

Niinimäen Tuulivoima Oy

LCA-raportti – Niinimäen tuulivoimahanke

16.1.2025

Tiivistelmä

Tässä raportissa esitetyssä elinkaariarvioinnissa on selvitetty Niinimäen tuulivoimahankkeessa tuotetun sähkön mahdollisia ympäristövaikutuksia. Selvityksen tilaaja oli Niinimäen Tuulivoima Oy (myöhemmin Niinimäen Tuulivoima). Tutkimuksen suoritti Ecobio Oy (myöhemmin Ecobio).

Arviointi kattaa järjestelmän elinkaaren, mukaan lukien tuuliturbiinien rakentamiseen tarvittavien raaka-aineiden ja energian tuotannon ja toimituksen sekä turbiinin osien kuljetuksen Hattulan rakennustyömaalle. Lisäksi tuuliturbiinin käyttövaihe sekä elinkaaren loppu (EoL) sisällytettiin tämän LCA-tutkimuksen laajuuteen.

Tutkimuksen tiedot kerättiin Niinimäen Tuulivoimalta ja Ecobiolla käytössä olevista ympäristötietokannoista. Tutkimus noudatti ISO 14040/44 -standardien vaatimuksia.

Raaka-aineiden hankinta aiheuttaa suurimman osan päästöistä kaikissa tarkastelluissa vaikutusluokissa. Sähkön siirron vaihtoehtoista SVE2 aiheuttaa muita vaihtoehtoja enemmän resurssien kulumista, kun taas SVE1 aiheuttaa eniten ilmastoon liittyviä päästöjä.

Tätä elinkaariarviointia ei ole kriittisesti arvioitu.

Sisällysluettelo

1.	Johdanto.....	4
2.	Tavoitteen ja soveltamisalan määrittely	5
2.1.	Tutkimuksen tavoite	5
2.2.	Tutkimuksen laajuus.....	5
2.2.1.	Tuulivoimalajärjestelmä	5
2.2.2.	Toiminnallinen yksikkö	6
2.2.3.	Järjestelmän rajat ja tutkimusjärjestelmä	6
2.2.4.	Rajoitukset	7
3.	Inventaarioanalyysi (LCI)	8
3.1.	Elinkaarimalli	8
3.1.1.	Raaka-aineiden hankinta	9
3.1.2.	Raaka-aineiden kuljetus komponenttien valmistuspaikalle	13
3.1.3.	Komponenttien valmistus.....	17
3.1.4.	Infrastruktuurin komponenttien kuljetus hankealueelle.....	21
3.1.5.	Tuulivoima-alueen rakentaminen.....	23
3.1.6.	Tuulivoimahankkeen käyttövaihe.....	25
3.1.7.	Elinkaaren loppu / käytöstä poisto (End-of-life, EoL)	27
3.2.	Elinkaari-inventaarioanalyysin tulokset.....	31
4.	Elinkaarivaikutusten arviointi (LCIA)	33
4.1.	Fossiilinen luonnonvarojen käyttö	33
4.1.1.	Tuulivoimalavaihtoehdot.....	33
4.1.2.	Sähkönsiirtoreittivaihtoehdot.....	34
4.2.	Luonnonvarojen käyttö, mineraalit ja metallit	35
4.2.1.	Tuulivoimalavaihtoehdot.....	35
4.2.1.	Sähkönsiirtoreittivaihtoehdot.....	36
4.3.	Ilmastonmuutospotentiaali	38
4.3.1.	Tuulivoimalavaihtoehdot.....	38
4.3.1.	Sähkönsiirtoreittivaihtoehdot.....	39
4.5.	Tulosten jakautuminen GWP-vaikutusluokissa	41
4.5.1.	Tuulivoimalavaihtoehdot.....	41
4.5.1.	Sähkönsiirtoreittivaihtoehdot.....	41
5.	Tulkinta ja yhteenveto.....	44
6.	Lähteet	44
	Liitteet	45
	Liite I: Vestas V172-7.2MW -tuuliturbiinin käyttöiän lopun mallintamiseen käytetty aineisto	45

Lyhenteet

YVA	Ympäristövaikutusten arviointi
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EoL	Käyttöiän loppu (End-of-Life)
FU	Toiminnallinen yksikkö (Functional Unit)
GWP	Ilmastonlämpenemispotentiaali (Global Warming Potential)
ISO	Kansainvälinen standardointijärjestö (International Organization for Standardization)
YTK	Yhteinen tutkimuskeskus (Joint Research Centre)
LCA	Elinkaariarviointi
LCI	Elinkaari-inventaario
LCIA	Elinkaarivaikutusten arviointi
LULUC	Maankäyttö ja maankäytön muutos
kgkm	kilogrammakilometri, kuljetusyksikkö (1 kg x 1 km)
kpl	kappaletta (käytetään yksikkönä)
tkm	tonnikilometri, kuljetusyksikkö (1 ton x 1 km)

1. Johdanto

Tässä raportissa esitetyssä elinkaariarvioinnissa on selvitetty Niinimäen tuulivoimahankkeessa tuotetun sähkön mahdollisia ympäristövaikutuksia. Elinkaariarvioinnin järjestelmärajaksi asetettiin alkutuotannosta elinkaaren loppuun.

Tutkimuksen tiedot kerättiin tutkimuksen tilaajalta ja tutkimuksen tekijällä saatavissa olevista tietokannoista. Tutkimuksessa noudatettiin ISO 14040/44 -standardisarjaa.

Arvioinnin tarkoituksena oli vastata Niinimäen Tuulivoiman tarpeeseen saada kattavampaa ymmärrystä tuulivoimalan sähköntuotantoon liittyvistä ympäristövaikutuksista, erityisesti resurssien kulutuksen ja ilmastonmuutoksen vaikutusluokkien osalta. LCA-tutkimus esitetään yhdessä ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA-menettely) kanssa.

Tutkimuksesta ei tehty kolmannen osapuolen kriittistä arviointia, joten tämän elinkaariarvioinnin perusteella ei tule tehdä vertailuväitteitä.

Tilaaaja: Niinimäen Tuulivoima Oy

Tutkimuksen tekijät: Ecobio Oy, info@ecobio.fi
Anna Pietilä, anna.pietila@ecobio.fi
Minttu Valjakka, minttu.valjakka@ecobio.fi

Elinkaariarviointi valmistui 2025-01-16.

2. Tavoitteen ja soveltamisalan määrittely

2.1. Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on arvioida Niinimäen tuulivoima-alueella tuotetun sähkön ympäristövaikutuksia. Lisäksi tavoitteena on selvittää, miten ne jakautuvat kappaleen 2.2.3 mukaisesti jaotelluissa elinkaaren vaiheissa.

2.2. Tutkimuksen laajuus

Soveltamisalan määrittely sisältää kuvauksen tutkittavista tuotejärjestelmistä, toiminnallisista yksiköistä, vaikutusluokista ja vaikutusarviointimenetelmistä, järjestelmän rajoista, monitoiminnallisuudesta ja allokointimenetelyistä, oletuksista ja tutkimuksen rajoituksista.

2.2.1. Tuulivoimalajärjestelmä

Hankkeessa tutkitaan kahta erilaista tuulivoimalavaihtoehtoa (VE1 ja VE2) sekä kolmea sähkönsiirto-reittivaihtoehtoa (SVE1-3). LCA-laskentaan kuuluu tuulivoimaloiden materiaalitaseiden mukainen määrä eri resursseja ja raaka-aineita kunkin hankevaihtoehdon mukaan. Tuulivoimala- ja sähkönsiirto-reittivaihtoehtojen kuvaus on esitetty tarkemmin YVA-selotuksessa. Hankealueella käytettäväksi suunniteltu tuulivoimalamalli on Vestas 172-7,2MW. Arvioitavat hankevaihtoehdot on esitetty alla (Taulukko 1).

Taulukko 1. Arvioitavat hankevaihtoehdot.

	Yksikkö	VE1			VE2		
		SVE1	SVE2	SVE3	SVE1	SVE2	SVE3
Tuulivoimaloiden lukumäärä	p	12	12	12	9	9	9
Kokonaisteho	MW	120	120	120	90	90	90
Sähkönsiirtoreitin tyyppi	-	Ilmajohto	Maakaapeli	Ilmajohto	Ilmajohto	Maakaapeli	Ilmajohto
Sähkönsiirtoreitin pituus	km	16,2	13,5	12,7	16,2	13,5	12,7

2.2.2. Toiminnallinen yksikkö

Tutkimuksessa käytetty toiminnallinen yksikkö on 1 kWh Niinimäen tuulivoimalan tuottamaa sähköä. Toiminnallinen yksikkö on rajattu sähköverkkoon toimitettavalle sähkölle, eikä siihen kuulu sähkön toimitus kuluttajalle.

Tuulivoimalan kokonaissähköntuotanto olisi 13 920 GWh (VE1) tai 10 440 GWh (VE2) voimalan 40 vuoden elinkaaren aikana. Tämä riippuu voimala-alueelle rakennettavien tuulivoimaloiden lopullisesta määrästä. Yhden tuulivoimalan oletetaan tuottavan sähköä 29 GWh vuodessa (Vestas 2024) alueen keskimääräisellä tuulennopeudella (New European Wind Atlas, 200m). Tarkasteltavan järjestelmän materiaali- ja energiataseiden mukaiset virrat kohdistetaan sähköntuotannon kokonaispotentiaalia kohti (kaava 1 ja kaava 2). Kyseessä on pelkkä laskennallinen arvo, joka perustuu erilaisiin skenaarioihin eikä siten ole absoluuttinen totuus tuulivoimahankkeen tuotantopotentiaalista.

Laskenta esitetään kaavoissa 1-3:

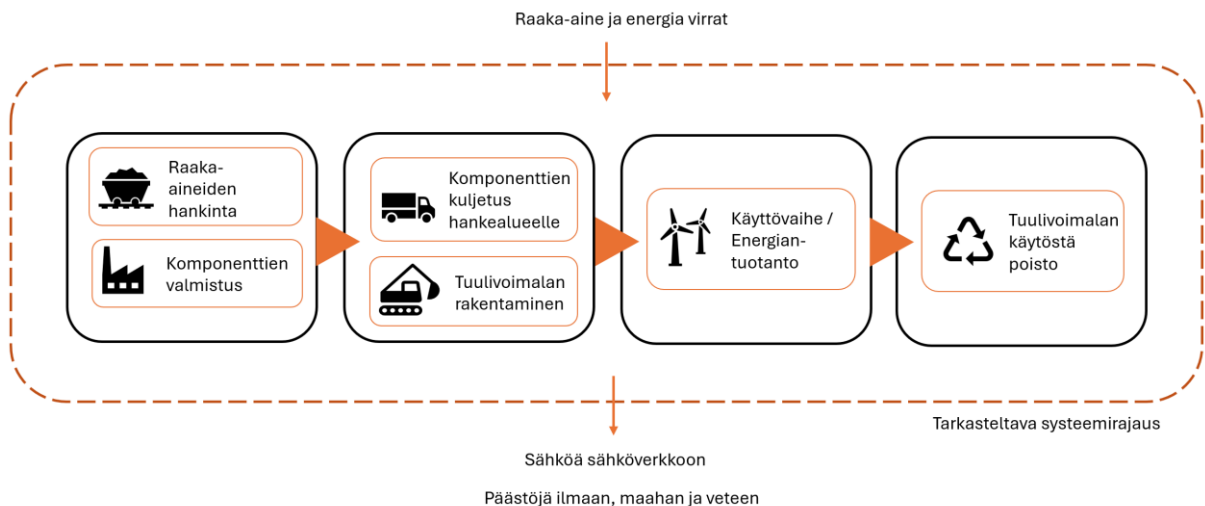
$$FU = \text{plant no} * \text{annual production} * \text{lifetime} \quad (1)$$

$$FU(VE1) = 12 * 29 \text{ GWh} * 40 = 13\,920 \text{ GWh} \quad (2)$$

$$FU(VE2) = 9 * 29 \text{ GWh} * 40 = 10\,440 \text{ GWh} \quad (3)$$

2.2.3. Järjestelmän rajat ja tutkimusjärjestelmä

Järjestelmän raja asetettiin kehdestä hautaan. Tutkimusjärjestelmä sisältää raaka-aineiden hankinnan, infrastruktuurin valmistuksen, komponenttien kuljetuksen työmaalle, tuulivoimalan asennuksen, käytön ja elinkaaren lopun (Kuva 1).



Kuva 1. Tutkimuksen järjestelmän rajat.

- 1) **Raaka-aineiden hankinta ja infrastruktuurin valmistus** kattavat raaka-aineiden, kuten metallien, komposiittien, tornien, perustusten ja sähköinfrastruktuurin rakentamisessa käytettävien materiaalien alkutuotannon. Se sisältää myös näihin prosesseihin liittyvän energian kulutuksen ja päästöt. Tähän vaiheeseen kuuluvat myös raaka-ainekuljetukset raaka-aineiden jalostustoimintoihin.

- 2) **Kuljetus** tarkoittaa valmistettujen komponenttien kuljetusta hankealueelle. Kuljetuksen ympäristövaikutukset riippuvat etäisyydestä, kuljetusmuodosta ja komponenttien painosta.
- 3) **Työmaalaitoksen perustaminen** sisältää paikan päällä tehtävät toimet, jotka liittyvät tuuliturbiinien kokoamiseen, tornien pystyttämiseen ja tarvittavan sähköinfrastruktuuriin, kuten muuntajien ja johdotusten, asentamiseen. Siinä tarkastellaan myös alueen valmistelun vaikutuksia, kuten maanraivausta ja teiden rakentamista.
- 4) **Laitoksen toimintaan** kuuluvat tuulivoimalan käyttö ja kunnossapito. Tässä oletetaan, että kaikki sähkö on kytketty verkkoon suurjännitesähkön muodossa.
- 5) **EoL-vaihe (End-of-Life)** sisältää tuulivoimalan käytöstä poistamisen sen käyttöikänsä lopussa, rakenteiden purkamisen ja jättemateriaalien käsittelyn. Myös turbiinikomponenttien, mukaan lukien siivet, tornit ja perustukset, kierrätyksen tai hävittämisen vaikutukset otetaan huomioon.

LCA-tutkimuksessa ei tehty materiaali- tai energia-allokaatioita.

2.2.4. Rajoitukset

Katsaus on luotu geneerisistä ecoinvent-tietokannan mukaisista tietoaineistoista, eikä spesifiä tuottajakohtaista tietoa ole voitu hyödyntää. Ecoinventin data on 10-15 vuoden takaa. Lisäksi elinkaariarvioinnin skenaarioluonne on syytä ottaa huomioon tulosten tulkinnassa. Hankkeen tarkkaa toteutusta ei ole vielä vahvistettu, joten monet merkittävät tekijät, kuten turbiinien sijainnit, tyypit sekä sähkönsiirtoreitti ovat vain arvioita eikä niiden lopullista määrää, sijoittelua tai tyyppiä vielä tiedetä. Siksi tarkastelu on vain skenaarioihin perustuva arviointi.

