



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2026

Lypsylehmien energiaruokintasuositusten päivitys

Pekka Huhtanen, Abdulai Guinguina, Kaisa Kuoppala ja Auvo Sairanen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2026

Lypsylehmien energiaruokintasuositusten päivitys

Pekka Huhtanen, Abdulai Guinguina, Kaisa Kuoppala ja Auvo Sairanen

Viittausohje:

Huhtanen, P., Guinguina, A., Kuoppala, K. & Sairanen, A. 2026. Lypsylehmien energiaruokintasuositusten päivitys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 19 s.

Pekka Huhtanen <https://orcid.org/0000-0001-7855-7448>

Auvo Sairanen <https://orcid.org/0000-0003-1230-6288>



ISBN 978-952-419-171-5 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-171-5>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Pekka Huhtanen, Abdulai Guinguina, Kaisa Kuoppala & Auvo Sairanen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2026

Julkaisuvuosi: 2026

Kannen kuva: Olga Philman / Luke

Tiivistelmä

Pekka Huhtanen¹, Abdulai Guinguina¹, Kaisa Kuoppala¹ ja Auvo Sairanen²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Jokioinen

² Luonnonvarakeskus (Luke), Maaninka

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että lypsylehmien ylläpitoenergian tarve on aiemmin arvi-
oitua suurempi. USA:ssa Nutrient Requirements of Dairy Cattle (NASEM 2021,
<https://doi.org/10.17226/25806>) nosti ylläpitotarpeen arvoon 0,63 MJ muuntokelpoista ener-
giaa (ME) / kg metabolinen elopaino, joka on 22 % Luken nykyisiä rehutaulukoiden suosituk-
sia suurempi.

Rehutaulukoiden suositusten päivittämiseksi kerättiin respiraatiokammiokeista 930 havain-
toa sisältävä aineisto. Meta-analyysin perusteella lehmien ylläpitoenergian tarve on Luken ny-
kyisiin suosituksiin verrattuna suurempi, mutta maidontuotantoon tarvittavan energian tarve
on nykyisiä suosituksia pienempi. Uudeksi muuntokelpoisen energian ylläpitotarpeeksi arvioi-
tiin 0,63 MJ/kg metabolista elopainoa ja tuotantotarpeeksi 5,0 MJ/kg energiakorjattua maitoa
(ekm).

Lypsylehmän muuntokelpoisen energian tarve, MJ/pv, on

ylläpitoon **elopaino^{0.75}kg × 0,63 MJ/kg**

ja maidontuotantoon **5,0 MJ/kg ekm × ekm, kg/pv.**

Lisääntynyt ylläpitoenergian tarve johtuu todennäköisesti siitä, että lehmien tuotostason
noustessa metabolisesti aktiivisten kudosten, suoliston ja maksan, osuus elopainosta on li-
sääntynyt. Lisäksi edelliset ylläpitotarvesuosituksukset perustuivat paastoaineenvaihdunnalla teh-
tyihin kokeisiin.

Energiantarvesuosituksien lisäksi tarkennettiin muuntokelpoisen energian ME-korjaustermiä
(dieetin korjattu energiapitoisuus) virtsan ja metaanin sisältämän energian osalta. Nämä tap-
piot pienenevät ruokintatason noustessa. Uusi ME-korjaus (ME discount, MJ ME/kg kuiva-ai-
netta (ka) ylläpitotasoon nähden on:

-34,5 + 4,94 × ME_{yp} + 1,59 × ka-syönti - 0,43 × rv + 0,0011 × rv² - 0,6 × ka-syönti,

jossa ME_{yp} (MJ/kg ka) on dieetin korjaamaton ME-pitoisuus ylläpitotasolla, ka-syönti ilmai-
taan yksikössä kg ka/pv ja rv on dieetin raakavalkuaispitoisuus (g/kg ka). Dieetin korjattu
energiapitoisuus on ME_{yp} – ME-korjaus.

Päivitetyt suositukset tarjoavat aiempaa tarkemman arvion lypsylehmien energiantarpeesta ja
parantavat ruokinnan optimointia.

Asiasanat: ruokintasuositukset, ylläpitoenergia, maidontuotannon energia, sulavuus, metaani,
virtsa

Abstract

Update of the Finnish energy requirements of dairy cows for maintenance and milk production, and correction of metabolizable energy

Pekka Huhtanen¹, Abdulai Guinguina¹, Kaisa Kuoppala¹ and Auvo Sairanen²

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Jokioinen

² Natural Resources Institute Finland (Luke), Maaninka

Several studies have shown that the maintenance energy requirement of dairy cows is higher than previously estimated. Nutrient Requirements of Dairy Cattle in the USA (NASEM 2021, <https://doi.org/10.17226/25806>) raised the maintenance requirement to 0.63 MJ metabolizable energy (ME)/kg metabolic live weight, which is 22% higher than the current Luke energy recommendation.

In order to update the Finnish recommendations, a data set of 930 observations was collected from the respirometry trials. Based on the meta-analysis, the maintenance energy requirement of cows is significantly higher than the current Luke recommendations, but the production energy requirement is slightly lower than the current recommendations. The new maintenance requirement was estimated at 0.63 MJ/kg metabolic live weight and the production requirement at 5.0 MJ/kg energy-corrected milk (ECM).

Metabolizable energy requirement of a dairy cow, MJ/day, is

for maintenance **live weight^{0.75}kg × 0,63 MJ/kg**

and for milk production **5,0 MJ/kg ECM × ECM, kg/day.**

The increased maintenance energy requirement is probably due to the increased contribution of metabolically active tissues, intestines and liver, to the live weight as the cows' production level has increased. In addition, previous recommendations for maintenance requirements were based on fasting metabolism experiments.

In addition to energy requirement recommendations, the correction of metabolizable energy (ME) for digestible energy (diet's corrected energy content) was refined regarding the energy contained in urine and methane. These losses decrease as the feeding level increases. The new ME discount (MJ ME/kg dry matter (DM)) relative to maintenance level is:

$$-34.5 + 4.94 \times \text{MEm} + 1.59 \times \text{DM intake} - 0.43 \times \text{CP} + 0.0011 \times \text{CP}^2 - 0.6 \times \text{DM intake},$$

where MEm (MJ/kg DM) is the diet's uncorrected ME content at maintenance level, DM intake is expressed as kg DM/day, and CP is the crude protein content of the diet (g/kg DM). The diet's corrected energy content is MEm – ME discount.

