

# Lehmien elopainon ja painonmuutosten mallintaminen päivittäisten punnitusten avulla

Päivi Mäntysaari<sup>1)</sup> ja Esa Mäntysaari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>MTT, Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>2)</sup>MTT, Biotekniikka- ja elintarviketutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

Lypsykauden alussa lehmien rehun syönti ei aina pysty kattamaan energian tarvetta, tällöin lehmä joutuu käyttämään kudosvarastojaan lisäenergiälähteenä. Tämän seurauksena lypsykauden alussa lehmän elopaino putoaa ja vastaavasti lypsykauden edetessä kudosvarastojen jälleen täydentyessä elopaino nousee. Mikäli elopainonmuutos ja sen koostumus voitaisiin mitata harhattomasti, kuvaisi elopainonmuutos suoraan lehmän energiatasetta. Myös lehmien rehun hyväksikäyttöä arvioitaessa energianmuuntoyhtälön residuaalilla (residual energy intake, REI) ennustevarmuus on ratkaisevasti liitoksissa mitattuun elopainoon ja elopainonmuutokseen. Lypsylehmän yksittäinen elopainopunnitus on riippuvainen useista tekijöistä kuten esimerkiksi ruuansulatuskanavan täyteisyydestä punnittaessa. Tämä aiheuttaa peräkkäisiin punnituksiin ylimääräistä vaihtelua, mikä vaikeuttaa energiataseen ja rehun hyväksikäytön laskemista. Mallintamalla raakahavainnot tilastollisella mallilla, voidaan merkittävästi parantaa tietojen luotettavuutta. Systemaattisten virhetekijöiden vaikutukset kuten dieetinmuutos ja laidunkauden aloitus voidaan ottaa huomioon tilastollisessa mallissa. Lehmäkohtainen vaihtelu voidaan mallintaa oletamalla joka lehmälle oma yksilökohtainen painokäyrä.

Tässä tutkimuksessa selvittiin mallintamisen mahdollisuutta parantaa elopainomittausten käyttökelpoisuutta lypsylehmien energiataseen ja rehunkäyttökyvyn ennustamiseen. Tutkimusaineisto koostui MTT:n Jokioisten navetan 211 lehmän päivittäisistä paino- (kaksi mittausta per päivä), syönti -ja tuotosmittauksista sekä kuukausittaisista kuntoluokituksesta, kaiken kaikkiaan aineisto sisälsi 48298 havaintopäivää. Ensikoita aineiston lehmistä oli 158. Lehmien lypsykauden keskimääräinen punnittu paino vaihteli 449 kilosta 837 kiloon keskimääräisen painon ollessa 607 kg. Kuntoluokka oli keskimäärin 2,99 vaihdellen yksittäisissä määrityksissä 2,25 – 4,5.

Perusmallina käytettiin REI laskelmissa usein käytettyä lehmäkohtaista regressioyhtälöä, jossa painot mallinnetaan lypsykauden vaihetta (days in milk, DIM) kuvaavalla toisen asteen polynomilla ja lypsykauden alussa nopeasti laskevalla funktiolla  $\exp(-0.10 \cdot \text{DIM})$ . Perusmallin tuloksia verrattiin satunnaisregressiosekamalliyhtälöllä laskettuihin ennusteisiin, joissa päivittäisvaihtelua kuvattiin punnitusperiodilla ja lehmäkohtaista vaihtelua mallintavilla lehmäkohtaisilla yksilöllisillä painokäyrillä. Lopuksi punnittuja painoja ja perusmallilla sekä sekamalleilla laskettuja lehmäkohtaisia elopainoja ja painomuutoksia käytettiin energiataseen mallintamiseen. Sekamalliyhtälön mukaan arvioitiin lehmät 59,3 kg ensikoita painavammiksi. Lehmien välinen varianssi oli  $(89,1 \text{ kg})^2$  ja sekamalliyhtälön jäänöstermin varianssi oli  $(9,1 \text{ kg})^2$ . Sekamallin perustella laskettujen päivittäisten painomuutosten korrelaatio laskennalliseen energiataseeseen vaihteli lypsykauden eri vaiheissa, lypsykauden alussa ja lopussa korrelaatio oli yli 0,5, mutta lypsykauden keskivaiheessa selvästi alhaisempi.

