KASVIPROTEIINIEN HIILIJALANJÄLKIEN VERTAILU

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Ympäristötekniikan kandidaatintyö

2022

Veera Leinonen

Tarkastaja: Apulaisprofessori Ville Uusitalo

Ohjaaja: Tutkijatohtori Anna Claudelin

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Ympäristötekniikka

Veera Leinonen

Kasviproteiinien hiilijalanjälkien vertailu

Ympäristötekniikan kandidaatintyö

2022

36 sivua, 12 kuvaa ja 4 taulukkoa

Tarkastaja: Apulaisprofessori Ville Uusitalo

Ohjaaja: Tutkijatohtori Anna Claudelin

Avainsanat: Hiilijalanjälki, kasviproteiini, ruokavalio, ympäristövaikutus, vertailu

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on vertailla kasviproteiinien hiilijalanjälkiä. Työssä selvitetään neljän eri kasviproteiinin hiilijalanjälki tutustumalla kirjallisuuslähteisiin, internetistä löytyviin artikkeleihin sekä julkaisuihin ja vertaillaan löydettyjä tuloksia keskenään. Tarkasteltaviksi kasviproteiineiksi on valittu tofu, linssi, härkäpapu ja nyhtökaura. Työ alkaa teoriaosuudella, jossa perehdytään ruoan aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin sekä ruokahuollon tämänhetkisiin ongelmiin niin globaalilla kuin kansallisellakin tasolla. Tämän jälkeen käydään läpi tuotteen ympäristövaikutusten arvioinnin vaiheet keskittyen hiilijalanjäljen laskentaan sekä tarkastellaan tuotteen elinkaarta. Teoriaosuuden jälkeen esitetään saadut tulokset ja suoritetaan vertailu. Vertailu suoritetaan sekä tiettyjen tuotteiden välillä että eri kasviproteiinien välillä. Kasviproteiinien välinen vertailu toteutetaan kahdesta näkökulmasta. Ensimmäisenä näkökulmana on yhtäläinen proteiinin saanti ja tuotteiden hiilijalanjälkiä vertaillaan yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Toisena näkökulmana on tuotekohtainen lähestymistapa, jossa kasviproteiinien hiilijalanjälkiä vertaillaan yksikössä kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Työn päätuloksena on kasviproteiinien keskimääräinen hiilijalanjälki koko elinkaaren ajalta. Tarkasteltavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia ovat keskimäärin tofulle 1,33, linssille, 0,49, härkäpavulle 0,30 ja nyhtökauralle 1,07. Suurimmat erot saatujen tulosten välillä syntyi alkutuotannossa. Epävarmuutta tuloksiin syntyi tutkimusten eriävistä rajauksista, eroista tutkimusten saatavuuden välillä sekä raportoinnin laajuudesta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Environmental Technology

Veera Leinonen

Comparison of plant-based proteins carbon footprints

Bachelor's thesis

2022

36 pages, 12 figures and 4 tables

Examiner: Associate Professor Ville Uusitalo

Instructor: Post-doctoral researcher Anna Claudelin

Keywords: Carbon footprint, plant-based protein, diet, environmental impact, comparison

The aim of this bachelor's thesis is to compare the carbon footprints of plant-based proteins. In the work, the carbon footprint of four different plant-based proteins is examined by looking at literature sources, articles and publications found on the internet, and the results are compared. Tofu, lentils, broad beans and pulled oats have been selected as plant-based proteins. The work begins with the theory part, which familiarizes environmental effects caused by food and gives overall view of the current problems of food supply on both a global and a national level. After this, the stages of evaluating the environmental impact of the product are presented, focusing on the calculation of the carbon footprint, and product's life cycle is examined. After the theory section, the obtained results are presented and a comparison is made. The comparison is made both between certain products and between different plant-based proteins. The comparison between plant-based proteins is carried out from two perspectives. The first point of view is equal protein intake and the carbon footprints of the products are compared in the unit kg CO_2-eq./100 g protein. Another perspective is a product-specific approach, where the carbon footprints of plant-based proteins are compared in the unit kg CO_2-eq./kg product. The main result of the work is the average carbon footprint of plant-based proteins over the entire life cycle. The carbon footprints of the examined plant-based proteins in the unit kg CO_2-eq./100 g of protein are on average 1.33 for tofu, 0.49 for lentils, 0.30 for broad beans and 1.07 for pulled oats. The biggest differences between the results formed in the primary production. Different limitations of the studies, the differences between the availability of the studies and the scope of the reporting caused uncertainties to the results.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Yhdisteet

CO_2	Hiilidioksidi
CH_4	Metaani
N_2O	Dityppioksidi, typpioksiduuli

Yksiköt

CO_2-ekv., CO_2e.	hiilidioksidiekvivalentti
g	gramma
kg	kilogramma
%	prosentti

Lyhenteet

C	Cradle
CtoD	Cradle-to-Distribution
CtoFg	Cridle-to-Factory gate
CtoG	Cradle-to-Crave
EWG	Environmental Working Group
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
MTT	Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus
PEF	Product Environmental Footprint

PEFCR	Product Environmental Footprint Category Rules
SFS	Suomen Standardoimisliitto SFS ry
U.S.	United States
UK	United Kingdom
WWF	World Wildlife Fund

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1 Johdanto 7
2 Ruoka ja ympäristö 9
2.1 Ruoan ympäristövaikutukset 9
2.2 Tuotteen hiilijalanjälki 11
2.3 Kuluttajan valintojen vaikutus 12
2.4 Lihan kulutus ja sen vaikutukset 13
3 Hiilijalanjälkilaskelmat 16
3.1 Elinkaariarviointi 16
3.1.1 Tuotteen elinkaari 16
3.1.2 Arvioinnin vaiheet 17
3.2 Standardit ja laskentaohjelmat 19
3.3 Tuotteiden hiilijalanjälkien vertailu – vaatimukset ja mahdollisuudet 21
4 Hiilijalanjälkien vertailu 23
4.1 Tutkittavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet 23
4.1.1 Tofu 24
4.1.2 Linssi 30
4.1.3 Härkäpapu 32
4.1.4 Nyhtökaura 34
4.2 Tulokset 36
4.3 Vastuullisuuden merkitys hiilijalanjäljen muodostumisessa 39
5 Johtopäätökset 40
6 Yhteenveto 42
Lähteet 43

1 Johdanto

Ihmiskunta kuluttaa tällä hetkellä huomattavasti enemmän kuin mitä maapallon kantokyky kestää. Ylikulutuksella vaarannamme tulevien sukupolvien mahdollisuuden hyvään elämään. Meillä on kuitenkin mahdollisuus muuttaa kulutustottumuksiamme niin, että pystymme takaamaan hyvän elämän edellytykset myös tuleville sukupolville. (WWF 2022b.) Maailmanlaajuisesti ruoantuotannon osuus kasvihuonekaasupäästöistä on noin 34 %. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä on hiilidioksidia, mutta lisäksi vapautuu metaania, typpioksiduulia sekä fluorattuja kaasuja. (EDGAR-FOOD 2022.)

Suurin osan ruoan ympäristövaikutuksista aiheutuu alkutuotannossa eli maataloudessa. Kasvihuonekaasujen lisäksi maatalous aiheuttaa metsäkatoa sekä luonnon monimuotoisuuden köyhtymistä. Eläinperäiset tuotteet kuormittavat ympäristöä kasvipohjaisia tuotteita enemmän. (WWF 2022a.) Yksi merkittävistä tavoista pienentää ruoasta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä onkin vähentää lihankulutusta. Ruoan osuus keskivertosuomalaisen hiilijalanjäljestä on noin 18 %, joka vastaa noin 1 800 kg CO_2-ekv. (Sitra 2018). Keskiverto suomalainen pystyy pienentämään ruoan ilmastovaikutusta jopa 30–40 % oikeanlaisilla valinnoilla (Ilmasto-opas 2020).

Ruokaa ostettaessa kuluttajan päätökseen vaikuttavat tottumukset, maku, ravitsevuus ja terveellisyys. Nykypäivänä yhä useampi pohtii myös valintansa eettisyyttä sekä ympäristövaikutuksia. (Ilmastoviisas 2022.) Viime vuosina on kehitetty useita uusia kasvipohjaisia tuotteita markkinoille ja niiden kulutus on jatkuvassa kasvussa. K-ryhmä raportoi kasviproteiinien myynnin kasvaneen 57 % vuonna 2020 ja vastaava luku S-ryhmällä oli 33 %. (Yle uutiset 2021). Kehitystrendin uskotaan jatkuvan ja muun muassa konsulttiyritys Boston Consulting Groupin arvion mukaan kasviproteiinit kattavat maailmanlaajuisesti noin 10–20 % kulutetusta proteiinista vuonna 2035. Tällä hetkellä kasviproteiinit kattavat n. 2 % kulutetusta proteiinista. (BCG 2022.)

Kasvikunnan proteiinin lähteitä ovat muun muassa palkokasvit, viljat sekä sienet. Kasviproteiinien hiilijalanjälki on usein pienempi kuin lihan, mutta eroja eri kasviproteiinien välillä ei usein esitetä. Tässä työssä tutkitaan kasviproteiinien hiilijalanjälkiä sekä vertaillaan niitä toisiinsa. Tavoitteena on etsiä tutkittavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet koko elinkaaren ajalta sekä vertailla niitä. Tutkimuksen kohteeksi on valittu tofu, härkäpapu, nyhtökaura sekä linssi. Kyseiset kasvipohjaiset tuotteet on valittu proteiininlähteiden eriävien kasvuolosuhteiden, jalostustarpeiden sekä saatavilla olevan tiedon määrän perusteella.

Työn tutkimuskysymykset:

1. Miten suuri merkitys kasviproteiinin valinnalla on ruoan ilmastovaikutukseen?
2. Mitkä asiat vaikuttavat kasviproteiinien hiilijalanjälkiin?
3. Mitkä ovat tutkittavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet koko elinkaaren ajalta?
4. Miten tutkittavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet eroavat toisistaan?

Työ alkaa teoriaosuudella, jossa perehdytään ruoan ympäristövaikutuksiin. Teoriaosuuden jälkeen tarkastellaan hiilijalanjäljen laskentaa sekä vaatimuksia. Työ etenee valittujen kasviproteiinien hiilijalanjälkien selvityksellä sekä niiden vertailulla. Lopuksi tehdään johtopäätökset, jossa kootaan lyhyesti työn tulokset ja havainnot sekä tehdään työn yhteenveto. Tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi päästökertoimena käytetään kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Tutkimuksen tarkoituksena on koota tietoa, jonka pohjalta pystytään kertomaan, miten suuri merkitys kasviproteiinin valinnalla on ruoan ilmastovaikutukseen.

Tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus ja aineistona käytetään kirjallisuutta sekä internetistä löytyviä artikkeleita ja julkaisuja. Valittujen kasviproteiinien hiilijalanjälkien selvittämiseksi tutustutaan useampaan tutkimukseen, joiden pohjalta voidaan muodostaa tuotteen hiilijalanjäljen keskiarvo sekä yksittäisen kasviproteiinin hiilijalanjäljen vaihteluväli eri lähteiden välillä. Lisäksi pohditaan mistä mahdolliset ero tutkimusten välillä johtuvat. Vertailun tueksi muodostetaan pylväsdiagrammeja, joiden avulla voidaan havainnollistaa eroja.

2 Ruoka ja ympäristö

Ruoantuotanto aiheuttaa kolmanneksen maailman kasvihuonekaasupäästöistä sekä vaikuttaa negatiivisesti luonnon monimuotoisuuteen ja aiheuttaa metsäkatoa (EDGAR-FOOD 2022; WWF 2022a.) Tässä luvussa tutustutaan ruoan aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, ruoan hiilijalanjälkeen ja sen muodostumiseen, ruoan osuuteen yksilön hiilijalanjäljestä sekä kuluttajan mahdollisuuksiin vaikuttaa oman ruoankulutuksen aiheuttamaan hiilijalanjälkeen. Luku antaa kokonaiskuvan tämänhetkisistä ruokahuollon ongelmista sekä yksilön vaikutuksesta kokonaiskuvaan.

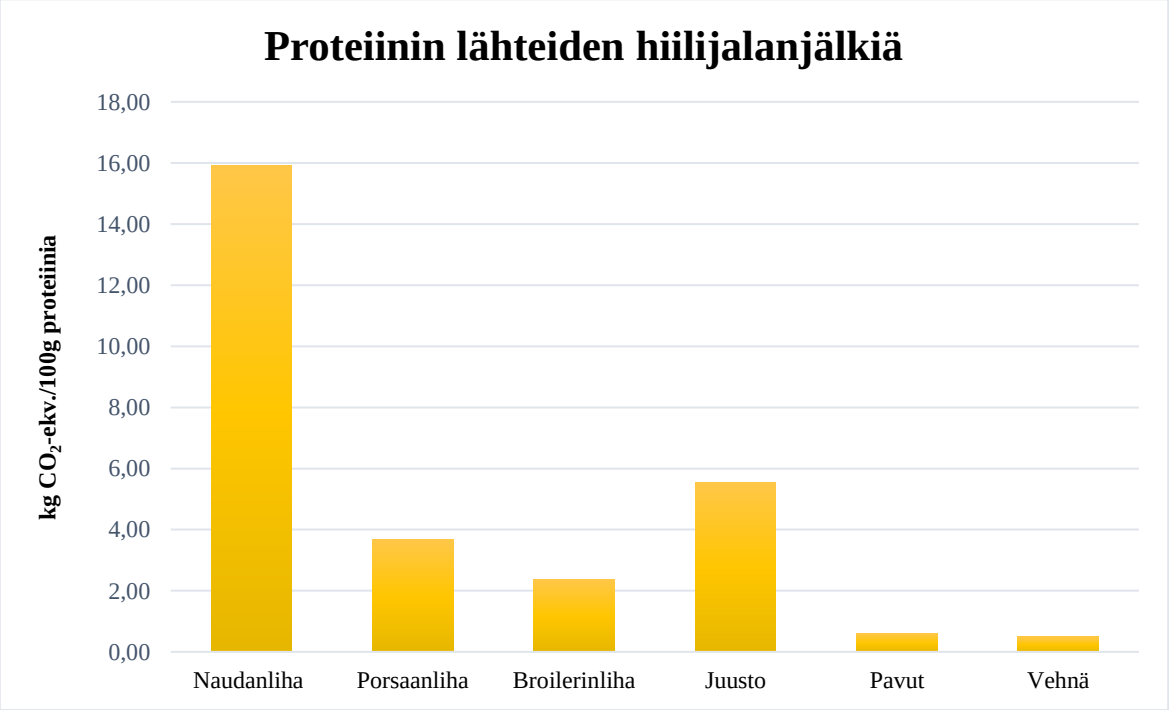
2.1 Ruoan ympäristövaikutukset

Suomessa elintarvikkeiden osuus kotitalouksien hiilijalanjäljestä on noin 18 % (Sitra 2018). Kotitalouksien kulutuksella on suuri merkitys kansallisiin päästöihin. Vuonna 2015 kotitalouksien kulutuksen osuus kaikista kansallisista päästöistä oli 66 % (Ymparisto.fi 2019). Lisäksi ruoantuotanto aiheuttaa muita ympäristövaikutuksia kuten vesistöjen rehevöitymistä, happamoitumista, luonnon monimuotoisuuden köyhtymistä sekä ympäristölle haitallisten aineiden leviämistä (Mattila (toim.) 2016, 51). Suomalaisten kuluttamasta ruoasta noin 40 % tuodaan ulkomailta. Kasvihuonekaasupäästöt vaikuttavat ympäristöön globaalisti, mutta paikalliset vaikutukset köyhdyttävät luonnon monimuotoisuutta tuotantoalueella. (Meinilä et al. 2021). WWF:n arvion mukaan jopa 90 % suomalaisten syömän ruoan biodiversiteettiä köyhdyttävistä vaikutuksista kohdistuu ulkomaille (WWF 2022a). Ruoantuotannon kohdalla uudet teknologiset ratkaisut eivät lupaa suuria vähennyksiä ympäristövaikutuksiin, joten ruoan aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin tulee vaikuttaa muilla keinoin (Mattila (toim.) 2016, 51).

