



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maija Lahdensuo

---

## Tuotannon optimointi

Yhteiskäsittely

Opinnäytetyö

Syksy 2023

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka

Tekijä: Maija Lahdensuo

Työn nimi alaotsikoineen: Tuotannon optimointi: Yhteiskäsittely

Ohjaaja: Ilmari Äijö

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 34

Liitteiden lukumäärä:

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli separointilaitteiden energiankulutuksien tutkiminen. Tutkimustuloksia energiakulutuksista verrattiin eri separointilaitteiden välillä sekä selvitettiin lyhyiden ja pitkien ajojen energiankulutusten eroja. Energiankulutusten tutkimisen tarkoituksena oli optimoida separointilaitteiden ajoja. Tuotannon optimoinnilla haetaan meijeriteollisuuden yritykseen kustannussäästöjä ja tätä kautta kilpailukyvyä vahvistusta. Tuotannon optimointi tukee samalla ilmastonmuutoksen tavoitteita päästöjen vähentämiseksi.

Tutkimuksellisessa opinnäytetyössä kartoitettiin separointilaitteiden energiankulutusta laitekohtaisesti. Analyysimenetelmä oli kvantitatiivinen ja energiakulutuksesta kerättiin dataa taajuusmuuttajien mittarilukemien avulla. Energiankulutusten tulokset taulukoitiin Exceliin. Tuloksista tehtiin diagrammeja havainnollistamaan tutkimusten tuloksia. Toimeksiantajan käytössä olevasta tuotannonohjausjärjestelmästä pystyttiin tarkistamaan mm. tarkat ajoajat ja pesujen kestot sekä vertailemaan ongelmatilanteiden vaikutuksia energiankulutukseen.

Opinnäytetyöstä kertyneiden tulosten perusteella voidaan todeta, että tulokset puoltavat tuotannon optimoinnin tehostamista. Muutokset vaativat rohkeutta lähteä kokeilemaan uusia ajotapoja. Hyvien tulosten saavuttamiseksi uusien ajotapojen kokeilu vaatii kaikkien työntekijöiden sitoutumista uudenlaiseen ajorytmiin.

Opinnäytetyö on salainen. Opinnäytetyön julkisesta versioista on poistettu kaikki tarkat tiedot, jotka voisivat paljastaa toimeksiantajan. Julkisessa opinnäytetyössä ei tuoda myöskään ilmi toimeksiantajan toimintaan liittyviä tarkkoja lukuja.

<sup>1</sup> Asiasanat: elintarviketeollisuus, sähkömittarit, energiakustannukset, energiakäyttö, ilmastonmuutokset

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Food Processing and Biotechnology

Author/s: Maija Lahdensuo

Title of thesis: Production optimization: Co-processing

Supervisor(s): Ilmari Äijö

Year: 2023

Number of pages: 34

Number of appendices:

---

The aim of the thesis was to study the energy consumption of separation devices. Results of energy consumption studies were compared between different separation devices and the differences in energy consumption between short and long drives were studied. The purpose was to optimize the drives of the devices. Production optimization aims at cost savings for the dairy company thereby, strengthening their competitiveness. At the same time, optimization of production supports the goals of climate change by reducing emissions.

The research surveyed the energy consumption of separation devices case by case. The analysis method was quantitative and data on energy consumption was collected using meter readings from frequency converters. Energy consumption results were tabulated in Excel. Diagrams were made to illustrate the results of the research. From the production control system used by the client, it was possible to check among other things the exact driving times and wash durations and to compare the impact of problem situations on energy consumption.

Based on the research, it can be concluded that the results support the possibility for more efficient optimization of production. The changes require courage to try new ways of driving. To achieve good results, experimenting with new driving practices requires the commitment of all employees to a new kind of driving rhythm.

The thesis is secret. In the public versions of the thesis, all accurate information that could reveal the client has been removed. The public thesis does not disclose the exact figures related to the activities of the client.

<sup>2</sup> Keywords: food industry, electricity meters, energy costs, energy consumption, climate change

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO .....	10
1.1 Työn tausta .....	10
1.2 Työn tavoitteet ja rajaus .....	10
1.3 Opinnäytetyön rakenne .....	11
1.4 Salassapito.....	12
2 RAAKAMAIDON PROSESSOINTI .....	13
2.1 Raakamaito ja sen koostumus .....	13
2.2 Jalostuskelpoinen maito .....	14
2.3 Raakamaidon separointi.....	15
2.3.1 Sentrifugi.....	15
2.3.2 Sentrifugointi .....	16
2.4 Raakamaidon pastörinti.....	17
2.4.1 Pastöroinnin tarkoitus .....	17
2.4.2 Pastörinti .....	18
2.5 Separointilaitteiden pesut.....	19
2.5.1 Puhtauden merkitys elintarviketuotannossa.....	19
2.5.2 Puhdistustulosten tavoitteet .....	19
2.5.3 Separointilaitteiden puhdistus .....	20
3 MENETELMÄ JA AINEISTO .....	22
3.1 Energiankulutuksen mittaaminen taajuusmuuttajalla.....	22
3.2 Ajon kestojen tarkistaminen .....	23
3.3 Energiankulutuksen taulukointi.....	24
3.3.1 Excel-tilukon merkinnät.....	24

3.3.2	Excel-taulukon laskut .....	25
3.4	Analyysimenetelmät ja niihin vaikuttavia huomioita .....	26
3.4.1	Analysointi tämänhetkisellä ajotavalla .....	26
3.4.2	Tuotannon optimoinnin analysointia .....	26
3.4.3	Ajon tai pesun keskeytymisen vaikutus energiankulutukseen .....	26
4	TULOKSET .....	27
4.1	Ajon aikana syntyneitä energiankulutuksen tuloksia .....	27
4.2	Pesun aikana syntyneitä energiankulutuksen tuloksia .....	27
4.3	Energiankulutuksen mallinnus .....	27
4.4	Separoinnin aika suhdelukuna .....	28
5	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
	LÄHTEET .....	30