**Asiasanat:** Elopaino, lypsylehmä, energiatase, rehun hyväksikäyttö

## Johdanto

Lypsykauden alussa lehmien rehun syönti ei aina pysty kattamaan energian tarvetta, tällöin lehmä joutuu käyttämään kudosvarastojaan lisäenergiälähteenä. Tämän seurauksena lypsykauden alussa lehmän elopaino putoaa ja vastaavasti lypsykauden edetessä kudosvarastojen jälleen täydentyessä elopaino nousee. Mikäli elopainonmuutos ja sen koostumus voitaisiin mitata harhattomasti, kuvaisi elopainonmuutos suoraan lehmän energiatasetta. Elopainon muutokseen perustuvaa energiataseennustemalleja ovatkin esittäneet mm. Coffey ym. (2001), Friggens ym. (2007) and Thorup ym. (2012). Koska nykyisin useilla tiloilla rekisteröityvät lehmiltä päivittäiset elopainot automaattisesti, antaa tämä tilatasolla mahdollisuuden hyödyntää elopainonmuutosta myös ruokinnan ja hoidon työkaluna. Päivittäisten elopainonmuutosten käyttöä muun muassa hedelmällisyys- ja terveysongelmien indikaattorina on esitetty (van Straten ym., 2009; Alawneh ym. 2011; Alawneh ym., 2012). Myös arvioitaessa lehmien rehun hyväksikäyttöä energianmuuntoyhtälön residuaalilla (residual energy intake, REI) on hyväksikäyttömitan tarkkuus ratkaisevasti liitoksissa punnittuun elopainoon ja mallinettuun elopainonmuutokseen.

Elopainonmuutoksen käyttö lehmän energiataseen tai sairastumisen indikaattorina sekä rehun hyväksikäytön laskelmissa edellyttää, että elopaino on harhattomasti mitattu. Lypsylehmän yksittäinen elopainopunnitus on kuitenkin riippuvainen useista tekijöistä kuten esimerkiksi ruuansulatuskanavan täyteisyydestä punnittaessa. Tämä aiheuttaa peräkkäisiin punnituksiin ylimääräistä vaihtelua, mikä vaikeuttaa energiataseen ja rehun hyväksikäytön laskemista. Mallintamalla raakahavainnot tilastollisella mallilla, voidaan merkittävästi parantaa tietojen luotettavuutta. Systemaattisten virhetekijöiden vaikutukset kuten dieetinmuutos ja laidunkauden aloitus voidaan ottaa huomioon tilastollisessa mallissa, mikäli ne eivät ole yhteydessä todelliseen kasvuun tai painonpudotukseen. Lehmäkohtainen vaihtelu voidaan mallintaa olettamalla joka lehmälle oma yksilökohtainen painokäyrä. Tässä tutkimuksessa selvitettiin mallintamisen mahdollisuutta parantaa elopainomittausten käyttökelpoisuutta lypsylehmien energiataseen ja rehunkäyttökyvyn ennustamiseen.

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen aineisto kerättiin MTT:n Jokioisten karjassa vuosina 2003 – 2004 ja 2009 – 2012. Aineisto sisälsi mittauksia 158 ensikolta ja 53 useammin poikineelta lehmältä. Datan keruu aloitettiin poikimisesta ja lopetettiin viimeistään 305 päivää poikimisesta. Vuosien 2003 – 2004 aineisto sisälsi vain sisäruokintakauden tiedot, mutta vuosina 2009 - 2012 tuotos- ja painotiedot tallennettiin aineistoon myös laidunkaudella. Kaikkiaan aineisto sisälsi 48298 havaintopäivää. Lehmä ruokittiin vapaasti säilörehulla tai seosrehulla. Erillisruokinnalla lehmät saivat väkirehun väkirehukioskista. Rehuannoksen väkirehutaso riippui säilörehun D-arvosta ja lypsykauden vaiheesta. Keskimäärin aineiston lehmillä oli rehuannoksen kuiva-aineesta 50,6 % väkirehua.