Maatalouden seurauksena aiheutuvien ravinteiden liukeneminen ympäristöön aiheuttaa happamoitumista sekä rehevöitymistä. Happamoituminen vaikuttaa kasvien ravinteidenottokykyyn sekä lisää myrkyllisten alumiini- ja raskasmetalliyhdisteiden liukoisuutta. Happamoitumista aiheuttaa typen oksidit, rikkidioksidi sekä ammoniakki. Ammoniakkipäästöistä noin

90 % aiheutuu maataloudesta ja lihantuotannon osuus tästä on noin 80 %. Lihan tuotannon aiheuttamat ammoniakkipäästöt ovat pääosin peräisin eläinten lannasta. (Mattila (toim.) 2016, 62–63.) Rehevöitymisen seurauksena valumavesien mukana tulevat ravinteet lisäävät kasvillisuutta, joka vaikuttaa koko ekosysteemiin muuttamalla vesistön elinolosuhteita (Suomen ympäristökeskus 2019).

Suurin osa ruoan ympäristövaikutuksista aiheutuu alkutuotannossa eli maataloudesta peltoviljelyn, maankäytön sekä kotieläintuotannon seurauksena. Ruoantuotannon ympäristövaikutuksia ei siis voida kokonaan välttää, mutta niitä voidaan pienentää merkittävästi oikeilla valinnoilla sekä tuottamalla ruokaa tehokkaasti ja mahdollisimman ympäristöystävällisesti. Lihatuotteiden ympäristövaikutukset ovat usein kasviperäisiä tuotteita suurempia ja eläinperäisiä tuotteita tulisikin korvata proteiinirikkailla kasvipohjaisilla tuotteilla ympäristövaikutusten pienentämiseksi. (Mattila (toim.) 2016, 51.) Kuvassa 1 on esitetty proteiininlähteiden hiilijalanjälkiä.



Kuva 1. Proteiinilähteiden keskimääräisiä hiilijalanjälkiä yksikössä kg CO_2-ekv./100g proteiinia (Siitonen 2019; OpenCO_2.net 2022)

Ilmaston lämpeneminen uhkaa tulevaisuuden ruokaturvaa, kun maanviljely joutuu sopeutumaan merkittäviin muutoksiin. Esimerkiksi kasvitaudit leviävät uusille alueille sekä sääolot muuttuvat rajusti ja on otettava uusia kasvilajikkeita käyttöön. Nämä muutokset vaikuttavat suurimmin köyhien maiden asukkaisiin, koska heillä on pienimmät valmiudet reagoida muutoksiin. Lisäksi maapallon väkiluvun kasvu sekä elintason nousu köyhemmillä alueilla luovat suuria haasteita ruoantuotannolle. Mikäli emme tee muutoksia ruokailutottumuksissamme, ruoan aiheuttamat ympäristövaikutukset tulevat kasvamaan merkittävästi ja kiihdyttävät ilmastonmuutosta. (Mattila (toim.) 2016, 57–58.)

2.2 Tuotteen hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kuvaa rajattavissa olevan kokonaisuuden aiheuttamaan ilmastokuormaa (OpenCO_2.net 2022). Tuotetta tarkasteltaessa hiilijalanjälki kuvaa koko elinkaaren aikaista ilmastovaikutusta. Hiilijalanjäljen avulla voidaan siis arvioida eri valintojen vaikutusta ilmastonmuutokseen. (Katajajuuri 2020.) Ilmastonmuutosvaikutusten eli hiilijalanjäljen yksikkönä käytetään kilogrammoissa ilmoitettua hiilidioksidiekvivalenttia eli kg CO_2-ekv. tai kg CO_2e. Hiilidioksidiekvivalentti kuvaa kasvihuonekaasujen yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta. (OpenCO_2.net 2022.)

Eri kasvihuonekaasut vaikuttavat eri voimakkuudella ilmaston lämpenemiseen. Hiilidioksidiekvivalentissa kasvihuonekaasut on kerrottu GWP (Global warming potential) -indeksillä niin, että ne saadaan vastaamaan hiilidioksidin ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Hallitustenvälinen ilmastopaneeli IPCC eli Intergovernmental Panel on Climate Change julkaisee käytettävät kertoimet eli GWP-arvot arviointiraportissaan. (OpenCO_2.net 2022.) Esimerkiksi metaanin ilmastovaikutus on 25-kertainen hiilidioksidiin nähden. Tällöin metaanipäästöt kerrotaan luvulla 25, jotta ne saadaan vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta.

Merkittävimpiä ruoan tuotannosta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä ovat metaani (CH_4), dityppioksidi eli typpioksiduuli (N_2O) sekä hiilidioksidi (CO_2). Suurin osa metaanipäästöistä aiheutuu märehtijöiden ruoansulatuksen seurauksena, dityppioksideja sekä hiilidioksidia

taas vapautuu muun muassa orgaanisilta pelloilta viljelyn seurauksena. (Mattila (toim.) 2016, 58.) Tuotteen päästöt voidaan jakaa välittömiin ja välillisiin (OpenCO_2.net 2022). Välittömiä päästöjä ovat suoraan elinkaarenaikana muodostuvat päästöt kuten viljelystä ja logistiikasta aiheutuvat päästöt. Välillisiä päästöjä taas ovat esimerkiksi tuotantolaitteiden käyttämä energia sekä sivuvirrat. Laskettaessa tuotteen hiilijalanjälkeä sekä välittömät että välilliset päästöt tulisi ottaa huomioon, käytännössä tämä on kuitenkin haastavaa.

2.3 Kuluttajan valintojen vaikutus

Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki on noin 10 300 kg CO_2-ekv. ja ruoan osuus tästä on 18 % eli noin 1 800 kg CO_2-ekv. Puolet ruoan hiilijalanjäljestä muodostaa punainen liha (560 kg CO_2-ekv.) sekä juustot (340 kg CO_2-ekv.) (Sitra 2018.) Suomalaisten on mahdollista pienentää eläinperäisten tuotteiden kulutusta huomattavasti ilman ravitsemuksellisia ongelmia. Hiilijalanjäljen pienentämisen lisäksi meidän tulisi muuttaa ruokailutottumuksiamme myös siksi, että ravitsevaa ja ekologista ruokaa riittäisi maailmassa mahdollisimman monelle. Lisäksi eläinperäisten tuotteiden korvaaminen kasviperäisillä tuotteilla parantaisi myös suomalaisten terveyttä. (WWF 2022a.) Keskivertosuomalainen voi tuotevalinnoillaan pienentää ruoasta aiheutuvaa hiilijalanjälkeään jopa 30–40 % sekä kokonaishiilijalanjälkeään 10 % (Ilmasto-opas 2020). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan yksikön tekemän RuokaMinimi- hankkeen raportin mukaan keskivertosuomalaisen ruokavaliota tarkasteltaessa lihan vähentäminen puoleen pudottaisi ruoan hiilijalanjälkeä 19 %, vegaaniruokavalioon siirtyminen puolestaan 37 %. (Saarinen et al. 2019, 21.)

Kotitalouksien hävikin osuus ruoan aiheuttamasta ympäristövaikutuksesta on noin 4 % (Saarinen et al. 2019, 55). Ruokahävikin minimoiminen on tärkeää, mutta kokonaiskuvassa tuotevalinnoilla on huomattavasti suurempi merkitys (WWF 2022a). Ruokahävikkiä syntyy myös ruokaketjun muissa vaiheissa ennen kuin ruoka päätyy kuluttajalle. Ruokahävikin määrä ruokaketjun aikana on hyvin paikkariippuvaista. Esimerkiksi kehittyvissä maissa ketjun alkupään hävikki on huomattavasti suurempaa kuin kehittyneissä maissa puutteellisten sadonkorjuu- sekä varastointi- ja kuljetusmahdollisuuksien vuoksi. Kehittyneissä maissa taas suurin osa ruokahävikistä muodostuu kotitalouksissa. (Koivupuro et al. 2010, 55.)

Luonnonvarakeskuksen tekemän luonnonvara- ja biotalouden tutkimuksen mukaan 33 % ruokahävikistä syntyy kotitalouksissa, 23 % elintarviketeollisuudessa, 17 % ravitsemispalveluissa, 16 % kaupoissa ja 11 % alkutuotannossa (Riipi et al. 2021, 47). Ruokahävikkiä tuleekin tarkastella aina paikallisesti. Lisäksi uutena hävikin muotona on nostettu esiin metabolinen hävikki. Metabolisella hävikillä tarkoitetaan ruoan ylikulutusta eli ruokaa syödään enemmän kuin on ravitsemuksellisesti tarpeellista. Oikeanlaisten tuotevalintojen sekä hävikin vähentämisen lisäksi osa ympäristöystävällistä syömistä onkin oman kulutuksen mukainen syöminen. (WWF 2022a.)

Lähiruokaa pidetään usein ympäristöystävällisenä vaihtoehtona. Kuljetuksen osuus ruoan hiilijalanjäljestä on kuitenkin vain 5–7 % luokkaa, joten esimerkiksi lähellä tuotetun lihan hiilijalanjälki on edelleen paljon kasviproteiineja suurempi. Lähiruoassa on kuitenkin etuja kuten selkeä tieto alkuperästä ja tuotantotavoista sekä jäljitettävyys. (WWF 2022a.)

Luomutuotanto lisää biodiversiteettiä ja luomupeltojen hehtaarikohtainen päästötaso sekä ympäristöön pääsevien ravinteiden määrä on pienempi kuin tavanomaisessa tuotannossa (WWF 2022a). Luomutuotanto ei kuitenkaan automaattisesti tee ruoasta ympäristöystävällistä sillä ympäristöystävällisyyteen vaikuttaa tuotannon tehokkuus, resurssien optimaalinen käyttö sekä luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen. Luomutuotannossa hehtaarikohtainen sato jää usein pienemmäksi kuin tavanomaisessa tuotannossa, jolloin tietyn ruokamäärän tuottamiseen tarvitaan suurempi pinta-ala. Näin ruoan ympäristövaikutukset saattavat muodostua yhtä suuriksi tai jopa suuremmiksi kuin tavanomaisessa tuotannossa. Luomutuotannon ympäristövaikutuksista löytyvä tieto on ristiriitaista ja näkökulmat vaihtelevat. Tärkeää on kuitenkin vaalia tuotannon monipuolisuutta ja monimuotoisuutta tuotantotavasta huolimatta. (Mattila (toim.) 2016, 70–71).

2.4 Lihan kulutus ja sen vaikutukset

Edelleen noin 93 % suomalaisista syö lihaa jossain muodossa ja päivittäin lihaa kulutetaan 41 % talouksista. Keskiverto suomalainen kuluttaa lihaa hieman yli 80 kg vuodessa,

kyseessä on kypsentämättömän luullisen lihan määrä. Globaalisti vastaava luku on 34,9 kg ja kulutuksen uskotaan kasvavan vuosina 2020–2029 noin 40 miljoonaa tonnia. Tämä tarkoittaa 500 gramman nousua globaaliin vuodessa henkilöä kohti kulutettavaan lihan määrään. (Hannuksela 2021.)

Siat ja broilerit käyttävät ravinnokseen muun muassa soijaa sekä palkokasveja, joita voitaisiin hyödyntää suoraan ihmisen ravinnoksi. Suurin osa viljellystä soijasta käytetäänkin eläinten rehuksi, mistä johtuu ympäristöä kuormittavan soijan viljelyn määrän kasvu. (WWF 2022a.) Esimerkiksi yhden sianlihakilon tuottamiseen tarvitaan noin 6,4 kg rehua (Our World in Data 2016). Naudat syövät ravinnokseen nurmea, jota ei voida käyttää ihmisen ravinnoksi ja luonnonlaitumilla laiduntaminen lisää myös luonnon monimuotoisuutta. Nurmen lisäksi naudoille syötetään Suomessa viljoja sekä rapsirouhetta, jota taas voitaisiin jalostaa ihmisen ravinnoksi. (WWF 2022a.) Monissa maissa naudoille syötetään kuitenkin myös soijaa (Koistinen 2020).

Maataloudella voidaan vaikuttaa luonnon monimuotoisuuteen joko positiivisesti tai negatiivisesti. Luonnon monimuotoisuus on tärkeää, jotta ekosysteemi pystyy toipumaan ulkoisista häiriöistä. Suuri lihankulutus vaikuttaa negatiivisesti luonnon monimuotoisuuteen viemällä suuret peltoalat sekä yksipuolistamalla viljelykasveja. Lihankulutuksen kasvaessa peltoalaa tarvitaan entistä enemmän ja uusien peltojen tieltä raivataan trooppisia savanni- ja metsäalueita. Positiivisesti luonnon monimuotoisuuteen voidaan vaikuttaa ylläpitämällä perinneympäristöjä kuten niittyjä ja hakamaita. (Mattila (toim.) 2016, 63–64.)

Maatalous kuluttaa noin 70 % maailman makean veden tarpeesta (Väisänen 2009). Keskivertosuomalaisen vuosittainen vesijalanjälki on noin 1400 kuutiota eli noin 3850 litraa päivässä. Tähän on otettu huomioon myös niin kutsuttu piilo- eli epäsuoravedenkulutus, joka kuluu käyttämiemme tuotteiden ja palveluiden tuotantoon. Suomalaisen vesijalanjäljestä 53 % kohdistuu kotimaahan ja 47 % ulkomaille. Yhden naudanlihakilon tuottamiseen kuluu noin 14 500 litraa vettä ja broilerinlihakilon tuottamiseen 4 300 litraa, kun taas vastaava luku soijalle on 2145 litraa. (Nikula 2012.) Väestönkasvu sekä maailmankauppa ovat johtaneet siihen, että suuresti vettä kuluttavia kasveja kuten vehnää, maissia ja riisiä on alettu viljellä

alueilla, joissa ne vaativat paljon lisäkastelua. Lihankulutuksen vähentäminen on siis myös maailman vesivarantojen riittävyyden kannalta kriittisen tärkeää. Tällä hetkellä arvioidaan että 80 % maailman vedenlähteistä on ylikuormitettuja. (Väisänen 2009.)

