

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint *may differ* from the original in pagination and typographic detail.

Author(s): Huuskonen, Arto; Huhtanen, Pekka; Manni, Katariina

Title: Lypsylehmien tuotostason vaikutukset metaanintuotantoon ja typen eritykseen tuotettaessa tavoiteltu määrä maitoa ja naudanlihaa

Year: 2026

Version: Published version

Copyright: The Author(s) 2026

Rights: CC BY 4.0

Rights url: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Please cite the original version:

Huuskonen, A., Huhtanen, P., Manni, K. (2026). Lypsylehmien tuotostason vaikutukset metaanintuotantoon ja typen eritykseen tuotettaessa tavoiteltu määrä maitoa ja naudanlihaa. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote, 44. <https://doi.org/10.33354/smts.181014>

All material supplied via *Jukuri* is protected by copyright and other intellectual property rights. Duplication or sale, in electronic or print form, of any part of the repository collections is prohibited. Making electronic or print copies of the material is permitted only for your own personal use or for educational purposes. For other purposes, this article may be used in accordance with the publisher's terms. There may be differences between this version and the publisher's version. You are advised to cite the publisher's version.

Lypsylehmien tuotostason vaikutukset metaanintuotantoon ja typen eritykseen tuotettaessa tavoiteltu määrä maitoa ja naudanlihaa

Arto Huuskonen¹, Pekka Huhtanen² ja Katariina Manni²

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Tuotantojärjestelmät, Halolantie 31A, 71750 Maaninka

²Luonnonvarakeskus (Luke), Tuotantojärjestelmät, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

email: arto.huuskonen@luke.fi

Tutkimuksen tavoitteena oli mallintaa lypsylehmien tuotostason vaikutuksia metaanintuotantoon ja typen eritykseen Suomen nautakarjasektorilla tuotettaessa tavoitteenmukainen määrä maitoa ja naudanlihaa. Naudanlihantuotantotavat nykyisellä vuosittaisella maidontuotantomäärällä (2 200 milj. kg) optimoitiin Excelin Solverilla. Optimointi tehtiin viiden eri maitotuotostason (8 000, 9 000, 10 000, 11 000, 12 000 kg) ja yhdeksän vuosittaisen naudanlihan tuotantomäärän (60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 milj. kg) kombinaatioille. Mallinnuksessa nautojen keskiteuras-painoille annettiin maksimiarvot, jotka olivat maitorotuiselle sonnille 450 kg, liharotuiselle sonnille 400 kg, maitorotuiselle hieholle 325 kg ja liharotuiselle hieholle 350 kg. Lypsy- ja emolehmille käytettiin nykyisiä keskiteuraspainoja eli 295 ja 341 kg. Eläinten ruokinta mallinnettiin nykyisten suomalaisten ruokintasuositusten ja -käytäntöjen mukaisesti. Lypsylehmillä huomioitiin energian, OIV:n ja kivennäisten saanti kullakin maidontuotantasolla ja umnessa-olokaudella. Ruokinnan optimointi tehtiin Lypsikki-ohjelmalla. Vastaavasti emolehmien, vasikoiden ja kasvavien nautojen ruokinnat mallinnettiin nykyisten keskimääräisten suomalaisten ruokintojen mukaisesti. Metaanintuotanto ja typen eritykseen sonnassa mallinnettiin Karoline-ohjelmalla. Virtsaeritety typpi laskettiin erotuksena typen saannin sekä maitoon, sontoon ja kasvuun pidettyyn typen kautta. Metaanintuotantoa ja typen eritystä minimoitaessa havaittiin, että tehokkain tuotantotapa on kasvattaa teurasnaudat ensin mahdollisimman suuriin teuraspainoihin (annetut maksimipainot) ja vasta sen jälkeen lisätä emolehmien määrää. Jos tuottaisimme nykyisen vuosittaisen naudanlihamäärän (85 milj. kg) ja maitomäärän (2 200 milj. kg) 8 000 kg maitotuotostasolla, se voitaisiin annetuilla teuraspainomaksimeilla tuottaa ilman emolehmiä. Vastaavasti jos lypsylehmien keskituotos olisi 11 000 kg ja vuotuinen maitomäärä 2 200 milj. kg, tarvittaisiin 64 000 emolehmää jälkeläisineen, jotta saataisiin tuotettua 85 miljoonaa kiloa naudanlihaa. Nykyistä kotimaista naudanlihan kulutusta (noin 100 milj. kg) vastaava tuotannon taso vaatisi vastaavasti 8 000 kg:n maitotuotostasolla noin 37 000 emolehmää ja 11 000 kg:n maitotuotostasolla 110 000 emolehmää. Lisääntynyt maidontuotannon intensiteetti vähensi metaanin kokonaistuotantoa jokaisella mallinnetulla naudanlihan vuotuisella tuotantomäärällä. Lisäksi nykyistä alhaisemmilla naudanlihan tuotantomäärillä (alle 85 milj. kg) lannan sisältämä typen määrä väheni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa. Nykyisellä tai nykyistä korkeammilla naudanlihan tuotantomäärillä maidontuotannon vaikutukset lannan typen määrään olivat pienet. Tulosten perusteella nykyinen strategiamme, jossa maitoa ja naudanlihaa tuotetaan korkealla maidontuotannon intensiteetillä, on tehokas tuotantotapa metaanintuotannon ja typpipäästöjen kannalta.

Avainsanat: maidontuotanto, naudanlihantuotanto, metaani, typpi

Johdanto

Kotieläintuotannon rooli tulevaisuuden ruokajärjestelmissä on ollut vilkkaan julkisen ja akateemisen keskustelun kohteena viime vuosien aikana (Kuhmonen ym. 2024). Kotieläintuotanto aiheuttaa merkittäviä ympäristövaikutuksia (Leip ym. 2015, Herrero ym. 2016), ja erityisesti märehitjät tuottavat merkittäviä ympäristövaikutuksia (Johnson ja Johnson 1995, Beauchemin ym. 2020). Kotieläintuotannolla on ympäristövaikutuksia myös peltojen ravinneleikkäimien kautta (Nousiainen ym. 2011, Hietala ym. 2021). Toisaalta ilmastollisesti epäsuotuisilla alueilla, joilla ruokakasvien viljely ei ole mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa, nurmeen perustuva nautakarjatalous on tärkeä osa kestävästä maataloudesta, koska märehitjät pystyvät muuttamaan ihmisille sopimattomia rehuja korkealaatuiseksi elintarvikkeiksi (Godfray ym. 2010, Kuhmonen ym. 2024).

Maidontuotannolla on ollut tärkeä rooli Suomen ruokajärjestelmässä yli vuosisadan ajan (Kuhmonen ja Kuhmonen 2023). Suomessa on tällä hetkellä noin 230 000 lypsylehmää ja vuonna 2023 maitoa tuotettiin 2 174 miljoonaa litraa (Luke 2024a). On huomionarvoista, että lypsylehmien metaanintuotanto on vähentynyt merkittävästi Suomessa viimeksi kuluneiden vuosikymmenten aikana. Huhtanen ym. (2022) mallinsivat, että lypsylehmien metaanintuotanto on Suomessa vähentynyt 56% viimeksi kuluneiden 60 vuoden aikana vuosina 1960–2020. Intensiteetissä eli tuoteyksikköä kohden lasketussa metaanintuotannossa (CH_4 g kg^{-1} energiakorjattua maitoa) havaittiin puolestaan 36%:n (0.7% vuodessa) lasku. Metaanin kokonaistuotannon väheneminen liittyy osittain lypsylehmien

määrän vähenemiseen ja osittain intensiteetin laskuun, mikä puolestaan johtuu maidontuotannon tehokkuuden lisääntymisestä jalostuksen, ruokinnan ja hoitokäytäntöjen avulla (Huhtanen ym. 2022).

Suomalainen naudanlihantuotanto perustuu pääasiassa maitorotuisiin nautoihin. Vuonna 2023 Suomessa teuras-tettiin yhteensä 262 251 nautaa ja naudanlihaa tuotettiin 85.4 miljoonaa kg (Luke 2024b). Tuotetusta naudanli-hasta 44% oli peräisin maito- ja maito × liharotuisista sonneista, 21% lypsylehmistä, 14% maito- ja maito × liharo-tuisista hiehoista, 12% liharotuisista sonneista, 5% liharotuisista hiehoista ja 3% emolehmissä (Luke 2024b). Yksi keskeinen ero useimpiin maidon- ja naudanlihantuotantomaihin on se, että suomalaisessa tuotannossa ei käytetä soijaa ja maissisäilörehun käyttö on hyvin vähäistä, kun taas nurmisäilörehulla ja rehuviljalla on keskeinen rooli nautojen ruokinnassa (Hietala ym. 2021).

Viime vuosina lypsylehmien määrän väheneminen on vähentänyt lypsykarjoista peräisin olevien vasikoiden tar-jontaa naudanlihantuotantoon, minkä vuoksi suomalaisen naudanlihan kysyntä ylittää tarjonnan (Hietala ym. 2021). Vuonna 2023 naudanlihan omavaraisuusaste oli Suomessa noin 90% (Luke 2024b). Vallitsevaan alituotantotilanteeseen on pyritty vastaamaan nostamalla sonnien ja hiehojen teuraspainoja sekä lisäämällä emolehmien määrää. Molemmat toimenpiteet kuitenkin lisäävät tuotetun naudanlihan ympäristövaikutuksia. Yleisesti ottaen lypsykarjaan perustuvan naudanlihantuotannon on osoitettu tuottavan vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä tuo-tettua ruhokiloa kohden verrattuna emolehmiä tuotantoon (Casey ja Holden 2006, Nguyen ym. 2010, Flysjö ym. 2012, Hietala ym. 2021). Huhtanen ja Huuskonen (2020) raportoivat, että maitorotuisien sonnien teuraspainon kasvu lisää metaanipäästöjä tuotettua ruhokiloa kohden. Suurempi rehun kulutus ja kasvun hidastuminen elopai-non kasvaessa olivat tärkeimmät tätä selittävät tekijät (Huhtanen ja Huuskonen 2020).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli mallintaa lypsylehmien tuotostasojen, eli maidontuotantointensiteetin, vaiku-tuksia nautojen metaanintuotantoon ja typen erittymiseen maidon- ja naudanlihantuotannossa, kun tavoitteena on tuottaa tietty määrä kotimaista maitoa ja naudanlihaa. Hypoteesina oli, että jos tavoiteltu maitomäärä tuo-tettaisiin pienemmällä tuotantointensiteetillä, lypsylehmiä tarvittaisiin enemmän ja naudanlihantuotantoon olisi käytettävissä suurempi määrä lypsykarjoista peräisin olevia eläimiä. Tämä tarkoittaisi pienempää emolehmien määrää ja mahdollisuutta pienentää teuraspainoja, kun tavoitteena on tuottaa tietty määrä naudanlihaa. Tämä voisi puolestaan vähentää maidon- ja naudanlihantuotannon kokonaisympäristövaikutuksia, vaikka maidontuo-tannon päästöt kasvaisivatkin lypsylehmien määrän kasvaessa ja tuotantointensiteetin laskiessa. Tutkimus toteu-tettiin osana Savon maatalouden tulevaisuuskuva (Santtu) -hanketta.

Materiaali ja menetelmät

Käytetyt menetelmät käyvät yksityiskohtaisesti ilmi Huuskosen ym. (2025) julkaisusta. Tässä esitellään laskenta ja mallinnus pääpiirteissään.

Lypsylehmien ruokinta ja ympäristövaikutukset

Lypsylehmien ruokinta suunniteltiin vastaamaan Luken (2024c) ruokintasuosituksia muuntokelpoisen energian (ME), ohutsuolesta imeytyvän valkuaisen (OIV) ja kivennäisaineiden (Ca, P, Mg ja Na) osalta. Rehut koostuivat nur-misäilörehusta, energialisästä (ohran, kauran ja melassoidun sokerijuurikasleikkeen seos: 0.40:0.40:0.20), valkuais-lisästä (rypsiruohon ja rypsipuristeen seos: 0.50:0.50), kalsiumkarbonaatista ja natriumkloridista. Lypsikki®-mallin avulla optimoitiin edullisimmat ruokinnat vuotuisille maitotuotoksille, jotka vaihtelivat 7 500–12 500 kg:n välillä (500 kg:n välein) 650 kg painavalle lehmälle. Maidon rasva- ja valkuaispitoisuudet olivat 44 ja 35 g kg⁻¹ jokaisella tuotantotasolla. Keskimääräisen 403 päivän poikimisvälin ja 60 päivän ummessaolon perusteella lehmät olivat lypsissä 311 päivää ja ummessa 54 päivää vuodessa. Ummessaoloajan ruokintana käytettiin nurmisäilörehun ja ohran sekoitusta (0.80:0.20) ylläpito- ja tiineysvaatimusten täyttämiseksi.

Metaanipäästöt ja sonnan typen erityis ennustettiin Karoline-mallilla (Danfaer ym. 2006, Huhtanen ym. 2015). Virtsan typen erityis laskettiin seuraavasti: typen saanti – maidon tyyppi – sonnan tyyppi olettaen, että tyyppitase on nolla. Tuotantotason vaikutukset metaanipäästöihin ja typen eritykseen (kg lehmä⁻¹ vuosi⁻¹ tai g kg⁻¹ maitoa) arvioitiin lineaarisella regressiolla tai potenssifunktio-mallilla.

Emolehmien ja kasvavien nautojen ruokinta ja ympäristövaikutukset

Emolehmien ruokinta suunniteltiin vastaamaan emolehmien ruokintasuosituksia, jotka perustuvat pääasiassa lypsylehmien ruokintasuosituksiin (Luke 2024c). Keskimäärin vuosittainen rehuannos sisälsi nurmisäilörehua (400 g kg⁻¹ ka), laidunruohoa (400 g kg⁻¹ ka), kauraa (100 g kg⁻¹ ka) ja olkea (100 g kg⁻¹ ka). Metaanipäästöt ja sonnassa erittyvä typpi ennustettiin Karoline-mallilla.

Maitorotuisten sonnien mallinnuksessa käytettiin samaa dataa, jota Huhtanen ja Huuskonen (2020) käyttivät mallintaessaan teuraspainon sekä ruokinnan väkirehutasoa ja valkuaislisän vaikutuksia metaanituotantoon ja typen eritykseen. Kyseinen data-aineisto perustui kasvavien maitorotuisten sonnien ruokintakokeeseen, jossa vertailtavina koetekijöinä olivat väkirehuruokinnan intensiteetti ja ruokinnan valkuaisläydennys. Kokeen kolme väkirehutasoa olivat 30, 50 ja 70% päivittäisestä kuiva-aineen syönnistä. Valkuaisrehuruokinnan vertailtavana koetekijänä oli rypsilisäys: sonnit saivat väkirehuna joko pelkkää ohraa (väkirehun raakavalkuaispitoisuus 128 g kg⁻¹ ka) tai ohran ja rypsin seosta (väkirehun raakavalkuaispitoisuus 160 g kg⁻¹ ka). Sonnit ruokittiin vapaasti seosrehulla, joka sisälsi edellä mainitussa suhteessa karkearehua ja väkirehua. Lisäksi huolehdittiin kivennäisten ja vitamiinien saannista. Karkearehuna oli hyvälaatuinen nurmisäilörehu, jonka D-arvo oli 668 g kg⁻¹ ka. Kokeessa käytettyjen rehujen koostumus ja rehuarvot sekä sonnien syönti-, kasvu- ja teurastulokset on raportoitu kokonaisuudessaan Huuskosen ym. (2007) julkaisussa.

Vasikkakauden (alle 6.5 kuukauden ikä) mallintamiseen käytettiin Huuskosen ym. (2011) raportoiman kokeen tietoja. Data käsitti yhteensä 120 vasikkaa, joita ruokittiin tyyppillisellä suomalaisella ruokintatavalla. Kokeessa käytettyjen rehujen koostumus ja rehuarvot sekä vasikoiden syönti- ja kasvutulokset on raportoitu kokonaisuudessaan Huuskosen ym. (2007) julkaisussa.

Ruokinnan metaanipäästöt ja typen erityksen sonnassa ennustettiin Karoline-mallilla. Vaikka Karoline-malli on alun perin kehitetty lypsylehmille, sillä voidaan mallintaa ravintoaineiden sulatusta myös kasvavilla naudoilla (Huhtanen ja Huuskonen 2020). Typen pidättyminen arvioitiin AFRC:n (1992) kaavalla: $\text{Pidättynyt typpi (g d}^{-1}\text{)} = (\text{LWG} \times (168.07 - 0.16869 \times \text{LW} + 0.0001633 \times \text{LW}^2) \times (1.12 - 0.1223 \times \text{LWG}) \times \text{C}) / 6.25$, missä LW = elopaino (kg), LWG = elopainon kasvu (kg d⁻¹) ja C = korjauskerroin. Maitorotuisille sonneille käytettiin korjauskerrointa 1.2. Virtsan typpi (g d⁻¹) laskettiin erotuksena: Typen saanti – sonnan typpi – pidättynyt typpi.

Liharotuisten sonnien mallinnus tehtiin samalla tavalla kuin maitorotuisille sonneille, sillä erotuksella, että rehun hyväksikäytön kasvuun oletettiin olevan tehokkaampaa kuin maitorotuisilla sonneilla (kerroin 0.85). Tämä perustui kirjallisuuteen (Huuskonen ym. 2017), nykyisiin suomalaisiin kasvavien nautojen ruokintasuosituksiin (Luke 2024c) ja aiempaan data-aineistoon (Huuskonen ja Huhtanen 2015). Kasvaville hiehoille oletettiin sama rehun hyväksikäyttö kasvuun kuin maitorotuisille sonneille, koska 89 % Suomessa tuotetusta hiehojen lihasta on peräisin joko maito × liharotujen risteytyksistä tai puhtaista lihakarjaroduista, ja niiden energian tarve on suunnilleen sama kuin maitorotuisilla sonneilla (Luke 2024c).

Laskenta

Naudanlihan tuotantostrategiat Suomen nykyisellä vuosittaisella maidontuotannolla (2 200 miljoonaa kg) optimoitiin Excel Solverilla (Fylstra ym. 1998) kullekin maidontuotannon (keskituotos 8 000, 9 000, 10 000, 11 000 ja 12 000 kg vuosi⁻¹) ja naudanlihantuotannon (60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 ja 100 miljoonaa kg vuosi⁻¹) yhdistelmälle. Suurimmaksi sallituksi teuraspainoksi asetettiin maitorotuiselle sonnille 400 kg, liharotuiselle sonnille 450 kg, maitorotuiselle hieholla 325 kg ja liharotuiselle hieholla 350 kg. Lypsylehmien ja emolehmien osalta käytettiin nykyisiä keskimääräisiä ruhopainoja (lypsylehmä 295 kg, emolehmä 341 kg). Karjan uudistusprosenttina käytettiin arvoja 0.25 (lypsylehmät) ja 0.175 (emolehmät).

Lypsy- ja emolehmien metaanipäästöt (CH₄) ja typen erityksen (TE) laskettiin seuraavasti:

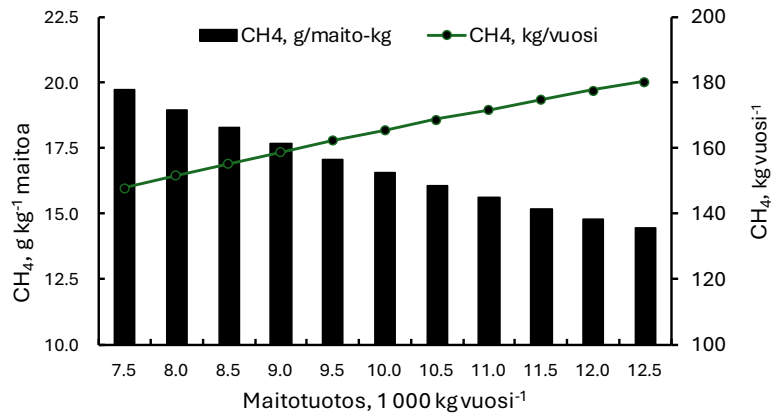
$\text{CH}_4 \text{ tai TE (tonnia vuodessa)} = (\text{N} \times \text{Lehmän CH}_4 \text{ tai TE (kg vuosi}^{-1}\text{)} + \text{RR} \times \text{Hiehon CH}_4 \text{ tai TE}) \times 0.001 \text{ (tonnia kg}^{-1}\text{)}$, jossa N = lehmien lukumäärä, Lehmän CH₄ tai TE ja Hiehon CH₄ tai TE = CH₄ tai TE lehmää ja uudistushiehoa kohden ja RR = uudistusprosentti.

Kasvavien nautojen (maito- ja liharotuiset sonnit ja hiehot) metaanipäästöt (CH₄) ja typen erityksen (TE) laskettiin seuraavasti: $\text{CH}_4 \text{ tai TE (tonnia vuodessa)} = (\text{N} \times \text{CH}_4 \text{ tai TE (kg vuosi}^{-1}\text{)}) \times 0.001 \text{ (tonnia kg}^{-1}\text{)}$, jossa N = eläinten lukumäärä ja CH₄ tai TE = CH₄-päästöt tai TE kyseiselle eläinryhmälle. Toisen asteen polynomiregressioyhtälöt kehitettiin ennustamaan teuraspainon (kg) ja kumulatiivisen CH₄-päästön tai typen erityksen välistä suhdetta.

Tulokset

Metaanintuotanto

Ennustettu metaanintuotanto lehmää kohti (sisältäen ummessaolokauden) kasvoi, kun rehun syönti ja maitotuotos lisääntyivät. Sen sijaan metaanintuotannon intensiteetti pieneni 19.7 grammasta 14.4 grammaan maitokiloa kohti maitotuotostason kasvaessa (Kuva 1). Maitotuotoksen ja metaanintuotannon välillä havaittiin lineaarinen yhteys: $\text{CH}_4 \text{ (kg vuosi}^{-1}\text{)} = 100.3 + 6.49 \times \text{maitotuotos (1 000 kg vuosi}^{-1}\text{)}$.



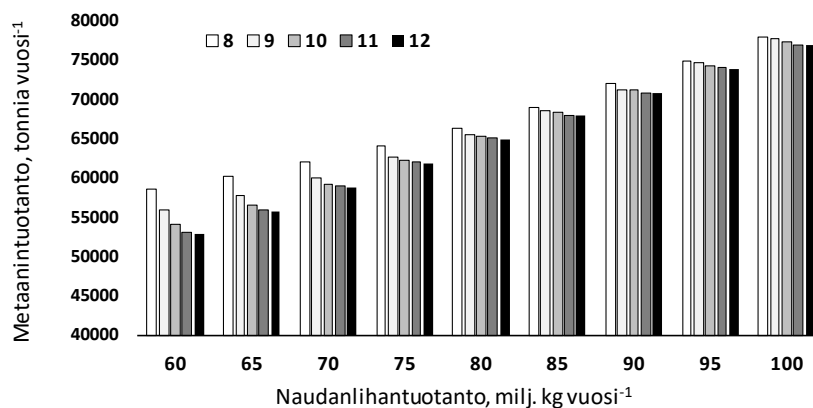
Kuva 1. Maitotuotostason vaikutus lypsylehmän metaanintuotantoon (kg vuosi⁻¹) ja metaanintuotannon intensiteettiin (g kg⁻¹ maitoa)

Kasvavilla maitorotuisilla sonneilla teuraspainon (CW, kg) ja metaanintuotannon välinen yhteys oli toisen asteen polynomi: $\text{CH}_4 \text{ (kg vuosi}^{-1}\text{)} = 11.38 - 0.0432 \times \text{CW} + 0.000784 \times \text{CW}^2$.

Ennustetut metaanintuotannon määrät olivat:

- 98 kg vuosi⁻¹ emolehmälle
- 138 kg vuosi⁻¹ uudistushieholla lypsykarjassa
- 156 kg vuosi⁻¹ uudistushieholla emolehmäkarjassa

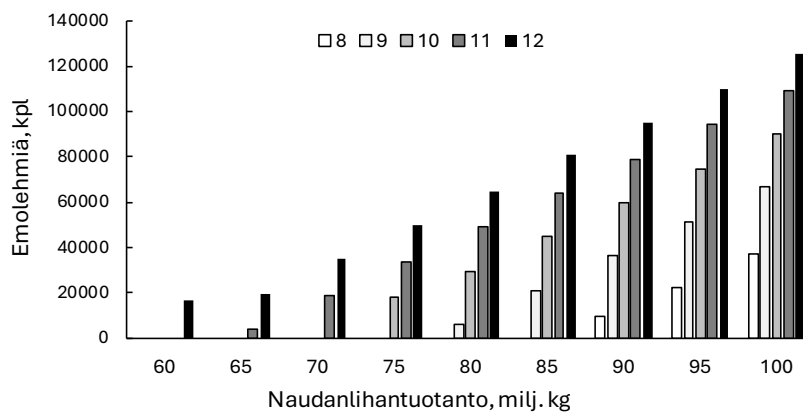
Maidontuotannon intensiteetin kasvu pienensi koko nautasektorin ennustettua metaanintuotantoa kaikilla tarkastelluilla naudanlihantuotannon tasoilla. Maitotuotoksen vaikutus oli kuitenkin voimakkaampi alemmilla naudanlihantuotannon tavoitetasoilla (Kuva 2). Tavoiteltaessa 60 miljoonan kilon vuosittaista naudanlihantuotannon tasoa maidontuotannon intensiteetin kasvu vähensi metaanintuotantoa 5 624 tonnia (11%). Nykyisellä naudanlihantuotannon tasolla (noin 85 miljoonaa kg) maitotuotoksen intensiteetin vaikutus oli vain 1 126 tonnia (1.7%). Mallinuksessa maidontuotannon intensiteetin kasvaessa maitorotuisen sonnivasikoiden ja hiehojen teuraspaino kasvoi ensin. Kun teuraspainolle asetetut ylärajat saavutettiin, loppuosa tarvittavasta naudanlihasta oli tuotettava emolehmämäärän lisäämisen kautta.



Kuva 2. Maitotuotostason (8, 9, 10, 11 tai 12 tuhatta kiloa vuosi⁻¹) vaikutus koko nautasektorin vuotuisen metaanintuotantoon eri naudanlihantuotannon tasoilla (60–100 milj. kg vuosi⁻¹) kokonaismaidontuotannon tasolla 2 200 miljoonaa kiloa vuodessa.

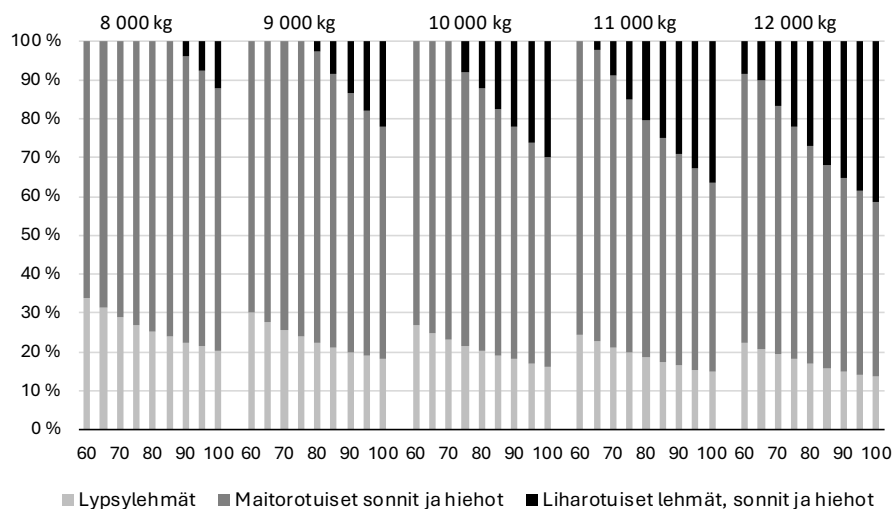
Naudanlihantuotantoon tarvittavien emolehmien määrä kasvoi sekä lypsylehmien maitotuotoksen että tavoitellun naudanlihantuotantomäärän lisääntyessä (Kuva 3). Maitotuotostasolla 10 000 kg vuodessa jokainen miljoonan kilon lisäys naudanlihantuotannossa edellytti 2 960 lisäemolehmää, kun tavoiteltu naudanlihantuotanto ylitti 70 miljoonaa kiloa. Kun annetulla maitotuotostasolla ainoa keino lisätä naudanlihantuotantoa oli kasvattaa emolehmien määrää, lisämetaanintuotanto oli 607 g tuotettua ruhopainokiloa kohden.

Jos tuottaisimme nykyisen vuosittaisen naudanlihämäärän (85 milj. kg) ja maitomäärän (2 200 milj. kg) 8 000 kg maitotuotostasolla, se voitaisiin annetuilla teuraspainomaksimeilla tuottaa ilman emolehmiä (Kuva 3). Vastaavasti jos lypsylehmien keskituotos olisi 11 000 kg ja vuotuinen maitomäärä 2 200 milj. kg, tarvittaisiin 64 000 emolehmää jälkeläisineen, jotta saataisiin tuotettua 85 miljoonaa kiloa naudanlihaa. Nykyistä kotimaista naudanlihan kulutusta (noin 100 milj. kg) vastaava tuotannon taso vaatisi vastaavasti 8 000 kg:n maitotuotostasolla noin 37 000 emolehmää, 11 000 kg:n tuotostasolla 110 000 emolehmää ja 12 000 kg:n tuotostasolla 125 000 emolehmää (Kuva 3).



Kuva 3. Naudanlihantuotantoon tarvittavien emolehmien lukumäärä tietyn naudanlihämäärän (60–100 milj. kg vuosi⁻¹) tuottamiseksi eri maitotuotostasolla (8, 9, 10, 11 tai 12 tuhatta kiloa vuodessa), kun maidon kokonaistuotanto on 2 200 miljoonaa kg vuodessa.

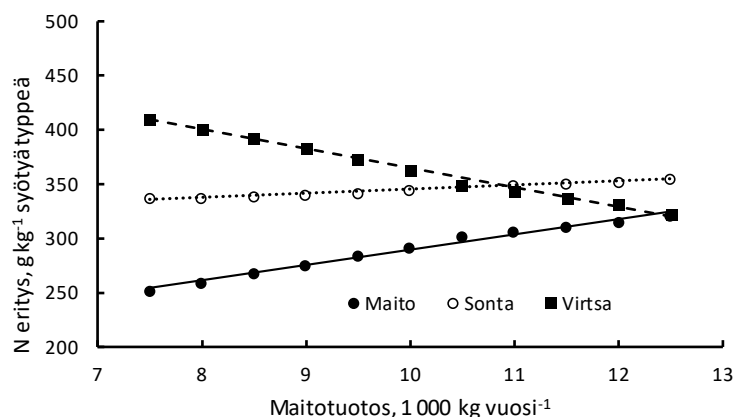
Lypsylehmistä peräisin olevan naudanlihan osuus pieni, kun maidontuotannon intensiteetti ja tavoiteltu kokonaisnaudanlihantuotanto kasvoivat. Vastaavasti liharotuisesta eläinaineksesta peräisin olevan naudanlihan osuus kasvoi (Kuva 4). Maitorotuisten sonnien ja hiehojen osuus pysyi melko vakaana alhaisimmalla maidontuotannon intensiteetillä, mutta väheni, kun kokonaisnaudanlihantuotannon tavoitetaso nousi ja lihantuotanto pohjautui yhä enemmän emolehmätuotantoon.



Kuva 4. Maidontuotantointensiteetin (8 000–12 000 kg vuosi⁻¹) ja vuosittaisen naudanlihantuotantomäärän (60–100 milj. kg) vaikutus tuotetun naudanlihan jakautumiseen lypsylehmän lihaan, maitorotuisten sonnien ja hiehojen lihaan sekä liharotuisen eläinten lihaan.

Typpi

Lypsylehmillä maidon ja sonnan mukana erittyvän typen määrä kasvoi maitotuotoksen lisääntyessä, mutta virtsan mukana erittyvä typpi pysyi melko vakaana. Typen hyväksikäytön tehokkuus maidontuotantoon nousi 252 grammasta 321 grammaan syötyä typpikiloa kohti (sisältäen ummessaolokauden), kun maitotuotos nousi 7 500 kilosta 12 500 kiloon vuodessa (Kuva 5). Maitotuotoksen kasvaessa sonnan mukana poistuvan typen osuus pysyi lähes muuttumattomana, kun taas virtsan typen osuus pieneni.



Kuva 5. Maitotuotostason vaikutukset typen saannin jakautumiseen maidon, sonnan ja virtsan tyyppeen.

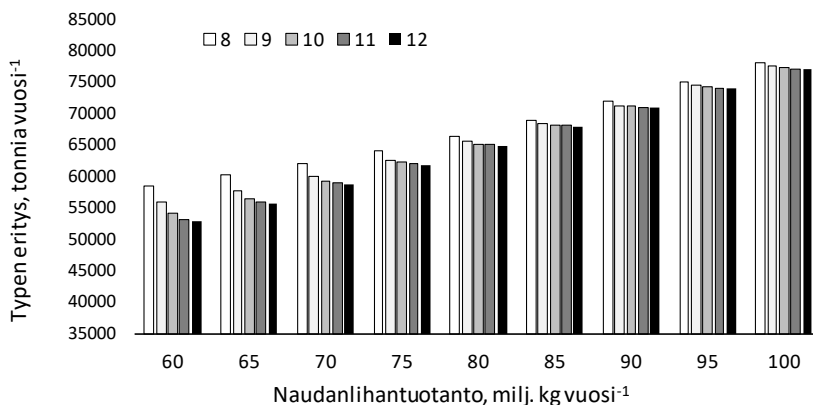
Maitotuotoksen ja typen erityksen (TE) välinen yhteys oli lypsylehmillä: $TE \text{ (kg vuosi}^{-1}\text{)} = 90.5 + 4.49 \times \text{maitotuotos (1 000 kg vuosi}^{-1}\text{)}$.

Kasvavilla maitorotuisilla sonneilla teuraspainon (CW) ja typen erittymisen välinen yhteys oli toisen asteen polynomi: $TE \text{ (kg vuosi}^{-1}\text{)} = 9.43 - 0.00282 \times CW + 0.000627 \times CW^2$.

Ennustettu typen eritys oli:

- 83 kg vuosi⁻¹ emolehmällä
- 116 kg vuosi⁻¹ uudistushieholla lypsykarjassa
- 128 kg vuosi⁻¹ uudistushieholla emolehmäkarjassa

Koko nautasektorin typen eritys sonnassa ja virtsassa väheni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa (Kuva 6). Suunta oli samankaltainen kuin ennustetussa metaanintuotannossa. Maitotuotoksen negatiivinen vaikutus typen eritykseen oli suurempi matalilla naudanlihantuotannon tavoitetasoilla. Typen eritys pieneni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa 6 258 tonnia (14.8%) tavoiteltaessa 60 miljoonan kilon vuosittaista naudanlihantuotannon tasoa. Nykyisillä maidon ja naudanlihantuotannon tasoilla vähennys oli melko pieni, vain 1 609 tonnia (2.9%).

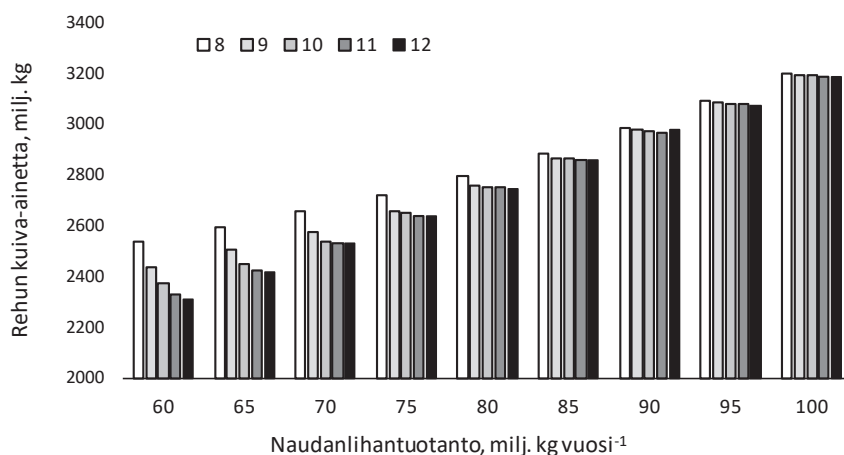


Kuva 6. Maitotuotostason (8, 9, 10, 11 tai 12 tuhatta kiloa vuosi⁻¹) vaikutus koko nautasektorin typen eritykseen eri naudanlihantuotannon tasoilla (60–100 milj. kg vuosi⁻¹) kokonaismaidontuotannon ollessa 2 200 miljoonaa kiloa vuodessa.

Naudanlihan tuotantorakenteessa (lypsylehmät, maitorotuiset sonnit ja hiehot, sekä liharotuiset eläimet) sekä tavoitellun naudanlihamäärän tuottamiseen tarvittavien emolehmien lukumäärässä havaitut muutokset seurasivat pitkälti samaa kaavaa kuin metaanintuotannon kohdalla (Kuvat 4 ja 5). Lypsylehmistä peräisin olevan naudanlihan osuus väheni maitotuotannon intensiteetin kasvaessa. Lypsyrotuisten sonnien ja hiehojen osuus pysyi melko vakaana alhaisella maitotuotoksen intensiteetillä, mutta pieneni naudanlihantuotantomäärän kasvaessa, mikä lisäsi liharotuisen eläinten osuutta tuotannossa.

Rehut

Rehujen kokonaiskuiva-aineen tarve 2 200 miljoonan maitokilon tuottamiseen pieneni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa kaikilla naudanlihantuotannon tasoilla (Kuva 7). Vaikutus oli voimakkain alimmalla naudanlihantuotannon tasolla. Nykyisillä maidon- ja naudanlihantuotannon määrillä maidontuotannon intensiteetillä oli vain vähäinen vaikutus tarvittavaan rehun kuiva-ainemäärään. Karkearehun osuus kokonaiskuiva-aineesta pieneni 75 prosentista 55 prosenttiin, kun maitotuotos kasvoi 8 000 kilosta 12 000 kiloon vuodessa. Korkeammilla maitotuotoksilla karkearehun osuus kokonaiskuiva-aineesta alkoi jälleen kasvaa emolehmien määrän lisääntymisen seurauksena.



Kuva 7. Maitotuotostason (8, 9, 10, 11 tai 12 tuhatta kiloa vuosi⁻¹) vaikutus nautasektorilla tarvittavaan rehun kuiva-ainemäärään eri naudanlihantuotannon tasoilla (60–100 milj. kg vuosi⁻¹) kokonaismaidontuotannon ollessa 2 200 miljoonaa kiloa vuodessa.

Tulosten tarkastelu

Vaikka nautasektorin metaanipäästöt ja typen erityis vähäisivät intensiivisemmän maidontuotannon myötä kaikilla naudanlihantuotannon tasoilla, vaikutukset olivat määrällisesti suhteellisen pieniä. Metaanintuotannossa suhteellinen ero 8 000 ja 12 000 kg:n maitotuotoksen välillä vaihteli 9.6 prosentista (8 000 kg maitoa, 60 miljoonaa kg naudanlihaa) 1.3 prosenttiin (12 000 kg maitoa, 100 miljoonaa kg naudanlihaa). Nykyisillä maidon- ja naudanlihantuotannon tasoilla suurin ero ennustetuissa metaanipäästöissä oli vain 1.7 %.

Maidontuotannon intensiteetti vaikuttaa rehuntuotantoon ja peltopinta-alan tarpeeseen. Vähemmän intensiivisessä maidontuotannossa voidaan käyttää enemmän karkearehuja. Koska nurmen kuiva-ainesato on suurempi kuin viljakasvien, intensiivisissä tuotantojärjestelmissä tarvitaan enemmän peltoalaa kuin vähemmän intensiivisissä järjestelmissä. Maaperän hiilensidonnassa osalta Vleeshouwers ja Verhagen (2002) sekä Vellinga ym. (2004) olettivat, että nurmen viljely toimii hiilen nieluna, kun taas muiden kasvien viljely aiheuttaa nettomääräisen hiilen vapautumisen maaperästä. Arviot olivat kuitenkin hyvin vaihtelevia. Maaperän orgaanisen hiilen dynamiikka jätetäänkin usein huomiotta ympäristövaikutusten arvioinneissa sen sisältämien suurten epävarmuuksien vuoksi (Cederberg ym. 2013).

Arvioimme sen maaperän hiilensidonnassa eron, joka tarvittaisiin kompensoimaan intensiivisen ja vähemmän intensiivisen järjestelmän eron, käyttäen nurmen ja viljan kuiva-ainesatoja 6 000 ja 3 500 kg ka ha⁻¹. Laskelmat tehtiin tämän tutkimuksen aineistolla (maidontuotos 9 000 tai 10 000 kg vuosi⁻¹ ja naudanlihantuotanto 80–90 miljoonaa kg). Arvion mukaan 98 kg ha⁻¹ ero maaperän hiilensidonnassa nurmen ja viljan välillä riittäisi kompensoimaan

vähemmän intensiivisen tuotannon suuremmat metaanipäästöt. Turvemilla hiilidioksidipäästöt ovat suuria, minkä vuoksi ero nurmen ja viljan välillä on turvemilla suurempi kuin kivennäismailla. Siksi turvemaita tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää ensisijaisesti nurmen tuotantoon, mikäli tavoitteena on minimoida märehittäjätuotannon kasvihuonekaasupäästöt.

Johtopäätökset

Hypoteesimme vastaisesti maidontuotannon intensiivisyyden lisääminen vähensi kokonaismetaanintuotantoa kaikilla tarkastelluilla naudanlihantuotannon tasoilla. Kuitenkin jo pienetkin erot maaperän hiilensidonnassa nurmen hyväksi nurmen ja viljan välillä kompensoivat intensiivisten järjestelmien matalammat metaanipäästöt. Naudanlihantuotannon alemmilla tasoilla typen erityisväheni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa, mutta nykyisillä tai korkeammilla naudanlihantuotannon tasoilla vaikutukset olivat vähäisiä. Tulosten perusteella Suomen nykyinen strategia tuottaa tavoitellut maidon ja naudanlihan määrät korkealla maitotuotoksen intensiteetillä, melko suurilla teuraspainoilla ja kohtuullisen pienellä emolehmien määrällä vaikuttaa tehokkaalta sekä metaanintuotannon että typen päästöjen kannalta katsottuna.

Kiitokset

Santtu-hanke on saanut rahoitusta Euroopan maaseuturahastosta 2023–2027. Rahoituksen on myöntänyt Pohjois-Savon ELY-keskus, jonka tehtäviä hoitaa nykyään Itä-Suomen elinvoimakeskus.

Kirjallisuus

Agricultural and Food Research Council (AFRC) 1992. Nutritive requirements of ruminant animals: protein. CAB International, Wallingford, Oxon.

Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J. & Wang, M. 2020. Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal* 14 (Supplement 1): s2–s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>

Casey, J.W. & Holden, N.M. 2006. Quantification of GHG emissions from suckler beef production in Ireland. *Agricultural Systems* 90: 79–98. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.008>

Cederberg, C., Henriksson, M. & Berglund, M. 2013. An LCA researcher's wish list – data and emission models needed to improve LCA studies of animal production. *Animal* 7: 212–219. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000785>

Danfær, A., Huhtanen, P., Udén, P., Sveinbjörnsson, J. & Volden, H. 2006. The Nordic dairy cow model, Karoline – description. Teoksessä: Kebreab, E., Dijkstra, J., Bannink, A., Gerrits, W.J.J. & France, J. (Toim.). *Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals Modelling approaches*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK. s. 383–406.

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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.046>

Fylstra, D., Lasdon, L., Watson, J. & Waren, A. 1998. Design and use of the Microsoft Excel Solver. *Interfaces* 28: 29–55. <https://doi.org/10.1287/inte.28.5.29>

Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. & Toulmin, C. 2010. Food Security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327: 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>

Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P.K., Conant, R.T., Smith, P., Wirsenius, S., Hristov, A.N., Gerber, P., Gill, M., Butterbach-Bahl, K., Valin, H., Garnett, T. & Stehfest, E. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6: 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>

Hietala, S., Heusala, H., Katajajuuri, J.M., Järvenranta, K., Virkajärvi, P., Huuskonen, A. & Nousiainen, J. 2021. Environmental life cycle assessment of Finnish beef – cradle-to-farm gate analysis of dairy and beef breed beef production. *Agricultural Systems* 194: 103250. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103250>

Huhtanen, P., Astaptsev, A. & Nousiainen, J. 2022. Methane production inventory between 1960–2020 in the Finnish dairy sector and the future mitigation scenarios. *Agricultural and Food Science* 31: 1–11. <https://doi.org/10.23986/afsci.113752>

Huhtanen, P. & Huuskonen, A. 2020. Modelling effects of carcass weight, dietary concentrate and protein levels on the CH₄ emission, N and P excretion of dairy bulls. *Livestock Science* 232: 103896. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103896>

Huhtanen, P., Ramin, M. & Udén, P. 2015. Nordic dairy cow model Karoline in predicting methane emissions: 1. Model description and sensitivity analysis. *Livestock Science* 178: 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.008>

Huuskonen, A. & Huhtanen, P. 2015. The development of a model to predict BW gain of growing cattle fed grass silage-based diets. *Animal* 9: 1329–1340. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000610>

Huuskonen, A., Huhtanen, P. & Manni, K. 2025. Modelling effects of different milk production intensities on methane production and nitrogen excretion when targeted amounts of milk and beef are produced. *Agricultural and Food Science* 34: 91–103. <https://doi.org/10.23986/afsci.156426>

- Huuskonen, A., Khalili, H. & Joki-Tokola, E. 2007. Effects of three different concentrate proportions and rapeseed meal supplement to grass silage on animal performance of dairy-breed bulls with TMR feeding. *Livestock Science* 110: 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.10.015>
- Huuskonen, A., Pesonen, M. & Honkavaara, M. 2017. Effects of replacing timothy silage by alsike clover silage on performance, carcass traits and meat quality of finishing Aberdeen Angus and Nordic Red bulls. *Grass and Forage Science* 72: 220–233. <https://doi.org/10.1111/gfs.12247>
- Huuskonen, A., Tuomisto, L. & Kauppinen, R. 2011. Effect of drinking water temperature on water intake and performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 94: 2475–2480. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3723>
- Johnson, K.A. & Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Kuhmonen, I. & Kuhmonen, T. 2023. Transitions through the dynamics of adaptive cycles: Evolution of the Finnish agrifood system. *Agricultural Systems* 206: 103604. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103604>
- Kuhmonen, T., Kuhmonen, I. & Huuskonen, A. 2024. Sustainability-driven regime shifts in Complex Adaptive Systems: The case of animal production and food system. *Sustainable Production and Consumption* 52: 469–486. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.11.022>
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M.A., de Vries, W., Weiss, F. & Westhoek, H. 2015. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters* 10: 115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>
- Luke 2024a. Milk production. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki, Finland. <https://www.luke.fi/en/statistics/milk-and-milkproducts-statistics/milk-production-2023> (viitattu 24.3.2026).
- Luke 2024b. Meat Production. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki, Finland. <https://www.luke.fi/en/statistics/meat-production/meat-production-2023> (viitattu 24.3.2026).
- Luke 2024c. Feed Tables and Nutrient Requirements. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki, Finland. <http://www.luke.fi/feedtables> (viitattu 24.3.2026).
- Nguyen, T., Hermansen, J. & Mogensen, L. 2010. Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *Journal of Cleaner Production* 18: 756–766. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.12.023>
- Nousiainen, J., Tuori, M., Turtola, E. & Huhtanen, P. 2011. Dairy farm nutrient management model. 1. Model description and validation. *Agricultural Systems* 104: 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.01.002>
- Vellinga, T.V., van den Pol-van Dasselaar, A. & Kuikman, P.J. 2004. The impact of grassland ploughing on CO₂ and N₂O emissions in the Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70: 33–45. <https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000045981.56547.db>
- Vleeshouwers, L.M. & Verhagen, A. 2002. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology* 8: 519–530. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>