



Hiilijalanjälki julkisissa ruoka- hankinnoissa - Case Pohjois- Lapin Ruoka Oy

Noore Serlippens

OPINNÄYTETYÖ

Toukokuu 2025

Bachelor's degree Programme in Environmental Engineering

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Bachelor's degree Programme in Environmental Engineering

NOORE SERLIPPENS

Hiilijalanjälki julkisissa ruokahankinnoissa – Case Pohjois-Lapin Ruoka Oy

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 13 sivua
Toukokuu 2025

Painottaen lähiruoan käyttöä, tämä opinnäytetyö tarkastelee tarkemmin hiilijalanjälkitiedon kestävyyttä luotettavana ja vertailukelpoisena kriteerinä julkisissa hankinnoissa. Työ on tehty toimeksiantona Pohjois-Lapin Ruoka Oy:lle, joka on pohjoisläppiläinen ruokapalveluyritys, joka haluaa selvittää, voidaanko paikallisesti hankittujen tuotteiden, erityisesti naudanlihan, kalan, perunan ja nauriin, hiilijalanjälkeä laskea riittävän tarkasti ja läpinäkyvästi jotta ne täyttävät julkisten hankintojen vaatimukset. Teoreettinen viitekehys pohjautuu LUKE:n vuonna 2024 julkaisemaan kansalliseen Food-LCA ohjeistukseen, julkisia hankintoja koskevaan lainsäädäntöön, elinkaariarvioinnin menetelmiin sekä hiilijalanjälkilaskentaan. Työssä hyödynnettiin kirjallisuuskatsausta, haastatteluja sekä perusteellisia hiilijalanjälkilaskelmia LUKE:n kehdosta käyttöön mallin mukaisesti.

Tulokset osoittavat, että elintarvikkeiden hiilijalanjälkiarvioinnit voivat tarjota luotettavaa sekä vertailukelpoista tietoa hankintapäätösten tueksi, kunhan ne toteutetaan systemaattisesti ja läpinäkyvästi. Tulokset korostavat ilmastoystävällisten hankintakäytäntöjen mahdollisuuksia, sillä paikallisen kalan ja kasvipohjaisten tuotteiden ilmastovaikutukset ovat merkittävästi pienemmät kuin naudanlihalla. Haasteita kuitenkin tuottavat tiedonkeruun vaativuus ja toimittajien valmius antaa tietoa, tämä korostaa käytännönläheisten työkalujen ja täsmällisten ohjeistusten tarvetta. Työ ehdottaa jatkotutkimuksia myös muiden ympäristövaikutusluokkien osalta kestävyuden kokonaisvaltaiseksi tukemiseksi ja toteaa, että hiilijalanjäljen käyttäminen hankintakriteerinä on sekä mahdollista että hyödyllistä.

Asiasanat: hiilijalanjälki, elintarvikehankinnat, elinkaariarviointi, ruokapalvelut

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor's degree Programme in Environmental Engineering

NOORE SERLIPPENS
Carbon Footprint in Public Procurement – Case Pohjois-Lapin Ruoka Oy

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 13 pages
May 2025

With an emphasis on local food sourcing, this thesis looks further into the sustainability of carbon footprint data as a reliable and comparable criterion in public procurement. The study is commissioned by Pohjois-Lapin Ruoka Oy, a Northern Lapland based food service company that intends to ascertain whether carbon footprint data for local sourced goods, specifically beef, fish, potatoes and turnip, can be computed in a way that is sufficiently transparent and precise to satisfy public procurement regulations. The theoretical framework is founded on LUKE's national Foods-LCA guidance (2024), public procurement laws, life cycle assessment (LCA) techniques, and carbon footprint accounting. A review of the literature, supplier interviews, and thorough carbon footprint estimates based on LUKE's cradle-to-use model are all used in the study.

The results show that food carbon footprint evaluations can offer reliable and comparable information for purchasing decisions if they are carried out methodically and transparently. The results highlight the potential for climate-friendly procurement practices by demonstrating that local fish and plant-based goods have substantially lower climate impacts than beef. But issues like the difficulty of data collection and supplier preparedness draw attention to the necessity of useful resources and precise regulations. To support comprehensive sustainability goals, the study suggests more research into other environmental impact categories and finds that including carbon footprint criteria into procurement is both possible and advantageous.

Key words: carbon footprint, public procurement, food procurement, life cycle assessment

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TEOREETTINEN VIITEKEHYS	9
2.1	Hiilijalanjäljen merkitys ja määritelmä.....	9
2.1.1	Rajaus ja näkökulma	9
2.1.2	Hiilijalanjälki ja Ilmastonmuutos	10
2.1.3	Hiilijalanjälkilaskelmat.....	11
2.2	Elinkaariarvio (LCA)	11
2.2.1	Rajaus ja näkökulma	11
2.2.2	Elinkaariarvio LCA.....	12
2.2.3	LUKE:n hiilijalanjäljen laskenta ohjeistus.....	14
2.3	Julkinen hankinta	16
2.3.1	Rajaus & näkökulma.....	16
2.3.2	Julkisen hankinnan määritelmä	17
2.3.3	Suomen hankintalaki	17
2.4	Aikaisemmat tutkimukset elintarvikkeiden hiilijalanjälkeen liittyen	18
2.4.1	Juurekset.....	19
2.4.2	Naudanliha	20
2.4.3	Kala	20
3	MENETELMÄT	21
3.1	Opinnäytetyön taustametodit	21
3.2	Kirjallisuushaku	21
3.3	Hiilijalanjälkilaskenta	22
3.3.1	Juureksien hiilijalanjäljen laskeminen	24
3.3.2	Naudanlihan Hiilijalanjäljen laskeminen.....	26
3.3.3	Kalan hiilijalanjäljen laskeminen	28
3.4	Datan keräys	29
4	TULOKSET & POHDINTA	31
4.1	Vastaus tutkimuskysymykseen	31
4.2	Peruna	31
4.3	Nauris.....	33
4.4	Nauta	35
4.5	Kala.....	39
4.6	Hiilijalanjälkilaskennan luotettavuus ja sovellettavuus hankinnoissa	43
4.7	Suosituksset yritykselle.....	44
5	YHTEENVETO	47

LÄHTEET	48
LIITTEET	53
Liite 1. Perunan Hiilijalanjälkilaskut.....	53
Liite 2. Nauriin Hiilijalanjälkilaskut	55
Liite 3. Kalan hiilijalanjälkilaskut.....	57
Liite 4. Naudan Hiilijalanjälkilaskut	59
Liite 5 Haastattelu runko nauriille ja perunalle	61
Liite 6. Haastattelu runko Naudalle	62
Liite 7. Haastattelu runko Kalalle.	64

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
op	opintopiste
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti- eri kasvihuonekaasujen ilmastovaikutukset muutettu yhteismitalliseen muotoon
LCA	Life Cycle Assessment -Elinkaariarviointi, tuotteen tai palvelun koko elinkaaren ympäristövaikutuksen arviointimenetelmä
LUKE	Luonnonvarakeskus – Suomalainen tutkimuslaitos, joka on erikoistunut luonnonvarojen kestäväseen käyttöön
Cradle to use	Elinkaarilaskennan rajaus, joka kattaa tuotteen vaiheet alkutuotannosta aina käyttöön asti, mutta ei käytön jälkeistä loppusijoitusta
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change – Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli
N ₂ O	Dityppioksidi – voimakas kasvihuonekaasu, joka syntyy erityisesti maataloudessa
CH ₄	Metaani – kasvihuonekaasu, jota vapautuu muun muassa eläinten ruuansulatuksessa ja lannankäsittelyssä
Kg CO ₂ e/kg	Hiilidioksidiekvivalentti kilogrammaa kohden – yksikkö, jolla ilmaistaan tuotteen ilmastovaikutus painoyksikköä kohden
Päästökerroin	Arvo, joka kuvaa tietyn toiminnon tai aineen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä tietyssä yksikössä
Julkinen hankinta	Julkisen sektorin toteuttama tavaroiden, palveluiden tai urakoiden kilpailutettu hankinta
Kehdosta portille	Tuotteen ympäristövaikutusten arviointia raaka-aineista tuotantopaikalta lähtevän valmiiseen tuotteeseen saakka

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, voidaanko elintarvikkeiden hiilijalanjälkeä hyödyntää vertailukelpoisena ja luotettavana kriteerinä julkisissa ruokahankinnoissa. Työ toteutetaan toimeksiantona Pohjois-Lapin ruoka Oy:lle, joka on vuonna 2023 perustettu ruokapalveluyhtiö. Yrityksen toiminta sijoittuu Lapin viiden kunnan alueelle: Inariin, Sodankylään, Utsjoelle, Pelkosenniemelle sekä Savukoskelle. Yrityksen tavoitteena on tarjota laadukasta ruokapalvelua paikallisille yhteisöille sekä lisäksi panostavaa mahdollisuuksien mukaan lähiraaka-ainesten käyttöön. (Pohjois-Lapin Ruoka Oy n.d.)

Opinnäytetyön tutkimuskysymys on seuraavanlainen: Voidaanko lähiruoan - erityisesti Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n käyttämien elintarvikkeiden - hiilijalanjälkeä selvittää riittävän luotettavasti ja läpinäkyvästi, jotta se täyttäisi kilpailuskriteerin vaatimukset julkisissa hankinnoissa? Tämän lisäksi työssä tarkastellaan Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n tarpeita ja tavoitteita hiilijalanjälkitiedon hyödyntämiselle hankintaprosesseissa, arvioidaan käytännön mahdollisuuksia tuottaa laskelmat ohjeistuksen mukaisesti. Lisäksi selvitetään, millaisia reunaehtoja ja mahdollisuuksia EU:n lainsäädäntö ja kansalliset ohjeistukset asettavat hiilijalanjäljen käytölle julkisissa kilpailutuksissa. Edellä mainittujen lisäksi pohditaan, mitä hyötyjä ja haasteita hiilijalanjäljen käyttäminen kilpailuskriteerinä voisi tuoda Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n kaltaiselle paikallisesti toimivalle elintarvikehankkijalle.

Tutkimuskysymykset pohjautuvat teoreettiseen viitekehykseen, joka rakentuu elintarvikkeiden hiilijalanjäljen laskennasta, elinkaariarvioinnin menetelmistä, julkisten hankintojen kriteereistä sekä luonnonvarakeskuksen laatimista ruokatuotteiden päästölaskennan ohjeistuksesta.

Selvitystyössä hyödynnetään Luonnonvarakeskuksen, LUKE:n, 2024 julkaisemaa Ruoka-LCA-Laskentaohjeistusta, jonka tavoitteena on edistää avoimia, yhtenäisiä sekä vertailukelpoisia elinkaariarviointeja ruuantuotannossa. Ohjeistus toimii perustana tuotteiden ilmastovaikutusten laskennalle, jonka mukaisesti tuotetun datan arvioidaan olevan hyödyllistä juurikin hankintapäätöksenteossa. (LUKE 2024)

Työn tarkoituksena on tuottaa selkeä kokonaiskuva siitä, miten saatuja hiilijalanjälkitietoja voidaan hyödyntää kilpailutuksissa. Lisäksi vastataan siihen onko tarvittava tieto mahdollista kerätä ja laskea luotettavasti. Lopputuloksena esitetään käytännönläheisiä suosituksia siitä, kuinka yritys voi kehittää hankintakäytäntöjään niin, että ympäristönäkökohdat saadaan paremmin integroitua päätöksentekoon. Työ rajautuu niihin tuoteryhmiin, jotka muodostavat merkittävän osan Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n hankinnoista. Tarkastelussa keskitytään erityisesti sellaisiin tuotteisiin ja menetelmiin, jotka ovat yhteensopivia LUKE:n ohjeistuksen kanssa.

Työssä analysoidaan seuraavat raaka-aineet: nauta, kala, peruna & nauris. Kalan kohdalla keskitytään siikaan, ahveneen ja haukeen. Selvityksessä keskitytään Sodankylän keskuskeittiöön sekä valittuihin raaka-ainetoimittajiin. Kunkin tuoteryhmän osalta tarkastellaan hiilijalanjälkilaskennan toteutettavuutta paikallisten toimittajien näkökulmasta, sekä mahdollisuuksien mukaan verrataan tuloksia suurempien toimijoiden vastaaviin arvoihin. Tarkastelussa kiinnitetään erityisesti huomiota laskentaan liittyvien epävarmuustekijöiden hallintaan.

Aihe on ajankohtainen kestävän kehityksen ja ilmastopoliittisten tavoitteiden näkökulmasta. Yhteiskunnallinen paine kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi sekä tarve ympäristön huomioimiseen julkisissa hankinnoissa korostavat aiheen merkitystä. Ruuantuotanto on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde, ja erityisesti alkutuotannolla on suuri osuus kokonaisvaikutuksista. Vaikka elintarvikkeiden valmistus, pakkaus ja kuljetus aiheuttavat ilmastovaikutuksia, on niiden osuus usein pienempi verrattuna maatalouden vaikutuksiin. (WWF n.d.)

2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksen taustalla vaikuttavia keskeisiä käsitteitä, teoreettisia näkökulmia sekä aikaisempia tutkimuksia muodostaen perustan hiilijalanjäljen hyödyntämismahdollisuuksien arvioimiselle julkisista hankinnoista. Teoreettinen viitekehys toimii tukirakenteena tutkimuksen empiiriselle osuudelle sekä auttaa ymmärtämään hiilijalanjäljen merkitystä osana päästöjen mittaamista, kestäväää kehitystä sekä ympäristökriteerien soveltamista hankintapäätöksissä.

Luvussa käsitellään hiilijalanjäljen määritelmiä ja mittausmenetelmiä sekä niiden merkitystä julkisessa päätöksenteossa. Lisäksi tarkastellaan lainsäädäntöä ja ohjeistuksia, jotka ohjaavat ympäristönäkökulmien huomioon ottamista julkisissa hankinnoissa sekä elinkaarilaskennan roolia kestävässä hankintaprosessissa. Viitekehys muodostaa pohjan sille, miten hiilijalanjäljen huomioiminen ruokasektorissa voi edistää ilmastotavoitteiden saavuttamista ja tukea kestäväää elintarvikkejärjestelmää.

2.1 Hiilijalanjäljen merkitys ja määritelmä

2.1.1 Rajaus ja näkökulma

Hiilijalanjälkeä tarkastellaan tässä tutkimuksessa erityisesti ilmastonmuutoksen näkökulmasta, ja painopiste on ruokatuotannon vaikutuksessa kasvihuonekaasupäästöihin. Ruokavalinnoilla on huomattava vaikutus sekä yksilön ja yhteiskunnan kokonaispäästöihin. Tämän vuoksi tarkastelun kohteeksi on rajattu erityisesti elintarvikkeiden elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset, keskittyen eläinperäisiin tuotteisiin. Tällä rajauksella pyritään konkretisoimaan hiilijalanjäljen käyttökelpoisuutta julkisten hankintojen kilpailutuksessa sekä tukemaan päätöksentekoa, jonka tavoitteena on kestävämpi ruokajärjestelmä.

2.1.2 Hiilijalanjälki ja Ilmastonmuutos

Hiilijalanjälki kuvaa tutkittavan tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana syntyneiden kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Se tarjoaa näkymän tuotteen ilmastonvaikutuksiin sekä mahdollistaa tuotantoketjun eri vaiheiden päästöjen tunnistamisen. Tämä puolestaan mahdollistaa tuotantoprosessien kehittämistä kohti vähäpäästöisempiä ja ympäristöystävällisempiä ratkaisuja. (Saarinen 2023)

Suomalaisen keskimääräinen ruokavalion hiilijalanjälki on arvioltaan 1750 kg vuodessa. Yli kolmannes tästä määrästä koostuu lihatuotteista ja toiseksi suurimman osuuden muodostavat maitotuotteet, jotka vastaavat noin kolmannesta ruuan hiilijalanjäljestä Suomessa. Yhteensä eläinperäiset tuotteet kattavat jopa 78 % ruokavalion kokonaispäästöistä. (Lettenmeier et al. 2019)

Ilmastomuutoksen vaikutukset, joihin hiilijalanjälki ja päästöt ovat kytköksissä, koskettavat laaja-alaisesti sekä ihmisiä että luonnon ekosysteemejä eri alueilla. Luonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemipalveluiden, kuten hiilen sitomisen, veden kierron sekä ilmaston säätelyn säilyttäminen on keskeistä ilmastokestävän kehityksen kannalta. Jotta ilmastotyön tavoitteet ovat saavutettavissa tulee kaikki toimijat ottaa huomioon niin yhteiskunnan tasolla kuin myös yksityisillä ja julkisilla sektoreilla. (IPCC:n raportti 2022)

Ympäristöjalanjälki toimii tehokkaana mittarina ympäristöpaineiden tunnistamisessa ja tasapainottamisessa taloudellisten ja sosiaalisten arvojen kanssa elintarvikejärjestelmässä. Ympäristöjalanjäljet mahdollistavat päästöjen kvantifioinnin missä vain toimitusketjun vaiheessa ja tukevat päätöksentekoa eri tasoilla, yksilöistä poliittisiin päätöksentekijöihin. Kestävä elintarvikejärjestelmä varmistaa maailmanlaajuisen elintarviketurvan sekä ravitsemuksen vaarantamatta sosioekonomista ja ympäristön perustaa, josta tulevat sukupolvet ovat riippuvaisia. (Niu, Li, Zhang, Li 2024) Keskeisimmät kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), vesihöyry (H_2O), dityppioksidi (N_2O) sekä otsoni (O_3). Alimmissa ilmakehän kerroksissa kasvihuonekaasuista vaikutuksiltaan voimakkain kasvihuonekaasu on vesihöyry, mutta ihmisten toiminnan kannalta merkittävin on hiilidioksidi, jota syntyy erityisesti fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Metaania muodostuu hapettomia olosuhteita, esimerkiksi märehitijöiden ruuansulatuksessa

ja kaatopaikoilla, kun taas dityppioksidia vapautuu maataloudessa typpilannoit-
teiden hajotessa maaperään. (Ilmatieteen laitos 2022)

2.1.3 Hiilijalanjälkilaskelmat

Hiilijalanjälkilaskema sisältää tiedot tuotteen elinkaaren aikaisista suorista ja epä-
suorista päästöistä, mukaan lukien raaka-aineiden hankinta, suunnittelu, valmis-
tus, kuljetus tai toimitus, käyttö sekä elinkaaren lopun käsittely. (ISO 14067 2018,
43.) Tulokset ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentteina (CO_2e), mikä mahdollistaa eri
kaasujen vertailun yhdenmukaisesti ilmastovaikutusten suhteen. (Haaspuro &
Jaurimaa 2019, 3) Lopullisen arvon määrittämiseen vaikuttaa olennaisesti se, mihin
rajaukseen elinkaariarvio perustuu: huomioidaanko päästöt kehdosta portille
(Cradle-to-gate) vai koko elinkaaren ajalta (Cradle-to-grave). (Edwards-Jones
2009 a, 708) Hiilijalanjäljen selvittäminen on keskeinen työkalu ympäristövaiku-
tusten hallinnassa, sillä se auttaa kohdistamaan toimenpiteet suurimpiin päästö-
lähteisiin. Näiden lisäksi hiilijalanjälki tukee organisaatioita päätöksenteossa,
jossa pyritään tekemään kestävämpiä valintoja niin hankinnoissa, tuotannossa
kuin myös kulutuksessa. Hiilineutraaliuden tavoittelu edellyttää kokonaisvaltaista
lähestymistapaa ja laaja-alaista sitoutumista niin julkisen kuin myös yksityisen
sektorin tasolla (Arola 2022).

2.2 Elinkaariarvio (LCA)

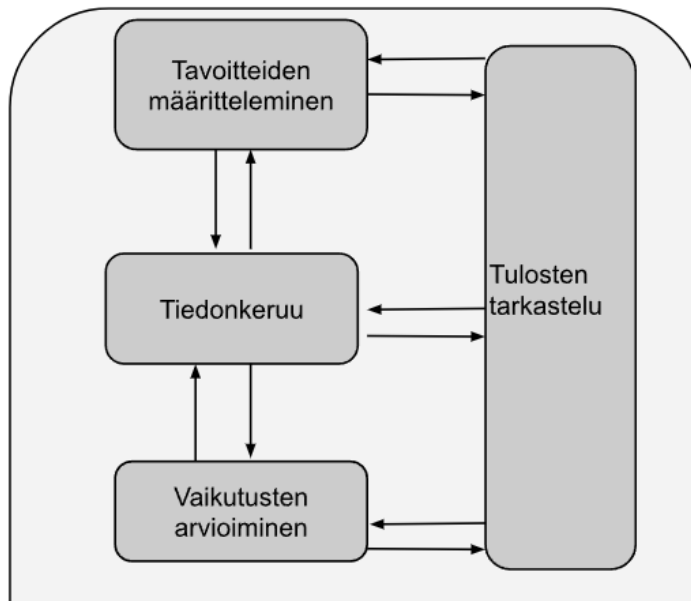
2.2.1 Rajaus ja näkökulma

Elinkaariarviointia tarkastellaan tässä opinnäytetyössä välineenä, jonka avulla
voidaan systemaattisesti mitata ja tunnistaa ruoan tuotantoon liittyviä ympäristö-
vaikutuksia koko toimitusketjun osalta. Keskeisenä näkökulmana on ilmaston-
muutoksen hillintä ja erityisesti elintarviketuotteiden aiheuttamien kasvihuone-
kaasupäästöjen tunnistaminen ja arviointi. Elinkaariarviointi rajataan tämän tutki-
muksen yhteydessä ruokatuotteiden elinkaareen kehdosta portille -periaatteella,

sillä tämä lähestymistapa antaa kattavan kuvan tuotteiden ympäristövaikutuksista ennen niiden saapumista loppukäyttäjälle. Menetelmällä pyritään tunnistamaan tuotannon keskeiset päästölähteet ja tarjoamaan tietoa, jonka avulla on mahdollisuus kohdentaa tehokkaammin päästövähennystoimia. Tarkastelun perustana toimii Luonnonvarakeskuksen kansallinen ohjeistus, joka varmistaa arviointien vertailtavuuden ja soveltavuuden suomalaiseseen ruokatuotantoon ja julkiseen hankintapäätöksentekoon.

2.2.2 Elinkaariarvio LCA

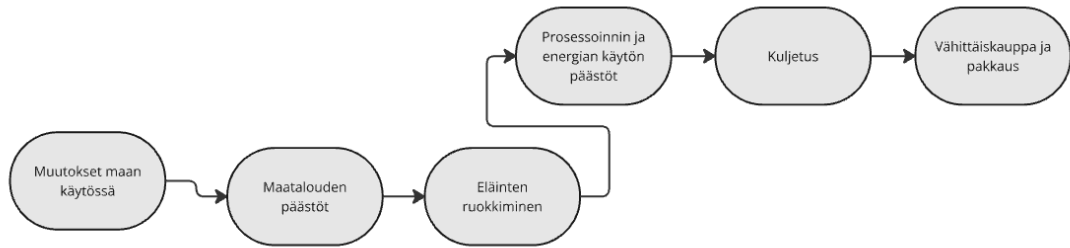
Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA) on kansainvälisesti standardoitu menetelmä, jonka avulla arvioidaan tuotteiden ja palveluiden elinkaaren aikana syntyneitä päästöjä ja ympäristövaikutuksia. Elinkaariarvioinnissa huomioidaan jokainen tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana tapahtuva vaihe raaka-aineiden hankinnasta, tuotannosta ja kuljetuksesta aina käyttöön ja elinkaaren lopun jätehuoltoon asti. Elinkaariarviointi mahdollistaa tuotteiden välisen vertailun, kun tarkastelussa käytetään yhdenmukaista toiminnallista yksikköä, elintarvikkeissa tyyppillisesti yhtä tuotettua kilogrammaa kohti. (NEPGA 2024) Elinkaariarviointi muodostuu tyyppillisesti neljästä eri päävaiheesta: tavoitteiden määrittelystä, tiedon keräämisestä, vaikutusten arvioinnista sekä lopuksi tulosten tarkastelusta. Nämä vaiheet tarjoavat järjestelmällisen tavan lähestyä tuotteen tai palvelun ympäristövaikutusten arvioimista. (Antikainen 2010). Nämä neljä vaihetta on esitetty alla olevassa kuviossa.



KUVIO 1. Elinkaariarvioinnin vaiheet ISO 14040:2006 mukaan (Antikainen 2010).

Ensimmäinen vaihe on ratkaiseva, sillä se määrittelee tutkimuksen tarkkuuden sekä rajaukset. Inventaario- ja vaikutusarviovaiheet perustuvat suhteelliseen tarkasteluun valitun toiminnallisen yksikön kautta. Tulosten tutkintavaiheessa arvioidaan mittaustiedon luotettavuutta ja merkitystä päätöksenteon kannalta. (Antikainen 2010).

Arvioiden mukaan yli 20 % maailmanlaajuisista ihmistoiminnan kasvihuonekaasupäästöistä liittyy elintarvikkeiden tuotantoon, jalostukseen ja kuljetukseen. Esimerkiksi riisin, lihan sekä maitotuotteiden tuotanto eläimistä tuottaa metaanipäästöjä, kun taas muut viljelykasvit ja niistä valmistetut elintarvikkeet tuottavat erityisesti dityppioksidipäästöjä. Elintarvikkeiden tuotannon ja kuljetuksen aikana syntyy näiden lisäksi huomattavia määriä hiilidioksidia. Näiden vuoksi tehokkaan päästöstrategian muodostaminen edellyttää prosessitason tunnistamista ja sen jatkuvaa kehittämistä koko elintarvikeketjun hallinnassa. (Shabir et al., 2023) Kuviossa 2 esitetään elintarvikkeiden tuotantoketjuun liittyvien kasvihuonekaasupäästöjen synty pisteet prosessimaisena kaaviona, havainnollistaen eri vaiheiden vaikutukset ruokajärjestelmässä tuotteen kokonaisilmastovaikutukseen. Kuvio korostaa alkutuotannon, erityisesti maanviljelyn ja eläinten ruokinnan, merkitystä ruokaketjun ilmastovaikutuksissa.



KUVIO 2. Kasvihuonekaasupäästöt koko toimitusketjussa (Shabir et al., 2023)

Elinkaariarviointi tarjoaa metodologisen viitekehyksen paitsi ilmastonmuutokseen liittyvien vaikutusten arviointiin myös lisäksi muihin ympäristökategorioihin, joihin luetaan kuuluvan toksikologinen stressi, ilmastonmuutos, happamoituminen, rehevöityminen sekä resurssit arvioida tuotteita vain tehokkaan ilmastonmuutoskategorian osalta. Menetelmää käytetään laajasti hiilijalanjäljen arvioinnissa erityisesti ruokasektorilla. Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää esimerkiksi kehittämällä typen hallintaa viljelyvaiheessa, valitsemalla energiatehokkaampia elintarvikkeiden jalostusmenetelmiä, Parantamalla jätevedenkäsittelyä sekä optimoimalla logistiikkaa ja jakelua. (Xu et al., 2020)

2.2.3 LUKE:n hiilijalanjäljen laskenta ohjeistus

Opinnäytetyössä analysoidaan sekä hyödynnetään Luonnonvarakeskuksen (LUKE) laatimaa ohjeistusta ”Guidance for environmental footprint assessment of food products (Food-LCA) – Specification for external communicational purposes on the Finnish market”. Ohjeistus, jonka päätoimittajat ovat Hannele Heusala ja Anniina Lehtilä, julkaistiin 12.12.2024. Ohjeistuksen tarkoituksena on tarjota kansallinen viitekehys elintarvikkeiden ympäristövaikutusten arvioinnille erityisesti tilanteissa, joissa tuloksia käytetään ulkoiseen viestintään.

Ohjeistus pyrkii antamaan selkeän viitekehyksen elintarvikkeiden ympäristövaikutusten arviointiin eritoten, kun kyse on tietojen hyödyntämisestä ulkoisessa viestinnässä. Ohjeen tavoitteena on laskentatapojen yhtenäistäminen sekä tiedon läpinäkyvyyden varmistaminen ja vertailtavuus suomalaisessa kontekstissa. Ohjeistus on suunnattu kotimaisille toimijoille, jotka hyödyntävät elinkaariarviointia esimerkiksi hankintaprosesseissa tai vastuullisuusraportoinnissa.

Koska ohjeistus sisältää useita elintarvikeluokkia, joille ei voida määrittää yhteisiä toiminnallisia yksiköitä, tulee toiminnallisten yksiköiden sijaan käyttää ilmoitettuja yksiköitä. Ilmoitetut yksiköt ovat ihmisravinnoksi tarkoitettuja syötävien elintarvikkeiden tuotannon massa- tai tilavuusyksiköitä, jotka toimitetaan kuluttajalle ottaen huomioon myös elinkaaren loppu. Kaikki tutkimuksessa kerätyt kvantitatiiviset syöttö- ja lähtötiedot on laskettava suhteessa tähän.

Ohjeistus kattaa Suomen markkinoilla myytävät elintarvikkeet ja keskittyy erityisesti niiden tuotetason ympäristövaikutusten arviointiin ulkoista viestintää varten. Se soveltuu laajasti eri tuoteryhmiin, kuten kasvi-, eläin-, ja kalatuotteisiin. Tuotteen koko elinkaari kehdosta hautaan on arvioitava pääelinkaarivaiheiden mukaisesti ja prosessi sisällytetään järjestelmän rajoihin. Pääelinkaarivaiheisiin sisältyy viisi päävaihetta: raaka-aineiden hankinta ja esikäsittely, tuotteen valmistus, jakelu ja varastointi, käyttö sekä jätehuolto. Tietyt toiminnot voidaan sulkea tarkastelun ulkopuolelle, kuten infrastruktuurin käyttö tai ihmisperäiset päästöt, kuten ulosteet, ellei niiden vaikutusta ole aiemmissa tutkimuksissa todettu merkittäväksi.

Ohjeistuksen mukaisessa elinkaariarvioinnissa tuotteen ympäristöjalanjälkiprofiili on määriteltävä siten, että se sisältää vaikutukset rehevöitymiseen, veden käytön aiheuttamaan niukkuuteen sekä ilmastonmuutokseen. Käytettävät vaikutusluokat perustuvat kansainvälisiin suosituksiin ja standardeihin, mikä takaa menetelmän kansainvälisen vertailtavuuden. Yrityskohtaiset tiedot tulee mitata kyseisestä toimipaikasta tai toimitilasta. Näitä tietoja ovat esimerkiksi energian, veden ja materiaalien kulutus sekä ilmaan, veteen ja maaperään kohdistuvat päästöt. Tiedonkeruussa korostetaan merkityksellisyyden ja luotettavuuden arviointia suhteessa tiedon keräämisen vaativuuteen ja EU-lainsäädännön vaatimuksiin. Mikäli suoria mittaustietoja ei ole saatavilla, voidaan käyttää perusteltuja oletuksia, jotka tulee dokumentoida läpinäkyvästi.

Ilmastonmuutoksen vaikutusluokka mallinnetaan ottaen huomioon kolme ehdotusluokkaa; ilmastonmuutos – fossiilinen, ilmastonmuutos – biogeeninen ja ilmastonmuutos – maankäytön ja maankäytön muutos (LULUC). LULUC-laskenta

edellyttää tietoa esimerkiksi maaperätyypistä, maankäyttöhistoriasta ja maantieteellisestä alkuperästä. Veden niukkuusvaikutuskategoriaa käsitellään AWARE menetelmällä ja veden perusvirtauksen tulee noudattaa ISO 14046 (ISO 2014) -standardin vedenkulutusmääritelmää.

Ohjeistus sisältää mallin elinkaariarviointiraportin laatimiseksi, jossa esitetään elinkaarikartoitus, vaikutusarvioiden tulokset luokkakohtaisesti, tulosten normalisointi sekä lopullinen kokonaispistemäärä. Tällä rakenteella pyritään lisäämään arviointien läpinäkyvyyttä, vertailtavuutta ja päätöksen tukemista erityisesti julkisissa hankinnoissa. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan laadita kokonaista elinkaariarviointiraporttia, vaan ohjeistusta hyödynnetään osana yksittäisten tuotteiden hiilijalanjäkilaskentaa.

Mikäli elinkaariarvioinnin tuloksia tai sen osia käytetään ulkoiseen viestintään, ohjeistus edellyttää, että raportti validoidaan ja todennetaan riippumattoman asiantuntijan toimesta. Todentamisen avulla pystytään varmistamaan tiedon luotettavuus ja ympäristöväittämien uskottavuus sekä yhdenmukaisuus ohjeistuksen kanssa.

2.3 Julkinen hankinta

2.3.1 Rajaus & näkökulma

Tässä luvussa tarkastellaan julkisia hankintoja erityisesti ilmastonmuutoksen näkökulmasta sekä niiden roolia kestäväen ruokatuotannon edistämiseksi. Tarkastelu keskittyy erityisesti julkisten elintarvikehankintojen potentiaaliin hiilijalanjäljen pienentämisessä ja siihen, miten hankintakriteerejä voitaisiin kehittää vähähiilisten ratkaisujen edistämiseksi. Rajauksena ovat erityisesti kuntien tekemät elintarvikehankinnat, joissa on mahdollisuus painottaa ympäristökriteerejä. Tarkastelu pohjautuu Suomen hankintalakiin sekä sitä ohjaaviin EU-direktiiveihin, jotka mahdollistavat ympäristökriteerien sisällyttämisen tarjouspyyntöihin.

2.3.2 Julkisen hankinnan määritelmä

Julkinen hankinta viittaa julkisten organisaatioiden, kuten valtion tai kuntien, tekemisiin tuotteiden tai palveluiden ostamiseen ulkopuolisilta toimijoilta. Näitä hankintoja rahoitetaan julkisista varoista sekä ne perustuvat kirjallisiin sopimuksiin. (Julkiset Hankinnat 2020). Julkisten hankintojen rooli ilmastopolitiikan toimeenpanossa on merkittävä, sillä ne tarjoavat konkreettisen väylän ympäristövastuun toteuttamiseen julkisessa päätöksenteossa. Kestävissä hankinnoissa pyritään toteuttamaan kolme keskeistä vastuullisuuden osa-aluetta: ympäristövastuuta, taloudellista vastuuta sekä sosiaalista vastuuta. Näistä eritoten ympäristövastuu voidaan konkretisoida hiilijalanjäljen kaltaisten mittarien kautta. Ympäristökriteerit voivat kohdistua esimerkiksi materiaalitehokkuuteen, energiatehokkuuteen, uusiutuvan energian käyttöön sekä vähähiilisyyteen. (Hiilineutraalisuomi n.d.)

Suomi on sitoutunut Pariisin ilmastopöytäkirjaan, jonka tavoitteena on rakentaa ilmastotoimet niin, että ne mahdollistavat hiilineutraalisuuden saavuttamisen ennen vuotta 2025 Euroopassa (IPCC:n raportti 2022). Julkisten hankintojen analyysit sosiaalisten, taloudellisten sekä ympäristöasioiden kehittämisen välineenä tunnustetaan yhä enemmän maailmanlaajuisesti. Department for environment, food and Rural affairs julkaisi Raportin ”Producing the future” vuonna 2006 jonka mukaan laajimmin hyväksytty kestävä hankinnan määritelmä on prosessi, jossa organisaatiot vastaavat palveluiden, tavaroiden, töiden sekä hyödykkeiden tarpeisiin tavalla, joka minimoi ympäristöhaittoja ja tuottaa hyötyjä organisaatiolle, taloudelle ja yhteiskunnalle. (Cerutti et al., 2016a)

2.3.3 Suomen hankintalaki

Suomen hankintalaki, laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 1297/2016, määrittelee ne menettelytavat, joilla julkiset hankinnat on kilpailutettava. Laki on osa kansallista lainsäädäntöä, mutta se pohjautuu EU:n direktiiveihin, kuten julkisia hankintoja koskevaan direktiiviin 2014/24/EU. Hankintadirektiivi mahdollistaa ympäristönäkökohtien sisällyttämisen hankinnan eri vaiheisiin, tarjouspyyntöihin, vertailuperusteisiin sekä sopimusehtoihin.

