

**SEOSREHURUOKINNAN AUTOMATISOINNIN KANNATTAVUUS  
-TAPAUSTUTKIMUS SUOMALAISELLA LYPSYKARJATILALLA**

Aho Marko  
Maisterintutkielma  
Helsingin Yliopisto  
Maataloustieteiden osasto  
Agroteknologia  
Toukokuu 2019

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Osasto — Sektion — Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author			
Marko Aho			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Seosrehuruokinnan automatisoinnin kannattavuus – tapaustutkimus suomalaisella lypsykarjatilalla			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Agroteknologia			
Työn laji — Arbetets art — Level	Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages	
Maisterintutkielma	Toukokuu 2019	37	
Tiivistelmä – Referent – Abstract			
<p>Automaattiset järjestelmät ovat tulleet maatalouden eri osa-alueille vaihtoehtoina perinteisille menetelmille. Seosrehuruokinnan automatisointi on yksi keino vähentää maatalon työmäärää, ja ruokinnasta aiheutuvia muuttuvia kustannuksia. Kustannusten hallinta on tiukassa taloustilanteessa maataloilla tärkeää. Tutkimuksen tavoitteena olikin selvittää, voiko seosrehuruokinnan automatisointi olla taloudellisesti kannattava vaihtoehto perinteiselle apevaunulla tehtävälle ruokinnalle.</p> <p>Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevalla, noin 160 lehmän lypsykarjatilalla. Tilan ruokintajärjestelmän käyttökustannukset selvitettiin, ja niitä verrattiin automaattisen järjestelmän käyttökustannuksiin. Kustannusten selvittämiseksi mitattiin tilan ajettavan seosrehuvaunun polttoaineenkulutusta viikon ajan huhtikuun 2019 alussa. Lisäksi pidettiin kirjaa ruokintaan käytetystä työajasta. Automaattisen järjestelmän käyttökustannukset laskettiin aiemmissä tutkimuksissa todetun sähkönkulutuksen, sekä työajasta tehtyjen arvioiden perusteella. Järjestelmien kannattavuutta arvioitiin laskemalla niiden investointikustannusten välinen ero tilanteessa, jossa elinkaarikustannukset 8 vuoden ajalta olisivat samat. Tähän hyödynnettiin ASABE:n standardia koneiden kustannusten laskennasta. Tuloksille suoritettiin herkkyysanalyysi, jossa tarkasteltiin tavanomaisen järjestelmän polttoaineenkulutuksen, automaattisen järjestelmän sähkönkulutuksen, sekä polttoöljyn ja sähkön hinnan vaikutusta kannattavuuteen.</p> <p>Tilan seosrehuvaunun polttoaineenkulutus oli keskimäärin 21,7 l/h, ja työaika kului yhteen ruokintakertaan keskimäärin 60 min. Pienkuormaajan käyttämiseen kului 1 l/vrk bensiniä ja rehunsiirotorobotin sähkönkulutukseksi arvioitiin 0,28 kWh/vrk. Vuotuiset käyttökustannukset olivat yhteensä 11968 € toteutuneilla polttoaineen ja energian hinnoilla. Automaattisen järjestelmän vuotuiset käyttökustannukset olivat 5356 €, kun sen sähkönkulutukseksi oletettiin 22,9 kWh/vrk, polttoaineenkulutukseksi 8 l/h ja työajaksi 0,8 h. Näillä vuotuisilla kustannuksilla automaattisen järjestelmän investointikustannukset voisivat olla noin 41 300 € suuremmat kuin tavanomaisen, jotta vuotuiset kokonaiskustannukset olisivat samat. Kannattavuuteen vaikutti herkkyysanalyysin perusteella eniten tavanomaisen järjestelmän polttoaineen kulutus, ja toiseksi eniten polttoaineen hinta. Sähkön hinta tai automaattisen järjestelmän sähkönkulutus eivät olleet yhtä merkittäviä tekijöitä.</p> <p>Tulosten perusteella automaattinen seosrehuruokinnan kannattavuus 160 lehmän tilakokoluokassa on paljon riippuvainen olosuhteista, etenkin polttoöljyn hintakehityksestä. Samoin merkitystä on käytettävissä olevilla koneilla ja niiden käytötavalla. Automaattinen seosrehuruokinta voi olla kannattava vaihtoehto tutkimukseen osallistuneella, mutta etenkin sitä suuremmilla tiloilla.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
seosrehuruokinta, lypsykarja, automaatio, käyttökustannus, kannattavuus			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Maataloustieteiden maisteriohjelma, Maataloustieteiden osasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			
Työtä ohjasi apulaisprofessori Antti Lajunen			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Osasto — Sektion — Department	
Faculty of Agriculture and Forestry		Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author			
Marko Aho			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Profitability of automating TMR/PMR feeding – A case study on a Finnish dairy farm			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Agrotechnology			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
M.Sc. Thesis		May 2019	37
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Automatic systems have become an option for traditional methods in different sectors of agriculture. Automatic TMR (total mixed ration) or PMR (partial mixed ration) feeding is one of the ways to reduce workload and variable costs of feeding. It is important for farms to minimize costs, especially in the challenging economic situation. The aim of this study was to find out, whether automatic TMR/PMR feeding could be economically profitable option for traditional feeding performed with TMR-wagon.</p> <p>The study was carried out as a case study on a dairy farm with around 160 cows to feed. The farm is in the Northern Ostrobothnia, Finland. Operating costs of the farm's feeding system were examined, and they were compared to the operating costs of an automatic feeding system. The fuel consumption of the self-propelled TMR-wagon along with time used for feeding were measured during one week in the beginning of April in 2019 in order to calculate operating costs of the conventional feeding system. The operating costs of the automatic system were calculated based on the energy consumption reported on previous studies and estimations of working time. Profitability of systems was evaluated by calculating the difference of their investment costs in the situation where life cycle costs of systems for eight years were same. That was done by utilizing ASABE standard for machinery costs. A sensitivity analysis was performed for results to evaluate how the fuel consumption of the conventional system, energy consumption of the automatic system and prices of fuel oil and electric energy affect to profitability.</p> <p>Fuel consumption of TMR-wagon was 21,7 l/h and working time for one feeding was 60 minutes on average. Using of mini loader consumed 1 l/d gasoline and the energy consumption of forage pushing robot was estimated to be 0,28 kWh/d. Annual operating costs were 11968 € considering actual prices of oil and electric energy. Annual operating costs of the automatic system were 5356 €, assuming the energy consumption to be 22,9 kWh/d, fuel consumption 8 l/h and working time 0,8 h. Investment costs of the automatic feeding system could be 41 300 € higher than the investment costs of the conventional system to have equal life cycle costs. Based on the sensitivity analysis, profitability was affected most by the fuel consumption of the conventional system and the price of fuel oil. The price of electric energy or the energy consumption of the automatic system were not so significant.</p> <p>Based on the results, profitability of automatic TMR/PMR feeding on the farm size of 160 cows is depending much on the conditions, especially on the development of fuel oil price. Availability of machinery and ways of using them have also an impact on the profitability. Automatic TMR/PRM feeding can be economically profitable option in the farm that took part in the study, and particularly in the bigger farms.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
TMR feeding, dairy, automation, operating cost, profitability			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Master's Programme in Agricultural Sciences, Department of Agricultural Sciences			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			
Supervisor: Assistant Professor Antti Lajunen			

## SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
<b>2 SEOSREHURUOKINTA JA SEN AUTOMATISOINTI</b> .....	<b>6</b>
2.1 Seosrehuruokinta .....	6
2.2 Laitteet ja menetelmät .....	7
2.3 Seosrehuruokinnan energiankulutus.....	9
2.4 Ruokinnan tiheyden ja ajankohdan vaikutukset navetassa .....	10
2.5 Automaattinen seosrehuruokinta .....	12
<b>3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET</b> .....	<b>14</b>
<b>4 AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>15</b>
4.1 Tilan taustatiedot ja nykyinen ruokintajärjestelmä.....	15
4.2 Ruokintajärjestelmien käyttökustannukset .....	16
4.2.1 Seosrehuvaunun polttoaineenkulutus ja työaika .....	16
4.2.2 Automaattisen ruokintajärjestelmän energiankulutus ja työaika.....	18
4.3 Järjestelmien elinkaarikustannukset .....	18
4.4 Herkkyysanalyysi .....	20
<b>5 TULOKSET</b> .....	<b>21</b>
5.1 Ruokintajärjestelmien käyttökustannukset .....	21
5.2 Järjestelmien kannattavuus ja herkkyysanalyysi.....	23
<b>6 TULOSTEN TARKASTELU</b> .....	<b>27</b>
6.1 Ruokintajärjestelmien käyttökustannukset .....	27
6.2 Ruokintajärjestelmien kannattavuus.....	28
6.3 Herkkyysanalyysi .....	30
<b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>32</b>
<b>8 LÄHTEET</b> .....	<b>33</b>

## 1 JOHDANTO

Nykyaikaisella maitotilalla moni työvaihe pystytään automatisoimaan. Automaattilypsy on ollut käytössä jo parikymmentä vuotta, ja sen lisäksi esimerkiksi väkirehuruokintaan ja vasikoiden juottoon on ollut automaattisia laitteita käytössä pitkään. Automatisoinnin taustalla on monesti työn tehostamisen tarve, kuten Bisaglia ym. toteavat tutkimuksessaan, johon osallistui hollantilaisia maitotiloja (2012). Käytännössä tämä tarkoittaa tarvetta minimoida työvoimakustannukset samalla, kun karjakoko kasvaa. Esimerkiksi noin 70 lehmän automaattilypsytila pystytään hoitamaan kahden työntekijän voimin, mutta vastaavan kokoisella lypsyasematilalla tarvitaan kolmas työntekijä kohtuullisen vuosittaisen työmäärän saavuttamiseksi (Tuure, V-M. 2013).

Suomessa lypsykarjat ovat keskimäärin huomattavan pieniä verrattuna Hollantiin, tai moneen muuhun eurooppalaiseen maidontuottajamaahan (EUROSTAT, 2019). Tilojen koko kuitenkin kasvaa koko ajan (SVT, 2018b). Laajentavilla tiloilla on oleellista löytää keinot, joilla työmäärä ja tilan muuttuvat kustannukset pysyvät kurissa. Asia on tärkeä etenkin nykytilanteessa, jossa maidon tuottajahinta ei ole noussut entiselle tasolle 2014 tapahtuneen romahduksen jälkeen (SVT, 2018c).

Yksi viimevuosina esille noussut automaation kohde on ruokinta. Erityisesti esillä on ollut seosrehuruokinnan automatisointi. Seosrehuruokinta on ollut lypsykarjatililla käytössä jo kymmeniä vuosia, mutta sen hyödyt nousevat tulevaisuudessa entistä enemmän esiin automaation mahdollistaessa eläinten tarkemman ruokinnan (Schingoethe 2017). Markkinoilla on erilaisia järjestelmiä, joista autonomisimmat vaativat ihmisen työpanosta vain rehuvarastojen ylläpitoon ja mahdollisiin huoltotöihin.

