

**SUOMALAISEN MAIDON- JA NAUDANLIHANTUOTANNON
KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT ERI
TUOTANTOSKENAARIOISSA**

Tuuli Hakala
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden osasto
Kotieläintiede
2019

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author Tuuli Hakala			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Suomalaisen maidon- ja naudanlihantuotannon kasvihuonekaasupäästöt eri tuotantoskenaarioissa			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläintiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Elokuu 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 54 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Maidon- ja naudanlihantuotannon kasvihuonekaasupäästöjä on pyrittävä vähentämään ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää maidon keskituotoksen, lehmien kestävyuden, hedelmällisyyden ja elopainon, vasikkakuolleisuuden sekä lypsylehmien ruokinnan yhteyttä maidon- ja naudanlihantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen kehitykseen. Tarkastelu tehtiin tuotantosuunnittain ja koko nautasektorilla yhteensä vuotuisen maidon ja naudanlihan kokonaistuotannon pystyessä jokaisessa skenaariossa vakiona.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä käytettiin FAO:n (Food and Agriculture Organization of the United Nations) kehittämää elinkaariarviointiin (LCA, Life Cycle Assessment) perustuvaa GLEAM-mallia (Global Livestock Environmental Assessment Model). Laskelmat tehtiin GLEAM-<i>i</i>-työkalulla.</p> <p>Tulosten mukaan maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöt laskivat, kun maidon keskituotos nousi, lehmien kestävyys parani ja elopaino pieneni. Vasikkakuolleisuuden alentuminen tai lypsykarjan hedelmällisyyden kohentuminen eivät vaikuttaneet maidontuotannon päästöihin. Naudanlihantuotannon painopiste vaihteli skenaarioissa maitosysteemin ja emolehmätuotannon välillä, minkä vuoksi myös kasvihuonekaasupäästöt siirtyivät systeemistä toiseen. Nautasektorin kokonaispäästöt laskivat maidon keskituotoksen noustessa, lehmien hedelmällisyyden kohentuessa, vasikkakuolleisuuden vähentyessä ja lypsylehmien elopainon laskiessa. Väkirehun osuuden nosto lypsylehmien ruokinnassa pienensi maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä. Ruokintaan liittyvien tulosten osalta on huomioitava, että laskennassa ei ole mukana maankäytön muutosta eikä rehuntuotannon hiilensidontaa.</p> <p>Tämän tutkimuksen perusteella suomalaisen maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää ja lypsykarjan keskeiset jalostustavoitteet tukevat ilmastotehokuuden edistämistä. Lypsylehmien elopainoa tulisi mahdollisesti rajoittaa. Maidon- ja naudanlihantuotannon kytkeytyneisyys tulee kuitenkin huomioida ja päästöjen kehittymistä seurata koko nautasektorin näkökulmasta.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Maidontuotanto, naudanlihantuotanto, kasvihuonekaasupäästöt, elinkaarimallinnus, GLEAM			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden osasto ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Jarmo Juga			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Tuuli Hakala			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Greenhouse Gas Emissions of Finnish Milk and Beef Production in different Production Scenarios			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal Science			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year August 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 54 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Efforts must be made to reduce greenhouse gas emissions from dairy and beef production in order to curb climate change. The aim of this study was to investigate the impact of milk yield, longevity, fertility and live weight of dairy cows, calf mortality and feeding of dairy cows on greenhouse gas emissions of dairy and beef production. The analysis was carried out by production systems and by the total bovine sector, with total annual milk and beef production in each scenario being constant.</p> <p>The research method used was the Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) based on Life Cycle Assessment (LCA) developed by FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Calculations were made using the GLEAM-<i>i</i> -tool.</p> <p>The results showed that greenhouse gas emissions from milk production fell as average milk yield increased, cow longevity improved and liveweight decreased. Decreased calf mortality or improved fertility of dairy herds did not affect milk output. The focus of beef production varied between the milk system and suckler cow production in the scenarios, which also led to a shift of greenhouse gas emissions from one system to another. Total bovine sector emissions decreased as average milk yields increased, cow fertility improved, calf mortality decreased and dairy cows liveweight decreased. Increasing the proportion of concentrates in dairy cattle feeding reduced the greenhouse gas emissions of milk. Regarding feeding results, it should be noted that the calculation does not include land use change or carbon capture in feed production.</p> <p>Based on this study, it is possible to reduce the greenhouse gas emissions of Finnish milk production and the main breeding goals of dairy cattle support the promotion of climate efficiency. The live weight of dairy cows should possibly be limited. However, the interconnectedness of milk and beef production should be taken into account and the changes in emissions in dairy and beef cattle should be monitored simultaneously.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Dairy, Beef, Greenhouse Gas Emissions, Life Cycle Assessment, GLEAM			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Jarmo Juga			

SISÄLLYS

LYHENTEET JA SYMBOLIT	6
1 JOHDANTO	7
2 KASVIHUONEKAASUT	8
2.1 Kotieläintuotannon kasvihuonekaasupäästöt	8
2.2 Maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen	9
2.3 Maidon- ja naudanlihantuotannon päästöjen kytkeytyminen yhteen	11
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	13
4 MENETELMÄ JA AINEISTO	14
4.1 Elinkaariarviointi.....	14
4.2 GLEAM.....	15
4.2.1 GLEAM- <i>i</i> -mallinnustyökalu.....	16
4.2.2 Virhe GLEAM- <i>i</i> -mallinnustyökalussa.....	17
4.2.3 Mallin käyttämät tunnusluvut.....	18
4.3 Lähtötaso: nykyinen maidon- ja naudanlihantuotantosysteemi.....	18
4.3.1 Mallinnuksessa käytetyt parametrit.....	18
4.4 Skenaariot	21
4.4.1 Maitotuotoksen muutos	21
4.4.2 Kestävämmät lypsylehmät	22
4.4.3 Hedelmällisemmät lypsylehmät	22
4.4.4 Kevyemmät lypsylehmät	23
4.4.5 Alhaisempi vasikkakuolleisuus lypsykarjoissa	23
4.4.6 Liharoturisteytysten käyttö maitosysteemin lihantuotannossa	24
4.4.7 Väkirehun osuuden muutos ruokinnassa	24
5 TULOKSET	26
5.1 Lähtötaso	26
5.2 Maitotuotoksen muutos	27
5.2.1 Alhaisempi maitotuotos	28
5.2.2 Korkeampi maitotuotos	29
5.3 Kestävämmät, hedelmällisemmät ja kevyemmät lypsylehmät.....	29
5.3.1 Kestävämmät lypsylehmät	30
5.3.2 Hedelmällisemmät lypsylehmät	31
5.3.3 Kevyemmät lypsylehmät	31
5.4 Alhaisempi vasikkakuolleisuus lypsykarjoissa.....	31
5.5 Liharoturisteytysten käyttö lypsylehmille lypsykarjatiljoilla.....	32
5.6 Väkirehun osuuden muutos ruokinnassa	33
6 TULOSTEN TARKASTELU	35
6.1 Lähtötaso	35
6.2 Maitotuotoksen muutos	36
6.2.1 Maidontuotannon päästöt	36
6.2.2 Maidon- ja naudanlihantuotannon päästöt.....	37
6.3 Kestävämmät, hedelmällisemmät ja kevyemmät lypsylehmät.....	38
6.3.1 Kestävämmät lypsylehmät	38
6.3.2 Hedelmällisemmät lypsylehmät	38
6.3.3 Kevyemmät lypsylehmät	39

6.4 Alhaisempi vasikkakuolleisuus lypsykarjoissa	39
6.5 Liharoturisteytysten käyttö maitosysteemin lihantuotannossa	40
6.6 Väkirehun osuuden muutos ruokinnassa	40
6.7 Skenaarioiden välinen vertailu ja yhdistelmät	41
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	42
8 POHDINTA	43
8 KIITOKSET	45
LÄHTEET	46

LYHENTEET JA SYMBOLIT

KHK kasvihuonekaasut (Greenhouse gas, GHG)

CO₂-ekv. hiilidioksidiekvivalentti

IPCC hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change)

EKM energiakorjattu maito (kg)

LCA elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment)

GLEAM Global Livestock Environmental Assessment Model

1 JOHDANTO

Maidontuotanto on väestönkasvun ja kuluttajien lisääntyneen kysynnän vuoksi kasvanut vuosien 2005-2015 aikana globaalisti 30 % ja sen päästöt vastaavasti 18 % (FAO ja GDP 2018). Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja nautakarjatuotannon hyväksyttävyyden säilyttämiseksi tuotantoa on kehitettävä resurssitehokkaammaksi paikallisia ympäristöhaittoja välttämällä ja eläinten hyvinvoinnista tinkimättä. Hiilineutraaliudesta on tullut lyhyessä ajassa myös kilpailuvaltti.

Suomalaisen nautakarjatalouden osuus koko maan kasvihuonekaasupäästöistä on noin viisi prosenttia (luku ei sisällä maaperän päästöjä, maankäytön muutosta eikä energiankulutusta) (SVT 2019). Maidontuotannon ilmastotehokkuus on parantunut viimeisten vuosikymmenten aikana eläinjalostuksen ja ruokinnan ansiosta, mutta päästöt ovat edelleen merkittäviä. Maidon- ja naudanlihantuotanto kytkeytyy Suomessa yhteen, joten päästöjen vähennystoimien vaikuttavuutta tulisi tarkastella tuotantosuuntien lisäksi koko nautasektorin näkökulmasta.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lypsykarjan keskeisten jalostustavoitteiden maidon keskituotoksen, kestävyys- ja hedelmällisyyden sekä lehmien elopainon, vasikkakuolleisuuden ja ruokinnan yhteyttä maidon- ja naudanlihantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen kehitykseen. Tarkastelu tehtiin tuotantosuunnittain ja koko nautasektorilla yhteensä vuotuisen maidon ja naudanlihan kokonaistuotannon pystyessä jokaisessa skenaariossa vakiona.

2 KASVIHUONEKAASUT

Ilmastonmuutos tarkoittaa maailmanlaajuisista ilmaston lämpenemistä, joka johtuu kasvihuonekaasujen (KHK) lisääntymisestä ilmakehässä. Suoria kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), dityppioksidi/typpioksiduuli (N₂O), HFC- ja PFC-yhdisteet (fluorihiihi- ja perfluorihiihivedyt), rikkiheksafluoridi (SF₆) ja typpitrifluoridi (NF₃). Lisäksi seurataan seuraavia yhdisteitä: hiilimonoksidi (CO), typen oksidit (NO_x), rikkioksidi (SO₂) ja muut kuin metaania sisältävät haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC). Kasvihuonekaasupäästöt arvioidaan aktiviteettitietojen ja päästökertoimien perusteella ja ne muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂-ekv.). CO₂-ekv. on hiilidioksidin ilmastoaa lämmittävään vaikutukseen suhteutettu yhteismitta, jolla voidaan laskea yhteen kaikkien kasvihuonekaasujen yhteisvaikutus (SVT 2019a).

Valtiokohtaisia kasvihuonekaasupäästöjä seurataan IPCC:n eli hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change) kansainvälisen ohjeistuksen mukaisesti (IPCC 2006). Kotieläintuotannon päästöjen laskemiselle on siinä oma säännöstönsä.

2.1 Kotieläintuotannon kasvihuonekaasupäästöt

Kotieläintuotannon kasvihuonekaasupäästöillä on merkittävä rooli ilmastonmuutoksessa. Maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä 14,5 % (7,1 gigatonnia CO₂-ekv. / vuosi) on kotieläintuotannon aiheuttamia (Gerber ym. 2013). Opiion ym. (2013) selvityksen mukaan märehitjät tuottavat 80 % kotieläintuotannon päästöistä, joista 35 % on peräisin naudanlihan- ja 30 % maidontuotannosta. Nautakarjatuotannon tärkeimmät kasvihuonekaasut ovat metaani, dityppioksidi ja hiilidioksidi.

Tilastokeskuksen (2018) raportin mukaan Suomen maatalouden kokonaiskasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2016 noin 6,5 milj. t CO₂-ekv. Tämä oli 11 % maan kokonaispäästöistä 58,8 milj. t CO₂-ekv. Lukuun sisältyy metaani- ja dityppioksidipäästöt tuotantoeläinten ruoansulatuksesta (32 %, josta 90,5 % nautakarjasta), lannasta (11 %) ja viljellystä maaperästä (52 %). Tämän lisäksi maatalousperäisiä hiilidioksidipäästöjä tulee maaperästä, kalkituksesta ja

energiankäytöstä. Nämä kaikki huomioiden maataloustuotannon osuus koko maan kasvihuonekaasupäästöistä on noin 20 % eli 11,8 milj. t CO₂-ekv. (Regina ym. 2014, Pulkkinen ym. 2018). Kotieläinten osuus näistä päästöistä on merkittävä, sillä rehunsulatuksen ja lannankäsittelyn 43 % osuuden lisäksi peltoalasta noin 70 % on rehuntuotannossa ja tästä 30 % nurmiviljelyssä nautakarjaa varten (Pulkkinen ym. 2018). Pelkän suomalaisen maidontuotannon kokonaispäästöjä ei ole toistaiseksi laskettu tarkemmin. Haasteita laskentaan luo muun muassa rehuntuotannon jakautuminen hyvin erityyppisille pelloille ja alueille sekä viljelydatan rajalliset erottelumahdollisuudet (henkilökohtainen tiedonanto Pulkkinen, Hannele, 10.7.2019 Luke).