3 Hiilijalanjälkilaskelmat

Tuotteen hiilijalanjälki voidaan laskea noudattamalla ympäristövaikutusten arviointia varten tehtyjä standardeja sekä lisäksi apuna voidaan käyttää myös hiilijalanjäljen laskentaa varten tehtyjä ohjelmia. Hiilijalanjälkilaskelmat voivat poiketa toisistaan asetettujen tavoitteiden sekä tehtyjen oletusten ja rajausten vuoksi. Tästä syystä on tärkeää selvittää, miten hiilijalanjäljen laskenta on toteutettu. Tässä kappaleessa käydään läpi ympäristövaikutusten arvioinnin vaiheet keskittyen tuotteen hiilijalanjäljen selvittämiseen sekä tutustutaan hieman standardeihin ja laskentaa varten kehitettyihin ohjelmiin sekä käydään läpi vertailun vaatimuksia ja mahdollisuuksia.

3.1 Elinkaariarviointi

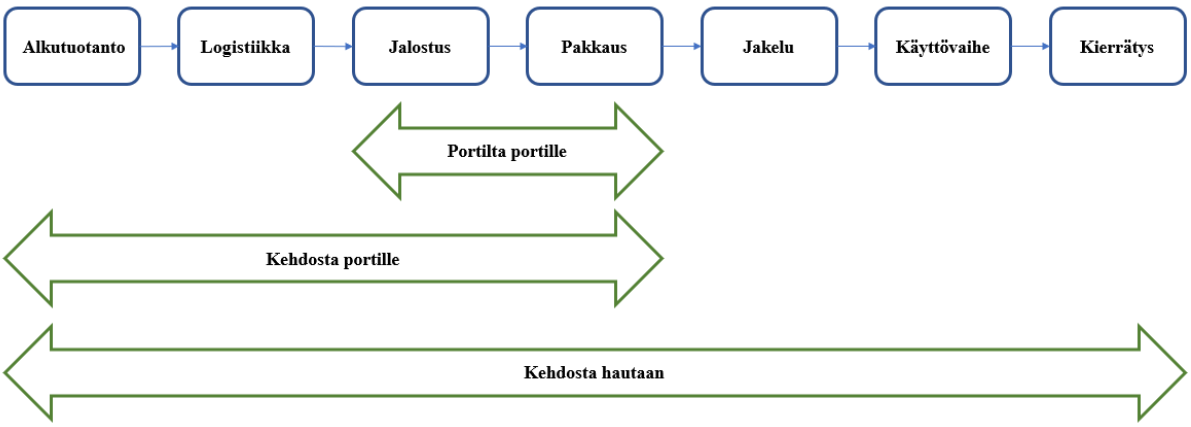
Elinkaariarvioinnin avulla voidaan arvioida ja analysoida tuotteen tai palvelun tarvitsemia resursseja sekä ympäristövaikutuksia (Suomen ympäristökeskus 2017, 2). Ympäristövaikutukseksi määritellään mikä tahansa muutos ympäristössä, olipa se haitallinen tai hyödyllinen, joka johtuu ihmisen toiminnasta (Energy Education 2022). Elinkaariarviointi on standardoitu ja vakiintunut menetelmä, jolla pystytään analysoimaan useita ympäristövaikutuksia samanaikaisesti (Suomen ympäristökeskus 2022). Standardit asettavat elinkaariarvioinneille tietyt vaatimukset sekä suuntaviivat. Arvioinnit voivat kuitenkin poiketa toisistaan, vaikka arvioinnin kohteena olisi sama tuote.

3.1.1 Tuotteen elinkaari

Tuotteen täydellinen elinkaari tarkoittaa tuotteen eri vaiheita aina raaka-aineiden hankinnasta käytöstä poistoon. Tuotteen elinkaari voi olla hyvin monimutkainen ja elinkaaren eri vaiheissa vaikuttaa monia osatekijöitä. Jokaisessa tuotteen elinkaaren vaiheessa syntyy ympäristövaikutuksia energian ja materiaalien käytön seurauksena. (Suomen ympäristökeskus 2022.)

3.1.2 Arvioinnin vaiheet

SFS-EN ISO 14040 standardin mukaisen elinkaariarvioinnin tulee sisältää neljä vaihetta. Tuotteen ympäristövaikutusten arviointi aloitetaan määrittämällä työn tavoitteet ja soveltamisala. Tavoitteiden määrityksen tulisi sisältää käytettävät menetelmät, työn tarkoituksen, syyt tutkimuksen tekemiselle, kohdeyleisön määrityksen, tuleeko tutkimus olemaan julkinen sekä työn arviointimenetelmät. Tämän jälkeen tehdään soveltamisalan määritys, jonka tulee olla linjassa asetettujen tavoitteiden kanssa. Soveltamisala sisältää ainakin käytettävän yksikön, tuotteen valmistamiseen tarvittavat virrat esimerkiksi materiaalit ja energia, tarkasteltavan systeemin määrityksen, ympäristövaikutusten vaikutusluokan sekä oletukset ja rajaukset. Hiilijalanjälkeä laskettaessa vaikutusluokka on ilmastonmuutos ja ympäristövaikutus ilmoitetaan yksikössä kg CO_2-ekv. Systeemin määrityksessä valitaan mitkä elinkaaren vaiheet ja niissä tarvittavat prosessit otetaan mukaan tarkasteluun. Kaikki työssä tehdyt rajaukset sekä oletukset on tuotava selkeästi esille. (SFS-EN ISO 14040:2020, 19–20.) Kuvassa 2 on esitetty esimerkkejä systeemin laajuudesta.



Kuva 2. Kolme erilaista systeemin laajuutta esitettynä osana täydellistä elinkaarta

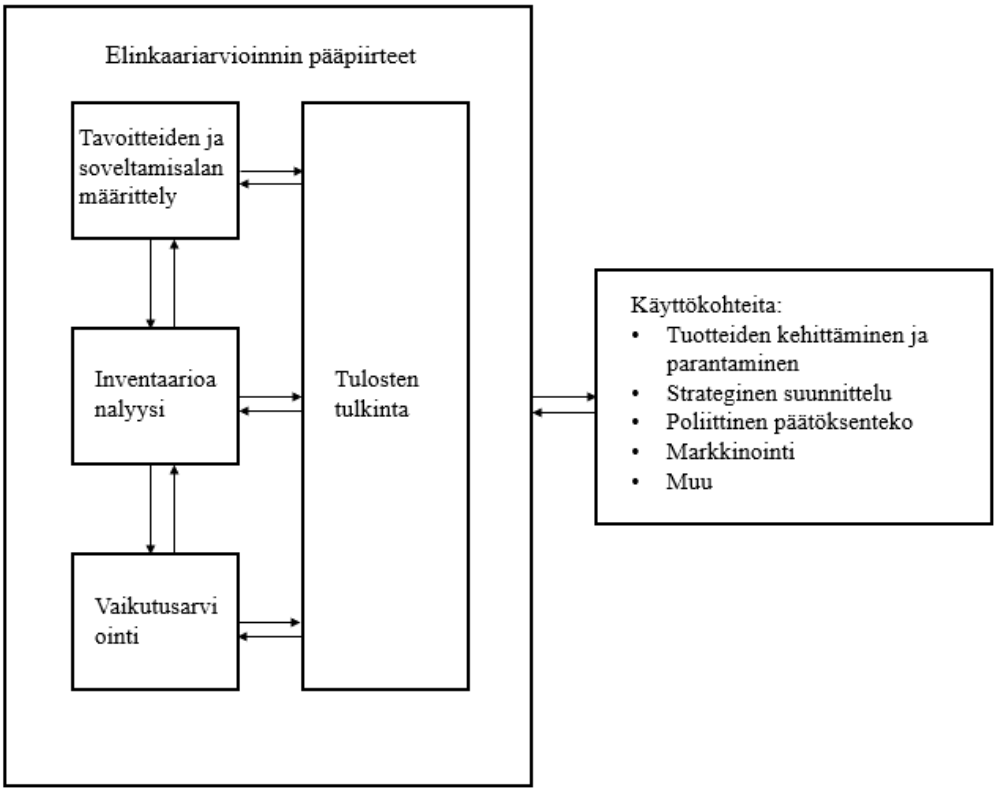
Kun työn tavoite ja laajuus on asetettu, inventaarioanalyysissä selvitetään mitä resursseja tuotteen valmistamiseen tarvitaan sekä mitä päästöjä tuotteen valmistuksesta muodostuu. Selvityksessä tarkastellaan kaikkia soveltamisalan määrityksessä valittuja elinkaarenvaiheita ja selvitykseen kuuluu kaikki systeemiin tulevat sekä systeemistä poistuvat materiaali-

ja energiavirrat sekä päästöt ilmaan, veteen ja maaperään. Virrat jaetaan kahteen luokkaan suoriin virtoihin ja epäsuoriin virtoihin. Suorat virrat ovat materiaaleja tai energiaa, jotka otetaan suoraan ympäristöstä prosessiin sekä systeemistä poistuvia materiaali- tai energiavirtoja, jotka vapautuvat ympäristöön kuten hiilidioksidipäästöt. Epäsuorat virrat kattavat kaikki loput virrat kuten sähkön, kuljetukset, jätteet ja sivutuotteet. On tärkeää ottaa huomioon myös näiden virtojen aiheuttama ilmastonmuutospotentiaali, kuten jätteiden käsittelystä aiheutuvat päästöt. Tuotteen ympäristövaikutuksia selvitettäessä tulisi aina käyttää kyseisen tuotteen spesifiä dataa yleisen datan sijaan sekä varmistaa että käytetty data vastaa tarvittavia vaatimuksia, jotta tulokset olisivat mahdollisimman tarkkoja. (SFS-EN ISO 14040:2020, 21.)

Resurssien käytön ja päästöjen selvityksen jälkeen suoritetaan vaikutusarviointivaihe. Vaikutusarviointivaiheessa lasketaan tuotteen valmistuksessa käytettävien virtojen aiheuttamien vaikutusluokan mukaisten ympäristövaikutusten suuruudet. Vaikutusten arviointiin kuuluu yksi pakollinen vaihe sekä kaksi vapaaehtoista vaihetta. Pakollinen vaihe sisältää luokittelun ja kartoituksen. Hiilijalanjälkeä laskettaessa vaikutusluokkia on yksi, joten kaikki huomioitavat ympäristövaikutukset luokitellaan ilmastonmuutoskategoriaan. Luokittelussa käydään läpi mitä ilmastonmuutospotentiaalia lisääviä aineita kuten hiilidioksidia (CO_2) ja metaania (CH_4) tuotteen valmistuksesta syntyy. Hiilijalanjälkeä laskettaessa kartoituksessa muunnetaan kaikki kasvihuonekaasupäästöt oikeaan suuruusluokkaan niiden ilmaston lämpenemiseen vaikuttavan voimakkuuden mukaan luvussa 2.2 kerrotun mukaan. Lopputuloksena saadaan tuotteen hiilijalanjälki yksikössä kg CO_2-ekvivalenttia. Vapaaehtoisia vaiheita ovat normalisointi ja painotus. (SFS-EN ISO 14040:2020, 21–23.) Normalisoinnin tarkoituksena on helpottaa tulosten ymmärtämistä esittämällä saadut tulokset suhteessa valittuun vertailuarvoon, joka voi liittyä esimerkiksi arvioitavan kohteen alueellisiin tietoihin. Painotuksessa taas muunnetaan vaikutusluokkien indikaattorituloksia painotustekijöiden avulla. Normalisointia ja painotusta tulee käyttää harkiten sekä perustella ja dokumentoida selkeästi. (Suomen ympäristökeskus 2017, 4.)

Lopuksi suoritetaan tulkintavaihe. Tässä vaiheessa varmistetaan, että työ ja työntulokset vastaavat alussa määritettyjä tavoitteita sekä laadullisia vaatimuksia ja että työ on tehty

johdonmukaisesti alusta loppuun saakka. Lisäksi tehdään johtopäätökset, tunnistetaan työhön vaikuttaneet osatekijät, arvioidaan mahdolliset epävarmuudet ja esitetään suosituksia työn tulosten perusteella. Suositukset voivat olla esimerkiksi tutkimuksen aikana selvinneitä asioita, jotka ovat pienentäneet tuotteen aiheuttamia negatiivisia ympäristövaikutuksia. (SFS-EN ISO 14040:2020, 24.) Kuvassa 3 on esitetty elinkaariarvioinnin vaiheet, eri vaiheiden kytkeytyminen toisiinsa sekä mahdollisia käyttökohteita.



Kuva 3. Elinkaariarvioinnin vaiheet (SFS-EN ISO 14040:2006, 16)

3.2 Standardit ja laskentaohjelmat

Elinkaariarviointia varten on kehitetty standardeja, joiden tarkoituksena on varmistaa laskelmien vertailukelpoisuus, toistettavuus, johdonmukaisuus, asiaankuuluvuus sekä painopiste ja tehokkuus. Elinkaariarviointia ohjaa kaksi kansainvälistä ISO-standardia. SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020 käsittelee ympäristöasioiden hallinnan sekä elinkaariarvioinnin periaatteita ja pääpiirteitä. Standardi kattaa elinkaariarviointiselvitykset ja elinkaari-

inventaarioselvitykset. Elinkaari-inventaarioselvitys on muuten samankaltainen kuin elinkaariarviointiselvitys, mutta vaikutustenarviointivaihe on jätetty pois. (SFS-EN ISO 14040:2020, 7-8.) SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020 käsittelee ympäristöasioiden hallinnan sekä elinkaariarvioinnin vaatimuksia ja suuntaviivoja (SFS-EN ISO 14044:2020, 1).

Hiilijalanjäljen selvittämistä varten on SFS-EN ISO 14067:2018, joka käsittelee kasvihuonekaasuja, tuotteiden hiilijalanjälkeä sekä hiilijalanjäljen laskemista koskevia vaatimuksia ja ohjeita. Standardin mukaisessa elinkaariarvioinnissa vaikutusluokkana on siis vain ilmastonmuutos. Standardin tarkoituksena on auttaa tuotteen täydellisen elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa, asettaa vaatimukset hiilijalanjäljen ja osittaisen hiilijalanjäljen laskennalle sekä selkeyttää ja johdonmukaistaa hiilijalanjäljen laskemista. Standardi pohjautuu elinkaariarviointia varten kehitettyihin standardeihin ja noudattaa näiden periaatteita, vaatimuksia ja ohjeistuksia. (SFS-EN ISO 14067:2018, 5–6.)

