



# Elinkaariarvioinnin soveltuvuus kauko- lämmön ympäristövaikutusten mittaa- misessa

Sanna Turunen

Opinnäytetyö, Ylempi AMK

Huhtikuu 2024

Tekniikan ala

Elinkaaren hallinta -tutkinto-ohjelma (YAMK)

**Turunen, Sanna**

## **Elinkaariarvioinnin soveltuvuus kaukolämmön ympäristövaikutusten mittaamisessa**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Huhtikuu, 2024**, 56 sivua

Elinkaaren hallinnan YAMK tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Tuotteen tai palvelun haitallisten ympäristövaikutusten vähentäminen on läpileikkaava teema yhteiskunnassa. Tutkimus kohdistui standardiin SFS-EN ISO 14040 perustuvan elinkaariarvioinnin (LCA) laatimiseen kaukolämmölle ja siinä tarkasteltiin menetelmän soveltuvuutta toimeksiantajayrityksen, Savon Voima Oyj:n kaukolämpöverkkojen ympäristövaikutusten vertailuun sisäisesti käytettävänä mittarina. Tietojenkeruun yhteydessä tehtyjen havaintojen pohjalta laadittiin esitys resurssitehokkaasta raportoinnista kaukolämpöverkkojen elinkaarenaikaisten ympäristövaikutuksiin kohdistuvien tekijöiden seuraamiseksi.

Tutkimus oli laadultaan tapaustutkimus. Rajatulle tutkimuskohteelle toteutettiin standardin mukaisesti tiedonkeruu eli inventaarioanalyysi, laadittiin vaikutustenarviointi ja raportoitiin saadut tulokset. Kokonaisprosessi kuvattiin panos – tuotosvirtojen avulla, jolloin huomioiduksi tulivat prosessin vaatimat syötteet ja toiminnasta aiheutuvat tuotteet, päästöt ja jätteet. Elinkaariarvioinnin toiminnallisena yksikkönä käytettiin asiakkaalle myytyä kaukolämpömegawattituntia (MWh). Tiedonkeruussa hyödynnettiin ensisijaisesti tutkimuskohteena olevan Leppävirran kaukolämmöntuotannon valmiina olevia raportteja, ostolaskuja sekä kokeusperäiseen tietoon pohjautuvia arvioita. Vaikutustenarvioinnissa käytettiin maksuttomasti ladattavaa Open LCA -ohjelmaa ja siihen ladattavia tietokantoja. Arvioinnin tulokset luokiteltiin keskipiste- ja loppupistemallinnuksen perusteella.

Vaikutustenarvioinnin perusteella merkittävimmät luonnonympäristölle ja ihmisterveydelle kohdistuvat haitat olivat peräisin maankäytönmuutoksesta ja ilmastonmuutoksesta. Nämä aiheutuivat kuljetuksista, sähköntuotannosta sekä polttoaineiden polton savukaasupäästöistä.

Tutkimuksen tulosten perusteella kaukolämmön kokonaisvaltainen elinkaariarvioinnin laatiminen ei käytetyllä rajauksella ole kustannustehokasta, eikä anna riittävän yksityiskohtaista tietoa toiminnanharjoittajan käyttötarkoitukseen. Elinkaariarvioinnissa käytettävän toiminnallisen yksikön käyttö on toiminnanharjoittajalle hyödyllinen kaukolämpöverkkojen keskinäiseen vertailuun.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Elinkaariarviointi, kaukolämpö, ympäristövaikutukset, SFS-EN ISO 14040, inventaarioanalyysi

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Liitteet 2, 3 ja 4 ovat salassa pidettäviä ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24 §, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on kaksikymmentä (20) vuotta, salassapito päättyy 25.4.2044.

**Turunen, Sanna**

### **Study of life cycle analysis suitability of measuring environmental impacts of district heating**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2024, 56 pages

Master's degree Programme in lifecycle Management. Master's thesis.

Permission for open access publication: Yes.

Language of publication: Finnish

#### **Abstract**

Reducing harmful environmental effects of products or services is a cross-cutting theme in society. The aim of the research was to explore the applicability the life-cycle analysis of district heating based on standard SFS-EN ISO 14040 and if it could be used as an internal measure of environmental impacts in Savon Voima Oyj. Based on the observations made in inventory analysis, suggestions were made of re-resource-effective reporting to monitor long term environmental impacts of district heat.

Life-cycle analysis was a case study. The inventory analysis i.e data collection, impact assessment and reporting were made based on the selected system boundary. The whole system process was modeled and involved inputs and outputs like products, emissions and wastes. The used functional unit was per sold district heat megawatt hour (MWh). As primary data were used official reports, purchasing data and empiric estimates of district heat generate and delivery in Leppävirta. Impact assessment phase was performed by free download software called Open LCA and its free databases. Results were categorized based on mid-point and endpoint.

Based on the impact assessment, the most significant harms to the ecosystem and human health came from land occupation and climate change. Impacts were caused by transport, electricity production and flue gas emissions from combustion.

As conclusion a comprehensive life cycle assessment of district heating with the used system boundary is not cost-effective and does not provide sufficiently detailed information for the company's purpose. The use of the functional unit is useful for the company due to the mutual comparison of district heating networks.

#### **Keywords/tags (subjects)**

Life-cycle analysis, district heating, environmental impacts, SFS-EN ISO 14040, inventory analysis

#### **Miscellaneous (Confidential information)**

Appendices 2, 3 and 4 are confidential and removed from the public thesis. The Basis for secrecy is section 24, Paragraph 17, of publicity Act 621/1999, referring to the company's trade or professional secrets. The period secrecy is twenty (20) year, the secrecy will end on 25 April 2044.

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimuksen kuvaus .....</b>	<b>4</b>
2.1	Tutkimukselle asetetut tavoitteet ja odotukset.....	4
2.2	Tutkimusmenetelmän määrittely .....	6
2.3	Tutkimuksen eettinen arviointi .....	7
<b>3</b>	<b>Kohti vähähiilistä ja kestävää yhteiskuntaa .....</b>	<b>8</b>
3.1	Läpileikkaava elinkaarinäkökulma.....	8
3.2	Elinkaariarvioinnin hyödyntäminen .....	11
3.3	Energiantuotannon ympäristövaikutusten rajauksen ja tulosten käytön haasteet .....	14
<b>4</b>	<b>Elinkaariarvioinnin yleisrakenne .....</b>	<b>16</b>
4.1	Perustana tavoitteiden asettaminen ja rajaus.....	17
4.2	Inventaarioanalyysin tietojenkeruu .....	19
4.3	Vaikutustenarvioinnin tulosten laskenta .....	19
4.4	Tulosten arvioinnin tulkintavaihe .....	21
<b>5</b>	<b>Kaukolämmön elinkaariarvioinnin kuvaus.....</b>	<b>22</b>
5.1	Tutkimuskohteen yritys.....	22
5.2	Kaukolämmön elinkaariarvioinnin rajaaminen .....	24
5.3	Inventaarioanalyysin aineistonkeruu .....	27
5.4	Vaikutusten arviointi ja tulokset .....	28
5.4.1	Open LCA-ohjelman prosessikuvaus.....	29
5.4.2	Vaikutusten laskenta Open LCA -ohjelmalla.....	31
5.4.3	Vaikutusarvioinnin tulokset .....	33
<b>6</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>37</b>
6.1	Elinkaariarvioinnin hyödyntäminen kaukolämmön ympäristövaikutusten arvioinnissa	37
6.2	Epävarmuuksien arviointi.....	39
6.3	Esitys elinkaarivaikutuksia kuvaavien ympäristönäkökohtien kehityskohteiksi.....	40
6.4	Johtopäätökset.....	45
	<b>Lähteet .....</b>	<b>47</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>51</b>
	Liite 1. Tietojenkeruupohja .....	51
	Liite 2. Täydennetty tietojenkeruupohja toimeksiantajalle (salassa pidettävä).....	53
	Liite 3. Vaikutusarvioinnin tulokset Open LCA (salassa pidettävä) .....	55
	Liite 4. Esitetyt kehityskohteet (salassa pidettävä).....	56

## Kuviot

Kuvio 1: Eri ympäristöselvitysten suhde ja painopisteet .....	10
Kuvio 2: Elinkaariarvioinnin vaiheet.....	17
Kuvio 3: Elinkaaren aikaisten vaikutusten luokittelu .....	18
Kuvio 4: Periaatekaavio inventaariotietojen luokittelusta vaikutusluokkiin (keskipiste) ja haitan kohteisiin (loppupiste), ReCiPe 2016 .....	20
Kuvio 5: Tutkimuksen elinkaariarvioinnin päävaiheet.....	24
Kuvio 6: Kaukolämmön panos-tuotosvirrat .....	26
Kuvio 7: Päätöskaaavio mallinnuksen ja materiaalivalintojen tueksi .....	29
Kuvio 8: Elinkaariarvioinnissa käytetyn Open LCA-ohjelman laatima kaukolämmöntuotannon periaatteellinen prosessikaavio .....	31
Kuvio 9: Open LCA-ohjelmalla tehdyn ReCiPe- vaikutusarvioinnin keskipistemallinnuksen tulosten luokittelu.....	32
Kuvio 10: Open LCA-ohjelmalla tehdyn ReCiPe- vaikutusarvioinnin loppupistemallinnuksen tulosten jako .....	32
Kuvio 11: Vaikutusarvioinnin keskipistemallinnuksen tulosten jakautuminen .....	35
Kuvio 12: Loppupistemallinnuksen tulokset .....	36
Kuvio 13: Periaatekaavio kaukolämpöverkkokohtaisen tiedon käsittelystä .....	42

## Taulukot

Taulukko 1: Ympäristövaikutusten määrittämisessä hyödynnettävät standardit.....	11
---------------------------------------------------------------------------------	----

# 1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen ja luontokadon uhka, sekä kiertotalouteen, energiatehokkuuteen ja raportointiin kohdistuvat kiristyvät lainsäädännölliset ja muut toimintaympäristön vaatimukset haastavat toiminnanharjoittajia selvittämään toiminnastaan aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja asettamaan niille mittareita. Myös kuluttajat tekevät yhä enemmän valintoja tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutusten, kuten määritellyn elinkaaren aikaisten hiilidioksidipäästöjen eli hiilijalanjäljen perusteella. Esitetyt ympäristöväitteet on pystyttävä osoittamaan läpinäkyvästi vastuullisen toiminnan osoittamiseksi, ja katteettomat ympäristölupaukset voivat esille tultuaan aiheuttaa yritykselle merkittävää maine- ja edelleen taloudellista haittaa.

Tuotteen tai palvelun erilaisten ympäristövaikutusten selvittämiseksi on useita eri laajuisia menetelmiä ja yksi monille menetelmille perustana käytetty menetelmä on standardiin SFS-EN ISO 14040 pohjautuva elinkaariarviointi eli lyhyemmin LCA (life-cycle analysis tai vaihtoehtoisesti life-cycle assessment). Menetelmä koostuu selkeästi neljästä eri tutkimusvaiheesta ja kohdistuu tutkimuksen tarkoituksesta riippuen ilmastovaikutuksia monipuolisempiin ympäristövaikutuksiin, ja vaikutukset kohdistetaan aina ihmisten terveyteen, luonnonympäristöön sekä luonnonvaroihin. Huomioitavaa on, että elinkaariarvioinnissa potentiaaliset vaikutukset kohdistetaan kulloisenkin tutkimuskohteen perusteella valittuun toiminnalliseen yksikköön, ja tutkimuskohteen rajauksesta riippuu, ovatko elinkaariarviointien tulokset keskenään vertailukelpoisia. (SFS EN-ISO 14040.)

Tutkimuksen elinkaariarviointi kohdistuu Savon Voima Oyj:n Leppävuiran kaukolämmön tuotantoon ja jakeluun, jolloin tarkoituksenmukaisimmaksi toiminnalliseksi yksiköksi osoittautui kaukolämpöasiakkaalle toimitettu kaukolämpöenergian megawattitunti (MWh), joka kytkeytyy kiinteästi toiminnan taloudelliseen kannattavuuteen sekä perustuu puhtaasti reaaliaikaiseen ja luotettavaan mittaukseen. Elinkaariarvioinnin tietojen kartoituksessa mukana ovat polttoaineiden kuljetus, kaukolämmön tuotanto sekä lämmön jakelu asiakkaille, jotka toimivat tutkimuksen tietojenkeruuta ohjaavina osaprosesseina. Tietojenkeruussa prosessien panosten ja tuotosten määrittämisessä käytetään pääosin primaarisia tietolähteitä, kuten mittaus- ja laskutustietoja. Vaikutusten arvioinnissa hyödynnetään maksuttomasti saatavaa Open LCA-ohjelmistoa ja siihen ladattavia tietokantoja ja vaikutustenarviointimenetelmiä.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten menetelmä soveltuu energiahyödykkeen tutkimiseen ja arviointiin, löytää kehityskohteita potentiaalisten ympäristövaikutusten vähentämiseksi sekä niiden mittaamiseksi. Tulosten pohjalta laadittiin tietojenkeruuesitys, millä ympäristövaikutuksia voidaan arvioida ja mitata laajemmin toiminnalliseen yksikköön pohjautuen myös yhtiön muissa vastaavissa kaukolämpöverkoissa toiminnan raportoitavuuden parantamiseksi. Tutkimustulosten pohjalta yhtiö pystyy kehittämään omaa tiedonkeruuta ja mahdollisesti viemään ehdotettuja elinkaarinäkökulmaa edistäviä tekijöitä hyödynnettäväksi sekä omassa operatiivisessa toiminnassa että hankintatoimen kehittämisessä.

## 2 Tutkimuksen kuvaus

### 2.1 Tutkimukselle asetetut tavoitteet ja odotukset

Kaukolämmön asiakkaille merkittävimpänä ympäristövaikutusten mittarina toimii kaukolämmön ominaispäästökerroin ( $\text{gCO}_2/\text{kWh}$ ), missä kaukolämmön tuotannosta (fossiilisista polttoaineista) peräisin olevat hiilidioksidipäästöt jaetaan kaukolämmön tuotannolla (Paikallisvoima, 2023) tai vastaavasti asiakkaille myydyllä lämmöllä, jolloin huomioidaan myös kaukolämmön jakelun verkostohäviö. Mittari on varsin toimiva, kattava ja yksinkertainen, osoittaen kokonaisvaltaisesti myös energiantuottajille päästövähentämistoimenpiteiden vaikutuksia, mutta ei huomioi muita toiminnasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millainen on monipuolisempiin ympäristövaikutuksiin keskittyvä elinkaariarviointi kaukolämpöasiakkaan lämmönjakokeskukseen toimitettavalle kaukolämmölle käyttämällä standardiin SFS-EN 14040 perustuvaa menetelmää (1) ja kuinka menetelmää on mahdollista hyödyntää jatkossa yhtiön muiden kaukolämpöverkkojen ympäristövaikutusten mittaamisessa ja kaukolämpöverkkojen keskinäisessä vertailussa (2). Lisäksi tavoitteena on luoda esitys tietojenkeruusta, millä kaukolämpöverkkojen elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin ja strategiaan tavoitteisiin vaikuttavia tekijöitä voidaan seurata ja raportoida resurssitehokkaasti.

Tutkimuskohteen yrityksellä eli toimeksiantajalla jokainen kaukolämpöverkko on oma erillinen yksikkönsä ja kaukolämmön hinta on verkkokohtainen. Kaukolämpöverkkojen keskinäinen ympäristövaikutuksellinen vertailu keskittyy nykyisin ensisijaisesti hyötysuhteen ja hiilidioksidipäästöjä kuvaavan ominaispäästökertoimen laskentaan. Tutkimuksen elinkaariarviointi kohdistetaan

toimeksiantajan yhteen kaukolämpöverkkoon, ja tuloksesta riippuen tavoitteena myös on, että jokseenkin vastaava tutkimus olisi monistettavissa tutkimuksen perusteella myös yhtiön muihin kahteenkymmeneen kaukolämpöverkkoon toiminnan vertailtavuuden kehittämiseksi. Tutkimuksen aikana tehtävän tietojenkeruun eli inventaarioanalyysin yhteydessä arvioidaan myös automaatiikan käytön mahdollisuutta tietojenkeruussa ja laskennassa, jotta laaja prosessi voitaisiin toteuttaa resurssitehokkaasti vastaavissa tapauksissa. Tutkimuksesta laadittava raportti ja kehitysehdotukset on tarkoitus kohdistaa liiketoiminnan johdolle ja kehittämisestä vastaaville toiminnan suunnittelun avuksi.

Toimeksiantajalla on käytössään standardin SFS-EN ISO 14001 mukainen sertifioitu ympäristöasioiden hallintamalli. Merkittävien ympäristövaikutusten tunnistaminen on ympäristöjärjestelmän yksi perusedellytyksistä, ja vaikutusten elinkaarinäkökulmaa on vahvistettu vuonna 2015 päivitetystä standardissa, jotta vaikutusten kokonaisuuksien hallintaa voidaan kehittää (SFS-EN ISO 14001:2015, 7). Tavoitteena on välttää tilannetta, jossa esimerkiksi ympäristökuormituksen vähentäminen prosessin yhdessä vaiheessa aiheuttaa lisää tai kokonaan uudenlaista kuormitusta prosessin tai tuotteen elinkaaren toisessa vaiheessa. Käytännön esimerkkinä energiantuotannossa voivat toimia savukaasupesurit, jotka ovat parantaneet laitosten hyötysuhdetta ja vähentäneet ilmaan johdettavia hiukaspäästöjä, mutta samalla kemikaalien ja veden käyttömäärä on lisääntynyt ja prosessiin on syntynyt lauhdevesistä uudenlainen jätevirta.

Tutkimuksessa elinkaariarvioinnin tiedonkeruu kohdistetaan kolmeen osaprosessiin: polttoainesten toimitukseen, lämmön tuotantoon ja lämmön jakeluun. Näiden prosessien panosten eli sisäänmenovirtojen sekä tuotosten eli ulostulovirtojen potentiaaliset vaikutukset sijoitetaan erillisiin vaikutusluokkiin käytetyn vaikutusarviointimenetelmän perusteella, kuten esimerkiksi ilmastonmuutos, luonnonvarojen ehtyminen, rehevöityminen sekä pienhiukkaset, jotka edelleen kytketään vaikutusten haittaluokkiin; ihmisen terveyteen, luonnonympäristöön ja luonnonvaroihin (Antikainen & Seppälä 2012, 10–25). Tiedonkeruu ja edelleen vaikutukset suhteutetaan toiminnalliseen yksikköön, mikä tässä yhteydessä on asiakkaalle toimitettu lämpöenergian megawattitunti (MWh). Tuotantolaitosten ja verkoston rakentaminen rajautuvat tutkimuksen ulkopuolelle. Tarkemmin tutkimuksen suoritus on kuvattu luvussa 5.



## 2.2 Tutkimusmenetelmän määrittely

Elinkaariarvioinnin lukuisista käyttötarkoituksista ja rajauksista johtuen yhtä täsmällistä, kaiken kaikenkattavaa ja aukotonta elinkaariarviointia ei todennäköisesti ole olemassakaan. Elinkaariarvioinnin laatiminen on sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista tapaustutkimusta, missä tutkimuskohdetta tarkastellaan systemaattisesti, järjestelmällisesti, useilla eri menetelmillä, dokumentoidaan sekä jaetaan tutkimuksen lopputulos (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2014, 22). Tietojenkeruu vaatii laaja-alaista tietojen koostamista ja usein myös laskentaa. Tutkimuksen kvantitatiivinen osuus tulee esiin etenkin inventaarioanalyysissä sekä tulosten analysoinnissa, missä kohde määritetään pääasiassa arvoihin ja lukuihin pohjautuen (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2014, 58).

Tavoitteina tapaustutkimukselle ovat esimerkiksi ymmärryksen lisääminen, tarkan kuvauksen tuottaminen, ilmiöiden selittäminen tai ideoiden tuottaminen. Tarkemmin tutkimuskohteen asiayhteyteen liittyvän eli kontekstuaalisen lähestymistavan tavoitteena on tapauksen syvempi ymmärtäminen osana tiettyä ympäristöä, mikä edesauttaa myös kiinnostusta tutkimusta ja siitä saatavia tuloksia kohtaan. (Eriksson & Koistinen 2014, 3–15.) Varsinaista hypoteesia eli olettamusta tutkimuksen tuloksesta ei tehdä (Ojasalo ym. 2014, 37) ja tulosten laadukas analysointi ja raportointi voivatkin osoittautua yhdeksi tutkimuksen haasteellisimmiksi vaiheista (Eriksson & Koistinen 2014, 33). Tiivistetysti tapaustutkimus mahdollistaa monipuoliset tiedonhankintamenetelmät, jolloin niissä voidaan hyödyntää vaihtelevia, kulloiseenkin tilanteeseen parhaiten soveltuvia tutkimusmenetelmiä, ja siten edistää syvällistä ja yksityiskohtaista perehtymistä tutkimustapaukseen.