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Raakamaidon prosessikaavio. ....	15
Kuvio 2. Separaattorin rakenne (Milkworks). ....	16
Kuvio 3. Separointilaitteen energiankulutuksen eri vaiheita. ....	23
Taulukko 1. Tuotteiden käsittelyä koskevia arvoja (soveltaen Aho & Hildèn, 2007, s. 73). ....	17
Taulukko 2. Separointilaitteiden energiankulutukseen vaikuttavia eroja. ....	22
Taulukko 3. Pitkien ajojen kestot keskiarvoina ja vaihteluvälit. ....	24
Taulukko 4. Lyhyiden ajojen kestot keskiarvoina ja vaihteluvälit. ....	24
Taulukko 5. Normaalien pesujen pesuaika keskiarvoina. ....	24
Taulukko 6. Pitkien pesujen pesuaika keskiarvoina. ....	24

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Ajo</b>	Ajolla tarkoitetaan separointilaitteilla suoritettua toimenpidettä, missä raakamaidosta erotetaan kaksi erillistä jaeita toisistaan.
<b>Ajoaika</b>	Kokonaisaika ajolle. Laskennallinen aika alkaa separointilaitteen käynnistämisestä ja loppuu separointilaitteen pysähtymiseen.
<b>Ajo separille</b>	Ajon virallinen alkaminen, kun raakamaito siirtyy separointilaitteeseen.
<b>Ajon kesto</b>	Mitattu ajoaika. Laskenta alkaa ajo separille askeleesta ja laskenta päättyy alipastörinti askeleeseen.
<b>Askel</b>	Askel on yksittäinen osio separointiprosessissa sekä pesuprosesseissa. Yksittäinen ajo sekä pesu koostuu useista askeleista ja askeleista nähdään mikä vaihe prosessissa on menossa.
<b>Denaturoituminen</b>	Heraproteiinin denaturoitumisessa proteiini menettää sille ominaista toimintakykyään jäykistymällä. Denaturoituminen tapahtuu korkean kuumentamisen seurauksena, kun sen tertiäärinen rakenne pääsee rikkoontumaan.
<b>Kerma</b>	Separoinnin tuloksena raakamaidosta eroteltu toinen jae.
<b>Korkeapastörinti</b>	Normaalia pastörintia hivenen korkeampi lämpökäsittely.
<b>Kurri</b>	Kuorittu maito eli rasvaton maito. Separoinnin tuloksena raakamaidosta eroteltu toinen jae.
<b>Lyhyt ajo</b>	Separointilaitteen ajosta mitattu lyhyempi ajoaika. Keskiarvoltaan pitkää ajoa selkeästi lyhyempi.
<b>Pastörinti</b>	Maidon lämpökäsittely.
<b>Pesun kesto</b>	Mitattu pesuaika, jonka laskenta perustuu toimeksiantajalla käytössä olevaan järjestelmään.

<b>Pitkä ajo</b>	Separointilaitteen ajosta mitattu pidempi ajoaika. Keskiarvoltaan lyhyttä ajoa selkeästi pidempi.
<b>Prosessi</b>	Yhteisnimitys useammalle, yksittäiselle eri toimenpiteelle.
<b>Raakamaito</b>	Käsittelemätön lehmänmaito, joka vastaanotetaan tuottajilta. Meijeriteollisuudessa keräilyautonkuljettajat purkavat kuorman vastaanoton puolella. Antibioottikokeiden valmistuttua raaka-aine on valmista yhteiskäsittelyssä suoritettavaan separointiin.
<b>Raakamaitoprosessi</b>	Raakamaidon prosessointi koostuu useammasta eri toimenpiteestä, joita ovat mm. maidon pastörinti, separointi, rasvapitoisuuden vakiointi ja homogenointi.
<b>Sentrifugi</b>	Separointilaitte, kansankielessä separaattori, minkä avulla separointi suoritetaan.
<b>Sentrifugointi</b>	Separointi, toimenpide mikä suoritetaan keskipakovoiman ja poikkeavien tiheyksien avulla. Separoinnin tuloksena aineosat eli jakeet erottuvat toisistaan.
<b>Separaattori</b>	Laite, jonka avulla raakamaito käsitellään kahdeksi eri jakeeksi, kurriksi ja kermaksi.
<b>Separointilaitteen käynnistysvaihe</b>	Separattori käynnistetään off → on vaiheeseen, toimintavalmius alkaa. Koneen lämmöt ja kierrokset alkavat nousemaan.
<b>Separointi</b>	Separointi on kansankielessä käytetty sana sentrifugoinnista.
<b>Termisointi</b>	Pastörintia kevyempi lämpökäsittely. Termisointia käytetään, kun halutaan säästää tärkeitä, maidossa luontaisesti eläviä maitohappobakteereita.



<b>UHT-käsittely</b>	UHT lyhenne sanoista Ultra High Temperature. Iskukuumennuksella suoritettava käsittely, jonka ansioista tuote on mikrobiologisesti stabiili.
<b>Vastaanotto</b>	Meijeriteollisuuden osasto, missä vastaanotetaan keräilyautojen kuljettajilta maidontuottajien raakamaito.
<b>Yhteiskäsittely</b>	Meijeriteollisuudessa osasto, missä käsitellään raakamaito jatkojalostamista varten.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tuotannon optimointia voidaan tehdä tuotantolaitoksissa useilla eri osa-alueilla, tämä opinnäytetyö keskittyy optimoimaan sentrifugointilaitteiden eli separointilaitteiden sähkönkulutusta. Tuotannon optimoinnilla tavoitellaan tehokkaampia työmenetelmiä. Tehokkaampien työmenetelmien tarkoituksena on energiakulutuksen vähentäminen ja sitä kautta kustannussäästöt ja samalla kasvihuonepäästöjen vähentäminen. Laitisen (2021, s. 249) mukaan tehokkaampien työmenetelmien tarkoituksena on vähentää tuotannosta syntyviä kustannuksia, tuotantomäärien pysyessä ennallaan. Energiankulutuksen vähentämisessä voidaan puhua energiatehokkuusteknologian kehittämisestä (Vehviläinen ym., 2009, s. 164). Suomessa energiatehokkuuden tutkimustoimintaa toteutetaan esimerkiksi Tekesin ohjelmissa, missä pääpaino on teollisuuden energiatehokkuudessa. Vastuullinen yritys huomio toimintansa ekologiset, taloudelliset sekä sosiaalisen kestävyuden vaikutukset (Virtanen & Rohweder, 2011, s. 296).

