

Uvilan Harjunpään aurinkovoimala – kasvihuonekaasuvaikutukset

Kimmo Klemola, Cleanfi Oy

14.2.2024 (päivitetty 30.5.2024)

Sisällys

Tiivistelmä	3
Lyhyesti.....	3
Taustaa ja tarkastelun rajausta	6
Tulokset.....	9
Puusto ja maaperä	13
Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt	17
Aurinkovoimalan alueen päästöt.....	22
Aurinkosähkön verrokki	29
Päästöjen vähentämismahdollisuudet	35
Arvioinnin epävarmuustekijät.....	35
Vaikutukset paikalliseen ilmanlaatuun	36
Vaikutusten tunnistaminen ja vaikutusalue	36
Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	38
Nykytila.....	39
Vaikutusten arviointi ja merkittävyys	39
Haitallisten vaikutusten vähentäminen	39
Arvioinnin epävarmuustekijät.....	40
Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	41
Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	42
Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	43
Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	44
Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen	45
Liite II: Sähköntuotannon päästökertoimia.....	46
Liite III (1): Voimala-alueen ilmapäästöt koko 40 vuoden elinkaaren ajalta (VE1)	47
Liite III (2): Voimala-alueen ilmapäästöt koko 40 vuoden elinkaaren ajalta (VE2)	48
Liite IV (1): Lähtötietoja, aurinkovoimala.....	49
Liite IV (2): Lähtötietoja, puusto ja maaperä.....	50

Tiivistelmä

	VE1	VE2
	gCO ₂ e/kWh	gCO ₂ e/kWh
Aurinkopaneelit	20.69	20.69
Invertterit	1.02	1.02
Muuntajat	0.66	0.66
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.57	1.57
Kytkentärsiat	0.03	0.03
Huoltorakennukset	0.18	0.18
Käyttö ja huolto	1.17	1.17
Alueen raivaus ja kunnostus	0.24	0.25
Asennus ja kuljetukset	0.49	0.49
Aita*	0.02	0.03
Purku ja kuljetukset	0.05	0.05
Sähkösiirtolinjat	0.04	0.06
Puusto ja maaperän päästöt**	11.04	11.42
Yhteensä	37.20	37.61

*Jos aita rakennetaan

**Menetetty puuston kasvu, alueelta hakatun ja poistetun puuaineksen mukaan ottaminen kasvattaisi puuston ja maaperän päästöjä 6,3–6,5 gCO₂e/kWh

Lyhyesti

Uvilan Harjunpään alueelle suunnitellun aurinkovoimalan kahdelle vaihtoehdolle on laskettu kasvihuonekaasuvaikutukset. Vaihtoehdon 1 (VE1) alueen koko on 657 hehtaaria ja voimalan kapasiteetti on 430 MW_p. Vaihtoehdon 2 (VE2) alueen koko on 464 hehtaaria ja voimalan kapasiteetti on 300 MW_p. Teholukeman MW_p tarkoittaa ”peak”-tehoa eli maksimitehoa, jota Suomen leveysasteilla ei missään olosuhteissa saavuteta.

Uvilan Harjunpään alueelle suunnitellun aurinkovoimalan sähköntuotanto suuremmissa vaihtoehdossa VE1 on 40 vuoden elinkaaren aikana keskimäärin 0,400 TWh vuodessa, mikä on 0,5 % Suomen vuoden 2023 sähkönkulutuksesta. Voimalan elinkaareksi arvioidaan 40 vuotta. Tarkasteluajan jälkeen paneelit on mahdollista vaihtaa tehokkaampiin.

Suuremman aurinkovoimalavaihtoehdon elinkaaren päästöt ovat 40 vuoden ajalta 418,6 ktCO₂e. Lisäksi puuston hiilinielun menetyksestä ja maaperän hiilivarastojen ja -nielujen muutoksista johtuvat päästöt ovat 176,6 ktCO₂e. Yhteensä aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 595,2 ktCO₂e. Alueelta hakattu puu menee teollisuuden ja energialaitosten hyödyksi, joten puuaineksen mukana poistunutta 101 ktCO₂ ei ole laskelmissa otettu huomioon.

Aurinkovoimalla tuotetun sähkön päästöjä voidaan verrata muuhun sähköntuotantoon tai toimintoihin, joita voidaan korvata lisäisellä aurinkosähköllä. Tällaisia ovat esimerkiksi

teräksen tuotanto kivihieillä, 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 suuripäästöisen sähkön Kiinassa.

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2021 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 66,1 % (595 ktCO_{2e} vs. 1754 ktCO_{2e}). Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 93,6 %. Aurinkosähkön korvattessa polttomootoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 96,7 %. Vastaavan hiiliteräsmäärän päästöt ovat nykyään 9243 ktCO_{2e} ja bensiiniautojen 18077 ktCO_{2e}.

Maakaasun vedyntuotantoa öljynjalostamolla korvattaessa aurinkovoimalan sähkö vähentää päästöjä 82,0 % ja kiinalaista sähköä akkukennostojen valmistuksessa korvattaessa 94,4 %. Aurinkosähkön 595 ktCO_{2e} sijaan maakaasuvedyntuotannon päästöt ovat 3303 ktCO_{2e} ja kiinalaisen sähkön päästöt akkukennostojen tuotannossa ovat 10654 ktCO_{2e}.

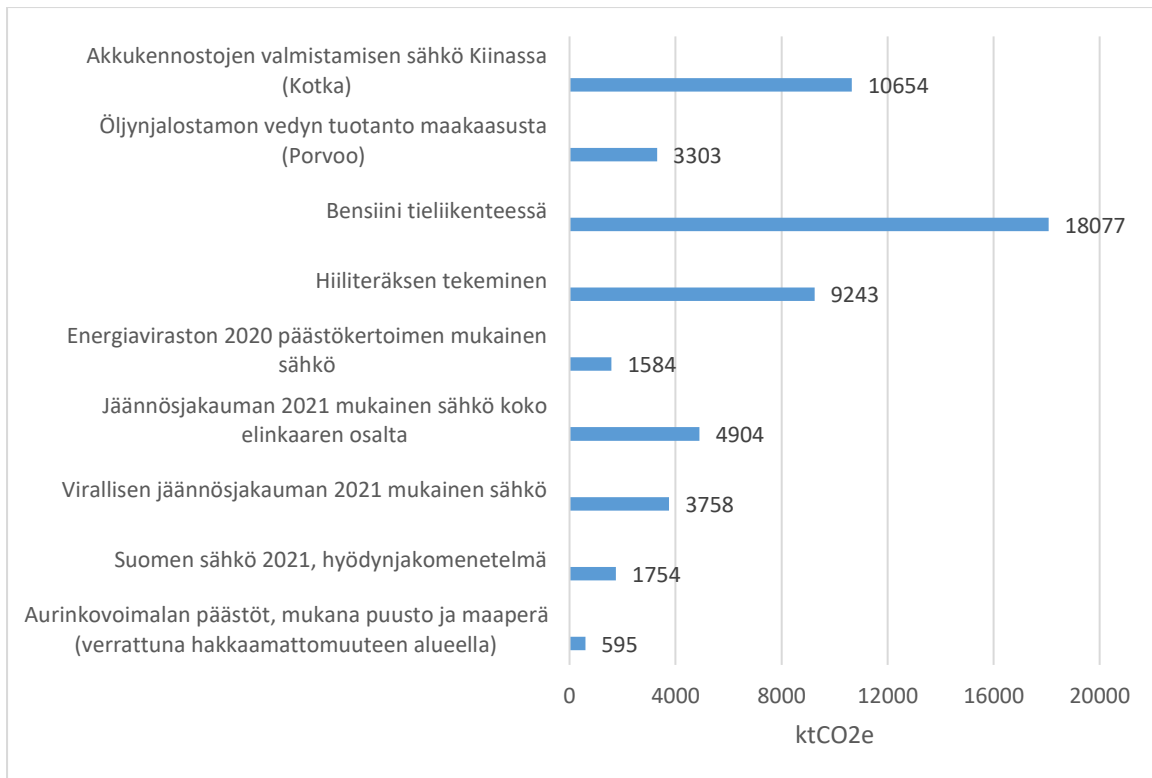
Alueelta poistetaan noin 80000 kiintokuutiota runkopuuta ja 55000 kiintokuutiota kantoja ja oksia, joiden kuljetukseen tarvitaan yli 3000 perävaunullista tukkirekkaa.

Aurinkosähkövoimalan hiilihyöty voi vertailukohdasta riippuen olla menetettyyn metsän puuston hiilivarastoon verrattuna jopa 170-kertainen, puuston menetettyyn hiilivarastoon- ja nieluun (40 vuoden toteutumaton kasvu) verrattuna 60-kertainen.

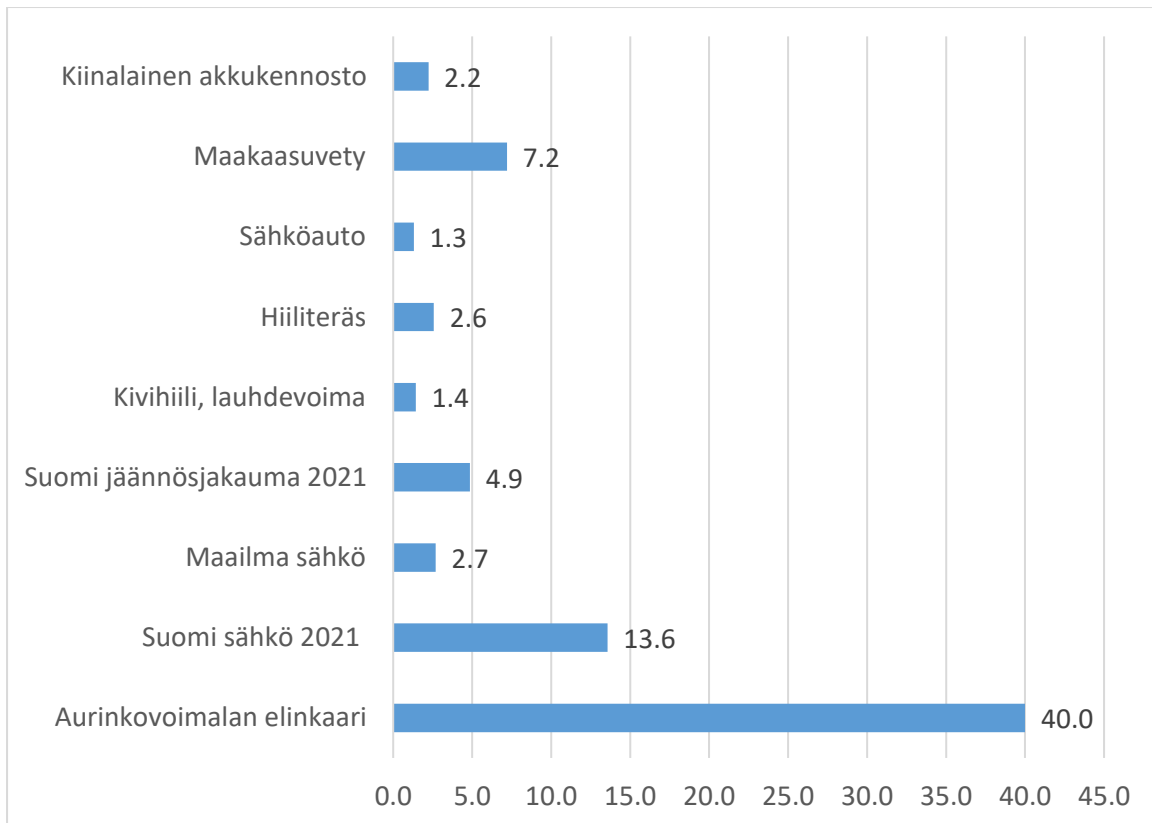
Kun kaikki aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt otetaan huomioon, tuotetun aurinkosähkön hiilihyöty päästöihin verrattuna on vähintään kaksinkertainen (verrattuna Suomessa tuotettuun sähköön 2021) ja yli 25-kertainen (verrattuna bensiiniautoon).

Fossiilisten polttoaineiden polttamisesta aiheutuvat päästöt voimala-alueella voimalan elinkaaren aikana ovat vain noin 1,1 prosenttia (6,4 ktCO_{2e}) aurinkovoimalan kaikista päästöistä. Biopolttoaineita työkoneissa ja kuljetuksissa käytettäessä nämä päästöt saadaan tiputettua lähelle nollaa.

Menetetty puuston kasvu ja maaperän päästöt huomioiden alueen aurinkovoimalan sähkön elinkaaren päästökertoimeksi tulee 37,2 gCO_{2e}/kWh (hiililauhdesähkön päästökerroin on noin 1000 gCO_{2e}/kWh). Alueelta hakatun runkopuun hiilivaraston menetys kohdennetaan puun ostajalle eli metsäteollisuudelle ja oksien ja kantojen hiilivaraston menetys kohdennetaan niiden ostajalle eli energialaitoksille. Itse aurinkovoimalan päästöt ovat 26,2 gCO_{2e}/kWh. Päästöjä lisäävät 11,0 gCO_{2e}/kWh:lla menetetty puunkasvu ja maaperän päästöt. Teollisuudelle ja energialaitoksille kohdennettuna voimala-alueelta poistuneen puuaineksen lisäinen vaikutus aurinkosähkön päästökertoimeen olisi 6,31 gCO_{2e}/kWh.



Kuva 1. Aurinkovoimalan (VE1) sähköntuotannon elinkaaren (40 vuotta) päästöt (ktCO_{2e}) ja päästöt, joita tuotettu aurinkovoima voi elinkaaren aikana korvata, mikäli aurinkosähkö käytetään korvaamaan vanhoja käytäntöjä.



Kuva 2. Päästöjen korvautumiseen kulunut aika vuosina (VE1).

Taustaa ja tarkastelun rajaus

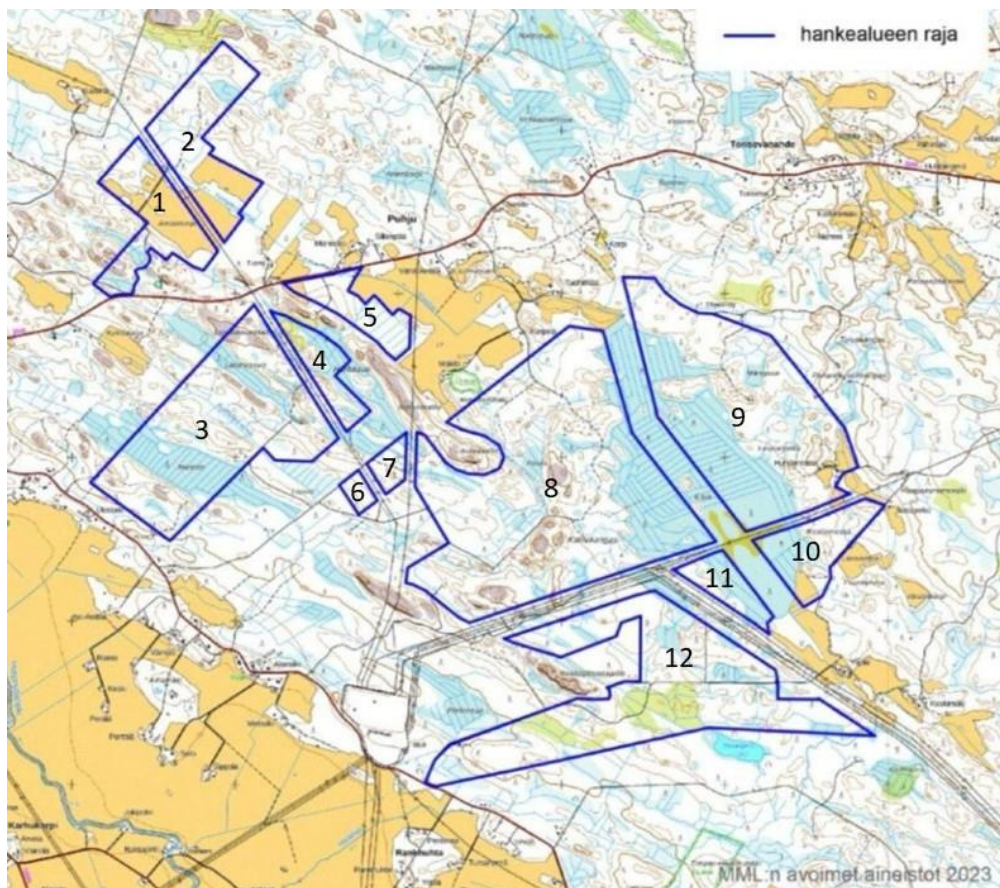
Aurinkosähköjärjestelmän ympäristövaikutukset tulevat järjestelmän laitteiden raaka-aineiden tuottamisesta ja jalostamisesta, rakentamisesta, kuljetuksesta ja asentamisesta sekä aurinkovoimala-alueen maankäytön muutoksista. Järjestelmä vaatii varsin vähän huolto- ja kunnossapitotoimintoja eikä itse sähköntuotanto 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.

Tarkasteltavat aurinkovoimalan vaihtoehtojen sijoitusalueet Ulvilan Harjunpään alueella on esitetty kuvassa 3. Sijoitusalueiden maaluokat on esitetty taulukossa 1.



Kuva 3. Aurinkovoimalan hankealue Ulvilan Harjunpään alueella. VE1 = alueet 1–12, VE2 = alueet 6–12.

Kasvihuonekaasulaskelmat ja hiilitasearvioinnit tehtiin seuraaville vaihtoehdoille:

- VE0 eli 0-vaihtoehdot: Hanketta ei toteuteta. Tarkastellaan molemmille vaihtoehdoille (VE1, VE2) vertailuvaihtoehdot
 - VE0-VE1-ei hakkuita (alue pysyy ”koskemattomana” 40 vuotta, metsän annetaan kasvaa ja pelloilla jatketaan viljelyä)
 - VE0-VE1-hakkuilla (alueella hakataan normaalisti 40 vuoden aikana eli alueen metsät jatkavat talousmetsäkäytössä ja pelloilla jatketaan viljelyä)
 - VE0-VE2-ei hakkuita
 - VE0-VE2-hakkuilla
- VE1: Kokonaispinta-ala 657 ha. Voimalan kapasiteetti 430 MWp.
- VE2: Kokonaispinta-ala 464 ha. Voimalan kapasiteetti 300 MWp.

Taulukko 1. Aurinkovoimala-alueen sijoitusalueiden maaluokat ja hehtaarimäärät. Sijoitusalueiden numerot kuvasta 3. VE1 = alueet 1–12, VE2 = alueet 6–12.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	VE1	VE2
Kivennäismaa														
Hakkuuaukea	1.3	1.0	0.0	2.4	0.0	0.0	1.0	3.2	3.2	0.0	0.0	14.1	26.1	21.4
Metsä	9.5	17.0	58.4	6.4	10.0	2.3	2.8	109.5	60.0	11.3	8.0	61.2	356.3	255.0
Pelto	14.1	9.8	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	28.1	3.4
Louhos, murskaamo, tie jne	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.5
Kallio	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
Turvemaa														
Hakkuuaukea	0.7	0.5	0.0	1.3	0.0	0.0	0.5	1.8	1.8	0.0	0.0	7.9	14.6	12.0
Metsä	5.3	9.5	32.6	3.6	5.6	1.3	1.5	61.1	33.5	6.3	4.5	34.2	198.9	142.4
Pelto	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	3.0	2.0
Suo luonnontilainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	2.8	0.0	0.0	9.3	9.3
Suo ojitettu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	8.5	0.0	0.0	0.0	18.0	18.0
Yhteensä	31.2	38.8	93.0	13.7	16.3	3.6	5.8	185.0	116.9	22.3	12.5	117.8	657.0	464.0

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 puuston hiilivarasto eli hakattu runkopuu menee 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 2021
 - 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 lisääntyvän sähköautokannan sähköistämiseen 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 50–60 GWh akkukennostotehdas noin miljoonan sähköauton vuosittaiseen akkutarpeeseen. Harjunpään VE1-aurinkovoimalan sähköntuotanto kattaisi noin 10 % akkukennostotehtaan sähköntarpeesta.

Laskennassa käytettyjä oletuksia:

- Alue on aurinkovoimakäytössä 40 vuotta ja sen jälkeen alue palautuu metsä- ja peltomaaksi tai muuhun käyttöön. Alue voi jatkaa myös aurinkovoimalana.
- Alussa voimalan kapasiteettikerroin on 11,6 % eli esimerkiksi 430 MW_p voimala tuottaa sähköä ensimmäisenä vuonna keskimäärin 49,8 MW teholla. Voimalan tehon oletetaan tippuvan keskimäärin 0,4 % vuodessa. Kapasiteettikerroin perustuu kiinteisiin aurinkopaneeliin.
- Paneelit tuottavat sähköä 40 vuotta. Osa paneeleista vaihdetaan tänä aikana esimerkiksi rikkoutumisen takia.
- Invertterit vaihdetaan 15 vuoden välein eli noin kaksi kertaa elinkaaren aikana.

Puuston hiilivarastot, hiilinielut, hakkuumäärä ja maaperän hiilinielut/päästöt arvioitiin mm. Luonnonvarakeskuksen tilastojen avulla. Hiilivarastoissa ja -nieluissa käytetään yksikköä ktCO₂. Muuten käytetään yksikköjä gCO₂e, tCO₂e, ktCO₂e, joissa CO₂e tarkoittaa hiilidioksidiekvivalenttia. Hiilidioksidiekvivalentti ottaa huomioon kaikki kasvihuonekaasut, hiilidioksidin lisäksi tärkeimpinä metaanin ja typpioksiduulin.

Tulokset

Suuremman voimalavaihtoehdon eli vaihtoehto VE1:n aurinkovoimalan elinkaaren päästöt ovat 40 vuoden ajalta 419 ktCO₂e. Voimala tuottaa 40 vuoden aikana 16,0 TWh sähköä ja aurinkosähkön päästökertoimeksi tulee 26,2 gCO₂e/kWh.

Voimalan päästöt koostuvat suurimmalta osin aurinkopaneelien ja muiden komponenttien valmistuksesta. Alueella tapahtuvat fossiilienergian polttamisesta johtuvat päästöt ovat vain 1,1 prosenttia (6,4 ktCO₂e) voimalan päästöistä (mukaan lukien puusto ja maaperä). Alueen energiankäytön päästöt koostuvat puuston hakkaamisesta (harvesterit), metsäkuljetuksesta (kuormatraktorit), juurien ja hakkuutähteiden hakettamisesta, maansiirtotöistä (myös tien rakentaminen), asennuksista, kuljetuksista, huoltotöistä, lopetusvaiheen purkutöistä ja työmatkoista – käytännössä pitkälti dieselin polttamisesta.

Puuston ja maaperän hiilivarastojen ja -nielujen muutoksista johtuen aurinkovoimalan päästöihin lisätään 177 ktCO₂ 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 40 vuoteen. Mikäli VE1:ssä alueelta poistetun puuaineksen hiilivaraston menetys kohdennetaan puun ostajalle ja käyttäjälle ja aurinkosähkölle kohdennetaan puuston kasvun hiilinielun menetys ja maaperän päästöt, aurinkosähkön päästökerroin on 37,2 gCO₂e/kWh.

Aurinkovoimalan ilmastohyödyt tulevat aurinkosähkön korvatesa suuripäästöisempää 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 2 on esitetty päästötiedot, kun vertailutapauksessa oletetaan ettei alueella hakata tarkasteluajana puuta lainkaan. Taulukossa 3 on esitetty päästötiedot, kun vertailutapauksessa oletetaan että alueen metsät ovat normaalissa metsätaloustilassa tarkasteluajan. Taulukossa 4 on esitetty päästötiedot, kun alueen puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon.

Vertailun oletus: alueella ei hakkuuta tarkasteluajana:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2021 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys VE1:ssä 66,1 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 93,6 % ja aurinkosähkön korvatesa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 96,7 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvatesa päästövähennys on 82,0 % ja akkukennostojen valmistuksessa 94,4 %.

Vertailun oletus: alueella normaali metsätalous tarkasteluaikana:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2021 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys VE1:ssä 66,5 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 93,6 % ja aurinkosähkön korvauksessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 96,7 %. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvauksessa päästövähennys on 82,2 % ja akkukennostojen valmistuksessa 94,5 %.

Vertailun oletus: puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon:

Mikäli alueella tuotetulla aurinkosähköllä korvataan Suomen vuoden 2021 keskimääräistä sähköä, on elinkaaren päästövähennys 76,1 %. Hiiliterästä aurinkosähköllä korvattaessa päästövähennys on 95,5 % ja aurinkosähkön korvauksessa polttomoottoriauton bensiiniä sähköautossa päästövähennys on 97,7%. Öljynjalostamon maakaasua vedyntuotannossa korvauksessa päästövähennys on 87,3 % ja akkukennostojen valmistuksessa 96,1 %.

Taulukko 2. Aurinkovoimalavaihtoehtojen ja aurinkosähköllä korvattavien toimintojen päästötiedot. Vertailukohta on, että alueella ei hakata tarkasteluaikana.

Vaihtoehto	VE1	VE2
Aurinkovoimalan tietoja:		
Tehokapasiteetti, MWp	430	300
Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh	16000	11163
Pinta-ala, ha	657	464
Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:		
ktCO₂e		
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-ei hakata maankäytön muutokseen	177	127
Aurinkovoimalan päästöt	419	292
Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)	595	420
Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:		
ktCO₂e		
Suomen sähkö 2021, hyödynjakomenetelmä	1754	1223
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	3758	2622
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	4904	3421
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	1344	938
Hiiliteräksen tekeminen	9243	6449
Bensiini tieliikenteessä	18077	12612
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	3303	2305
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	10654	7433
Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:		
%		
Suomen sähkö 2021, hyödynjakomenetelmä	66.1	65.7
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	84.2	84.0
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	87.9	87.7
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	56.3	55.2
Hiiliteräksen tekeminen	93.6	93.5
Bensiini tieliikenteessä	96.7	96.7
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	82.0	81.8
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	94.4	94.4

Taulukko 3. Aurinkovoimalavaihtoehtojen ja aurinkosähköllä korvattavien toimintojen päästötiedot. Vertailukohta on normaali metsätalous tarkasteluaikana.

Vaihtoehto	VE1	VE2
Aurinkovoimalan tietoja:		
Tehokapasiteetti, MWp	430	300
Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh	16000	11163
Pinta-ala, ha	657	464
Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:		
	ktCO₂e	ktCO₂e
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen	169	122
Aurinkovoimalan päästöt	419	292
Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti)	588	415
Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:		
	ktCO₂e	ktCO₂e
Suomen sähkö 2021, hyödynjakomenetelmä	1754	1223
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	3758	2622
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	4904	3421
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	1344	938
Hiiliteräksen tekeminen	9243	6449
Bensiini tieliikenteessä	18077	12612
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	3303	2305
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	10654	7433
Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:		
	%	%
Suomen sähkö 2021, hyödynjakomenetelmä	66.5	66.1
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	84.4	84.2
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	88.0	87.9
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	56.8	55.8
Hiiliteräksen tekeminen	93.6	93.6
Bensiini tieliikenteessä	96.7	96.7
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	82.2	82.0
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	94.5	94.4

Taulukko 4. Aurinkovoimalavaihtoehtojen ja aurinkosähköllä korvattavien toimintojen päästötiedot. Vertailukohta on, että puustoa ja maaperän päästöjä ei oteta huomioon.

