

**PÄIVITTÄISEN MÄREHTIMISAJAN PERINNÖLLISET TUNNUSLUVUT  
SUOMALAISELLA AYRSHIRELLA**

Heini Mäkelä  
Maisterintutkielma  
Kotieläinten jalostustiede  
Helsingin Yliopisto  
Maataloustieteiden osasto  
Maaliskuu 2021

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Osasto — Sektion — Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author			
Heini Mäkelä			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Päivittäisen märehimisajan perinnölliset tunnusluvut suomalaisella ayrshirella			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Kotieläinten jalostustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
Maisterintutkielma		Maaliskuu 2021	35 s.
Tiivistelmä — Referent - Abstract			
<p>Rehunkäyttökyvyn lisääminen valintaindeksiin ja sen arviointia tiloilla ei pystytä tekemään kuiva-aineen syönnin perusteella, koska kuiva-aineen syönnin mittaamiseen tiloilla ei ole mahdollisuutta. Kuiva-aineen syöntiä voitaisiin kumminkin arvioida märehimisajan perusteella ja märehimisen mittaamiseen onkin jo monella tilalla havainnointilaitteet. Jotta märehimisaikaa voidaan hyödyntää rehunkäyttökyvyn jalostusvalinnassa, on märehimisajan oltava periytyvä ominaisuus. Tämän työn tavoitteena oli arvioida päivittäisen märehimisajan perinnöllisiä tunnuslukuja suomalaisella ayrshirekarjalla kolmella ensimmäisellä maidontuotantokaudella.</p> <p>Faba Osk:lta saatu tutkimusaineisto sisälsi suomalaisten ayrshirelehmien tuotos-, siemennys-, poikima- ja karjatiedot sekä sukupuuaineiston. Lisäksi aineistoon kuuluivat Hea-time- ja SenseHub-laitteilla kerätyt märehimistiedot, jotka saatiin SCR Engineers Ltd:n luvalla käyttöön.</p> <p>Aineiston muokkaus käsiteltävään muotoon ja tutkiminen tapahtui RStudio-ohjelmalla, sukupuuaineisto käsiteltiin RelaX2-ohjelmalla ja varianssikomponentit päivittäiselle märehimisajalle ja maidon päivätuotokselle laskettiin REML-menetelmällä DMU-ohjelmalla. Taulukot ja kuvaajat tehtiin lopulliseen muotoonsa Excel-taulukko-ohjelmalla. Aineistosta tehtiin kaksi erillistä aineistoa: ensikkoaineisto ja 1-3 kertaa poikineiden aineisto. Aineistoa tutkittiin kahden ominaisuuden toistuvuusmalleina, joissa märehimisajan mittaukset kattoivat koko laktaatiokauden.</p> <p>Märehimisajan periytymisasteeksi saatiin ensikoille 0,14 (SE 0,05) ja 1-3 kertaa poikineille 0,19 (SE 0,02). Märehimisajan ja maitotuotoksen välinen geneettinen korrelaatio oli ensikoilla 0,05 (SE 0,21) ja 1-3 kertaa poikineilla 0,31 (SE 0,06). Märehimisaika soveltuu jalostusvalinnassa käytettäväksi periytymisasteen perusteella. Lisätutkimuksia märehimisajan ja kuiva-aineen syönnin geneettisestä korrelaatiosta tulisi tehdä, jotta voidaan arvioida märehimisajan käytettävyyttä kuiva-aineen syönnin indikaattorina.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
märehimisaika, maitotuotos, perinnölliset tunnusluvut, varianssikomponentit, ayrshire			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Maataloustieteiden osasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			
Työtä ohjasi yliopistonlehtori Jarmo Juga.			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Osasto — Sektion — Department	
Faculty of Agriculture and Forestry		Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author			
Heini Mäkelä			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Genetic parameters of daily rumination time in Finnish Ayrshire			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Animal Breeding			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
Master's thesis		March 2021	35 p.
Tiivistelmä – Referent - Abstract			
<p>Including feed efficiency in a selection index and its estimation on farms cannot be done by dry matter intake, because it's not possible to measure dry matter intake on farms. It could be possible to evaluate dry matter intake by using rumination time as an indicator trait. Many farms already have devices to observe rumination. To be a useful candidate trait in selective breeding, rumination time needs to be heritable. The aim of this study was to evaluate genetic parameters of daily rumination time in first three lactations in Finnish Ayrshire.</p> <p>The data was received from FABA co-op and it contained production-, insemination-, calving- and herd data as well as pedigree data of Finnish Ayrshire cows. In addition, rumination data collected by Heatime and SenseHub equipments, were included in the study with the permission of SCR Engineers Ltd.</p> <p>The data was edited into the form to be processed and examined with RStudio, pedigree data was processed with RelaX2 and variance components for daily rumination time and daily milk production were computed by REML method with DMU. Tables and graphs were made in their final form with Excel spreadsheet software. Two separate materials were made from the data: the data of first-time calved cows and the data of 1 to 3 times calved cows. The data was studied as two-trait repeatability model in which observations of rumination time were from all lactation stages.</p> <p>The heritability of rumination time was 0,14 (SE 0,05) for primiparous cows and 0,19 (SE 0,02) for cows having 1 to 3 lactations. The genetic correlation between rumination time and milk production was 0,05 (SE 0,21) for primiparous cows and 0,31 (SE 0,06) for cows having 1 to 3 lactations. Daily rumination time is a heritable trait and hence it can be used as a direct or indicator trait in selective breeding. Further studies of the genetic correlations between rumination time and dry matter intake should be done to evaluate the usability of rumination time as an indicator of dry matter intake.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
rumination time, milk production, genetic parameters, variance components, Ayrshire			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Department of Agricultural Sciences			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			
Supervisor: University Lecturer Jarmo Juga			

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	MÄREHTIMINEN .....	5
2.1	Märehtimisaikaan vaikuttavat tekijät .....	6
2.2	Märehtimisajan mittaustavat .....	7
3	MÄREHTIMISAJAN JA MAIDONTUOTANNON PERINNÖLLISET TUNNUSLUVUT ....	9
3.1	Märehtimisajan fenotyypiset ja perinnölliset tunnusluvut .....	9
3.2	Maidontuotannon fenotyypiset ja perinnölliset tunnusluvut.....	11
3.3	Märehtimisajan ja maidontuotannon geneettinen ja fenotyypinen yhteys ..	11
4	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET .....	12
5	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	13
5.1	Aineisto.....	13
5.2	Menetelmät .....	16
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU .....	19
6.1	Märehtimisajan ja maidon päivätuotoksen tilastolliset tunnusluvut.....	19
6.2	Kiinteiden tekijöiden vaikutus märehtimisaikaan ja maidon päivätuotokseen 23	
6.3	Märehtimisajan ja maidon päivätuotoksen perinnölliset tunnusluvut ja niiden välinen geneettinen ja fenotyypinen yhteys .....	25
6.4	Tulosten hyödyntäminen .....	29
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	30
8	KIITOKSET .....	31
	LÄHTEET .....	32

## 1 JOHDANTO

Ruokinta, hoito sekä jalostus vaikuttavat kaikki rehunkäyttökykyyn (Byskov ym. 2017). Rehunkäyttökyvyn sisällyttäminen valintaindeksiin on kuitenkin hankalaa, koska tiloilla ei ole mahdollisuutta havainnoida lehmien kuiva-aineen syöntimääriä (Byskov ym. 2017). Monilla tiloilla on jo lehmien märehimisajan mittaukseen havainnointilaitteet, joita voidaan hyödyntää kuiva-aineen syönnin arvioinnissa ja täten jalostusvalinnassa (Byskov ym. 2017). Märehimisajan lisääminen jalostusvalintaan vaatii kumminkin sen, että märehimisaika on kohtalaisesti tai korkeasti periytyvä ominaisuus (Byskov ym. 2017, Moretti ym. 2018).

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia päivittäisen märehimisajan perinnöllisiä tunnuslukuja suomalaisilla ayrshirekarjoilla kolmen ensimmäisen maidontuotantokauden aikana. Märehimisajan periytyvyyttä ei ole aikaisemmin tutkittu suomalaisilla karjoilla, mutta tanskalaisilla, espanjalaisilla ja italialaisilla holsteinkarjoilla sitä on tutkittu (Moretti ym. 2016, Byskov ym. 2017, Moretti ym. 2018, López-Paredes ym. 2020). NAV:in NTM:ssä eli Pohjoismaisessa kokonaisjalostusarvossa on mukana rehunsäästö-indeksi, joka sisältää ylläpito- ja rehunkäyttökyvyn ominaisuuksien jalostusarvot, mutta niiden laskennassa ei ole käytetty hyväksi märehimisaikaa (NAV 2021). Lisäksi tutkimuksessa oli mukana maidon päivätuotos, jolla korjattiin kuiva-aineen syöntimäärän vaikutusta, jotta märehimisajan periytymisen ennustettavuus paranisi.

## 2 MÄREHTIMINEN

Märehtiessä lehmä jauhaa syljen avulla pötsi-verkkomahasta uudelleen suuhun nousevan rehupalan hienoksi massaksi edistääkseen rehun sulavuutta ja nielee sen jälkeen rehupalan uudelleen (Welch 1982, Beauchemin 1991). Lehmä märehtii useimmiten maassaan, mutta märehmistä tapahtuu myös muiden toimintojen kanssa yhtä aikaa esimerkiksi lehmän seisoessa, liikkuessa, ulostaessa ja imettäessä (Beauchemin 1991).

Märehtiminen eroaa syömisestä yli 3 sekuntia kestävien taukojen ja niiden välillä olevien pureskelujen lukumäärien perusteella (Matsui ja Okubo 1991). Märehtiessä lehmä pitää 4-5 sekunnin taukoja yksi tai kaksi kertaa minuutissa, jonka aikana lehmä nielaisee pureskellun märepalan ja uusi märepala nousee suuhun pureskeltavaksi (Matsui ja Okubo 1991). Märehtiessä lehmä pureskelee hieman vähemmän kuin syödessä (Luginbuhl ym. 1987, Matsui ja Okubo 1991). Syödessä laitumella lehmä pureskelee noin 80 kertaa minuutissa, kun taas väkirehujen aikaan pureskeluja tulee noin 120 kertaa minuutissa (Matsui ja Okubo 1991). Pureskelu on kuitenkin sekä märehtiessä että syödessä samantyyppistä (Matsui ja Okubo 1991). Laiduntaessa/syödessä kahden yksittäisen peräkkäisen pureskelun väli vaihtelee 0,40 ja 1,20 sekunnin välillä (Matsui ja Okubo 1991). Märehtimisessä väli on säännöllisempää (Luginbuhl ym. 1987, Matsui ja Okubo 1991). Tällöin pureskelujen väli on 0,60-0,80 sekuntia (Matsui ja Okubo 1991).