Kasvihuonepäästöihin, jotka aiheuttavat ilmastonmuutoksen tulee reagoida kaikin keinoin, jotta ilmastonlämpenemistä saadaan rajoitettua (Virtanen & Rohweder, 2011, s. 12–13). Ilmastonmuutosta voidaan hillitä kestäväen kehityksen ajatuksella, jolloin pyritään samanaikaisesti parantamaan taloutta, ympäristöä sekä hyvinvointia (mts. 14). Opinnäytetyö ei varsinaisesti keskity kasvihuonepäästöjen vähentämiseen, mutta työssä sivutaan aihetta. Aiheen sivuamisella tuodaan ilmi, että tuotannon optimoinnin tavoitteet eivät ole ainoastaan taloudelliset, vaan myös vastuulliset. Ilmastolain (Ilmastolaki 423/2022, 1 luku 2 § 2 mom.) tavoitteena on saada vähennettyä vuoteen 2030 mennessä ihmisen teoista syntyneitä kasvihuonepäästöjä vuoteen 1990 verrattuna 60 prosenttia. Lain tarkoituksena on hillitä ilmastonmuutosta, osallistamalla eduskuntaa sekä yleisöä ilmastotalkoisiin (Ilmastolaki 423/2022, 1 luku 1 § 1 & 2 mom.).

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia toimeksiantajan separointilaitteiden nykyhetken energiankulutusta. Nykytilan energiankulutuksen tiedot saadaan toimeksiantajan

taajuusmuuttajan lukuja kirjaamalla. Tuloksista tehdään Excel-taulukointi. Havainnollistaminen tehdään kuvioiden ja taulukoiden avulla. Tutkimustyön tuloksilla tavoitellaan näyttöä erilaisten ajotapojen energiakulutuksista. Erilaisten ajotapojen aikana syntyneitä energiankulutuksia verrataan keskenään ja tarkastellaan, onko ajotapojen muutoksella mahdollista saavuttaa taloudellista ja eettistä hyötyä sekä maksimoida tehokkuutta.

Opinnäytetyön tarkoituksena on pyrkiä löytämään selkeitä ratkaisuja energiankulutuksen vähentämiseksi raakamaidon käsittelyssä ajojen sekä pesujen aikana. Aiempaa tutkimusta ei kyseisten separointilaitteiden energiankulutuksesta ole suoritettu.

Opinnäytetyö rajataan koskemaan ainoastaan toimeksiantajan tiloissa käsiteltävän raakamaidon separointilaitteiden energiankulutusta. Opinnäytetyön tutkimuksessa ei oteta huomioon raakamaidosta toisena pääjakeena syntyneen kerman separointilaitteesta syntyneitä energiankulutusta. Energiakulutuksia mitataan separointilaitteiden ajojen sekä pesujen aikana.

### **1.3 Opinnäytetyön rakenne**

Opinnäytetyön rakenteessa johdanto-osiossa tuodaan esiin, miksi kyseisen opinnäytetyön tekeminen koetaan tärkeäksi ja mitä työ tavoittelee. Separoinnin teoria antaa selkeän kuvauksen siitä, mitä sentrifugointi on ja mihin sitä tarvitaan. Tausta ja teoria käsittelee tuotannon optimoinnin merkitystä energiankulutuksen näkökulmasta. Tehtävien asettelussa tuodaan ilmi tutkimuksen rajaus. Menetelmissä kuvataan tutkimuksessa käytetyt tiedonkeruumenetelmät.

Tuloksia käsitellään julkisessa versiossa toimeksiantajan kanssa määritellyn salassapidon rajoissa. Toimeksiantajan versiossa on tuloksissa useita mittaustuloksia ja niistä tehtyjä taulukoita ja kuvioita. Johtopäätöksillä pyritään tuomaan esiin uudenlaista ajotapaa, millä olisi energiankulutukseen optimoivaa sekä kasvihuonepäästöihin vähentävää vaikutusta. Pohdinnassa otetaan esiin kohtia, millä voitaisiin vaikuttaa tuotannon optimointiin, mutta myös kohtia, mitkä voivat olla esteenä tuotannon optimoinnissa.

#### **1.4 Salassapito**

Opinnäytetyön toimeksiantaja on meijerialan yritys. Yrityksen toiveesta julkisessa opinnäytetyössä yritys, käsiteltävän raakamaidon määrät, mittaustulokset, energiankulutuksen määrät sekä sentrifugointilaitteiden lukumäärät pidetään salassa. Salassa pidetään kaikki toimeksiantajan taloudelliseen tai muuten kilpailukykyyn tavalla tai toisella vaikuttavat tulokset.

## 2 RAAKAMAIDON PROSESSOINTI

### 2.1 Raakamaito ja sen koostumus

Raakamaito on nimitys käsittelemättömälle lehmänmaidolle, jota ei ole prosessoitu millään tavoin (Aho & Hildèn, 2007, s.12). Raakamaidon prosessointia on kuitenkin välttämätön tehdä, että maidon jalostaminen on myöhemmin helpompaa ja jatkojalostamista voidaan toteuttaa (mts. 63). Raakamaidon prosessointi ei vaikuta maidon koostumukseen laatu lisävästi, eli raakamaidon tulee olla valmiiksi laadukasta jo meijeriin saapuessaan. Laadukkaasta raakamaidosta saadaan valmistettua laadukkaita tuotteita, mutta laadullisesti huonosta raakamaidosta on mahdoton valmistaa laadukasta tuotetta (mts. 12).