Vaihtoehto	VE1	VE2
Aurinkovoimalan tietoja:		
Tehokapasiteetti, MWp	430	300
Elinkaaren aikana tuotettu sähkö, GWh	16000	11163
Pinta-ala, ha	657	464
Aurinkovoimalan aiheuttamat päästöt:		
ktCO₂e		
Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VEO-hakkuilla maankäytön muutokseen	0	0
Aurinkovoimalan päästöt	419	292
Aurinkovoimalan päästöt	419	292
Aurinkosähkön korvaavien toimintojen päästöt:		
ktCO₂e		
Suomen sähkö 2021, hyödynjakomenetelmä	1754	1223
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	3758	2622
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	4904	3421
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	1344	938
Hiiliteräksen tekeminen	9243	6449
Bensiini tieliikenteessä	18077	12612
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	3303	2305
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	10654	7433
Aurinkosähköllä korvaamalla vähennetään päästöjä:		
%		
Suomen sähkö 2021, hyödynjakomenetelmä	76.1	76.1
Virallisen jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö	88.9	88.8
Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta	91.5	91.5
Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö	69.4	68.8
Hiiliteräksen tekeminen	95.5	95.5
Bensiini tieliikenteessä	97.7	97.7
Öljynjalostamon vedyn tuotanto maakaasusta (Porvoo)	87.3	87.3
Akkukennostojen valmistamisen sähkö Kiinassa (Kotka)	96.1	96.1

Puusto ja maaperä

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

Alueen metsien rakenteen voi katsoa olevan varsin tyypillistä satakuntalaista metsää ja laskennassa on käytetty luonnonvarakeskuksen Satakunnan metsien puuvara-, hakkuu-, kasvu- ja poistumatietoja. Alueella on myös peltoja ja soita.

Taulukko 5. Maaperän ja puuston päästöjen, hiilivaraston ja hiilinielujen laskennassa käytettyjä lähtötietoja.^{1,2,3,4,5,6,7,8} Maaperän osalta positiivinen luku tarkoittaa päästöä, negatiivinen luku tarkoittaa nielua. Alueella ei ole arvometsää tai jäkäläturvekangasta.

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

¹ Kasvupaikat metsämaan kankailla ja soilla (1000 ha) muuttujina inventointi, maakunta ja kasvupaikka, Luke tilastotietokanta, 2022.

² Puuston vuotuinen kasvu metsä- ja kitumaalla, Luke tilastotietokanta, 2022.

³ Puuston biomassa metsä- ja kitumaalla (milj. t), Luke tilastotietokanta, 2022.

⁴ Puuston poistuma omistajaryhmittäin ja maakunnittain 2015-, Luke tilastotietokanta, 2022.

⁵ Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla kehitysluokittain (m³/ha), Luke tilastotietokanta, 2022.

⁶ Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluisista ja -varastoista, Loppuraportti, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, 2021.

⁷ Liski J., Westman C.J., Carbon storage in forest soil of Finland. Biogeochemistry 36: 261–274, 1997.

⁸ Heikkinen J., Ketoja E., Nuutinen V., Regina K., Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009, Global Change Biology, 19, 1456–1469, 2013.

Taulukko 6. Hiilen osuus puulajien kuiva-aineesta⁹, puulajien kuivatuoretiheys^{10,11} ja Suomen puuston puulajien kuutiomäärät ja prosenttiosuudet¹². Suomalaiseen puuhun on keskimäärin sitoutunut 0,739 tCO₂/m³.

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

Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty puuston poistamisen, talousmetsähakkuiden ja maaperän päästöt eri vaihtoehdoissa. Mukana ovat myös aurinkovoimalan elinkaaren päästöt.

⁹ 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.

¹⁰ Alakangas Eija, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT tiedotteita 2045, 2000.

¹¹ Heräjärvi Henrik., Junkkonen Reijo, Wood density and growth rate of European and hybrid aspen in southern Finland, Baltic Forestry 12.1, 2006.

¹² Puuston tilavuus metsä- ja kitumaalla puulajeittain VMI 13:n mukaan, Luke tilastotietokanta. 2022.

Taulukko 7. Vaihtoehdon VE1 puuston poistamisen, talousmetsähakkuiden ja maaperän päästöt eri vaihtoehdoissa.

VE0-ei hakkuita	VE0- hakuilla	VE1	
ktCO ₂ e	ktCO ₂ e	ktCO ₂ e	
252.53	103.09	0.00	Alueen puuston hiilivarasto lopussa
101.01	101.01	101.01	Alueen puuston hiilivarasto alussa
151.52	2.08	-101.01	Puuston hiilivaraston muutos
0.00	90.72	60.02	Alueelta hakattu runkopuu
0.00	0.00	151.52	Toteutumatta jäänyt puuston kasvu
0.00	61.96	40.99	Maaperään hakkuutähteenä/hakkeena tai kantoina ja juurina siirtyvä hiili
0.00	10.42	0.00	Tarkasteluajana hajoava hakkuutähteen/hakkeen tai kantojen ja juurien hiili
-3.65	-3.65	-28.71	Maaperän hiilimuutos ilman hakkuutähdettä/haketta
-3.65	47.90	-28.71	Maaperän hiilimuutos, mukana hakkuutähdde/hake
147.87	49.98	-88.73	Hiilivarasto tarkasteluajan lopussa verrattuna alkutilaan
147.87	140.70	-240.25	Hiilivarasto tarkasteluajan lopussa verrattuna alkutilaan, mukana menetetty kasvu ja alueelta poistunut hakattu puu
	7.17	176.58	Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VE0-ei hakata maankäytön muutokseen (päästö)
		169.41	Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VE0-hakuilla (päästö)
		418.62	Aurinkovoimalan päästöt
		6.22	Aurinkovoimalan päästöt alueella
		595.20	Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)
		588.03	Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti)

Taulukko 8. Vaihtoehdon VE2 puuston poistamisen, talousmetsähakkuiden ja maaperän päästöt eri vaihtoehdoissa.

VE0-ei hakkuita	VE0- hakuilla	VE2	
ktCO ₂ e	ktCO ₂ e	ktCO ₂ e	
182.55	74.52	0.00	Alueen puuston hiilivarasto lopussa
73.02	73.02	73.02	Alueen puuston hiilivarasto alussa
109.53	1.50	-73.02	Puuston hiilivaraston muutos
0.00	65.58	43.39	Alueelta hakattu runkopuu menee teollisuudelle
0.00	0.00	109.53	Toteutumatta jäänyt puuston kasvu
0.00	44.79	29.63	Kannot ja oksat energialaitoksille
0.00	7.53	0.00	Tarkasteluajana hajoava hakkuutähteiden/hakkeen tai kantojen ja juurien hiili
-3.33	-3.33	-21.25	Maaperän hiilimuutos ilman hakkuutähdettä/haketta
-3.33	33.93	-21.25	Maaperän hiilimuutos, mukana hakkuutähdde/hake (jota ei ole)
106.20	35.43	-64.63	Hiilivarasto tarkasteluajan lopussa verrattuna alkutilaan
106.20	101.02	-174.16	Hiilivarasto tarkasteluajan lopussa verrattuna alkutilaan, mukana menetetty kasvu ja alueelta poistunut hakattu puu
	5.18	127.45	Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehdon VE0-ei hakata maankäytön muutokseen (päästö)
		122.26	Puuston ja maankäytön muutos verrattuna vaihtoehtoon VE0-hakuilla (päästö)
		292.40	Aurinkovoimalan päästöt
		4.44	Aurinkovoimalan päästöt alueella
		419.85	Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna hakkaamattomuuteen alueella)
		414.66	Aurinkovoimalan päästöt, mukana puusto ja maaperä (verrattuna siihen että alueella hakataan normaalisti)

Aurinkovoimalan elinkaaren päästöt

Aurinkopaneeliin perustuvan aurinkosähkövoimalan päästökertoimet (gCO₂e/kWh) vaihtelevat kirjallisuudessa välillä 8–83 gCO₂e/kWh.¹³ 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.¹⁴ Paneelien maantieteellisen sijoittumisen merkitystä kuvaa, että Etelä-Suomessa paneelien tuottama vuotuinen sähkömäärä jää yhdysvaltalaisen NREL:n laskurin mukaan 44 % pienemmäksi kuin Koillis-Brasiliassa.¹⁵

¹³ Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources, United Nations Economic Commission for Europe, 2022.

¹⁴ Photovoltaics Report, Fraunhofer institute for solar energy systems ise, 2022.

¹⁵ PVWatts Calculator, National Renewable Energy Laboratory, 2022. <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

Laskennassa käytettyjä oletuksia:

- Alue on aurinkovoimakäytössä 40 vuotta ja sen jälkeen alue palaa pelto- ja metsämaaksi.
- Alussa kapasiteettikerroin on 11,6 % eli 430 MWp voimala tuottaa sähköä ensimmäisenä vuonna keskimäärin 49,8 MW. Voimalan teho tippuu keskimäärin 0,4 % vuodessa. Alussa teho tippuu enemmän, lopussa vähemmän. Elinkaaren aikana voimala tuottaa sähköä keskimäärin 0,400 TWh vuodessa 45,7 MW teholla.
- Paneelit tuottavat sähköä 40 vuotta ja ne ovat kiinteästi asennettuja. 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. Uuden voimalan paneelit olisivat nykyistä tehokkaampia.
 - Aurinkoteknologian ja aurinkovoimalan päästöjen kehityksen ennustaminen ei ole helppoa. Kehitys on ollut vuodesta toiseen ennustettua nopeampaa. On arvioitu, että vuoteen 2020 verrattuna vuonna 2040 aurinkosähkön päästökerroin olisi puolet pienempi ja vuonna 2050 kaksikolmasosaa pienempi.^{16,17}
- Invertterit vaihdetaan keskimäärin 15 vuoden välein eli kaksi kertaa 40 vuoden elinkaaren aikana.
- Aurinkovoimalan materiaalien kierrätystä ei sisällytetty analyysiin, koska ei ole tietoa tulevaisuuden kierrätysratkaisuista. Komponenttien materiaalien kierrättäminen vähentää esimerkiksi päästöintensiiivisten primäärisen alumiinin, piin tai kuparin tarvetta.

Itse aurinkovoimalan päästöistä (pois lukien maankäytön muutokset) ylivoimaisesti suurin osa tulee voimalan komponenteista valmistusvaiheessa: aurinkopaneelit, invertterit, tukirakenteet, sähköjohdot jne. Aurinkovoimalan päästöjen määrittämisessä käytettiin kahden tuoreen tiedejulkaisun tietoja.^{18,19} 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 vaihtoehdoissa VE1 ja VE2. Taulukoissa 11 ja 12 on otettu huomioon myös alueen puuston ja maaperän päästöjen vaikutus. Alueen raivaus ja kunnostus tarkoittaa puunkorjuuta ja alueen tasoittamista maansiirtokoneilla. Tutkimuksessa²⁰ kiintokuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus

¹⁶ 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.

¹⁷ 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.

¹⁸ Schultz Herwin Saito, Carvalho Monica, Design, Greenhouse Emissions, and Environmental Payback of a Photovoltaic Solar Energy System, *Energies* 15.16:6098, 2022.

¹⁹ 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.

²⁰ Kärhä Kalle, Kääriäinen Heikki, Roininen Kimmo, Haavikko Hanna, Palander Teijo, Polttoaineen kulutusta puunkorjuussa selvitetään laajalla seurantalutkimuksella, *Metsäalan ammattilehti*, 2020.

puunkorjuussa (pitäen sisällään sekä harvesterien että kuormatraktoriin polttoaineen kulutuksen) oli keskimäärin päätehakkuulla yhteensä 1,4 litraa/m³ runkopuuta. Suoria päästöjä hakkuusta ja metsäkuljetuksesta tulee 3,8 kgCO₂e/m³. Jokaista hakattua runkopuukuutiometriä kohti on kuljetettava 0,31 m³ oksia ja 0,373 m³ kantoja ja juuria.

Maansiirtokoneiden polttoaineen kulutukseksi arvioitiin 1635 litraa/ha metsämaata golfkenttien rakentamisesta saatujen tietojen perusteella.^{21,22} Dieselin (Diesel B7, bio-osuus 7 %) elinkaaren päästöt ovat 3533 gCO₂e/L, suorat polton päästöt ovat 2708 gCO₂e/L.^{23,24} Nesteen uusiutuvan biodieselin (My Diesel, NExBTL) elinkaaren päästöt ovat 461 gCO₂e/L, suorat polton päästöt ovat 4,3 gCO₂e/L.^{25,26} Taulukossa 13 on esitetty aurinkovoimalan päästöt, kun diesel on uusiutuvaa biodieseliä. Biodieselin käytön vaikutus kokonaispäästöihin on hyvin pieni.

Alueen raivauksen ja kunnostuksen päästöt ovat vain muutama promille aurinkovoimalan päästöistä. Puiden kuljetus puuta jalostavalle sahalle tai tehtaalle ja siitä johtuvat päästöt katsotaan puun käyttäjän päästöiksi. Alueella tapahtuvat puukuljetusten päästöt on kuitenkin arvioitu.

Paneelien oletetaan tulevan Kiinasta >7500 TEU:n konttialuksella²⁷ Rotterdamiin, josta ne tulevat 2000 TEU:n konttialuksella²⁸ Suomeen. Invertterit ja muuntajat tulevat pienemmillä aluksilla Saksasta. Maantiekuljetusten päästöt arvioitiin VTT Lipaston tietokannan yksikköpäästöjen avulla.^{29,30}

Aidan ja aidan rakentamisen päästöt saatiin Desiderin *et al.*³¹ artikkelista. Aidan hiilijalanjälki on kokonaispäästöissä mitätön.