The updated requirements provide a more accurate assessment of the energy needs of dairy cows and improve ration optimisation.

Keywords: feeding recommendations, maintenance energy, energy for milk production, digestibility, methane, urine

Lyhenteet

Lyhenne	Selite	Yksikkö
BW	Elopaino	kg
CH₄E	Metaanin energia	MJ
DE	Sulava energia	MJ/kg ka
DOM	Sulava orgaaninen aine	kg
EIO	Maidontuotantoon käytettävissä oleva energia	MJ
ekm	Energiakorjattu maitotuotos	kg
FE	Sonnan energia	MJ
GE	Bruttoenergia	MJ/kg ka
HP	Lämmöntuotanto	MJ
ka	Kuiva-aine	g/kg
K_i	ME:n hyväksikäyttö maidontuotantoon	
MBW	Metabolinen elopaino	kg
ME	Muuntokelpoinen energia	MJ/kg ka
ME_{MBW}	ME:n saanti metabolista elopainokiloa kohti	MJ/kg MBW
n	Havaintojen lukumäärä	
RE	Pidättynyt energia	MJ
rv	Raakavalkuainen	g/kg ka
UE	Virtsan energia	MJ
UN	Virtsan tyyden erityis	g/pv

Sisällys

Lyhenteet	5
1. Tausta	7
2. Menetelmät	8
2.1. Lähtöaineisto	8
2.2. Rehujen syönti, dieetin koostumus ja maitotuotos.....	8
2.3. Laskentakaavat	11
3. ME-tarve ylläpitoon ja ekm-tuotokseen	12
4. Metaanin ja virtsan energiatappiot	14
5. Ruokintatason mukainen ME:n korjaus	16
6. Yhteenveto.....	18
Viitteet.....	19

1. Tausta

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että lypsylehmien ylläpitoenergian tarve on suurempi kuin aikaisemmat suositukset. Viimeksi NASEM (2021) muutti lypsylehmien ylläpitotarpeen 0,08:sta 0,10:een Mcal/kg metabolinen elopaino (MBW; $BW^{0.75}$). Muuntokelpoisena energiana (ME) tämä vastaa 0,63 MJ eli se on 22 % Luken nykyisiä suosituksia (Kuoppala ym. 2024) suurempi. Eri tutkimusten välillä oli kuitenkin huomattavaa vaihtelua (NASEM 2021). Lisääntynyt ylläpitoenergian tarve johtuu todennäköisesti siitä, että lehmien tuotostason noustessa metaboli- sesti aktiivisten kudosten, suoliston ja maksan, osuus elopainosta on lisääntynyt. Nämä ku- dokset muodostavat lähes puolet lehmän perusaineenvaihdunnasta. Toisaalta maidontuotan- non energiantarve energiakorjattua maitokiloa (ekm) kohti on voinut jonkin verran vähentyä (NASEM, 2021). Käytännössä liian pieni ylläpitotarve ja liian suuri ME-korjaus suomalaisessa järjestelmässä ovat lypsävien lehmien osalta suureksi osaksi kompensoineet toisensa.

Luken julkaisemissa ruokintasuosituksissa (Kuoppala ym. 2024) ylläpitotasolla määritetyt re- huarvot korjataan vastaaman lypsylehmien ruokintatasoa ottamalla huomioon ruokintatason sulavuutta huonontava vaikutus ja rehujen väliset yhdysvaikutukset. Korjaustekijää lasketta- essa ei otettu huomioon sitä, että ruokintatason noustessa sekä metaanin että virtsan ener- gian suhteellinen osuus vähenevät eli korkeammilla ruokintatasoilla lehmät saavat lisääntyvän osan muuntokelpoista energiaa sulavasta energiasta (DE).

Tämän selvityksen tavoitteena on päivittää lypsylehmien energiasuosituksia ylläpitoon ja tuo- tantomuutoksiin sekä ottaa ME-korjauksessa huomioon ruokintatason vaikutukset metaanin ja virtsan energiaan. Lisäksi päivitetään ME-korjausyhtälö ruokintatason ja rehujen yhdysvaikutusten osalta laajennetun tuotosvasteaineiston pohjalta. Työhön on saatu rahoitusta maa- ja metsä- talousministeriöstä.

2. Menetelmät

2.1. Lähtöaineisto

Lähtöaineisto koostuu Guinguinan ym. (2020) kokeista, jotka on julkaistu vuosien 1995–2018 välisenä aikana sekä Niun ym. (2026) käsikirjoituksen kokeista. Alkuperäisessä aineistossa oli 1 063 havaintoa, mutta aineistosta poistettiin seuraavat havainnot: poikimisesta kulunut aika yli 300 pv, dieetin bruttoenergiapitoisuus (GE) alle 15 MJ/kg kuiva-ainetta (ka), väkirehun osuus yli 0,80 rehuannoksen ka:sta, muuntokelpoisen energian (ME) hyväksikäyttö joko alle 0,40 tai yli 0,80 sekä havainnot, joissa lehmän positiivinen energiatase oli yli 50 MJ/pv. Lisäksi poistettiin poikkeavat havainnot, joissa DFFITS > 2√(p/n) ja Rstudent > 2,5 samanaikaisesti. Lopulliseen aineistoon jäi 930 havaintoa, joista Lukessa tuotetun datan osuus oli 141 havaintoa. Keskimääräinen raportoitu aikaa poikimisesta oli 159 pv (11–299) havainnoissa, joissa se oli raportoitu (n = 398).

2.2. Rehujen syönti, dieetin koostumus ja maitotuotos

Rehujen syönti ja dieetin koostumus on esitetty taulukossa 1. Respiraatioaineistoa on mukana 1990 luvulta lähtien ja keskimääräinen syöntitaso aineistossa oli pienempi kuin nykyinen lehmien rehun syöntitaso, mutta väkirehun osuus vastaa hyvin nykyistä keskimääräistä tasoa. Samaten rehuannoksen keskimääräiset raakavalkuais- ja neutraalidetergenttikuitupitoisuudet vastaavat hyvin nykyistä keskimääräistä ruokintaa. Aineiston data-analyysin mukaan tuotostolla ei ollut vaikutusta tutkittuihin energiaparametreihin, joten tulokset ovat edelleen yleistettävissä ruokintasuosituksiksi. Guinguinan ym. (2020) aineistossa ruokintojen ME-pitoisuus oli 11,9 MJ ME/kg ka ja Niu ym. (2026) raportoivat 11,2 MJ ME/kg ka. Rehuannoksen koostumustietoa ei ollut saatavilla kaikista havainnoista, mutta voidaan olettaa, että näiden havaintojen osalta rehuannoksen koostumus ei poikennut oleellisesti keskimääräisestä.