Raakamaidon laatuun ja määrään vaikuttaa lypsettävän karjan kokonaisvaltainen hyvinvointi (Pearse, 2023). Lehmien hyvinvointia lisääviä tekijöitä ovat runsas ja laadukas rehu, raitis ulkoilma, pehmeä ja puhdas makuutila sekä tuore vesi. Lehmien ympäristöllä on sekä terveellisyys vaikutuksia, mutta myös raakamaidon laatuun vaikuttavia tekijöitä.

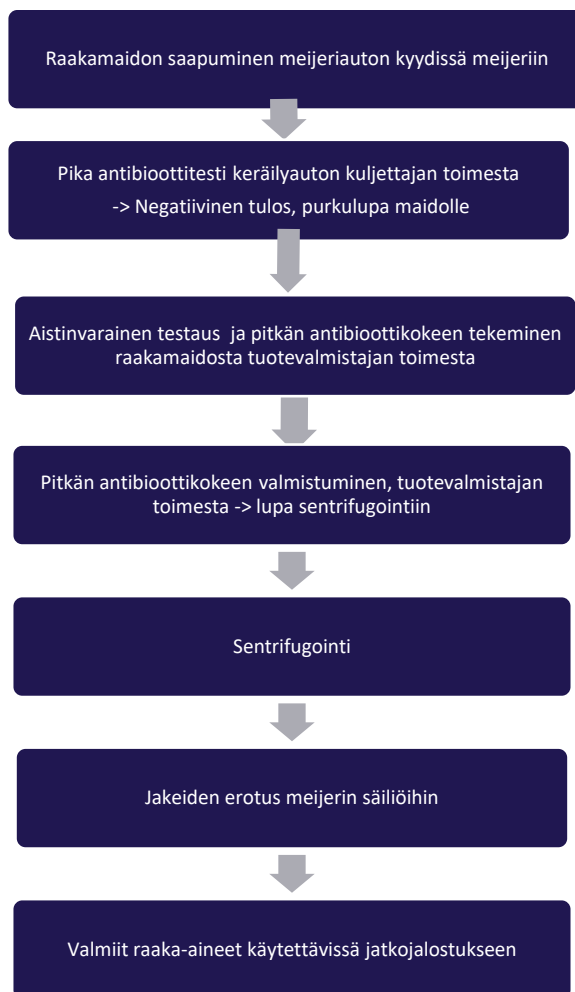
Raakamaito koostuu useammasta ainesosasta (Svensson, 2023), joita ovat vesi n. 87 % sekä kuiva-aineet n. 13 %. Kuiva-aineen osuus sisältää rasvaa 3,9 %, proteiinia 3,4 %, laktoosia eli maitosokeria 4,8 % sekä mineraaleja eli suoloja 0,8 %. Maidossa on lisäksi pieniä määriä muita aineita kuten entsyymejä, vitamiineja sekä fosfolipideja. Lehmänmaidon raakamaito sisältää jonkin verran ravitsemuksellisia ominaisuuksia (Pearse, 2023) esimerkiksi rautaa ja D-vitamiinia. Maidon ravitsemukselliset ominaisuudet eivät kuitenkaan yksin riitä täyttämään täysravinnon optimaalisia määriä.

## 2.2 Jalostuskelpoinen maito

Kaikki maito ei ole jalostettavissa. Raakamaidolle on olemassa erilaisia, lakisääteisiä laatuspesifikaatorajoja esimerkiksi estoainejäämissä tai bakteerien pesäkemäärissä (Aho & Hildèn, 2007, s. 12–13). Raakamaidon tulee laadullisesti asettua lakisääteisten raja-arvojen sisään, että raakamaitoa voidaan meijeriin vastaanottamisen jälkeen jatkojalostaa. Raakamaidon ylittäessä lakisääteisiä raja-arvoja, raakamaito määritellään elintarvikkeiden valmistukseen sopimattomaksi ja tuote päättyy esimerkiksi nesterehuksi (mts. 18).

Raakamaidon peruslaadun poikkeamille alttiita ovat lämpötilan ylitys, bakteerien korkea määrä ja jäätympiste (Aho ja Hildèn, 2007, s.13). Aistinvaraisiin ominaisuuksiin on myös mahdollista tulla jonkinasteista muutoksia esimerkiksi tuoksuun tai ulkonäöllisiin poikkeamiin mm. maidon verisyys tai likainen raakamaito. Poikkeamat aiheuttavat sitä enemmän kustannuksia, mitä pidemmälle poikkeavan raaka-aineen erä pääsee matkaamaan (mts.18).

Raakamaidon tulee olla antibiooteista sekä pesuaineista vapaata, koska edellä mainitut ainesosat voivat olla esteenä laadukkaan tuotteen onnistumiselle (Franz & Mattsson. 2023). Raakamaidon antibiootti testataan meijereissä pikatestillä raakamaidon vastaanottamisen jälkeen, mutta ennen lastauksen purkamisen aloittamista. Ennen jatkojalostamista raakamaidosta valmistuu vastaanottohenkilöiden toimesta tehty antibiootin pitkätesti. Kummankin antibioottitestauksen tulee olla negatiivinen, minkä jälkeen raakamaito on jatkojalostuskelpoista. Raakamaidon jalostuksen prosessikaaviossa, kuvio 1, kuvataan raakamaidon jalostuksen prosessointia.



Kuvio 1. Raakamaidon prosessikaavio.