²¹ 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.

²² Klemola Kimmo, Golf course carbon footprint calculator, Cleanfi Oy, 2022.

²³ Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

²⁴ European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

²⁵ 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>.

²⁶ 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.

²⁷ Information CO₂ des prestations de transport, October 2012; https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_Information_CO2-2.pdf

²⁸ Konttialuksen keskimääräiset päästöt ja energian käyttö vuonna 2016, VTT Lipasto.

²⁹ Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, kokonaismassa 76 t, kantavuus 51 t, 9 akselia, taajama, katuajo, VTT Lipasto.

³⁰ Varsinaisella perävaunulla varustettu yhdistelmä, kokonaismassa 60 t, kantavuus 40 t, VTT Lipasto.

³¹ 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.

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 (tCO₂e).

	VE1	VE2
	tCO₂e	tCO₂e
Aurinkopaneelit	331100	231000
Invertterit	16257	11342
Muuntajat	10498	7324
Tukirakenteet ja kaapelointi	25184	17570
Kytkentärsiat	408	285
Huoltorakennukset	2948	2057
Käyttö ja huolto	18696	13044
Alueen raivaus ja kunnostus	3844	2779
Asennus ja kuljetukset	7804	5445
Aita	360	303
Purku ja kuljetukset	878	613
Sähkönsiirtolinja	640	640
Yhteensä	418618	292403

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

	VE1	VE2
	gCO₂e/kWh	gCO₂e/kWh
Aurinkopaneelit	20.69	20.69
Invertterit	1.02	1.02
Muuntajat	0.66	0.66
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.57	1.57
Kytkentärsiat	0.03	0.03
Huoltorakennukset	0.18	0.18
Käyttö ja huolto	1.17	1.17
Alueen raivaus ja kunnostus	0.24	0.25
Asennus ja kuljetukset	0.49	0.49
Aita	0.02	0.03
Purku ja kuljetukset	0.05	0.05
Sähkönsiirtolinja	0.04	0.06
Yhteensä	26.16	26.19

Taulukko 11. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (tCO_{2e}).

	VE1	VE2
	tCO _{2e}	tCO _{2e}
Aurinkopaneelit	331100	231000
Invertterit	16257	11342
Muuntajat	10498	7324
Tukirakenteet ja kaapelointi	25184	17570
Kytkentärsiat	408	285
Huoltorakennukset	2948	2057
Käyttö ja huolto	18696	13044
Alueen raivaus ja kunnostus	3844	2779
Asennus ja kuljetukset	7804	5445
Aita	360	303
Purku ja kuljetukset	878	613
Sähkösiirtolinja	640	640
Puusto ja maaperän päästöt	176584	127447
Yhteensä	595202	419849

Taulukko 12. Aurinkovoimalan päästöjen jakautuminen, mukana puusto ja maaperän päästöt (gCO_{2e}/kWh).

	VE1	VE2
	gCO _{2e} /kWh	gCO _{2e} /kWh
Aurinkopaneelit	20.69	20.69
Invertterit	1.02	1.02
Muuntajat	0.66	0.66
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.57	1.57
Kytkentärsiat	0.03	0.03
Huoltorakennukset	0.18	0.18
Käyttö ja huolto	1.17	1.17
Alueen raivaus ja kunnostus	0.24	0.25
Asennus ja kuljetukset	0.49	0.49
Aita*	0.02	0.03
Purku ja kuljetukset	0.05	0.05
Sähkösiirtolinja	0.04	0.06
Puusto ja maaperän päästöt**	11.04	11.42
Yhteensä	37.20	37.61

*Jos aita rakennetaan

**Menetetty puuston kasvu, alueelta hakatun ja poistetun puuaineksen mukaan ottaminen kasvattaisi puuston ja maaperän päästöjä 6,3–6,5 gCO_{2e}/kWh

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

	VE1	VE2
	gCO ₂ e/kWh	gCO ₂ e/kWh
Aurinkopaneelit	20.69	20.69
Invertterit	1.02	1.02
Muuntajat	0.66	0.66
Tukirakenteet ja kaapelointi	1.57	1.57
Kytkentärsiat	0.03	0.03
Huoltorakennukset	0.18	0.18
Käyttö ja huolto	1.10	1.10
Alueen raivaus ja kunnostus	0.03	0.03
Asennus ja kuljetukset	0.33	0.33
Aita*	0.02	0.03
Purku ja kuljetukset	0.01	0.01
Sähkönsiirtolinja	0.04	0.06
Puusto ja maaperän päästöt**	11.04	11.42
Yhteensä	36.72	37.13

*Jos aita rakennetaan

**Menetetty puuston kasvu

Aurinkovoimalan alueen päästöt

Aurinkovoimalan alueella päästöjä aiheuttavia toimintoja ovat:

- Puuston hakkuut (harvesterit ja kuormatraktorit)
- Oksien ja juurien (mahdollinen) 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 (mahdollinen)
- Työntekijöiden työmatkat
- Kasvillisuuden niitto
- Paneelien pesu/huolto
- Elinkaaren lopun purkutyöt ja kuljetukset

Lisäksi maankäytön muutoksista johtuen maaperän kasvihuonekaasupäästöt mahdollisesti kasvavat alueella.

Taulukoissa 14 ja 15 on esitetty vaihtoehtojen VE1 ja VE2 aluepäästöt. Taulukoissa 16 ja 17 on esitetty vaihtoehtojen VE1 ja VE2 päästöt, kun työkoneissa ja kuljetuksissa käytetty polttoaine on uusiutuvaa biodieseliä. Kuvissa 4 ja 5 on esitetty aurinkovoimalan alueen toiminnoista syntyneet päästöt VE1:lle, kun dieselpolttoaine on joko fossiilista (Diesel B7 = 7 % uusiutuvaa sekoitettuna) tai 100-% uusiutuvaa dieseliä (Neste My).

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 122 tuhatta kilometriä.^{32,33,34} Kilometrikohtaiseksi päästökäytettiin Ulvilan kaupungin henkilöautokannan päästöjä vuonna 2019.³⁵ Voimala-alueen työmatkaliikenne on noin 0,05 promillea voimalan kaikista päästöistä.

³² Päiviö Olli, Topi Vilenius ajaa jo kolmatta Kobelcoaan, Konepörssi, 2015.

³³ Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen, esitutkimus, Metsäteho Oy, 2003.

³⁴ Kärhä Kalle, Mutikainen Arto, Hautala Antti, Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa, Metsäteho, 2010.

³⁵ Hiilijalanjälki- ja kulutusraportti, Ulvilan kulutusperäiset päästöt, Cleanfi Oy, 2021.

Taulukko 14. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella. VE1

			VE1		
			Scope 1	Scope 2	Yhteensä
		L, MWh	tCO2e	tCO2e	tCO2e
Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)	Diesel B7	113705	308	94	402
Haketus (kannot oksat)	Diesel B7	91806	249	76	324
Hakatus puuston kuljetus	Diesel B7	15118	41	12	53
Alueen maansiirto- ja tietyöt	Diesel B7	974378	2638	804	3442
Asennus, tukirakenteet	Diesel B7	159565	432	132	564
Asennus, kaapelointi ynm	Diesel B7	358100	970	295	1265
Asennus, aurinkopaneelit	Diesel B7	40936	111	34	145
Asennus, aurinkopaneelit ja kaapelointi	Verkkosähkö	68	0	7	7
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	Diesel B7	219	0.6	0.2	0.8
Paneelien kuljetukset	Diesel B7	1704	4.6	1.4	6.0
Muuntajien kuljetus	Diesel B7	237	0.6	0.2	0.8
Invertterien kuljetus	Diesel B7	162	0.4	0.1	0.6
Teräs ynm kuljetukset	Diesel B7	1725	4.7	1.4	6.1
Aidan kuljetus	Diesel B7	45	0.1	0.0	0.2
Työmatkat	* (ks. alla)		21	7	28
Kasvillisuuden niitto	Diesel B7	163239	442	135	577
Paneelien pesu	Diesel B7	185841	503	153	657
Purku ja kuljetus	Diesel B7	248534	673	205	878
Yhteensä (fossiiliset päästöt)			6399	1958	8357
Maaperän lisääntyneet päästöt					25064
Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen**					0
Yhteensä (maaperän päästöt)					25064
Yhteensä					33420

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

** Jos hake käytetään energiaksi, lukema on nolla.

Taulukko 15. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella. VE2

			VE2		
			Scope 1	Scope 2	Yhteensä
		L, MWh	tCO2e	tCO2e	tCO2e
Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)	Diesel B7	82195	223	68	290
Haketus (kannot oksat)	Diesel B7	66365	180	55	234
Hakatun puuston kuljetus	Diesel B7	10928	30	9	39
Alueen maansiirto- ja tietyöt	Diesel B7	704358	1907	581	2488
Asennus, tukirakenteet	Diesel B7	111325	301	92	393
Asennus, kaapelointi ynm	Diesel B7	249837	677	206	883
Asennus, aurinkopaneelit	Diesel B7	28560	77	24	101
Asennus, aurinkopaneelit ja kaapelointi	Verkkosähkö	48	0	5	5
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	Diesel B7	153	0.4	0.1	0.5
Paneelien kuljetukset	Diesel B7	1189	3.2	1.0	4.2
Muuntajien kuljetus	Diesel B7	165	0.4	0.1	0.6
Invertterien kuljetus	Diesel B7	113	0.3	0.1	0.4
Teräs ynm kuljetukset	Diesel B7	1204	3.3	1.0	4.3
Aidan kuljetus	Diesel B7	38	0.1	0.0	0.1
Työmatkat	* (ks. alla)		16	6	22
Kasvillisuuden niitto	Diesel B7	113888	308	94	402
Paneelien pesu	Diesel B7	129656	351	107	458
Purku ja kuljetus	Diesel B7	173610	470	143	613
Yhteensä (fossiiliset päästöt)			4548	1392	5940
Maaperän lisääntyneet päästöt					17915
Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen**					0
Yhteensä (maaperän päästöt)					17915
Yhteensä					23855

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

** Jos hake käytetään energiaksi, lukema on nolla.

Taulukko 15. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella, kun työkoneissa ja kuljetuksissa käytetty polttoaine on uusiutuvaa biodieseliä. VE1

		L, MWh	VE1		
			Scope 1 tCO ₂ e	Scope 2 tCO ₂ e	Yhteensä tCO ₂ e
Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)	HVO biodiesel	118985	5	50	55
Haketus (kannot oksat)	HVO biodiesel	96069	4	40	44
Hakatus puuston kuljetus	HVO biodiesel	15118	1	7	7
Alueen maansiirto- ja tietyöt	HVO biodiesel	1019621	43	427	470
Asennus, tukirakenteet	HVO biodiesel	166974	7	70	77
Asennus, kaapelointi ynm	HVO biodiesel	374727	16	157	173
Asennus, aurinkopaneelit	HVO biodiesel	42837	2	18	20
Asennus, aurinkopaneelit ja kaapelointi	Verkkosähkö	68	0	7	7
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	HVO biodiesel	229	0.0	0.1	0.1
Paneelien kuljetukset	HVO biodiesel	1783	0.1	0.7	0.8
Muuntajien kuljetus	HVO biodiesel	248	0.0	0.1	0.1
Invertterien kuljetus	HVO biodiesel	177	0.0	0.1	0.1
Teräs ynm kuljetukset	HVO biodiesel	1805	0.1	0.8	0.8
Aidan kuljetus	HVO biodiesel	47	0.0	0.0	0.0
Työmatkat	* (ks. alla)		21	7	28
Kasvillisuuden niitto	HVO biodiesel	170819	7	71	79
Paneelien pesu	HVO biodiesel	194470	8	81	90
Purku ja kuljetus	HVO biodiesel	251355	11	105	116
Yhteensä (fossiiliset päästöt)			126	1042	1168
Maaperän lisääntyneet päästöt					25064
Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen**					0
Yhteensä (maaperän päästöt)					25064
Yhteensä					26232

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

** Jos hake käytetään energiaksi, lukema on nolla.

Taulukko 16. Aurinkovoimalan päästöt voimala-alueella, kun työkoneissa ja kuljetuksissa käytetty polttoaine on uusiutuvaa biodieseliä. VE2