Lehmien maitotuotokset ja rehunkulutus mitattiin päivittäin. Maidon pitoisuudet analysoitiin vuosina 2003 - 2004 kahden ja vuosina 2009 - 2012 neljän viikon välein. Säilörehusta otettiin rehunäytteet kaksi kertaa ja väkirehusta kerran viikossa. Rehuanalyysit tehtiin MTT:n laboratoriossa standardimenetelmin. Säilörehun orgaanisen aineen sulavuus laskettiin orgaanisen aineen in vitro pepsiini-sellulaasiliukoisuuden perusteella (Nousiainen ym. 2003). Rehujen rehuarvot laskettiin Rehutaulukoissa (MTT, 2010) esitettyjen laskentaperusteiden mukaan. Lehmät punnittiin sekä aamu- että iltalypsyksen jälkeen, eli jokaiselle päivälle saatiin lehmälle kaksi punnitusta. Lehmien kuntoluokka arvioitiin asteikolla 1–5 (Edmonson ym. 1989) vuosina 2003 - 2004 kahden ja vuosina 2009 – 2012 neljän viikon välein.

Lehmille laskettiin päivittäinen kuiva-aineen syönti, energian saanti ja energiakorjattu maitotuotos. Päivittäinen kuntoluokka määritettiin arvioitujen kuntoluokkien perusteella lasketusta yksilökohtaisesta kolmannen asteen regressioyhtälöstä. Lehmille laskettiin energiatase syödyn energian ja ylläpitoon ja maidontuotantoon käytetyn energia erotuksena. Ylläpitoon ja maidontuotantoon käytetty energia laskettiin Rehutaulukoissa (MTT, 2010) annettujen tarvenormien mukaan.

Lehmäkohtaista päivän sisäistä painon vaihtelua ja siihen vaikuttavien tekijöiden vaikutuksia arvioitiin käyttäen Imer –funktiota R- tilasto-ohjelmistossa (Team R, 2012). Perusmallissa (lehmäkohtainen regressiomalli) jokaisen lehmän havaintoihin sovittiin kiinteä painokäyrä:

$$LW_{ij} = f_{i0} + f_{i1}dim_j + f_{i2}dim_j^2 + f_{i3} \exp(-0.10 * DIM_j) + \varepsilon \quad [1]$$

jossa  $LW_{ij}$  on eläimen  $i$  keskimääräinen paino päivänä  $j$ ,  $DIM_j$  on eläimen lypsykauden vaihe päivinä poikimisesta ja  $dim_j = DIM_j/305$  ja  $f_0-f_3$  ovat eläimen painokäyrän kertoimet (Wilmink, 1987). Sekamalliyhtälössä sovitettiin kaikille havainnoille kiinteä käyrä ja samanaikaisesti kaikille eläimille oma satunnaisregressiokäyrä:

$$LW_{ij} = b_0 + b_1 dim_j + b_{b2} dim_j^2 + b_3 \exp(-0.10 * DIM_j) + a_{i0} + a_{i1} dim_j + a_{i2} dim_j^2 + a_{i3} \exp(-0.10 * DIM_j) + \varepsilon_{ij} \quad [2]$$

Yhtälössä [2]  $b_0-b_3$  ovat kiinteän painokäyrän regressiokertoimet ja  $a_0-a_3$  ovat lehmäkohtaisen satunnaisregressio painokäyrän kertoimet. Lisäksi tarkasteltiin mallia, jossa aamupäivän ja iltapäivän punnitukset käsiteltiin erikseen ja malliin lisättiin satunnainen eläin\*päivä -tekijä. Tällä mallilla saadut tulokset eivät kuitenkaan poikenneet päiväkeskiarvomallilla lasketuista, ja näin ollen vain päiväkohtaiset tulokset esitetään.

Koska osa painoon vaikuttavista ympäristötekijöistä johtuu punnituksista, va'an taarauksesta ja mahdollisista rehumuutoksista, haluttiin malliin tuoda mukaan myös painoja kuvaava ympäristövaikutus. Se rakennettiin siten, että ensin malliin [2] lisättiin kiinteä punnituspäivä ja tämän jälkeen punnituspäiviä tarkasteltiin aikajärjestyksessä., Periodit, joilla painot siirtyivät uudelle tasolle, määritettiin uusiksi punnitusperiodeiksi (jaksotettu satunnaisregressiomalli). Periodien määräksi muodostui 13 erimittaista ajanjaksoa. Tämän jälkeen ajanjaksot lisättiin malliin kiinteinä tekijöinä.

Punnittuja elopainoja ja eri malleihin perustuvia elopainoja käytettiin yksilöllisen elopainonmuutoksen laskuun. Lopuksi punnittuja ja perusmallilla sekä sekamalleilla laskettuja lehmäkohtaisia elopainoja ja painomuutoksia käytettiin energiataseen ja kuntoluokanmuutoksen mallintamiseen.

