



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 30/2026

Miten tuottaa tavoiteltu määrä maitoa ja naudanlihaa mahdollisimman pienin metaani- ja typpipäästöin?

Arto Huuskonen, Pekka Huhtanen ja Katariina Manni

Miten tuottaa tavoiteltu määrä maitoa ja naudanlihaa mahdollisimman pienin metaani- ja typpipäästöin?

Arto Huuskonen, Pekka Huhtanen ja Katariina Manni



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Viittausohje:

Huuskonen, A., Huhtanen, P. & Manni, K. 2026. Miten tuottaa tavoiteltu määrä maitoa ja naudanlihaa mahdollisimman pienin metaani- ja typpipäästöin? Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 30/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 23 s.

Arto Huuskonen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0003-0938-5675>



ISBN 978-952-419-180-7 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-180-7>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Arto Huuskonen, Pekka Huhtanen ja Katariina Manni

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2026

Julkaisuvuosi: 2026

Kannen kuva: Katariina Manni

Tiivistelmä

Arto Huuskonen¹, Pekka Huhtanen² ja Katariina Manni²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Maaninka

² Luonnonvarakeskus (Luke), Jokioinen

Tutkimuksen tavoitteena oli mallintaa lypsylehmien maitotuotostason vaikutuksia metaanintuotantoon ja typen eritykseen tuottaessa tavoitteenmukainen määrä maitoa ja naudanlihaa Suomessa. Naudanlihan tuotantostrategiat perustuen tämänhetkiseen vuodessa tuotettuun maitomäärään (2 200 milj. kg) optimoitiin Excelin Solverilla. Optimointi tehtiin viiden eri maitotuotostason (8 000, 9 000, 10 000, 11 000, 12 000 kg/vuosi) ja yhdeksän vuosittaisen naudanlihantuotantomäärän (60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 milj. kg) kombinaatioille. Mallinnuksessa käytetyille nautojen keskiteuraspainoille annettiin maksimiarvot, jotka olivat maitorotuiselle sonnille 400 kg, liharotuiselle sonnille 450 kg, maitorotuiselle hieholle 325 kg ja liharotuiselle hieholle 350 kg. Sekä lypsy- ja emolehmille käytettiin nykyisiä keskiteuraspajinoja eli 295 ja 341 kg. Eläinten ruokinta mallinnettiin nykyisten suomalaisten ruokintasuositusten ja -käytäntöjen mukaisesti. Lypsylehmillä huomioitiin energian, OIV:n ja kivennäisten saanti kullakin maitotuotostasolla ja ummessaolokaudella. Ruokinnan optimointi tehtiin Lypsikki-ohjelmalla. Emolehmien, vasikoiden ja kasvavien nautojen ruokinnat mallinnettiin nykyisten keskimääräisten suomalaisten ruokintojen mukaisesti. Metaanintuotanto ja typen erityy sonnassa mallinnettiin Karoline-ohjelmalla. Virtsassa eritetty tyyppi laskettiin erotuksena typen saannin sekä maitoon, sontoon ja kasvuun pidättyneen 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, 11 000 kg:n tuotostasolla 110 000 emolehmää ja 12 000 kg:n tuotostasolla 125 000 emolehmää. Maitotuotostason lisääntyminen vähensi metaanin kokonaistuotantoa jokaisella mallinnetulla naudanlihan vuotuisella tuotantomäärällä. Lisäksi nykyistä alhaisemmilla naudanlihan tuotantomäärillä (alle 85 milj. kg) lannan sisältämä typen määrä väheni maitotuotostason 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 minimoinnin kannalta.

Asiasanat: maidontuotanto, naudanlihantuotanto, metaani, tyyppi

Abstract

Arto Huuskonen¹, Pekka Huhtanen² and Katariina Manni²

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Maaninka

² Natural Resources Institute Finland (Luke), Jokioinen

The aim of the study was to model the effects of different milk production intensities on methane production and nitrogen excretion in the Finnish cattle sector when producing targeted amounts of milk and beef. Beef production strategies at the current annual milk production level (2,200 million kg) were optimized using Excel Solver. The optimization was performed for five different milk yield levels (8,000, 9,000, 10,000, 11,000, 12,000 kg) and nine combinations of annual beef production levels (60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 million kg). In the modelling, maximum values were given to the average slaughter weights of cattle, which were 400 kg for dairy bulls, 450 kg for beef bulls, 325 kg for dairy heifers and 350 kg for beef heifers. Current average slaughter weights of 295 and 341 kg were used for dairy and suckler cows. Feeding was modelled in accordance with current Finnish feeding recommendations and practices. In dairy cows, energy, protein and mineral intake were considered at each milk production level and dry period. Diet optimization was carried out using Lypsiikki software. Feeding of suckler cows, calves and growing cattle was modelled in accordance with current average Finnish feeding practices. Methane production and nitrogen excretion in faeces were modelled using the Karoline model. Nitrogen excreted in urine was calculated as the difference between nitrogen intake and nitrogen retained in milk, faeces and growth. When minimizing methane production and nitrogen excretion, it was found that the most efficient production method is to first raise beef cattle to the highest possible slaughter weights (given maximum weights) and only then increase the number of suckler cows. If we were to produce the current annual amount of beef (85 million kg) and milk (2,200 million kg) at a milk yield level of 8,000 kg, this could be produced without suckler cows at the given slaughter weight maximums. Correspondingly, if the average milk yield of dairy cows were 11,000 kg and the annual milk yield was 2,200 million kg, 64,000 suckler cows and their offspring would be needed to produce 85 million kg of beef. A production level corresponding to the current domestic beef consumption (approximately 100 million kg) would require approximately 37,000 suckler cows at a milk yield of 8,000 kg, 110,000 suckler cows at a milk yield level of 11,000 kg, and 125,000 suckler cows at a milk yield level of 12,000 kg. The increased intensity of milk production reduced the total methane production for each modelled annual amount of beef produced. In addition, at lower than current beef production levels (below 85 million kg), the amount of nitrogen excreted in manure decreased as the intensity of milk production increased. At current or higher beef production levels, the effects of milk yield on the amount of nitrogen excreted in manure were small. Based on the results, our current strategy of producing milk and beef at high milk production intensity is an efficient production method in terms of methane production and nitrogen emissions.

Keywords: milk production, beef production, methane, nitrogen

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Aineisto ja menetelmät	8
2.1. Lypsylehmien ruokinta ja ympäristövaikutusten laskenta	8
2.2. Emolehmien ja kasvavien nautojen ruokinta ja ympäristövaikutusten laskenta	8
2.3. Laskenta.....	9
2.4. Herkkyysanalyysi	9
3. Tulokset.....	10
3.1. Metaanintuotanto ja typen erityis.....	10
3.2. Herkkyysanalyysi	11
3.3. Metaanintuotanto ja typen erityis eri tuotantostrategioilla ja tarvittava emolehmämäärä tietyn naudanlihamäärän tuottamiseen.....	12
3.4. Rehut	15
4. Tulosten tarkastelu	17
4.1. Metaani.....	17
4.2. Typpi.....	17
4.3. Vaikutukset tilatasolla	18
5. Yhteenveto ja johtopäätökset	19
Viitteet.....	20