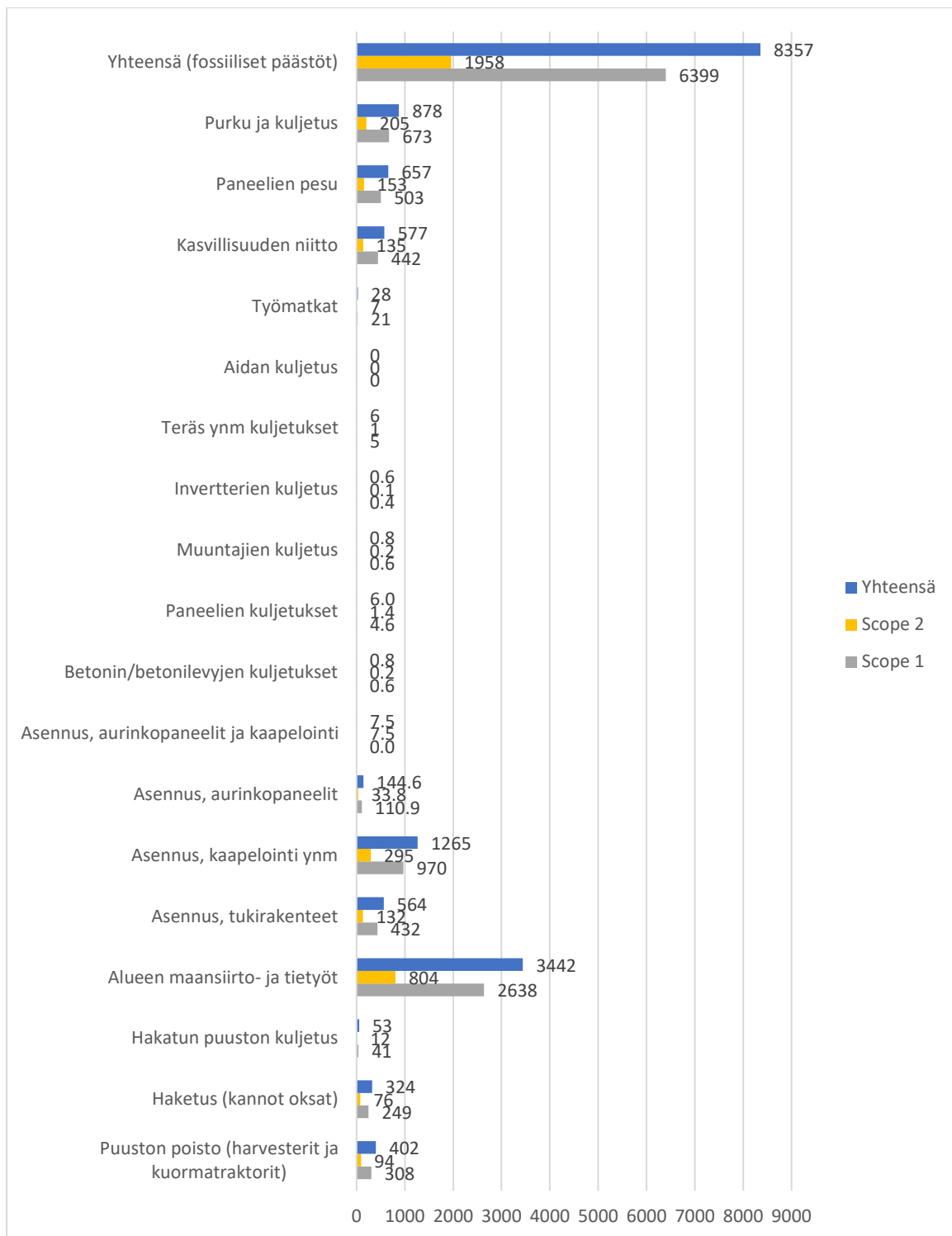
		L, MWh	VE2		
			Scope 1 tCO ₂ e	Scope 2 tCO ₂ e	Yhteensä tCO ₂ e
Puuston poisto (harvesterit ja kuormatraktorit)	HVO biodiesel	86012	4	36	40
Haketus (kannot oksat)	HVO biodiesel	69446	3	29	32
Hakatus puuston kuljetus	HVO biodiesel	10928	0	5	5
Alueen maansiirto- ja tietyöt	HVO biodiesel	737063	31	308	340
Asennus, tukirakenteet	HVO biodiesel	116494	5	49	54
Asennus, kaapelointi ynm	HVO biodiesel	261437	11	109	121
Asennus, aurinkopaneelit	HVO biodiesel	29886	1	13	14
Asennus, aurinkopaneelit ja kaapelointi	Verkkosähkö	48	0	5	5
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	HVO biodiesel	160	0.0	0.1	0.1
Paneelien kuljetukset	HVO biodiesel	1244	0.1	0.5	0.6
Muuntajien kuljetus	HVO biodiesel	173	0.0	0.1	0.1
Invertterien kuljetus	HVO biodiesel	124	0.0	0.0	0.1
Teräs ynm kuljetukset	HVO biodiesel	1260	0.1	0.5	0.6
Aidan kuljetus	HVO biodiesel	40	0.0	0.0	0.0
Työmatkat	* (ks. alla)		16	6	22
Kasvillisuuden niitto	HVO biodiesel	119176	5	50	55
Paneelien pesu	HVO biodiesel	135677	6	57	63
Purku ja kuljetus	HVO biodiesel	175579	7	73	81
Yhteensä (fossiiliset päästöt)			91	741	832
Maaperän lisääntyneet päästöt					17915
Haketettujen kantojen, juurien ja oksien hajoaminen**					0
Yhteensä (maaperän päästöt)					17915
Yhteensä					18747

Scope 1 = Suorat polton (pakoputken) päästöt

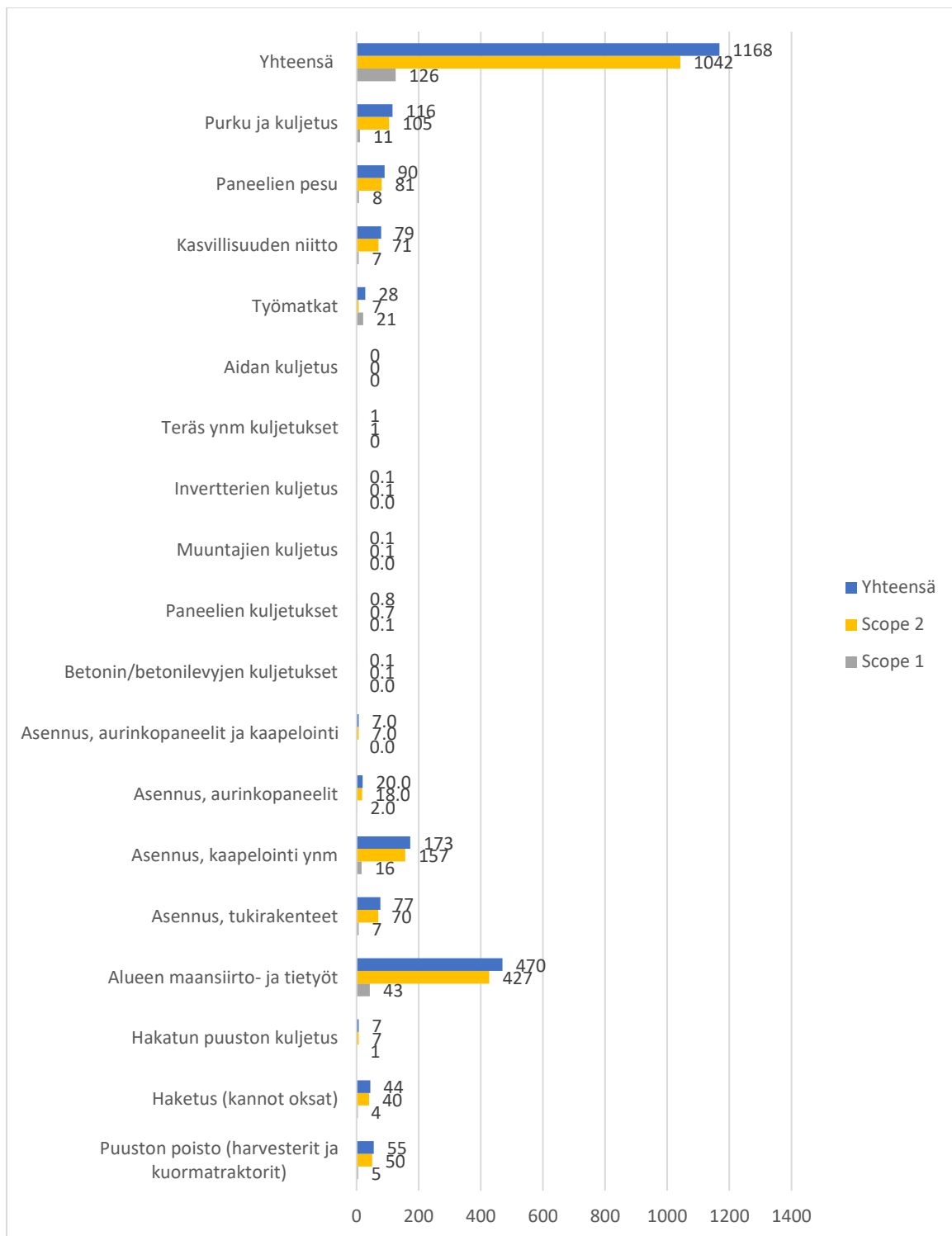
Scope 2 = Polttoaineen jalostuksesta tai sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt

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

** Jos hake käytetään energiaksi, lukema on nolla.



Kuva 4. Aurinkovoimalan (VE1) alueen toiminnoista syntyneet päästöt (tCO₂e), kun dieselpolttoaine on fossiilista (Diesel B7 = 7 % uusiutuvaa sekoitettuna). Taulukosta 14.



Kuva 5. Aurinkovoimalan (VE1) alueen toiminnoista syntyneet päästöt (tCO₂e), kun dieselpolttoaine on uusiutuvaa biodieseliä (Neste My). Taulukosta 16.

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. Sähköverroiksi on otettu Suomessa vuonna 2021 käytetty sähkö. Päästövertailu verrokkien kesken kullekin vaihtoehdolle (VE1, VE2) on esitetty taulukossa 2.

Suomen sähkö 2021, hyödynjakomenetelmä

Suomessa vuonna käytetyn sähkön elinkaaren päästöt määritettiin laskemalla Suomessa tuotetun sähkön päästökerroin ja ottamalla huomioon myös eri maista ja maihin tuotu/viety sähkö.^{36,37,38} Puun, maakaasun, kivihiilen, turpeen ja jätteen polton osalta määritettiin kullekin polttoaineelle yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon osuudet. Päästöjen kohdentamisessa sähkölle ja lämmölle käytettiin hyödynjakomenetelmää.³⁹ 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 2021 oli 99,8 gCO₂e/kWh. Suomessa käytetyn sähkön päästökerroin vuonna 2021 oli 109,6 gCO₂e/kWh.

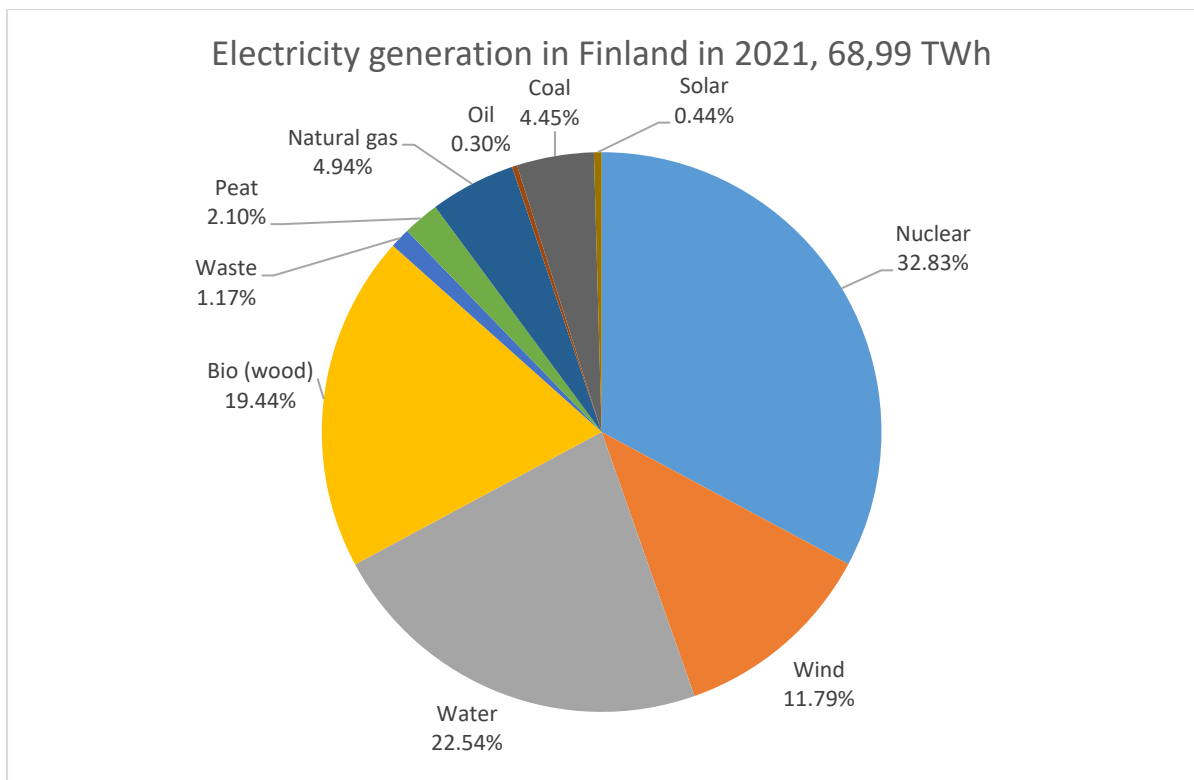
Suomen sähköntuotannon päästöt tulevat aurinkovoimalan elinkaaren eli 40 vuoden aikana tippumaan pitkälti lisääntyvän aurinko- ja tuulisähkön tuotannon ansiosta. Olisi mahdollista tehdä ennuste Suomen tulevien vuosien sähköntuotannosta ja sen hiilijalanjäljestä, mutta lopulta aurinkosähkön vertailukohta olisi enenevässä määrin uusiutuva sähköntuotanto eli esimerkiksi aurinkosähkö. Tällaista vertailua ei katsottu olevan mielekäästä tehdä.

³⁶ Sähkön hankinta energialähteittäin 2007–2021, Energiateollisuus, 2022.

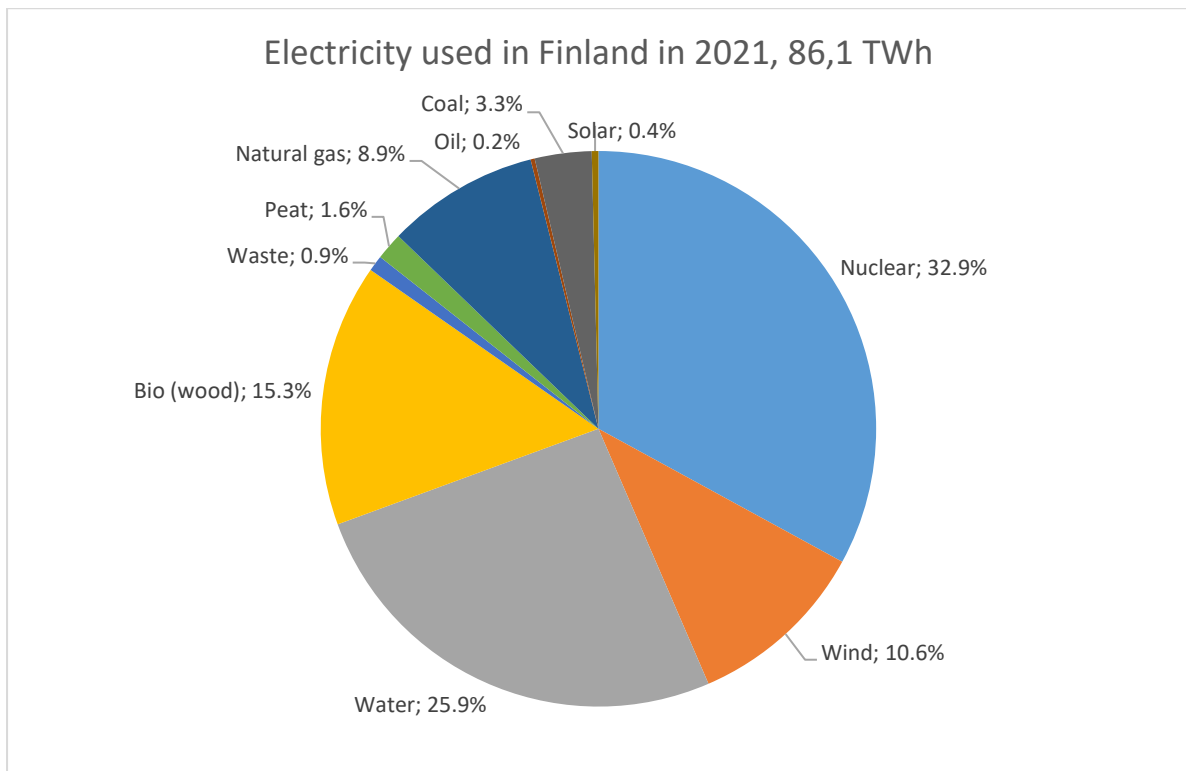
³⁷ Statistics Estonia, <https://andmed.stat.ee/en/stat>.

³⁸ Electricity production (net production) by type of power from 1970, TWh, Statistikdatabas, Energimyndigheten.

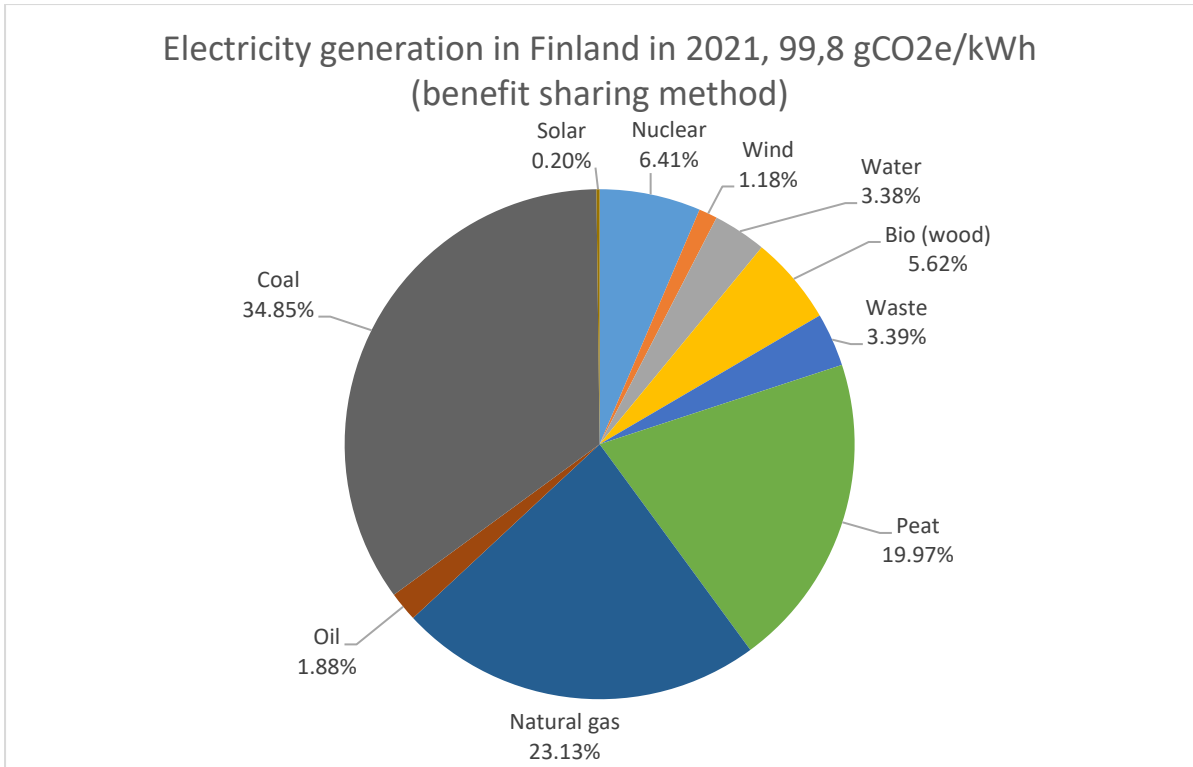
³⁹ Hyödynjakomenetelmä (Benefit sharing method), Motiva, http://www.motiva.fi/files/6820/Kuvaus_hyodynjako-menetelmasta.pdf



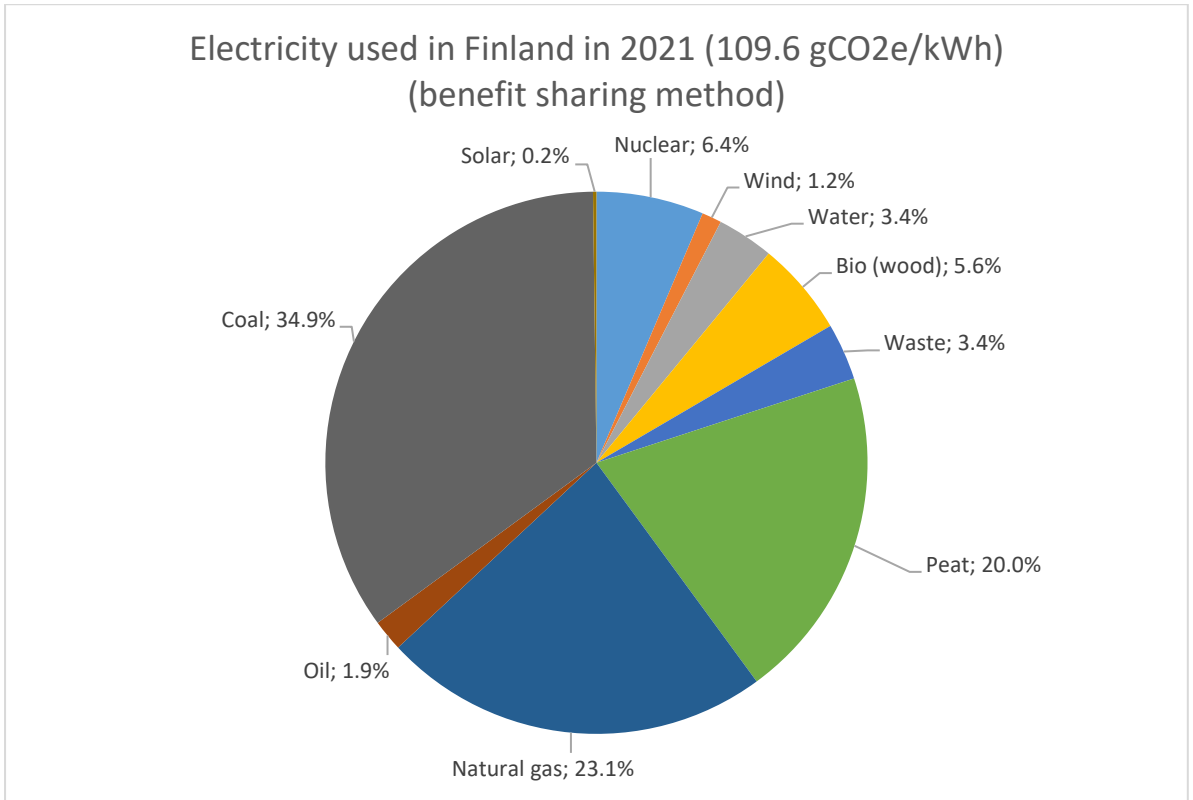
Kuva 6. Suomen sähköntuotanto 2021.



Kuva 7. Suomessa käytetty sähkö 2021, mukana myös vienti ja tuonti.



Kuva 8. Suomessa tuotetun sähkön päästöjen jakautuminen 2021.



Kuva 9. Suomessa käytetyn sähkön päästöjen jakautuminen 2021.

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.⁴⁰ Vuonna 2021 jäännösjakauman mukainen virallinen päästökerroin oli 234,9 gCO₂e/kWh.

Jäännösjakauman 2021 mukainen sähkö koko elinkaaren osalta

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

Energiaviraston 2022 päästökertoimen mukainen sähkö

Energiavirasto ilmoittaa harvakseltaan Suomen sähköntuotannon päästökeroimen. ”Sähköntuotannon päästökerroin on Tilastokeskuksen tilastosta johdettu kerroin, joka kuvaa Suomessa tuotetun sähkön keskimääräisiä päästöjä. Kerroin on johdettu kestävyyslain ja liikennepolttoaineiden päästöjen vähentämistä koskevan lain vaatimuksia varten. Sähköntuotannon päästökerointa käytetään kestävyyslain mukaisesti biopolttoaineiden ja bionesteiden elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa, sekä liikennepolttoaineiden päästöjen vähentämistä koskevan lain mukaisesti liikenteessä jaellun sähkön päästökertoimenä.” Voimassa oleva päästökerroin vuodelta 2022 on 84 gCO₂e/kWh.

Hiiliteräksen tekeminen

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

Laskennassa on käytetty terästonniin tarvittavan sähkön määräksi 3,2 MWh.⁴¹ Perinteisellä hiili-intensiivisellä prosessilla teräksen päästöt ovat 1,85 tCO₂e/tonni.⁴² Vuonna 2021 SSAB:n Raahen terästehtaan tuotanto oli 3,4 miljoonaa tonnia.⁴³ Raahessa hiilivapaan teräksen tekemiseen tarvitaan vuosittain yli 10 TWh puhdasta sähköä – 25 Harjunpään VE1-aurinkovoimalan tuotannon verran.

⁴⁰ Jäännösjakauma vuoden 2021 osalta, Energiavirasto, 2022.

⁴¹ 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.

⁴² The World Steel Association (worldsteel), www.worldsteel.org, 2022.

⁴³ SSAB:n Raahen tehtaan ympäristövuosi 2021, SSAB, 2022.

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),^{44,45,46,47,48} on bensiinilitran elinkaaren päästökerroin 3072 gCO₂e. Bensiinikilowattituntia kohti päästökerroin on 340 gCO₂e, mikä on lähes kymmenen kertaa suurempi kuin aurinkosähkön päästökerroin. Yhdistettynä sähköauton paljon pienempään energiankulutukseen aurinkosähköllä ajamalla päästään yli 96 % bensiiniautoa pienempiin päästöihin.

Maakaasu öljynjalostuksen vedyntuotannossa

Suomessa teollisuudessa vedyntuotantoon käytetyn maakaasun korvaaminen uusiutuvalla sähköllä tuotetulla vedyllä on järkevyydellään ensimmäisiä aurinkosähkön käyttökohteita. Käyttökohde on valmiina olemassa. Harjunpään alueen aurinkovoimalan (VE1) sähkö korvaisi 6 % fossiilisen vedyn tuotannosta Nesteen Porvoon jalostamolla. Maakaasu- ja aurinkosähkövedyn merkittävät parametrit ovat:^{49,50}

- Vety maakaasusta:
 - 48 kWh maakaasua/kgH₂
 - 230 gCO₂e/kWh maakaasua
- Vety aurinkosähköstä:
 - 53 kWh sähköä/kgH₂
 - 37,2 gCO₂e/kWh aurinkosähköä

⁴⁴ Jacobs Consultancy, Life cycle assessment comparison of North American and imported crudes, July, Jacobs Consultancy, Chicago, Illinois, 2009.

⁴⁵ European Commission, Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas, October, Interim Report, European Commission, 2014.

⁴⁶ 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.

⁴⁷ Hammerschlag Roel, Ethanol's energy return on investment: a survey of the literature 1990-present, Environmental Science & Technology, Vol. 40, 1744–1750, 2006.

⁴⁸ 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.

⁴⁹ Hytönen Linda, Vetylaitoksen tuotannon energiataseen ja energiahäviöiden seurannan kehittäminen, Energiatekniikka/Prosessi- ja automaatiotekniikka, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, 2013.

⁵⁰ Blain Loz, Record-breaking hydrogen electrolyzer claims 95% efficiency, 16.3.2022, <https://newatlas.com/energy/hysata-efficient-hydrogen-electrolysis>

Kiinalaisten akkukennostojen valmistus

Akkukennostojen valmistus on sähköintensiivinen prosessi. Yhden kilowattitunnin akkukennoston valmistus kuluttaa sähköä 57,5 kWh.⁵¹ Akkukennostojen valmistus tapahtuu pitkälti Kiinassa ja Etelä-Koreassa, joiden sähkön päästökerroin on suuri – Kiinassa 666 gCO₂e/kWh. Kotkaan on suunnitteilla kiinalaisomisteinen akkukennostotehdas, joka valmistaisi akkukennostoja vuosittain miljoonan sähköauton tarpeisiin.⁵² Tehtaan kapasiteetti olisi 50–60 GWh akkukennostoja. Harjunpään alueen aurinkovoimalan tuottama aurinkosähkö kattaisi noin 10 % akkukennostotehtaan sähköntarpeesta.

Päästöjen vähentämismahdollisuudet

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

Suuremmassa voimalavaihtoehdossa (VE1) kaikessa dieselin käytössä uusiutuvaan dieseliin vaihtaminen koko elinkaaren ajaksi toisi 7,6 ktCO₂e vähennyksen kasvihuonekaasupäästöihin, mikä vastaa 1,3 % päästövähennemää voimalan päästöissä (0,48 gCO₂e/kWh pienemmät päästöt). Voimalan huoltotöissä, kuljetuksissa ja tulevaisuuden asennustöissä tullaan todennäköisesti käyttämään enenevässä määrin sähkökäyttöisiä kulkuneuvoja ja työkoneita, mikä tarkoittaa päästöjen alenemista.

Mikäli arvokkaampia alueita jätetään metsäisiksi, niiden hiilivarasto säilyy ja kasvaa ja myös alueen maaperä saattaa pysyä hiiltä sitovana. Joidenkin soisten alueiden ennallistaminen tekisi niistä myös hiiltä sitovia. Aurinkopaneelien varjostus saattaa lisätä rakkasammaleen 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.

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

⁵¹ Kurland Simon Davidsson, Energy use for GWh-scale lithium-ion battery production, Environ. Res. Commun. 2, 2020.

⁵² Sajari Petri, Kiinalainen Svolt suunnittelee Suomeen neljän miljardin euron investointia – työllistäisi yli 3000 henkeä, Helsingin Sanomat, 24.10.2023.

Aurinkopaneelien ja aurinkovoimalan päästöt on laskettu vertaisarvioitujen tiedeartikkelien tietojen perusteella ja tulokset ovat hyvin yhteneviä aurinkosähkölle julkaistujen päästötietojen kanssa. Aurinkopaneelien valmistuksen päästöt ovat pienentyneet aikaisemmin vauhdilla ja kehityksen oletetaan jatkuvan.

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

Maankäytön muutosten aiheuttamat päästöt koostuvat 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. Alueelta poistettava puuainees menee teollisuuden ja energialaitosten tarpeisiin, joten hiilivaraston menetys kohdennetaan käyttäjille. Maaperän päästöjen määrittämisessä on enemmän epävarmuuksia, mutta päästöt on pyritty arvioimaan parhaan tiedon mukaan.

Vaikutukset paikalliseen ilmanlaatuun

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

Rakentamisvaiheessa metsäkoneet, rekkakuljetukset, työkoneet ja työmatkaliikenne aiheuttavat päästöjä.

Vaikutusten tunnistaminen ja vaikutusalue

Arvioitavat ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät ovat:

- Hiilimonoksidipäästöt (CO)
- Hiilivetyypäästöt (HC)
- Typen oksidien päästöt (NO_x)
- Pienhiukkaspäästöt
- Metaanipäästöt
- Typpioksiduulipäästöt (N₂O)
- Rikkidioksidipäästöt (SO₂)

Hiilimonoksidipäästöt (CO)

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

Hiilivetyypäästöt (HC)

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

Typen oksidien päästöt (NO_x)

Polttoaineen palaessa osa polttoaineen sisältämästä ja ilman tuestä hapettuu ja syntyy typen oksideja. Niiden syntyyn voidaan vaikuttaa esimerkiksi säätämällä palamislämpötilaa. NO_x-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 määrää. 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 25-kertainen hiilidioksidigrammaan verrattuna. Metaanipäästöt aiheuttavat myös haitallista alailmakehän otsonin muodostumista.

Typpioksiduulipäästöt (N₂O)

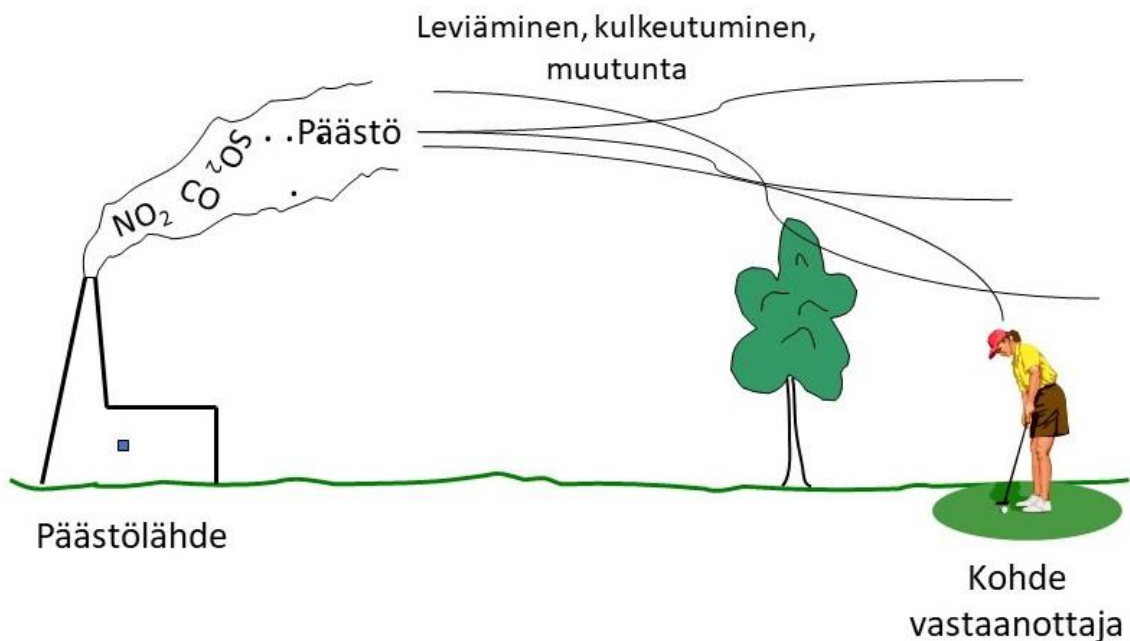
Typpioksiduuli eli N₂O on yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasuista. Gramma typpioksiduulia ilmakehässä aiheuttaa noin 300 kertaa voimakkaamman kasvihuonekaasuvaikutuksen kuin gramma hiilidioksidia. Typpioksiduuli aiheuttaa myös otsonikatoa.

Rikkidioksidipäästöt (SO₂)

Polttoaineet sisältävät rikkiä vaihtelevia määriä ja palamisprosesseissa rikki muuttuu rikkidioksidiksi (SO₂). Rikkidioksidi reagoi ilmakehässä rikkihapoksi ja happamoittaa sadevesiä. Rikkidioksidi voi myös reagoida pienhiukkasten kanssa ja päätyä pois ilmakehästä

kuivalaskeumana. Rikkidioksidipäästöt aiheuttavat ennenaikaisia kuolemia ja sairauksia sekä vaikuttavat haitallisesti materiaaleihin ja kasvistoon.

Siinä missä kasvihuonekaasupäästöjen vaikutus on globaali, monien aineiden päästöjen vaikutukset ovat paikallisempia. Vaikutukset eivät kuitenkaan rajoitu voimala-alueelle. Ilmapäästöt leviävät ilmavirtausten mukana ajan ja etäisyyden myötä laimentuen. Ilmakehässä molekyyleille voi tapahtua 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, muutunutta ja laskeuma.⁵³

Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

Aiemmin on käsitelty aurinkovoimalan alueen eri toimintojen polttoaineen kulutukseen vaikuttavia tekijöitä. VTT:n Lipasto-tietokannan yksikköpäästöjä käytettiin päästöjen arviointiin.⁵⁴ Taulukossa 17 on VTT:n Lipasto-tietokannan yksikköpäästöjä.

⁵³ Ruuskanen Juhani, päästöjen ympäristövaikutukset, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

⁵⁴ Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä Lipasto, VTT.

Taulukko 18. 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
Ajoruhonleikkurit, diesel	Diesel B7	19.66	8.72	32.20	3.48	0.15	0.04	0.01

Päästöt arvioitiin koko 50 vuoden elinkaaren ajalle. Vertailun vuoksi arvioitiin myös Ulvilan kaupungin asukkaiden henkilöliikenteen päästöt yhden vuoden ajalta.⁵⁵

Nykytila

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

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, NOx, SO2, VOC, BaP, CO2 ja CH4. Karttapalvelun mukaan alueen päästöt ovat vähäisiä.

Vaikutusten arviointi ja merkittävyys

Liitteessä III on esitetty voimala-alueen ilmapäästöt.

Haitallisten vaikutusten vähentäminen

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

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

⁵⁵ Klemola Kimmo, Ulvila, kulutusperäiset päästöt 2019, Cleanfi Oy, 2021.

Arvioinnin epävarmuustekijät

Jonkin verran epävarmuuksia on 40 vuoden elinkaaren polttoaineiden kulutuksen arvioimisessa. Todennäköisesti liikenteen ja työkoneiden sähköistyminen tarkoittaa, että esimerkiksi kunnossapidon ja huollon työkoneiden ja kuljetusten polttoaineenkulutukset on 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 2060-luvulla tapahtuviin päästöihin.

Liite I (1): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Aurinkosähköjärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO2e	tCO2e
Aurinkosähkökennot (yksikiteinen pii)	198279	138334
Alumiiniseos (AlMg3)	59217	41314
Aurinkolasi	27586	19246
Sähkö (keskijännite)	9163	6392
Eteenivinyyliasetaatti (EVA)	7510	5240
Polyvinyylifluori (PVF)	5330	3718
Karkaistu lasi	4343	3030
Lasikuituvahvistettu muovi	4231	2952
Aurinkosähköpaneelien valmistus	3200	2232
Polyeteenitereftalaatti (PET)	2951	2059
Muovijäämät	2367	1652
Kupari	2267	1582
Aaltopahvilaatikko	1882	1313
Piituote	1005	701
Polyvinyylifluoridi (PVF) -jäämät	645	450
Lämpö (maakaasu)	453	316
Kuparilanka	215	150
Juotos (kadmiumiton)	137	96
Propanoli	126	88
Asetoni	84	58
Vesi	59	41
Jätevesi	30	21
Voiteluöljy	6	4
Nikkeli	6	4
Mineraaliöljyjäämät	5	4
Metanoli	4	2
Yhteensä	331100	231000

Taulukko. Invertterien kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO2e	tCO2e
Invertterit	16257	11342
Yhteensä	16257	11342

Liite I (2): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Muuntajien kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO ₂ e	tCO ₂ e
Muuntajat	6560	4577
Muuntajat 2	3938	2748
Yhteensä	10498	7324

Taulukko. Tukirakenteisiin ja kaapelointiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO ₂ e	tCO ₂ e
Kupari	10536	7351
Betoniteräs	4438	3097
Niukkaseosteinen teräs	4188	2922
Kuparilanka	1869	1304
Polyvinyylikloridi (PVC)	1827	1275
Betoni	1024	714
Sinkki	733	512
Alumiinin tuotanto	390	272
Alumiini	177	124
Yhteensä	25184	17570

Liite I (3): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Kytkentärasioihin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO2e	tCO2e
Polyeteeni	223.68	156.06
Polyeteenin jäämät	68.40	47.72
Kupari	44.71	31.19
Nylon	19.85	13.85
Polyvinyylikloridi (PVC)	15.86	11.07
Teräs	14.54	10.14
Sähköjohtojen jäämät	9.33	6.51
Kuparilanka	4.25	2.97
Kupariromu	3.55	2.48
Messinki	1.24	0.87
Sinkki	1.14	0.80
Polyvinyylikloridi (PVC) -jäämät	1.06	0.74
Polykarbonaatti	0.16	0.11
Epoksihartsi	0.08	0.05
Teräsromu	0.08	0.05
Yhteensä	408	285

Liite I (4): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Huoltorakennusten kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO2e	tCO2e
Ikkunan kehykset, alumiinia	1730.86	1207.58
Tiilet	437.23	305.05
Keraaminen tiili	390.37	272.35
Alumiiniromu	97.77	68.21
Pinnoitettu lasi	82.03	57.23
Tuuletin + lämmönvaihdinyksikkö	60.75	42.39
Betoni	53.19	37.11
Puiset ovet	34.34	23.96
Keramiikka	21.36	14.90
Betonijäämät	16.74	11.68
Kipsilevy	7.39	5.15
Alkydimaali	6.25	4.36
Muut tähdemateriaalit	3.19	2.22
Diesel	2.85	1.99
Lasijäämät	1.40	0.98
Vesi	0.70	0.49
Seinämaalijäämät	0.67	0.47
Jätevesi	0.60	0.42
Sähkö (pienjännite)	0.47	0.33
Kipsilevyn jäämät	0.21	0.14
Yhteensä	2948	2057

Taulukko. Käyttöön, korjauksiin ja huoltoon liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO2e	tCO2e
Vaihto: paneelit	6613	4614
Vaihto: Invertterit	10850	7570
Kasvillisuuden niitto	577	402
Paneelien pesu	657	458
Yhteensä	18696	13044

Liite I (5): Aurinkosähkövoimalan päästöjen muodostuminen

Taulukko. Asennuksiin ja kuljetuksiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO2e	tCO2e
Asennus, tukirakenteet	564	393
Asennus, kaapelointi ynm	1265	883
Asennus, aurinkopaneelit	152	106
Betonikuljetukset	26	18
Paneelien kuljetukset	5246	3660
Muuntajien kuljetus	204	142
Invertterien kuljetus	139	97
Teräs ynm kuljetukset	203	142
Aidan kuljetus	5	4
Yhteensä	7804	5445