### Tulokset ja tulosten tarkastelu

Aineiston lehmät tuottivat keskimäärin 30,6 kg energiaa korjattua maitoa päivässä, ensikoilla keskimääräinen EKM-tuotos oli 28,1 ja vanhemmilla 37,6 kg päivässä (Taulukko 1). Lehmät söivät keskimäärin 19,9 kg ka/pv, mikä vastasi 233 ME MJ/pv. Aineistossa keskielopaino oli suurimmalla lehmällä 837 kg ja pienimmällä 449 kg, keskimäärin aineiston lehmät painoivat 609 kg. Ensikoilla ja vanhemmilla lehmillä oli selvä ero elopainossa, ensikoilla keskimääräinen paino oli 593 kg ja vanhemmilla lehmillä 648 kg. Lehmien elopainon kehitys on esitetty Kuvassa 1 siten että, aamulypsyn ja iltalypsyn jälkeen punnittu paino on esitetty omana käyränään. Vaikka lehmillä oli rehua tarjolla ympäri vuorokauden, oli syönti yöllä vähäisempää, joten vähäisemmästä ruuansulatuskanavan täyteisyydestä johtuen oli aamupaino alhaisempi. Ero aamu- ja iltapainon välillä oli keskimäärin 7,7 kg. Mittaukset osoittivat että, lehmän painonmuutosten tarkka seuraaminen edellyttää punnituksia samaan vuorokauden aikaan. Aineiston lehmien painon pudotus lypsykauden alussa oli kohtuullinen ja elopaino kääntyi nousuun keskimäärin jo kuudennella laktatiiviweekolla.

Kuvassa 2 on havainnollistettu 4 eri yksilön aamu- ja iltapunnitukset, ja näihin sovitettut käyrät. Käyristä violetti katkoviiva kuvaa lehmäkohtaista kiinteää painokäyrää [1], musta yhtenäinen sekamalliyhtälön käyrää [2] ja punainen yhtenäinen viiva kuvaa mallia, jossa punnitusperiodien vaikutus on poistettu mallista. Lehmällä 20504 kaikki käyrät kuvaavat lähes samaa standardipainokäyrää. Useimmissa tapauksissa satunnaisregressiomalli-käyrä on näkymättömissä kiinteän yksilöllisen painokäyrän alla. Punnitusperiodien vaikutus on poistettu malleista vähentämällä ko. periodin vaikutus eläimelle ko. päivälle ennustetusta painosta. Lehmällä 20240 lypsykauden alun alhaisimman vaiheen punnitukset ajoittuivat kesän 2010 laidunkauden alkuun, jolloin kaikkien lehmien punnitukset olivat alhaisia. Tällöin punnitusjakson lisääminen malliin nostaa eläimen painokäyrää. Lehmällä 21007 on punnituksia vain kolmelta ensimmäiseltä lypsykuukaudelta, mistä johtuen yksilökohtainen kiinteä käyrä pyrkii ylimallintamaan eläimen painonmuutoksia. Satunnaisregressio-mallin suurin etu verrattuna kiinteään lehmäkohtaiseen malliin, on sen käytettävyyden. Jos painoja on käytössä vain lyhyeltä ajalta, satunnaisregressiokäyrä olettaa eläimellä olevan standardi-painokäyrän, josta oma tulos alkaa poiketa vasta kun informaation määrä lisääntyy. Lehmän 20006 punnituksiin sovitettu painokäyrä osoittaa, että käytetty käyränmuoto pystyy joustavasti seuraamaan myös epätavallista painokäyrää.

Lehmien välinen vaihtelu kuvattuna eläin-kohtaisten intersepti-termien ( $a_0$ ) hajonnalla oli 89,1 kg. Päiväkohtaisten jäännöstermien hajonta oli vain 9,1 kg. Keskimääräinen yksilöpaino ja painonpudotus poikimisen jälkeen olivat voimakkaassa yhteydessä ( $a_{i0}$  ja  $a_{i3}$  välinen korrelaatio oli -0,66).

Tämä on luonnollista, koska mitä painavampi lehmä on, sitä enemmän se voi pudottaa painoaan. Toisaalta myös  $a_{11}$  ja  $a_{13}$  olivat yhteydessä toisiinsa (korrelaatio 0,53) mikä johtunee siitä, että suuren painonpudotuksen jälkeen yksilön on pystyttävä nousemaan samaan tai korkeampaan painoon ennen seuraavaa lypsykautta. Punnitusperiodin ottaminen malliin muutti eläinkohtaisia käyriä merkittävästi. Punnitusperiodien vaikutus on koko karjalle keskimääräinen ja voi johtua esim. vaakaongelmista. Toisaalta osa painomuutoksista johtunee esim. rehujen maittavuudesta, jolloin seurauksena oleva painonmuutos saattaa olla myös todellista laihtumista tai lihomista.

Taulukossa 2. on esitetty elopainon muutoksen ja laskennallisen energiataseen ja kuntoluokanmuutoksen välinen korrelaatio kolmessa eri lypsykauden vaiheessa, kun elopaino on mallinnettu eri tavoilla. Lypsykauden alussa ja lopussa energiataseen ja elopainon muutoksen korrelaatio on selvästi korkeampi kuin lypsykaudella keskivaiheilla. Korrelaatio oli korkein mallilla, jossa yksilöllinen painon muutos oli kuvattu satunnaisregressiomallilla [2], korrelaatio oli yli 0,5 lypsykauden alussa ja lopussa, mutta puolta pienempi lypsykauden keskivaiheessa. Kun yksilöllinen painon muutos laskettiin mallintamattomasta painodatasta, jäivät korrelaatiot laskennalliseen energiataseeseen kaikissa lypsykauden vaiheissa hyvin alhaisiksi. Painodatassa mittaukset sisältävät paljon virhevaihtelua, ja virhevaihtelu aiheuttaa helposti heijastumia. Esimerkiksi kiima voi aiheuttaa näennäisen monen kilon painonpudotuksen, ja syönnin palattua normaaliksi yhtä suuren painonlisäyksen.

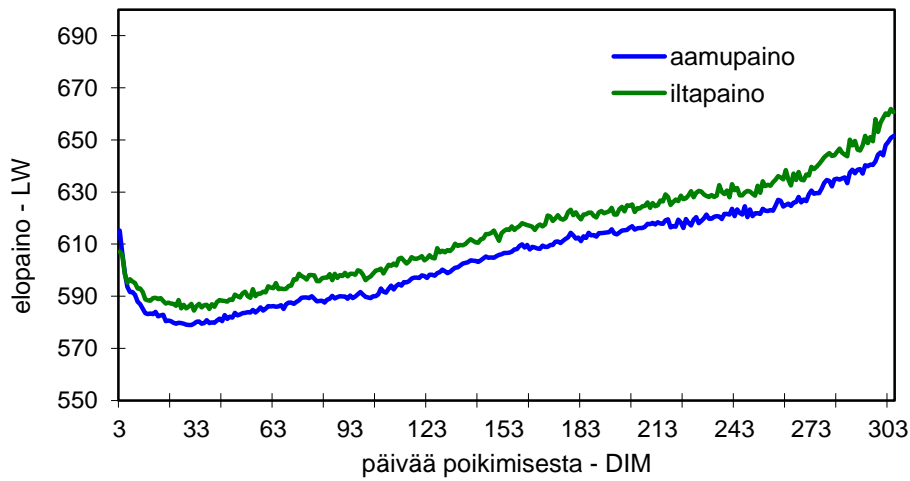
Kuntoluokanmuutoksen ja painonmuutosten väliset korrelaatiot olivat alhaisempia kuin painonmuutosten ja energiataseen korrelaatiot. Kuntoluokanmuutoksen ja yksilöllisen painonmuutoksen välinen korrelaatio oli korkein kun painonmuutos oli kuvattu satunnaisregressiomallilla [2] tai lehmäkohtaisella regressiomallilla [1].

### Johtopäätökset

Päivittäiset elopainot voidaan paremmin hyödyntää käyttäen satunnaisregressio-mallia, jonka avulla poistetaan päivittäinen vaihtelu painonmuutoksista. Näin lasketuilla elopainonmuutoksilla on selvä yhteys laskennalliseen energiataseeseen. Yhteys ei voi koskaan lähestyä yhtä, koska painonmuutoksen koostumus on eri lehmillä erilainen, ja lisäksi koska eri eläimillä on erilainen rehunkäyttökyky, ei laskennallinen energiatase voi koskaan olla sama kuin lehmän yksilöllinen energiatase.

**Taulukko 1.** Aineiston lehmien tuotos-, syönti ja painotietojen keskiarvot (ka), hajonta (SD) sekä minimi- ja maximi-arvot laskettuna lehmäkohtaisista keskiarvoista.