Taulukko 1. Rehujen syönti ja dieetin koostumus.

	n	Keski-arvo	Keski-hajonta	Minimi	Maksimi
Rehujen syönti, kg kuiva-ainetta (ka)/pv					
Karkearehu	930	9,6	3,02	2,9	20,8
Väkirehu	930	8,2	3,57	0,0	17,2
Syönti yhteensä	930	17,8	3,93	7,5	30,9
Väkirehun osuus	930	0,45	0,17	0,00	0,80
Dieetin koostumus, g/kg ka					
Tuhka	795	79	12,3	9	145
Raakavalkuainen	884	173	24,4	113	248
Neutraalidetergenttikuitu	712	389	65,3	224	604
Bruttoenergia, MJ/kg ka	930	18,5	0,59	16,6	20,0

Maitotuotos seurasi aineiston syöntitasoa. Suuresta rehun syönnin vaihtelusta johtuen myös maitotuotoksessa oli suurta vaihtelua (Taulukko 2). Suuri vaihtelu on eduksi määritettäessä lehmien energian tarve ylläpitoon ja tuotantoon. Rehuannoksen keskimääräinen sulavuus

vastaa nykyistä korkeatuottoisten lehmien dieettiä. Aineiston keskimääräinen maitotuotos on pienempi kuin suomalaisten lehmien keskimäärin (vuonna 2024 lehmien keskituotos oli 9 219 litraa / vuosi (Luke tilastot) eli 30,2 l/pv). Energiantarpeen laskentaparametrit ovat kuitenkin tuotostasosta riippumattomia, joten julkaisussa esitetyt johtopäätökset pätevät Suomen nykyisellä tuotostasolla.

Taulukko 2. Elopaino, maitotuotos ja rehuannoksen sulavuus.

	n	Keski-arvo	Keski-hajonta	Minimi	Maksimi
Elopaino, kg	930	576	83,0	379	847
Maitotuotos, kg/pv	930	24,9	8,40	6,5	51,4
Energiakorjattu maitotuotos, kg/pv	929	25,5	8,40	6,2	52,0
Maidon koostumus, g/kg					
Rasva	384	42,7	9,09	24,7	88,5
Valkuainen	383	35,1	4,01	23,8	53,9
Rehuannoksen sulavuus, g/kg					
Kuiva-aine	930	730	43,0	579	871
Orgaaninen aine	930	746	39,8	601	883
Neutraalidetergenttikuitu	349	608	76,9	392	808

Bruttoenergian (kokonaisenergian) saanti ja energian jakautuminen on esitetty taulukossa 3 ja kuvassa 1. Bruttoenergian sulavuus oli sonnan sisältämä energiatappio huomioiden keskimäärin 73 %.

Muuntokelpoisen energian osuus DE:sta oli keskimäärin 0,86. Tämä on suurempi kuin 0,82, joka on oletamus keskimääräisestä DE:n ylläpitotasolla määritetystä muuntokelpoisuudesta. Tämä johtuu siitä, että ruokintatason noustessa (syöty kg ka/kg elopainoa) sekä metaanin että virtsan energian osuudet GE:n saannista vähenevät (Kuva 5). Ylläpitotasolla suurempi osuus GE:sta ja ME:sta menetetään metaaniin ja virtsaan kuin lypsylehmien ruokintatasolla.

Metaanin osuus GE:n saannista oli keskimäärin 0,066, mutta siinä oli huomattavaa vaihtelua. Vaihtelu johtuu ruokintatasosta, rehuannoksen koostumuksesta ja lehmien yksilöllisestä vaihtelusta. Pienimmät osuudet ovat tutkimuksista, joissa on käytetty suuria rasva-annoksia. Suurimmat osuudet ovat todennäköisesti lehmiltä, jotka ovat syöneet hyvin sulavaa rehua matalilla ruokintatasoilla.

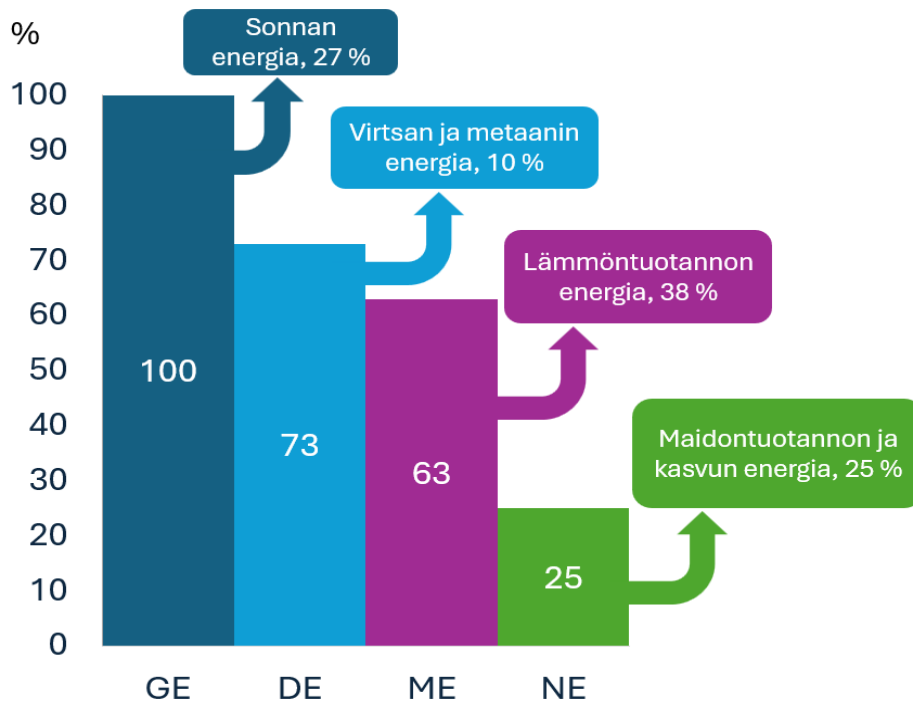
Lämmöntuotanto on selvästi suurin energiatappio. Se koostuu ylläpitoenergiasta sekä ME:n muuntumistappioista maidontuotannossa ja kudosten kasvussa. Energiatappioiden huomiomisen jälkeen maidon energian osuudeksi kokonaisenergian saannista jäi keskimäärin 25 %.