2.2 Maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen

Maidontuotannon kasvihuonekaasujen vähentämiseksi on esitetty muun muassa maidon tuotostason nostoa (Capper ja Bauman 2013, Bell ym. 2014), lypsylehmien kestävyuden, terveyden ja hedelmällisyyden parantamista (de Boer ym. 2011, Bell ym. 2014, Grandl ym. 2018), lypsylehmän elopainon pienentämistä ja rodun vaihtoa pienemään, esimerkiksi holsteinista jerseyhin (Capper ja Cady 2012, Vellinga ja de Vries 2018).

Maidon keskituotoksen nousu liittyy tuotannon tehokkuuden parantumiseen. FAO ja GDP (2018) raportoivat lypsykarjan määrän nousseen globaalisti vuosien 2005-2015 aikana 11 %. Samalla aikavälillä myös maidon keskituotos lypsylehmää kohti on parantunut 15 %. Tuotekilokohtaisia kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää maidontuotannon tehostamisen kautta edelleen, sillä tilojen välisissä resurssitehokkuuksissa on suuria eroja (Gerber ym. 2013, FAO ja GDP 2018).

Lypsylehmien kestävyyttä edistetään jalostuksella ja eläinten hyvällä hoidolla. Kestävyyttä voidaan kuvata esimerkiksi karjan uudistusprosentilla, lypsylehmien tuotantoiän pituudella ja elinikäistuotoksella. Weiskea ym. (2006) ja Wolf ym. (2017) totesivat tutkimuksissaan lypsykarjan uudistusprosentin laskun vähentävän maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä. Lehmien tuotosiän pidentymisellä ja korkeammalla elinikäistuotoksella (Grandl ym. 2018), parantuneella hedelmällisyydellä sekä vasikkakuolleisuuden laskulla (Crosson ym. 2011) on sama vaikutus. Taustalla on Huuskosen ja Pesosen (2014) raportissa todettu epäsuora vaikutus eli kun naaraspuoleisten eläinten tarve tuotannossa vähenee, myös tuotekilokohtainen

ilmastokuormitus laskee. Bell ym. (2014) mukaan eläinten terveysominaisuuksiin kannattaa panostaa hyvinvointi- ja talousnäkökulman lisäksi myös ilmastosyistä. Tulosten perusteella utaretulehdusten ja ontumisien vähentyminen laskee maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä.

Lypsylehmien elopaino on noussut jalostusvalinnan seurauksena (Hietanen ja Ojala 1995). Bell ym. (2014) mukaan lehmien elopainon lasku pienentää tuotetun maitokilon kasvihuonekaasupäästöjä. Yksilöiden välillä on eroja ylläpitoenergian tarpeessa, rehun hyväksikäyttökyvyssä ja metaanintuotannossa. Näitä ominaisuuksia mittaamalla ja jalostamalla voidaan parantaa lypsykarjan geneettistä ilmastotehokkuutta (Waghorna ja Hegarty 2011, Hietala ym. 2014b, Hietala ja Juga 2017, Negussie ym. 2017).

Eläinperäisten tekijöiden lisäksi kasvihuonekaasuja voidaan rajoittaa lypsykarjan ruokinnan ja lannankäsittelyn muutoksilla. Muun muassa rypsiöljyn lisäämisellä ruokintaan on todettu päästöjä alentavia vaikutuksia (Regina ym. 2014). Guyadera ym. (2017) tutkimuksessa maissipohjaisen ruokinnan ilmastovaikutukset olivat 13 % ohrapohjaista pienemmät. Väkirehun osuuden lisäämisen suhteessa karkearehuun on todettu vähentävän maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä (de Boer ym. 2011). Väkirehuprosentin nostoon tulisi kuitenkin suhtautua varauksella, sillä viljelytoimenpiteiden ilmastovaikutuksissa ei useinkaan ole huomioitu kaikkia maaperän ja maankäytön muutoksen päästöjä eikä toisaalta myöskään hiilen sitoutumista maaperään. Elinkaarilaskelmien tulokset muuttunevat, kun esimerkiksi nurmenviljelyn hiilensidonta saadaan mukaan laskelmiin (Gerber ym. 2013).

Flysjön ym. (2012) maankäytön muutokseen liittyvässä tutkimuksessa vertailtiin tavanomaisesti ja luonnonmukaisesti (luomu) tuotetun maidon ilmastovaikutuksia. Kasvihuonekaasupäästöt olivat pienemmät luomumaidolla, jossa ei käytetty soijaa. Jos soijaa ei huomioitu, luomun päästöt olivat suuremmat alhaisemman tuotantointensiteetin vuoksi. Rehuntuotannon hehtaarikohtaiset satotasot vaikuttavat siis suoraan maidon tuotekilo kohtaisiin päästöihin. Lannankäsittelyn päästövähennysmahdollisuudet liittyvät lannan varastointiin, levitykseen, kompostointiin, mädätykseen ja biokaasuntuotantoon (Gerber ym. 2013).

Kotieläintuotannon metaani-, dityppioksidi- ja hiilidioksidipäästöt kertovat ilmastovaikutusten lisäksi myös tuotantopanosten eli energian, ravinteiden ja orgaanisen

maaperäaineksen karkaamisesta tuotantokierrosta. Kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiselle on siten myös taloudellisia perusteita (Gerber ym. 2013).

2.3 Maidon- ja naudanlihantuotannon päästöjen kytkeytyminen yhteen

Maidontuotannon sivutuotteena syntyy naudanlihaa teurastetuista lypsylehmistä ja ylimääräisistä vasikoista. Suomessa tuotetaan naudanlihaa noin 86,7 milj. kg / vuosi (SVT 2019b). Tästä yli 80 % on peräisin maitosysteemin eläimistä ja loput emolehmätuotannosta eli varsinaisista liharotuisista naudoista (Luke 2016). Maidontuotannon sivutuotteena syntyvän naudanlihan tuotannon ilmastovaikutukset ovat selvästi vähäisemmät verrattuna emolehmätuotannosta syntyvään naudanlihaan, sillä siinä tuotantoresurssit jakautuvat sekä maidon- että naudanlihantuotannolle (Nemecek ym. 2013, Hietala ym. 2014a, Huuskonen ja Pesonen 2014, De Vries ym. 2015, Hietala ja Juga 2017). Huuskosen ja Pesosen (2014) kirjallisuuskatsauksen mukaan emolehmien tuottaman naudanlihan ilmastovaikutus on maitosysteemin lihantuotantoon verrattuna keskimäärin 25,7 % korkeampi. Nguyen ym. (2010) raportoivat vastaavaksi luvuksi 52,1% (keskimäärin Euroopan unionin alueella). Mogensenin ym. (2015) tutkimuksessa rotukarjaan perustuvan lihantuotannon ilmastovaikutuksen arvioitiin olevan Tanskassa ja Ruotsissa 2,6-kertainen verrattuna 9-19 kk iässä teurastettujen lypsyrotuisten sonnien lihaan.

Maidon- ja naudanlihantuotannon päästöt kytkeytyvät yhteen. Zehetmeier ym. (2011) tutkivat maidon ja naudanlihan tuotantosysteemejä ja huomasivat, että kokonaistuotantomäärien ollessa vakioita maidon keskituotoksen nousu vähensi maidontuotannon ilmastovaikutuksia, mutta nosti naudanlihantuotannon päästöjä. Vastaavia tuloksia saivat vuonna 2018 myös Vellinga ja De Vries (2018). He tutkivat hollantilaisen maidon- ja naudanlihantuotannon kasvihuonekaasupäästöjä ja mallinsivat GLEAMin (Global Livestock Environmental Assessment Model) avulla erilaisia tuotantoskenaarioita. Maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöt energiakorjattua maitokiloa (EKM) kohden laskivat, kun lehmien elinikää pidennettiin, lehmäkohtaista maitotuotosta nostettiin, poikimisväliä pidennettiin tai lypsylehmien elopaino laski rodun vaihtuessa holsteinista jerseyhin. Mallissa oli mukana myös maidontuotannon yhteydessä syntyvän naudanlihan määrä ja ilmastovaikutus. Näissä skenaarioissa maidontuotannosta syntyvän naudanlihan kokonaismäärä pieneni ja puuttuva osa korvattiin

emolehmätuotannosta tulevalla lihalla. Vellinga ja De Vries (2018) totesivat, että vaikka maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöt vähenivät, emolehmätuotannon ilmastovaikutukset vastaavasti kasvoivat. Tämän seurauksena nautojen kokonaispäästöt jäivät lähes alkuperäiselle tasolle. Myös Flysjö ym. (2012) raportoivat, että kun maidontuotannon elinkaariarvioinnissa (LCA, Life Cycle Assessment) huomioidaan sivutuotteena syntyvän naudanlihan tuotannon kasvihuonekaasupäästöt, lehmäkohtaisen maitotuotoksen nosto ei automaattisesti vähennä koko nautasysteemin päästöjä. De Boer (2011), O'Brien ym. (2011) ja Rotz (2018) korostavatkin LCA-mallien jatkuvan kehittämisen tärkeyttä, jotta maidontuotannon monimutkaiset biologiset prosessit, sivuvirtojen päästöt ja erilaiset takaisinkytkennät saataisiin laajemmin mukaan tarkasteluun. Bonesmon ym. (2013) tutkimuksessa esiin tuli myös merkittävät tilakohtaiset erot maidon ja naudanlihan tuotekiloکوhtaisissa kasvihuonekaasupäästöissä. Tämän perusteella tilakohtainen tarkastelu voi tuoda keskivertolaskelmiin verrattuna esiin uudenlaisia päästöjen vähentämismahdollisuuksia.

Maidon- ja naudanlihantuotannon kytkeytyneisyys tulisi huomioida myös allokoinnissa eli päästöjen kohdentamisessa eri tekijöille. Cederbergin ja Stadigin (2003) mukaan taloudellinen allokointi suosii naudanlihaa, joten allokointitapoja tulisi olla useampia luotettavien tulosten saamiseksi. Salou ym. (2016) vertailivat tuotekilo- ja hehtaariperusteista allokointia maidontuotannon päästöille ja totesivat, että tulokset poikkesivat toisistaan huomattavasti. Tämän vuoksi erilaisia allokointimenetelmiä tulisi käyttää rinnakkain nautakarjatalouden ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Jos tavoitteeksi otetaan tuottaa mahdollisimman suuri osa naudanlihasta maidontuotannon sivutuotteena, on tarkasteltava lypsykarjan uudistusmenetelmää ja siemennyksiä. Liharoturisteysten ja lajitellun siemenen käyttö lisää maidontuotannosta saatavan lihan määrää. Hietalan ym. (2014a) mallinnuksessa liharoturisteystysten laajamittaisempi käyttö ja Y-lajitellun siemenen käyttö liharodulla siemennettäville lehmille johti suurempiin teuraspainoihin lihantuotantopuolella. Hietalan ja Jugan (2017) tutkimuksessa todettiin, että koska Suomessa suuri osa naudanlihasta tulee maitosysteemistä, kannattaa lypsylehmien jalostusohjelmassa painottaa myös teuraspainoja.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli mallinnuksen avulla selvittää eri maidon- ja naudanlihan tuotantostrategioiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin Suomessa. Tarkastelun kohteena oli lypsykarjan maitotuotos, kestävyys, hedelmällisyys, vasikkakuolleisuus, lehmien elopaino, liharoturisteytysten käyttö ja ruokinnan väkirehun osuus. Päästöjen muutoksia tutkittiin kymmenessä eri skenaariossa maidon- ja naudanlihantuotannon osalta erikseen ja koko nautasektorilla yhteensä. Jokaisessa skenaariossa vuotuinen maidon ja naudanlihan tuotantomäärä pidettiin vakiona ja ainoastaan eläinmäärät lypsy- ja emolehmäkarjoissa muuttuivat tarkasteltavan parametrin lisäksi.

Kirjallisuuteen perustuen hypoteesina oli, että kasvihuonekaasupäästöt maitosektorilla laskevat, kun maidon tuotostaso nousee, lehmien kestävyys ja hedelmällisyys paranee, lehmien elopaino pienenee tai väkirehuprosentti nousee. Vasikkakuolleisuuden alentumisen ja liharoturisteytysten käytön lisäämisen oletettiin laskevan naudanlihantuotannon päästöjä. Maidon ja naudanlihan kokonaistuotannon ollessa vakioita hypoteesina oli, että esimerkiksi maidon tuotostason noustessa lypsylehmien tarvittava kokonaismäärä laskee ja naudanlihantuotanto maitosektorilta pienenee. Tällöin emolehmiä tarvitaan enemmän kattamaan puuttuva naudanlihamäärä, minkä seurauksena kasvihuonekaasupäästöt kasvavat emolehmäsektorin kautta. Tavoitteena oli tutkia, miten kokonaispäästöt muuttuvat tässä tapauksessa.

4 MENETELMÄ JA AINEISTO

Tutkimusmenetelmänä käytettiin FAO:n (Food and Agriculture Organization of the United Nations) kehittämää elinkaariarviointiin perustuvaa GLEAM-mallia (Global Livestock Environmental Assessment Model). GLEAM-*i*-työkalu on ladattavissa FAO:n internetsivuilta (FAO 2017a).

4.1 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment) on yleisesti käytetty menetelmä mitata ruoantuotannon ympäristövaikutuksia. LCA:n avulla on mahdollista mallintaa elintarvikeketjun monimutkaisia kytköksiä ja tarkastella tuotteiden koko elinkaaren kestävyyttä (Bertrand 2017). Menetelmä perustuu kansainväliseen ISO 14040:2006 -standardointijärjestelmään, jossa on määritelty tuotantosysteemin elinkaareissa huomioitavat panokset, tuotteet ja potentiaaliset ympäristövaikutukset (ISO 2006).

LCA:lla voidaan arvioida muun muassa tuotteen kasvihuonekaasupäästöjä (hiilijalanjälki), ympäristön happamoitumista, rehevöitymistä ja maankäytönmuutoksia (SYKE 2017). Menetelmässä oleellista on systeemirajaus, joka määrittää arviointiin sisältyvät toimintaketjun osat eli sen, mitkä panokset ja tuotteet otetaan mukaan laskentaan. Bertrandin (2017) mukaan rajaus riippuu tutkimuksen tavoitteista. Vertailtaessa tuotteita tuoteryhmän sisällä systeemirajauksen on oltava kaikissa arvioinneissa sama. Arvioitavan tuotteen tai palvelun yksikön määrittäminen on myös keskeistä. Yksikkö voi olla esimerkiksi yksi kilo (kg) raakamaitoa, energiakorjattua maitoa (EKM) tai proteiinia. Allokointitapoja on useita ja jokainen niistä antaa tuloksen eri näkökulmasta. Allokointi voi perustua esimerkiksi tuotteen ravintoaine- tai energiasisältöön tai taloudelliseen arvoon. Laadukas LCA-analyysi antaa jokaiselle allokointitavalle erilaisen tuloksen (Bertrand 2017).

LCA:n vahvuus on holistinen tarkastelutaso ja mahdollisuus käyttää runsaasti erilaisia tunnuslukuja (ISO 2006). Menetelmän avulla voidaan lisäksi etsiä keinoja pienentää tuotteiden ja palveluiden ympäristökuormaa. Erilaisia skenaarioita vertailemalla voidaan tunnistaa ympäristön kannalta kriittiset kohdat elinkaareissa ja pyrkiä tiedon avulla

pienentämään kuormitusta. LCA-mallinnuksen avulla voidaan myös havaita ja ehkäistä ympäristövaikutusten siirtyminen elinkaaren vaiheesta toiseen (Opio ym. 2013). Esimerkiksi maidontuotantosysteemit vaihtelevat suuresti eri puolilla maapalloa, ja LCA toimii hyvin tällaisten prosessien vertailussa (Flysjö ym. 2012).

LCA-menettelyn heikkoutena maataloustuotteiden ympäristövaikutusten arvioinnissa on ruokaketjun kompleksisuus ja biologisiin prosesseihin liittyvät haasteet (Opio ym. 2013). Rajalliset mahdollisuudet mittareiden ja tunnuslukujen löytämisessä johtavat jossain tapauksissa yleistykseen, mikä voi heikentää tulosten luotettavuutta. Myös Flysjön ym. (2012) tutkimuksessa todettiin, että LCA menetelmänä on ristiriitainen erityisesti silloin, kun lasketaan tuotteen aiheuttamia maankäytön muutoksia, kasvihuonekaasupäästöjä tai biodiversiteettivaikutuksia. Kuten kirjallisuuskatsauksessakin todettiin, ongelma on erilaisten laskentatapojen kirjo. Flysjö ym. (2012) tekemässä vertailussa maidontuotannon aiheuttamaan maankäytönmuutokseen liittyvät LCA-tulokset vaihtelivat merkittävästi. Menetelmästä riippuen luonnonmukaisesti tuotetun maidon kasvihuonekaasupäästöt olivat -40 %:n ja +50 %:n välillä verrattuna tavanomaisesti tuotettuun maitoon.

4.2 GLEAM

GLEAM mallintaa kotieläintuotannon biofysikaalisia prosesseja ja ympäristövaikutuksia elinkaariarvioinnin keinoin. Laskenta perustuu IPCC:n (2006) kriteereihin. Mallin avulla halutaan lisätä ymmärrystä kotieläinsektorin kasvihuonekaasupäästöistä eri tuotannon vaiheissa ja löytää sitä kautta ratkaisuja päästöjen vähentämiseksi (Gerber ym. 2013). GLEAM kattaa kuusi eläinlajia ja niiden ihmisravinnoksi tuottamaa tuotetta: maito ja liha naudasta, puhvelista, lampaasta ja vuohesta; liha siasta ja liha sekä munat kanasta (FAO 2017b).

GLEAM laskee hiilidioksidi-, metaani- ja typpidioksidipäästöt eri kotieläintuotannon osille *cradle-to-gate*-rajauksella (maatilan portille asti). Malliin ei siis sisälly eläintuotteiden kuljetuksia tilalta teurastamoon. FAO:n (2017b) mukaan tällaista maakohtaista tietoa on vaikea saada, mikä voisi heikentää paikallisten päästöennusteiden laatua. Rajaukseen kuuluu muun muassa eläinryhmien dynamiikka, rehuntuotanto, ruokinta, ruoansulatus, tuotantorakennusten ylläpito, energiankäyttö ja lannankäsittely.

Päästöjen arvioinnissa käytetään Tier 2 -menetelmää. Tier 2 sisältää tuotannon suorien päästöjen, kuten eläinten ruoansulatuksen lisäksi myös epäsuoria päästöjä, esimerkiksi tuotantosysteemissä käytetyn energian tuotantoon liittyvät ilmastovaikutukset (IPCC 2006). Maankäytön muutoksien osalta mukana tarkastelussa on toistaiseksi pelkkä soijanviljely Gerber ym. (2013). GLEAM laskee joka tapauksessa kotieläintuotannon päästöihin osittain sellaisia lähteitä, jotka tällä hetkellä ovat Euroopan unionin tilastoimien maatalouspäästöjen ulkopuolella (Tilastokeskus 2018.)

Mallissa on useita allokointimenetelmiä. Lihan, maidon ja kananmunien yhteydessä allokoinnin perustana on tuotteen proteiinipitoisuus ja keskenään heikosti vertailukelpoisten tuotteiden, kuten lihan ja kuidun välillä allokointi perustuu taloudellisiin arvoihin. Lannankäsittelyssä käytetään sekä massa- että talousperusteista allokointia. (Gerber ym. 2013).

Malli käyttää paikkatietojärjestelmiä ja maakohtaisia oletuksia (Opio ym. 2013). Tuotantosysteemiin tai maantieteelliseen sijaitiin perustuvien oletusten vuoksi joitain karjan ja ruokinnan vaikutuksia ei ole mahdollista tutkia GLEAM:lla. Tämä rajaa osan skenaarioista pois. Kasvinviljelyn hiilensidonta ei toistaiseksi sisälly laskelmiin (Gerber ym. 2013).

MacLeod ym. (2018) kuvaavat GLEAM-mallin vahvuudeksi paikkatietojärjestelmää, jonka ansiosta esimerkiksi rehuntuotannon paikalliset erot tulevat esiin etenkin maanosien välillä ja kehittyvissä maissa. GLEAM mallintaa laadukkaasti myös karjan eläinrakennetta eri skenaarioissa. Tutkimusryhmän mukaan mallia tulee jatkossa kehittää erityisesti datan laadun, ympäristövaikutusten laskentamenetelmien, systeemirajauksen ja tuotteiden (*Outputs*) tarkemman jaottelun sekä hyödyntämismahdollisuuksien osalta. Näitä voisivat olla esimerkiksi teurastuksen sivutuotteet.

4.2.1 GLEAM-i-mallinnustyökalu

GLEAM-i-mallinnustyökalulla voi vertailla kotieläintuotannon kasvihuonekaasupäästöjä lähtötason ja skenaarion välillä. Työkalussa valitaan ensin maanosa ja maa ja tämän jälkeen eläinryhmä (*Cattle, Buffaloes, Sheep, Goats, Pigs, Chicken*). Nautakarjatalouden kohdalla tuotantosysteemiksi merkitään *Feedlot* tai *Non-feedlot* ja tuotantotavaksi

Grassland based tai *Mixed systems*. Maidon- ja naudanlihantuotantoa mallinnetaan yhtäaikaaisesti. Tuotannon tunnusluvut on jaettu karja(*Herd*)-, ruokinta(*Feed*)- ja lanta(*Manure*)-moduuleihin. Jokaiselle tunnusluvulle on mallista automaattisesti tuleva oletus (*Default*). Työkalun käyttäjä voi syöttää tämän lisäksi lähtötason (*Baseline*) ja skenaarion (*Scenario*) tunnusluvut. Systeemi(*System*)- ja allokaatio(*Allocation*)-moduuleihin ei voi tehdä muutoksia. (FAO. 2017b).

Tämän tutkimuksen mallinnusosa tehtiin FAO:n internetsivuilla julkaistun Excel-pohjaisen GLEAM-*i*-työkalun avulla (FAO 2017a). Työkalu päivitettiin vuoden 2019 alussa selainpohjaiseksi. Uudempaa versiota ei käytetty enää tässä työssä. FAO:lta (henkilökohtainen tiedonanto Tempio, Giuseppe, 9.5.2019 FAO) saatujen tietojen perusteella mallissa tapahtui tässä yhteydessä vain hyvin pieniä muutoksia. Eräs tämän työn tuloksissakin esiin tullut ongelma (ks. kappale 4.2.2 *Virhe GLEAM-i-mallinnustyökalussa* ja Taulukko 9.) korjattiin.

4.2.2 Virhe GLEAM-*i*-mallinnustyökalussa

GLEAM-*i*-mallinnustyökalussa tuli lähtötason tulosten tarkasteluvaiheessa esiin virhe. Laskettaessa käsin erikseen maitosysteemistä syntyvän maidon- ja naudanlihantuotannon päästöt (kertomalla proteiinintuotantomäärät intensiteettiluvuilla) tarkastuslaskussa huomattiin poikkeama. Käsin lasketut maidontuotantosysteemin kokonaiskasvihuonekaasupäästöt olivat selvästi suuremmat työkalun antamaan maitosysteemin kokonaispäästöjen määrään verrattuna (Taulukko 9.). FAO:lta (henkilökohtainen tiedonanto Tempio, Giuseppe, 9.5.2019 FAO) saatujen tietojen perusteella ei selvinnyt liittyykö virhe intensiteettilukuihin vai maidon ja naudanlihan tuotantomääriin maitosysteemissä. FAO:n mukaan virheen ei kuitenkaan pitäisi heikentää tämän tutkimuksen tuloksissa esitettyjen *skenaarioiden välisten* kasvihuonekaasupäästö määrrien *prosentuaalisten vertailujen* luotettavuutta. Tässä vaiheessa tutkimusta päädyttiin skenaarioiden tuloksissa esittämään ainoastaan erikseen laskettujen maidon- ja naudanlihantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen muutokset ja jättämään intensiteettiluvut tarkastelun ulkopuolelle.

4.2.3 Mallin käyttämät tunnusluvut

Kotieläintuotannon tunnusluvut syötetään GLEAM-*i*-työkaluun kolmeen eri moduuliin. Karja-moduulin tarkoituksena on simuloida karjan dynamiikkaa ja eläinten ominaisuuksia eri tuotantovaiheissa tuotannon rakennetta ja eläinten fysiologisia ominaisuuksia kuvaavien parametrien avulla. Ruokinta-moduuli määrittelee eläinryhmien dieetit ja ennustaa niiden perusteella ruokinnan kasvihuonekaasupäästöjä. Lanta-moduuli laskee valitun lannankäsittelymenetelmän ja kahden ensimmäisen moduulin tunnuslukujen perusteella lannan varastoinnin ja levityksen ympäristövaikutukset. Tulokset raportoidaan Excel-taulukon ja kuvaajien avulla. (FAO 2018).

4.3 Lähtötaso: nykyinen maidon- ja naudanlihantuotantosysteemi

4.3.1 Mallinnuksessa käytetyt parametrit

Tutkimuksessa ei ollut varsinaista aineistoa, vaan mallin käyttämien parametrien määrittely oli osa työtä. Lähtötaso kuvaa mahdollisimman todenmukaisesti nykyistä suomalaista maidon- ja naudanlihantuotantosysteemiä.

Lähtötason parametrit (Taulukko 1) perustuvat kirjallisuuteen ja vuoden 2016 tilastoihin sekä ProAgrian Tuotosseurannan tuloksiin. Suomalaista maidon- ja naudanlihantuotantoa kuvaavat parhaiten GLEAM-*i*-työkulun valinnat *Non-feedlot* -ja *Grassland based*. Suomessa nautoja ei kasvateta feedlot-systeemillä, nautojen ruokinta on nurmirehuvaltaista ja eläintiheys pieni. Kokonaiseläinmääräksi valittiin suuntaa antavat tasaluvut. Maidontuotannon tunnusluvuissa käytettiin ayrshire- ja holstein-rotujen ja naudanlihantuotannossa neljän Suomessa yleisimmän liharodun (charolais, hereford, limousin ja aberdeen angus) keskiarvoja. Elopainot laskettiin ruhopainoista kaavalla 1 (Littler 2007).

Kaava 1.

Laskennallinen elopaino = ruhopaino*100/teurasprosentti

Lypsy- ja lihakarjan ruokinta suunniteltiin ProAgrialta (henkilökohtainen tiedonanto Huhtamäki Tuija, 29.5.2018 ProAgria) saatujen tuotostasoihin perustuvien ruokintatilastojen ja Lypsikki-mallin (Nousiainen ym. 2011) avulla. Kotieläinten ravitsemustieteen lehtori Seija Jaakkola auttoi ruokintaparametrien valitsemisessa.

Lannankäsittelymenetelmänä käytettiin maidontuotannossa liete- ja emolehmätuotannossa kuivalantala. Jako perustui Luonnonvarakeskuksen FootprintBeef-hankkeen LCA-mallinnuksessa käytettyyn vastaavaan jakoon (Järvenranta ym. 2018).

Taulukko 1. Lähtötason parametrit

Tunnusluku	Yksikkö	Maidon- tuotanto	Lähde	Emolehmä- tuotanto	Lähde
Osuus kokonaistuotannosta ¹⁾	lihan %	80		20	
Lehmiä	kpl	280000	SVT 2018	60000	SVT 2018
Siitossonneja	kpl	280	Vellinga ja De Vries 2018 ²⁾	2000	Sirkko 2017
KARJA-MODUULI					
Ensikon poikimaikä	kk	26	ProAgria 2017	27	Sirkko 2018
Karjan hedelmällisyys ³⁾	%	89	ProAgria 2017	93	
Lehmävasikoiden kuolleisuus	%	7	ProAgria 2017	7 ⁷⁾	
Sonnivasikoiden kuolleisuus	%	7	ProAgria 2017	7 ⁷⁾	
Aikuisten nautojen kuolleisuus	%	1	Vellinga ja De Vries 2018	1	Vellinga ja De Vries 2018
Lehmien uudistus	%	31	ProAgria 2017	15 ⁸⁾	
Syntymäpaino	kg	40	Virtanen 2017, Blöttner ym. 2011	42	Sirkko 2018
Lehmän elopaino	kg	620	ProAgria 2017	763	Faba Osk. 2018
Aikuisen sonnin elopaino	kg	837	Vellinga ja De Vries 2018 ⁴⁾	1030	Vellinga ja De Vries 2018 ⁴⁾
Lihahiehon elopaino		410	Huuskonen ym. 2013a ⁵⁾	450	Huuskonen 2012 ⁹⁾
Lihasonnin elopaino		638	Huuskonen ym. 2013b ⁶⁾	767	Huuskonen 2012
Maitotuotos	kg/ lehmä/v	9000	ProAgria 2017		
Rasvapitoisuus	%	4,28	ProAgria 2017		
Valkuaispitoisuus	%	3,49	ProAgria 2017		
RUOKINTA-MODUULI					Eläinryhmä
Laidun	%	4		25	Lehmät
		5		5	Siitossonnit ja uudistushiehot
				5	Lihasonnit ja -hiehot
Nurmisäilörehu	%	50,4		75	Lehmät
		83		83	Siitossonnit ja uudistushiehot
		60		55	Lihasonnit ja -hiehot
Vilja	%	29,2			Lehmät
		9,5		9,5	Siitossonnit ja uudistushiehot
		37		40	Lihasonnit ja -hiehot
Rypsirouhe	%	5,4			Lehmät
		2,5		2,5	Siitossonnit ja uudistushiehot
		3			Lihasonnit ja -hiehot
Juurikasleike	%	11			Lehmät
Väkirehun osuus	%	46		0	Lehmät
		12		12	Siitossonnit ja uudistushiehot
		40		40	Lihasonnit ja -hiehot
LANTA-MODUULI					
Kuivalantala	%			100	
Lietelantala	%	100			

¹⁾ Laskettu GLEAM-mallin antamien suhdelukujen perusteella

²⁾ Sonnien osuus lehmistä 0,01

³⁾ Vasikkaa/lehmä/vuosi. Laskettu poikimavälin 410 pv perusteella. Emolehmätuotannossa lukua ei vielä lasketa, joten käytetty oletusta. (Henkilökohtainen tiedonanto Sirkko, Kaisa, 15.6.2018 Faba)

⁴⁾ Oletuksena sonni 35% painavampi kuin lehmä

⁵⁾ Elopaino laskettu teurasprosentin 50% perusteella (Henkilökohtainen tiedonanto Huuskonen, Arto, 29.6.2018 Luke).

⁶⁾ Elopaino laskettu teurasprosentin 52% perusteella (Henkilökohtainen tiedonanto Huuskonen, Arto, 29.6.2018 Luke).

⁷⁾ Henkilökohtainen tiedonanto, Huuskonen Arto ja Pesonen Maiju, 17.12.2018 Luke.

⁸⁾ Emolehmätuotannossa tätä lukua ei vielä lasketa, joten käytetty oletusta. (Henkilökohtainen tiedonanto Sirkko, Kaisa, 15.6.2018 Faba).

⁹⁾ Elopaino laskettu teurasprosentin 54% perusteella (Henkilökohtainen tiedonanto Huuskonen, Arto, 29.6.2018 Luke).

4.4 Skenaariot

Tutkimusskenaarioita oli kymmenen ja kaikki tarkastelun kohteena olevat parametrit liittyivät lypsykarjaan: maidon keskituotoksen muutos (yksi alhaisempi ja kaksi korkeampaa tuotostasoa), uudistusprosentin, poikimavälin, elopainon ja vasikkakuolleisuuden lasku, liharoturisteytysten käyttö sekä väkirehun osuuden nosto ja lasku.

Maidon- ja naudanlihan vuotuinen kokonaistuotanto pidettiin vakiona kaikissa skenaarioissa. Yhden tarkasteltavan lypsykarjaparametrin lisäksi skenaarioissa muutettiin tarvittavien lypsy- ja emolehmien sekä siitossonejen määriä siten, että vuotuinen maidon ja naudanlihantuotanto pysyi lähtötasolla. Lehmien määrät ja naudanlihan alkuperän suhdeluvut skenaarioissa perustuvat itse tehtyyn Excel-mallinnukseen ja GLEAM:n arvioimaan maidon- ja lihantuotantoon. Siitossoneja laskettiin olevan 0,01 kertaa lehmien lukumäärä (Vellinga ja De Vries 2018). Ruokinta pysyi vakiona muissa paitsi väkirehun määrään liittyvissä skenaarioissa. Lannankäsittelyyn ei tehty muutoksia. Alla olevissa taulukoissa on ilmoitettu ainoastaan ne parametrit, joihin on kyseisessä skenaariossa tehty muutoksia.

4.4.1 Maitotuotoksen muutos

Lypsykarjan keskimääräisen maitotuotoksen vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin tutkittiin kolmessa skenaariossa: 8 000, 10 000 ja 11 000 kg/raakamaitoa/lehmä. Taulukossa 2 näkyvät malleissa käytetyt parametrit.

Taulukko 2. Muuttuvat parametrit maidontuotostasoihin liittyvissä skenaarioissa

Skenaario	Yksiköt	Alhaisempi tuotostaso		Korkeampi tuotostaso		Korkein tuotostaso	
		Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto	Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto	Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	90	10	72	28	65	35
Lehmiä	kpl	315000	30000	252000	84000	229000	103500
Siitossoneja	kpl	315	1000	252	2800	229	3450
Maitomäärä	kg/lehmä/v	8000		10000		11000	

4.4.2 Kestävämmät lypsylehmät

Lypsykarjan kestävyyttä kuvaavan uudistusprosentin vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin tutkittiin pienentämällä uudistusprosenttia kuudella yksiköllä (Taulukko 3).

Taulukko 3. Muuttuvat parametrit lypsykarjan kestävyteen liittyvässä skenaariossa

Skenaario	Yksiköt	Kestävämmät lypsylehmät	
		Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	75	25
Lehmiä	kpl		75000
Siitossonneja	kpl		2500
Uudistusprosentti	%	25	

4.4.3 Hedelmällisemmät lypsylehmät

Lypsylehmän hedelmällisyyden kohentumisen vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin tutkittiin nostamalla hedelmällisyysparametria viidellä prosenttiyksiköllä. 94 % kuvaa 390 päivän poikimaväliä eli yhtä lehmää kohden syntyy vuosittain 0,94 vasikkaa (Taulukko 4).

Taulukko 4. Muuttuvat parametrit lypsylehmien hedelmällisyyteen liittyvässä skenaariossa

Skenaario	Yksiköt	Hedelmällisemmät lypsylehmät	
		Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	83	17
Lehmiä	kpl		51000
Siitossonneja	kpl		1700
Karjan hedelmällisyys	%	94	

4.4.4 Kevyemmät lypsylehmät

Lypsylehmän elopainoa laskettiin tässä skenaariossa 50 kilolla. Mallin taustaoletusten vuoksi myös lihahiehojen painoa piti pienentää samassa suhteessa, jotta kokonaiseläinmäärät pysyivät vakiona (Taulukko 5).

Taulukko 5. Muuttuvat parametrit lypsylehmien elopainoon liittyvässä skenaariossa

Skenaario	Kevyemmät lypsylehmät		
	Yksiköt	Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	77	23
Lehmiä	kpl		68500
Siitossonneja	kpl		2283
Aikuisen lehmän elopaino	kg	570	
Lihahiehon elopaino	kg	378	

4.4.5 Alhaisempi vasikkakuolleisuus lypsykarjoissa

Vasikkakuolleisuuden ilmastovaikutusta tutkittiin pienentämällä lehmä- ja sonnivasikoiden kuolleisuutta lypsykarjoissa kolme prosenttiyksikköä (Taulukko 6).

Taulukko 6. Muuttuvat parametrit vasikkakuolleisuuteen liittyvässä skenaarioissa

Skenaario	Pienempi vasikkakuolleisuus		
	Yksiköt	Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	82	18
Lehmiä	kpl		53000
Siitossonneja	kpl		1766
Lehmävasikoiden kuolleisuus	%	4	
Sonnivasikoiden kuolleisuus	%	4	

4.4.6 Liharoturisteytysten käyttö maitosysteemin lihantuotannossa

Paritusmenetelmään liittyvä skenaario perustui liharoturisteytysten maksimaaliseen käyttöön lypsykarjoissa. Maitorodulla siemennetään tällöin uudistustarpeen mukaisesti vain parhaat lehmät ja liharodulla loput. Skenaariossa muuttuvia parametreja ovat maidontuotannosta syntyvien lihaeläinten painot ja emolehmien määrä (Taulukko 7). Lihahiehojen ja -sonnien painot ovat painotettuja keskiarvoja, joissa on huomioitu holstein- ja ayrshire-rotujen risteytykset neljän Suomessa yleisimmän liharodun (charolais, hereford, limousin ja aberdeen angus) kanssa (Huuskonen ym. 2013a, Huuskonen ym. 2013b, Huuskonen ym. 2014). Oletuksena oli uudistusprosentti 31 ja sukupuolilajittelematon siemen. Valinnan muutoksesta mahdollisesti syntyvää perinnöllistä edistymistä ei huomioitu. Tässä skenaariossa ilmeni ongelmia, joista kerrotaan tarkemmin tulosten tarkastelussa kappaleessa 6.5. *Liharoturisteytysten käyttö maitosysteemin lihantuotannossa.*

Taulukko 7. Muuttuvat parametrit paritusmenetelmään liittyvässä skenaarioissa

Skenaario	Yksiköt	Liharoturisteytysten käyttö	
		Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	83	17
Lehmiä	kpl		52000
Siitossonneja	kpl		1735
Lihahiehon elopaino	kg	449	
Lihasonnin elopaino	kg	660	

4.4.7 Väkirehun osuuden muutos ruokinnassa

Lypsylehmien ruokinnan muutoksen vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin tutkittiin kahdessa skenaariossa: lähtötasoa pienemmällä (35) ja suuremmalla (50) väkirehuprosentilla. Ruokinnan muutokset koskivat vain lypsylehmiä (Taulukko 8).

Taulukko 8. Muuttuvat parametrit ruokintaan liittyvissä skenaarioissa

Skenaario		Pienempi väkirehuprosentti	Suurempi väkirehuprosentti
	Yksiköt	Maidontuotanto	Maidontuotanto
Laidun	%	10	
Nurmisäilörehu	%	55	50,4
Vilja	%	31,5	32,2
Rypsirouhe	%	3,5	6
Juurikasleike	%		11,4
Väkirehun osuus	%	35	50

5 TULOKSET

Tutkimuksen tulokset esitetään seuraavissa kappaleissa. Ne on jaettu lähtötason lisäksi teemoittain viiteen osaan ja taulukkoon: maitotuotos, muut lypsylehmien jalostettavat ominaisuudet (kestävyys, hedelmällisyys, elopaino), lypsykarjan vasikkakuolleisuus, paritusmenetelmä ja ruokinta.

Lähtötason (Taulukko 9) tulokset esitetään lukuina ja skenaarioiden (Taulukot 10-14) prosentuaalisina muutoksina lähtötasosta skenaarioon. Tuloksina on muutokset naudanlihan alkuperän suhteissa (maito- vs. emolehmäsysteemi), eläinmäärissä sekä maidon- ja naudanlihantuotannon sekä koko nautasektorin kasvihuonekaasupäästöissä. Tuotantosysteemillä tarkoitetaan maidontuotannon osalta maitosysteemistä syntyviä maidon- ja naudanlihantuotannon yhteenlaskettuja kasvihuonekaasupäästöjä. Kasvihuonekaasupäästöjen intensiteetti kuvaa tässä päästöjen määrää suhteessa tuotettuun proteiiniin. Skenaarioiden tuloksissa ei julkaista intensiteettien tuotantokohtaisia muutoksia kappaleessa *4.2.2 Virhe GLEAM-i-mallinnustyökalussa* mainitun ongelman vuoksi.

5.1 Lähtötaso

Lähtötason tulokset (Taulukko 9) ovat GLEAM-i-työkalulla arvioituja vuotuisia Suomessa tuotettuja eläin-, maito- ja naudanlihamääriä sekä tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä (kg CO₂-ekv./vuosi) lähtötason parametreilla (Taulukko 1) laskettuna. Tulokset kuvaavat maidon- ja naudanlihantuotantosysteemiä, jossa 80 % naudanlihasta syntyy maitoketjun kautta ja loput 20 % emolehmätuotannosta.

Taulukko 9. Eläinten, maidon- ja naudanlihantuotannon määrät ja kasvihuonekaasupäästöt lähtötasolla

	Yksikkö	Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Maitoa	milj. kg/v	2520 ¹⁾	
Naudanlihaa yhteensä	milj. kg/v		112,98 ¹⁾
Naudanlihaa tuotantosysteemistä	milj. kg/v	90,37	22,61
Osuus lihan kokonaistuotannosta (noin)	%	80	20
Lehmiä	kpl	280000	60000
Siitossonneja	kpl	280	2000
Uudistushiehoja	kpl	198232	21027
Lihahiehoja	kpl	85945	25533
Lihasonneja	kpl	253672	47427
Nautoja yhteensä	kpl	818412	158009
Tuotantosysteemin KHK-päästöt	milj. kg CO ₂ -ekv./v	4359,87	593,86
Maidontuotannon KHK-päästöt ²⁾	milj. kg CO ₂ - ekv./v	3177,32 ³⁾	
Lihantuotannon KHK-päästöt ²⁾	milj. kg CO ₂ - ekv./v	1222,35 ³⁾	593,86
Nautasektorin kokonais-KHK-päästöt	milj. kg CO ₂ - ekv./v		4953,73
Kokonais-KHK-päästöjen intensiteetti, liha	kgCO ₂ -ekv./kg proteiinia		103,1
KHK-päästöjen intensiteetti, liha	kgCO ₂ -ekv./kg proteiinia	85,4	174,2
KHK-päästöjen intensiteetti, maito	kgCO ₂ -ekv./kg proteiinia	36,1	

¹⁾ Vakioitu skenaarioihin

²⁾ Laskettu maidon-/lihantuotannon KHK-päästöjen intensiteettien ja proteiinituotannon perusteella.

³⁾ Nämä luvut yhteenlaskettuna eivät täsmää yläpuolella esitettyyn maidontuotantosysteemin kokonaispäästöihin. Selvitetty virhettä, kts. kappale 4.2.1 GLEAM-i-mallinnustyökalu ja 4.2.2 Virhe GLEAM-i-mallinnustyökalussa.

5.2 Maitotuotoksen muutos

Lypsykarjan keskimaitotuotosta tarkastelevissa kolmessa skenaariossa kasvihuonekaasupäästöt kehittyvät Taulukon 10 mukaisesti. Tulokset on jaoteltu alakappaleisiin alhaisemman ja korkeampien keskituotosten mukaan.

Taulukko 10. Eläinmäärien ja kasvihuonekaasupäästöjen muutokset maidon tuotostason muuttuessa lähtötasosta 9000 kg/lehmä/v.

Skenaario	Alhaisempi tuotostaso 8000 kg		Korkeampi tuotostaso 10000 kg		Korkein tuotostaso 11000 kg		
	Yks .	Maidon- tuotanto	Emolehmä -tuotanto	Maidon- tuotanto	Emolehmä -tuotanto	Maidon- tuotanto	Emolehmä -tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	90	10	72	28	65	35
Lehmiä	kpl	315000	30000	252000	84000	229000	103500
Nautoja yhteensä, muutos	%	12,5	-50	-10	40	-18,2	72,5
Maidontuot. päästöt, muutos	%	5,8		-4,7		-8,5	
Lihantuot., muutos	%	12,5	-50	-10	40	-18,2	72,5
Lihantuot. päästöt, muutos	%	13,3	-50	-10,5	40	-19,1	72,5
Tuotantosysteemien päästöt, muutos	%	7,9	-50	-6,3	40	-11,5	72,5
Edellinen muutos suhteessa koko nautasektoriin	%	6,9	-6	-5,5	4,8	-10,1	8,7
Nautasektorin kokonais-KHK- päästöt, muutos	%		0,9		-0,7		-1,4

5.2.1 Alhaisempi maitotuotos

Lähtötasoa 9000 kg maitoa/lehmä/vuosi 1000 kg alhaisemmalla tuotostasolla 8000 kg maitoa/lehmä/vuosi lypsylehmiä tarvittiin 12,5 % enemmän. Maidontuotannon päästöt kasvoivat 5,8 %. Naudanlihaa syntyi maitosysteemistä tässä skenaariossa 12,5 % enemmän ja lihantuotannon päästöt olivat 13,3 % lähtötasoa korkeammat. Koko maitosysteemin päästöt nousivat 7,9 % ja suhteutettuna koko nautasektoriin nousu oli 6,9 %. Emolehmien määrä puolittui, samoin emolehmätuotantosysteemin päästöt. Koko nautasektorin tarkastelussa kokonaiskasvihuonekaasupäästöt kasvoivat 0,9 %.

5.2.2 Korkeampi maitotuotos

Korkeamman keskituotoksen (10 000 ja 11 000 kg maitoa/lehmä/vuosi) skenaarioissa lypsylehmien määrät sekä lihantuotanto laskivat 10 % ja 18,2 %. Maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöt laskivat samassa järjestyksessä 4,7 % ja 8,5 %. Lihantuotannon päästöt laskivat 10,5 % ja 19,1 %. Emolehmäpuolella eläinmäärä ja lihantuotanto nousivat 40 % ja 72,5 % ja päästöt kasvoivat saman verran. Suhteutettuna koko nautasektoriin emolehmätuotannon päästöt nousivat korkeamman ja korkeimman keskituotoksen skenaarioissa 4,8 % ja 8,7 %. Nautasektorin kokonaispäästöt laskivat 0,7% ja 1,4%.

5.3 Kestävämät, hedelmällisemmät ja kevyemmät lypsylehmät

Lypsylehmien kestävyyttä, hedelmällisyyttä ja elopainoa tarkastelevien skenaarioiden tulokset ovat taulukossa 11. Alakappaleissa on tarkasteltu skenaarioiden tuloksia erikseen.

Taulukko 11. Eläinmäärien ja kasvihuonekaasupäästöjen muutokset lypsylehmien kestävyuden, hedelmällisyyden ja elopainon muuttuessa.

Skenaario	Kestävämmät lypsylehmät		Hedelmällisemmät lypsylehmät		Kevyemmät lypsylehmät		
	Yks.	Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto	Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto	Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	75	25	83	17	77	23
Lehmiä	kpl	280000	68500	280000	51000	280000	68500
Nautoja yhteensä, muutos	%	-4,5	25	2,4	-15	0	14,2
Maidontuot. päästöt, muutos	%	-3		0,1		-3	
Lihantuot., muutos	%	-6,4	25	3,8	-15	-3,5	14,2
Lihantuot. päästöt, muutos	%	-3,6	25	4,7	-15	-2,5	14,2
Tuotantosys- teemin päästöt, muutos	%	-3,1	25	1,4	-15	-2,8	14,2
Edellinen muutos suhteessa koko nautasektoriin	%	-2,8	3	1,2	-1,8	-2,5	1,7
Nautasektorin kokonais- KHK-päästöt, muutos	%		0,2		-0,6		-0,8

5.3.1 Kestävämmät lypsylehmät

Uudistusprosentin pienentyminen 31:stä 25:een prosenttiin vähensi maitosysteemin kokonaiseläinmäärää 4,5 % ja naudanlihantuotantoa 6,4 %. Maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöt laskivat 3 %, samoin maitosysteemin lihantuotannon 3,6 %. Emolehmien määrä ja päästöt nousivat 25 %, ja koko nautasektorin kokonaispäästöjen muutos oli +0,2 %.

5.3.2 Hedelmällisemmät lypsylehmät

Hedelmällisyysprosentin nosto 89:stä 94:een prosenttiin lisäsi nautojen kokonaismäärää maitosysteemissä 2,4 %. Lihantuotanto kasvoi 3,8 % ja sen päästöt 4,7 %. Maidontuotannon päästöt pysyivät ennallaan. Emolehmien määrä ja tuotannon päästöt laskivat 15 %. Nautasektorin kokonaiskasviuonekaasupäästöt pienenivät 0,6 %.

5.3.3 Kevyemmät lypsylehmät

Lypsylehmien elopainon lasku 620 kilogrammasta 570 kilogrammaan vähensi maitosysteemin lihantuotantoa 3,5 % ja lihantuotannon päästöjä 2,5 %. Maidontuotannon kasviuonekaasupäästöt laskivat 3 %. Emolehmien määrä ja päästöt nousivat 14,2 %. Nautasektorin kokonaiskasviuonekaasupäästöt olivat -0,8 %.

5.4 Alhaisempi vasikkakuolleisuus lypsykarjoissa

Lypsykarjojen keskimääräisen vasikkakuolleisuuden alentaminen seitsemästä neljään prosenttiin nosti maitosysteemin kokonaiseläinmäärää 1,9 % ja lihantuotantoa 3 % (Taulukko 12). Maitosektorin kasviuonekaasupäästöt nousivat lihantuotannon osalta 3,6 %. Emolehmien määrä ja päästöt laskivat 11,7 %, ja nautasektorin kokonaispäästöt olivat -0,5 %.

Taulukko 12. Eläinmäärien ja kasvihuonekaasupäästöjen muutokset vasikkakuolleisuuden laskiessa lypsykarjoissa 3 prosenttiyksikköä.

Skenaario	Yks.	Pienempi vasikkakuolleisuus lypsykarjoissa	
		Maidontuotanto	Emolehmätuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	82	18
Lehmiä	kpl	280000	53000
Nautoja yhteensä, muutos	%	1,9	-11,7
Maidontuot. päästöt, muutos	%	0	
Lihantuot. muutos	%	3	-11,7
Lihantuot. päästöt, muutos	%	3,6	-11,7
Tuotantosysteemin päästöt, muutos	%	1	-11,7
Edellinen muutos suhteessa koko nautasektoriin	%	0,9	-1,4
Nautasektorin kokonais- KHK-päästöt, muutos	%		-0,5

5.5 Liharoturisteytysten käyttö lypsylehmille lypsykarjatililla

Taulukossa 13 on esitetty tuloksia skenaarista, jossa liharoturisteytysten käyttö oli maitosysteemin lihantuotannossa maksimaalista. GLEAM-*i* ei kuitenkaan soveltunut tämän tyyppisen skenaarion tutkimiseen. Kappaleessa 6.5 *Liharoturisteytysten käyttö maitosysteemin lihantuotannossa* on tarkasteltu tuloksia laajemmin.

Taulukko 13. Eläinmäärien ja kasvihuonekaasupäästöjen muutokset käytettäessä liharoturisteytyksiä maidontuotantosysteemin lihantuotannossa

Skenaario	Yks.	Liharoturisteytysten käyttö lypsykarjoissa	
		Maidon- tuotanto	Emolehmä- tuotanto
Osuus lihan kokonais- tuotannosta	%	83	17
Lehmiä	kpl	280000	52000
Nautoja yhteensä, muutos	%	2,2	-13,3
Lihantuot. muutos	%	3,2	-13,3
Lihantuot. päästöt, muutos	%	7,2	-13,3
Maidontuot. päästöt, muutos	%	0	
Tuotantosysteemin päästöt, muutos	%	2	-13,3
Edellinen muutos suhteessa koko nautasektoriin	%	1,8	-1,6
Nautasektorin kokonais- KHK-päästöt, muutos	%		0,2

5.6 Väkirehun osuuden muutos ruokinnassa

Lypsykarjan ruokinnan väkirehuprosentin laskeminen 10 prosenttiyksikköä nosti maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä 3,8 % (Taulukko 14). Väkirehuprosentin ollessa 50 maidontuotannon päästöt laskivat -1,3 %.

Taulukko 14. Kasvihuonekaasupäästöjen muutokset väkirehun osuuden muuttuessa lypsykarjan ruokinnassa lähtötasosta 45 %.

Skenaario	Yks.	Pienempi väkirehun osuus 35%	Suurempi väkirehun osuus 50%
		Maidon-tuotanto	Maidon-tuotanto
Lihantuot. päästöt, muutos	%	0,5	-0,2
Maidontuot. päästöt, muutos	%	3,8	-1,3
Tuotantosysteemin päästöt, muutos	%	1,8	-0,3
Edellinen muutos suhteessa koko nautasektoriin	%	1,6	-0,3

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Lähtötaso

Lähtötason tulosten kokonaismaitotuotos 2,52 miljardia kiloa raakamaitoa vastaa melko hyvin Suomessa tämän tutkimuksen vertailuvuonna 2016 tuotettua maitomäärää 2,36 miljardia litraa (SVT 2019c). (Litra maitoa painaa noin yhden kilon (Milkworks 2019).) Naudanlihan kokonaismäärä lähtötasolla on lähes 113 miljoonaa kiloa vuodessa, mikä on selvästi yli todellisen 86,7 miljoonan kilon (SVT 2019b). Eräs syy erolle saattaa liittyä parametriin, joka kuvaa aikuisten nautojen enneaikaista kuolleisuutta. Virallista lukua tästä ei ollut saatavilla, mutta tuotantoeläinlääkäri Kristiina Sarjokarilta jälkepäin saadun arvion mukaan luku on Suomessa todennäköisesti kuuden prosentin luokkaa (henkilökohtainen tiedonanto, Sarjokari, Kristiina, Valio 13.6.2019). GLEAM-i:llä tulosten tarkastelun yhteydessä tehdyn mallinnuksen mukaan skenaario, jossa sekä lypsyettä emokarjan aikuisten eläinten enneaikainen kuolleisuus oli 1 %:n sijasta 6 vähensi kokonaisnaudanlihantuotantoa 16,4 % 94 miljoonaan kiloon. Tämä saattaa ainakin osittain selittää lähtötason korkeaa lihantuotantomäärää. Mikäli kappaleessa 4.2.2 *Virhe GLEAM-i-mallinnustyökalussa* kuvattu ongelma liittyy intensiteetilukujen sijasta maidon ja naudanlihan tuotantomääriin, voisi sekä maidon että naudanlihan yläkanttiin olevat tuotantomäärät selittyä tällä.

Tulosten mukaan nautasektorin kokonaispäästöt olivat 4,95 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (milj. t CO₂-ekv.). Tämä on 42 % Tilastokeskuksen (2018), Reginan ym. (2014) ja Pulkkisen ym. (2018) arvioimien lukujen perusteella lasketuista maatalouden kokonaispäästöistä 11,8 milj. t CO₂-ekv (sisältää arviot energiankäytöstä, maaperän päästöistä ja maankäytön muutoksista). GLEAM-i:lla saatu todellista suurempi naudanlihan tuotantomäärä vääristää kuitenkin suhteita. Lisäksi GLEAM-i:n laskuista puuttuu maankäytön muutos. Luvut eivät siten ole suoraan verrannollisia.

Maitosysteemistä syntyvät maidon- ja lihantuotannon yhteenlasketut päästöt 0,44 milj. t CO₂-ekv ovat 88 % koko nautasektorin päästöistä. Loput 12 % syntyy emolehmätuotannosta (0,06 milj. t CO₂-ekv.). Intensiteetilukuja vertailemalla maidontuotannon sivutuotteena syntyvän naudanlihan proteiinikiloon suhteutettu

ilmastovaikutus on GLEAM-i:llä laskettuna puolet emolehmätuotannon vastaavasta vaikutuksesta, mikä vastaa Nguyen ym. (2010) raporttia Euroopan unionin keskimääräisestä tasosta. Hiilijalanjälkinä luvut ovat 13,5 kg CO₂-ekv./kg naudanlihaa maitosysteemistä ja 27,6 kg CO₂-ekv./kg naudanlihaa emolehmäsysteemistä. Laskenta tehtiin tuloksista erikseen lasketun lihan proteiinipitoisuuden 0,16 ja intensiteettilukujen perusteella.

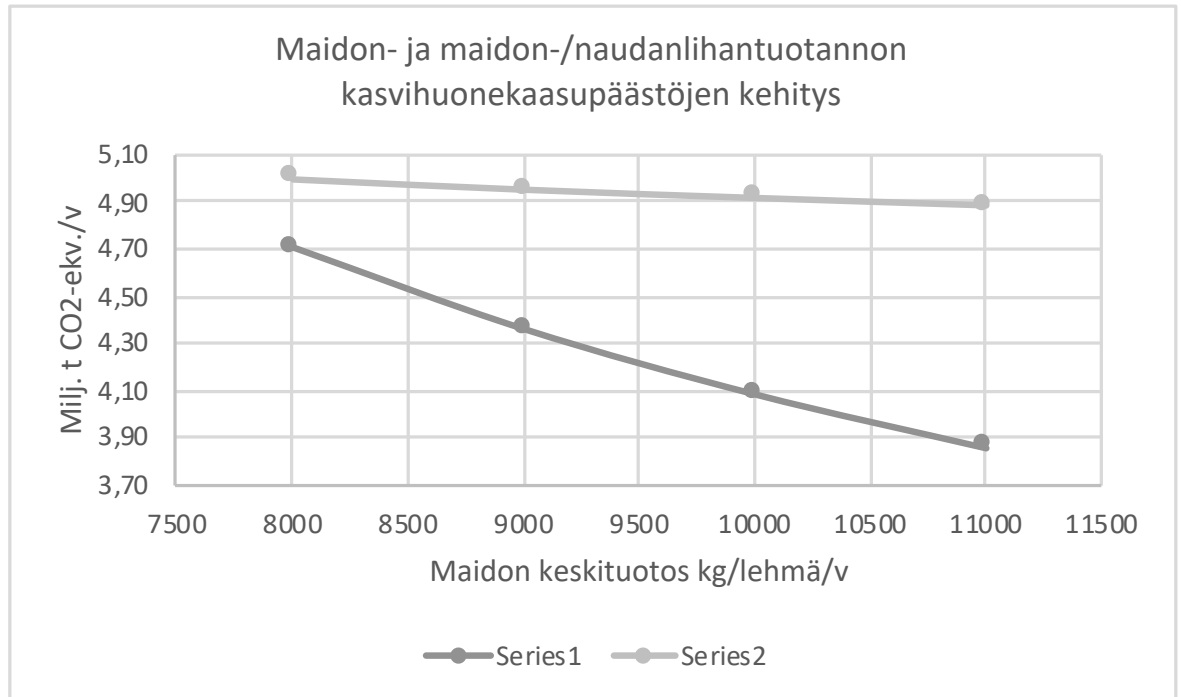
Maidontuotannon intensiteettiluvun ja maidon proteiinipitoisuuden 0,035 perusteella raakamaidon hiilijalanjäljeksi saatiin noin 1,3 kg CO₂-ekv/kg raakamaitoa. Luku on hieman yläkanttiin, mutta linjassa muiden vastaavien lukujen kanssa (Flysjö ym. 2011, Milani ym. 2011, Zehetmeier ym. 2011). Kun 1,3 kg CO₂-ekv./kg raakamaitoa kerrotaan vertailuvuonna 2016 Suomessa tuotetulla maidolla 2,36 mrd. kg (muutettu suuntaa antavasti suoraan litroista kiloiksi), saadaan maidontuotannon vuotuisiksi kasvihuonekaasupäästöiksi 3,1 milj. t CO₂-ekv. Tämä on Tilastokeskuksen (2018), Reginan ym. (2014) ja Pulkkisen ym. (2018) arvioimista maatalouden kokonaispäästöistä (11,8 milj. t CO₂-ekv) noin 26 % ja koko maan vuoden 2016 kasvihuonekaasupäästöistä (6,5 milj. t CO₂-ekv) hieman yli 5 %.

6.2 Maitotuotoksen muutos

6.2.1 Maidontuotannon päästöt

Lypsykarjan keskimääräisen maitotuotoksen laskiessa lähtötasosta 9000 kg/lehmä/v maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöt nousivat ja tuotostason noustessa päästöt laskivat (Kuva 1. tumma viiva) Tulosten suunta vastaa aiempia tutkimuksia (Zehetmeier 2011, Capper ja Bauman 2013, Bell ym. 2014, Dall-Orsoletta ym. 2019). Tulosten tarkempi vertailu kirjallisuuteen on haastavaa, sillä skenaarioiden ja systeemirajausten tulisi olla samanlaisia. Zehetmeierin ym. (2011) mallinnuksessa maitotuotoksen muutoksen yhteydessä muutettiin useita muita parametreja. Käytössä oli lisäksi erilaisia allokointimenetelmiä. Kyseisessä tutkimuksessa erään skenaarion raakamaitokilon hiilijalanjälki pieneni 1,06:sta kilosta CO₂-ekv. 0,89:ään kiloon CO₂-ekv., kun maidon keskituotos nousi 6 000 kilosta 10 000 kiloon. Muutos on prosentuaalisesti noin -16 %. Vähentynyt naudanlihantuotanto korvattiin emolehmätuotannolla, minkä vuoksi naudanlihantuotannon päästöt nousivat 51 %. GLEAM:n tuloksissa maidontuotannon

päästöt vähenivät noin 18 %, kun siirryttiin 8 000 kilon tuotostasosta 11 000 kiloon/lehmä/v. Näin vertailtuna tulokset vastaavat melko hyvin toisiaan.



Kuva 1. Maidon keskituotoksen vaikutus maidon- (tumma viiva) sekä maidon- ja naudanlihantuotannon (vaalea viiva) kasvihuonekaasupäästöihin.

6.2.2 Maidon- ja naudanlihantuotannon päästöt

Naudanlihaa tuotettiin maitosysteemistä alhaisen keskituotoksen skenaariossa lähtötasoon verrattuna enemmän, mikä vähensi emolehmätuotannon tarvetta ja sitä kautta kokonaispäästöt nousivat maltillisemmin. Korkeampien keskituotosten skenaarioissa naudanlihantuotanto lypsykarjasta vastaavasti väheni, mikä vaati emolehmätuotannon lisäämistä ja nosti sitä kautta koko nautasektorin päästöjä. Päästövähennykset saavutettiin siis nimenomaan maidontuotannon puolella. Vastaavia huomioita naudanlihantuotannon päästöjen siirtymisestä emolehmätuotannon puolelle tekivät myös Zehetmeier (2011) sekä Vellinga ja De Vries (2018). Kuvassa 1. nähdään, että maidontuotannon päästöt (tumma viiva) laskivat selvästi enemmän verrattuna maidon- ja naudanlihantuotannon yhteenlaskettuihin päästöihin (vaalea viiva). Maidon keskituotoksen nostolla näyttää joka tapauksessa olevan koko nautasektorin kasvihuonekaasupäästöjä pienentävä vaikutus.

FAO:n ja GDP:n (2018) raportin mukaan maidontuotannon tehokkuudessa on tilojen ja maanosien välillä suuria eroja, joten esimerkiksi kehittyvissä maissa tuotostason nostolla voidaan selvästi parantaa maidontuotannon ilmastotehokkuutta. Maidon keskituotoksen kasvaessa tulee päästöjen arvioimisessa huomioida myös lypsylehmien muuttuva ravinnontarve, mikä voi nostaa tuotekilo kohtaisia kasvihuonekaasupäästöjä (FAO ja GDP 2018). Tässä tutkielmassa eläinten dieetit pysyivät vakiona kaikissa tuotostasoskenaarioissa, sillä päästöjen muutokset haluttiin näkyviin ainoastaan yhden parametrin osalta. Muuttuva ravitsemustarve huomioitiin suunnittelemalla lypsylehmien dieetti kaikkiin skenaarioihin sopivaksi.

6.3 Kestävämmät, hedelmällisemmät ja kevyemmät lypsylehmät

6.3.1 Kestävämmät lypsylehmät

Lypsylehmien uudistusprosentin lasku vähensi maidontuotannon päästöjä. Tulos vastaa aiempaa kirjallisuutta (Huuskosen ja Pesosen 2014, Bell ym. 2015, Grandl ym. 2018, Dall-Orsoletta ym. 2019). Kestävyyden parantuminen johti myös naudanlihantuotannon päästöjen vähentymiseen maitosysteemistä. Tämä on seurausta vähentyneestä lihantuotannosta eli naudanlihantuotannon päästöjen intensiteetti (kg CO₂-ekv./kg proteiinia) ei oletettavasti muuttunut. Päästövähennykset kompensoituivat täysin emolehmätuotannon kasvun seurauksena. Vastaavan huomion tekivät Vellinga ja de Vries (2018). Lypsykarjan kestävyuden parantuminen vähentää joka tapauksessa maidontuotannon ilmastovaikutusta ja tukee yleisiä tavoitteita kotieläintuotannon kokonaisvaltaisen kestävyuden ja hyväksynnän edistämiseksi.

6.3.2 Hedelmällisemmät lypsylehmät

Lypsykarjan hedelmällisyysprosentin parantuminen johti nautasektorin kasvihuonekaasupäästöjen vähentymiseen naudanlihantuotannon kokonaispäästöjen pienentymisen kautta. Maidontuotannon päästöt eivät muuttuneet. Lypsykarjan hedelmällisyysprosentin nosto tarkoittaa tässä yhteydessä lypsylehmien poikimavälin lyhentymistä ja kuvaa sitä kautta karjan hedelmällisyyttä. GLEAM-mallinnuksen mukaan maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöt eivät siis vähentyneet poikimavälin

lyhentyessä. Hedelmällisyyttä voidaan kuitenkin mitata useilla eri tunnusluvuilla. Esimerkiksi edellisen kappaleen uudistusprosentti kuvaa välillisesti myös karjan hedelmällisyyttä, sillä yksi yleinen syy tiheään uudistustarpeeseen on heikko hedelmällisyys. Tuotosseurannan tilastojen mukaan 21,5% lypsylehmien poistoista johtui hedelmällisyysongelmista (ProAgria 2017). Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, uudistusprosentin parantuminen tukee maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vähentymistä eli lypsykarjan hedelmällisyyttä tulisi edistää taloudellisten syiden lisäksi myös ilmastonäkökulmasta.

6.3.3 Kevyemmät lypsylehmät

Lypsylehmien elopainon lasku vähensi maidontuotannon ilmastovaikutusta. Saman havainnon teki Bell ym. (2014). Lypsylehmien elopainon laskiessa naudanlihantuotantoa siirtyi GLEAM-mallinnuksessa jonkin verran emolehmäpuolelle, mutta nautasektorin kokonaispäästöt vähenivät tästä huolimatta 0,8%. Lypsylehmien elopainon rajoittaminen vaikuttaa siten tukevan nautakarjataloudesta johtuvien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä.

Naudan elopaino liittyy rotuun ja ylläpitoenergian tarpeeseen. Capper ja Cady (2012) tutkivat juustontuotannon ilmastovaikutuksia vertaamalla maidon alkuperää kahden maitorodun välillä. Jersey-rodun tuottamasta maidosta valmistetun juuston ilmastovaikutusten todettiin olevan pienemmät holstein-rodusta peräisin olevaan juustoon verrattuna. Päästöjen väheneminen johtui sekä jersey-eläinten pienemmästä elopainosta että maidon korkeammasta rasva- ja proteiinikoostumuksesta. Rotujen välistä vertailua tekivät myös Dall-Orsoletta ym. (2019). Heidän mallinnuksessaan holstein-rotuinen lypsykarja tuotti maitokiloa kohti vähemmän metaania verrattuna punaiseen normande-karjaan. Edellä mainituissa tutkimuksissa ei huomioitu muutoksia naudanlihantuotannossa.

6.4 Alhaisempi vasikkakuolleisuus lypsykarjoissa

Tulosten perusteella lypsykarjan vasikkakuolleisuutta kannattaa pyrkiä vähentämään sekä maidontuotannon että koko nautasektorin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Tavoite on hyvä myös eläinten hyvinvoinnin ja talouden kannalta.

6.5 Liharoturisteytysten käyttö maitosysteemin lihantuotannossa

Tämän skenaarion tavoitteena oli muutettujen parametrien (Taulukko 7) avulla mallintaa tilannetta, jossa lihaksi kasvatettavien maitosysteemin liharisteytseläinten teuraspaino olisi puhtaita maitorotuisia korkeampi samalla kasvatusajalla. GLEAM-*i* ei kuitenkaan mahdollistanut kasvunopeuden muuttamista eli teuraspainoja nostettaessa eläinten kasvatusaika piteni automaattisesti. Tämä johti siihen, että maitosysteemin kokonaisalainmäärä nousi 2,2% ja tämän seurauksena myös lihantuotannon päästöt kasvoivat. Tuloksissa (Taulukko 13.) on tästä huolimatta nähtävissä suunta lihantuotannon siirtymisestä emolehmätuotannosta maitosysteemin puolelle.

Skenaariota hahmoteltiin ennen GLEAM-ajoa itse tehdyllä Excel-mallinnuksella. Excel-mallissa käytettiin lähtötason (Taulukko 1.) ja liharoturisteytyskenaarion (Taulukko 7.) parametreja. Liharoturisteytysten maksimaalinen käyttö muille kuin uudistukseen tarvittaville eläimille lisäsi naudanlihantuotantoa maitosysteemistä 15%, minkä seurauksena emolehmistä peräisin olevaa lihaa tarvittiin 17,5% vähemmän. Skenaarion kasvihuonekaasupäästöjä ei ollut mahdollista mallintaa, mutta oletettavasti nautasektorin kokonaiskasvihuonekaasupäästöt olisivat laskeneet maitosysteemistä tuotetun naudanlihan päästöjen intensiteetin (kg CO₂-ekv./kg proteiinia) parantuessa. Hietalan ym. (2014a) simuloinnin mukaan naudanlihantuotannon tehostaminen maitosysteemistä on kannattavaa sekä taloudellisesta että ilmastotehokkuuden näkökulmasta. Naudanlihan määrää voidaan lisätä edelleen käyttämällä sukupuolilajiteltua siementä. Maidontuotantoon valittavien vasikoiden jalostuksellinen taso kannattaa pitää korkealla, jotta perinnöllinen edistyminen lypsykarjassa olisi nopeaa.

6.6 Väkirehun osuuden muutos ruokinnassa

Väkirehuprosentin nostaminen vastasi tutkimuksen hypoteesia eli paransi maidontuotannon ilmastotehokkuutta. Kuten kirjallisuuskatsauksessa todettiin, vastaavat laskelmat saattavat kuitenkin muuttua tulevaisuudessa, kun nurmen hiilensidonta saadaan todennettua ja mukaan LCA-laskelmiin. Ihmisravinnoksi soveltuvan viljan syöttäminen tuotantoeläimille saanee globaalin ruokaturvan näkökulmasta tulevaisuudessa yhä enemmän kritiikkiä. Näiden näkökulmien valossa lypsykarjan ruokintaa olisi ehkä kannattavinta kehittää nurmirehuntuotantoa tehostamalla (enemmän kuiva-

ainesatoa/hehtaari) ja ruokinnallista laatua edelleen parantamalla (D-arvo). Palkokasvit sitovat luonnostaan typpeä maaperään ja vähentävät siten teollisten lannoitteiden tarvetta (Sipilä 2006). Tähän perustuen esimerkiksi apilapitoisen nurmirehun tuottaminen lypsykarjalle tukee ilmastotavoitteita. Virkajärven (2018) mukaan samasta syystä myös rehuntuotantoon käytettävien peltomaiden kasvukuntoa tulisi parantaa.

6.7 Skenaarioiden välinen vertailu ja yhdistelmät

Kussakin skenaariossa tutkittiin ainoastaan yhden tekijän vaikutusta maidon- ja naudanlihantuotannon kasvihuonekaasupäästöihin. Kun tekijöitä tarkastellaan yhdessä, tulee huomioida niiden vaikutukset toisiinsa. Esimerkiksi maidontuotostason nousu vaikuttaa negatiivisesti lypsylehmien hedelmällisyyteen ja sairastavuuteen eli välillisesti kestävyys- ja uudistusprosenttiin (Kadarmideen ym. 2000).

Kotieläinten jalostuksessa erilaisten ominaisuuksien yhdysvaikutukset pyritään huomioimaan jalostusohjelmassa painottamalla ominaisuuksia taloudellisten kertoimien avulla. Ilmastotehokkuuden näkökulmasta optimaalisen lypsylehmän ja maidontuotantostrategian tavoittelemisen ja mallintamisen kokonaisuutena naudanlihantuotannon KHK-päästöt huomioiden olisi kiinnostavaa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella tähänastiset jalostustavoitteet ovat onneksi pääosin linjassa myös ilmastotavoitteiden kanssa, vaikkakin ilmastotehokkuuteen liittyvät painokertoimet poikkeaisivat todennäköisesti jonkin verran taloudellisista. Maidon- ja naudanlihan tuotanto-ominaisuuksien jalostaminen yhdessä voi olla ilmastotehokkuuden näkökulmasta haasteellista, sillä tulosten perusteella lypsylehmien elopainon nousu vaikuttaa negatiivisesti maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöihin. Lihantuotanto-ominaisuuksien korostaminen lypsykarjoissa voi parantaa koko nautasektorin ilmastotehokkuutta, mutta selkeää muutosta tuskin haluta tehdä ainakaan maidontuotanto-ominaisuuksien taloudellisten tekijöiden kustannuksella. Tuottaja ei myöskään välttämättä ole motivoitunut panostamaan naudanlihantuotantoon maidontuotannon ollessa pääasiallinen tulonlähde tilalla.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa tehdyn mallinnuksen perusteella suomalaisen maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää nykyisestä. Päästövähennykset ovat skenaarioissa melko vaatimattomia, mutta osoittavat oikeaan suuntaan. Lypsykarjan pohjoismaiset jalostustavoitteet, kuten tuotosominaisuuksien parantaminen ja eläinten kestävyuden ja terveyden sekä hedelmällisyyden edistäminen tukevat pyrkimystä vähentää maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä. Lypsylehmien elopainoa tulisi mahdollisesti rajoittaa. Kun maidontuotantoon kytkeytynyt naudanlihantuotanto huomioidaan, kasvihuonekaasupäästöjen vähentymistä koko nautasektorilla tulee kuitenkin tarkastella huolellisesti.

Maidontuotannon sivutuotteena syntyvä naudanliha kattaa valtaosan suomalaisesta naudanlihantuotannosta. Tämän tutkimuksen perusteella maitosysteemistä syntyvän naudanlihantuotannon ilmastovaikutus on emolehmäsysteemiä pienempi. Vasikkakuolleisuuden vähentyminen lypsykarjoissa pienensi kokonaisnaudanlihantuotannon ilmastovaikutuksia tehostamalla lihantuotantoa maitosysteemistä ja vähentämällä sitä kautta emolehmien tarvetta. Maidontuotannon tehokkuuden parantuessa eli maidon keskituotoksen noustessa ja lypsylehmien määrän mahdollisesti vähentyessä lihantuotannon kehitystä tulee samalla seurata. Liharoturisteytysten käyttö on resurssitehokas keino lisätä naudanlihantuotantoa ja samalla pienentää ilmastokuormaa maito-lihasysteemissä.

Väkirehun osuuden nosto lypsylehmien ruokinnassa vaikuttaa vähentävän maidontuotannon kasvihuonekaasupäästöjä. Tämänhetkisissä elinkaarimalleissa ei kuitenkaan huomioida kasvinviljelyn maaperään sitoman hiilen määrää.

8 POHDINTA

Tutkimusmenetelmänä GLEAM osoittautui melko suurpiirteiseksi malliksi. GLEAM-työkalu tuo esiin tiettyjen parametrien vaikutukset ja on hyödyllinen nimenomaan maito- ja naudanlihasysteemien samanaikaisessa vertailussa. Vaikka tulokset olivat linjassa aiempien vastaavien tutkimusten kanssa, tämänhetkinen versio GLEAM-i:stä soveltuu ehkä kuitenkin parhaiten maanosien tai selkeästi erityyppisten tuotantosysteemien väliseen vertailuun. Suomalaisten kotieläintilojen välillä on merkittäviä päästöihin vaikuttavia eroja, joiden esiin saaminen vaatii mahdollisuuden muuttaa suurempaa joukkoa parametreja. Esimerkiksi rehuntuotannon päästöihin vaikuttaa merkittävästi satotaso ja maaperätyyppi (kivennäis-/orgaaninen maa) sekä ravinnetase (Regina ym. 2014). Satotasopotentialin hyödyntäminen, maaperäanalyysiin perustuva lannoitus ja hiilensidonnan maksimointi voisivat olla keinoja rehun ilmastovaikutusten vähentämiseksi (Pulkinen ym. 2018). Myös lannankäsittelyn mahdollisuudet ovat vielä pääosin toteuttamatta Suomessa. Biofysikaalisten prosessien, kuten eläinten rehunhyväksikäytön ja kasvunopeuden muutokset pitäisi myös olla muuttuvina tekijöinä käytettävissä LCA-malleissa, jotta perinnöllisen edistymisen ympäristövaikutusten muutokset pystytään todentamaan. Paineet myös luonnon monimuotoisuusvaikutusten mukaan ottamiseksi kasvavat. Eugène ym. (2019) vastikään julkaistun artikkelin mukaan nautakarjatuotannon metaanipäästöjä on mahdollista mallintaa jatkossa entistä tarkemmin Tier 3 -menetelmän avulla.

Väkirehuprosentin nosto tuskin on pitkän tähtäimen tavoite nautakarjan ruokinnassa.

Jos viljan ja muun ihmisravinnoksi kelpaavan raaka-aineen käyttö kotieläinten rehuna tulevaisuudessa vaikeutuu globaalin väestönkasvun ja ilmastonmuutoksen vuoksi, tuotantoeläinten kyky käyttää ihmiselle kelpaamatonta ravintoa eli nurmikasveja voi olla osaratkaisu ruokaturvakysymyksiin. Pohdinnan alle sopii myös nautakarjatalouden sijoittuminen maapallolla. Pitäisikö märehittäjiä kasvattaa ainoastaan viljanviljelyyn kelpaamattomilla alueilla? Toisaalta Suomessa viljan hehtaarisadot ovat eurooppalaisittain alhaiset ja nurmenviljely sopii ilmastoomme.

Maitosysteemiä kannattaa hyödyntää naudanlihantuotannossa. Emolehmätuotannolla on kuitenkin myös oma roolinsa suomalaisessa elintarvikevalikoimassa, maisemassa ja laitumien elinympäristöjen muokkaamisessa. Liharotuisten nautojen liha on myös

laadultaan erilaista. Emolehmiin perustuvan naudanlihantuotannon ilmastovaikutusta voisi pyrkiä pienentämään esimerkiksi eläinjalostuksen ja tarkemman tuotosseurannan keinoin. Maidontuotannon puolella tehty työ ja tämän tutkimuksen tulokset ovat sovellettavissa emolehmäsektorille. Joka tapauksessa yksittäisen parametrin tai tuotesektorin osaoptimointia tulisi välttää. Ihanteellisinta olisi meijeri- ja lihateollisuuden yhteistyö koko nautasektorin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

8 KIITOKSET

Tutkielman johtopäätöksiä kirjoittaessani lukaisin taas pari uutta julkaisua liittyen maitosektorin kestäväen kehityksen tavoitteisiin, ilmastovaikutukset päällimmäisinä. Tämä työ on ollut ennen kaikkea ajankohtainen. Aiheesta kiitän ohjaajaani Helsingin yliopiston kotieläinten jalostustieteen dosentti Jarmo Jugaa. Koko työskentelyn ajan koin, että olimme Jarmon kanssa ”samalla sivulla”, minkä ansiosta työ pysyi kiinnostavana ja eteni johdonmukaisesti loppuun saakka. Helsingin yliopiston lehtori Seija Jaakkolaa haluan kiittää ystävällisestä avusta ruokintalaskelmien kanssa.

Koko perheelleni haluan sanoa: kiitos, että uskoitte minuun. Juho ja äiti, kiitos rakkaudesta ja joustavuudesta. Leilalle kiitos, että olet olemassa. Kirjastosta oli sinun vuoksesi aina kiva tulla kotiin.

Ystävilleni lausun kiitokset loputtomasta kannustuksesta ja erityisesti kuohuviiniseurasta. Sami, kiitos vaikeiden ja loistavien hetkien jakamisesta. Apusi oli tärkeää.

Pro graduni yllätti minut. Sen tekeminen oli mukavampaa kuin olin ajatellut, ja se johdatti minut haaveilemalleni urapolulle – tekemään työtä kohti kestävämpää kotieläintuotantoa. On hieno tunne kokea olevansa oikealla alalla.

LÄHTEET

- Bell, M.J., Garnsworthy, P.C., Stott, A.W. & Pryce, J.E. 2014. Effects of changing cow production and fitness traits on profit and greenhouse gas emissions of UK dairy systems. *Journal of Agricultural Science* (2015), 153, 138–151. doi:10.1017/S0021859614000847
- Bertrand, S. 2017. Setting environmental targets for dairy farming. *Teoksessa Achieving sustainable production of milk Volume 2. Safety, Quality and Sustainability.* Burleigh Dodds Science Publishing, Lontoo. doi:10.4324/9781351114202.
- Blöttner, S., Heins, B. J., Wensch-Dorendorf, M., Hansen, L. B. & Swalve, H. H. 2011. Age at calving in heifers and level of milk production during gestation in cows are associated with the birth size of Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 94 :1058–1068.
- Bonesmo, H., Beauchemin, K.A., Harstad, O.M. & Skjelvåg, A.O. 2013. Greenhouse gas emission intensities of grass silage based dairy and beef production: A systems analysis of Norwegian farms. *Livestock Science.* Volume: 152 (2-3), 239-252.
- Capper, J.L. & Bauman, D.E. 2013. The Role of Productivity in Improving the Environmental Sustainability of Ruminant Production Systems. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2013. 1:469–489.
- Capper, J.L. & Cady, R.A. 2012. A comparison of the environmental impact of Jersey compared with Holstein milk for cheese production. *J. Dairy Sci.* 95 :165–176. doi:10.3168/jds.2011-4360
- Cederberg, C. & Stadig, M. 2003. System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production. *The International Journal of Life Cycle Assessment.* November 2003, Volume 8, Issue 6, pp 350–356. <https://doi.org/10.1007/BF02978508>.

- Crosson, P., Shalloo, L., O'Brien, D., Lanigan, G. J., Foley, P. A., Boland, T. M. & Kenny, D. A. 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology* 166–167 (2011) 29–45.
- Dall-Orsoletta, A.C., Leurent-Colette, S., Launay, F., Ribeiro-Filho, H.M.N. & Delaby, L. 2019. A quantitative description of the effect of breed, first calving age and feeding strategy on dairy systems enteric methane emission. *Livestock Science* Volume 224, June 2019, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.015>
- de Boer, I.J.M., Cederberg, C., Eady, S., Gollnow, S., Kristensen, T., Macleod, M., Meul, M., Nemeck, T., Phong, L.T., Thoma, G., van der Werf, H.M.G., Williams, A.G. & Zonderland-Thomassen, M.A. 2011. Greenhouse gas mitigation in animal production: towards an integrated life cycle sustainability assessment. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2011, 3:423–431.
- De Vries, M., Van Middelaar, C.E. & De Boer, I.J.M. 2015. Comparing environmental impacts of beef production systems: a review of life cycle assessments. *Livest. Sci.* 178, 279–288.
- Eugène, M., Sauvant, D., Nozière, P., Viallard, D., Oueslati, K., Lherm, M., Mathias, E. & Doreau, M. 2019. A new Tier 3 method to calculate methane emission inventory for ruminants. *Journal of Environmental Management*, Volume 231, 1 February 2019, 982-988.
- Faba Osk. 2018. Lihakarjarodut Suomessa. <http://www.faba.fi/fi/tietopankki/lihakarjarodut-suomessa>. Viitattu 5.12.2018.
- FAO. 2017a. Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) [Online]. Rooma, Italia. Viitattu 13.5.2019. www.fao.org/gleam/en/.

- FAO. 2017b. A tool for estimating livestock production, greenhouse gas emissions and assessing intervention scenarios. Version 2.0. User guide. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gleam/docs/GLEAM-i_User_guide_2_Revision_3.pdf. Revision 3 March 2017.
Food and Agriculture Organization of the United Nations. Tulostettu 4.9.2018.
- FAO. 2018. Global Livestock Environmental Assessment Model. Version 2.0 Data reference year: 2010. Model description Revision 5 July 2018. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gleam/docs/GLEAM_2.0_Model_description.pdf
- FAO & GDP. 2018. Climate change and the global dairy cattle sector – The role of the dairy sector in a low-carbon future. Rooma, Italia. 36 s. Licence: CC BY-NC-SA-3.0 IGO
- Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M. & Ledgard, S. 2012. The interaction between milk and beef production and emissions from land use change – critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production*, 28, 134–142.
- Flysjö, A., Henriksson, M., Cederberg, C., Ledgard, S. & Englund, J-E. 2011. The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems* Volume 104, Issue 6, July 2011, (459-469). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.03.003>
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. 2013. Tackling Climate Change Through Livestock – A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rooma, Italia.
- Grandl, F., Furger, M., Kreuzer, M. & Zehetmeier M. 2018. Impact of longevity on greenhouse gas emissions and profitability of individual dairy cows analysed with different system boundaries. *Animal* (2019), 13:1. Pp 198-208.

- Guyadera, J., Littlea, S., Kröbela, R., Benchaarb, C. & Beauchemin, K. A. 2017. Comparison of greenhouse gas emissions from corn- and barley-based dairy production systems in Eastern Canada. *Agricultural Systems* 152 (2017) 38-46.
- Hietala, P., Bouquet, P. & Juga, J. 2014a. Effect of replacement rate, crossbreeding and sexed semen on the efficiency of beef production from dairy herds in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*. Volume 64, 2014 - Issue 4. doi: 10.1080/09064702.2015.1013978
- Hietala, P. & Juga, J. 2017. Impact of including growth, carcass and feed efficiency traits in the breeding goal for combined milk and beef production systems. *Animal*, 11(4), 564-573. doi:10.1017/S1751731116001877
- Hietala, P., Wolfová, M., Wolf, J., Kantanen, J. & Juga, J. 2014b. Economic values of production and functional traits, including residual feed intake, in Finnish milk production. *Journal of Dairy Science*. Volume 97, Issue 2, February 2014, Pages 1092-1106. doi: 10.3168/jds.2013-7085.
- Hietanen, H. & Ojala, M. 1995. Factors Affecting Body Weight and Its Association with Milk Production Traits in Finnish Ayrshire and Friesian Cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*, 45:1, 17-25, DOI: 10.1080/09064709509410909
- Huuskonen, A. (toim.) 2012. Pihvirotuisten nautojen teurasominaisuudet ja lihan laatu. MTT raportti 46. Jokioinen, Suomi. 100 s.
- Huuskonen, A. & Pesonen, M. 2014. Naudanlihantuotannon ympäristövaikutukset - kirjallisuusselvitys. MTT raportti 156. Ruukki, Suomi.
- Huuskonen, A., Pesonen, M., Hyrkäs, M., Kämäräinen, H. & Kauppinen, R. 2014. Risteytyksellä lisäarvoa ay-sonnin ruholle. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote nro. 30. MTT: Maaninka, Suomi.

- Huuskonen, A., Pesonen, M., Kämäräinen, H. & Kauppinen, R. 2013a. A comparison of the growth and carcass traits between dairy and dairy × beef breed crossbred heifers reared for beef production. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 22, 2013, 188–196.
- Huuskonen, A., Pesonen, M., Kämäräinen, H. & Kauppinen, R. 2013b. A comparison of purebred Holstein-Friesian and Holstein-Friesian × beef breed bulls for beef production and carcass traits. *Agricultural and Food Science* 22: 262–271.
- IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. 2018. Global Warming of 1.5 °C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Tulostettu 6.8.2019.
- ISO. 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO 14040:2006(E). International Organization for Standardization, Geneve, Sveitsi.
- Järvenranta, K., Virkajärvi, P., Pulkkinen, H., Huuskonen, A., Nousiainen, J., Hietala, S. & Pesonen, M. 2018. Dynamic LCA model for estimating environmental effects of Finnish beef production (FootprintBeef). *Grassland Science in Europe*, Vol. 23 – Sustainable meat and milk production from grasslands: 544-546.
- Kadarmideen, H., Thompson, R., & Simm, G. 2000. Linear and threshold model genetic parameters for disease, fertility and milk production in dairy cattle. *Animal Science*, 71(3), 411-419. doi:10.1017/S1357729800055338
- Littler, P. 2007. Live beef cattle assessment. Primefact 622.
- Luke. 2016. Naudanlihantuotanto. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/maatalous-ja-maaseutu/lihantuotanto/>. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Helsinki, Suomi. Tulostettu 26.4.2019.

- MacLeod, M.J., Vellinga, T., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Henderson, B., Makkar, H., Mottet, A., Robinson, T., Steinfeld, H. & Gerber, P.J. Invited review: A position on the Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM). *Animal* (2018), 12:2, pp 383–397.
- Milani, F.X., Nutter, D. & Thoma, G. 2011. *Invited review*: Environmental impacts of dairy processing and products: A review. *J. Dairy Sci.* 94 :4243–4254doi: 10.3168/jds.2010-3955.
- Milkworks. 2019. Maidon muut ominaisuudet. <https://www.milkworks.fi/maidon-muut-ominaisuudet/#tiheys>. Viitattu 15.7.2019.
- Mogensen, L., Kristensen, T., Nielsen, N.I., Spleth, P., Henriksson, M., Swensson, C., Hesse, A. & Vestergaard, M. 2015. Greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden. *Livestock Science*. Volume 174, April 2015, Pages 126-14.
- Negussie, E., Lehtinen, J., Mäntyssari, P., Bayat, A.R., Liinamo, A-L., Mäntysaari, E.A., & Lidauer, M.H. 2017. Non-invasive individual methane measurement in dairy cows. *Animal* 11: 890-899.
- Nemecek, T., Alig, M. & Grandl, F. 2013. The role of grasslands in a green future: threats and perspectives in less favoured areas. In: Proceedings of the 17th symposium of the European Grassland federation. Toim. Helga-dóttir, Á. & Hopkins, A. Akureyri, Iceland 23.-26.6.2013. *Grassland Science in Europe* 18: 88-90.
- Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E. & Mogensen, L. 2010. Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *Journal of Cleaner Production* Volume 18, Issue 8, May 2010, Pages 756-766
- Nousiainen, J., Tuori, M., Turtola, E. & Huhtanen, P. 2011. Dairy farm nutrient management model. 1. Model description and validation. *Agricultural Systems* 104 (2011) 371-382.

- O'Brien, D., Shalloo, L., Buckley, F., Horan, B., Grainger, C. & Wallace, M. 2011. The effect of methodology on estimates of greenhouse gas emissions from grass based dairy systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141 (2011) 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.008>
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., Steinfeld, H. 2013. *Greenhouse Gas Emissions from Ruminant Supply Chains – A Global Life Cycle Assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rooma, Italia.
- ProAgria 2017. *Lypsykarjan tuotosseurannan tulokset 2016*. https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/lypsykarjan_tuotosseuran_an_tulokset_2016.pdf. Tulostettu 5.12.2018.
- Pulkkinen, H., Hietala, S., Joensuu, K. & Virkajärvi, P. 2018. Kotimaisen karjatalouden ilmastovaikutukset. http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/541802/Nautakarjan-ilmastovaikutukset-18-1-2018_valmis.pdf?sequence=1. Tulostettu 9.7.2019.
- Regina, K., Lehtonen, H., Palosuo, T. & Ahvenjärvi, S. 2014. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähentäminen. MTT raportti 127. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti127.pdf>
- Rotz, A. 2018. Symposium review: Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *J. Dairy Sci.* 101:6675–6690. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272>
- Salou, T., Le Mouel, C. & van der Werf, H. 2016. Environmental impacts of dairy system intensification: the functional unit matters! *Journal of Cleaner Production* Volume 140, Part 2, 1 January 2017, Pages 445-454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.019>
- Sipilä, A. 2006. Biologinen typensidonta. Nurmitieto 2.2.4. Suomen Nurmiyhdistyksen ja MTT:n julkaisusarja. Julkaisupäivä: 31.5.2006. Saatavissa: www.agronet.fi/nurmiyhdistys.

- Sirkko, K. 2017. Elossa olevien liharotuisten eläinten määrät 21.12.2016. Nauta 1/2017: 53.
- Sirkko, K. 2018. Emotarkkailun tulokset 2017. Nauta 2/2018: 58-60.
- SVT (Suomen virallinen tilasto). 2018. Kotieläinten lukumäärä. <https://stat.luke.fi/kotielainten-lukumaara>. Luonnonvarakeskus. Helsinki, Suomi. Tulostettu 5.12.2018.
- SVT (Suomen virallinen tilasto). 2019a. Kasvihuonekaasut. <http://www.stat.fi/til/khki/> Tilastokeskus. Helsinki, Suomi. Tulostettu 16.3.2019.
- SVT (Suomen virallinen tilasto). 2019b. Lihantuotanto. <https://stat.luke.fi/lihantuotanto> Luonnonvarakeskus. Helsinki, Suomi. Tulostettu 26.4.2019.
- SVT (Suomen virallinen tilasto). 2019c. Maidon kokonaistuotanto. <https://stat.luke.fi/maito-ja-maitotuotetilasto>. Luonnonvarakeskus. Helsinki, Suomi. Tulostettu 15.7.2019.
- SYKE. 2017. Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaariklinikatoimintamallista pk yrityksille. Tietopaketti_LCA%20ja%20elinkaariklinikat.pdf. Suomen ympäristökeskus 2017. Tulostettu 17.5.2019.
- Tilastokeskus 2018. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2016. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol Submission to the European Union. 15.3.2018.
- Vellinga, T.V. & de Vries, M. 2018. Effectiveness of climate change mitigation options considering the amount of meat produced in dairy systems. *Agricultural Systems* 162: 136-144.
- Virkajärvi, P. 2018. Ilmastoneutraalia nautaa etsimässä. Nauta 01/2018.

- Virtanen, S. 2017. Sikiön vaikutus emän maitotuotoksen vaihteluun suomalaisilla ayrshirelehmillä. Helsingin yliopisto. Maisterintutkielma. <http://ethesis.helsinki.fi/>
- Waghorna, G.C. & Hegarty R.S. 2011. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Animal Feed Science and Technology* 166-167 (2011) 291–301.
- Weiske, A., Vabitsch, J.E., Olesenc, K., Scheldec, J., Michela, R. & Friedrich, M. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112 (2006) 221–232.
- Wolf, P., Groen, E., Berg, W, Prochnow, A, Bokkers, E., Heijungs, R., & de Boer, I. 2017. Assessing greenhouse gas emissions of milk production: which parameters are essential? *Int J Life Cycle Assess* (2017) 22:441–455. DOI 10.1007/s11367-016-1165-y.
- Zehetmeier, M., Baudracco, J., Hoffmann, H. & Heissenhuber, A. 2011. Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* (2012), 6:1, 154-166. Doi: 10.1017/S1751731111001467.