## **2.1 Märehtimisaikaan vaikuttavat tekijät**

Ruokinta ja rehustus vaikuttavat osaltaan märehtimisaikaan. Esimerkiksi rehun korkeampi NDF-pitoisuus ja tärkkelyksen määrä lisäävät märehtimisaikaa, kun taas korkeampi sokeripitoisuus vähentää märehtimistä (Byskov ym. 2015).

Stressitason nousu vaikuttaa eläimen märehtimisaikaan. Herskinin ym. (2004) tutkimuksessa tutkittiin lehmien märehtimisajan muutosta eri stressitilanteissa. Tutkimuksessa eläimen stressiä lisättiin erilaisilla toimenpiteillä kuten sillä, että eläin sidottiin kiinni, siirrettiin uuteen ympäristöön ilman lajitovereita tai eläin sai viereen ennestään sille tuntemattomia yksilöitä. Stressitason lisääntyessä märehtiminen laski tilastollisesti merkittävästi verraten siihen, että eläin oli tutussa ympäristössä ilman häiriötekijöitä. Verestä mitatulla korkealla kortisolipitoisuudella on myös tilastollisesti merkittävä yhteys lyhyempään märehtimisaikaan (Bristow ja Holmes 2007).

Märehtiminen vähenee lehmän ollessa kiimassa ja märehtimisajan lasku on täten hyvä indikaattori löytämään kiimaiset lehmät. Pahlin ym. (2015) tutkimuksessa havaittiin märehtimisen olevan tilastollisesti merkittävästi vähäisempää siemennyspäivänä ja päivää

ennen siemennystä. Poikimisen aikana märehtiminen laskee jopa 70 % verrattuna aikaan ennen poikimista ja palautuu vakaaksi 15 päivän kuluttua poikimisesta (Calamari ym. 2014).

Myös erilaiset sairaudet vähentävät märehtimistä. Esimerkiksi Hansenin ym. (2003) tutkimuksessa havaittiin märehtimisen vähentyvän silloin kun lehmällä oli piilevä hypokalsemia. Hypokalsemialla tarkoitetaan kalsiumpitoisuuden vähenemistä veressä, mikä usein ilmenee poikimahalvauksena (Little ja Wright 1925). Calamarin ym. (2014) tutkimuksessa puolestaan havaittiin, että niillä eläimillä, joilla märehtimistaso oli 3-6 päivän kuluttua poikimisesta selvästi alhaisempi kuin muilla eläimillä, oli vakavan tulehduksen riski suurentunut. Lisäksi 90 %:lla näistä eläimistä oli suurentunut riski kliinisiin sairauksiin pian poikimisen jälkeen. Puolestaan niillä eläimillä, jotka märehtivät enemmän 3-6 päivän kuluttua poikimisesta, vain 42 %:lla oli suurentunut riski sairastua.

## **2.2 Märehtimisajan mittaustavat**

Märehtimisaktiivisuutta sekä syöntiaikaa voidaan havainnoida tarkastelemalla lehmän pureskeluaktiivisuutta silmämääräisesti erotellen syönnistä ja märehtimisestä johtuvat liikkeet (Krause ym. 1998, Couderc ym. 2006). Myös videonauhojen avulla voidaan analysoida märehtimis- ja syöntiaikoja (Lindström ym. 2001).

Märehtimistä voidaan mitata myös riimuun alaleuan kohdalle kiinnitettävällä laitteella, joka tunnistaa lehmän pureskelun (Luginbuhl ym. 1987, Matsui ja Okubo 1991). Riimussa oleva putki venyy lehmän pureskellessa ja täten katkaisee virtapiirin kahden kontaktipisteen väliltä tai muuttaa sähkövastusta, jolloin laite tunnistaa pureskelun ja tallentaa ajan käytökselle (Luginbuhl ym. 1987, Matsui ja Okubo 1991). Jokainen lehmä liikuttaa leukoja eri määrän pureskellessaan ja täten riimun sopivuus virtapiirin katkaisemiseksi täytyy kalibroida jokaiselle eläimelle erikseen, ettei laite anna virheellisiä tietoja (Luginbuhl ym. 1987). Täten putken pitäisi olla kevyesti lehmän alaleukaa vasten ilman, että se aiheuttaa painetta, kun lehmä lepää (Luginbuhl ym. 1987). Jos putki on liian tiukalla, niin silloin virtapiiri katkeaa helposti, vaikka lehmä ei pureskelisi mitään ja jos taas se on

liian löysällä, niin silloin leuan liikkeet eivät ole riittävät katkaisemaan virtapiiriä (Luginbuhl ym. 1987). Riimuun alaleuan kohtaan kiinnitettävällä laitteella saatu aineisto voidaan siirtää pysyvää säilytystä ja myöhempää analysointia varten erilliselle muistille (Luginbuhl ym. 1987, Matsui ja Okubo 1991). Analysoitaessa ohjelma erottaa märehтимisen syömisestä pureskelunopeuden ja -rytmin perusteella (Luginbuhl ym. 1987, Matsui ja Okubo 1991). Märehтимisen tunnistava laite voidaan kiinnittää myös riimussa olevaan turpahihnahan, jolloin paineen muutokset riimussa olevassa laitteessa tallentuvat märehтимis- ja syöntikäyttäytymisinä (Braun ym. 2013).

Märehтимistä voidaan havainnoida myös laitteella, joka on kaulaan kiinnitettävässä pannassa (Schirmann ym. 2009). Pannassa on leuan alla paino, joka pitää pannan paikoillaan siten, että märehтимistä havainnoiva laite on noin 20 cm korvan takana ja 5-10 cm niskasta alaspäin vasemmalla puolella lehmän kaulaa. Laitteessa oleva mikrofoni tunnistaa äänen, kun lehmän suuhun nousee märepala pureskeltavaksi ja kun se märehitii. Laite laskee tämän perusteella eri märepalojen märehtimiseen käytetyn ajan edellisen märepalan nousemisesta suuhun seuraavan märepalan nousemiseen sekä pureskelunopeuden. Laitteeseen tallentunut aineisto siirtyy talteen esimerkiksi juoma-altaan luona tai lypsyasemalla olevan lukijan välityksellä. Myös käsikäyttöisellä laitteella voidaan siirtää aineistoa talteen. Jos laitteen muisti täyttyy, eikä aineistoa siirretä talteen, niin silloin uusi aineisto tallentuu vanhan päälle ja vanha aineisto tuhoutuu.

Kaulaan voidaan kiinnittää toisenlainenkin laite, joka tunnistaa märehтимisen ja aktiivisuuden eläimen pään liikkeiden nopeuden ja kulman 3-akselisen kiihtyvyyssmittarin avulla (Stangaferro ym. 2016). Samanlaisella toimintaperiaatteella toimiva laite voidaan kiinnittää myös eläimen korvaan korvamerkinä (Macmillan ym. 2020). Laitteet käyttävät mielivaltaisia numeroita havainnoimaan märehtimistä ja aktiivisuutta minuutteina kahden tunnin ajanjaksoissa. Havainnot laitteista siirtyvät antennien välityksellä 20 minuutin välein järjestelmään, joka tuottaa luettavan aineiston.

Riimussa turvan päällä olevalla painetta tunnistavalla laitteella on saatu yhtäpitäviä märehtimishavaintoja kuin ihmissilmällä tarkkailtaessa (Braun ym. 2013). Myös pannassa olevalla mikrofonilla varustetulla laitteella on saatu hyviä tuloksia, kun verrataan



ihmissilmään (Schirmann ym. 2009). Lisäksi sekä videoiden avulla, että pelkästään ihmisilmällä havainnoitaessa on saatu yhtäpitäviä tuloksia märehimisestä kuin korvaan kiinnitettävän kiihtyvyyssmittarin avulla (Bikker ym. 2014, Reiter ym. 2018). Pannassa oleva kiihtyvyyssmittari on antanut myös yhtäpitäviä märehimishavaintoja ihmissilmän kanssa (Grinter ym. 2019).

Heatime ja SenseHub ovat seurantajärjestelmiä, jotka havainnoivat mm. lehmien terveyttä, märehimistä ja kiimoja (Allflex 2020a, Allflex 2020b). SenseHub on kehittyneempi versio Heatimesta (Allflex 2019). Niiden kanssa voidaan käyttää edellä kuvattuja kiihtyvyyssmittarin avulla toimivia kaula-antureita ja korvamerkkejä. Tässä tutkimuksessa on käytetty märehimisajan havainnointiin Heatimen ja SenseHubin seurantajärjestelmiä.

### **3 MÄREHTIMISAJAN JA MAIDONTUOTANNON PERINNÖLLISET TUNNUSLUVUT**

#### **3.1 Märehimisajan fenotyyppiset ja perinnölliset tunnusluvut**

Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa laskettiin märehimisajan perinnöllisiä tunnuslukuja ensimmäistä kertaa poikineilla holsteinlehmillä laktaation eri vaiheissa, missä aineistona oli tutkimuskarja sekä 72 tavanomaista tilaa. Märehimistä havainnoitiin mikrofoniin varustetuilla pannoilla ja tutkimuskarjalla märeheminen oli keskimäärin 413 minuuttia päivässä ja tavanomaisilla tiloilla keskimäärin 448 minuuttia päivässä. Märehimisajan keskihajonnat molemmilla tutkimusryhmillä olivat keskimäärin 114 minuuttia. López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa puolestaan 8 espanjalaisella holsteinkarjalla tutkittiin märehimistä, jotka käsittivät 775 lehmää, oli keskimääräinen märehimisaika 473 minuuttia päivässä (keskihajonta 80 minuuttia). Morettin ym. (2016) tutkimuksessa oli mukana kaksi karjaa, joista oli saatavilla 398 italialaisen holsteinlehmän havainnot. Havainnoista lähes puolet olivat ensimmäistä kertaa poikineilta ja loput kaksi ja kolme kertaa poikineilta. Keskimääräiseksi märehimisajaksi saatiin 514 minuuttia (keskihajonta 116

minuuttia). Tutkimuksessa havaittiin, että märehminen oli vähäisempää ensikertaa poikineilla verrattuna toisen tai kolmannen kerran poikineisiin ja märehminen laski vähitellen laktaation edetessä. Ensikertaa poikineet märehtivät keskimäärin 75 minuuttia vähemmän päivää kohden heti poikimisen jälkeen kuin useamman kerran poikineet. Moretti ym. (2018) tutkivat märehmisajan periytymisasteita sekä märehmisajan ja tuotanto-ominaisuuksien geneettistä yhteyttä neljällä italialaisella holsteinkarjalla, joista oli saatavilla 710 lehmän havainnot tutkittuna mikrofoniin sisältämällä pannoilla, joissa oli myös kiihtyvyyssmittarit havainnoimaan lehmän kaulan liikkeitä. Kun laktaatioajankohdat olivat jaoteltu kolmeen ajanjaksoon, niin keskimääräinen märehmisaika vaihteli 487 ja 513 minuutin välillä päivää kohden siten, että laktaation alussa ja keskivaiheilla märehminen oli tilastollisesti merkitsevästi suurempaa kuin laktaation loppussa. Keskihajonta märehmisajalla vaihteli 101 ja 110 minuutin välillä.

Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa laktaatioaika oli jaoteltu neljään eri osaan. He saivat tavanomaisten tilojen märehmisajan periytymisasteeksi 0,28-0,32, mikä oli samaa luokkaa tutkimuskarjalla saatuihin tuloksiin (0,14-0,44). Kesquivirheet olivat suuremmat tutkimuskarjalla tehdyssä tutkimuksessa ollen 0,16 ja 0,34 välillä, kun puolestaan tavanomaisten tilojen kohdalla kesquivirheet olivat pieniä (0,03-0,04). Morettin ym. (2016) tutkimuksessa märehmisajan periytymisasteeksi saatiin 0,32 (kesquivirhe 0,09), joka oli samansuuruinen Morettin ym. (2018) tutkimuksessa saadun keskimääräisen periytymisasteen 0,34 (keskihajonta 0,05) kanssa. Morettin ym. (2018) tutkimuksessa periytymisaste pysyi samansuuruisena riippumatta laktaatioajankohdasta. López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa märehmisajan periytymisasteeksi saatiin puolestaan 0,17 (kesquivirhe 0,06).

Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa märehmisajan toistuvuus tutkimuskarjalla oli 0,75 ja 0,94 välillä ja tavanomaisilla tiloilla 0,80 ja 0,93 välillä. López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa märehmisajan toistuvuus oli pienempi ollen 0,45 (kesquivirhe 0,03). Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa laskettiin myös tavanomaisten tilojen lehmien märehmisajoille geneettisiä korrelaatioita eri laktaatioajanjaksojen välille. Korrelaatiot olivat korkeita (0,92-0,97) ja kesquivirheet pieniä (0,01-0,03).

### 3.2 Maidontuotannon fenotyyppiset ja perinnölliset tunnusluvut

Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa automaattilypsyjärjestelmällä mitattu energiakorjatun maidon määrä keskimäärin päivässä sekä tavanomaisilla tiloilla että tutkimuskarjalla oli noin 30 kg. Keskihajonta oli tutkimuskarjalla keskimäärin 6,0 kg ja tavanomaisilla karjoilla 6,5 kg. López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa 14 karjan 1501 lehmästä havainnoitiin maitotuotoksia automaattisella lypsyjärjestelmällä ja keskimääräiseksi maidontuotannoksi saatiin 38,0 kg päivässä (keskihajonta 10 kg). Morettin ym. (2016) tutkimuksessa koelypsypäivän maitotuotos oli keskimäärin 33,6 kg (keskihajonta 9,2 kg) ja maidontuotannon havaittiin olevan suurempaa useamman kerran poikineilla verrattuna ensikoihin ja paras tuotosaika oli 30-90 päivää poikimisen jälkeen. Myös Morettin ym. (2018) tutkimuksessa havaittiin maidontuotannon olevan laktaation keskivaiheilla tilastollisesti merkitsevästi hieman korkeampaa kuin alussa. Laktaation lopussa maidontuotanto puolestaan laski merkitsevästi. Keskimääräinen maitotuotos tutkimuksessa eri laktaatioajankohdilla vaihteli 30,8 ja 38,5 kg:n välillä (keskihajonta 6,9-10,2 kg).

Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa energiakorjatun maidon periytymisaste vaihteli tutkimuskarjalla tehdyssä tutkimuksessa 0,49 ja 0,70 välillä (keskivirhe 0,07-0,08) ja tavanomaisilla karjoilla periytymisasteeksi saatiin puolestaan 0,08-0,35 (keskivirhe 0,02-0,08). Morettin ym. (2016) tutkimuksessa puolestaan maidontuotannon periytymisasteeksi saatiin 0,13 (keskivirhe 0,06) ja Morettin ym. (2018) tutkimuksessa periytymisaste oli keskimäärin 0,35 ollen 0,14 laktaation alussa, 0,39 laktaation keskivaiheilla ja 0,53 laktaation lopussa. Lisäksi Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa energiakorjatun maidon toistuvuus oli 0,68-0,89 välillä tutkimuskarjalla ja 0,20-0,81 välillä tavanomaisilla tiloilla.

### 3.3 Märehtimisajan ja maidontuotannon geneettinen ja fenotyyppinen yhteys

Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa tavanomaisilla karjoilla geneettiset korrelaatiot märehtimisajan ja energiakorjatun maidon välillä olivat keskimäärin lähellä nollaa (0,08). Loppulaktaation aikaan oli korkeampi negatiivinen yhteys märehtimisajan ja energiakorjatun maidon välillä (-0,27). Märehtimisajan ja energiakorjatun maidon väliset

geneettiset korrelaatiot eivät kuitenkaan poikenneet tilastollisesti merkitsevästi nolasta johtuen suurista keskivirheistä (0,06-0,18). Myös fenotyypiset korrelaatiot olivat lähellä nolaa sekä tutkimuskarjalla ollen keskimäärin -0,003 että tavanomaisilla tiloilla ollen keskimäärin 0,03. López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa geneettinen korrelaatio maidontuotannon ja märehäytymisen välillä oli korkeampi (0,41), mutta keskivirhe oli myös korkea 0,75 johtuen pienestä havaintomäärästä, minkä perusteella tämän tutkimuksen tulokset eivät myöskään olleet kovin luotettavia. Morettin ym. (2016) tutkimuksessa geneettinen korrelaatio märehäytymisajan ja maidontuotannon välillä oli 0,38. Keskivirhe (0,47) geneettiselle korrelaatiolle oli myös suuri, johtuen mahdollisesti pienestä havaintoaineistosta. Morettin ym. (2016) tutkimuksessa kahden karjan välillä huomattiin, että keskimäärin korkeatuottoisempi karja märehäytti vähemmän kuin pienempi tuottoinen karja toisin kuin López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa, jossa korkeatuottoisten lehmien odotettiin märehäytävän enemmän ja tämän arveltiin johtuvan korkeatuottoisten eläinten suuremmasta syönnistä, jonka seurauksena ruoansulatus voimistuu ja täten märehäytymisen lisääntyy. Morettin ym. (2018) tutkimuksessa geneettinen korrelaatio näiden kahden ominaisuuden välillä oli keskimäärin 0,07. Laktaation alussa ominaisuuksien välillä ei ollut yhteyttä geneettisen korrelaation ollessa -0,04. Laktaation keskivaiheilla (korrelaatio 0,13) ja lopussa (korrelaatio 0,12) yhteyttä ominaisuuksien välillä oli jonkin verran. Fenotyypinen korrelaatio mukaili samaa kaavaa geneettisen korrelaation kanssa, mutta ollen negatiivinen. Alkulaktaation aikaan fenotyypinen korrelaatio oli lähellä nolaa (-0,01), mutta muuttuen pienemmäksi keskilaktaation (-0,09) ja loppulaktaation (-0,14) aikaan. Calamarin ym. (2014) tutkimuksessa puolestaan saatiin tilastollisesti merkitsevä osittainen yhteys (korrelaatio 0,33) maitomäärän ja sitä edeltävien kolmen päivän aikana mitatun keskimääräisen märehäytymisajan välille.

#### **4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET**

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää päivittäisen märehäytymisajan sekä päiväkohtaisen maitotuotoksen perinnöllisiä tunnuslukuja suomalaisella ayrshirella kahden ominaisuuden toistuvuusmallilla sekä verrata tuloksia aikaisemmissa tutkimuksissa saatuihin

tuloksiin. Tutkimusaineistosta tehtiin kaksi erillistä aineistoa: ensimmäisen kerran poikineiden aineisto eli ensikkoaineisto ja 1-3 kertaa poikineiden aineisto.

## 5 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 5.1 Aineisto

Aineisto saatiin Faba Osk:lta ja se sisälsi suomalaisilta tiloilta kerättyä dataa lehmistä ja niiden poikima-, siemennys- ja tuotostiedoista sekä karjoista. Lisäksi aineistoon kuului SCR Engineers Ltd:n luvalla saadut Allflexin Heatime- ja SenseHub-laitteilla havainnoidut märehkimistiedot. Edeltävän 24 tunnin märehkimisajat oli raportoitu aineistossa kahden tunnin välein eli vuorokaudessa 12 kertaa. Osalla eläimistä keskimääräiset märehkimisajat oli raportoitu tunnin välein. Märehkimisajan yhteyttä maitotuotokseen tutkittiin valitsemalla märehkimisajaksi vain klo 22.00 aikaan mitattu havainto, koska kyseisen ajan (vuorokauden viimeinen) oletettiin kuvaavan parhaiten samana päivänä tehdyn mittalypsyt yhteyttä märehkimisaikaan. Aineistot yhdistettiin siten, että märehkimishavainnon- ja mittalypsyt päivämäärät olivat samat. Aineistoon jätettiin vain ayrshirerodun yksilöt. Lisäksi puuttuvia tietoja sisältäviä havaintoja poistettiin. Aineistosta poistettiin myös eläimet, joilla maitotuotokset ja märehkimisajat poikkesivat keskimääräisistä alle ja yli neljä kertaa keskihajonnan verran. Sitten aineistosta tehtiin kaksi erillistä aineistoa: ensimmäisen kerran poikineet eli ensikot ja yhdestä kolmeen kertaan poikineet.

