     | 2.06          |
| Aitarekkakuljetuksia, kpl                                           | 19            |
| Aitarekka, km/kuljetus                                              | 100           |
| Paneelien tukirakenteita, kpl                                       | 480952        |
| Tukirakenteiden asennukseen dieseliä, L/tukirakenne                 | 0.23          |

## Liite IV (2): Lähtötietoja, puusto ja maaperä

| <b>Puusto ja maaperä</b>                        | <b>VE1</b> |
|-------------------------------------------------|------------|
| Alueella runkopuuta alussa, m3                  | 47880      |
| Alueella puuston oksistoa alussa, m3            | 14843      |
| Alueella puuston juuria ja kantoja alussa, m3   | 17859      |
| Metsää kivennäismaalla alussa, ha               | 213        |
| Hakkuuaukeaa kivennäismaalla alussa, ha         | 47         |
| Peltoa kivennäismaalla alussa, ha               | 0          |
| Metsää turvemaalla alussa, ha                   | 56         |
| Hakkuuaukeaa turvemaalla alussa, ha             | 22         |
| Peltoa turvemaalla alussa, ha                   | 34         |
| Ojitettua avosuota turvemaalla alussa, ha       | 60         |
| Luonnontilaista suota turvemaalla alussa, ha    | 0          |
| <b>Polttoaineen kulutuksia, diesel</b>          |            |
| 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       |
| <b>Henkilötyöpäiviä</b>                         |            |
| Harvesterit                                     | 393        |
| Kuormatraktorit                                 | 341        |
| Haketus (kannot oksat)                          | 80         |
| Alueen maansiirto- ja tietyöt                   | 4451       |
| Asennus, tukirakenteet                          | 6012       |
| Asennus, kaapelointi ynm                        | 8016       |
| Asennus, aurinkopaneelit                        | 12024      |
| Kunnossapito                                    | 10950      |