Koska tarkoista komponenttivalmistajista ja siten komponenttien kuljetusmatkoista ei ollut tietoa, raaka-aine- ja komponenttikuljetusten pituudesta ja laadusta tehtiin karkeita arvioita. Tätä tietoaukkoa korjattiin hyödyntämällä ecoinvent-tietokannan market-datajoukkoja ja erottelemalla raaka-aineiden kuljetuksia kuvaavat aineistot omiksi kokonaisuuksikseen. Kaikista kuljetusreittiarvioista on valittu lyhin mahdollinen yhdensuuntainen matka.

Työntekijöiden kuljetukset tuulivoima-alueelle eivät olleet mukana laskennassa, kuten ei myöskään koneiden käyttö raaka-aineen käsittelyvaiheessa.

Vaikutustenarvioinnin tulokset ovat suhteellisia ilmauksia, eivätkä ne ennusta vaikutuksia kategorian päätepisteisiin, raja-arvojen ylittymiseen, turvamarginaaleihin tai riskeihin (ISO 14044, 5.2 e8).

3. Inventaarioanalyysi (LCI)

LCI sisältää tutkimukseen tarvittavan tiedon keruun ja niiden laskennan menettelytapojen esittelyn, joilla asiaankuuluvat syötteen ja tuotokset on saatu määrälliseen muotoon. Inventaarioanalyysissä käytetty elinkaarimalli luotiin SimaPro-ohjelmistoversiolla 9.5.0.2. Ohjelmiston on kehittänyt Pré Consultants. LCI:ssä käytetyt yleiset tiedot ovat peräisin kaupallisesta tietokannasta (ecoinvent 3.9).

Tuulivoimaloiden infrastruktuurin komponenttien, kuten tuulivoimaloiden ja sähkönsiirtojärjestelmien, tuotantotietoja ei kerätty suoraan tätä analyysia varten. Sen sijaan nämä elementit mallinnettiin tietokannoista saaduilla geneerisillä aineistoilla skaalaamalla ne edustamaan hankealueelle suunniteltua tuulivoimalamallia (Vestas 172-7,2MW). Ennen mallinnusprosessin aloittamista näiden aineistojen laatu arvioitiin ja niiden katsottiin riittävän alustavan tason elinkaariarvioinnin tekemiseen. Elinkaarimallit on kuvattu kohdassa 3.1.

LCI:n tuloksena saadaan tutkittavan tuotejärjestelmän materiaali- ja energiatase. Tätä käytetään elinkaari vaikutusten arvioinnin (LCIA) perustana.

3.1. Elinkaarimalli

Kappaleissa 3.1.1 osoitetaan, miten elinkaari on mallinnettu. Kunkin elinkaaren vaiheen tietoaineistot esitetään toiminnallista yksikköä kohti. Toiminnallisen yksikön laskenta on osoitettu kappaleessa 2.2.2.

Mallinnusteknisistä syistä johtuen tuulivoimala ja sähkönsiirtoreitti on mallinnettu erillisinä kokonaisuuksina. Tällä tavoin esimerkiksi molempien infrastruktuurien keskinäinen synergia elinkaaren näkökulmasta ja niiden osuudet kokonaisvaikutuksista näkyvät LCIA:n tuloksissa.

Elinkaarimallinnus on kokonaisuudessaan esitetty seuraavalla sivulla (Taulukko 2-Taulukko 3).

Taulukko 2. Elinkaariaineistot Niinimäen hankkeen tuulivoimaloiden mallintamiseen.

Elinkaari	Dataset	Määrä	Yksikkö
Nimi	A1-C Niinimäen tuulivoimala	-	-
Kokoonpano	A1_Niinimäki tuulivoimalat	1	kWh
Prosessi	A2_Niinimäki tuulivoimalat	1	kWh
	A3_Niinimäki tuulivoimalat	1	kWh
	A4_Niinimäki tuulivoimalat	1	kWh
	A5_Niinimäki tuulivoimalat	1	kWh
	B_Niinimäki tuulivoimalat	1	kWh
	C_Niinimäki tuulivoimalat	1	kWh

Taulukko 3. Elinkaariaineistot Niinimäen tuulivoimalan sähkönsiirtoreitin mallintamiseen.

Elinkaari	Dataset	Määrä	Yksikkö
Nimi	A1-C Niinimäen sähkönsiirtoreitti	-	-
Kokoonpano	A1_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	1	kWh
Prosessi	A2_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	1	kWh
	A3_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	1	kWh
	A4_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	1	kWh
	A5_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	1	kWh
	B_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	1	kWh
	C_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	1	kWh

3.1.1. Raaka-aineiden hankinta

Koska tuulivoimalan mallinnus tehdään hankealueelle suunnitellun tuuliturbiinimallin (Vestas 172-7,2MW) pohjalta, 4,5 MW:n maatuulivoimalarakentamisen yleinen aineisto skaalattiin edustamaan suunniteltua tuulivoimalamallia. Referenssiturbiinina on Enercon E-112 turbiini, jonka roottorin halkaisija on 113 m, lapojen pituus 52 m, roottorin lapojen lukumäärä 3, roottorin lapojen paino 20 000 kg, tornin korkeus 120 m ja perustuksen paksuus 2 m. Referenssiturbiini on pienempi kuin Vestas 172-7,2 MW tuuliturbiini, jonka roottorin halkaisija on 172 m ja tornin korkeus 199 m. Näiden kahden tuuliturbiinin fyysisen kokoeron perusteella laskettiin keskimääräinen skaalauskerroin 1,59, joka moninkertaisti Vestas V172-7.2MW -tuuliturbiinien raaka-aineisiin tarvittavat energia- ja materiaalivirrat.

Perustusraaka-aineiden mallintamiseen käytettiin skaalauskerrointa 1,56, joka perustui YVA-selostuksessa esitettyihin yleisen aineiston perustietoihin ja perustustietoihin. Lisäksi aineistosta poistettiin muut energia- ja materiaalivirrat, jotka liittyvät muihin elinkaaren vaiheisiin kuin raaka-ainehuoltoon, ja sisällytettiin vastaaviin elinkaarivaiheisiin. Tuulivoimahankkeen raaka-ainehankinnassa käytettävät aineistot on esitetty alla (Taulukko 4-Taulukko 5).

Taulukko 4. Käytetty aineisto tuulivoimaloiden raaka-aineiden hankinnan mallintamiseen VE1:ssä ja VE2:ssa.

Elinkaari	Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
Tuotos	A1_Niinimäki tuulivoimalat	13 920	GWh	-
VE1-syötteet	Tuuliturbiinit Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U *	12	p	2023
Tuotos	A1_Niinimäki tuulivoimalat	10 400	GWh	-
VE2-syötteet	Tuuliturbiinit Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U *	9	p	2023

* Aineisto muokattiin edustamaan Vestas V172-7.2MW turbiinimallia (Taulukko 5).

Taulukko 5. Käytetty aineisto Vestas V172-7.2MW tuuliturbiinin raaka-aineiden mallintamiseen.

Tulo/ tuotos	Dataset	Määrä	Yk- sikkö	Vuosi
<i>Tuotos</i>				
Tuuli turbiini	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
<i>Syötteet</i>				
Raaka- aineet yhtä tuulitur- biinia kohti	Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {RER} alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60% solution state Cut-off, U	1 318,8*1,59	kg	2023
	Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state {RoW} alkyd paint production, white, water-based, product in 60% solution state Cut-off, U	6 260,9*1,59	kg	2023
	Aluminium scrap, post-consumer {GLO} aluminium scrap, post-consumer, Recycled Content cut-off Cut-off, U	-973,2*1,59	kg	2023
	Aluminium, cast alloy {GLO} market for aluminium, cast alloy Cut-off, U *	311,4*1,59	kg	2023
	Concrete, normal strength {GLO} market group for concrete, normal strength Cut-off, U	3 086,3*1,56	m3	2023
	Aluminium, wrought alloy {GLO} market for aluminium, wrought alloy Cut-off, U *	661,8*1,59	kg	2023
	Cast iron {GLO} market for cast iron Cut-off, U *	100 257,6*1,59	kg	2023
	Copper, cathode {GLO} market for copper, cathode Cut-off, U *	44 252,2*1,59	kg	2023
	Electronics, for control units {GLO} market for electronics, for control units Cut-off, U *	572,1*1,59	kg	2023
	Epoxy resin, liquid {RER} market for epoxy resin, liquid Cut-off, U *	2 939,6*1,59	kg	2023
	Epoxy resin, liquid {RoW} market for epoxy resin, liquid Cut-off, U *	13 954,8*1,59	kg	2023
	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {GLO} market for glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded Cut-off, U *	45 780,8*1,59	kg	2023
	Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Content cut-off Cut-off, U	-100 257,6*1,59	kg	2023
	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for polyethylene, high density, granulate Cut-off, U *	2 540,8*1,59	kg	2023
	Polyvinylchloride, emulsion polymerised {GLO} market for polyvinylchloride, emulsion polymerised Cut-off, U *	583,2*1,59	kg	2023
	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for polyvinylchloride, suspension polymerised Cut-off, U *	3 985,8*1,59	kg	2023
	Reinforcing steel {GLO} market for reinforcing steel Cut-off, U *	519 470,0*1,59	kg	2023
	Road {GLO} market for road Cut-off, U *	8 000	kg	2023
	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for steel, chromium steel 18/8 Cut-off, U *	6 403,4*1,59	kg	2023
	Steel, low-alloyed {GLO} market for steel, low-alloyed Cut-off, U *	158 008,2*1,59	kg	2023
	Synthetic rubber {GLO} market for synthetic rubber Cut-off, U *	612,7*1,59	kg	2023

* Market-aineistoa muokattiin siten, että se sisältää vain raaka-aineen tuotannon, ei raaka-aineen kuljetusta tehtaan portille.

Myös sähkönsiirtoreittivaihtoehtojen mallinnus tehtiin tietokannoista saatavilla olevan yleisen aineiston pohjalta. Ilmajohdon osalta referenssiaineistona käytettiin sähkönsiirron yleistä aineistoa. Energia- ja materiaalivirrat, jotka liittyvät muihin elinkaaren vaiheisiin kuin raaka-aineiden hankintaan,

siirrettiin omiin elinkaaren vaiheisiinsa. Maakaapeliyhteyden viiteaineistona käytettiin geneeristä aineistoa tuulivoimaloiden 4,5 MW:n maaverkkoyhteydestä. Tällöin verkon pituus on 1000 m, joten tiejoukkojen syötteen ja lähdöt skaalattiin edustamaan SVE2:n pituutta skaalauskerroinella 13,5. Myös muut energia- ja materiaaivirrat, jotka liittyvät muihin elinkaaren vaiheisiin kuin raaka-aineiden hankintaan, siirrettiin omiin elinkaaren vaiheisiinsa.

Taulukko 6. Aineisto sähkönsiirtoverkkovaihtoehtojen (SVE1, SVE2 ja SVE3) raaka-aineiden hankinnan mallintamiseen.

			Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
VE1-syötteen	Tuotos		A1_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	13 920	GWh	-
	SVE1	Ilmajohto	Siirtoverkko, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja {RER} siirtoverkon rakentaminen, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja Raja-arvo, U *	16,2	km	2021
	SVE2	Maakaapeli-liitäntä	Tuuliturbiiniverkkoyhteys, 4,5 MW, maalla {GLO} tuulivoimaloiden verkkoyhteyden rakentaminen, 4,5 MW, maalla Raja-arvo, U **	1	p	2021
	SVE3	Ilmajohto	Siirtoverkko, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja {RER} siirtoverkon rakentaminen, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja Raja-arvo, U *	12,7	km	2021
VE2-syötteen	Tuotos		A1_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	10 400	GWh	-
	SVE1	Ilmajohto	Siirtoverkko, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja {RER} siirtoverkon rakentaminen, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja Raja-arvo, U *	16,2	km	2021
	SVE2	Maakaapeli-liitäntä	Tuuliturbiiniverkkoyhteys, 4,5 MW, maalla {GLO} tuulivoimaloiden verkkoyhteyden rakentaminen, 4,5 MW, maalla Raja-arvo, U **	1	p	2021
	SVE3	Ilmajohto	Siirtoverkko, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja {RER} siirtoverkon rakentaminen, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja Raja-arvo, U *	12,7	km	2021

* Aineisto ilmakaapelin raaka-ainesyötön mallintamiseen (Taulukko 7).

** Aineisto maakaapeliliitännän raaka-ainesyötön mallintamiseen (Taulukko 8).

Taulukko 7. Ilmakaapeliyhteyden raaka-ainesyötön mallintamiseen käytetty aineisto.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
Tuotokset				
Ilmajohdon kaapeli	Siirtoverkko, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja {RER} siirtoverkon rakentaminen, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja Raja-arvo, U	1	km	-
Syötöt				
Raaka-ainesyötöt 1 km kaapelia kohti	Alumiiniromu, kuluttajatuote {GLO} alumiiniromu, kuluttajakäytön jälkeinen romu, kierrätetyn sisällön raja-arvo Raja-arvo, U	-7 414,2	kg	2023
	Alumiini, takometalliseos {GLO} Alumiinin, takometalliseoksen markkinat Raja-arvo, U *	8 238	kg	2023
	Valurauta {GLO} Valuraudan markkinat Raja-arvo, U *	10 500	kg	2023
	Sementti, määrittelemätön {CH} Sementin markkinat, määrittelemättömät Raja-arvo, U	1,4	kg	2023
	Sementti, määrittelemätön {Eurooppa ilman Sveitsiä} Sementin markkinat, määrittelemättömät Raja-arvo, U	63,5	kg	2023
	Betoni, normaalilujuus {AT} Normaalilujuusbetonin markkinat Raja-arvo, U	29,7	m3	2023
	Betoni, normaalilujuus {CH} Normaalilujuusbetonin markkinat Raja-arvo, U	54,2	m3	2023
	Lasiputki, borosilikaatti {GLO} Lasiputkien, borosilikaatin markkinat Raja-arvo, U *	1 380	kg	2023
	Lajittelematon rautaromu {GLO} lajittelematon rautaromu, Kierrätetyn sisällön raja-arvo Raja-arvo, U	-28 587,6	kg	2023
	Voiteluöljy {RoW} Voiteluöljyn markkinat Raja-arvo, U *	131	kg	2023
	Teräs, niukkaseosteinen {GLO} Niukkaseosteisen teräksen markkinat Raja-arvo, U *	3 864	kg	2023
	Seostamaton teräs {GLO} Seostamattoman teräksen markkinat Raja-arvo, U *	17 400	kg	2023
	Sinkki {GLO} Sinkin markkinat Raja-arvo, U *	520	kg	2023
	Sinkkiromu, kuluttajatuote {GLO} sinkkiromu, kuluttajatuote, kierrätetyn sisällön raja-arvo Raja-arvo, U	-520	kg	2023

* Market-aineistoa muokattiin siten, että se sisältää vain raaka-aineen tuotannon, ei raaka-aineen kuljetusta tehtaan portille.

Taulukko 8. Maakaapeliyhteyden raaka-ainesyötön mallintamiseen käytetty aineisto.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
Tuotokset				
Maakaapeli-liitäntä	Tuuliturbiiniverkkoyhteys, 4,5 MW, maalla {GLO} tuulivoimaloiden verkkoyhteyden rakentaminen, 4,5 MW, maalla Raja-arvo, U	1	p	-
Syötteen				
Raaka-ainesyötöt 1 p kaapelia kohti	Valurauta {GLO} Valuraudan markkinat Raja-arvo, U *	3 126,0*13,5	kg	2023
	Betoni, normaalilujuus {GLO} Betonin markkinaryhmä, normaalilujuus Raja-arvo, U	15,0*13,5	m3	2023
	Kupari, katodi {GLO} Kuparin ja katodin markkinat Raja-arvo, U *	18 357,0*13,5	kg	2023
	Elektroniikka, ohjausyksiköille {GLO} Elektroniikan ja ohjausyksiköiden markkinat Raja-arvo, U *	7 044	kg	2023
	Lajittelematon rautaromu {GLO} lajittelematon rautaromu, Kierrätetyn sisällön raja-arvo Raja-arvo, U	-3 126*13,5	kg	2023
	Polyvinyylikloridi, emulsiopolymeroitu {GLO} Polymeroidun emulsion polyvinyylikloridin markkinat Raja-arvo, U *	286,0*13,5	kg	2023
	Polyvinyylikloridi, suspensiopolymeroitu {GLO} Polymeroidun polyvinyylikloridin markkinat Raja-arvo, U *	1 954,9 *13,5	kg	2023
	Teräs, kromiteräs 18/8 {GLO} Teräs- ja kromiteräsmarkkinat 18/8 Raja-arvo, U *	4 035,0*13,5	kg	2023
	Teräs, niukkaseosteinen {GLO} Niukkaseosteisen teräksen markkinat Raja-arvo, U *	8 904,0*13,5	kg	2023

* Market-aineistoa muokattiin siten, että se sisältää vain raaka-aineen tuotannon, ei raaka-aineen kuljetusta tehtaan portille.

3.1.2. Raaka-aineiden kuljetus komponenttien valmistuspaikalle

Koska tuulivoimahanke on vasta suunnitteluvaiheessa, tarkkoja hankintoja ei ole vielä tehty eikä niitä tiedetä sillä tasolla, että komponenttien tarkat kuljetusväilyt ja -määrät voitaisiin laskea. Näin olleen kuljetukset valmistuspaikalle -elinkaarivaihe on tehty skenaariona ecoinventin market-tietoaaineistojen avulla. Käytetyt tietoaaineistot ovat muuten samankaltaisia kuin raaka-aineiden hankinnan -elinkaarivaiheessa, lukuun ottamatta kaikkia muita kuin raaka-aineiden kuljetukseen liittyviä osaprosesseja.

Aineistossa kuljetusmuotoina ovat maakuljetukset tavarautolla ja/tai tavarajunalla. Molemmat osaprosessit kuvataan määrittelemättömiksi kuljetusvälineiksi, eli esimerkiksi kuljetusvälineen päästöluokkaa ei ole määritetty. Maantieteellisesti aineiston sijaintia ei ole tarkasti määritetty. Tämän elinkaaren vaiheen skenaarioluonteen vuoksi tätä osaa tuulivoimalahankkeen elinkaaresta on tulkittava kriittisesti.

Käytetty aineisto on esitetty alla. (Taulukko 9-Taulukko 13).

Taulukko 9. Aineisto raaka-aineiden kuljetuksille tuulivoimaloiden valmistuspaikalle.

		Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineis- ton vuosi
Tuotos		A2_Niinimäki tuulivoimalat	13 920	GWh	-
VE1-syöt- teet	Tuuliturbiini	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U *	12	p	2023
Tuotos		A2_Niinimäki tuulivoimalat	10 400	GWh	-
VE2-syöt- teet	Tuuliturbiini	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U *	9	p	2023

* Aineistoa muokattiin edustamaan Vestas V172-7.2MW turbiinimallia (Taulukko 10).

Taulukko 10. Aineistoa käytetään Vestas V172-7.2MW tuuliturbiinin raaka-ainekuljetusten mallintamiseen.

	Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Vuosi(tie-tojoukko)
Tuotokset				
Tuulivoimala	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
Syötteet				
Raaka-aineiden kuljetukset yhtä tuuliturbiinia kohti	Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state {RER} market for alkyd paint, white, without water, in 60% solution state Cut-off, U *	1 318,8*1,59	kg	2023
	Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state {RoW} market for alkyd paint, white, without water, in 60% solution state Cut-off, U *	6 260,9*1,59	kg	2023
	Aluminium, cast alloy {GLO} market for aluminium, cast alloy Cut-off, U *	311,4*1,59	kg	2023
	Aluminium, wrought alloy {GLO} market for aluminium, wrought alloy Cut-off, U *	661,8*1,59	kg	2023
	Cast iron {GLO} market for cast iron Cut-off, U *	100 257,6*1,59	kg	2023
	Copper, cathode {GLO} market for copper, cathode Cut-off, U *	44 252,2*1,59	kg	2023
	Electronics, for control units {GLO} market for electronics, for control units Cut-off, U *	572,1*1,59	kg	2023
	Epoxy resin, liquid {RER} market for epoxy resin, liquid Cut-off, U *	2 939,6*1,59	kg	2023
	Epoxy resin, liquid {RoW} market for epoxy resin, liquid Cut-off, U *	13 954,8*1,59	kg	2023
	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {GLO} market for glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded Cut-off, U *	45 780,8*1,59	kg	2023
	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for polyethylene, high density, granulate Cut-off, U *	2 540,8*1,59	kg	2023
	Polyvinylchloride, emulsion polymerised {GLO} market for polyvinylchloride, emulsion polymerised Cut-off, U *	583,2*1,59	kg	2023
	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for polyvinylchloride, suspension polymerised Cut-off, U *	3 985,8*1,59	kg	2023
	Reinforcing steel {GLO} market for reinforcing steel Cut-off, U *	519 470,0*1,59	kg	2023
	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for steel, chromium steel 18/8 Cut-off, U *	6 403,4*1,59	kg	2023
	Steel, low-alloyed {GLO} market for steel, low-alloyed Cut-off, U *	158 008,2*1,59	kg	2023
	Synthetic rubber {GLO} market for synthetic rubber Cut-off, U *	612,7*1,59	kg	2023

* Market-aineistoa muokattiin siten, että se sisältää vain raaka-ainekuljetuksen, ei raaka-ainetuotantoa.

Taulukko 11. Aineistot, joissa esitetään raaka-aineiden kuljetukset valmistukseen sähkönsiirtoverkkovaihtoehtoillem (SVE1, SVE2 ja SVE3).

			Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
VE1-syötteen	Tuotos		A2_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	13 920	GWh	-
	SVE1	Ilmajohto	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	16,2	km	2023
	SVE2	Maakaapeli-liitäntä	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2023
	SVE3	Ilmajohto	Ilmajohto_Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	12,7	km	2023
VE2-syötteen	Tuotos		A2_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	10 400	GWh	-
	SVE1	Ilmajohto	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	16,2	km	2023
	SVE2	Maakaapeli-liitäntä	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2023
	SVE3	Ilmajohto	Ilmajohto_Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	12,7	km	2023

* Aineisto ilmakaapelin raaka-ainesyötön mallintamiseen (Taulukko 12).

** Aineisto maakaapelin raaka-aineiden tarjonnan mallintamiseen (Taulukko 13).

Taulukko 12. Ilmakaapelin raaka-ainekuljetusten mallintamiseen käytetty aineisto.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
Tuotokset				
Ilmajohdon kaapeli	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U	1	km	-
Syötteen				
Raaka-aineen kuljetus 1 km kaapelia kohti	Aluminium, wrought alloy {GLO} market for aluminium, wrought alloy Cut-off, U *	8 238	kg	2023
	Cast iron {GLO} market for cast iron Cut-off, U *	10 500	kg	2023
	Glass tube, borosilicate {GLO} market for glass tube, borosilicate Cut-off, U *	1 380	kg	2023
	Lubricating oil {RoW} market for lubricating oil Cut-off, U *	131	kg	2023
	Steel, low-alloyed {GLO} market for steel, low-alloyed Cut-off, U *	3 864	kg	2023
	Steel, unalloyed {GLO} market for steel, unalloyed Cut-off, U *	17 400	kg	2023
	Zinc {GLO} market for zinc Cut-off, U *	520	kg	2023

* Market-aineistoa muokattiin siten, että se sisältää vain raaka-ainekuljetuksen, ei raaka-ainetuotantoa.

Taulukko 13. Maakaapeliyhteyden raaka-ainekuljetusten mallintamiseen käytetty aineisto.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
Tuotokset				
Maakaapeli-liitäntä	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
Syötteen				
Raaka-aineen kuljetus / 1 p kaapeli	Cast iron {GLO} market for cast iron Cut-off, U *	3 126,0*13,5	kg	2023
	Copper, cathode {GLO} market for copper, cathode Cut-off, U *	18 357,0*13,5	kg	2023
	Electronics, for control units {GLO} market for electronics, for control units Cut-off, U *	7 044	kg	2023
	Polyvinylchloride, emulsion polymerised {GLO} market for polyvinylchloride, emulsion polymerised Cut-off, U *	286,0*13,5	kg	2023
	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for polyvinylchloride, suspension polymerised Cut-off, U *	1 954,9 *13,5	kg	2023
	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for steel, chromium steel 18/8 Cut-off, U *	4 035,0*13,5	kg	2023
	Steel, low-alloyed {GLO} market for steel, low-alloyed Cut-off, U *	8 904,0*13,5	kg	2023

* Market-aineistoa muokattiin siten, että se sisältää vain raaka-ainekuljetuksen, ei raaka-ainetuotantoa.

3.1.3. Komponenttien valmistus

Komponenttien valmistusprosessiin liittyy muun muassa yleisiä metallintyöstötietoja, kuten leikkausta, porausta, hitsausta, lämpökäsittelyä ja pintakäsittelyä. Samoin kuin aikaisemmissa vaiheissa, skaalauskerrointa käytettiin aineistojen muokkaamiseen edustamaan paremmin suunniteltua

tuulivoimamallia ja hankealueen sähkönsiirtoreitin pituutta. Lisäksi aineistosta siirrettiin muihin elinkaaren vaiheisiin liittyvät energia- ja materiaaliveirrat niille kuuluviin vaiheisiin. Tähän elinkaaren vaiheeseen kuuluva aineisto on esitetty alla (Taulukko 14-Taulukko 18).

Taulukko 14. Tuulivoimaloiden valmistusta kuvaava aineisto.

		Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
Tuotos		A3_Niinimäki tuulivoimalat	13 920	GWh	-
VE1-syötet	Tuuliturbiinit	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U *	12	p	2023
Tuotos		A3_Niinimäki tuulivoimalat	10 400	GWh	-
VE2-syötet	Tuuliturbiinit	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U *	9	p	2023

* Aineistoa muokattiin edustamaan Vestas V172-7.2MW turbiinimallia (Taulukko 15).

Taulukko 15. Aineisto Vestas V172-7.2MW tuuliturbiinin valmistuksen mallintamiseen.

	Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Vuosi(tie-tojoukko)
Tuotokset				
Tuulivoimala	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
Syötteet				
Materiaalit yhtä tuulitur-biinia kohti	Sheet rolling, aluminium {GLO} market for sheet roll-ing, aluminium Cut-off, U	973,2*1,59	kg	2023
	Sheet rolling, chromium steel {GLO} market for sheet rolling, chromium steel Cut-off, U	6 403,4*1,59	kg	2023
	Sheet rolling, steel {GLO} market for sheet rolling, steel Cut-off, U	158 008,2*1,59	kg	2023
	Wire drawing, copper {GLO} market for wire drawing, copper Cut-off, U	44 252,2*1,59	kg	2023

Taulukko 16. Sähkönsiirtoreittivaihtoehtojen valmistuksen mallintamiseen käytetty aineisto (SVE1, SVE2 ja SVE3).

Elinkaari			Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Aineiston vuosi
VE1-syötteen	Tuotos		A3_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	13 920	GWh	-
	SVE1	Ilmajohto	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {RoW} aluminium around steel bi-metal wire production, 3.67 mm external diameter Cut-off, U *	16 200	m	2023
	SVE2	Maakaapeli	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2023
	SVE3	Ilmajohto	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {RoW} aluminium around steel bi-metal wire production, 3.67 mm external diameter Cut-off, U *	12 700	m	2023
VE2-syötteen	Tuotos		A3_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	10 400	GWh	-
	SVE1	Ilmajohto	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {RoW} aluminium around steel bi-metal wire production, 3.67 mm external diameter Cut-off, U *	16 200	m	2023
	SVE2	Maakaapeli	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2023
	SVE3	Ilmajohto	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {RoW} aluminium around steel bi-metal wire production, 3.67 mm external diameter Cut-off, U *	12 700	m	2023

* Aineistoa on muokattu siten, että se sisältää vain kaapelin valmistuksen syötteen, ei kaapelin raaka-aineita (Taulukko 17).

Taulukko 17. Aineisto ilmajohtojen valmistuksen mallintamiseen.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
Tuotokset				
Ilmajohto	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {RoW} aluminium around steel bi-metal wire production, 3.67 mm external diameter Cut-off, U	1	m	-
Syötteet				
Syötteet 1 m kaapelia kohti	Electricity, medium voltage {AU} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0002	Kwh	2023
	Electricity, medium voltage {Canada without Quebec} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0004	Kwh	2023
	Electricity, medium voltage {NZ} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0001	Kwh	2023
	Electricity, medium voltage {RAF} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0008	Kwh	2023
	Electricity, medium voltage {RAS} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0162	Kwh	2023
	Electricity, medium voltage {RER} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0039	Kwh	2023
	Electricity, medium voltage {RLA} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0017	Kwh	2023
	Electricity, medium voltage {RU} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0012	Kwh	2023
	Electricity, medium voltage {US} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	0,0050	Kwh	2023
	Heat, district or industrial, natural gas {RER} market group for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	0,0014	MJ	2023
	Heat, district or industrial, natural gas {RoW} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	0,0038	MJ	2023
	Propane, burned in building machine {GLO} market for propane, burned in building machine Cut-off, U	6,13E-06	MJ	2023

Taulukko 18. Maakaapelin valmistuksen mallintamiseen käytetty aineisto.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
Tuotokset				
Maakaapeliliitäntä	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
Syötteen				
Valmistussyötteet yhtä kaapelia kohti	Sheet rolling, chromium steel {GLO} market for sheet rolling, chromium steel Cut-off, U	4 035,0*13,5	kg	2023
	Sheet rolling, steel {GLO} market for sheet rolling, steel Cut-off, U	3 900,0*13,5	kg	2023
	Wire drawing, copper {GLO} market for wire drawing, copper Cut-off, U	18 357,0*13,5	kg	2023
	Wire drawing, steel {GLO} market for wire drawing, steel Cut-off, U	5 004,0*13,5	kg	2023

3.1.4. Infrastruktuurin komponenttien kuljetus hankealueelle

Koska Vestasilla on useita tuuliturbiinien valmistuslaitoksia eri puolilla Eurooppaa eikä tämän tutkimuksen tarkkaa valmistuspaikkaa tiedetä, oletetaan, että infrastruktuuri valmistetaan Kööpenhaminassa. Lisäoletuksena infrastruktuuri kuljetetaan rahtikontilla Kööpenhaminasta Helsinkiin ja edelleen rahtiautolla Helsingistä Hattulaan. Helsinki on oletettu merirahdin vastaanottopaikkakunta Suomessa. Vastaanottopaikkakunnalla ei Suomen mittakaavassa ole elinkaariarvioinnin lopputuloksen kannalta juuri väliä, sillä kuljetusten ympäristövaikutus on tunnetusti pieni verrattuna esimerkiksi raaka-aineiden tai tuotannon ympäristövaikutuksiin. Vestasin tausta-aineiston mukaan yksittäisen turbiinin kokonaismassa on 928 tonnia (Vestas 2023). Kuljetuksen määrät (tkm) on laskettu käyttämällä tätä suuretta kerrottuna kuljetusetäisyyksillä.