Seosrehuruokinnan automatisoinnin selvimpinä etuina pidetään tutkimusten perusteella ruokintaan kuluvan energian ja siihen käytetyn työajan säästöä (Bisaglia ym. 2012, Pezzuolo ym. 2016, Tangorra ja Calcante 2018). Energiansäästö näkyy käyttökustannusten pienenemisenä, ja säästynyt työaika voidaan käyttää tilan muihin toimiin. Automaatio mahdollistaa myös ruokintakertojen määrän kasvattamisen ja tarkemman

ryhmäkohtaisen ruokinnan. Useampi säännöllinen ruokintakerta voi tasoittaa eläinten ruokailukäyntejä päivän aikana (DeVries ym. 2005, Mäntysaari ym. 2006).

Automaattisen seosrehuruokinnan taloudellisesta kannattavuudesta on melko vähän tutkimustietoa, etenkin suomalaisessa tilakokoluokassa. Suomessa on noin vuodesta 2010 kasvanut tasaisesti 75 – 150 lypsylehmän tilojen määrä (SVT, 2018b). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää automaattisen seosrehuruokinnan kannattavuutta kyseisen kokoluokan tiloilla vaihtoehtona perinteiselle vaunulla tehtävälle seosrehuruokinnalle.

## **2 SEOSREHURUOKINTA JA SEN AUTOMATISOINTI**

### **2.1 Seosrehuruokinta**

Lehmien seosrehuruokinnasta on tutkittua tietoa noin viidenkymmenen vuoden ajalta. Schingoethe (2017) toteaa katsauksessaan, että esimerkiksi Journal of Dairy Science julkaisi ensimmäiset kokonaiset tieteelliset artikkelinsa seosrehuruokinnasta 1960-luvulla. Katsauksen mukaan seosrehuruokinta on kehittynyt tilakoon kasvaessa maatalojen talouden, toiminnan ja lehmien ruokinnan tehostamisen tarpeesta.

Menetelmästä on ollut ajan kuluessa monenlaista versiota (Schingoethe 2017). Kirjallisuudessa erotellaan yleensä kaksi ruokintatapaa, varsinainen seosrehuruokinta eli TMR (Total mixed ration) ja täydennetty seosrehuruokinta PMR (Partial mixed ration). Varsinaisessa seosrehuruokinnassa kaikki rehukomponentit sekoitetaan keskenään ruokintaa varten mahdollisimman tasalaatuisiksi seokseksi. Täydennetyssä seosrehuruokinnassa osa väkirehuista jaetaan lehmille yksilökohtaisesti esimerkiksi rehukioskista tai lypsyrobotilta.

Seosrehuruokinnan yhtenä etuna pidetään ruokinnan tasalaatuisuutta. Schingoethe viittaa katsauksessaan (2017) tutkimuksiin (Coppock, 1977; Muller ym. 1977), joissa on todettu lehmien olevan huonoja valitsemaan itselleen ravitsemuksellisesti sopivinta

ruokaa. Hyvin tehdyssä seosrehussa on kaikki lehmälle tarpeelliset ravintoaineet sopivassa suhteessa toisiinsa sekoitettuna, ja näin lehmän on vaikeampi valita itse mitä syö. Toinen merkittävä etu liittyy ruokinnassa käytettävien rehujen monipuolisuuteen. Kun tiedetään rehujen koostumus, on rehun laatua tai rehutyyppiä mahdollista vaihtaa nopeastikin ruokinnan kärsimättä muuttamalla seoksen suhteita (Schingoethe, 2017).

Huonoina puolina voidaan nähdä tietyt rajoitukset käytettävien rehujen suhteen, sillä esimerkiksi pitkäkortinen heinä voi soveltua huonosti sekoitettavaksi. Järjestelmä vaatii myös suhteellisen kalliita laitteita, minkä vuoksi se ei välttämättä ole taloudellisesti järkevä ratkaisu pienillä tiloilla. Lehmien tarpeiden mukainen ruokinta vaatii myös eläinten ryhmittelyä navetassa, mikä voi olla käytännössä hankalaa pienessä navetassa (Schingoethe, 2017). Seosrehuruokinta on nykyisin etenkin suurten tilojen käyttämä menetelmä. Vuonna 2014 USA:ssa lähes 90 % suurista, yli 500 lehmän tiloista käytti seosrehuruokintaa (USDA, 2014).

## **2.2 Laitteet ja menetelmät**

Seosrehuruokinnassa on kolme työvaihetta; rehujen lastaus tai annostelu sekoittimelle, sekoitus ja seoksen jakaminen ruokintapöydälle. Erilaisia sekoituslaitteita ovat esimerkiksi traktorilla hinattava seosrehuvaunu, itsekulkeva seosrehuvaunu ja kiinteä rehusekoitin (Hartikainen 2012). Lisäksi automaattisissa järjestelmissä käytetään sekoitusrobotteja, jotka sekoituksen lisäksi myös jakavat rehun (Oberschätzl ym. 2015). Hinattavaan vaunuun rehut lastataan traktorilla tai kuormaajalla. Itsekulkevassa vaunussa voi olla myös oma kuormausjyrsin, jolla eri jakeet saadaan sekoittimeen. Molemmilla vauvutypeilla rehu puretaan suoraan ruokintapöydälle (Hartikainen, 2012). Kiinteät sekoittimet ovat yleensä osa automatisoitua järjestelmää, ja niiden voimanlähteenä käytetään sähkömoottoria (Turunen, 2013). Rehujen sekoitukseen käytetään sekoittimesta riippuen joko vaaka- tai pystyruuveja (Kuva 1). Niitä on sähkökäyttöisissä sekoittimissa yleensä yksi, ja isossa hinattavassa vaunussa jopa kolme (Seko Tiger series).



Kuva 1. Seosrehuvaunun pystyruuvisekoitin

Kiinteän sekoittimen yhteydessä rehun jakamiseen on käytössä useita tekniikoita. Lätti & Hartikainen (2013) mainitsevat selvityksessään näistä tekniikoista pienkuormaajan käytön, erillisen rehunjakovaunun, matto- eli hihnaruokkijan ja kiskoilla kulkevan jakovaunun. Mattoruokkija toimii siten, että ruokintapöydän päällä kulkeva kuljetinhihna siirtää rehua ja kuljettimen päällä liikkuva aura pudottaa sen lehmien eteen (Turunen 2013). Kiskoruokkija on kiskoilla kulkeva vaunu, joka ruokintapöydän päällä liikkuessaan jakaa rehun lehmille. Se voi olla akkukäyttöinen tai saada virran kiskojen kautta. Sekä matto- että kiskoruokkija vaativat erillisen täyttölaitteen, jotta rehu saadaan annosteltua niille sekoittimelta (Karttunen & Peltonen, 2002).

Kiinteä sekoitin tai sekoitusrobotti (Kuva 2) tekevät mahdolliseksi työvaiheiden automatisoinnin. Rehun jakamisen lisäksi laitteisto voi tehdä rehun annostelun sekoittimelle, jolloin käyttäjän on huolehdittava, että annostelulaitteella on riittävästi rehua. Annostelussa voidaan hyödyntää erilaisia täyttöpöytiä (Turunen 2013), spiraalikuljettimia tai esimerkiksi rehukouran ja siltanosturin yhdistelmää (Tangorra & Calcante, 2018). Rehu voidaan purkaa sekoittimelle myös suoraan tornisiilosta (Turunen 2013).





Kuva 2. Automaattinen sekoitusrobotti (A) ja sen täyttämiseen käytettävä rehukoura (B)

### 2.3 Seosrehuruokinnan energiankulutus

Lehmien ruokinta voi olla yksi suurimmista energiaa vaativista kohteista maitotilalla. Yhdessä lypsytoimintojen kanssa se vie jopa 65-75 % kaikesta tilan energiantarpeesta (Hörndahl, 2008). Rajaniemi ym. (2015) kokosivat artikkelissaan yhteenvedon viidestä tutkimuksesta, joissa käsiteltiin energiankulutusta (Ludington & Johnson, 2003; Eerola, 2006; Vergicht ym. 2007; Hörndahl, 2008; Neuman, 2009). Yhteenvedon perusteella ruokinta voi olla tuotettua maitokiloa kohti jopa suurin yksittäinen energiankuluttaja. Toisaalta taas se voi käytetyistä menetelmistä ja koneista riippuen olla myös verrattain alhainen (Rajaniemi ym. 2008).

Seosrehuruokinnassa energiankulutusta lisää rehukomponenttien mekaaninen sekoittaminen. Tästä on melko niukasti raportoituja tutkimuksia, ja olemassa olevan kirjallisuuden vertailua hankaloittaa tulosten raportointitapojen erilaisuus. Energiankulutusta suhteutetaan sekoitettuun rehumäärään (t), koneen käyttötunteihin (h) tai eläin- tai tuotantoyksikköön (kWh/lehmä/a). Rehun sekoittamisen ja jakamisen voimanlähde vaikuttaa kuitenkin kulutukseen merkittävästi. Esimerkiksi sähkömoottorilla toimiva sekoitin ja kiskoruokkija kuluttivat yhdessä vähän yli 90 kWh/lehmä/a, ja vastaavasti pelkästään traktorikäyttöinen sekoitin noin 163 kWh/lehmä/a (Hörndahl, 2008). Sähkökäyttöisen ruokkijan pienemmästä energiankulutuksesta traktorikäyttöiseen verrattuna raportoivat myös Pezzuolo ym. (2016) ja Tangorra & Calcante (2018) tapaustutkimuksissaan. Sähkötoimisen laitteiston pienempää energiankulutusta traktorikäyttöiseen verrattuna

selittää osaltaan moottorin parempi hyötysuhde. Energiaa ei myöskään kulu juuri muuhun kuin itse sekoitustyöhön, kun taas traktorin moottori pyörittää samalla erilaisia lisälaitteita (Turunen 2013).

Seosrehuruokinnan energiankulutusta tarkasteltaessa on myös huomioitava, että siihen vaikuttavat tapauskohtaisesti muutkin asiat kuin pelkkä voimanlähde. Apevaunujen osalta vaunun tyypillä on merkitystä, esimerkiksi pystyruuvivaunun on todettu kuluttavan vähemmän energiaa kuin vaakaruuvivaunun. Samassa tutkimuksessa havaittiin seoksessa käytettävien rehujen vaikuttavan kulutukseen (Vergicht ym. 2007). Lisäksi kulutukseen vaikuttavat vaunun täyttöjärjestys ja sekoittimen terien tylsyys (Turunen 2013).

#### **2.4 Ruokinnan tiheyden ja ajankohdan vaikutukset navetassa**

Rehun jakamisen tiheyden ja ajankohdan on monessa tutkimuksessa todettu vaikuttavan lehmien syömiskäyttäytymiseen, päivittäisiin rutiineihin ja liikkumiseen navetassa. Tuoreen rehun jakaminen aktivoi lehmiä syömään (DeVries ja von Keyserlingk 2005), ja aktiivinen syöntiaika noudattaa rehun jakamisrytmiä myös useammalla ruokintakerralla päivässä (Mäntysaari ym. 2006). Kirjallisuuden perusteella ei kuitenkaan pystytä aukottomasti sanomaan, millainen ruokintatiheys olisi kannattavuuden näkökulmasta paras.

Seosrehuruokinnan tiheyden vaikutuksesta lehmien maidontuotukseen ei ole täysin selkeää käsitystä. Mäntysaari ym. (2006) tutkivat yhden ja viiden päivittäisen ruokintakeran vaikutuksia pihattonavetassa, eivätkä havainneet eroa maitotuotoksessa. Samaan tulokseen tulivat Hart ym. (2014), kun vertailtavat tiheydet olivat yksi, kaksi ja kolme kertaa päivässä. Mattachini ym. (2015) raportoivat tuotoksen olleen pienempi ruokittaessa 11 kertaa, kuin ruokittaessa kuusi kertaa päivässä. Toisaalta Sova ym. (2013) tutkivat ruokintamenetelmiä 22 pihattonavetassa, ja heidän tutkimuksessaan ruokintakertojen lisääminen yhdestä kerrasta kahteen päivässä yhdistettiin maidon keskituotoksen selvään nousuun.