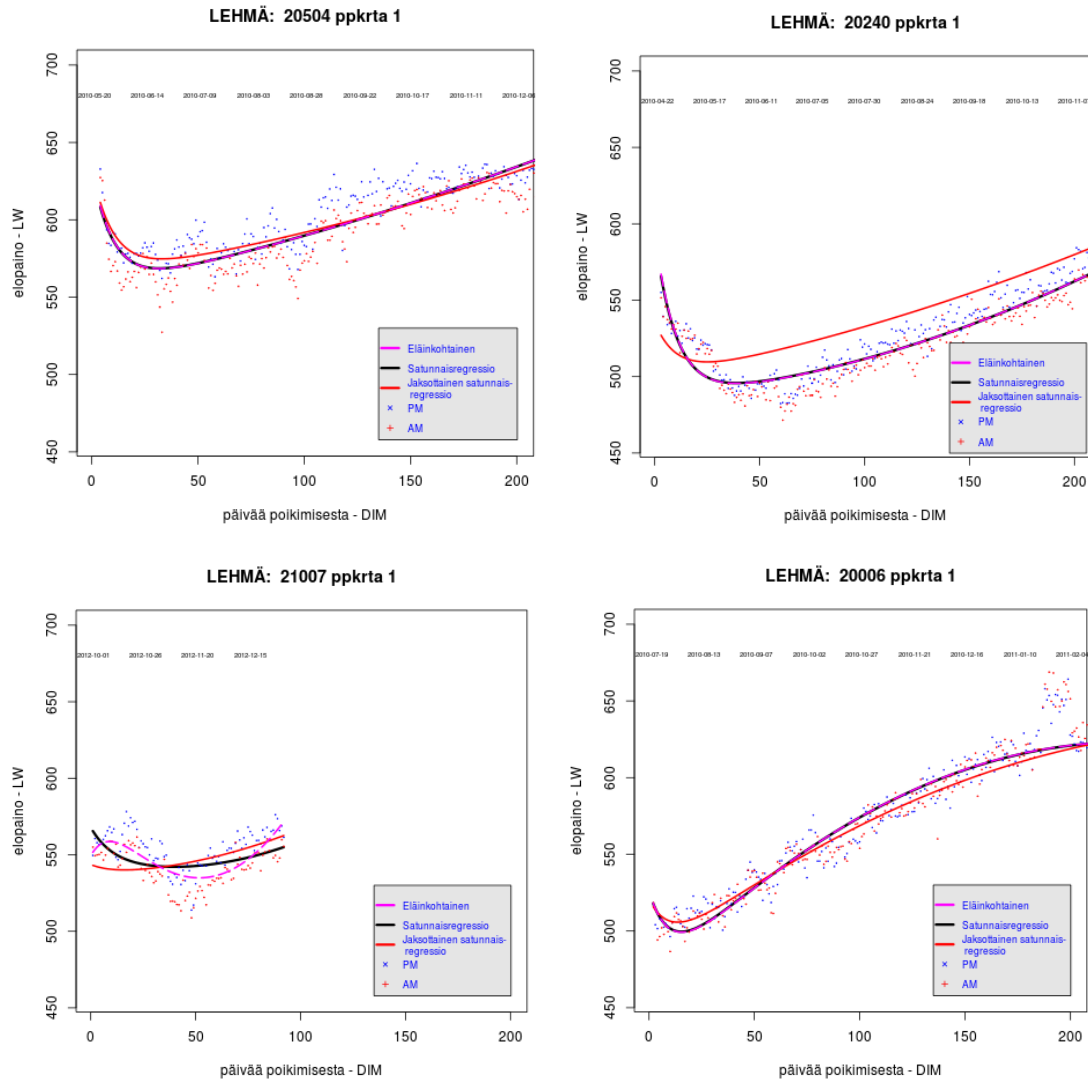
	ka	SD	Min	Max
<b>Ensikot:</b>				
EKM, kg/pv	28,1	3,24	16,2	38,0
Syönti, kg ka/pv	19,0	1,81	13,5	25,4
Energia, ME MJ/pv	220,5	21,5	152,0	297,0
Elopaino, kg	593	55,1	449	744
aamupaino, kg	590	55,0	445	739
iltapaino, kg	597	55,3	453	750
Kuntoluokka	3,05	0,25	2,48	3,81
<b>Useammin poikineet:</b>				
EKM, kg/pv	37,6	6,06	21,9	52,7
Syönti, kg ka/pv	22,4	1,91	18,4	27,5
Energia, ME MJ/pv	268,9	23,20	219,3	328,9
Elopaino, kg	648	69,3	534	838
aamupaino, kg	645	69,0	533	832
iltapaino, kg	651	69,8	535	844
Kuntoluokka	2,82	0,28	2,36	3,60
<b>Kakki:</b>				
EKM, kg/pv	30,6	5,86	16,2	52,7
Syönti, kg ka/pv	19,9	2,36	13,5	27,5
Energia, ME MJ/pv	232,8	30,44	152,0	328,9
Elopaino, kg	607	63,6	449	838
aamupaino, kg	604	63,6	445	832
iltapaino, kg	611	63,7	453	844
Kuntoluokka	2,99	0,28	2,36	3,81



**Kuva 1.** Lehmien keskimääräinen paino aamu- ja iltalyösyn jälkeen punnittuna.

**Taulukko 2.** Mallinnettujen elopainonmuutosten ja energiataseen ja kuntoluokan muutosten väliset korrelaatiot.

	Energiatase	P<	Kuntoluokan- muutos	P<
<b>Elopainon muutos</b>				
<b>laktaatioviikolla 4:</b>				
Punnittu paino	0,11		0,18	*
Lehmäkohtainen regressiomalli	0,45	***	0,36	***
Satunnaisregressiomalli	0,53	***	0,39	***
Jaksotettu satunnaisregressiomalli	0,42	***	0,31	***
<b>Elopainon muutos</b>				
<b>laktaatioviikot 24:</b>				
Punnittu paino	0,01		0,11	
Lehmäkohtainen regressiomalli	0,28	**	0,28	**
Satunnaisregressiomalli	0,28	**	0,28	**
Jaksotettu satunnaisregressiomalli	0,18	*	0,23	**
<b>Elopainon muutos</b>				
<b>laktaatioviikot 38</b>				
Punnittu paino	0,04		0,02	
Lehmäkohtainen regressiomalli	0,51	***	0,23	*
Satunnaisregressiomalli	0,51	***	0,23	*
Jaksotettu satunnaisregressiomalli	0,20	o	0,12	



**Kuva 2.** Neljän esimerkkilehmän lypsykäyrät mallinnettuna kiinteällä painokäyrällä sekä sekamallilla, jossa eläinkohtaiset satunnaisregressiotekijät. Jaksottainen satunnaisregressio –malli sisälsi myös punnitusjakson vaikutuksen.

## Kirjallisuus

- Alawneh, J.I., Stevenson, M.A., Williamson, N.B., Lopez-Villalobos, N. & Otley, T.** 2011. Automatic recording of daily walkover liveweight of dairy cattle at pasture in the first 100 days in milk. *J. Dairy Sci.* 94: 4431-4440.
- Alawneh, J.I., Stevenson, M.A., Williamson, N.B., Lopez-Villalobos, N. & Otley, T.** 2012. The effect of clinical lameness on liveweight in a seasonally calving, pasture-fed dairy herd. *J. Dairy Sci.* 95: 663-669.
- Coffey, M.P., Emmans, G.C. & Brotherstone, S.** 2001. Genetic evaluation of dairy bulls for balance traits using random regression. *Animal Sci.* 73: 29-40.
- Edmonson, A. J., Lean, I.J., Weaver, L.D., Farver, T. & Webster, G..** 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:68-78.
- Friggens, N.C., Ridder, C. & Løvendahl, P.** 2007. On the use of milk composition measures to predict the energy balance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90: 5453-5467.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P.** 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silage harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Sci. and Technol.* 103:97-111.
- MTT,** 2010. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset [verkkojulkaisu]. Jokioinen: MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. [viitattu 1.10.2013]. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/rehutaulukot>.

- Team, R Core**, 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0 <http://www.R-project.org>.
- Thorup, V.M., Edwards, D. & Friggens, N.C.** 2012. On-farm estimation of energy balance in dairy cows using only frequent body weight measurements and body condition score. *J. Dairy Sci.* 95: 1784-1793.
- van Straten, M., Shpigel, N.Y. & Friger, M.** 2009. Associations among patterns in daily body weight, body condition scoring and reproductive performance in high-producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92: 4375-4385.
- Wilmink, J.B.M.** 1987. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livest. Prod. Sci.* 16:335–348.