Euroopan komissio on tuottanut PEF (Product Environmental Footprint) -oppaan, jonka tarkoituksena on auttaa vähentämään tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksia. Opas tarjoaa menetelmän tuotteen elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten mallintamiseen. Oppaan tarkoituksena on varmistaa samat edellytykset kuin standardeissa sekä sen että tuotteiden hiilijalanjälkilaskelmissa keskitytään asioihin, jotka ovat tärkeimpiä tiettyjen tuotekategorioiden ympäristövaikutusten selvittämisessä. Oppaan avulla pystyy laskemaan tuotteen ympäristöjalanjäljen. PEF-oppaan mukaan tehdyt selvitykset ovat vertailukelpoisia saman tuoteryhmän sisällä. Selvityksen pystyy tekemään tuoteryhmille, joille on omat tuoteryhmäspesifit laskentasäännöt eli PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules). PEFCR ovat tärkeässä roolissa laskelmien toistettavuudessa, jatkuvuudessa sekä saman tuotekategorian laskelmien vertailukelpoisuudessa. (PEF Guide 2012, 12–13.)

Laskentaohjelmat sisältävät tietokannan ja/tai käyttävät ulkoisia tietokantoja ja pystyvät näin suorittamaan elinkaariarvioinnit käyttäjän syöttämien parametrien perusteella. Laskentaohjelma helpottaa ja nopeuttaa elinkaariarvioinnin suorittamista sekä pienentää virheiden mahdollisuutta. Laskentaohjelmia löytyy useampia, osa ohjelmista on maksullisia ja osaa pystyy

hyödyntämään täysin ilmaiseksi. Laskentaohjelmissa on eroja, osa pystyy suorittamaan täyden elinkaariarvioinnin, osa suorittaa vain inventaarioselvityksen ja osa on suunniteltu tiettyjen tuotteiden tai palvelujen elinkaariarviointiin. Laskentaohjelmaa valittaessa tulee tarkastaa, että ohjelma sopii haluttuun tarkoitukseen sekä noudattaa tarvittavia vaatimuksia. (Ahonen et al. 2022.) Elinkaariarvioinnin voi teetättää myös elinkaariarviointeihin perehtyneellä yrityksellä. Nykyään on useita yrityksiä, jotka ovat perehtyneet elinkaariarvioiden tekemiseen.

3.3 Tuotteiden hiilijalanjälkien vertailu – vaatimukset ja mahdollisuudet

Tarvitsemme tietoa tuotteiden elinkaarenaikaisista kasvihuonekaasupäästöistä, jotta pystymme tekemään toimia niiden hillitsemiseksi. Tuotteiden hiilijalanjälkiä vertailemalla saadaan tietoa saman kategorian tuotteiden aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöjen eroista. Vertailu on tärkeää, jotta kuluttaja sekä yritykset pystyvät tekemään omien arvojen mukaisia päätöksiä ja vaikuttamaan valinnoillaan omaan hiilijalanjälkeen. Vertailun tuloksia voi käyttää esimerkiksi osana markkinointia tai apuna ympäristötavoitteisiin pääsemiseksi. Elinkaariarviointien tulosten vertailu on mahdollista vain, jos arviointien olettamukset ja asiayhteydet ovat vastaavat. Kansainvälisten standardien vaatimukset ja suositukset on tehty varmistamaan elinkaarimallinnusten läpinäkyvyys, jolloin olettamusten ja asiayhteyksien vastaavuutta voidaan tarkastella luotettavasti. (SFS-EN ISO14067:2018, 5–6.)

SFS-EN 14067:2018 liite B käsittelee eri tuotteiden hiilijalanjälkiin perustuvaa vertailua. Mikäli hiilijalanjälkiselvityksen tuloksia halutaan käyttää vertailuun, tulee liitteessä olevia vaatimuksia noudattaa. Tuotteiden hiilijalanjäljen laskennassa on noudatettava identtisiä hiilijalanjäljen laskemista koskevia vaatimuksia. Jotta vertailu voidaan suorittaa, hiilijalanjälkiselvityksen tulee sisältää tuotteen koko elinkaari tai tuotteen toiminnon tulee sisältyä osittaiseen hiilijalanjälkeen ja vertailtavien tuotteiden poistetut prosessit tulee olla identtisiä. Liite asettaa kriteerejä sovellettavan tavoitteen sekä soveltamisalan määritysvaiheeseen sekä elinkaari-inventaarioanalyysi- ja vaikutusarviointivaiheeseen. Kriteereissä on listattu elinkaarianalyysin osia, joiden tulee olla identtiset vertailtavien tuotteiden välillä. (SFS-EN ISO14067:2018, 45.)

Tavoitteen tukemiseksi vertailu voidaan suorittaa erilaisista näkökulmista. Esimerkiksi elintarvikkeiden hiilijalanjälkiä voidaan tarkastella ravintoaineiden saannin näkökulmasta käyttämällä CO_2-ravintoainetiheysindeksiä. CO_2-ravintoainetiheysindeksi on vertailuarvo ruoka-aineiden väliseen vertailuun. Tuloksena saadaan kuinka paljon ruoka-aineen hiilipäästöt ovat suhteutettuna ruoka-aineesta saatavien ravintoaineiden määrään. Mitä enemmän ruoka-aine sisältää ravintoaineita hiilipäästöihin nähden sitä pienempi lukema saadaan. CO_2-ravintoainetiheysindeksi lasketaan jakamalla hiilidioksidiekvivalenttipäästöt per 100 g tuotetta tuotteen sisältämän ravintoaineen määrällä. (Arffman 2020, 12.)

4 Hiilijalanjälkien vertailu

Ympäristövaikutuksia syntyy tuotteen jokaisessa elinkaaren vaiheessa ja näistä muodostuu tuotteen aiheuttama hiilijalanjälki. Hiilijalanjälkiä vertailemalla voidaan selvittää valintojen ympäristöystävällisyyttä ilmastonmuutosvaikutusten näkökulmasta. Tässä luvussa tarkastellaan valittujen kasviproteiinien hiilijalanjälkiä. Selvitettyjen tulosten pohjalta vertaillaan valittujen kasviproteiinien hiilijalanjälkiä toisiinsa sekä kasviproteiinien hiilijalanjälkien eroja eri lähteiden välillä, tarkastellaan ympäristövaikutusten muodostumista eri elinkaaren vaiheissa sekä pohditaan vastuullisuuden merkitystä tuotteen hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjäljen yksikkönä käytetään näkökulmasta riippuen joko kg CO_2-ekv./100 g proteiinia tai kg CO_2-ekv./kg tuotetta.

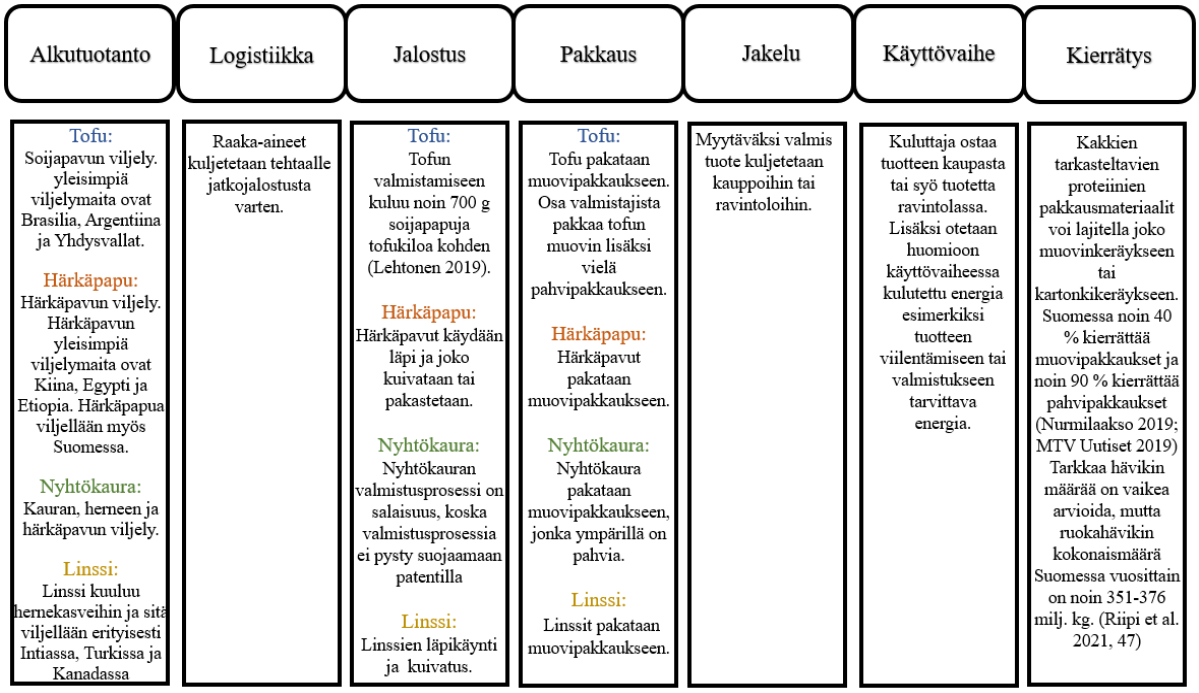
4.1 Tutkittavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet

Työtä varten tutustuttiin eri kasviproteiineista tehtyihin elinkaariarviointeihin keskittyen kasviproteiinien aiheuttamaan hiilijalanjälkeen. Kattavimmin tietoa löytyi tofusta ja linssistä. Härkäpavun hiilijalanjäljestä löytyi vain yksi tutkimus, joka kattoi hiilijalanjäljen osittaisen elinkaaren ajalta. Nyhtökaurasta löytyi valmistajan teettämä elinkaariarviointi sekä nyhtökauran sisältämien raaka-aineiden hiilijalanjälkiin perustuva arvio. Tutkittavien kasviproteiinien hiilijalanjälki ilmoitetaan yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia, jolloin kasviproteiinit ovat proteiinin saannin näkökulmasta ravinnollisesti vertailukelpoisia tai kg CO_2-ekv./kg tuotetta, jolloin voidaan tarkastella tietyn tuotemäärän aiheuttamaa hiilijalanjälkeä.

Tutkimuksissa on käytetty neljää eri systeemin laajuutta. Ensimmäisenä CtoG (Cradle-to-Grave) eli kehdosta hautaan, jolla tarkoitetaan täydellistä elinkaarta. Toisena CtoFg (Cradle-to-Factorygate) eli kehdosta tehtaan portille, jossa on otettu huomioon elinkaaren vaiheet alkutuotannosta pakkaukseen asti. Kolmantena CtoD (Cradle-to-Distribution) eli kehdosta jakeluun, jossa on otettu huomioon elinkaaren vaiheet kehdosta jakeluun asti. Neljäntenä C (Cradle) eli elinkaaren ensimmäinen vaihe, jossa otetaan huomioon elinkaarenvaiheet

alkutuotannosta tehtaalle. (EeBGuide 2012.) Systeemin laajuus osoitetaan jatkossa käyttämällä lyhennettä.

Työssä tarkasteltavat kasviproteiinit on valittu eriävien kasvuolosuhteiden, jalostustarpeiden sekä saatavilla olevan tiedon perusteella. Linssi ja härkäpapu eivät vaadi jalostusta, kun taas tofu valmistetaan soijapavuista ja nyhtökaura kaurasta, herneestä ja härkäpavusta tietyn prosessin kautta. Kuvassa 4 on esitetty tutkittavien kasviproteiinien elinkaaren vaiheet.



Kuva 4. Työssä tarkasteltavien tuotteiden elinkaari

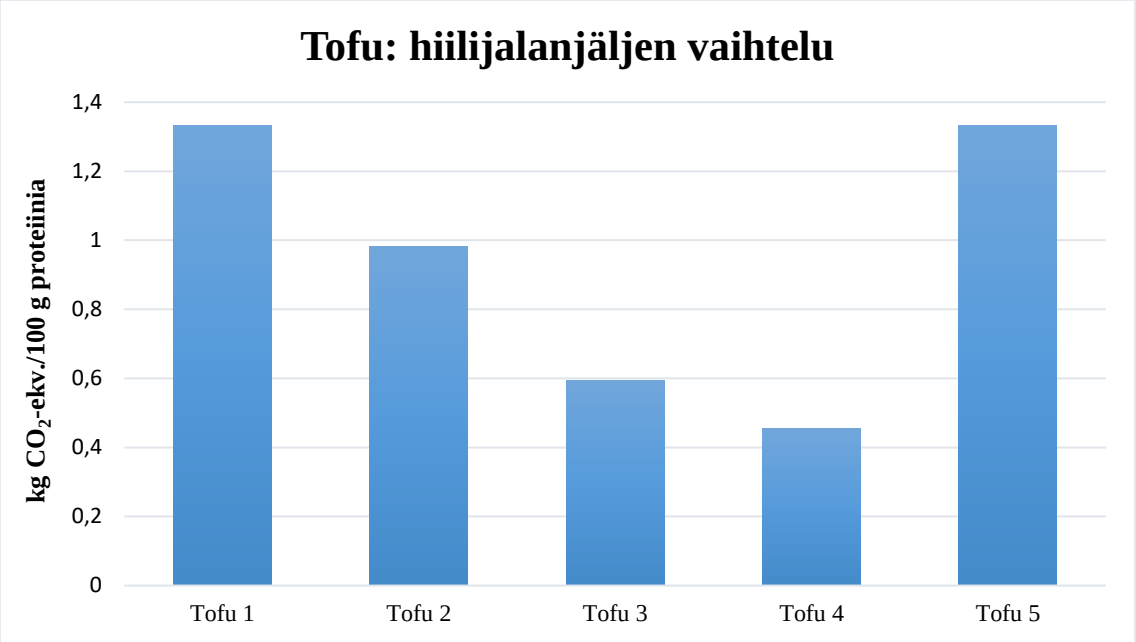
4.1.1 Tofu

Taulukkoon 1 on koottu tofun hiilijalanjäljet tutkimuksittain yksiköissä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia ja kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Lisäksi taulukosta näkee tofun sisältämän proteiinin määrän, raaka-aineen alkuperämaan, tutkimuksen julkaisuvuoden, systeemin laajuuden sekä lähteen.

Taulukko 1. Tofun hiilijalanjälki tutkimuksittain

Tuote	Tofu 1	Tofu 2	Tofu 3	Tofu 4	Tofu 5
Proteiini [g/kg tuotetta]	173	100	173	173	173
kg CO_2-ekv./kg tuotetta	2,00	0,98	0,89	0,68	2,00
kg CO_2-ekv./100 g proteiinia	1,16	0,98	0,52	0,39	1,16
Maa	-	USA	USA	USA	USA
Vuosi	2014	2017	2014	2020	2011
Tarkasteltava systeemi	CtoG	CtoFg	CtoFg	C	CtoG
Lähdeviite	(Saarinen et al. 2014)	(Mejia et al. 2017)	(Mejia et al. 2014)	(Mansour et al. 2020)	(Hamerschlag 2011)

Tofujen 1 ja 5 hiilijalanjäljet kattavat täydellisen elinkaaren, tofujen 2 ja 3 hiilijalanjälkien tarkastelussa on otettu huomioon elinkaaren vaiheet alkutuotannosta pakkaukseen asti ja tofun 4 hiilijalanjälki sisältää alkutuotannon aiheuttaman hiilijalanjäljen. Tutkimukset on toteutettu 10 vuoden sisällä toisistaan. Tofujen 1 ja 5 hiilijalanjälki on sama, mutta muuten tutkimusten tuloksissa esiintyy vaihtelua. Tofu sisältää keskimäärin 173 g proteiinia/kg tuotetta (Fineli 2022b). Vain tutkimuksessa 2 oli esitetty tutkittavan tofun sisältämä proteiinin määrä ja tämä poikkesi selvästi keskiarvosta. Kuva 5 havainnollistaa tutkimusten väliset vaihtelut tofun hiilijalanjäljessä yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.