Ruokintatiheyden mahdolliset vaikutukset maitotuotokseen tulevat monta kautta, esimerkiksi lehmien aktiivisuudesta. Vaikka ruokintatiheys ei välttämättä vaikuta lehmien makuulla viettämään kokonaisuikaan (Mattachini ym. 2015, Hart ym. 2014 ja DeVries ym. 2005, DeVries & von Keyserlingk 2005), Mattachini ym. (2005) havaitsivat tiheimmän ruokinnan vähentävän lehmien päivittäin makuulla viettämiä pitkiä (100 – 200 min) ajanjaksoja. He olettivat tämän olleen selittävänä tekijänä tutkimuksessa havaitulle maitotuotoksen laskemiselle. Myös DeVries ym. (2005) totesivat tiheyden kasvattamisen yhdestä kahteen ja kahdesta neljään muuttavan lehmien päivittäisen makaamisajan jakautumista. Eräessä tutkimuksessa ruokintatiheyden kasvattaminen vähensi myös päivittäistä makuuaikaa (Mattachini ym. 2017).

Ruokintatiheys vaikuttaa myös lehmien syömiskäyttäytymiseen. Lehmien on todettu lajittelevan rehua vähemmän, kun ruokintakertoja on päivässä yhden sijaan kaksi (DeVries ym. 2005 ja Sova ym. 2013). Vähäisempi rehun lajittelu antaa paremmat edellytykset sille, että jokainen lehmä saa tarpeeksi koostumukseltaan sopivaa rehua. DeVries ym. havaitsivat myös, että kahdesti päivässä ruokittaessa hierarkiassa alimpana olevat lehmät pääsivät paremmin syömään haluamanaan aikana.

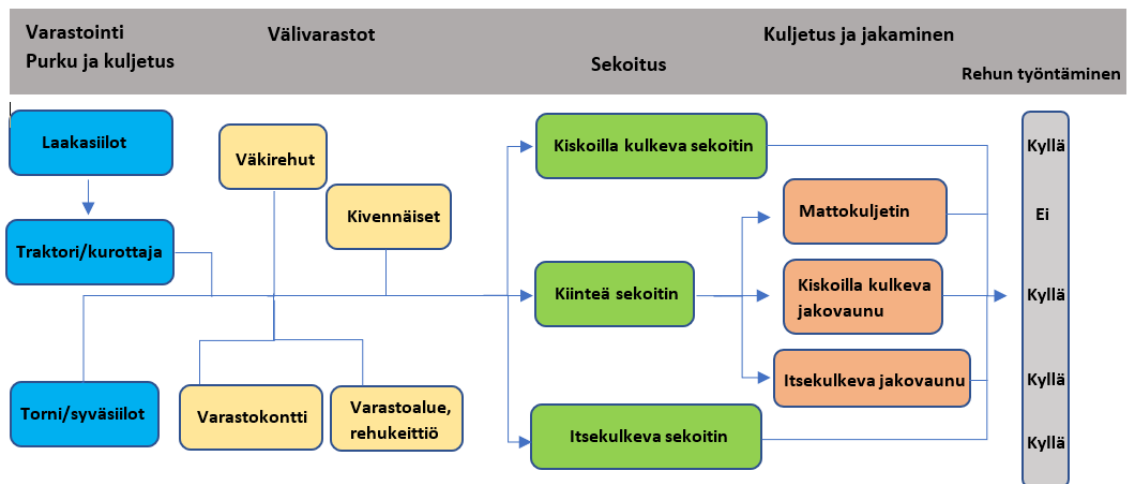
Automaattilypsyn yhteydessä voisi ajatella tiheimmän ruokinnan vaikuttavan myös lehmien robotilla käymiseen. Mattachini ym. (2015) eivät kuitenkaan löytäneet tästä viitteitä. Belle ym. (2012) tutkivat automaattisen ruokinnan vaikutusta robottivierailuihin. Tutkimuksessa oli yhdeksän tavanomaisesti ruokkivaa, ja yksitoista automaattiruokintaa käyttävää tilaa. Tavanomaisilla tiloilla rehu jaettiin keskimäärin 1,4 kertaa ja automaattiruokintaa käyttävillä 7,4 kertaa päivässä. Tutkijat havaitsivat, että lehmät kävivät lypsillä aikaisemmin aamulla automaattiruokintaa käyttävillä tiloilla, mutta eivät löytäneet eroa päivittäisten lypsykäyntien määrässä. Tulokset eivät myöskään heidän mukaansa tue ajatusta, että tiheämpi ruokinta tasoittaisi lypsyhuippuja.

Lehmien hyvinvoinnin kannalta yhtä kertaa päivässä tiheämpi ruokinta voi olla tarpeellista. Se saattaa esimerkiksi tasoittaa pötsin pH:n vaihtelua päivän aikana, ja näin ehkäistä pötsin happamoitumista (Shaver, 2002). Lisäksi on havaittu, että lämpimissä

oloissa kerran päivässä aamulla jaettu rehu lisäsi lehmien lämpötilastressiä verrattuna iltaruokintaan, tai kahdesti päivässä tehtyyn ruokintaan (Calamari ym. 2013)

## 2.5 Automaattinen seosrehuruokinta

Tavanomaisen seosrehuruokinnan automatisointiin on monta vaihtoehtoa (Kuva 3), ja automaation aste vaihtelee valmistajan laitteiston mukaan. Maailmanlaajuisesti markkinoilla on useita automaattisten ruokintajärjestelmien valmistajia, ja esimerkiksi ruokintarobotteja oli vuonna 2015 käytössä yli 1250 yksilöä (Oberschätzl-Kopp ym. 2016).



Kuva 3. Erilaisia vaihtoehtoja automaattisen seosrehuruokinnan toteuttamiseen. Muokattu Haidn (2014) mukaan lähteestä Oberschätzl & Haidn (2014).

Tavanomaisella seosrehuruokinnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä menetelmää, jossa käyttäjä operoi seosrehuvaunua, hoitaa vaunun täyttämisen ja rehun jakamisen lehmille. Ruokintajärjestelmän autonomisuutta voidaan kasvattaa karkeasti kolmella tasolla (Haidn ym. 2013). Ensimmäisellä tasolla rehun sekoitus ja jakaminen tapahtuvat automaattisesti. Toisella tasolla sekoittimen täyttö, ja kolmannella näiden lisäksi rehun siirto varastojen välillä on automaattista.

Käytännössä ensimmäisen tason järjestelmässä on esimerkiksi kiinteä sekoitin, joka täytetään päivittäin jokaista ruokintaa varten erikseen. Sekoittimelta rehun jakaminen tapahtuu matto- tai kiskoruokkijan, tai itseksään kulkevan rehunjakovaunun avulla. Toisen

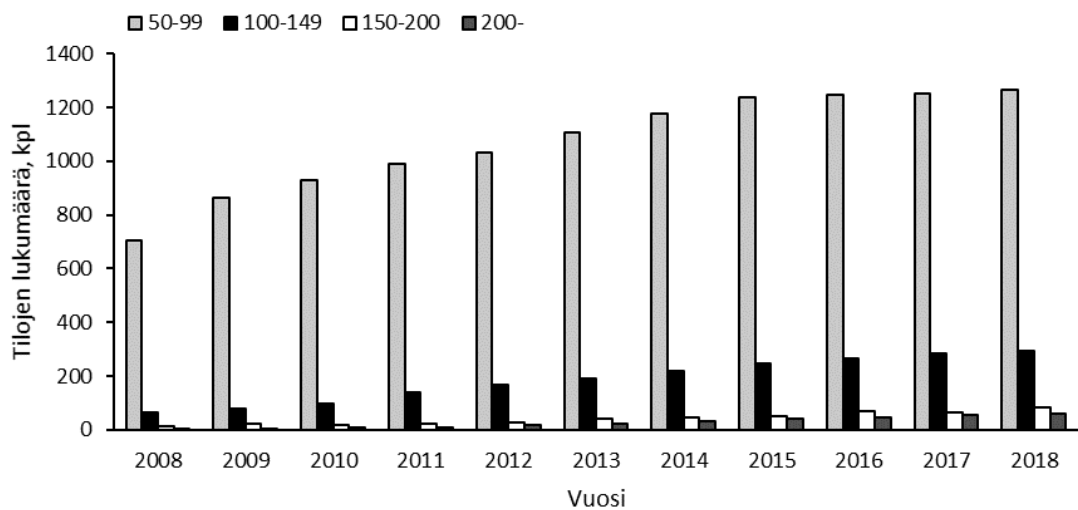
tason järjestelmässä olennaisessa osassa ovat välivarastot, joista sekoittaja saa ruokinnassa käytettävät rehut. Työvoimaa kuluu näiden varastojen ylläpitämiseen. Kolmannen tason täysin automaattinen ruokinta vaatii rehun varastoimisen tornisiiloissa, josta se saadaan automaattisesti sekoittimelle ilman välivarastoja (Haidn ym. 2013).

Ruokinnan automatisoinnin taustalla on usein tarve vähentää päivittäistä työmäärää (Bisaglia, 2012). Automaation lisääminen on tähän toimiva keino, sillä tapaustutkimuksissa on todettu ruokintaan kuuluvan työajan lähes puolittuvan, kun ruokintajärjestelmä automatisoidaan (DaBorso ym. 2017; Tangorra & Calante, 2018). Samankaltainen havainto on tehty myös maitotiloilla suoritetussa kyselyssä (Bisaglia, 2012). Toinen automaattisen järjestelmän etu on sen käyttövoimana toimiva sähkö ja pienempi energiankulutus verrattuna polttomoottorikäyttöiseen seosrehuvaunuun (Tangorra & Calcante, 2018). Sähkökäyttöinen järjestelmä mahdollistaa myös uusiutuvien energiamuotojen, kuten aurinkoenergian, hyödyntämisen. Näiden lisäksi automaatio tekee mahdolliseksi tiheämmän ja tasaisemman ruokinnan, sekä eläinten ryhmittelyn niiden ruokinnallisia tarpeita vastaavasti (Da Borso ym. 2017).

Automaattisilla järjestelmillä on kuitenkin omat haasteensa. Yksi on järjestelmien monimutkaisuus, joka asettaa uudenlaisia vaatimuksia käyttäjän osaamiselle. Samalla viljelijä on entistä riippuvaisempi toimivista huoltopalveluista. Keskeisimpänä esteenä automaattisten järjestelmien käyttöönotolle pidetään niiden korkeita investointi-, huolto- ja korjauskustannuksia (Karttunen 2019).

Automaattisen seosrehuruokinnan kustannukset jakautuvat eri tavalla kuin tavanomaisessa ruokinnassa. Kiinteät laitekustannukset muodostavat suurimman osan automaattisen laitteiston käyttökustannuksista, ja ne voivat olla jopa 90 % kaikista kustannuksista. Tavanomaisessa ruokinnassa ne voivat olla alle 20 %, ja loppuosa tulee muuttuvista laite- ja työvoimakustannuksista. Kustannusrakenteiden eroa selittää osaltaan se, että automaattinen järjestelmä kuluttaa vähemmän energiaa kuin tavanomainen (Salins ym. 2012).

Automatisoinnin mahdollistama työmäärän ja energiankulutuksen väheneminen ovat merkityksellisiä asioita etenkin suurilla tiloilla. Niillä ruokintaan kuluu päivässä paljon aikaa ja energiaa. Suomalaiset lypsykarjatilat ovat keskimäärin paljon pienempiä kuin monessa eurooppalaisessa maidontuottajamaassa (EUROSTAT, 2019), mutta niiden koko on kuitenkin jatkuvasti kasvussa. Viimeisen kymmenen vuoden aikana kasvu on ollut prosentuaalisesti suurinta 100 -149 ja yli 200 lehmän tilojen määrässä (Kuva 4). Seosrehuruokinnan automatisointi voi olla kasvavien tilakokojen myötä potentiaalinen menetelmä ruokinnan järjestämiseen suomalaisilla lypsykarjatililla.



Kuva 4. Suomalaisen lypsykarjatilojen määrä karjakokoluokittain (muokattu lähteestä SVT, 2018b)

### 3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voiko seosrehuruokinnan automatisointi olla kannattavaa suomalaisella, noin 160 lehmän lypsykarjatilalla. Tähän liittyen haluttiin löytää kannattavuuteen vaikuttavat kriittisimmät tekijät. Kannattavuutta arvoitiin selvittämällä tilan nykyisen ruokintajärjestelmän käyttökustannukset sekä laskemalla elinkaarikustannukset, ja vertaamalla niitä automaattisen ruokintajärjestelmän kustannuksiin. Tutkimushypoteesina oletettiin, että automaattisen järjestelmän pienemmät energia- ja työvoimakustannukset tekevät siitä kannattavan vaihtoehdon tavanomaiselle ruokintajärjestelmälle.

## 4 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 4.1 Tilan taustatiedot ja nykyinen ruokintajärjestelmä

Tutkimuksen tavanomaiseen seosrehuruokintaan liittyvä aineisto kerättiin Suomessa Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevalta lypsykarjatilalta. Tilan puolilämmin pihattonavetta on valmistunut vuonna 2012, ja ruokittavia eläimiä oli tutkimuksen tekohetkellä 163. Näistä 131 oli lypsäviä, 5 ummessa olevaa ja 27 nuorkarjaa. Lypsy tapahtuu kolmella robotilla, ja perustuu lehmien vapaaseen liikkumiseen. Eläimille tehdään tavallisesti kaksi seosrehuerää vuorokaudessa, yksi lypsäville ja toinen ummessa oleville. Tutkimuksen tekoai- kana umpilehmien rehu tehtiin kuitenkin harvemmin, sillä eläimiä oli niin vähän. Rehut sekoitetaan ja jaetaan ajettavalla seosrehuvaunulla, jonka teho on 175 hv (Taulukko 1). Vaunu on varustettu kuormausjyrsimellä (Kuva 5), kahdella pystyruuvilla ja omalla vaa- kalaitteistolla.

Taulukko 1. Seosrehuvaunun tekniset tiedot

Säiliön tilavuus	24 m <sup>3</sup>
Paino ilman lisävarusteita	14 500 kg
Pystyruuveja	2
Terien määrä ruuvilla	9
Vaaka	Digistar EZ3600
Jyrsimen leveys	2200 mm
Moottoriteho	175 hv



Kuva 5. Seosrehuvaunu, jossa on kuormausjyrsin

Lypsävien rehuseoksessa käytettiin tutkimushetkellä 81,0 % ajosilppurilla tehtyä säilörehua, 14,8 % murskeviljaa, 4,8 % valkuaistäysrehua sekä lisäksi kivennäisiä ja kalkkisuo-  
laa. Umpilehmien seos koostui pääosin silppuamattomasta paalirehusta sekä oljesta, lisäksi käytettiin hieman murskeviljaa, valkuaistäysrehua ja kivennäisiä. Ruokintapöydällä kulkeva, automaattinen rehunsiirtäjä (Kuva 6) työntää rehua lehmien ulottuville ohjelmoidun aikataulun mukaan sekä tarvittaessa käyttäjän laittaessa sen liikkeelle. Lisäksi käytössä on polttomoottorikäyttöinen pienkuormaaja, jolla viedään rehu nuorkarjalle, ja tarvittaessa siirrellään rehua ruokintapöydällä.



Kuva 6. Rehunsiirtäjä

## 4.2 Ruokintajärjestelmien käyttökustannukset

### 4.2.1 Seosrehuvaunun polttoaineenkulutus ja työaika

Seosrehuvaunun polttoaineenkulutusta seurattiin reilun viikon ajan huhtikuun 2019 alussa. Kulutus määritettiin tankkaamalla vaunu ennen ja jälkeen lypsylehmien seosrehuerän valmistamisen. Käytössä ei ollut virtausmittaria, ja tilatankin sähköisen polttoainepumpun oma mittari todettiin epäluotettavaksi, joten tankkaaminen tehtiin mittakannun avulla. Vaunu ajettiin tilatankin viereen aina samaan kohtaan hieman kallelleen, jotta polttoainesäiliö täyttyisi joka kerta samalla tavalla, eikä tankkiin jäisi ilmataskuja.



Ilman lämpötila vaihteli mittausjaksolla välillä  $-2 - +11$  °C, ja oli muina paitsi yhtenä päivänä nollan asteen yläpuolella (Ilmatieteenlaitos, 2019).

Samalla mittausjaksolla pidettiin kirjaa ruokintaan käytetystä työajasta. Kirjanpitoon merkittiin aika, jonka seosrehuvaunu oli käynnissä. Lisäksi merkittiin ruokintaan käytetty työaika, jos se erosi vaunun käyntiajasta esimerkiksi tilanteessa, jossa vaunu jää sekoittamaan lastia. Etukäteen oli kuitenkin tiedossa, että rehun komponenttien lastaamisen jälkeen lastia sekoitetaan noin 15 min, joka kuluu käytännössä ruokintapöydän puhdistamiseen pienkuormaajalla. Näin ollen katsottiin ruokintaan kuluvan työajan olevan tavallisesti sama kuin vaunun käyntiajan.

Umpilehmien rehuerä oli mittausjakson aikaan todella pieni ja tehtiin vain kaksi kertaa. Se päätettiin jättää polttoaineen kulutusmittauksien ja työaikaseurannan ulkopuolelle, jottei mahdollinen mittausvirhe sotkisi keskimääräisen polttoaineenkulutuksen laskentaa. Tämän rehuerän tekemiseen arvioitiin kuitenkin noudattavan samaa kulutusta kuin lypsylehmien rehun, ja kustannusten laskennassa se huomioitiin lisäämällä keskimääräiseen työaikaan 0,2 h.

Pienkuormaajan päivittäinen polttoaineenkulutus selvitettiin kahdeksan päivän keskiarvona. Mittausjakson alkupuolella tehdyn tankkauksen yhteydessä kirjattiin kanisterissa olevan polttoaineen määrä, ja verrattiin sitä jakson lopulla jäljellä olevaan polttoainemäärään.

Rehunsiirtäjän energiankulutus on valmistajan mukaan noin 100 kWh vuodessa (Lely, 2019). Tätä arviota käytettiin, koska todellista kulutusta ei pystytty varmistamaan. Rehunsiirtäjästä aiheutuva energiankulutus pidettiin tavanomaisen järjestelmän kustannuksissa mukana, sillä vaihtoehtoista työaika ja polttoainekustannusta rehunsiirtelylle olisi ollut vaikea ennustaa.

#### 4.2.2 Automaattisen ruokintajärjestelmän energiankulutus ja työaika

Automaattiseen ruokintajärjestelmään oletettiin kuuluvan sähkökäyttöinen ruokintalaitteisto ja rehujen välivarasto, jota täytetään traktorilla tai kurottajalla. Automaattisen ruokinnan sähkön kulutusta arvioitiin kirjallisuuden avulla. Eräässä tutkimuksessa se oli 29,6 kWh/eläin/vuosi (Tangorra & Calcante, 2017). Toisessa tutkimuksessa puoliksi automatisoitujen järjestelmien sähkön kulutus oli 21,4 – 70,6 kWh/eläin/vuosi ja automaattisen 83,5 kWh/eläin/vuosi (Oberschätzl ym. 2015). Näistä tulosten keskiarvo on 51,3 kWh/eläin/vuosi, josta laskettuna vuotuinen energiankulutus 163 eläimelle on 8357,8 kWh. Tästä saatiin päivittäinen energiankulutus 22,9 kWh.

Rehuvaraston täyttämiseen kuluvan työajan arvioitiin olevan noin 50 minuuttia päivässä. Arvio perustui keskustelulle kahden automaattista ruokintajärjestelmää käyttävän viljelijän kanssa. Heidän mukaansa aikaa kuluu enimmillään tunti, ja yleensä noin 40 minuuttia. Asiasta saatiin myös käytännön kokemusta, kun seosrehuvaunun jyrsin oli rikki, ja sitä jouduttiin täyttämään traktorilla. Tällöin aikaa kului täyttämiseen noin 30 minuuttia, kun vaunu oli rehusiilojen vieressä. Rehuvarastoa täytettäessä ajettava matka olisi pidempi, jolloin 30 minuuttia ei riittäisi päivittäiseen työhön. Traktorin etukuormaimella työskentely on yleensä kevyeksi luokiteltavaa työtä (Turunen, 2013). Tutkimuksessa oletettiin lastaavan traktorin polttoaineen kulutukseksi 8 l/h. Tämän suuruisen kulutus on teholtaan noin 120 kW traktorilla, kun kuormitus on kevyttä (ÖKL, 2019).

#### 4.3 Järjestelmien elinkaarikustannukset

Ruokintajärjestelmien elinkaarikustannuksia verrattiin toisiinsa käyttäen avuksi ASABE:n standardia (2015) maataloustyökoneiden hallinnasta. Kyseisessä standardissa laitteesta tai järjestelmästä sen elinkaaren aikana aiheutuneet kustannukset jaetaan omistamisesta johtuviin kustannuksiin ja käyttökustannuksiin. Omistamisesta johtuvia kustannuksia ovat pääomakustannukset, verot ja vakuutukset. Järjestelmän omistamisesta johtuville vuotuisille kustannuksille laskettiin kerroin standardin osoittamalla tavalla (Kaava 1).

$$C_0 = 100 \left[ \frac{1-S_v}{L} + \frac{1-S_v}{2} i + K_2 \right], \quad (1)$$

jossa

$C_0$  = pääomakustannusten osuus investoinnin ostohinnasta, desimaaliluku

$S_v$  = jäännösarvo laitteen käyttöiän lopussa, desimaalilukuna

$L$  = laitteen käyttöikä, vuosina

$i$  = vuotuinen korkotaso, desimaalilukuna

$K_2$  = verojen, ylläpidon ja vakuutusten osuus ostohinnasta, desimaalilukuna

Jäännösarvoksi oletettiin molemmille järjestelmille 10 % laitteiston investointiarvosta, mitä on käytetty kirjallisuudessa (Lubbe & Archer, 2013). Laitteistojen käyttöiästä ei ollut saatavilla kunnollista kirjallisuusarviota, joten sen oletettiin olevan kahdeksan vuotta molemmilla järjestelmillä. Korkotasoksi asetettiin 5 %. Verojen, ylläpidon ja vakuutusten osuutena käytettiin ASABE:n standardin (2015) mukaista 2 %.

Vuotuisten käyttökustannusten laskennassa oletettiin polttoöljyn hinnaksi 0,81 €/litra, mikä on tilalla toteutunut arvonlisäveroton hinta keväältä 2019. Bensiinin hinta oli laskentahetkellä 1,55 €/litra. Sähkön hinta, 10,17 snt/kWh, laskettiin maaliskuun 2019 sähkölaskusta, ja siinä on mukana arvonlisäveroton osuus siirtohinnasta. Huoltokustannuksina huomioitiin 60 % investoinnin arvosta (Lubbe & Archer, 2013), ja ne jaettiin käyttövuosille. Työvoimakustannuksena käytettiin tilan työntekijöiden keskimääräistä tuntipalkkaa 9 €/h.

Järjestelmien kannattavuutta tarkasteltiin laskemalla sellainen investointikustannusten välinen ero, jolla järjestelmien vuotuiset kokonaiskustannukset elinkaaren aikana ovat samat. Näin saatiin selville, minkä suuruisen hintaeron järjestelmien välillä erilaiset käyttökustannukset mahdollistavat. Tarkasteluun päädyttiin, koska todellisia investointikustannuksia oli todella vaikea selvittää. Laskenta toteutettiin taulukkolaskentaohjelma Excelin tavoitteenhaku- toiminnolla.

#### 4.4 Herkkyysanalyysi

Järjestelmien käyttökustannusten muutoksen vaikutusta kannattavuuteen arvioitiin herkkyysanalyysillä. Käytännössä laskettiin, miten sähkökulutuksen muutos automaattijärjestelmällä tai polttoaineenkulutuksen muutos tavanomaisella järjestelmällä vaikuttaa investointikustannuksien eroon. Samalla tavalla laskettiin sähkön hinnan ja polttoaineen hinnan vaihtelun vaikutukset.

Herkkyysanalyysia varten määritettiin muuttujille vaihteluvälit (Taulukko 2). Seosrehuvaunun polttoaineenkulutuksen vaihteluväliksi otettiin tutkimuksen aikana havaittu vaihtelu. Sähkökulutuksen vaihteluvälinä käytettiin alinta (21,4 kWh/eläin/vuosi) (Oberschätzl ym. 2015) ja ylintä (91,7 kWh/eläin/vuosi) (Hörndahl, 2008) tutkimuksissa todettua arvoa sähkökäyttöiselle automaattijärjestelmälle. Polttoöljyn veroton hinta on vuodesta 2008 vuoteen 2019 vaihdellut välillä 0,4-0,97 €/l (Tilastokeskus, 2018), mitä käytettiin pohjana analyysille. Sähköenergian hinnalle vastaava vaihteluväli valittiin vuoden 2018 sähkön keskihinnosta, keskisuuren teollisuuden 0,08 €/kWh ollessa alaraja ja kerrostaloasunnon 0,2 €/kWh ollessa yläraja (Tilastokeskus, 2018).

Taulukko 2. Käyttökustannusten laskennassa käytetyt arvot tavanomaiselle (1) ja automaattiselle (2) ruokintajärjestelmälle, sekä herkkyysanalyysin vaihteluvälit neljälle muuttujalle (3)

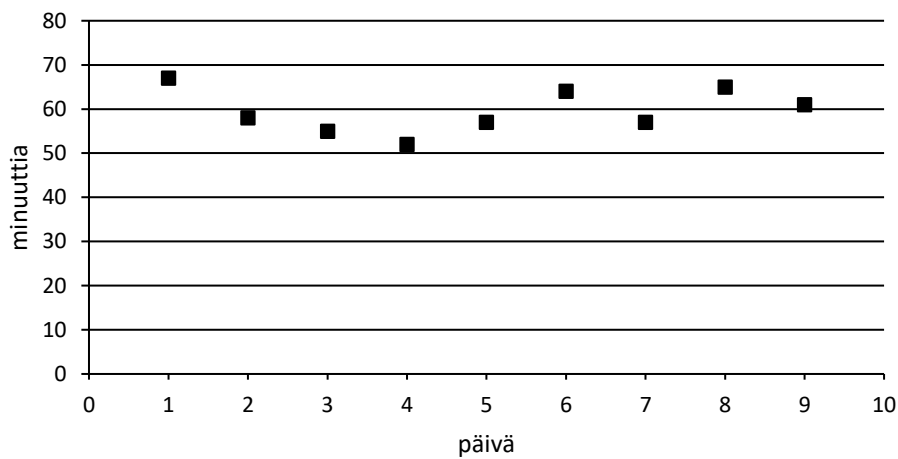
	Yksikkö	1	2	3
Polttoöljyn kulutus	l/h	21,00	8,00	17,00 – 29,00*
Polttoöljyn hinta	€/l	0,81	0,81	0,40 – 0,97
Bensiinin kulutus	l/h	1,00	-	-
Bensiinin hinta	€/l	1,55	-	-
Sähkön kulutus	kWh/vrk	0,28	22,90	21,4 – 91,7**
Sähkön hinta	€/kWh	0,10	0,10	0,08 – 0,20
Työaika päivässä	h	1,20	0,80	
Työn hinta	€/h	9,00	9,00	

\*Tavanomainen järjestelmä, \*\*automaattinen järjestelmä

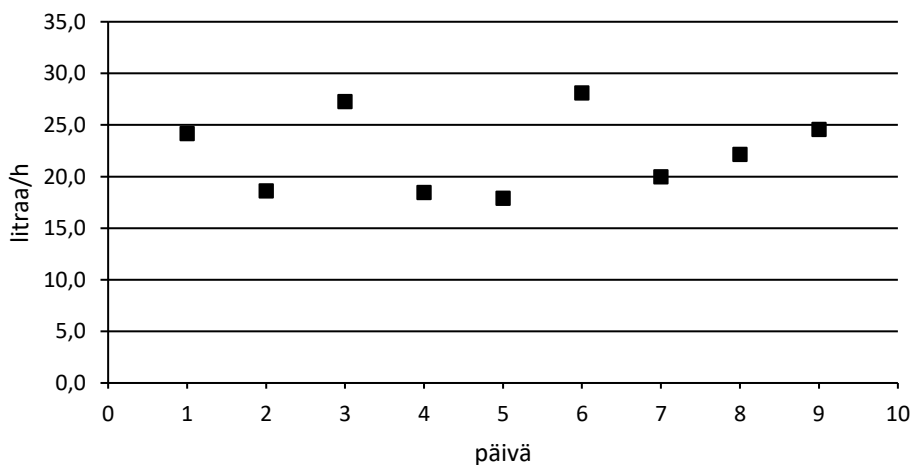
## 5 TULOKSET

### 5.1 Ruokintajärjestelmien käyttökustannukset

Seosrehuerän valmistukseen ja jakamiseen kului aikaa keskimäärin 60 minuuttia päivässä. Aika vaihteli 52 ja 67 minuutin välillä (Kuva 7). Keskimääräinen polttoaineenkulutus oli 21,7 litraa/tunti ja 2,5 litraa/rehutonni. Polttoaineenkulutus vaihteli välillä 17,9 – 28,1 litraa/tunti (Kuva 8). Pienkuormaajan polttoaineenkulutus oli yksi litra päivässä. Yhteensä tilan nykyisen ruokintajärjestelmän käyttökustannukset olivat 11968 €.



Kuva 7. Lypsylehmien seosrehuerän tekemiseen kulunut aika päivässä mittausjaksolla



Kuva 8. Seosrehuvaunun päivittäinen polttoaineenkulutus lypsylehmien seoksen valmistuksessa mittausjaksolla

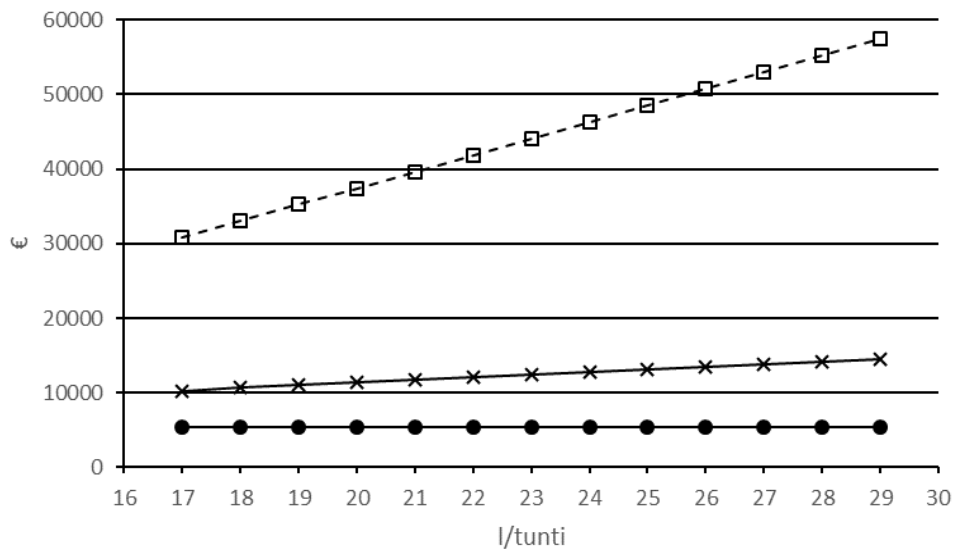
Tilan nykyisen ruokintajärjestelmän käyttökustannukset olivat yhteensä 11968 €/vuosi, ja automaattisen järjestelmän kustannukset 5356 €/vuosi (Taulukko 3). Nykyisen järjestelmän kustannukset olivat 6612 € suuremmat.

Taulukko 3. Nykyisen ruokintajärjestelmän (1) ja automaattisen järjestelmän (2) vuotuiset käyttökustannukset (€)

Kustannuslähde	1	2
Polttoaine	8016	1892
Sähkö	10	836
Työvoima	3942	2628
Yhteensä	11968	5356

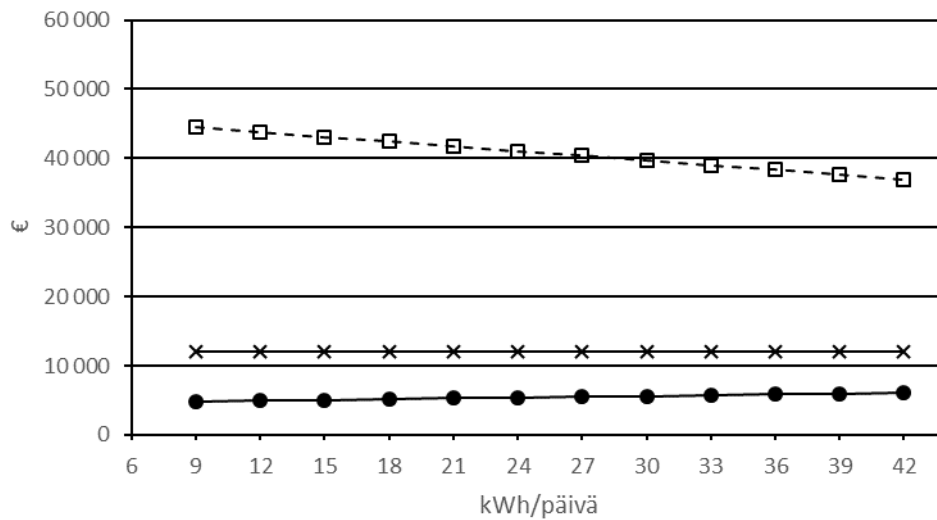
## 5.2 Järjestelmien kannattavuus ja herkkyysanalyysi

Automaattisen ja tavanomaisen järjestelmän investointikustannusten välinen ero oli 41 327 € vuotuisten kokonaiskustannusten ollessa samat. Tavanomaisen järjestelmän polttoaineenkulutuksen muuttuessa 17 – 29 l/h vuotuiset käyttökustannukset nousivat 4257 €. Tällöin automaattisen järjestelmän investointikustannus voi pienimmillään olla 30 769 € ja suurimmillaan 57 378 € suurempi kuin tavanomaisen järjestelmän (Kuva 9).



Kuva 9. Seosrehuvaunun polttoaineenkulutuksen (l/h) vaikutus järjestelmän käyttökustannuksiin ja investointien väliseen kannattavuuteen (€). -x- tavanomaisen seosrehujärjestelmän käyttökustannukset, -●- automaattisen seosrehujärjestelmän käyttökustannukset, --□-- investointikustannusten välinen ero, kun vuotuiset kokonaiskustannukset ovat samat.

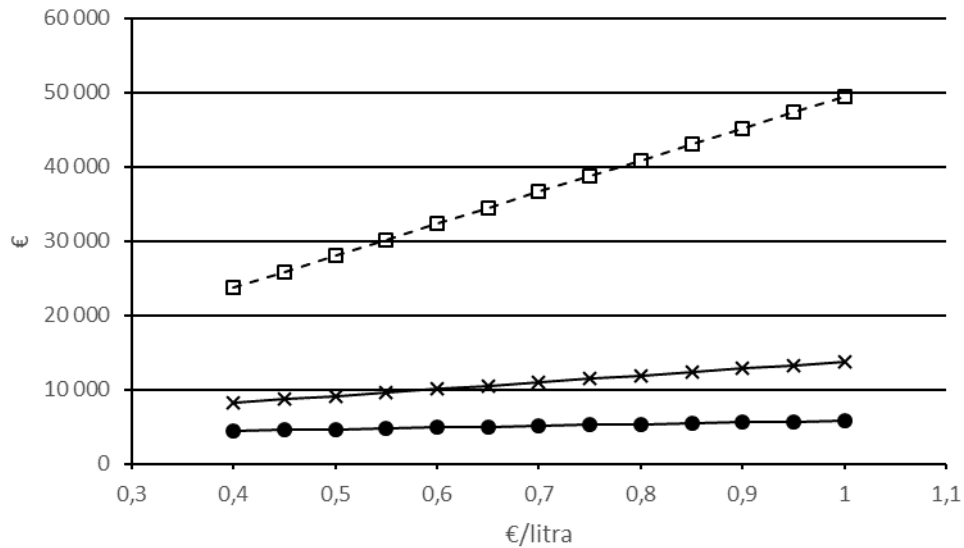
Automaattisen järjestelmän sähkönkulutuksen muuttuessa 9- 42 kWh/päivä järjestelmän vuotuiset käyttökustannukset nousivat 1205 €. Tällöin automaattisen järjestelmän investointikustannus voi pienimmillään olla 36 971 ja enimmillään 44 496 € suurempi kuin tavanomaisen järjestelmän (Kuva 10).



Kuva 10. Automaattisen ruokintajärjestelmän sähkönkulutuksen (kWh/päivä) vaikutus järjestelmän käyttökustannuksiin ja investointien väliseen kannattavuuteen (€). -x- tavanomaisen seosrehujärjestelmän käyttökustannukset, -●- automaattisen seosrehujärjestelmän käyttökustannukset, --□-- investointikustannusten välinen ero, kun vuotuiset kokonaiskustannukset ovat samat.

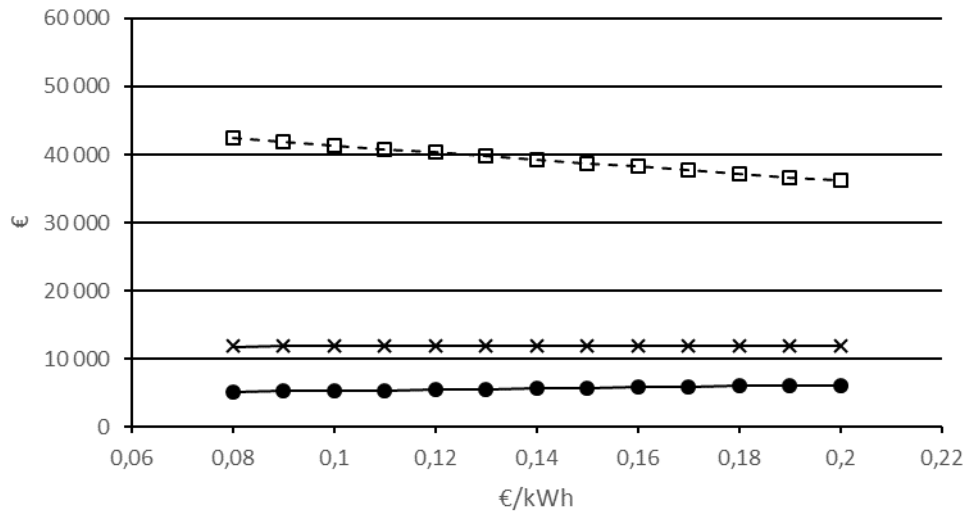


Polttoaineen hinnan muuttuessa 0,4 – 1 €/litra tavanomaisen ruokintajärjestelmän käyttökustannukset nousivat 5519 € ja automaattisen järjestelmän 1402 €. Tällöin automaattisen järjestelmän investointikustannus voi pienimmillään olla 23 745 € ja suurimmillaan 49 475 € suurempi kuin tavanomaisen järjestelmän (Kuva 11).



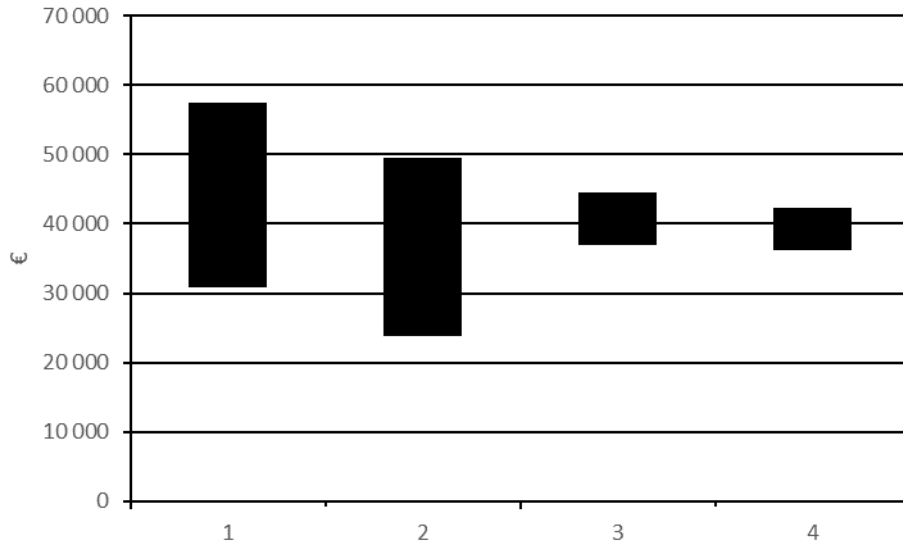
Kuva 11. Polttoaineen hinnan (€/litra) vaikutus järjestelmien käyttökustannuksiin ja investointien väliseen kannattavuuteen (€). -x- tavanomaisen seosrehujärjestelmän käyttökustannukset, -●- automaattisen seosrehujärjestelmän käyttökustannukset, --□-- investointikustannusten välinen ero, kun vuotuiset kokonaiskustannukset ovat samat.

Sähkön hinnan muuttuessa 0,08 – 0,2 €/kWh tavanomaisen ruokintajärjestelmän käyttökustannukset nousivat 12 € ja automaattisen ruokintajärjestelmän käyttökustannukset 1003 €. Tällöin automaattisen järjestelmän investointikustannus voi pienimmillään olla 36 166 € ja suurimmillaan 42 358 € suurempi kuin tavanomaisen järjestelmän (Kuva 12).



Kuva 12. Sähkön hinnan (€/kWh) vaikutus järjestelmien käyttökustannuksiin ja investointien väliseen kannattavuuteen (€). -x- tavanomaisen seosrehujärjestelmän käyttökustannukset, -●- automaattisen seosrehujärjestelmän käyttökustannukset, --□-- investointikustannusten välinen ero, kun vuotuiset kokonaiskustannukset ovat samat.

Yksittäisistä vaihtelevista muuttujista (Taulukko 2) järjestelmien väliseen kannattavuuteen vaikutti eniten tavanomaisen järjestelmän polttoaineen kulutus. Lähes yhtä iso vaikutus oli polttoöljyn hinnalla. Sähkön hinta ja kulutus vaikuttivat kannattavuuteen selkeästi vähemmän (Kuva 13).



Kuva 13. Polttoöljyn kulutuksen (1), polttoöljyn hinnan (2), sähkön kulutuksen (3) ja sähkön hinnan (4) vaikutus ruokintajärjestelmien väliseen kannattavuuteen. Pystyakselilla on sellainen investointikustannusten ero, jolla järjestelmien vuotuiset kokonaiskustannukset ovat samat.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Ruokintajärjestelmien käyttökustannukset

Tutkimuksessa havaittu seosrehuvaunun keskimääräinen polttoaineenkulutus 21,7 l/tunti on selvästi suurempi kuin mitä Vegricht ym. (2007) raportoivat hinattavien vaujien kulutuksesta. Heidän tutkimuksessaan suurin keskimääräinen kulutus oli 15,3 l/tunti. Eroa voidaan selittää sillä, että Vegricht ym. vakioivat esimerkiksi voimanlähteenä toimivan traktorin kierrosluvun. Tutkimuksen seosrehuvaunut olivat myös huomattavasti pienempiä tilavuudeltaan, ja kaikki hinattavia. On vaikea arvioida, kuinka paljon ajettavan seosrehuvaunun jyrsin lisää kulutusta verrattuna hinattavaan vaunuun. Tässä tutkimuksessa ei pyritty saamaan jokaisesta valmistuskerrasta samanlaista, jotta

tilan käytännöistä ja kuljettajan toiminnasta johtuva vaihtelu saataisiin kulutukseen mukaan. Tilalla ruokintaa oli tekemässä kolme eri työntekijää, ja kulutuksen suuri vaihtelu 17,9 – 28,1 l/h selittyikin osaltaan erilaisilla koneenkäyttötavoilla. Tutkimuksen aikana rehuerän sekoitusaika lastauksen jälkeen pyrittiin pitämään 15 minuutissa, mikä todettiin riittävän hyvään sekoittumiseen. Tutkimuksessa myös oletettiin, että vaunun sekoitusaika on sama, kuin ruokintaan käytetty työaika. Jokin navetassa tapahtuva häiriötekijä voi kuitenkin helposti pidentää sekoitusaikaa, mikä nostaa päivittäistä polttoainekulutusta.

Vuotuiset käyttökustannukset tilan nykyisellä järjestelmällä olivat yli kaksinkertaiset verrattuna vastaavalle eläinmäärälle arvioidun automaattisen järjestelmän kustannuksiin. Pezzuolo ym. (2016) raportoivat hieman pienemmältä tilalta eron olevan noin 1,5-kertainen. Toisaalta suuremmalla tilalla kustannusero voi olla jopa kymmenkertainen (Tangorra & Calcante, 2017). Käyttökustannusten määrittäminen automaattiselle järjestelmälle oli tutkimuksen suurin epävarmuustekijä, sillä sähkön kulutusta pystyttiin arvioimaan vain kirjallisuuden perusteella. Todellinen kulutus on laitteistokohtainen, ja tässä tutkimuksessa epävarmuuden merkitystä arviotiin herkkyysanalyysin avulla.

## 6.2 Ruokintajärjestelmien kannattavuus

Tilan nykyisen ruokintajärjestelmän ja vastaavan automaattisen ruokintajärjestelmän väliset käyttökustannuserot mahdollistaisivat tulosten perusteella sen, että automaattinen järjestelmä voisi investointikustannuksiltaan olla noin 41 300 € kalliimpi kuin tavanomainen. Tällöin vuotuiset kokonaiskustannukset, eli yhteenlasketut omistus- ja käyttökustannukset olisivat samat, ja investoinnit yhtä kannattavia. Tilalla käytössä olevan seosrehuvaunun veroton hinta on vuonna 2012 ollut noin 142 200 €. Vuonna 2018 suoritetussa tutkimuksessa mainittiin automaattisen ruokintajärjestelmän hinnaksi 130 000 – 135 000 €, johon lisäksi rehukeittiö (Partanen, 2018). Yhteensä järjestelmille oli tullut hinnaksi 190 000- 195 000 €, vuosina 2014 ja 2015. Näillä hinnoilla järjestelmien kannattavuus olisi suunnilleen sama, kun tavanomaisessa järjestelmässä otetaan huomioon rehunsiirotäjä-robotti. Hinnat ovat tästä kuitenkin voineet nousta.

Jos tavanomaisena järjestelmänä käytettäisiin hinattavaa seosrehuvaunua, pitäisi sitä varten hankkia traktori. Traktorilta vaadittava teho on  $24 \text{ m}^3$  vaunussa noin 160 hv (Seko Tiger series), ja tämän kokoluokan uusien traktoreiden hintaluokka 100 000 € molemmin puolin (Koneviesti, konevertailu). Uuden hinattavan vaunun ovh-hinta on erään valmistajan mukaan noin 50 000 €. Uuden traktorin kanssa hinattavan vaunun hinta nousee niin korkeaksi, että on vaikea ennustaa, kumpi järjestelmästä on kannattavampi. Kannattavin ratkaisu voisikin tässä oletetuilla lähtötiedoilla olla vähän käytetyn traktorin hankkiminen uuden seosrehuvaunun kanssa, jolloin järjestelmän hankintakustannus on edullisempi, mutta käyttöikä ei vielä merkittävästi lyhene.

Laskelman suurin heikkous oli, ettei se huomionnut järjestelmien todellista käyttöikää. Esimerkiksi seosrehurobotit ovat olleen markkinoilla niin vähän aikaa, ettei niiden taloudellisesta käyttöiästä ole tutkimustietoa. Vuodenkin muutos järjestelmän käyttöiässä muuttaa vuotuisia kustannuksia merkittävästi, ja siten vaikuttaa kannattavuuteen. Lisäksi on huomioitava, että automaattiseen järjestelmään kuuluu rehujen välivarasto, jonka käyttöikä on laitteiston ikää huomattavasti pidempi. Sen hinta voi olla merkittävä osa koko järjestelmän hinnasta (Partanen, 2018), ja jos käyttöikä huomioitaisiin todennukaisesti, järjestelmän vuotuiset kustannukset pienenisivät.

Tutkimuksessa ei voitu ottaa huomioon kannattavuuteen välillisesti vaikuttavia tekijöitä, joista yksi on lehmien hyvinvointi. Automaattisen järjestelmän mahdollistama tiheämpi ruokinta voi ehkäistä pötsin happamoitumista (Shaver, 2002), ja parantaa lauman hierarkiassa alimpana olevien lehmien ruokailumahdollisuuksia (DeVries ym. 2005). Eläinten hyvinvoinnin voidaan ajatella näkyvän esimerkiksi hoitokuluissa, ja mahdollisesti myös maitotuotoksessa. Tästä ei kuitenkaan ole kunnollista tutkimusnäyttöä.

Toinen tekijä on rehun tasalaatuisuus ja rehuhävikki. Automaattinen järjestelmä tekee useita pienempiä seoseriä, kun taas tavanomaisessa tehdään yleensä yksi tai kaksi isompaa erää. Yksi suurempi inhimillinen virhe seosta tehdessä vaikuttaa tavanomaisella järjestelmällä isoon rehumäärään, jolloin seoksen laadun vaihtelu voi olla päivien välillä suurta. Automaattijärjestelmällä mahdolliset poikkeamat ovat todennäköisemmin systemaattisia, ja laadun vaihtelu pienempää. Tämä on kuitenkin vain arvio, ja vaatisi

kunnollista tutkimusta. Aiemmin on todettu, että useampi ruokintakerta vähentää lehmien tekemää rehun lajittelua ruokintapöydällä (DeVries ym. 2005 ja Sova ym. 2013). Tällöin rehu tulee todennäköisesti tarkemmin syötyä, ja sitä menee vähemmän hukkaan. Rehut ovat osa ruokinnan kustannuksia (Seppälä ym. 2006), ja siksi hävikkirehu vähentää ruokinnan kannattavuutta. Tutkimuksen kohteena olevalla tilalla hävikkirehun määrä on vähäistä, mikä johtuu osittain rehunsiirtäjästä ja osittain siitä, että nuorkarjalle syötetään lähes kaikki lehmiltä ylijäänyt rehu. Järjestelmäkohtainen rehuhävikki olisikin mielenkiintoinen kohde lisätutkimukselle.

### 6.3 Herkkyysanalyysi

Seosrehuvaunun polttoaineenkulutus oli selkeästi suurin käyttökustannuksiin ja kannattavuuteen vaikuttava yksittäinen tekijä. Yhden litran virhe keskikulutuksen mittaamisessa tarkoittaisi noin 355 € virhettä vuotuisissa käyttökustannuksissa. Polttoaineenkulutuksen mittausjakso olisi saanut olla pidempi, jotta järjestelmän keskimääräinen kulutus olisi saatu tarkemmaksi. Korkeimmalla mitatulla kulutuksella tavanomainen järjestelmä on karkeasti laskettuna kannattava, jos se on yli 57 000 € halvempi kuin automaattinen järjestelmä. Jos sekoituksen pystyy tekemään tehokkaasti, ilman joutokäyntiä ja vaunua oikealla tavalla kuormittamalla, nousee tavanomaisen järjestelmän kannattavuus merkittävästi. Tällöin, matalimmalla mitatulla kulutuksella, investointikustannusten ero voi olla vain 30 700 €.

Polttoöljyn hinta oli toinen tekijä, jolla oli merkittävää vaikutusta järjestelmien kustannuksiin ja kannattavuuteen. Vuodesta 2008 toteutunut kevyen polttoöljyn kuluttajahinnan vaihtelu näkyi yli 5500 € muutoksena tavanomaisen järjestelmän vuotuisissa käyttökustannuksissa, ja vastaavasti noin 1400 € muutoksena automaattisen järjestelmän kustannuksissa. Ero selittyy sillä, että automaattisen järjestelmän traktorilla tehtävä rehujen siirto ei kuluta kovin paljon polttoainetta. Alimmalla hinnalla investointikustannusten ero oli vain 23 700 € ja ylimmällä hinnalla lähes 49 500 €. Polttoöljyn matala hinta voi siis tutkituilla vaihteluväleillä laskea eniten automaattisen järjestelmän kannattavuutta.

Automaattisen järjestelmän sähkönkulutus ei ollut niin merkittävä kustannuksiin vaikuttava tekijä kuin polttoaineen kulutus. Kirjallisuudessa raportoitu suurin sähkönkulutuksen arvo (Hörndahl, 2008) oli yli neljä kertaa suurempi kuin pienin arvo (Oberschätzl ym. 2015). Isosta erosta huolimatta näiden ääripäiden väliset kustannuserot olivat vain 1205 € vuodessa. Tällainen muutos tulisi jo 3,5 l keskimääräisen polttoaineenkulutuksen nousulla. Tutkimuksen epävarmuus juuri sähkönkulutuksen suhteen ei siis ollut ratkaisevaa tulosten kannalta. Pienen kustannusvaikutuksen takia sähkönkulutuksella ei ole myöskään järjestelmän kannattavuudelle niin suurta merkitystä kuin polttoaineen kulutuksella.

Myöskään sähkön hinnalla ei ollut kovin suurta vaikutusta. Tavanomaisen järjestelmän kustannukset nousivat vain 12 €. Tämä johtui siitä, että järjestelmän ainoa sähkökäyttöinen laite oli rehunsiirtäjä, ja sen sähkönkulutus arvioitiin melko pieneksi. Automaattiseen järjestelmäänkin vaikutus oli vain 1003 €. Analyysin yläraja sähkön hinnalle oli kerrostaloasuntojen hintaluokkaa. Käytännössä maatilasähkön hinta on reilusti tätä tasoa alempi, ja siihen noustakseen hinnan pitäisi kaksinkertaistua nykyisestä. Sähkönkulutuksen tai hinnan noustessa automaattisen järjestelmän kannattavuus laskee tavanomaiseen verrattuna, mutta erot eivät ole niin suuria kuin polttoaineen kulutuksen tai hinnan muuttuessa.

Analyysissa tarkasteltiin muuttujien vaikutuksia yksi kerrallaan. Kulutuksen vaihtuessa pidettiin hinta, ja hinnan vaihtuessa kulutus vakiotasolla. Tilanteet, joissa sekä kulutus, että hinta laskevat tai nousevat, jäivät tarkastelun ulkopuolelle. Tällainen tilanne voi kuitenkin olla käytännössä, ja esimerkiksi sähkön hinnan noustessa voi matalalla polttoaineenkulutuksella selviävä tila olla tilanteessa, jossa automaattisen järjestelmän kannattavuus on heikko. Toisaalta sen kannattavuus nousee reilusti, jos polttoaineen hinta nousee nykyisestä, ja sitä kuluu tilalla paljon.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voiko automaattinen seosrehuruokinta olla taloudellisesti kannattava vaihtoehto lypsykarjatilän ruokintajärjestelmäksi Suomessa. Tutkimuksen kohteena olevalla tilalla on noin 160 lypsylehmää. Tulosten perusteella tämän kokoisella tilalla automaattisen järjestelmän vuotuiset työvoima- ja energiakustannukset jäävät alle puoleen tavanomaisen järjestelmän kustannuksista. Tällainen ero johtaa siihen, että automaattinen järjestelmä voi olla kannattava, jos se ei ole enempää kuin 41 300 € kalliimpi kuin tavanomainen järjestelmä, ja järjestelmien käyttöikä on sama.

Järjestelmien kannattavuuteen vaikuttavista muuttujista eniten todettiin olevan merkitystä tavanomaisen järjestelmän polttoaineenkulutuksella ja polttoöljyn hinnalla. Polttoöljyn hinnan aleneminen heikentäisi sähkölle perustuvan automaattisen järjestelmän kannattavuutta vertailussa tavanomaiseen. Hinnan nousu tai seosrehuvaunun korkea polttoaineen kulutus toisaalta parantavat sitä merkittävästi. Polttoaineen kulutukseen vaikuttavat sekä käytetyt laitteet, että niiden käyttötapa.

Tuloksista voidaan päätellä, että tämän kokoisilla tiloilla automaation kannattavuus vaihtoehtona riippuu paljon tilan olosuhteista ja esimerkiksi koneiden käyttäjistä. Suuremmilla tiloilla käyttökustannusten erot näkyisivät selvemmin parempana kannattavuutena. Automaattinen järjestelmä voi kuitenkin hyödyntää uusiutuvaa energiaa, kuten aurinko- ja tuulisähköä, jotka ovat maatilakäytössä kasvavan kiinnostuksen kohteena. Nykyinen keskustelu fossiilisten polttoaineiden ympärillä viittaa siihen, että tulevaisuudessa polttoöljyn hinta ei myöskään alene. Näiden seikkojen ja tämän tutkimuksen valossa automaattinen seosrehuruokinta on varteenotettava vaihtoehto tavanomaiselle myös tutkittavan tilan kokoluokassa.



## 8 LÄHTEET

- ASABE Standards. 2015. ASAE EP496.3. Agricultural machinery management. St. Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers. 13 s.
- Belle, Z., Andre', G. & Pompe, J.C.A.M. 2012. Effect of automatic feeding of total mixed rations on the diurnal visiting pattern of dairy cows to an automatic milking system. *Biosystem engineering* 111: 33-39
- Calamari, L., Petrera, E., Stefanini, L. & Abeni, F. 2013. Effects of different feeding time and frequency on metabolic conditions and milk production in heat-stressed dairy cows. *International Journal of Biometeorology* 57: 785-796
- Coppock, C. E. 1977. Feeding methods and grouping systems. *Journal of Dairy Science* 60: 1327-1336
- DeVries, T. J. & von Keyserlingk, M. A. G. 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *Journal of dairy science* 88: 625-631
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G. & Beauchemin, K. A. 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of dairy science* 88: 3553-3562
- Eerola, K. 2006. Seosrehuruokinta ja siinä käytettävät yleisimmät koneketjut Suomessa. Opinnäytetyö. Hamk. 46 s.
- EUROSTAT 2019. Dairy cows: number of farms and heads and fodder crops by agricultural size of farm (UAA) and size of dairy herd.  
<https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>. Viitattu 7.2.2019
- Haidn B. 2014. Automatisches Füttern bei Milchkühen -Verfahrenstechnik, Arbeitswirtschaft und Kosten. Teoksessa: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (toim.) Automatisches Füttern im rinderhaltenden Betrieb. Freising, Saksa: Institut für Landtechnik und Tierhaltung. s. 7-20.  
[https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/tagung\\_automatisches\\_fuettern\\_062327.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/tagung_automatisches_fuettern_062327.pdf). Viitattu. 15.2.2019
- Hart, K. D., McBride, B. W., Duffield, T. F. & DeVries T. J. 2014. Effect of frequency of feed delivery on the behavior and productivity of lactating dairy cows. *Journal of dairy science* 97: 1713-1724

- Hartikainen, M. 2012. Ruokintalaitteiden toimivuus ja toiminnallisuus nykyaikaisilla nautakarjatiljoilla. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012061812848>. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Viitattu 26.4.2019
- Hörndahl, T. 2008. Energy use in farm buildings – a study of 16 farms with different enterprises. Revised and translated second edition. Swedish university of agricultural Sciences. Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Sciences. Report 2008:8
- Ilmatieteenlaitoksen havaintoja. 2019. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>. Ladattu 15.4.2019
- Karttunen, J. 2019. Automaatiotekniikan nykytila ja tulevaisuudennäkymät maataloustuotannossa. TTS:n julkaisu 438. Nurmijärvi: Työtehoseura ry. 80 s.
- Karttunen, J. & Peltonen, M. 2002. Karkearehun jakomenetelmien fyysinen kuormittavuus, työturvallisuus ja taloudellinen kannattavuus. <https://journal.fi/smst/article/view/76379>. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 18. Suomen maataloustieteellinen seura ry. Viitattu 27.4.2019
- Koneviesti. 2019. Traktoreiden tekniset tiedot, hinnat ja vertailu - KV Konevertailu. <https://www.koneviesti.fi/konevertailu/traktorit>. Viitattu 24.4.2019
- Lely. 2019. Automaattinen rehunsiiro. <http://nhk.fi/tks/75/ruokintalaitteet.html>. Nhk-Dairy Oy, Hämeenlinna. Viitattu 27.4.2019
- Ludington, D. & Johnson, E. 2003. Dairy farm energy audit summary. New York State energy research and development authority. <https://www.nyserda.ny.gov/-/media/Files/Publications/Research/Energy-Audit-Reports/dairy-farm-energy.pdf>. Viitattu 5.2.2019
- Lubbe P.A. & Archer C. G. 2013. Guide to machinery cost 2013/14. Department of agriculture, forestry and fisheries. Pretoria, South Africa
- Lätti, M. & Hartikainen, M. 2013. Ruokintalaitteiden toimintavarmuus suurilla nautakarjatiljoilla. TTS:n tiedote 4/2013. Nurmijärvi: Työtehoseura ry. 12 s
- Mattachini, G., Bava, L., Sandrucci, A., Tamburini, A., Riva, E. & Provolo, G. 2017. Effects of feed delivery frequency in different environmental conditions on time budget of lactating dairy cows. Journal of dairy research 84: 272-279

- Mattachini, G., Riva, E., Pompe, J. C. A. M. & Provolo, G. 2015. Automatic monitoring of cow behavior to assess the effects of variations in feed delivering frequency. (7<sup>th</sup> European conference on precision livestock farming, 15.-18.9. Milan, Italy): 473-481
- Mäntysaari, P., Khalili, H. & Sariola, J. 2006. Effect of Feeding Frequency of a Total Mixed Ration on the Performance of High-Yielding Dairy Cows. *Journal of dairy science* 89: 4312-4320
- Muller, L. D., Schaffer, L. V., Ham, L. C., & Owens, M. J. 1977. Cafeteria style free-choice mineral feeder for lactating dairy cows. *Journal of dairy science* 60: 1574-1582
- Neuman, L. 2009. Kartläggning av energianvändning på lantbruket 2008. LRF Konsultat AB. <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/451.pdf>. Viitattu 5.2.2019
- Oberschätzl, R. & Haidn, B. 2014. Automatic Feeding Systems for Cattle. [https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt\\_398\\_e.pdf](https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_398_e.pdf). DLG Expert knowledge series 398.
- Oberschätzl, R., Haidn, B., Neiber, J. & Nesar, S. 2015. Automatic feeding systems for cattle – A study of the energy consumption of the techniques. (XXXVI CIOSTA CIGR V Conference 2015, 26.-28.4. Pietari, Venäjä). 9 s.
- Oberschätzl-kopp R., Haidn B., Peis R., Reiter K. & Bernhardt H. 2016. Effects of an automatic feeding system with dynamic feed delivery times on the behaviour of dairy cows. (CIGR-AgEng Conference 2016, 26. – 29.4. Aarhus, Denmark). 8 s.
- Partanen, M. 2018. Seosrehuruokintajärjestelmän vaikutus energiankulutukseen ja kustannuksiin. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018053011106>. Opinnäytetyö. Savonia – ammattikorkeakoulu. Viitattu 20.4.2019.
- Pezzuolo, A., Chiumenti, A., Sartori, L. & Da Borso, F. 2016. Automatic feeding system: Evaluation of energy consumption and labour requirement in North-East Italy dairy farm. *Engineering for rural development (15th International Scientific Conference, 25-27.05.2016 Jelgava, Latvia)*: 882-887
- Rajaniemi, M., Turunen, M. & Ahokas, J. 2015. Direct energy consumption and saving possibilities in milk production. *Agronomy Research* 13:261-268

- Salins, A., Freimanis, M., Truhanovs, R. & Priekulis, J. 2012. The most efficient solutions of forage distribution on modern dairy cow farms. (International Scientific Conference, Biosystems Engineering, 10.-11.5.2012 Tartu, Viro): (1): 219-226
- Schingoethe, David J. 2017. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 100: 10143-10150
- Seko Tiger series- esite. [https://www.turunkonekeskus.fi/media/tiedostot/esitteet/tiger\\_seko\\_ing\\_72dpi\\_2007.pdf](https://www.turunkonekeskus.fi/media/tiedostot/esitteet/tiger_seko_ing_72dpi_2007.pdf). Seko S.p.A. Curtaloro, Italia. Viitattu 24.4.2019
- Seppälä, R. A., Sipiläinen, T., Ryhänen, M., Sairanen, A., Virkajärvi, P., Palva, R. & Rinne, M. 2006. Lypsylehmien ruokinnan järjestäminen – pitkän aikavälin taloustarkastelu. <https://journal.fi/smst/issue/view/5310>. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 21. Suomen maataloustieteellinen seura ry. Viitattu 28.4.2019
- Shaver, R. D. 2002. Rumen acidosis in dairy cattle: Bunk management considerations. *Advances in dairy technology*, 14: 241-249  
[https://wcds.ualberta.ca/wcds/wp-content/uploads/sites/57/wcds\\_archive/Archive/2002/Manuscripts/Chapter%2020%20%20Shaver.pdf](https://wcds.ualberta.ca/wcds/wp-content/uploads/sites/57/wcds_archive/Archive/2002/Manuscripts/Chapter%2020%20%20Shaver.pdf)
- Sova, A. D., LeBlanc, S. J., McBride, B.W. & Devries, T. J. 2013. Associations between herd-level feeding management practices, feed sorting, and milk production in freestall dairy farms. *Journal of dairy Science* 96: 4759-4770
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2018a. Energian hinnat, 3. vuosineljännes 2018. [http://www.stat.fi/til/ehi/2018/03/ehi\\_2018\\_03\\_2018-12-12\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2018/03/ehi_2018_03_2018-12-12_tie_001_fi.html). Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 20.4.2019
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2018b. Kotieläinten lukumäärä. <https://stat.luke.fi/kotielainten-lukumaara>. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Viitattu 7.2.2019
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2018c. Maataloustuotteiden tuottajahinnat. <https://stat.luke.fi/maataloustuotteiden-tuottajahinnat>. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Viitattu 8.2.2019
- Tangorra, F.M. & Calcante, A. 2018. Energy consumption and technical-economic analysis of an automatic feeding system for dairy farms: Results from a field test. *Journal of Agricultural Engineering*, 49(4): 228-232.  
<https://doi.org/10.4081/jae.2018.869>

- Turunen, M. 2013. Energian käyttö ja säästö maidontuotannossa. Teoksessa: Ahokas, J. (toim.). Energian kulutus ja säästö karjataloudessa. Maataloustieteiden laitoksen julkaisu, 27: 49-101
- USDA National Animal Health Monitoring System. 2014. Dairy Cattle Management Practices in the United States, 2014. USDA, Washington, DC
- Vegricht, J., Milacek, P., Ambroz, A. & Machalek, A. 2007. Parametric analysis of the properties of selected mixing feeding wagons. Research in agricultural engineering 53: 85-93
- ÖKL. 2019. Kraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft. <http://oekl.at/wp-content/uploads/2010/11/RW-2014-3-Kraftstoffverbrauch.pdf>. Wien, Österreich: Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung. Julkaistu 2019, viitattu 1.5.2019.