Ensikkoaineiston ja 1-3 kertaa poikineiden aineiston jaon jälkeen molemmista aineistoista rajattiin pois sellaiset karjat, joissa oli keskimäärin alle viisi havaintoa HTD (herdtest day) eli karjan ja havaintopäivämäärän yhdysvaikutus -luokkaa kohti. Tästä huolimatta aineistoon jäi alle viiden havainnon HTD-luokkia (Taulukot 1 ja 2). Esimerkiksi ummessaoloaikojen ja sairaslehmien vuoksi karjassa voi olla yksittäisiä alle viiden havainnon HTD-luokkia, vaikka keskimääräinen HTD-luokkien koko on yli viisi. Karjaluokkia jäi ensikkoaineistoon 31 kappaletta ja 1-3 kertaa poikineiden aineistoon 65 kappaletta. Muita luokkamuuttujia, joita aineistoihin sisällytettiin, olivat tyhjäkausi, POIKÄ eli

poikimakerran ja poikimaiän (kuukausina) yhdysvaikutus (ensikkoaineistossa poikimaikä kk), DIM (days in milk) eli päiviä poikimisesta sekä karjavuosikausi, jossa kausi jaettiin kolmeen kauteen (tammi-huhtikuu, touko-elokuu ja syys-joulukuu). DIM- ja tyhjäkausi-muuttujien luokat jaettiin 10 päivän välein. Tyhjäkausimuuttuja sisälsi myös oman luokan havainnoille, joille ei ollut tyhjääkautta laskettuna johtuen siitä, että lehmää ei ollut vielä siemennetty poikimisen jälkeen.

Taulukko 1. Luokkamuuttujien havaintomäärät kerran poikineiden aineistossa.

	Luokkia muuttujassa	Min havainnot/luokka	Max havainnot/luokka
HTD	509	1	38
Poikimaikä kk	20	6	1 558
DIM	37	10	239
Karja	31	36	528
Karjavuosikausi	161	2	152
Tyhjäkausi	29	12	563

HTD = karjan ja havaintopäivämäärän yhdysvaikutus -luokka

DIM = päiviä poikimisesta -luokka

Taulukko 2. Luokkamuuttujien havaintomäärät 1-3 kertaa poikineiden aineistossa.

	Luokkia muuttujassa	Min havainnot/luokka	Max havainnot/luokka
HTD	1 061	1	76
POIKÄ	86	1	1 920
DIM	37	40	854
Karja	65	14	975
Karjavuosikausi	332	1	300
Tyhjäkausi	29	15	1 811

HTD = karjan ja havaintopäivämäärän yhdysvaikutus -luokka

POIKÄ = poikimakerran ja -iän yhdysvaikutus -luokka

DIM = päiviä poikimisesta -luokka

Ensikkoaineiston märehimis- ja mittalypsytiedot olivat ajalta 15.1.2017-17.2.2020 ja lehmät olivat syntyneet ajalla 13.2.2014-14.2.2018. 1-3 kertaa poikineiden aineiston märehimis- ja mittalypsytiedot olivat ajalta 30.12.2016-17.2.2020 ja aineiston lehmät olivat syntyneet ajalla 30.8.2010-18.2.2018. Havaintoja ensikkoaineistoon jäi 5 321 kappaletta ja 1-3 kertaa poikineiden aineistoon 18 668 kappaletta (Taulukko 3). 1-3 kertaa poikineiden aineistossa havaintoja ensimmäisen kerran poikineista oli 6 827 kappaletta, toisen kerran poikineista 6 599 kappaletta ja kolmannen kerran poikineista 5 242 kappaletta.

Taulukko 3. Aineistoa kuvaavia lukuja.

	Kerran poikineiden aineisto	1-3 kertaa poikineiden aineisto
Havaintojen määrä	5 321	18 668
Lehmien määrä	1 064	2 838
Karjojen määrä	31	65
Lehmiä/karja keskimäärin	34	44
Lehmiä vähintään/karja	11	6
Lehmiä enintään/karja	99	186
Heatimella mitattuja havaintoja	2 430	9 448
SenseHubilla mitattuja havaintoja	2 891	9 220
Havaintoja perinteisellä lypsyjärjestelmällä	3 062	10 580
Havaintoja robottilypsyllä	2 259	8 088

Havaintoaineiston lisäksi saatavilla oli sukupuuaineisto, joka rajattiin käsittämään vuonna 2000 syntyneet eläimet ja sitä nuoremmat, jotta RelaX2-ohjelma pystyi käsittelemään aineiston. Sukupuuaineistoon jäi 7 107 143 eri eläintä syntymävuoden mukaan tehdyn rajauksen jälkeen. Sukupuuaineistoon jätettiin tiedot eläimen id:stä, isän id:stä, emän id:stä ja syntymävuosi (group). Kun sukupuu- ja havaintoaineisto oli ajettu RelaX2-ohjelmalla, niin ensikkoaineiston sukupuuaineistoon jäi 6 294 eläimen tiedot, kun yksilöt, jotka eivät liittyneet havaintoaineiston eläimiin, oli poistettu. 1-3 kertaa poikineiden

sukupuuaineistoon jäi 12 219 eläimen tiedot. Kaikkien aineistojen kohdalla eläimet uudelleen numeroitiin ja kummastakaan havaintoaineistosta ei poistunut havaintoja.

## 5.2 Menetelmät

Aineistoja muokattiin ja tutkittiin RStudio-ohjelmalla (versio 1.2.1335 © 2009-2019 RStudio, Inc), joka vaatii toimiakseen R-ohjelman (versio 3.6.1 © 2019 The R Foundation for Statistical Computing). Lisäksi sukulaisuusaineiston muokkaamiseen käytettiin ReIaX2-ohjelmaa (versio 1.90 päivitetty 8/2019, Strandén 2014). Varianssikomponentit laskettiin ja analysoitiin restricted maximum likelihood REML-menetelmää käyttäen DMU-ohjelmalla (versio 6 julkaisu 5.2, Madsen ja Jensen 2013). Tulosten taulukot ja kuvaajat tehtiin Microsoft Excel-tilukko-ohjelmalla (Microsoft® Excel® for Office 365 MSO (16.0.11929.20836) 64-bittinen).

Tutkimuksessa tutkittiin päivittäisen märehimisajan ja päivittäisen maitotuotoksen perinnöllisiä tunnuslukuja kahden ominaisuuden toistuvuusmalleina. Kerran poikineiden aineistossa märehimisajan kuvaamiseen käytettiin mallia

$$y_{ijklmnop} = HS_i + POIKÄ_j + DIM_k + TYH_l + KAR_m + HTD_n + pe_o + a_o + e_{ijklmnop} \quad (1)$$

ja maitotuotoksen kuvaamiseen mallia

$$z_{ijklmnop} = LYP_i + POIKÄ_j + DIM_k + TYH_l + KAR_m + HTD_n + pe_o + a_o + e_{ijklmnop} \quad (2)$$

joissa

$y_{ijklmnop}$  = märehimisaika min

$z_{ijklmnop}$  = maidontuotannon päivätuotos kg



$HS_i$  = märehimisajan mittaukseen käytettävä laite (Heatime/SenseHub) ( $i = 1$  tai  $2$ )

$LYP_i$  = lypsyjärjestelmä ( $i = 1$  tai  $2$ )

$POIKÄ_j$  = poikimaikä kk ( $j = 1 - 20$ )

$DIM_k$  = poikimisesta kulunut aika päivissä havaintopäivään ( $k = 1 - 37$ )

$TYH_l$  = tyhjäkauden pituus päivissä ( $l = 1 - 29$ )

$KAR_m$  = karjan, havaintovuoden ja -kauden yhdysvaikutus ( $m = 1 - 161$ )

$HTD_n$  = karjan ja havaintopäivän yhdysvaikutus ( $N(0, I\sigma_h^2)$ )

$pe_o$  = eläimen pysyvä ympäristövaikutus ( $N(0, I\sigma_{pe}^2)$ )

$a_o$  = eläimen additiivinen geneettinen vaikutus eli jalostusarvo ( $N(0, A\sigma_a^2)$ )

$e_{ijklmnop}$  = jäännöstekijä eli residuaali ( $N(0, I\sigma_e^2)$ ).

1-3 kertaa poikineiden aineistossa märehimisajan kuvaamiseen käytettiin mallia

$$y_{ijklmnopq} = POI_i + HS_j + POIKÄ_k + DIM_l + TYH_m + KAR_n + HTD_o + pe_p + a_p + e_{ijklmnopq} \quad (3)$$

ja maitotuotoksen kuvaamiseen mallia

$$z_{ijklmnopq} = POI_i + LYP_j + POIKÄ_k + DIM_l + TYH_m + KAR_n + HTD_o + pe_p + a_p + e_{ijklmnopq} \quad (4)$$

joissa

$y_{ijklmnopq}$  = märehimisaika min

$z_{ijklmnopq}$  = maidontuotannon päivätuotos kg

$POI_i$  = poikimakerta ( $i = 1, 2$  tai  $3$ )

$HS_j$  = märehimisajan mittaukseen käytettävä laite (Heatime/SenseHub) ( $j = 1$  tai  $2$ )

$LYP_j$  = lypsyjärjestelmä (perinteinen/robotti) ( $j = 1$  tai  $2$ )

$POIKÄ_k$  = poikimakerran ja poikimaiän yhdysvaikutus ( $k = 1 - 86$ )

$DIM_l$  = poikimisesta kulunut aika päivissä havaintopäivään ( $l = 1 - 37$ )

$TYH_m$  = tyhjäkauden pituus päivissä ( $m = 1 - 29$ )

$KAR_n$  = karjan, havaintovuoden ja -kauden yhdysvaikutus ( $n = 1 - 332$ )

$HTD_o$  = karjan ja havaintopäivän yhdysvaikutus ( $N(0, I\sigma_h^2)$ )

$pe_p$  = eläimen pysyvä ympäristövaikutus ( $N(0, I\sigma_{pe}^2)$ )

$a_p$  = eläimen additiivinen geneettinen vaikutus eli jalostusarvo ( $N(0, A\sigma_a^2)$ )

$e_{ijklmnopq}$  = jäännöstekijä eli residuaali ( $N(0, I\sigma_e^2)$ ).

Kiinteinä tekijöinä malleissa olivat POI, HS, LYP, POIKÄ, DIM, TYH ja KAR. Satunnaistekijöinä olivat HTD,  $pe$ ,  $a$  ja  $e$ . HTD oli satunnaistekijänä, koska siinä oli paljon luokkia ja osassa luokista vain vähän (< 5) havaintoja. Satunnaistekijöiden oletettiin olevan normaalijakautuneita ja niiden keskiarvojen nollia. Satunnaistekijöiden välisten kovarianssien  $\sigma_h(R, M)$ ,  $\sigma_a(R, M)$ ,  $\sigma_{pe}(R, M)$  ja  $\sigma_e(R, M)$  oletettiin myös olevan nollia.  $R$  kuvaa märehetymisajan ominaisuutta ja  $M$  maidontuotannon päivätuotoksen ominaisuutta.  $I$  on identiteettimatriisi ja  $A$  on additiivinen geneettinen sukulaisuusmatriisi.  $\sigma_h^2$  on HTD:n varianssi,  $\sigma_{pe}^2$  on pysyvän ympäristövaikutuksen varianssi,  $\sigma_a^2$  on additiivinen geneettinen varianssi ja  $\sigma_e^2$  on jäännöstekijän varianssi eli residuaalivarianssi. Pysyvän ympäristövaikutuksen oletettiin pysyvän samana poikimakerrasta riippumatta.

Periytymisaste  $h^2$  laskettiin kaavalla

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_h^2 + \sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2}, \quad (5)$$

toistuvuus  $s$  eli toistuvien havaintojen välinen korrelaatio laskettiin kaavalla

$$s = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2}{\sigma_h^2 + \sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2} \quad (6)$$

ja fenotyypin korrelaatio  $r_p$  laskettiin kaavalla

$$r_p = \frac{\sigma_h(R, M) + \sigma_a(R, M) + \sigma_{pe}(R, M) + \sigma_e(R, M)}{\sqrt{(\sigma_h^2(R) + \sigma_a^2(R) + \sigma_{pe}^2(R) + \sigma_e^2(R)) * (\sigma_h^2(M) + \sigma_a^2(M) + \sigma_{pe}^2(M) + \sigma_e^2(M))}} \quad (7)$$

Approksimoidut keskivirheet periytymisasteille laskettiin Edwardsin (2017) ohjeen mukaan. Approksimoidun keskivirheiden laskennassa ei otettu huomioon HTD:n varianssin ja muiden varianssien välille laskettuja korrelaatioita.

## 6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

### 6.1 Märehtimisajan ja maidon päivätuotoksen tilastolliset tunnusluvut

Märehtimisajat (Taulukko 4) olivat tässä tutkimuksessa keskimäärin korkeammat, kun verrataan muissa tutkimuksissa saatuihin tuloksiin. Ensikkoaineistossa keskimääräiseksi märehtimisajaksi saatiin 535 minuuttia vuorokaudessa (keskihajonta 76 min) ja 1-3 kertaa poikineiden aineistossa 542 minuuttia vuorokaudessa (keskihajonta 77 min). Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa keskimääräinen märehtimisaika oli vain 413 minuuttia päivässä tutkimuskarjalla ja 448 minuuttia päivässä tavanomaisilla karjoilla (keskihajonta molemmissa 114 min). López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa saatiin hieman korkeampi keskimääräinen märehtimisaika 473 minuuttia (keskihajonta 80 min). Morettin ym. (2016) tutkimuksessa keskimääräinen märehtimisaika oli 514 minuuttia (keskihajonta 116 min), mikä oli samaa luokkaa Morettin ym. (2018) tutkimuksessa saatuun 487-513 minuuttiin vuorokaudessa riippuen laktaatioajankohdasta (keskihajonta 101-110 min). Tämän tutkimuksen ensikkoaineistossa märehtimisaika Heatime-laitteella mitattuna oli keskimäärin 545 minuuttia vuorokaudessa ja SenseHub-laitteella mitattuna 526 minuuttia vuorokaudessa. 1-3 kertaa poikineiden aineistossa märehtimisajaksi saatiin keskimäärin Heatime-laitteella mitattuna 544 minuuttia vuorokaudessa ja SenseHub-

laitteella mitattuna 541 minuuttia vuorokaudessa. Heatimella oli siis saatu korkeampia märehimisajoja erityisesti ensikoiden osalta.

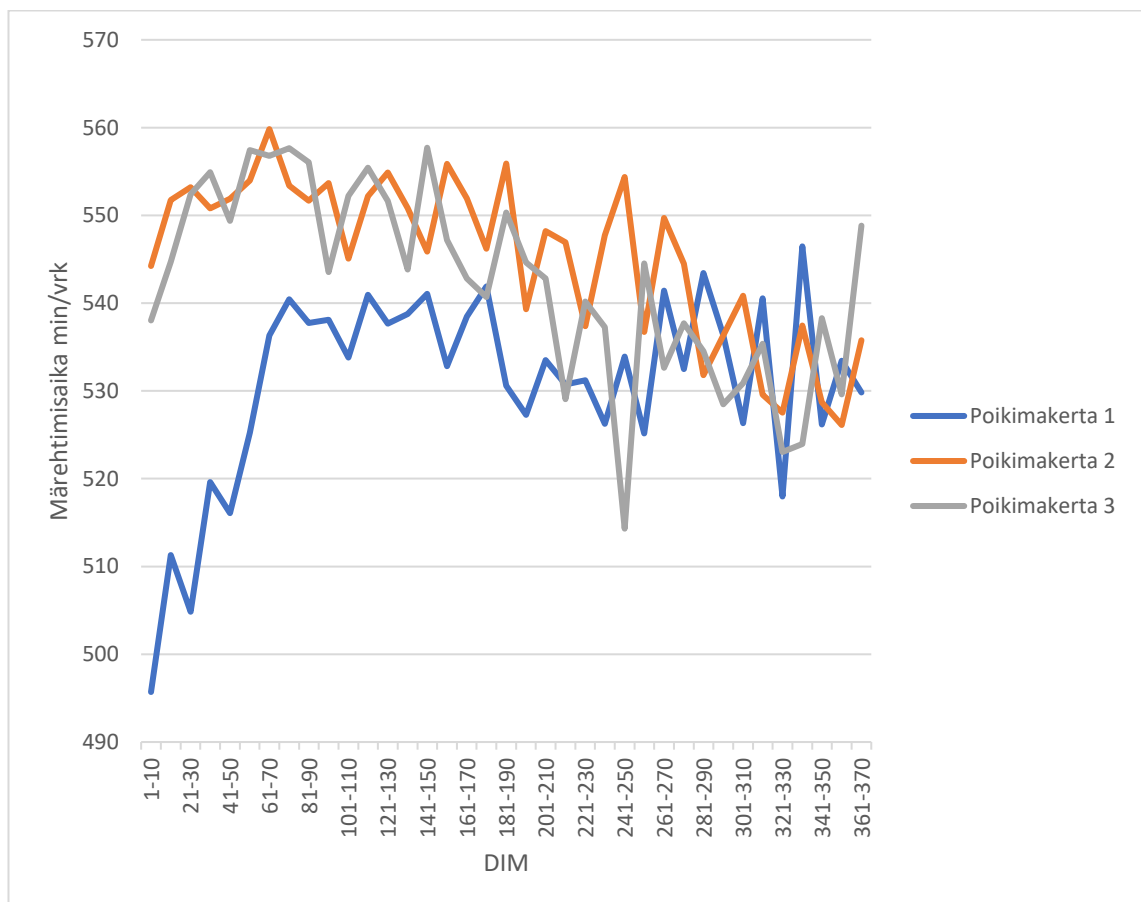
Taulukko 4. Märehimisajan ja maidon päivätuotoksen tilastolliset tunnusluvut.

	Kerran poikineiden aineisto		1-3 kertaa poikineiden aineisto	
	Märehimis aika min	Maitotuotos kg	Märehimis aika min	Maitotuotos kg
Min	190	6,0	176	3,4
Max	822	49,7	844	65,4
Keskiarvo	535	26,7	542	31,4
Keskihajonta	76	5,8	77	8,5

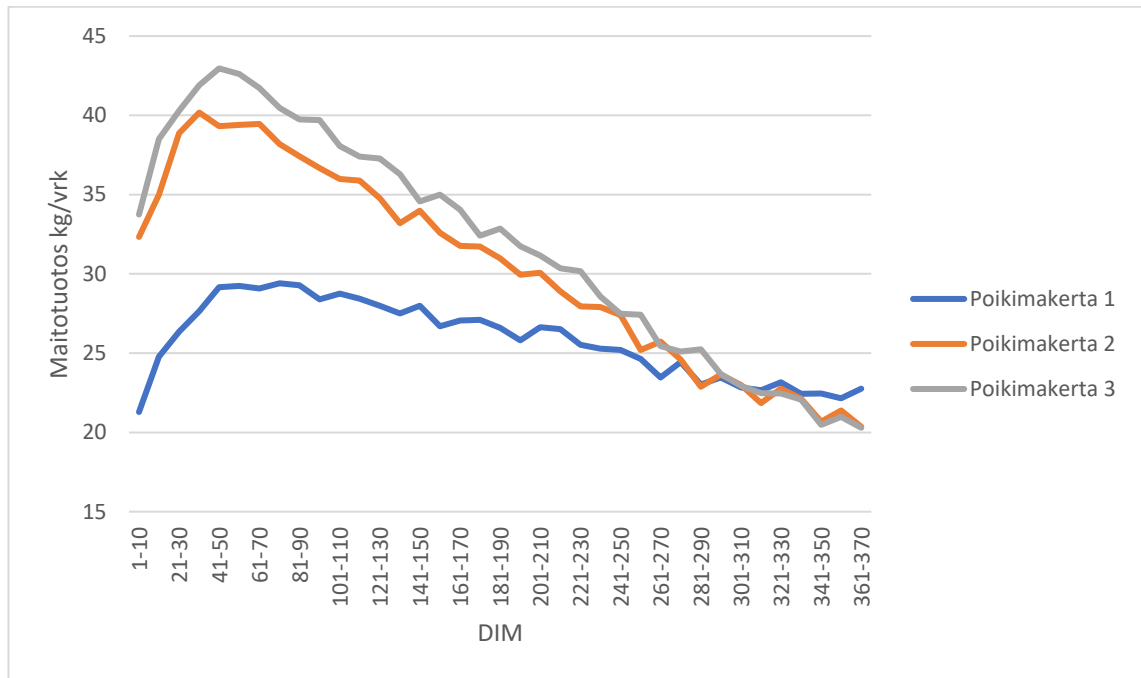
Kerran poikineiden aineistossa maidon päivätuotos oli keskimäärin 26,7 kg (keskihajonta 5,8 kg) ja 1-3 kertaa poikineiden aineistossa 31,4 kg (keskihajonta 8,5 kg). Byskovin ym. (2017) tutkimuksen perusteella ensikot tuottivat energiakorjattua maitoa keskimäärin noin 30 kg päivässä (keskihajonta 6,0-6,5 kg) sekä tutkimuskarjalla että tavanomaisilla tiloilla eli hieman enemmän mitä tässä tutkimuksessa. Morettin ym. (2016) tutkimuksen perusteella keskimääräinen maitotuotos 1-3 kertaa poikineilla oli 33,6 kg päivässä (keskihajonta 9,2 kg). Morettin ym. (2018) tutkimuksessa tuotantomäärät vaihtelivat 30,8 ja 38,5 kg:n välillä riippuen laktaatioajankohdasta (keskihajonnat 6,9-10,2 kg). López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa keskimääräinen tuotantomäärä oli selvästi korkeampi: 38,0 kg (keskihajonta 10 kg). Korkeammat maitotuotantomäärät aikaisemmissa tutkimuksissa mahdollisesti johtuvat rotueroista: aikaisemmissa tutkimuksissa oli käytetty vain holsteinkarjoja ja tässä tutkimuksessa käytettiin vain ayrshirerodun lehmiä. Lisäksi Morettin ym. (2016) ja Morettin ym. (2018) tutkimuksissa käytettiin vain muutamaa karjaa, minkä takia havainnot eivät välttämättä ole kovin luotettavia.

Ensimmäistä kertaa poikineilla märeheminen oli keskimäärin selvästi vähäisempää (alle 500 min/vrk) heti poikimisen jälkeen kuin toisen tai kolmannen kerran poikineilla (noin 540 min/vrk; Kuva 1). Myös Morettin ym. (2016) tutkimuksessa havaittiin märehimisen olevan vähäisempää ensi kertaa poikineilla. Ne märehivät keskimäärin 75 minuuttia

vähemmän heti poikimisen jälkeen, mikä on suurempi ero, kun verrataan tässä tutkimuksessa saatuihin tuloksiin. Ensimmäistä kertaa poikineilla kestää kauemmin palautua normaaliin märehymiseen kuin jo vähintään kaksi kertaa poikineilla. Ensimmäistä kertaa poikineilla märehyminen saavuttaa normaalitason sen jälkeen, kun maidontuotannossa laktaation huipputuotos on saavutettu (Kuva 2). Useamman kerran poikineilla märehyminen lisääntyy heti poikimisen jälkeen hieman, mutta maidontuotannon huipputuotoksen jälkeen märehyminen vähenee vähitellen. Ensikoiden märehyminen jää vähäisemmäksi alkulaktaation- ja huipputuotoksen aikaan kuin useamman kerran poikineilla, mutta märehyminen tasoittuu kaikilla samaan tasoon loppulaktaatiokaudesta. Myös Morettin ym. (2016) tutkimuksessa havaittiin useamman kerran poikineilla olevan pitempi märehymisaika kuin ensikoilla sekä se, että märehyminen vähenee laktaation edetessä.



Kuva 1. Keskimääräinen 24 h märehymisaika laktaation aikana ensimmäisen, toisen ja kolmannen poikimakerran välillä.



Kuva 2. Keskimääräinen päivittäinen maitotuotos laktaation aikana ensimmäisen, toisen ja kolmannen poikimakerran välillä.

Päivittäisen maidontuotannon huippu on noin 50 vuorokauden kuluttua poikimisesta. Sitä ennen maidontuotanto nousee jyrkästi, jonka jälkeen tuotos laskee vähitellen. Ensikot eivät pääse samaan huipputuotostasoon kuin useamman kerran poikineet yksilöt, mutta laktaatiokauden lopussa tuotostaso on samaa tasoa eri poikimakertojen välillä. Ensikoiden madontuotannon lasku huipputuotoksen jälkeen ei ole täten niin voimakasta kuin useamman kerran poikineilla. Myös Morettin ym. (2016) tutkimuksessa maidontuotannon havaittiin olevan suurimmillaan 30-90 päivän kuluttua poikimisesta ja useamman kerran poikineilla tuotos oli suurempaa kuin ensikoilla. Morettin ym. (2018) tutkimuksessa havaittiin keskivaiheen tuotoksen eli 61-150 päivän tuotoksen kohdalla tuotannon olevan tilastollisesti merkitsevästi suurinta. Lisäksi alle 60 päivän tuotannon kohdalla tuotos oli hieman pienempää kuin keskivaiheen tuotos, mutta yli 150 päivän tuotannon kohdalla taas vielä vähäisempää.

## 6.2 Kiinteiden tekijöiden vaikutus märehimis aikaan ja maidon päivä tuotukseen

Molempien aineistojen osalta Karjavuosikausi, POIKÄ (ensikkoaineistossa Poikimaikä kk), DIM ja Tyhjäkausi vaikuttivat merkitsevästi sekä märehimis aikaan että maitotuotukseen (Taulukot 5, 6, 7 ja 8). Lisäksi poikimakerralla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus 1-3 kertaa poikineiden aineistossa molempiin ominaisuuksiin ja märehimisajan mittaamiseen käytetyllä laiteella (Heatime/SenseHub) oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus märehimis aikaan molemmissa aineistoissa. Lypsyjärjestelmällä (perinteinen/robotti) oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus maitotuotukseen ensimmäisen kerran poikineiden aineistossa, mutta 1-3 kertaa poikineiden aineistossa vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Taulukko 5. Kiinteiden tekijöiden vaikutus märehimis aikaan kerran poikineilla lehmillä.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Heatime/SenseHub	1	450 993	450 993	100,544	< 2E-16	***
Karjavuosikausi	159	5 700 187	35 850	7,992	< 2E-16	***
Poikimaikä kk	19	366 614	19 295	4,302	1,15E-09	***
DIM	36	705 523	19 598	4,369	< 2E-16	***
Tyhjäkausi	28	501 084	17 896	3,99	8,46E-12	***
Residuaali	5 077	22 772 960	4 486			

\*\*\* P < 0,001, \*\* P < 0,01, \* P < 0,05, NS ei merkitsevä

DIM = päiviä poikimisesta -luokka

Taulukko 6. Kiinteiden tekijöiden vaikutus märehitimisaikaan 1-3 kertaa poikineilla lehmillä.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Heatime/SenseHub	1	41 551	41 551	8,581	0,0034	**
Karjavuosikausi	330	18 834 612	57 075	11,787	< 2E-16	***
Poikimakerta	2	896 474	448 237	92,566	< 2E-16	***
POIKÄ	83	1 054 458	12 704	2,624	6,37E-14	***
DIM	36	658 580	18 294	3,778	1,79E-13	***
Tyhjäkausi	28	335 665	11 988	2,476	2,38E-05	***
Residuaali	18 187	88 068 097	4 842			

\*\*\* P < 0,001, \*\* P < 0,01, \* P < 0,05, NS ei merkitsevä

POIKÄ = poikimakerran ja -iän yhdysvaikutus -luokka

DIM = päiviä poikimisesta -luokka

Taulukko 7. Kiinteiden tekijöiden vaikutus maitotuotokseen kerran poikineilla lehmillä.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Lypsyjärjestelmä	1	1 043	1 042,7	49,755	1,98E-12	***
Karjavuosikausi	160	42 462	265,4	12,664	< 2E-16	***
Poikimaikä kk	19	2 616	137,7	6,570	< 2E-16	***
DIM	36	20 533	570,4	27,217	< 2E-16	***
Tyhjäkausi	28	4 772	170,4	8,133	< 2E-16	***
Residuaali	5 076	106 372	21,0			

\*\*\* P < 0,001, \*\* P < 0,01, \* P < 0,05, NS ei merkitsevä

DIM = päiviä poikimisesta -luokka



Taulukko 8. Kiinteiden tekijöiden vaikutus maitotuotokseen 1-3 kertaa poikineilla lehmillä.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Lypsyjärjestelmä	1	11	11	0,340	0.56	NS
Karjavuosikausi	331	234 482	708	21,223	<2E-16	***
Poikimakerta	2	213 784	106 892	3 202,367	<2E-16	***
POIKÄ	83	17 141	207	6,187	<2E-16	***
DIM	36	266 838	7 412	222,061	<2E-16	***
Tyhjäkausi	28	14 331	512	15,333	<2E-16	***
Residuaali	18 186	607 030	33			

\*\*\* P < 0,001, \*\* P < 0,01, \* P < 0,05, NS ei merkitsevä

POIKÄ = poikimakerran ja -iän yhdysvaikutus -luokka

DIM = päiviä poikimisesta -luokka

### 6.3 Märehtimisajan ja maidon päivätuotoksen perinnölliset tunnusluvut ja niiden välinen geneettinen ja fenotyyppinen yhteys

Tutkimuksessa ensikkoaineiston märehtimisajan periytymisasteeksi saatiin 0,14. 1-3 kertaa poikineiden aineiston periytymisaste märehtimiselle oli hieman korkeampi ollen 0,19 (Taulukko 9). Molempien aineistojen kohdalla märehtimisajan periytymisasteet poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi nolasta (approksimoidut keskivirheet 0,05 ensikkoaineistossa ja 0,02 1-3 kertaa poikineiden aineistossa). Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa tavanomaisten tilojen periytymisaste oli korkeampi vaihdellen 0,28-0,32 välillä riippuen laktaatioajankohdasta (keskivirheet 0,03-0,04). Tutkimuskarjalla saadut periytymisasteet vaihtelivat enemmän ollen 0,14-,044 välillä ja ne eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi nolasta (keskivirheet 0,16-0,34) johtuen mahdollisesti liian vähäisestä havaintomäärästä. Myös Morettin ym. (2016) tutkimuksessa saatiin korkeampi periytymisaste 0,32 (keskivirhe 0,09) märehtimisajalle kuten myös Morettin ym. (2018) tutkimuksessa, jossa periytymisasteeksi saatiin 0,34 (keskihajonta 0,05). Laktaatioajankohdalla ei ollut vaikutusta periytymisasteeseen Morettin ym. (2018) tutkimuksen mukaan. López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa saatu märehtimisajan periytymisaste

oli samansuuntainen tässä tutkimuksessa saatujen tulosten kanssa; periytymisasteeksi saatiin 0,17 (keskivirhe 0,06).

Taulukko 9. Märehtimisajan ja maidon päivätuotoksen varianssikomponentit.

	Kerran poikineiden aineisto		1-3 kertaa poikineiden aineisto	
	Märehtimisaika	Maidon päivä- tuotos	Märehtimisaika	Maidon päivä- tuotos
$\sigma^2_{\text{HTD}}$	416,64	1,16	503,64	1,08
$\sigma^2_a$	678,86	8,03	1 005,41	15,83
$\sigma^2_{pe}$	1 116,87	8,99	830,24	3,45
$\sigma^2_e$	2 637,07	7,34	2 839,72	16,60
$h^2$	0,14	0,31	0,19	0,43
SE	0,05	0,08	0,02	0,03
s	0,37	0,67	0,35	0,52

$\sigma^2_{\text{HTD}}$  = HTD:n varianssi

$\sigma^2_a$  = additiivinen geneettinen varianssi

$\sigma^2_{pe}$  = pysyvän ympäristövaikutuksen varianssi

$\sigma^2_e$  = residuaalivarianssi

$h^2$  = periytymisaste

SE = periytymisasteen approksimoitu keskivirhe

s = toistuvuus

Ensikkoaineiston maidon päivätuotoksen periytymisasteeksi saatiin 0,31 ja 1-3 kertaa poikineiden periytymisasteeksi 0,43. Tulokset poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi nolasta (approksimoitujen keskivirheiden ensikkoaineistossa 0,08 ja 1-3 kertaa poikineiden aineistossa 0,03). Morettin ym. (2018) tutkimuksessa saatiin samansuuntaiset tulokset periytymisasteen ollen keskimäärin 0,35. Morettin ym. (2016) tutkimuksessa saatiin pienempi keskimääräinen periytymisaste 0,13 (keskivirhe 0,06). Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa energiakorjatun maidon periytymisasteet tutkimuskarjalla alkulaktaation, korkeantuotoksen vaiheen ja keskilaktaation välillä vaihtelivat 0,49 ja 0,53 välillä. Lopulaktaation aikaan periytymisaste oli suurempi: 0,70. Keskivirheet olivat pieniä ollen

jokaisen laktaatioajankohdan aikana 0,08. Tavanomaisten karjojen kohdalla periytymisasteet olivat alkulaktaation ja huipputuotoksen aikaan pienemmät. Alkulaktaation aikana periytymisaste oli vain 0,08 ja huipputuotoksen aikaan 0,14. Keskilaktaation aikaan periytymisaste oli samaa luokkaa tämän tutkimuksen kanssa: 0,35. Loppulaktaation aikana periytymisaste oli enää vain 0,23. Keskivirheet olivat pieniä eri laktaatioajankohtien aikaan vaihdellen 0,03 ja 0,08 välillä.

Tässä tutkimuksessa märehimisajan toistuvuus oli kohtalaisen matala sekä ensikkoaineistossa, ollen 0,37, että 1-3 kertaa poikineiden aineistossa, ollen 0,35. López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa toistuvuus oli samansuuntainen ollen 0,45 (keskivirhe 0,03), mutta Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa toistuvuudet olivat suuremmat. He saivat tutkimuskarjan märehimisajan toistuvuuksiksi 0,75-0,94 riippuen laktaatioajankohdasta. Vastaavasti tavanomaisten tilojen toistuvuudet olivat 0,80 ja 0,93 välillä. Byskovin ym. (2017) tutkimuksen suuret toistuvuudet ovat melko varmasti seurausta siitä, että tutkimuksessa laktaatioaika oli jaettu neljään ajanjaksoon, kun taas tässä tutkimuksessa ja López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa toistuvuus oli laskettu koko laktaatioajalle. Laktaation ääripäissä mitattujen havaintojen korrelaatiot ovat pienemmät kuin lähellä toisiaan mitattujen havaintojen korrelaatiot, joten koko laktaatioaikaa tarkastellessa toistuvuus jää pienemmäksi.

Ensikkoaineiston maidon päivätuotoksen toistuvuudeksi saatiin 0,67 ja 1-3 kertaa poikineilla toistuvuus oli 0,52. Byskovin ym. (2017) tutkimuksen tutkimuskarjalla toistuvuus oli keskimäärin korkeampi: 0,75. Tavanomaisilla karjoilla toistuvuus oli samaa luokkaa tämän tutkimuksen kanssa ollen keskimäärin 0,62, mutta toistuvuus vaihteli paljon laktaatioajankohdasta riippuen 0,20 ja 0,81 välillä.

Kerran poikineiden aineiston märehimisajan ja maidon päivätuotoksen välinen geneettinen korrelaatio oli lähellä nollaa (0,05), mutta keskivirhe oli suuri (0,21), jolloin korrelaatio ei poikennut tilastollisesti merkitsevästi nolasta (Taulukko 10). 1-3 kertaa poikineiden aineistossa geneettinen korrelaatiota oli lievästi positiivinen (0,31) ja tulos poikesi tilastollisesti merkitsevästi nolasta (keskivirhe 0,06). Aikaisemmissa tutkimuksissa oli saatu vaihtelevia tuloksia korrelaatioista, ja ne eivät useinkaan olleet kovin

luotettavia johtuen suurista keskivirheistä. Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa keskimääräiseksi korrelaatioksi saatiin 0,08 ja se vaihteli laktaatioajankohdasta riippuen -0,27 ja 0,10 välillä. Suurin negatiivinen korrelaatio saatiin myöhäisimmällä laktaatioajankohdalla. Keskivirheet olivat suuria vaihdellen 0,12 ja 0,18 välillä laktaatioajankohdasta riippuen ja keskimääräinen keskivirhe geneettiselle korrelaatiolle oli 0,06. Morettin ym. (2018) tutkimuksessa keskimääräinen korrelaatio oli samaa luokkaa Byskovin ym. (2017) tutkimuksen ja tämän tutkimuksen ensikkoaineiston kanssa ollen 0,07. Morettin ym. (2018) tutkimuksessa alkulaktaation aikaan yhteyttä ominaisuuksien välillä ei ollut (-0,04), mutta laktaation keskivaiheilla ja lopussa oli puolestaan pieni positiivinen yhteys ominaisuuksien välillä (0,13 ja 0,12). López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa saatiin korkeampi positiivinen korrelaatio (0,41) ominaisuuksien välille kuten myös Morettin ym. (2016) tutkimuksessa (0,38). Keskivirheet olivat kuitenkin molemmissa tutkimuksissa suuret ollen Morettin ym. (2016) tutkimuksessa 0,47 ja López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksessa jopa 0,75. Molempien tutkimusten kohdalla syy suureen keskivirheeseen epäiltiin olevan pienessä havaintoaineistossa. Calamarin ym. (2014) tutkimuksessa saatiin pieni tilastollisesti merkitsevä yhteys märehimisajan ja maitotuotoksen välille korrelaation ollessa 0,33.

Taulukko 10. Märehimisajan ja maidon päivätuotoksen väliset korrelaatiot.

	Kerran poikineiden aineisto	1-3 kertaa poikineiden aineisto
$r_g$	0,05	0,31
$SE_g$	0,21	0,06
$r_p$	0,16	0,17

$r_g$  = märehimisajan ja maidon päivätuotoksen välinen geneettinen korrelaatio

$SE_g$  = geneettisen korrelaation keskivirhe

$r_p$  = märehimisajan ja maidon päivätuotoksen välinen fenotyypin korrelaatio

Fenotyypin korrelaatio oli pieni ja samaa luokkaa sekä kerran poikineiden aineistossa (0,16) että 1-3 kertaa poikineiden aineistossa (0,17). Tässä ja muissa tutkimuksissa saatiin vaihtelevia tuloksia fenotyypistä korrelaatiosta. Byskovin ym. (2017) tutkimuksessa fenotyypistä korrelaatiota ei keskimäärin ollut tutkimuskarjalla tehdyssä

tutkimuksessa (-0,003) eikä tavanomaisilla tiloilla tehdyssä tutkimuksessa (0,03). Morettin ym. (2018) tutkimuksessa fenotyyppinen korrelaatio oli negatiivinen ja suureni laktation edetessä. Fenotyyppistä korrelaatiota ei ollut alkulaktation aikaan (-0,01), mutta keskilaktation (-0,09) ja loppulaktation (-0,14) aikaan oli pieni fenotyyppinen korrelaatio. Morettin ym. (2016) ja López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksissa oli ristiriitaisia havaintoja märehimisajan ja maidontuotannon välillä. López-Paredesin ym. (2020) tutkimuksen perusteella korkeatuottoisilla lehmillä odotettiin olevan myös korkeampi märehmisaika kuin matalampi tuottoisilla johtuen korkeatuottoisten suuremmasta rehunkäytöstä, kun taas Morettin ym. (2016) tutkimuksen perusteella havaittiin korkeatuottoisen karjan märehivän vähemmän. Morettin ym. (2016) tutkimuksen kohdalla täytyy kuitenkin huomioida, että tutkimuksessa oli mukana vain kaksi karjaa.

#### **6.4 Tulosten hyödyntäminen**

Märehmisen tarkkailu on hyvä tapa seurata lehmän vointia ja puuttua ongelmakohtiin ajoissa sekä ennakoida tapahtumia (mm. poikiminen), kun huomataan märehmisessä muutoksia. Märehmisen seurannassa on hyvä huomioida asiat mitkä vaikuttavat märehmisajan muutoksiin. Märehmisen perusteella voidaan arvioida hyvin lehmän kuntoa ja terveyttä. Lisäksi mm. sairaudet, stressi ja ruokinta vaikuttavat märehmisaikaan, joita ei ole kumminkaan huomioitu suoraan tässä tutkimuksessa. Karja sekä vuodenaika ja vuosi vaikuttavat märehmiseen esimerkiksi juuri sen mukaan millainen on ruokinta, kuten onko sisäruokintakausi menossa vai pääseekö lehmät kesäisin laitumelle. Lisäksi karja vaikuttaa esimerkiksi, kuinka sairauksia ennaltaehkäistään, onko jotain yleisiä stressitekijöitä navetta-ympäristössä sekä kuinka hoitaja toimii missäkin tilanteissa. Lisäksi poikimakerralla ja maidontuotannon vaiheella sekä ensikoilla poikimäällä on vaikutusta märehmisaikaan erityisesti poikimisen yhteydessä vähentäen märehmistä. Tyhjäkauden pituus vaikuttaa osaltaan märehmisaikaan sekä myös märehmistä tulkitseva laite. Vaikka tässä tutkimuksessa käytettiinkin saman valmistajan kahta eri laitetta, niin silti niiden välille saatiin tilastollisesti merkitsevä ero märehmisaikaan.

Märehtimisajan periytymisasteet eivät olleet kovin korkeita. Ensikoilla periytymisaste oli hieman pienempi kuin 1-3 kertaa poikineilla. Matalasta periytymisasteesta huolimatta märehtimisaika soveltuu jalostusvalinnassa käytettäväksi ominaisuudeksi sekä sellaisenaan että indikaattorina. Jotta märehtimisaika soveltuu käytettäväksi indikaattorina, on sen oltava geneettisesti korreloitunut varsinaisen jalostusvalinnassa käytettävän ominaisuuden, esimerkiksi kuiva-aineen syönnin, kanssa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Märehtimisajan periytymisaste ensikoilla oli hieman matala ollen 0,14 (keskivirhe 0,05). 1-3 kertaa poikineilla periytymisaste oli korkeampi ollen 0,19 (keskivirhe 0,02). Märehtimisaika ei siis ole kovin voimakkaasti periytyvä ominaisuus. Maidon päivätuotoksen periytymisaste oli kohtalainen ensikoilla ollen 0,31 (keskivirhe 0,08) ja korkea 1-3 kertaa poikineilla ollen 0,43 (keskivirhe 0,03).

Märehtimisajan toistuvuus oli kohtalaisen matala sekä ensikoilla (0,37) että 1-3 kertaa poikineilla (0,35). Matala toistuvuus on todennäköisesti seurausta siitä, että tutkimuksessa märehtimisaikaa ei tarkasteltu erikseen laktaatiokauden eri vaiheissa, vaan koko laktaatiokauden ajalta. Yksilön märehtimisaikaa ei siis kuvaa kovin hyvin yksittäinen havainto, joten arvostelun luotettavuutta voidaan lisätä useammilla havainnoilla. Maidon päivätuotoksen toistuvuus oli puolestaan korkea ensikoilla (0,67) ja kohtalaisen korkea 1-3 kertaa poikineilla (0,52), jolloin yksittäinen havainto kuvaa jo hyvin yksilön tasoa.

Ensikoilla märehtimisajan ja maidon päivätuotoksen välillä ei ollut juurikaan yhteyttä geneettisen korrelaation ollessa 0,05 (keskivirhe 0,21). 1-3 kertaa poikineilla positiivista yhteyttä oli hieman geneettisen korrelaation ollessa 0,31 (keskivirhe 0,06). Fenotyyppinen yhteys ominaisuuksien välillä oli pieni sekä ensikoilla (0,16) että 1-3 kertaa poikineilla (0,17).

Märehtimisaika sopii periytymisasteen perusteella jalostusvalinnassa käytettäväksi ominaisuudeksi. Lisätutkimuksia olisi hyvä tehdä, koska märehtimisajan periytymisestä ei

ole vielä kovin paljon tutkimustietoa. Erityisesti märehetmisajan ja kuiva-aineen syönnin geneettistä korrelaatiota pitäisi tutkia, jotta voidaan arvioida märehetmisajan käytettävyyttä kuiva-aineen syönnin indikaattorina.

## **8 KIITOKSET**

Haluan kiittää Faba Osk:ta ja Jukka Pösöä sekä SCR Engineers Ltd:tä mahdollistaessaan aineiston tätä työtä varten. Kiitän myös työn ohjauksesta yliopistonlehtori Jarmo Jugaa. Kiitokset myös läheisilleni ja opiskelutovereilleni, jotka ovat tukeneet minua opintojeni aikana.

## LÄHTEET

- Allflex. 2019. Nicholson Farm improves dairy management and productivity with SenseHub™. <https://www.allflex.global/wp-content/uploads/2019/12/Nicholson-Farm-England.pdf> Allflex Livestock Intelligence. Julkaistu 2019. Viitattu 25.1.2021.
- Allflex. 2020a. Allflex Livestock Intelligence Heatime® Pro+: Flexible, centralized, high-performance cow monitoring for large and fast-growing dairy farms. [https://www.allflex.global/wp-content/uploads/2020/01/HT-Pro\\_8\\_A4\\_Eng\\_March-2020\\_low.pdf](https://www.allflex.global/wp-content/uploads/2020/01/HT-Pro_8_A4_Eng_March-2020_low.pdf) Allflex Livestock Intelligence. Julkaistu 2020. Viitattu 25.1.2021.
- Allflex. 2020b. SenseHub™: The new generation of cow monitoring. [https://www.allflex.global/wp-content/uploads/2020/10/SH\\_4\\_A4\\_Eng\\_March-2020\\_low.pdf](https://www.allflex.global/wp-content/uploads/2020/10/SH_4_A4_Eng_March-2020_low.pdf) Allflex Livestock Intelligence. Julkaistu 2020. Viitattu 25.1.2021.
- Beauchemin, K.A. 1991. Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 7: 439-463.
- Bikker, J. P., van Laar, H., Rump, P., Doorenbos, J., van Meurs, K., Griffioen, G. M. & Dijkstra, J. 2014. Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science* 97: 2974-2979.
- Braun, U., Trösch, L., Nydegger, F. & Hässig, M. 2013. Evaluation of eating and rumination behaviour in cows using a noseband pressure sensor. *BMC Veterinary Research* 9: 164-170.
- Bristow, D. J. & Holmes, D. S. 2007. Cortisol levels and anxiety-related behaviors in cattle. *Physiology & Behavior* 90: 626-628.
- Byskov, M. V., Fogh, A. & Løvendahl, P. 2017. Genetic parameters of rumination time and feed efficiency traits in primiparous Holstein cows under research and commercial conditions. *Journal of Dairy Science* 100: 9635-9642.



- Byskov, M. V., Nadeau, E., Johansson, B. E. O. & Nørgaard, P. 2015. Variations in automatically recorded rumination time as explained by variations in intake of dietary fractions and milk production, and between-cow variation. *Journal of Dairy Science* 98: 3926-3937.
- Calamari, L., Soriani, N., Panella, G., Petrera, F., Minuti, A. & Trevisi, E. 2014. Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *Journal of Dairy Science* 97: 3635-3647.
- Couderc, J. J., Rearte, D. H., Schroeder, G. F., Ronchi, J. I. & Santini, F. J. 2006. Silage chop length and hay supplementation on milk yield, chewing activity, and ruminal digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 3599-3608.
- Edwards, S. M. 2017. Standard errors of heritability estimates. [http://www.iysik.com/\\_media/dmu/dmu\\_heritabilities.pdf](http://www.iysik.com/_media/dmu/dmu_heritabilities.pdf) Viitattu 26.11.2020.
- Grinter, L. N., Campler, M. R. & Costa, J. H. C. 2019. Technical note: Validation of a behavior-monitoring collar's precision and accuracy to measure rumination, feeding, and resting time of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 102: 3487-3494.
- Hansen, S. S., Nørgaard, P., Pedersen, C., Jørgensen, R. J., Mellau, L. S. B. & Enemark, J.D. 2003. The effect of subclinical hypocalcaemia induced by Na<sub>2</sub>EDTA on the feed intake and chewing activity of dairy cows. *Veterinary Research Communications* 27: 193-205.
- Herskin, M. S., Munksgaard, L. & Ladewig, J. 2004. Effects of acute stressors on nociception, adrenocortical responses and behavior of dairy cows. *Physiology & Behavior* 83: 411-420.
- Krause, M., Beauchemin, K. A., Rode, L. M., Farr, B. I. & Nørgaard, P. 1998. Fibrolytic enzyme treatment of barley grain and source of forage in high-grain diets fed to growing cattle. *Journal of Animal Science* 76: 2912-2920.
- Lindström, T., Redbo, I. & Uvnäs-Moberg, K. 2001. Plasma oxytocin and cortisol concentrations in dairy cows in relation to feeding duration and rumen fill. *Physiology & Behavior* 72: 73-81.

- Little, W. L. & Wright, N. C. 1925. The ætiology of milk fever in cattle. *The British Journal of Experimental Pathology*, 6: 129-134.
- López-Paredes, J., Goiri, I., Atxaerandio, R., García-Rodríguez, A., Ugarte, E., Jiménez-Montero, J. A., Alenda, R. & González-Recio, O. 2020. Mitigation of greenhouse gases in dairy cattle via genetic selection: 1. Genetic parameters of direct methane using noninvasive methods and proxies of methane. *Journal of Dairy Science* 103: 7199-7209.
- Luginbuhl, J.-M., Pond, K. R., Russ, J. C. & Burns, J. C. 1987, A simple electronic device and computer interface system for monitoring chewing behavior of stall-fed ruminant animals. *Journal of Dairy Science* 70: 1307-1312.
- Macmillan, K., Gobikrushanth, M., Plastow, G. & Colazo, M. G. 2020. Performance and optimization of an ear tag automated activity monitor for estrus prediction in dairy heifers. *Theriogenology* 155: 197-204.
- Madsen, P. & Jensen, J. 2013. A user's guide to DMU: A package for analysing multivariate mixed models. Version 6, release 5.2. 32 s.
- Matsui, K. & Okubo, T. 1991. A method for quantification of jaw movements suitable for use on free-ranging cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 32: 107-116.
- Moretti, R., Bozzi, R., Maltecca, C., Tiezzi, F., Chessa, S., Bar, D. & Biffani, S. 2016. Daily rumination time in Italian Holstein cows: Heritability and correlation with milk production. *Journal of Animal Science* 94: 187-188.
- Moretti, R., de Rezende, M. P. G., Biffani, S. & Bozzi, R. 2018. Heritability and genetic correlations between rumination time and production traits in Holstein dairy cows during different lactation phases. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 135: 293-299.
- NAV. 2021. Rehunsäästö. <https://www.nordicebv.info/fi/rehunsaasto/> NAV Nordic Cattle Genetic Evaluation. Viitattu 25.2.2021.

- Pahl, C., Hartung, E., Mahlkow-Nerge, K. & Haeussermann, A. 2015. Feeding characteristics and rumination time of dairy cows around estrus. *Journal of Dairy Science* 98: 148-154.
- Reiter, S., Sattlecker, G., Lidauer, L., Kicking, F., Öhlschuster, M., Auer, W., Schweinzer, V., Klein-Jöbstl, D., Drillich, M. & Iwersen, M. 2018. Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101: 3398-3411.
- Schirmann, K., von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M., Veira, D. M. & Heuwieser, W. 2009. Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 6052-6055.
- Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A. & Giordano, J. O. 2016. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *Journal of Dairy Science* 99: 7395-7410.
- Strandén, I. 2014. Relax2 program for pedigree analysis: User's guide for version 1.65. 82 s.
- Welch, J.G. 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. *Journal of Animal Science* 54: 885-894.