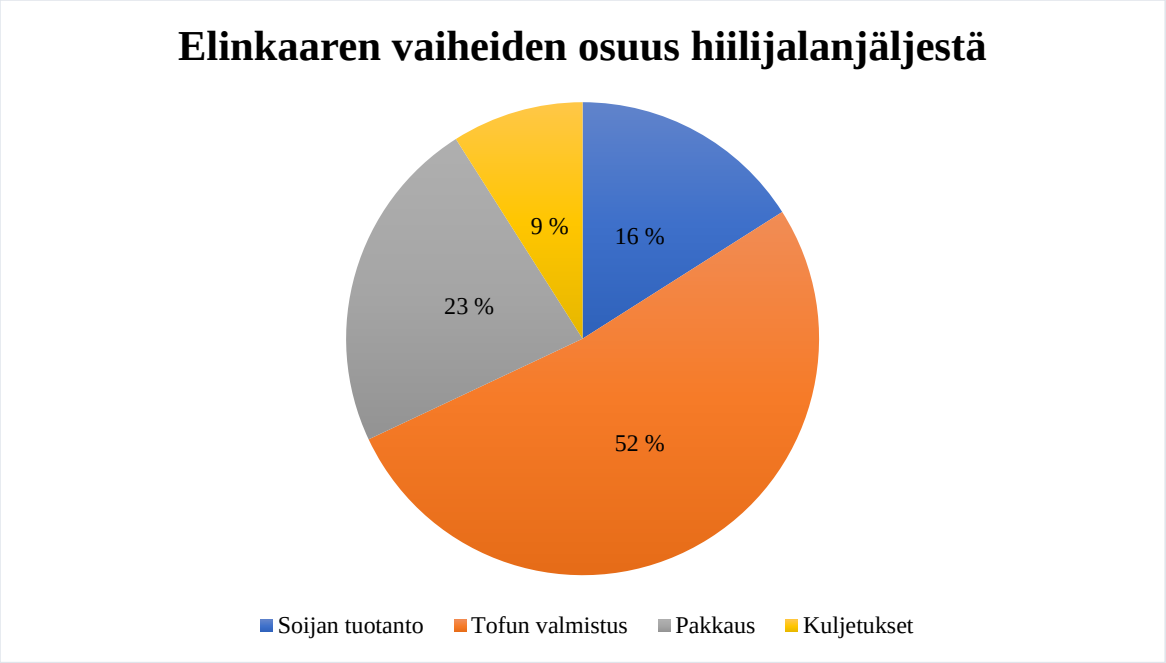
Kuva 5. Tofun hiilijalanjäljet yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia

Tofun 1 tutkimus on toteutettu osana MTT:n eli Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen SustFoodChoice -hanketta. Hankkeessa tuotettiin viitekehys ruokatuotteiden kokonaiskestävyyden arvioinnin pohjaksi sekä kehitettiin menetelmiä, joiden avulla voidaan kytkeä ravitsemus ja maaperävaikutukset osaksi elinkaariarviointia. Luotu viitekehys sisältää ekologiset, sosiaaliset ja taloudelliset tekijät. Tofua tarkasteltiin hankkeessa osana E/N-indeksin soveltumisen tarkastelua tuotteiden väliseen vertailuun tuoteryhmien sisällä. Saman tuoteryhmien tuotteiden vertailussa vaikutusluokkana oli vain ilmastonmuutos. E/N-indeksi on hankkeessa kehitetty menetelmä, jonka avulla ravitsemus voidaan liittää osaksi elinkaariarviointia. E/N-indeksi on ruoan ympäristövaikutus suhteessa ravintoaineindeksin yksikköön. Tutkimuksissa havaittiin, että erot muodostuvien E/N-indeksien välillä olivat suurimmat proteiinien sekä rasvojen välillä. (Saarinen et al. 2014.)

Tofun täydellisen elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen suuruudeksi saatiin 2 kg CO_2-ekv/kg tuotetta. Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 1,33 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Tofun ilmastovaikutuksessa ei huomioitu maankäytön muutoksia. Maankäytönmuutoksista aiheutuvilla kasvihuonekaasupäästöillä, on selkeä vaikutus alkutuotannosta muodostuvaan hiilijalanjälkeen. On arvioitu, että

esimerkiksi brasilialaisen soijan ilmastovaikutus kasvaa 30 % jos maankäytön muutokset huomioidaan. (Saarinen et al. 2014.) Tofun hiilijalanjälki olisi siis suurempi, jos maankäytön muutosta on tapahtunut, muutos riippuu soijapavun tuotantomaasta sekä maankäytön muutoksen laadusta. Tofun ympäristövaikutus perustui MTT:n aiemmin tekemään tutkimukseen, mikä ei valitettavasti ollut saatavilla.

Tofun 2 tutkimus on julkaistu artikkelina Journal of Hunger & Environmental Nutrition aikakauslehdessä. Artikkelin otsikko on Green House Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study. Osittainen elinkaariarvio on toteutettu käyttämällä SimaPro 8 ohjelmaa. Tutkimuksessa tarkasteltiin yhtä tofu kiloa ja systeemin laajuus oli CtoFg. Tiedot tofun tuotannosta perustuvat yhdysvaltalaiseen tofun valmistajaan yhden vuoden tarkastelujakson ajalta. Tiedot soijapavun viljelystä on SimaPro 8 tietokannasta sekä U.S. Life Cycle Inventory tietokannasta. Elinkaariarvio sisältää valmistukseen ja pakkaukseen tarvittavat resurssit: soijapavut, vesi, sähkö, maakaasu ja pakkausmateriaalit. Näillä rajauksilla tofun hiilijalanjäljeksi saatiin 0,982 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. (Mejia et al. 2017.) Tofun sisältämän proteiinin määräksi ilmoitettiin 100 g/kg tuotetta mikä on 73 g vähemmän kuin tofu keskimääräisesti sisältää. Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 0,982 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Kuvassa 6 esitetään hiilijalanjäljen osuudet elinkaaren vaiheittain prosentteina.

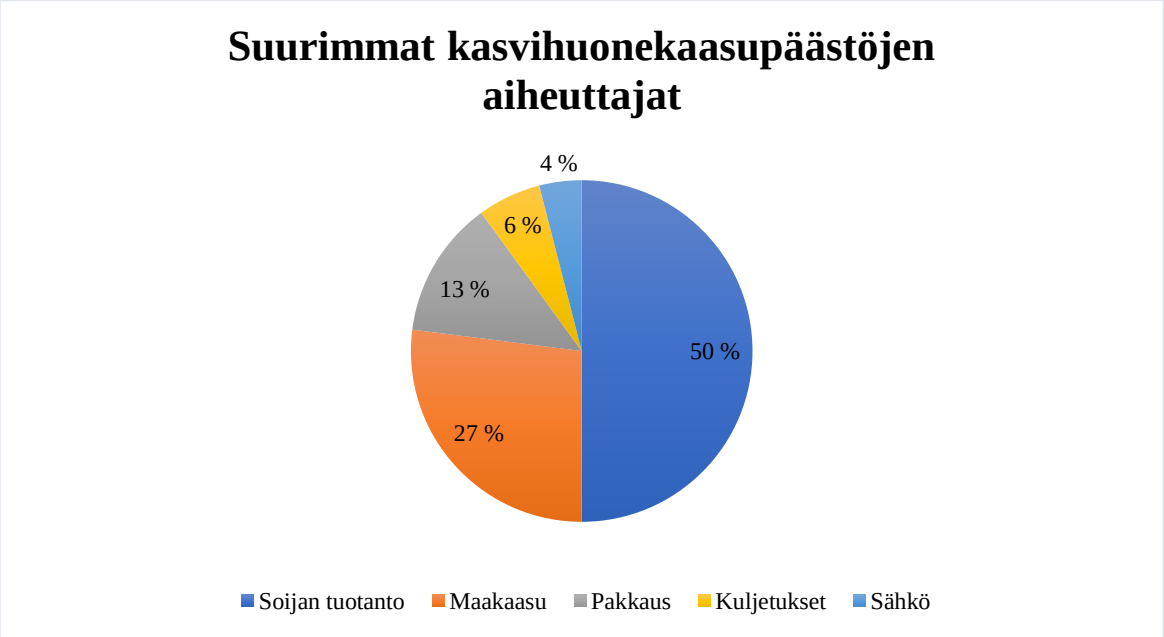


Kuva 6. Elinkaaren vaiheiden osuudet tofun hiilijalanjäljestä prosentteina (Mejia et al. 2017)

Tutkimuksen tulosta on verrattu kahteen muuhun tutkimukseen ja todettu, että tofun hiilijalanjälki on selvästi muita pienempi. Sen lisäksi, että tutkimuksessa ei ole huomioitu jakelua, käyttövaihetta ja pakkauksen kierrätystä uskotaan tähän vaikuttaneen soijapavun alkuperämaa, joka on tässä tutkimuksessa Yhdysvallat. Yhdysvaltalaisen soijapavun hiilijalanjälki on esimerkiksi noin 3,9 kertaa pienempi kuin Brasiliassa tuotetun soijapavun. Tutkimuksessa ei myöskään otettu huomioon maankäytön muutoksia, mutta lopussa arvioidaan että maatilalla vapautuvan typpioksidin määrä olisi kasvattanut hiilijalanjälkeä 0,204 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. (Mejia et al. 2017.)

Tofun 3 tutkimus on Andrews Universityn sekä Loma Linda Universityn yhteistyönä tekemä, artikkelin otsikko on Greenhouse Emissions from Tofu Production. Tutkimuksesta oli valitettavasti saatavilla vain tiivistelmä. Osittainen elinkaariarvio on toteutettu käyttämällä apuna SimaPro 7-ohjelmaa. Tutkimuksessa tarkasteltiin yhtä tofukiloa ja systeemin laajuus oli CtoFg. Elinkaariarvioinnissa on otettu huomioon soijapapujen tuotanto, vesi, sähkö, maakaasu, kuljetukset sekä pakkausmateriaalit. Näillä rajauksilla tofun hiilijalanjäljeksi saatiin 0,893 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. (Mejia et al. 2014.) Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 0,60 kg CO_2-ekv./100 g

proteiinia. Kuvassa 7 on esitetty suurimmat elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat prosentteina.



Kuva 7. Suurimmat tofun elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat (Mejia et al. 2014)

Tofun 4 hiilijalanjäljen selvitys on University of Daytonin tekemä tutkimus. Artikkelin otsikko on Life Cycle Analysis of Beef vs. Soy Production. Työn tavoitteena on vertailla soija- sekä nautapohjaisia ruokavalioita. Tutkimuksessa selvitetään kasvihuonekaasupäästöt, öljyn kulutus, energian tarve, maankäytönmuutokset sekä veden kulutus. Tofun kohdalla tutkimuksessa tarkastellaan 14 unssia tofua, joka vastaa noin 0,397 kg:a. Tutkimuksen systeemin laajuus oli C. Elinkaariarvioinnissa huomioitiin kuljetukset, soijan tuotanto, lannoitteet sekä maatalousvälineet. Näillä rajauksilla tofun hiilijalanjäljeksi saatiin 0,27 kg CO_2-ekv./14 unssia tuotetta. Tarkasteltaessa yhtä tofukiloa hiilijalanjäljeksi muodostuu 0,68 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. (Mansour et al. 2020.) Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 0,45 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

Tofun 5 tutkimus on osa vuonna 2011 julkaistua Meat eater's guide to climate change + health opasta/raporttia. Työn on tuottanut EWG eli Environmental Working Group ja työ on tehty yhteistyössä CleanMetricsin kanssa. CleanMetrics on konsulttiyritys, joka tekee muun

muassa ympäristöanalyyseja. Työssä on toteutettu yhteensä kahdenkymmenen suositun lihan, kalan, maitotuotteen sekä kasviproteiinin elinkaariarviointi. Elinkaariarviointi kattaa täydellisen elinkaaren eli systeemin laajuutena on CtoG. Tutkimus kattaa tuotteen elinkaarenaikaiset päästöt hyvin kattavasti aina lannoitteista ruokahävikkiin asti. Tofun hiilijalanjäljeksi saatiin 2 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 1,33 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Tutkimuksessa selvitetyt kasvihuonekaasupäästöt on jaettu alkutuotannon päästöihin sekä alkutuotannon jälkeisiin päästöihin. Yli puolet tofun hiilijalanjäljestä muodostuu alkutuotannossa. (Hamerschlag 2011.)

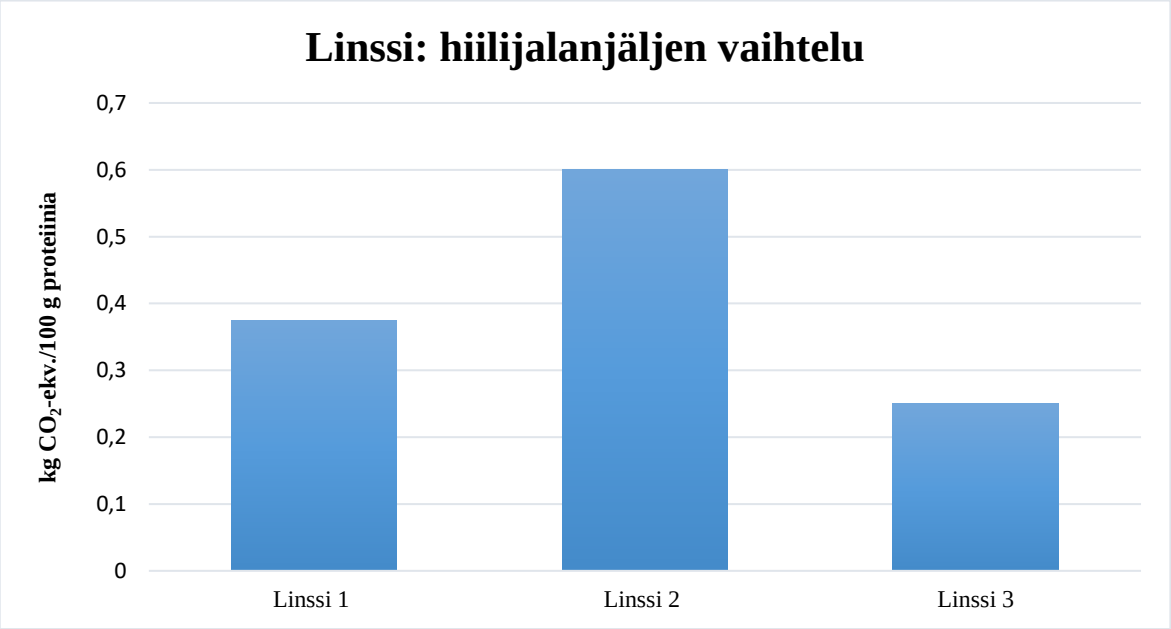
4.1.2 Linssi

Taulukkoon 2 on koottu linssin hiilijalanjäljet tutkimuksittain yksiköissä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia ja kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Lisäksi taulukosta näkee linssin sisältämän proteiinin määrän, raaka-aineen alkuperämaan, tutkimuksen julkaisuvuoden, systeemin laajuuden sekä lähteen.

Taulukko 2. Linssi, hiilijalanjäljet tutkimuksittain

Tuote	Linssi 1 (kuivattu)	Linssi 2 (kuivattu)	Linssi 3 (kuivattu)
Proteiini [g/kg tuotetta]	240	240	240
kg CO_2-ekv./kg tuotetta	0,90	1,44	0,6
kg CO_2-ekv./100 g proteiinia	0,38	0,6	0,25
Maa	USA	Euroopan ulkopuolelta	Kanada, Australia, Ruotsi
Vuosi	2011	2010	2020
Tarkasteltava systeemi	CtoG	CtoG	CtoD
Lähdeviite	(Hamerschlag 2011)	(Audsley et al. 2010)	(Karlsson et al. 2020)

Kahdessa ensimmäisessä tutkimuksessa on tarkasteltu tuotteen koko elinkaarta ja kolmannessa tuotteen elinkaarta alkutuotannosta jakeluun eli kauppojen hyllyille. Proteiinin määrä on kaikissa sama 240 g proteiinia/kg tuotetta, joka on punaisen kuivatun linssin keskimäärin sisältämä proteiinin määrä (Fineli 2022a). Hiilijalanjäljissä on selvä ero tutkimusten välillä. Kuva 8 havainnollistaa tutkimusten väliset vaihtelut linssin hiilijalanjäljessä yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.



Kuva 8. Linssin hiilijalanjäljet yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia

Linssin 1 hiilijalanjälki on Meat eater's guide to climate change + health oppaan/raportin tutkimuksessa selvitetty hiilijalanjälki täydellisen elinkaaren ajalta. Linssin hiilijalanjäljeksi saatiin 0,9 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. 41 % linssin hiilijalanjäljestä muodostuu alkutuotannossa. Enemmistö kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu siis prosessoinnin, kuljetusten, jalostuksen, pakkauksen, jakelun, käyttövaiheen sekä kierrätyksen aikana. (Hamerschlag 2011.) Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 0,38 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

Linssin 2 hiilijalanjälki on selvitetty osana WWF UK:n How low can we go? raporttia, jossa on selvitetty Iso-Britannian ruokajärjestelmän kasvihuonekaasupäästöjä ja kuinka niitä voitaisiin vähentää vuoteen 2050 mennessä. Hiilijalanjälki kattaa tuotteen koko elinkaaren ja saatu hiilijalanjäljen suuruus on 1,44 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Tuotteen hiilijalanjäljessä on otettu huomioon myös maankäytön muutokset. (Audsley et al. 2010.) Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 0,60 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

Linssin 3 hiilijalanjälki on selvitetty ruotsalaisen yliopiston Swedish University of Agricultural Sciences tekemässä tutkimuksessa, jossa tarkastellaan kasvipohjaisten ruokien ympäristövaikutuksia. Hiilijalanjäljessä on otettu huomioon tuotteen elinkaari alkutuotannosta kauppojen hyllylle asti. Hiilijalanjäljen suuruudeksi on saatu 0,6 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Ilmoitettu linssin hiilijalanjälki on keskimääräinen hiilijalanjälki ruotsissa myytäville kuivatuille linsseille. Ruotsiin tuotavasta linssistä suurin osa on valmistettu Turkissa, Iso-Britanniassa sekä Kanadassa, suurimpana näistä Kanada. Lisäksi tutkimuksessa on tarkasteltu Iranissa ja Australiassa tuotettuja linssejä. Australiassa, Iranissa ja Kanadassa tuotetun linssin hiilijalanjälki vaihtelee välillä 0,9-2,6 kg CO_2-ekv./kg tuotetta, joista Australiasta tuoduilla linsseillä on korkein hiilijalanjälki. Australiasta ja Iranista tuotujen linssien hiilijalanjälkeä ei kuitenkaan nähty relevantiksi ottaa huomioon Ruotsissa myytävien linssien hiilijalanjälkeen. (Karlsson et al. 2020.) Tämän vuoksi myös tähän työhön on valittu esitettäväksi linssin hiilijalanjäljen suuruudeksi 0,6 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 0,25 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

4.1.3 Härkäpapu

Taulukkoon 3 on koottu härkäpavun hiilijalanjälki yksiköissä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia ja kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Lisäksi taulukosta näkee härkäpavun sisältämän proteiinin määrän, raaka-aineen alkuperämaan, tutkimuksen julkaisuvuoden, systeemin laajuuden sekä lähteen. Härkäpavusta löytyi vain yksi elinkaariarviointitutkimus.

Taulukko 3. Härkäpavun hiilijalanjälki

Tuote	Härkäpapu 1 (kuivattu)
Proteiini [g/kg tuotetta]	300
kg CO_2-ekv./kg tuotetta	0,89
kg CO_2-ekv./100 g proteiinia	0,30
Maa	
Vuosi	2020
Tarkasteltava systeemi	CtoFg
Lähdeviite	(Arffman 2020)

Tutkimus kattaa hiilijalanjäljen alkutuotannosta tehtaalle ja proteiinin määränä on käytetty kuivatun härkäpavun keskimääräistä proteiinin määrää. Härkäpapu sisältää keskimäärin 300 g proteiinia/kg tuotetta (Turun yliopisto 2020). Kuvassa 9 esitetään härkäpavun hiilijalanjälki yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

Kuva 9. Härkäpavun hiilijalanjälki yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia

Evintecpolis on selvittänyt useiden eri ruoka-aineiden hiilijalanjäljet CO_2-ravintotiheysindeksin mallia varten. Härkäpavun hiilijalanjälki ottaa huomioon alkutuotannon, logistiikan sekä tuotannon päästöt. Ruoka-aineiden hiilipäästöt on selvitetty tutustumalla tieteellisiin julkaisuihin sekä selvityksiin. Härkäpavun hiilijalanjäljeksi on saatu 0,89 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. (Arffman 2020.) Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 0,30 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

4.1.4 Nyhtökaura

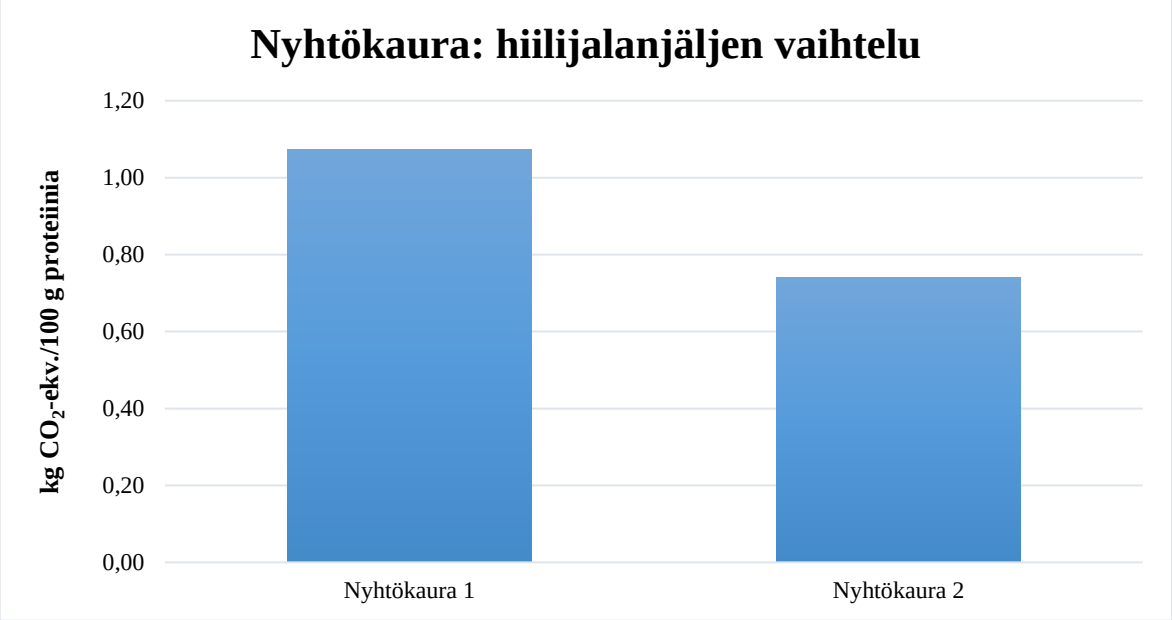
Taulukkoon 4 on koottu nyhtökauran hiilijalanjäljet tutkimuksittain yksiköissä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia ja kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Lisäksi taulukosta näkee nyhtökauran sisältämän proteiinin määrän, raaka-aineen alkuperämaan, tutkimuksen julkaisuvuoden, systeemin laajuuden sekä lähteen.

Taulukko 4. Nyhtökauran hiilijalanjäljet tutkimuksittain

Tuote	Nyhtökaura 1	Nyhtökaura 2
Proteiini [g/kg tuotetta]	270	270
kg CO_2-ekv./kg tuotetta	2,90	2,00
kg CO_2-ekv./100 g proteiinia	1,07	0,74
Maa	-	Suomi
Vuosi	2022	2021
Tarkasteltava systeemi	CtoG	CtoG
Lähdeviite	(Toppinen 2021)	(Lahti et al. 2021)

Molemmissa tutkimuksissa on tarkasteltu nyhtökauran hiilijalanjälkeä täydellisen elinkaaren ajalta eli tutkimukset kattavat tuotteen hiilijalanjäljen aina alkutuotannosta kierrätykseen saakka. Ensimmäisessä tutkimuksessa on tehty elinkaariarviointi ja toisessa puolestaan

arvioitu nyhtökauran hiilijalanjälki raaka-aineiden aiheuttamaan hiilijalanjälkeen perustuen. Kuvassa 10 esitetään nyhtökaurasta tehtyjen elinkaariarviointien tulokset yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.



Kuva 10. Nyhtökauran hiilijalanjälki tutkimuksittain yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia

Nyhtökauran 1 hiilijalanjälki on valmistajan teettämä elinkaariarviointi. Nyhtökauraa valmisti vuosina 2010–2021 Paulig tuotemerkillä Gold and Green. Nyhtökauran hiilijalanjälki on tällöin selvitetty yhteistyössä CarbonCloudin kanssa. CarbonCloud on keskittynyt nimenomaan ruoan tuotannon aiheuttamiin ilmastovaikutuksiin ja tekee muun muassa tuotteiden elinkaariarviointeja. Nyhtökaura Nuden eli maustamattoman nyhtökauran hiilijalanjäljeksi on saatu 2,4 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Elinkaariarviointi kattaa tuotteen täydellisen elinkaaren. Nyhtökaura Nuden proteiinin määrä on 270 g/kg tuotetta. (Toppinen 2021.) Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 1,07 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

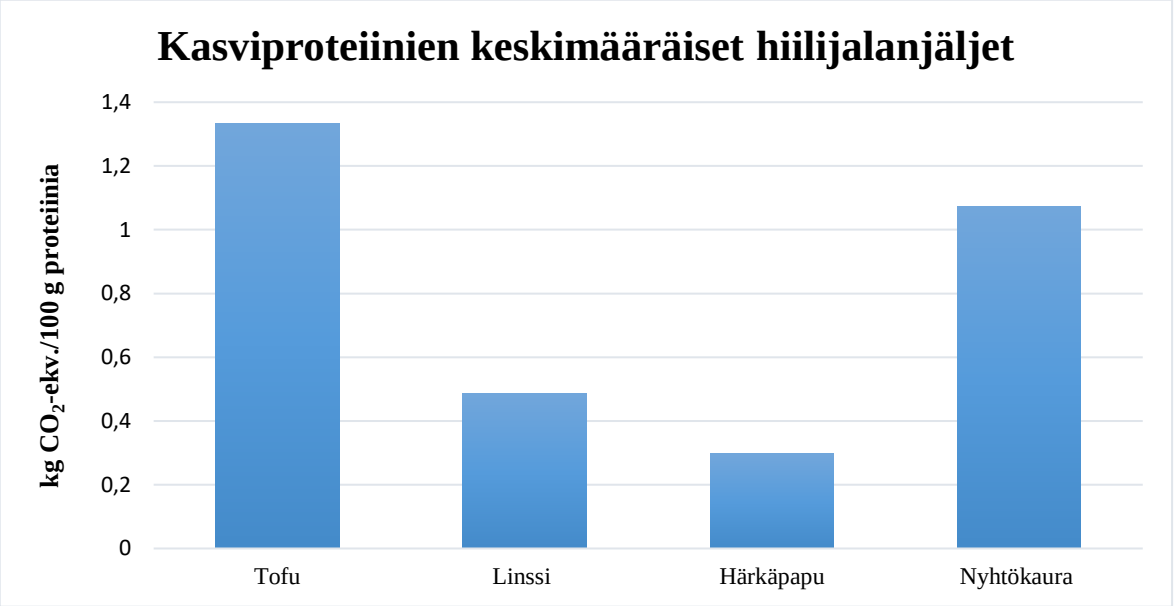
Valmistajan ilmoittamaan hiilijalanjälkeen tulee aina suhtautua varauksella, mutta kun elinkaariarviointi on suoritettu elinkaariarviointeja tekevän yrityksen toimesta tulos vaikuttaa luotettavalta. Paulig myi nyhtökauran valmistusoikeuden Valiolle ja vuodesta 2022 alkaen

Valion on tuottanut nyhtökauraa saman tuotemerkin alla. Valio ei ole raportoinut nyhtökauran hiilijalanjälkeä, eikä ole tiedossa onko elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin tullut muutoksia.

Nyhtökauran 2 hiilijalanjäljen on selvittänyt Hämeen ammattikorkeakoulun kestävän kehityksen opiskelijat. Hiilijalanjäljen selvitys on osa yläkouluikäisille suunniteltuja ruoka-ainekortteja, joiden avulla voi opetella yleisimpien ruoka-aineiden ilmastovaikutuksia. Hiilijalanjälki on arvioitu perustuen nyhtökauran ainesosiin ja samankaltaisiin tuotteisiin. Kyseessä ei siis ole luotettava elinkaariarviointitutkimus, eikä tulosta ole huomioitu tämän työn tuloksissa. Hiilijalanjäljeksi on arvioitu 2,0 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. (Lahti et al. 2021.) Tarkasteltaessa tuotteen hiilijalanjälkeä proteiinin saannin näkökulmasta tuotteen hiilijalanjälki on 0,74 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

4.2 Tulokset

Tässä luvussa esitetyt tulokset ja vertailu perustuvat luvussa 4.1. esitettyihin tutkimuksiin, jollei muuta lähdettä mainita. Kuvassa 11 on esitetty työssä tarkasteltavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Esitetyt hiilijalanjäljet on muodostettu aiemmin esitettyjen tutkimusten hiilijalanjälkien keskiarvona. Huomioon on otettu vain hiilijalanjäljet, joissa oli tarkasteltu tuotteen koko elinkaarta. Poikkeuksena härkäpapu, jonka hiilijalanjäljestä löytyi tietoa vain yhdestä lähteestä ja tarkastelussa oli huomioitu kasvihuonekaasupäästöt alkutuotannosta tehtaan portille. Hämeen ammattikorkeakoulun kestävän kehityksen opiskelijoiden tekemää arviota nyhtökauran hiilijalanjäljestä ei ole huomioitu. Epävarmuutta tuloksiin syntyi tutkimusten eriävistä rajauksista, eroista tutkimusten saatavuuden välillä sekä raportoinnin tarkkuudesta.