Lehmät olivat keskimäärin lähellä laskennallista nollaenergiatasetta (pidättynyt energia 4 MJ/pv), mutta energiataseessa oli suurta vaihtelua. Osa määrityksistä on tehty lypsykauden alussa, jolloin lehmät käyttävät kudosvarastojaan maidontuotantoon. Vastaavasti lypsykauden loppupuolella lehmät täydentävät alkupuolella menetetetyt kudosvarastot eli lehmien aikuis-painossa tapahtuvat muutokset ovat kumoavat toisensa. Aineistosta karsittiin havainnot, joissa energiatase oli yli 50 MJ/pv, joka vastaa Luken suositusten mukaan 1,5 kg/pv elopainon

lisäystä. Energiataseen todellinen vaihtelu voi olla hieman vähäisempää, koska se lasketaan erotuksena GE:n saannin ja muiden energiaparametrien välillä.

Taulukko 3. Rehusta tulevan energian jakautuminen märehittjän ruuansulatuksessa ja siihen liittyvät energiatappiot.

	n	Keski-arvo	Keski-hajonta	Minimi	Maksimi
Energian jakautuminen, MJ/pv					
Bruttoenergia (GE)	930	331	77,8	137	582
Sonnan energia (FE)	930	90	28,7	26	200
Sulava energia (DE)	930	242	54,9	104	427
Metaanin energia (CH ₄ E)	930	21	4,3	11	35
Virtsan energia (UE)	930	12	4,4	2	28
Muuntokelpoinen energia (ME)	930	208	49,3	84	379
Maidon energia	930	80	26,5	19	163
Lämmöntuotanto (HP)	930	126	21,5	79	185
Pidättynyt energia (RE)	930	2	22,1	-94	50
Energian jakautuminen					
DE/GE	930	0,732	0,0437	0,583	0,877
CH ₄ E/GE	930	0,066	0,0107	0,037	0,108
UE/GE	930	0,036	0,0101	0,005	0,079
ME/DE	930	0,860	0,0216	0,783	0,920
ME/GE	930	0,630	0,0441	0,473	0,741



Kuva 1. Bruttoenergian (GE) jakautuminen ja energiatappiot eri komponentteihin aineistossa. DE=sulava energia, ME=muuntokelpoinen energia, NE=nettoenergia.

2.3. Laskentakaavat

Energian jakautuminen laskettiin seuraavilla kaavoilla:

- Sulava energia (DE) = Bruttoenergia (GE) – Sonnan energia (FE)
- Muuntokelpoinen energia (ME) = DE – Metaanin energia (CH₄E) – Virtsan energia (UE)
- Lämmöntuotanto (HP) = ylläpitoenergia + muuntumistappiot
- Nettoenergia = ME - ylläpitoenergia – HP
- Pidättynyt energia (RE) = ME – Maidon energia – HP

Pidättynyt energia tarkoittaa laskennallista energiatasetta ja käytännössä näkyy elopainon muutoksina. Rehun energian jakautuminen eri metaboliavaiheisiin on esitetty kuvassa 1. Lämmöntuotanto laskettiin Brouwerin (1965) kaavalla hapen kulutuksesta, CO₂:n ja CH₄:n tuotannosta ja virtsan typen (UN, g N/pv) erityksestä.

$HP = 0,001 \times (O_2 \times 16,18 \times 22,4 / 32 + CO_2 \times 5,02 \times 22,4 / 44 - 2,15 \times CH_4 \times 22,4 / 16 - 5,98 \times UN)$,
jossa kaasut on ilmoitettu litraa/pv.

Energiatappioiden ja pidättymisen jälkeen lehmällä on käytettävissä energiaa maidontuotantoon ja ylläpitoon. Maidon energian (EI) ja ylläpidon energiatarpeen keskinäinen suhde estimointiin data-aineistosta regressioanalyysillä:

$$EI_0 = a + b \times ME_{MBW},$$

jossa EI₀ on maidontuotannon energiasisältö (vakio 3,14 MJ/kg ekm) energiataseen ollessa nolla ja ME_{MBW} on ME:n saanti metabolista elopainokiloa kohti. Maidon energiasisällön korjauksessa energian hyväksikäyttöksi kudosen energian synteesiin oletettiin 0,75 ja kudosen energian hyväksikäyttöksi maidontuotantoon 0,82.

Ylläpidon vaatima nettoenergia estimointiin jakamalla aineistosta estimoidun regressiosuoran y-akselin leikkauspiste (ME_{MBW}=0, Kuva 2) regressiosuoran kulmakertoimella. Ylläpidon vaatima muuntokelpoinen energia saadaan regression X-akselin leikkauspisteestä. Regressioyhtälön kulmakerroin on ylläpitarpeen ylittävän ME:n hyväksikäyttö maidontuotantoon (K_i).

Analyysi tehtiin Mixed-mallilla, jossa koe, ruokinta(koe) ja jakso(koe) olivat satunnaistekijöinä. Satunnaistekijät voivat selittää vaihtelua koepaikkojen välillä esimerkiksi respiraatiokammioiden kalibroinnissa ja analytiikassa. Analyysit tehtiin myös käyttämällä maidon ja pidättyneen energian summaa (nettoenergia) riippuvana muuttujana.