1. 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 metaanipäästöjä (CH₄) (Johnson & Johnson 1995, Beauchemin ym. 2020). Kotieläintuotannolla on ympäristövaikutuksia myös peltojen ravinneylijäämien kautta (Nousiainen ym. 2011, Hietala ym. 2021). Toisaalta ilmastollisesti epäsuotuisilla alueilla, joilla ruokakasvien viljely ei ole mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa, nurmeen perustuva naudatarjalous 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 & 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 (CH₄ g/kg 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 naudanlihan tuotanto perustuu pääasiassa maitorotuisiin nautoihin. Vuonna 2023 Suomessa teurastettiin yhteensä 262 251 nautaa ja naudanlihaa tuotettiin 85,4 miljoonaa kg (Luke 2024b). Tuotetusta naudanlihasta 44 % oli peräisin maito- ja maito × liharotuisista sonneista, 21 % lypsylehmistä, 14 % maito- ja maito × liharotuisista hiehoista, 12 % liharotuisista sonneista, 5 % liharotuisista hiehoista ja 3 % emolehmistä (Luke 2024b). Yksi keskeinen ero useimpiin maidon- ja naudanlihan tuotantomaihin 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 tarjontaa naudanlihan tuotantoon, 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. Lypsykarjaan perustuvan naudanlihan tuotannon on osoitettu tuottavan vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä tuotettua ruho-kiloa kohden verrattuna emolehmätuotantoon (Casey & Holden 2006, Nguyen ym. 2010, Flysjö ym. 2012, Hietala ym. 2021). Huhtanen ja Huuskonen (2020) raportoivat, että maitorotuisien sonnien teuraspainon kasvu lisää metaanipäästöjä tuotettua ruho-kiloa kohden. Suurempi rehun kulutus ja kasvun hidastuminen elopainon kasvaessa olivat tärkeimmät tätä selittävät tekijät (Huhtanen & Huuskonen 2020).

Tämän työn tavoitteena oli mallintaa lypsylehmien tuotostason, eli maidontuotantointensiteetin, vaikutuksia nautojen metaanintuotantoon ja typen erittymiseen maidon- ja naudanlihantuotannossa, kun tavoitteena on tuottaa tietty määrä kotimaista maitoa ja naudanlihaa. Hypoteesina oli, että jos tavoiteltu maitomäärä tuotettaisiin 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 maidontuotannon päästöt kasvaisivatkin lypsylehmien määrän kasvaessa ja tuotantointensiteetin laskiessa.

Työ toteutettiin osana Luonnonvarakeskuksen, Turun yliopiston ja Jyväskylän yliopiston yhdessä toteuttamaa Savon maatalouden tulevaisuuskuva (Santtu) -hanketta. Hankkeen yhtenä tavoitteena oli tarkastella vaihtoehtoja, miten maidon- ja naudanlihantuotanto pystyttäisiin toteuttamaan mahdollisimman pienillä metaani- ja typpipäästöillä tuotettua maito- ja naudanlihakiloa kohden.

2. Aineisto ja menetelmät

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

2.1. Lypsylehmien ruokinta ja ympäristövaikutusten laskenta

Lypsylehmien ruokinta suunniteltiin vastaamaan Luken (2026) ruokintasuosituksia muuntokelpoisen energian (ME), ohutsuolesta imeytyvän valkuaisen (OIV) ja kivennäisaineiden (Ca, P, Mg ja Na) osalta. Rehut koostuivat nurmisäilörehusta, energialisästä (ohran, kauran ja melassoidun sokerijuurikasleikkeen seos: 0,40:0,40:0,20), valkuaislisästä (rypsirouheen 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 jokaisella tuotostasolla. Keskimääräisen 403 päivän poikimisvälin ja 60 päivän ummessaoloajan perusteella lehmät olivat lypsyssä 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 erityys ennustettiin Karoline-mallilla (Danfaer ym. 2006, Huhtanen ym. 2015). Virtsan typen erityys laskettiin seuraavasti: typen saanti – maidon typpi – sonnan typpi olettaen, että typpitase on nolla. Tuotantotason vaikutukset metaanipäästöihin ja typen eritykseen (kg/lehmä/vuosi tai g/kg maitoa) arvioitiin lineaarisella regressiolla tai potenssifunktiomallilla.

2.2. Emolehmien ja kasvavien nautojen ruokinta ja ympäristövaikutusten laskenta

Emolehmien ruokinta suunniteltiin vastaamaan emolehmien ruokintasuosituksia, jotka perustuvat pääasiassa lypsylehmien ruokintasuositukseen (Luke 2026). Keskimäärin vuosittainen rehuanos sisälsi nurmisäilörehua (400 g/kg ka), laidunruohoa (400 g/kg ka), kauraa (100 g/kg ka) ja olkea (100 g/kg 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 väkirehutason ja valkuaislisän vaikutuksia metaanituotantoon ja typen eritykseen. Kyseinen data-aineisto perustui kasvavien maitorotuisten sonnien ruokintakokeeseen, jossa vertailtavina koetekijöinä olivat väkirehuruokinnan intensiteetti ja ruokinnan valkuaisäydennys. 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 ka) tai ohran ja rypsin seosta (väkirehun raakavalkuaispitoisuus 160 g/kg 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 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) raportoidun kokeen tietoja. Data käsitti yhteensä 120 vasikkaa, joita ruokittiin tyypillisellä suomalaisella ruokintatavalla. Kokeessa käytettyjen rehujen koostumus ja rehuarvot sekä vasikoiden syönti- ja kasvutulokset on raportoitu kokonaisuudessaan Huuskosen ym. (2011) julkaisussa.

Ruokinnan metaanipäästöt ja typen erityis sonnassa ennustettiin Karoline-mallilla. Vaikka Karoline-malli on alun perin kehitetty lypsylehmille, sillä voidaan mallintaa ravintoaineiden sulatusta myös kasvavilla nautoilla (Huhtanen & Huuskonen 2020). Typen pidättyminen arvioitiin AFRC:n (1992) kaavalla: $\text{Pidättynyt typpi (g/d)} = (\text{LWG} \times (168,07 - 0,16869 \times \text{LW} + 0,0001633 \times \text{LW}^2) \times (1,12 - 0,1223 \times \text{LWG}) \times C) / 6,25$, missä LWG = elopainon kasvu (kg/d), LW = elopaino (kg), ja C = korjauskerroin. Maitorotuisille sonneille käytettiin korjauskerrointa 1,2. Virtsan typpi (g/d) laskettiin erotuksena: Typen saanti – sonnan typpi – pidättynyt typpi.

Liharotuisien 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 2026) ja aiempaan data-aineistoon (Huuskonen & 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 2026).

2.3. Laskenta

Naudanlihan tuotantostrategiat Suomen nykyisellä vuosittaisella maidontuotannolla (2 200 miljoonaa kg) optimoitiin Excel Solverilla (Fylstra ym. 1998) viiden eri maitotuotostason (keskituotos 8 000, 9 000, 10 000, 11 000 ja 12 000 kg/vuosi) ja yhdeksän naudanlihan tuotantomäärän (60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 ja 100 miljoonaa kg/vuosi) yhdistelmälle. Suurimmaksi sallituksi teuraspainoksi asetettiin maitorotuiselle sonnille 400 kg, liharotuiselle sonnille 450 kg, maitorotuiselle hieholle 325 kg ja liharotuiselle hieholle 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 erityis (N) laskettiin seuraavasti: CH₄ tai N (tonnia vuodessa) = (lehmien lukumäärä × lehmän CH₄ tai N (kg/vuosi) + uudistusprosentti × hiehon CH₄ tai N) × 0.001 (tonnia/kg).

Kasvavien nautojen (maito- ja liharotuiset sonnit ja hiehot) metaanipäästöt (CH₄) ja typen erityis (N) laskettiin seuraavasti: CH₄ tai N (tonnia vuodessa) = (eläinten lukumäärä × CH₄ tai N (kg/vuosi) × 0.001 (tonnia/kg)). Toisen asteen polynomiregressioyhtälöt kehitettiin ennustamaan teuraspainon (kg) ja kumulatiivisen CH₄-päästön tai typen erityksen välistä suhdetta.