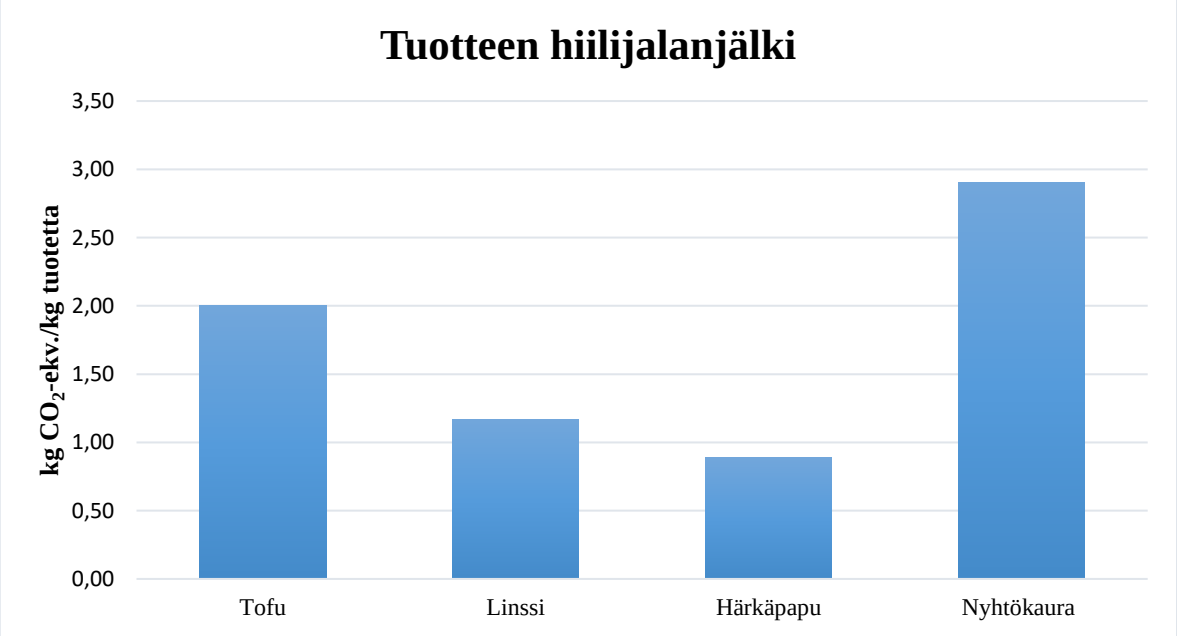
Kuva 11. Työssä tarkasteltavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia, kun huomioon on otettu täydellisen elinkaaren kattavat elinkaariarviointitutkimukset ja laskettu näistä kasviproteiinikohtaiset keskiarvot

Pienin hiilijalanjälki on härkäpavulla. Kuivatun härkäpavun hiilijalanjälki on 0,30 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Tuotteen hiilijalanjälki ei kata tuotteen koko elinkaarta vaan jakelu, käyttövaihe ja kierrätys on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Näiden osuus elintarvikkeen hiilijalanjäljestä on noin 9–11 % (WWF 2022a). Tutkimuksessa ei ilmoitettu härkäpavun alkuperämaata, mutta yleisimpiä viljelymaita ovat Kiina, Egypti ja Etiopia. Härkäpavun viljely on kuitenkin mahdollista viileämmissäkin maissa ja härkäpapua tuotetaan myös Suomessa. Kuivatut härkäpavut säilyvät huoneenlämmössä ennen valmistusta.

Kuivatun linssin hiilijalanjälki on 0,49 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Linssin hiilijalanjälki on tarkasteltavista kasviproteiineista toiseksi pienin. Linssin 1 tutkimuksen mukaan 59 % päästöistä aiheutuu alkutuotannon jälkeen, josta suurin osa muodostuu käyttövaiheessa, kun energiaa kuluu ruoanvalmistuksen yhteydessä. Itse valmistusprosessi on hyvin minimaallinen verrattaessa esimerkiksi tofuun tai nyhtökauraan. Kuivatut linssit säilyvät huoneenlämmössä ennen valmistusta.

Nyhtökauran hiilijalanjälki on 1,07 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Nyhtökaura valmistetaan kaurasta (20 %), härkäpavusta (11 %) ja herneestä (20 %) (Valio 2022). Nyhtökauraa valmistaa nykyään Valio Gold and Green tuotemerkillä. Valio ilmoittaa, että nyhtökauran kotimaisuusaste on 49 % ja kauran alkuperämaa on Suomi ja Ruotsi. Nyhtökauran tuotanto tapahtuu Suomessa. (Valio 2022.) Härkäpapujen tai herneiden alkuperämaata ei ole ilmoitettu. Valitettavasti myöskään nyhtökauran tuotantotavasta ei ole tietoa. Valmistusprosessi on haluttu pitää salassa, koska elintarvikkeen valmistusprosessia ei voi suojata patentilla. Nyhtökauran säilytys tapahtuu jääkaappikylmässä valmistusprosessin jälkeen.

Tofun hiilijalanjälki on 1,33 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Suurin osa tofun hiilijalanjäljestä muodostuu alkutuotannossa soijapavun viljelystä. Vaikka soijapapuja tarvitaan vain 700 g yhden tofukilon valmistamiseen, kuluu tofun valmistukseen huomattavasti enemmän energiaa kuin esimerkiksi linssin tai härkäpavun kohdalla kuluu jalostusvaiheessa. Tofun säilytys tapahtuu jääkaappikylmässä valmistusprosessin jälkeen. Kuvassa 12. kasviproteiinien hiilijalanjäljet on esitetty yksikössä kg CO_2-ekv./kg tuotetta.



Kuva 12. Tarkasteltavien kasviproteiinien hiilijalanjäljet yksikössä kg CO_2-ekv./kg tuotetta

Kuvasta nähdään, että tarkasteltaessa kasviproteiinien hiilijalanjälkeä yksikössä kg CO_2-ekv./kg tuotetta kuva näyttää selvästi erilaiselta kuin kuva 11. Härkäpapu ja linssi saavat

edelleen pienimmät hiilijalanjäljet, mutta nyt suurimman hiilijalanjäljen saa nyhtökaura tofun sijaan. Härkäpavun hiilijalanjälki on 0,89 kg CO_2-ekv./kg tuotetta, linssin 1,17 kg CO_2-ekv./kg tuotetta, tofun 2,00 kg CO_2-ekv./kg tuotetta ja nyhtökauran 2,90 kg CO_2-ekv./kg tuotetta. Tarkastelun näkökulmalla on selkeästi vaikutusta tuotteiden ympäristövaikutusten välisiin eroihin.

Tutkimuksissa tehtyjen rajausten jälkeen eniten eroa tuotteiden hiilijalanjäljissä näyttää muodostuvan alkutuotannossa. Tuotantotavalla on suuri merkitys ympäristövaikutusten tuloksiin. Esimerkkinä tofun valmistus, jossa käytettävän soijan tuotantoympäristö vaikuttaa merkittävästi tofulle muodostuvaan ympäristövaikutukseen. Soijan tuotannosta aiheutuu paljon maankäytön muutoksia, joista syntyy suuria ilmastopäästöjä. (Saarinen et al. 2014.) Maankäytön muutoksista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat huomattavasti tuotantomaittain. Yksi vaikuttavista tekijöistä on käytettävän typpilannoituksen määrä. Esimerkiksi Kanadan ja Yhdysvaltojen typpilannoituksen suositusmäärä linssin viljelyssä on <55 kg N/ha kun vastaava luku Iranissa on 135 kg N/ha. Tuotannosta aiheutuviin päästöihin vaikuttaa merkittävästi kulutetun sähkön tuotantomuoto, joka vaihtelee suuresti maittain. (Karlsson et al. 2020.)

4.3 Vastuullisuuden merkitys hiilijalanjäljen muodostumisessa

Ympäristö on yksi vastuullisen ruokaketjun seitsemästä teemasta. Ympäristövastuun huomioiminen ruoan tuotannossa tarkoittaa tuotteen haitallisten ympäristövaikutusten vähentämistä tai hallintaa koko elinkaaren ajalta. Ruoantuotannon kohdalla suuri merkitys on alkutuotannolla, koska suurin osa ruoan kasvihuonekaasupäästöistä muodostuu alkutuotannossa. Maatalouden ympäristövaikutuksia pyritään hillitsemään muun muassa lainsäädännöllä sekä hyvillä käytännöillä. Näissä on kuitenkin paljon eroja eri maiden välillä. Tärkeää on, että ruoan alkuperä sekä tuotantotavat olisi mahdollisimman läpinäkyviä, näin kuluttajalla on mahdollisuus vastuullisiin valintoihin. (Ruokatieto 2022.)

5 Johtopäätökset

Työn aikana havaittiin, että kasviproteiinien hiilijalanjäljissä esiintyy näkyviä vaihteluja. Selvää vaihtelua esiintyy sekä tiettyjen tuotteiden välillä että eri kasviproteiinin lähteiden välillä. Eniten vaihtelua aiheutui kuitenkin elinkaariarviointitutkimusten eriävistä rajauksista. Kaikki työssä tutkittavat kasviproteiinit olivat kuitenkin eläinperäisiä proteiinin lähteitä parempia valintoja ilmastonmuutosvaikutuksia tarkasteltaessa. Tofua 2 ja linssiä 1 lukuun ottamatta eniten kasvihuonekaasupäästöjä aiheutui alkutuotannossa. Tofun 2 kohdalla suurimmat elinkaarenaikaiset päästöt syntyivät tuotannossa ja Linssin 1 kohdalla 59 % päästöistä syntyi alkutuotannon jälkeen. Eniten eroja kasviproteiinien hiilijalanjäljissä aiheutui alkutuotannossa syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen välillä. Tähän vaikutti suuresti tuotantomaa, jossa raaka-aineet oli tuotettu. Toiseksi eniten vaihtelua aiheutui tuotantovaiheessa. Jakelu, käyttövaihe sekä kierrätys olivat hyvin samankaltaiset kaikkien kasviproteiinien välillä.

Suurimmat erot alkutuotannossa aiheutuivat maankäytönmuutoksista. Osa tutkimuksista ei ollut huomioinut maankäytön muutoksia ja lisäksi tuotantomaa vaikuttaa suuresti syntyviin kasvihuonekaasupäästöihin. Tuotannosta aiheutuviin eroihin vaikutti tuotteen tarvitsema jalostuksen määrä sekä tuotantoon käytettävän energian tuotantomuoto. Jakelun, käyttövaiheen ja kierrätyksen kohdalla eniten eroa syntyy tuotteen säilytyksessä sekä valmistukseen käytetyn energiamuodon mukaan.

Tietoa kasviproteiinien hiilijalanjäljistä löytyi odotettua vähemmän ja kaikki tutkimukset eivät myöskään olleet vapaasti saatavilla vaan maksumuurin takana. Julkisen sektorin tuottamat tutkimukset olivat usein vapaasti saatavilla, mutta yritysten tuottamat elinkaariarvioinnit tai kerätty data maksumuurin takana. Tarkastellut tutkimukset erosivat kaikki jollain tapaa toisistaan. Täysin luotettavaa vertailua ei siis pystynyt suorittamaan, mutta tutkimusten erot on esitetty läpinäkyvästi työssä sekä suoritettu pohdintaa siitä, miten erot ovat mahdollisesti vaikuttaneet tuotteelle muodostuvaan hiilijalanjälkeen. Epävarmuutta tuloksiin syntyi myös eroista tutkimusten saatavuuden välillä sekä raportoinnin tarkkuudesta.

Vertailu suoritettiin tietystä tuotteesta tehtyjen hiilijalanjälki selvitysten välillä sekä eri kasviproteiinien välillä. Eri kasviproteiinien välinen vertailu suoritettiin kahdesta eri näkökulmasta. Ensimmäisenä näkökulmana oli ravitsemuksellinen vertailukelpoisuus ja hiilijalanjälkeä tarkasteltiin yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia. Toisena näkökulmana oli tuotekohtainen tarkastelu ja hiilijalanjälkiä vertailtiin yksikössä kg CO_2-ekv./kg tuotetta.

Proteiini on tärkeä osa ravintoa ja päivittäistä energiansaantia, joten proteiinin valinnalla on suuri merkitys yksilön ruoan kulutuksesta syntyvään hiilijalanjälkeen. Kaikkien tarkasteltujen kasviproteiinien hiilijalanjäljet olivat hyvin maltillisia ja hyviä vaihtoehtoja proteiinin tarpeen tyydyttämiseen ympäristön näkökulmasta. Tutkittavien kasviproteiinien keskimääräiset hiilijalanjäljet koko elinkaaren ajalta yksikössä kg CO_2-ekv./100 g proteiinia olivat tofulle 1,33, linssille 0,49 ja nyhtökauralle 1,07. Härkäpavun hiilijalanjäljessä oli otettu huomioon vain alkutuotanto, logistiikka sekä tuotannon päästöt ja hiilijalanjäljeksi muodostui 0,30 kg CO_2-ekv./100 g proteiinia.

6 Yhteenveto

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin sekä vertailtiin kasviproteiinien hiilijalanjälkiä. Tarkasteltaviksi kasviproteiineiksi valittiin tofu, linssi, härkäpapu sekä nyhtökaura. Työ aloitettiin teoriaosuudella, jossa perehdyttiin ruoan aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, ruokahuollon tämänhetkisiin ongelmakohtiin niin globaalilla kuin kansallisella tasolla sekä kuluttajan mahdollisuuksiin vaikuttaa oman ruoan kulutuksen hiilijalanjälkeen. Tämän jälkeen tarkasteltiin ympäristövaikutusten arvioinnin vaiheita keskittyen tuotteen hiilijalanjäljen selvittämiseen sekä tarkasteltiin tuotteen elinkaarta ja esitettiin myös työssä tarkasteltavien tuotteiden elinkaaren vaiheet. Teoriaosuuksien jälkeen esitettiin saadut tulokset, vertailtiin kasviproteiinien hiilijalanjälkiä eri näkökulmista, pohdittiin mistä havaitut erot voivat johtua sekä miten tutkimusten väliset erot ovat mahdollisesti vaikuttaneet kasviproteiinille muodostuvaan hiilijalanjälkeen. Lopuksi tarkasteltiin hieman vastuullisuuden vaikutusta elintarvikkeelle muodostuvaan hiilijalanjälkeen.

Työn tuloksien perusteella voidaan todeta, että kasviproteiinien hiilijalanjälkien välillä esiintyy selviä eroja, mutta kaikki tutkittavat kasviproteiinit olivat eläinperäisiin proteiininlähteisiin verrattuna ympäristön kannalta parempia vaihtoehtoja. Tuotteen hiilijalanjälkeen vaikuttaa useat osatekijät ja tuotteen hiilijalanjäljen tarkastelussa tulee selvittää tarkasti millä rajauksilla tarkastelu on tehty, jotta hiilijalanjäljet ovat vertailukelpoisia. Vertailun avulla saadaan tuotettua tärkeää tietoa proteiininlähteiden hiilijalanjälkien eroista ja tuloksia voidaan hyödyntää muun muassa apuna ympäristötavoitteisiin pääsemisessä sekä tuotteiden hiilijalanjälkien pienentämisessä.

Lähteet

Ahonen, K., Ainonen, M., Arvez, E., Leppänen, A., Lundén, E., Malin, S. 2022. LCA-työkalujen vertailu. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.8.2022]. Saatavissa: https://telaketju.turkuamk.fi/uploads/2020/12/20004c77-telaketju-webinaari_2020_12_lca.pdf

Arffman, S. 2020. Evintecpolis Oy: Ruokien ravitsemus ja hiilipäästöt. [verkkodokumentti]. [viitattu: 25.8.2022]. Saatavissa: https://www.mtk.fi/documents/20143/0/2020+11+MTK+hiililaskenta+tulosesitys+lyhyt+%284%29.pdf/802101f5-0c4f-37fa-d324-ee849a661281?t=1606315146198

Audsley, E., Brander, M., Chatterton, J., Murphy-Bokern, D., Webster, C., Williams, A. 2010. How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope to reduce them by 2050. WWF-UK. [verkkodokumentti]. [viitattu: 12.8.2022]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/309309428_How_low_can_we_go_An_assessment_of_greenhouse_gas_emissions_from_the_UK_food_system_and_the_scope_for_to_reduction_them_by_2050

BCG. 2022. Food for Thought: The Protein Transformation. [verkkosivu]. [viitattu: 6.6.2022]. Saatavissa: https://www.bcg.com/publications/2021/the-benefits-of-plant-based-meats

EDGAR-FOOD. 2022. A global emission inventory of GHGs from the food systems. [verkkosivu]. [viitattu: 6.6.2022]. Saatavissa: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/edgar_food

EeBGuide. 2012. G-10 Definition of system boundaries for products. [verkkosivu]. [viitattu: 28.8.2022]. Saatavissa: https://www.eebguide.eu/eebblog/?p=1241

Energy Education. 2022. Environmental Impact. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 19.8.2022]. Saatavissa: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Environmental_impact

Erkkola, R., Meinilä, J. & Saarinen, M. 2021. Ekologinen kestävyys osaksi pohjoismaisia ravitsemussuosituksia. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 27.7.2022]. Saatavissa: https://suomenravitsemustieteenyhdistys.fi/ekologinen-kestavyys-osaksi-pohjoismaisia-ravitsemussuosituksia/

Fineli. 2022a. Linssi, punainen, kuivattu. [verkkosivu]. [viitattu: 8.9.2022]. Saatavissa: https://fineli.fi/fineli/fi/elintarvikkeet/31219?q=linssi&foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=points&sortOrder=asc&component=2331&

Fineli. 2022b. Tofu, kova/kiinteä, soijavalmiste. [verkkosivu]. [viitattu: 8.9.2022]. Saatavissa: https://fineli.fi/fineli/fi/elintarvikkeet/35619?q=tofu&foodType=ANY&portionUnit=G&portionSize=100&sortByColumn=points&sortOrder=asc&component=2331&

Hamerschlag, K. 2011. Meat eater's guide to climate change + health. [verkkodokumentti]. [viitattu: 12.8.2022.]. Saatavissa: https://static.ewg.org/reports/2011/meateaters/pdf/report_ewg_meat_eaters_guide_to_health_and_climate_2011.pdf

Hannuksela, M. 2021. Globaali lihankulutus kasvussa – Suomessa tasaista. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 19.7.2022]. Saatavissa: https://www.lihakeskusliitto.fi/globaali-lihankulutus-kasvussa-suomessa-tasaista/

Ilmasto-opas. 2020. Ilmastonmuutosta voi hillitä ilmastoystävällisellä ruokavaliolla. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 7.6.2022]. Saatavissa: https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ilmastonmuutosta-voi-hillita-ilmastoystavallisella-ruokavaliolla

Ilmastoviisas. 2022. Ruoan ilmastovaikutukset. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 6.6.2022]. Saatavissa: https://www.ilmastoviisas.fi/tietopaketit/ruoan-ilmastovaikutukset/

Karlsson Potter, H., Lundmark, L., Röös, E. 2020. Environmental impact of plant-based foods. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.9.2022]. Saatavissa: https://pub.epsilon.slu.se/17699/1/Report112.pdf

Katajajuuri, J. 2020. Totta ja tarua ruoan hiilijalanjäljestä. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.7.2022]. Saatavissa: https://mmm.fi/documents/1410837/1890227/Katajajuuri+Ruoan+hiilijalanj%C3%A4lki+fi.pdf/6c55e058-27ea-0dc0-e7a6-426768999a3d/Katajajuuri+Ruoan+hiilijalanj%C3%A4lki+fi.pdf?t=1581710988000

Koistinen, M. 2020 Soija syynissä: ruoaksi, rehuksi vai boikottiin? [verkkojulkaisu]. [viitattu 6.11.2022]. Saatavissa: https://wwf.fi/uutiset/2020/01/soija-syynissa-ruuaksi-rehuksi-vai-boikottiin/

Koivupuro, H., Jalkanen, L., Katajajuuri, J., Reinikainen, A. 2010. Elintarvikeketjussa syntyvä ruokahävikki. Jokioinen: MTT. 72 s. ISBN 978-487.295-9.

Lahti, V., Lehtonen, M., Ollinen, A., Taipale, N., 2021. Ruoka-ainekortit. [verkkodokumentti]. [viitattu: 28.7.2022]. Saatavissa: https://mappa.fi/materiaalit/ruoka-ainekortit/

Lehtonen, P. 2019. Tarvitaanko lihan vai tofun tuottamiseen enemmän soijaa. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 25.8.2022]. Saatavissa: https://kuluttaja.fi/artikkelit/tarvitaanko-lihan-vai-tofun-tuottamiseen-enemman-soijaa/

Manfredi, S., Allacker, K., Chomkhamsri, K., Pelletier, N., Maia de Souza, D. 2012. European Comission: Product Environmental Footprint (PEF) Guide. [verkkodokumentti]. [viitattu: 18.8.2022]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf

Mansour, N., Volpenhein, C., Weitzel, K. 2020. [verkkodokumentti]. [viitattu: 12.8.2022]. Saatavissa: https://ecommons.udayton.edu/stander_posters/1997/

Mattila Hanna (toim.). 2016. Vähemmän lihaa: kohti kestävää ruokakulttuuria. Gaudeamus Oy. 223 s. ISBN 978-952-495-388-7.

Mejia, A., Harwatt, H., Jaceldo-Siegl, K., Sranacharoenpong, K., Soret, S., Sabaté, J. 2017. Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 12.8.2022]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/317987931_Greenhouse_Gas_Emissions_Generated_by_Tofu_Production_A_Case_Study

Nikula, J. 2012. WWF: Suomen vesijalanjälki. [verkkodokumentti]. [viitattu: 14.7.2022]. Saatavissa: https://wwf.fi/app/uploads/z/i/y/t2zi2zza3jpxr44qvrk5e2d/vesijalanjaelkiraportti_final.pdf

Nuotto, A. 2019. Suomalaiset kierrättävät maailman parhaiten pahvinsa, muovin kierrättäminen sujuu heikommin – Moni olisi valmis maksamaan enemmän uusiutuvista pakkausmateriaaleista. [verkkouutinen]. [viitattu: 7.9.2022]. Saatavissa:

https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/suomalaiset-kierrattavat-maailman-parhaiten-pahvinsa-muovin-kierrattaminen-sujuu-heikommin-moni-olisi-valmis-maksamaan-enemman-uusiutuvista-pakkausmateriaaleista/7447048#gs.bku5j7

Nurmilaakso, T. 2019. Kierrättäminen on suomalaisille itsestäänselvyys. Silti kaiken tai lähes kaiken muovin kierrättää vain 40 prosenttia suomalaisista. Kierrätyshalun ja -tekojen välissä on monia käytännön ongelmia, joiden pitäisi olla helppoja ratkaista. [verkkouutinen]. [viitattu: 7.9.2022]. Saatavissa: https://yle.fi/aihe/artikkeli/2019/01/23/lajittelemme-heikoiten-jatteita-joita-tuotamme-eniten

Our World in Data. 2016. Feed required to produce one kilogram of meat or dairy product. [verkkosivu]. [viitattu: 29.7.2022]. Saatavissa: https://ourworldindata.org/grapher/feed-required-to-produce-one-kilogram-of-meat-or-dairy-product

OpenCO_2.net. 2022. CO_2-termit tutuiksi. [verkkosivu]. [viitattu: 19.7.2022]. Saatavissa: https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa

Riipi, I., Hartikainen H., Silvennoinen K., Joensuu, K., Vahvaselkä, M., Kuisma, M., Katajajuuri, J-M. 2021. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 49/2021: Elintarvikejätteen ja ruokahävikin seurantajärjestelmän rakentaminen ja ruokahävikkitiekartta. [verkkodokumentti]. [viitattu: 7.9.2022]. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/547657/luke-luobio_49_2021.pdf

Ruokatieto. 2022a. Ruokaketjun vastuullisuus. [verkkosivu]. [viitattu: 8.9.2022]. Saatavissa: https://www.ruokatieto.fi/ruokafakta/ruokaketjun-vastuullisuus

Ruokatieto. 2022b. Ympäristövastuu kattaa elinkaaren. [verkkosivu]. [viitattu: 8.9.2022]. Saatavissa: https://www.ruokatieto.fi/ruokafakta/ruokaketjun-vastuullisuus/ymparistovastuu-kattaa-elinkaaren

Saarinen, M., Sinkko T., Joensuu, K., Silvenius, F., Ratilainen, A. 2014. Ravitsemus ja maaperävaikutukset ruoan elinkaariarvioinnissa. Jokioinen: MTT. 106 s. SustFoodChoice-hankkeen loppuraportti. ISBN PDF: 978-952-487-540-0.

Saarinen, M., Kaljonen, M., Niemi, J., Antikainen, R., Hakala, K., Hartikainen H., Heikkinen, J., Joensuu, K., Lehtonen, H., Mattila, T., Nisonen, S., Ketoja, E., Knuuttila, M., Regina, K., Rikkonen, P., Seppälä, J., Varho, V. 2019. Ruokavaliomuutoksen vaikutukset ja muutosta tukevat politiikkayhdistelmät. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia. 157 s. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:47. ISBN PDF 978-952-287-773-4.

SFS-EN ISO 14040 + A1. 2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.8.2022]. Saatavissa: https://online-sfs-fi.ezproxy.cc.lut.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1063478.html.stx

SFS-EN ISO 14044 + A1 + A2. 2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.8.2022]. Saatavissa: https://online-sfs-fi.ezproxy.cc.lut.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1096273.html.stx

SFS-EN ISO 14067. 2018. Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.8.2022]. Saatavissa: https://online-sfs-fi.ezproxy.cc.lut.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/834482.html.stx

Siitonen Sari. 2019. Kuukausi vegaanina. [verkkoartikkeli]. [viitattu: 19.7.2022]. Saatavissa: https://www.clonet.fi/ilmasto/kuukausi-vegaanina/

Sitra. 2018. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. [verkkoartikkeli]. [viitattu: 22.7.2022]. Saatavissa: https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/

Suomen ympäristökeskus. 2017. Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaariklinikkatoimintamallista pk-yrityksille. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.8.2022]. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/ToimintaMALLI_yritysten_elinkaaristen_Ymparistovaikutusten_kehittamiseksi_MALLIY

Suomen ympäristökeskus. 2019. Mistä rehevöityminen johtuu? [verkkojulkaisu]. [viitattu: 5.11.202]. Saatavissa: https://www.vesi.fi/vesitieto/mista-rehevoityminen-johtuu/

Suomen ympäristökeskus. 2022. Elinkaariarviointi tukee kestävyysmuutosta. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 17.8.2022]. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Elinkaariarviointi

Toppinen, L. 2021. Maailman muuttaminen on herkullista – Nyhtökauran alhainen hiilijalanjälki inspiroi ilmastotekoihin. [verkkosivu]. [viitattu: 28.7.2022]. Saatavissa: https://www.pauliggroup.com/fi/uutishuone/maailman-muuttaminen-on-herkullista-nyhtokauran-alhainen-hiilijalanjalki-inspiroi-ilmastotekoihin

Turun yliopisto. 2020. Kasviproteiini: Vastuullisesti hyvää terveydelle ja ympäristölle. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2022]. Saatavissa: https://www.utu.fi/sites/default/files/media/ARD/Ruokaketju%20ja%20kiertotalous/Kasviproteiini-vastuullisesti-hyvaa_pienempi.pdf

Valio. 2022. Gold&Green Nyhtökaura. [verkkosivu]. [viitattu: 10.9.2022]. Saatavissa: https://www.valio.fi/tuotteet/goldgreen-nyhtokaura/

Väisänen, J. 2009. Luomu pelastaa maailman 4/10: Vesi. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 19.7.2022]. Saatavissa: https://blogs.helsinki.fi/ruoka-ja-kestavyys/luokka/ekosysteemit-ja-luonnonvarat/vesi/

WWF. 2022a. Ruoan ympäristövaikutukset. [verkkosivu]. [viitattu: 6.6.2022]. Saatavissa: https://wwf.fi/ruoka/ruuan-ymparistovaikutukset/#muut-tuotteet-tuotantotavat-havikki-pakkaukset-ravitsemus-seka-elain-ja-ihmisoikeudet

WWF. 2022b. Ylikulutus. [verkkosivu]. [viitattu: 6.6.2022]. Saatavissa: https://wwf.fi/uhat/ylikulutus/

Yle uutiset. 2021. Kasviproteiinien kulutus valtavirtaistuu ja kasvaa pikavauhtia, lihankulutus laskenut kahtena vuotena – K-ryhmä: Peilaa osaltaan lihansyöntiin. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 6.6.2022]. Saatavissa: https://yle.fi/uutiset/3-11974813

Ymparisto.fi. 2019. Suomen kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki kasvussa, julkisten hankintojen hiilijalanjälki laskettu ensimmäistä kertaa. [verkkosivu]. [viitattu: 29.7.2022]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Suomen_kotitalouksien_kulutuksen_hiilija(49873)