Metaanin ja virtsan energiatappioiden vähentyminen ruokintatason noustessa estimointiin Mixed-mallin regressioyhtälöstä (Kuva 4)

$$CH_4E \text{ (MJ/pv)} = a + b \times \text{ka-syönti (kg/pv) ja}$$

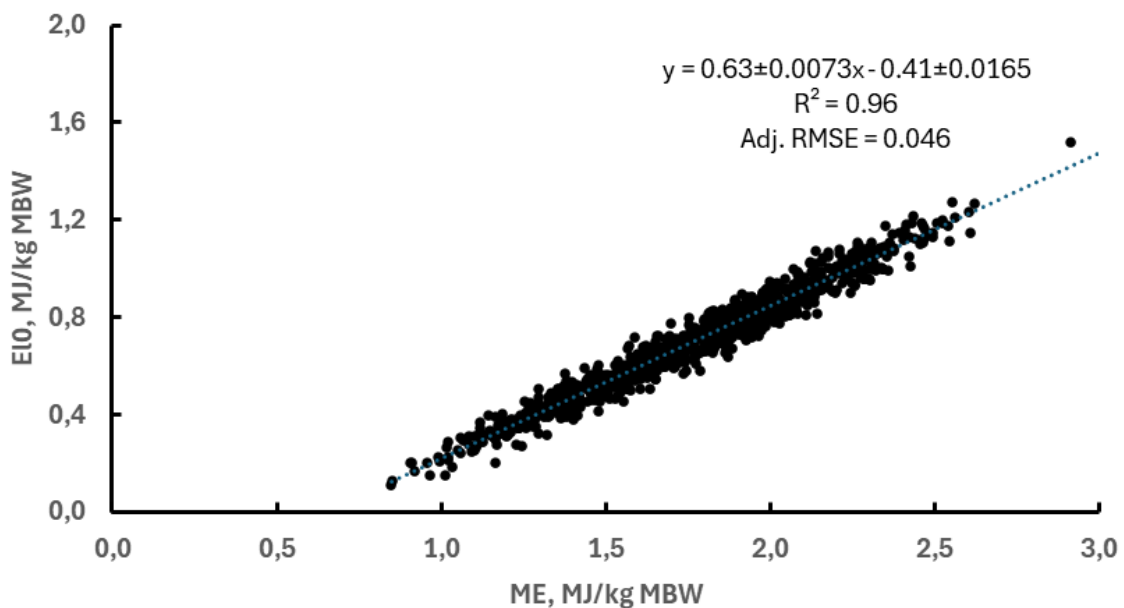
$$UE \text{ (MJ/pv)} = a + b \times \text{ka-syönti (kg/pv)}$$

Koe, ruokinta(koe) ja jakso(koe) olivat mallin satunnaistekijöitä. Ruokintason vaikutus laskettiin aineiston keskimääräisen metaanin/virtsan energian ja regressiokerrointen erotuksena.

3. ME-tarve ylläpitoon ja ekm-tuotokseen

Kuvassa 2 on esitetty metabolista elopainokiloa kohti lasketun ME-saannin lisäyksen ja maidon tuotoksen energiasisällön riippuvuus Mixed-mallilla estimoituna, kun energiatase on korjattu nollassi. Nettoenergiana ylläpitotarve on sama kuin NASEM (2021) systeemissä, mutta ME:na hieman suurempi, koska ME:n hyväksikäyttöksi oletetaan NASEM (2021) systeemissä 0,66. Maidontuotannon ME-tarve ekm-kiloa kohti saadaan jakamalla ekm-kilon energia ME:n hyväksikäyttökertoimella ($3,14 / 0,63 = 5,0$ MJ/kg ekm).

Energian hyväksikäytön 95 %:n luottamusväli oli $\pm 0,014$ eli varsin pieni. Tekijöiden välinen riippuvuus oli lineaarinen. Huolimatta pienestä satunnaisvaihtelusta ja suuresta aineistosta 2. asteen positiivinen termi oli ainoastaan suuntaa antavasti ($P = 0,08$) merkitsevä. Positiivinen 2. asteen vaikutus viittaa siihen, että ME:n hyväksikäyttö hieman paranee ruokinta- ja tuotoston noustessa. Sama vaikutus oli havaittavissa, kun aineistosta poistettiin havainnot, joissa ekm-tuotos oli alle 15, 20 tai 25 kg. Energian hyväksikäyttö hieman parani, mutta vastaavasti ylläpitotarve hieman lisääntyi. Havainnoissa, joissa lypsykauden vaihe oli raportoitu, tuotokauden vaiheen ja energian hyväksikäytön välillä ei ollut riippuvuutta. Analysoitaessa pelkästään Luken data ($n = 141$) ylläpitotarpeeksi tuli 0,62 MJ/kg MBW ja tuotannon tarpeeksi 4,9 MJ/kg ekm.



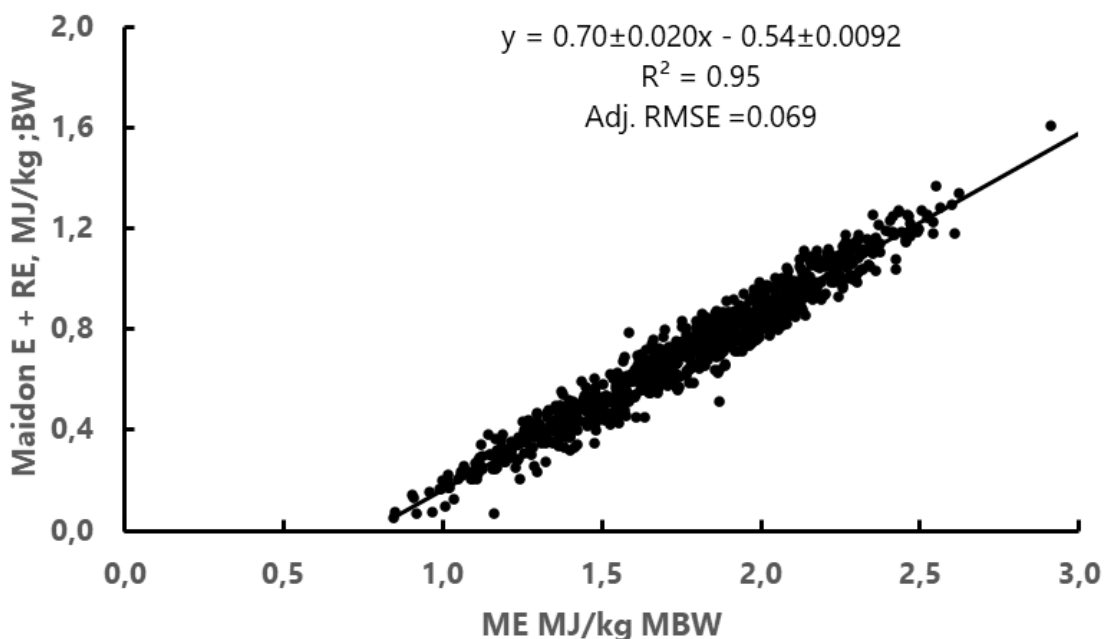
Kuva 2. ME-saannin ja korjatun maidon energian välinen riippuvuus Mixed-mallilla. Molemmat esitetty metabolista elopainoa (MBW) kohti.

Muuntokelpoisen energian hyväksikäyttö oli parempi, kun maidon lisäksi otettiin huomioon pidätetty energia (RE) (Kuva 3). Tämä tarkoittaa sitä, että ME:n hyväksikäyttö kudostarpeiden synteisiin on parempi kuin maidon synteisiin ja että kudoksista mobilisoitu energia käytetään maidontuotantoon tehokkaammin kuin rehusta peräisin oleva energia.

Käytetyt kertoimet pidättyneen ja mobilisoidun energian hyväksikäytöstä vaikuttavat jonkin verran ME-saannin ja energiatasolle nolla korjatun maidon energiasisällön riippuvuuteen. Vaikutukset ylläpidon ja tuotannon tarpeisiin kompensoivat ainakin osittain toisensa, joten

vaikutukset kokonaistarpeeseen jäävät vähäiseksi. Jäännösvirhe oli huomattavasti suurempi olettaessa NASEMin (2021) mukaan, että rehusta peräisin olevan ME:n ja kudoksista peräisin oleva energian hyväksikäyttö ovat yhtä suuria. Tätä olettamusta vastaan on se, että mobilisoitu kudostasva on suoraan käytettävissä maitorasvan synteisiin, mutta syntetisoitaessa maitorasvaa haihtuvista rasvahapoista tapahtuu energiatappioita. Energiataseen suhteellinen satunnaisvirhe on todennäköisesti aika suuri.

Syönnin satunnaisvirhe korreloi voimakkaasti energiataseen satunnaisvirheen kanssa, koska syönnin virhe vaikuttaa koko painollaan energiataseen virheeseen. Tehdyn simulointiharjoituksen perusteella syönnin satunnaisvirhe lisää regressiomallissa sekä kulmakerrointa että leikkauspistettä eli laskennallinen ylläpitotarve kasvaa ja tuotantoon tarvittava ME vähenee. Nämäkin virheet kompensoivat toisiaan ja vaikutus päivittäiseen ME-tarpeeseen jää pieneksi.



Kuva 3. ME-saannin sekä maidon energian ja pidättyneen energian (RE) välinen riippuvuus Mixed-mallilla. Molemmat esitetty metabolista elopainoa (MBW) kohti.

Energian hyväksikäytössä maidontuotantoon ei aineiston perusteella ole tilastollisesti merkitsevää muutosta parempaan vuosien suhteen tarkasteltuna. Data-analyysissä on viitteitä, että K_1 olisi aikaisempaa parempi. Ylläpidon energiantarve on noussut ja rehua ei kuluteta aiempaa enemmän yhtä maitokiloa kohti, joten K_1 lukuarvon nousu olisi loogista.

Rodun merkitystä energian hyväksikäyttöön on myös hankala verrata, koska samassa kokeessa on yleensä käytetty vain yhtä rotua eli rotuvaikutus on sekaantunut kokeen kanssa. Lukuarvoisesti energian hyväksikäyttö käytettävissä olevassa aineistossa oli sama rodusta riippumatta (Holstein vs. Nordic Red).

4. Metaanin ja virtsan energiatappiot

Metaanin ja virtsan energiatappioiden vähentymisen estimoidut yhtälöt kuiva-aineen syönnin lisääntyessä:

$$\text{CH}_4\text{E (MJ/pv)} = 6,2 \pm 0,51 + 0,86 \pm 0,030 \times \text{ka-syönti (kg/pv)}, \text{ Adj. RMSE} = 1,93, \text{ Adj. R}^2 = 0,75$$

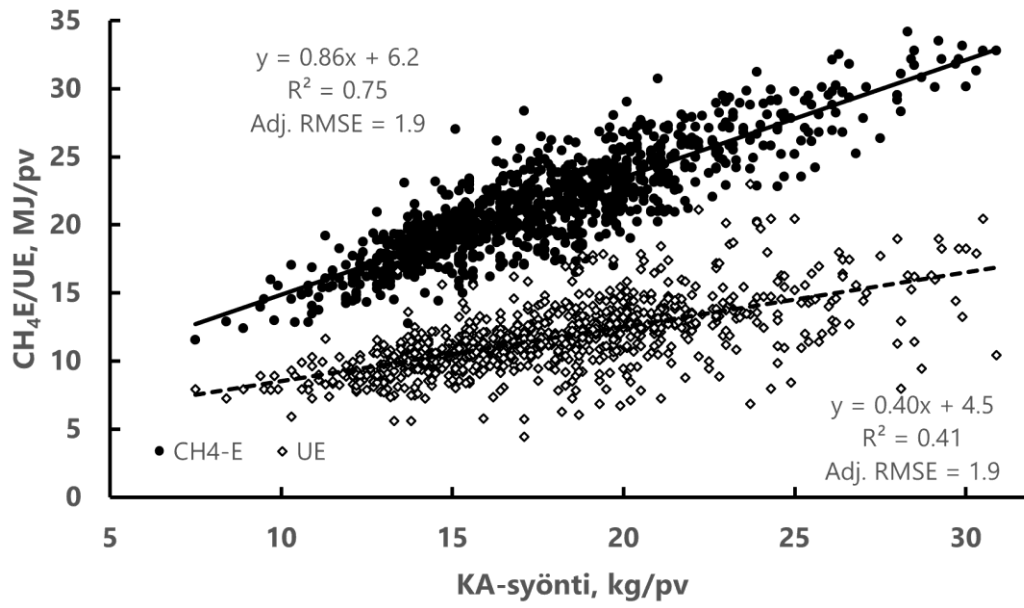
$$\text{UE (MJ/pv)} = 4,5 \pm 0,68 + 0,40 \pm 0,030 \times \text{ka-syönti (kg/pv)}, \text{ Adj. RMSE} = 1,87, \text{ Adj. R}^2 = 0,41$$

missä RMSE on satunnaistekijöillä oikaistu jäännösvirrehajonta. Riippuvuussuhteet on esitetty myös kuvassa 4.

Molempien yhtälöiden leikkauspisteet ja kulmakertoimet olivat tilastollisesti merkitseviä ($P < 0,001$). Regression pieni kulmakero tarkoittaa, että metaanin ja virtsan energiamäärät vähenvät syötyä kuiva-ainekiloa kohti ruokintatason noustessa. Metaanin vähentyminen johtuu sulavuuden huonontumisesta ja mikrobisynteessin tehostumisesta ruokintatason noustessa. Kun mikrobisynteessin tehokkuus rehun virtausnopeuden lisääntymisen seurauksena lisääntyy, enemmän fermentoitunutta orgaanista ainesta sitoutuu mikrobeihin, jolloin sitä jää vähemmän haituvien rasvahappojen ja kaasujen tuotantoon (Ramin ja Huhtanen, 2012). Virtsan energian osuuden vähentyminen johtuu siitä, että ruokintatason noustessa myös maitotuotos nousee, jolloin pienempi osuus typen saannista eritetään virtsaan.

Toisen asteen polynomimalli, jonka leikkauspiste on pakotettu nolnaan, on teoriassa parempi kuin lineaarinen malli. Kuiva-aineen syönnin ollessa 0 lehmä ei tietenkään tuota metaania. Tilastollisten kriteerien perusteella lineaarinen malli oli kuitenkin parempi. Erot ennustetussa metaanintuotannossa käytännön ruokintatasoilla (12–28 kg ka/pv) olivat mallien välillä alle 1 MJ. Erot ovat niin pieniä, että niillä ei ole käytännön merkitystä. Tämän vuoksi päädyimme yksinkertaisuuden vuoksi lineaariseen malliin.

ME-saannin korjaustekijään metaanin vähentymisen vaikutus laskettiin siten, että metaanin tuotanto on aineiston keskimääräisen CH_4E :n per kg ka ($21,5 \text{ MJ} / 17,8 = 1,205 \text{ MJ/kg ka}$) ja regressioyhtälön kulmakertoimen ($0,862 \text{ MJ/kg ka}$) erotus = $0,343 \text{ MJ/kg ka}$. Virtsan energian osalta vastaavat luvut ovat $12,0 \text{ MJ/pv} / 17,8 \text{ kg ka} = 0,67$ ja regression kulmakertoinen $0,40 \text{ MJ/kg ka}$ erotus = $0,27 \text{ MJ/kg ka}$. Yhteensä vaikutukset ovat $0,34 \text{ MJ/kg ka} + 0,27 \text{ MJ/kg ka} = 0,61 \text{ MJ/kg ka} \approx 0,60 \text{ MJ}$ lehmän syömää kuiva-ainekiloa kohti. Lehmän elopainon ja rehuannoksen ME-pitoisuuden vaikutukset tähän korjaustekijään ovat niin pieniä, että ne voidaan jättää huomioimatta.



Kuva 4. Kuiva-aineen (ka) syönnin vaikutus metaanin (CH₄E) ja virtsan (UE) energian määrään.

5. Ruokintatason mukainen ME:n korjaus

Rehuanalyysien perusteella laskettu rehuannoksen energia-arvo vastaa ylläpitotasolla saavutettavaa energiansaantia, jolloin maidontuotantoa ei ole. Ruokintatason noustessa osa rehun energiasta menetetään pötsivirtauksen lisääntyessä ja samalla rehun sulavuuden heikentyessä. Edellisissä suosituksissa (Kuoppala ym. 2024) ME-korjauksen oletettiin muodostuvan pelkästään sulavuuden huononemisesta ja rehujen yhdysvaikutuksista ruokintatason noustessa eikä väheneviä metaani- ja virtsatappioita otettu huomioon. Uutta korjaustermiä määritettäessä sulavan energian (DE) muutos laskettiin sulavan orgaanisen aineen (DOM) saannin muutoksesta:

DOM-saannin muutos (kg/pv) = Org. aineen saanti lehmillä (kg/pv) × [Sulavuus ylläpitotasolla (g/kg) – Sulavuus lehmillä (g/kg)] × 0,001.

DOM:n energiapitoisuudeksi oletettiin 17 MJ/kg respiraatioidatan perusteella. Kuiva-aineen syönnin ja dieetin koostumuksen perusteella laskettu sulavan energian (DE) vähennys oli:

DE-korjaus (MJ/pv) = $-34,5 + 4,94 \times \text{MEyp} + 1,59 \times \text{ka-syönti} - 0,426 \times \text{RV} + 0,00111 \times \text{rv}^2$,
jossa MEyp (MJ/kg ka) on ME-pitoisuus ylläpitotasolla, ka-syönti on ilmaistu yksikössä kg ka/pv ja rv on dieetin raakavalkuaispitoisuus (g/kg ka)

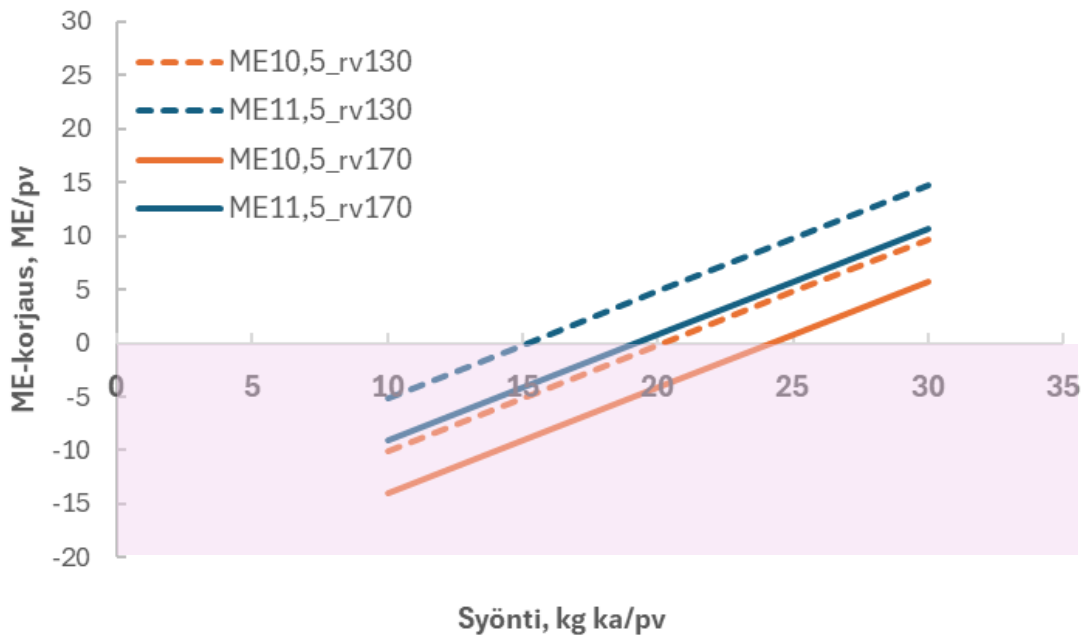
Päivityksen yhteydessä edelliseen versioon verrattuna negatiivinen leikkauspiste ja MEyp:n kertoimet pienenevät ka-syönnin ja rehuannoksen valkuaispitoisuuden kerrointen pysyessä lähes ennallaan. Keskimääräisellä rehuannoksen koostumuksella muutokset olivat pieniä. Vä-kirehun rasvapitoisuus ei vaikuttanut DE-korjaukseen (P = 0,31). Aineistossa oli vähän runsaasti rasvaa sisältäviä ruokintoja. Runsas väkirehun rasva voi huonontaa sulavuutta, mutta toisaalta rasva vähentää metaanitappioita.