## 2.3 Raakamaidon separointi

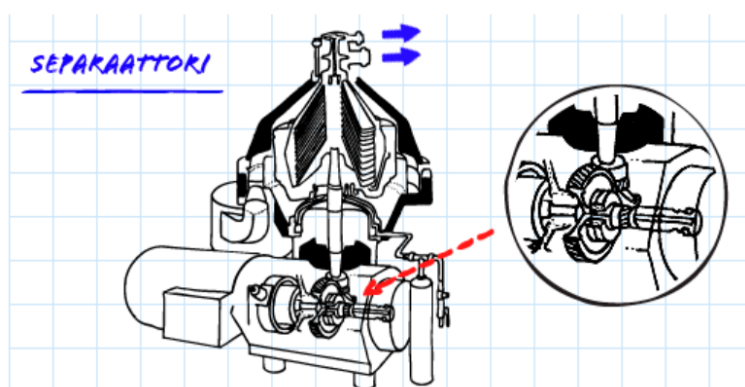
### 2.3.1 Sentrifugi

Pålssonin & Rehnin mukaan (2023) raakamaidon käsittelyyn, tarkemmin sanottuna kurrin ja kerman erottamiseen, suunniteltu laite eli sentrifugi on kehitelty jo 1870-luvun loppupuolella. Sentrifugi eli separointilaite on keskeisenä tekijänä raakamaidon jalostuksessa. Separoinnin tarkoituksena on erotella raakamaidosta kurri, kerma sekä epäpuhtaudet (Aho & Hildèn 2007, s. 64). Ainesosien erottelu tapahtuu kurrin ja kerman rasvapallosten erilaisia tiheyksiä hyödyntämällä sekä keskipakovoiman avulla.

Separattorin kuulalla on tärkeä osuus separoinnissa. Separattorin kuulassa on liitettyä toisiinsa kiinni monia, reiätettyjä kartion mallisia levyjä (Aho & Hildèn, 2007, s.65). Reiätettyjen kartioiden väliin jää tilaa missä raakamaito virtaa. Tiheydeltään jakeista suurempi, kuorittu maito viskautuu separoinnissa ulkokehälle ja tiheydeltään pienempi jae kerma, siirtyy kohti keskustaa. Jakeiden erottuminen tapahtuu kuulan pyörivän liikkeen voimasta. Separattorin kuulaan tehdään liikerata sähkömoottorin avulla. Sähkömoottorin kulmavaihteella saadaan siirrettyä tavoiteltu, energialtaan pyörivä liike kuulaan.

Separointi-prosessi poistaa raaka-aineiden jaottelun lisäksi osittaistyhjennyksen aikana raakamaidosta epäpuhtauksia eli separattorilimaa (Aho & Hildèn, 2007, s.64). Separattorin osittaistyhjennys tapahtuu ajon aikana 30–60 minuutin välein (Pålsson & Rehn, 2023).

Kuviossa 2 on kuvattu separattorin rakenne. Kuviossa on nähtävissä kartiolevyistä koostettu kerrostuma, jonka väliin jää raakamaidon virtaukselle tarkoitettu tila.



Kuvio 2. Separattorin rakenne (Milkworks).

### 2.3.2 Sentrifugointi

Esilämmitetty raakamaito ajetaan separattorin sisään, missä se separoinnin tuloksena jakautuu kahdeksi eri jakeeksi, kermaksi sekä kurriksi (Pålsson & Rehn, 2023). Raakamaidosta saatavan kerman osuus on n. 10 %, joten kurrin osuudeksi jää n. 90 % (mt).



Raakamaidossa olevien rasvapallojen kokoluokassa on eroja. Rasvapallosten kokoon vaikuttaa esimerkiksi lehmän raskaus. Imettävän lehmän rasvapallosten koko on suurimmillaan, mikä luonnollisesti lisää myös separoinnista erottuvan kerman määrää (mt).

Raakamaidon separointilämpötila asettuu usein 45–55 °C:n välille (Aho & Hildén, 2007, s. 64). Toisen separoitavan jakeen, eli rasvan määrä on sidoksissa raakamaidossa olevien rasvapallojen kokoon, käsiteltävän maidon virtausnopeuteen sekä separaattorin rakenteeseen (Pålsson & Rehn, 2023). Raakamaidosta separoinnin tuloksena syntyneen kuoritun maidon rasvapitoisuus on yleensä 0,04–0,07 % (mt.).

## 2.4 Raakamaidon pastörinti

### 2.4.1 Pastörintin tarkoitus

Ennen vanhaan, ennen kuin pastörintia on tehty raakamaidolle, ei ollut tavatonta, että raakamaidosta on saanut jopa kuolemaan johtaneita sairauksia kuten lavantautia tai tuberkuloosia (Aho & Hildén, 2007, s. 70). Lämpökäsittelyn eli pastörintin tarkoituksena on tuhota tai ainakin osittain rajoittaa, maidossa elävien tai siihen kontaminaation kautta siirtyneiden bakteerien ja entsyymien olosuhteita. Lämpökäsittely pidentää maidon säilyvyyttä ja lämpökäsittely on yksi maidon tärkeimmistä jalostusmuodoista säilyvyyden osalta. Taulukkoon 1 on koottu erilaisten lämpökäsittelyjen vaatimia vähimmäislämpötiloja sekä vähimmäiskäsittelyaikoja (mts. 73). Vähimmäisajat käsittelyissä ja vähimmäislämpötila määräytyvät valmistettavan tuotteen mukaan.

Taulukko 1. Tuotteiden käsittelyä koskevia arvoja (soveltaen Aho & Hildén, 2007, s. 73)

Lämpökäsittely	Vähimmäislämpötila ja -käsittelyaika	Valmistettava tuote
Pastörinti	72 °C / 15 s	jalostuskelpoinen maito
Termisointi	65–69 °C / 30 s	esim. kovat juustot
Korkeapastörinti	80–84 °C / 6–15 s 90–95 °C / 2–5 min	esim. kermat ja jäätelöt esim. hapanmaitovalmisteet
UHT-käsittely	135–150 °C / 2–4 s	

## 2.4.2 Pastörinti

Raakamaidon prosessointi alkaa raaka-aineen esilämmittämällä (Aho & Hildén, 2007, s. 64). Esilämmittämisen tarkoituksena on helpottaa raakamaidon jakeiden erottumista toisistaan separoinnin aikana. Esilämmittäminen nostaa samalla kerman kuorinnan lopputulosta. Esilämmitys tehdään regenerointilämpötilaa hyväksikäyttäen, jolloin pastörinti vaiheessa oleva maito luovuttaa lämpönsä esilämmitettävään maitoon. Regeneroinnissa lämpötilat sekä jäädyttävät, että lämmittävät eri vaiheessa kulkevaa maitoa. Lämmönsiirtoalueen toisella puolella liikkuu kuumennettava maito ja toisella puolella viilennettävä maito (mts. 72). Regenerointi on energian säästämisen kannalta merkittävä toimenpide.

Esilämmittämisen jälkeen tulee pastörintivaihe. Pastörintinnissa tarvittava lämpö voidaan ottaa joko suoraan kuumasta vedestä tai kuumavesikiertoa voidaan kuumentaa höyryllä, lämmönvaihtimen avulla (Aho & Hildén, 2007, s.72). Pastörintivaiheessa olevaa raakamaitoa käsitellään vähintään 15 sekuntia 72 °C:ssa (mts. 73), käsittelyn jälkeen fosfataasi-reaktion tulee olla negatiivinen. Fosfataasi saadaan tuhottua pastörintin lämpötilan ja ajan yhdistelmällä 16 s/ 72 °C (Aho & Hildén, 2007, s. 38). Fosfataasi hajottaa fosforihaptoesterin fosforihapoksi ja alkoholiksi, pastörintin jälkeen fosforihaptoesterin hajoaminen on mahdotonta.

Pastörintin jälkeen maito säilyy pidempään (Aho & Hildén 2007, s.73). Pastörintin tuloksena maidosta on hävitetty mahdolliset taudinaiheuttajat sekä bakteerit ja entsyymit, jotka voivat huonontaa maitoa laadullisesti. Lievästi käsiteltynä maidon maku saattaa maistua paremmalta, mutta voimakkaammat lämpökäsittelyt kuten esimerkiksi UHT voi tuoda maitoon keitetyn maidon makua. Pastörintin tuloksena rasvaan ei synny juurikaan muutoksia, mutta esimerkiksi vitamiinit tai aminohapot, jotka ovat alltiita lämmölle voivat tuhoutua. Maidon heraproteiini voi kokea muutosta denaturoitumalla.

Pastörintin viimeinen vaihe on tuotteen jäädyttäminen mikä tapahtuu joko kylmää verkostovettä käyttäen tai jääveden avulla (Aho & Hildén, 2007, s.72). Jäädyttämisessä voidaan käyttää myös toimenpiteiden yhdistämistä, jolloin ensiksi kylmällä verkostovedellä viilennetään tuotetta ja tuotteen lopullinen jäädytys tehdään jääveden avulla. Jäädytyksessä voidaan hyödyntää myös luonnonvesiä esimerkiksi jokia tai järviä. Luonnonvesiä

käytettäessä on varmistettava, ettei jäähdytysvesikierto pääse sekoittumaan missään kohdassa verkostoveden kanssa.

## **2.5 Separointilaitteiden pesut**

### **2.5.1 Puhtauden merkitys elintarviketuotannossa**

Puhtaus ja hygienia ei ole elintarviketuotannossa ainoastaan toimintatapa vaan lakisääteinen velvollisuus. Euroopan parlamentti sekä neuvosto ovat tehneet asetuksen elintarvikehygieniasta vuonna 2004 (Asetus 852/2004). Asetuksella halutaan säätää elintarvikealan toimijoille hygieniasäännöt, joiden tarkoituksena on lisätä elintarvikkeiden turvallisuutta. Ensisijainen vastuu elintarvikehygieniasta ja sitä kautta elintarvikkeiden turvallisuudesta on elintarvikkeita valmistavalla toimijalla. EU:ssa on säädettyä hygieniavaatimukset, jotka koskevat elintarvikkeiden tuotantoa ja jalostusvaihetta (mt). EU:n säätämä asetus nojaa hygieniaan sekä HACCP-periaatteiden pysyvään noudattamiseen. HACCP-periaatteiden tärkeimpiä tekijöitä ovat vaarojen tunnistaminen, kriittisten valvontapisteiden määrittely, kriittisten valvontapisteiden seurantamenettely, kriittisten valvontapisteiden korjaavien toimien toteutus sekä tunnistettujen vaarojen määrittely.

### **2.5.2 Puhdistustulosten tavoitteet**

Puhtaus koostuu neljästä eri puhtausmääritelmästä. Puhutaan fysikaalisesta puhtaudesta, kun puhdistetaan näkyvää likaa erilaisilta pinnoilta (Franz & Svensson, 2023). Kemiallisen puhdistuksen tuloksena on kaiken näkyvässä olevan lian lisäksi poistettu myös mikroskooppiset jäämät. Mikroskooppiset jäämät eivät ole silmin nähtävissä, ne pystytään tunnistamaan maku tai tuoksuvirheinä. Desinfioinnin tuloksena saada aikaan mikrobiologinen puhtaus. Steriilissä puhtaudessa tuhotaan kaikki mikro-organismit (mt).

Maito alkaa "likaantumaan", kun sitä kuumennetaan yli 60 °C (Franz & Svensson, 2023). Maidon saostuma tarttuu separoinnin aikana kiinni mm. säiliöiden ja putkistojen pintoihin, joissa raakamaito liikkuu. Meijerituotannossa on yleisesti käytössä kemiallinen sekä mikrobiologinen puhdistaminen. Ajojen loputtua pesujen ajoituksella on tärkeä rooli,

separointilaitteisto, silloineen ja säiliöineen pestään mahdollisimman nopeasti. Heti ajojen jälkeen maito on vielä mahdollisimman helposti pestävissä. Pesun siirtyessä maito ehtii kuivumaan seinämiin, ja puhdistamisesta tulee haastavampaa (mt).

### 2.5.3 Separointilaitteiden puhdistus

Meijereissä on hyvin tavanomaista, että separointilaitteiden pesut ovat kiertopesuja eli CIP-pesuja (Aho & Hildèn, 2007 s. 187). CIP tulee sanoista Cleaning In Place ja pesutapa perustuu samojen pesuliuosten keräämiseen, neutraloimiseen ja kierrättämiseen takaisin pesuliuossäiliöön. CIP-pesuissa on yleinen ohjelma mikä alkaa alkuhuuhtelulla jatkuen emäskiertoon – välihuuhteluun – happokiertoon – välihuuhteluun ja desinfioinnin kautta loppuhuuhteluun.

CIP-pesujärjestelmä vaatii aina rinnalleen pesukeskuksen, jonka kautta kiertopesut kulkevat (Aho & Hildèn, 2007 s. 187). Tyypillisesti meijereissä on minimissään kaksi erillistä pesukeskusta, joista toinen on raakamaidon kanssa kosketuksissa olevien laitteiden käytössä. Kiertopesuissa käytettävät pesuliuokset ovat happamia sekä emäksisiä, joilla saa olla hyvin vähäinen vaahtoavuus, mutta samaan aikaan liuoksen pitää olla tehokas sekä ylittää mahdollisimman hyvään pesutulokseen 65–85 °C:n lämpötilassa (mts. 188).

Yhteiskäsittelyssä separointilaitteiden, lattioiden ja seinien pintapesut suoritetaan vaahtopesuina eli matalapainepesuina (Aho & Hildèn, 2007, s. 190–191). Matalapainepesuissa voidaan käyttää CIP-pesujen tapaan happamia sekä emäksisiä pesuaineita, mutta myös desinfioivaa emäksistä pesuainetta. Matalapainepesun työvaiheita ovat esivalmistelut, kiinteän lian poistaminen, suojaa tarvitsevien laitteiden suojaaminen, esipesu, pesu ja mekaaninen puhdistaminen vaahdon avulla, pesuaineen huuhtelu, lopetustyöt ja tarvittaessa desinfiointi.

Pesut kuuluvat oleellisena osana meijeritoimintaa. Huomioitavaa on, että pesujen osuus meijeritoiminnasta on ajallisesti sekä rahallisesti merkittävä (Aho & Hildèn, 2007, s. 192). Tuotantoaikojen suhteuttaminen riittäviin pesun kestoihin sekä oikeaan ajoitukseen vaatii jatkuvaa kehittämistä. Kehittämisessä tulee lisäksi huomioida laitteiden likaantumiset sekä tuotteen laadulliset ominaisuudet mikrobiologisesta näkökulmasta. Huonosti hoidetut pesut

saattavat aiheuttaa meijerille selkeän puhtausongelman joko pidempiaikaisesti tai hetkellisesti (mt. 193).

## 3 MENETELMÄ JA AINEISTO

### 3.1 Energiankulutuksen mittaaminen taajuusmuuttajalla

Toimeksiantajalla on käytössään separointilaitteita, joilla raakamaito sentrifugoidaan kahdeksi jakeeksi, kurriksi ja kermaksi. Jokaisen käytössä olevan separointilaitteen pumpulta löytyy taajuusmuuttaja, joista saadaan mitattua pumppukohtainen energiankulutus. Jokaisen ajon separit merkitään ja energiankulutukset taulukoidaan muodossa MWh. Myöhemässä vaiheessa, kun alkaa energiankulutuksen laskeminen, MWh:t muutetaan kWh:iksi. Separien energiankulutus luetaan taajuusmuuttajalta kolmena eri mittaustuloksena. Taulukossa 2 eritellään separikohtaisesti pumppujen määrät, joille mittaustuloksia on mitattu. Taulukossa on myös separointilaittekohtaiset, raakamaidon läpivirtaukset sekä käynnistysvaiheiden kestot.

Taulukko 2. Separointilaitteiden energiankulutukseen vaikuttavia eroja.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Opinnäytetyön tuloksien mittaamisessa energiankulutuksen ensimmäinen lukema kirjataan ylös, separointilaitteen ollessa pysähdyksissä eli ennen käynnistysvaihetta. Energiankulutuksen toinen mittaaminen tehdään ajon loputtua, koneita pysäyttämättä ja kolmas energian mittaaminen suoritetaan pesun loputtua. Energiankulutuksen mitattu aika ei ole sama aika kuin ajon kesto. Energiankulutus alkaa välittömästi, kun separointilaitte laitetaan päälle. Ajoajan kesto alkaa, kun tuote siirtyy separoitavaksi eli ajo separille askeleeseen. Kuviossa 3 on havainnollistettu separointilaitteen käynnistyksen eri askeleita, joista separointilaitteiden energiankulutus koostuu.



Kuvio 3. Separointilaitteen energiankulutuksen eri vaiheita.

### 3.2 Ajon kestojen tarkistaminen

Separointilaitteiden tarkkoja aikoja ajojen ja pesujen kestoille on mahdotonta mitata kellostä. Ajojen ja pesujen kestoihin saadaan poimittua tarkat ajat toimeksiantajan tuotannonohjausjärjestelmästä. Tuotannonohjausjärjestelmästä pystytään saamaan jokaiselle ajolle sekä pesulle tarkat käynnistysajankohdat, ajojen aloitusajankohdat ja päättymisajankohdat. Tarkkojen aikojen perusteella saadaan laskettua, kuinka paljon aikaa ajoihin sekä pesuihin on todellisuudessa kulunut. Tuotannonohjausjärjestelmän avulla voidaan myös jälkeenpäin tarkistaa tiettyjä poikkeavia tilanteita ja analysoida mikä oli esimerkiksi poikkeavan energiankulutuksen taustalla. Taulukoissa 3–6 on yksilöity separointilaitteiden pitkien sekä lyhyiden ajojen keskiarvot sekä normaali- ja pitkien pesujen pesuaikojen

keskiarvot, tulokset on ilmoitettu tunteina. Taulukossa on ilmoitettu myös ajoaikojen hajonnan vaihteluvälit sekä tutkimustulosten perusjoukko ja otokset.