Oikeusrekisterikeskus määrittelee hankintalain tarkoittavan kirjallista sopimusta, joka tehdään useamman tai yhden hankintayksikön ja toimittajan välillä, ja jonka kohteena on tavaran, palvelun tai rakennusurakan hankinta taloudellista vastiketta vastaan (FINLEX 2017). Tämän säätelyn tavoitteena on edistää julkisten varojen käytön tehokkuutta sekä edistää laadukkaiden, kestävien sekä innovatiivisten hankintojen toteuttamista. Hankintalain mukaan hankinnat on toteutettava kokonaisuudessaan tarkoituksenmukaisina, ja ne tulee järjestää niin, että myös pienemmillä ja keskisuurilla yrityksillä on yhdenvertaiset mahdollisuudet osallistua tarjouskilpailuun. Tämä mahdollistaa myös paikallisten sekä ympäristöystävällisten toimijoiden osallistumisen tarjouskilpailuihin. (FINLEX 2017)

Valtion hankintakäsikirjan mukaan hankintojen tulisi olla suunnitelmallista ja integroitu osa julkisen organisaation talouden suunnittelua. Tämän toteutuminen vaatii vuosittaisen hankintasuunnitelman laatimista, järjestelmällistä ja ennakkoivaa otetta hankintojen hallinnassa. Hankintaprosessin toteuttaminen edellyttää lisäksi vastuuhenkilöiden nimeämistä, hankintaprosessin tarkkaa seurantaa sekä asetettujen tavoitteiden arviointia. (Kuutioniemi & lehtomäki 2017, 36–39)

2.4 Aikaisemmat tutkimukset elintarvikkeiden hiilijalanjälkeen liittyen

Hiilijalanjäljen huomioimista julkisissa ruokahankinnoissa on alettu soveltaa käytännössä useissa kunnissa sekä hankintaorganisaatioissa, vaikka aihetta koskeva varsinainen tutkimus on vielä kehittymässä. Helsingin kaupungissa hiilijalanjälkilaskenta on otettu osaksi ruokapalveluiden hankintakriteereitä. Esimerkiksi Ravintola Merta-hankinnassa palveluntarjoajilta edellytettiin hiilijalanjäljen laskemista Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kehittämällä laskentatyökalulla. Laskelmien pohjalta on määritelty, että vegaanisen aterian hiilijalanjälki oli alle 40 % lihapohjaisen aterian aiheuttamista päästöistä (European Comission. N.d.)

Käytännön sovelluksia edustaa myös Elina Hienosen (2024) kirjoittama opinnäytetyö, jossa tarkasteltiin Metropolia Ammattikorkeakoulun hankintojen ilmastovaiikutuksia. Työssä kehitettiin käytännössä sovellettava laskentamalli, jolla voidaan arvioida eri hankintaryhmien hiilijalanjälkeä vertailukelpoisesti ja luotettavasti.

Vaikka tutkimus ei keskity yksinomaan ruokasektoriin, se sisälsi myös siihen liittyviä päästölaskelmia. Laskentamalli, jota opinnäytetyössä käytettiin, yhdisti päästölähdekertoimia eri lähteistä kuten SYKE, Ecoinvent ja Motiva. Tulokseksi naudanlihan keskimääräiseksi päästökertoimeksi tuli noin $25 - 30 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$ riippuen tuotantotavasta sekä laskentarajauksesta.

Kansainvälisesti huomionarvoinen tapaus on Ruotsin Härnösandin kunta, jossa on tutkittu ruokapalveluiden hiilijalanjälkeä ja testattu eri ruokavalioiden vaikutusta kokonaispäästöihin. Tutkimuksessa havaittiin, että suurin osa ruokapalveluiden päästöistä oli eläinperäisten tuotteiden aiheuttamia, erityisesti punainen liha aiheutti suurimmat päästöt. Kolmen vaihtoehtoisen ruokaskenaarion avulla, jossa vähennettiin punaisen lihan käyttöä tai jätettiin se ruokavaliosta täysin pois, saavutettiin huomattavia päästövähennyksiä suhteellisen pienellä muutoksella ruokahankinnoissa. (Kjellberg et al.,2024)

2.4.1 Juurekset

Luonnonvarakeskus on toteuttanut useita tutkimuksia, joissa on tarkasteltu eri elintarvikkeiden hiilijalanjälkeä. Perunan osalta MTT:n raportissa ”perunan ilmastovaikutukset” (Pulkinen et al. 2012) selvitettiin perunan elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Tulosten mukaan perunan hiilijalanjälki on verrattain matala moniin muihin elintarvikkeisiin nähden. Myös yritystasolla on tehty soveltaa tutkimusta perunan hiilijalanjälkilaskentaa, esimerkiksi Jepuan Perunan Oy:n tekemä selvitys yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen kanssa. Selvityksen mukaan kypsän perunatuotteen hiilijalanjälki oli $0,278 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$, raa’an kuoritun perunan $0,193 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$ sekä raa’an kuorellisen perunan $0,129 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$ (Jepuan Peruna Oy 2022). Nauriin osalta ei yksityiskohtaisia tutkimuksia ole toteutettu, mutta kuitenkin on huomattu, että juureksilla on yleisesti alhainen hiilijalanjälki. Esimerkiksi Marttojen ”ympäristö lautasella” –esitteen mukaan kotimaisten juuresten hiilijalanjälki on tyypillisesti alle $0.4 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$ (Martat 2016).

2.4.2 Naudanliha

Naudanlihan osalta VTT on laskenut Ehta-naudanlihan hiilijalanjäljeksi $8,2 \text{ kg CO}_2\text{e}$ per elopainokilo, joka on noin 35 % pienempi kuin eurooppalaisen naudanlihan hiilijalanjäljen keskiarvo, joka on $12,6 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg}$. Laskelmat perustuvat IPCC:n ja ISO-standardien mukaiseen elinkaariarviointiin ja kattavat vaiheet pellolta teurastamon portille (HKFoods 2020) Myös Atria on arvioinut naudanlihan hiilijalanjälkeä yhteistyössä Envitecpolis Oy:n kanssa, hyödyntäen Cool farm Tool-työkalua. Tulokseksi saatiin $13,4 \text{ kg CO}_2\text{e}$ ruhopainokiloa kohden, mikä oli noin 70% pienempi kuin kansainvälinen keskiarvo. (Atria 2019)

2.4.3 Kala

LUKE on lisäksi selvittänyt suomalaisten kalatuotteiden elinkaariarviointimenetelmällä. Tulokset osoittavat, että kalastetun kalan hiilijalanjälki vaihtelee $0,4 - 2,5 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kg}$ pyydystävästä ja kuljetusmatkasta riippuen. (LUKE 2022) Luonnonvarakeskuksen vuonna 2022 julkaisema ”Suomalaisten kalatuotteiden ilmastovaikutus” tutkimus esittää useiden kotimaisten kalalajien hiilijalanjäljet ja esimerkiksi ahvenen päästöiksi on määriteltä $2,5 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kg}$ ja Siikan $2,0 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kg}$. Tutkimuksen laskuissa otettiin huomioon täysi tuotantoketju kalastuksesta jakelutukkuihin sekä keskusvarastoihin asti. Hiilijalanjälkeen vaikuttaviksi tekijöiksi määriteltiin muun muassa kalastusvälineiden tuotanto, polttoaineen kulutus, kuljetusmatkat sekä saalismäärät. (Silvenius et al. 2022)

3 MENETELMÄT

3.1 Opinnäytetyön taustametodit

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin vastattiin käyttäen kirjallisuustutkimusta sekä lisäksi laadullista haastattelumenetelmää. Kirjallisuustutkimus valittiin, sillä se mahdollisti systemaattisen sekä laajan katsauksen hiilijalanjälkilaskennan, elinkaariarvioinnin, julkisten hankintakriteerien sekä aiempien aiheeseen liittyvien tutkimusten kokonaisuuteen. Kirjallisuusaineistoon sisällytettiin lisäksi kansainvälisiä standardeja, ohjeistuksia ja tutkimuslaitosten julkaisuja.

Laadullinen haastattelumenetelmä mahdollisti yksityiskohtaisen sekä kontekstisidonnaisen tiedon keräämisen. Haastattelumenetelmällä kerättiin tilakohtaisia sekä paikallista tietoa valituilta raaka-aine toimittajilta, jotka ovat osana Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n elintarvikehankintaketjua. Haastatteluissa kartoitettiin muun muassa viljely- ja tuotantomenetelmiä, energian ja polttoaineiden kulutusta, kuljetusreittejä sekä lisäksi käytettyjä lannoitteita ja muita tuotantopanoksia. Lisäksi haastateltiin Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n henkilökuntaa Merja Aholaa, Virpi Kumpulaa sekä Jukka Lokkaa koskien ruokajärjestelmiä ja hankintamenetelmiä. Näiden avulla pyrittiin varmistamaan, että hiilijalanjälkilaskennassa käytetty tieto on mahdollisimman todenmukaista. Kirjallisuus- ja haastatteluaineiston analyysin avulla muodostettiin kokonaiskuva hiilijalanjäljen laskentamahdollisuuksista sekä arvioitiin, kuinka hyvin tuotettu tieto soveltuu vertailukelpoisten ja luotettavien kriteerien asettamiseen julkisissa ruokahankinnoissa.

3.2 Kirjallisuushaku

Työ perustuu kokonaisuudessaan kirjalliseen ja laadulliseen aineiston analysointiin eikä kokeellisia tutkimuksia sen vuoksi toteuteta. Kirjallisuushaun tavoitteena oli löytää ajankohtaista, tieteellisesti pätevää sekä tutkimuskysymyksen kannalta relevanttia aineistoa. Saatua aineistoa tarkasteltiin kriittisesti, ja analyysin avulla pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymykseen sekä lisäksi muodostamaan johtopäätöksiä työn tavoitteiden mukaisesti.

Kirjallisuushaussa hyödynnettiin useita lähteitä, joista osa oli vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita ja osa viranomaisten, tutkimuslaitosten ja asiantuntijaorganisaatioiden julkaisuja. Haku tehtiin erityisesti tietokannoista kuten Science Direct ja Google Scholar sekä suomalaisten organisaatioiden kuten LUKE:n ja Motivan julkaisuarkistoista.

Kirjallisuushaussa käytettyjä hakusanoja olivat muun: ”Hiilijalanjälki”, ”Elinkaari”, ”Elinkaarilaskelmat”, Hiilijalanjälkilaskelmat”, ”Ruokasektori”, ”Life cycle assessment”, ”Carbonfootprint” ja ”LCA”. Näiden hakusanojen avulla kartoitettiin sekä kansainvälistä että kotimaista tutkimustietoa, jonka avulla muodostettiin tutkimuksen teoreettinen tausta sekä laskentapohjan perustelut.

3.3 Hiilijalanjälkilaskenta

Työssä tarkasteltiin teoreettisen viitekehyksen ohella Luonnonvarakeskuksen (LUKE) julkaisema hiilijalanjälkiohjeistuksen opinnäytetyön näkökulmasta. Ohjeistusta sovellettiin konkreettisesti tekemällä tuotekohtaisia hiilijalanjälkilaskelmia valituille ravintoaineille. Laskelmat toteutettiin LUKE:n ohjeistuksen mukaisesti sekä niiden tuloksia käytettiin sekä vertailuun aikaisempiin tutkimustuloksiin, että ohjeistuksen soveltavuuden arviointiin suhteessa työn tavoitteisiin.

Laskelmissa hyödynnettiin useita eri kaavoja, jotka löytyvät LUKE:n ohjeistuksessa sekä päästötekijöitä, näiden ymmärtämiseksi työssä koottiin erillinen lyhennetaulukko ennen kaavaosiota. Taulukossa esitetään laskennassa käytettyjen lyhenteiden englanninkieliset nimet, suomenkieliset vastineen ja selitykset. Lyhennetaulukko toimii näin apuvälineenä, joka parantaa työn selkeää luettavuutta sekä lisäksi selkeyttää monivaiheisten hiilijalanjälkilaskelmien kokonaiskuvaa. Kaavoihin on lisäksi tehty suomennoksia, alkuperäiset kaavat englanniksi löytyvät LUKE:n ohjeistuksesta.

TAULUKKO 1. Hiilijalanjäkilaskennassa käytetyt lyhenteet ja niiden suomenkieliset selitykset.

Lyhenne	Englanninkielinen nimi	Suomennos
AGDM	Above-Ground Dry Matter	Maanpäällinen kuivamateriaali
B ₀	Maximum Methane Production Capacity	Metaanipotentiaali
CH ₄	Methane	Metaani
CO ₂	Carbon Dioxide	Hiilidioksidi
CO _{2e}	Carbon Dioxide Equivalent	Hiilidioksidiekvivalentti
CP	Crude Protein	Raakavalkuainen
DMI	Dry Matter Intake	Kuiva-aineen syöinti
EE	Ether Extract	Raakarasva
EF	Emission Factor	Päästökerroin
FCR	Feed Conversion Ratio	Rehun muuntokerroin
Fra _{CGASF}	Fraction of N Volatilized from Synthetic Fertilizer.	Synteettisen typen haihtuva osuus
Fra _{CGASM}	Fraction of N Volatilized from Organic Fertilizer	Orgaanisen typen haihtuva osuus
Fra _{Leach}	Fraction of N Leached	Typen huuhtoutuva osuus
GE	Gross Energy	Bruttoenergia
GHG	Greenhouse Gas	Kasvihuonekaasu
GWP	Global Warming Potential	Ilmaston lämpenemisvaikutuskerroin
MC	Maintenance Coefficient	Ylläpidon kerroin
MCF	Methane Conversion Factor	Metaanin muodostustehokkuus
N ₂ O	Nitrous Oxide	Dityppioksidi
NAG	Nitrogen Above-Ground	Typen määrä juuristossa
NFC	Non-Fiber Carbohydrates	Ei-kuitupitoiset hiilihydraatit
NDF	Neutral detergent Fiber	Kuitu (Neutraali pesuliuosmenetelmä)
SOC	Soil Organic Carbon	Maaperän orgaaninen hiili
UE	Urinary Energy	Virtsan mukana poistuva energia
VS	Volatile Solids	Haihtuvat kiinteät aineet (lanta-peräiset)
ΔSOC	Change in Soil Organic Carbon	Muutos maaperän orgaanisessa hiilessä

3.3.1 Juureksien hiilijalanjäljen laskeminen

Perunan ja nauriin hiilijalanjäljen laskemiseen hyödynnettiin kaavoja 1-15, jotka sisältävät kuiva-ainepitoisuuden, kalkituksen, typpipäästöjen, polttoaineen sekä sähkön käytön, lämmityksen ja varastoinnin päästölaskennan. Kaavat on muokattu vastaamaan käytännön laskentaa sekä niiden sisältö on esitetty suomeksi.

Kaava 1 esittää kuiva-aineen määrän laskua, joka kertoo ravinne- sekä biomassamäärät tarkemmin kuin tuorepaino.

$$Biomassa = sato * Kuiva - ainepitoisuus \quad (1)$$

Kaavalla 2 laskettiin maaperään lisättävän kalkin aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. EF tarkoittaa päästökerrointa, ja kerroin 44/12 muuntaa hiilen massan hiilidioksidiksi. Vuosikohtainen päästö laskettiin kaavalla 3 jakamalla kokonaispäästöt kalkituksen uusintavälillä.

$$CO_{2kalkitus} = ((Kalkkikiven määrä * Kalkkikiven päästökerroin) + (Dolomiitin määrä * dolomiitin päästökerroin)) * \frac{44}{12} \quad (2)$$

$$CO_{2Kalkitusvuosi} = \frac{CO_{2kalkitus}}{Kalkituksen uusintaväli} \quad (3)$$

Kaavalla 4 laskettiin typen käytön aiheuttamat dityppioksidipäästöt, EF_1 on IPCC:n päästökerroin, 44/28 muuntaa N_2O :n typen massasta CO_2e -massaksi.

$$N_2O_{lannoitus} = (synteettinen typpi + orgaaninen typpi) * EF_1 * \frac{44}{28} \quad (4)$$

Kaavaa 5 hyödynnettiin laskemaan kasvin maanpäällisen biomassan kuivapaino, LUKE:n antamien lineaaristen kertoimien avulla. Kaavassa 6 laskettiin satojäännösten kautta maahan jäävän typen määrää, käyttäen sadon määrää, biomassaa sekä typpipitoisuutta. Kaavalla 7 laskettiin kasvijäännöksistä vapautuvien typen aiheuttamat N_2O -päästöt.

$$AGDM = \left(\text{kasvin} \frac{\text{kuivapaino}}{1000} \right) * \text{kerroin} + \text{vakiotermi} \quad (5)$$

$$FCR = \left[(\text{Ala} * AGDM * 1000 * NAG * (1 - \text{Poiston osuus})) + \text{Ala} * \frac{(\text{AGDM} * 1000 + \text{Sato})}{\text{Sato}} * RGB_{BIO} * NBG \right] \quad (6)$$

$$N_2O_{\text{satojäännös}} = FCR * EF_1 * \frac{44}{28} \quad (7)$$

Kaava 8 kuvaa maaperän hiilen vähentämisestä johtuvaa typen vapautumista, ottaen huomioon muokkaus (conv) ja jatkuva viljely (rem). Kaava 9 muunsi hiilen hävikin vaikutuksen typen päästöiksi sekä kaava 10 oli yhteenvetokaava kaikista suoran typen päästölähteistä.

$$F_{SOM} = \left(\text{Jatkuvan viljelyn ala} * (\Delta SOC_{\text{muutos}_{rem}} * (-1)) * \left(\frac{1}{R}\right) \right) + \left(\text{Muokatun alan} * (\Delta SOC_{\text{muutos}_{conv}} * (-1)) \right) * \left(\frac{1}{R}\right) \quad (8)$$

$$N_2O_{\text{maaperä}} = F_{SOM} * EF_1 * \frac{44}{28} \quad (9)$$

$$N_2O_{\text{suora}} = N_2O_{\text{lannoitus}} + N_2O_{\text{laitumet}} + N_2O_{\text{satojäännös}} + N_2O_{\text{maaperä}} + N_2O_{\text{turvema}} \quad (10)$$

Kaavoja 11 ja 12 käyttämällä selvitettiin epäsuorat typen päästöt ilmaan haihtuvan typin (vol) ja maasta huuhtoutuvan typen (leach) kohdalla.

$$N_2O_{\text{epäsuora}_{vol}} = \left[(F_{SN} * \text{Frac}_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) * \text{FRAC}_{GASM}) \right] * EF_4 * \frac{44}{28} \quad (11)$$

$$N_2O_{\text{epäsuora}_{leach}} = \left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM} + N_2O - N_{OS}) * \text{Frac}_{leach} \right] * EF_5 * \frac{44}{28} \quad (12)$$

Kaavoja 14 & 15 käytettiin laskemaan käytetyn polttoaineen määrä sekä lämmitykseen kuluva energia.

$$CO_2 \left(\frac{Kg}{ha} \right) = L * \text{Päästökerroin}(\text{polttoaine}) \quad (14)$$

$$CO_2(Kg) = kWh * \text{päästökerroin}(\text{lämmitys}) \quad (15)$$

3.3.2 Naudanlihan Hiilijalanjäljen laskeminen

Naudan laskemiseen hyödynnettiin kaavoja 16- 31, joilla laskettiin eläinperäiset metaani- sekä typpipäästöt, ruokinnan energiasisältö, lantavarastoinnin, päästöt ja lisäksi tuotantoon liittyvät tukitoimintojen päästöt.

Kaavalla 16 laskettiin rehun ei-kuitu-osuus eli NFC (Non-fiber carbohydrates), käyttäen arvoja tuhkalle, raakavalkuaiselle, raakarasvalle sekä kuidulle. Saadulla NFC arvolla laskettiin kaavassa 17 naudan ruokavalion bruttoenergiapitoisuus, kuvaten rehun energiasisältöä kilojouleina per kuiva-aineen syöntimäärä (DMI).

$$NFC = 1000 - \text{Tuhka (ASH)} - \text{raakavalkuainen(CP)} - \text{Raakarasva(EE)} - \text{Kuitu(NDF)} \quad (16)$$

$$GE_{\text{ruokavalio}} = (0.02363 * CP + 0.0398 * EE + 0.0189 * NDF + 0.0173 * NFC) * \text{kuiva - aineen syönti (DMI)} \quad (17)$$

Kaavalla 18 laskettiin naudan ruuansulatuksessa syntyvä metaanipäästö vuodessa kilogrammaa kohden.

$$CH_{4Nauta} = \frac{GE_{\text{ruokavalio}} * \text{metaanikerroin (ym)} * 365}{55.65} \quad (18)$$

Lantaperäiset CH_4 -päästöt laskettiin kaavoilla 19 sekä 20. Eläimen ulosteiden sisältämät haihtuvat kiinteät aineet (VS, volatile solids), jotka ovat metaanin muodostumisen lähtökohta lantavarastoinnissa saatiin kaavalla 19 ja lantavarastoinnin sisätiloissa syntyvä metaani vuositasolla kaavalla 20 käyttäen metaanipotentiaalia (B_0) sekä metaanin muodostumistehokkuutta (MCF).

$$VS = (GE * (1 - DE) + UE * GE) * \left(\frac{1 - \frac{\text{Tuhka}}{1000}}{18.45} \right) \quad (19)$$

$$CH_{4sisätila} = VS * \text{metaanipotentiaali}(B_0) * \text{metaanin muodostustehokkuus (MCF)} * 365 \quad (20)$$

Typen erittyminen sekä N_2O – päästöt laskettiin kaavalla 21 käyttäen vuorokautista typen saantia (N_{saanti}) sekä osuus typestä, joka jää eläimen kudoksiin ($N_{sitoutuminen}$).

$$\text{Typen erittyminen} = N_{saanti} * (1 - N_{sitoutuminen}) * 365 \quad (21)$$

Suorat dityppioksidipäästöt maasta eritetystä typestä selvitettiin kaavalla 22 käyttäen LUKE:n määrittämää päästökerrointa (EF).

$$N_2O_{suora} = N_{eritys} * EF \quad (22)$$

Epäsuorat dityppioksidipäästöt laskettiin kaavoilla 23 sekä 24. Haihtumisen kauppa epäsuorasti syntyvät N_2O -päästöt saatiin kaavalla 23 ja maaperän huuhtoutumisen kautta epäsuorasti syntyvät N_2O - päästöt kaavalla 24.

$$N_2O_{haihtuminen} = N_{eritys} * Frac_{GasMS} * EF_4 \quad (23)$$

$$N_2O_{huuhtoutuminen} = N_{eritys} * Frac_{huuhtoutuminen} * EF_5 \quad (24)$$

Dieselin aiheuttamat päästöt laskettiin kaavalla 25, sähkölukituksen aiheuttamat CO_2 - päästöt kaavalla 26, sekä vedenkäytön aiheuttamat CO_2 -päästöt sisältäen muun muassa pumppauksen ja käsittelyn kaavalla 27.

$$\text{Litra} * \text{päästökerroin} \quad (25)$$

$$\text{Sähkö} = kWh * \text{päästökerroin} \quad (26)$$

$$\text{Vesi} = m^3 * \text{päästökerroin} \quad (27)$$

Ostetun typpilannoitteen aiheuttamat tuotantopäästöt selvitettiin kaavalla 28 sekä kuljetusten aiheuttamat päästöt kaavalla 29. Kaavalla 30 laskettiin pakkausmateriaalien, kuten muovin ja pahvin, päästöt. Lopuksi kaavalla 31 laskettiin kylmäsäilytyksen sekä varastoinnin energiankulutuksen päästöt.

$$\text{Mineraalilannoite} = kg N * \text{päästökerroin} \quad (28)$$

$$\text{kuljetukset} = km * \text{päästökerroin} \quad (29)$$

$$\text{Pakkausmateriaalit} = kg * \text{päästökerroin} \quad (30)$$

$$\text{Varastointi \& jäädytys} = kWh * \text{päästökerroin} \quad (31)$$

Kaavoissa 25, 26, 27, 28, 29, 30 ja 31 käytettiin asetettuja päästökertoimia sekä haastatteluista saatuja tilatietoja. Kaikki saadut päästöt laskettiin yhteen kokonaispäästöjen selvittämiseksi.

3.3.3 Kalan hiilijalanjäljen laskeminen

Kalan päästöjen laskemista varten on käytetty kaavoja 32-41. Laskelmissa otettiin huomioon rehun typpisisältö sekä ylijäämä, kasvatuksen N₂O-päästöt, polttoaineen kulutus, jalostuksen sähkökulutus, logistiikan päästöt, pakkausmateriaalit sekä jätteiden käsittely.

Kaavalla 32 laskettiin kalan ruokinnasta syntyneitä typpiylijäämää. Laskussa käytettiin rehun muuntokerrointa, typpipitoisuutta sekä kalasta muodostunutta lopullista typpimäärää. Kaavalla 33 laskettiin kalan kasvatuksen aiheuttamat dityppioksidipäästöt per tuotettu tonni kalaa käyttäen päästökerrointa (EF) sekä 44/28 osa kaavasta oli muunnos typen massasta N₂O: n CO₂- ekvivalenttimassaan.

$$\text{Typpiylijäämä } (N_{\text{surplus}}) = 10 * \text{rehun muuntokerroin } (FCR) * \text{rehun typpipitoisuus } (N_{\text{diet}}) - \text{Kalan lopullinen typpimäärä } (N_{\text{fish}}) \quad (32)$$

$$N_2O \left(\frac{Kg}{tonni} \right) = EF * \text{typpiylijäämä} * \frac{44}{28} \quad (33)$$

Kaavalla 34 muunnettiin N₂O -päästö hiilidioksidiekvivalentiksi käyttäen GWP-arvoa.

$$CO_2e = N_2O * GWP_{N_2O} \quad (34)$$

Kalan pyyntiin käytetyn polttoaineen aiheuttamat CO₂-päästöt selvitettiin kaavalla 35, sekä kalan käsittely- ja jalostusvaiheen sähkökulutuksen aiheuttamat CO₂-päästöt kaavalla 36.

$$CO_2(kg) = \text{Polttoaineen määrä } (L) * \text{päästökerroin } \left(\frac{Kg CO_2}{l} \right) \quad (35)$$

$$CO_2e_{jalostus} = E_{sähkö} * EF_{sähkö} \quad (36)$$

Kuljetusmatkojen lukumäärä selvitettiin kuljetettavien kokonaismäärällä sekä yhden reissun kapasiteetilla kaavalla 37 ja yhden kuljetusreissun päästöt kaavalla 38 käyttäen ajomatkojen määrää sekä pakettiauton päästökerrointa.

$$Kuljetuskertojen\ määrä = \frac{Kuljetettava\ kokonaismäärä}{Yhden\ erän\ kuljetuskapasiteetti} \quad (37)$$

$$CO_2e_{reissu} = ajomatka * EF_{polttoaine} \quad (38)$$

Pakkausmateriaalin aiheuttamien päästöjen määrä laskettiin kaavalla 39, hyödyntäen pakkausmateriaalin määrää sekä päästökerrointa. Kaavalla 40 laskettiin kalan käsittelyssä syntyvän jätteen käsittelyn aiheuttamat CO_2 -päästöt jätteen määrän luvulla sekä jätteen päästökertoimella.

$$CO_2e_{pakkaus} = pakkausmateriaalin\ määrä * EF_{pakkaus} \quad (39)$$

$$CO_2e_{jäte} = Jätteen\ määrä * EF_{jäte} \quad (40)$$

Kaava 41 toimii yhteen vetävänä kaavana, jossa laskettiin kaikkien kalan tuotannon sekä käsittelyn elinkaarivaiheiden päästöt yhteen.

$$CO_2e_{yhteensä} = CO_2e_{polttoaine} + CO_2e_{jalostus} + CO_2e_{kuljetus} + CO_2e_{N_2O} + CO_2e_{pakkaus} + CO_2e_{jäte} \quad (41)$$

3.4 Datat keräys

Laskujen suorittamiseen käytettiin niin annettuja päästökertoimia kuin myös tilakohtaisia haastatteluista saatua aineistoa. Datat keruuta toteutettiin pääosin Teams-videokokousten ja sähköpostiviestinnän avulla. Haastattelun kohteena olivat Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n elintarviketoimittajat, jotka tuottavat naudanlihaa, kalaa, naurista ja perunaa.

Haastatteluiden aikana käytiin kartoitettiin toimijoiden perustiedot, kuten tuotantomenetelmät ja tilojen tai kalastusalueiden olosuhteet. Lisäksi kerättiin tietoa

muun muassa kuljetusmatkoista, kuljetusmuodoista, energiankulutuksesta sekä veden käytöstä. Huomiota kiinnitettiin eritoten lannoitteiden sekä peltojen kivennäisaineiden käyttöön, typpi- ja fosforipitoisuuksiin sekä energiankulutukseen, jota tapahtuu varastoinnin ja käsittelyvaiheiden aikana.

Datan keruulla varmistettiin, että laskentaan käytettävät aineistot ovat mahdollisimman realistisen ja tilakohtaisesti soveltuvia, mikä lisää laskelmien luotettavuutta ja tarkkuutta. Haastatteluissa käytetyt haastattelu kysymys rungot löytyvät opinnäytetyön liite osiosta.

4 TULOKSET & POHDINTA

4.1 Vastaus tutkimuskysymykseen

Opinnäytetyössä selvitettiin, miten LUKE:n hiilijalanjälkiohjeistus soveltuu käytettäväksi julkisten ruokahankintojen vertailukriteerinä Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n valittujen raaka-aineiden kohdalla. Saamien tulosten perusteella on mahdollista todeta, että ohjeistus on sovellettavissa tilakohtaisesti. Lisäksi se tuottaa realistisia sekä vertailukelpoisia tuloksia niin kasvi, kala kuin myös eläinperäisten tuotteiden kohdalla. Hiilijalanjälkilaskenta osoittautui käyttökelpoiseksi työkaluksi, jonka perusteella voidaan asettaa kestävyyttä tukevia hankintakriteerejä, kunhan laskentamenetelmä ja kerätty aineisto on luotettava ja läpinäkyvä.

4.2 Peruna

Perunan hiilijalanjäljen laskemiseen on käytetty Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n käyttämän maanviljelijän Haastateltava 4 (2024) yrityksen antamia tietoja sekä LUKE:n ohjeistuksessa esitettyjä tausta-arvoja ja sekundääridataa. Maanviljelijällä on noin 3,5 hehtaaria peltoalaa, ja vuosituotanto on yhteensä 55 000 kg. Näin ollen hehtaarisadoksi saadaan noin: 15 714 kg/ha. Kuiva-ainepitoisuudeksi käytettiin LUKE:n ohjeistuksen mukaista arvoa 0.23, jolloin kuiva-aineen määrä hehtaaria kohden on 3457 kg/ha. Tilalla käytetty lannoite on Hevi-lannoite, jota levitettiin 1600 kg/ha. Lannoitteen typpipitoisuus on 17 %, mikä tarkoittaa, että laskennallinen typen määrä on 272 kg/ha. Laskettu lannoitetypen määrä on 102 kg N/ha.

Kasvijäännösten osalta hyödynnettiin LUKE:n ohjeistuksessa annettuja parametrejä: Kerroin: 0,10, vakiotermi: 1,06. Näiden perusteella maanpäällisen biomas-
san määräksi laskettiin 1405,7 kg/ha. Typpipitoisuus AGDM:lle oli 0,019, juuribio-
massan osuudeksi asetettiin 0,20 ja typpipitoisuus juuribiomassassa oli 0,014.
Näiden arvojen avulla kasvijäännösten typpimääräksi saatiin 26,71 kg N/ha.

Maaperän mineralisoituneen typen (FSOM) osalta käytettiin LUKE:n oletusarvoja: SOC Hävikki: -300 kg C/ha/v ja C:N-suhde: 13. Tulokseksi saatiin 23.08kg N/ha. Polttoainekulutus tilan koneille on 600 l/ha. Päästölaskennassa hyödynnettiin Motivan (2011) määrittelemää polttoaineen päästökerrointa 2.67 kgCO₂/l. Polttoaineen päästöiksi saadaan 1602 kg CO₂e/ha. Sähkönkulutuksen osalta tilatiedot osoittavat, että kuorinnan ja varastoinnin sähkömäärä on yhteensä 11000 kWh/ha. Suomen sähköntuotannon keskiarvoista päästökerrointa 0.12 kg CO₂/kWh (Motiva 2011) käyttäen saadaan sähköstä aiheutuvaksi päästöiksi 1320 kg CO₂e/ha.

Kuljetuksen päästöistä hyödynnetään tilalta saatuja kuljetusmatkoja, 110 km, sekä kuljetusmuotoa, rekkaa. VTT Lipastosta (n.d) tietokannasta päästökerroin 0.08 kg CO₂/tkm, jolloin kuljetuksen päästö on 138.27 kg CO₂e/ha.

Dityppioksidipäästöjen laskennassa suorat N₂O päästöt olivat 3042.87 kg CO₂e/ha. Epäsuorat typen haihtumisesta syntyvät N₂O-päästöt olivat 280.97 kg CO₂e/ha ja huuhtoutumisesta aiheutuvat epäsuorat N₂O-päästöt olivat 684.65 kg CO₂e/ha. Kokonaisuudessaan N₂O-päästöjä syntyi 4008.49 kg CO₂e/ha. Kokonaispäästöiksi perunan viljelylle saatujen arvojen perusteella muodostui 7068.76 kg CO₂e/ha. Hiilijalanjäljeksi per tuotettu perunakilo saatiin 0.450 kg CO₂e/kg. Perunan päästöjen tulokset on esitetty selkeytetysti taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Perunan tuotannon hiilijalanjälki eriteltynä päästölähteittäin

Päästöt eriteltynä	Lasketut arvot
<i>Suorat N₂O – päästöt</i>	<i>3042.87 kg CO₂e/ha</i>
<i>Epäsuorat N₂O – volatilisaatio</i>	<i>280.97 kg CO₂e/ha</i>
<i>Epäsuorat N₂O – huuhtoutuminen</i>	<i>684.65 kg CO₂e/ha</i>
<i>Yhteensä N₂O – päästöt</i>	<i>4008.49 kg CO₂e/ha</i>
<i>Polttoaineen päästöt</i>	<i>1602 kg CO₂e/ha</i>
<i>Sähkön päästöt</i>	<i>1320 kg CO₂e/ha</i>
<i>Kuljetuksen päästöt</i>	<i>130.27 kg CO₂e/ha</i>
<i>Kokonaispäästöt /ha</i>	<i>7068.76 kg CO₂e/ha</i>
<i>Hiilijalanjälki per kg perunaa</i>	<i>0.450 kg CO₂e/kg</i>

Taulukossa on esitetty perunan tuotannon hiilijalanjälki eriteltynä eri päästölähteiden mukaan. Luvut on ilmoitettu sekä pinta-alaa, sekä myös tuotettua määrää kohden. Tuloksista voidaan todeta, että merkittävin yksittäinen päästölähde oli suorat dityppioksidipäästöt, mikä korostaa typen käytön hallinnan keskeistä roolia päästövähennysten näkökulmasta. (Perälä et al. 2006). Toiseksi merkittävin päästölähde oli polttoainekulutus osoittaen koneellisen viljelytyön ja polttoainete-hokkuuden merkityksen. Kolmanneksi eniten päästöjä syntyi sähkönkulutuk-sesta, erityisesti varastoinnin ja kuorinnan vaiheessa. Tämä korostaa energiate-hokkuuden ja mahdollisesti uusiutuvan energian käytön potentiaalia kylmissä il-masto-olosuhteissa (Neusel & Hirzel 2022).

Kuljetuksen osuus jäi suhteellisen pieneksi, mikä selittyy lyhyillä kuljetusmatkoilla ja rekkojen tehokkuudella. Hiilijalanjälki perunakiloa kohden on $0.450 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg}$, joka sijoittuu keskiverron paikkeille elintarvikkeiden hiilijalanjälkivertailussa (CO2 Everything 2018). Kohtalaisen korkea satotaso pienentää tuotekohtaista hiilijalanjälkeä osoittaen satotason olevan keskeinen päästöjen vähentämisen keino. Tulosten perusteella merkittävimmät kehityskohteet ovat lannoitteiden ty-pen käytön optimointi, energiatehokkuuden parantaminen sekä mahdollisesti uu-siutuvien energiaratkaisujen hyödyntäminen viljelyssä.

Aiemmissä tutkimuksissa perunan keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi on arvioitu noin $0,17\text{-}0,4 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$ (Pulkkinen et al. 2012). Tässä opinnäytetyössä laskettu arvo $0,450 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$ ylittää hieman tuon keskiarvon, mikä saattaa johtua kor-keasta sadosta sekä energiakulutuksesta. Arvo on kuitenkin uskottava ottaen huomioon paikalliset olosuhteet lapissa.

4.3 Nauris

Nauriin hiilijalanjäljen laskennassa käytettiin Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n käyttä-män maanviljelijän, Haastateltava 3 (2024), tilalta saatuja tietoja. Lisäksi hyödyn-nettiin LUKE:n ohjeistuksessa esitettyjä parametrejä sekä sekundääridataa. Ti-lalla on noin 1 hehtaari viljelyalaa ja satoa syntyy noin 3000 kg/ha . Kuiva-ainepi-toisuudeksi asetettiin LUKE:n ohjeistuksen mukaisesti 0.12, jolloin kuiva-aineen määräksi laskettiin 360 kg/ha . Lannoitetta käytettiin $1,350 \text{ kg/ha}$ Hevi-lannoitetta,

jonka typen osuus on 17 %. Näin ollen typen kokonaismääräksi saadaan 229,5 kg/ha ja siitä laskettu lannoitetyypen määrä on 59.5 kg N/ha. Kasvijäännösten laskennassa hyödynnettiin samoja LUKE:n parametreja kuin perunan kohdalla. Maanpäälliseksi biomassaksi saatiin 1096 kg/ha ja kasvijäännösten typpimääräksi 20.835 kg N/ha.

Maaperän mineralisoituneen tyypen määrä on oletusarvoilla laskettuna 23.08 kg N/ha, kuten perunan kohdalla. Polttoainekulutus nauriin viljelyssä oli 150 l/ha. Motivan päästökerrointa 2.67 kgCO₂/l (Motiva 2011) käyttäen päästöiksi saatiin 400.5 kg CO₂e/ha. Sähkönkulutus pesun ja pussituksen osalta oli 50 kWh/ha. Päästökerroin 0.12 kg CO₂/kWh (Motiva 2011) johti laskennallisesti 6.0 kg CO₂e/ha päästöihin. Kuljetuspäästöjä varten käytettiin kuljetusmatkoja Sodankylään ja Leville, jotka olivat yhteensä 142 km. Kuljetusmuotona oli oma auto ja päästökerroin 0.2 kg CO₂/tkm, jolloin kuljetuspäästöiksi saatiin 85.2 kg CO₂e/ha.

Suorat N₂O päästöt olivat 484.28 kg CO₂e/ha. Epäsuorat haihtumispäästöt olivat 27.86 kg CO₂e/ha ja epäsuorat 108.96 kg CO₂e/ha. Kokonaisuudessaan N₂O-päästöjä syntyi 621.10 kg CO₂e/ha. Yhteispäästöiksi muodostui 1112.80 kg CO₂e/ha ja hiilijalanjäljeksi per tuotettu nauriskilo saatiin 0.371 kg CO₂e/kg. Nauriin päästöjen tulokset on selkeyden vuoksi esitelty alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 3. Nauriin tuotannon hiilijalanjälki eriteltynä päästölähteittäin

Päästöt eriteltynä	Lasketut arvot
<i>Suorat N₂O – päästöt</i>	<i>484.28 kg CO₂e/ha</i>
<i>Epäsuorat N₂O – volatilisaatio</i>	<i>27.86 kg CO₂e/ha</i>
<i>Epäsuorat N₂O – huuhtoutuminen</i>	<i>108.96 kg CO₂e/ha</i>
<i>Yhteensä N₂O – päästöt</i>	<i>621.10 kg CO₂e/ha</i>
<i>Polttoaineen päästöt</i>	<i>400.5 kg CO₂e/ha</i>
<i>Sähkön päästöt</i>	<i>6.0 kg CO₂e/ha</i>
<i>Kuljetuksen päästöt</i>	<i>85.2 kg CO₂e/ha</i>
<i>Kokonaispäästöt /ha</i>	<i>1112.80 kg CO₂e/ha</i>
<i>Hiilijalanjälki per kg Nauris</i>	<i>0.371 kg CO₂e/kg</i>

Taulukossa 3 on esitetty nauriin tuotannon aikaiset hiilijalanjäljet eriteltynä päästölähteittäin. Tuloksista voidaan todeta, että suurin yksittäinen päästöerä on, kuten perunallakin, typpidioksidipäästöt. Tämä osoittaa muun muassa lannoituksen suunnittelun keskeisen merkityksen. Polttoaineen päästöt ovat toiseksi merkittävien tekijä, mikä korosta koneellisen työn vaikutusta myös pienemmillä tiloilla. Kuljetuspäästöt ovat suhteellisen pienet oletettavasti johtuen lyhyemmistä matkoista sekä tehokkaasta kuljetusmuodosta. Sähkön osuus kokonaispäästöistä on vähäinen, mikä voisi selittyä pienen mittakaavan tehokkuudella.

Hiilijalanjälki naurista kohden $0,371 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$, on hieman perunan vastaavaa arvoa alhaisempi. Alhainen hiilijalanjälki voi johtua pienemmistä päästöistä, mutta myös alhaisemmasta satotasosta. Tulos on positiivinen verrattuna useisiin muihin elintarvikkeisiin. Lasketut kokonaispäästöt $1112,80 \text{ kg CO}_2\text{e/ha}$ ovat suhteellisen pienet verrattuna useisiin muihin elintarvikkeisiin, mutta tuotekohtaisesti tarkasteltuna myös pienillä määrillä on vaikutus, kun tavoitteena on kestävä tuotanto ja ympäristövastuullisuus (Lee et al. 2014).

Juuresten, kuten nauriin, keskimääräinen hiilijalanjälki on Marttojen (2016) mukaan alle $0,4 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$. Tässä työssä lasketuksi saatu arvo $0,371 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$ asettuu hyvin lähelle Marttojen laskemaa keskiarvoa. Vertailutietojen perusteella tulos vaikuttaa uskottavalta. Ero perunaan nähden on perusteltu johtuen erilaisesta tuotantotekniikasta, pienemmästä satotasosta ja vähäisemmistä koneistetuista toimenpiteistä.

4.4 Nauta

Naudan lihan hiilijalanjäljen laskenta perustuu Pohjois-Lapin ruoka Oy:n naudanniin toimittajana toimivan Haastateltava 2 (2024) antamiin tilakohtaisiin tietoihin sekä LUKE:n ohjeistukseen ja IPCC:n laskentamalleihin. Enterisen metaanin (CH_4), eli ruuansulatuksesta peräisin olevat metaanin päästöt laskettiin käyttäen kuiva-aineen syöntimäärää. Kuiva-aine arvona hyödynnettiin tilannearviota kasvavalle eläimelle, joka on $2,75 \text{ kg/vrk}$. Rehuanalyysin perusteella raakavalkuaispitoisuus oli 130g/kg , raakarasva 35 g/kg , kuitu 550g/kg ja tuhka 80g/kg (Colombini et al. 2023). Metaanin muodostumiskertoimeksi käytettiin LUKE:n arvoa

0.065 (LUKE, 2024) ja muuntokerroin $CH_4 \rightarrow CO_2e$ oli IPCC AR6:n mukainen 27.2 (Green house gas protocol, 2024). Näiden tietojen perusteella enterisen metaanin päästöiksi saatiin 21.54 kg CH_4 /eläin/vuosi, mikä vastaa 585.8 kg CO_2e . Lannan varastoinnin CH_4 -päästöt laskettiin haihtuvien kiinteiden aineiden (VS) avulla, jonka määrä laskettiin GE_ruokavalio – kaavan avulla. Tulokseksi saatiin 0.907 kg/vrk. LUKE:n mukaan metaanipotentiali on 0.1 m³ CH_4 /kg VS. Syväkuivikeprosentiksi määriteltiin 15%, ja sisälläoloajaksi noin 8kk, eli 245 päivää vuodessa. Näillä parametreillä lantavarastoinnin metaanipäästöiksi saatiin 2.31 kg CH_4 , joka vastaa 62.72 kg CO_2e

Typen erittyminen arvioitiin IPCC:n ja LUKE:n suosituksen mukaan olettamalla 20% rehun tpestä päätyvän lantaan. Tilannearvio, kasvuikäiselle eläimelle, on 0.3 kg N/päivä, jolloin vuosittainen typpimäärä on 87,6 kg N/vuosi. Suorien N_2O -päästöjen laskennassa käytettiin syväkuivikejärjestelmän 0.01. IPCC AR6:n mukaista muuntokerrointa $N_2O \rightarrow CO_2e$, on 273, jolloin suorat N_2O -päästöt ovat 1,38 kg N_2O eli 375,8 kg CO_2e . Epäsuoran N_2O -päästöt haihtumispäästöt laskettiin LUKE:n FracGasMS arvolla 0.25 ja EF_4 - arvolla 0.01. Näillä perusteilla epäsuorat haihtumispäästöt olivat 93,95 kg CO_2e . Kyseisen tilan naudan kohdalla ei synny huuhtoutumista, joten epäsuoria huuhtoutumispäästöjä ei syntynyt. Eläinperäisten päästöjen kokonaismääräksi saatiin näin ollen 1118,3 kg CO_2e /eläin/vuosi. Taulukossa 4 on esitetty naudan eläinperäisten päästöjen las- kujen tulokset.

TAULUKKO 4. Naudan ruoantuotantoon liittyvät eläinperäiset kasvihuonekaasu- päästöt

Päästölähde	CO_2e (kg/eläin /vuosi)
<i>Enterinen CH_4</i>	585.8
<i>Lantavarastoinnin CH_4</i>	62.7
<i>Suorat N_2O</i>	375.8
<i>Epäsuorat N_2O – haihtuminen</i>	93,95
<i>Epäsuorat N_2O – huuhtoutuminen</i>	0
<i>yhteensä/eläin</i>	1118.3 kg CO_2e

Taulukossa 4 on esitetty naudan ruokatuotantoon liittyvät eläinperäiset kasvihuonekaasupäästöt päästölähteittäin sekä vuositasolla eläintä kohden. Taulukosta näkyy, että suurin osuus päästöistä muodostuu enterisestä metaanista sekä suorista dityppioksidipäästöistä.

Muita tilan päästöjä, joita otettiin laskuissa huomioon, on dieselin päästöt käyttäen tilatiedoista saatua 3176 litraa/vuosi arvoa. Motivan (2011) päästökerrointa $2,68 \text{ kg CO}_2\text{e/l}$ käyttäessä polttoaineen kokonaispäästöiksi saatiin $8511,7 \text{ kg CO}_2\text{e}$. Sähkönkulutus oli $21\,700 \text{ kWh/vuosi}$. Päästökertoimena käytettiin Fingridin keskiarvoa $0,15 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ (Fingrid 2023), mikä johti $3255 \text{ kg CO}_2\text{e}$ päästöön. Vedenkulutus oli $700 \text{ m}^3/\text{vuosi}$ ja päästökertoimena käytettiin Motivan arvoa $0,344 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^3$ (Motiva 2011), jolloin vedenkulutuksen päästöt olivat $240,8 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Mineraalilannoitetta käytettiin tilalla 8800 kg vuodessa ja niiden typpipitoisuus oli 10% (Nordling ja Salovaara, n.d). Lannoitetyypen määrä oli siis 880 kg N . LUKE:n ja IPCC:n mukaisella päästöarvolla $4,6 \text{ kg CO}_2\text{e/kg N}$ saatiin lannoitteista syntyneiksi päästöiksi $4\,048 \text{ kg CO}_2\text{e}$. Kuljetusmatkaksi ilmoitettiin noin $242,5 \text{ km}$ yhdensuuntaisesti, edestakaisin matka on siis noin 485 km ja toimituksia toteutuu vuodessa keskiarvoltaan 52 toimitusta. Päästökerroin kuljetuksille kevyen kuorma-auton kohdalla on $0,13 \text{ kg CO}_2\text{e/km}$ (Motiva 2011), jolloin kuljetuksen päästöt olivat $3278,6 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Pakkausmateriaalien käyttö tilalla oli 1067 kg vuosi tasolla, ja LUKE:n päästökerroin pakkauksille on $3 \text{ kg CO}_2\text{e/kg pakkaus}$, jolloin kokonaispäästöt olivat $3201 \text{ kg CO}_2\text{e}$. Varastoinnin ja jäähdytyksen sähkönkulutus oli 100 kWh/viikko , ja vuositasolla päästökerroin $0,15 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ huomioiden tulokseksi saatiin $780 \text{ kg CO}_2\text{e}$. Naudan tuotannon muista osatekijöistä, polttoaine, sähkö, vesi, lannoite, kuljetus, pakkaus ja jäähdytys, muodostuu yhteensä $19\,335 \text{ kg CO}_2\text{e}$ vuodessa. Tulokset Naudanlihantuotannon muiden tuotannon vaiheiden päästöistä tilatasolla löytyy selkeytetysti Taulukosta 5.

TAULUKKO 5. Naudanlihantuotannon tilatason vuotuiset päästöt tuotannon tukitoiminnoista.

Päästölähde	<i>CO₂e (Kg/vuosi)</i>
Polttoaine (diesel)	8511,7
Sähkö	3255,0
Vesi	240,8
Mineraalilannoite	4048,0
Kuljetukset	3278,6
Pakkausmateriaalit	3201,0
Varastointi ja jäähdytys	780,0
yhteensä	<i>19 335 kg CO₂e/vuosi</i>

Taulukossa 5 on tuotu esille naudanlihatuotannon vuotuisesti syntyvät kasvihuonekaasupäästöt tilatasolla tuotannon tukitoiminnoista. Esiin on tuotu polttoaineen, sähkön, veden, mineraalilannoitteen, kuljetusten, pakkausmateriaalin ja varastoinnin sekä jäähdytyksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Taulukosta näkyy, että suurimmat tilatason päästöerät syntyvät polttoaineen ja lannoitteiden käytöstä.

Kokonaisuudessa huomioon ottaessa molemmat eläinperäiset päästöt sekä muut tuotannon päästöt naudalle kyseisen tilan tiedoilla Kehdosta Portille periaatteella saadaan kokonaispäästöiksi *30 518 kg CO₂e/vuosi* , kun tämä suhteutetaan keskimääräiseen ruhopainoon, joka on noin 250 kg, hiilijalanjäljeksi saadaan noin 12,2 kg CO₂e/kg. Yhteenlasketut naudan lihan päästöt tilalle löytyy eriteltynä alla olevasta taulukosta.

TAULUKKO 6. Naudanlihantuotannon kokonaispäästöt tilatasolla eläinperäisistä ja muista päästölähteistä

Päästöryhmä	<i>CO₂e (kg/vuosi)</i>
Eläinperäiset päästöt (<i>CH₄, N₂O</i>)	<i>~11 183 kg</i>
Muut tuotannon päästöt	<i>~19 335 kg</i>
Yhteensä kaikki	<i>~30 518 kg CO₂e/vuosi</i>

Taulukossa tuodaan esille naudanlihantuotannon tilatason kokonaispäästöt, jotka on eritelty eläinperäisiin päästöihin sekä muihin tuotannon tukitoiminnoista

johtuviin päästöihin. Kokonaispäästöt muodostuvat suurimmaksi osaksi eläimen ruuansulatuksesta lannan käsittelystä sekä energiankäytöstä ja logistiikasta.

Naudanlihan kokonaispäästöt ovat selvästi korkeammat kuin lasketut kasviperäisten tuotteiden päästöt, korostaen eläinperäisten ruuantuotannon suurempaa ilmastokuormaa. Päästöistä noin kolmasosa on eläinperäisiä ja erityisesti enterisen metaanin ja dityppioksidin osalta korostaen ruokinnan ja lannanhallinnan merkitystä ilmastovaikutusten vähentämiseen (Ncho et al. 2024). Lannanvarastoinnista syntyvät metaani- ja typpipäästöt päästöt ovat määrältään matalampia, mutta omalta osaltaan merkityksellisiä sillä näitä arvoja on mahdollista pienentää entisestään lannanhuollon ja kuivikkeiden valinnan avulla (Eckard et al. 2010).

Suurin yksittäinen päästölähde on polttoaineen käyttö, mikä osoittaa koneellisen työn merkittävyyden. Myös sähkön, mineraalilannoitteiden ja kuljetuksen osuus on merkittävä ja näiden kohdalla voisi olla mahdollista tarkastella uusiutuvan energian sekä vaihtoehtoisesti eri lannoitteiden mahdollisuuksia (Hristov et al. 2013). Pienempi, mutta ei merkityksetön osuus muodostuu pakkaus- ja jäähdytyspäästöistä. Tulokset osoittavat naudanlihan olevan energiaintensiivinen ja ilmastokuormittava tuotantomuoto, jonka hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa erityisesti syötteen hallinnan ja energiaratkaisuiden kautta.

Naudanlihan Kehdosta Portille – hiilijalanjäljen keskiarvoksi on eri tutkimuksissa arvioitu 12–30 kg CO₂e/kg, riippuen tuotantotavasta ja maantieteellisestä alueesta (HKfoods 2020, Atria 2019). Tässä työssä kokonaispäästöiksi saatiin 30 518 kg CO₂e/nauta, joka ruhopainoa kohden on noin 12,2 kg CO₂e/kg. Tämä vastaa hyvin suomalaisen naudanlihan keskiarvoa ja on yhdenmukainen VTT:n ja Atrialta julkaistujen tulosten kanssa.

4.5 Kala

Kalan hiilijalanjälkilaskenta perustuu Sodankylän Lokka portin tekojärvellä toimivan kalastajan (Haastateltava 1 2024) antamiin tietoihin, LUKE:n ohjeistukseen sekä IPCC:n ja Motivan määrittämiin päästökertoimiin. Kalastajia yrityksellä on

23 ja arvioitu vuosittainen polttoainekulutus on 3000l per kalastaja. Dieselin päästökertoimeksi otettiin Motivan (2011) mukainen $2.32 \text{ kg CO}_2\text{e/l}$, jolloin kokonaistulokseksi kalastuspolttoaineen osalta saatiin $213\,440 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Sähkönkulutuksen osalta jalostusprosesseissa käytettiin LUKE:n määrittelemiä keskiarvoja eri tuotemuodoille: fileoidulle siialle 0.4 kWh/kg ja pannusiialle 0.25 kWh/kg . Keskimääräinen vuosittainen saalismäärä tilan tietojen mukaan on $90\,000 \text{ kg}$. Motivan (2011) päästökerroin sähköntuotannolle on $0.15 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kWh}$. Näin sähkönkulutuksesta jalostuksessa ja varastoinnissa syntyy yhteensä noin $3000 \text{ kg CO}_2\text{e}$. Kuljetuslaskelmat tehtiin tilatietojen mukaan keskimääräiselle toimitusmatkalle, joka on 180 km per toimitus ja toimituksia on suunnilleen 225 vuodessa Motivan päästökerroin kevyelle kuorma-autolle kylmäkuljetuksille on $0.13 \text{ kg CO}_2\text{e/km}$. Kuljetusten kokonaispäästöiksi saatiin näin ollen $5220 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Pakkausmateriaalien määräksi arvioitiin jalostuksen määrään $49\,500 \text{ kg}$ suhteutettuna LUKE:n keskiarvo 0.03 kg pakkausmateriaalia/ kg kalaa, jolloin muovipakkausta muodostui 1485 kg . Elinkaaripäästökertoimella $3 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg}$ pakkauksia, kokonaispäästöt olivat $4455 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Pakkausjätettä syntyy noin 225 kg vuodessa, ja jätepolton päästökertoimen ollessa $2.8 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg}$ jätettä, päästöt jätteistä ovat $630 \text{ kg CO}_2\text{e}$. Kalankäsittelyssä syntyy myös merkittävä määrä biojätettä, erityisesti perkuujätettä. Tilan ilmoittama määrä on noin $45\,000 \text{ kg}$ vuodessa. IPCC:n mukaisen jätebiomassan päästövaikutuksena käytettiin laskennallista arvoa (Greenhouse gas protocol, 2024), jolloin perkuujätteet kokonaispäästöiksi saatiin $76500 \text{ kg CO}_2\text{e}$. Koko kalastuksen päästölaskentaan löytyy erittely alla olevassa taulukosta 7.

TAULUKKO 7. Yhden kalastajan vuotuiset kokonaispäästöt Lokka portin alueella

Päästölähde	<i>CO₂e (Kg / vuosi)</i>
Polttoaine (Veneet + kelkat)	184 920
Moottoriöljy	120
Sähkö (pakastus ja varastointi)	1350
Kuljetukset	1300
Pakkausmateriaalit	4455
Pakkausjäte	630
Perkuujäte	76500
yhteensä	<i>268 275 kg CO₂e /vuosi</i>

Taulukossa 7 on yhden kalastajan vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt eriteltynä valitulla alueella. Suurin osa päästöistä syntyy polttoaineen kulutuksesta sekä perkausjätteen käsittelystä. Taulukko havainnollistaa kalan kalastamiseen, jalostukseen sekä logistiikkaan liittyvien toimintojen kasvihuonekaasupäästöjä.

Tuloksista voidaan havaita, että kalalajien väliset erot ovat suhteellisen pieniä. Siika-fileen sekä hauen hiilijalanjäljet ovat hieman muita päästöintensivisempiä. Tämä voi johtua eritoten fileoinnin korkeasta energiankulutuksesta varsinkin verrattuna esimerkiksi pannusiian valmistukseen (Silvenius et al. 2012).

Ahvenen matalampi arvo puolestaan voi johtua suuremmista jalostuseristä, jotka tehostavat kuljetuksen ja jalostuksen päästöintensiiviteettiä. Päästölähteet on eritelty kalalajeittain; siian kohdalla erottelu on tehty sekä pannusiikaan että fileisiin Taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Kalalajien tuotekohtaiset kasvihuonekaasupäästöt tuotantovaiheittain

Kalalaji/ tuote	Kalastus (Kg CO ₂ e/ kg)	Jalostus (kg CO ₂ e/ kg)	Kuljetus (kg CO ₂ e/ kg)	Typen /N ₂ O (Kg CO ₂ e / kg)	Yhteensä (kg CO ₂ e/ kg)
Siika pannu- siika	2.372	0.025	0.070	0.106	2.572
Siika – fileet	2.372	0.040	0.070	0.106	2.587
Ahven	2.372	0.035	0.058	0.106	2.570
Hauki	2.372	0.040	0.058	0.106	2.575

Yllä olevasta taulukosta nähdään eriteltynä tuotekohtaiset kasvihuonekaasupäästöt kalalajeittain eriteltynä eri tuotantovaiheiden mukaan. Päästöluvut on ilmoitettu kilogrammaa kohti sekä ne kattavat pyynnin, jalostuksen, logistiikan sekä typpiperäiset päästöt. Suurin päästöosa on selvästi itse kalastaminen.

Typen ja dityppioksidin päästövaikutukset pidetään vakiona kaikille lajeille, koska ne määräytyvät kalastusmenetelmän ja ekosysteemin perusteella (Fang et al. 2022). Vaikka erot kalalajien välillä ovat pienet, tulokset osoittavat, että yksittäisillä prosessivaiheilla kuten jalostuksella, eräkokojen optimoinnilla ja kuljetusmuodolla voi olla merkittäväkin vaikutus tuotekohtaiseen hiilijalanjälkeen. Kalan tuotannon ilmastonvaikutus jää kuitenkin selvästi alhaisemmaksi verrattuna esimerkiksi naudanlihaan. Tämä tukee siirtymistä kohti ilmastoystävällisempiä proteiinilähteitä julkisissa ruokahankinnoissa.

Kalan hiilijalanjälkituloksia verrattiin LUKE:n (2022) tutkimukseen, jossa kalastetun kalan hiilijalanjälki vaihteli välillä 0,4-2,45 kg CO₂e/kg riippuen kalalajista, kuljetusmatkasta sekä pyydystystavasta. Tämän työn laskentatulokset ovat lievästi tämän vaihteluvälin yläpuolella, erityisesti siikafileiden ja hauen osalta. Tämä voi

kuitenkin selittyä osittain sillä, että työssä on laskettu Kehdosta Portille -periaatteella ja huomioitu muun muassa jätebiomassan päästöt sekä pakkausjätteiden käsittely, jota ei kaikissa vertailututkimuksissa ole sisällytetty yhtä laajasti.

Esimerkiksi Silveniuksen kirjoittamassa raportissa siian hiilijalanjäljeksi on saatu keskimäärin 2,0 kg CO₂e/kg (Silvenius et al. 2022), kun taas työssä fileoituna se on 2,587 kg CO₂e/kg. Ero on kuitenkin looginen, sillä fileointi kasvattaa energiankulutusta. Vastaavasti ahvenen päästövertailu (LUKE 2022) osoittaa keskiarvoksi 2,5 kg CO₂e/kg, mikä on hyvin linjassa tämän työn 2,570 kg CO₂e/kg tuloksen kanssa. Näiden pohjalta tuloksia voidaan pitää uskottavana, ja ne tukevat olemassa olevaa tutkimustietoa suomalaisen järvikalan ympäristövaikutuksista.

4.6 Hiilijalanjäkilaskennan luotettavuus ja sovellettavuus hankinnoissa

Hiilijalanjäkilaskentaan liittyy useita epävarmuustekijöitä, jotka voivat vaikuttaa tulosten tarkkuuteen. Merkittävimpiä lähteitä ovat käytetyt oletusarvot, kuten IPCC:n ja LUKE:n antamat päästökertoimet, sekä tilakohtaiset arviot. Lisäksi joitainkin tilojen osalta sähkön alkuperää tai kuljetusten tarkkaa kuormausastetta ei voitu varmentaa. Nämä tekijät voivat aiheuttaa vaihtelua lopullisessa hiilijalanjäkiluvussa $\pm 10\text{-}30\%$:n tarkkuudella. Kuitenkin laskentamalli perustuu ajantasaisiin ja valtakunnallisesti hyväksytyihin menetelmiin, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina vertailutarkoituksiin.

Valittu Kehdosta portille -laskentarajaus mahdollistaa ruokaketjun kokonaisvaltaisemman tarkastelun, sillä se huomioi paitsi alkutuotannon myös jalostuksen, varastoinnin ja kuljetuksen.

Tulosten perusteella voidaan arvioida, että kehdosta portille- laskentaan perustuva hiilijalanjälki on sovellettavissa kilpailuskriteerinä. On kuitenkin tärkeää, että laskentatapa on läpinäkyvä ja yhtenäistetty. LUKE:n ohjeistus mahdollistaa tämän, ja sen käyttöönotto voisi tukea objektiivista ja vertailukelpoista arviointia elintarviketoimittajien välillä. Käytännön haasteina voidaan nähdä toimittajien tietotaito laskentaan, tiedon keruun kuormittavuus, sekä mahdollisesti puutteellinen dokumentointi.

Tässä työssä keskityttiin hiilijalanjälkeen, mutta ympäristövastuullisuuden kokonaisvaltainen arviointi edellyttää tulevaisuudessa laajempaa näkökulmaa. Vesijalanjäljen, rehevöittävän vaikutuksen tai maankäytön tarkastelu voisi tuoda lisää näkökulmia hankintaprosesseihin ja päätöksiin. Pienyrittäjät huomioon ottaen olisi perusteltua kehittää helppokäyttöisiä, digitaaliseen raportointiin perustuvia päästölaskentasovelluksia. Näin varmistetaan, että kestävyyskriteerien käyttö ei syrjäytä paikallisia toimijoita, vaan tukee heidän kehittymistään ympäristötavoitteiden mukaisesti.

Tulosten pohjalta on mahdollista todeta, että hiilijalanjäkilaskenta tarjoaa julkisiin hankintoihin vertailukelpoista, soveltuvaa sekä käytännön päätöksentekoa tukevaa tietoa. Laskennan avoimuus ja yhdenmukaisuus LUKE:n ohjeistuksen kanssa mahdollistavat sen, että hiilijalanjälki voidaan sisällyttää tarjousvertailun kriteereihin ilman, että syrjitään tiettyjä toimijoita (LUKE 2024). Tämä on linjassa hankintalain ja EU-direktiivien periaatteiden kanssa, joissa korostetaan syrjimättömyyttä ja läpinäkyvyyttä (FINLEX 2017).

Käytännössä hiilijalanjälkitietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi asettamalla tuotekohtaisia enimmäisrajoja tai soveltamalla päästöperusteista pisteytystä kilpailutuksissa. Tämä antaisi kunnille ja muille julkisille hankintayksiköille mahdollisuuden ohjata hankintojaan ilmastotavoitteita tukevalla samalla tavalla, kun kilpailu pysyy avoimena ja reiluna (IPCC 2022; Hiilineutraali Suomi n.d). Jotta hiilijalanjälkitiedon käyttö olisi mahdollisimman vaikuttavaa ja oikeudenmukaista, suositellaan, että jatkossa kehitetään kevyitä ja yhtenäisiä raportointimalleja erityisesti pienille toimittajille (Arola 2022; LUKE 2024). Lisäksi olisi hyödyllistä edistää mahdollisuutta puolueettomaan todennukseen silloin, kun laskentatietoa käytetään tarjousvertailussa varmistaen, että tiedon luotettavuus säilyy korkeana ja päätöksenteon taustalla olevat vertailut perustuvat yhtenäisiin kriteereihin.

4.7 Suositukset yritykselle

Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n Sodankylän keskuskeittiölle esitetään seuraavat suositukset, jotka perustuvat laskettuihin Kehdosta Portille hiilijalanjäkilukuihin sekä

vertailuun kansallisiin ja kansainvälisiin tutkimustuloksiin. Tavoitteena on edistää hankintapäätöksiä, jotka tukevat ympäristötavoitteita ja vähentävät ruokapalveluiden ilmastovaikutuksia.

Alkuperäisenä tavoitteena oli paikallisten elintarvikkeiden käytön edistäminen hyödyntämällä hiilijalanjälkeä kilpailutuskriteerinä. Hypoteesina oli, että paikallisilla elintarvikkeilla olisi keskimääräisesti pienempi hiilijalanjälki kuin suurteollisuuden tuotteissa. Tämä vaatii kuitenkin lisätarkastelua seuraavien kahden kysymyksen osalta: 1) voidaanko tilakohtaisia hiilijalanjälkiä laskea luotettavasti, sekä 2) tuottaako paikallinen tuotanto tosiasiaassa vähemmän päästöjä. Vastaminen näihin kysymyksiin on jatkossa erityisen tärkeää.

Laskelmat osoittavat, että naudanlihan hiilijalanjälki on kasvi- ja kalapohjaisiin tuotteisiin verrattuna moninkertainen ja on siksi suositeltavaa vähentää naudanlihan osuutta ruokalistoilta ja korvata sitä kestävämmillä proteiinilähteillä. Kalalajien, erityisesti siian ja ahvenen hiilijalanjälki jäi tasolle 2,75-2,95 kg CO₂e/kg. Tämä tekee niistä merkittävästi ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja verrattuna punaiseen lihaan. Suositellaan jatkossakin lisäämään kotimaisen järvikalan käyttöä lämpimissä aterioissa erityisesti sesonkien mukaan. Perunan ja nauriin hiilijalanjäljet osoittavat niiden olevan ympäristön kannalta kestäviä raaka-aineita. Kasvispohjaisten aterioiden osuutta voitaisiin lisätä ja hyödyntää kausittaista saatoa.

Vaikka kuljetusten osuus kokonaispäästöistä on pienehkö, sitä voidaan edelleen vähentää yhdistämällä toimituksia ja mahdollisesti kasvattamalla toimituserien kokoa, mikäli se on elintarvike tuotteen kohdalla mahdollista.

Hiilijalanjälkilaskemia voidaan hyödyntää suoraan julkisten hankintojen kriteerinä LUKE:n ohjeistusten mukaisesti. Näin varmistetaan läpinäkyvyyttä ja vertailukelpoinen arvio eri toimittajien ympäristövaikutuksista. Suositellaan sisällyttämään ympäristökriteerit osaksi tarjouspyyntöjen laatua. Lisäksi suositellaan, että osana markkinavuoropuhelua tulisi tehtyä tilakohtaisia päästölaskelmia yhteistyössä tuottajien kanssa. Tämän avulla voidaan tunnistaa keskeiset päästöjen syntyapaikat

sekä selvittää, voidaanko tuotantotapoja muuttaa vähähiilisemmiksi. Mikäli tilakohtaisesti päästäisiin teollisuuden keskiarvojen alapuolelle, alkuperäisen hypoteesin mukaisiin tuloksiin voidaan realistisesti päästä.

Lopuksi ehdotetaan Sodankylän keskuskeittiölle laadittavaksi kestävän kehityksen toimintasuunnitelma, joka sisältää vuosittaiset päästöseurantaindikaattorit, ympäristötavoitteet sekä toimenpiteet päästöjen vähentämiseksi

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko mahdollista hyödyntää elintarvikkeiden hiilijalanjälkitietoa luotettavasti sekä vertailukelpoisesti julkisten lähiruokahankintojen kilpailutuskriteerinä. Laskentatyö toteutettiin Pohjois-Lapin Ruoka Oy:n toimeksiannosta, ja hiilijalanjälkiarvot tehtiin neljälle keskeiselle tuoteryhmälle: nauris, kala, peruna ja nauta, LUKE:n vuonna 2024 julkaistun Food-LCA- ohjeistuksen mukaisesti. Tulokset osoittavat, että Kehdosta Portille- periaatteella toteutettu, ohjeistusta seuraava laskenta tuottaa vertailukelpoista ja hankintakäyttöön soveltuvaa päästötietoa, kunhan tiedonkeruu on huolellisesti toteutettua ja avoimesti dokumentoitu.

Tuloksista ilmeni, että kala- ja kasvituotteiden ilmastovaikutukset ovat huomattavasti matalammat kuin naudanlihalla, mikä tukee näiden raaka-aineiden suostamista vähähiilisten ruokavalintojen edistämiseksi. Merkittävimpiä päästölähteitä olivat erityisesti typen käyttöön liittyvät dityppioksidipäästöt sekä lisäksi koneellisen työn ja energian kulutus. Näiden lisäksi työ toi esiin konkreettisia haasteita, kuten toimijoiden vaihtelevat valmiudet luotettavan ja tarkan tiedon antamiseen ja laskennan kuormittavuus.

Työn perusteella voidaan todeta, että hiilijalanjälkilaskenta on käyttökelpoinen väline ympäristökriteerien tueksi julkisissa hankinnoissa. Sen hyödyntäminen edellyttää kuitenkin johdonmukaista ohjeistusta ja sen seuraamista, käytännönläheisiä laskentatyökaluja sekä tarkkaa tiedonkeruuta. Jatkotutkimuksessa suositellaan tarkasteltavaksi myös muita ympäristövaikutusten ulottuvuuksia, kuten rehevöitymistä, vesijalanjälkeä ja maankäytön muutoksia, jotta päätöksenteon ekologinen kokonaisvaikutus voidaan arvioida laajemmin. Näin voidaan edistää julkisten ruokahankintojen kestävyystavoitteita ilman, että paikallisten toimijoiden toimintaedellytykset vaarantuvat.

LÄHTEET

- Antikainen, R. (2010). Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. *Suomen ympäristökeskus*. Viitattu 10.2.2025. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/acf887d8-f7e6-405b-8c21-d944066d42a3/content>
- Atria. (2019). Atrialaisen lihatuotannon hiilijalanjälki merkittävästi kansainvälistä tasoa alhaisempi. Viitattu 12.4.2025. <https://www.hkfoods.com/fi/uutis-huone/press-releases/2020/06/hkscanin-suomalaisen-naudanlihan-c3701217/>
- Arola, J. (2022). Hiilijalanjäljen laskenta Pohjois-Karjalan Martat ry:lle. AMK-opinnäytetyö, Karelia-ammattikoulu. *Theseus*. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/752048/Arola_Jessi.pdf?sequence=2
- Cerutti, A. K., Contu, S., Ardente, F., Donno, D., & Beccaro, G. L. (2016). Carbon footprint in green public procurement: Policy evaluation from a case study in the food sector. *Food Policy*, 58, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.food-pol.2015.12.001>
- CO2 Everything. (2018). Carbon footprint: potatoes. Viitattu 11.4.2025. <https://www.co2everything.com/co2e-of/potatoes?>
- Colombini, S., Graziosi, A. R., Galassi, G., Gislou, G., Crovetto, G. M., Enriquez-Hidalgo, D. & Rapetti, L. (2023). Evaluation of intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) equations to predict enteric methane emission from lactating cows fed mediterranean diets. *JDS communications* 4 (3), 181-185. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266691022300011X>
- Edwards-Jones, G., Plassmann, K. & Harris, I.M. (2009). Carbon footprinting of lamb and beef production systems: insights from an empirical analysis of farms in Wales, UK. *Journal of Agricultural Science. Cambridge university press* 147 (06), 707–719 https://www.researchgate.net/publication/231894420_Carbon_footprinting_of_lamb_and_beef_production_systems_Insights_from_an_empirical_analysis_of_farms_in_Wales_UK
- Eckard, R., Grainger, C. & De Klein, C. A. M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science* 130 (1), 47-56. https://www.researchgate.net/publication/248565974_Options_for_the_abatement_of_methane_and_nitrous_oxide_from_ruminant_production_A_review
- Elinkeinoelämän keskusliitto. (N.d.). Julkiset hankinnat. *Elinkeinoelämän keskusliitto*. Viitattu 14.2.2025. <https://ek.fi/tavoitteemme/yrityslainsaadanto/julkiset-hankinnat/>
- European Commission. (N.d.). Meeting sustainability objectives in the Helsinki Urban Environment House's Restaurant and Café Services. Viitattu 16.4.2025.

https://green-forum.ec.europa.eu/green-public-procurement/good-practice-library/meeting-sustainability-objectives-helsinki-urban-environment-houses-restaurant-and-cafe-services_en

Fang, X., Zhao, J., Wu, S., Yu, K., Huang, J., Ding, Y., Hu, T., Xiao, S., Liu, S., & Zou, J. (2022). A two-year measurement of methane and nitrous oxide emissions from freshwater aquaculture ponds: Affected by aquaculture species, stocking and water management. *The Science of the total environment*, 813, 151863. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151863>

Fnlex. (2016). *Laki julkista hallintotehtävää hoitavan toiminnan tietojensaannista ja salassapidosta (1397/2016)*. Finlex. Viitattu 10.3.2025. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2016/1397>

Fingrid (2023). Sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöt Suomessa. Viitattu 1.4.2025. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Greenhouse gas protocol. (2024). IPCC Global warming potential values. Viitattu 2.4.2025. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>

Haastateltava 1. Kalan toimittaja. 2024. Haastateltu 22.8.2024. Haastattelija Serlippens, N. Microsoft Teams.

Haastateltava 2. Naudan Lihan toimittaja. 2024. Haastateltu 5.8.2024. Haastattelija Serlippens, N. Microsoft Teams.

Haastateltava 3. Nauriin toimittaja. 2024. Haastateltu 21.10.2024. Haastattelija Serlippens, N. Microsoft Teams.

Haastateltava 4. Perunan toimittaja. 2024. Haastateltu 20.10.2024. Haastattelija Serlippens, N. Microsoft Teams.

Haaspuro, T. & Jaurimaa, A. (2019). Hiilifiksu järjestö- hiilijalanjälkilaskuri, laskennan perusteet. *Helsingin Yliopisto*. Viitattu 12.2.2025. https://blogs.helsinki.fi/hiilifiksu/files/2019/02/Hiilifiksu-j%C3%A4rjest%C3%B6-laskuri_laskennan-perusteet-1.pdf

Heusala, H. & Lehtilä, A. (eds.). (2025). Guidance for environmental footprint assessment of food products (Food-LCA): Specification for external communicational purposes on the Finnish market. 2nd edition. Natural Resources and Bioeconomy Studies 4/2025. *Natural Resources Institute Finland*. Helsinki. 132 p. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/556030/luke-luobio_4_2025.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hienonen, E. (2024) Hankintojen hiilijalanjäljen pienentäminen osana Metropolia Ammattikorkeakoulun Hiilineutraaliustavoitetta.

Hiilineutraalisuomi. (2023). Kestävät julkiset hankinnat. Viitattu 22.2.2025. https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-fi/Ilmastotyö/Kestavat_julkiset_hankinnat

HKFOODS (2020). HKScanin suomalaisen naudanlihan hiilijalanjälki on 35 prosenttia eurooppalaista pienempi. Viitattu 18.4.2025.

[https://www.hkfoods.com/fi/uutishuone/press-releases/2020/06/hkscanin-suomalaisen-naudanlihan-c3701217/?](https://www.hkfoods.com/fi/uutishuone/press-releases/2020/06/hkscanin-suomalaisen-naudanlihan-c3701217/)

Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Gerber, P. J., Henderson, B., Makkar, H. P. S. & Dijkstra, J. (2013). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of animal science* 91 (11), 5070-5094. <https://academic.oup.com/jas/article/91/11/5070/4731316>

Hui Niu, Zhihe Li, Chunhong Zhang, Minhui Li. (2024). Sustainable food systems under environmental footprints: The delicate balance from farm to table, *Science of The Total Environment* 954. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724069183>

Ilmatieteen laitos. (n.d.). Kasvihuonekaasut lämmittävät. Ilmasto-opas. Viitattu 11.2.2025. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuonekaasut-lammittavat>

International Standard, ISO 14067. (2018). Greenhouse gases- Carbon footprint of products -Requirements and guidelines for quantification. Viitattu 22.2.2025 <https://www.ditan.com/static/upload/file/20240522/1716345585128585.pdf>

JEPO Oy. (2022). Jepo on tutkitusti ilmastoystävällinen valinta. Viitattu 18.4.2025. <https://www.jepo.fi/artikkelit/jepo-on-tutkitusti-ilmastoystavallinen-valinta/>

IPCC:n raportti. (2022). Valtioneuvosto. Viitattu 25.4.2022 <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/ipcc-n-raportti-ilmastonmuutos-on-vaikuttanut-vakavallata-valla-luontoon-ja-ihmisiin-vaikutukset-jakautuvat-epatasaisesti>

Lee, D. B., Jung, S. C., So, K. H., Kim, G. Y., Jeong H. C. & Sonn, Y. G., (2014) Carbon footprint and mitigation of vegetables produced at open fields and film house using Life cycle assessment. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 47 (6), 457-463. DOI:[10.7745/KJSSF.2014.47.6.457](https://doi.org/10.7745/KJSSF.2014.47.6.457)

LUKE. (2022), Kalatuotteet ovat kestävä valinta ilmaston kannalta – Luke selvitti kotimaisten kalatuotteiden ilmastovaikutuksia. Viitattu 17.4.2025.

<https://www.luke.fi/fi/uutiset/kalatuotteet-ovat-kestava-valinta-ilmaston-kannalta-luke-selvitti-kotimaisten-kalatuotteiden-ilmastovaikutuksia>

Martat (2016). Ympäristö lautasella- Näin ruokavalinnoilla voi vaikuttaa ilmastomuutokseen. <https://www.martat.fi/wp-content/uploads/2016/11/ymparistolautesellaesite.pdf>

Motiva. (2011). Ilmastolaskurissa käytetyt oletuskertoimet ja -arvot. Viitattu 10.4.2025. https://www.motiva.fi/files/6515/Ilmastolaskurissa_kaytetyt_oletuskertoimet_ja_-arvot.pdf

Ncho, C. M., Kim, S-H., Rang, S. A. & Lee, S.S. (2024). A meta-analysis of probiotic interventions to mitigate ruminal methane emissions in cattle: implications

for sustainable livestock farming. *Animal* 18 (6). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731124001113>

Neusel, L. & Hirzel, S. (2022). Energy efficiency in cold supply chains of the food sector: An exploration of conditions and perceptions. *Cleaner Logistics and Supply Chain* 5. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772390922000555>

NEPGA. (N.d.) Ravitsemuksellisen laadun sisällyttäminen ruoan ympäristövaikutusten arvioimiseen ja viestintään tuoteryhmäkohtainen lähestymistapa. *LUKE*. Viitattu 6.2.2025. <https://www.luke.fi/fi/projektit/nepga/menetelmakehitys>

Nordling, L., & Salovaara, A. K. (n.d.) Uusi kierrätys- ja mineraaliravinteita yhdistävä yarasuna Remix 8. *YaraSuomi*. Viitattu 2.4.2025. <https://www.hankkija.fi/tuotantopanokset/lannoitteet-ja-kalkki/ia-uusi-kierratys-mineraaliravinteita-yhdistava-yarasuna-remix-8-2047741/?srsltid=AfmBOoo0dOUV0apv30Vc1Ce1ZCnQ-kmTF6lPpe2GaPTi8hcKEZoLs0vy>

Kjellberg, M., Skoglund, W. & Haller, H. (2024). Decreasing the carbon footprint of food through public procurement – A case study from the municipality of Härnösand. *Frontiers in Nutrition* 11. <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2024.1330892/full>

Pandey, D., Pandey, J. & Agrawal, M. (2011) (PDF) *carbon footprint: Current methods of estimation, Environmental Monitoring and Assessment* 178 (1-4), 135-60. https://www.researchgate.net/publication/46289480_Carbon_Footprint_Current_Methods_of_Estimation

Perälä, P., Kauppinen, P., Esala, M., Tyynelä, S. & Regina, K. (2006). Influence of slurry and mineral fertilizer application techniques on N₂O and CH₄ fluxes from a barley field in southern Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 117 (1), 71-78. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880906001289>

Pohjois-Lapin Ruoka Oy. n.d. Pohjoista yhteistyötä. Viitattu 2.2.2025 <https://www.lapinruoka.fi/>

Pulkkinen, H., Kemppainen, M., Markus, A. & Virtanen, E. (2012). Perunan ilmastovaikutukset. *MTT*. Viitattu 18.4.2025. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/438285/mttraportti73.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Shabir, I., Dash, K. K., Dar, A. H., Pandey, V. K., Fayaz, U., Srivastava, S., & R, N. (2023). Carbon footprints evaluation for sustainable food processing system development: A comprehensive review. *Future Foods*, 7, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100215>

Silvenius, F., Mäkinen, T., Grönroos, J., Kurppa, S., Tahvonen, R., Kankainen, M., Vielma, J., Silvennoinen, K., Setälä, J., Kaustell, S., & Hartikainen, H. (2012). Kala- Ympäristövastuu monimutkaisessa kentässä. *Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote*. Viitattu 19.3.2025. <https://doi.org/10.33354/smst.75630>

Silvenius, F., Setälä, J., Keskinen, T., Niukko, J., Kiuru, T., Kankainen, M., Saarni, K. Ja Silvennoinen, K. (2022). Suomalaisten kalatuotteiden ilmastovaikutus Sitra. (2019). 1,5 asteen elämäntavat. *Sitra*. Viitattu 12.2.2025.
<https://www.sitra.fi/wp/wp-content/uploads/2019/05/1o5-asteen-elamantavat.pdf>

Valtioministeriö. (2017). Valtion hankintakäsikirja 2017. *Valtioministeriö*. Viitattu 22.2.2025. <https://vm.fi/documents/10623/4040240/Valtion%20hankintak%C3%A4sikirja%202017/868b80fa-c2de-4328-ae93-36b17968f780/Valtion%20hankintak%C3%A4sikirja%202017.pdf>

VTT Lipasto. (n.d.) Tieliikenteen tavarakuljetusten päästökertoimet. Viitattu 28.4.2025. <https://lipasto.vtt.fi/>

Vorne, V., Väänänen, A., Katajajuuri, J. & Saarinen, M. (2023). Kohti ilmasto-kestävämpiä valintoja – ruuan ilmastovaikutuksia pyritään pienentämään avoimen hiilijalanjälkiaineiston avulla. *LUKE*. Viitattu 6.2.2025.
<https://www.luke.fi/fi/uutiset/kohti-ilmastokestavampia-valintoja-ruuan-ilmasto-vaikutuksia-pyritaank-pienentamaan-avoimen-hiilijalanjalkiaineiston-avulla>

Xu, Z., Fu, Z., Zhai, Z., Yang, X., Meng, F., Feng, X., Zhong, J., Dai, Y., Xu, W., Cheng, J.-H., & Zhang, Z. (2020). Comparative evaluation of carbon footprints between rice and potato food considering the characteristic of Chinese diet. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120463.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120463>

LIITTEET

Liite 1. Perunan Hiilijalanjälkilaskut

Sadon laskenta ja kuiva-aineen määrä

$$Sato: \frac{55000 \text{ kg}}{3.5 \text{ ha}} = 15714 \text{ kg/ha}$$

$$Kuiva - aine = 15714 \times 0.22 = 3457 \text{ kg DM/ha}$$

Kalkituksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt

$$CO_2_{kalkitus} = \left(\left(833 \frac{\text{kg}}{\text{ha vuosi}} \times 0.12 \right) \times \frac{44}{12} \right) =$$

$$366.67 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{ha vuosi}}$$

Suorat dityppioksidipäästöt maaperästä

$$N_2O_{lannoitus} = \left(600 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} + 0 \right) \times 0.01 \times \frac{44}{28} = 9.34 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha}}$$

$$AGDM = \left(\frac{3457}{1000} \right) \times 0.10 + 1.06 = 1405.7 \text{ kg/ha}$$

$$FCR = 1 \times \left[\left(1 \times 1405.7 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \times 1000 \times 0.019 \times (1 - 0) \right) + 1 \right] = 26.71 \text{ kg N/ha}$$

$$N_2O_{satojäännös} = 26.7 \times 0.01 \times \frac{44}{28} = 0.419 \approx 0.42 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha}}$$

$$F_{som} = \left(1 \times -(300 \times (-1)) \times \left(\frac{1}{13} \right) \right) + \left(0 \times (0 \times (-1)) \times \left(\frac{1}{13} \right) \right) = 23.08 \frac{\text{kg } N}{\text{ha yr}}$$

$$N_2O_{mineraalimaa} = 23.08 \frac{\text{kg } N}{\text{ha vuosi}} \times 0.01 \times \frac{44}{28} = 0.363 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha}}$$

$$N_2O_{orgaaninen_{maa}} = N_2O - N_{os} \times \frac{44}{28} = 0$$

→ Maaperä on hkKHt → hienojakoista kivennäisainesta → Peltoa ei olla luokiteltu orgaaniseksi maaperäksi

$$N_2O_{suorat} = 9.34 \frac{kg N_2O}{ha} + 0.42 \frac{kg N_2O}{ha} + 0.363 \frac{kg N_2O}{ha} + 0 = 10.211$$

$$\rightarrow 3042,87 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

Epäsuorat N₂O-päästöt

$$N_2O_{epäsuora\ haittuminen} = [(600 \times 0.1) + (0 \times 0.2)] \times 0.01 \times \frac{44}{28} = 0.943 \frac{kg N_2O}{ha}$$

$$\rightarrow 280.97 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

$$N_2O_{epäsuora\ huuhtoutuminen} = \left[\left(649.78 \times 0.3 \times 0.0075 \times \left(\frac{44}{28} \right) \right) \right] = 2.30 \frac{kg N_2O}{ha}$$

$$\rightarrow CO_2e = 2.30 \times 298 = 684.65 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

Kuljetus & sähkö

$$Diesel = 600L \times \frac{2.67}{3.5} = 457.71 \frac{kg CO_2}{ha}$$

$$Sähkö = (6000 + 5000)kWh \times \frac{0.12}{3.5} = 377.14 \frac{kg CO_2}{ha}$$

$$kuljetus = 377.14 \frac{kg CO_2}{ha}$$

Kokonaispäästöt

$$CO_2_{kokonaispäästöt} = 366.67 + 3042.87 + 965.62 + 457.71 + 377.14 + 377.14$$

$$= 5587.15 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

$$\rightarrow CO_2 / kg\ perunaa = \frac{5587.15}{15714} = 0.356 \frac{kg CO_2e}{kg\ perunaa}$$

Liite 2. Nauriin Hiilijalanjälkilaskut

Sato ja kuiva-ainepitoisuus

$$sato = \frac{55000 \text{ kg}}{3.5 \text{ ha}} = 15714 \text{ kg/ha}$$

$$\text{Kuiva - aine} = 15714 \times 0.22 = 3457 \text{ kg DM/ha}$$

Kalkituksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt

$$CO_{2\text{kalkitus}} = \left(\left(833 \frac{\text{kg}}{\text{ha vuosi}} \times 0.12 \right) \times \frac{44}{12} \right) = 366.67 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{ha vuosi}}$$

Suorat N_2O -päästöt maaperästä

$$N_2O_{\text{lannoitteet}} = 350 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \times 0.17 = 59.5 \frac{\text{kg } N}{\text{ha}}$$

$$AGDM = \left(\frac{360}{1000} \right) \times 0.10 + 1.06 = 1.09 \frac{6t}{\text{ha}} = 1096 \text{ kg/ha}$$

$$FCR = (1096 \times 0.019) + \left(\left(\frac{(1096 + 360)}{360} \right) \times 0.20 \times 0.014 \right) = 20.835 \text{ kg } N/\text{ha}$$

$$N_2O_{\text{Satojäännös}} = 26.7 \times 0.01 \times \frac{44}{28} = 0.419 \approx 0.42 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha}}$$

$$F_{\text{som}} = \left(1 \times -(300 \times (-1)) \times \left(\frac{1}{13} \right) \right) + \left(0 \times (0 \times (-1)) \times \left(\frac{1}{13} \right) \right) = 23.08 \frac{\text{kg } N}{\text{ha vuosi}}$$

$$N_2O_{\text{mineraalimaa}} = 23.08 \frac{\text{kg } N}{\text{ha vuosi}} \times 0.01 \times \frac{44}{28} = 0.363 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha}}$$

$$N_2O_{\text{orgaaninen}_{\text{maa}}} = (N_2O - N_{Os}) \times \frac{44}{28} = 0$$

→ Maaperä on hkKHt → hienojakoista kivennäisainesta → Peltoa ei olla luokiteltu orgaaniseksi maaperäksi

$$\begin{aligned} N_2O_{\text{suorat}} &= 1.5714 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha}} + 0.327 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha}} + 0.363 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{ha}} + 0 \\ &= 1.625 \text{ kg } N_2O/\text{ha} \rightarrow 484.28 \frac{\text{kg } CO_2e}{\text{ha}} \end{aligned}$$

Epäsuorat N_2O -päästöt

$$N_2O_{epäsuora_{haihtuminen}} = 5.95 \times 0.01 \times 1.5714 = 0.0935 \frac{kg N_2O}{ha} \rightarrow 27.86 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

$$N_2O_{epäsuora_{huuhtoutuminen}} = 103.415 \times 0.3 \times 0.0075 \times 1.5714 = 0.366 \frac{kg N_2O}{ha}$$
$$\rightarrow CO_2e = 0.366 \times 298 = 108.96 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

Yhteensä epäsuorat päästöt: $136.83 \text{ kg } CO_2e/ha$

Polttoaine päästöt:

$$CO_2e = 150 \times 2.67 = 400.5 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

Varastoinnin päästöt (lämmitys)

$$CO_2e = 500 \times 0.15 = 75 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

Pesu & pussitus

1. Veden käyttö:

$$CO_2e = 7.5 \times 0.23 = 1.73 \text{ kg } CO_2e$$

2. Sähkön käyttö

$$\text{Arvio: } 5kWh \times 0.15 = 0.75 \text{ kg } CO_2e$$

$$\text{Pesu ja pussitus: } 1.73 + 0.75 = 2.48 \frac{kg CO_2e}{ha}$$

Kuljetuspäästöt:

$$\text{Levi (60\%)} = 0.6 \times 3000 \text{ kg} \times 120 \text{ km} = 216.00 \text{ kgkm}$$

$$\text{Sodankylä (40\%)} = 0.4 \times 3000 \text{ kg} \times 22 \text{ km} = 26.400 \text{ kgkm}$$

$$\text{Yhteensä: } 242.400 \text{ kgkm}$$

$$CO_2e = 242.400 \times 0.00012 = 29.09 \text{ kg } CO_2e$$

Liite 3. Kalan hiilijalanjälkilaskut

Typen ylijäämä

$$N_{\text{ylijäämä}} = 10 \times 1.2 \times 6.4 - 27.5 = 49.3 \frac{\text{kg N}}{\text{t kalaa}}$$

Dityppioksidipäästöt

$$N_2O = 0.005 \times 49.3 \times \frac{44}{28} = 0.388 \frac{\text{kg } N_2O}{\text{t}}$$

Hiilidioksidiekvivalentti N_2O – päästöistä

$$CO_2e = 0.388 \times 273 = 105.75 \frac{\text{kg } CO_2e}{\text{tonni kalaa}} = 0.10575 \text{ kg } \frac{CO_2e}{\text{kg}} \text{ kalaa}$$
$$\rightarrow 0.106 \text{ kg } CO_2/\text{kg}$$

Lajikohtaisesti:

$$\text{Siika: } 0.106 \text{ kg} \times 22500 \text{ kg} = 2385 \text{ kg } CO_2e$$

$$\text{Ahven: } 0.106 \text{ kg} \times 36\,000 \text{ kg} = 3816 \text{ kg } CO_2e$$

$$\text{Hauki: } 0.106 \text{ kg} \times 4500 \text{ kg} = 477 \text{ kg } CO_2e$$

$$\text{Per kg kaikkien kohdalla: } 0.106 \text{ kg } CO_2e/\text{kg}$$

Polttoaineen päästöt kalastuksessa

Kokonaiskulutus:

$$2000 \frac{\text{l}}{\text{kalastaja}} \times 2 \text{ kautta} \times 23 \text{ kalastajaa} = 92\,000 \text{ litraa}$$

$$CO_2e = 92\,000 \text{ l} \times 2.32 \text{ kg } \frac{CO_2e}{\text{l}} = 213\,440 \text{ kg } CO_2e$$

$$92\,000 \text{ l} \times 2.32 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 213\,440 \text{ kg } CO_2e$$

Osuus kilogramma kohtaisesti (jakoperuste: saaliin osuus)

$$\text{Siika: } (92\,000 \text{ l} \times 0.25) = 23\,000 \text{ l} \rightarrow 23\,000 \text{ l} \times 2.32 = 53\,360 \text{ kg } CO_2e$$

$$\text{Ahven: } (92\,000 \text{ l} \times 0.40) = 36\,800 \text{ l} \rightarrow 36\,800 \text{ l} \times 2.32 =$$

$$85\,376 \text{ kg } CO_2e$$

$$\text{Hauki: } (92\,000 \text{ l} \times 0.05) = 4\,600 \text{ l} \rightarrow 4\,600 \text{ l} \times 2.32 = 10\,672 \text{ kg } CO_2e$$

Kg kohtaisesti:

$$\text{Siika: } \frac{53\,360 \text{ kg } CO_2e}{22\,500 \text{ kg}} = 2.371 \text{ kg } CO_2e/\text{kg}$$

$$\text{Ahven: } \frac{85\,376 \text{ kg } CO_2e}{36\,000 \text{ kg}} = 2.371 \text{ kg } CO_2e/\text{kg}$$

$$\text{Hauki: } \frac{10672 \text{ kg } CO_2e}{4500 \text{ kg}} = 2.371 \text{ kg } CO_2e/\text{kg}$$

Jalostuksen päästöt (pakastus ja kylmäsäilytys)

$$\text{Energiaa per kala: } 0.1 + 0.20 = 0.3 \text{ kWh} \rightarrow 0.3 \times 0.15 = 0.045 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{kg kalaa}}$$

Jalostuksen energiankulutus tuotekohtaisesti

Tuote	kWh/kg	CO ₂ e/kg
Siika, pannusiika	0.25	0.025
Siika, Fileet	0.4	0.040
Ahven	0.35	0.035
Hauki	0.4	0.040

Kuljetuksen päästöt:

$$\text{kuljetusmatkat: } \frac{90000 \text{ kg}}{400 \text{ kg}} = 225 \text{ matkaa}$$

$$\text{Polttoaineen kulutus: } \frac{10 \text{ l}}{\text{matka}} \cdot \frac{\text{matka } CO_2}{\text{matka}} : 10 \text{ l} \times 2.32 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 23.2 \text{ kg } CO_2e$$

$$\text{kokonaiskuljetus: } 225 \times 23.2 = 5220 \text{ kg } CO_2e$$

1. Kuljetus laji- ja tuotekohtaisesti

Kokonaispäästöt: 5 220 kg CO₂e

Siika 30 % → 0.3 × 5220 = 1566 kg CO₂e → 0.070 kg CO₂e /kg

Ahven 40% → 0.4 × 5220 = 2 088 kg CO₂e → 0.058 kg CO₂e /kg

Hauki 5% → 0.05 × 5220 = 261 kg CO₂e → 0.058 kg CO₂e/kg

Liite 4. Naudan Hiilijalanjälkilaskut

Eläinperäiset päästöt:

$$NFC = 1000 - 80 - 130 - 35 - 550 = 205 \text{ g/kg}$$

$$GE_{ruokavalio} = \left(0.02336 \times 130 \frac{\text{g}}{\text{kg}} + 0.0398 \times 35 \frac{\text{g}}{\text{kg}} + 0.0189 \times 550 \frac{\text{g}}{\text{kg}} + 0.0173 \times 205 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right) \times 2.75 \frac{\text{kg}}{\text{päivä}} = 21.54 \frac{\text{MJ}}{\text{päivä}}$$

$$CH_{4nauta} = \frac{21.54 \frac{\text{MJ}}{\text{Day}} \times 0.065 \times 365}{55.65} = 21.54 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{eläin vuosi}} \rightarrow 585.84 \text{ kg CO}_2e$$

Lantavarastoinnin metaani

$$VS = (21.54 \times (1 - 68) + 0.04 \times 21.54) \times \left(\frac{1 - \frac{80}{1000}}{18.45} \right) = 0.907 \text{ kg VS/päivä}$$

$$CH_{4sisätilat} = 0.91 \times 0.1 \times 0.67 \times \left(\frac{0.15}{100} \right) \times 245 = 2.31 \frac{\text{kg CH}_4}{\text{eläin vuosi}}$$

$$\rightarrow CO_2e = 62.72 \frac{\text{kg}}{\text{eläin vuosi}}$$

Suorat N₂O päästöt lannasta

$$N_{ex} = 0.3 \times (1 - 0.20) \times 365 = 87.6 \frac{\text{kg N}}{\text{vuosi eläin}}$$

$$\text{Suorat N}_2\text{O} = 87.6 \times 0.01 \times \frac{44}{28} = 1.38 \text{ kg N}_2\text{O}$$

$$\rightarrow CO_2e = 1.38 \times 273 = 375.8 \frac{\text{kg CO}_2e}{\text{eläin vuosi}}$$

Epäsuorat N₂O päästöt (haihtuminen & huuhtoutuminen)

$$N_2O_{haihtuminen} = (87.6 \times 0.25) \times 0.01 \times \frac{44}{28} = 93.95 \text{ kg}$$

$$N_2O_{huuhtoutuminen} = 87.6 \times 0 \times 0.00075 = 0$$

Yhteensä eläinکوhtaisesti:

$$585.8 + 62.7 + 375.8 + 93.95 = 1118.3 \frac{\text{Kg CO}_2e}{\text{eläin vuosi}}$$

Muut tuotannon päästöt:

Polttoaine:

$$3176 \text{ l} \times 2.68 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{l}} = 8511.7 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Sähkö:

$$21700 \text{ kWh} \times 0.15 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kWh}} = 3255 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Vesi

$$700 \text{ m}^3 \times 0.344 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{m}^3} = 240.8 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Mineraalilannoite (typpilannoite)

$$8800 \text{ kg lannoitetta} \times 0.10 \times 4.6 = 4048 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Kuljetukset

$$242.5 \text{ km} \times 2 \times 52 \text{ viikkoa} \times 0.13 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{km}} = 3278.6 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Pakkausmateriaalit

$$1067 \text{ kg} \times 3 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} = 3201 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Varastointi ja jäähdytys

$$\frac{100 \text{ kWh}}{\text{viikko}} \times 52 \times 0.15 = 780 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Kokonaispäästöt:

- Eläinperäiset: 11183 kg CO₂e
- Muut tuotannon päästöt: 19 334 kg CO₂e
- Yhteensä: $\sim 30\,517 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{vuosi}}$

Päästöt per tuotettu lihakilo:

$$\text{Vuosituotanto} = (400 \text{ kg} \times 52) + 1180 \text{ kg} = 21980 \text{ kg naudanlihaa vuodessa}$$

$$\text{kokonaispäästöt} = 34\,498,2 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{vuosi}}$$

$$\frac{\text{päästöt}}{\text{kg lihaa}} = \frac{34498,2}{21980} = 1.57 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg lihaa}}$$

Liite 5 Haastattelu runko nauriille ja perunalle

Taustatiedot:

1. Missä tila sijaitsee?
2. Kuinka suuri on viljelyalan koko (hehtaaria)?
3. Kuinka paljon perunaa tuotetaan vuosittain (kg)?

Viljelymenetelmät:

4. Millaisia lannoitteita käytetään ja kuinka paljon (kg/hehtaari)?
5. Käytetäänkö orgaanisia lannoitteita (esim. komposti, lanta)?
6. Käytetäänkö torjunta-aineita? Jos kyllä, millaisia ja kuinka paljon?

Pelto ja maaperä:

7. Millainen on maaperän tyyppi (hieta, savi, turve)?
8. Onko peltojen kalkitusta? Jos on, kuinka usein ja kuinka paljon käytetään?

Energiankulutus:

9. Kuinka paljon energiaa kuluu viljelyssä (koneet, kastelu)?
10. Polttoaineiden kulutus viljelykoneille (litroina)?

Sadonkorjuu ja varastointi:

11. Kuinka sadonkorjuu tapahtuu (koneellisesti/käsin)?
12. Kuinka paljon energiaa kuluu varastointiin (esim. jäähdytys)?
13. Millainen varastointi- ja kuljetusjärjestelmä on käytössä?

Kuljetukset:

14. Kuinka pitkät kuljetusmatkat ovat pelloilta myyntipisteisiin (km)?
15. Käytetyt kuljetusmuodot ja rahtimäärät (kg)?

Käsittely:

16. Kauppakuntoon laiton työvaiheet & niihin liittyvä energiankulutus

Jätteet ja sivutuotteet:

17. Syntyykö viljelyn tai jalostuksen aikana jätteitä? Miten ne käsitellään?
18. Kuinka paljon orgaanista jätettä syntyy (kg)?
19. Syntyykö pakkausjätettä

Ympäristösertifikaatit:

19. Onko tilalla ympäristösertifikaatteja (esim. luomu, ISO 14001)?

Liite 6. Haastattelu runko Naudalle

Tausta kysymyksiä

1. Missä tila sijaitsee?
2. Minkä kokoinen tila on?
3. Kuinka paljon nautaa tuotetaan vuosittain?
4. Tilan ulkopuolelta ostettavan rehun määrä & tyyppi?
5. Käytettävät kuivikkeet ja niiden määrät?

Pelto kysymykset

6. Kuinka suuri on peltoalan koko (Hehtaareina)?
7. Mikä on tilan peltohehtaarien tyyppi?
 - Turvemaita?
 - Kivennäismaita?
 - Muuta?
8. Paljonko rehua tuotetaan eri maaperätyypeittäin?
9. Kuinka paljon ja millaisia lannoitteita käytetään (kg/hehtaari)?
 - Typpilannoitteen määrä?
 - Fosfaattilannoitteen määrä?
 - Kaliumlannoitteen määrä?
 - Orgaanisten lannoitteiden määrä?
10. Jotain muuta peltoon liittyvää?

Tuotantorakennukset

11. Mikä on keskimääräinen sähkönkulutus vuodessa?
 - Mihin sähköä käytetään?
12. Mikä on lämmitysjärjestelmän energialähteet + paljonko energiaa käytetään eri energialähteittäin?
13. Kuinka paljon vettä kuluu vuodessa (m³)?
 - Kuuman veden kulutus?
 - Kylmän veden kulutus?
14. Mikä on tuotettujen tuotteiden keskimääräinen hinta per kilo?
15. Jotain muuta tuotantorakennuksiin liittyvää?

Koneiden energiankäyttö tilalla

16. Paljonko polttoaineita (litroina) kuluu vuodessa koneiden käyttöön?
 - Traktori?
 - Muut koneet & laitteet?

17. Muuta koneiden energiakäyttöön liittyvää?

Kuljetukset tilalta teurastamolle

18. Kuinka pitkät kuljetusmatkat ovat (km)?

19. Mitä kuljetusmuotoja käytetään?

20. Kuinka suuret ovat kuljetettavat rahdit?

21. Mikä on kuljetusten päästökerroin (kg CO₂e/tonni/km)?

Kuljetukset teurastamolta jalostukseen

22. Kuinka pitkät kuljetusmatkat ovat (km)?

23. Mitä kuljetusmuotoja käytetään?

24. Kuinka suuret ovat kuljetettavat rahdit?

25. Mikä on kuljetusten päästökerroin (kg CO₂e/tonni/km)?

26. Kuinka raaka-aineet varastoidaan ja jäähdytetään?

27. Muuta jalostus vaiheiden varastointiin ja kuljetuksiin liittyvää?

Jalostuksen hiilivaikutukset

28. Jalostuslaitoksen lopputuotteet ja niiden määrät?

29. Jatkojalostuksen kiinteistöenergian kokonaismäärä (energialähteittäin)?

30. Tuotantokoneiden vaativa energiamäärä?

31. Arvio Sodankylän keskuskeittiölle menevien tuotteiden osuus kokonaistuotannosta (Sodankylän tuotteiden osuus jalostuksen hiilivaikutuksesta)

Jatkojalostuksessa tuotteiden pakkaus & jätevirrat

32. Millaisia pakkausmateriaaleja käytetään ja kuinka paljon (kg per tonni)?

33. Mikä on pakkausmateriaalien päästökerroin (kg CO₂e/kg)?

34. Kuinka paljon jätettä syntyy (kg per tonni)?

35. Kuinka jätteet käsitellään ja mitkä ovat niiden päästöt (kg CO₂e/kg)

36. Onko yrityksellä ympäristösertifikaatteja (esim. ISO 14001)?

37. Muuta jalostuksessa tuotteiden pakkaukseen ja jätevirtoihin liittyvää?

Kuljetukset keittiölle

38. Valmiiden tuotteiden kuljetus keittiölle?

39. Mitä kuljetusmuotoa käytetään?

,

Liite 7. Haastattelu runko Kalalle.

Taustakysymykset

1. Missä kalastusalue sijaitsee?
2. Kuinka monta kalastuspäivää vuodessa kalastat?
3. Mitä kalalajeja pääasiassa kalastat ja kuinka paljon (tonnia vuodessa)?
4. Millaisilla välineillä ja aluksilla kalastat?
5. Onko sinulla käytössäsi ympäristösertifikaatteja tai kestävän kalastuksen lupia?

Kalastusalueen kysymykset

6. Kuinka suuri on kalastusalue (km²)?
7. Millainen on alueen veden laatu ja ekosysteemi? (onko tiedossa)

Kalastusvälineet ja alukset

8. Millainen on kalastusvälineiden ja alusten keskimääräinen energiankulutus vuodessa?
 - Moottorien polttoaineenkulutus (litroina)?
 - Muut energianlähteet?
9. Kuinka usein vaihdat tai huollat kalastusvälineitä ja aluksia?

Koneiden ja laitteiden energiankäyttö

13. Kuinka paljon polttoaineita (litroina) kuluu vuodessa alusten ja muiden koneiden käyttöön?
 - Päämoottori?
 - Apuvoimalaitteet ja muut laitteet?
14. Muuta koneiden ja laitteiden energiankäyttöön liittyvää?

Kalojen kuljetukset

15. Kuinka pitkät kuljetusmatkat ovat satamasta käsittelylaitokseen (km)?
16. Mitä kuljetusmuotoja käytetään?
17. Kuinka paljon kaloja kuljetetaan kerralla (tonnia)?
18. Mikä on kuljetusten päästökerroin (kg CO₂e/tonni/km)?

Kalan käsittely ja säilytys

19. Kuinka kalat käsitellään ja säilytetään kalastuksen jälkeen?

- Käytetäänkö jäähdytystä tai pakastusta?
- Mikä on näiden toimenpiteiden energian kulutus?

Jalostus- ja kuljetusvaiheet

21. Kuinka paljon kalaa jalostetaan suoraan kalastuksen jälkeen?

22. Onko sinulla vaikutusta tai tietoa siitä, kuinka kalasi jalostetaan ja miten se vaikuttaa hiilijalanjälkeen?

23. Mitä kuljetusmuotoa käytetään, kun kala kuljetetaan jalostuslaitokseen tai myyntipisteisiin?

24. Kuinka pitkät ovat näiden kuljetusten matkat (km)?

25. Muuta jalostukseen ja kuljetukseen liittyvää, joka vaikuttaa hiilijalanjälkeen?