Tapaustutkimus on toteutustavaltaan monialainen ja iteratiivinen prosessi. Tämä tarkoittaa, että tutkimuksen edetessä arvioidaan, joudutaan palaamaan aiempaan, tarkentamaan mahdollisesti tutkimuskysymyksiä ja toistamaan tutkimuksen samoja vaiheita useampaan kertaan. (Eriksson & Koistinen 2014, 30.) Vastaavasti elinkaariarvioinnissa viitekehyksenä käytettävä standardi SFS-EN ISO 14040 tuo esille vahvasti tutkimuksen iteratiivisen luonteen, mikä voi vaatia tutkimuksen soveltamisalan ja tietojen muokkaamista tutkimuksen edetessä, jotta työlle asetetut vaatimukset on mahdollista savuttaa. Samalla tutkimuksen yksittäisissä vaiheissa saadut tulokset hyödyntävät muita vaiheita. (SFS-EN ISO 14040:2006, 15–19.)

Tapaustutkimuksen työvaiheet koostuvat tutkimuskysymysten, -asetelman ja -kohteen määrittelystä. On selvitettävä käytettävien teoreettisten käsitteiden ja näkökulmien lisäksi aineiston ja tutkimuskysymysten välinen yhteys. Omana työvaiheena on myös päätökset analyysi-, tulkinta- ja raportointitavoista. (Eriksson & Koistinen 2014, 30.) Samoin myös elinkaariarvioinnissa (LCA) painotetaan huolellisten tutkimuskysymysten asettelua ja jäsenneilyä tutkimuskohteen rajausta tulosten käyttökelpoisuuden varmistamiseksi. Esimerkiksi tutkittaessa useamman toteutustavan tai tuotteen vaikutuksia vertailumielessä, tulee tutkimuksen rajaukset olla toisiaan vastaavat, jotta tuloksia voidaan hyödyntää. Tutkimuksen ensimmäisiä vaiheita on päättää tarkoin raportoinnin kohde (kenelle, miksi), minkä jälkeen seuraa varsinainen tutkimusaineiston keruu, käsittely, analysointi ja niistä raportointi. (SFS-EN ISO 14040:2006.)

Elinkaariarviointien variaatiot rajauksissa ja käyttötarkoituksissa heikentävät tulosten vertailukelpoisuutta. Tutkimuksen rajauksella sekä tiedon luotettavuudella on merkittävin vaikutus tulosten käytettävyyteen, eikä millään käytössä olevista elinkaari menetelmistä saavuteta täydellistä ja kaiken kattavaa lopputulosta, sillä tulokset ovat aina yksinkertaistus tutkittavasta asiasta. (Antikainen & Seppälä 2012, 53.) Samalle tuotteelle tehtyjen elinkaariarviointien lopputulokset voivat olla erilaiset johtuen erilaisesta tavoitteenasetannasta, prosessirajauksesta, käytetystä toiminnallisesta yksiköstä tai oletuksista (Curran 2015). Lähtötietojen luotettavuudella ja mahdollisten erilaisten tietokantojen soveltuvuudella ja käytettävyydellä on huomattava vaikutus arvioinnin lopputulokseen.

### **2.3 Tutkimuksen eettinen arviointi**

Tutkimuksen suorittamisessa noudatetaan Tutkimuseettisen neuvottelukunnan hyvän tieteellisen käytännön linjauksia, joita ovat luotettavuus, rehellisyys, arvostus ja vastuunkanto (Tutkimuseettisen neuvottelukunta 2023). Lähde- ja tutkimusaineistona käytetään ennakoarvion mukaan puolueetonta ja luotettavaa tietoa. Tutkimusaineisto perustuu mittaukseen ja muuhun toimeksiantajayhtiön tuottamaan tietoon, ja mahdolliset epävarmuudet tuodaan tutkimuksessa esille.

Tutkimuksen suorittamisesta on laadittu sopimus toimeksiantajan kanssa. Tiedonkeruussa hankittuja yritystä koskevia yksityiskohtaisia tietoja ja saatuja tuloksia, jotka ovat kilpailullisessakin mielessä yhtiön luottamuksellista tietoa, ei julkaista julkisessa versiossa. Tutkimusta varten koostetut

tiedot säilytetään toimeksiantajan tiedonhallintajärjestelmässä. Muuhun kuin laskutus- tai raportointitietoihin liittyvät yksittäiset tietotarpeet ovat peräisin asiantuntijoilta ja heitä informoidaan tietojen käyttötarkoituksesta, vastaukset pyydetään kirjallisesti ja ne säilytetään asianmukaisesti. Tutkimusaineistossa ei käsitellä EU:n yleisen tietosuoja-asetuksen (2016/679) eli GDPR:n mukaisia henkilötietoja, eikä aineiston hankinta aiheuta erityistä tarvetta tarkempaan eettiseen arviointitarpeeseen. Tutkimuksen teoriaosuudessa hyödynnetään luotettavana pidettäviä tutkimusraportteja, aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, standardeja sekä lainsäädäntöä ja niiden yhteyteen merkitään asianmukaisesti alkuperäiset lähdetiedot.

### **3 Kohti vähähiilistä ja kestävää yhteiskuntaa**

#### **3.1 Lämpileikkaava elinkaarinäkökulma**

Suomi on sitoutunut jo useamman hallitusohjelman ajan hiilineutraalisuuteen vuoteen 2035 mennessä ja luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen (Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019; Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023.) EU:n biodiversiteettistrategian ja hyväksyntäprosessissa olevan ennallistamisasetuksen tavoitteena on pysäyttää luontokato ja biodiversiteetin köyhtyminen vuoteen 2030 mennessä (Biodiversity strategy for 2030). Asetus ei suoranaisesti tule asettamaan velvoitteita tai ohjaustoimia yrityksille, mutta yrityksen toiminnan palveluista tai tuotteista mahdollisesti tehtävä elinkaariarviointi voi edistää hahmottamaan toiminnan monialaisia vaikutuksia. Enää ei riitä, että toiminnan vaikutuksia tarkastellaan vain laitosalueen aitojen tekemällä rajauksella, vaan mukaan on otettava koko ketju ja pyrittävä kokonaisuuksien vaikutustasojen hallintaan.

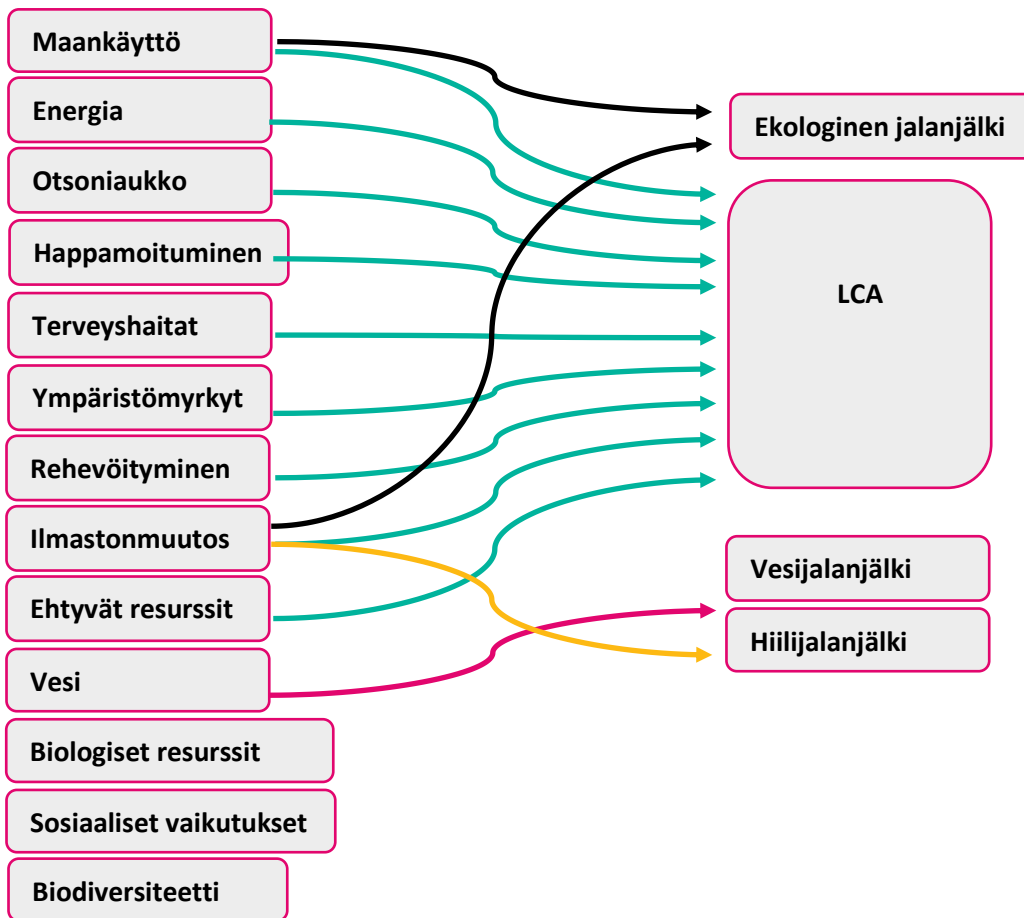
Varsin yleisesti käytössä oleva ja vuonna 2015 päivittynyt ympäristöjärjestelmästandardi SFS-EN ISO 14001 asettaa myös vaatimukseksi standardin soveltamisalan toimintojen ympäristönäkökoh-  
tien tunnistamisen ja vaikutusten arvioinnin ensisijaisesti niihin elinkaaren vaiheisiin, joita organisaatio voi hallita ja vaikuttaa. (SFS-EN ISO 14001:2015, 10.) Elinkaarinäkökulman huomioimiseen ja elinkaariarvioinnin suorittamiselle ei varsinaisesti ole asetettu ympäristöjärjestelmästandardissa laatuvaatimuksia, mutta erilaisten elinkaariarviointien laadintaan tarkoitettut standardit antavat ohjaavan, säännönmukaisen ja kattavan pohjan. Nämä kokonaisvaltaiset ja lämpileikkaavat teemat haastavat yrityksiä kehittämään oman toiminnan ympäristövaikutusten mittaamista, raportointia ja tavoitteiden asiantaa. On tunnettava vaikuttavimmat tekijät, jotta resurssit voidaan kohdentaa

tehokkaasti haitallisten vaikutusten vähentämiseksi. Mittaustulosten vertailukelpoisuuden haasteena on laskenta- ja määrittystapojen kirjavuus, joiden yhtenäistämiseksi on kehitettävä ja sovitettava yhteisiä menettelytapoja, laskentaperiaatteita sekä löydettävä tarkoitukseen parhaiten soveltuvat käytännöt.

Tuotteen tai palvelun ympäristövaikutusten arviointia voidaan lähestyä useista näkökulmista ja useita eri menetelmiä hyödyntäen. Tällä hetkellä laajimmin esillä on hiilijalanjälkilaskenta, mikä keskittyy nimensä mukaisesti tutkimaan tuotteen tai palvelun kokonaisvaltaista kasvihuonekaasupäästöjen määrää, mitkä ilmaistaan lopulta hiilidioksidiekvivalentteina. Siinä huomioidaan toiminnasta aiheutuvat suorat ja epäsuorat päästöt, kuten toiminnassa käytetyn ostoenergian päästöt sekä käytettyjen materiaalien valmistuksesta että hävittämisestä aiheutuvat päästöt. (SFS-EN ISO 14064:2019; SFS-EN ISO 14067:2018.) Maailman vesitalouden kiristyessä entisestään myös standardin SFS-EN ISO 14046 mukaisen vesijalanjälkilaskennan tärkeys kasvaa entisestään.

Kuviossa 1 esitetty eri tutkimusluokkien ja eri menetelmien suhdetta elinkaariarvioon ja taulukkoon 1 on koostettu ympäristövaikutus selvityksiä ohjaavia standardeja. Kuvio 1 osoittaa myös elinkaariarviointiprosessin (LCA) lähestymistavan, missä toiminnasta aiheutuvan luontohaitan ajureita tarkastellaan laaja-alaisesti.

Luonnon monimuotoisuusvaikutusten merkittävyyden vahvistuessa on odotettavissa, että myös biodiversiteettivaikutusten laskentamenetelmät tulevat kehittymään ja vahvistamaan asemaa muun muassa EU:n biodiversiteettistrategian myötä. Kun toimintojen kokonaisvaltaisten vaikutusarviointien rooli vahvistuu, kehittyvät varmasti myös toimintojen sosiaalisiin vaikutusten määrittelyn menetelmät.



Kuvio 1: Eri ympäristöselvitysten suhde ja painopisteet (Antikainen 2010, 62, muokattu)

Elinkaariarvioinnissa tunnistetaan systemaattisesti tuotejärjestelmän elinkaaren aikaiset panokset ja tuotokset, sekä koostetaan ja arvioidaan niiden potentiaaliset ympäristövaikutukset (SFS-EN ISO 14040:2006, 9). Kokonaisvaltainen ja määritellyn elinkaaren kulkeva vaikutustenarviointi voi auttaa löytämään aidosti vähiten ympäristöä kuormittavan tuotteen. Tämä on tärkeää etenkin tapauksissa, joissa vaikutusten vähentäminen tuotteen elinkaaren alkupäässä, voi puolestaan aiheuttaa enemmän vaikutuksia tuotteen elinkaaren myöhemmissä vaiheissa. (ILCD Handbook, International Reference Life Cycle System 2010, IV.) Tutkimuskohteen rajauksen yhteydessä voidaan vaikuttaa, onko kyseessä täydellinen kehdoista hautaan tutkimus vai rajataanko esimerkiksi raaka-aineiden hankinta ulkopuolelle.

Taulukko 1: Ympäristövaikutusten määrittämisessä hyödynnettävät standardit

Standardin nimi	Keskeinen sisältö ja käyttökohde
SFS-EN ISO 14001 Ympäristöjärjestelmät. Vaatimukset ja niiden soveltamisohjeita	Yleinen viitekehys organisaation ympäristöjärjestelmälle. Elinkaarinäkökulma on mukana organisaation vaikutusalueen ympäristönäkökohtien määrittelyssä (ympäristöjärjestelmä).
SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet	Kuvaa elinkaariarvioinnin periaatteet ja pääpiirteet (elinkaariarviointi).
SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja	Opastaa elinkaariarvioinnin suorittamisen päävaiheet (elinkaariarviointi).
SFS-EN ISO 14046 Ympäristöasioiden hallinta. Vesijalanjälki. Periaatteet, vaatimukset ja ohjeet	Määrittelee periaatteet, vaatimukset sekä ohjeet vesijalanjäljen arvioimiseksi elinkaariarvioinnin perusteella (vesijalanjälki).
SFS-EN ISO 14064 – 1:2019 Greenhouse gases. Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals (ISO 14064-1:2018)	Määrittelee periaatteet ja opastaa organisaation kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan ja raportointiin (hiilijalanjälki).
SFS-EN ISO 14064 – 2:2019 Greenhouse gases. Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements (ISO 14064-2:2019)	Kuvaa päästöjen vertailutason määrittämisen, raportoinnin ja seurannan vaatimukset (hiilijalanjälki).
SFS-EN ISO 14064 – 3:2019 Greenhouse gases. Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements (ISO 14064-3:2019)	Kuvaa vaatimukset, jotka koskevat kasvihuonekaasuinventaaroihin ja tuotteiden hiilijalanjälkiin liittyvien kasvihuonekaasuja koskevien väittämien todentamisesta (hiilijalanjälki).
SFS-EN ISO 14067:2018 Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjärjen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet	Ohjeistaa toiminnallisen yksikön hiilijalanjäljen tai ilmoitetun yksikön osittaisen hiilijalanjäljen laatimiseen (hiilijalanjälki).

### 3.2 Elinkaariarvioinnin hyödyntäminen

Elinkaariarviointien historia ulottuu aina 1960-luvulle asti (Curran 2015), mutta on kestänyt lähes viisikymmentä vuotta havaita merkittäviä kehitysaskelaita menetelmän käyttökelpoisuuteen liittyen. Elinkaariarviointien toteuttamisen tueksi on kansainvälinen ISO standardointijärjestö laatinut 14040 -sarjaan kuuluvia standardeja, jotka pohjautuvat niin sanottuun panos – tuotos malliin. Täydellinen standardeihin pohjautuva elinkaariarviointi kattaa raaka-aineiden hankinnasta, niiden prosessoinnista ja kuljetuksesta, tuotteen valmistamisesta, jakelusta, käytöstä, uudelleenkäytöstä, huollosta, kierrätyksestä sekä käytöstä poistosta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Selvitys on kokonaisuudessaan erittäin laaja, mutta tarvittaessa ja tarkoituksenmukaisesti rajattuna se voidaan

toteuttaa suppeampana, tiettyyn prosessiin osaan, tiettyyn päästöön tai ympäristövaikutukseen kohdistettuna. (Niemistö, Myllyviita, Holma, Jáchym, Sironen, Antikainen & Leskinen 2017, 10.) Kuten jo aiemmin on tullut esille, on arviointien keskinäinen vertailu haastavaa johtuen erilaisista rajauksista, mutta täysin toisiaan vastaavalla rajauksella tehtynä arviointien keskinäinen vertailu on mahdollista, ja näin ollen se on etenkin toiminnanharjoittajien ja yksi suunnittelun työkaluista.

Suomen ympäristökeskuksen julkaisemassa raportissa (Antikainen ja Seppälä 2012) on tuotu esille kokonaisvaltaisten ympäristövaikutusten arvioinnin yrityksille kohdistuvaa hyötyä. Elinkaariarvioinnin avulla saatuja tuloksia voidaan käyttää strategian määrittämisessä sekä operatiivisen toiminnan tukemisessa. Elinkaarimenetelmän avulla voidaan löytää keinoja ympäristövaikutusten vähentämiseksi sekä materiaali- ja energiatehokkuuden edistämiseksi. Systemaattisen tarkastelun pohjalta on usein löydettävissä uusia konkreettisia keinoja tuoda toiminnan ympäristövaikutuksia koko organisaation tietoisuuteen ja näin edistää ympäristöstrategian jalkautumista. Elinkaariarvioinnin avulla on mahdollista löytää kilpailuetuja kehittämällä tuotantoprosesseja ympäristöystävällisempään suuntaan. (Antikainen ja Seppälä 2012, 10–25.) Jo pelkästään turhan energian- tai vedenkulutuksen konkretisoiminen ja säästöpotentiaalinen osoittaminen pidemmältä ajalta on helppo osoittaa taloudellisesti, minkä lisäksi ympäristövaikutusten osoittaminen motivoi henkilöstöä kiinnittämään huomiota pieniin sivuvirtoihin ja etsimään tehostamiskohteita.

Kokonaisvaltainen selvitys antaa luotettavan perustan olemassa olevan toiminnan kuvaamiseen ja tulevaisuuteen suuntaavan toiminnan muutostarpeiden konkretisoimiseen. Numeraaliset tulokset osoittavat usein selkeästi kohteet, joihin kehitystoimintaa kannattaa kohdistaa ympäristövaikutusten pienentämiseksi ja siten tulokset ovat helpommin jalkautettavissa läpi organisaation, jolloin toiminnan ohjausta voidaan toteuttaa laatimalla mittareita ja asettamalla tavoitteita. Toisaalta elinkaariarvion laatiminen voi toimia tärkeänä suunnitteluperusteena uusille yrittäjille ja tuotteiden valmistajille. Sen avulla saatuja tietoja voidaan hyödyntää elinkaarikustannusten (LCC, Life cycle cost) määrittämisessä ja suunnitteluvaiheen yhteydessä voidaan parhaiten vaikuttaa myös elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 48).

Elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset sekä elinkaarikustannukset ovat olleet vahvasti kiertotalouskeskustelussa mukana. Kiertotaloudessa tavoitellaan tuotteiden elinkaaren pidentämistä, neitseellisten luonnonvarojen säästäminen ja siten ympäristövaikutusten, etenkin hiilidioksidipäästöjen pienentämistä liiketoiminnallisesti kannattavalla tavalla (Mitä kiertotalous on; Kiihdytämme siirtymää kestäväan kierto- ja biotalouteen). Elinkaarinäkökulmasta katsottuna kiertotaloutta toteuttamalla voidaan vähentää etenkin jätteiden määrää ja niistä aiheutuvia haitallisia ympäristövaikutuksia sekä parantaa energiatehokkuutta. Yritysten kilpailukyvyn näkökulmasta kiertotalouden laajamittaisen toteutumisen haasteena ovat olleet aiheutuvat kustannukset. Toimiva kiertotalous tulisi voida toteuttaa kustannustehokkaasti, jotta kannattava liiketoiminta mahdollistaa myös toiminnan kehittämisen.

Yritysten toimintojen ympäristövaikutukset ovat saaneet viimeisten vuosien ajan konkreettista arvoa ja yritystoimintaa ohjaavaa taloudellista vaikutusta. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2020/852 Kestävää sijoittamista helpottavasta kehyksestä asettaa ympäristötavoitteita, joiden avulla on tarkoituksena osoittaa kestävä toiminta ja siten saada rahoitusmarkkinat edistämään ympäristön kannalta kestävämpiä ratkaisuja. 9 artiklassa esitetyistä tavoitteista esimerkiksi ilmastonmuutoksen hillinnällä, vesivarojen ja merten luonnonvarojen kestäväällä käytöllä ja suojelulla, siirtymisellä kiertotalouteen, ympäristön pilaantumisen ehkäisemisellä ja vähentämisellä sekä biologisen monimuotoisuuden suojelulla on yhtymäkohtia elinkaariarvioinnissa huomioitaviin vaikutuksiin sekä toiminnan kestävyden ja vastuullisuuden osoittamiseen. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2020/852, 9 artikla.)

Kallunki (2022) tuo teoksessaan Tilinpäätösanalyysi esille myös, että ei kuitenkaan ole täysin selvää, johtaako yrityksen vastuullisuus suoraan liiketoiminnan kannattavuuden parantumiseen vai perustuuko menestyminen pikemminkin pääomien kohdistumiseen vastuullisiksi pidettyihin yrityksiin (Kallunki 2022, 239). Toisaalta vastuullisina pidetyt yritykset ovat myös paremmin varautuneet riskeihin ja huomioivat kattavammin ympäristöasiat, jolloin niiden kyky vastata muuttuviin tilanteisiin on parempi (Andriuskevicius & Streimikiene 2022). Elinkaariarvioinnin kehittäminen jatkossa laajemmaksi, perinteisen vastuullisuusajattelun kaikki näkökulmat (ympäristöllinen, taloudellinen ja sosiaalinen) huomioivaksi selvitykseksi on näin ollen kannatettavaa.



Standardiin perustuvan elinkaariarvioinnin toteutustyössä vaadittavien tietojen kattava keruu voi tuoda esille myös kehityskohteita liittyen yrityksen raportointiin ja toiminnan mittaamiseen. Mitä tarkempaa ja primaarisempaa tieto on, sen luotettavampi on arvion tulos ja sen paremmin tietoja voidaan hyödyntää monialaisesti. Yksi mahdollinen hyödyntämiskohde arviointiin kerätyille tiedoille voi olla suurten yrityksen kestävyysraportointi eli niin kutsuttu CSRD-raportointi (The Corporate Sustainability Reporting Directive). Direktiivin tarkoituksena on toisaalta kannustaa yrityksiä toiminnan vastuullisuuden kehittämiseen ja toisaalta auttaa sijoittajia ja kuluttajia vertailemaan yritysten suorituskykyä muilla kuin suoraan taloudellisilla mittareilla (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi yritysten kestävyysraportoinnista 2022/2464).

Tällä hetkellä elinkaariarviointit perustuvat yhtiön omaan vapaaehtoisuuteen, eikä niiden laadinnalle ole velvoitteita. Tammikuussa 2024 Euroopan parlamentti hyväksyi direktiivin, minkä tarkoituksena on estää niin sanottua viherpesua ja siksi tuotteiden ympäristölupaukset tulisi jatkossa pystyä osoittamaan ja varmentamaan vain virallisiin sertifiointijärjestelmien ja tieteellisiin perusteisiin (MEPs adopt new labelling greenwashing and misleading product information, 2024). Elinkaariarvioinnin tai tietyn vaikutusalueen tietojen keruun systematisointi voi näin ollen edesauttaa jatkossa ympäristöväittämien oikeaksi todistamisessa ja kehittää myös yrityksen kyvykkyyttä markkinointilupausten laadintaan mittaustulokseen pohjautuen.

Elinkaariarviointi on systemaattinen tapa tarkastella kulloiseenkin tilanteeseen soveltuvalla rajauksella aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja mahdollisista strategisista päätöksistä aiheutuvia muutoksia. Tärkeintä on, että ennen arvioinnin laatimista määritellään selkeästi millaiseen käyttöön selvitystä on tarkoitus hyödyntää, jotta käyttötarkoitus voidaan huomioida laadinnan aikana mahdollisesti tehtävien lisärajausten vuoksi.

### **3.3 Energiantuotannon ympäristövaikutusten rajauksen ja tulosten käytön haasteet**

Yleisesti ympäristövaikutusten arviointi, kuten myös standardin vaatimusten mukaisesti tehtyjen elinkaariarviointien tulosten hyödyntämisen haasteena on heikko vertailukelpoisuus, mikä johtuu soveltamisalan erilaisesta rajauksesta sekä lähtötietojen laadusta. On varsin harvinaista, että eri tahojen tekemät ja eri tuotteille tehdyt elinkaariarviointit olisivat keskenään lähellekään vertailu-

kelpoisia. Standardi SFS-EN ISO 14040 painottaa, että yrityksen näkökulmasta oleellista on määrittää tarve ja tarkoitus elinkaariarviolle ja sen soveltamisala. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus pääasiassa selvittää, toimisiko elinkaariarviointi verkkokohtaisena ympäristömittarina yhtiön kahdenkymmenelle kaukolämpöverkolle. Erona moniin muihin käytettäviin ympäristövaikutusten arviointimenetelmiin, standardiin pohjautuvassa elinkaariarvioinnissa käytetään toiminnalliseen yksikköön perustuvaa suhteellista lähestymistapaa (SFS-EN ISO 14040:2006, 17), mikä tarkoittaa määrittelyssä juuri kyseiselle toiminnanharjoittajalle hyödyllisimmän ja vertailukelpoisimman toiminnallisen yksikön valintaa. Täydellinen elinkaariarviointi kattaa koko tuotteen tai palvelun elinkaaren huomioimatta tarkemmin aikaperspektiiviä. Useissa tapauksissa elinkaari voi olla kymmeniä vuosia, joten kehityksen tuomia muutoksia voi olla vaikea huomioida. (Kortelainen 2021, 31.)

Osana edellisen hallitusohjelman toteuttamista, Suomessa tulee voimaan vuoden 2025 alussa uusi rakentamislaki, missä yhtenä uudisrakennuksen lupakriteerinä on elinkaariarviointi, minkä tulee sisältää myös rakennuksen elinkaaren aikainen energiankäyttö (Hallituksen esitys 139/2022). Lakiin on jo vireillä niin sanottu korjaussarja, joka rajaa ilmastaselvitysvelvoitteisia rakentamishankkeita (Luonnos hallituksen esitykseksi rakentamislain muuttamisesta). Nopeasti vireille laitetut muutokset voivat kertoa osittain ilmasto- ja ympäristöselvitysten laatimisen haasteellisuudesta ja heikosta vertailukelpoisuudesta. Energiantuotantomuodot ovat suuren murroksen alla ja tätä, esimerkiksi rakentamisluvan elinkaariarvioinnissa käytettävän kaukolämmön päästöjen laskentaskenaarion haastetta on tutkittu Energiategollisuus ry:lle tehdyssä diplomityössä Kaukolämmön päästöjen huomioiminen rakentamisen ohjauksessa. Työssä todetaan, että laskennassa käytettävän kansallisen keskimääräisen kaukolämmön ominaispäästökertoimen sijaan tarkemman laskentatuloksen antaisi verkkokohtainen päästötieto, koska kaukolämmön päästötaso muuntuu vähähiiliseksi vaihtelevasti riippuen kaukolämpöverkosta. Rakennusten elinkaarilaskennassa esitetäänkin käytettäväksi esimerkiksi aluekohtaista kaukolämmön ympäristöselostetta. (Huttunen 2022, 17–35.)

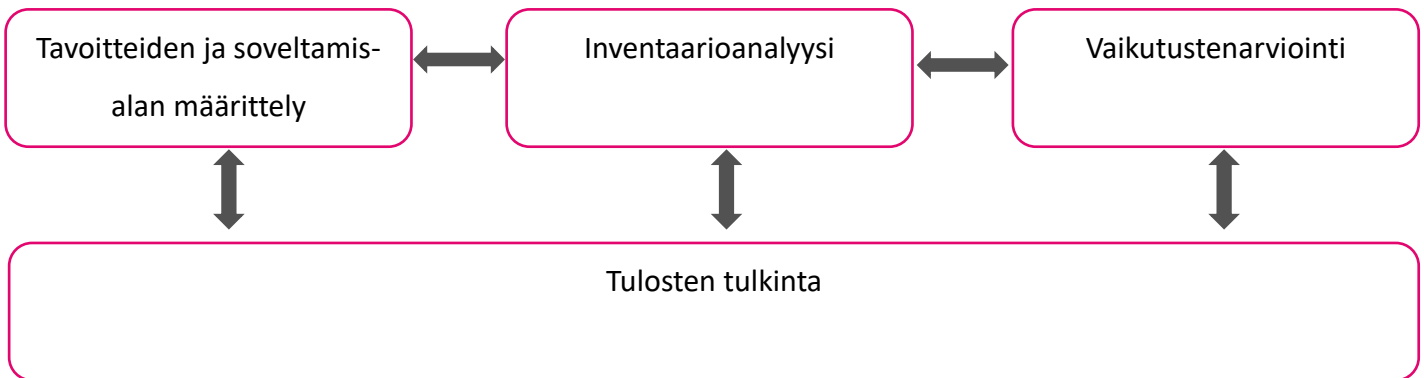
Kaukolämmön kansallisen päästökertoimen laskentaa ja käyttöä on puolestaan perusteltu Suomen ympäristökeskuksen julkaisussa Kaukolämmön ja kaukokylmän vähähiilisyyden arvioinnin vaihtoehdot osana rakennuksen ilmastaselvitystä. Siinä perustellaan valtakunnallisen kertoimen selkeyttä ja verkkokohtaisesti määriteltävän kertoimen työmäärää ja vertailukelpoisuuden heikoutta. Vaikka paikallisten kaukolämpöverkkojen päästökertoimet ovat tänä päivänä varsin

vaihtelevat, pienenee selvityksen mukaan niiden vaihteluväli energiantuotannon siirtyessä tulevien vuosien aikana nopeasti kohti hiilineutraalia energiantuotantoa. (Häkkinen 2022, 28–54.)

Energiantuotanto on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde (Tilastokeskus, Kasvihuonekaasupäästöt). Kansallisesti kaukolämmön päästöjä raportoidaan primaarisen polttoainekäytön ja ominaispäästökertoimen avulla. Kerroin vaihtelee kaukolämpöverkkokohtaisesti, sillä useissa kaukolämpöverkoissa lämpö tuotetaan 100 %:sti puulla ja osassa käytetään vielä kivihiiltä, turvetta ja muita fossiilisia polttoaineita. (Häkkinen 2022, 4–17.) Rakennushankkeeseen ryhtyvän ja lupahakemukseen elinkaari vaikutusta laskevan tulisi pystyä luottamaan lähtötietoihin ja tulevaisuuden päästöskenaarioon. Selkeän valtakunnallisen kertoimen ajantasaisena pitäminen ja tulevien hiilineutraalisuustavoitteiden huomioimisella on ratkaiseva asema rakennusten elinkaaren aikaisten päästöjen laskennassa, kun huomioon otetaan rakennuksen energiankäyttö. Mikäli käytettäisiin tarkempaa rakentamisalueelle määriteltyä kaukolämmön päästökerrointa, olisi tulos tarkempi.

## 4 Elinkaariarvioinnin yleisrakenne

Standardin SFS-EN ISO 14040:2006 mukainen elinkaariarviointi (Life cycle analysis, LCA) tarkoittaa yksinkertaistettuna tuotteen tai palvelun potentiaalisia ympäristövaikutuksia kulloinkin määritellyn elinkaaren aikana. Analyysi perustuu panos – tuotos malliin, mikä tarkoittaa prosessiin käytettyjen materiaali- ja energiavirtojen eli niin sanottujen panosten sekä prosessista syntyvien tuotosten, kuten jätteiden ja muiden päästöjen aiheuttamia potentiaalisia vaikutuksia toiminnalliseen yksikköön suhteutettuna. (SFS-EN ISO 14040:2006.) Elinkaariarviointiselvitys voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen ja arvioinnin tulos on vahvasti sidoksissa käytettävään rajaukseen. Kuviossa 2 on kuvattu elinkaariarvioinnin vaiheet ja seuraavissa luvuissa 4.1 – 4.4 vaiheiden sisältö esitellään tarkemmin.



Kuvio 2: Elinkaariarvioinnin vaiheet (SFS-EN ISO 14040:2006, 16, muokattu)

#### 4.1 Perustana tavoitteiden asettaminen ja rajaus

Arvioinnin ensimmäisessä vaiheessa määritellään muun muassa arvioinnin tekemisen syyt, asetetaan tavoitteet ja käyttötarkoitus, tarkasteluajanjakso sekä selvityksen kohdeyleisö eli kenelle selvitys tehdään (SFS-EN ISO 14040:2006, 15–16). Yksittäisenä erillisenä tutkimuksena suoritettava elinkaariarviointi auttaa tunnistamaan ja löytämään mahdollisuuksia ympäristövaikutusten pienentämiseksi ja toisaalta sen tuloksia voidaan käyttää tukemaan asiakasviestintää. Vertailumielessä tehdyn tutkimuksen tuloksien perusteella voidaan valita toimenpiteet tai suunnitteluratkaisut, mitkä aiheuttavat vähemmän ympäristövaikutuksia tai tutkimustulokset voidaan kohdentaa asiakkaille osoittaen oman tuotteen tai palvelun vaikutusten tasoa kilpailijoihin nähden. (Curran 2015.) Riippuen tavoitteista ja soveltamisalasta, voivat arviointien yksityiskohtaisuus sekä haluttu tarkastelujakso vaihdella merkittävästi, mikä johtaa väistämättä myös tulosten kirjavuuteen. Huolellisesti ja laadukkaasti toteutettu arvioinnin määrittely ja rajaus tuovat selkeyttä sekä laatua arvioinnissa saatuihin tuloksiin. Koska elinkaariarvioinnissa tehdään useita yksinkertaistuksia, on tärkeää suunnitella huolellisesti minkä kaikkien tekijöiden mukaan ottaminen on relevanttia. (SFS-EN ISO 14040:2006, 15–16.)

Tutkimuksen suorittamiseen vaikuttaa ratkaisevasti määrittelyvaiheessa päätettävä lähestymistapa, joka määrittyy arvioinnille asetetun tavoitteen perusteella. Lähestymistapoja on kaksi; haitanjaollinen (attributional) tai seurausvaikutuksellinen (consequential). Haitanjaolisessa lähestymistavassa kuvataan nykytila ja sitä voidaan käyttää toteutumien seurantaan. Seurausvaikutuk-

sellisessa lähestymistavassa on kohteena enemmän tulevaisuus ja toiminnassa tapahtuvat muutokset, jolloin tutkimuksen rajausta on usein laajempi. Seurausvaikutuksellinen lähestymistapa palvelee pidemmän ajan strategista päätöksentekoa. (ILCD Handbook International Reference Life Cycle System 2010, 70–71.)

Elinkaariarvioinnin tavoitteen ja lähestymistavan lisäksi on määriteltävä tutkimuksen rajausta sekä toiminnallinen yksikkö. Selkeästi osoitetun rajauksen avulla osoitetaan mitkä prosessit ja toiminnot tutkimukseen kuuluvat ja mihin toiminnalliseen yksikköön aiheutuvia vaikutuksia suhteutetaan. Toiminnallisella yksiköllä tarkoitetaan vertailuyksikköä, johon panokset ja tuotokset suhteutetaan, ja näin ollen se valitaan huolellisesti kulloinkin tutkimuskohteena olevan toiminnon mukaan. (SFS-EN ISO 14040:2006, 15–19.) Toiminnallisen yksikön valinta vaatii harkintaa sekä suunnittelua ja varsinkin usein yksikkönä toimii esimerkiksi yksi kappale (kpl) tai yksi kilogramma (kg) tutkittavaa tuotetta.

Tutkimuksen rajausta voidaan lähteä myös esimerkiksi muodostamaan sen mukaisesti, mihin toiminnanharjoittajalla tai yrityksellä on mahdollisuus vaikuttaa. Elinkaariarviointi auttaa päätösten tekemisessä, mutta vain harvoin se on puhtaasti päätöksenteon pohjana. Kuviossa 3 on kuvattu elinkaaren aikaisia vaikutuksia ja niiden tasoja. Tarkoituksenmukainen selvitys keskittyykin niihin tekijöihin, joihin toiminnanharjoittaja pystyy parhaiten vaikuttamaan.



Kuvio 3: Elinkaaren aikaisien vaikutusten luokittelu (Chester, Matutte, Bunje, Eisenstein, Pincetl, Elizabeth, Cepeda N.d, 11, muokattu)

## 4.2 Inventaarioanalyysin tietojenkeruu

Elinkaariarvioinnin toisena vaiheena toimii inventaarioanalyysi, josta käytetään myös lyhennettä LCI (Life Cycle Impact). Vaihe on koko arvioinnin merkittävin osa, missä kerätään tutkimuksen suorittamiseen tarvittavat tiedot ja toteutetaan laskenta, jolloin kohteen syötteet ja tuotokset saadaan määrälliseen muotoon ja määrät suhteutetaan edellisessä vaiheessa määriteltyyn toiminnalliseen yksikköön. Mikäli tuotantoprosessissa syntyy useampia kuin vain yhtä tuotetta, on panokset ja tuotokset allokoitava eli kohdistettava kullekin tuotteelle erikseen. (SFS-EN ISO 14040:2006, 21.)

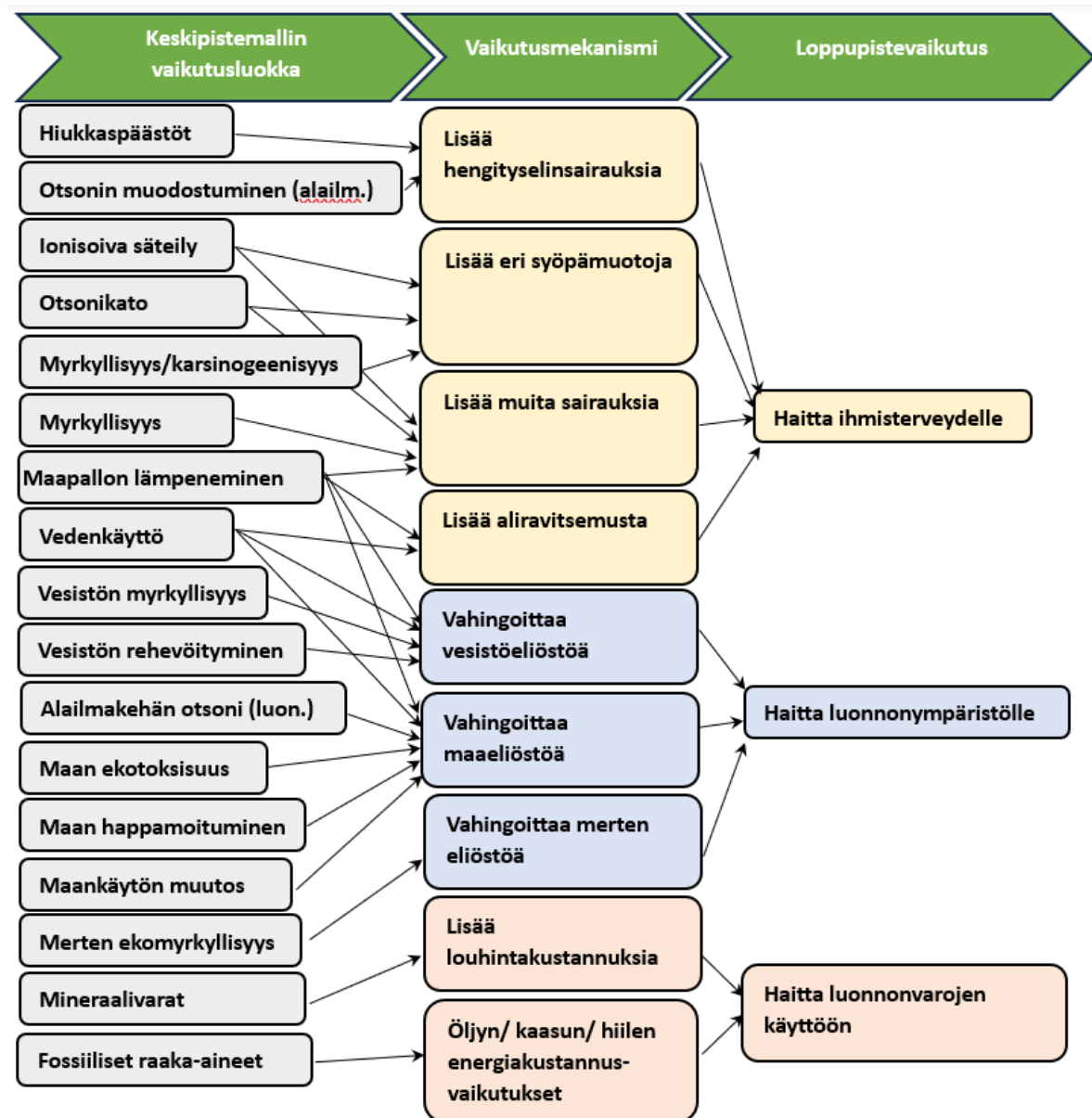
Mitä tarkempia tietoja inventaarioanalyysissä kerätään, sitä tarkempi on myös tutkimuksen tulos. Työn edetessä on kuitenkin mahdollista arvioida resurssien kohdistaminen olennaiseen. Yleisen periaatteen mukaisesti kaikki analyysirajauksen mukaiset prosessit ja niiden virrat tulee huomioida inventaarioanalyysivaiheessa, mutta kaikki virrat eivät ole merkitykseltään niin suuria, jolloin käytettävät tiedot voivat olla epätarkempia tai arviointeja. Arvioinnin osalta merkittäviä tekijöitä, jotka ovat kytköksissä luonnonvarojen käyttöön ja ilmastonmuutokseen. (ILCD Handbook, International Reference Life Cycle System 2010, 102.)

Kohteen rajausten mukaisesti kutakin yksikköprosessia koskevien tietojen selkeä luokittelu on energia-, raaka-aine- ja muut syötteet (1), tuotteet, rinnakkaistuotteet ja jätteet (2), päästöt ilmaan, veteen ja maaperään (3) sekä muut ympäristönäkökohdat (4) (SFS-EN ISO 14040:2006, 21). Tietojen koostamisvaiheessa käytettävän tiedon laadun ja yksiköiden suhteen vaaditaan tarkkuutta ja tiedon alkuperä sekä mahdolliset epävarmuustekijät kannattaakin kirjata ylös, jotta ne osataan huomioida saatavien tulosten arvioinnissa (Niemi ym. 2017, 11).

## 4.3 Vaikutustenarvioinnin tulosten laskenta

Vaikutusten arviointivaiheessa määritetään ja lasketaan prosessin lopulliset ympäristövaikutukset, jotka on määritetty selvityksen tavoitteissa ja soveltamisalassa, tarkoituksena ei näin ole arvioida kattavasti kaikkia ympäristökysymyksiä. Vaikutustenarvioinnista käytetään myös lyhennettä LCIA (Life Cycle Impact Assessment). (SFS-EN ISO 14040:2006, 24.) Inventaarioanalyysivaiheessa kerätyt tiedot analysoidaan vaikutustenarvioinnissa yleensä elinkaariohjelmiston avulla keskipiste- tai loppupistemallinnuksena, jolloin tarkastelun kohteena ovat haitallisten päästöjen ja toimien vaikutuk-

set. Keskipistemallinnuksessa kuvataan inventaariovaiheen alussa määritellyn toiminnallisen yksikön vaikutukset eri vaikutusluokissa eli luontohaitoissa, kuten ilmastonmuutos, rehevöityminen, happamoituminen tai luonnonvarojen käyttö. Loppupistemallinnuksessa puolestaan arvioidaan niiden haittavaikutuksia ihmisen terveyteen, luonnonympäristöön sekä luonnonvaroilta. (Niemistö ym. 2017, 12.) Kuviossa 4 on mallinnettu tutkimuksen yhteydessä käytettyjä vaikutusarvioinnin luokkia.



Kuvio 4: Periaatekaavio inventaariotietojen luokittelusta vaikutusluokkiin (keskipiste) ja haitan kohteisiin (loppupiste), ReCiPe 2016 (LCIA ReCiPe Model 2018, muokattu)

Inventaariossa kerätyt tiedot luokitellaan yhteen tai useampaan vaikutusluokkaan ja muunnetaan yhteiseen vertailukelpoiseen yksikköön karakterisointikertoimien avulla. Näitä tietoja on mahdollista normalisoida tai painottaa, jolloin on mahdollista saada tietoa ympäristövaikutusluokkien suhteellisesta merkityksestä ja keskinäisestä tärkeysjärjestyksestä. (Niemistö ym. 2017, 12.) Arvottaminen on aina arvioinnin tekijän näkemys, jolloin se ei ole standardin SFS-EN ISO 14040 mukaan ole tarkoituksenmukaista.

Standardin mukaan pakollisia osia vaikutustenarvioinnille ovat edellä kerrottujen vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattoreiden ja karakterisointimallien valinta, tulosten sijoittaminen vaikutusluokkiin sekä vaikutusluokan indikaattoritulosten laskeminen. Vapaavalintaisia osia ovat tietojen normalisointi eli indikaattoritulosten suuruusluokan laskeminen suhteessa vertailutietoon, ryhmitely sekä painotus. (SFS-EN ISO 14040:2006, 23.)

Vaikutustenarvioinnin tärkein tavoite on saada koostettua inventaariotietojen pohjalta kokonaiskuva tuloksista, joita voidaan hyödyntää asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Usein vaikutustenarviointiin käytetään erillistä ohjelmaa, joista valtaosa on maksullisia, mutta maksuttomiakin löytyy. Ohjelmistojen käytön yhteydessä on mahdollista, ja usein myös välttämätöntä hyödyntää erillisiä tietokantoja eri panosten sekä tuotosten vaikutuksista, jolloin muun muassa eri karakterisointikertoimet ovat niissä sisään rakennuttuna. Ohjelmien käyttö ei ole pakollista, mutta vaaditaan varsin merkittävää työtä oman erillisen luotettavan laskennan rakentamiseksi. Tässä työssä tutustuttiin täysin ilmaiseksi internetistä ladattavaa ja varsin laajakäyttöistä Open LCA-ohjelmistoa.

#### **4.4 Tulosten arvioinnin tulkintavaihe**

Elinkaariarvioinnissa saaduista tuloksista tulee tulosten tulkintavaiheessa tehdä johtopäätöksiä ja toimenpidesuosituksia. Arvioinnin ensimmäisen vaiheessa on huomioitu saatavien tulosten käyttötarkoitus ja kohdeyleisö, jolloin ne vaikuttavat tulosten esittämismuotoon, yksityiskohtaisuuteen ja kriittiseen arviointitarpeeseen (ILCD Handbook, International Reference Life Cycle System 2010, 6). Tulkintavaiheeseen kuuluu olennaisena osana vaikutusten kokonaisvaltainen arviointi, menetelmän käytön ja lähtötietojen kattavuuden ja johdonmukaisuudesta aiheutuvien epävarmuuksien analysointi, jota kutsutaan myös herkkyysanalyysiksi. Johdonmukaisuuden osalta arvioidaan ovatko olettamukset, menetelmät ja lähtötiedot yhdenmukaisia tavoitteiden ja soveltamisalan



kanssa. (SFS-EN ISO 14040:2006, 24.) Tulosten tulkintaan liittyy usein epävarmuuksia, ja varsinainen tiedon puute voi estää elinkaariarvioinnin tulosten hyödyntämisen päätöksenteossa (Antikainen & Seppälä 2012, 48).

Elinkaariarvioinnin tulkintavaiheeseen kuuluva raportointi koostaa arvioinnin tulokset ja johtopäätökset selvityksen määritellyille kohdeyleisölle soveltuvassa muodossa, kuvaten myös käytettyjä tietoja, menetelmiä ja oletuksia sekä niihin liittyviä rajoituksia. Standardin mukainen elinkaariarvointi edellyttää täyttä läpinäkyvyyttä arvovalintojen, perustelujen ja asiantuntija-arvioiden osalta. Mikäli elinkaariarvioinnin tuloksia käytetään erityisesti vertailuväitteisiin, tulee suorittaa myös kriittinen arviointi. Kriittisen arvioinnin tarkoituksena on todentaa elinkaariarvioinnin metodologialle asetut vaatimukset käytettyjen tietojen, tulkinnan ja raportoinnin osalta. Käytännössä arviointi suoritetaan usein ulkopuolisen asiantuntijan tai asiantuntijoiden avulla. (SFS-EN ISO 14040:2006, 25.)

Tämän tutkimuksen toteutus, saadut tulokset ja niiden johtopäätökset sekä toimeksiantajalle esitetyt toimenpide-esitykset on kuvattu luvuissa 5 ja 6 sekä liitteissä 2–4.

## **5 Kaukolämmön elinkaariarvioinnin kuvaus**

### **5.1 Tutkimuskohteen yritys**

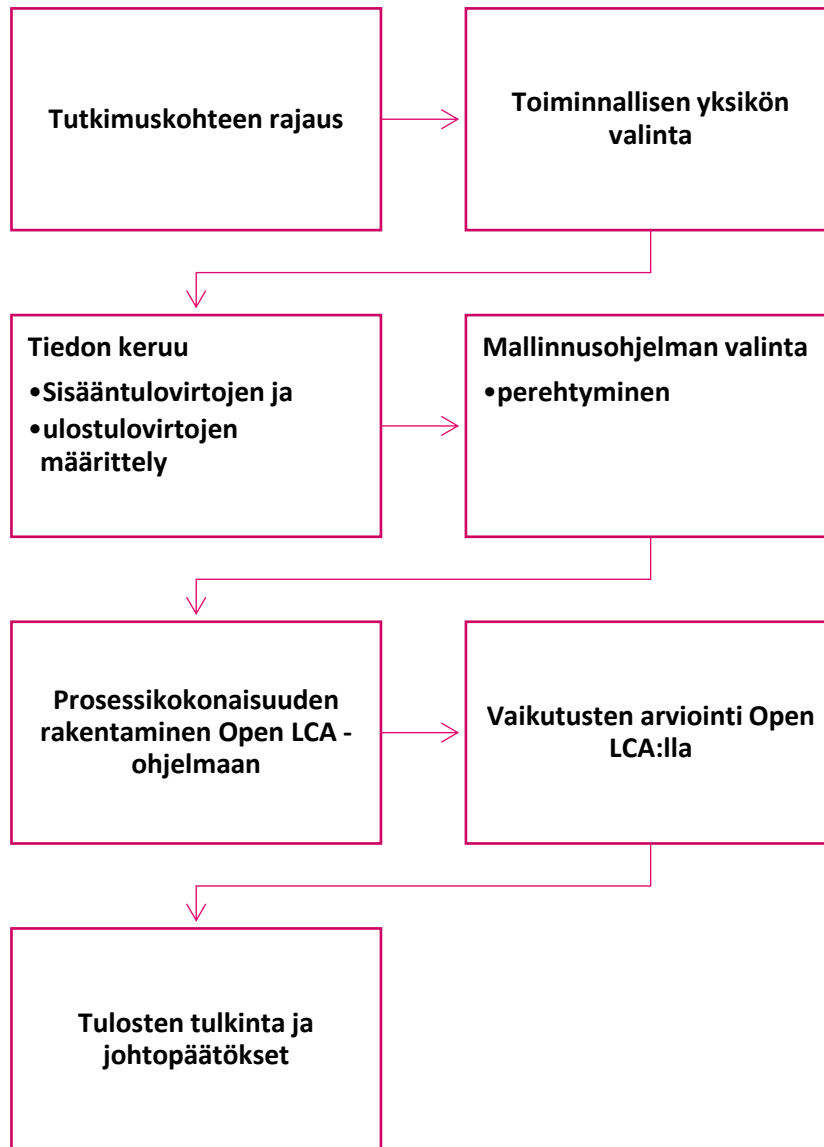
Tutkimuksen toimeksiantajana toimi Savon Voima Oyj ja yrityksen energiantuotannon hiilineutraalisuustavoitteeksi asetettu vuosi 2030. Käytännössä tämä tarkoittaa ensisijaisesti siirtymistä fossiilista polttoaineista uusiutuviin energiantuotantomuotoihin, mutta laajemmin ajateltuna myös koko toimintaketjun tulisi olla hiilineutraali tai ainakin sen päästöt on kyettävä määrittämään mahdollisen hiilidioksidin kompensoinnin hyödyntämiseksi ja aiheutuvien päästöjen hyvittämiseksi. Yhtenä keinona tuotteiden, palveluiden ja toimintojen ympäristövaikutusten systemaattiseen analysointiin on käyttää elinkaariarviointia (Life Cycle Assessment, LCA). Puhtaasti kasvihuonekaasupäästöjen ja edelleen hiilidioksidiekvivalentteina raportoitaviin ilmapäästöihin keskittyy hiilijalanjälki ja sen määrittämiseksi on laadittu omat määrittämenetelmät, mitkä on kuvattu erillisessä Green House Gas Protokollassa sekä hiilijalanjäljen laskentaan kohdistuvissa standardeissa, mitkä on lueteltu taulukossa 1.

Yhtiön kaukolämpöliiketoiminnan liikevaihto oli vuonna 2022 82,9 miljoonaa euroa ja investoinnit 5,6 miljoonaa euroa. Kaukolämpöverkkoa on yhteensä kahdessakymmenessä verkossa 623 kilometriä ja kaukolämpöasiakkaita reilut 5 800. Lämpöenergian myynti oli 1 136 gigawattituntia, josta 93 prosenttia oli tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä. (Savon Voima Oyj, Vuosikertomus 2022, 9.)

Hiilidioksidipäästöjä kuvaava ominaispäästökerroin ( $\text{gCO}_2/\text{kWh}$ ) on yksinkertainen, vertailukelpoinen ja helposti käyttöön otettavissa. Se antaa kaukolämpöasiakkaille soveltuvan tiedon kaukolämmön hiilidioksidipäästöistä, mutta tarkempi elinkaariarviointi voi olla ennen kaikkea kaukolämmön tuottajalle menetelmä löytää kehittämiskohteita toiminnan ympäristöystävällisyyden edistämiseksi. Myös kestävän rahoituksen raportoinnin (CSRD) vaatimukseen valmistautuminen on yksi syy tutkia elinkaariarviointimenetelmän soveltuvuutta yrityksen kaukolämpötoiminnassa.

Tutkimuksen lähestymistapana on haitanjaollinen, sillä tavoitteena oli selvittää ensisijaisesti yksilöllisen kaukolämpöverkon tuotteen (kaukolämmön) nykytilan vaikutuksia ja arvioida menetelmän käytettävyyttä vuositason seurannaksi vertailumielessä muihin yhtiön kaukolämpöverkoihin. Yritys raportoi energiantuotantoyksiköiden toiminnasta ympäristönsuojelu- ja muille viranomaisille lainsäädännöllisten velvoitteiden mukaisesti. Tämän lisäksi yhtiön sisäisessä säännöllisessä tarkastelussa on kaukolämmön ominaispäästökerroin ( $\text{g CO}_2/\text{kWh}$ ), kaukolämpöverkkokohdainen energiantuotantolaitosten hyötysuhde (%), verkostohyötysuhde (%) sekä kaukolämpöverkkojen vesivuotoja kuvaava vaihtuvuuskerroin (vuodot/kaukolämpöverkon tilavuus).

Kuviossa 5 on kuvattu yksinkertaistetusti kaukolämmön elinkaariarvioinnin vaiheet ja vaiheita on tarkemmin kuvattu luvuissa 5.2. – 5.4.



Kuvio 5: Tutkimuksen elinkaariarvioinnin päävaiheet

## 5.2 Kaukolämmön elinkaariarvioinnin rajaaminen

Tutkimuskohteena on Leppävirran taajaman alueella asiakkaille myytävä kaukolämpö. Lämpöä tuotetaan pääasiassa kahdella puuta- ja turvetta käyttävällä kiinteän polttoaineen lämpökeskuskella. Vara- ja huipputehon aikaan käytettävissä on kolme kevyellä polttoöljyllä toimivaa energiantuotantolaitosta sekä yksi hukkalämpöjä hyödyntävä lämpöpumppulaitos. Toisessa päätuotantoyksikössä on lämmön talteenottolaitteistolla varustettu savukaasupesuri. Kaukolämmön polttoaineista vuonna 2023 oli 61 % puuta, 38 % turvetta ja 1 % öljyä. Tutkimuksessa käytettiin vuoden 2022 tietoja ja vastaavien polttoainejakeiden osuudet edellisvuonna olivat 64 %, 34 % ja 2

%. Tutkimuskohteen kaukolämpöverkon CO<sub>2</sub>-ominaispäästökerroin oli vuonna 2023 175 g/kWh ja vuonna 2022 160 g/kWh.

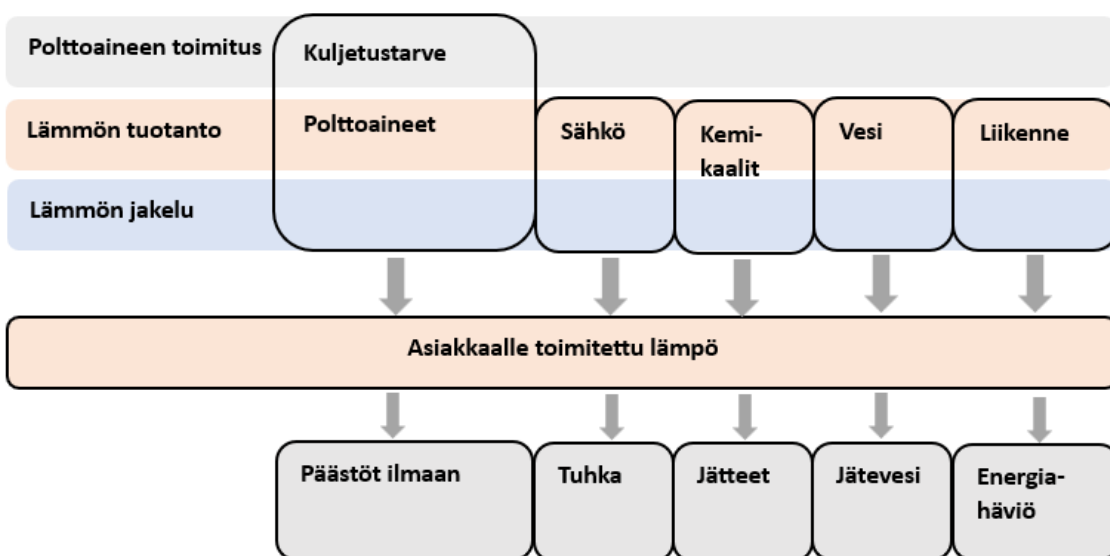
Kaukolämmön jakelu asiakkaille tapahtuu vajaan 26 kilometriä pitkän kaukolämpöverkon kautta asiakkaiden lämmönjakokeskuksille, missä lämpöenergia siirtyy lämmittämään kiinteistöä ja niiden käyttövettä. Polttoainehankinnan periaatteena on valmiin polttoaineen toimitus laitokselle eikä laitoksella toteuteta näin ollen erillistä polttoaineiden käsittelyä tai valmistusta, kuten haketusta. Kiinteät polttoainekuormat punnitaan, niistä otetaan polttoainenäytteet kosteus- ja edelleen lämpöarvon määrittämistä varten. Kuormat puretaan polttoainetaskuihin, joista ne siirtyvät poltettavaksi kuljettimia pitkin kahteen arinakattilaan. Savukaasut puhdistetaan sähkösuodattimella sekä toisen kattilan osalta vielä savukaasupesurilla. Savukaasupesurin lauhdevedet ohjautuvat hulevesiverkostoon.

Elinkaariarvioinnin tarkastelun ulkopuolelle on ensimmäisessä vaiheessa rajattu tuotantolaitosten rakentaminen. Koska tarkastelun kohteena on vaikutukset tutkimuskohteen vuonna 2022 myytyyn kaukolämpöön, on tarkoituksenmukaista kohdistaa analyysi vuosittaisiin polttoaineisiin, lämmön- tuotantoon sekä sen jakeluun. Kaukolämmön elinkaariarvioinnissa on tarkoituksena pystyä kohdistamaan tarkempi tarkastelu niihin painopisteisiin, joihin toiminnanharjoittaja pystyy eniten itse vaikuttamaan. Tämän pohjalta tutkimuksen rajausta päädyttiin supistamaan edelleen, ja mukailen tuotantolaitosten rakentamista, myös kaukolämpöverkon rakentaminen ja materiaalit jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Tutkimuskohteen vuonna verkostoon ei tehty laajoja uudistuksia. Kuten kaukolämpöverkkojen matalalämpöisyyden elinkaarta koskeneessa tutkimuksessa on todettu, on kaukolämpöverkon rakentamisen ja kunnossapidon vaikutukset itse lämmön tuotantoon verrattu merkittävästi alhaisemmat (Feofilovs, Pakere & Romagnoli 2019, 286). Kaukolämpöverkoston pitkäikäisy on noin 40 vuotta ja saneerauksessa purkautuvat materiaalit kierrätetään sekä valtaosa käytetään edelleen puhtaasti materiaalina. Putkien valmistaminen ja hävitys aiheuttavat noin 0,5 % kaukolämpöputken aiheuttamista elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista (Lars & Nielsen, n.d).

Kaukolämpöverkoston rajausta tutkimuksen ulkopuolelle puoltavat myös toiminnanharjoittajan vähäiset mahdollisuudet vaikuttaa suoraan kaukolämpöelementtien valmistukseen, sekä edellä

mainittu tutkimus, minkä mukaan merkittävimmät kaukolämpöverkoston liittyvät ympäristövaikutukset aiheutuvat verkon käytön aikaisista energiavirroista. Vaikka kaukolämpöputkien valmistamista ei oteta selvitykseen mukaan, voidaan kuitenkin yleisellä tasolla todeta valmistajalta saatujen dokumenttien pohjalta, että kaukolämpöputkille suunnitellun laskennallisen elinkaaren aikana merkittävimmät vaikutukset lämmönjakeluverkoston liittyen aiheutuvat lämpöhäviöistä sekä pumppaukseen käytetystä energiasta, joiden osuus on yhteensä 99,4 %. (Lars & Nielsen, n.d). Suurimmat vaikutukset ovat kaukolämpöveden lämmitystavalla ja näin ollen toimenpiteet, joilla energiantuotantoa saadaan ympäristöystävällisemmäksi ja energiatehokkaammaksi aiheuttavat vähiten lämmön jakelun elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia (Feofilovs, Pakere, & Romagnoli 2019).

Tutkimusaineiston koostamisessa keskitytään lämmöntuotannon syötteisiin, kuten energiaan ja veteen sekä prosesseista syntyviin päästöihin, jätteisiin ja tuotteisiin, jotka koostetaan tietojenkeruuvaiheessa. Tavoitteena on käyttää mahdollisemman paljon tietolähteitä, joita toiminnanharjoittajalla olisi käytettävissä jokseenkin automaattisesti muiden kaukolämpöverkkojen vastaavatyypisissä ja vertailumielessä tehtäviin selvityksiin. Primaarisina tiedonlähteinä hyödynnetään muun muassa tutkimuskohteen kaukolämpöverkolle osoitettuja ostolaskuja, tuotantoseuranta- ja ympäristöraportointitietoja vuodelta 2022. Kuviossa 6 on kuvattu tutkimuskohteen inventaarioanalyysin merkittävimmät panokset ja tuotokset periaatteellisella tasolla.



Kuvio 6: Kaukolämmön panos-tuotosvirrat

### 5.3 Inventaarioanalyysin aineistonkeruu

Inventaarioanalyysissä hyödynnettiin standardin SFS-EN ISO 14044 mukaista yksikköprosessin tietojenkeruun taulukointimallia, jossa luetteloiitiin prosessien merkittävimmät panokset ja kirjattiin mistä tiedot olivat peräisin. Tutkimuksessa käytetty tietojenkeruupohja on liitteenä 1 ja liitteenä 2 on toimeksiantajalle tarkoitettu tietokooste. Polttoainetoimitusten osalta laadittiin standardin SFS-EN ISO 14044 mukainen kuljetusmalli, missä hyödynnettiin polttoainejärjestelmän kuormatietoja (paino ja kuormamäärä) ja polttoaineiden keskimääräisinä kuljetusmatkoina käytettiin polttoainehankinnasta saatuja keskimääräisiä tietoja. Polttoaineet toimitetaan laitokselle rekka-autoyhdistelmillä. Laskennan yksinkertaistamiseksi oletuksena kiinteiden polttoaineiden kuljetukselle määritettiin keskimääräinen 85 kilometrin kuljetussäde (Kauhanen 2023). Polttoainekuljetuksissa ei tällä hetkellä on kahdensuuntaista lastia, vaan kuljetus tapahtuu vain laitosten suuntaan täydellä kuormalla. Elinkaariarvioinnissa kuljetukset ilmaistaan tonnikipometreinä, mikä tarkoittaa tietyn aineen tai tavarankuljetetun tonninmäärän ja kilometrien tuloa. Mittayksikkö on käytössä yleisesti tavaraliikenteen suoritteiden raportoinnissa ja tarkoittaa tavaratonnin kuljettamista yhden kilometrin matkan (Tilastokeskus 2023).

Polttoainetoimitusten jälkeen kaukolämmöntuotanto vaatii polttoaineen polttamisen energiantuotantoyksikössä ja prosessi tarvitsee sähköä muun muassa pumppuihin, koneisiin ja savukaasujen puhdistuslaitteisiin. Tietojenkeruussa käytettiin kaikkien Leppävirran sähkönkäyttöpaikkojen laskutustietoja. Ensimmäisessä vaiheessa sähkönkulutustietoina käytettiin tuotantoraportoinnista saatavia kuukausittaisia tietoja, mutta näiden luotettavuudessa havaitun epäilyksen jälkeen tietoja tarkennettiin sähkönmyyjän laskutustiedoilla. Käytetty sähkö on ydinvoimalla tuotettua, mikä on huomioitava tutkimuksen myöhemmässä vaikutustenarviointivaiheessa.

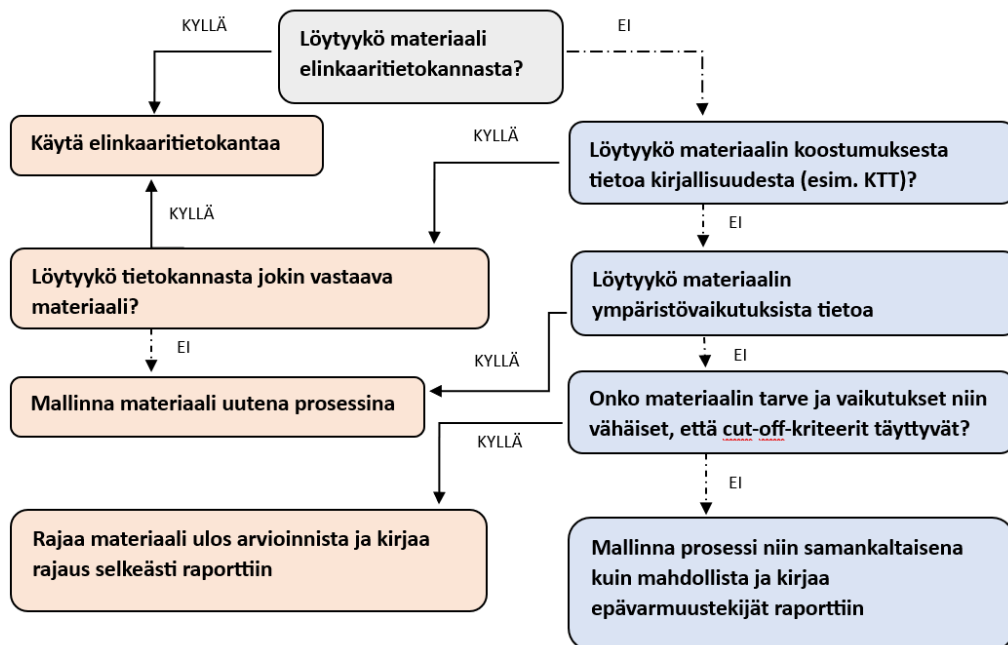
Prosessissa ja kaukolämpöverkossa kiertävä vesi vaatii kevyen käsittelyn laitteistojen ja verkoston korroosion estämiseksi. Käytännössä se tarkoittaa suolojen poistoa, hapen sitomista ja veden värjäämistä elintarvikevärillä mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi. Näiden käytettävien kemikaalien määrät ovat niin vähäiset, että niitä ei otettu laskennassa huomioon ja ne ovat laadultaan varsin haitattomia. Savukaasujen puhdistuksessa käytettävän natriumhydroksidin määrä ja laatu on puolestaan merkittävämpi ja sen käyttömääränä käytettiin ympäristöviranomaiselle laaditun raportoinnin määrää.

Lämmöntuotannon merkittävimpinä sivutuotteina syntyvät ilmaan johdettavat savukaasut ja niiden puhdistamisesta syntyvä jätevesi (lauhdevesi) sekä lentotuhka. Kattilan arinalle puolestaan jää arinatuhka. Valtaosa määristä kirjataan suoraan toiminnan kuukausittaiseen raportointiin, mutta osa tiedoista on kerättävä laskituksen perusteella. Jätteiden raportoinnissa hyödynnettiin ympäristöviranomaisille toimitettuja raportointitietoja. Eniten arvioperäisiä tai keskimääräisiä tietoja jouduttiin käyttämään huoltoliikenteen ajosuoritteiden määrittämisessä. Nämä pohjautuvat yhtiön eteläisen tuotantoalueen keskimääräiseen vuosittaiseen polttoainetankkausten yhteismäärään ja edelleen pakettiauton ajokilometreihin. Kunnossapidon osalta huomioitiin erilaiset rasvat käyttökemikaaleina.

Tietojen koostaminen tapahtui lukuisista tietolähteistä, ja tietojen käytettävyyttä oli tarpeen arvioida. Tämä puolestaan vaikeuttaa automaattisen tiedonkeruun ja koontiraportin kehittämistä eri parametrien osalta. Eri dokumenteilta kerättävien yksittäisten tietojen koostaminen on haasteellisempaa ja oleellisesti hitaampaa kuin tietojen saaminen sähköisesti eri tietojärjestelmistä.

#### **5.4 Vaikutusten arviointi ja tulokset**

Inventaarioanalyysin tietojenkeruussa koostetut tiedot arvioidaan syy – seuraussuhteen perusteella, mikä käytännössä tarkoittaa aiheutuneen kuormituksen vaikutusta ympäristöön. Vaikutustenarvioinnissa ei ole välttämätöntä käyttää erillisiä elinkaariarviointiin tarkoitettuja ohjelmistoja, mutta tutkimuksen suorittamisen yhteydessä ei ollut mahdollisuutta, eikä tarkoituksenmukaista rakentaa erillistä, varsin työlästä ja monialaista laskentamatriisia. Kuviossa 7 on esitetty yleinen periaatekaavio inventaarioanalyysin materiaalitietojen jatkokäyttöön vaikutusten mallinnusta varten.



Kuvio 7: Päättökaavio mallinnuksen ja materiaalivalintojen tueksi (Suomen ympäristökeskus 2017, 11, muokattu)

#### 5.4.1 Open LCA-ohjelman prosessikuvaus

Tutkimuksessa päädyttiin testaamaan maksutonta ja internetistä vapaasti ladattavissa olevaa Open LCA-ohjelmistoa. Vaikutustenarvioinnissa käytettiin kerättyjen tietojen lisäksi myös maksutomasti ladattavissa olevia valmiita, ohjelmistoon soveltuvia tietokantoja (mm. Ecoinvent) ja inventaarioanalyysissä kerättyistä tiedoista koottiin tietomalli. Ohjelmiston käyttö vaatii perehtymistä, jotta sen toimintaperiaate ja mallin rakentaminen onnistuu. Tämän tutkimuksen puitteissa ohjelmaan toiminnallisuuksiin tutustuttiin varsin pintapuolisesti, mutta ohjelmiston käyttömahdollisuudet erityyppisissä tilanteissa ovat varsin laajat ja monipuoliset. Käyttöä helpottamaan on tehty useita ohjevideoita, varsin monipuoliset käyttöohjeet sekä ohjelman käyttäjille on laaja kysymys – vastaus (Q&A) keskustelupalsta.

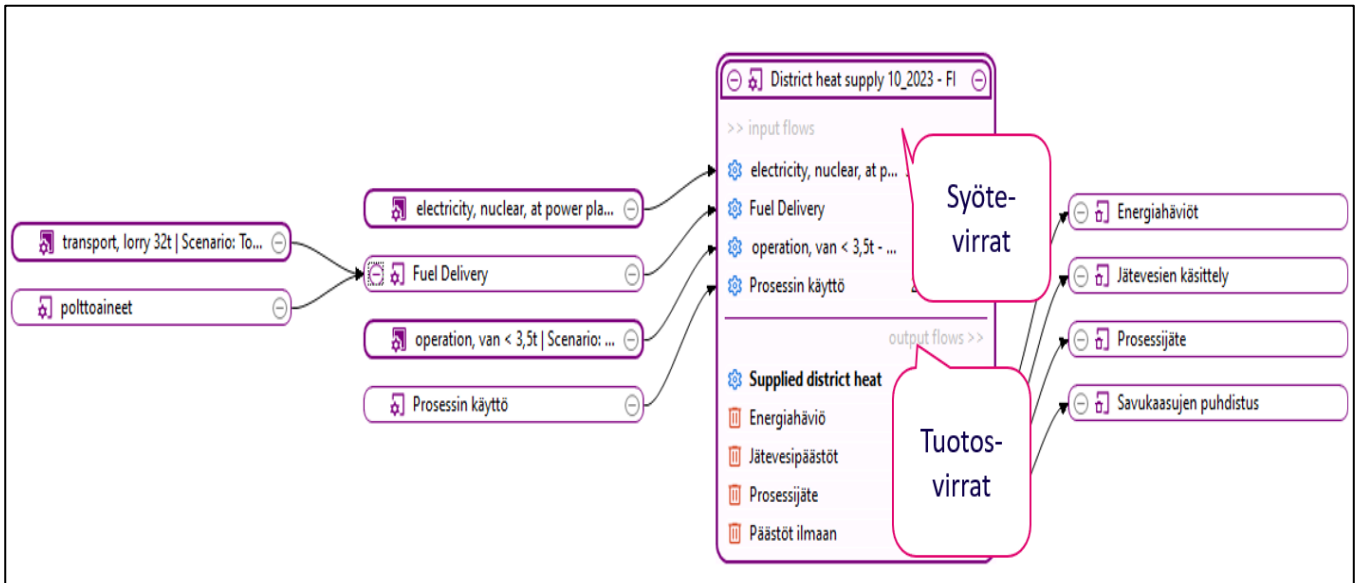
Lämmöntuotanto ja -toimitusprosessin (heat supply) sisääntulovirraksi määritettiin polttoaineen toimitukset, käytössä tarvittava sähkö, raakavesi, huoltoliikenteen määrä sekä merkittävimmät kemikaalit. Ulostulosvirtoina merkittävimpinä olivat puolestaan jätevesi, tuhka, lämpöhäviö prosessista ilmaan, lämpöhäviö verkostosta maahan sekä ilmapäästöt. Kaikkien prosessien input - ja output virtojen määrät oli suhteutettu jo aiemmin määriteltyyn toiminnalliseen yksikköön, mikä oli



asiakkaille toimitettua lämpöyksikköä (MWh) kohden. Toiminnallisena yksikkönä myyty energiayksikkö on tässä asiayhteydessä tarkoituksenmukainen, varsin kattava ja kuvaa kokonaisjärjestelmän vaikutuksia. Lisäksi siihen suhteuttamalla olisi mahdollista nähdä myös muutokset, mitä energiantuotantojärjestelmässä tapahtuu pidemmällä aikavälillä.

Tietomallissa tarkoituksena oli käyttää hyödyksi mahdollisemman paljon juuri kyseiseen kaukolämpöverkon lämmöntuotannon virtoja eli täsmällisiä tietoja muun muassa aiheutuneista päästöistä. Nämä perusvirrat kytkettiin ohjelmistossa erillisiin laadittaviin prosesseihin, toisin kuin esimerkiksi liikennöinnit, joiden prosessit hyödynnettiin suoraan tietokannasta. Perusvirrat (aineet ja materiaalit) liitettiin jätevesien käsittelyyn, energiahäviöihin, prosessijätteisiin, savukaasujen puhdistukseen ja prosessin käyttöön nimettyihin yksikköprosesseihin, joista puolestaan rakennettiin pääprosessi kaukolämmön tuotanto yhdessä polttoainetoimitusprosessin kanssa, joka puolestaan sisälsi polttoainekuljetukset. Prosessijätteisiin luetteloitu tuhka ja kuona määriteltiin loppusijoitettavana tuotteena, eikä niiden sisältämät raskasmetallit tulleet erikseen huomioiduksi ja tuhkamäärän osalta huomioitiin sen kuljetus loppusijoituspaikkaan. Savukaasujen puhdistusprosessi puolestaan sisälsi ilmapäästöjen perusvirrat, jotka ovat peräisin polttoaineiden poltosta.

Vaikutustenarvioinnin prosessimallin laadinnan yhteydessä jouduttiin täsmentämään joitakin inventaarioanalyysissä kerättyjä tietoja, mikä kuvastaa tutkimuksen iteratiivista luonnetta. Kuviossa 8 on ote ohjelman laatimasta periaatteellisesta prosessikaaviosta.



Kuvio 8: Elinkaarivertailussa käytetyn Open LCA-ohjelman laatima kaukolämmöntuotannon periaatteellinen prosessikaavio

#### 5.4.2 Vaikutusten laskenta Open LCA -ohjelmalla

Valmiiden tietokantojen hyödyntäminen mahdollistaa laaja-alaisen vaikutustenarvioinnin ja luokittelun, mutta tietojen täydellinen soveltuvuus juuri kyseisen tuotteen elinkaari-vaikutusten arviointiin voi aiheuttaa tuloksissa epävarmuutta. Tietokantojen avulla saadaan suuntaa antavat tulokset varsin vaivattomasti ja on mahdollista löytää ympäristövaikutusten kannalta merkittävimmät osa-alueet. Open LCA -ohjelmalla luodulle tuotekokonaisuudelle, Leppävirran kaukolämmölle, vaikutukset laskettiin käyttämällä ReCiPe -keskipiste ja -loppupiste-vaikutusten luokittelua, mutta ohjelmassa on mahdollista tehdä vaikutustenarviointeja myös muilla ladatuilla menetelmillä. Tuloksena saatiin luokitellut vaikutukset asiakkaalle myytyyn kaukolämpöenergian yksikköön (MWh) suhteutettuna. Ohjelma antaa kattavat vaikutuslistaukset eri aineiden osalta ja ReCiPe -mallinnuksella tulokset yksinkertaistetaan luokittelemalla vaikutukset 18 keskipisteindikaattoriin viiteyksiköinen ja edelleen kolmeen pisteytettävään loppupisteindikaattoriin. Laskentatulokset vaativat tulkintaa, sillä tutkimuksessa käytetyn toiminnallisen yksikön myötä vaikutusten määrälliset arvot ovat erittäin pieniä, mutta vaikutusten jakauma oli havainnollinen.

Kuviossa 9 ja 10 on esitetty vaikutustenarvioinnin keskipiste- ja loppupiste-vaikutusten periaatteelliset tulostaulukot ja yksityiskohtaiset tulokset laskennan tuloksista on esitetty salassa pidettävässä liitteessä 3.

**Impact analysis: ReCiPe Midpoint (H)**

Sub-group by:  Flows  Processes | Don't show < 1 %

Name	Category
> agricultural land occupation	ReCiPe Midpoint (H)
> climate change	ReCiPe Midpoint (H)
> fossil depletion	ReCiPe Midpoint (H)
> freshwater ecotoxicity	ReCiPe Midpoint (H)
> freshwater eutrophication	ReCiPe Midpoint (H)
> human toxicity	ReCiPe Midpoint (H)
> ionising radiation	ReCiPe Midpoint (H)
> marine ecotoxicity	ReCiPe Midpoint (H)
> marine eutrophication	ReCiPe Midpoint (H)
> metal depletion	ReCiPe Midpoint (H)
> natural land transformation	ReCiPe Midpoint (H)
> ozone depletion	ReCiPe Midpoint (H)
> particulate matter formation	ReCiPe Midpoint (H)
> photochemical oxidant formation	ReCiPe Midpoint (H)
> terrestrial acidification	ReCiPe Midpoint (H)
> terrestrial ecotoxicity	ReCiPe Midpoint (H)
> urban land occupation	ReCiPe Midpoint (H)
> water depletion	ReCiPe Midpoint (H)

Kuvio 9: Open LCA-ohjelmalla tehdyn ReCiPe- vaikutusarvioinnin keskipistemallinnuksen tulosten luokittelu

**Impact analysis: ReCiPe Endpoint (H,A)**

Sub-group by:  Flows  Processes | Don't show < 1 %

Name	Category
> ecosystem quality - agricultural land occupation	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - climate change, ecosystems	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - freshwater ecotoxicity	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - freshwater eutrophication	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - marine ecotoxicity	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - natural land transformation	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - terrestrial acidification	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - terrestrial ecotoxicity	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - total	ReCiPe Endpoint (H,A)
> ecosystem quality - urban land occupation	ReCiPe Endpoint (H,A)
> human health - climate change, human health	ReCiPe Endpoint (H,A)
> human health - human toxicity	ReCiPe Endpoint (H,A)
> human health - ionising radiation	ReCiPe Endpoint (H,A)
> human health - ozone depletion	ReCiPe Endpoint (H,A)
> human health - particulate matter formation	ReCiPe Endpoint (H,A)
> human health - photochemical oxidant formation	ReCiPe Endpoint (H,A)
> human health - total	ReCiPe Endpoint (H,A)
> resources - fossil depletion	ReCiPe Endpoint (H,A)
> resources - metal depletion	ReCiPe Endpoint (H,A)
> resources - total	ReCiPe Endpoint (H,A)
> total - total	ReCiPe Endpoint (H,A)

Kuvio 10: Open LCA-ohjelmalla tehdyn ReCiPe- vaikutusarvioinnin loppupistemallinnuksen tulosten jako

Open LCA-ohjelmalla määritettiin vuoden 2022 tietojen pohjalta Leppävirran kaukolämpöverkon vaikutuksia asiakkaalle myytyä lämpömegawattituntia kohden. Lähtötietojen perusteella rakennettujen prosessien vaikutukset saadaan esille ohjelman tuotekokonaisuuden (product system) vaikutusanalyysi -välilehdeltä (impact analysis).

Ohjelmalla voidaan mallintaa karkealla tavalla millaisia vaikutuksia toiminnassa tapahtuvilla muutoksilla voisi olla. Esimerkkinä testattiin tilannetta, missä polttoainetoimituksia vähennettiin 30 %:lla, ja tuulivoimalla tuotettu sähkönkäyttö kolminkertaistui. Samalla lähtötietoja muutettiin ja huomioitiin energiahäviöiden puolittuminen, tuhkamäärän puolittuminen sekä päästöjen vähentyminen 30 %:lla. Näillä muutoksilla loppupistemallinnuksen mukaan vaikutukset ovat ihmisterveyteen ja luonnonvaroihin pienemmät, kun taas luonnonympäristön vaikutukset ovat alkuperäistä tilannetta suuremmat. Tulosten tarkempi analysointi ja laskentatulosten läpinäkyvyyden osoittaminen yksittäisten käyttökertojen perusteella on haasteellista.

Open LCA-ohjelmalla laaditun vaikutusarvioinnin tulokset on raportoitu toimeksiantajalle erillisessä salassa pidettävässä liitteessä 3 sekä määrällisinä yksiköinä keskipistemallinnuksen että loppupistemallinnuksen pisteytysperiaatteen mukaisesti. Määrällisten yksiköiden osalta tulosten tärkein anti on merkittävimpien kuormitusprosessien esiin tuominen sekä vertailumielessä vaikutusten muutosten kuvaaminen.

### 5.4.3 Vaikutusarvioinnin tulokset

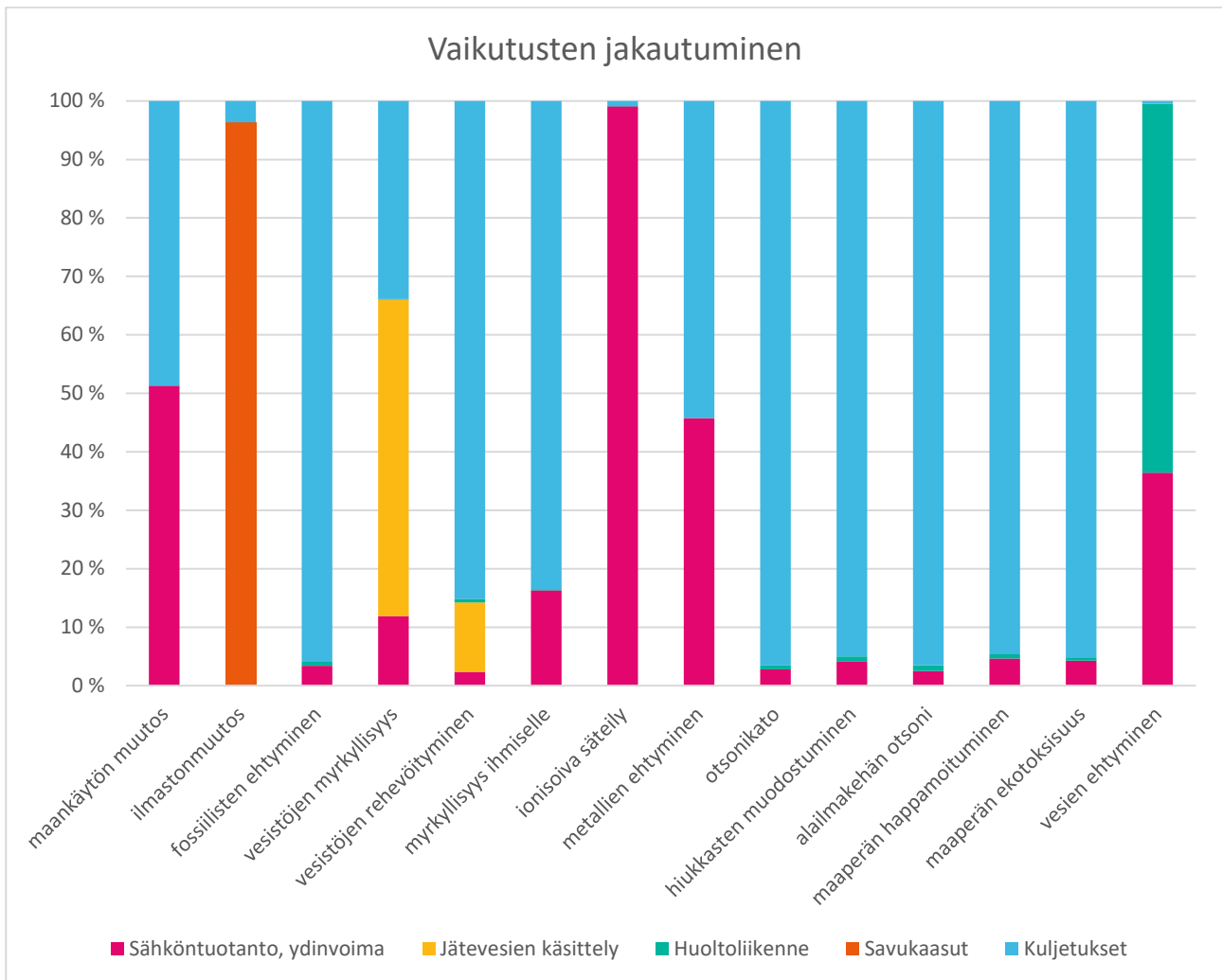
Vaikutustenarvioinnissa sekä keskipiste- että loppupistemallinnuksen tavoitteena on kuvata kokonaisuutta kaikista niistä vaikutuksista, joita tutkimuskohde eri vaiheissa voi aiheuttaa. Loppupistemallinnuksen tulokset osoittavat etenkin haitallisuuden kohdetta, eikä sen luotettavuutta ole pidetty vastaavan tasoisena kuin keskipistemallinnuksen. Menetelmien ja ohjelmistojen kehittymisen myötä lähestymistapoja on yhdistetty ja näin vaikutusten mallintaminen on läpinäkyvämpää. On huomioitava, että tosiasiallinen vaikutuksen suuruuteen vaikuttaa määrä, laatu, päästölähde sekä vallitseva ympäristö ja laskennan avulla saatavat tiedot ovat geneerisiä eli yleistyksiä. (Antikainen 2010, 24–26.)

Käytetyn ohjelman tuottamien tuloskaavioiden perusteella merkittävimmät ja laaja-alaisimmat ympäristövaikutukset keskipistemallinnuksen mukaisesti on kuljetuksilla ja sähköntuotannolla.

Laaja-alaisilla vaikutuksilla tarkoitetaan tässä vaikutusten jakautumista useaan eri keskipistemallinnuksen vaikutusluokkaan. Yleisesti kuljetukset ovat välttämättömiä sekä polttoainetoimituksissa että jätteiden käsittelyssä. Ydinvoimalla tuotettu ja toimintaan käytetty sähkö aiheuttaa valtaosan ionisoivasta säteilystä ja vesi- sekä ilmapäästövaikutusten aiheuttaja on savukaasujen puhdistusprosessi, missä mukana on polttoaineiden poltosta syntyneet päästöt.

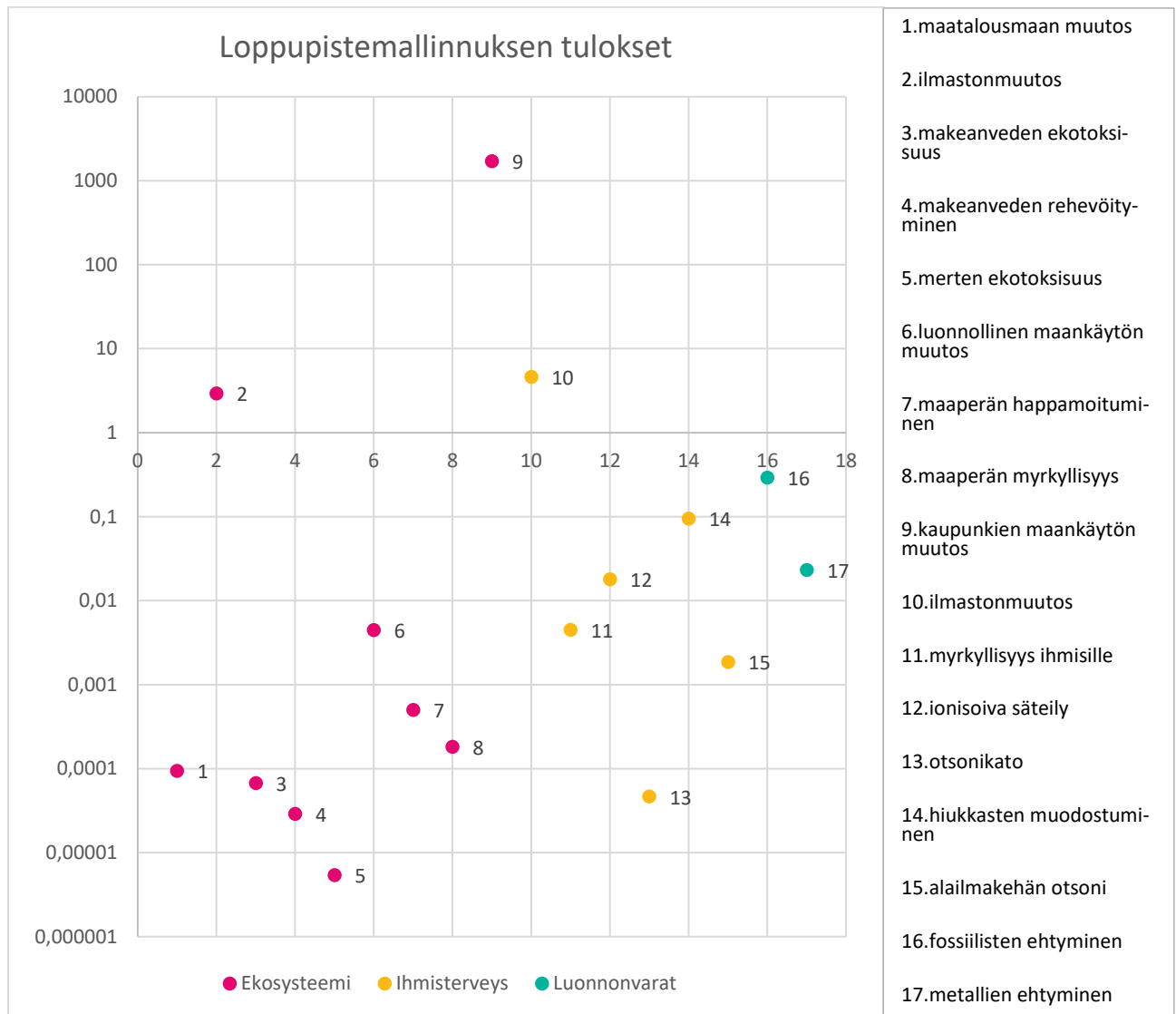
Luokittelun vaikutus lasketaan tietyn viiteainearvon perusteella, kuten esimerkiksi happamoitumisessa se on rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) ja viiteyksikkönä kg SO<sub>2</sub>-Eq. Muita käytettyjä viiteyksiköitä ovat esimerkiksi ekotoksisuuden diklooribentseeni (kg 1,4-DCB-Eq), ilmastonmuutoksen hiilidioksidiekvivalentti (kg CO<sub>2</sub>-Eq) ja maankäytönmuutoksen neliometri (m<sup>2</sup>). Tutkimuksessa ei suoritettu normalisointia tai painostusta, sillä niiden käyttö ei ole standardin SFS-EN ISO 14040 mukaan välttämätöntä. Painotuskertoimet voivat lisäksi olla haasteellisia käyttää, sillä ne pohjautuvat aina subjektiivisiin näkökantoihin. Keskipistemallinnuksen laskennan tulosten määrällisiä tuloksia ei tässä yhteydessä tarkemmin analysoida, mutta toiminnan vaikutusten suuntaa antavana jakaumana tuloksia voidaan käyttää. Tehostamalla tai kehittämällä laaja-alaisimpia ympäristövaikutuksia aiheuttavia prosesseja, voidaan vähentää tehokkaimmin ympäristövaikutuksia elinkaarinäkökulmasta.

Kuvioon 11 on koottu keskipistemallinnuksen ympäristövaikutusten jakauma aiheuttajittain. Tuloksissa on yhdistetty ja yleistetty maankäytön muutos maatalous- ja kaupunkialueita erottelematta, vesistöjen rehevöityminen sekä myrkyllisyys erottelematta makeita vesistöjä tai meriä tulosten selkeyttämiseksi.



Kuvio 11: Vaikutusarvioinnin keskipistemallinnuksen tulosten jakautuminen

Loppupistemallinnuksessa keskipistemallinnuksen tulokset on muutettu pisteiksi/ arvoiksi suoraan ohjelmassa ja kuvioon 12 on koostettu tulokset kuviossa 9 esitetyn luokittelun mukaisesti. Huomi-onarvoista on koostetauluko y-akselin asteikko, mikä osoittaa tulosten laajan hajonnan. Tarkem-mat tulosten arvot on esitetty liitteessä 3.



Kuvio 12: Loppupistemallinnuksen tulokset

Tulosten perusteella merkittävimmät potentiaaliset vaikutukset kohdistuvat niille yksikköprosesseille, joissa hyödynnettiin eniten tietokannan tietoja ja loppupistemallinnuksessa määritetty pisteitys voi antaa liian korkean haitta-arvon muihin verrattuna. Merkittävin haitta luonnonympäristölle eli ekosysteemille aiheuttaa tulosten perusteella maankäytön muutos, mikä on puolestaan seurausta ydinvoimalla tuotetusta sähköstä ja kuljetuksista. Kuljetusten vaikutus on merkittävä, kun siinä huomioidaan tarvittavat tiestöt, mutta toiminnanharjoittajan vaikutus aiheutuvaan maankäytönmuutokseen ei ole kokonaisuus huomioiden relevantti.

Toiminnanharjoittajan mahdollisuudet vaikuttaa ovat sen sijaan suuremmat ilmastomuutokseen, minkä päästöt ovat valtaosin peräisin savukaasuista sekä kuljetuksista. Savukaasupäästöt ovat

puolestaan peräisin suoraan valituista käytettävistä polttoaineista. Kuljetukset aiheuttavat myös fossiilisten luonnonvarojen ehtymistä. Vähiten toiminnolla on tutkimuksen perusteella vesistöhaittoja.

Kaukolämmön elinkaariarviointi ei tämän tutkimuksen eikä käytetyn elinkaariohjelman perusteella ole resurssitehokas prosessi käyttöönotettavaksi vertailumenetelmäksi eri kaukolämpöverkoissa myydyn kaukolämmön ympäristövaikutuksille. Vaikka tiedonkeruuta saataisiin vietyä automaattisempaan suuntaan, vaatii ohjelman käyttö aina yksilöllisen mallintamisen ja arvojen yksilöllisen tallentamisen. Tutkimuksen tuloksena vaikutukseltaan merkittävimmiksi nousivat kokonaisprosessin osat, joihin toiminnanharjoittajan vaikutusmahdollisuudet ovat varsin vähäiset. Näin ollen verkko kohtaisten yksilöllisten vaikutusten ja eroavaisuuksien esille nostaminen vaatisi todennäköisesti useita lisärajoituksia ja painotuksia. Tarkkojen laskentojen laatiminen vaatii laajempaa ja parempaa tietojen tilastointia ja todennäköisesti paremmin soveltuvien maksullisten tietokantojen hyödyntämistä, joissa vaikutustiedot kohdistuisivat paremmin vallitseviin maantieteellisiin olosuhteisiin.

Elinkaarinäkökulman merkitys toiminnan hyväksyttävyyteen sekä haitallisten ympäristövaikutusten jatkuvaan vähentämiseen kuitenkin vahvistuu. Aihe on ajankohtainen energiantuotannossa käynnissä olevan energiamurroksen vuoksi, missä perinteinen polttoon perustuva tuotanto alkaa vähitellen väistymään sähköistettävän kaukolämmön tieltä. Kuten tämänkin tutkimuksen laskennallisista tuloksista on havaittavissa, lämmitykseen käytettävän sähkön tuotantotavalla on merkittävä vaikutus laajemmin elinkaarinäkökulmasta, vaikka hiilidioksidivapaat sähköntuotantomuodot asetetaan hiilidioksidipäästöiltään samanarvoisiksi. Elinkaariarviointia voisi jatkaa edelleen informatiivisessa mielessä, mikäli halutaan tarkempaa tietoa meri- tai maatuulivoimalla, ydinvoimalla, aurinkovoimalla tai vesivoimalla tuotetun sähkön kokonaisvaltaisista ympäristövaikutuksista.

## **6 Pohdinta**

### **6.1 Elinkaariarvioinnin hyödyntäminen kaukolämmön ympäristövaikutusten arvioinnissa**

Tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena oli selvittää, millainen on kaukolämmön elinkaariarviointi ja kuinka menetelmä soveltuu energiahyödykkeen ympäristövaikutusten tutkimiseen ja arviointiin. Energiantuotannon ympäristövaikutusten viranomaisarviointi kohdistuu pääasiassa vuositasolla



aiheutuneisiin laitostason ilma- ja vesipäästöihin. Niiden hyödyntäminen toiminnan ohjaamisessa ja kehittämisessä on hiilidioksidipäästöjä lukuun ottamatta varsin vähäistä. Kokonaisprosessin pilkkomisella pienempiin osaprosesseihin voidaan auttaa löytämään kokonaisuuden kannalta merkittävimmät vaikutukset, ja tällä tavoin tuoda uutta näkökulmaa yhtiön omaan päivittäiseen toimintaan.

Menetelmänä elinkaariarvioinnin käyttö palvelun tai hyödykkeen ympäristövaikutusten arviointiin fyysisten tuotteiden kaltaisesti on mahdollista (Eriksson, Finnveden, Ekvall & Björklund, 2007), mutta tämän tutkimuksen näkökulmasta sitä voidaan kuitenkin pitää toimeksiantajan tarkoittamaan käyttöön liian raskaana ja laajana menetelmänä. Kokonaisuutena ajatellen, elinkaariarvio antaa toimeksiantajalle eli energiayhtiölle vahvistuksen siitä, mitkä merkittävimmät kokonaisuuden vaikutusluokat ja haitat ovat. Vastaavan selvityksen suorittaminen muihin yhtiön kaukolämpöverkkoihin ei ole kannattavaa työpanoksen määrän vuoksi, vaan yhden keskiarvoksi luokitellun kaukolämpöverkon tarkemmalla tutkimuksella saadaan selville elinkaariarvioinnin perusrakenne ja tulosten kautta nousevat merkittävimmät kehityskohteet. Verrattain yksinkertaisella ohjeistuksella, mittauksen laadinnalla ja seurannalla saadaan aikaan riittävä raportointi.

Elinkaariarviointi on toimiva menettely kokonaisvaltaisten ympäristövaikutusten arviointiin, joka on kuitenkin kaukolämmön osalta tavoitteenasetannan mukaisesti liian moniportainen. Tutkimuksen lopputulosten ja ohjelman käyttökokemuksen perusteella voidaan olettaa, että menetelmän käyttö vertailumielessä esimerkiksi suppeamman kokonaisuuden vaihtoehtojen selvittämiseksi, kuten kemikaalin tai kuljetusvälineen vaikutustenarviointiin, on nopeaa tässä käytetyllä ohjelmalla. Mikäli tavoitteena olisi vertailla eri energiantuotantomuotoja, tulee elinkaariarvioinnin laajuus ulottaa laajemmalle, kuten polttoaineiden jalostukseen. Työssä ei tehty painotuksia tai allokointia, mutta mikäli tuotantoyksikkönä olisi yhdistetyn sähkön- ja lämmön yhteistuotantolaitos, olisi täytynyt jyvittää vaikutuksia puhtaasti tuotetulle lämmölle.

Tutkimuksen tulokset vahvistavat käsitystä, kuinka energiantuotannon merkittävimmät vaikutukset kohdistuvat hiilidioksidipäästöihin, ei vain pelkästään suorien energiantuotannon polttoaineiden, vaan myös kuljetusten ja maankäyttömuutoksen aiheuttamien päästöjen kautta. Tämän perusteella hiilijalanjälkilaskelma olisi kaukolämmölle kattava ja todennäköisesti myös käyttökelpoisempi selvitys ympäristövaikutuksista, missä muut vaikutukset korreloivat vahvasti

kasvihuonekaasupäästöjä (ILCD Handbook, International Reference Life Cycle System 2010, 32). Hiilijalanjätkilaskemakin olisi tehokkaampaa suorittaa yhtiön kaukolämmöntuotannon kokonaiselivityksenä, ei erillisverkkoina. Energiatehokkuuden merkitys on vahvistunut yhtiön toiminnassa ja siinä mukaan tulee elinkaariajatus. Muutoin esimerkiksi vesitehokkuus ja liikennöintimäärät eivät tällä hetkellä ole vielä seurannan keskiössä.

## 6.2 Epävarmuuksien arviointi

Tutkimuksen aikana suoritettun inventaarioanalyysin aikana havaittiin tietojen keruuseen liittyviä kehityskohteita yhtiön raportoinnin tehostamiseksi. Menetelmän iteratiivisen luoteen takia kerättäviä tietoja jouduttiin tarkentamaan useammassa kohdassa. Yleensä syynä tietojen tarkastamistarpeeseen oli kuukausilukemien epäloogisuus raportoinnissa tai poikkeuksellisen suuri arvo. Tuotannonohjaukseen käytettävien yksittäisten mittareiden tietoja ei tässä työssä pystytty kokonaisvaltaisesti hyödyntämään, jolloin mittaukseen pohjautuva laskutustieto todettiin olevan paras, tarkin ja kokonaisvaltaisin tiedonlähde. Panoksista etenkin sähkönkäyttötietoja jouduttiin validoimaan.

Haasteena vaikutusarvioinnin ohjelman käytössä oli löytää tasapaino valmiiden tietokantojen, prosessitietojen hyödyntämisen ja paikallisten tietojen käytön välillä. Työssä päädyttiin käyttämään paikallisia tarkkoja arvoja päästöjen suhteen ja muun muassa liikennöinnissä käytettiin tietokannasta saatavia ajosuoritteeseen, sähköntuotantoon, käytettyyn veteen ja kemikaaleihin liitettyjä tietoja. Haastetta esiintyi myös elinkaariohjelman tietokantojen prosessivaihtoehtojen valinnassa ja näidenkin osalta lähestymistapaa jouduttiin vaihtamaan muutama otteeseen. Laskennan tuloksissa liikennöinnin ja ydinvoimalla tuotettun sähkön vaikutus nousee merkittävään osaan, ja näin ollen herää kysymys voidaanko tutkimuskohteen vuositason tietoja pitää vertailukelpoisina tietokannasta saatavien kattavien elinkaaritietojen kanssa.

Erilaisten tietokantojen hyödyntäminen helpottaa elinkaariarvioinnin tekemistä, mutta on syytä suhtautua kriittisesti myös elinkaariarviointiohjelmiston käyttämien tietokantojen tietojen soveltuvuuteen ja ajantasaisuuteen, jotka voivat aiheuttaa arviointiin epävarmuutta. Mieluiten tietokantojen käyttämien tulosten tulisi olla ainakin maakohtaisia, joita voidaan täydentää tarkemmilla tiedoilla (Liljenström 2021, 11). Tämän tutkimuksen tietojen laskennassa käytettiin maksuttomia Open LCA -ohjelmiston suosittomia tietokantoja, jotka olivat ladattavissa ohjelmaan. Tietojen

luokittelu vaikutusluokkiin ja viiteaineisiin tuli puhtaasti ohjelman laskelman kautta ja niiden läpinäkyvyys oli heikkoa. Tutkimuksesta saadut tulokset herättävät kuitenkin tarpeen uusista systemaattisista toiminnan seurantakohteista, joita on tarkemmin kuvattu luvussa 6.3.

Kaukolämmön elinkaari on kokonaisuutena monimutkainen ja laaja järjestelmä. Suurimpia epävarmuuksia aiheuttaa jätteiden käsittely, sillä niistä saatavat yksilöidyt tiedot ovat vähäiset ja osamäärästä kirjautuu organisatorisesti toimialueen pääpaikalle. Myös jätteiden loppukäsittely on osittain epävarmaa. Toisaalta muiden jätteiden kuin tuhkan syntymäärät ovat yleisesti varsin vähäiset, vaikka jätteiden määrällä voi olla suuria vuosittaisia vaihteluita johtuen erilaajuisista revisioista ja kunnossapitotoimista.

Tuhkan käsittelyn vaikutuksista ei voida elinkaariarvioinnissa käytettyjen tietokantojen perusteella tehdä yksityiskohtaista arviointia. Kuten aiemmissa tutkimuksissa on todettu, tuhkien jatkokäsittelytavoista aiheutuu merkittävästi vaihtelevia vaikutuksia (Huanga & Chuieha, 2015). Tutkimuskohteen tapauksessa tuhka hyödynnetään ilman laajempaa käsittelyä alle 50 kilometrin etäisyydellä sijaitsevassa vaarallisen jätteen kaatopaikkarakenteessa. Kokonaisuuden kannalta tilanne on varsin ideaali. Mikäli tuhkan laadussa tapahtuu muutoksia ja se paranee, on selvää pyrkiä käyttämään se joko lannoitteena korvaamaan tehdasvalmisteisia lannoitteita tai maanrakennukseen vähentämään neitseellisten maa-ainesten käyttöä. Tuhka on polttamisen seurauksena välttämätön sivutuote tai jäte, ja sen erilaiset käsittelymenetelmät ovat merkityksellisiä arvioitaessa kokonaisvaltaisia ympäristövaikutuksia. Elinkaariarvioinnissa ei kuitenkaan huomioida esimerkiksi tuhkan hyödyntämistä lannoitteena ja tämän vuoksi positiivinen vaikutus ympäristöön ei tulisi huomioiduksi tuhkan tuottajan elinkaariarvioinnissa. Positiivinen vaikutus tulisi huomioiduksi ja saataisiin esille metsän- tai peltolannoitteiden elinkaariarvioinnin ja lannoitevertailun kautta.

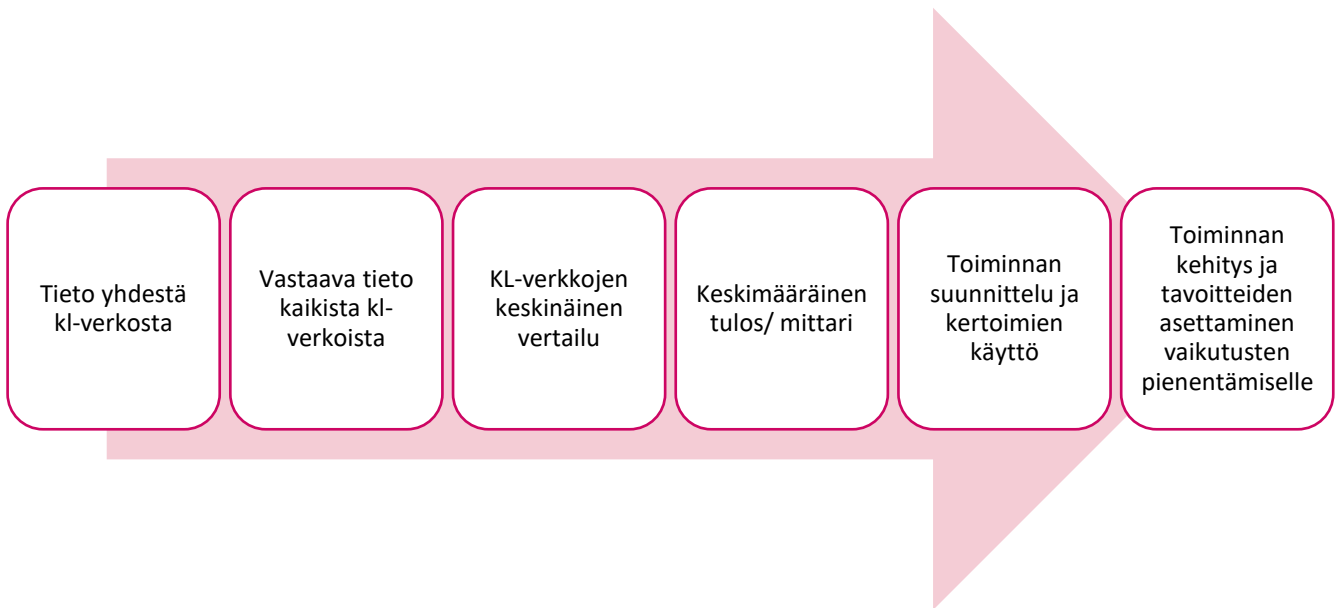
### **6.3 Esitys elinkaari-vaikutuksia kuvaavien ympäristönäkökohtien kehityskohteiksi**

Tutkimuksen toissijaisena tavoitteena oli selvittää kuinka elinkaariarvioinnin tuloksia olisi mahdollista hyödyntää toiminnan automaattisessa ympäristövaikutusten mittaamisessa ja raportoinnissa. Tutkimustulosten ja sen aikaisten havaintojen pohjalta on laadittu joukko kaukolämmön elinkaarinäkökulmaan vaikuttavista tekijöistä hyödynnettäväksi tietojenkeruumallissa sekä yhtiön operatiivisessa toiminnassa, strategiaan tavoitteisiin liittyvien pienempien osa-alueiden mittaamisessa,

että hankintatoimen kehittämisessä. Näkökohdat tulisivat palvelemaan todennäköisesti myös yhtiötä koskevan kestäväen rahoituksen raportoinnissa eli CSRD-raportoinnissa. Oleellista on löytää ne tekijät, joiden avulla yhtiön eri kaukolämpöverkkojen vaikutuksia voidaan vertailla keskenään, ja löytää tehostamiskohteita, joita parantamalla voidaan vaikuttaa aiheutuviin ympäristövaikutuksiin. Tarkoituksena ei ole löytää vertailupohjia eri yhtiöiden kaukolämpöverkkoihin, vaan kehittää yhtiön omaa kaukolämpöverkkojen arviointipohjaa sekä löytää mittaamiseen perustuvia yleisiä kertoimia.

Tutkimuksen elinkaariarviointia varten laaditun inventaarioanalyysin tiedonkeruuvaihe nosti esille kehityskohteita, jotta suppeampien mittareiden tai muiden selvitysten laatiminen olisi tehokkaampaa. Jotta tietojen automaattinen hakeminen palvelisi mahdollisten muiden arviointien tai selvitysten laatimista, vaaditaan tiedon tallentamisen yhdenmukaistamista. Liitteessä 4 on esitys toimeksiantajalle tarkoitetusta tietojenkeruumallista, joilla elinkaaren aikaisten ympäristövaikutuksia voidaan arvioida laajemmin osana kuukausittaista tai ainakin vuosittaista seuranta. Osa näistä mittareista on tarkoitus kytkeä toiminnalliseen yksikköön asiakasnäkökulman vahvistamiseksi. Uusien, koko toiminnan elinkaareen vaikuttavien ympäristön tilaan ja luonnonvaroihin kohdistuvat mittarit edistävät toiminnan ohjaamista kohti kestäviä muutoksia. Tarkemman seurannan ja analysoinnin avulla voidaan löytää kustannussäästöjä, jotka palvelevat perinteisen energiatehokkuuden ja edelleen sen seurauksena saavutettavan kustannustehokkuuden kehittämistä kaukolämmön-tuotannossa.

Kuviossa 13 on kuvattu yhtiölle laadittu tiedonkeruun perusta. Koska jokainen kaukolämpöverkko on oma tulosityksikkönsä, on pyrittävä löytämään kustannussäästöjä tuovia kohteita ja samalla varmistuttava tietojen vertailukelpoisuudesta. Materiaalitehokkuus tuo taloudellisia säästöjä ja ympäristövaikutusten pienentäminen on kantava teemana kaikessa toiminnassa. Luotettavan tiedonkeruun ja sen kautta saatavan yleisen kertoimen avulla on mahdollista myös ennustaa tulevia vaikutuksia.



Kuvio 13: Periaatekaavio kaukolämpöverkkokohtaisen tiedon käsittelystä

Yhtiön päivitetyn strategian kulmakivenä on asiakasnäkökulman kehittäminen kokonaisvaltaisesti läpi koko toiminnan (Savon Voima Oyj, 2023). Elinkaariarvioinnissa toiminnallisena yksikkönä käytetty asiakkaalle myyty energia (MWh) olisi soveltuva otettavaksi käytäntöön laajemmin myös muiden toimintaa ohjaavien mittareiden laskennassa. Mittareiden laskenta olisi helppoa toteuttaa yhtiön käyttämässä raportointijärjestelmässä (QlickSense) ja tietojenkeruu ei vaatisi merkittävää manuaalista työtä. Näiden mittareiden pohjalta myös yhtiön eri kaukolämpöverkkojen ominaismittarit olisivat varsin vertailukelpoisia. Ehdotetut mittarit kohdistuvat koko kaukolämpöverkon vedenkäyttöön, sähkönkulutukseen, polttoainetoimitusten ja tuhkan kuljetusyksikköön sekä huolto- liikenteeseen.

### Kuljetustehokkuus

Tutkimustulosten perusteella liikennöinnillä on elinkaarinäkökulmasta erittäin merkittävä vaikutus kaukolämmön tuotannon ympäristövaikutuksiin ja toiminnassa on pyrittävä, saatujen tulosten epävarmuuksista huolimatta, kaikilta osin vähentämään kuljetusten laskennallista liikennesuoritetta eli tonnikilometriä. Käytännössä tämä tarkoittaa tehokkaampia kuljetusyksiköitä ja lyhyempiä kuljetusmatkoja, mikä puolestaan kannustaa edelleen paikallisten polttoaineiden hankintaan ja toisaalta tuhkan isompia kuljetuseriä. Kokonaisvaltainen logistiikan kehittäminen vähentää yksikkökohtaisten liikennesuoritteiden tarvetta. Liikennöinti aiheuttaa tutkimuksen mukaan myös

maankäytön muutosta ja liikenneväylillä on pitkäaikaiset vaikutukset ympäristöön. Tehokasta kuljetusta puoltaa biopolttoaineiden haketus laitosalueen yhteydessä, jolloin suurempi määrä energiaa kuljetetaan yhdessä kuormassa. Tällöin kuljetustehokkuus kokopuulle on parempi ja näin hakkeelle kohdistuvat vaikutukset vähäisempiä. Kuljetustehokkuuden määrittämisen merkitys sekä tonnikipometriä että polttoaine-energiayksikköä kohden kasvaa, mikäli päädytään polttoainehankinnassa laajempiin hankinta-alueisiin.

Tässä tutkimuksessa elinkaariarvioinnin ulkopuolelle oli rajattu selkeästi ulkopuolelle polttoaineen valmistus, ja polttoainekuljetusten osuus kaukolämmön elinkaari vaikutuksiin on merkittävä. Jotta kuljetusten osuutta voitaisiin jatkossa paremmin mitata ja kehittää edelleen tehokkaammiksi, tulisi kirjata polttoainetoimitusten tarkemmat kuljetusmatkat tehokkuusluvun kartoittamiseksi.

Etenkin eri energiantuotantomuotojen elinkaari vaikutuksia vertailtaessa, paranee tulosten luotettavuus, mikäli tutkimus sisältää myös polttoaineiden valmistuksen ja jalostuksen etenkin tilanteissa, missä polttoaine ei ole puhtaasti sivutuote. Tulevaisuudessa enemmän huomiota tulisi keskittää niin sanottuun gradle to gate näkökulmaan eli niihin vaikutuksiin, joita aiheutuu ennen laitoksen portille tuomista esimerkiksi puupolttoainekorjuun yhteydessä. Tässä tutkimuksessa keskityttiin gradle to grave näkökulmaan, mutta energian poisto tai kuten usein puhutaan tuotteen hävityksestä ei synny enää varsinaisesti päästöjä ja sen huomioonottaminen kuuluu energiaa käyttävän tuotteen elinkaarianalyysiin.

### Energiatehokkuus

Kuten aiemmin on todettu, on kaukolämpöverkon energiatehokkuus merkittävin elinkaarinäkökulma tutkittaessa kaukolämmön jakelun osaprosessia ja merkittävimmät ympäristöön kohdistuvat vaikutukset kohdistuvat käytönaikaiseen toimintaan. Lämpöhäviöt, joita aiheutuu muun muassa kaukolämpövuotojen yhteydessä sekä pumppaus, mihin vaikuttavat puolestaan kaukolämpöverkon suunnittelu ja mitoitus, aiheuttavat merkittävimmät ympäristövaikutukset. Valmiiden putkin mahdollisemman lyhyt kuljetusmatka täysillä kuormilla ja toisaalta myös materiaalin kierrätys purkukohteissa ovat tärkeitä ympäristövaikutuksia vähentäviä näkökohtia. Materi-

aalien pitkäikäisyys, huoltovapaus ja näin maltillinen huoltoliikenteen määrä vähentävät elinkaarren aikaisia haitallisia ympäristövaikutuksia. Putkistoissa käytettävän teräksen hiilipäästöjen väheneminen pienentää samalla materiaalivalmistuksen ympäristövaikutuksia.

Kaukolämpöverkon lämpöhäviö per myytyä lämpöyksikköä kohden antaa käyttökelpoisen seurattavan mittarin, mikä on yksinkertaista osoittaa myös taloudellisesti nykyisin yleisen verkostohyöty-suhteen lisäksi. Myös kaukolämpöverkon käytön optimointiin on alettu kiinnittämään huomiota yhä enemmän viime vuosien aikana. Tämä mahdollistaa energiatehokkuuden parantamisen sekä huipputehontarpeen aikaan käytössä olevien, fossiilisia polttoaineita käyttävien varalaitosten mahdollisemman lyhytaikaisen käytön. Nämä ennustamiseen ja koneoppimiseen perustuvat menetelmät eivät vaadi juuri uusia prosessivirtoja ja näiden toimesta voidaan välttää lyhytaikaisen piikkikulutuksen fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja siitä aiheutuvia päästöjä.