2.4. Herkkyysanalyysi

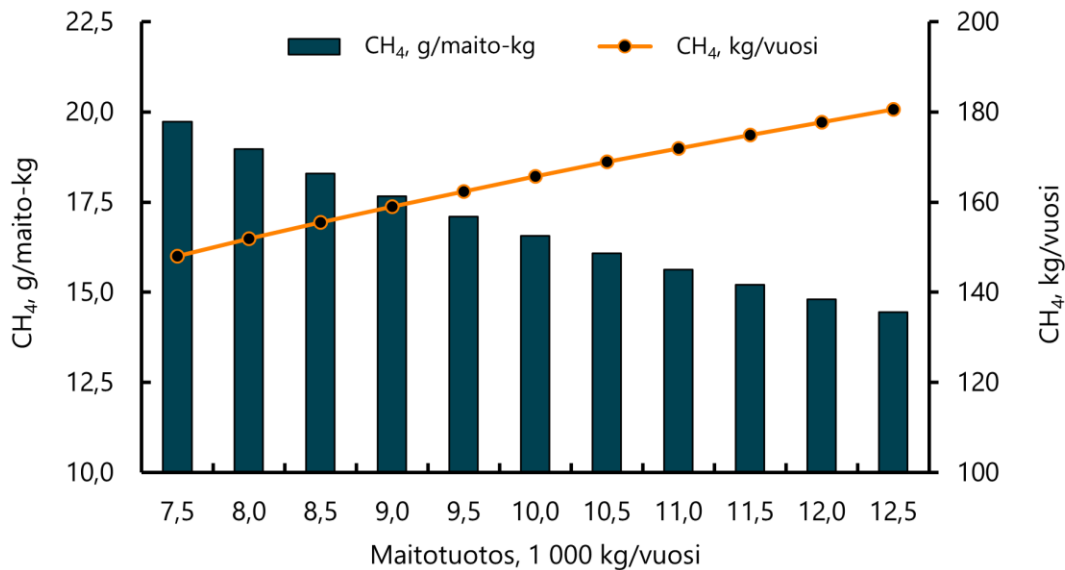
Herkkyysanalyysillä arvioitiin parametriarvojen vaikutusta metaanipäästöihin ja typen eritykseen nykyisellä maidon (2 200 miljoonaa kg/vuosi) ja naudanlihan (85 miljoonaa kg/vuosi) tuotantotasolla. Metaanipäästöjen ja typen erityksen arvioidut kertoimet kerrottiin arvoilla 0,90, 0,95, 1,00, 1,05 ja 1,10. Uudistusprosentin vaikutukset arvioitiin käyttämällä 3–5 lypsykautta lypsylehmille ja 4–8 poikimista emolehmille.

3. Tulokset

3.1. Metaanintuotanto ja typen erityys

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:

CH_4 (kg/vuosi) = 10,3 + 6,49 × maitotuotos (1 000 kg/vuosi).



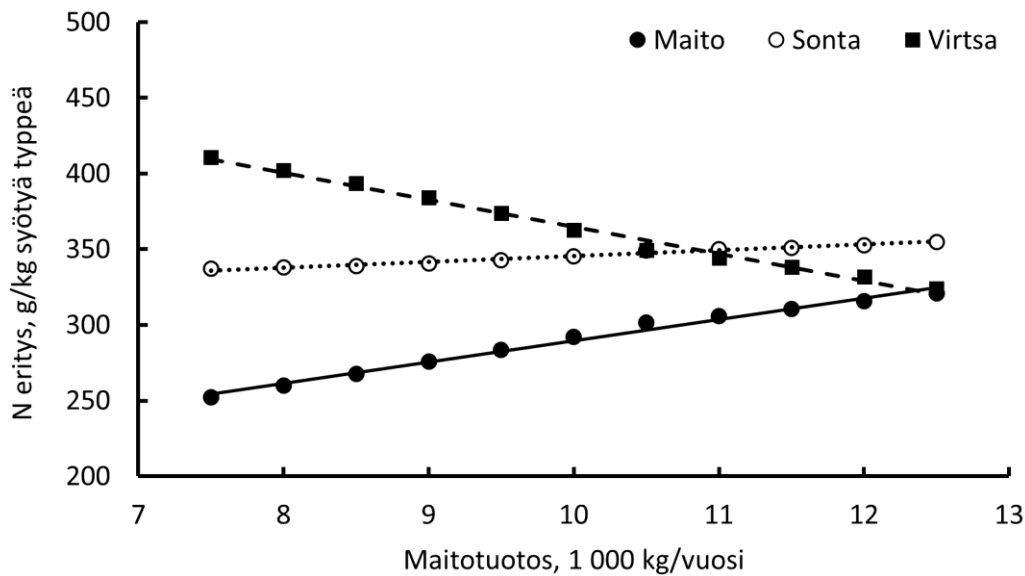
Kuva 1. Maitotuotostason vaikutus lypsylehmän metaanintuotantoon (kg/vuosi) ja metaanintuotannon intensiteettiin (g/maito-kg).

Kasvavilla maitorotuisilla sonneilla teuraspainon (CW, kg) ja metaanintuotannon välinen yhteys oli toisen asteen polynomi: CH_4 (kg/vuosi) = 11,38 – 0,0432 × CW + 0,000784 × CW².

Ennustetut metaanintuotannon määrät olivat:

- 98 kg/vuosi emolehmälle
- 138 kg/vuosi uudistushieholla lypsykarjassa
- 156 kg/vuosi uudistushieholla emolehmäkarjassa

Lypsylehmillä maidon ja sonnan mukana erittyvän typen määrä kasvoi maitotuotoksen lisääntymässä, mutta virtsan mukana erittyvä tyyppi pysyi melko vakaana. Typen hyväksikäytön tehokkuus maidontuotantoon nousi 252 grammasta 321 grammaan syötyä tyypikiloa kohti (sisältäen ummessaolokauden), kun maitotuotos nousi 7 500 kilosta 12 500 kiloon vuodessa (Kuva 2). Maitotuotoksen kasvaessa sonnan mukana poistuvan typen osuus pysyi lähes muuttumattomana, kun taas virtsan typen osuus pieneni.



Kuva 2. Maitotuotostason vaikutukset typen saannin jakautumiseen maidon, sonnan ja virtsan typpeen.

Maitotuotoksen ja typen erityksen (N) välinen yhteys oli lypsylehmillä:

$$N \text{ (kg/vuosi)} = 90,5 + 4,49 \times \text{maitotuotos (1 000 kg/vuosi)}$$

Kasvavilla maitorotuisilla sonneilla teuraspainon (CW) ja typen erittymisen välinen yhteys oli toisen asteen polynomi: $N \text{ (kg/vuosi)} = 9,43 - 0,00282 \times CW + 0,000627 \times CW^2$.

Ennustettu typen erityks oli:

- 83 kg/vuosi emolehmällä
- 116 kg/vuosi uudistushieholla lypsykarjassa
- 128 kg/vuosi uudistushieholla emolehmäkarjassa

3.2. Herkkyysanalyysi

Uudistusprosentti lypsykarjassa. Uudistusprosentin pieneneminen 33 prosentista (3 lypsykautta) 20 prosenttiin (5 lypsykautta) vähensi ennustettuja metaanipäästöjä 165 tonnilla, mikä vastaa 0,24 prosenttia päästöistä tavoitetuotannolla 2 200 miljoonaa kiloa maitoa (tuotos 10 000 kg vuodessa) ja 85 miljoonaa kiloa naudanlihaa. Lypsylehmien eliniän pidentyessä teurastettujen lehmien määrä väheni ja maitorotuisien nautojen osuus naudanlihan kokonaistuotannosta laski 25 prosentista 15 prosenttiin.

Uudistusprosentti emolehmäkarjassa. Uudistusprosentin vaikutusta mallinnettiin 4–8 poikimisen mukaan (uudistusprosentti 12,5 prosentista 25 prosenttiin). Uudistusprosentin pienenemisen seurauksena ennustettu metaanituotanto väheni 387 tonnia (0,05 prosenttia uudistusprosentin laskua kohden). Uudistusprosentin lasku ei vaikuttanut emolehmien määrään. Uudistusprosentin vähenemisen seurauksena uudistushiehojen metaanintuotanto väheni enemmän kuin, mitä oli suuremman teurashiehomäärän tuottama lisäys metaanintuotannossa. Tämä johti pieneen nettovähennykseen.

Emolehmien poikimisprosentti. Emolehmäkarjan poikimisprosentin nousu nykyisestä 85 prosentista 95 prosenttiin vähensi kokonaismetaanintuotantoa 527 tonnia, mikä vastaa -0,07 prosenttia emolehmien poikimisprosentin noustessa yhdellä prosenttiyksiköllä. Metaanintuotannon väheneminen selittyi liharotuisten sonnien ja hiehojen määrän kasvulla sekä maito- ja liharotuisten sonnien teuraspainon laskulla.

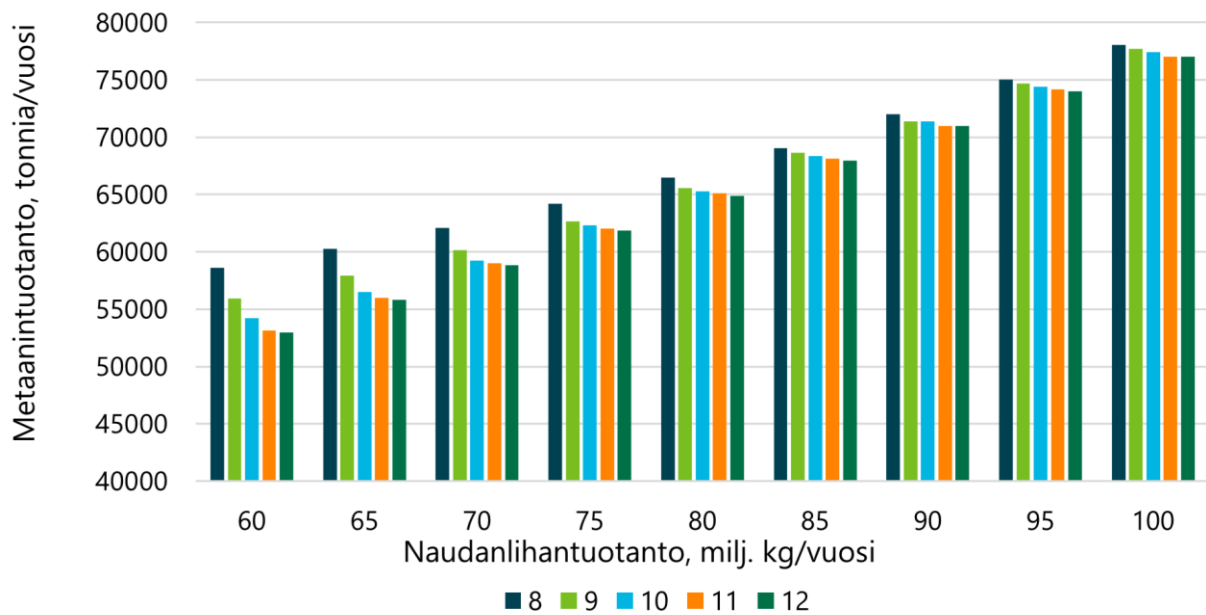
Lypsylehmät. Koska ennustettu lypsylehmien metaanintuotanto oli merkittävin tekijä nautasektorin kokonaismetaanintuotannossa, se oli herkkä muutoksille. Kun lypsylehmien metaanintuotanto muuttui 90 prosentista 110 prosenttiin oletusarvosta, kokonaismetaanintuotanto kasvoi 7 296 tonnia (0,53 prosenttia yhden prosenttiyksikön muutosta kohden). Mahdolliset virheet lypsylehmien metaanintuotannon arvioissa eivät kuitenkaan vaikuttaneet optimaalisiin tuotantostrategioihin tavoitellun maidon ja naudanlihan määrän tuottamiseksi.

Kasvatvat naudat. Kun metaanintuotanto eläintä kohden yksittäisissä eläinryhmissä vaihteli 90–110 %:n välillä oletusarvoista, vaihtelu aiheutti seuraavanlaiset vaikutukset kokonaismetaanintuotannossa: maitorotuiset sonnit 2 369 tonnia (0,17 %), maitorotuiset hiehot 881 tonnia (0,065 %), liharotuiset sonnit 469 tonnia (0,034 %) ja liharotuiset hiehot 208 tonnia (0,015 %). Nämä muutokset eivät vaikuttaneet optimaalisiin strategioihin annettujen maito- ja naudanlihamäärien tuottamiseksi. Kun metaanintuotantoa muutettiin samanaikaisesti kaikilla kasvavilla naudoilla, kokonaismetaanintuotanto laski 3 700 tonnia (0,27 % per 1 %-yksikön muutos), mutta optimaalinen strategia ei muuttunut.

Kaiken kaikkiaan eri eläintyyppien arvioidun metaanintuotannon muutosten vaikutukset eivät muuttaneet optimaalisia strategioita tavoiteltujen maito- ja naudanlihamäärien tuottamiseksi.

3.3. Metaanintuotanto ja typen erityis eri tuotantostrategioilla ja tarvittava emolehmämäärä tietyn naudanlihamäärän tuottamiseen

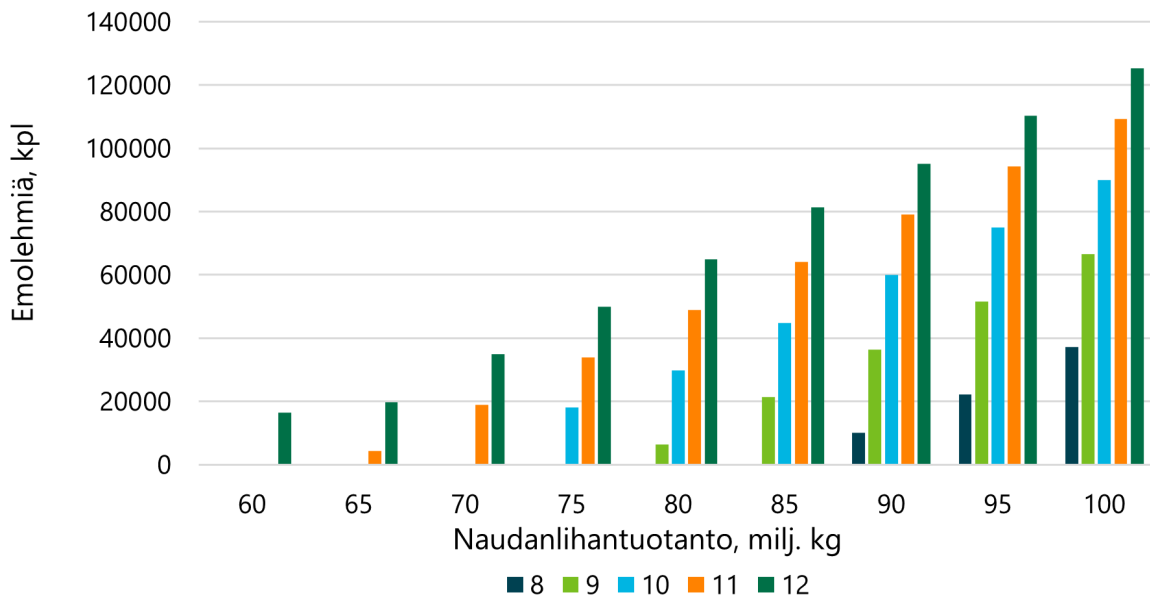
Maidontuotannon intensiteetin (lypsylehmien tuotostason) kasvu pienensi koko nautasektorin ennustettua metaanintuotantoa kaikilla tarkastelluilla naudanlihantuotannon tasoilla. Maitotuotoksen vaikutus oli kuitenkin voimakkaampi matalammilla naudanlihantuotannon tavoitetasoilla (Kuva 3). Tavoiteltaessa 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 %). Mallinnuksessa maidontuotannon intensiteetin kasvaessa maitorotuisen sonnivasikoiden ja hiehojen teuraspaino kasvoi ensin. Kun teuraspainolle asetetut ylärajat saavutettiin, loppuosa tarvittavasta naudanlihasta oli tuotettava emolehmämäärän lisäämisen kautta.



Kuva 3. Maitotuotostason (8, 9, 10, 11 tai 12 tuhatta kiloa/vuosi) vaikutus koko nautasektorin vuotuisen metaanintuotantoon eri naudanlihantuotannon tasoilla (60–100 milj. kg/vuosi) kokonaismaidontuotannon tasolla 2 200 miljoonaa kiloa vuodessa.

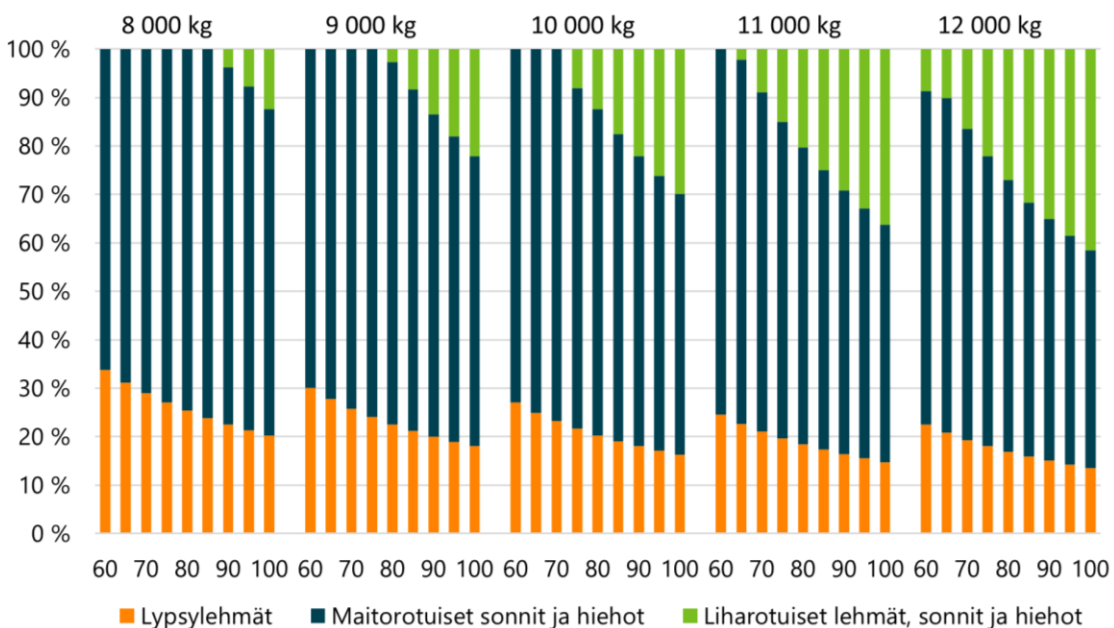
Naudanlihantuotantoon tarvittavien emolehmien määrä kasvoi sekä lypsylehmien maitotuotoksen että tavoitellun naudanlihantuotantomäärän lisääntyessä (Kuva 4). Maitotuotostasolla 10 000 kg vuodessa jokainen miljoonan kilon lisäys naudanlihantuotannossa edellytti 2 960 lisäemolehmää, kun tavoiteltu naudanlihantuotanto ylitti 70 miljoonaa kiloa. Kun annettulla maitotuotostasolla ainoa keino lisätä naudanlihantuotantoa oli kasvattaa emolehmien määrää, lisämetaanintuotanto oli 607 g tuotettua teuraspainokiloa kohden.

Jos tuottaisimme nykyisen vuosittaisen naudanlihämäärän (85 milj. kg) ja maitomäärän (2 200 milj. kg) 8 000 kg maitotuotostasolla, se voitaisiin mallinnuksessa käytetyillä teuraspainomaksimeilla tuottaa ilman emolehmiä (Kuva 4). 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 4).



Kuva 4. Naudanlihantuotantoon tarvittavien emolehmiä lukumäärä tietyn naudanlihamäärän (60–100 milj. kg/vuosi) tuottamiseksi eri maitotuotostasoilla (8, 9, 10, 11 tai 12 tuhatta ki-
loa vuodessa), kun maidon kokonaistuotanto on 2 200 miljoonaa kg vuodessa.

Lypsylehmistä peräisin olevan naudanlihan osuus pieneni, kun maidontuotannon intensiteetti ja tavoiteltu kokonaisnaudanlihantuotanto kasvoivat. Vastaavasti liharotuisesta eläinainek-
sesta peräisin olevan naudanlihan osuus kasvoi (Kuva 5). Maitorotuisten sonnien ja hiehojen
osuus pysyi melko vakaana alhaisimmalla maidontuotannon intensiteetillä, mutta väheni, kun
kokonaisnaudanlihantuotannon tavoitetaso nousi ja lihantuotanto pohjautui yhä enemmän
emolehmämuotantoon.

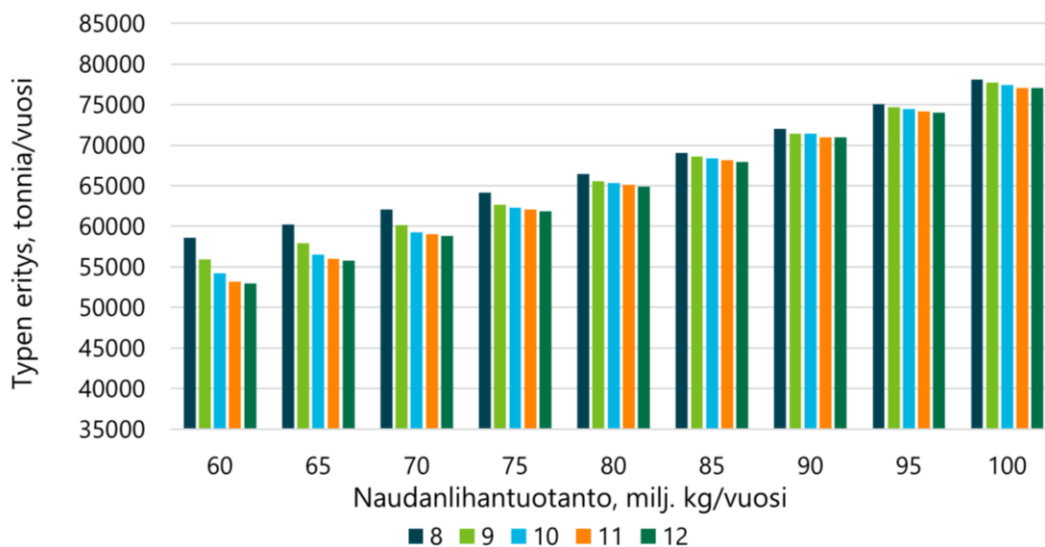


Kuva 5. Maitotuotostason (8 000–12 000 kg/vuosi) ja vuosittaisen naudanlihantuotantomää-
rän (60–100 milj. kg) vaikutus tuotetun naudanlihan jakautumiseen lypsylehmän lihaan, mai-
torotuisten sonnien ja hiehojen lihaan sekä liharotuisen eläinten lihaan.

Koko nautasektorin typen erityis sonnassa ja virtsassa väheni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa (Kuva 6). Suunta oli samankaltainen kuin ennustetussa metaanintuotannossa. Maitotuotoksen negatiivinen vaikutus typen eritykseen oli suurempi matalilla naudanlihan tuotannon tavoitetasoilla. Typen erityis pieneni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa 6 258 tonnia (14,8 %) tavoiteltaessa 60 miljoonan kilon vuosittaista naudanlihan tuotannon tasoa. Nykyisillä maidon ja naudanlihan tuotannon tasolla vähennys oli melko pieni, vain 1 609 tonnia (2,9 %).

Pylväsdiagrammissa esitetään lypsylehmien maitotuotostason ja Suomen nautasektorin vuosittaisen typen erityksen välinen yhteys eri naudanlihan tuotannon tasolla.

Maitotuotostason nousu vähentää vuosittaista typen eritystä.

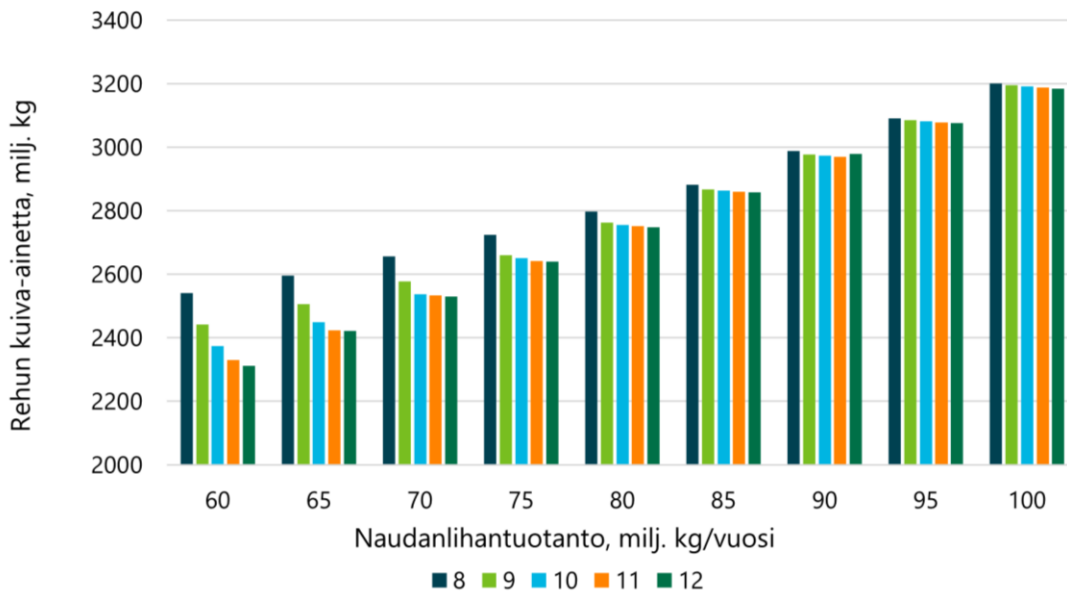


Kuva 6. Maitotuotostason (8, 9, 10, 11 tai 12 tuhatta kiloa/vuosi) vaikutus koko nautasektorin typen eritykseen eri naudanlihan tuotannon tasolla (60–100 milj. kg/vuosi) kokonaismaidontuotannon ollessa 2 200 miljoonaa kiloa vuodessa.

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 naudanlihan tuotantomäärän kasvaessa, mikä lisäsi liharotuisen eläinten osuutta tuotannossa.

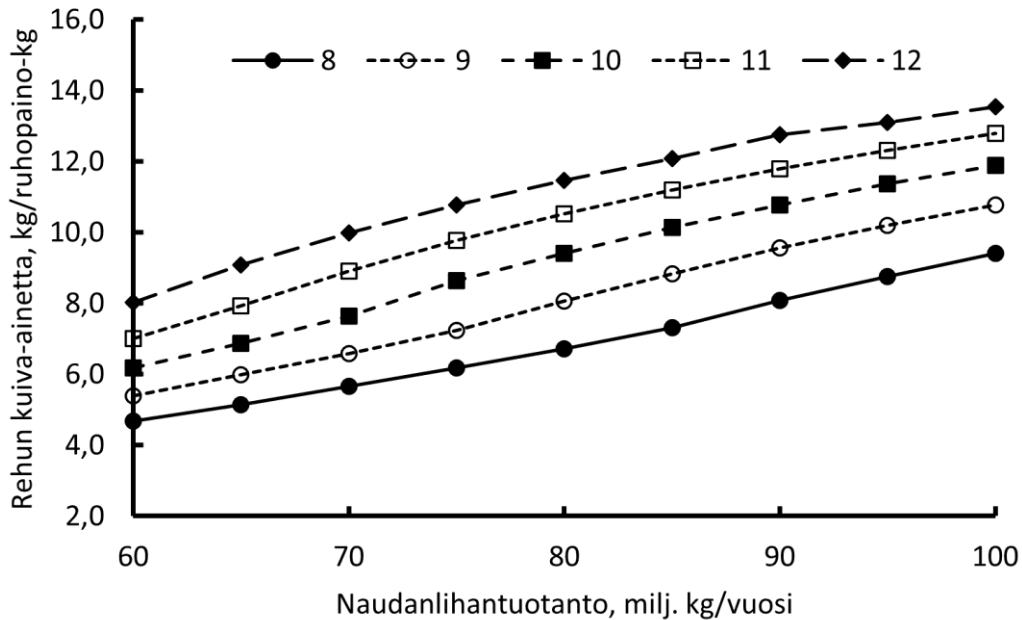
3.4. Rehut

Rehujen kokonaiskuiva-aineen tarve 2 200 miljoonan maitokilon tuottamiseen pieneni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa kaikilla naudanlihan tuotannon tasolla (Kuva 7). Vaikutus oli voimakkain alimmalla naudanlihan tuotannon tasolla. Nykyisillä maidon- ja naudanlihan tuotannon 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) vaikutus nautasektorilla tarvittavaan rehun kuiva-ainemäärään eri naudanhantuotannon tasoilla (60–100 milj. kg/vuosi) kokonaismaidontuotannon ollessa 2 200 miljoonaa kiloa vuodessa.

Rehun hyväksikäyttö (kg ka/tuotettu ruhokilo) heikkeni maidontuotantointensiteetin ja naudanhantuotantomäärän kasvaessa (Kuva 8).



Kuva 8. Maitotuotostason (8, 9, 10, 11 tai 12 tuhatta kiloa/vuosi) vaikutus rehun hyväksikäyttöön (kg ka/tuotettu ruhokilo) eri naudanhantuotannon tasoilla (60–100 milj. kg/vuosi) kokonaismaidontuotannon ollessa 2 200 miljoonaa kiloa vuodessa.

4. Tulosten tarkastelu

4.1. Metaani

Käytimme tässä työssä Karoline-mallia, koska sen on osoitettu ennustavan nautojen metaanintuotantoa tarkasti suhteessa metaboliakammiodataan (Ramin & Huhtanen 2015) ja paremmin Molly-malliin verrattuna (Kass ym. 2022). Niun ym. (2018) esittämä malli ennustaa pienempää metaanintuotantoa kuin Karoline-malli, mikä johtuu luultavasti matalammasta dieetin NDF-pitoisuudesta ja suuremmasta maissisäilörehun osuudesta heidän aineistossaan Karoline-malliin verrattuna. On kuitenkin tärkeää huomata, että lypsylehmien metaanintuotannon tasolla oli tässä tutkimuksessa vain marginaalinen vaikutus optimaalisiin strategioihin nykyisten maito- ja naudanlihamäärien tuottamiseksi Suomessa.

Mahdollisuudet vähentää metaanipäästöjä dieetin koostumuksen muutoksilla verrattuna nykyisiin suomalaisen lypsy- ja lihakarjan ruokintoihin ovat melko rajalliset. Ohran korvaaminen kauralla lypsylehmien väkirehuruokinnassa on vähentänyt metaanintuotantoa (Ramin ym. 2021), mutta määrällisesti potentiaali on kuitenkin rajallinen. Korkean rasvapitoisuuden sisältävien rypsi tuotteiden tai muiden kasviöljyjen käyttö vähentää metaanintuotantoa. Suomalaisissa tutkimuksissa (Bayat ym. 2018, 2021, Razzaghi ym. 2022, Halmemies ym. 2023) lisääntynyt rasvahappojen saanti on vähentänyt metaanipäästöjä 120 g/kg rasvahappojen saannin kasvua. Tämä vastaa noin 3,3 kg CO₂ ekvivalenttia. Kasviöljyjen hiilijalanjälki on kuitenkin yleensä suurempi kuin niiden viljojen, joita öljyt korvaavat märehitijöiden ruokinnassa. Schmidt (2015) raportoi rypsiöljyn hiilijalanjäljeksi 3,1 kg CO₂-ekv. Siksi öljytäydennyksen hiilijalanjäljen nettovaikutukset ovat pienemmät kuin metaanintuotannon väheneminen. Nurmisäilörehun korvaamisen viljaväkirehulla on esitetty olevan yksi vaihtoehto metaanipäästöjen vähentämiseksi. Käytännön tilatasolla toteutuvilla vaihteluväleillä vaikutukset ovat kuitenkin pieniä (Sauvant & Giger-Reverdin 2009, Cabezas-Garcia ym. 2017).

4.2. Typpi

Matalimmilla naudanlihantuotannon tasoilla typen erityis sonnassa ja virtsassa väheni maidontuotannon intensiteetin kasvaessa, mutta nykyisellä tai nykyistä suuremmilla naudanlihan tuotannon tasoilla maidontuotannon intensiteetin vaikutukset typen eritykseen olivat pienet. Sonnassa ja virtsassa erittyvään tyypeen on kiinnittävä huomiota, koska se aiheuttaa typpioksiduuli- (N₂O) ja ammoniakkipäästöjä (NH₃) sekä nitraatin huuhtoutumista maaperään ja pohjaveteen, mikä osaltaan edistää ilman, veden ja maaperän saastumista (FAO 2002). Ympäristön kannalta virtsan typpi on sonnan tyypeä haitallisempaa, koska se on sonnan tyypeä alttiimpaa haihtumiselle ja huuhtoutumiselle.

Nautojen ruokinnalla voidaan vaikuttaa typen eritykseen paljon enemmän kuin metaanintuotantoon. Pääasiallinen keino typpihävikkien vähentämiseen on dieetin typpipitoisuuden (valkuaispitoisuuden) vähentäminen. Esimerkiksi Kebreab ym. (2001) raportoivat sonnan ja virtsan typpipitoisuuden lisääntyvän lehmien typen saannin lisääntyessä. Maidon valkuaispitoisuuden matala (11–13 %) marginaalinen valkuaislisäruokinnan tuotantovaste (Huhtanen ym. 2011) ja korkea todellinen valkuaisen sulavuus (≥ 90 %) osoittavat myös, että suuri osa lisävalkuaisesta erittyy virtsaan.

Kasvavilla naudoilla tuotantovasteet valkuaislisäruokintaan ovat yleensä pienempiä kuin lypsylehmillä. Meta-analyysin perusteella Huuskonen ym. (2014) havaitsivat, että rehun valkuaispitoisuuden lisääminen lisäsi päiväkasvua tilastollisesti merkitsevästi, mutta vaste oli määrällisesti pieni (1,4 g/1 g rehun raakavalkuaispitoisuuden lisäystä dieetin kuiva-aineessa) nurmikäynteypohjaisilla ruokinnoilla. Ruokinnan valkuaispitoisuudella onkin yleensä vain marginaalinen vaikutus lihanautojen syönti- ja kasvutuloksiin. Kasvavien nautojen ruokinnassa ollaan lähes aina tilanteessa, että varsinaista valkuaislisää ei tarvita. Pötsissä tuotettu mikrobi-alkuainen on lihanaudan ylivoimaisesti tärkein valkuaisen lähde. Säilörehua ja viljaa sisältävällä ruokinnalla pötsimikrobien typen tarve täyttyy hyvälaatuisten perusrehujen kautta. Valkuaislisällä voidaan saavuttaa hyötyjä, jos ruokinnan PVT-arvo on selkeästi alle -10 g/kg ka. Tällöin ruokinnan raakavalkuaispitoisuus on yleensä noin 10–11 % tai alle. Siksi valkuaislisän poisjättäminen dieetistä on usein paras strategia typen erityksen vähentämiseksi kasvavilla naudoilla (Huuskonen ym. 2014, Huhtanen & Huuskonen 2020).

4.3. Vaikutukset tilatasolla

Vaikka nautasektorin metaanipäästöt ja typhen erityks vähenevät 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 karkearehujia. Koska nurmen kuiva-ainesato on suurempi kuin viljakasvien, intensiivisissä tuotantojärjestelmissä tarvitaan enemmän peltoalaa kuin vähemmän intensiivisissä järjestelmissä. Maaperän hiilensidonnasta osalta Vleeshouwers ja Verhagen (2002) sekä Vellinga ym. (2004) oletivat, 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 hiilensidonnasta eron, joka tarvittaisiin kompensoimaan intensiivisen ja vähemmän intensiivisen järjestelmän eron, käyttäen nurmen ja viljan kuiva-ainesatoja 6 000 ja 3 500 kg ka/ha. Laskelmat tehtiin tämän tutkimuksen aineistolla (maidontuotos 9 000 tai 10 000 kg/vuosi ja naudanlihantuotanto 80–90 miljoonaa kg). Arvion mukaan 98 kg/ha ero maaperän hiilensidonnassa nurmen ja viljan välillä riittäisi kompensoimaan vähemmän intensiivisen tuotannon suuremmat metaanipäästöt. Turvemaidoilla hiilidioksidipäästöt ovat suuria, minkä vuoksi ero nurmen ja viljan välillä on turvemaidoilla suurempi kuin kivennäismailla. Siksi turvemaita tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää ensisijaisesti nurmen tuotantoon, mikäli tavoitteena on minimoida märehäjäntuotannon kasvihuonekaasupäästöt.

Suomessa monivuotiset nurmipellot ovat keskimäärin selvästi parempia maaperän hiilen varastoijia kuin yksivuotiset viljapellot, erityisesti kivennäismailla (Heikkinen 2016, Shurpali ym. 2013, Tao ym. 2023). Nurmi sitoo hiiltä suuren juuribiomassan ja vähäisemmän maanmuokkauksen ansiosta, kun taas viljapellot ovat useimmiten hiilitaseeltaan lähellä nollaa tai lieviä hiilen lähteitä. Turvemaidoilla molemmat viljelymuodot ovat hiilen lähteitä, mutta nurmiviljely vähentää päästöjä selvästi verrattuna viljaan.

5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Hypotesimme 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 erityis väheni 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.

Suomessa on mahdollista tuottaa nykyistä kulutustamme vastaava naudanlihamäärä joko alentamalla lypsylehmien tuotostasoa ja lisäämällä lehmämäärää tai lisäämällä emolehmämäärää nykyisellä maitotuotostasolla. Nykyistä kotimaista naudanlihan kulutusta (noin 100 milj. kg) vastaava tuotannon taso vaatisi nykyisellä noin 11 000 kg:n maitotuotostasolla 110 000 emolehmää ja 12 000 kg:n tuotostasolla 125 000 emolehmää.

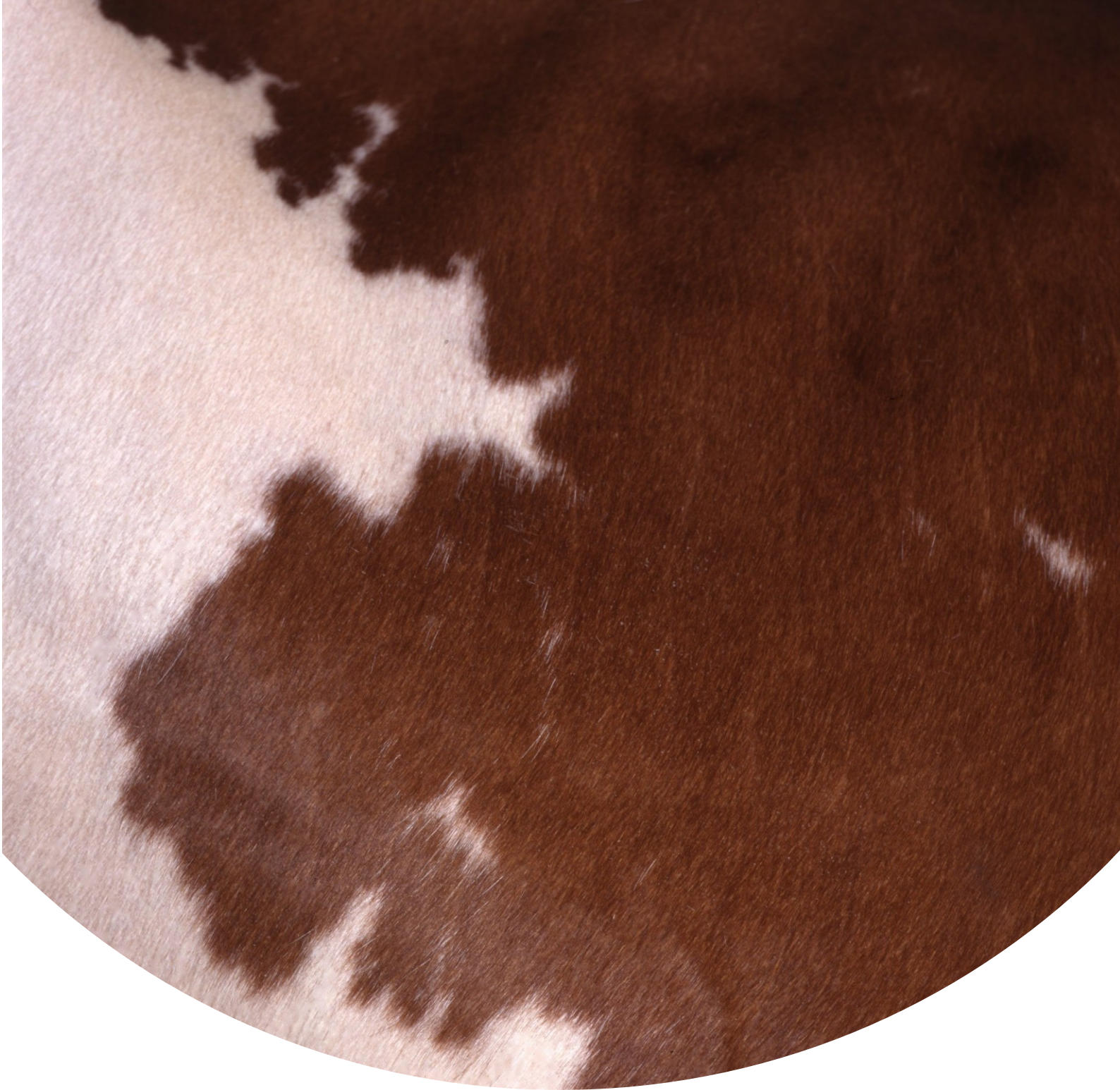
Viitteet

- Agricultural and Food Research Council (AFRC) 1992. Nutritive requirements of ruminant animals: protein. CAB International, Wallingford, Oxon.
- Bayat, A.R., Tapio, I., Vilkki, J., Razzaghi, A., Leskinen, H., Kettunen, H., Khurana, R., Brand, T. & Ahvenjärvi, S. 2021. Evaluating the effects of high-oil rapeseed cake or natural additives on methane emissions and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 105: 1211–1224. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20537>
- Bayat, A.R., Tapio, I., Vilkki, J., Shingfield, K.J. & Leskinen, H. 2018. Plant oil supplements reduce methane emissions and improve milk fatty acid composition in dairy cows fed grass silage-based diets without affecting milk yield. *Journal of Dairy Science* 101: 1136–1151. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13545>
- 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: 2–16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- Cabezas-Garcia, E.H., Krizsan, S.J., Shingfield, K.J. & Huhtanen, P. 2017. Effects of replacement of late-harvested grass silage and barley with early-harvested silage on milk production and methane emissions. *Journal of Dairy Science* 100: 5228–5240. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12444>
- 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. Teoksessa: 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.
- FAO 2002. *World Agriculture: Towards 2015/2030. Summary Report*. FAO. Accessed May 22, 2021. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y3557e/y3557e.pdf>.
- 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>

- Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Jaakkola, S., Kokkonen, T., Turpeinen, A.M., Givens, I. & Vanhatalo, A. 2023. Milled rapeseeds and oats decrease milk saturated fatty acids and ruminal methane emissions in dairy cows without changes in product sensory quality. *Frontiers in Animal Science* 4: 1278495. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1278495>
- Heikkinen, J. 2016. Carbon storage of Finnish agricultural mineral soils and its long-term change. Doctoral dissertation, University of Helsinki. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/159525>
- Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P.K., Conant, R.T., Smith, P., Wirsenius, S., Hris-tov, 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., Hetta, M. & Swensson, C. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: a review and meta-analysis. *Canadian Journal of Animal Science* 91: 529–543. <https://doi.org/10.4141/cjas2011-029>
- 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. & Joki-Tokola E. 2014. Evaluation of protein supplementation for growing cattle fed grass silage-based diets: a meta-analysis. *Animal* 8: 1653–1662. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001517>
- 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>
- Kass, M., Ramin, M., Hanigan, M.D. & Huhtanen, P. 2022. Comparison of Molly and Karoline models to predict methane production in growing and dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 105: 3049–3063. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20806>
- Kebreab, E. France, J., Beever, D.E. & Castillo, A.R. 2001. Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 275–285. <https://doi.org/10.1023/A:1012668109662>
- 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.agry.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 2026. 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>
- Niu, M., Kebreab, E., Hristov, A.N., Oh, J., Arndt, C., Bannink, A., Bayat, A.R., Brito, A.F., Boland, T., Casper, D., Crompton, L.A., Dijkstra, J., Eugène, M.A., Garnsworthy, P.C., Haque, M.N., Hellwing, A.L.F., Huhtanen, P., Kreuzer, M., Kuhla, B., Lund, P., Madsen, J., Martin, C., McClelland, S.C., McGee, M., Moate, P.J., Muetzel, S., Muñoz, C., O’Kiely, P., Peiren, N., Reynolds, C.K., Schwarm, A., Shingfield, K.J., Storlien, T.M., Weisbjerg, M.R., Yáñez-Ruiz, D.R. & Yu, Z. 2018. Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global Change Biology* 24: 3368–3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- 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>
- Ramin, M. & Huhtanen, P. 2015. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science* 96: 2476–2493. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6095>
- Razzaghi A., Leskinen H., Ahvenjärvi S., Aro H. & Bayat A.R. 2022. Energy utilization and milk fat responses to rapeseed oil when fed to lactating dairy cows receiving different dietary forage to concentrate ratio. *Animal Feed Science and Technology* 293: 115454. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115454>
- Sauvant, D. & Giger-Reverdin, S. 2009. Modelling of digestive interactions and methane production in ruminants. *INRA Productions Animales* 22: 375–384. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2009.22.5.3362>
- Shurpali, N.J., Rannik, Ü., Jokinen, S., Lind, S. & Mammarella, I. 2013. Seasonal dynamics of carbon dioxide exchange in a Finnish agricultural grassland. *Agricultural and Forest Meteorology* 181: 164–176. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.07.005>
- Tao, F., Palosuo, T., Lehtonen, A., Heikkinen, J. & Mäkipää, R. 2023. Soil organic carbon sequestration potential for croplands in Finland over 2021–2040 under the interactive impacts of climate change and agricultural management. *Agricultural Systems* 209: 103671. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103671>
- 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>



Löydät meidät verkosta

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki