

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2023

Elina Lundén

Puistomuuntamon elinkaariarviointi



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2023 | 35 sivua

Elina Lundén

Puistomuuntamon elinkaariarviointi

Ilmastonmuutoksen ja ihmistoiminnan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen yhteys on kiistaton. Yrityksillä ja yhteisöillä on suuri rooli päästöjen vähentämisessä. Ensimmäisenä askeleena on ympäristövaikutusten tunnistaminen ja mittaaminen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää hiilijalanjälki Utu Oy:n valmistamalle keskijänniteverkon RMU-puistomuuntamolle. Puistomuuntamo on jakelumuuntamorakennus, jossa 20 kV keskijännite muunnetaan pienjänniteverkkoon sopivalle 400 V tasolle.

Laskelma pohjautuu ensisijaisesti UTU Oy:lta ja sen tavarantoimittajilta kerättyihin tietoihin sekä julkisista tietokannoista kerättyihin päästökertoimiin. Lisäksi työssä on hyödynnetty tieteellisistä artikkeleista ja muista elinkaaritutkimuksista saatuja tietoja. Elinkaaren vaiheita tarkasteltiin kehdesta tehtaan portille -rajauksella. Suuren komponenttimäärän vuoksi hyödynnettiin ulosrajauksia. Tulos 5027 kg CO₂ ekv. koostui suurelta osin raaka-aineista. Komponenteista merkittävimmät olivat teräsrunko ja keskijännitekojeisto.

Työssä tunnistettiin kasvava tarve hiilijalanjälkitutkimukselle. Sähkökomponenttien hiilijalanjälkitietoja oli osittain saatavilla puutteellisesti, mutta suunta on parempaan.

Asiasanat:

Hiilijalanjälki, elinkaariarviointi, puistomuuntamo, jakelumuuntamo.

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and environmental technology

2023 | 35 pages

Elina Lundén

Life Cycle Assessment for Compact Secondary Substation

The connection between climate change and greenhouse gas emissions from human activity is undeniable. Companies and communities play an important role in cutting those emissions. To achieve this, the first step is to recognize and measure the environmental impacts.

The aim of this thesis was to conclude a life cycle assessment of the RMU based Compact Secondary Substation manufactured by Utu Oy. Compact Secondary Substation is used to convert 20 kV medium voltage from distribution network to low voltage level suitable for residential delivery.

The calculation is based on data collected from Utu Oy and their manufacturers as well as emission factors available on public databases. The carbon footprint was calculated from cradle to gate. Due to the complex nature of the product, cut-off criteria were applied. The result, 5027 kg CO₂ eqv. consisted mainly of raw materials. Material-wise the main contributors to the carbon footprint were the steel frame structure and medium voltage switchgear.

Carbon footprint data for electric components was scarce but likely to become more accessible in the future. With more regulation on the way, there is a growing need for LCAs as well as other environmental impact studies.

Keywords:

Carbon footprint, Life cycle assessment, Compact secondary substation.

Sisältö

Käytetyt lyhenteet ja sanasto	6
1 Johdanto	7
2 Työn tausta	9
2.1 UTU Oy	9
2.2 Suomen sähköjakeluverkosta	9
2.3 Sähköjakelun hiilijalanjälki	11
2.4 Jakelumuuntamot	11
2.5 Puistomuuntamon rakenne	13
2.6 UTU Oy RMU puistomuuntamo	14
3 Elinkaariarviointi menetelmänä	16
3.1 Ympäristövaikutusten mittaamisen taustaa	16
3.2 Elinkaariarvioinnin rooli yritystoiminnassa	17
3.3 LCA-tutkimuksen vaiheet	18
3.4 Hiilijalanjälki	20
3.5 Rajaukset ja haasteet käytännön elinkaariarvioinnissa	21
4 Puistomuuntamon elinkaariarviointi	23
4.1 Tavoitteet ja soveltamisala	23
4.2 Inventaarioanalyysi	24
4.2.1 Kokoonpano & energiankulutus	26
4.2.2 Perustukset, asennus ja käyttö	27
4.2.3 Käytöstä poisto ja raaka-aineiden kierrätyspotentiaali	27
4.3 Vaikutusarviointi	27
5 Laskennan tulokset & hiilijalanjälki	29
5.1 Tulosten tulkinta	29
5.2 Päästövähennysmahdollisuudet	32
6 Johtopäätökset	33

Kuvat

Kuva 1. Sähköntuotanto- ja siirtojärjestelmän yksinkertaistettu kaavio. (Joensuu ym., 2018, s. 9)	10
Kuva 2. Pylväsmuuntamo ja ilmajohtoja (vasemmalla) sekä puistomuuntamo.	12
Kuva 3. Pienjännitetila. (Utu Oy, ei pvm.-a)	13
Kuva 4. UTU Oy puistomuuntamo.	14
Kuva 5. Elinkaariarvioinnin vaiheet. Mukailten SFS-EN ISO 14040:2006.	18
Kuva 6. Inventaaritietojen luokittelu vaikutusluokkiin (Antikainen, 2010).	19
Kuva 7. Systeemirajakuva.	23
Kuva 8. Elinkaaren vaiheet standardin EN 15804 mukaan. (Betoniteollisuus, 2021)	25

Kuviot

Kuvio 1. Hiilijalanjäljen muodostuminen kussakin elinkaaren vaiheessa.	29
Kuvio 2. Raaka-aineiden hiilijalanjälki.	31

Käytetyt lyhenteet ja sanasto

Lyhenne	Lyhenteen selitys
AIS	Air-insulated switchgear, ilmaeristeinen kojeisto
CO ₂ ekv	Hiilidioksidiekvivalentti
EPD	Environmental Product Declaration, ympäristöseloste
GHG	Greenhouse gas, kasvihuonekaasu
GIS	Gas-insulated switchgear, kaasueristeinen kojeisto
GWP	Global Warming Potential, ominaislämmitysvaikutus tai lämmityspotentiaali
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
LCA	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi
LCI	Life Cycle Inventory, inventaarioanalyysi
LCIA	Life Cycle Impact Assessment, vaikutusarviointi
RMU	Ring-main-unit, kojeistotyyppi
SF ₆	Rikkiheksafluoridi

1 Johdanto

Tiedeyhteisö on varsin yksimielinen siitä, että ilmastonmuutos on seurausta ihmisen tuottamien kasvihuonekaasujen päästämisestä ilmakehään. Tätä kutsutaan antroposeeniseksi ilmastonmuutokseksi, ja se on erotettavissa luonnollisesta ilmastonmuutoksesta. Alkusysäyksenä ihmisen aiheuttamalle ilmastonmuutokselle voidaan pitää teollistumisen aikakautta, jolloin ryhdyttiin laajamittaisesti hyödyntämään fossiilisia polttoaineita. Fossiilisten polttoaineiden käytön lisäksi myös muu ihmisen toiminta, kuten maatalous ja maankäytön muutokset, ovat vauhdittaneet päästöjen kasvua. (Suomen YK-liitto, ei pvm.)

Ilmaston lämpenemisen kannalta merkittävimpien, pitkäikäisten kasvihuonekaasujen hiilidioksidin (CO₂), metaanin (CH₄) ja typpioksiduulin (N₂O) määrä ilmakehässä on jatkanut kasvuaan (Ilmatieteen laitos, ei pvm.). Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli IPCC on tuoreimmassa raportissaan todennut, että ilmaston lämpenemiskehityksen hidastamiseksi tarvitaan välittömiä kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä tämän vuosikymmenen aikana (IPCC, 2023, s. 20).

Toimiin päästöjen hillitsemiseksi on ryhdytty niin globaaleilla ilmastopimimuksilla kuin paikallisemmilla sitoumuksillakin. Merkittävänä yhteisen tahtotilan ilmaisuna voidaan pitää Pariisin ilmastopimusta, jonka tavoitteena on rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu 1,5 asteeseen verrattuna esiteolliseen aikaan. Euroopan unioni nosti Green Deal -kasvuohjelmassaan ympäristö- ja ilmastotavoitteet EU:n prioriteetiksi sekä asetti tavoitteeksi olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. Suomen oma hiilineutraalisuustavoite on puolestaan asetettu vuoteen 2035. (Valtioneuvosto, 2022.)

Hiilidioksidin (ja muiden kasvihuonekaasujen) vähentämiseen on useita erilaisia reittejä: hiilensidontaa voidaan parantaa erilaisin keinoin ja hiilinieluja kasvattaa esimerkiksi maankäytön rajoituksilla tai metsityshankkeilla. Hiilidioksidin talteenotto on teknologiana lupaava, mutta mittakaavaltaan vielä täysin riittämätön ja toimii ennemminkin muita tukevana toimena. Ensisijaisena – ja

kaikkein nopeimpana toimena on kuitenkin päästöjen vähentäminen (IPCC, 2023).

Hiilineutraalisuustavoitteet ovat saaneet niin valtiot, yritykset kuin muunkinlaiset yhteisöt laskemaan omia ilmastovaikutuksiaan. Matkalla kohti päästövähennyksiä ensimmäinen askel on päästöjen selvittäminen ja mahdollisten päästövähennyskohteiden tunnistaminen. Elinkaariarvioinnilla voidaan tuottaa vertailukelpoista ja läpinäkyvää tietoa siitä, millaisia ympäristövaikutuksia tuotteen tai palvelun arvoketjun eri vaiheissa aiheutuu.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, mikä on puistomuuntamon hiilijalanjälki. Puistomuuntamot ovat 400 voltin pienjänniteverkkoa syöttäviä muuntamorakennuksia, joissa keskijännite muunnetaan loppukäyttäjille sopivaan jännitteeseen. Työ nojautuu elinkaariarviointiin, jota ohjaavat standardit. Työssä tarkastellaan myös, mitä mahdollisuuksia standardoitu menetelmä tarjoaa silloin, kuin tarkasteltava kohde koostuu suuresta määrästä komponentteja. Työn tuloksena on UTU Oy:lle hiilijalanjälkiarvio sekä lisäksi Microsoft Excel -pohjainen laskuri, jonka avulla yritys voi jatkossa kartoittaa tuotteidensa ilmastovaikutuksia. Elinkaariarviointi on tarkoitettu yrityksen omaan käyttöön, joten tarkkoja kulutustietoja ei julkaista osana opinnäytetyötä. Laskennan lopputulos eli tuotteen hiilijalanjälki hiilidioksidiekvivalenteina ilmaistuna on kuitenkin julkaistavaa tietoa.

2 Työn tausta

2.1 UTU Oy

UTU Oy on perinteikäs sähköalan yritys, joka aloitti toimintansa jo vuonna 1919 nimellä Porin sähkö- ja telefooniliike Urho Tuominen. Alun sähkökoneiden ja -tarvikkeiden myyntiin keskittynyt toiminta on yli sadan toimintavuotensa aikana laajentunut kansainväliseksi sähkö- ja automaatioalan konserniksi. Tänä päivänä tuoteportfolioon kuuluu laaja valikoima tuotteita, kuten eri mittaluokkien sähkökeskukset, asennustarvikkeet, sähköautojen latausratkaisut sekä sähkönjakelutuotteet. UTU-konserniin kuuluu myös Baltian sisaryritykset sekä Utu Automation Oy. (Utu Oy, ei pvm.-b.)

UTU Oy:n keskeisiä arvoja ovat kestävä kehitys ja vastuullisuus. Tärkeänä osana tuotesuunnittelua ja -kehitystä nähdään elinkaariajattelu. Tuotteet suunnitellaan pitkäikäisiksi ja helposti huollettaviksi. Vastuullisuusohjelmassa asetettujen tavoitteidensa mukaisesti UTUlla on jo tunnistettu oman toiminnan hiilijalanjälkeen vaikuttavat seikat, mutta tuotteiden hiilijalanjäljen selvityksessä puistomuuntamo on ensimmäinen. (Utu Oy, 2022.)

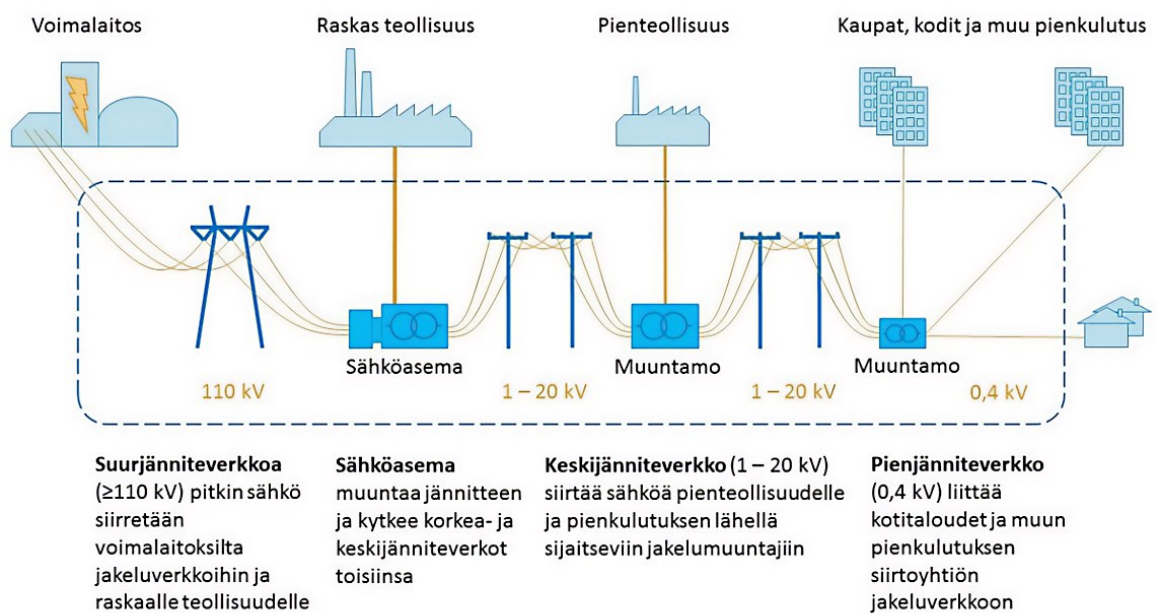
Keskijänniteverkon jakelumuuntamot, eli niin kutsutut puistomuuntamot ovat merkittävä osa UTU Oy:n tuotevalikoimaa. Niitä valmistuu Ulvilan tehtaalla vuositasolla noin 300–500 kappaletta. Yrityksen Ulvilan toiminnoista puistomuuntamoliiketoiminta muodostaa vajaan neljänneksen. (Aho, 2023.)

2.2 Suomen sähkönjakeluverkosta

Toimiva ja riittävä sähkönjakelujärjestelmä on yhteiskuntamme tukipilareita. Parhaillaan käynnissä on useiden sektorien, mm. liikkumisen ja teollisuuden sähköistymiskehitys, jolla on päästöjen rajoittamisen kannalta keskeinen rooli. Kehityksestä on erilaisia skenaarioita, mutta maltillisimmankin, nykykehitystä mukailevan skenaarion mukaan sähkönkäyttö saattaa lisääntyä noin 50 prosenttia tämänhetkisestä tasosta vuoteen 2050 mennessä. (Lund, 2022.)

Suomen sähköverkko kuuluu yhteispohjoismaiseen synkroniverkkoon yhdessä Ruotsin, Norjan ja itäisen Tanskan kanssa. Lisäksi Suomesta on tasasähköyhteydet Baltian voimajärjestelmään. (Fingrid Oyj, ei pvm.)

Suomessa sähköverkko muodostuu voimalaitoksista sekä kantaverkosta, jakeluverkoista ja sähkönkäyttäjistä, jotka ovat kaikki liittyneinä yhteiseen järjestelmään. Perinteisessä, keskitetyssä voimantuotantojärjestelmässä jako energiantuottajiin (voimalaitokset) ja käyttäjiin (teollisuus, asuminen sekä muu pienkulutus) on ollut melko selkeä (kuva 1). Tämä pitkään vallalla ollut järjestelmä on saamassa rinnalleen hajautetun sähköntuotantojärjestelmän, jossa sähköä voidaan tuottaa myös pienemmissä yksiköissä, kuten kotitalouksissa. (Elovaara & Haarla, 2011a, s. 39; Valtioneuvosto, 2022.)



Kuva 1. Sähköntuotanto- ja siirtojärjestelmän yksinkertaistettu kaavio. (Joensuu ym., 2018, s. 9)

Voimalaitoksissa tuotettu sähkö muunnetaan ensin korkeammalle jännitetasolle, jotta sen siirtäminen kantaverkossa olisi optimaalista. Kantaverkossa tämä tarkoittaa 400, 220 tai 110 kilovoltin jännitettä. Suurjännitteisessä jakeluverkossa, jota kutsutaan myös alueverkoksi, siirretään sähköä 110 kV:n jännitteellä. Seuraava taso ovat niin sanotut jakeluverkot. Sähköasemilla

jännitetaso muunnetaan jakeluverkkoon soveltuvaksi 20 kV:n keskijännitteeksi. (Elovaara & Haarla, 2011a; Fingrid, ei pvm.)

Kantaverkonhaltija Fingridillä on vastuullaan sähköjärjestelmän tekninen toimivuus, käyttövarmuus sekä valtakunnalliseen tasevastuuseen liittyvät tehtävät. Alueverkkoyhtiöt, joita vuonna 2021 oli 9 kappaletta, vastaavat suurjännitteisestä jakelusta. Jakeluverkkoyhtiöt hallinnoivat sähköverkkoa, jonka nimellisjännite on enintään 110 kV, yleisimmin 20 kV. (Elovaara & Haarla, 2011a, ss. 54–55; Fingrid, ei pvm.)

2.3 Sähkönjakelun hiilijalanjälki

Energiasektorin suurimmat päästöt syntyvät tuotantovaiheessa. Fossiilisten polttoaineiden käytön korvaantuessa uusiutuvilla energianlähteillä Suomessa tuotetun sähkön päästöt ovat pitkään olleet laskusuunnassa. Vuonna 2010 Suomen sähköntuotannon CO₂-päästöt olivat vielä noin 19 miljoonaa tonnia, kun 2022 ne olivat enää 4,4 Mt (Energiateollisuus, 2023).

Päästöjä syntyy tietenkin myös sähkönsiirrossa ja -jakelussa. Kantaverkkoyhtiö Fingrid on laskenut hiilijalanjälkensä jo useampana vuonna ja tunnistanut merkittävimmäksi päästölähteeksi epäsuorat päästöt siirtohäviöitä korvaamaan tuotetun sähköenergian käytöstä. Päästöjä syntyy myös mm. varavoimalaitosten käytöstä sekä sähköasemilla käytetyn SF₆-kaasun eli rikkiheksafluoridin vuodoista (Fingrid, 2023, s. 19, 25). Jakeluverkkoyhtiöt ovat niin ikään tarkastelleet omia ympäristövaikutuksiaan. Esimerkiksi Elenia on laskenut hiilijalanjälkensä, ja suorina päästöinä on hyvin vähän, mutta suurimmiksi epäsuorien päästöjen lähteiksi mainitaan häviösähkön hankinta sekä sähköverkon materiaalit (Elenia, 2022).

2.4 Jakelumuuntamot

Jakelumuuntamon tehtävä on yksinkertaisuudessaan muuntaa keskijännite sopivaksi syötettäväksi pienjänniteverkkoon. Suomen tapauksessa

muunnettava jännite on tavallisesti 20 kV ja pienjänniteverkon puolestaan yleensä 0,4 kV. Tarkoitukseen voidaan käyttää joko pylväs- tai puistomuuntamoita (kuva 2). Pylväsmuuntamoita on käytetty haja-asutusalueiden ilmajohtoverkoissa. Puistomuuntamot ovat suuritehoisempia ja ne ovat tyypillisesti käytössä taajama-alueilla. Tiiviisti rakennetulla kaupunkialueella voidaan muuntamot sijoittaa myös asuinrakennuksiin. (Lakervi & Partanen, 2008 s. 157–158.)



Kuva 2. Pylväsmuuntamo ja ilmajohtoja (vasemmalla) sekä puistomuuntamo.

Sähkömarkkinalaki 588/2013 edellyttää sähkönjakeluverkon toimitusvarmuuden parantamista, ja tämän takia myrskytuhoille herkemmästä, ilmajohtoin ja pylväsmuuntamoin toteutetusta verkosta on enenevässä määrin siirrytty kohti maakaapelointia. Vanhoja pylväsmuuntamoita poistetaan käytöstä, ja niiden tilalle tulee puistomuuntamoita. (Joensuu ym., 2018, s. 10; Lakervi & Partanen, 2008, ss. 160–161; Pelkonen, 2019.) Keskijänniteverkoissa kaapelointiaste oli 2021 jo 42,5 %, kun vielä 2016 kaapeloituna oli vain 22,5 % johdoista (Energiavirasto, 2022).

2.5 Puistomuuntamon rakenne

Suomessa markkinoilla olevat puistomuuntamot ovat lähes poikkeuksetta teräsrunkoisia. Muuntamorakennusten rakenteita ja mitoituksia on erilaisia riippuen tehontarpeesta ja muista määrittävistä tekijöistä. Muuntamot koostuvat pienjännitetilasta, muuntajatilasta sekä keskijännitetilasta (Lakervi & Partanen, 2008, s. 157).

Pienjännitetilassa muuntajalta tuleva 400 voltin syöttö jaetaan pienjänniteverkkoa syöttäville lähdoille ja sitä kautta loppukäyttäjille.

Pienjännitetilassa sijaitsevat mm. kuormankytkin ja jonovarokkeet (kuva 3).



Kuva 3. Pienjännitetila. (Utu Oy, ei pvm.-a)

Keskijännitetilassa sijaitseva kojeisto on kokonaisuus, joka koostuu kytkentä-, ohjaus-, suojaus- ja valvontalaitteista (Elovaara & Haarla, 2011b, s. 117).

Jakelumuuntamoissa voidaan käyttää joko ilma- tai kaasueristeistä keskijännitekojeistoa. Kaasueristeisen kojeiston (GIS, Gas Insulated Switchgear) etu on ennen muuta kompakti koko, sillä kaasu on ilmaa tehokkaampi eriste. Tällöin eristettävät komponentit voidaan sijoittaa lähelle toisiaan. Yleisesti käytetty eristekaasu SF₆, rikkiheksafluoridi on kuitenkin huomattavan potentti kasvihuonekaasu. Ilmaeristeinen kojeisto (AIS, Air Insulated Switchgear) vaatii hieman suuremman tilan, mutta on hiilijalanjäljeltään huomattavasti pienempi.

Muuntaja on tavallisesti öljyeristeinen ja hermeettisesti suljettu. Muuntajatilassa on öljynkeruukaukalo mahdollisten muuntajaöljyn valumien varalta.

2.6 UTU Oy RMU puistomuuntamo

Opinnäytetyössä kohteena olevan UTUn muuntamossa on SF₆-eristeinen RMU-kojeisto. RMU eli ring-main-unit on keskijänniteverkon kuormanerotinkojeisto, joka on silmukoitu ja kaapeloitu (Elovaara & Haarla, 2011b, s. 138). Kojeston nimellisjännite on 24 kV ja nimellisvirta 630 ampeeria. Muuntamot valmistetaan IEC 62271-201 -standardin mukaisesti (Utu Oy, ei pvm.-a).



Kuva 4. UTU Oy puistomuuntamo.

UTUn vakiomuuntajat ovat ulkokäyttöisiä eli muuntamossa ei ole erillistä huoltokäytävää, vaan jokaiseen tilaan on pääsy erillisistä ovista (kuva 4). Muuntamon runko on kuumasinkittyä terästä. Katto avautuu keskeltä, jotta muuntaja saadaan nostettua sisään, kun perustustyöt on tehty.

Muuntamot on suunniteltu modulaarisiksi, ja niitä voidaan valmistaa helposti monilla eri mitoituksilla ja kokoonpanoilla kohteen vaatiman tehontarpeen mukaisesti. Muuntamot on mahdollista tilata etäkunnonvalvonnalla, jolloin muuntamoverkkoa tarkkaillaan ja mahdolliset poikkeamat huomataan nopeasti.

3 Elinkaariarviointi menetelmänä

3.1 Ympäristövaikutusten mittaamisen taustaa

Elinkaariarviointi eli Life Cycle Assessment, myöhemmin LCA, on tiedonkeruu- ja laskentamenetelmä, jonka avulla pyritään selvittämään tuotteen tai toiminnon koko elinkaaren aikana tuottamat ympäristövaikutukset.

Elinkaariarviointia ohjaavat useat standardit, säännöskokoelmat ja niiden pohjalta luodut menetelmät. Tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutusten arviointiin ovat vakiintuneet standardit SFS-EN ISO 14040:2006, 14044:2006, sekä hiilijalanjälkistandardi ISO 14067. Tuotteiden ympäristöjalanjälki, Product Environmental Footprint (PEF) on Euroopan komission kehittämä menetelmä, joka pohjautuu edellä mainittuihin standardeihin, mutta antaa tarkemmat ohjeet laskennalle ja tähtää tuotteiden keskinäiseen vertailtavuuteen (Suikkanen & Nissinen, 2020).

Yritysten ja yhteisöjen ilmastovaikutuksia mittaamaan on kehitetty Greenhouse Gas Protocol -niminen raportointisäännös. Nimensä mukaisesti se keskittyy kasvihuonekaasupäästöihin eikä ota kantaa muihin ympäristövaikutuksiin. Se on muodostunut keskeiseksi raportointitavaksi maailmanlaajuisesti. (Greenhouse Gas Protocol, ei pvm.; Motta, 2022.)

Elinkaariarjattelu kytkeytyy tiiviisti YK:n Agenda 2030 kestävän kehityksen tavoitteisiin. Pää tavoitteissa, joita on kaiken kaikkiaan 17, käsitellään maailmanlaajuisia kestävyysaasteita kuten köyhyyden poistaminen, puhtaan energian saannin turvaaminen ja vastuullisen kuluttamisen mahdollistaminen. Niiden pyrkimyksenä on ympäristövaikutusten minimoiminen ja hyvinvoinnin maksimoiminen. Elinkaariarviointi tarjoaa menetelmän mittaamiseen ja politiikkatoimien onnistumiseen ympäristöön liittyvien tavoitteiden kohdalla. (Cristobal-Garcia ym., 2016; Sala ym., 2021; Sanyé-Mengual & Sala, 2022; Suomen ympäristökeskus, 2022.)

3.2 Elinkaariarvioinnin rooli yritystoiminnassa

Elinkaariarviointi ja hiilijalanjälkiselvitykset tarjoavat tietoa ja hyötyjä niin yrityksille ja muille yhteisöille kuin niiden sidosryhmillekin. Kun esimerkiksi kasvihuonekaasujen päästölähteet prosesseissa tunnistetaan, niiden seuranta, raportointi ja vähentäminen tulee ylipäätään mahdolliseksi (SFS-EN ISO 14067:2018, ei pvm., s. 5). Todennettuja päästötietoja voidaan hyödyntää monin tavoin yrityksen eri osa-alueilla, kuten hankinnassa ja logistiikassa, tuotesuunnittelussa, raaka-ainevalinnoissa sekä valmistusmenetelmiä valitessa. Päästövähennyksiin johtavat toimet, kuten energiatehokkuusparannukset, ovat usein kannattavia myös taloudellisesti.

Elinkaariarviointi on siirtymässä akateemisesta tutkimuksesta ja sisäiseen käyttöön tarkoitetuista arvioinneista kohti lainsäädännöllistä vaikuttavuutta. EU-sääntelyssä elinkaariajattelu on ollut mukana pitkään, mutta erityisen suuren painoarvon se on saanut Green Dealissa eli vihreän kehityksen ohjelmassa. Vihreän kehityksen ohjelma pitää sisällään aloitteita muun muassa Euroopan unionin vihreistä sisämarkkinoista, kiertotalouden toimintasuunnitelmasta ja ekosuunnitteludirektiivin uudistamisesta. Näiden tavoitteena on mm. vähentää EU-markkinoilla myytävien tuotteiden valmistusvaiheen ympäristövaikutuksia sekä parantaa tuotteiden kestävyyttä ja korjattavuutta. (Eurooppa-neuvosto, ei pvm.; Sala ym., 2021.)

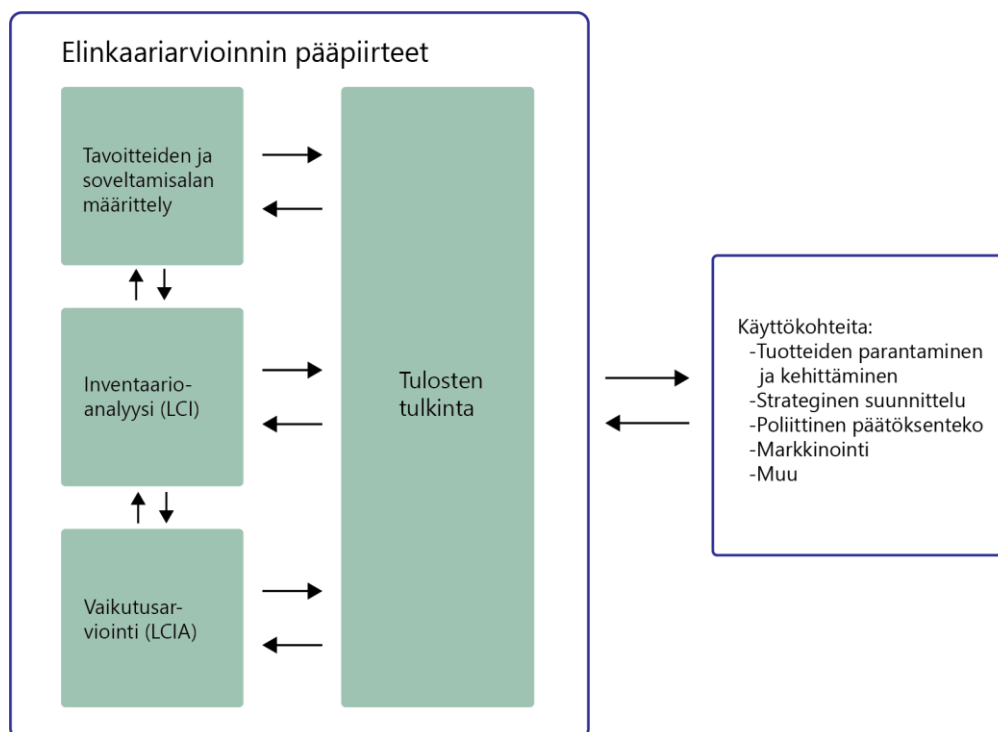
Keväällä 2023 julkaistu Green Claims -nimeä kantava Euroopan komission ehdotus vaatii yrityksiltä tuotteisiin liittyvien ympäristöväittämien todentamista. Se tulee toteutuessaan entisestään lisäämään tarvetta harmonisoiduille elinkaariarvioinneille ja läpinäkyvälle tiedolle ympäristövaikutuksista. (Euroopan komissio, 2023.)

Omia ympäristövaikutuksiaan mittaavat yritykset ovat omalla esimerkillään yhtäältä kirittämässä muita alan toimijoita ja toisaalta asettamassa painetta alihankkijaketjulle. Ympäristövaikutusten selvittäminen, niistä viestiminen sekä ympäristövastuullinen toiminta yrityksissä nähdään yleisesti kilpailuetuna (Karvonen ym., 2020). Teknologiateollisuuden (2022) Kilpailuetua

vastuullisuudesta -raportissa todetaan, että toimimalla vastuullisuusasioissa etupainotteisesti ja vapaaehtoisesti yrityksillä on mahdollisuus vaikuttaa muutokseen ja pitää yllä tulevaisuuden kilpailukykyä. Lisäksi tietoa voidaan hyödyntää päätöksenteon tukena esimerkiksi julkisissa hankinnoissa (Suikkanen & Nissinen, 2020).

3.3 LCA-tutkimuksen vaiheet

Elinkaariarviointi on luonteeltaan suhteellista, eli tulokset ovat aina suhteutettuna tutkittavaan toiminnalliseen yksikköön, ja se tähtää läpinäkyvyyteen. Arvioinnin toteutukseen ei ole yhtä ainoaa menetelmää, vaan standardi tarjoaa arvioinnille ainoastaan reunaehtoja ja arviointikriteerejä esimerkiksi tiedon laadusta. Kuten kuvasta 5 voidaan todeta, elinkaariarviointi on iteratiivinen prosessi, eli tutkimuksen eri vaiheisiin palataan uudelleen ja muutoksia ja tarkennuksia tehdään tarvittaessa matkan varrella. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 19.)



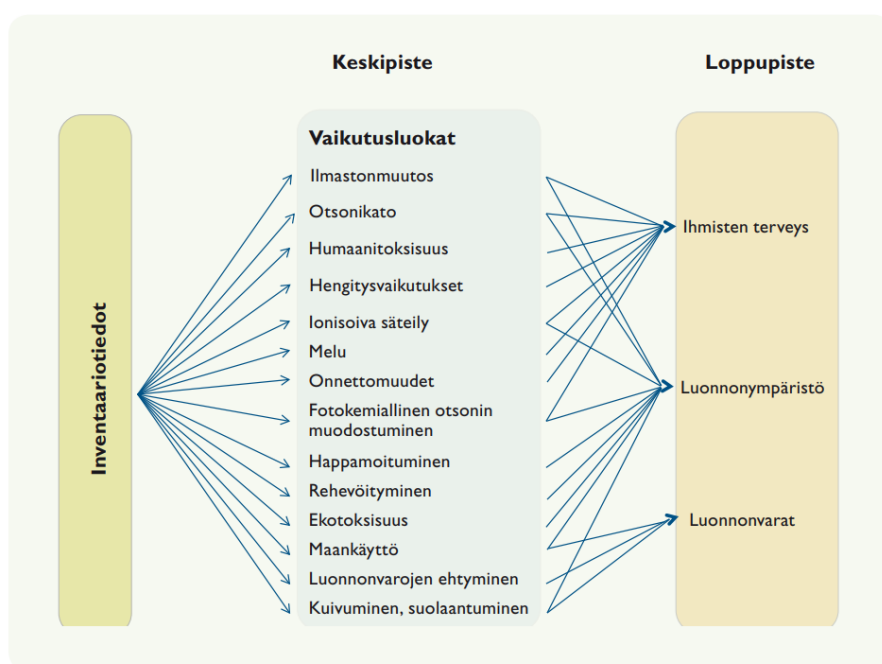
Kuva 5. Elinkaariarvioinnin vaiheet. Mukailten SFS-EN ISO 14040:2006.

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen on elinkaariarvioinnin ensimmäinen vaihe, ja se asettaa tutkimukselle tavoitetason. Tavoitteissa ilmaistaan, missä ja miten arvioinnin tuloksia on tarkoitus hyödyntää. Lisäksi määritellään järjestelmän rajat, eli tunnistetaan osaprosessit ja päätetään, mitkä niistä on syytä sisällyttää tarkasteluun. (SFS-EN ISO 14040:2006, ei pvm., s. 19–20)

Inventaarioanalyysi, Life Cycle Inventory (LCI)

Inventaarion tarkoituksena on kerätä tarvittavat tiedot koko tuotejärjestelmästä, sen prosesseista sekä materiaali- ja energiavirroista. Järjestelmän syötteet (panokset), esimerkiksi raaka-aineet ja energiankulutus sekä tuotokset, kuten jätteet ja päästöt saatetaan määrälliseen muotoon, ja suhteutetaan toiminnalliseen yksikköön. (Antikainen, 2010, s. 17; SFS-EN ISO 14040:2006, ei pvm., s. 21; SFS-EN ISO 14067:2018, ei pvm., s. 25)

Vaikutusarviointi, Life Cycle Impact Assessment (LCIA)



Kuva 6. Inventaariotietojen luokittelu vaikutusluokkiin (Antikainen, 2010).

Vaikutusarvioinnin pyrkimyksenä on arvioida päästöjen tai haitallisten toimintojen potentiaalista vaikutusta esimerkiksi ihmisten terveydelle, luonnonvaroille ja ympäristölle (Antikainen, 2010, s. 24). Vaikutuksia arvioidaan useissa eri luokissa, kuten rehevöityminen, ekotoksisuus, maankäyttö sekä ilmastonmuutos (kuva 6). Inventaariossa kerätyt tiedot yhdistetään ympäristövaikutusluokkiin ja vaikutusluokkaindikaattoreihin ja pyritään ymmärtämään kunkin ympäristövaikutuksen merkittävyyttä (SFS-EN ISO 14040:2006, ei pvm., s. 21–22).

Tulosten tulkinta on työn viimeinen vaihe, jossa saatujen tulosten pohjalta tehdään johtopäätöksiä sekä toimenpidesuosituksia. On tärkeää analysoida tulosten johdonmukaisuutta ja tunnistaa esimerkiksi kerättyjen lähtötietojen rajoitteet sekä rajausten ja epävarmuustekijöiden vaikutus tuloksiin. Lopussa laskelmalle voidaan suorittaa myös herkkyysanalyysi. Herkkyysanalyysissä tarkastellaan tietyn lähtöarvon muuttamista ja samalla tutkitaan muutoksen vaikutusta lopputulokseen.

3.4 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää. Hiilijalanjälki on elinkaarianalyysin lopputuotos, jossa keskitytään ainoastaan yhteen vaikutusluokkaan, ilmastonlämpenemispotentiaaliin. Sen laskennalle on määritetty oma standardi, ISO 14067:2018. (SFS-EN ISO 14067:2018, ei pvm.)

Ilmastonlämpenemispotentiaali, GWP (Global Warming Potential) ilmaistaan päästökilogrammoina hiilidioksidiekvivalenteja (CO₂ ekv.). Tarkoituksena on saada aikaan yhteismitallinen lukuarvo, joten muut kasvihuonekaasut karakterisoidaan vastaamaan hiilidioksidia niiden lämmitysvaikutuksen perusteella. Tähän käytetään karakterisointikertoimia, joilla kunkin kaasun määrä kerrotaan ja lasketaan yhteen. Lopputuloksena on hiilidioksidiekvivalentti. (Suikkanen & Nissinen, 2020, s. 25.) Yleisimmin

käytössä on karakterisointimalli GWP 100, joka merkitsee lämpenemispotentiaalia sadan vuoden aikajänteellä.

Hiilijalanjälki on muodostunut keskeiseksi, jopa osin määrääväksi ympäristövaikutusluokaksi. Ilmaston lämpenemisen hillintään liittyvät sitoumukset ovat vaikuttaneet siihen, että sääntelyn keskiössä on ollut juuri kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen (Motta, 2022). Tutkimuksessaan Motta esittää, että hiilijalanjäljen mittaaminen on yrityksissä usein ensimmäinen askel elinkaariajattelun ja -tutkimuksen toteuttamiseen. Se ei kuitenkaan saisi syrjäyttää kokonaisvaltaisten LCA-tutkimusten tekemistä. (Motta, 2022.)

3.5 Rajaukset ja haasteet käytännön elinkaariarvioinnissa

LCA-tutkimuksen toteuttaminen on paljon resursseja ja monien tahojen yhteistyötä vaativa tehtävä. Suuresta komponenttimäärästä koostuva, kompleksinen tuote vaatii lähtökohtaisesti runsaasti työtä varsinkin inventaarin osalta (Svensson, 2017, s. 33). Standardi (SFS-EN ISO 14040:2006, ei pvm., s. 20) itsessäänkin toteaa, että voimavaroja ei ole syytä suunnata vaikutusten kannalta merkityksettömiin osiin. Käytännön tasolla rajaamista tapahtuu aina, ja onkin haasteellista määritellä yksiselitteisesti, mitkä osaprosessit tulisi laskelmaan sisällyttää tai kuinka syvälle tuotantoketjussa tulisi mennä, jotta saadaan aikaan riittävä tarkkuuden taso (Pohjola, 2011; Svensson, 2017). Lähtökohtana on siis sisällyttää kaikki tuotantoketjuun vaikuttavat osat, mutta usein merkittävien ja riittävän osaprosessien tunnistaminen tapahtuu työn edetessä.

14040-sarjan standardit jättävät paljon tilaa rajauksille (Antikainen, 2010). Yleisiä rajaustapoja ovat esimerkiksi massoihin tai energiavirtoihin liittyvien rajauskriteerien (cut off criteria) käyttö. 1 % cut off criteria on rajaustapa, jossa alle 1 prosentin massa- tai energiavirta voidaan jättää huomiotta laskelmassa. Liiallista yksinkertaistamista tulisi välttää.

Elinkaaren yksikköprosesseista kerättävän tiedon laatu on määritelty standardeissa. Paikkakohtaista tietoa olisi kerättävä niistä yksikköprosesseista,

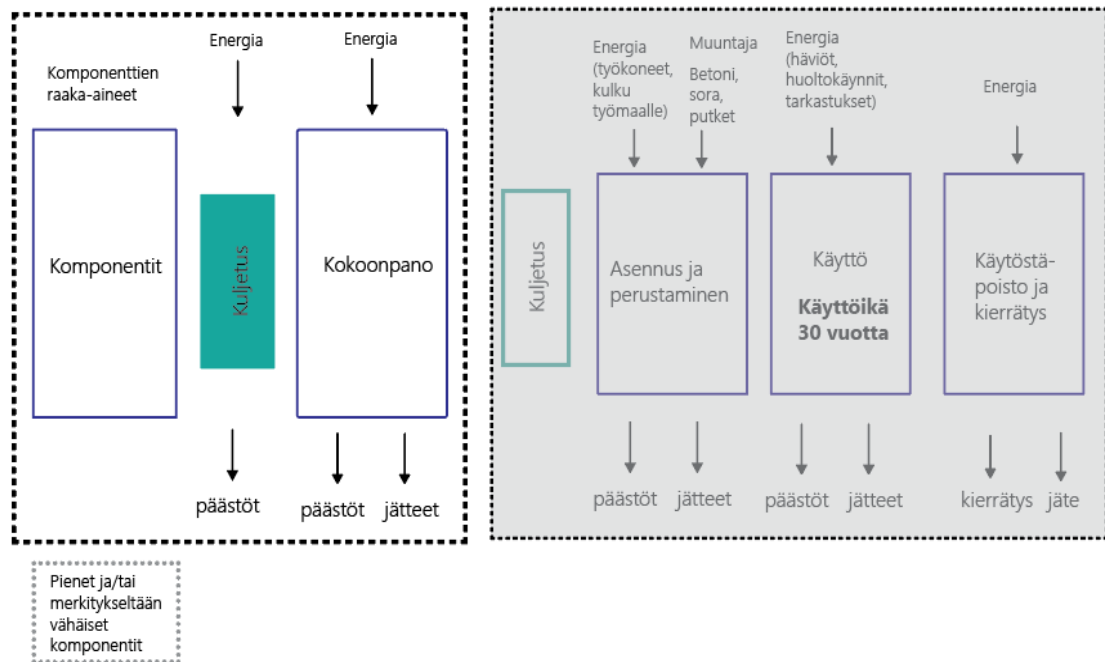
jotka ovat selvitystä teettävän yrityksen hallinnassa toiminnallisesti tai taloudellisesti. Sekundaaritietoja voidaan käyttää siinä tapauksessa, että primääritietoja ei ole saatavilla tai niiden kerääminen on epäkäytännöllistä. Lähtötietojen puutteet, huono laatu sekä liiallinen nojautuminen keskimääräisiin arvoihin saattavat vääristää laskelman lopputulosta. (Pohjola, 2011; SFS-EN ISO 14067:2018, ei pvm., s. 26)

4 Puistomuuntamon elinkaariarviointi

4.1 Tavoitteet ja soveltamisala

Järjestelmän rajat (system boundary) määrittelevät, mitkä osaprosessit ovat laskennassa mukana ja mitkä jätetty tarkastelun ulkopuolelle (SFS-EN ISO 14040:2006, ei pvm., s. 20). Systeemikuva on hyvä tapa selkiyttää tarkasteltavan tuotteen prosesseja, syötteitä sekä tuotoksia. Puistomuuntamon elinkaaren vaiheet on mallinnettu kuvaan 7. Kuvassa vasemmanpuoleisessa laatikossa ovat laskelmassa huomioitut elinkaaren vaiheet.

Tässä tutkimuksessa vertailuvirraksi määritettiin 1 puistomuuntamorakennus.



Kuva 7. Systeemirajakuva.

Alkuperäisenä tahtotilana oli ulottaa elinkaariarviointi koskemaan puistomuuntamon koko elinkaarta, mutta loppujen lopuksi varsinainen laskenta rajattiin koskemaan vaiheita kehdestä tehtaan portille. Tämän rajauksen lopputulosta kutsutaan usein myös osittaiseksi hiilijalanjäljeksi. Elinkaaren

tarkastelun supistamiseen päädyttiin, sillä todettiin, ettei käyttövaiheesta ollut kerättävissä riittävästi tietoja. Ensinnäkin tehdasvalmiin puistomuuntamon toimitukseen ei sisälly varsinaista muuntajaa, vaan se on asiakkaan vastuualuetta. Toisekseen käyttöönottovaihe asennuksineen ja perustuksineen kuuluu asiakkaalle. Muuntamon käyttövaiheeseen kuuluu lisäksi tarkastuksia ja tarvittaessa huoltokäyntejä. Suhteutettuna muuntamon käyttöikänsä, vähintään 30 vuotta, satunnaisten huoltokäyntien ilmastopäästöjen arviointi ei ole työn kannalta perusteltua.

4.2 Inventaarioanalyysi

Inventaarivaiheeseen kuuluu analysoitavan datan kerääminen tuotteen valmistusvaiheista ja kuhunkin prosessiin liittyvistä syötteistä sekä tuotoksista.

Inventaari aloitettiin kartoittamalla UTU:ta puistomuuntamon elinkaaren eri vaiheet ja heidän hallinnoimansa, kokoonpanoon liittyvät prosessit. Raaka-aineet ja komponentit analysoitiin osalistalta. Osalistalta tunnistettiin massoiltaan ja raaka-aineiltaan merkittävimmät komponentit.

Lähtötietojen laatuvaatimuksista oli päätetty, että kaikki mahdollinen primääridata komponenteista kerätään yhdessä UTUn kanssa heidän tavarantoimittajiltaan. UTUn omien toimintojen osalta kerättiin sähkön- ja lämmönkulutustietoja sekä jätetietoja. Tavarantoimittajilta ja alihankkijoilta tiedot kerättiin sähköpostikyselyin. Ensisijaisena hiilijalanjälkitiedon lähteenä pyrittiin saamaan ympäristöseloste, EPD (Environmental Product Declaration).

Ympäristöselosteet saatiin jonovarokkeille sekä kojeistolle.

Ympäristöselosteet ovat standardin EN 15804 mukaan tehtyjä tuotekohtaisia elinkaariarviointeja, jotka kattavat vähintään tuotteen valmistusvaihetta koskevat moduulit A1–A3. Vuodesta 2022 eteenpäin ympäristöselosteissa pakollisia ovat olleet myös purkuvaihe (C1–C4) sekä elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (moduuli D). (Circular Ecology, ei pvm.) Elinkaaren vaiheet A–D on esitelty kuvassa 8, joka on betonielementin ympäristöselosteesta. Ympäristöselosteet ovat vapaaehtoisia dokumentteja, jotka ovat aina kolmannen osapuolen

vahvistamia. Osa ympäristöselosteita löytyy jo julkisista tietokannoista, osa puolestaan on saatavilla yrityksistä pyytämällä.

Tuotevaihe			Rakentamisvaihe		Käyttövaihe							Purkuvaihe				Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D
x	x	x	x	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	x	x	x	x	x	x	x
Raaka-aineet	Kuljetus	Valmistus	Kuljetus	Työnaatoiminnot	Käyttö	kunnossapito	korjaus	Osien vaihto	Laajamittaiset korjaukset	Energian käyttö	Veden käyttö	Purkaminen	Kuljetus	Purkujätteen käsittely	Loppusijoitus	Uudelleenkäyttö	Energiahyötykäyttö	Kierrätys

X = Arvioinnissa mukana olevat moduulit. MND = Moduuli ei ole merkityksellinen eikä mukana arvioinnissa

Kuva 8. Elinkaaren vaiheet standardin EN 15804 mukaan. (Betoniteollisuus, 2021)

Merkittävä osa puistomuuntamon rakenneseosta on räätälöityjä, juuri tähän tarkoitukseen alihankkijoiden valmistamia osia, joten niistä ei ollut saatavilla valmiita ympäristöselosteita. Niiden osien kohdalla laskennassa huomiotiin materiaalin päästöt sekä osan kuljetus Ulvilaan. Joidenkin komponenttien, kuten keskijännitekaapelien kohdalla, raaka-aineiden massat laskettiin kokonaisuudessaan ja rakenteen perusteella.

Tavoitteena komponenttien ja raaka-aineiden inventaarissa oli noudattaa 1 % massaperusteista ulkopuolelle rajaamista. Ulosrajatut materiaalit olivat esimerkiksi muovitaskuja, tarroja sekä erittäin pieniä metalliosia. Tavoite 1 % ulosrajauksesta ei aivan täyttynyt, sillä ympäristöselosteen tai tarkan materiaalitiedon puutteen vuoksi tarkastelun ulkopuolelle jäivät myös suurjännitesulakkeet sekä pistokepäätteet.

Raaka-aineiden inventaarissa suurimmat raaka-ainemassat olivat teräs (runko), kupari (virtakiskot ja kaapelit), alumiini (virtakiskot), betoni sekä puu ja muovit.

Teräsosat sekä kaasueristeinen kojeisto tunnistettiin etukäteen merkittävimmiksi osakomponenteiksi massansa ja raaka-aineidensa puolesta. Teräsrungolle päädyttiin tekemään oma valmistusvaiheen hiilijalanjälkilaskelma.

Teräsosien alihankkijalta kerättiin osien työstöön ja pulverimaalaukseen tarvittava energiankulutusmäärä sekä materiaalitiedot. Teräkselle oli lisäksi saatavilla ympäristöseloste, joten myös sen valmistusvaihe saatiin edustavasti mukaan laskelmaan.

Elinkaariarvion kohteena olevan muuntamon 24 kV GIS-kojeiston hiilijalanjälkilaskelma ei ehtinyt tähän työhön vielä valmistua.

Kojeistovalmistajalta oli kuitenkin saatavana 12 kV:n vastaavan kojeiston ympäristöseloste, joten sitä käytettiin laskelmassa. Nimellisjännitteeltään pienemmän kojeiston käyttö laskelmassa oli perusteltua, sillä laitteistokokonaisuudet eroavat toisistaan kokoonpanoltaan vain hieman, ja massat SF₆-kaasun osalta ovat samat. Raaka-aineet ovat pitkälti samoja, ja kokonaisuusmassaltaan 12 kV on vain 5,8 % pienempi kuin 24 kV kojeisto. Kojelistot on valmistettu samassa tehtaassa, joten myös valmistukseen käytetyn energian päästötietoja voi pitää edustavina.

Kuljetuksista huomioon otettiin ainoastaan massoiltaan suurimpien komponenttien tai komponenttikokonaisuuksien kuljetukset valmistajalta tehtaalle. Nämä olivat teräsrunko, kojeisto, alumiini- sekä kupariosat. Kuljetusmatkoista yksi oli Keski-Euroopasta, muut Suomen sisäisiä kuljetuksia.

4.2.1 Kokoonpano & energiankulutus

Kokoonpano tehtaalla tapahtuu niin, että useita puistomuuntamoita on valmistuksessa samaan aikaan rinnakkain. Vaikka muuntamokopit ovat perusrakenteeltaan yhteneväisiä, ne valmistetaan aina asiakkaan tarpeen mukaan. Ennen toimitusta muuntamoille suoritetaan testaukset IEC 62271-202 -standardin mukaisesti.

Puistomuuntamoiden valmistusmäärät UTUlla vaihtelevat hieman sesongin mukaan. Tämän vuoksi tehtaan energiankulutustietojen suhteuttamisessa 1 muuntamon valmistukseen on käytetty vuosittaisen sähkön- ja lämmönkulutuksen arvoja sekä osuutta liikevaihdosta.

4.2.2 Perustukset, asennus ja käyttö

Käyttökohteeseen kuljetettuun tehdasvalmisteiseen muuntamoon tehdään kohteen vaatimat perustustyöt. Käyttöönottoasennuksesta sekä perustuksista vastaa asiakas. Kuten aiemmin todettiin, myös varsinainen muuntamo hankitaan ja asennetaan asiakkaan toimesta, joten ne on rajattu laskennan ulkopuolelle.

4.2.3 Käytöstä poisto ja raaka-aineiden kierrätyspotentiaali

Puistomuuntamon komponenttien kierrätysaste on korkea. Metalliosat voidaan kierrättää lähes kokonaan. Kojeisto voidaan käyttökänsä lopussa lähettää kierrätettäväksi kojeistovalmistajalle tai kierrättää Suomessa.

Rikkiheksafluoridia sisältävien kojeistojen purkaminen ja kierrättäminen on luvanvaraista. Käytännössä kojeistot kierrätetään yleensä kotimaassa, mutta mikäli kojeisto lähetetään käsiteltäväksi valmistajalle, SF₆-kaasu otetaan talteen, puhdistetaan sekä uudelleenkäytetään (Lampela, 2020). Kaapeleilla ja muilla useampaa raaka-ainetta sisältävällä komponentilla on myös kierrätyspotentiaalinsa erityisesti niiden sisältämien metallien vuoksi (Lakervi & Partanen, 2008, s. 101). Esimerkiksi kaapeleissa eristeinä toimivat muovit jäävät helposti kierrätysprosessissa rejektiksi, mutta niiden määrä puistomuuntamossa on hyvin vähäinen.

4.3 Vaikutusarviointi

Vaikutusarviointia (Life Cycle Impact Assessment) varten rakennettiin excel-laskuri, jossa inventaariossa kerätyt syötteet (materiaali, energia) ja tuotokset (jätteet ym.) kerrottiin päästökertoimilla.

Etukäteen oli määritelty, että työn tavoitteena on keskittyä tarkastelussa yhteen vaikutusluokista, eli ominaislämmitysvaikutukseen (GWP).

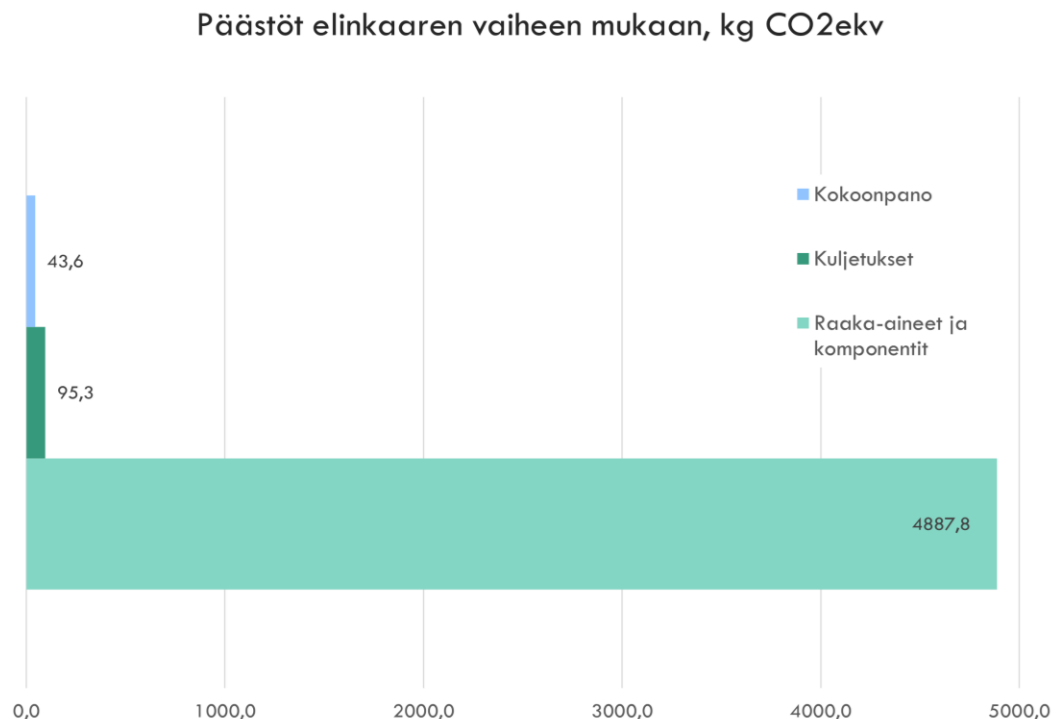
Kuljetusten laskennassa päästökertoimissa hyödynnettiin VTT:n LIPASTO-tietokantaa. Tietokanta on nyttemmin arkistoitu, mutta edelleen saatavilla verkossa. Arkistoidun tietokannan käyttö oli perusteltua, sillä se on yksi tarkimpia suomalaisia liikenteen yksikköpäästöjä sisältävä resurssi. Muiden päästökertoimien lähteinä käytettiin julkisia tietokantoja, kuten Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämää rakentamisen päästötietokanta co2dataa.

5 Laskennan tulokset & hiilijalanjälki

5.1 Tulosten tulkinta

Laskennan tulokseksi saatiin kehdosta tehtaan portille -rajauksella yhteensä 5027 kg CO₂ ekv. Kuviossa 1 on esitetty kasvihuonekaasupäästöt elinkaaren eri vaiheissa.

Työssä alkuperäisenä tahtotilana oli tutkia puistomuuntamon koko elinkaarta. Varsinainen laskelma päädyttiin kuitenkin toteuttamaan kehdosta tehtaan portille -rajauksella (Cradle to Gate), sillä käytönaikaisia kulutustietoja oli vähän saatavilla. Ei ole epätavanomaista, että elinkaariarvioinnin alkuperäistä tavoitetta joudutaan muuttamaan tai tarkentamaan matkan varrella.



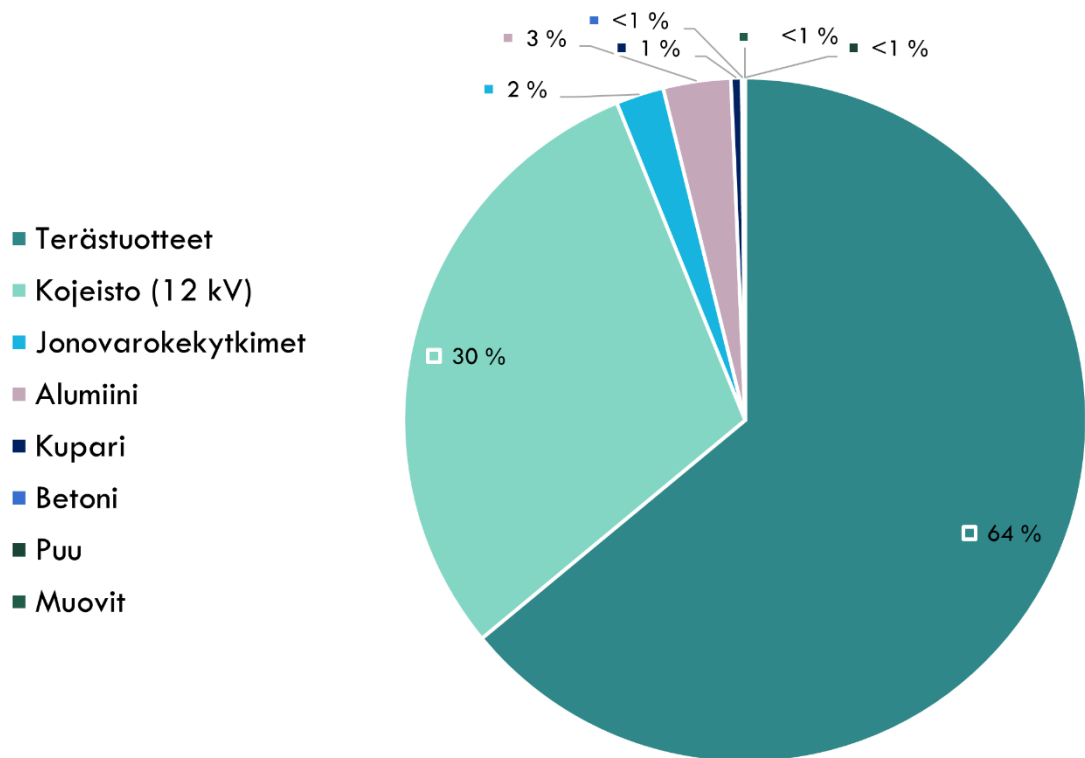
Kuvio 1. Hiilijalanjäljen muodostuminen kussakin elinkaaren vaiheessa.

Kokoonpanotoiminnan rooli hiilijalanjäljestä on hyvin pieni, alle 1 prosentin. Tämä on odotettavaa, sillä kokoonpanoon ei liity raskaita teollisia prosesseja. Energiankulutuksen laskennassa käytettiin kulutuksen keskiarvotietoa, joten luvun tarkkuus ei liene kovin korkealla tasolla, mutta suuruusluokkaa voi pitää luotettavana. Pieni epävarmuus liittyy myös jätteiden käsittelyn päästöihin, sillä jätteen määrä perustui jäteyrytykseltä saatuun kokonaisdataan. UTUlla on viime vuosina tehty panostuksia kierrätysasteen parantamisessa, joten jättejakeiden lajittelu on jo hyvällä tasolla (Utu Oy, 2022). Kokoonpanotoiminnassa syntyvä jätteen määrä on yleisesti ottaen pieni, ja se koostuu enimmäkseen pakkausjätteestä, kuten pahvista ja puisista kuljetuslavoista.

Myös kuljetusten osuus koko hiilijalanjäljestä on varsin pieni. Raaka-aineiden kuljetusta lähtömaasta Suomeen ei huomioitu ollenkaan. Kuljetukset tavarantoimittajalta Ulvilaan huomioitiin ainoastaan suureimpien komponenttikokonaisuuksien kohdalla. Ulosrajaus selittää osin kuljetusten pientä osuutta koko hiilijalanjäljestä. Tältä osin päästölaskelman lopputulos ei olekaan täysin kattava.

Kuljetuksia koskevat rajaukset ovat kuitenkin työn kannalta aiheellisia, sillä kansainväliset alihankinta- ja logistiikkaketjut ovat usein hyvin monivaiheisia, eikä ollut selvitystyön hengen mukaista tutkia lukuisten pienten komponenttien kuljetuspäästöjä yksi kerrallaan. Massoiltaan suurten komponenttien osalta tehty laskenta kuitenkin osoittaa hyvin kuljetuksesta aiheutuvien päästöjen suuruusluokan.

Raaka-aineiden ja komponenttien valmistus muodostaa hiilijalanjäljen leijonanosan. Päästöjen jakautumista eri komponenttien välillä on kuvattu kuviossa 2.



Kuvio 2. Raaka-aineiden hiilijalanjälki.

Teräsrakenteet muodostavat luonnollisesti suuren osan hiilijalanjäljestä. Kuten aiemmin todettiin, teräsrunko tunnistettiin kojeiston ohella merkittävimäksi osakokonaisuudeksi puistomuuntamossa. Tämän vuoksi teräsrakenteille laskettiin oma hiilijalanjälki.

Muuntamossa käytetyn 24 kV kojeiston ympäristöseloste ei ehtinyt tähän työhön vielä valmistua, joten laskelmassa päätettiin käyttää 12 kV kojeiston selostetta. Myös kojeisto koostuu enimmäkseen teräksestä. Ympäristöselosteen mukaan kojeiston valmistusvaiheen päästöistä noin 2/3 muodostuu materiaaleista ja eristekaasu rikkiheksafluoridin valmistuksesta ja vuotoista liki kolmannes.

Alumiiniosien kohdalla päästökertoimena käytettiin kierrättämättömän alumiinin kerrointa, sillä alumiinin kierrätysosuutta ei saatu selville. Tämä selittää alumiiniosien korkeaa osuutta laskemassa.

Tutkimuksen merkittävimmät epävarmuudet liittyvät ulosrajauksiin, oletuksiin sekä puuttuviin tietoihin. Osan rajaaminen laskennan ulkopuolelle tuottaa lopulliseen tulokseen tiettyä epä johdonmukaisuutta ja lisää laskelman puutteellisuutta.

5.2 Päästövähennysmahdollisuudet

Päästövähennysten mahdollisuuksia löytyy ennen muuta materiaaleista. Teräs on muuntamon runko- ja rakennemateriaalina , ja se on vaikeasti korvattavissa muilla materiaalivaihtoehdoilla. Se on säänkestävä, helposti muokattava ja painoonsa nähden luja materiaali. Teräksen kierrätysosuuden nostamisella olisi hiilijalanjälkeen selkeästi pienentävä vaikutus. Kansainvälisen energijärjestö IEA:n mukaan teräksen tuotanto romusta vaatii noin kahdeksasosan rautamalmista tuotetun, neitseellisen teräksen vaatimasta energiasta. Kierrätysteräksellä ei kuitenkaan pystytä vastaamaan maailman kasvavaan terästarpeeseen, vaan tarvitaan myös muita keinoja. Muiksi toimiksi esitetään esimerkiksi tuotannon tehostamista, rakennusten elinkaaren pidentämistä sekä uusien fossiilivapaiden valmistustekniikoiden nopeaa käyttöönottoa. (IEA, 2022.)

Terästuotanto elää murrosvaihetta, ja sen tulevaisuus on huomattavasti vähähiilisempi. Esimerkiksi vetypelkistys on lupaava tekniikka, jossa masuuniteräksen valmistuksessa käytetty koksi ja hiili voidaan korvata vedyllä ja sähköllä. Joidenkin arvioiden mukaan vedyn avulla valmistettu teräs saattaa olla kaupallisesti kannattava vaihtoehto vuonna 2030 (Suer ym., 2022).

Euroopan komissio on ehdottanut SF₆-kaasun kieltämistä vaiheittain uusissa sähkölaitteissa niin, että 24 kV:n kojeistoissa kielto astuisi voimaan vuonna 2026. SF₆-kaasun päästövaikutus valmistusvaiheessa ei ole suuren suuri, mutta yhdessä koko elinkaaren aikana syntyvissä päästöissä jo tuntuva.

6 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää hiilijalanjälki UTU Oy:n valmistamalle keskijänniteverkon kaasueristeiselle puistomuuntamolle. Puistomuuntamo on jakelumuuntamorakennus, jossa 20 kV keskijännite muunnetaan pienjänniteverkkoon sopivalle 400 voltin tasolle. Elinkaaren vaiheita tarkasteltiin kehdosta tehtaan portille -rajauksella. Tulos 5027 kg CO₂ ekv. koostui suurelta osin raaka-aineiden päästöistä. Komponenteista merkittävimmät olivat teräsrunko ja keskijännitekojeisto.

ISO 14040-sarjan standardeihin pohjautuva elinkaariarviointi jättää paljon tilaa tulkinnoille ja työn tekijän ammattitaidolle. Tekijän vastuulle jääkin arvioida, mitkä osaprosessit ja virrat ovat hiilijalanjäljen muodostumisen kannalta merkittäviä ja mitkä voidaan katsoa merkitykseltään vähäisiksi. Oikean päästökertoimen valintakaan ei aina ole yksiselitteistä. Elinkaariarvioinnin tekeminen on tasapainottelua riittävän tarkkuuden ja liiallisen yksinkertaistamisen välimaastossa. Lisäksi se on yhteistyötä eri toimijoiden välillä.

Opinnäytetyölle asetettu päätavoite saavutettiin, sillä puistomuuntamolle saatiin määritellyksi osittainen hiilijalanjälki. Varsinaisen laskennan tuloksen, 5027 kg CO₂ ekv., lisäksi tärkeää on kasvanut ymmärrys yksikköprosessien tai materiaalivalintojen vaikutuksista sekä arvoketjujen kompleksisuudesta. Laskentatuloksen lisäksi yrityksen käyttöön valmistui myös hiilijalanjälkilaskuri, jota UTUlla voidaan mahdollisesti jatkossa hyödyntää.

Hiilijalanjälkilaskelmaan liittyviä epävarmuustekijöitä käytiin läpi jo edeltävässä luvussa. Yhteenvedona voidaan sanoa, että laskentatuloksen luotettavuutta ja laajempaa hyödynnettävyyttä olisi lisännyt eri alikomponenttien johdonmukaisempi käsittely ja systemaattisempi tiedonkeruu. Kriittisesti tarkasteltuna lähtötiedoissa ja tiedonkeruuprosessissa oli epätasaisuutta. Joitakin komponentteja jäi tarkastelun ulkopuolelle siksi, ettei tietoja ollut saatavilla. Kuljetusten rajauksista johtuvat lopputuloksen epävarmuudet olisi voinut käsitellä vielä tarkemmin herkkyyksianalyysia hyödyntämällä. Vaikka

laskelma standardien näkökulmasta sisältää laatu puutteita, siinä onnistuttiin kuitenkin tarkastelemaan ja tunnistamaan merkittävimmät päästölähteet.

Opinnäytetyön tuloksena syntyneitä elinkaariarvioita täydentämään voisi tehdä vielä tarkemman tutkimuksen, jossa lähtötietoihin saataisiin yhä enemmän primääridataa suoraan valmistajilta. Energiankäyttöön liittyen muuntamoiden kokoonpanosta voisi myös ottaa tarkemman tuloksen mittaamalla esimerkiksi useamman muuntamon kokoonpanoon kulunutta aikaa ja laskemalla keskiarvon. Jatkotutkimuksena voisi myös laskea hiilijalanjäljen puistomuuntamon käytön aikaisille päästöille sellaiselle esimerkkitapaukselle, jossa muuntaja ja muuntamon sijoituspaikka sekä kulutustiedot tunnetaan. Tällaisessa työssä päästäisiin arvioimaan tarkemmin muuntajan häviöistä aiheutuvia päästöjä sekä SF₆-kaasun käytön aikaisten vuotojen päästövaikutusta.

Tässä työssä havaittiin, että sähkötuotteille ei Suomessa vielä löydy kattavasti ympäristöselosteita. Useissa yrityksissä laskelmat olivat kuitenkin jo työn alla tai tarve niille on vähintään tunnistettu. Useammasta suunnasta kuului että ”näitä on meiltä nyt alettu kysellä”.

Ympäristöselosteet ovat tulossa myös sähköalan tuotteisiin, ja tuotekohtaisia valmistusvaiheen päästötietoja voikin jo ilmoittaa Sähköteknisen kaupan liiton ylläpitämälle Sähkönumerot.fi-alustalle (Sähköteknisen kaupan liitto, ei pvm.-a). Alustan täydentyminen päästötiedoilla on merkittävä kehitysaskel, sillä sähkönumerot ovat kansallisia tuotekoodeja, joiden avulla tunnistetaan ja yksilöidään sähköisen talotekniikan tuotteita, ja ne ovat koko toimitusketjun käytössä (Sähköteknisen kaupan liitto, ei pvm.-b). Sähköalan tuotteiden hiilijalanjälkilaskenta tulee tämän avulla jatkossa sekä helpottumaan että tarkentumaan huomattavasti.

Tämä opinnäytetyö toimi konkreettisenä esimerkkinä hiilijalanjälkitiedon etenemisestä ”trickle-down”-efektinä tuotantoketjussa. Päästötietojen laskenta liukuu näin tuotantoketjujen kaikille portaille.

On hyvä huomioida, että monessa yrityksessä ympäristö- ja laatu-tietoisuus on jo lähtökohtaisesti korkealla tasolla, vaikkei esimerkiksi päästöjä olisikaan vielä laskettu. Ilmastovaikutusten laskentaan huolellinen raportointi ja tuotetiedon hallinta tarjoaa kuitenkin hyvän pohjan. Vaikka hiilijalanjäljen pohjana toimiva ilmastonlämpenemispotentiaali GWP on vain yksi ympäristöindikaattori muiden joukossa, se toiminee hyvänä ensimmäisenä askeleena muiden ympäristövaikutusten mittaamiselle.

Vaatimukset ympäristövaikutusten kartoittamiselle ja raportoinnille tulevat kasvamaan, sillä niihin liittyvä sääntely on lisääntymässä. Regulaatioon vastaamisen lisäksi ympäristövaikutusten kartoitus kytkeytyy osaksi riskienhallintaa ja tarjoaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Hiilijalanjälki- ja muut elinkaariarviot ovat jo löytäneet tiensä kaikkialle. Jatkossa ne muodostanevat vain yhden osan laajaa ympäristövaikutusten mittaamista. Esimerkiksi luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseen liittyvän selvitystarpeen ja niin sanotun luontojalanjäljen mittaamisen uskotaan kasvavan lähitulevaisuudessa. (Paajanen & Ahonen, 2023.)

Lähteet

Aho, P. (2023). *Sähköposti*.

Antikainen, R. (2010). *Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet*. SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 7 | 2010. Suomen ympäristökeskus.

Betoniteollisuus. (2021). *Verifioitu elinkaariarvio (LCA): Väliseinäelementti*.
https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/05/Elinkaariarvio_valiseinaelementti.pdf

Circular Ecology. (ei pvm.). *EN 15804+A2 Update and What it Means for EPDs*.
Noudettu 7. toukokuuta 2023, osoitteesta <https://circularecology.com/en-15804-a2-epd-update.html>

Cristobal-Garcia, J., Reale, F., Sala, S., Pant, R., & European Commission. Joint Research Centre. (2016). *Life cycle assessment for the impact assessment of policies*. Publications Office.

Elenia. (2022). *Elenia ja vastuullisuus*.
<https://www.elenia.fi/files/35da7ede6d7862e7849a6ed407e131556276d0c8/elenia-ja-vastuullisuus-2021-1.pdf>

Elovaara, J., & Haarla, L. (2011a). *Sähköverkot I. Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta*. Helsinki: Otatieto.

Elovaara, J., & Haarla, L. (2011b). *Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet*. Helsinki: Otatieto.

Energiateollisuus. (2023). *Energiavuosi 2022: Sähkö*.
https://energia.fi/files/4428/Sahkovuosi_2022.pdf

Energiavirasto. (2022). *Verkkotoiminnan julkaisut*.
<https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>

Euroopan komissio. (2023). *Green Claims*.

https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims_en

Eurooppa-neuvosto. (ei pvm.). *Euroopan vihreän kehityksen ohjelma*. Noudettu

2. toukokuuta 2023, osoitteesta

<https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/>

Fingrid. (2023). *Yritysvastuu ja kestävä kehitys*. Vuosikertomus 2022.

https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/vuosikertomus/2022/fingrid_oym_yritysvastuu_ja_kestava_kehitys_2022.pdf

Fingrid. (ei pvm.). *Suomen sähköjärjestelmä*. Fingrid Oyj. Noudettu 30.

tammikuuta 2023, osoitteesta

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>

Greenhouse Gas Protocol. (ei pvm.). *Standards*. Noudettu 16. helmikuuta 2023,

osoitteesta <https://ghgprotocol.org/standards>

Ilmatieteen laitos. (ei pvm.). *Kasvihuonekaasut*. Noudettu 15. maaliskuuta 2023,

osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-tutkimus>

IPCC. (2023). Summary for Policymakers. *Climate Change 2023: Synthesis*

Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Joensuu, K., Välimaa, I., Tuominen, H., Ihalainen, J., Rissanen, I., & Ostamo, T.

(2018). *Sähkön jakeluverkon luvitusmenettelyjen*

sujuvoittaminen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 48/2018.

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160987/48-2018-](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160987/48-2018-S%C3%A4hk%C3%B6n%20jakeluverkon%20luvitusmenettelyjen%20sujuvoittaminen.pdf)

[S%C3%A4hk%C3%B6n%20jakeluverkon%20luvitusmenettelyjen%20sujuvoittaminen.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160987/48-2018-S%C3%A4hk%C3%B6n%20jakeluverkon%20luvitusmenettelyjen%20sujuvoittaminen.pdf)

Karvonen, J., Niemistö, J., & Salmi, S. (2020). *Ympäristökädenjälkiä pk-*

yrityksissä Kestävän liiketoiminnan edistäminen Pohjois-Karjalan

kiertotaloudessa (KELIPK). Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33 | 2020.

Lakervi, E., & Partanen, J. (2008). *Sähkönjakelutekniikka*. Helsinki: Otatieto.

Lampela, R. (ei pvm.). Tämä kaasu lämmittää ilmastoa 23 500 kertaa hiilidioksidia enemmän – SF6:n käsittely vaatii tarkkuutta. *Tekniikka & Talous*. Noudettu 8. maaliskuuta 2023, osoitteesta <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/tama-kaasu-lammittaa-ilmastoa-23500-kertaa-hiilidioksidia-enemman-sf6n-kasittely-vaatii-tarkkuutta-katso-video/526e2604-8544-443d-87a4-e0ae95658e33>

Lund, P. (2022). *Sähköistämisen vaikutuksia ja mahdollisuuksia Suomen energijärjestelmässä – skenaariotarkasteluja*. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2022.

Motta, W. H. (2022). Carbon Footprint as a First Step Towards LCA Usage. Teoksessa Z. S. Klos, J. Kalkowska, & J. Kasprzak (Toim.), *Towards a Sustainable Future - Life Cycle Management: Challenges and Prospects* (ss. 265–275). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77127-0_24

Paajanen, T., & Ahonen, S. (2023, 11. toukokuuta). *Luonnon monimuotoisuus osaksi vastuullista liiketoimintaa*. Green Carbon -webinaari.

Pelkonen, J. (2019, 25. syyskuuta). *Säävarman sähköverkon rakentaminen on aikataulussa Suomessa – jatkossa vaikeusaste kasvaa*. <https://yle.fi/a/3-10985718>

Pohjola, T. (2011). Tulikiven tulisijojen hiilijalanjäljet. Teoksessa A. Virtanen & L. Rohweder (Toim.), *Ilmastomuutos käytännössä – hillinnän ja sopeutumisen keinoja*. (s. 399).

Sala, S., Amadei, A. M., Beylot, A., & Ardente, F. (2021). The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades. *The*

International Journal of Life Cycle Assessment, 26(12), 2295–2314.
<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01893-2>

Sanyé-Mengual, E., & Sala, S. (2022). Life Cycle Assessment support to environmental ambitions of EU policies and the Sustainable Development Goals. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18.
<https://doi.org/10.1002/ieam.4586>

SFS-EN ISO 14040:2006. (ei pvm.). SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020
Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.
 Suomen Standardoimisliitto.

SFS-EN ISO 14067:2018. (ei pvm.). SFS-EN ISO 14067:2018.
Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. Suomen Standardoimisliitto.

Suer, J., Traverso, M., & Jäger, N. (2022). Carbon Footprint Assessment of Hydrogen and Steel. *Energies*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/en15249468>

Suikkanen, J., & Nissinen, A. (2020). *Tuotteiden ympäristöjalanjälki-menetelmä PEF.* Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15 | 2020.

Suomen YK-liitto. (ei pvm.). *Planeetan rajat.* Noudettu 10. maaliskuuta 2023, osoitteesta <https://www.ykliitto.fi/kestava-kehitys/planeetan-rajat>

Suomen ympäristökeskus. *Elinkaariarviointi tukee kestävyysmurrosta.* Noudettu 30. tammikuuta 2023, osoitteesta <https://www.syke.fi/fi-FI/Elinkaariarviointi>

Svensson, S. (2017). *Feasibility of Life Cycle Assessment for Complex Medical Devices.* <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1117495/FULLTEXT01.pdf>

Sähköteknisen kaupan liitto. (ei pvm.). *Sähkönumero yhdistää toimitusketjun ja toimii tuotetiedon valtaväylänä.* Noudettu 14. toukokuuta 2023, osoitteesta <https://sahkonumerot.fi/fi/tietoa-ja-ohjeet>

- Sähkötekni­sen kaupan liitto. (ei pvm.). *Hiilijalan­jälki näkyviin myös sähkötekni­sis­tä tuotteista*. Noudettu 16. toukokuuta 2023, osoitteesta <https://www.stkliitto.fi/hiilijalanj%C3%A4lki-n%C3%A4kyviin-my%C3%B6s-s%C3%A4hk%C3%B6tekni­sis­%C3%A4-tuotteista>
- Teknologi­ateollisuus. (2022). *Kilpailuetua vastuullisuudesta – opas Teknologi­ateollisuuden pk-yrityksille*. https://teknologi­ateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Kilpailuetua-vastuullisuudesta-opas%20yrityksille_0.pdf
- Utu Oy. (ei pvm.-a). *RMU-muuntamot*. Noudettu 23. maaliskuuta 2023, osoitteesta <https://www.utugroup.com/fi/tuotekategoria/sahkonjakelu-ja-energia/puistomuuntamot/rmu-muuntamot/>
- Utu Oy. (ei pvm.-b). *Sähkön osaava tekijä – UTU*. Noudettu 17. maaliskuuta 2023, osoitteesta <https://www.utugroup.com/fi/utu-group/utu-yrityksena/>
- Utu Oy. (2022). *Kestävä kehitys ja vastuullisuus 2021*.
- Valtioneuvosto. (2022). *Valtioneuvoston selonteko Hiilineutraali Suomi 2035-kansallinen ilmasto-ja energi­astrategia*. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/VNS_6+2022.pdf