Tässä tutkimuksessa oletetaan myös, että sähkönsiirtokomponentit kuljetetaan samasta paikasta kuin tuuliturbiinien komponentit. Kaikkien vaihtoehtojen kuljetusskenaariot on esitetty alla (Taulukko 19-Taulukko 22).

Taulukko 19. Komponenttien kuljetuksia kuvaava aineisto tuulivoimaloille.

		Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
Syötteen	Tuotos	A4_Niinimäki tuulivoimalat	13 920	GWh	-
	VE1	A4_Vestas 172–72 MW*	12	p	2022
	Tuotos	A4_Niinimäki tuulivoimalat	10 400	GWh	-
	VE2	A4_Vestas 172–72 MW*	9	p	2022

Taulukko 20. Aineisto tuulivoimaloiden komponenttien kuljetuksille. Aineisto tuulivoimaloiden komponenttien kuljetuksille.

		Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Aineis-ton vuosi
	Tuotos	A4_Vestas 172-72MW	1	p	-
Syötteen	Keskiarvoetäisyys Vestasin toimipaikat - Kööpenhamina	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	185 600	tkm	2022
	Kööpenhamina - Helsinki	Transport, freight, sea, container ship {GLO} market for transport, freight, sea, container ship Cut-off, U	2 899 072	tkm	2022
	Helsinki – Hattula	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	102 080	tkm	2022

Taulukko 21. Aineistot sähkönsiirtoverkkovaihtoehtojen komponentti (SVE1, SVE2 ja SVE3).

	Elinkaari	Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Aineis-ton vuosi
VE1-syöt-	Tuotos	A4_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	10 400	GWh	-
	SVE1 Ilmajohto	A4_Electricity transmission route_air*	16,2	km	-
	SVE2 Maakaapeli	A4_Electricity transmission route_land**	1	p	-
	SVE3 Ilmajohto	A4_Electricity transmission route_air*	12,7	km	-
VE2-syöt-	Tuotos	A4_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	13 920	GWh	-
	SVE1 Ilmajohto	A4_Electricity transmission route_air*	16,2	km	-
	SVE2 Maakaapeli	A4_Electricity transmission route_land**	1	p	-
	SVE3 Ilmajohto	A4_Electricity transmission route_air*	12,7	km	-

* Taulukko 22

** Taulukko 23

Taulukko 22. Aineisto ilmajohtojen komponenttien kuljetukselle.

		Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Aineis-ton vuosi
	Tuotos	A4_Electricity lähetys route_air	1	km	-
Syötteen	Keskiarvoetäisyys Vestas:n laitokset – Kööpenhamina	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	44 356 600	kgkm	2022
	Kööpenhamina - Helsinki	Transport, freight, sea, container ship {GLO} market for transport, freight, sea, container ship Cut-off, U	692 850 092	kgkm	2022

	Helsinki – Hattula	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	24 396 130	kgkm	2022
--	--------------------	--	------------	------	------

Taulukko 23. Aineisto maakaapelin komponenttien kuljetukselle.

		Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Aineis-ton vuosi
	Tuotos	A4_Electricity lähetys route_land	1	p	-
Syötteen	Keskiarvoetäisyys Vestas:n laitokset - Kööpenhamina	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	205 632 800	kgkm	2022
	Kööpenhamina - Helsinki	Transport, freight, sea, container ship {GLO} market for transport, freight, sea, container ship Cut-off, U	3 211 984 336	kgkm	2022
	Helsinki – Hattula	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	113 098 040	kgkm	2022

3.1.5. Tuulivoima-alueen rakentaminen

Tuulivoima-alueen rakentaminen sisältää muun muassa alueen valmistelun, komponenttien kokoamisen, roottorin siipien asentamisen ja sähköjärjestelmien kytkemisen. Aineistoja muokattiin skaalaus-kertoimilla aiempien elinkaaren vaiheiden tapaan. Lisäksi aineistosta poistettiin muut energia- ja materiaalivirrat, jotka liittyvät muihin elinkaaren vaiheisiin kuin laitoksen perustamiseen, ja sisällytettiin vastaaviin elinkaaren vaiheisiin (Taulukko 24-Taulukko 28).

Taulukko 24. Aineisto tuulivoimaloiden asennuksen mallintamiseen.

		Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Aineis-ton vuosi
	Tuotos	A5_Niinimäki tuulivoimalat	13 920	GWh	-
Syötteen	VE1	A5_Vestas v172-7.2MW_Wind turbine, 4.5MW, on-shore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, on-shore Cut-off, U *	12	p	2022
	Tuotos	A5_Niinimäki tuulivoimalat	10 400	GWh	-
	VE2	A5_Vestas v172-7.2MW_Wind turbine, 4.5MW, on-shore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, on-shore Cut-off, U *	9	p	2022

* Taulukko 24

** Taulukko 25

Taulukko 25. Aineisto Vestas V172-7.2MW tuuliturbiinin asennuksen mallinnukseen.

	Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Aineiston vuosi
Tuotos				
Tuulivoimala	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
Syötteen				
Syötteen yhtä tuuliturbiinia kohti	Occupation, industrial area	6 280*1,59	m2a	2023
	Transformation, from pasture, man made	314*1,56	m2	2023
	Transformation, to industrial area	314*1,59	m2	2023
	Excavation, hydraulic digger {GLO} market for excavation, hydraulic digger Cut-off, U	628,0*1,56	m3	2023
	Road {GLO} market for road Cut-off, U *	8000	my	2023
	Electricity, medium voltage {GLO} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	445 224,2*1,59	kWh	2023

* Aineistoa on muokattu siten, että se sisältää vain tien rakennustiedot.

Taulukko 26. Aineisto sähkönsiirtoreittien asennuksen mallintamiseen (SVE1, SVE2 ja SVE3).

			Dataset	Määrä	Yk-sikkö	Aineis-ton vuosi
	Tuotos		A5_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	13 920	GWh	-
VE 1 -syötteen	SVE1	Ilmajohto	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	16,2	km	2022
	SVE2	Maakaapeli	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2022
	SVE3	Ilmajohto	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	12,7	km	2022
	Tuotos		A5_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	10 400	GWh	-
VE2-syötteen	SVE1	Ilmajohto	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	16,2	km	2022
	SVE2	Maakaapeli	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2022
	SVE3	Ilmajohto	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	12,7	km	2022

* Taulukko 27

** Taulukko 28

Taulukko 27. Aineisto ilmajohdon asennuksen mallinnukseen.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
<i>Tuotos</i>				
Ilmajohdon kaapeli	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U	1	km	-
<i>Syötteen</i>				
Syötteen 1 km:n kaapelia kohti	Occupation, industrial area	1 676	m2a	2023
	Transformation, from annual crop	23	m2	2023
	Transformation, from forest, unspecified	18,6	m2	2023
	Transformation, to industrial area	41,9	m2	2023
	Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} market for diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, U	37 400	MJ	2023

Taulukko 28. Aineisto maakaapelin asennuksen mallinnukseen.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
<i>Tuotos</i>				
Maakaapeli-liitäntä	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
<i>Syötteen</i>				
Syötteen yhtä kaapelia kohti	Occupation, industrial area	20 000*13,5	m2a	2023
	Transformation, from pasture, man made	1 000*13,5	m2	2023
	Transformation, to industrial area	1 000*13,5	m2	2023
	Electricity, medium voltage {GLO} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	274 082	kWh	2023
	Excavation, hydraulic digger {GLO} market for excavation, hydraulic digger Cut-off, U	1 400,0*13,5	m3	2023

3.1.6. Tuulivoimahankkeen käyttövaihe

Tuulivoimahankkeen käyttövaiheen mallinnus perustuu suurjännitesähkön tuotannon >3 MW:n generoimiseen aineistoon. Käyttövaihe sisältää operoinnin yleisimmät materiaali- ja energiavirrat, kuten kunnossapidon, voitelun, öljyn ja huoltokuljetukset. Lisäksi sähkönsiirtoreittien ylläpitotoimintoihin kuuluvat kunnossapitotoimenpiteet, kuten reittikorjaukset ja voiteluöljyjen vaihdot. Mallinnuslaitoksen perustamisessa käytetyt tietokokonaisuudet on esitetty alla (Taulukko 29-Taulukko 32).

Taulukko 29. Aineisto tuuliturbiinien operoinnin mallintamiseen.

		Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
Tuotos		B_Niinimäki tuulivoimalat	1	kWh	-
Syötteen	Tuulienergia	Energy, kinetic (in wind), converted	3,87	MJ	-
	Voitelu	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	4,6E-5*1,59	kg	2023
	Huolto-kuljetukset	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 Cut-off, U	1,2E-12	tkm	2023
Tuhtala tuotos	Vanha voiteluöljy	Waste mineral oil {Europe without Switzerland} market for waste mineral oil Cut-off, U	4,6E-5*1,59	kg	2023

Taulukko 30. Aineisto sähkönsiirtoreittien operoinnin mallintamiseen (SVE1, SVE2 ja SVE3).

			Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
Tuotos			B_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	13 920	GWh	-
VE 1 -syötteen	SVE1	Ilmajohdot	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	16,2	km	2022
	SVE2	Maakaapelit	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2022
	SVE3	Ilmajohdot	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	12,7	km	2022
Tuotos			B_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	10 400	GWh	-
VE2-syötteen	SVE1	Ilmajohdot	Siirtoverkko, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja {RER} siirtoverkon rakentaminen, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja Raja-arvo, U *	16,2	km	2022
	SVE2	Maakaapelit	Tuuliturbiiniverkkoyhteys, 4,5 MW, maalla {GLO} tuulivoimaloiden verkkoyhteyden rakentaminen, 4,5 MW, maalla Raja-arvo, U **	1	p	2022
	SVE3	Ilmajohdot	Siirtoverkko, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja {RER} siirtoverkon rakentaminen, sähkö, suurjännitteinen tasasähkölinja Raja-arvo, U *	12,7	km	2022

* Taulukko 30

** Taulukko 31.

Taulukko 31. Aineisto ilmajohdon operoinnin mallintamiseen.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
Tuotokset				
Ilmajohdon kaapeli	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U	1	km	-
Syötteen				
Syötteen 1 km:n kaapelia kohti	Maintenance, transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} maintenance, transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U	40	kmy	2023

Taulukko 32. Aineisto maakaapelin operoinnin mallintamiseen.

	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
Tuotokset				
Maakaapeli-liitäntä	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
Syötteen				
Syötteen yhtä kaapelia kohti	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	490,6*13,5	kg	2023
	Lubricating oil {RoW} market for lubricating oil Cut-off, U	2 329,3*13,5	kg	2023
Jätteet yhtä kaapelia kohti	Waste mineral oil {CH} market for waste mineral oil Cut-off, U	19,1*13,5	kg	2023
	Waste mineral oil {Europe without Switzerland} market for waste mineral oil Cut-off, U	774,0*13,5	kg	2023
	Waste mineral oil {RoW} market for waste mineral oil Cut-off, U	2 026,7*13,5	kg	2023

3.1.7. Elinkaaren loppu / käytöstä poisto (End-of-life, EoL)

Tuulivoimahankkeen elinkaaren loppuvaihe mallinnetaan saatavilla olevien yleisten tietoaaineistojen perusteella samalla tavalla kuin aiemmissakin elinkaarivaiheissa. Yleiset tietoaaineistot sisältävät tietoja jätteiden kuljetuksesta, käsittelystä ja loppusijoituksesta syntyvästä jätteestä, kun tuulivoimalat ja/tai voimajohdot puretaan ja poistetaan käytöstä käyttönsä lopussa. Samoin kuin aiemmissa elinkaarivaiheissa, skaalauskerroin käytetään geneeristen aineistojen muokkaamiseen edustamaan tutkimuksen kohteena olevaa tuulivoimahanketta. Mallinnuslaitoksen perustamisessa käytetyt tietokokonaisuudet on esitetty alla (Taulukko 33-Taulukko 35) ja Liitteessä I.

Taulukko 33. Tuuliturbiinien käytöstä poisto.

Elinkaari		Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
	Tuotos	C_Niinimäki tuulivoimalat	13 920	GWh	-
Syötteen	VE1	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U *	12	p	2022
	Tuotos	B_Niinimäki tuulivoimalat	10 400	GWh	-
	VE2	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U *	9	p	2022

* Aineistoa muokattiin edustamaan Vestas V172-7.2MW turbiinimallia. Katso Liite I: Vestas V172-7.2MW -tuuliturbiinin käyttöä lopun mallintamiseen .

Taulukko 34. Sähkönsiirtoreittien käytöstä poisto (SVE1, SVE2 ja SVE3).

	Elinkaari		Dataset	Määrä	Yksikkö	Aineiston vuosi
	Tuotos		C_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	10 400	GWh	-
VE 1 -syötteen	SVE1	Ilmajohdot	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	16,2	km	2022
	SVE2	Maakaapeli	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2022
	SVE3	Ilmajohdot	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	12,7	km	2022
	Tuotos		C_Niinimäki sähkönsiirtoreitti	13 920	GWh	-
VE2-syötteen	SVE1	Ilmajohdot	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	16,2	km	2022
	SVE2	Maakaapeli	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U **	1	p	2022
	SVE3	Ilmajohdot	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U *	12,7	km	2022

* Taulukko 34.

** Taulukko 35.

Taulukko 35. Ilmajohtokaapelin käytöstä poisto.

Tulo/lähtö	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
<i>Lähdöt</i>				
Ilmajohdon kaapeli	Transmission network, electricity, high voltage direct current aerial line {RER} transmission network construction, electricity, high voltage direct current aerial line Cut-off, U	1	km	-
<i>Syötteen</i>				
Pysyvä jäte	Inert waste, for final disposal {CH} market for inert waste, for final disposal Cut-off, U	65,0	kg	2023
Metallijäte	Scrap steel {CH} market for scrap steel Cut-off, U	4,0	kg	2023
	Scrap steel {Europe without Switzerland} market for scrap steel Cut-off, U	3 172,4	kg	2023
	Waste aluminium {GLO} market for waste aluminium Cut-off, U	823,8	kg	2023
Betonijäte	Waste concrete {CH} market for waste concrete Cut-off, U	704,3	kg	2023
	Waste concrete {Europe without Switzerland} market for waste concrete Cut-off, U	199 215,7	kg	2023
Jätelasi	Waste glass {RER} market group for waste glass Cut-off, U	1 380,0	kg	2023
Jäteöljy	Waste mineral oil {CH} market for waste mineral oil Cut-off, U	3,2	kg	2023
	Waste mineral oil {Europe without Switzerland} market for waste mineral oil Cut-off, U	127,8	kg	2023

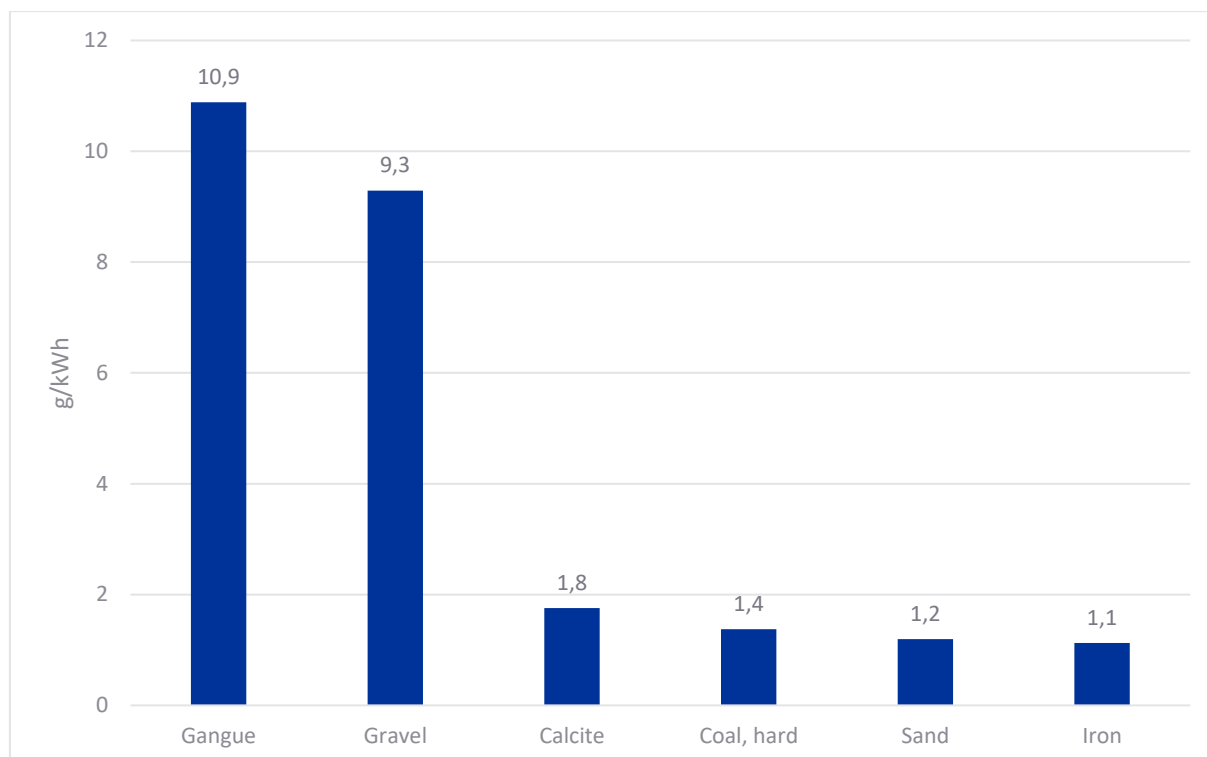
Taulukko 36. Maakaapelin käytöstä poisto.

Tulo/lähtö	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
<i>Lähdöt</i>				
Maakaapeli-liitäntä	Wind turbine network connection, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine network connection construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
<i>Syötteet</i>				
Elektroniikkaromu	Electronics scrap from control units {GLO} market for electronics scrap from control units Cut-off, U	7044*13,5	kg	2023
Metallijätteet	Scrap copper {CH} market for scrap copper Cut-off, U	273,2*13,5	kg	2023
	Scrap copper {Europe without Switzerland} market for scrap copper Cut-off, U	5 822,9*13,5	kg	2023
	Scrap copper {RoW} market for scrap copper Cut-off, U	12 260,8*13,5	kg	2023
	Scrap steel {CH} market for scrap steel Cut-off, U	3,9*13,5	kg	2023
	Scrap steel {Europe without Switzerland} market for scrap steel Cut-off, U	3 150,5*13,5	kg	2023
	Scrap steel {RoW} market for scrap steel Cut-off, U	9 784,4*13,5	kg	2023
Jätebetoni	Waste concrete, not reinforced {CH} market for waste concrete, not reinforced Cut-off, U	24,9*13,5	kg	2023
	Waste concrete, not reinforced {Europe without Switzerland} market for waste concrete, not reinforced Cut-off, U	2 355,6*13,5	kg	2023
	Waste concrete, not reinforced {RoW} market for waste concrete, not reinforced Cut-off, U	33 619,3*13,5	kg	2023
PVC-muovijätteet	Waste polyvinylchloride {BR} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	248,8*13,5	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {CO} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	16,6*13,5	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {CY} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	1,2*13,5	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {IN} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	6,8*13,5	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {PE} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	2,7*13,5	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {RER} market group for waste polyvinylchloride Cut-off, U	215,7*13,5	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {RoW} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	1 742,3*13,5	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {ZA} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	6,5*13,5	kg	2023

3.2. Elinkaari-inventaarioanalyysin tulokset

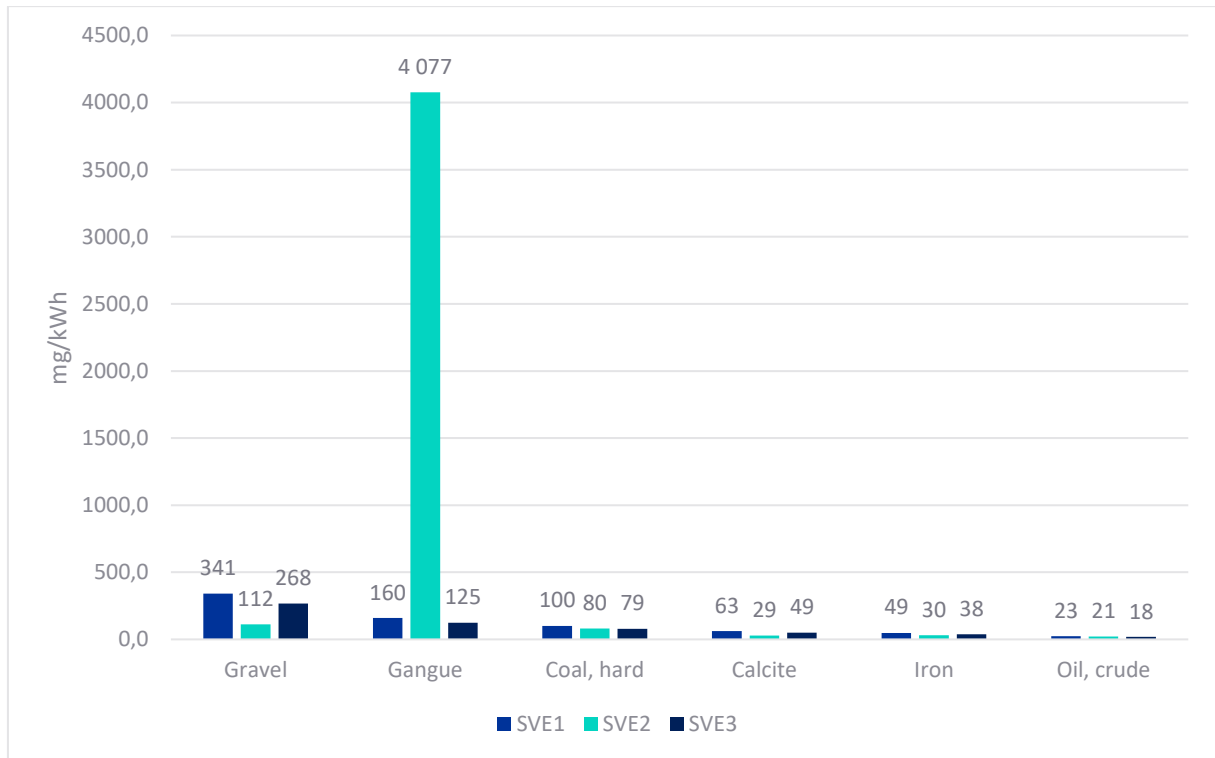
Esitetty inventaario on jaettu parametriryhmiin ja tulokset perustuvat toiminnalliseen yksikköön (kapale 2.2.2).

Inventaariotulosten päätehtävänä on selvittää hankkeessa kuluvien luonnonresurssien luonnetta ja energiankulutuksen määrää ja ne esitetään koko elinkaaren osalta. Tuulivoimaloiden resurssien käytössä korostuu sivumineraalit, sora, kalsiitti, kivihiili, hiekka ja rauta. Merkittävimpien luonnonvarojen kulutus toiminnallista yksikköä kohti on esitetty alla (Kuva 2).



Kuva 2. Tuulivoimaloiden raaka-ainekäyttö toiminnallista yksikköä kohti.

Sähkönsiirtoreittivaihtoehdoissa korostuu erityisesti soran, sivumineraalien, kivihiilen, kalsiitin, raudan ja raakaöljyn kulutus. Koska SVE2 olisi maakaapeli, sivumineraalien kulutus korostuu enemmän suhteessa sähkönsiirron muihin vaihtoehtoihin. SVE1:n ja SVE3:n osalta tulokset ovat keskenään melko linjassa, kun taas SVE2:n tulokset poikkeavat ilmajohtovaihtoehdoista. Inventaarioanalyysin tulokset on esitetty alla (Kuva 3).



Kuva 3. Sähkönsiirtoreittivaihtoehtojen raaka-ainekäyttö toiminnallista yksikköä kohti.

4. Elinkaarivaikutusten arviointi (LCIA)

Elinkaarivaikutusten arviointi (LCIA) perustuu edellisessä luvussa kuvattuun inventaarioanalyysiin (LCI). Vaikutustenarvioinnin avulla tuotejärjestelmää arvioidaan ympäristönäkökulmasta käyttämällä asi-aankuuluvia indikaattoreita. Tässä elinkaariarvioinnissa ei sovellettu vain vaikutustenarvioinnin vapaa-valinnaisia osia.

Tarkastelu karakterisoi Yhteisen tutkimuskeskuksen (Joint Research Centre, JRC) EF 3.1 -vaikutus-tenarviointimenetelmän asettamilla parametreilla. Esitettäviksi indikaattoreiksi on valittu fossiilinen resurssien käyttö, mineraalien ja metallien käyttö sekä ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP) alaka-tegorioineen: GWP-fossiilinen (fossil), GWP-biogeeninen (biogenic), GWP-maankäyttö ja maankäytön muutos (LULUC) sekä GWP-total (yhteensä).

Fossiilinen resurssien käyttö viittaa uusiutumattomien fossiilisten luonnonvarojen, kuten hiilen, öljyn ja maakaasun, kulutukseen. Tuulivoimalan osalta tämä luokka kuvastaa fossiilisten polttoaineiden re-sursseja, joita kulutetaan sen rakennus-, käyttö-, huolto- ja käytöstäpoistovaiheissa. Tulokset esitetään yksikössä MJ/ tuotettu kWh (VE2 mukaan).

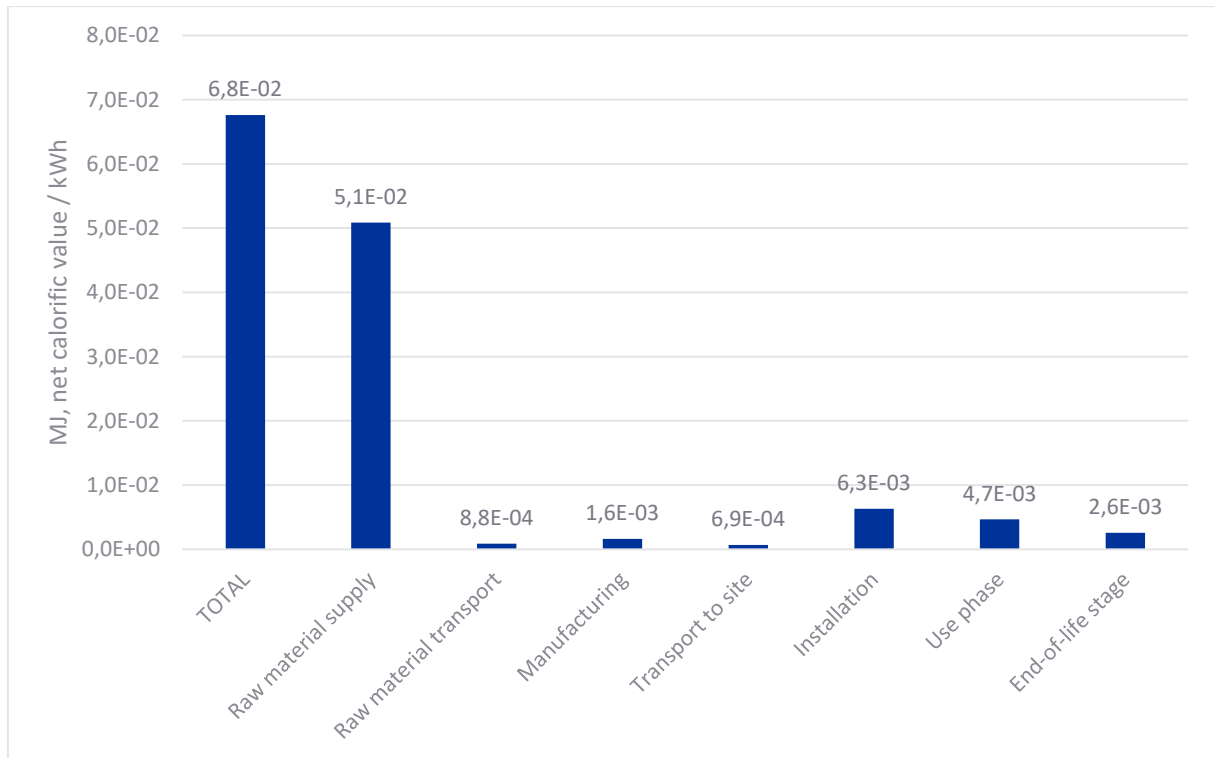
Mineraalien ja metallien käyttö kuvaa uusiutumattomien mineraali- ja metallivarojen kulutusta ja eh-tymistä. Tämä indikaattori arvioi, missä mitoin tuotteen tai järjestelmän elinkaari perustuu rajallisiin geologisiin resursseihin ja niiden louhinnan ja käytön mahdollisiin ympäristövaikutuksiin. Tuulivoima-loiden osalta tämä vaikutusluokka kvantifioi laitoksen rakentamiseen ja käyttöön tarvittavien mineraa-lien ja metallien louhinnan, jalostuksen ja käsittelyn. Tulokset esitetään yksikkönä kg Sb ekv./ tuotettu kWh (VE2 mukaan).

Ilmaston lämpenemispotentiaali tarkastelee kasvihuonekaasujen vaikutusta ilmaston tilaan. Esitettävä yksikkö on CO₂eq./ tuotettu kWh (VE2 mukaan).

4.1. Fossiilinen luonnonvarojen käyttö

4.1.1. Tuulivoimalavaihtoehdot

Tuulivoimalan vaikutuksista 75 % ajoittuu raaka-aineen hankintavaiheeseen ja elinkaaren muiden vai-heiden osuus kokonaisuudesta on marginaalinen. Jakauma on havainnollistettu alla (Kuva 4 ja Taulukko 37). Sähkönsiirtoreitti ei sisälly näihin tuloksiin.