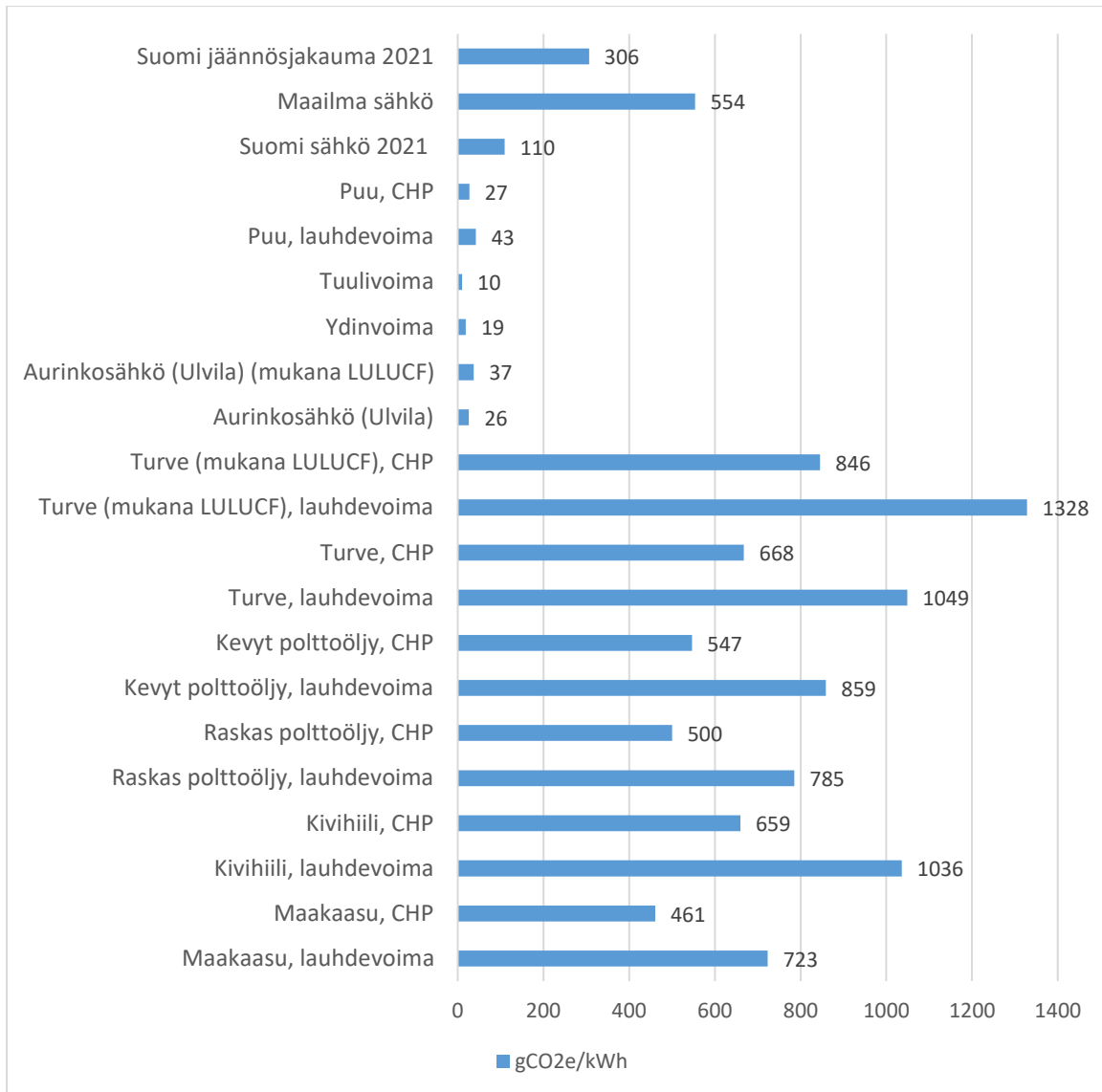
Taulukko. Purku ja kuljetus, kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO2e	tCO2e
Purku, tukirakenteet	113	79
Purku, kaapelointi ynm	253	177
Purku, aurinkopaneelit	29	20
Purku, sähkö	1	1
Betonikuljetukset	26	18
Paneelien kuljetukset	201	140
Muuntajien kuljetus	28	19
Invertterien kuljetus	19	13
Teräs ynm kuljetukset	203	142
Aidan kuljetus	5	4
Yhteensä	878	613

Taulukko. Aita (mahdollinen) ja siirtolinja, kasvihuonekaasupäästöt.

	VE1	VE2
	tCO2e	tCO2e
Aita	360	303
Siirtolinja	640	640
Yhteensä	1000	943

Liite II: Sähkön tuotannon päästökertoimia



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

Liite III (1): Voimala-alueen ilmapäästöt koko 40 vuoden elinkaaren ajalta (VE1)

			VE1						
			CO	HC	NOx	PM	CH4	N2O	SO2
		L	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Puuston poisto (harvesterit)	Diesel B7	75601	431.22	54.77	298.55	6.23	11.64	3.21	0.61
Puuston poisto (kuormatraktorit)	Diesel B7	38104	299.82	35.71	227.24	7.45	5.83	1.59	0.31
Haketus (kannot oksat)	Diesel B7	91806	1589.56	505.72	2306.11	197.04	14.14	3.97	0.74
Hakatus puuston kuljetus	Diesel B7	15118	5.32	0.88	10.09	0.15	0.03	0.93	0.12
Alueen maansiirto- ja tietyöt	Diesel B7	974378	13055.54	2277.79	13055.23	603.40	155.55	41.42	7.86
Asennus, tukirakenteet	Diesel B7	159565	1860.25	612.52	3190.59	224.09	23.55	6.46	1.29
Asennus, kaapelointi ynm	Diesel B7	358100	4174.81	1374.64	7160.39	502.91	52.84	14.50	2.89
Asennus, aurinkopaneelit	Diesel B7	40936	477.25	157.14	818.55	57.49	6.04	1.66	0.33
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	Diesel B7	219	0.08	0.01	0.15	0.00	0.00	0.01	0.00
Paneelien kuljetukset	Diesel B7	1704	0.60	0.10	1.14	0.02	0.00	0.10	0.01
Muuntajien kuljetus	Diesel B7	237	0.08	0.01	0.16	0.00	0.00	0.01	0.00
Invertterien kuljetus	Diesel B7	162	0.06	0.01	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00
Teräs ynm kuljetukset	Diesel B7	1725	0.61	0.10	1.15	0.02	0.00	0.11	0.01
Aidan kuljetus	Diesel B7	45	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Työmatkat*	Bensiini	5903	44.97	3.26	7.94	0.12	0.19	0.25	0.07
Työmatkat*	Diesel B7	3178	4.90	0.85	34.74	1.34	0.02	0.34	0.02
Kasvillisuuden niitto*	Diesel B7	163239	3209.39	1422.72	5256.48	567.87	24.00	6.50	1.32
Paneelien pesu*	Diesel B7	185841	2166.57	713.39	3715.99	260.99	27.42	7.53	1.50
Purku ja kuljetukset*	Diesel B7	248534	87.43	14.40	165.92	2.48	0.49	15.27	1.95
Yhteensä		2364395	27408	7174	36251	2432	322	104	19
Ulvilan henkilöliikenne (vuosi 2019)	Bensiini/diesel	7017832	45215	8142	33141	1146	484	445	70

* Ei rajoitu ainoastaan rakennusvaiheeseen

Liite III (2): Voimala-alueen ilmapäästöt koko 40 vuoden elinkaaren ajalta (VE2)

			VE2						
			CO	HC	NOx	PM	CH4	N2O	SO2
		L	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Puuston poisto (harvesterit)	Diesel B7	54650	311.72	39.59	215.81	4.51	8.41	2.32	0.44
Puuston poisto (kuormatraktorit)	Diesel B7	27545	216.74	25.81	164.27	5.39	4.22	1.15	0.22
Haketus (kannot oksat)	Diesel B7	66365	1149.06	365.57	1667.04	142.44	10.22	2.87	0.54
Hakatus puuston kuljetus	Diesel B7	10928	3.84	0.63	7.30	0.11	0.02	0.67	0.09
Alueen maansiirto- ja tietyöt	Diesel B7	704358	9437.58	1646.57	9437.36	436.19	112.44	29.95	5.68
Asennus, tukirakenteet	Diesel B7	111325	1297.85	427.34	2226.00	156.34	16.43	4.51	0.90
Asennus, kaapelointi ynm	Diesel B7	249837	2912.66	959.05	4995.62	350.86	36.87	10.12	2.02
Asennus, aurinkopaneelit	Diesel B7	28560	332.96	109.63	571.08	40.11	4.21	1.16	0.23
Betonin/betonilevyjen kuljetukset	Diesel B7	153	0.05	0.01	0.10	0.00	0.00	0.01	0.00
Paneelien kuljetukset	Diesel B7	1189	0.42	0.07	0.79	0.01	0.00	0.07	0.01
Muuntajien kuljetus	Diesel B7	165	0.06	0.01	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00
Invertterien kuljetus	Diesel B7	113	0.04	0.01	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00
Teräs ynm kuljetukset	Diesel B7	1204	0.42	0.07	0.80	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	4569	34.81	2.52	6.15	0.09	0.14	0.19	0.05
Työmatkat*	Diesel B7	2460	3.79	0.66	26.89	1.03	0.02	0.26	0.02
Kasvillisuuden niitto*	Diesel B7	113888	2239.11	992.60	3667.31	396.19	16.74	4.54	0.92
Paneelien pesu*	Diesel B7	129656	1511.56	497.71	2592.55	182.09	19.13	5.25	1.05
Purku ja kuljetukset*	Diesel B7	173610	61.07	10.06	115.90	1.73	0.35	10.67	1.36
Yhteensä		1680613	19514	5078	25695	1717	229	74	14
Ulvilan henkilöliikenne (vuosi 2019)	Bensiini/diesel	7017832	45215	8142	33141	1146	484	445	70

* Ei rajoitu ainoastaan rakennusvaiheeseen

Liite IV (1): Lähtötietoja, aurinkovoimala

Aurinkovoimala	VE1	VE2
Aurinkovoimala-alueen koko, ml. siirtolinja, ha	657.00	464.00
Aurinko-voimalan kapasiteetti, MWp	430	300
Paneeli, Wp	630	630
Paneelien määrä	682540	476190
Sähkö paneelien asennukseen, MWh	68.25	47.62
Asennustöihin käytetyn sähkön päästökerroin, gCO ₂ e/kWh	109.60	109.60
Betonin määrä, tonnia	3507	2447
Betonilaattojen rekkakuljetuksia, kpl	88	61
Betonilaattojen kuljetusmatka rekalla, km	100	100
Teräs, alumiini, muovi ynm rekkakuljetuksia, kpl	691	482
Teräs, alumiini, muovi ynm rekkakuljetuksen pituus	100	100
Rekan dieselin kulutus täytenä, L/100	50.40	50.40
Rekan dieselin kulutus tyhjänä, L/100	32.80	32.80
Laivarahti Hong Kong - Rotterdam, km	20600	20600
Laivarahti Rotterdam - Hamina, km	2500	2500
Paneelien rekkakuljetuksia, kpl	683	476
Paneelien kuljetusmatka rekalla, km	250	250
Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetuksia, kpl	160	112
Muuntajien ja inverttereiden rekkakuljetusmatka, km	300	300
Muuntajien ja inverttereiden laivarahti, km	1500	1500
Alueelle aitaa, km (jos alue aidattaisiin)	20.13	16.91
Aidan asennukseen dieseliä, L/m	2.06	2.06
Aitarekkakuljetuksia, kpl	23	19
Aitarekka, km/kuljetus	100	100
Paneelien tukirakenteita (30 paneelia), kpl	22751	15873
Tukirakenteiden asennukseen dieseliä, L/tukirakenne	0.23	0.23

Liite IV (2): Lähtötietoja, puusto ja maaperä

Puusto ja maaperä	VE1	VE2
Alueella runkokuu alussa, m ³	81218	58711
Alueella puuston oksistoa alussa, m ³	25178	18200
Alueella puuston juuria ja kantoja alussa, m ³	30294	21899
Metsää kivennäismaalla alussa, ha	356	255
Hakkuuaukeaa kivennäismaalla alussa, ha	26	21
Peltoa kivennäismaalla alussa, ha	28	3
Metsää turvemaalla alussa, ha	199	142
Hakkuuaukeaa turvemaalla alussa, ha	15	12
Peltoa turvemaalla alussa, ha	3	2
Ojitettua avosuota turvemaalla alussa, ha	18	18
Luonnontilaista suota turvemaalla alussa, ha	9	9
Polttoaineen kulutuksia, diesel		
Kobelco-kaivinkone, L/h	15.50	15.50
Harvesteri, L/h	12.20	12.20
Kuormatraktori, L/h	10.50	10.50
Vermeer haketin, L/h	85.00	85.00
Puunkorjuu (harvesteri ja kuormatraktori), L/m ³	1.40	1.40
Perävaunullinen tukkirekka, täysi, L/100 km	108.40	108.40
Perävaunullinen tukkirekka, tyhjä, L/100 km	57.50	57.50
Maansiirtokoneet alueen raivauksessa, L/ha	1635	1635
Henkilötyöpäiviä		
Harvesterit	667	482
Kuormatraktorit	579	418
Haketus (kannot oksat)	135	98
Alueen maansiirto- ja tietyöt	7858	5680
Asennus, tukirakenteet	8532	5952
Asennus, kaapelointi ynm	11376	7937
Asennus, aurinkopaneelit	17063	11905
Kunnossapito	14600	14600