ME-korjaus lasketaan DE-korjauksen ja metaani-virtsaenergian erotuksena:

ME-korjaus (MJ/pv) = DE-korjaus (MJ/pv) – ka-syönti (kg ka/pv) × 0,6 MJ/kg ka.

Yhtälössä DE-korjaus lisää energiatappiota ja syöntimäärän myötä pienenevän metaani-virtsaenergian huomioiminen puolestaan pienentää energiatappioita. Pienillä syöntitasoilla ME-korjaus tulee negatiiviseksi eli korjattu energiapitoisuus on suurempi kuin ylläpitotasolla saatu ME-pitoisuus. Laskennassa negatiivisia lukuja ei kuitenkaan huomioida eli pienin vähennys on nolla.

Tuotosvasteaineistossa (ViiMa-hanke, julkaisematon, n = 1461) keskimääräinen ME-tase oli 0,6 MJ/pv. Lehmät olivat keskimäärin 112 pv poikimisesta, jolloin energian saanti ja tarve ovat lähellä tasapainoa. Aineistossa ME:n saanti voi olla hieman aliarvioitu, koska kaikissa tutkimuksissa ei ole tehty korjauksia säilörehun haihtuvien komponenttien suhteen.



Kuva 5. ME-korjauksen suuruus kahdella rehuannoksen laskennallisella ME- ja raakavalkuaispitoisuudella kuiva-ainesyönnin muuttuessa. Korjausta ei tehdä, jos korjaustermi on negatiivinen (vaaleanpunainen alue).

6. Yhteenveto

Respiraatiokammiodatan analyysi osoitti, että lehmien ylläpitoenergian tarve on Luken nykyisiin suosituksiin verrattuna suurempi. Sen sijaan tuotantoenergian tarve on jonkin verran nykyisiä suosituksia pienempi. Koko aineistosta analysoitu ylläpitotarve oli 0,65 MJ/kg MBW ja tuotostarve 5,0 MJ/kg ekm. Koska Luken aineistossa ylläpitotarve oli pienempi (0,62) ja koska syönnin satunnaisvaihtelu tehdyn simuloinnin perusteella lisää laskennallista ylläpitotarvetta, suosittelemme **ylläpitosuosituksiksi 0,63 MJ/kg MBW** ja **tuotossuosituksiksi 5,0 MJ/kg ekm**. Muutos lisää ummessa olevien lehmien ruokintasuosituksia.

Suunniteltaessa ruokinta rehukatteen (maitotuotto – rehukustannus) perusteella ruokintasuositusten taso ei vaikuta optimoinnin lopputulokseen. Suhteessa muihin ruokinnan epävarmuustekijöihin ylläpitotarpeen vaikutus on pieni; 0,01 MJ/kg MBW vastaa suunnilleen 5 g/kg ka säilörehun D-arvossa.

Virtsan ja metaanin energiatarpeiden huomioiminen pienentää eroa ylläpitotasolla (taulukkoarvot) määritetyn energiatarpeen ja korjatun energiansaannin erotusta.

Uusi ME-korjaus on:

$$-34,5 + 4,94 \times \text{MEyp} + 1,59 \times \text{ka-syönti} - 0,43 \times \text{rv} + 0,0011 \times \text{rv}^2 - 0,6 \times \text{ka-syönti},$$

jossa MEyp (MJ/kg ka) on dieetin korjaamaton ME-pitoisuus ylläpitotasolla, ka-syönti ilmaistaan yksikössä kg ka/pv ja rv on dieetin raakavalkuaispitoisuus (g/kg ka). Dieetin korjattu energiapitoisuus on MEyp – ME-korjaus.

Käytännön kannalta muutokset ME-tarpeessa ja ME-korjauksessa kompensoivat suureksi osaksi toisensa. On kuitenkin tärkeää, että sekä energiasuosituksien että energian laskentamallit olisivat mahdollisimman oikeita. Rehun hyväksikäytön jalostuksen kannalta on eduksi, että ylläpidon ja tuotannon energiatarpeet ovat oikein suhteessa toisiinsa.

Viitteet

- Brouwer, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. Energy Metabolism of Farm Animals. EAAP Publ. 11: 441–443. Academic Press. London, UK.
- Guinguina, A., Yan, T., Lund, P., Bayat, A.R., Hellwing, A.L.F. & Huhtanen, P. 2020. Between-cow variation in the components of feed efficiency. Journal of Dairy Science 103(9): 7968–7982. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17896>.
- Kuoppala, K., Vattulainen, J., Perttilä, S., Saastamoinen, M. & Rinne, M. 2024. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset: Märehtijät, siat, siipikarja, hevoset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 98 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-883-6>.
- NASEM 2021. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient requirements of dairy cattle: Eighth revised edition. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>.
- Niu, P., Souza, V.C., Guinguina, A., Yan, T., Bayat, A.R., Kreuzer, M., Lund, P., Kebreab E., Schwarm, A. & Huhtanen, P. 2026 Evaluating the Sniffer method for methane emission in dairy cows differing in feed efficiency. Manuscript in review in Canadian Journal of Animal Science.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki