

Iida Halkilahti

**MENETELMÄ
VÄLTETTYJEN PÄÄSTÖJEN
ARVIOINTIIN JA LASKENTAAN
SÄHKÖNJAKELUSSA**

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastajat: yliopistonlehtori Hannele Auvinen
yliopisto-opettaja Aleksi Sivonen
Joulukuu 2025

TIIVISTELMÄ

Lida Halkilahti: Menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin ja laskentaan sähköjakelussa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Ympäristö- ja energiatekniikan DI-tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2025

Sähkön merkitys muiden sektorien, kuten lämmityksen ja liikenteen, päästöjen vähentämiseen on merkittävä. Sähköjakelun rooli on mahdollistaa yhteiskunnan sähköistyminen. Ilman investointeja nykyisiin ja uusiin sähköjakelu- sekä sähkönsiirtoverkkoihin yhteiskunnan sähköistymis- ja ilmastotavoitteita ei saavuteta.

Ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan yritysten omien päästöjen minimoinnin ohella toimia, joilla on positiivisia vaikutuksia ilmastonmuutoksen torjuntaan. Vältetyt päästöt tai hiilikädenjälki on menetelmä näiden positiivisten ilmastovaikutusten kvantifiointiin.

Vältettyjen päästöjen arvioinnista sähköjakelussa ei ole aiempaa tutkimusta. Arviointiin ei ole olemassa myöskään standardoitua menetelmää. Saatavilla olevissa menetelmissä, kuten VTT:n & LUT:n *hiilikädenjälkioppaassa* sekä WBCSD:n *Guidance on Avoided Emissions*, esiintyy jonkin verran eroavaisuuksia. Työssä hyödynnettiin näiden menetelmien vahvuuksia toimialalle soveltuva menetelmän kehittämisessä.

Työn tavoitteena oli kehittää sähköjakelualalle soveltuva menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin, laskentaan ja viestintään. Lisäksi työn tavoitteena oli määrittää, miten sähköjakelun vältetyt päästöt muodostuvat eli mitkä ovat vältettyjen päästöjen vaikutuspolut sekä laskea kahden vaikutuspolun vältetyt päästöt.

Sähköjakelun vältettyjen päästöjen vaikutuspolkuja tunnistettiin asiantuntijahaastattelujen perusteella. Näitä ovat esimerkiksi eri sektoreiden sähköistyminen, uusiutuvan energiantuotannon liittäminen verkkoon sekä älymittarit ja kulutusjousto.

Työssä kehitettiin 8-vaiheinen menetelmä sähköjakelun vältettyjen päästöjen arviointiin ja se soveltuu sekä toteutuneiden vältettyjen päästöjen (vuositarkastelu) että potentiaalisten vältettyjen päästöjen (skenaariotarkastelu) arviointiin. Menetelmä eroaa olemassa olevista menetelmistä tarkemmalla ohjeistuksella verkkoyhtiökontekstissa esimerkiksi vaikutuspolkujen tunnistamisen, referenssiskenaarion valinnan, LCA-vaatimusten ja laskennan osalta. Menetelmään on luotu vaikutuspolkujen arvioinnin tueksi pisteytysjärjestelmä sekä datan laadun arvioinnin viitekehys, joita nykyisissä menetelmissä ei ole.

Menetelmään kehitettiin viestintäpohja, joka tukee vältetyistä päästöistä viestintää läpinäkyvästi ja uskottavasti. Viestinnässä tärkeää on, ettei vältettyjä päästöjä käytetä hiilineutraalisuusväittämiin tai yrityksen omien päästöjen kompensointiin. Lisäksi verkkoyhtiön epäsuora, mahdollistava vaikutus tuodaan selkeästi esille.

Menetelmää sovellettiin kahteen erilaiseen vaikutuspolkuun: henkilöautoliikenteen sähköistyminen sekä kaukolämmön sähköistyminen. Henkilöautoliikenteen vältetyt päästöt vuositarkastelussa vuodelle 2024 ovat yhteensä 0–11,7 kt-CO₂ ja skenaariotarkastelussa vuodelle 2035 yhteensä 412–443 kt-CO₂. Kaukolämmön sähköistymisen vuositarkastelussa vuodelle 2023 vältetyt päästöt ovat yhteensä 97–131 kt-CO₂. Kaukolämmön sähköistymiselle ei määritetty skenaariota, vaan suositellaan tapaustarkastelua kaukolämpöyhtiöittäin.

Tulokset osoittavat, että kehitetty vältettyjen päästöjen menetelmä tarjoaa käyttökelpoisen ja sovellettavan viitekehysten positiivisten vaikutusten kvantifiointiin. Vältettyjen päästöjen arviointi tuottaa lisäarvoa sidosryhmäviestintään ja strategiseen suunniteluun, kun tulokset tehdään konservatiivisesti ja läpinäkyvien periaatteiden mukaisesti.

Avainsanat: vältetyt päästöt, hiilikädenjälki, sähköjakelu, sähköistyminen, energiamurros

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check –ohjelmalla.

ABSTRACT

Iida Halkilahti: Methodology for the Assessment and Calculation of Avoided emissions in Electricity distribution

Master of Science Thesis

Tampere University

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Engineering

December 2025

The role of electricity in reducing emissions in other sectors, such as heating and transport, is significant. The electricity distribution sector plays a key role in enabling the electrification of society. Without investments in existing and new electricity distribution and transmission networks, electrification and climate targets of society cannot be achieved.

In addition to minimizing companies' own emissions, measures that have positive impacts on climate change mitigation are needed to meet the climate targets. Avoided emissions, or carbon handprint, provide a methodology to quantify these positive climate effects.

There is no previous research on the assessment of avoided emissions in electricity distribution sector, nor is there a standardized methodology available. Existing methods, such as VTT & LUT's *Carbon Handprint Guide* and WBCSD's *Guidance on Avoided Emissions*, show some differences. In this study, the strengths of these methods were leveraged to develop a methodology tailored to the electricity distribution sector.

The aim of this study was to develop a methodology applicable to the electricity distribution sector for assessing, calculating and communicating avoided emissions. Additionally, the study sought to identify how avoided emissions in electricity distribution are generated, i.e. the key impact pathways, and to calculate avoided emissions for two example pathways.

Impact pathways for avoided emissions in electricity distribution were identified through expert interviews. These include e.g. the electrification of other sectors, the introduction of renewable energy into the grid, and smart meters and demand response.

An eight-step methodology for assessing avoided emissions in electricity distribution sector was developed. It is suitable for evaluating both actual avoided emissions (annual assessment) and potential avoided emissions (scenario-based assessment). The methodology differs from existing methodologies by providing more detailed guidance in the context of electricity distribution, for example in identifying impact pathways, selecting a reference scenario, applying LCA requirements, and defining calculation principles. A scoring system for impact pathway evaluation and a data quality assessment framework were developed, which are not included in existing methodologies.

A communication framework was developed to support transparent and credible reporting of avoided emissions. It emphasizes that avoided emissions should not be used for carbon neutrality claims or to offset a company's own emissions. The indirect, enabling role of the electricity distribution company is clearly highlighted.

The methodology was applied to two different impact pathways: electrification of passenger vehicles and electrification of district heating. Avoided emissions from passenger vehicle electrification in the 2024 annual assessment are at 0–11.7 kt-CO₂, and in the 2035 scenario assessment at 412–443 kt-CO₂. For district heating electrification, avoided emissions in the 2023 annual assessment are at 97–131 kt-CO₂. No scenario assessment was applied for district heating electrification, but a case assessment is recommended.

The results indicate that the developed methodology provides a practical and applicable framework for quantifying positive impacts. Assessing avoided emissions adds value to stakeholder communication and strategic planning when interpretations are made conservatively and according to transparent principles.

Keywords: avoided emissions, carbon handprint, electricity distribution, electrification, energy transition

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: M365 Copilot GPT-4

Käyttötarkoitus: Tekoälyä on käytetty asiantuntijahaastattelujen litterointien käsittelyyn.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: Tekoälyä on käytetty osiossa 5.1. Kaikki työssä esitetyt tiedot on käyty manuaalisesti läpi ja tarkastettu.

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön aihe on vältettyjen päästöjen arvioinnin ja laskennan kehittäminen sähköjakelussa. Työ tehtiin Caruna-konsernille. Kuluneen puolen vuoden aikana olen päässyt syventymään tuoreeseen, mielenkiintoiseen ja monipuoleiseen aiheeseen, joka on haastanut ja kehittänyt osaamistani. Projektin aikana olen perehtynyt vältettyjen päästöjen määrittämiseen, sähköjakeluun ja yhteiskunnan sähköistymiseen sekä päässyt kehittämään uutta.

Kiitos Carunalle sekä kaikille haastatelluille ajastanne. Haluan erityisesti kiittää Carunan Piia Häkkistä ajatuksista, innostavuudesta ja hyvistä keskusteluista projektin aikana. Haluan kiittää myös ohjaajiani yliopistolta. Lopuksi kiitos avopuolisolleni loputtomasta kannustuksesta ja huolenpidosta – se on ollut korvaamaton tuki.

Tampereella, 9.12.2025

Iida Halkilahti

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. SÄHKÖNJAKELUYRITYKSEN TOIMINTA JA ENERGIAMURROS.....	3
2.1 Sähkönjakelu osana sähköjärjestelmää	3
2.2 Kasvihuonekaasupäästöjen nykytila energiasektorilla	5
2.3 Energiamurros ja sen vaikutus sähkönjakeluun	7
3. VÄLTETTYJEN PÄÄSTÖJEN ARVIOINTI	10
3.1 Vältetyt päästöt	10
3.2 Eri menetelmät vältettyjen päästöjen arviointiin.....	12
3.3 Guidance on Avoided Emissions.....	14
3.4 VTT & LUT Hiilikädenjälkiopas.....	16
3.5 Vältetyistä päästöistä viestintä	18
4. AINEISTOT JA MENETELMÄT	21
4.1 Tutkimuksen rakenne.....	21
4.2 Asiantuntijahaastattelut	21
4.3 Menetelmän kehittäminen vältettyjen päästöjen arviointiin sähkönjakelussa	23
4.4 Liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolku.....	27
4.5 Lämmityksen sähköistyminen -vaikutuspolku.....	29
5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	31
5.1 Vältettyjen päästöjen vaikutuspolut sähkönjakelussa	31
5.2 Menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin sähkönjakelussa	32
5.3 Liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältettyjen päästöjen laskenta	39
5.4 Lämmityksen sähköistyminen -vaikutuspolun vältettyjen päästöjen laskenta	46
5.5 Tulosten tarkastelu.....	52
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	54
LÄHTEET	56

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Sähkön tuotantomuodot Suomessa 2024. Data kerätty lähteestä (Tilastokeskus, 2024).</i>	4
<i>Kuva 2. Sähkön kulutus sektoreittain Suomessa 2024. Data kerätty lähteestä (Tilastokeskus, 2024).</i>	4
<i>Kuva 3. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys sektoreittain Suomessa 2000–2024. LULUCF on maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous. Data kerätty lähteestä (Tilastokeskus, 2025a).</i>	5
<i>Kuva 4. Kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain ja energiasektorin päästöt kategorioittain Suomessa vuonna 2023. LULUCF on maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous. Data kerätty lähteestä (Tilastokeskus, 2025a).</i>	6
<i>Kuva 5. Henkilöautoliikenteen käyttövoimajakauma Suomessa vuonna 2024. Data kerätty lähteestä (Traficom, 2025).</i>	6
<i>Kuva 6. Kaukolämmön energialähdejakauma Suomessa vuonna 2023. Data kerätty lähteestä (Energiateollisuus, 2025).</i>	7
<i>Kuva 7. Arvio sähkön tuotannon ja kulutuksen kehityksestä Suomessa. Perustuu lähteeseen (Fingrid, 2024).</i>	9
<i>Kuva 8. Vältettyjen päästöjen määrittelmä. Perustuu lähteeseen (WBCSD, 2023).</i>	10
<i>Kuva 9. Vältettyjen päästöjen väittämien hyväksyttävyyden kelpoisuusehdot. Muokattu lähteestä (WBCSD, 2023).</i>	15
<i>Kuva 10. Vältettyjen päästöjen määrittämisen 5-askelta. Muokattu lähteestä (WBCSD, 2023).</i>	15
<i>Kuva 11. Hiilikädenjäljen määrittämisen vaiheet. Muokattu lähteestä (Grönman et al., 2021).</i>	17
<i>Kuva 12. Tutkimusstrategia. TK viittaa tutkimuskysymyksiin.</i>	21
<i>Kuva 13 a-d. Eri vältettyjen päästöjen tyypit.</i>	36
<i>Kuva 14. Liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun järjestelmän rajat.</i>	40
<i>Kuva 15. Vuokaavio liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältettyjen päästöjen laskennasta skenaario- ja vuositarkastelussa.</i>	42
<i>Kuva 16. Henkilöautoliikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältetyt päästöt vuositarkastelussa.</i>	43
<i>Kuva 17. Henkilöautoliikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältetyt päästöt skenaariotarkastelussa.</i>	44
<i>Kuva 18. Kaukolämmön tuotannon mahdolliset energiavirrat.</i>	47
<i>Kuva 19. Kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun järjestelmän rajat.</i>	48
<i>Kuva 20. Vuokaavio kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun vältettyjen päästöjen laskennasta vuositarkastelussa.</i>	49
<i>Kuva 21. Kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun vältetyt päästöt vuositarkastelussa.</i>	50

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. Vältettyjen päästöjen ja scope 1–3 päästöjen ero.</i>	11
<i>Taulukko 2. Vertailu julkaisuista positiivisten ympäristövaikutusten arviointiin ja laskentaan.</i>	13
<i>Taulukko 3. Asiantuntijahaastattelujen yritykset ja haastateltavat.</i>	22
<i>Taulukko 4. Asiantuntijahaastattelujen kysymykset ja tutkimuskysymykset (TK), joihin ne viittaavat.</i>	23
<i>Taulukko 5. Menetelmän vaiheiden kehittämisessä hyödynnetyt tausta-aineistot.</i>	25
<i>Taulukko 6. Datatarpeet ja niiden lähteet henkilöautoliikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun tarkastelussa.</i>	28
<i>Taulukko 7. Päästökertoimet eri henkilöauton käyttövoimille.</i>	29
<i>Taulukko 8. Datatarpeet ja niiden lähteet kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun tarkastelussa.</i>	30
<i>Taulukko 9. Päästökertoimet tarkasteltaville kaukolämpöyhtiöille vuonna 2023 ja 2022.</i>	30
<i>Taulukko 10. Tulokset vältettyjen päästöjen vaikutuspoluista sähkönjakelussa tai –siirrossa asiantuntijahaastatteluiden perusteella.</i>	31
<i>Taulukko 11. Menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin sähkönjakelussa.</i>	32
<i>Taulukko 12. Vältettyjen päästöjen vaikutuspolkujen pisteytys (1–5) vaikuttavuuden ilmastonmuutoksen hillintätään ja verkkoyhtiön roolin perusteella.</i>	33
<i>Taulukko 13. Pohja vältettyjen päästöjen viestintään.</i>	37
<i>Taulukko 14. Kehitetyn vältettyjen päästöjen arviointimenetelmän vertailu WBCSD:n ja VTT & LUT:n menetelmiin.</i>	38
<i>Taulukko 15. Henkilöautoliikenteen sähköistyminen -vaikutuspolku laskennan datan laadun tarkastelu.</i>	41
<i>Taulukko 16. Viestintä henkilöautoliikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältetyistä päästöistä.</i>	45
<i>Taulukko 17. Kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolku laskennan datan laadun tarkastelu.</i>	48
<i>Taulukko 18. Viestintä kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun vältetyistä päästöistä.</i>	51

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AEF	Vältettyjen päästöjen viitekehys (<i>the Avoided Emissions Framework</i>)
BAU	Toiminnan jatkuminen ennallaan (<i>Business as Usual</i>)
GCD	Ympäristöväittämädirektiivi (<i>Green Claims Directive</i>)
GHG	Kasvihuonekaasu (<i>greenhouse gas</i>)
IEA	Kansainvälinen energiajärjestö (<i>International Energy Agency</i>)
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (<i>the Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
ISO	Kansainvälinen standardointijärjestö (<i>International Organization for Standardization</i>)
LCA	Elinkaariarviointi (<i>life cycle assessment</i>)
LUT	Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto
VPP	Virtuaalinen voimalaitos (<i>Virtual Power Plant</i>)
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
WBCSD	Maailman kestävän kehityksen yritysneuvosto (<i>World Business Council for Sustainable Development</i>)
WRI	Maailman luonnonvarainstituutti (<i>World Resources Institute</i>)

1. JOHDANTO

Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen määrä on ihmisen toiminnan vaikutuksesta lisääntynyt ilmakehässä merkittävästi, mikä on nostanut maapallon keskilämpötilaa noin 1,1 °C verrattuna vuosiin 1850–1900 (IPCC, 2023, s. 42). Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneeli IPCC:n (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*) mukaan aina maapallon keskilämpötilan noustessa ilmastomuutokseen liittyvät vaikutukset ja riskit tulevat yhä monimutkaisemmiksi, mahdollisesti peruuttamattomiksi ja vaikeammiksi hallita (IPCC, 2023, s. 70–82). Suomi on sitoutunut kansainvälisiin ilmastopimuksiin ja EU:n ilmastolain pohjalta laadittuun kansalliseen ilmastolakiin, jotka tavoittelevat ilmastomuutoksen hillintää. EU tavoittelee hiilineutraalisuutta, eli korkeintaan yhtä suuria kasvihuonekaasupäästöjä kuin poistumat, vuoteen 2050 mennessä ja Suomi vuoteen 2035 mennessä (423/2022; 2021/1119/EU). Ilmastomuutoksen rajoittamiseksi tarvitaan yhtä suuria tai pienempiä kasvihuonekaasupäästöjä kuin poistumat (IPCC, 2023, s. 82–92).

Hiilineutraalisuus pyritään saavuttamaan uusiutuvan energian käytöllä, yhteiskunnan sähköistymisellä, energiatehokkuuden parantamisella, kysyntäjoustoratkaisuilla sekä jäljelle jääneiden päästöjen osalta hiilentalteenottoratkaisuilla (Bistline, 2021). Sähkön merkitys on huomattava päästöjen vähentämisessä muilla sektoreilla, kuten lämmityksessä, liikenteessä ja teollisuudessa. Sähkönjakelulla on keskeinen rooli yhteiskunnan sähköistymisen mahdollistamisessa (Energiateollisuus, n.d.). Ilman investointeja nykyisiin ja uusiin sähkönjakelu- sekä sähkönsiirtoverkkoihin yhteiskunnan sähköistymis- ja ilmastotavoitteita ei saavuteta (AFRY, 2022). Kantaverkon liittymisrajoitukset ja jakeluverkkojen paikalliset kapasiteettihaasteet hidastavat ja estävät uusien projektien toteutumista. Esimerkiksi tällä hetkellä kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj rajoittaa teollisen mittakaavan eli yli 10 MW liityntöjä Etelä-Suomessa, sillä liityntäkapasiteetti alueella on lähi-vuosina rajoittunut (Fingrid, 2025a).

Ilmastovaikutusten arviointi on keskittynyt perinteisesti negatiivisten vaikutusten arviointiin. Omista suorista ja epäsuorista sekä toimitusketjun päästöistä aiheutuneen hiilijalanjäljen määrittäminen on jo yleistä monissa yrityksissä (Grönman et al., 2019, s. 1059). Puhtaan siirtymän vauhdittamiseksi ja ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan yri-

tyksen omien päästöjen minimoinnin ohella toimia, joilla on positiivisia vaikutuksia ilmastomuutoksen torjuntaan (WBCSD, 2023). Vältetyillä päästöillä tai hiilikädenjäljellä kuvataan näitä positiivisia ilmastovaikutuksia tai päästövähennyspotentiaalia, joka saavutetaan yrityksen toiminnan, tuotteen tai palvelun ansiosta yrityksen oman arvoketjun ulkopuolella asiakkaisissa tai yhteiskunnassa (Carbone 4, 2022; GHG Protocol, n.d.; Grönman et al., 2021; Mission Innovation, 2020; WBCSD, 2023).

Sähkönjakelu- ja sähkönsiirtoalalla ei ole aiempaa tutkimusta vältettyjen päästöjen arvioinnista. Lisäksi vältettyjen päästöjen laskentaan ei ole omaa standardoitua menetelmää. Elinkaariarvioinnin (LCA) laskenta perustuu standardeihin ISO 14040:2006 ja ISO 14044:2006, ja hiilijalanjäljen laskennassa käytetään standardia ISO 14067:2018.

Tässä työssä selvitetään olennaiset päästövähennykset, joita sähkönjakeluyhtiön toiminta mahdollistaa asiakkailleen ja yhteiskunnalle. Työn tavoitteena on kehittää sähkönjakelun toimialalle soveltuva menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin ja laskentaan. Lisäksi pyritään selvittämään, miten vältetyistä päästöistä tulisi viestiä siten, että viestintä on selkeää ja yksiselitteistä, eikä johda harhaan. Nämä tavoitteet on esitetty alla tutkimuskysymyksiksi muotoiltuna.

1. Millaisia olennaisia vältettyjen päästöjen vaikutuspolkuja sähkönjakeluyrityksen toimintaan liittyy?
2. Millainen on soveltuva menetelmä määrittää sähkönjakeluyrityksen vältettyjä päästöjä?
3. Minkä suuruiset ovat kahden esimerkkivaikutuspolun vältetyt päästöt?
4. Miten vältetyistä päästöistä tulisi viestiä?

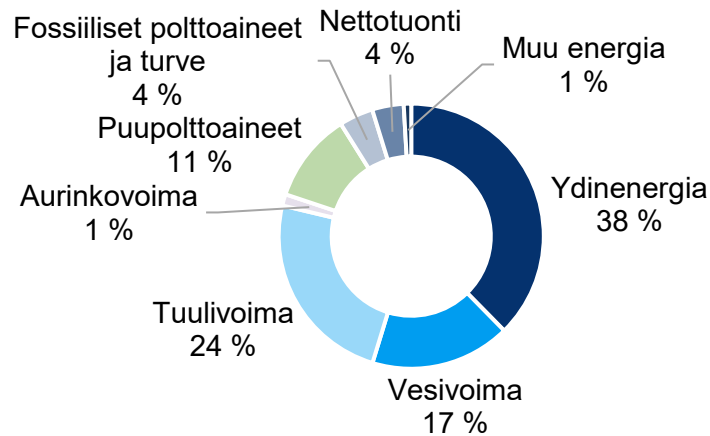
Työ rakentuu seuraavasti. Luvussa 2 tarkastellaan Suomen sähköjärjestelmää ja erityisesti sähkönjakelua, Suomen päästöjen nykytilaa sekä energiamurrosta ja sen vaikutuksia sähköjärjestelmälle. Luvussa 3 tarkastellaan vältettyjen päästöjen määritelmää, sen tuomia mahdollisuuksia ja haasteita, vertaillaan eri vältettyjen päästöjen laskentamenetelmiä ja tarkastellaan näistä kahta tarkemmin. Lisäksi tarkastellaan vältetyistä päästöistä viestintää. Luvussa 4 on tutkimuksen rakenne sekä käytetyt aineistot ja menetelmät. Luvussa 5 on vältettyjen päästöjen vaikutuspolut sähkönjakelussa sekä kehitetty menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin. Luvussa esitetään lisäksi kaksi esimerkkiä menetelmän käytöstä. Lopuksi luvussa 6 on yhteenveto ja johtopäätökset.

2. SÄHKÖNJAKELUYRITYKSEN TOIMINTA JA ENERGIAMURROS

2.1 Sähkönjakelu osana sähköjärjestelmää

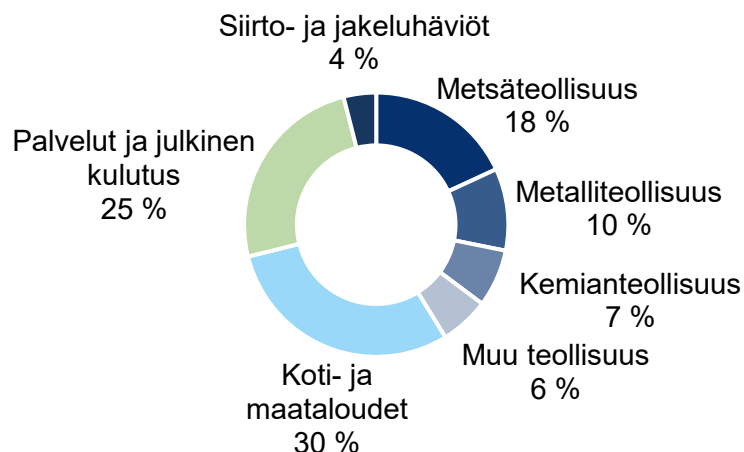
Sähköjärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, jonka muodostavat sähkön tuottajat, sähkön kuluttajat sekä nämä yhdistävät siirtoverkko, suurjännitteinen jakeluverkko ja jakeluverkko (Karady, 2018; Willis, 2013). Suomen sähköjärjestelmä on osa pohjoismaista sähköjärjestelmää (Energiateollisuus, n.d.). Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n sähkönsiirtoverkkoa käytetään pitkillä siirtoyhteyksillä ja jakeluverkkoja alueellisesti (Fingrid, n.d.). Siirtoverkon jännitetaso on korkea siirtohäviöiden minimoiseksi: 400, 220 tai 110 kV (Energiateollisuus, n.d.). Suurjännitteiset jakeluverkot toimivat 110 kV jännitteellä ja jakeluverkot 20, 10, 1 tai 0,4 kV jännitteellä (Energiateollisuus, n.d.). Pienemmät käyttäjät, kuten kodit, saavat sähkönsä jakeluverkosta ja suuremmat käyttäjät, kuten teollisuus, kauppa sekä maatalous, liittyvät tapauksesta riippuen joko siirto- tai jakeluverkkoihin (Fingrid, n.d.). Suuremmat voimalaitokset ovat liitettynä siirtoverkkoon, mutta kasvavissa määrin tuotantolaitoksia, erityisesti aurinkovoimaa, liitetään osaksi jakeluverkkoja (Energiateollisuus, n.d.).

Suomen sähköntuotanto perustuu useisiin eri energiamuotoihin, joista suurimmat ovat ydinenergia, vesivoima ja tuulivoima (Kuva 1). Fossiilittoman sähkön eli tuuli-, vesi-, aurinko- ja ydinvoiman sekä puupolttoaineiden osuus kattoi 95 % vuonna 2024. Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin oli vuonna 2024 keskimäärin 33 g-CO₂/kWh (Fingrid, 2025b). EU:n päästökauppamekanismi, erilaiset tuotantotuet ja kivihiiilen käytön kieltäminen vuoteen 2029 mennessä ovat ohjanneet Suomen sähköntuotantoa vähäpäästöisemmäksi (416/2019; Forsman et al., 2021). Kivihiiilen energiakäyttö loppui neljä vuotta ennen laissa asetettua määräaikaa huhtikuussa 2025 (Valtioneuvosto, 2025).



Kuva 1. Sähkön tuotantomuodot Suomessa 2024. Data kerätty lähteestä (Tilastokeskus, 2024).

Vuonna 2024 sähkön kokonaiskulutus Suomessa oli 83 TWh (Tilastokeskus, 2024). Tästä teollisuus ja rakentaminen kattoivat yhteensä 34 TWh, koti- ja maataloudet 25 TWh, palvelut ja julkinen sektori 21 TW sekä siirto- ja jakeluhäviöt 3 TWh (Kuva 2).



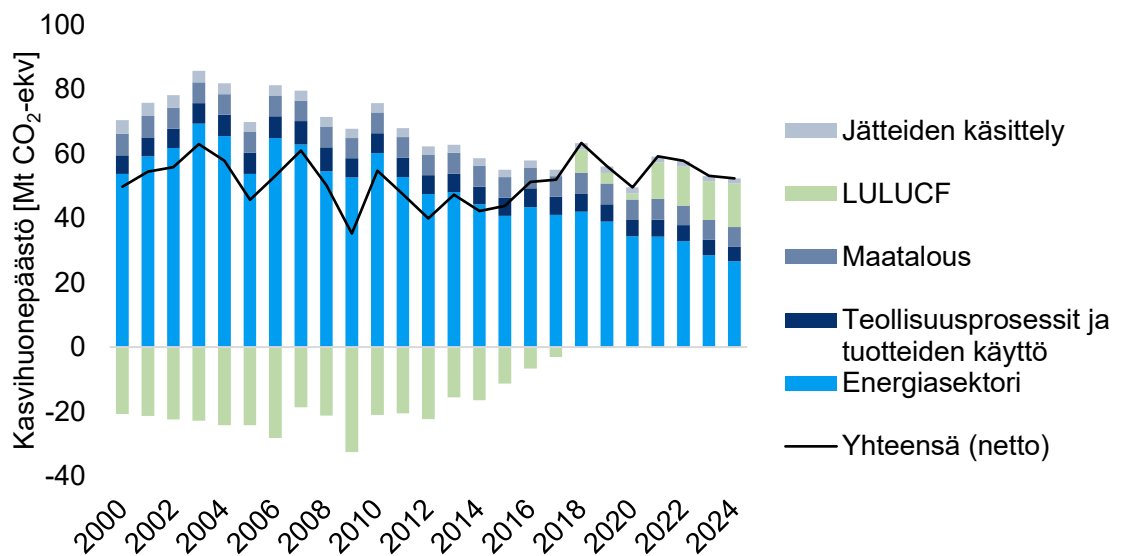
Kuva 2. Sähkön kulutus sektoreittain Suomessa 2024. Data kerätty lähteestä (Tilastokeskus, 2024).

Vuonna 2024 Suomessa oli 77 jakeluverkkoyhtiötä, joista viisi suurinta ovat Caruna Oy, Elenia verkko Oyj, Helen sähköverkko Oy, Caruna Espoo Oy ja Tampereen Energia Sähköverkko Oy (Energiavirasto, n.d.). Sähkönjakeluverkkoyhtiöistä 15 suurinta kattavat Suomessa noin 70 % jakeluverkoista ja sähkönkäyttäjistä (Energiateollisuus, n.d.). Sähköverkkoliiketoiminta on luonnollista monopolitoimintaa, sillä rinnakkaisten sähköverkkojen rakentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa (Forsman et al., 2021). Energiavirasto valvoo verkkoyhtiöiden toimintaa. Sähkönjakelun hinnoittelu on säänneltyä ja perustuu sähkömarkkinalakiin. Hinta verkonhaltijan vastualueella ei saa riippua verkon käyttäjän maantieteellisestä sijainnista (588/2013).

Jakeluhtiöt vastaavat sähköjakelun lisäksi verkon toimintavarmuudesta ja kehittämisestä alueellaan. Sähkömarkkinalain mukaan verkonhaltijan on suunniteltava, rakennettava sekä ylläpidettävä sähköverkkoaan niin, että sähköverkko toimii luotettavasti ja varmasti myös, kun siihen kohdistuu odotettavia ilmastollisia ja mekaanisia häiriöitä (588/2013). Jakeluverkon toimintavarmuusvaatimus on, ettei myrskyn seurauksena verkon käyttäjälle aiheudu yli 6 h keskeytystä asemakaava-alueella ja yli 36 h muilla alueilla (588/2013). Toimintavarmuusvaatimuksen siirtymäaika on vuoteen 2028 ja tietyin poikkeuksin vuoteen 2036 mennessä. Sähkön toimitusvarmuus riippuu sähköverkkojen toimintavarmuuden lisäksi sähkötehon riittävydestä (Forsman et al., 2021).

2.2 Kasvihuonekaasupäästöjen nykytila energiasektorilla

Vuonna 2024 Suomen GHG- eli kasvihuonekaasupäästöt olivat nettona yhteensä 52 miljoonaa CO₂-ekvivalenttitonnia (Kuva 3) (Tilastokeskus, 2025a). Vuoden 2035 hiili-neutraalisuustavoitteen mukaan nettopäästöjen tulisi pudota keskimäärin 4,7 miljoonaa CO₂-ekvivalenttitonnia. Päästövähennykset painottuvat kuitenkin todennäköisesti enemmän 2030-luvulle (Forsman et al., 2021). Valtaosa päästöistä syntyy energiasektorilla. Vuodesta 2018 eteenpäin maankäyttösektori (LULUCF) on ollut nettopäästölähde, koska päästöt ylittävät sitoutuneen hiilen määrän (Tilastokeskus, 2025a).

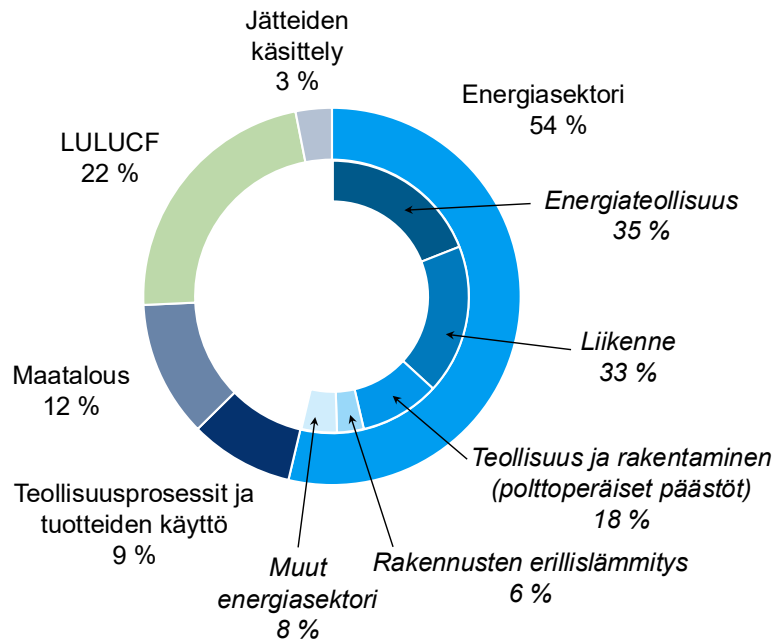


Kuva 3. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys sektoreittain Suomessa 2000–2024.

LULUCF on maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous. Data kerätty lähteestä (Tilastokeskus, 2025a).

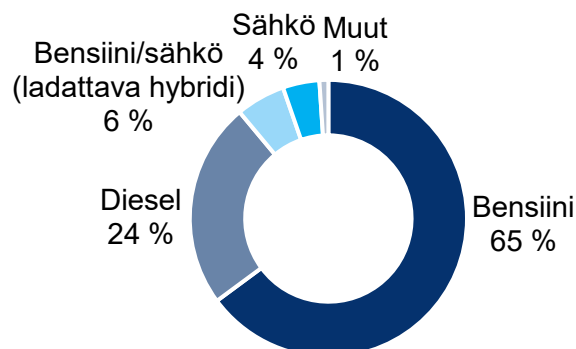
Energiasektorin GHG-päästöjen kehityksessä on ollut laskeva trendi (Kuva 3). GHG-päästöt ovat pienentyneet 61 %:a vuoden 2003 päästöjen maksimista vuoteen 2024. Energiasektorin GHG-päästöt vuonna 2023 olivat 28 Mt CO₂-ekvivalenttia, mikä vastaa 54 % Suomen kokonaispäästöistä (Tilastokeskus, 2025a). Energiasektori muodostuu energiateollisuudesta, johon kuuluu sähkön ja kaukolämmön tuotanto, sekä energian

loppukäytöstä esimerkiksi liikenteessä ja rakennusten erillislämmityksessä. Energiateollisuus (35 % vuonna 2023) ja liikenne (33 %) muodostavat merkittävän osan energiasektorin GHG-päästöistä (Kuva 4).



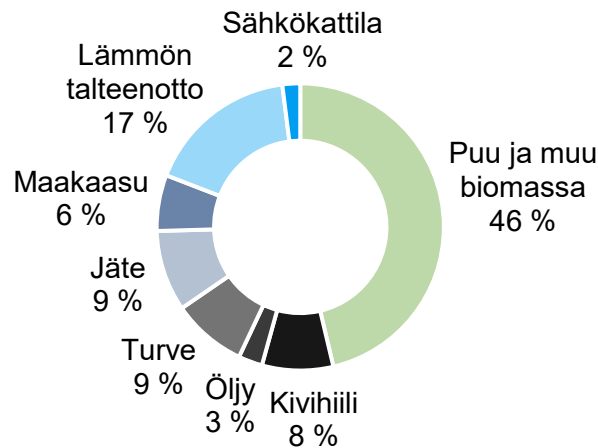
Kuva 4. Kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain ja energiasektorin päästöt kategorioitain Suomessa vuonna 2023. LULUCF on maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous. Data kerätty lähteestä (Tilastokeskus, 2025a).

Tieliikenne vastaa suurimmasta osasta (95 %) liikenteen GHG-päästöistä (Tilastokeskus, 2025a). Henkilöautojen osuus tieliikenteen päästöistä on 52 %:a (Traficom, 2024). Liikenteen GHG-päästöt johtuvat fossiilisten polttoaineiden korkeasta osuudesta. Henkilöautoliikenteelle yleisimmät käyttövoimat ovat bensiini ja diesel (Kuva 5). Täyssähköisten ja ladattavien sähkö-bensiini hybridi henkilöautojen määrä on kasvanut melko voimakkaasti muutamassa vuodessa, sillä vuonna 2024 näiden osuus käyttövoimista on yhteensä 10 % kun taas vuonna 2020 osuus oli noin 2 % (Traficom, 2025). Muiden käyttövoimien, kuten maakaasun ja ladattavien sähkö-diesel hybridien, osuudet ovat hyvin pieniä (< 1 %).



Kuva 5. Henkilöautoliikenteen käyttövoimajakauma Suomessa vuonna 2024. Data kerätty lähteestä (Traficom, 2025).

Kaukolämmöllä tuotettiin 36,7 TWh lämpöä Suomessa vuonna 2023, ja sen osuus asuin- ja palvelurakennusten lämmitysmuodoista on 46 % (Energiateollisuus, 2025). Kaukolämpöä tuotetaan yhteistuotantona sähkön kanssa (osuus 43 % vuonna 2023) ja erillistuotantona (57 %) (Energiateollisuus, 2025). Puu ja muu biomassa on yleisin (47 % vuonna 2023) kaukolämmön energialähde (Kuva 6).



Kuva 6. Kaukolämmön energialähdejakauma Suomessa vuonna 2023. Data kerätty lähteestä (Energiateollisuus, 2025).

Kaukolämmön tuotannon fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus 26 % on korkea verrattuna sähkön tuotantoon, jossa näiden osuus on 4 % (Kuva 1). Lämmöntalteenotto sisältää lämpöpumpuilla tuotetun kaukolämmön sekä lämpöenergian hyödyntämisen esimerkiksi jätevesistä, savukaasuista ja kaukojäähdytyksen paluuviesistä. Sähkökattiloiden osuus on vielä pieni (2 %). Vuonna 2023 kaukolämmön keskimääräinen päästökerroin on 85 kg-CO₂/MWh (Energiateollisuus, 2025).

2.3 Energiamurros ja sen vaikutus sähkönjakeluun

Ilmastotavoitteiden saavuttaminen vaatii nopeaa ja laajaa tehokkaiden ja päästöttömien energiamuotojen ja -teknologioiden käyttöönottoa (Bie et al., 2024). Energiamurroksella tarkoitetaan siirtymää fossiilisten polttoaineiden käyttöön pohjautuvasta energijärjestelmästä kohti hiilineutraalia järjestelmää.

Puhdas siirtymä ajaa sähkönkulutuksen voimakasta kasvua (IEA, 2024). Sähköistymisen vauhdista ja laajuudesta on hieman toisistaan poikkeavia arviota. Kansainvälisen energijärjestö IEA:n mukaan sähkönkulutus on toistaiseksi tehtyjen poliittisten päätösten perusteella globaalisti 50 000 TWh vuonna 2050 eli lähes tuplaantunut nykytilanteeseen verrattuna, ja arviolta 66 000 TWh mikäli hiilineutraalisuustavoitteisiin päästään (IEA, 2024). Fingrid on arvioinut sähkönkulutuksen olevan vuonna 2035 Suomessa

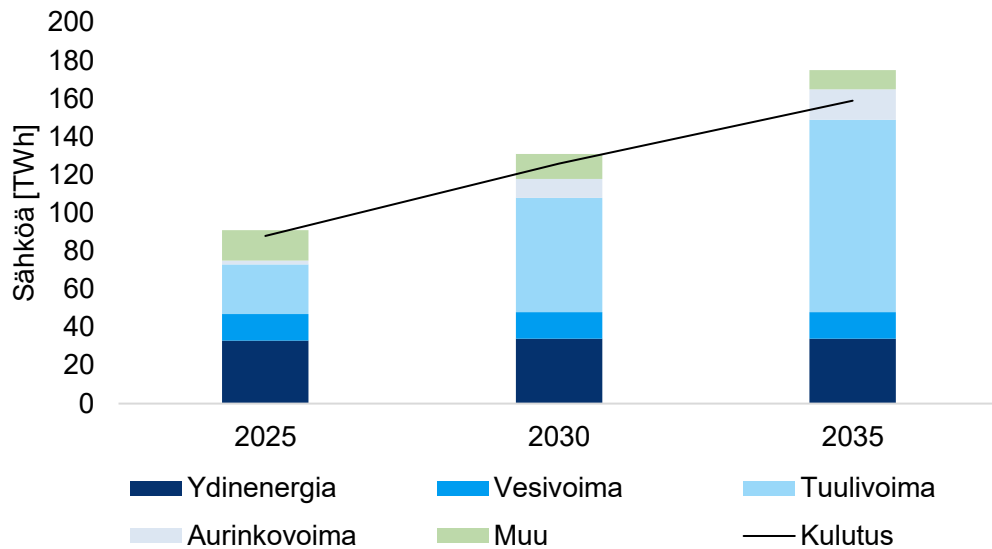
100–160 TWh, josta alempi arvio perustuu jo tehtyihin investointipäätöksiin ja liityntäsopimuksiin (Fingrid, 2024).

Sähkön merkitys on huomattava päästöjen vähentämisessä muilla sektoreilla. Sähköä tarvitaan yhä enenevässä määrin fossiilisten polttoaineiden sijaan lämmitykseen, liikenteeseen sekä teollisuuteen (Bistline, 2021). Sähkökattilat ja suuritehoiset lämpöpumput korvaavat polttamista kaukolämmön tuotannossa (Bertè et al., 2023; Hiltunen et al., 2025). Lisäksi sähkökattiloiden määrä teollisuudessa kasvaa. Hajautetusti lämmitys sähköistyy esimerkiksi kotitalouksissa lämpöpumpuin. Lämmityksen sähkönkäytön arvioidaan kasvavan noin 8 TWh Suomessa vuoteen 2030 mennessä (Fingrid, 2024). Lämmityksen sähköistyminen voi olla myös epäsuoraa. Esimerkiksi tilanteessa, jossa datakeskukset kuluttavat sähköä, ja datakeskusten tuottamaa hukkalämpöä voidaan hyödyntää lämmitykseen esimerkiksi kaukolämmöntuotannossa (Yuan et al., 2023).

Liikenteen sähkönkulutusta lisää sähköautojen käyttöönotto, joka samalla parantaa liikenteen kokonaisenergiakulutusta parantuneen hyötysuhteen vuoksi (IEA, 2024). Sähköautojen määrän kasvusta on vaihtelevia ennusteita. Koko Suomen autokannan sähköistäminen lisäisi sähkönkulutusta arviolta 6–8 TWh (Fingrid, 2023).

Teollisuuden prosessien sähköistyminen lisää merkittävästi sähkön kulutusta suoraan tai epäsuorasti sähköstä tuotettujen polttoaineiden, kuten vedyn, kautta (Diesing et al., 2025). Erityisesti terästeollisuuden ja muun energiaintensiivisen teollisuuden sähköistäminen vaatii paljon energiaa, sillä vaaditaan esimerkiksi noin 10 TWh sähköä vuodessa korvaamaan terästehtaan käyttämä fossiilinen energia (Forsman et al., 2021). Suomessa teollisuuden sähkönkulutuksen on arvioitu kasvavan noin 35 TWh vuoteen 2030 mennessä ja 65 TWh 2035 mennessä (Fingrid, 2023).

Kasvava sähkönkysyntä arvioidaan katettavan uusiutuvalla energialla (Fingrid, 2024; IEA, 2024). Erityisesti tuuli- ja aurinkovoiman osuus on merkittävä (Breyer et al., 2022). Suomessa sähköntuotannon kasvu on suurinta tuulivoimassa, jonka kapasiteetiksi vuonna 2035 on arvioitu 34 GW, mikä vastaa noin 100 TWh vuotuista sähköntuotantoa (Kuva 7) (Fingrid, 2024). Teknisesti ja taloudellisesti on mahdollista, että sähköntuotanto pohjautuisi lopulta täysin uusiutuviin energiamuotoihin (Aghahosseini et al., 2020; Bogdanov et al., 2021; Breyer et al., 2022).



Kuva 7. Arvio sähkön tuotannon ja kulutuksen kehityksestä Suomessa. Perustuu lähteeseen (Fingrid, 2024).

Sähköntuotanto muuttuu kaupunkeihin keskittyneistä voimalaitoksista useisiin pienempiin voimalaitoksiin, joita on pääosin maaseudulla (Caruna, 2024; Willis, 2013). Energiantuotantoa on yhä enemmän liitettyä siirtoverkon lisäksi myös jakeluverkkoihin (Caruna, 2024).

Uusiutuviin energiamuotoihin keskittyvä tuotanto on sääriippuvaista, ja sen vaihtelevuus ja heikko säädettävyys aiheuttaa haastetta sähköjärjestelmän tasapainon ylläpidolle (Caruna, 2024). Energijärjestelmän tasapainottamiseksi tarvitaan sähkön varastointia sekä joustavan kysynnän ratkaisuja (Child et al., 2017; Reiz et al., 2025). Sähkön saatavuuden ollessa hyvä sähköä voidaan varastoida esimerkiksi akkuihin ja käyttää sitä sähkön saatavuuden ollessa niukka. Ylitarjontasähköä voidaan myös muuttaa Power-to-X teknologioilla esimerkiksi vedyksi (Vance et al., 2025), metanoliksi (Yang et al., 2025) tai metaaniksi (Soggia et al., 2025). Sähkön käyttöä suoraan tulee kuitenkin priorisoida, sillä sähkön muuntaminen toiseen muotoon johtaa häviöihin (Breyer et al., 2022).

Sähköjärjestelmän tulee mahdollistaa uusiutuvan energian tuotannon vaihtelujen hallinnan (joustavuuden) lisäksi riittävä kapasiteetti kattamaan huippukuorman kysyntä (adekvaattisuus) (IEA, 2024). Huippukuorman eli tehotarpeen ennustetaan kasvavan nopeammin kuin sähkön kokonaiskysynnän. Jakeluverkkojen kannalta eri sektoreiden sähköistyminen ja uusiutuvan energian sähköntuotannon lisääntyminen lisäävät kapasiteettitarpeita (Reiz et al., 2025). Liikenteen sähköistymisellä on vaikutusta erityisesti huippukuorman kasvun kautta (Nogueira et al., 2022).

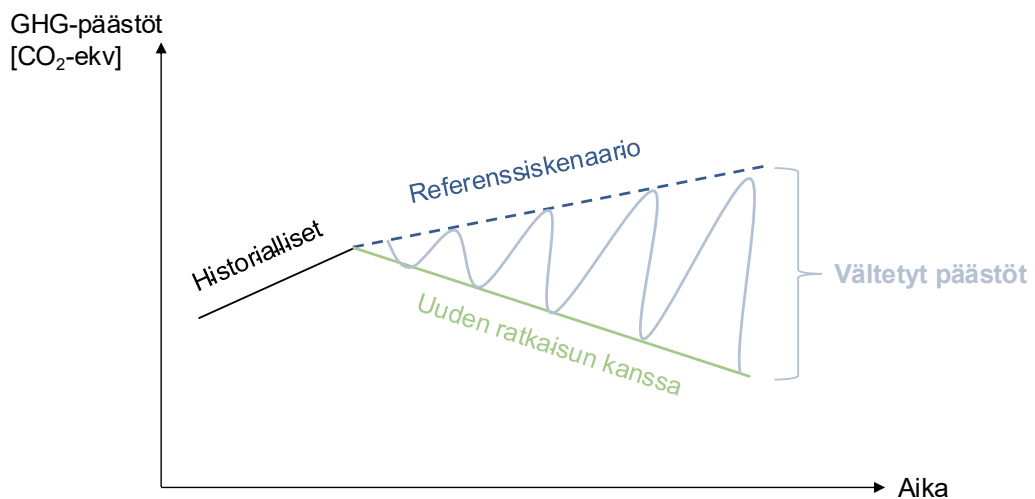
3. VÄLTETYJEN PÄÄSTÖJEN ARVIOINTI

3.1 Vältetyt päästöt

Vältetyillä päästöillä kuvataan yrityksen toiminnan positiivisia vaikutuksia ilmastonmuutoksen hillintään yrityksen oman arvoketjun ulkopuolella eli yhteiskunnassa saavutettavia päästövähennyksiä baseline- eli referenssiskenaarioon verrattuna (Kuva 8) (Carbone 4, 2022; GHG Protocol, n.d.; Grönman et al., 2021; Mission Innovation, 2020; WBCSD, 2023). Vältetyt päästöt ovat siis GHG-päästöjen erotus uuden ratkaisun ja ilman tätä ratkaisua tapahtuvien päästöjen välillä:

$$\text{Vältetyt päästöt} = \text{päästöt}_{\text{referenssitila}} - \text{päästöt}_{\text{uusi ratkaisu}} \quad (1)$$

Päästövähennykset saavutetaan yrityksen toiminnan, tuotteen tai palvelun ansiosta yrityksen oman arvoketjun ulkopuolella. Vältettyihin päästöihin viitataan myös muilla termeillä, kuten hiilikädenjälki ja scope 4. Tässä työssä käytetään termiä vältetyt päästöt, sillä se on yhdenmukainen virallisten päästöstandardien ja viitekehyksien, kuten GHG-protokollan (*The Greenhouse Gas Protocol, A Corporate Accounting and Reporting Standard*), kanssa.



Kuva 8. Vältettyjen päästöjen määritelmä. Perustuu lähteeseen (WBCSD, 2023).

Scope 1–3 ovat GHG-protokollan mukaiset päästöluokat suorille ja epäsuorille päästöille (GHG Protocol, 2011, 2004). Scope 1 tarkoittaa suoria yrityksen toiminnasta aiheutuvia GHG-päästöjä (GHG Protocol, 2004). Scope 2 ja 3 ovat epäsuorat päästöt, joissa scope 2 viittaa yrityksen ostaman sähkön tuotannosta aiheutuneisiin päästöihin ja scope 3 mui-

hin epäsuoriin päästöihin yrityksen arvoketjussa, kuten ostettuihin materiaaleihin ja palveluihin (GHG Protocol, 2011, 2004). Yrityksen scope 1–3 luokkien päästöjen pienentyminen ei ole sama kuin vältetyt päästöt (Taulukko 1) (WBCSD, 2023). Scope 1–3 päästöt määritetään yrityksen perspektiivistä ja ne mittaavat fysikaalista suuretta eli ilmakehään emittoituneiden päästöjen määrää ja sen kehitystä eri vuosina (Carbone 4, 2022). Vältetyt päästöt taas ovat asiakkaan tai yhteiskunnan näkökulmasta ja on aina riippuvainen baseline-skenaarion määrittämisestä (Carbone 4, 2022). Vältettyjä päästöjä ei voi vähentää yrityksen scope 1–3 päästöistä vaan niistä tulee raportoida erillään (GHG Protocol, n.d.).

Taulukko 1. Vältettyjen päästöjen ja scope 1–3 päästöjen ero.

Kategoria	Scope 1–3 päästöt	Vältetyt päästöt
Laajuus	GHG-päästöt yrityksen toiminnasta. ¹	GHG-päästöt yrityksen arvoketjun ulkopuolella, yhteiskunnassa. ¹
Määritelmä	Yrityksen omat absoluuttiset suorat ja epäsuorat sekä toimitusketjun päästöt. ^{2,3}	Yhteiskunnassa saavutettavia päästövähennyksiä yrityksen toiminnan ansiosta baseline- eli referenssiskenaarioon verrattuna. ^{1,4,5,6}
Merkitys ilmastomuutokseen	Negatiivinen. ⁴ Scope 1–3 päästöt pyritään minimoimaan. ⁶	Positiivinen. ⁴ Vältetyt päästöt pyritään maksimoimaan. ⁶
Referenssi	Päästöjen vähennykset (tai lisäykset) määritetään verrattuna historiallisen vertailuvuoden päästötasoon. ^{1,5}	Määritetään verrattuna baseline-skenaarioon, joka olisi toteutunut ilman yrityksen ratkaisua. ^{1,5}

¹ Carbone 4 (2022) ² GHG Protocol (2004) ³ GHG Protocol (2011) ⁴ WBCSD (2023)
⁵ Mission innovation (2020) ⁶ Grönman et al. (2021)

Vältetyt päästöt on vastuullisuustyökalu, jolla voidaan osoittaa yrityksen panos nettonolpäästötavoitteeseen yrityksen omien päästöjen vähentämisen lisäksi (WBCSD, 2023, s. 21) sekä työkalu kestävään arvonluontiin (Beckmann et al., 2019). Liiketoiminnalla on merkittävä rooli päästövähennystavoitteiden saavuttamisessa (WBCSD, 2023). Vältetyt päästöt kannustavat toimintaan, joka tuottaa positiivisia vaikutuksia (Tuppura et al., 2024). Vältettyjen päästöjen laskennan avulla voidaan pyrkiä vahvistamaan positiivisia vaikutuksia ilmastomuutoksen torjunnassa sekä kohdistamaan tulevat kehityshankkeet torjunnan kannalta tehokkaimpiin keinoihin (Grönman et al., 2019; Guillaume et al., 2020).

Vältettyihin päästöihin liittyviä haasteita on yhdenmukaisen laskentametodin ja standardoinnin puute (Carbone 4, 2022; Tuppura et al., 2024). Laskenta vaatii olettamuksia ja

arvioita, minkä takia vältettyjen päästöjen epävarmuus on suurempi kuin scope 1–3 päästöjen (Mission Innovation, 2020, s. 14). Haasteita aiheuttaa myös laskentaan tarvittavan datan ja lähtötietojen kerääminen, näiden saatavuus ja usein tiedonkeruun työläys (Tuppura et al., 2024). Lisäksi haastetta aiheuttaa tuloksista viestiminen ja raportointi niin, että tulokset ovat läpinäkyviä ja viestintä ei ole harhaanjohtavaa (WBCSD, 2023, s. 47). Vältettyjä päästöjä on käytetty joidenkin yritysten toimesta virheellisesti kompensoimaan yrityksen scope 1–3 päästöjä ja esitetty harhaanjohtavia väitteitä hiilineutraalisuudesta (WBCSD, 2023, s. 47).

3.2 Eri menetelmät vältettyjen päästöjen arviointiin

Vältettyjen päästöjen laskenta perustuu uuden ratkaisun ja referenssiskenaarion elinkaariarviointiin (LCA, *Life Cycle Assessment*) tai GHG-päästölaskentaan. LCA:n periaatteet ovat ISO 14040:2006 standardin mukaiset. Tarkemmat elinkaariarviointia tukevat ohjeet ja vaatimukset ovat standardissa ISO 14044:2006. LCA:ssa tarkastellaan koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia tuotteen tai palvelun osalta, ja se on sovellettavissa myös aineettomiin tuotteisiin (ISO 14040, 2006). LCA jakautuu neljään vaiheeseen, josta ensimmäisessä asetetaan tavoitteet ja määritellään soveltamisala eli mm. toiminnallinen yksikkö sekä järjestelmän rajat. Toisessa vaiheessa tehdään inventaarioanalyysi, jossa kerätään kaikki tarvittava data syötteiden ja tuotteiden materiaalin- ja energiankulutuksesta sekä päästöistä. Kolmas vaihe on vaikutusarviointi, jossa arvioidaan inventaarion perusteella ympäristövaikutukset. Viimeiseksi tulkitaan tulokset ja arvioidaan niitä kriittisesti.

Vältettyjen päästöjen arviointiin ei ole yhtenäistä ja standardisoitua menetelmää, vaan eri lähteiden välillä on jonkin verran eroja muun muassa käytetyssä termissä ja laskentaohjeissa (Taulukko 2).

Taulukko 2. Vertailu julkaisuista positiivisten ympäristövaikutusten arviointiin ja laskentaan.

	WBCSD (2023)	Carbone 4 (2022)	VTT & LUT (2021)	Mission Innovation (2020)	WRI (2019)	Beckmann et al. (2019)
Julkaisu	Guidance on Avoided Emissions	Net zero initiative: Calculating and leveraging avoided emissions	Carbon handprint guide v. 2.0	The Avoided Emissions Framework (AEF)	Estimating and reporting the comparative emissions impacts of products	The handprint: a complementary measure of the positive sustainability impact of products
Käytetty termi	Vältetyt päästöt	Vältetyt päästöt	Hiilikädenjälki	Vältetyt päästöt	Vertailevat GHG vaikutukset	Kädenjälki
Vaikutusluokka	Ilmastonmuutos	Ilmastonmuutos	Ilmastonmuutos, sovellettavissa myös muihin ympäristövaikutuksiin	Ilmastonmuutos	Ilmastonmuutos	Kestävän kehityksen tavoitteisiin perustuvat vaikutusluokat
Vahvuudet	Raportointiohjeistus Kriteerit väittämille Asteittainen laskentaohje Miten hyödyntää yrityksissä	Asteittainen laskentaohje Jaottelu 'todellinen' ja 'pienempi nousu' vältettyjen päästöjen tyyppeihin	Asteittainen laskentaohje Pohjautuu LCA-laskentaan Raportointiohjeistus Hyödynnetty menetelmä tutkimuksissa	Eri allokoointimenetelmät		Huomioi kestävän kehityksen tavoitteet
Puutteet				Laskenta perustuu päästövähennyskertoimeen	Ei yksityiskohtaista laskentaohjetta	

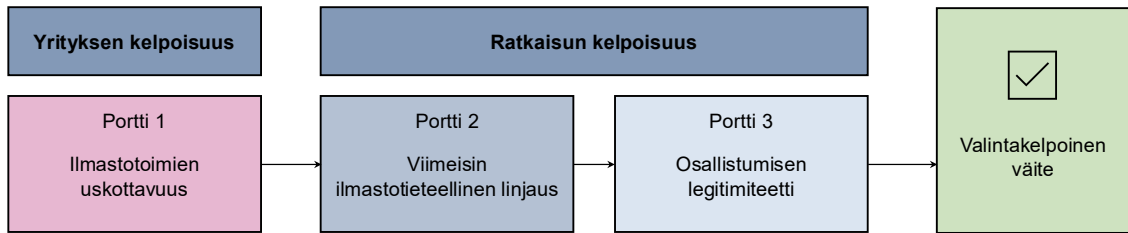
Kirjallisuudessa ei ole aiempaa tutkimusta toimialalla, joten menetelmien soveltuvuudesta ei ole tietoa. Vertailun perusteella tässä työssä valikoitui tarkemmin tarkasteltaviksi WBCSD:n julkaisu *Guidance on Avoided Emissions* (2023) sekä VTT:n & LUT:n *hiilikädenjälkiopas* (2021). Nämä julkaisut valittiin niiden tuoreuden sekä asteittaisten laskentaohjeiden vuoksi. Mission Innovation:in menetelmässä laskenta perustuu päästövähennyskertoimeen. Kertoimia ei ole saatavilla kirjallisuudessa sähkönjakelukontekstissa, joten menetelmä ei ole soveltuva. WRI:n julkaisussa ei ole laskentaohjetta, joka olisi oleellinen tarkastelussa. Työssä halutaan tarkastella vältettyjä päästöjä ilmastonmuutos-vaikutusluokassa, joten Beckmann et al. menetelmä ei ole tähän soveltuvin, sillä menetelmä keskittyy enemmän kestäväen kehityksen vaikutusluokkien tarkasteluun. WBCSD:n sekä Carbone 4:n julkaisuiden laskentamenetelmä on hyvin samankaltainen, joten työhön valittiin näistä tarkasteltavaksi WBCSD:n julkaisu selkeän ja yksityiskohtaisemman raportointi- ja viestintäohjeistuksen vuoksi. Lisäksi WBCSD esittää kriteeristön yritysten vältetyt päästöt -väittämille.

3.3 Guidance on Avoided Emissions

WBCSD:n (*World Business Council for Sustainable Development*, Maailman kestäväen kehityksen yritysneuvosto) *Guidance on Avoided Emissions* -metodologia on toistaiseksi uusin metodologia vältettyjen päästöjen laskemiseen. *Guidance on Avoided Emissions* pyrkii yhtenäistämään ja selkeyttämään vältettyjen päästöjen laskentaa sekä mahdollistamaan luotettavat vältettyjen päästöjen -väittämät yrityksille (WBCSD, 2023, s. 6). Metodologian yksi keskeisistä osioista keskittyy siihen, miten yrityksen voivat hyödyntää vältettyjä päästöjä parantamaan panostaan globaaliin nettonollatavoitteeseen. Metodologia perustuu GHG-protokollaan ja sen laajuus (*scope*) on ratkaisut, joihin kuuluvat muun muassa tuotteet, palvelut, teknologiat sekä projektit (WBCSD, 2023, s. 15).

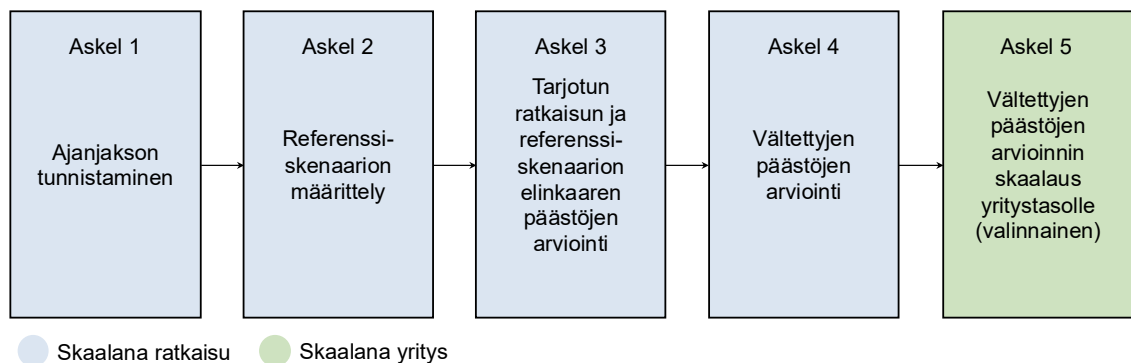
Guidance on Avoided Emissions metodologian mukaisesti vältettyjen päästöjen väittämiä voidaan esittää vain, jos kolme kelpoisuusehtoa täyttyy (Kuva 9). Ensimmäinen kriteeri on yrityksen ilmastotoimien uskottavuus. Yrityksen tulee olla asettanut scope 1–3 luokkien mukaiset ilmastotavoitteet sekä raportoida niistä läpinäkyvästi ja säännöllisesti. Ilmastotavoitteet on asetettava sekä lyhyelle että pitkälle aikavälille ja niiden tulee sisältää mittareita, joiden avulla edistymistä voidaan seurata. Toisessa kriteerissä tarkastellaan, onko tarjotulla ratkaisulla potentiaalia ilmastonmuutoksen hillitsemiseen viimeisimmän ilmastotieteen ja tunnustettujen lähteiden mukaan. Tunnustettuja lähteitä ovat esimerkiksi IPCC:n julkaisut ja EU taksonomia. Ratkaisua ei voida soveltaa suoraan muun muassa fossiilisiin polttoaineisiin liittyviin toimintoihin tai kaivostoimintaan. Kolmannen

kriteerin mukaan kelpoisia ovat vain ratkaisut, joilla on suora ja merkittävä vaikutus nettonollatavoitteiden saavuttamiseen.



Kuva 9. Vältettyjen päästöjen väittämien hyväksyttävyyden kelpoisuusehdot. Muokattu lähteestä (WBCSD, 2023).

Kelpoisuusehdot täyttävien ratkaisujen vältettyjen päästöjen määrittäminen on jaettu viiteen eri askeleeseen WBCSD:n metodologiassa (Kuva 10). Ensimmäiseksi tunnistetaan ajanjakso vältettyjen päästöjen raportointiin. Vältetyt päästöt voidaan määrittää vuosittain ratkaisun käyttöä ajalta (*year-on-year basis*) tai koko ratkaisun elinkaaren ajalta akkumuloituvat vältetyt päästöt myyntivuodelle (*forward-looking basis*). Referenssiskenaario määritetään toisessa askeleessa. Skenaario tulisi mahdollisimman hyvin vastata tilannetta, jossa tarjottua ratkaisua ei ole. Kolmannessa askeleessa lasketaan sekä tarjotun ratkaisun että referenssiskenaarioon päästöt koko elinkaaren ajalta. Neljännessä askeleessa lasketaan vältetyt päästöt tarjotun ratkaisun ja referenssiskenaarioon päästöjen erotuksena. Valinnainen viides askel laajentaa tarkastelun koko yrityksen mittakaavaan. Yrityksen vältetyt päästöt voidaan määrittää summana eri ratkaisujen askelein 1–4 määritetyistä vältetyistä päästöistä. Lisäksi metodologia sisältää raportointi- ja viestintäohjeet, joita tarkastellaan luvussa 3.5.



Kuva 10. Vältettyjen päästöjen määrittämisen 5-askelta. Muokattu lähteestä (WBCSD, 2023).

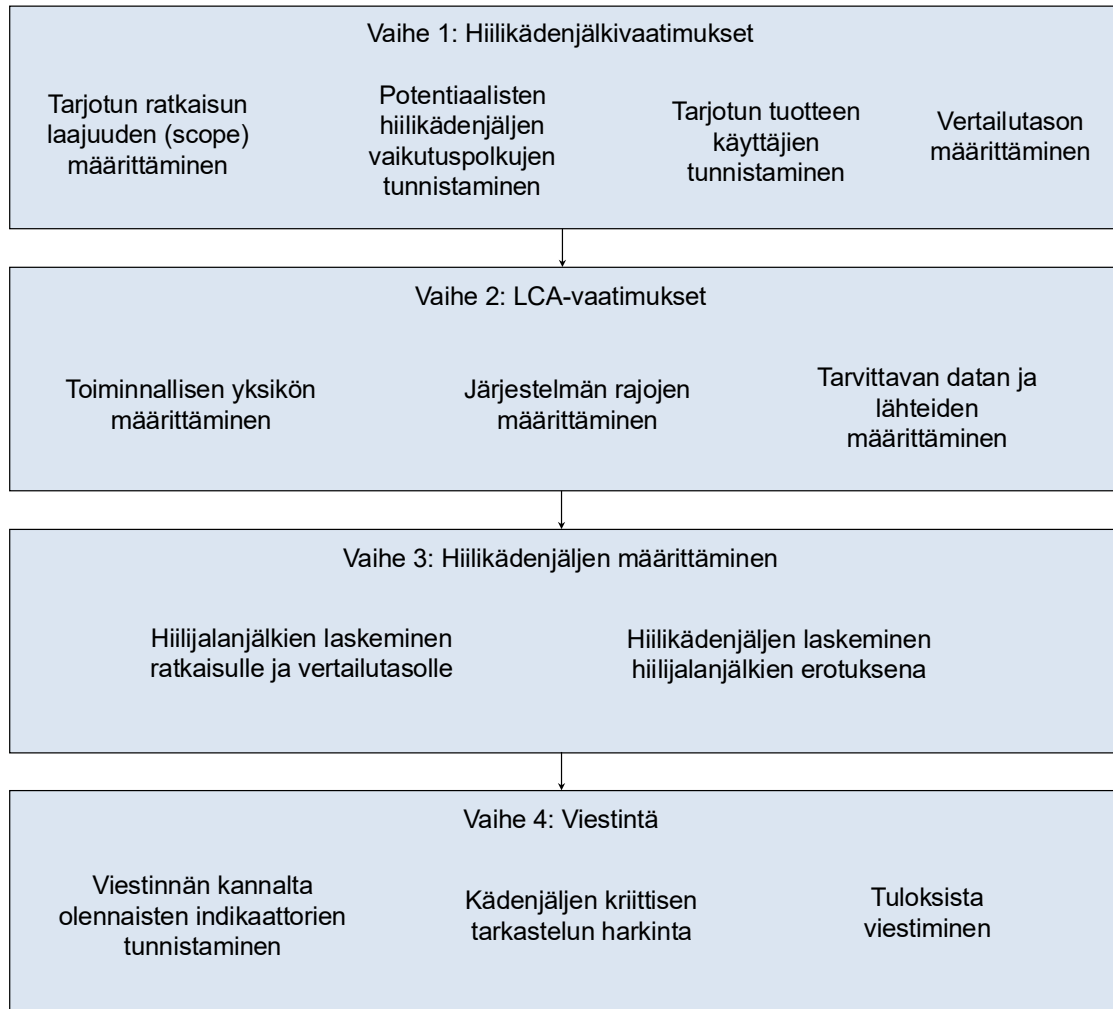
WBCSD:n mukaan vältettyjä päästöjä ei tule allokoita. Samat vältetyt päästöt voidaan raportoida useamman yrityksen toimesta, mikäli yritykset osallistuvat samassa arvoketjussa yksittäisen ratkaisun vältettyjen päästöjen syntyyn (WBCSD, 2023, s. 35). Kaksinkertainen laskenta hyväksytään, sillä jokaisella arvoketjun yksiköllä on oma vaikutuksensa päästöihin ja nettonollatavoitteeseen. Tämä on rinnasteinen scope 3 päästöjen

raportointiin, jossa saman arvoketjun yritykset raportoivat samoista scope 3 päästöistä, mikä helpottaa useiden tahojen samanaikaista toimintaa näiden vähentämiseksi (GHG Protocol, 2011, s. 108). Myös Carbone 4:n (2022) menetelmässä kaksinkertainen laskenta hyväksytään. Mission Innovation (2020) esittää eri allokointilähestymistapoja, joista yksi on kaksinkertaisen laskennan hyväksyminen. Muita vaihtoehtoja ovat esimerkiksi allokointi tasaisesti eri tekijöiden välillä tai allokointi rahallisen arvon mukaan.

Kirjallisuudessa on niukasti tutkimuksia, joissa WBCSD:n menetelmää on sovellettu. Gelin & Karlsson (2024) hyödyntävät menetelmää maisterintyössään kehittämään scope 4 päästöjen laskentamenetelmän, jota sovelletaan työssä PowerCell polttokennojärjestelmään. Sovelluskohde on fyysinen tuote, eikä suoria yhteneväisyyksiä sähkönjakeluvellukseen ole.

3.4 VTT & LUT Hiilikädenjälkiopas

Hiilikädenjälkiopas on VTT:n (Teknologian tutkimuskeskus) ja LUT:n (Lappeenrantaan Lahden teknillinen yliopisto) tutkijoiden (Grönman et al.) kehittämä LCA-pohjainen menetelmä hiilikädenjäljen tai vältettyjen päästöjen laskentaan. Menetelmän ensimmäinen versio on julkaistu vuonna 2018 ja toinen ympäristökädenjäljeksi laajennettu versio vuonna 2021. Metodologian laajuus (*scope*) ovat ratkaisut, joihin kuuluvat tuotteet, palvelut, projektit sekä organisaatiot (Grönman et al., 2021). *Hiilikädenjälkiopas* perustuu LCA-standardeihin ISO 14040–44 ja hiilijalanjäljen standardiin ISO 14067. Hiilikädenjäljen määrittäminen on jaettu metodologiassa neljään eri vaiheeseen (Kuva 11).



Kuva 11. Hiilikädenjäljen määrittämisen vaiheet. Muokattu lähteestä (Grönman et al., 2021).

Ensimmäisessä vaiheessa määritetään hiilikädenjälkivaatimukset. Tärkeä osa tätä vaihetta on tunnistaa vaikutuspolut eli millä tekijöillä tarjotussa ratkaisussa voi olla positiivisia vaikutuksia ratkaisun asiakkaiden GHG-päästöihin. Ratkaisu voi esimerkiksi vähentää asiakkaan energian tai materiaalien kulutusta. Vaikutuspolkujen tunnistamiseksi voidaan tehdä alustava arviointi ja seulonta datan ja mallinnuksen avulla tai asiantuntijoiden arvioinnin pohjalta. Lisäksi ensimmäisessä vaiheessa määritellään vertailutaso, joka on ilman ratkaisua todennäköisimmin tapahtuva skenaario.

Toisessa vaiheessa määritellään LCA-vaatimukset eli toiminnallinen yksikkö (*functional unit*), järjestelmän rajat (*system boundary*) sekä tarvittava data ja lähteet. Toiminnallinen yksikkö määrittelee tuotteen toimintojen kvantifioinnin eli tarjoaa referenssin, johon syötteet ja tuotteet liittyvät (ISO 14040, 2006). Järjestelmän rajat asettavat kriteerit, jotka määrittelevät, mitkä yksikköprosessit ovat osa tarkasteltavaa järjestelmää (ISO 14040,

2006). Datan tulee olla tarkkaa ja täydellistä sekä edustavaa maantieteellisesti ja ajallisesti. Kolmannessa vaiheessa lasketaan tarjotun ratkaisun ja vertailutason yhteneväisille toiminnallisille yksiköille hiilijalanjäljet standardisoidun metodin ISO 14067 mukaisesti. Hiilikädenjälki lasketaan erotuksena vertailutason ja ratkaisun välillä. Neljäs vaihe koskee viestintää, jota tarkastellaan luvussa 3.5.

Kirjallisuudessa on muutamia tutkimuksia, joissa *hiilikädenjälkiopasta* on sovellettu. Grönman et al. (2019) soveltavat menetelmää uusiutuvan dieselin hiilikädenjäljen laskentaan. Tutkimuksessa referenssinä käytetään keskimääräistä dieseliä Suomen markkinalla. Kyseessä on fyysinen tuote, joten sovellus eroaa sähköjakelusovelluksesta. Tutkimus sisältää kuitenkin yhtäläisyyksiä työssä tarkasteltavan liikenteen sähköistymisen -vaikutuspolun kanssa muun muassa järjestelmän rajauksen suhteen (luku 5.3). Sillman et al. (2023) soveltavat menetelmää kysyntäjoustoratkaisun kasvihuonekaasupäästöjen vähennyspotentiaalin arviointiin tekemällä virtuaalivoimalaitoksen (*Virtual Power Plant*, VPP) hiilikädenjälkitutkimuksen. Tutkimuksessa referenssiskenaario on toiminnan jatkuminen ennallaan (*business as usual* eli BAU-skenaario).

VPP sovelluksella on jonkin verran yhtäläisyyksiä tässä työssä tarkasteltavan sähköjakeluyrityksen sovelluksen kanssa. Kysyntäjoustoratkaisu ei suoraan vähennä energiankulutusta tai GHG-päästöjä, vaan mahdolliset GHG-päästövähennykset tulevat fossiilipohjaisen tasapainotusenergian tarpeen vähentymisestä ja uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvattamisesta verkossa (Sillman et al., 2023). Kuten sähköjakeluyritys, myöskään virtuaalivoimalaitos ei itse tuota sähköä eikä kyseessä ole fyysinen tuote. Kummassakin tapauksessa vaikutus on epäsuora. VPP sovelluksessa on selkeämmin tarkasteltava vaikutuspolku, kun taas sähköjakelun tapauksessa mahdollisia vaikutuksia on useita. VPP tutkimuksella on yhtäläisyyksiä erityisesti esitettyjen uusiutuvan energiantuotannon liittäminen verkkoon, kulutusjousto sekä sähkön varastointi -vaikutuspolkujen kanssa. Sillman et al. tutkimuksessa hyödynnetään LCA ohjelmistoa GaBi 10.5, jota ei sovelleta tässä tutkimuksessa.

3.5 Vältetyistä päästöistä viestintä

Ympäristöväittämillä (*green claims*) tarkoitetaan väittämiä, joilla luodaan mielikuva siitä, että tuotteella tai palvelulla on positiivinen ympäristövaikutus, että sillä ei ole lainkaan ympäristövaikutuksia tai että sen ympäristövaikutukset ovat pienemmät verrattuna kilpailijoihin (EU:n komissio, 2021). Ympäristöväittämien, kuten vältettyjen päästöjen väittämien, sääntely pohjautuu EU:ssa sopimattomien kaupallisten menettelyjen direktiiviin (2005/29/EY) ja kuluttajaoikeusdirektiiviin (2011/83/EU). Näitä ympäristöväittämien

osalta täydentävää vihreän siirtymän kuluttajansuojadirektiiviä (2024/825/EU) sovelletaan 27.9.2026 alkaen. EU:ssa oli valmisteilla myös ympäristöväittämädirektiivi (GCD, *Green Claims Directive*), jonka jatko on toistaiseksi epävarmaa.

Markkinoinnin tulee olla selkeää, totuudenmukaista, yksiselitteistä eikä se saa johtaa harhaan (2005/29/EY). Virheellisillä ympäristöväittämällä tai 'viherpesulla' viitataan ympäristöväitteisiin, kun väittämät eivät ole todenperäisiä tai todenperäisyyttä ei voida vahvistaa (EU:n komissio, 2021). Direktiivillä 2024/825/EU pyritään puuttumaan virheellisiin ympäristöväittämiin. Epämääräiset ympäristöväittämät, kuten 'ilmastoneutraali' tai 'vihreä', eivät ole sallittuja (2024/825/EU). Lisäksi tulee muun muassa esittää, mitä osaa tuotteesta tai toiminnasta ympäristöväittäjä koskee (2024/825/EU).

Vältetyistä päästöistä viestintään voidaan soveltaa samoja periaatteita kuin GHG-päästöjen viestintään, joka perustuu standardeihin ISO 14026:2018 jalanjälkiviestinnän periaatteet, vaatimukset ja ohjeet sekä ISO 14063:2020 ympäristöasioiden hallinta ja ympäristöviestintä. Viestinnän tulee olla läpinäkyvää, asianmukaista, selkeää ja luotettavaa (ISO 14026, 2018; ISO 14063, 2020). VTT:n & LUT:n *hiilikädenjälkioppaan* viestintäohjeistus perustuu näihin standardeihin. Viestinnän tulee sisältää vähintään kädenjäljen suuruus ja yksikkö, referenssiskenaario, tärkeimmät vaikutuspolut hiilikädenjäljen muodostumiseen, käytetty aikaväli sekä kuinka halutessaan on mahdollista saada lisätietoa (Grönman et al., 2021, s. 26–28).

WBCSD:n viestintä ja raportointiohjeissa vältetyistä päästöistä viestintä sallitaan vain, jos kelpoisuuskriteerit (Kuva 9) täyttyvät. Kriteeristön avulla vältetyistä päästöistä ei voida viestiä, jos ratkaisu tai yritys ei ole yhteensopiva yhteiskunnan hiilineutraalisuustavoitteiden kanssa. Jotta viestintä ei ole harhaanjohtavaa, vältetyistä päästöistä tulee raportoida erillään yrityksen scope 1–3 päästöistä sekä hiilinieluista ja niitä ei voi käyttää esittämään hiilineutraalisuusväitteitä (WBCSD, 2023, s. 40,41). Viestinnässä tulee olla kuvaus ratkaisun ja vertailtavan referenssiskenaarion elinkaarien aikaisista GHG-päästöistä, käytetty raportointiaikaväli, vältettyjen päästöjen osuus kokonaisliikevaihdosta sekä tulosten mahdollinen kolmannen osapuolen verifiointi (WBCSD, 2023, s. 40,41). Lisäksi WBCSD:n ohjeistuksen mukaisesti tulee raportoida, mikäli on tunnistettu negatiivisia sivuvaikutuksia tai rebound-vaikutuksia.

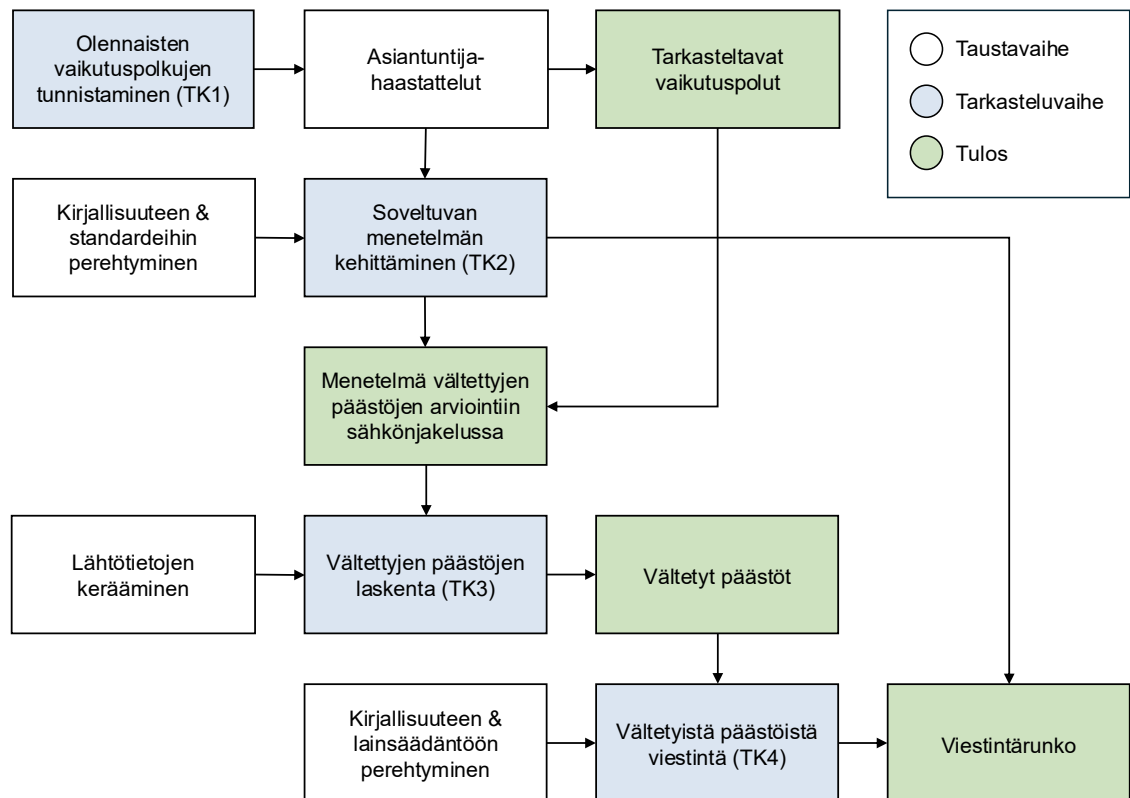
Sekä VTT:n & LUT:n että WBCSD:n menetelmät käyttävät elinkaarinäkökulmaa, suosittavat tarkimman mahdollisen datan käyttämistä ja neuvovat huomioimaan positiivisten vaikutusten lisäksi myös mahdolliset negatiiviset vaikutukset. Menetelmät tuovat esiin, että kuluttajalla tulee halutessaan olla mahdollisuus saada lisätietoa. Lisäksi WBCSD kieltää vältettyjen päästöjen käyttämisen kompensoimaan yrityksen scope 1–3 päästöjä

sekä lisäksi esittää kriteeristön väittämien esittämiselle. Molempien menetelmien voidaan nähdä olevan ympäristöväittämiä koskevan sääntelyn mukaisia. Haasteena on kuitenkin, että menetelmän soveltajan tulee tehdä mahdollisimman oikeat ja konservatiiviset valinnat esimerkiksi referenssiskenaarion suhteen, jotta vältettyjä päästöjä ei yliarvioida (Tuppura et al., 2024).

4. AINEISTOT JA MENETELMÄT

4.1 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen rakenne koostuu syvällisestä perehtymisestä kirjallisuuteen sekä asiantuntijahaastatteluista, joiden pohjalta määritetään soveltuva menetelmä vältettyjen päästöjen määrittämiseen ja laskennassa tarkasteltavat vaikutuspolut (Kuva 12). Vältettyjen päästöjen laskemiseksi työssä tehdään Excel-työkalu.



Kuva 12. Tutkimusstrategia. TK viittaa tutkimuskysymyksiin.

Tutkimusstrategiaa käytetään ohjaamaan tutkimusta sekä selkeyttämään, miten kuhunkin tutkimuskysymykseen vastataan.

4.2 Asiantuntijahaastattelut

Valittu tutkimusmenetelmä tutkimuskysymykseen 1 vastaamiseksi on kvalitatiivinen haastattelututkimus. Haastattelujen avulla pyrittiin tunnistamaan, millaisista tekijöistä sähkönjakeluyhtiön vältetyt päästöt koostuvat. Tarkastelua haluttiin laajentaa yksittäisen jakeluverkkoyhtiön asiantuntijoiden näkemyksestä. Asiantuntijahaastattelut valittiin me-

netelmäksi, sillä kirjallisuudessa ei ole aiempaa tutkimusta toimialalla. Asiantuntijahaastattelut potentiaalisten vaikutuspolkujen määrittämiseen on VTT:n & LUT:n *hiilikädenjälkioppaan* mukainen menetelmä. *Hiilikädenjälkioppaan* vaiheen 1 toisessa askeleessa tunnistetaan hiilikädenjälkeen mahdollisesti vaikuttavat tekijät alustavan arvion tai asiantuntijaneelin avulla (Grönman et al., 2021).

Soveltuvan kirjallisuuden puutteen vuoksi asiantuntijahaastattelujen perusteella pyrittiin lisäksi määrittämään, miten vältettyjen päästöjen tai hiilikädenjäljen laskentaa ja viestintää on mahdollisesti tehty aiemmin sähköverkkoyhtiöissä. Tietoa pyritään hyödyntämään sähköjakeluyhtiöille soveltuvan laskentamenetelmän (tutkimuskysymys 2) ja viestinnän (tutkimuskysymys 4) kehittämiseksi.

Tutkimuksessa haastateltiin Caruna-konsernin, Elenia-konsernin, Energiateollisuus ry:n, Fingrid Oyj:n sekä Helen Sähköverkko Oy:n edustajia (Taulukko 3). Haastateltavilta on hankittu suostumus heidän nimiensä julkaisemiseen. Haastateltaviksi yrityksiksi valittiin Suomen markkinoiden suurimpia jakeluverkkoyhtiöitä ja kantaverkkoyhtiö näiden kattavan toimialanäkemyksen ja asiantuntijuuden vuoksi. Lisäksi Energiateollisuus ry valittiin yleisemmän toimialatuntemuksen vuoksi.

Taulukko 3. Asiantuntijahaastattelujen yritykset ja haastateltavat.

Yritys/organisaatio	Haastateltava	Haastateltavan rooli
Caruna-konserni	Häkkinen, Piia	Vastuullisuusasiantuntija
Elenia-konserni	Carrillo, Heidi	Vastuullisuusasiantuntija
	Kallio, Eveliina	Sähkönsiirron asiantuntija
	Vaahtera, Pirjo	Ympäristöasiantuntija
Energiateollisuus ry	Lehto, Ina	Johtava asiantuntija, energia-verkot ja verkkoregulaatio
Fingrid Oyj	Merta, Elina	Erikoisasiantuntija, ympäristö
Helen Sähköverkko Oy	Patjas, Oskari	Kehityspäällikkö

Potentiaaliin haastateltaviin otettiin yhteyttä kertomalla sähköpostitse, millaisesta tutkimuksesta on kyse ja miten haastattelu toteutettaisiin. Samalla haastatteluun valittujen henkilöiden suostumus tutkimukseen osallistumiseen varmistettiin. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina, sillä haluttiin mahdollistaa tarkentavien lisäkysymyksien esittäminen sekä keskustelu haastattelussa mahdollisesti esiin nousevista kiinnostavista teemoista. Haastattelun kysymysrunko (Taulukko 4) toimitettiin haastateltaville etukäteen tutustuttavaksi. Kaikkia haastattelukysymyksiä ei esitetty kaikille haastateltaville riippuen haastateltavan taustasta.

Taulukko 4. Asiantuntijahaastattelujen kysymykset ja tutkimuskysymykset (TK), joihin ne viittaavat.

Tutkimuskysymys	Haastattelukysymys
TK1	Voitko kuvata esimerkkejä, joissa sähkönsiirto tai -jakelu on mahdollistanut päästöjen vähenemisen muualla yhteiskunnassa?
TK1	Mitkä ovat mielestäsi keskeiset toiminnot tai vaikutuspolut, joiden kautta vältettyjä päästöjä syntyy energiamurroksen myötä tulevaisuudessa? Minkä sektorin päästövähennyksiä toiminta aikaansaa?
TK1	Mikä on mielestäsi sähköverkkojen ja sähkönsiirron tai -jakelun rooli energiamurroksessa ja hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamisessa?
TK2	Onko vältettyjä päästöjä tai hiilikädenjälkeä määritetty aiemmin yhtiössänne? Jos on, miten laskentaa on tehty ja miten tarkastellut vaikutuspolut on valittu?
TK4	Jos vältettyjä päästöjä tai hiilikädenjälkeä on määritetty aiemmin yhtiössänne, miten vältetyistä päästöistä on raportoitu ja viestitty?

Haastattelut toteutettiin elokuussa 2025 etäyhteyden välityksellä videopuheluin, ja niiden kesto vaihteli n. 30–60 minuutin välillä. Haastattelun alussa esitettiin haastattelukäytännöt, kerrottiin työn taustasta ja tavoitteista sekä määritettiin vältetyt päästöt -termi, jotta kaikilla on yhteinen käsitys keskusteltavasta aiheesta. Haastattelun tukena käytettiin diaesitystä. Haastattelun alussa haastateltavilta kysyttiin suostumus haastattelun tallentamiseen ja litterointiin. Lisäksi haastateltaville kerrottiin, millä tavoin haastatteluaineistoa tullaan hyödyntämään työssä.

Haastattelun litteroinneille tehtiin temaattinen analyysi. Temaattisessa analyysissä kvalitatiivisesta aineistosta tunnistetaan yhteisiä teemoja (Ahmed et al., 2025; Lester et al., 2020). Aineistoa jaoteltiin ensin tutkimuskysymyksittäin, jonka jälkeen aineistosta tunnistettiin edelleen yhteisiä teemoja, esimerkiksi saman vaikutuspolun mainintoja ja kuvauksia.

4.3 Menetelmän kehittäminen vältettyjen päästöjen arviointiin sähkönjakelussa

Asiantuntijahaastatteluissa nousi esiin kiinnostus ja tarve toimialalle kehittää soveltuvaa vältettyjen päästöjen laskentamenetelmää. Vältettyjen päästöjen määrittäminen ei tois- taiseksi ole vakiintunut käytäntö, mutta laskentaa on alustavasti suunniteltu ja pohdittu

useammassa yrityksessä. Keskeisiä haasteita määrittämiselle ovat tiedon- ja resurssienpuute. Käytetty termistö on vielä vakiintumatonta: haastatteluissa viitattiin hiilikädenjälkeen sekä epäsuoraan ilmastohyötyyn. Myös laskentakäytännöt vaihtelevat vältettyjä päästöjä määrittäneissä yrityksissä. Yhdessäkään yrityksessä laskentaa ei ole tehty perustuen mihinkään vältettyjen päästöjen tai hiilikädenjälki menetelmiin. Vältettyjä päästöjä määrittäneissä yrityksissä laskentaa on tehty perustuen joko verkkoon liitetyn uusiutuvan tuotannon määrään ja sen oletettuun korvaavuuteen keskimääräisen sähköntuotantoon nähden tai perustuen asiantuntijatyöpajoihin, joissa tunnistettiin vaikutuspolkuja ja pisteytettiin niitä. Vaikutuspolkujen tunnistamisessa on käytetty viitekehyksenä *Natural Capital* -protokollaa. Konsultti määritti pisteytyksen avulla valittujen vaikutuspolkujen vältetyt päästöt. Yhtenäinen toimialakohtainen menetelmä, jota sovellettaisiin eri verkkoyhtiöissä, lisäisi eri yhtiöiden vältettyjen päästöjen vertailtavuutta.

Menetelmän kehittäminen vältettyjen päästöjen arviointiin perustuu kirjallisuuteen perehtymiseen, asiantuntijahaastatteluihin ja muuhun perehtymiseen toimialaan (Taulukko 5). Lisäksi kahden vaikutuspolun laskentaa tarkasteltiin tapaustutkimuksena. Olemassa oleviin vältettyjen päästöjen tai hiilikädenjälkimenetelmiin (Taulukko 2) perehdyttiin huolella. Lisäksi olemassa oleviin standardeihin ja ohjeistuksiin (mm. LCA-standardit ISO 14040–44 ja GHG-protokolla) tutustuttiin tarkasti. Menetelmän kehittämisessä on hyödynnetty erityisesti VTT & LUT:n (Grönman et al., 2021) *hiilikädenjälkioppaan* ja WBCSD:n (2023) *Guidance on Avoided Emissions* menetelmien vahvuuksia, joita on sovellettu toimialalle sopivaksi kokonaisuudeksi. Menetelmät valittiin luvussa 3.2 tehdyn vertailun perusteella. Käytetyt tapaustutkimukset ovat henkilöautoliikenteen sähköistyminen sekä kaukolämmön sähköistyminen. Tapaustutkimukset valittiin perustuen pisteytykseen (Taulukko 12) sekä näiden erilaisuuteen, jotta menetelmän soveltuvuutta kokeillaan toisistaan eriävissä tapauksissa. Vältettyjen päästöjen menetelmän kehittäminen on ollut iteratiivinen prosessi. Tapaustutkimuksia on hyödynnetty testaamaan menetelmän soveltuvuutta ja lisäämään yksityiskohtia menetelmään. Menetelmän soveltuvuutta on tarkasteltu laadullisesti myös muiden vaikutuspolkujen osalta.

Taulukko 5. Menetelmän vaiheiden kehittämisessä hyödynnetyt tausta-aineistot.

1. Vaikutuspolut	2. Kelpoisuustarkastelu	3. Tarkasteluajanjakso	4. Referenssiskenaario	5. LCA-vaatimukset	6. Datan laatu	7. Laskenta	8. Viestintä	Tausta-aineisto
×						×		Asiantuntijahaastattelut
						×		Carbone 4 (2022)
			×	×				Grönman et al. (2019)
							×	ISO 14026:2018 & ISO 14063:2020
				×				ISO 14040–44
			×					Sillman et al. (2023)
		×	×	×	×	×	×	Tapaustutkimukset
	×	×	×					Toimialaan perehtyminen
					×			Tuppura et al. (2024)
							×	Viherväittämiä koskeva lainsäädäntö
×				×		×		VTT & LUT: Grönman et al. (2021)
	×	×			×		×	WBCSD (2023)

Kehitetyn menetelmän ensimmäisessä vaiheessa valitaan ja kuvataan tarkasteltavat vaikutuspolut, mikä pohjautuu VTT & LUT julkaisuun. Vaikutuspolkujen tunnistaminen on tehty asiantuntijahaastattelujen perusteella luvussa 4.2 kuvatulla menetelmällä. Arvioinnista on poistettu verkon purkumateriaalien uusikäyttö, sillä tämä kuuluu yrityksen scope 3 päästöjen pienentämiseen. Lisäksi hiilinielujen lisääminen maakaapeloinnin yhteydessä on jätetty arvioinnista pois, sillä vältetyt päästöt tulee raportoida erillään hiilinieluista (luku 3.5). Haastattelun perusteella yksi yrityksistä on pisteyttänyt vaikutuspolkuja niiden arvioimiseksi. Kehitettyyn menetelmään on lisätty vaikutuspolkujen pisteytys vaikuttavuudessa ilmastonmuutoksen hillintään sekä yrityksen vaikuttavuudessa muutokseen.

Vaikuttavuus ilmastonmuutoksen hillintään arvioidaan tunnistettujen kirjallisuuslähteiden pohjalta. Vaikutuspolut tuottavat potentiaalisesti vältettyjä päästöjä korvaamalla fossiilisia polttoaineita sähköllä. IPCC:n (2023) mukaan nettonolla tavoitteiden saavuttaminen vaatii yhteiskunnan laajaa sähköistymistä, ja IEA (2024) on arvioinut sähköistymisen

kiihtyvän kaikilla sektoreilla. Perustuen Suomen päästöjen nykytilaan (Kuva 4) liikenteen, lämmityksen sekä teollisuuden sähköistymisellä on potentiaalia merkittäviin vältettyihin päästöihin. Näistä syistä eri sektoreiden sähköistymisen vaikutus ilmastonmuutoksen hillintään on arvioitu korkeaksi. Uusiutuvan energiantuotannon liittäminen verkkoon -vaikutuspolun vaikuttavuus ilmastonmuutoksen hillintään arvioidaan pienemmäksi kuin liikenteen, lämmityksen ja teollisuuden sähköistymisen, sillä uusiutuvan energian ja erityisesti päästöttömän energian osuus on jo nykytilanteessa korkea (Kuva 1). Tulevaisuudessa uusiutuvan energian liittämisellä verkkoon ei ole yhtä merkittävä potentiaali ilmastonmuutoksen hillintään kuin sähköistymisen vaikutuspoluilla. Älymittarien, sähkönvarastoinnin sekä vetytalouden vaikuttavuus on arvioitu keskitasolle. Yhteisrakentaminen maakaapeloinnissa -vaikutuspolun merkittävyys on arvioitu yrityksessä aiemmin tehdyn laskennan perusteella pieneksi. Verkkoyhtiön vaikuttavuus muutokseen on arvioitu asiantuntijahaastattelujen perusteella.

Kehitetyn menetelmän toisessa vaiheessa tarkastellaan, onko verkkoyhtiö ja vaikutuspolku kelpoinen. Metodi perustuu WBCSD:n julkaisuun. Kelpoisuustarkastelua on selkeytetty hyödyntämällä ensimmäisessä vaiheessa tehtyä pisteytystä. Kelpoisuustarkastelulla pyritään tukemaan viestintää.

Kolmannessa vaiheessa määritellään tarkasteluajanjakso, minkä kehittämisesä on hyödynnetty WBCSD:n julkaisun jaottelua vuosittain ratkaisun käyttöä ajalta tai koko ratkaisun elinkaaren ajalta akkumuloituvat vältetyt päästöt myyntivuodelta. Valinta vuosittaisesta ja skenaariotarkastelusta on tehty toimialaan perehtymisen perusteella.

Neljännessä vaiheessa määritetään referenssiskenaario, joksi on valittu BAU-skenaario. Valinta on tehty perustuen kirjallisuuteen: mm. Sillman et al. (2023) sekä Grönman et al. (2019). Viidennessä vaiheessa tarkastellaan LCA-vaatimukset, ja vaihe on vastaava kuin VTT:n & LUT:n julkaisussa. LCA-vaatimusten soveltamiseksi sähkönjakelukontekstiin on perehdytty LCA-standardeihin (ISO 14040–44) ja Grönman et al. (2019) tutkimukseen. Tapaustutkimuksia vaikutuspoluista on käytetty kehittämään LCA-vaatimusten soveltamista.

Kuudes vaihe on datan laadunarvioinnin viitekehys. Datan saatavuus ja laatu tunnistettiin tässä työssä ja mm. Tuppuran et al. (2024) tutkimuksessa haasteeksi, joten datan laadunarvioinnilla pyritään tunnistamaan niiden vaikutus lopullisen väittämän tarkkuuteen. WBCSD:n menetelmässä vältetyt päästöt -väittämän tarkkuutta tarkastellaan ratkaisun ja referenssin osalta asteikolla korkea, keskitasoinen sekä matala. Jaottelua kolmeen kategoriaan hyödynnettiin datan laadun arvioinnissa, mutta arviointia tarkennettiin koskemaan jokaista datatarvetta yksittäin.

Seitsemäs vaihe on laskenta, joka perustuu VTT:n & LUT:n menetelmään. Sähköverkkoinfran päästöjen allokointimenetelmä tehotarpeen mukaisiin osuuksiin perustuu siihen, että tehontarve kuvaa sähköverkon hetkellistä kuormitusta ja sitä kautta sähköverkon tarvetta. Jaottelu 'vähäisemmän nousun' ja 'todellisiin' vältettyihin päästöihin on Carbone 4 (2022) *Net zero initiative: Calculating and leveraging avoided emissions* -julkaisun mukainen menetelmä.

Kahdeksannessa vaiheessa viestitään tuloksista. Viestintämenetelmää on kehitetty perustuen WBCSD:n viestintäpohjaan, jota on kehitetty viherväittämiä koskevan lainsäädännön ja ISO 14026:2018 jalanjälkiviestinnän periaatteet, vaatimukset ja ohjeet sekä ISO 14063:2020 ympäristöasioiden hallinta ja ympäristöviestintä standardien periaatteiden mukaisesti.

4.4 Liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolku

Liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun tarkastelussa käytetään menetelmää, joka on esitetty luvussa 5.2. Liikenteen sähköistymisen tarkastelu rajataan henkilöautoliikenteen sähköistymiseen, sillä muille ajoneuvotyypeille ei ole yhtä tarkkaa tai ollenkaan ennustetta saatavilla sähköistymisskenaarion luomiseen. Henkilöautojen osuus tieliikenteen päästöistä on 52 %:a (Traficom, 2024). Tarkastelu tehdään Caruna Oy:n ja Caruna Espoo Oy:n verkkoalueella. Ajoneuvojen määrä, käyttövoima sekä liikennesuorite tietoina käytettiin tilastotietoa (Taulukko 6). Sähköisten ajoneuvojen määrä tarkastelualueella vuonna 2035 on yrityksen datan mukaan 267 600 täyssähköautoa ja 366 200 laddattavaa hybridautoa. Muiden käyttövoimien osuuksien on oletettu vähenevän lineaarisesti vuoden 2023 tasosta.

Taulukko 6. Datatarpeet ja niiden lähteet henkilöautoliikenteen sähköistymisen -vaikutuspolun tarkastelussa.

	Data	Lähde
Vuositarkastelu	Liikennekäytössä olevat ajoneuvot haltijan kotikunnan mukaan 2024	Traficom, 2025
	Liikennekäytössä olevat ajoneuvot haltijan kotikunnan mukaan 2023	Traficom, 2025
	Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain 2024	Traficom, 2025
	Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain 2023	Traficom, 2025
	Liikennesuorite katu- ja maanteillä autoluokittain 2024	Tilastokeskus, 2025b
Skenaario-tarkastelu	Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain 2023	Traficom, 2025
	Sähköautojen määrän ennuste tarkastelualueella 2035	Yrityksen data
	Liikennesuorite-ennuste 2035	Moilanen et al., 2024

Liikennesuorite-ennuste vuodelle 2035 on laskettu Traficomien valtakunnallisen liikenne-ennusteen (Moilanen et al., 2024) perusteella. Vuosien 2030, 2040, 2050 ja 2060 liikennesuoritteista on toisen asteen polynomisovitteella ($R^2 = 1,0000$) arvioitu vuoden 2035 ennuste. Tämän perusteella koko Suomen henkilöautoliikennesuorite vuonna 2035 on 46 100 miljoonaa kilometriä. Henkilöautojen määrä vuonna 2035 kasvaa 13 %:a verrattuna vuoteen 2024 (Moilanen et al., 2024), joten liikennesuorite per henkilöauto on 7 400 km vuonna 2035. Henkilöautojen määrän tarkastelualueella on oletettu kasvavan samassa suhteessa kuin valtakunnallisesti, joten henkilöautoja on 664 700 vuonna 2035.

Rebound-ilmiö vaikuttaa skenaariotarkastelun vältettyjen päästöjen suuruuteen. Rebound-ilmiö kuvaa resurssiensäästön ennustettujen ja toteutuneiden päästövähennyksien eroa (Parrique et al., 2019). Liikenteen sähköistymisen kohdalla rebound-ilmiö tarkoittaisi suurempia liikennesuoritteita sähköautolla kuin aiemmin fossiilisilla käyttövoimilla, mikä johtaa pienempiin päästövähennyksiin. Langbroek et al. (2017) tutkivat sähköautoilijoita Suur-Tukholman alueella, ja tulosten perusteella sähköautoilijat tekevät enemmän matkoja ja käyttävät autoa suuremman osan kokonaismatkoista kuin perinteisten autojen käyttäjät. Ojeda-Diaz et al. (2025) katsausartikkelin perusteella 38:sta artikkelista 30 raportoi suoritteiden kasvusta sähköauton käyttöönoton jälkeen. Ensimmäisten sähköauton omistajien oletetaan olevan epätyypillisiä kuluttajia (Moilanen et al., 2024). Tämän perusteella vanhempien tutkimusten tulokset eivät välttämättä ole kuvaavia. Henkilöautoliikenteen sähköistymisen skenaariotarkastelu tehdään perustuen Traficomien liikenne-ennusteeseen Suomessa. Liikenne-ennusteen perusteella liikennesuorite per ajoneuvo kasvaa jonkin verran (noin 400 km/a) verrattuna referenssivuoteen 2023, joten rebound-ilmiön tuoma mahdollinen suoritteiden kasvu on huomioitu laskennassa.

Laskennassa käytetyt päästökertoimet ovat keskimääräiselle henkilöautolle määritetyt kertoimet (Taulukko 7). Laskennassa ei ole huomioitu käyttövoimia, joiden suhteellinen osuus on alle 0,00 %:a. Sähkön päästökertoimena on käytetty Fingridin Suomessa kulutetun sähkön päästökerrointa 33 g-CO₂/kWh vuonna 2024 ja 38 g-CO₂/kWh vuonna 2023. Sähkön päästökertoimeksi vuonna 2035 on arvioitu 10 g-CO₂/kWh perustuen Energiateollisuuden teettämään energia-alan vähähiilisyystiekartta -selvitykseen (AFRY, 2020). Sähköinen henkilöauto kuluttaa keskimäärin 20 kWh/100 km (Motiva, 2025). Tämän perusteella sähkön päästökertoimista on määritetty kilometrikohtaiset päästökertoimet.

Taulukko 7. Päästökertoimet eri henkilöauton käyttövoimille.

Käyttövoima	Päästökerroin [kg CO ₂ -ekv/km]	Lähde
Bensiini	0,1638	UK Government, 2024
Diesel	0,1682	UK Government, 2024
Sähkö (2023)	0,0076	Fingrid, 2025; Motiva, 2025
Sähkö (2024)	0,0066	Fingrid, 2025; Motiva, 2025
Sähkö (2035)	0,0020	AFRY, 2020; Motiva, 2025
Ladattava hybridi (benssiini/sähkö)	0,0931	UK Government, 2024

Caruna-konsernin sähköverkkoinfran päästöt ovat yhteensä 31,4 kt-CO₂ vuonna 2024. Tämä sisältää verkon rakentamiseen liittyvät raaka-aineiden ja urakoinnin päästöt, jotka on laskettu GHG-protokollan mukaisesti. Verkkoinfra kuuluu GHG-protokollan scope 3 kategoriaan 2. Skenaarion osalta käytetään samaa päästömäärää arviona vuodelle 2035. Päästöt vuonna 2035 ovat todennäköisesti tätä paljon pienemmät perustuen yhteiskunnan päästöjen vähentymiseen ja yrityksen omiin tavoitteisiin. Vuoden 2024 lukua käytetään varovaisena arviona.

4.5 Lämmityksen sähköistyminen -vaikutuspolku

Lämmityksen sähköistyminen -vaikutuspolun tarkastelussa käytetään menetelmää, joka on esitetty luvussa 5.2. Lämmityksen sähköistymisen tarkastelu rajataan kaukolämmön sähköistymiseen, sillä muiden lämmitysmuotojen tiedot kuntatasolla ovat puutteellisia. Kaukolämmön osuus Suomen asuin- ja palvelurakennusten lämmitysmuodoista on suurin (46 % vuonna 2023) (Energiateollisuus, 2025). Tarkastelu tehdään Caruna Oy:n ja Caruna Espoo Oy:n verkkoalueella. Kaukolämmön kulutus- ja polttoainetietoina käytettiin tilastotietoa (Taulukko 8).

Taulukko 8. Datatarpeet ja niiden lähteet kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun tarkastelussa.

	Data	Lähde
Vuositarkastelu	Kaukolämmön hankinta ja käyttö kunnittain / yhtiöittäin 2023	Energiateollisuus, 2025
	Kaukolämmön hankinta ja käyttö kunnittain / yhtiöittäin 2022	Energiateollisuus, 2025
	Kaukolämmön erillistuotantoon ja kaukolämmön ja sähkön yhteistuotantoon käytetyt polttoaineet 2023	Energiateollisuus, 2025
	Kaukolämmön erillistuotantoon ja kaukolämmön ja sähkön yhteistuotantoon käytetyt polttoaineet 2022	Energiateollisuus, 2025

Tarkasteltavat kaukolämpöyhtiöt rajataan perustuen sijaintiin tarkasteltavalla verkkoalueella, sähköistymisen osuuden kasvuun ja päästökertoimen pienentymiseen sähköistymisen myötä. Rajauksella poistetaan tarkastelusta yhtiöt, joissa päästövähennys tulee biomassan osuuden kasvusta tai mikäli sähköistyminen korvaa esimerkiksi biomassaa, jolloin päästöt pysyvät samana eikä vältettyjä päästöjä synny. Kaukolämpöyhtiöitä on tarkastelualueella 35, joista viidessä sähköistymisen osuus on kasvanut. Kaukolämmön päästökertoimina käytetään energiamenetelmällä määritettyjä kertoimia (Taulukko 9).

Taulukko 9. Päästökertoimet tarkasteltaville kaukolämpöyhtiöille vuonna 2023 ja 2022.

Kaukolämpöyhtiö	Kaukolämmön päästökerroin 2023, energiamenetelmä [kg-CO ₂ /MWh] ¹	Kaukolämmön päästökerroin 2022, energiamenetelmä [kg-CO ₂ /MWh] ¹
Fortum Power and Heat Oy, Espoo	131,7	188
Hyvinkään Lämpövoima Oy	127,7	129,1
Riihimäen Kaukolämpö Oy	131,4	132,9
Turku Energia Oy Ab, Kaarina	50,8	85,6
Turku Energia Oy Ab, Raisio	50,8	85,6

¹ Energiateollisuus (2024)

Caruna-konsernin sähköverkkoinfran päästöt ovat yhteensä 34,0 kt-CO₂ vuonna 2023. Tämä sisältää verkon rakentamiseen liittyvät raaka-aineiden ja urakoinnin päästöt, jotka on laskettu GHG-protokollan mukaisesti. Verkkoinfra kuuluu GHG-protokollan scope 3 kategoriaan 2.

5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

5.1 Vältettyjen päästöjen vaikutuspolut sähkönjakelussa

Asiantuntijahaastatteluissa kaikki haastateltavat toivat esille liikenteen, lämmityksen sekä teollisuuden sähköistymisen (Taulukko 10). Yhteiskunnan sähköistymistä pidettiin merkittävänä tekijänä vältettyjen päästöjen syntymiselle. Lisäksi uusiutuvan energiantuotannon liittäminen verkkoon, erilaiset kulutusjoustoratkaisut, akkuteknologiat sekä vetytalous nousivat esiin useammassa haastattelussa.

Taulukko 10. Tulokset vältettyjen päästöjen vaikutuspoluista sähkönjakelussa tai –siirrossa asiantuntijahaastatteluiden perusteella.

Vaikutuspolku	Mainintojen määrä asiantuntija-haastatteluissa (max = 5)
Liikenteen sähköistyminen	5
Lämmityksen sähköistyminen	5
Teollisuuden sähköistyminen	5
Uusiutuvan energiantuotannon liittäminen verkkoon	4
Kulutusjousto	4
Akkuteknologiat, sähkön varastointi	3
Vetytalous	3
Älymittarit ja sähköiset palvelut	1
Yhteisrakentaminen maakaapeloinnissa	1
Verkon purkumateriaalien uusiokäyttö ja kierrätys	1
Hiilinielujen lisääminen maakaapeloinnin yhteydessä	1

Uusiutuvan energiantuotannon verkkoon liittäminen oletettiin korvaavan fossiilista energiantuotantoa ja siten tuovan vältettyjä päästöjä. Kulutusjoustolla viitataan kulutuksen siirtämiseen ajallisesti tai määrällisesti esimerkiksi yöaikaan tai pois huippukuormista, jolloin huipputuotannon tarve vähenee. Huipputuotanto on usein fossiilipohjaista, jolloin huipputuotannon tarpeen väheneminen toisi vältettyjä päästöjä. Akkuteknologiat ja muu sähkönvarastointi mahdollistavat kulutusjoustoja. Verkkoyhtiön tarjoamat älymittarit ja sähköiset palvelut mahdollistavat asiakkaalle kulutuksen seurannan ja sitä kautta kulutusjouston. Yhteisrakentamisen maakaapeloinnissa ajateltiin tuovan potentiaalisesti vältettyjä päästöjä, kun kaivuutyöt ja rakentaminen tehdään yhdessä muiden toimijoiden kanssa. Vaihdettaessa ilmajohtoja maakaapeleiksi voidaan johtokadulle istuttaa puita ja lisätä siten hiilinieluja.

5.2 Menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin sähköjäljellä

Tässä työssä kehitettiin menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin sähköjäljellä. Kehitetty menetelmä jakautuu 8 vaiheeseen (Taulukko 11). Menetelmä on iteratiivinen. Aiempia vaiheita on päivitettävä, mikäli seuraavissa vaiheissa löytyy jotain niihin vaikuttavaa.

Taulukko 11. Menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin sähköjäljellä.

<p>1. Tarkasteltavien vaikutuspolkujen valinta</p> <p>Valitaan ja kuvataan tarkasteltavat vaikutuspolut. Pisteytys (1–5):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Merkittävyys ilmastonmuutoksen hillitsemisessä • Verkkoyhtiön vaikuttavuus muutoksessa 	
<p>2. Kelpoisuustarkastelu</p>	
<p>3. Tarkasteluajanjakson määrittäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vuositarkastelu • Skenaariotarkastelu 	<p>4. Referenssiskenaarion määrittäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tilanteen jatkuminen ennallaan <p>Mitkä päästöt olisivat edellisen vuoden tilanteen tai skenaariotarkastelussa määritetyn historiallisen vuoden jatkuessa.</p>
<p>5. LCA-vaatimukset</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toiminnallinen yksikkö • Järjestelmän rajat (Kuva 14) • Tarvittavan datan ja lähteiden määrittely 	<p>6. Datan laadun arviointi</p> <p>Arviointi kunkin datalähteen osalta jaotteleamalla vihreä – keltainen – punainen kategorioihin (Taulukko 15).</p>
<p>7. Vältettyjen päästöjen laskenta</p> <p>Vältetyt päästöt = päästöt_{referenssitila (käyttövaihe)} – päästöt_{tarkastelu/skenaariovuosi (käyttövaihe)} – päästöt_{sähköverkkoinfra (tuotejärjestelmän elinkaari)}</p>	<p>8. Viestintä</p> <p>Viestintä läpinäkyvästi ja selkeästi erillisen viestintäpohjan mukaisesti (Taulukko 13).</p>

Ensimmäisessä vaiheessa valitaan ja kuvataan tarkasteltavat vaikutuspolut. Potentiaaliset jakeluverkkoyhtiön vältettyjen päästöjen vaikutuspolut pisteytetään kahden tekijän perusteella: merkittävyys ilmastonmuutoksen hillitsemisessä ja verkkoyhtiön vaikuttavuus muutoksessa (Taulukko 12). Asteikossa pistemäärät kuvaavat pienestä (1) merkittävään (5) vaikutusta ilmastonmuutoksen hillitsemisessä ja

vastaavasti 1 verkkoyhtiön vähäistä roolia, 3 verkkoyhtiön mahdollistavaa roolia ja 5 verkkoyhtiön merkittävää roolia.

Taulukko 12. Vältettyjen päästöjen vaikutuspolkujen pisteytys (1–5) vaikuttavuuden ilmastomuutoksen hillintään ja verkkoyhtiön roolin perusteella.

Vaikutuspolku	Merkittävyys ilmastomuutoksen hillitsemisessä	Verkkoyhtiön vaikuttavuus muutoksessa	Yhteensä
Liikenteen sähköistyminen	5	3	8
Lämmityksen sähköistyminen	5	3	8
Teollisuuden sähköistyminen	5	3	8
Uusiutuvan energiantuotannon liittäminen verkkoon	4	3	7
Älymittarit & kulutusjousto	3	4	7
Akkuteknologiat, sähkön varastointi	3	2	5
Vetytalous	3	2	5
Yhteisrakentaminen maakaapeloinnissa	1	4	5

Toisessa vaiheessa tarkastellaan, onko verkkoyhtiö ja vaikutuspolku kelpoinen (Taulukko 11). Ensimmäisenä tarkastellaan, onko verkkoyhtiöllä scope 1–3 luokkien mukaiset ilmastotavoitteet, ja onko tavoitteista raportoitu läpinäkyvästi ja säännöllisesti. Tämän jälkeen tarkastellaan kunkin vaikutuspolun kelpoisuus. Vaikutuspolulla tulee olla potentiaalia ilmastomuutoksen hillitsemiseen ja verkkoyhtiön roolin tulee olla riittävän suuri, jotta vaikutuspolun kelpoisuusehdot täyttyvät. Vaikutuspolun kelpoisuuden tarkastelussa käytetään vaiheessa 1 tehtyä pisteytystä. Vaikutuspolun merkittävyys ilmastomuutoksen hillintään tulee saada vähintään pistemäärä 1. Vältetyt päästöt voidaan määrittää vaikutuspoluille, joiden merkittävyys ilmastomuutoksen hillintään on arviolta pieni. Korkeampaa pistemäärää voidaan painottaa, mikäli vain rajallinen määrä vaikutuspolkuja valitaan laskentaa varten. Verkkoyhtiön vaikuttavuuden muutokseen tulee saada vähintään pistemäärä 3, jotta verkkoyhtiön rooli arvioidaan riittävän suureksi.

Kolmannessa vaiheessa määritellään tarkasteluajanjakso. Verkkoyhtiö voi määrittää vältetyt päästöt joko vuosittain tai skenaariotarkasteluna. Vuosittaisessa tarkastelussa vältetyt päästöt määritetään kuluneen vuoden osalta, kuten scope 1–3 päästöt. Skenaariotarkastelussa vältetyt päästöt lasketaan tulevaisuudessa perustuen esimerkiksi sähköistymisskenaarioon. Vuosittaisen tarkastelun etuna on tarkemman datan saatavuus verrattuna skenaariotarkastelun dataan, joka pohjautuu arvioihin. Skenaariotarkastelu mahdollistaa kuitenkin esimerkiksi investointien tuottaman hyödyn arvioinnin.

Neljännessä vaiheessa määritetään referenssiskenaario. Referenssiskenaariona käytetään BAU-skenaariota. Sähkönjakelun monopoliaseman takia ei ole mahdollista verrata samalla alueella toiseen toimijaan, joten saman tilan jatkuminen on paras mahdollinen vertailukohta. Myös mm. Sillman et al. (2023) käyttävät virtuaalivoimalaitoksen hiilikädenjälkitutkimuksessa BAU-skenaariota referenssinä. Vuosittaisessa tarkastelussa verrataan nykytilannetta siihen, mikä tilanne olisi edellisen vuoden tilanteen jatkuessa. Skenaariotarkastelussa tulevaisuuden skenaariovuotta verrataan siihen, jos tilanne olisi jatkunut määritetyn historiallisen vuoden kaltaisena. Historiallisen vuoden valinta riippuu siitä, millaista skenaariota halutaan tarkastella. Verkkoyhtiö voi tehdä skenaariotarkastelun esimerkiksi verkon kehittämissuunnitelman ajalle, jolloin verrataan kehittämissuunnitelman päättymisvuoden ennustetta kehittämissuunnitelman alkuvuoteen.

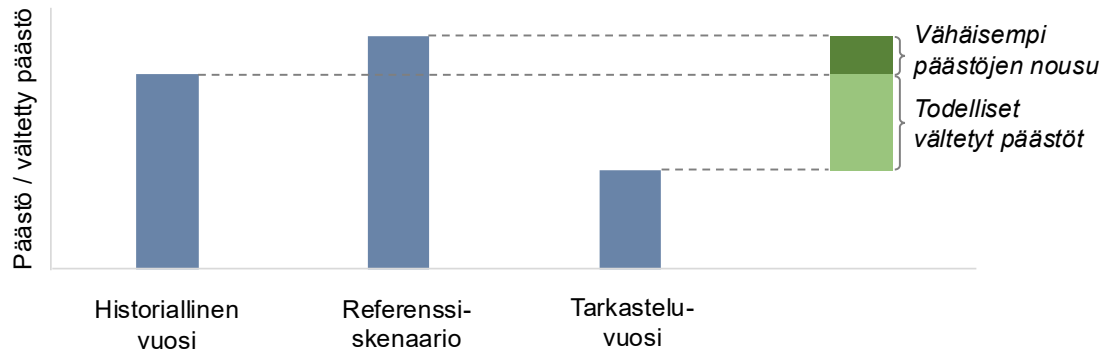
LCA-vaatimukset tarkastellaan viidennessä vaiheessa. Tarkasteltavalle vaikutuspolulle määritetään toiminnallinen yksikkö, systeemin rajat sekä tarvittava data ja lähteet perustuen LCA-standardeihin ISO 14040–44. Systeemin rajoihin kuuluu sähkönjakelun tuotejärjestelmän lisäksi käyttövaihe, jossa mahdolliset vältetyt päästöt syntyvät. Vältettyjä päästöjä ei allokoida eli kaksinkertainen laskenta eri toimijoiden välillä hyväksytään. Tämä on kuitenkin tuotava viestinnässä esille.

Kuudennessa vaiheessa arvioidaan datan laatu. Laskenta pohjautuu pitkälti julkisen tiedon varaan, joten datan laatu ja saatavuus voi aiheuttaa haasteita laskennalle. Datan laatu arvioidaan kunkin datalähteen osalta ja jaotellaan vihreään, keltaiseen ja punaiseen kategoriaan. Vihreässä kategoriassa data on tarkkaa ja perustuu esimerkiksi tilastotietoon tai tunnistettuihin lähteisiin. Data on kuvaavaa sekä ajallisesti että maantieteellisesti. Keltaisen kategorian datassa on tehty jokin arvio. Esimerkiksi koko Suomen tilaston perusteella on tehty arvio tarkasteltavan alueen osalta. Punaisessa kategoriassa on jouduttu tekemään enemmän oletuksia. Datan laadun arvioinnin viitekehysellä pyritään tuomaan näkyväksi, mikäli datalähteet sisältävät paljon epävarmuutta. Tämän avulla voidaan arvioida vältetyt päästöt tuloksen luotettavuutta ja käytettävyyttä. Erityisesti punaisen kategorian datalähteitä olisi pyrittävä tarkentamaan.

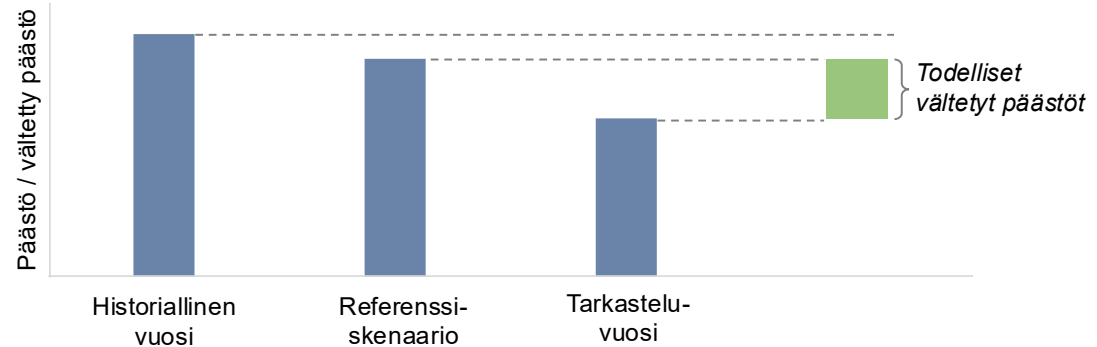
Seitsemännessä vaiheessa lasketaan päästöt sekä tarkastelu- että referenssivuoden perusteella. Laskenta perustuu ISO 14040–44 standardeihin. Vältetyt päästöt saadaan referenssi ja tarkasteluvuoden erotuksena. Vältetyistä päästöistä vähennetään muutokseen tarvittavan sähköverkkoinfran materiaalien ja rakentamisen päästöt. Verkkoinfran päästöjen allokointi on haastavaa, sillä rakennettua verkkoa käytetään moniin eri tarkoituksiin. Mikäli tieto eri sektorien osuudesta verkon tehontarpeeseen on saatavilla, allo-

kointi tehdään suhteessa osuuteen tehontarpeeseen. Allokoinnissa noudatetaan varovaisuusperiaatetta eli kyseisen vaikutuspolun osuus yliarvioidaan, mikäli osuudesta on epävarmuutta. Näin vältettyjä päästöjä ei liioitella. Erityisesti laskettaessa useamman eri vaikutuspolun vältetyt päästöt, allokointi voidaan välttää vähentämällä kaikki verkon päästöt, sisältäen myös normaalin verkkojen saneerauksen, vältettyjen päästöjen summasta.

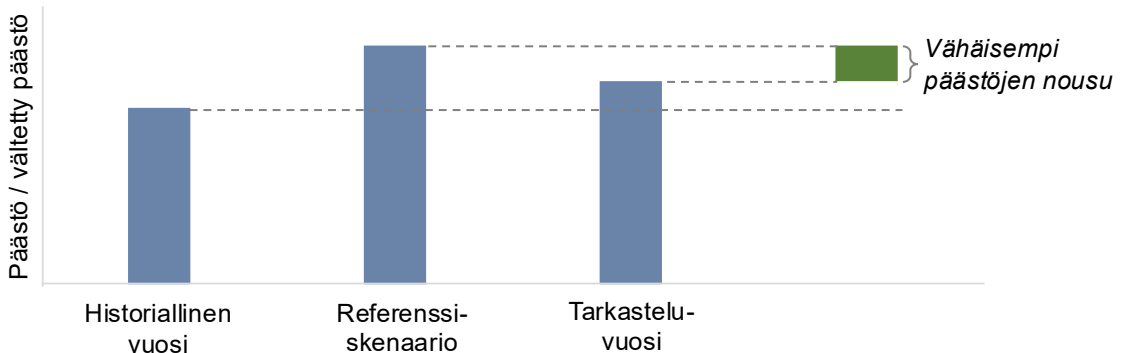
Vältetyt päästöt jaotellaan 'todellisiin' vältettyihin päästöihin ja 'vähäisemmän nousun' vältettyihin päästöihin (Kuva 13). 'Vähäisemmän nousun' vältettyjä päästöjä ovat referenssiskenaarion ja referenssiä vastaavan historiallisen vuoden päästöjen erotus (Kuva 13a). Tällöin 'todelliset' vältetyt päästöt ovat tarkasteluvuoden ja historiallisen vuoden ero. 'Vähäisemmän nousun' vältetyt päästöt kuvaavat siis eroa, joka syntyy päästöjen jäämisestä pienemmäksi kuin ilman muutosta olisi ollut. Referenssiskenario voi olla pienempi kuin historiallisen vuoden päästöt, jolloin 'vähäisemmän nousun' vältettyjä päästöjä ei synny (Kuva 13b). Tällöin 'todelliset' vältetyt päästöt ovat suoraan referenssin ja tarkasteluvuoden erotus. Vältetyt päästöt voivat olla myös kokonaan 'vähäisemmän nousun' tyyppiä (Kuva 13c), ja kaikissa tilanteissa niitä ei synny ollenkaan (Kuva 13d).



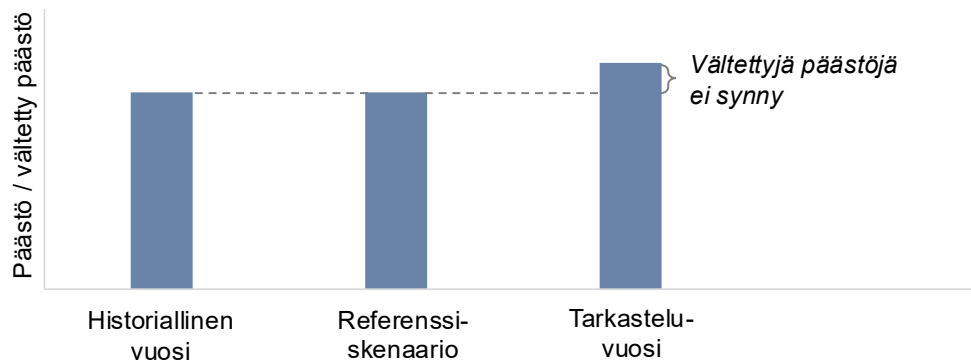
a. 'Todelliset' ja 'vähäisemmän nousun' tyypin vältetyt päästöt.



b. 'Todelliset' tyypin vältetyt päästöt.



c. 'Vähäisempi nousu' tyypin vältetyt päästöt.



d. Ei vältettyjä päästöjä.

Kuva 13 a-d. Eri vältettyjen päästöjen tyypit.

Kahdeksas vaihe on tuloksista viestiminen. Viestintä tulee tehdä läpinäkyvästi ja selkeästi perustuen viherväittämiä koskevaan lainsäädäntöön. Viestinnän menetelmää tulee

päivittää, mikäli lainsäädäntöön tulee muutoksia. Viestinnän tulee sisältää tarkasteltavien vaikutuspolkujen kuvaus, vältettyjen päästöjen suuruus, tarkasteluajanjakso sekä referenssiskenaario (Taulukko 13). Näiden lisäksi tulee kuvata kelpoisuustarkastelu ja miten lisätietoja laskennasta on saatavilla. Viestinnässä on tuotava esille selkeästi, etteivät vältetyt päästöt ole yksin verkkoyhtiön toiminnan seurausta eikä vältettyjä päästöjä saa käyttää hiilineutraalisuusväittämien esittämiseen.

Taulukko 13. Pohja vältettyjen päästöjen viestintään.

<p>Vaikutuspolun kuvaus</p> <p>Kuvaus tarkasteltavasta vaikutuspolusta ja verkkoyhtiön roolista.</p> <p>Referenssiskenaario:</p> <p><input type="checkbox"/> Tilanteen jatkuminen ennallaan</p> <p><i>Päästöjä verrataan tarkasteluvuonna siihen, mikäli muutosta (mahdollinen lisäselitys) ei olisi tapahtunut.</i></p>	<p>Vaikutus</p> <p><input type="checkbox"/> Vuositarkastelu (vuosi)</p> <p>Vältetyt päästöt: X kt-CO₂</p> <p><i>Vältetyt päästöt määritetään kuluneen vuoden osalta.</i></p> <p><input type="checkbox"/> Skenaariotarkastelu (vuosi)</p> <p><i>Vältetyt päästöt määritetään tulevaisuusskenaariota vasten.</i></p> <p>Vältetyt päästöt: X kt-CO₂</p>
<p>Kelpoisuustarkastelu</p> <p>1. Verkkoyhtiön omien ilmastotoimien uskottavuus</p> <p>Verkkoyhtiön scope 1–3 tavoitteet ja yhteneväisyys ilmastomuutoksen hillinnän tavoitteiden kanssa.</p> <p>2. Vaikutuspolun merkittävyys ilmastomuutoksen hillinnässä</p> <p>3. Verkkoyhtiön vaikuttavuus muutokseen</p>	<p>Uskottavuus</p> <p><input type="checkbox"/> Kolme kelpoisuusehtoa täyttyy.</p> <p><input type="checkbox"/> Vältetyt päästöt raportoidaan erillään GHG-inventaarista.</p> <p><input type="checkbox"/> Vältettyjä päästöjä ei käytetä hiilineutraalisuusväittämiin tai kompensoimaan scope 1–3 päästöjä.</p> <p><input type="checkbox"/> Laskennassa on tunnistettu päästöjen 'vähäisemmän nousun' ja 'todellisten' vältettyjen päästöjen osuudet</p> <p><input type="checkbox"/> Tunnistetut negatiiviset sivuvaikutukset tai rebound-vaikutukset on huomioitu.</p>
<p>Rajoitteet</p> <p>Verkkoyhtiö vaikuttaa vältettyihin päästöihin epäsuorasti. Vältetyt päästöt eivät ole yksin verkkoyhtiön toiminnan seurausta.</p> <p>Skenaariotarkastelussa vältetyt päästöt määritetään yhteiskunnan sähköistymisarvion pohjalta. Oikeat vältetyt päästöt voivat poiketa tästä, jos skenaario ei toteudu sellaisenaan.</p>	<p>Lisätietoja</p> <p>Linkki tai QR-koodi, jonka kautta saatavilla lisätietoja, miten laskenta tehty.</p>

Menetelmän soveltuvuus osoitetaan kahden esimerkin kautta luvuissa 5.3 ja 5.4. Esimerkkien avulla tuodaan myös tarkemmat soveltamisohjeet. Kehitetty menetelmä eroaa

olemassa olevista menetelmistä tarkemmalla ohjeistuksella verkkoyhtiökontekstissa esimerkiksi vaikutuspolkujen tunnistamisen, referenssiskenaarion valinnan, LCA-vaatimusten ja laskennan osalta. Menetelmään on luotu vaikutuspolkujen arvioinnin tueksi pisteytysjärjestelmä sekä datan laadun arvioinnin viitekehys, joita muissa menetelmissä ei ole (Taulukko 14). Lisäksi menetelmään on tuotu Carbone 4 (2022) menetelmästä jaottelu 'vähäisemmän nousun' ja 'todellisiin' vältettyihin päästöihin.

Taulukko 14. Kehitetyn vältettyjen päästöjen arviointimenetelmän vertailu WBCSD:n ja VTT & LUT:n menetelmiin.

	Kehitetty menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin sähkönjakelussa	WBCSD Guidance on Avoided Emissions (2023)	VTT & LUT Hiilikädenjälkiopas (2021)
Perusta	WBCSD Guidance on Avoided Emissions VTT & LUT Hiilikädenjälkiopas	GHG-protokolla	ISO 14040–44 ISO 14067
Vaikutusluokka	Ilmastonmuutos.	Ilmastonmuutos.	Ilmastonmuutos, sovellettavissa myös muihin ympäristövaikutuksiin.
Vaikutuspolkujen tunnistaminen	Asiantuntijahaastattelujen perusteella. Kukin arvioidaan vaikuttavuudessa ilmastonmuutoksen hillintään ja verkkoyhtiön vaikuttavuuden perusteella.	Ei ohjeistusta.	Datan tai asiantuntijoiden arvioinnin pohjalta.
Kelpoisuustarkastelu	Kyllä (Taulukko 11).	Kyllä (Kuva 9).	Ei.
Tarkasteluajanjakso	Vuosittainen- tai skenaariotarkastelu.	Vuosittainen tai koko ratkaisun elinkaaren ajalta akkumuloituvat vältetyt päästöt.	Ei ohjeistusta.
Referenssiskenaario	Toiminnan jatkuminen ennallaan (BAU).	Useita vaihtoehtoja.	Useita vaihtoehtoja.
LCA-vaatimukset	Kyllä. Sovellusohjeet verkkoyhtiön kontekstissa (luvut 5.3 ja 5.4).	Ei.	Kyllä.
Datan laadun arviointimenetelmä	Kyllä. Esimerkki Taulukko 15.	Ei.	Ei.
Menetelmä	Taulukko 11.	Kuva 10.	Kuva 11.

BAU = Toiminnan jatkuminen ennallaan; GHG = kasviuonekaasu; ISO = kansainvälinen standardointijärjestö; LCA = elinkaariarviointi; LUT = Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto; VTT = Teknologian tutkimuskeskus; WBCSD = maailman kestävän kehityksen yritysneuvosto

Kehitetyn menetelmän vaikuttavuus vahvistuu, mikäli sitä sovelletaan laajemmin eri verkkoyhtiöissä. Johdonmukaisen vältettyjen päästöjen arviointimenetelmän käyttäminen varmistaisi, että tieto ymmärretään samalla tavalla ja lisääisi sen luotettavuutta (Tupura et al., 2024). Alakohtainen menetelmä tuo tarkemmat sovellusohjeet, mikä potentiaalisesti vähentää eriäviä tulkintoja.

5.3 Liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältettyjen päästöjen laskenta

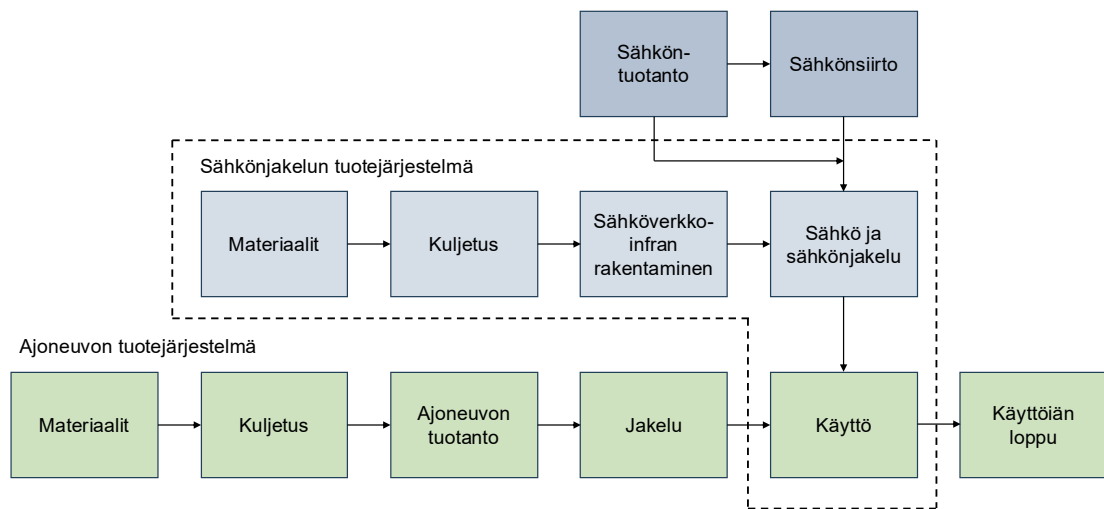
Ensimmäisessä vaiheessa valitaan ja kuvataan tarkasteltava vaikutuspolku. Henkilöautoliikenteen sähköistyminen tuottaa potentiaalisesti vältettyjä päästöjä, kun fossiiliset käyttövoimat korvataan pääosin fossiilittomasti (Kuva 1) tuotetulla sähköllä.

Toisessa vaiheessa tehdään kelpoisuustarkastelu. Caruna-konserni on asettanut tavoitteeksi vähentää scope 1 ja 2 luokkien päästöjä 65 %:a vuodesta 2020 vuoteen 2030 mennessä. Scope 3 luokan tavoite on pienentää päästöintensiteettiä (t-CO₂/M€) 48 %:a vuodesta 2023 vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteet ovat yhteensopivat siihen, että ilmaston lämpeneminen rajoitetaan 1,5 °C:een. Liikenteen sähköistymisen merkittävyys ilmastonmuutoksen hillintään on korkea – pistemäärä 5 ja verkkoyhtiön vaikuttavuus muutokseen mahdollistava – pistemäärä 3 (Taulukko 12). Pelkän henkilöautoliikenteen merkittävyys ilmastonmuutoksen hillintään ei ole yhtä korkea, mutta verkkoyhtiön rooli on sama. Vaikutuspolku on siis kelpoisuustarkastelun perusteella valintakelpoinen.

Kolmannessa vaiheessa valitaan tarkasteluajanjakso. Henkilöautoliikenteen sähköistyminen tarkastellaan sekä vuositarkasteluna että skenaariotarkasteluna. Vuositarkastelu tehdään vuodelle 2024 ja skenaariotarkastelu verkon kehittämissuunnitelman ajalle vuodelle 2035.

Neljäs vaihe on referenssiskenaarion määrittäminen. Henkilöautoliikenteen sähköistymistä verrataan siihen, mitä tapahtuisi, jos sähköistymistä ei tapahtuisi eli BAU-tilanteeseen. Yksittäisellä kuluttajalla on laajat mahdollisuudet valita ajoneuvonsa käyttövoima. Toistaiseksi henkilöautojen käytetyin käyttövoima Suomessa on bensiini (Kuva 5). Vertailu pelkästään bensiiniin olisi kuitenkin harhaanjohtavaa, sillä sähkö- ja hybridiajoneuvojen osuus vuonna 2024 oli jo noin 10 %. Tästä syystä referenssiskenaariossa käytetään tarkasteltavan alueen henkilöautojen käyttövoimajakaumaa. Tämä on verrannollinen Grönman et al. (2019) tutkimukseen uusiutuvan dieselin hiilikädenjäljestä, jossa referenssiskenaarioksi on valittu keskimääräinen diesel Suomen markkinoilla yhden tietyn valitsemisen sijaan. Henkilöautoliikenteen sähköistymisen -vaikutuspolun laskennassa vuositarkastelussa referenssivuotena on edellinen vuosi 2023 ja skenaariotarkastelussa verkon kehittämissuunnitelman alkuvuosi 2023.

Seuraavassa viidennessä vaiheessa määritetään LCA-vaatimukset. Toiminnallisen yksikön tulee olla kuvaava sekä sähköistyville liikenteelle että muille käyttövoimille, joten massaa tai sähkönkulutusta ei voida valita toiminnalliseksi yksiköksi. Toiminnallisena yksikkönä käytetään 1 ajoneuvokilometriä. Tarkasteltavan vaikutuspolun järjestelmän rajoissa tulee huomioida ajoneuvon käyttövaihe sekä sähkönjakeluun liittyvän sähköverkkoinfran rakentaminen ja sen materiaalien päästöt (Kuva 14). Grönman et al. (2019) käyttävät vastaavaa rajausta uusiutuvan dieselin hiilikädenjälkitutkimuksessaan. Ajoneuvon tuotejärjestelmä käyttövaihetta lukuun ottamatta on tarkasteltavan järjestelmän rajojen ulkopuolella, sillä ajoneuvon päästöt eivät liity verkkoyhtiön toimintaan. Tarvittavat datalähteet laskentaa varten on kuvattu luvussa 4.4.



Kuva 14. Liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun järjestelmän rajat.

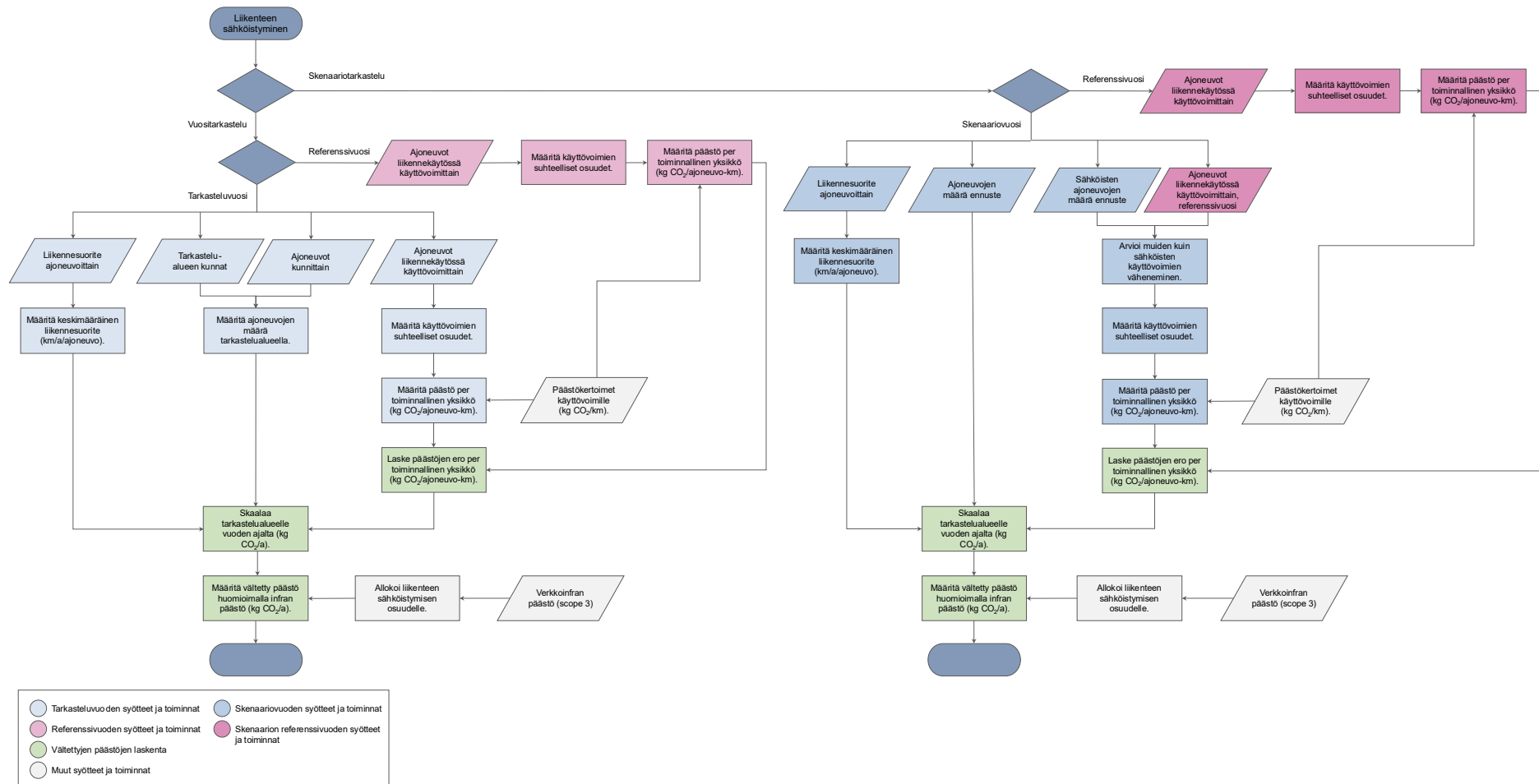
Kuudennessa vaiheessa arvioidaan tarkasteltavan datan laatua ja tarkkuutta (Taulukko 15). Vältettyjen päästöjen laskenta tehdään rajatulla alueella Suomessa. Vuositarkastelua varten käyttövoimien osuudet on arvioitava koko Suomen tilastosta perustuen henkilöautojen määrään kunnittain. Myös liikennesuorite on arvioitava keskimääräisen suoritteiden perusteella. Skenaariotarkastelussa sähkö- ja hybridi-autojen määrä tarkasteltavalla alueella on määritetty yrityksen oman ennusteen perusteella. Muiden kuin sähköisten ajoneuvojen osuuksien on oletettu vähenevän lineaarisesti vuoden 2023 tasosta. Tämä on verrannollinen koko Suomen käyttövoimarakenteen ennusteisiin (Moilanen et al., 2024). Verkkoinfran päästöjen allokointi juuri liikenteen sähköistymiselle on haastavaa, sillä rakennettavaa verkkoinfraa ei käytetä pelkästään yhteen käyttötarkoitukseen eikä käyttöä erotella. Vuositarkastelussa sähköverkkoinfran kokonaispäästöt vuodelle on tiedossa. Epävarmuutta vähentää allokoinnin välttäminen ja vältettyjen päästöjen antaminen vaihteluvälinä. Skenaariotarkastelussa infran päästöt perustuvat arvioon.

Taulukko 15. Henkilöautoliikenteen sähköistyminen -vaikutuspolku laskennan datan laadun tarkastelu.

Datatarve	Koko Suomi	Kunnittain / tarkastelu verkkoalue	Skenaario 2035 (koko Suomi)	Skenaario 2035 (kunnittain)
Henkilöautojen määrät				
Käyttövoimat ajoneuvoittain				
Liikennesuoritteet				
Sähköverkkoinfra				

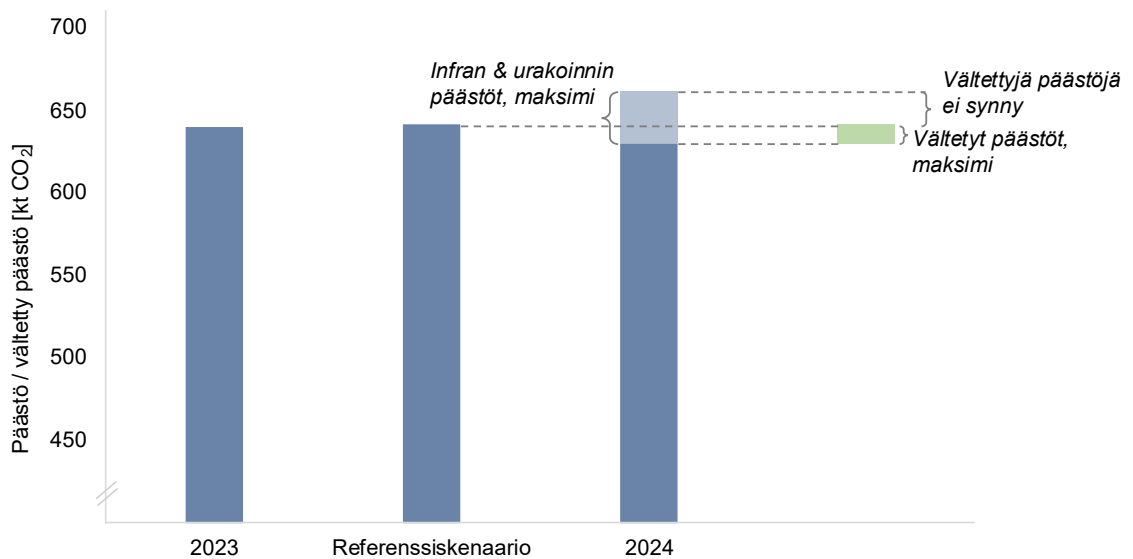
Seitsemännessä vaiheessa lasketaan vältetyt päästöt (Kuva 15). Laskennassa määritetään ensin päästöjen ero tarkastelu- tai skenaariovuoden ja referenssivuoden välillä toiminnallista yksikköä kohden. Tämä skaalataan ajoneuvojen määrän ja keskimääräisen liikennesuoritteen avulla koko vuodelle. Vuositarkastelussa verrataan siis tarkasteluvuotta siihen, mikäli referenssivuoden tilanne (käyttövoimien osuudet) olisi jatkunut tarkasteluvuoden ajoneuvomäärillä ja liikennesuoritteella. Skenaariotarkastelussa vastavasti skenaariovuotta verrataan siihen, mikäli referenssivuoden tilanne jatkuisi skenaariovuonna 2035. Vertailu voitaisiin tehdä myös vertaamalla tarkastelu- tai skenaariovuotta referenssivuoden todellisiin historiallisiin liikennemääriin. Tämä ei kuitenkaan ole vältettyjen päästöjen laskentamenetelmien mukainen tapa. Menetelmässä on valittu käyttää BAU-skenaariota referenssinä, joka on tunnistettu referenssiskenaario vältettyjen päästöjen määrittämisessä. Jaottelua 'todellisiin' vältettyihin päästöihin ja 'vähäisemmän nousun' vältettyihin päästöihin hyödynnetään skenaariotarkastelun tulosten tarkastelussa (Kuva 17), jolloin verrataan sekä referenssiskenaarioon että historiallisiin päästöihin.

Vältetyt päästöt lasketaan vähentämällä tarvittavan sähköverkkoinfran päästöt vuodelle skaalatusta päästöjen erosta. Sähköverkkoinfran päästöjen allokoinnin haasteellisuuden vuoksi tarkastelu on tehty huomioimalla koko Caruna-konsernin sähköverkkoinfran päästöjen osuus. Allokoinnissa noudatetaan varovaisuusperiaatetta eli verkon päästöjen osuus yliarvioidaan, jotta vältettyjen päästöjen suuruutta ei liioitella.



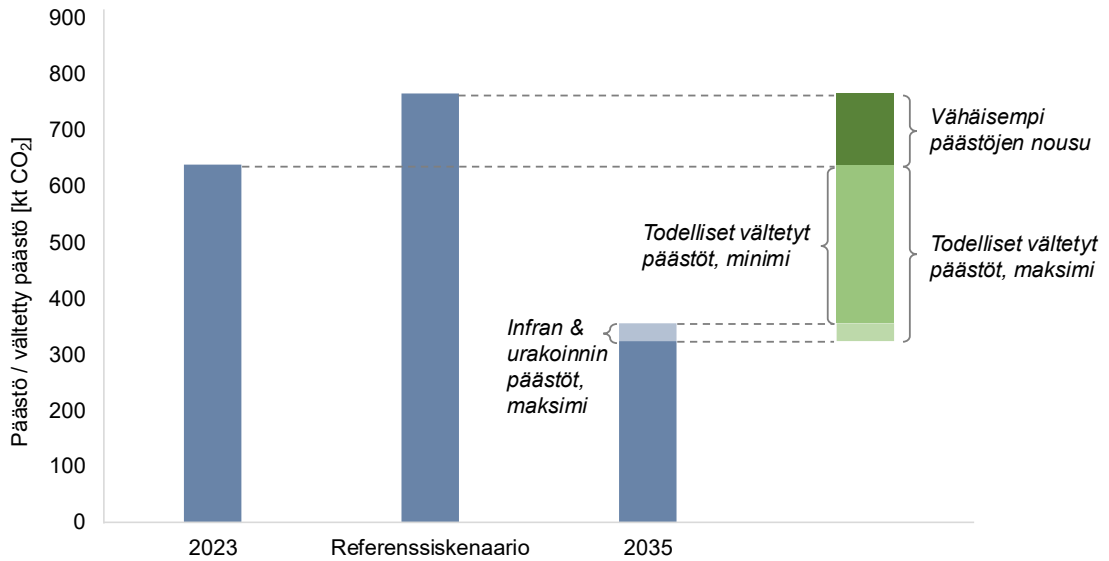
Kuva 15. Vuokaavio liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältettyjen päästöjen laskennasta skenaario- ja vuositarkastelussa.

Henkilöautoliikenteen sähköistymisessä syntyy vuoden 2024 vuositarkastelussa vältettyjä päästöjä 0–11,7 kt CO₂ (Kuva 16). Vältettyjä päästöjä ei synny, mikäli kaikki sähköverkkoinfran päästöt allokoidaan henkilöautoliikenteen sähköistymiselle. Henkilöautoliikenteen sähköistymisessä ei tapahdu yhden vuoden aikana merkittävää muutosta, joten päästöjen erot ja sitä kautta mahdolliset vältetyt päästöt ovat melko pienet. Vuositarkastelussa henkilöautoliikenteen sähköistymisen osalta allokoinnin suuruudella on merkittävä vaikutus siihen, syntykö vältettyjä päästöjä.



Kuva 16. Henkilöautoliikenteen sähköistymisen -vaikutuspolun vältetyt päästöt vuositarkastelussa.

Henkilöautoliikenteen vältettyjen päästöjen tarkastelussa skenaariotarkastelu on merkittävämpi. Vuoden 2035 sähköistymisskenaarion vältetyt päästöt ovat yhteensä 412–443 kt-CO₂ (Kuva 17). Skaalassa on huomioitu, mikäli kaikki sähköverkkoinfran päästöt allokoidaan henkilöautoliikenteen sähköistymisskenaariolle. Skenaariotarkastelussa vältetyt päästöt ovat huomattavasti suuremmat kuin verkon päästöt, joten allokoinnin suuruudella ei ole juurikaan vaikutusta tulokseen. Vuoden 2023 todelliset päästöt ovat pienemmät kuin referenssiskenaarion päästöt. Tästä syystä vältetyt päästöt jaotellaan edelleen 'vähäisemmän nousun' ja 'todellisiin' vältettyihin päästöihin. 'Vähäisemmän nousun' vältettyjen päästöjen suuruus on 127 kt-CO₂. Tämä on referenssiskenaarion ja vuoden 2023 päästöjen ero. Referenssiskenaariossa on huomioitu suoritteen ja henkilöautojen määrän kasvu, mutta käyttövoimien suhteet ovat samat kuin vuonna 2023. 'Todellisten' vältettyjen päästöjen suuruus on välillä 285–316 kt-CO₂ riippuen sähköverkkoinfran päästöjen allokoinnin suuruudesta. Vältettyjä päästöjä syntyy tämän verran, vaikka suorite ja ajoneuvojen määrä ei kasvaisikaan.



Kuva 17. Henkilöautoliikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältetyt päästöt skenaariotarkastelussa.

Skenaariotarkastelun vältetyt päästöt yhteensä ovat 65–70 %:a referenssivuoden 2023 henkilöautoliikenteen päästöistä. Tarkastelu tehdään mahdollisimman kuvaavaksi nykytutkimuksen, sähköistymisarvioiden ja ilmastotavoitteiden perusteella. Todelliset vältetyt päästöt voivat kuitenkin poiketa tästä, jos skenaario ei toteudu sellaisenaan. Vältetyt päästöt ovat pienemmät, mikäli sähköistyminen ei toteudu arvioidussa laajuudessa. Sähköistymisen etenemiseen vaikuttaa moninaiset taloudelliset, tekniset, asenteelliset ja poliittiset tekijät. Sähköverkon mahdolliset kapasiteettihaasteet voivat hidastaa osaltaan sähköistymisen etenemistä.

Viestinnässä hyödynnetään kehitetyn menetelmän viestintäpohjaa (Taulukko 16). Viestinnässä tuodaan esille, että vältetyt päästöt eivät ole yksin verkkoyhtiön toiminnan seurausta. Lisäksi skenaariotarkastelusta korostetaan, miten oikeat vältetyt päästöt voivat poiketa tästä, mikäli skenaario ei toteudu sellaisenaan.

Taulukko 16. Viestintä henkilöautoliikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun vältetyistä päästöistä.

<p>Kuvaus</p> <p>Tarkasteltava vaikutuspolku on henkilöautoliikenteen sähköistyminen. Verkkoyhtiötä tarvitaan sähköverkon kapasiteetin lisäämiseen, jotta kasvava tehopiikki voidaan kattaa.</p> <p>Referenssiskenaario:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Tilanteen jatkuminen ennallaan</p> <p><i>Päästöjä verrataan tarkasteluvuonna siihen, mikäli muutosta (sähköistymistä) ei olisi tapahtunut.</i></p>	<p>Vaikutus</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Vuositarkastelu (2024)</p> <p>Vältetyt päästöt: 0–11,7 kt-CO₂</p> <p><i>Vältetyt päästöt määritetään kuluneen vuoden osalta.</i></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Skenaariotarkastelu (2035)</p> <p><i>Vältetyt päästöt määritetään tulevaisuusskenaariota vasten.</i></p> <p>Vältetyt päästöt: 412–443 kt-CO₂, josta 'vähäisempi nousu' 127 kt-CO₂</p>
<p>Kelpoisuustarkastelu</p> <p>1. Verkkoyhtiön omien ilmastotoimien uskottavuus:</p> <p>Scope 1 ja 2 luokkien päästövähennys 65 %:a vuodesta 2020 vuoteen 2030 mennessä. Scope 3 luokan tavoite pienentää päästöintensiteettiä (t-CO₂/M€) 48 %:a vuodesta 2023 vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteet ovat yhteensopivat 1,5 °C:een tavoitteen kanssa.</p> <p>2. Vaikutuspolun merkittävyys ilmastonmuutoksen hillinnässä</p> <p>Merkittävä ja tunnistettu (mm. IPCC, 2023) potentiaali ilmastonmuutoksen hillintään.</p> <p>3. Verkkoyhtiön vaikuttavuus muutokseen</p> <p>Ilman sähköverkkojen vahvistamista muutos ei ole mahdollinen.</p>	<p>Uskottavuus</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Kolme kelpoisuusehtoa täyttyy.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Vältetyt päästöt raportoidaan erillään GHG-inventaarista.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Vältettyjä päästöjä ei käytetä hiilineutraalisuusväittämiin tai kompensoimaan scope 1–3 päästöjä.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Laskennassa on tunnistettu päästöjen 'vähäisemmän nousun' ja 'todellisten' vältettyjen päästöjen osuudet.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Tunnistetut negatiiviset sivuvaikutukset tai rebound-vaikutukset on huomioitu.</p>
<p>Rajoitteet</p> <p>Verkkoyhtiö vaikuttaa vältettyihin päästöihin epäsuorasti. Vältetyt päästöt eivät ole yksin verkkoyhtiön toiminnan seurausta.</p> <p>Skenaariotarkastelussa vältetyt päästöt määritetään yhteiskunnan sähköistymisarvion pohjalta. Oikeat vältetyt päästöt voivat poiketa tästä, jos skenaario ei toteudu sellaisenaan.</p>	<p>Lisätietoja</p> <p>Laskenta tehty luvussa 5.3 kuvatulla tavalla ja rajauksilla.</p>

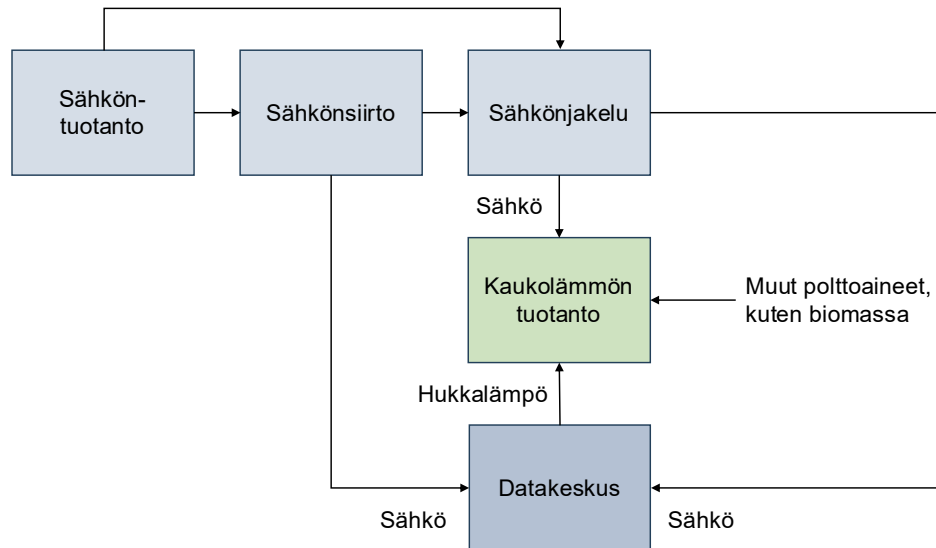
Liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun tarkastelulla osoitetaan menetelmän soveltuvuus kahdessa erilaisessa tarkastelussa. Toisessa vältettyjä päästöjä ei mahdollisesti synny ollenkaan ja toisessa tarkastellaan tilannetta, jossa osa vältetyistä päästöistä on

'vähäisemmän nousun' tyyppiä. Kehitetyt vältettyjen päästöjen määrittämisen vaiheet soveltuvat kumpaankin tilanteeseen. Menetelmän soveltamisessa havaittiin haasteeksi datan saatavuus, joka on tunnistettu myös mm. Tuppura et al. (2024) tutkimuksessa yhdeksi merkittävimmäksi haasteeksi vältettyjen päästöjen määrittämisessä. Skenaariotarkastelussa haasteena on skenaarion luominen niin, että se on mahdollisimman tarkka ja huomioi esimerkiksi rebound-ilmiön.

5.4 Lämmityksen sähköistyminen -vaikutuspolun vältettyjen päästöjen laskenta

Ensimmäisessä vaiheessa valitaan ja kuvataan tarkasteltava vaikutuspolku. Kaukolämmön sähköistyminen tuottaa potentiaalisesti vältettyjä päästöjä, kun fossiiliset polttoaineet korvataan sähköllä, joka on tuotettu pääsääntöisesti fossiilittomasti (Kuva 1). Menetelmän toisessa vaiheessa tehdään kelpoisuustarkastelu, kuten luvussa 5.3 on kuvattu.

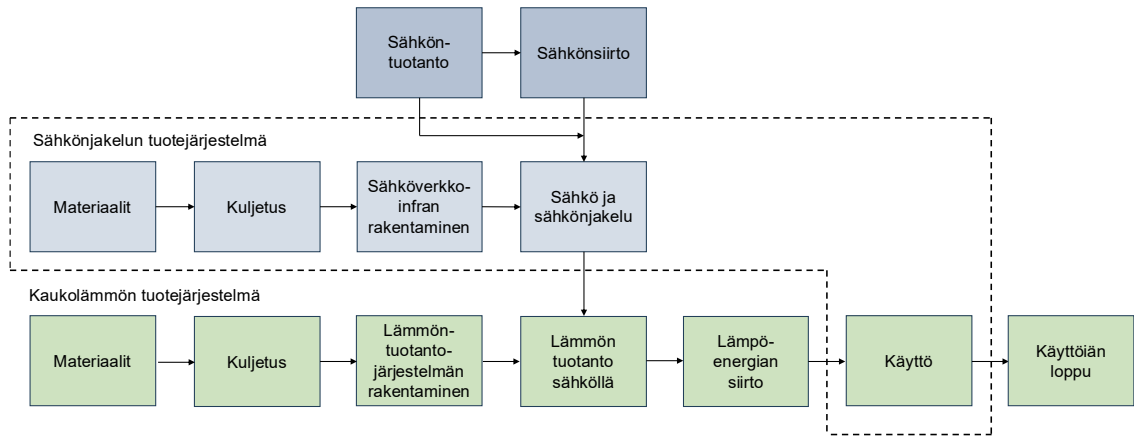
Kolmannessa vaiheessa valitaan tarkasteluajanjakso. Kaukolämmön sähköistymiselle tehdään vuositarkastelu. Vuositarkastelu tehdään vuodelle 2023. Kaukolämmön sähköistymiselle ei tehdä skenaariotarkastelua, koska yleisen kuvaavan skenaarion muodostaminen on haastavaa. Kaukolämpöyhtiöittäin on eroa käytetyissä energialähteissä ja mahdollisissa sähköistymissuunnitelmissa. Näiden arvioidusta kehityksestä ei ole saatavilla tietoa kaikille yhtiöille. Kaukolämmön sähköistyminen voi tapahtua suoraan, esimerkiksi sähkökattiloilla, tai epäsuorasti esimerkiksi datakeskusten hukkalämmön kautta (Kuva 18). Sähkökattiloiden osuus kaukolämmön tuotannosta vuonna 2030 on arviolta noin 10 %:a ja lämmöntalteenoton, joka sisältää lämpöpumput ja hukkalämmöt, noin 40 %:a (Energiateollisuus, 2025). Hukkalämpöjen osuudesta ei ole eroteltu datakeskusten osuutta, mikä vaikeuttaa sähköistymistarkastelua. Datakeskukset liittyvät tapauskohtaisesti joko kantaverkkoon tai jakeluverkkoon. Vältetyt päästöt tarkasteluyritykselle voidaan laskea vain, jos hukkalämpö tulee yrityksen verkkoon liittyneistä datakeskuksista. Lisäksi datakeskusten määrään, sijaintiin ja niiden hukkalämmön hyödyntämiseen liittyy vielä paljon epävarmuutta. Kaukolämmön päästöjen väheneminen tapahtuu osassa yhtiöissä biomassan osuuden kasvun kautta, jonka osuus on arviolta 39 %:a kaikista kaukolämmön energialähteistä vuonna 2030 (Energiateollisuus, 2025). Yleisen päästökerroimen käyttäminen vuodelle 2035 lisäisi joidenkin yhtiöiden päästöjä ja toisaalta aliarvioisi joidenkin. Lisäksi tämä ei huomioisi sähkön osuutta päästövähennyksistä. Skenaariotarkastelu suositetaan tehtäväksi tapaustarkasteluna, jossa pystytään huomioimaan paremmin yksittäisen yhtiön energialähteet sekä datakeskusten hukkalämmön osuus.



Kuva 18. Kaukolämmön tuotannon mahdolliset energiavirrat.

Neljäs vaihe on referenssiskenaarion määrittäminen. Kaukolämmön sähköistymistä verrataan siihen, mitä tapahtuisi, jos sähköistymistä ei tapahtuisi eli BAU-tilanteeseen. Vuositarkastelussa kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun laskennassa käytetään referenssivuotena edellistä vuotta eli vuotta 2022.

Viidennessä vaiheessa määritetään LCA-vaatimukset. Toiminnallisena yksikkönä käytetään 1 GWh kaukolämpöä. Tarkasteltavan vaikutuspolun järjestelmän rajoissa tulee huomioida kaukolämmön käyttövaihe sekä sähköjakeluun liittyvän sähköverkkoinfran rakentaminen ja sen materiaalien päästöt (Kuva 19). Rajaus on tehty vastaavasti kuin liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolun tarkastelussa (luku 5.3). Kaukolämmön tuotejärjestelmässä sähkönkulutus ja lopullisen tuotteen eli kaukolämmön kulutus ovat eri vaiheissa, mikä eroaa liikenteen tuotejärjestelmästä. Järjestelmän rajoissa on huomioitu sähkön käyttäminen suoraan kaukolämpölaitoksella, ei datakeskusten hukkalämpöjen hyödyntämisen kautta. Vuonna 2023 hukkalämpöjen osuus ei vielä ole merkittävä. Kaukolämmön tuotejärjestelmä lukuun ottamatta käyttövaihetta on tarkasteltavan järjestelmän rajojen ulkopuolella, sillä lämmöntuotannon päästöt eivät liity verkkoyhtiön toimintaan. Käyttövaihe on tärkeä osa vältettyjen päästöjen arviointia ja täytyy sisällyttää laskentaan (Grönman et al., 2021). Laskentaa varten tarvittavat datalähteet on kuvattu luvussa 4.5.



Kuva 19. Kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun järjestelmän rajat.

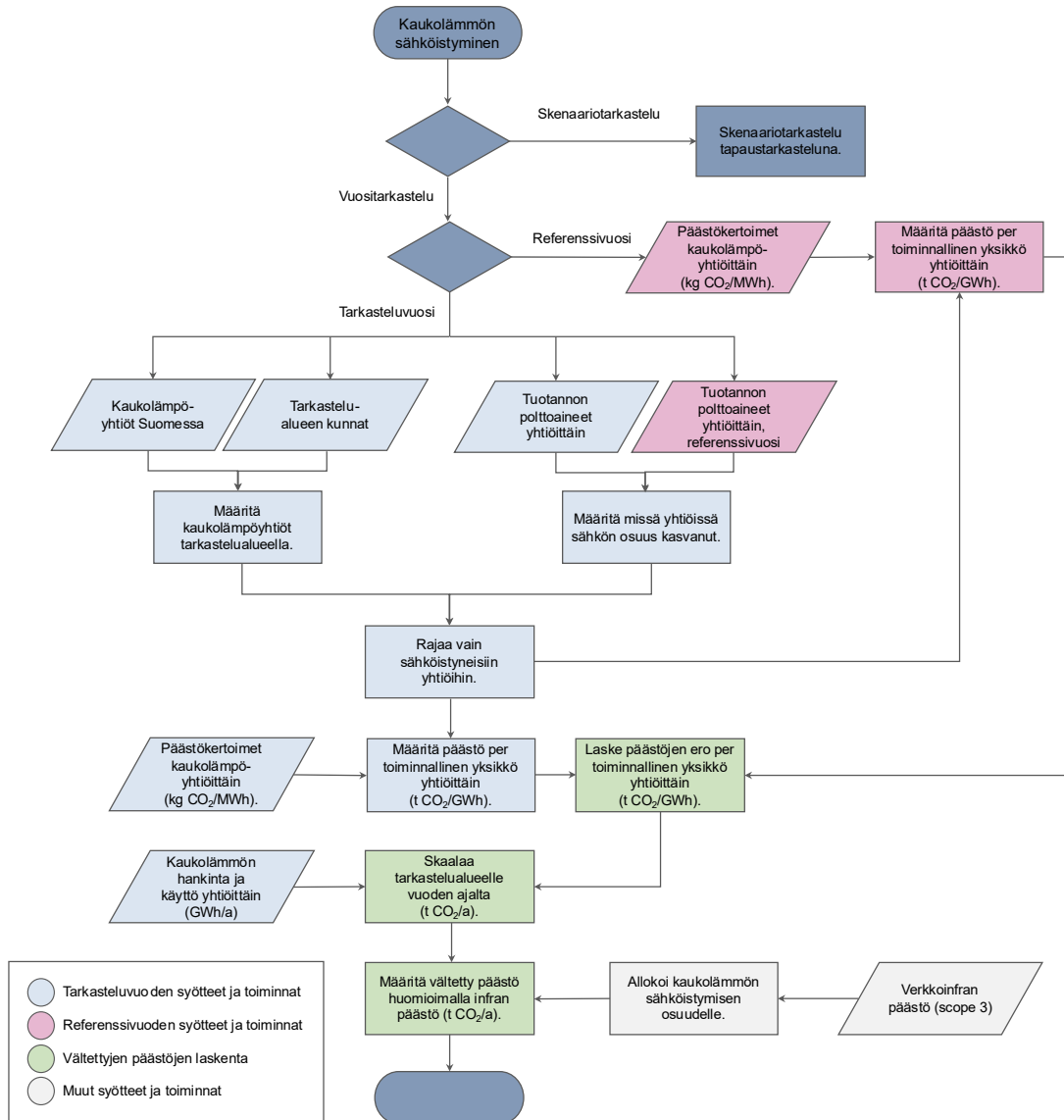
Seuraavassa kuudennessa vaiheessa arvioidaan tarkasteltavan datan laatua ja tarkkuutta (Taulukko 17). Kaukolämmön hankinnasta ja käytöstä, käytetyistä polttoaineista sekä tuotannon päästökertoimista on saatavilla tarkkaa dataa kaukolämpöyhtiöittäin vuositarkasteluun. Kuten liikenteen sähköistymisen tapauksessa, myös kaukolämmön sähköistymisen kohdalla sähköverkkoinfran päästöjen allokointi juuri siihen on haastavaa, sillä rakennettavaa verkkoinfraa ei käytetä pelkästään yhteen käyttötarkoitukseen eikä käyttöä erotella. Vuositarkastelussa infran kokonaispäästöt vuodelle on tiedossa. Antamalla vältetyt päästöt vaihteluvälinä voidaan välttää allokoinnin tuoma epävarmuus.

Taulukko 17. Kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolku laskennan datan laadun tarkastelu.

Datarave	Koko Suomi	Kunnittain / tarkasteluverkkoalue
Kaukolämmön hankinta ja käyttö		
Kaukolämmön tuotannossa käytetyt polttoaineet		
Kaukolämmön tuotannon päästökertoimet		
Sähköverkkoinfra		

Seitsemännessä vaiheessa lasketaan vältetyt päästöt (Kuva 20). Laskennassa määritetään ensin päästöjen ero tarkasteluvuoden ja referenssivuoden välillä toiminnallista yksikköä kohden yhtiöittäin. Tämä skaalataan yhtiökohtaisen kaukolämmön hankinnan ja kulutuksen avulla vuositason tasolle ja määritetään summa koko tarkastelualueelle. Vuositarkastelussa verrataan siis tarkasteluvuotta siihen, mikäli referenssivuoden tilanne (yhtiökohtaiset päästökertoimet) olisi jatkunut tarkasteluvuoden kaukolämmön kulutuksella.

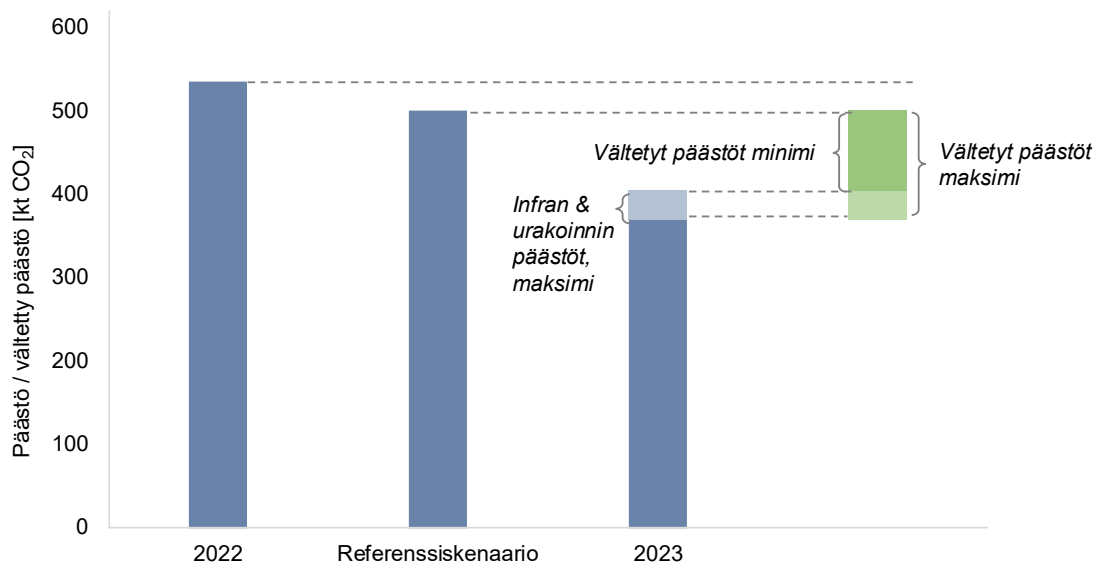
Vältetyt päästöt lasketaan vähentämällä tarvittavan sähköverkkoinfran päästöt vuodelle skaalatusta päästöjen erosta. Sähköverkkoinfran päästöjen allokoinnin haasteellisuuden vuoksi tarkastelu on tehty huomioimalla koko Caruna-konsernin sähköverkkoinfran päästöjen osuus. Allokoinnissa noudatetaan varovaisuusperiaatetta, jotta vältettyjen päästöjen suuruutta ei liioitella.



Kuva 20. Vuokaavio kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun vältettyjen päästöjen laskennasta vuositarkastelussa.

Kaukolämmön sähköistymisessä syntyy vuoden 2023 vuositarkastelussa vältettyjä päästöjä 97–131 kt-CO₂ (Kuva 21). Vältettyjen päästöjen minimi, 97 kt-CO₂, syntyy mikäli kaikki sähköverkkoinfran päästöt allokoidaan kaukolämmön sähköistymiselle. Kaukolämmön sähköistymisen vuositarkastelussa vältetyt päästöt ovat huomattavasti suurem-

mat kuin verkon päästöt, joten allokoinnin suuruudella ei ole juurikaan vaikutusta tulokseen. Kaukolämmön sähköistymistarkastelu osoittaa referenssiskenaarion tarpeellisuuden. Vuonna 2023 kaukolämmön kulutus on pienempi kuin vuonna 2022, jolloin vertaamalla näiden vuosien todellisten päästöjen eroa, tulisi vältettyjen päästöjen suuruus yliarvoitua 34 kt-CO₂. Referenssiskenaarion avulla huomioidaan vuoden 2022 päästöjakauman jatkuminen vuoden 2023 kulutuksella. Kaukolämmön sähköistymisen tarkastelussa kaikki vältetyt päästöt voidaan luokitella 'todellisiin' vältettyihin päästöihin, sillä referenssiskenaarion päästöt ovat pienemmät kuin vuoden 2022 todelliset päästöt.



Kuva 21. Kaukolämmön sähköistymisen -vaikutuspolun vältetyt päästöt vuositarkastelussa.

Kaukolämmön sähköistymisen vuositarkastelun vältetyt päästöt ovat 18–24 %:a referenssivuoden 2022 kaukolämmön päästöistä. Merkittävä osa (92 %:a) vältetyistä päästöistä on *Fortum Power and Heat Espoon* sähköistymisestä. Tästä syystä skenaariotarkastelun lisäksi tapaustarkastelua voitaisiin soveltaa kaukolämmön sähköistymisessä myös vuositarkasteluun. Vuositarkastelu tehtiin kaukolämpöyhtiöittäin, jotta huomioidaan tarkasti erilaiset energialähteet ja sähköistymisen osuus.

Tuloksista viestimiseen käytetään kehitetyn menetelmän viestintäpohjaa (Taulukko 18). Viestinnässä tuodaan esille, että vältetyt päästöt eivät ole yksin verkkoyhtiön toiminnan seurausta.

Taulukko 18. Viestintä kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun vältetyistä päästöistä.

<p>Kuvaus</p> <p>Tarkasteltava vaikutuspolku on kaukolämmön sähköistyminen. Verkkoyhtiötä tarvitaan sähköverkon kapasiteetin lisäämiseen, jotta kasvava tehotarve voidaan kattaa.</p> <p>Referenssiskenaario:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Tilanteen jatkuminen ennallaan</p> <p><i>Päästöjä verrataan tarkasteluvuonna siihen, mikäli muutosta (sähköistymistä) ei olisi tapahtunut.</i></p>	<p>Vaikutus</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Vuositarkastelu (2023)</p> <p>Vältetyt päästöt: 97–131 kt-CO₂</p> <p><i>Vältetyt päästöt määritetään kuluneen vuoden osalta.</i></p> <p><input type="checkbox"/> Skenaariotarkastelu (2035)</p> <p><i>Vältetyt päästöt määritetään tulevaisuuskenaariota vasten.</i></p>
<p>Kelpoisuustarkastelu</p> <p>1. Verkkoyhtiön omien ilmastotoimien uskottavuus:</p> <p>Scope 1 ja 2 luokkien päästövähennys 65 %:a vuodesta 2020 vuoteen 2030 mennessä. Scope 3 luokan tavoite pienentää päästöintensiteettiä (t-CO₂/M€) 48 %:a vuodesta 2023 vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteet ovat yhteensopivat 1,5 °C:een tavoitteen kanssa.</p> <p>2. Vaikutuspolun merkittävyys ilmastonmuutoksen hillinnässä</p> <p>Merkittävä ja tunnistettu (mm. IPCC, 2023) potentiaali ilmastonmuutoksen hillintään.</p> <p>3. Verkkoyhtiön vaikuttavuus muutokseen</p> <p>Ilman sähköverkkojen vahvistamista muutos ei ole mahdollinen.</p>	<p>Uskottavuus</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Kolme kelpoisuusehtoa täyttyy.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Vältetyt päästöt raportoidaan erillään GHG-inventaarista.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Vältettyjä päästöjä ei käytetä hiilineutraalisuusväittämiin tai kompensoimaan scope 1–3 päästöjä.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Laskennassa on tunnistettu päästöjen 'vähäisemmän nousun' ja 'todellisten' vältettyjen päästöjen osuudet.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Tunnistetut negatiiviset sivuvaikutukset tai rebound-vaikutukset on huomioitu.</p>
<p>Rajoitteet</p> <p>Verkkoyhtiö vaikuttaa vältettyihin päästöihin epäsuorasti. Vältetyt päästöt eivät ole yksin verkkoyhtiön toiminnan seurausta.</p>	<p>Lisätietoja</p> <p>Laskenta tehty luvussa 5.4 kuvatulla tavalla ja rajauksilla.</p>

Kaukolämmön sähköistyminen -vaikutuspolun tarkastelulla osoitetaan menetelmän soveltuvuus erilaiseen tarkasteluun kuin liikenteen sähköistyminen -vaikutuspolussa. Kehitetyt vältettyjen päästöjen määrittämisen vaiheet soveltuvat myös kaukolämmön tilanteeseen. Kaukolämmön sähköistymisen tarkastelu osoittaa, miten tarvitaan tapaustar-

kastelua erityisesti skenaariotarkastelussa, jotta tarkastelusta ei tule liian yleistävä. Tarkastelulla osoitettiin myös, miksi BAU-tilanteeseen vertaaminen referenssinä on perusteltua.

Tässä työssä ei määritetty teollisuuden sähköistymisen -vaikutuspolun vältettyjä päästöjä, joka on yksi asiantuntijahaastatteluissa esiin nousseista vaikutuspoluista. Teollisuuden sähköistymisessä on yhteneväisyyksiä kaukolämmön sähköistymisen kanssa, sillä myös teollisuuden tapauksessa laskenta täytyy tehdä teollisuuslaitoksittain. Teollisuuslaitoksen päästöt alkutilanteessa ja sähköistymisen jälkeen voivat tapauskohtaisesti vaihdella merkittävästi. Myös teollisuuden tapauksessa sähköistyminen voi olla epäsuoraa ja teollisuus voi olla liittyneenä kanta- tai jakeluverkkoon.

5.5 Tulosten tarkastelu

Menetelmän tarkoitus on tuottaa systemaattinen, luotettava ja vertailukelpoinen viitekehys vältettyjen päästöjen arvioimiseksi. Menetelmän tuloksia voidaan käyttää osana eri sidosryhmäviestintää ja edunvalvontaa sekä päätöksenteon tukena. Menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin on kehitetty erityisesti sähkönjakelun ja sähkönsiirron tarpeisiin, eikä sen soveltuvuutta muihin käyttötarkoituksiin ole tässä työssä määritetty. Mahdollinen jatkotutkimusaihe olisi selvittää menetelmän soveltuvuutta myös muihin vastaviin konteksteihin, joissa kyseessä ei ole fyysinen tuote, ja toimijan rooli vältettyjen päästöjen syntyymiseen on mahdollistava. Esimerkiksi tietoliikennesektorilla vältettyjä päästöjä tuovia vaikutuspolkuja olisi potentiaalisesti alustan tarjoaminen mm. etätyölle, teollisuuden prosessien optimointiin ja älykkäille liikkumisen palveluille.

Toimialakohtainen menetelmä on laadittu niin, että sen soveltaminen olisi mahdollisimman suoraviivaista eikä edellyttäisi merkittävää työmäärää sen soveltajilta, jotta tiedon ja resurssien puute ei jatkossa olisi esteenä soveltamiselle. Menetelmää on kuitenkin päivitettävä, mikäli esimerkiksi lainsäädännön vaatimuksiin tulee muutoksia. Jotta verkko-yhtiön vältetyistä päästöistä ja positiivisesta ilmastovaikutuksesta yhteiskunnalle saadaan kattavampi kuva, tarvitaan jatkotutkimusta menetelmän soveltamisesta vaikutuspolkuihin, joita ei tässä työssä tarkasteltu. Soveltaminen eri vaikutuspolkuihin lisäisi edelleen myös menetelmän luotettavuutta ja yleistettävyyttä.

Menetelmän viestintäpohjalla pyritään täyttämään viestinnän vaatimukset läpinäkyvyydestä ja varmistamaan oleellisten asioiden mainitseminen viestinnässä. Kelpoisuustarkastelu tukee viestintää ja sen tarkoituksena on ehkäistä tekemästä virheellisiä tai harhaanjohtavia positiivisia väittämiä ja siten tukea menetelmän uskottavuutta. Kelpoisuustarkastelun ensimmäinen vaihe rajaa yrityksen suoraan menetelmän ulkopuolelle, mikäli

scope 1–3 luokkien päästöt eivät ole asianmukaisesti määritetty. Tavoitteena on varmistaa, ettei vältettyjä päästöjä käytetä korvaamaan mahdollisia puutteita yrityksen omien suorien tai epäsuorien päästöjen vähentämisessä. Kelpoisuustarkastelun toisessa (potentiaali ilmastonmuutoksen hillintään) ja kolmannessa (verkkoyhtiön vaikuttavuus muutokseen) vaiheessa hyödynnetään pisteytystä. Verkkoyhtiön vaikuttavuus muutokseen pisteytettiin asiantuntijahaastattelujen pohjalta tehdyn arvion perusteella, joten tässä voi esiintyä virhettä. Pisteytykseen liittyy virhemahdollisuus erityisesti sovellettaessa pisteytystä vaikutuspolkuihin, joita tässä työssä ei ole listattu. Tällöin konservatiivisen arvion tekeminen jää menetelmän soveltajan vastuulle.

Menetelmä mahdollistaa vuositarkastelulla toteutuneiden vältettyjen päästöjen ja skenaariotarkastelulla potentiaalisten tulevien vältettyjen päästöjen arvioinnin. Skenaariotarkastelu on keskeinen työkalu päätöksenteon tueksi. Skenaarion muodostamisen täytyy kuitenkin pohjautua perusteltuihin ja luotettaviin lähteisiin, jotta tarkastelu on uskottava. Datalähteiden sisältämät epävarmuudet pyritään tekemään näkyviksi menetelmän datan laadun arvioinnin viitekehyksellä. Kuten kelpoisuustarkastelun pisteytykseen, myös tässä arviointiin sisältyy virhemahdollisuus. Menetelmä sisältää ohjeet datan laadun arviointiin, mutta lopullinen arvio jää menetelmän soveltajan vastuulle. Datan laadun lisäksi sen saatavuus aiheuttaa haastetta. Tiedon puute on yksi keskeisistä esteistä menetelmän soveltamiselle.

Menetelmässä referenssiskenaario on määritetty ennalta, mikä vähentää soveltamisessa tarvittavien valintojen määrää ja lisää toisaalta eri tulosten välistä vertailtavuutta. Myös LCA-vaatimusten tarkastelu sähkönjakelun kontekstissa ja tapaustarkastelujen esimerkkijärjestelmärajaukset vähentävät soveltamisessa tarvittavaa työmäärää.

Vältettyjä päästöjä ei allokoida vaan menetelmä sallii kaksinkertaisen laskennan eri toimijoiden välillä, mikä on rinnasteinen scope 3 päästöjen raportointiin. Tämä voi kuitenkin johtaa positiivisen vaikutuksen yliarviointiin ja epäselvyyteen viestinnässä, joten allokoinnin kehittäminen on yksi jatkotutkimustarpeista.

Laskennan jaottelu 'vähäisemmän nousun ja 'todellisiin' vältettyihin päästöihin, lisää menetelmän läpinäkyvyyttä. 'Todelliset' vältetyt päästöt kertovat konkreettisesta päästövähenneystä ja 'vähäisemmän nousun' päästöt osoittavat, paljonko muutos hillitsee päästöjen kasvua. Erityisesti skenaariotarkastelussa jaottelun avulla voidaan erotella, paljonko vältetyistä päästöistä riippuu mahdollisesta kysynnän kasvusta ja esimerkiksi rebound-ilmiöstä. Tämä voi auttaa epävarmuuden arvioinnissa.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Sähkönjakelun toimialalla ei ole vakiintunutta menetelmää vältettyjen päästöjen määrittämiseen, eikä aiheesta ole aiempaa tutkimusta. Tämän työn tavoitteena oli kehittää toimialalle soveltuva menetelmä vältettyjen päästöjen arviointiin, laskentaan ja viestintään sekä selvittää vaikutuspolut, joiden kautta sähkönjakelun vältetyt päästöt muodostuvat. Toimialalla on selvä tarve ja kiinnostus tällaisen menetelmän kehittämiseksi työssä tehtyjen asiantuntijahaastattelujen perusteella.

Sähkönjakelun vältetyt päästöt syntyvät eri vaikutuspolkujen kautta, joita tunnistettiin tässä työssä asiantuntijahaastattelujen perusteella. Vaikutuspolut pisteytettiin merkittävyydessä ilmastonmuutoksen hillintään ja verkkoyhtiön vaikuttavuudessa muutokseen, jotta oleelliset vaikutuspolut voidaan tunnistaa. Merkittäviä vaikutuspolkuja ovat esimerkiksi eri sektoreiden sähköistyminen sekä uusiutuvan energiantuotannon liittäminen verkkoon.

Työssä kehitettiin kahdeksanvaiheinen systemaattinen menetelmä sähkönjakelun vältettyjen päästöjen määrittämiseen. Menetelmä soveltuu sekä toteutuneiden vältettyjen päästöjen vuosittaiseen arviointiin että potentiaalisten vältettyjen päästöjen skenaariopohjaiseen tarkasteluun. Toimialakohtainen menetelmä mahdollistaa kontekstiin räätälöidyn ja yksityiskohtaisemman ohjeistuksen muun muassa vaikutuspolkujen tunnistamiseen, referenssiskenaarioiden määrittämiseen, LCA-vaatimusten soveltamiseen ja laskentaperiaatteisiin. Menetelmää täydentävät vaikutuspolkujen pisteytysjärjestelmä sekä datan laadun arvioinnin viitekehys, jotka eivät sisälly muihin nykyisiin menetelmiin. Menetelmän vaikuttavuus ja vertailtavuus vahvistuvat, mikäli sitä sovelletaan laajemmin eri verkkoyhtiöissä.

Työssä kehitettiin viestintäpohja tukemaan vältetyistä päästöistä viestintää. Viestintä tulee tehdä läpinäkyvästi ja selkeästi perustuen viherväittämiä koskevaan lainsäädäntöön. Vältettyjä päästöjä ei käytetä hiilineutraalisuusväittämiin tai kompensoimaan scope 1–3 päästöjä. Verkkoyhtiön rooli vältettyjen päästöjen muodostumiseen tuodaan esiin viestinnässä. Vältetyt päästöt eivät ole yksin verkkoyhtiön toiminnan seurausta, vaan verkkoyhtiön rooli on mahdollistava. Kuitenkin ilman investointeja nykyisiin ja uusiin sähkönjakelu- sekä sähkönsiirtoverkkoihin yhteiskunnan sähköistymistavoitteita ei saavuteta, ja siten vältetyt päästöt jäisivät syntyväksi.

Kehitettyä menetelmää sovellettiin kahden vaikutuspolun vältettyjen päästöjen määrittämiseen. Henkilöautoliikenteen vältetyt päästöt vuositarkastelussa vuodelle 2024 ovat 0–11,7 kt-CO₂ ja skenaariotarkastelussa vuodelle 2035 412–443 kt-CO₂. Skenaariotarkastelun vältetyt päästöistä 127 kt-CO₂ on 'vähäisemmän nousun' tyyppiä, eli referenssiskenaarion ja vuoden 2023 todellisten päästöjen ero. Kaukolämmön sähköistymisen vuositarkastelussa vuodelle 2023 vältetyt päästöt ovat 97–131 kt-CO₂. Tässä 'vähäisemmän nousun' tyyppiä ei ilmene, sillä referenssiskenaarion päästöt ovat pienemmät kuin vertailuvuoden 2022 todelliset päästöt. Kaukolämmön sähköistymiselle ei määritetty skenaariota, vaan suositellaan tapaustarkastelua kaukolämpöyhtiöittäin. Tulosten perusteella sähkönjakelun vaikutuspoluilla on merkittävää potentiaalia tuottaa vältettyjä päästöjä.

Tulokset osoittavat, että kehitetty vältettyjen päästöjen menetelmä muodostaa käyttökelpoisen ja sovellettavan viitekehysten positiivisten vaikutusten kvantifiointiin. Menetelmä tarjoaa konkreettisen tavan tehdä näkyväksi verkkoyhtiön toiminnan mahdollistamat positiiviset vaikutukset, joiden kehittymistä voidaan seurata ja vertailla. Vältettyjen päästöjen arviointi tuottaa lisäarvoa sidosryhmäviestintään ja strategiseen suunniteluun, kun tulkinnat tehdään konservatiivisesti ja läpinäkyvien periaatteiden mukaisesti.

LÄHTEET

- 416/2019. Laki hiilen energiakäytön kieltämisestä. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2019/416>.
- 423/2022. Ilmastolaki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2022/423>.
- 588/2013. Sähkömarkkinalaki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2013/588>.
- 2005/29/EY. Directive 2005/29/EC of the European Parliament and of the Council of 11 May 2005 concerning unfair business-to-consumer commercial practices in the internal market and amending Council Directive 84/450/EEC, Directives 97/7/EC, 98/27/EC and 2002/65/EC of the European Parliament and of the Council and Regulation (EC) No 2006/2004 of the European Parliament and of the Council (Unfair Commercial Practices Directive). Saatavissa: <http://data.europa.eu/eli/dir/2005/29/oj>
- 2011/83/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2011/83/EU, annettu 25 päivänä lokakuuta 2011, kuluttajan oikeuksista, neuvoston direktiivin 93/13/ETY ja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/44/EY muuttamisesta sekä neuvoston direktiivin 85/577/ETY ja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 97/7/EY kumoamisesta. Saatavissa: <http://data.europa.eu/eli/dir/2011/83/oj>
- 2021/1119/EU. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). Saatavissa: <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>.
- 2024/825/EU. Directive (EU) 2024/825 of the European Parliament and of the Council of 28 February 2024 amending Directives 2005/29/EC and 2011/83/EU as regards empowering consumers for the green transition through better protection against unfair practices and through better information. Saatavissa: <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/825/oj>
- AFRY, 2022. Energiainfran rooli energiamurroksessa [Verkköjulkaisu]. Energiateollisuus. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2022/08/Energiaverkkojen_rooli_energiamurroksessa_-_projektin_loppuraportti_7-7-2022_1.pdf (Viitattu 12.11.2025).
- AFRY, 2020. Finnish Energy – Low carbon roadmap [Verkköjulkaisu]. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Taustaraportti_-_Finnish_Energy_Low_carbon_roadmap.pdf (Viitattu 17.11.2025).
- Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Breyer, C., 2020. Towards sustainable development in the MENA region: Analysing the feasibility of a 100% renewable electricity system in 2030. Energy Strategy Reviews. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100466>
- Ahmed, S.K., Mohammed, R.A., Nashwan, A.J., Ibrahim, R.H., Abdalla, A.Q., M. Ameen, B.M., Khdir, R.M., 2025. Using thematic analysis in qualitative research. Journal of Medicine, Surgery, and Public Health 6, 100198. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2025.100198>
- Beckmann, J., Dijkstra-Silva, S., Eberle, U., Eisenhauer, P., Hahn, R., Hermann, C., Kühnen, M., Schaltegger, S., Schmid, M., 2019. The Handprint: a complementary measure of the positive sustainability impact of products. Collaborating Centre on Sustainable Consumption and Production CSCP. Saatavissa: https://www.cscp.org/wp-content/uploads/2024/07/Final-Report_Handprint-Project_EN.pdf.
- Bertè, E., Falkenauer, C., Gallisa, T., Jormakka, T., Tunkelo, O., Wegener, F., 2023. Low Carbon Roadmap - Finnish Energy. Advanced Energy Project. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/06/Low_carbon_roadmap_2023_Team_FELCROM.pdf.
- Bie, F., Sun, M., Wei, X., Ahmad, M., 2024. Transitioning to a zero-emission energy system towards environmental sustainability. Gondwana Research, Energy, environment and sustainability: Future directions 127, 36–46. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.03.022>
- Bistline, J.E.T., 2021. Roadmaps to net-zero emissions systems: Emerging insights and modeling challenges. Joule 5, 2551–2563. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.09.012>
- Bogdanov, D., Gulagi, A., Fasihi, M., Breyer, C., 2021. Full energy sector transition towards 100% renewable energy supply: Integrating power, heat, transport and industry sectors including desalination. Applied Energy 283, 116273. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116273>
- Breyer, C., Khalili, S., Bogdanov, D., Ram, M., Oyewo, A.S., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Solomon, A.A., Keiner, D., Lopez, G., Østergaard, P.A., Lund, H., Mathiesen, B.V., Jacobson, M.Z., Victoria, M., Teske, S., Pregger, T., Fthenakis, V., Raugei, M., Holttinen, H., Bardi, U., Hoekstra, A.,

- Sovacool, B.K., 2022. On the History and Future of 100% Renewable Energy Systems Research. *IEEE Access* 10, 78176–78218. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3193402>
- Carbone 4, 2022. Net Zero Initiative: The pillar B guide - Calculating and leveraging avoided emissions. Saatavissa: https://www.carbone4.com/files/Net_Zero_Initiative_The_pillar_B_guide.pdf.
- Caruna, 2024. Jakeluverkkoinvestoinnit mahdollistavat puhtaan siirtymän ja toimitusvarmuuden [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Jakeluverkkoinvestoinnit%20mahdollistavat%20puhtaan%20siirtym%C3%A4n%20ja%20toimitusvarmuuden_2024.pdf (Viitattu 30.7.2025).
- Child, M., Haukkala, T., Breyer, C., 2017. The Role of Solar Photovoltaics and Energy Storage Solutions in a 100% Renewable Energy System for Finland in 2050. *Sustainability* 9, 1358. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/su9081358>
- Diesing, P., Blechinger, P., Breyer, C., 2025. Electrification versus hydrogen: A data-driven comparison framework for energy-intensive industries. *Energy Conversion and Management*. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.120145>
- Energiäteollisuus, 2025. Kaukolämpötilasto [Verkkajulkaisu]. Energiäteollisuus. Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/> (Viitattu 17.10.2025).
- Energiäteollisuus, 2024. Kaukolämmön päästölaskuri [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://www.klpaastolaskuri.fi/> (Viitattu 20.10.2025).
- Energiäteollisuus, n.d. Visio menestyvän Suomen energiätulevaisuudesta [Verkkajulkaisu]. Energiäteollisuus. Saatavissa: <https://energia.fi/meista/visio/visio-menestyvan-suomen-energiatulevaisuudesta/> (Viitattu 1.10.2025a).
- Energiäteollisuus, n.d. Sähköverkot [Verkkajulkaisu]. Energiäteollisuus. Saatavissa: <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/> (Viitattu 19.6.2025b).
- Energiavirasto, n.d. Verkkotoiminnan julkaisut [Verkkajulkaisu]. Energiavirasto. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut> (Viitattu 14.6.2025).
- EU:n komissio, 2021. Komission tiedonanto – Ohjeet sopimattomista elinkeinonharjoittajien ja kuluttajien välisistä kaupallisista menettelyistä sisämarkkinoilla annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/29/EY tulkintaa ja soveltamista varten (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). Saatavissa: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:52021XC1229\(05\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:52021XC1229(05))
- Fingrid, 2025a. Sähkönkulutuksen liitettävyyden kantaverkkoon väliaikaisesti tiukilla eteläisessä Suomessa [Verkkajulkaisu]. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2025/sahkonkulutuksen-liitettavyys-kantaverkkoon-valiaikaisesti-tiukilla-etelaisessa-suomessa/> (Viitattu 12.11.2025).
- Fingrid, 2025b. Sähkön tuotannon ja -kulutuksen CO₂-päästöarviot [Verkkajulkaisu]. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/> (Viitattu 25.6.2025).
- Fingrid, 2024. Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät Q3 2024 [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-q3-2024-fingrid.pdf> (Viitattu 4.8.2025).
- Fingrid, 2023. Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024-2033 [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_kehittamissuunnitelma_2024-2033.pdf (Viitattu 30.7.2025).
- Fingrid, n.d. Suomen sähköjärjestelmä [Verkkajulkaisu]. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/> (Viitattu 19.6.2025).
- Forsman, J., Närhi, J., Uimonen, H., Semkin, N., Miettinen, V., Toivola, S., 2021. Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-029-5>.
- Gelin, F., Karlsson, C., 2024. Framework for Avoided Emissions Reporting – A case study of PowerCell Group and Hydrogen Electric Fuel Cell Solutions. Master's Thesis. Saatavissa: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9158859>
- GHG Protocol, 2011. Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Saatavissa: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf
- GHG Protocol, 2004. A Corporate Accounting and Reporting Standard - Revised edition. Saatavissa: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>
- GHG Protocol, n.d. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Saatavissa: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf.

- Grönman, K., Lakanen, L., Kasurinen, H., Soukka, R., Pajula, T., Vatanen, S., Behm, K., 2021. Carbon handprint guide V. 2.0 Applicable for environmental handprint. VTT & LUT. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021050328437>.
- Grönman, K., Pajula, T., Sillman, J., Leino, M., Vatanen, S., Kasurinen, H., Soininen, A., Soukka, R., 2019. Carbon handprint – An approach to assess the positive climate impacts of products demonstrated via renewable diesel case. *Journal of Cleaner Production* 206, 1059–1072. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.233>
- Guillaume, J.H.A., Sojamo, S., Porkka, M., Gerten, D., Jalava, M., Lankoski, L., Lehikoinen, E., Lettenmeier, M., Pfister, S., Usva, K., Wada, Y., Kummu, M., 2020. Giving Legs to Handprint Thinking: Foundations for Evaluating the Good We Do. *Earth's Future* 8, e2019EF001422. Saatavissa: <https://doi.org/10.1029/2019EF001422>
- Hiltunen, P., Lindroos, T.J., Rämä, M., 2025. The impact of electric boilers and heat storages in the Nordic power markets and district heating systems. *Cleaner Engineering and Technology* 27, 101028. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.101028>
- IEA, 2024. World Energy Outlook 2024. Saatavissa: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf>
- IPCC, 2023. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Saatavissa: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- ISO 14026, 2018. Ympäristömerkit ja -selosteet. Jalanjälkiviestinnän periaatteet, vaatimukset ja ohjeet.
- ISO 14040, 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- ISO 14063, 2020. Ympäristöasioiden hallinta. Ympäristöviestintä. Ohjeita ja esimerkkejä.
- Karady, G.G., 2018. Concept of Energy Transmission and Distribution, in: *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution*. CRC Press.
- Langbroek, J.H.M., Franklin, J.P., Susilo, Y.O., 2017. Electric vehicle users and their travel patterns in Greater Stockholm. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 52, 98–111. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.015>
- Lester, J.N., Cho, Y., Lochmiller, C.R., 2020. Learning to Do Qualitative Data Analysis: A Starting Point. ResearchGate. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/1534484320903890>
- Mission Innovation, 2020. The Avoided Emissions Framework (AEF). Saatavissa: https://cdn.prod.website-files.com/64abf03488f32826460fe327f64ad477776d4dd94cdc8f8be0_Net_Zero_Innovation_Module_2_The_Avoided_Emissions_Framework_AEF_v2.pdf
- Moilanen, P., Honkatukia, J., Rinta-Piirto, J., Räikkönen, A., Sirkiä, A., 2024. Valtakunnalliset liikenneennusteet 2024. Traficom tutkimuksia ja selvityksiä. Saatavissa: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/VLE%202024_0.pdf
- Motiva, 2025. Sähköautot [Verkköjulkaisu]. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne_ja-liikkuminen/valitse_automotiiviksi/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot (Viitattu 17.11.2025).
- Nogueira, T., Sousa, E., Alves, G.R., 2022. Electric vehicles growth until 2030: Impact on the distribution network power. *Energy Reports*, The 8th International Conference on Energy and Environment Research –“Developing the World in 2021 with Clean and Safe Energy” 8, 145–152. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.106>
- Ojeda-Diaz, A.J., Krueger, R., Jensen, A.F., Haustein, S., 2025. The (un-)intended consequences of transport electrification: a scoping review of rebound and spillover effects. *Transport Reviews*. Saatavissa: <https://doi.org/10.1080/01441647.2025.2549028>
- Parrique, T., Barth, J., Briens, J., Kerschner, C., Kraus-Polka, A., Kuokkanen, A., Spangenberg, J.H., 2019. Decoupling Debunked: Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability. European Environmental Bureau. Saatavissa: eeb.org/decoupling-debunked
- Reiz, C., Gouveia, C., Bessa, R.J., Lopes, J.P., Kezunovic, M., 2025. Risk assessment of future power systems: Assuring resilience of electrification for decarbonization. *Sustainable Energy, Grids and Networks* 43, 101849. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2025.101849>
- Russell, S., 2019. Estimating and reporting the comparative emissions impacts of products. World Resources Institute WRI. Saatavissa: https://files.wri.org/d8/s3fs-public/estimating-and-reporting-comparative-emissions-impacts-products_0.pdf
- Sillman, J., Lakanen, L., Annala, S., Grönman, K., Luoranen, M., Soukka, R., 2023. Evaluation of greenhouse gas emission reduction potential of a demand–response solution: a carbon handprint case study of a virtual power plant. *Clean Energy* 7, 755–766. Saatavissa: <https://doi.org/10.1093/ce/zkad022>

- Soggia, G., Goglio, A., Cristiani, P., Adani, F., 2025. Bioelectrochemical conversion of CO₂ emissions as greenhouse gases capture and renewable electricity storage strategy: advancing power-to-methane technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 80, 104394. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2025.104394>
- Tilastokeskus, 2025a. Kasvihuonekaasut [Verkkójulkaisu]. Saatavissa: <https://stat.fi/tilasto/khki#reference> (Viitattu 26.6.2025).
- Tilastokeskus, 2025b. Tietilasto [Verkkójulkaisu]. Saatavissa: <https://stat.fi/tilasto/tiet> (Viitattu 30.10.2025).
- Tilastokeskus, 2024. Energian hankinta ja kulutus 2024 [Verkkójulkaisu]. Saatavissa: <https://stat.fi/julkaisu/cm1km7haobpzu07w7pt6mzccn> (Viitattu 25.6.2025).
- Traficom, 2025. Ajoneuvokannan tilastot [Verkkójulkaisu]. Traficom. Saatavissa: <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot> (Viitattu 28.10.2025).
- Traficom, 2024. Henkilöautojen käyttövoimat ja hiilidioksidipäästöt [Verkkójulkaisu]. Traficom. Saatavissa: <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/henkilöautojen-kayttovoimat-ja-hiilidioksidipaastot> (Viitattu 20.10.2025).
- Tuppura, A., Palomäki, K., Grönman, K., Lakanen, L., Pätäri, S., Vatanen, S., Soukka, R., 2024. Communicating positive environmental impacts – User experiences of the carbon handprint approach. *Journal of Cleaner Production* 434, 140292. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140292>
- UK Government, 2024. Greenhouse gas reporting: conversion factors 2024 [Verkkójulkaisu]. GOV.UK. Saatavissa: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024> (Viitattu 17.10.2025).
- Valtioneuvosto, 2025. Kivihiilen energiakäyttö Suomessa päättyy kevään aikana [Verkkójulkaisu]. Valtioneuvosto. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/-/kivihiilen-energiakaytto-suomessa-paattyy-kevaan-aikana> (Viitattu 28.7.2025).
- Vance, C., Maimó Far, A., Sweeney, C., Syron, E., 2025. Techno-economic optimization of green hydrogen production from curtailed power in Ireland: Impact of future renewable energy installations, weather variability, and grid constraints. *International Journal of Hydrogen Energy* 161, 150675. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.150675>
- WBCSD, 2023. Guidance on Avoided Emissions: Helping business drive innovations and scale solutions toward Net Zero. World Business Council for Sustainable Development. Saatavissa: https://www.wbcsd.org/wp-content/uploads/2023/09/Climate-Avoided-Emissions-guidance_WBCSD.pdf
- Willis, L., 2013. Introduction to Transmission and Distribution (T&D) Networks: T&D Infrastructure, Reliability and Engineering, Regulation and Planning, in: *Electricity Transmission, Distribution and Storage Systems*. Woodhead Publishing, s. 3–37.
- Yang, Z., Li, H., Zhang, H., 2025. A power-to-methanol-based chemical industry system-aided decarbonization approach for power distribution networks. *Applied Energy* 384, 125395. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125395>
- Yuan, X., Liang, Y., Hu, X., Xu, Y., Chen, Y., Kosonen, R., 2023. Waste heat recoveries in data centers: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 188, 113777. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113777>