Tutkimus vahvistaa entisestään toiminnanharjoittajan tavoitteita kaukolämpöverkostojen energiatehokkuuden parantamiseen, sillä näin on mahdollista saavuttaa pienimmät ympäristövaikutukset ja saada samalla taloudellista kannattavuutta. Putkien eristyskyvyn paraneminen vaikuttaa kokonaisvaltaisesti verkoston käytöstä aiheutuviin vaikutuksiin, jolloin se tulisi huomioida yhtenä hankintakriteerinä. Keinot, joilla voidaan vaikuttaa laitosten rakentamistarpeeseen ja operointiin verkoston lämpötilan alentamiseksi vaikuttavat kokonaisuuden kannalta eniten kaukolämmön jakelun elinkaarta ajatellen.

### Vedenkäyttö

Vedenkäytön seuranta ja suhteuttaminen kaukolämpöverkon energian myynnillä edistää vesijalanjälkilaskennan tietopohjaa. Tietojen arvioinnissa on hyvä huomioida kolme erilaista kaukolämpöverkkoa: pelkät kaukolämmön tuotantolaitokset, kaukolämpöverkot, joissa on savukaasupesureita sekä verkot, joissa on sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksia. Merkittävimmät poikkeamat havaitaan todennäköisesti kaukolämpöverkon vuodon aiheuttamassa täyttötarpeessa. Säännöllinen seuranta auttaa löytämään turhia vedenkulutuskohteita, joita voidaan poistaa ja tällä tavoin säästää luonnonvaroja ja samalla vaikuttaa juokseviin kuluihin.

Vedenkäyttöön liittyy myös jätevesimäärän tarkempi seuranta. Kohteissa missä esimerkiksi lauhdevesipäästöt ohjautuvat jätevesiviemäriin, voidaan saada kustannussäästöjä veden tehokkaamalla suljetulla kierrolla. Tarkempaa analysointia ja seuranta kuvion 13 periaatteella olisi hyvä toteuttaa syntyvän lauhdeveden sekä lämmön talteenottolaitteistolla tuotetun lämmön suhteen.

## Sähkö

Samalla kun kaukolämmöntuotanto vähitellen sähköistyy, tarvitaan sähköä laaja-alaisesti tukitoimintoihin ja prosessien ylläpitoon. Mikäli erillistä sähköä käyttävää lämmöntuotantoyksikköä ei ole, on kokonaisvaltaisen omakäyttösähkön koonti ja suhteuttaminen myytyyn kaukolämpöön yksi mahdollisuus löytää energiahukkaa. Sähkönkulutustietojen koonti toimii samalla jatkuvan energia-katselmuksen osana, ja poikkeamat voidaan havaita nopeasti säännöllisen seurannan ja laadukkaan tiedon avulla, sekä hyödyntää tietoa myös toiminnan suunnittelussa.

## **6.4 Johtopäätökset**

Yleisesti elinkaarinäkökulmaa on otettava enemmän huomioon toiminnan kunnossapidossa ja raportoitua kunnossapitotietoa on kyettävä hyödyntämään monipuolisesti. Kaikki uudet merkittävät hankinnat on laskennallisesti kyettävä osoittamaan kannattaviksi, sillä uuden hankkiminen on lähtökohtaisesti elinkaaren aikana enemmän kuormittava kuin vanhan korjaaminen ja huoltaminen. Kaukolämmöntuotannon, kuten minkä tahansa hankinnan vaatimuksissa on huomioitava esimerkiksi tuotteiden valmistuksen hiilijalanjälki, mikäli se on saatavilla. Muita elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia voidaan vähentää koneiden ja laitteiden sähkönkulutustietojen huomioimisella sekä huollettavuudella. Mikäli laite tai tuotantoyksikkö vaatii runsaasti huoltokäyntejä, huolloista aiheutuu vaarallisia jätteitä tai laitteeseen on vaihdettava isompia kokonaisuuksia kasvaa elinkaaren aikainen ympäristökuormitus.

Tutkimuksen perusteella kaukolämmön ympäristövaikutusten arviointi ja yrityksen kaukolämpöverkkokohtaisten vaikutusten arviointia ei ole resurssitehokasta toteuttaa erillisen ohjelmiston avulla, vaan seuranta on kohdistettava tarkemmin yksityiskohtaisempiin osiin. Ohjelmiston avulla saadaan esille merkittävimmät vaikutusten aiheuttajat ja sen käyttö voi nopeuttaa yleisesti tuotteiden kokonaisvaikutusten arviointia. Tässä yhteydessä ei kuitenkaan tullut laskennan perusteella



esille täysin yllättäviä tai uusia havaintoja, mutta se osoitti konkreettisemmin polttoainekuljetusten merkittävän osuuden toiminnan ympäristövaikutuksiin. Tieliikenteellä on laaja-alaiset vaikutukset niin ihmisen terveyteen, aiheutuviin päästöihin sekä kokonaisuutena myös maankäyttöön. Tämän pohjalta lämmöntuotannon muuntuminen edelleen kohti monipuolisempaa tuotantokennetta vähentävät myös polttoaineiden kuljetusta ja samalla polttoainekuljetuksista elinkaaren aikana aiheutuvia vaikutuksia. Uusien tuotantomuodoilla on myös omat vaikutuksensa ja ne on myös arvioitava kokonaisuutena, jotta todellinen nettovaikutus voidaan havaita.

Tutkimus, missä tavoitteena on tuottaa tietty määrä energiaa eri tuotantomuodoilla ja polttoainevalikoimalla voisi laajentaa näkökantaa esimerkiksi vihreän siirtymän hankkeissa. Vaihtoehdoilla, kuten metsäpolttoaineen, turpeen, kivihiilen, öljyn, pelletin tai metsäteollisuuden sivutuotteiden käytöllä vai mahdollisesti lämpöpumpun rakentamisella ja sen käytön vaatimalla sähköllä on erilaiset ympäristöön kohdistuvat vaikutukset. Tällä hetkellä näkemykset korostavat varsin yksipuolisesti poltosta syntyviä päästöjä, mutta otettaessa huomioon eri kuljetusten tehokkuudet ja liikennöinnin tarve, mahdollisissa häiriötilanteissa aiheutuvat päästöt sekä biodiversiteettiin kohdistuvat vaikutukset, voisi lopputulos olla vaihtelevampi.

Yhtiökohtaiseen käyttöön oman arviointi- tai laskentatyökalun kehittäminen olisi toimivin tapa arvioida merkittävimpiä ja erikseen valikoituja ympäristövaikutuksia. Mikäli jatkossa tutkimus uusitaan kokonaisuutena, on investoitava tarkan seulonnan jälkeen oikeaan ja mahdollisemman hyvin paikallisuuden huomioivaan laskentatyökaluun. Toisaalta on myös toivottavaa, että kehitystyön alle tulisi eri toimialoille soveltuvia ja helposti saavutettavia laskentaohjelmia, jotta standardimainen tapa vaikutusten arviointiin laajenee ja selvitysten vertailukelpoisuus nykyiseen verrattuna paranee. Varsinaisen elinkaariarvioinnin vaikutustenarviointi huomioi panosten ja syötteiden laaja-alaiset vaikutukset, mutta heikkoutena voi olla toiminnanharjoittajan varsin rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa niihin sekä merkittävä työmäärä. Tämän vuoksi on tehokkaampaa tutkia laadukkaammin toiminnan hiilijalanjälkeä, mihin suurin osa esitetyistä kehityskohteista voidaan kytkeä. Toiminnan tehostaminen hiilidioksidipäästöt huomioiden, vesitehokkuuden parantaminen raakaveden säästämällä ja jätevesien hyödyntäminen suljetuilla kierroilla ovat vaikutuksiltaan merkittävimmät kohteet elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten pienentämiseksi. Näillä saadaan kehitettyä yrityksen ympäristöjärjestelmänkin elinkaarinäkökulmavaatimuksen huomioimista.

## Lähteet

Andriuskevicius, K. & Streimikiene, D. 2022. Sustainability Framework for Assessment of Mergers and Acquisitions in Energy Sector. *Energies*. 2022.15 (13). 4557. Viitattu 20.10.2023. <https://doi.org/10.3390/en15134557>.

Antikainen, R. 2010. (Toim.) Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2010. Viitattu 25.2.2023. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/acf887d8-f7e6-405b-8c21-d944066d42a3/content>

Antikainen, R. & Seppälä, J. 2012. (Toim.) Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteon tukena. FINLCA-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 10/2012. Viitattu 24.2.2023. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38711/SY\\_10\\_2012.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38711/SY_10_2012.pdf?sequence=3&isAllowed=y).

A 2020/852. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus kestävää sijoittamista helpottavasta kehyksestä ja asetuksen (EU) 2019/2088 muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 18.6.2020. Viitattu 6.4.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852&from=nl>.

Biodiversity strategy for 2030. N.d. European Commission. Viitattu 1.3.2023. [https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en).

Curran, M.A. 2015. Life cycle assessment for students. John Wiley & Sons, Incorporated. Viitattu 23.4.2023. [www.janet.finna.fi](http://www.janet.finna.fi).

Chester, M., Matute, J., Bunje, P., Eisenstein, W., Pincetl, S., Elizabeth, Z., Cepeda, C. N.d. Life-Cycle Assessment for Transportation Decision-making. UCLA Institute of the Environment and Sustainability. Viitattu 15.9.2023. [https://www.transitwiki.org/TransitWiki/images/7/73/Life-cycle\\_assessment\\_fortransportation\\_decision-making.pdf](https://www.transitwiki.org/TransitWiki/images/7/73/Life-cycle_assessment_fortransportation_decision-making.pdf).

Direktiivi (EU) 2022/2464. Euroopan parlamentin ja neuvostin direktiivi yritysten kestävyysraportoinnista. Euroopan unionin virallinen lehti 16.12.2022 Viitattu 28.2.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2464&from=EN> .

Eriksson, P. & Koistinen, K. 2014. Monenlainen tapaustutkimus. Helsinki: Kuluttajatutkimuskeskus. Viitattu 20.4.2023. [www.kuluttajatutkimuskeskus.fi](http://www.kuluttajatutkimuskeskus.fi) .

Eriksson, O., Finnveden, G., Ekvall, T. & Björklund, A. 2007. Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy*. Volume 3. February 2007, Pages 1346-1362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421506001820?via%3Dihub>.

Feofilovs, M., Pakere, I. & Romagnoli, F. 2019. Life Cycle Assessment of Different Low-Temperature District Heating Development Scenarios: A Case Study of Municipality in Latvia. *Sciendo*. 23. 272 – 290. <https://content.sciendo.com>.

Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislainsäädännön ja siihen liittyviksi laeiksi. HE 139/2022. 2022. Eduskunta. Viitattu 6.4.2023. [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE\\_139+2022.aspx](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_139+2022.aspx).

Luonnos hallituksen esitykseksi rakentamislain muuttamisesta. Lausuntopalvelu. Viitattu 2.3.2024. <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=65211281-8a8f-4eb3-9465-ff3246a312c0&proposalLanguage=da4408c3-39e4-4f5a-84db-84481bafc744>

Huttunen, N. 2022. Kaukolämmön päästöjen huomioiminen rakentamisen ohjauksessa. Diplomityö, Aalto University. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202301291817>.

Huanga, T.Y., Chuieha, P.T. 2015. Life cycle assessment of reusing fly ash from municipal solid waste incineration. *ScienceDirect. Procedia Engineering* 118. 984 – 991. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

Häkkinen, T., Pesu, J., Räihä, J., Huostila, A., Soimakallio, S. & Ekroos, A. 2022. Kaukolämmön ja kaukokylmän vähähiilisyysarvioinnin vaihtoehdot osana rakennuksen ilmastaselvitystä. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 6.4.2023. <https://mrluudistus.fi/wp-content/uploads/2022/03/Kaukolammon-ja-kaukokylman-vahahiilisyysarvioinnin-vaihtoehdot-osana-rakennuksen-ilmastaselvitysta-2022-01-14.pdf>.

ILCD handbook, International Reference Life Cycle Data System. 2010. General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. JRC, European Commission. Viitattu 20.2.2023. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>.

Kallunki, J.-P. 2022. Tilinpäätösanalyysi. Alma Talent. Helsinki. Viitattu 2.4.2023. <https://janet.finna.fi>.

Kauhanen, T. 2023. Sähköposti. Vastaanottaja S.Turunen. 25.8.2023.

Kaukolämmön päästölaskuri. N.d. Paikallisvoima. Viitattu 26.2.2023. <https://www.klpaastolaskuri.fi/laskentatavat>.

Kiihdytämme siirtymää kestäväan kierto- ja biotalouteen. 2023. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 9.4.2023. [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_\\_kehittaminen/Kiertotalous](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kiertotalous).

Kortelainen, H., Komonen, K., Laitinen, J., Valkokari, P. & Hanski, J. 2021. Tietämysperusteinen elinjakson hallinta. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry. Viitattu 6.4.2023. <https://link.webpolsurveys.com/Participation/Public/1ee22acb-8384-415a-9050-2daff5e1f262?displayId=Fin2221824>.

LCIA: the ReCiPe model. National Institute for Public Health and the Environment. 2.11.2018. Viitattu 18.9.2023. <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>.

Liljenström, C. 2021. Life cycle assesment of transport system and transport infrastructure. KTH Royal Institute of technology. s.11.  
<https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1537091/FULLTEXT01.pdf>.

MEPs adopt new law banning greenwashing and misleading product information. 2024. European parliament, News. Viitattu 2.3.2024. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20240112IPR16772/meps-adopt-new-law-banning-greenwashing-and-misleading-product-information>.

Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? 2023. Euroopan parlamentti. Viitattu 9.4.2023. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/economy/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta>.

Nielsen, L. N.d. Life Cycle Assesment of district heating. CEN/TC 107 N101. 18.9.2001. Sähköpostiviesti 15.9.2023. Lähettäjä J. Lankinen.

Niemistö, J., Myllyviita, T., Holma, A., Jáchym, J., Sironen, S., Antikainen, R., Leskinen, P. 2017. Elinkaariajattelu pk- ja startup- yrityksen ympäristövaikutusten arvioinnissa ja tuotekeityksen tukena. Suomen ympäristökeskus NO 34/2017. Viitattu 25.2.2023  
<http://hdl.handle.net/10138/228240>.

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2014. Kehittämistyön menetelmät: uudenlaista osaamista liiketoimintaan. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 3. uud.p.

Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. Osallistava ja osaava Suomi – soisaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. Helsinki. 2019. viitattu 12.8.2023.  
[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Vahva ja välittävä Suomi. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:58. Helsinki. 2023. viitattu 12.8.2023. urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-763-8 .

Savon Voima Oyj. Savon Voiman strategia 2023-2026. Sisäinen intranet. Viitattu 20.10.2023.

Savon Voima Oyj. Vuosikatsaus 2022. Viitattu 1.12.2023. [https://savonvoima.fi/wp-content/uploads/2023/04/SV\\_Vuosikatsaus\\_2022\\_web-1.pdf](https://savonvoima.fi/wp-content/uploads/2023/04/SV_Vuosikatsaus_2022_web-1.pdf).

SFS-EN ISO 14040:2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. 3.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 26.2.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 14001:2015. Ympäristöjärjestelmät. Vaatimukset ja niiden soveltamisohjeita. 3.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 26.2.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 14064-1:2019. Kasvihuonekaasut. Osa 1: Määrittelyt ja opastusta kasvihuonekaasujen päästöjen ja poistojen laskennasta ja raportoinnista organisaatiotasolla. 2.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 10.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 14067:2018. Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. poistojen laskennasta ja raportoinnista organisaatiotasolla. 2.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 10.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Suomen ympäristökeskus. 2017. Elinkaariklinikat:ohjeita toteuttajalle. Viitattu 5.9.2023. <https://www.syke.fi/download/noname/%7BFDA3FB95-B761-4683-B301-50749BE3BD38%7D/147097>.

Tilastokeskus. 15.3.2024. Kasvihuonekaasut sektoreittain ilman LULUFC -sektoria 1999 – 2022. Viitattu 20.3.2024. <https://www.stat.fi/tilasto/khki>.

Tilastokeskus. N.d. Käsitteet. Tieliikenteen tonnakilometri. Viitattu 22.10.2023. [https://www.stat.fi/meta/kas/tieliiken\\_tkm.html](https://www.stat.fi/meta/kas/tieliiken_tkm.html).

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2023. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan julkaisuja. 2/2023. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa 2023. Viitattu 2.12.2023. [https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje\\_2023.pdf](https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje_2023.pdf).

# Liitteet

## Liite 1. Tietojenkeruupohja

Tiedonkeruu pvm				
Yksikköprosessi				
Aikaväli				
toiminnallinen yksikkö/ MWh (vuoden 2022 kl-myynti)				
<b>PANOKSET</b>				
<b>Materiaalisyötteen</b>	<b>yksikkö</b>	<b>määrä</b>	<b>määrä/MWh</b>	<b>Näytteenottomenettelyjen kuvaus/alkuperä</b>
kemikaalit (rasvat)	t			arvio
natriumhydroksidi	t			vuosiraportti
<b>Vedenkulutus</b>				
<b>yksikkö</b>	<b>määrä</b>	<b>määrä/MWh</b>	<b>Näytteenottomenettelyjen kuvaus/alkuperä</b>	
raakavesi	m3			tarkennettu tieto vesilaitokselta
<b>Energiasyötteen</b>				
<b>yksikkö</b>	<b>määrä</b>	<b>määrä/MWh</b>	<b>Näytteenottomenettelyjen kuvaus/alkuperä</b>	
polttoaine, jyrshinturve, fos	MJ			polttoainetietojärjestelmä
polttoaine, palaturve, fos	MJ			polttoainetietojärjestelmä
turve yht.	kg			polttoainetietojärjestelmä
polttoaine, öljy fos	MJ			polttoainetietojärjestelmä
polttoaine, öljy fos	kg			polttoainetietojärjestelmä
polttoaine, bio, puu	MJ			polttoainetietojärjestelmä
polttoaine, bio, puu	kg			polttoainetietojärjestelmä
sähkö	MWh			tarkennettu tieto laskuista
huoltoliikenteen polttoaine	l			laskennallinen/alueen yhden auton keskimääräinen tankkausmäärä/v
huoltoliikenne, pakettiauto	km			laskennallinen keskimääräisellä vuosikulutuksella
Jatkuu seuraavalla sivulla				

Jatkoa edelliseltä sivulta					
<b>TUOTOS</b>					
<b>Materiaalituotokset</b>	<b>yksikkö</b>	<b>määrä</b>	<b>määrä/MWh</b>	<b>Näytteenottomenettelyjen kuvaus/alkuperä</b>	
tuhka	t			vuosiraportti	
tuhkan kuljetus	t*km			arvio	
jätevesi	m3			vesilaitos	
kattilan pesuvesi	t			vuosiraportti	
sekajäte	kg			vuosiraportti	
sekajättekuljetus	t*km			laskenta	
lauhdevesi	m3/t			vuosiraportti	
raskasmetallit, tuhka, määrittelemätön	g			vuosiraportti & laskenta	
<b>Ilmapäästöt</b>					
				<b>Näytteenottomenettelyjen kuvaus/alkuperä</b>	
CO2, foss	t			vuosiraportti/ once	
CO2, bio	t			vuosiraportti/ once	
NOx	kg			vuosiraportti/ once	
SO2	kg			vuosiraportti/ once	
hiukkaset	kg			vuosiraportti/ once	
hukkaenergia prosessista (polttoaine-energia+sähkö-tuotanto)	MWh			laskenta	
energiahäviö verkostosta (tuotantomyynti)	MWh			laskenta	
<b>KULJETUSMALLI</b>					
<b>Panos</b>	<b>etäisyys</b>	<b>Kuorman koko (t)</b>	<b>Kuormien määrä</b>	<b>Tonnikilometri (t*km)</b>	<b>tkm/MWh</b>
jyrsinturve					
palaturve					
kokopuuhake					
Metsätähdehake					
Sahanpuru					
Kevyt polttoöljy					

**Liite 2. Täydennetty tietojenkeruupohja toimeksiantajalle (salassa pidettävä)**



**Liite 2.**

Sivu 2

**Liite 3. Vaikutusarvioinnin tulokset Open LCA (salassa pidettävä)**

**Liite 4. Esitetyt kehityskohteet (salassa pidettävä)**