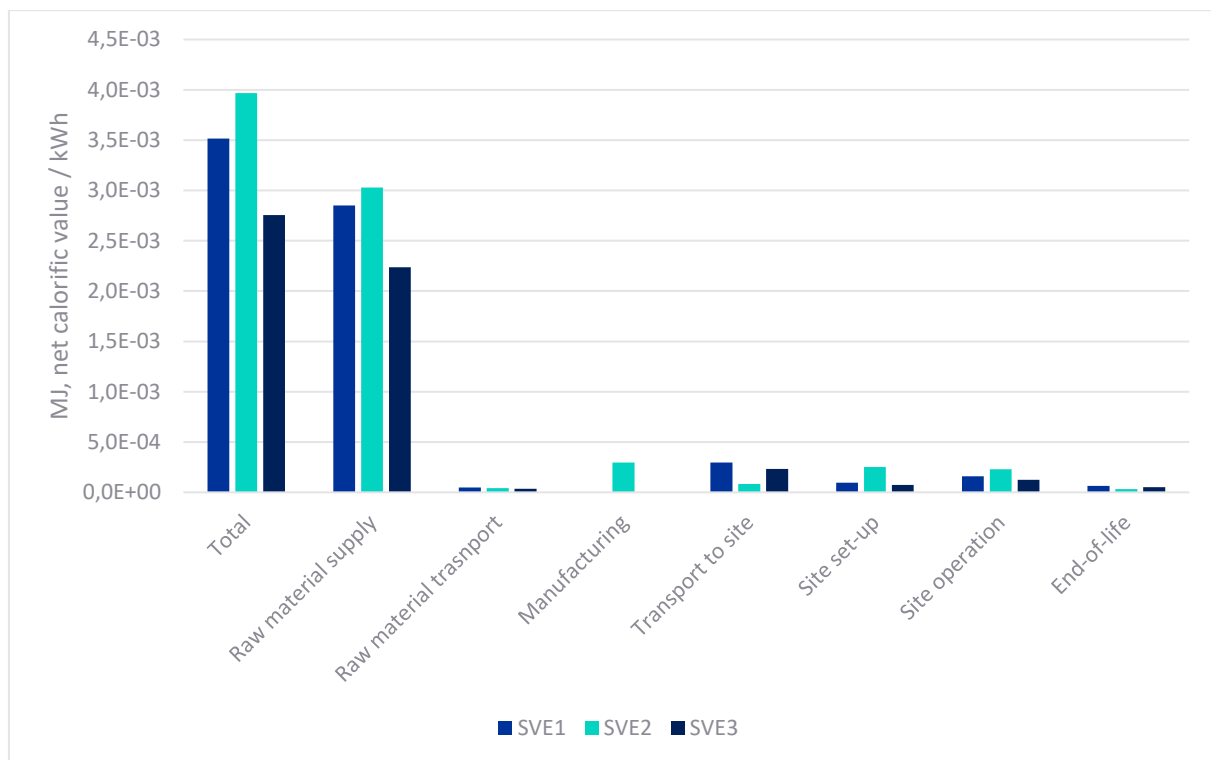
Kuva 4. Fossiilisten resurssien käytön vaikutusten jakautuminen elinkaaren eri vaiheiden välillä.

Taulukko 37. Fossiilisten resurssien käyttö VE1:n ja VE2:n tuulivoimaloissa.

Elinkaaren vaihe	Tulos [MJ/kWh]	Tieteellinen merkitätapa [MJ/kWh]
Raaka-aineiden hankinta	0,051	5,10E-02
Raaka-aineiden kuljetukset	0,001	1,00E-03
Komponenttien tuotanto	0,002	2,00E-03
Kuljetus hankealueelle	0,001	1,00E-03
Asennus	0,006	6,00E-03
Käyttövaihe	0,005	5,00E-03
Käytöstä poisto	0,003	3,00E-03
YHTEENSÄ	0,068	6,80E-02

4.1.2. Sähkönsiirtoreittivaihtoehdot

Sähkönsiirtoreittivaihtoehtoja tarkasteltaessa tämän kategorian eri vaihtoehtojen välillä ei ole merkittävää vaihtelua. Tulokset ovat keskenään samassa suuruusluokassa. SVE2 aiheuttaa eniten ympäristövaikutuksia tässä kategoriassa, mikä johtuu kuparin louhinnasta raaka-aineiden hankinnan yhteydessä. SVE2:n osalta raaka-aineiden hankinta aiheuttaa 76,3 prosenttia ja raaka-aineiden jatkojalostus 7,5 prosenttia tämän vaikutusluokan päästöistä. SVE1:n ja SVE3:n osalta raaka-aineiden hankinta aiheuttaa 81 % päästöistä ja komponenttien kuljetus tuulivoima-alueelle aiheuttaa 8,5 % päästöistä. Muut elinkaaren vaiheet ovat marginaalisessa asemassa.



Kuva 5. Fossiilinen resurssien käyttö, sähkönsiirtovaihtoehdot.

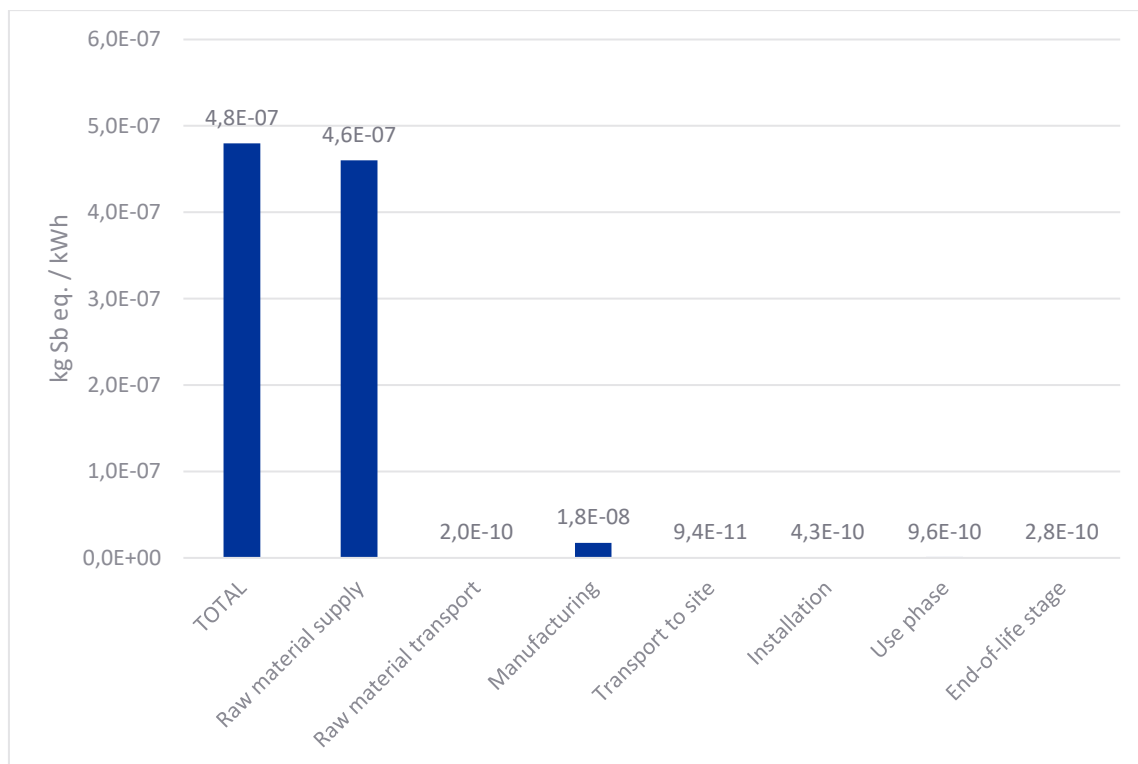
Taulukko 38. Resurssien käyttö, fossiilinen sähkönsiirtovaihtoehdoissa

Sähkönsiirtoreittivaihtoehto	Tulos [kg Sb ekv./kWh]
SVE1	3,51E-03
SVE2	3,97E-03
SVE3	2,76E-03

4.2. Luonnonvarojen käyttö, mineraalit ja metallit

4.2.1. Tuulivoimalavaihtoehdot

Tuulivoimalan vaikutuksista 96 % ajoittuu raaka-aineen hankintavaiheeseen ja elinkaaren muissa vaiheissa osuus kokonaisuudesta on marginaalinen. Jakauma on havainnollistettu alla (Kuva 6 ja Taulukko 39).



Kuva 6. Tuulivoimaloiden mineraalien ja metallien käytön jakautuminen elinkaaren eri vaiheiden välillä.

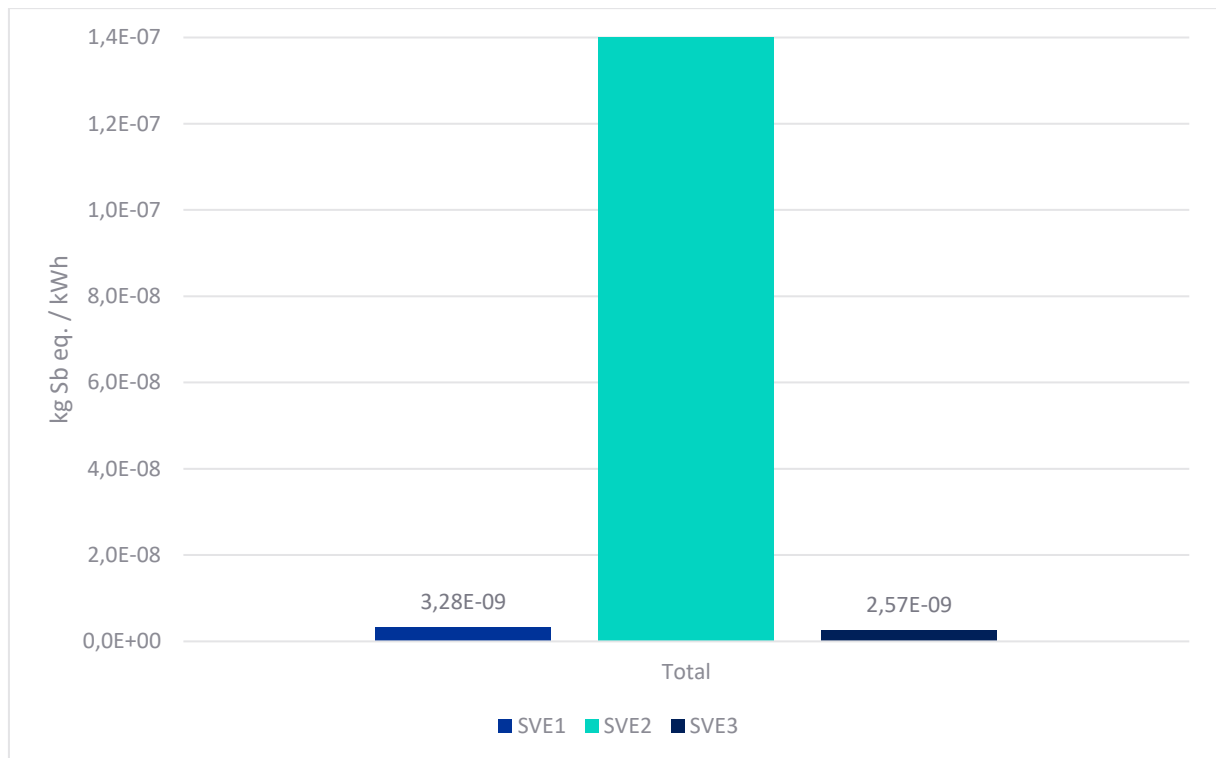
Taulukko 39. VE1 ja VE2: Resurssien käyttö, mineraalit ja metallit.

Elinkaaren vaihe	Tulos [kg Sb ekv./kWh]	Tieteellinen merkintä [kg Sb ekv./kWh]
Raaka-aineiden toimitus	0,0000004600	4,60E-07
Raaka-aineiden kuljetukset	0,0000000002	1,95E-10
Valmistus	0,0000000175	1,75E-08
Kuljetus hankealueelle	0,0000000001	9,40E-11
Asennus	0,0000000004	4,34E-10
Käyttövaihe	0,0000000010	9,58E-10
Käytöstä poisto	0,0000000003	2,78E-10
YHTEENSÄ	0,0000004800	4,80E-07

4.2.1. Sähkönsiirtoreittivaihtoehdot

SVE2 erottuu selvästi metallien ja mineraalien käytössä verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Merkittävin ero on raaka-aineen hankinnan vaiheessa. SVE2:ssa kupari aiheuttaa selvästi suurimman osan päästöistä, 83 %. SVE1- ja SVE3-vaihtoehdoissa sinkki on suurin päästölähde, 37 %. Tässä yhteydessä merkittävä osa päästöistä syntyy lisäksi lasin ja alumiinin tuotannosta (Taulukko 40).

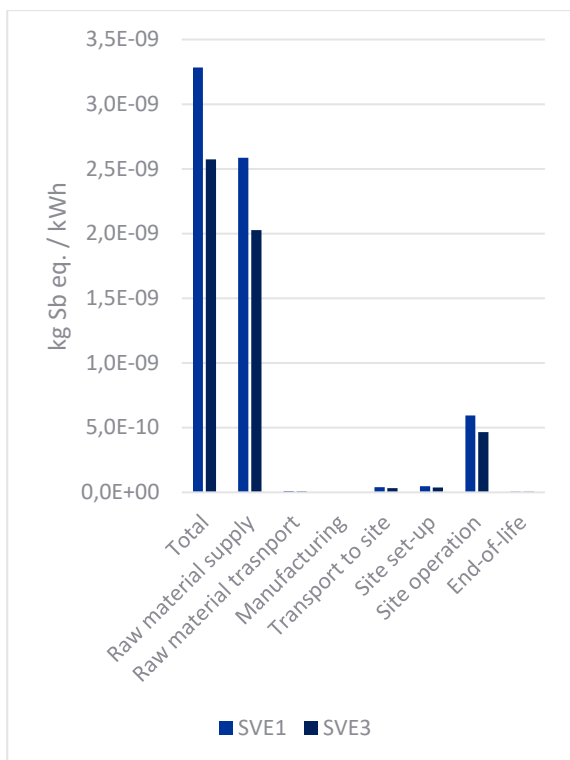
Raaka-aineiden hankinnan lisäksi käyttövaihe aiheuttaa jonkin verran päästöjä SVE1- ja SVE3-vaihtoehdoissa. SVE2:n tapauksessa päästöt keskittyvät yksinomaan raaka-aineiden hankintaan ja vähäisessä määrin myös niiden jatkojalostukseen. SVE1:n ja SVE3:n käyttövaiheen päästöt aiheutuvat ilmajohdon kunnossapitotoimista. Jakaumat eri vaihtoehdoille on esitetty alla (Kuva 8 ja Kuva 9).



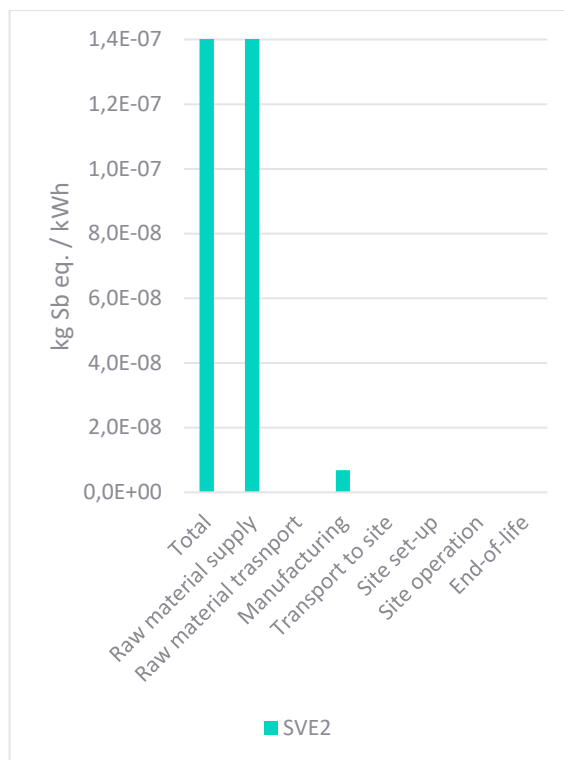
Kuva 7. Resurssien käyttö, mineraalit ja metallit eri sähkönsiirtoreittivaihtoehdoissa.

Taulukko 40. Resurssien käyttö, mineraalit ja metallit sähkönsiirtovaihtoehdoissa

Sähkönsiirto	Yhteensä [kg Sb ekv./kWh]	Tieteellinen merkintätapa [kg Sb ekv./kWh]
SVE1	3,28E-09	0,00000000328
SVE2	1,86E-07	0,00000018579
SVE3	2,57E-09	0,00000000257



Kuva 8. SVE1:n ja SVE3:n resurssien käytön, mineraalien ja metallien jakauma.

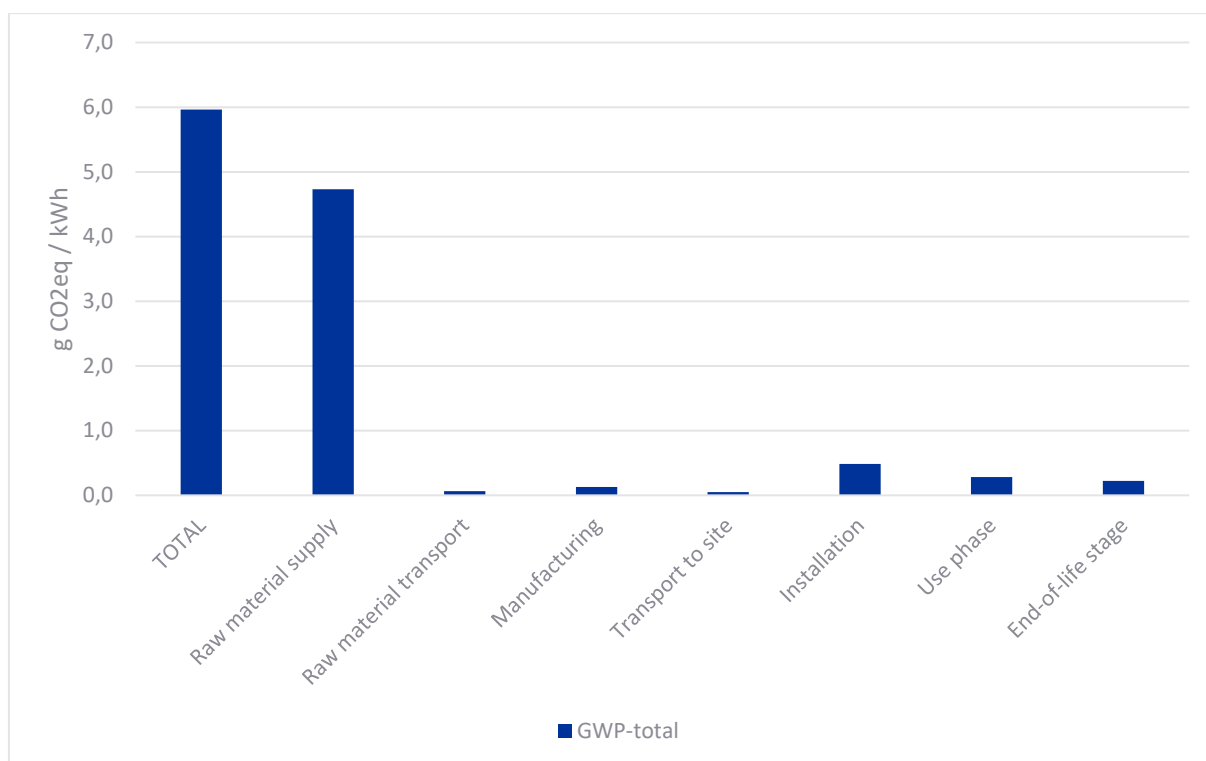


Kuva 9. SVE2:n resurssien käytön, mineraalien ja metallien jakauma

4.3. Ilmastonmuutospotentiaali

4.3.1. Tuulivoimalavaihtoehdot

Tuulivoimaloiden elinkaareissa kasviuonekaasujen kokonaisvaikutus on 5,96 g CO₂ekv./kWh. Raaka-aineiden hankintavaihe aiheuttaa suurimman osuuden päästöistä, ja sen osuus on 4,73 g CO₂eq/kWh eli lähes 79 % kokonaismäärästä. Tämä korostaa raaka-aineiden hankinnan ja jalostuksen energiain-tensiivisyyttä. Asennus- ja käyttövaiheet aiheuttavat jonkin verran päästöjä, kun taas kuljetusvaiheiden vaikutus on vähäinen. Tiedot on havainnollistettu alla (Kuva 10 ja Taulukko 41).



Kuva 10. GWP:n kokonaisvaikutusten jakautuminen elinkaaren eri vaiheiden kesken.

Taulukko 41. VE1:n ja VE2:n ilmastomuutosvaikutukset

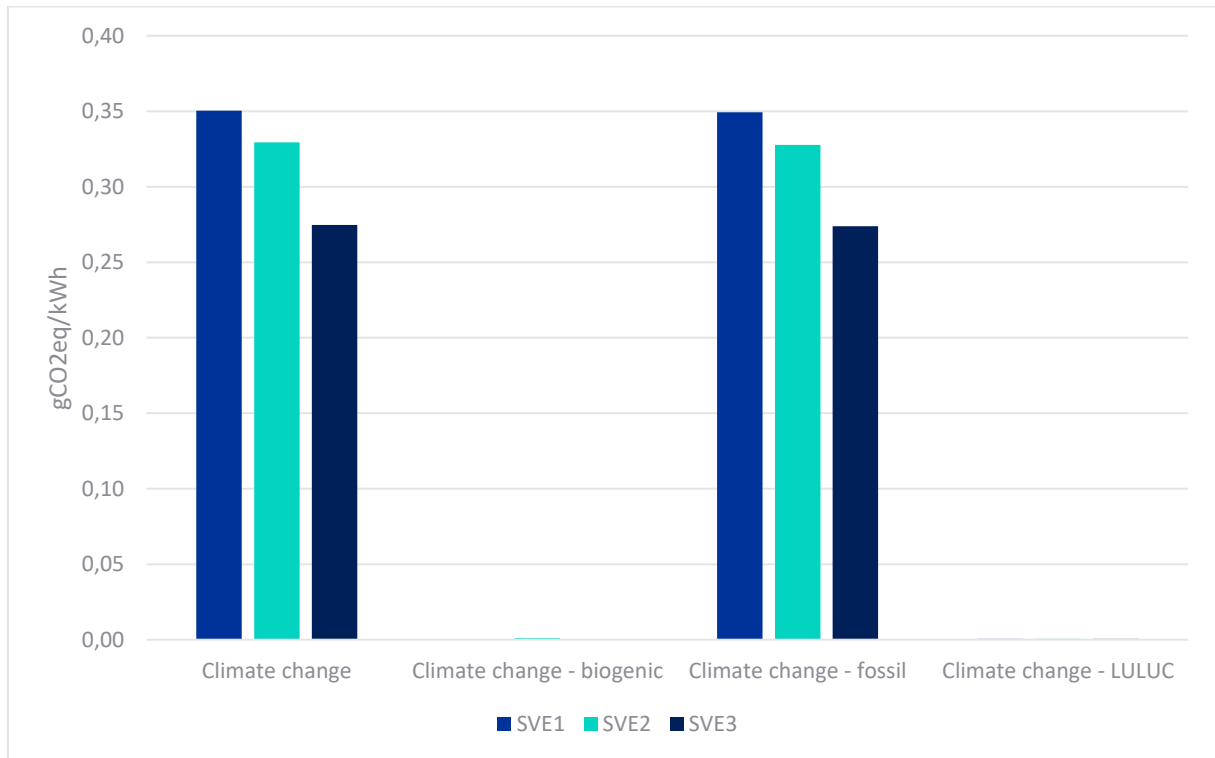
Elinkaaren vaihe	Tulos [gCO2eq./kWh]	Tieteellinen merkin- tätapa [gCO2eq./kWh]
Raaka-aineiden toimi- tus	4,73	4,73E+00
Raaka-aineiden kulje- tukset	0,06	6,39E-02
Valmistus	0,13	1,29E-01
Kuljetus hankealueelle	0,05	5,12E-02
Asennus	0,49	4,85E-01
Käyttövaihe	0,28	2,81E-01
Käytöstä poisto	0,22	2,22E-01
YHTEENSÄ	5,96	5,96E+00

4.3.1. Sähkönsiirtoreittivaihtoehdot

Eniten hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä aiheuttaa SVE1 ja vähiten SVE3. SVE2:n elinkaari aiheuttaa 5 % vähemmän päästöjä ja SVE3:n elinkaari 19 % vähemmän päästöjä kuin SVE1:n elinkaari (Kuva 11).

Kaikissa kolmessa vaihtoehdossa raaka-aineiden hankinta aiheuttaa suurimman osan päästöistä. Ilmajohdon (SVE1 ja SVE3) osalta alumiinin hankinta aiheuttaa noin puolet koko elinkaaren päästöistä, 50,5 %. Loput päästöistä aiheutuu suurelta osin muiden metallien ja metalliseosten, kuten raudan (8,1 %) ja teräksen (3,5 %) hankinnasta. Komponenttien kuljetus valmistuspaikalle aiheuttaa 6,3 % päästöistä.

Maakaapelin elinkaaren aikana kuparin hankinta aiheuttaa 48,8 % päästöistä ja on suurin yksittäinen tekijä. Loput päästöt aiheutuvat hajakuormituslähteistä, kuten teräksen hankinnasta (7,8 %) ja materiaalien jalostamisesta komponenteiksi kokonaisuudessaan (valmistusvaihe, yhteensä 7,3 %) (Taulukko 42).



Kuva 11. GWP yhteensä, SVE1, SVE2 ja SVE3.

Taulukko 42. Sähkönsiirtovaihtoehtojen GWP yhteensä.

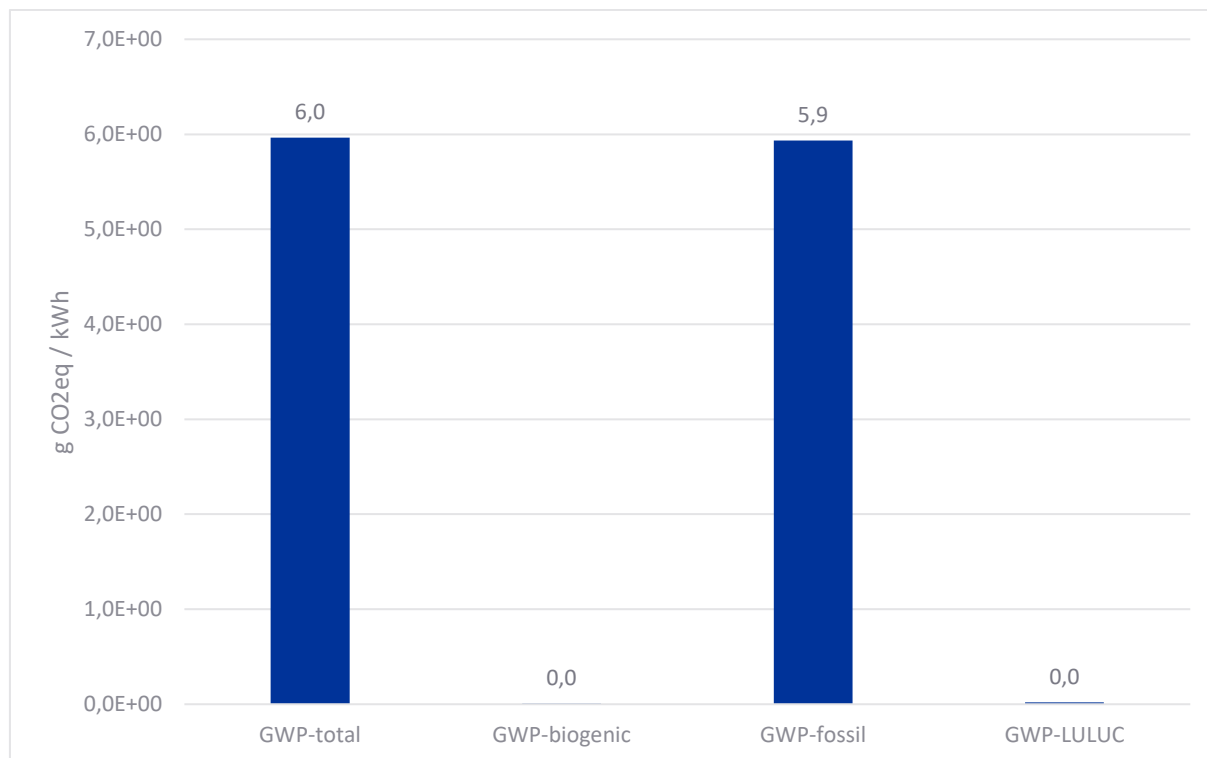
Sähkönsiirtomahdollisuus	Tulos [gCO2eq./kWh]	Tieteellinen merkintätapa [gCO2eq./kWh]
SVE1	0,35	3,50E-01
SVE2	0,33	3,29E-01
SVE3	0,27	2,75E-01

4.5. Tulosten jakautuminen GWP-vaikutusluokissa

4.5.1. Tuulivoimalavaihtoehdot

Tuulivoimaloiden ilmastolämpenemispotentiaali painottuu merkittävästi fossiilisiin vaikutuksiin, kun taas GWP-biogeeniset ja GWP-LULUC-päästöt ovat erittäin marginaalisesti edustettuina. Jakauma näiden alaluokkien välillä on esitetty alla (Kuva 12 ja Taulukko 43).

Tuulivoimaloista syntyy päästöjä yhteensä 5,96 gCO₂eq./kWh. 5,94 gCO₂eq./kWh päästöistä on peräisin fossiilisista lähteistä. Biogeenisen GWP:n (0,01 gCO₂eq./kWh) ja GWP-LULUC:n (0,02 gCO₂eq./kWh) vaikutus on liki olematon.



Kuva 12. Tuulivoimaloiden ilmastomuutoksen vaikutusluokkien jakauma

Taulukko 43. VE1- ja VE2-tuulivoimaloiden ilmastomuutospotentiaali.

Vaikutusluokka	Tulos [gCO ₂ eq./kWh]	Tieteellinen merkintätapa [gCO ₂ eq./kWh]
GWP yhteensä	5,96	5,96E+00
GWP-biogeeninen	0,01	7,47E-03
GWP-fossiilinen	5,94	5,94E+00
GWP-LULUC	0,02	2,04E-02

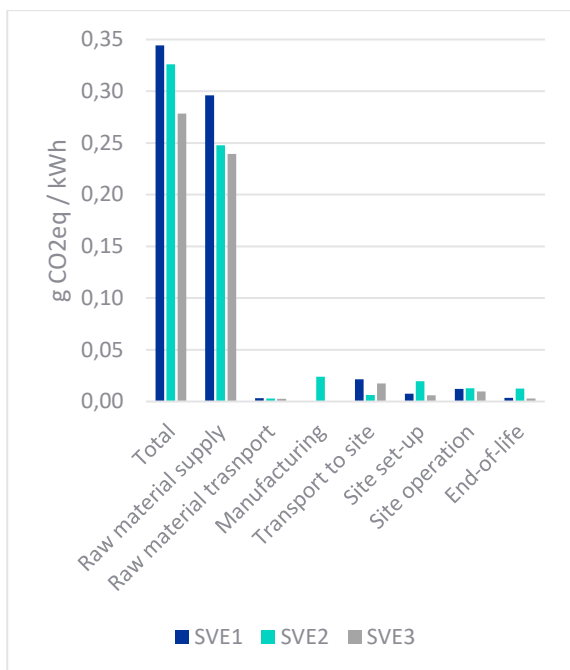
4.5.1. Sähkönsiirtoreittivaihtoehdot

GWP-fossiilinen aiheuttaa selkeästi suurimman osan päästöistä GWP:n alaluokissa, liki 100 %. Muiden alaluokkien osuus on marginaalinen. GWP-biogeenista lukuun ottamatta kaikissa alaluokissa SVE1 aiheuttaa eniten päästöjä ja SVE3 vähiten päästöjä. Kaikissa alaluokissa raaka-aineiden hankinta

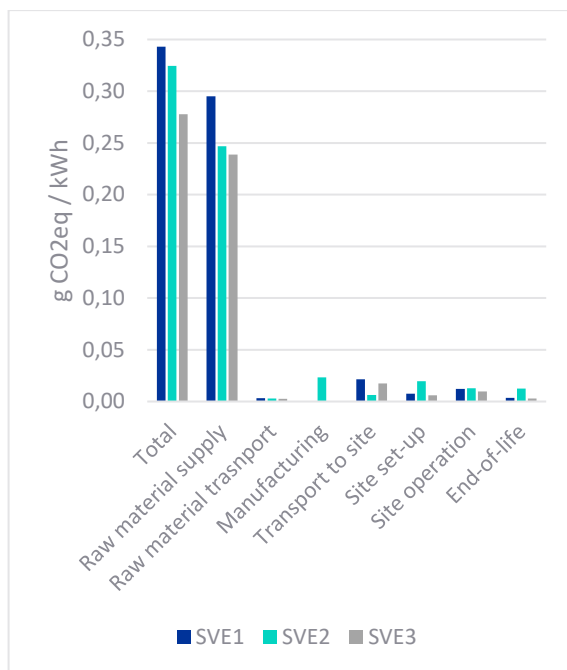
aiheuttaa suurimman osan päästöistä ja muiden elinkaaren vaiheiden osuus on melko vähäinen. SVE2:n kohdalla myös raaka-aineiden jalostaminen komponenteiksi aiheuttaa myös jonkin verran päästöjä GWP-biogenic ja GWP-LULUC -alaluokissa.

GWP-biogeeninen on SVE2:n osalta poikkeuksellinen suhteessa muihin alaluokkiin. Tässä kategoriassa SVE2 aiheuttaa selkeästi eniten päästöjä, toisin kuin muissa alaluokissa. SVE1 aiheuttaa tässä alaluokassa 65 % vähemmän päästöjä ja SVE3 aiheuttaa 71 % vähemmän päästöjä kuin SVE2. Tämä johtuu kuparin runsaasta esiintymisestä maakaapelin raaka-aine- ja tuotantovaiheessa verrattuna ilmajohdon raaka-aineiden hankintaan ja niiden jalostamiseen.

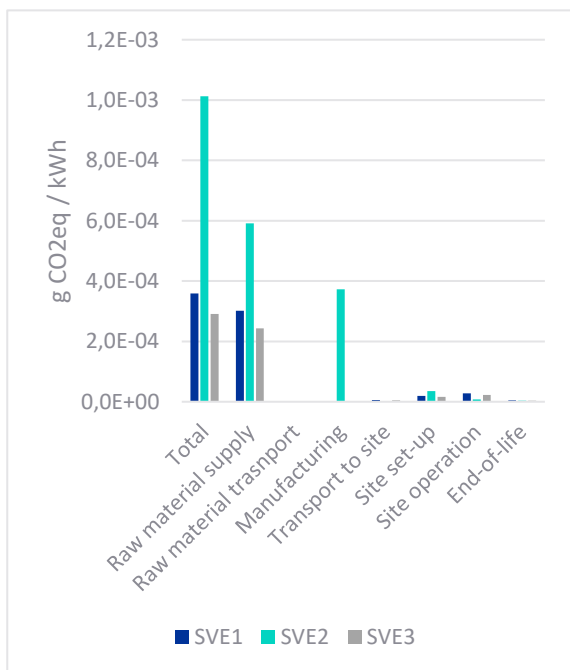
Eri vaihtoehtojen välinen vaihtelu on esitetty alla (Kuva 13-Kuva 16). Huomaa, että grafiikka kuvaa vertailtavuutta yhden vaikutusluokan sisällä eikä 4 eri vaikutusluokan vertailtavuutta. Kaavioita ei siis välttämättä ole esitetty samassa suhteessa toisiinsa nähden.



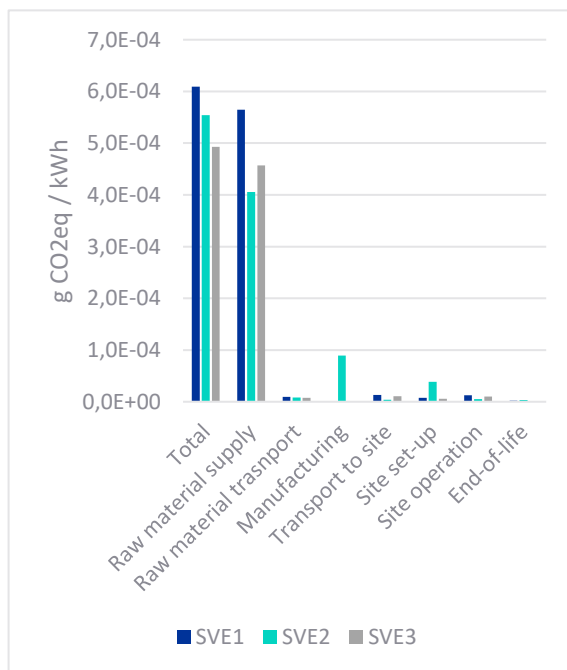
Kuva 13. Ilmastonmuutoksen kokonaisvaikutusten vertailu sähkönsiirtoreittivaihtoehtojen välillä.



Kuva 14. Fossiilisen ilmastonmuutoksen vaikutusten vertailu sähkönsiirtoreittivaihtoehtojen välillä.



Kuva 15. Biogeenisen ilmastonmuutoksen vaikutusten vertailu sähkönsiirtoreittivaihtoehtojen välillä.



Kuva 16. Maankäytön ja maankäytön muutoksen ilmastovaikutusten vertailu sähkönsiirtoreittivaihtoehtojen välillä.

5. Tulkinta ja yhteenveto

LCIA:n tulokset ovat täysin samanlaiset vaihtoehtojen VE1 ja VE2 välillä, koska tuotetun sähkön määrä kasvaa samassa suhteessa hankealueen yksittäisten tuulivoimaloiden lukumäärän kanssa. Näin ollen tässä osassa raportoiduissa tuloksissa tarkastellaan molempia turbiinivaihtoehtoja.

Vestas 172-7,2MW tuuliturbiinin oman elinkaariarvioinnin mukaan yksittäisen tuulivoimalan elinkaaren potentiaalinen ilmastovaikutus on 6,4 gCO₂ekv./kWh tuotettua sähköä (Vestas 2024). Kun lukee verrataan tämän elinkaariarvioinnin tuloksena saatuun arvoon, havaitaan että tulokset ovat samassa mittakaavassa keskenään ja siten vaikuttavat varsin luotettavilta todelliseen tilanteeseen nähden.

Sähkönsiirtoreittien osalta tulokset korostavat erityisesti sähkönsiirtoreittityypin vaikutusta kokonaistulokseen, koska maakaapeli ja ilmajohto aiheuttavat toisiinsa nähden erisuuruisia ympäristövaikutuksia. Syitä tähän voivat olla muun muassa erilaisten materiaalien toimitus ja valmistus sekä sähkönsiirtoreitin sijoittaminen (maaperän päällä vs. maaperän alla). Lisäksi huoltotoimenpiteillä voi olla jonkin verran vaikutusta tuloksiin. Tulokset on laskettu 9 tuulivoimalan mittakaavassa koko elinkaaren ajalta.

6. Lähteet

NEWA, n.d. *New European Wind Atlas*. Saatavissa: <https://map.neweuropeanwindatlas.eu/>

SFS-EN ISO 14040:2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja puitteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto ry (SFS). 48 sivua.

SFS-EN ISO 14044:2006 Ympäristöjohtaminen. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja ohjeet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto ry (SFS). 96 sivua.

Vestas, 2024. EnVentus™ -alusta. Saatavissa: <https://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/enventus/enventus-platform-brochure/?page=14>

Liitteet

Liite I: Vestas V172-7.2MW -tuuliturbiinin käyttöiän lopun mallintamiseen käytetty aineisto

Tulo /tuotos	Dataset	Määrä	Yksikkö	Vuosi(tietojoukko)
<i>Lähdöt</i>				
Tuulivoimala	Wind turbine, 4.5MW, onshore {GLO} wind turbine construction, 4.5MW, onshore Cut-off, U	1	p	-
<i>Syötteen</i>				
Tuhlata elektroniikka	Electronics scrap from control units {GLO} market for electronics scrap from control units Cut-off, U	572,1*1,59	kg	2023
Metallijätteet	Scrap copper {CH} market for scrap copper Cut-off, U	658,5*1,59	kg	2023
	Scrap copper {Europe without Switzerland} market for scrap copper Cut-off, U	14 037,1*1,59	kg	2023
	Scrap copper {RoW} market for scrap copper Cut-off, U	29 556,4*1,59	kg	2023
	Scrap steel {CH} market for scrap steel Cut-off, U	50,7*1,59	kg	2023
	Scrap steel {Europe without Switzerland} market for scrap steel Cut-off, U	40 033,4*1,59	kg	2023
	Scrap steel {RoW} market for scrap steel Cut-off, U	124 327,5*1,59	kg	2023
Jätelasi	Waste glass {BR} market for waste glass Cut-off, U	1 834,4*1,59	kg	2023
	Waste glass {CO} market for waste glass Cut-off, U	169,0*1,59	kg	2023
	Waste glass {CY} market for waste glass Cut-off, U	3,8*1,59	kg	2023
	Waste glass {IN} market for waste glass Cut-off, U	15,7*1,59	kg	2023
	Waste glass {PE} market for waste glass Cut-off, U	23,9*1,59	kg	2023
	Waste glass {RER} market group for waste glass Cut-off, U	3 484,5*1,59	kg	2023
	Waste glass {RoW} market for waste glass Cut-off, U	17 288,1*1,59	kg	2023
	Waste glass {ZA} market for waste glass Cut-off, U	70,5*1,59	kg	2023
Maalijätteet	Waste paint on metal {CH} market for waste paint on metal Cut-off, U	43,5*1,59	kg	2023
	Waste paint on metal {RoW} market for waste paint on metal Cut-off, U	5 125,3*1,59	kg	2023
	Waste paint on wall {GLO} market for waste paint on wall Cut-off, U	2 411*1,59	kg	2023
Seosmuovijäte	Waste plastic, mixture {BR} market for waste plastic, mixture Cut-off, U	2 542,2*1,59	kg	2023
	Waste plastic, mixture {CO} market for waste plastic, mixture Cut-off, U	169,8*1,59	kg	2023
	Waste plastic, mixture {CY} market for waste plastic, mixture Cut-off, U	12,8*1,59	kg	2023
	Waste plastic, mixture {IN} market for waste plastic, mixture Cut-off, U	70,1*1,59	kg	2023
	Waste plastic, mixture {PE} market for waste plastic, mixture Cut-off, U	28,3*1,59	kg	2023
	Waste plastic, mixture {RER} market group for waste plastic, mixture Cut-off, U	2 203,3*1,59	kg	2023
	Waste plastic, mixture {RoW} market for waste plastic, mixture Cut-off, U	17 797,0*1,59	kg	2023
	Waste plastic, mixture {ZA} market for waste plastic, mixture Cut-off, U	66,6*1,59	kg	2023
	Waste polyethylene {BR} market for waste polyethylene Cut-off, U	282,1*1,59	kg	2023
PE-muovijätteet	Waste polyethylene {CO} market for waste polyethylene Cut-off, U	18,8*1,59	kg	2023
	Waste polyethylene {CY} market for waste polyethylene Cut-off, U	1,4*1,59	kg	2023

	Waste polyethylene {IN} market for waste polyethylene Cut-off, U	7,7*1,59	kg	2023
	Waste polyethylene {PE} market for waste polyethylene Cut-off, U	3,1*1,59	kg	2023
	Waste polyethylene {RER} market group for waste polyethylene Cut-off, U	244,5*1,59	kg	2023
	Waste polyethylene {RoW} market for waste polyethylene Cut-off, U	1 975,4*1,59	kg	2023
	Waste polyethylene {ZA} market for waste polyethylene Cut-off, U	7,3*1,59	kg	2023
PE- tai PP-muovijäte	Waste polyethylene/polypropylene product {CH} market for waste polyethylene/polypropylene product Cut-off, U	142,1*1,59	kg	2023
	Waste polyethylene/polypropylene product {Europe without Switzerland} market for waste polyethylene/polypropylene product Cut-off, U	4 738,7*1,59	kg	2023
	Waste polyethylene/polypropylene product {RoW} market for waste polyethylene/polypropylene product Cut-off, U	12 013,5*1,59	kg	2023
PVC-muovijäteet	Waste polyvinylchloride {BR} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	507,4*1,59	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {CO} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	33,9*1,59	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {CY} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	2,5*1,59	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {IN} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	14,0*1,59	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {PE} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	5,6*1,59	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {RER} market group for waste polyvinylchloride Cut-off, U	439,7*1,59	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {RoW} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	3 552,4*1,59	kg	2023
	Waste polyvinylchloride {ZA} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	13,2*1,59	kg	2023
Jätebetoni	Waste reinforced concrete {CH} market for waste reinforced concrete Cut-off, U	5 495,8*1,59	kg	2023
	Waste reinforced concrete {Europe without Switzerland} market for waste reinforced concrete Cut-off, U	518 681,6*1,59	kg	2023
	Waste reinforced concrete {RoW} market for waste reinforced concrete Cut-off, U	7 402 492,5*1,59	kg	2023
Jätekumi	Waste rubber, unspecified {CH} market for waste rubber, unspecified Cut-off, U	12,6*1,59	kg	2023
	Waste rubber, unspecified {Europe without Switzerland} market for waste rubber, unspecified Cut-off, U	300,1*1,59	kg	2023
	Waste rubber, unspecified {RoW} market for waste rubber, unspecified Cut-off, U	300,1*1,59	kg	2023