Taulukko 3. Pitkien ajojen kestot keskiarvoina ja vaihteluvälit.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Taulukko 4. Lyhyiden ajojen kestot keskiarvoina ja vaihteluvälit.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Taulukko 5. Normaalien pesujen pesuaika keskiarvoina.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Taulukko 6. Pitkien pesujen pesuaika keskiarvoina.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

### **3.3 Energiankulutuksen taulukointi**

#### **3.3.1 Excel-tilukon merkinnät**

Energiankulutuksen mittaamista varten on tehty Excel-tilukko. Tilukkoon saadaan merkittyä aina ajon jälkeen energiankulutukset. Excel-tilukko on suunniteltu siten, että



jokaisen separointilaitteen, jokainen pumppu on merkittynä erikseen. Merkinnoissa on käytetty pumpusta löytyvää positionumeroa. Positionumerosta on mahdollisuus vielä jälkeenkäinkin varmistaa mistä pumpusta on kysymys. Positionumeron käyttö varmistaa pumpun oikeaksi, jos pumppu olisi vahingossa nimetty väärin.

Exceliin merkitään jokaisessa ajossa päivämäärä, jolloin ajoa suoritetaan. Merkinnot Exceliin tehdään ainoastaan niiden separeiden kohdalle, jotka ovat kulloinkin käytössä. Energiankulutukset mitataan ajon alussa, kun separointilaitte on pysähtyneessä tilassa, ajon loputtua, kun separointilaitte on valmis pesulle, sekä pesun loputtua. Energiankulutusluke- milla saadaan laskettua Excelissä ajon energiankulutukset ja pesun energiankulutukset. Exceliin merkitään tuotannonohjausjärjestelmältä tarkistettujen aikojen perusteella todelliset ajojen sekä pesujen kestoajat. Ajon aikaiset maidon läpivirtausajat poimitaan tuotannonohjausjärjestelmältä ja lasketaan niille Excelillä keskiarvo, joka ilmoitetaan muodossa litra/h.

### **3.3.2 Excel-taulukon laskut**

Exceliin tallennetuilla tiedoilla voidaan laskea separointilaittekohtaisesti ajon aikana syntyneitä energiankulutuksia sekä pesun aikana syntyneitä energiankulutuksia. Luotettavuuden lisäämiseksi käsiteltävät maitomäärät muutetaan samalle lukemalle 1000:ta litraa kohti, koska separeilla on poikkeavia maidon läpivirtausmääriä tunnin aikana. Laskujen tässä vaiheessa MWh/h muutetaan ymmärrettävämpään muotoon kWh/h.

Excelillä saadaan laskettua ajettujen ajojen energiankulutuksen perusteella mallinnus 1 kuukauden ajaksi. Mallinnuksen tarkoituksena on helpottaa vertailua pitkien ja lyhyiden ajojen energiankulutuksia sekä vertailua energiankulutuksessa eri separointilaitteiden käytömäärällä. Excelillä lasketaan myös ajallisia suhdelukuja energiankäytössä. Ajallisen suhdeluvun tarkoituksena on tuoda esiin prosentuaaliset suhteet separointilaitteiden käynnistyksen, tuottavan ajon sekä pesun kesken. Ajallinen suhdeluku auttaa havainnoimaan käytössä olevien separointilaitteiden energiankulutusta tuottavan ajon ja tuottamattoman ajon kesken.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

### **3.4 Analyysimenetelmät ja niihin vaikuttavia huomioita**

#### **3.4.1 Analysointi tämänhetkisellä ajotavalla**

Tulosten analysointia tehdään vertaamalla keskenään eri separointilaitteiden energiankulutuksia nykyisillä ajotavoilla. Energiankulutuksen vertailua tehdään ajon pituuksien osalta, joita ovat pitkät ajot ja lyhyet ajot sekä pesujen osalta.

#### **3.4.2 Tuotannon optimoinnin analysointia**

Ajojen vertailun pohjalta voidaan tehdä analyysiä tuotannon mahdollisesta optimoinnista, tuotantoa tai elintarviketurvallisuutta heikentämättä.

Tuloksia laskiessa huomioidaan, että taajuusmuuttajan energiankulutukset on mahdollista lukea ainoastaan MWh eikä kWh, mikä antaisi tarkemman mittaustuloksen. Analyysimenetelmissä huomioidaan myös se, että mitatut tulokset on kerätty ainoastaan opinnäytetyön tekijän toimesta ja omien työvuorojen puitteissa.

#### **3.4.3 Ajon tai pesun keskeytymisen vaikutus energiankulutukseen**

Ajojen ja pesujen energiankulutuksen analysoinnissa huomioidaan keskeytymättömän sekä keskeytyneen toiminnan eroja. Erojen mahdollisia vaikutuksia kustannuksiin sekä aikahävikkiin.

## **4 TULOKSET**

### **4.1 Ajon aikana syntyneitä energiankulutuksen tuloksia**

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

### **4.2 Pesun aikana syntyneitä energiankulutuksen tuloksia**

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

### **4.3 Energiankulutuksen mallinnus**

Energiankulutuksen mallinuksissa on käytetty teoreettista, 1 kuukaudessa ajettavaa raakamaidon määrää. Energiankulutuksen mallinnuksella havainnollistetaan ajotapojen välisiä energiankulutuksia. Vertailua tehdään pitkien sekä lyhyiden ajojen osalta, mutta myös ajossa olevien separointilaitteiden määrillä.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

#### 4.4 Separoinnin aika suhdelukuna

Separoitavan ajan suhdelukuja voidaan tarkastella tuottavan ja tuottamattoman ajan kesken. Kuviossa 7 ja 8 on kuvattu suhdeluvuilla pitkien ja lyhyiden ajojen separoinnin eri vaiheet. Pylväskaaviosta pystyy vertaamaan, kuinka pitkissä ajoissa tuottavan ajon osuus kasvaa, ja käynnistyksestä sekä pesuista syntyvä tuottamaton aika pienenee.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

## 5 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tuloksista voi todeta, että separointilaitteiden ajotavoilla on merkitystä energiankulutukseen. Huomioitavaa on, että myös kasvihuonepäästöt vähenevät samassa suhteessa, kuin energian kulutus pienenee.

Tuotannon optimointia on tutkimuksen perusteella mahdollista saavuttaa. Optimointi vaatisi henkilökunnan sitoutumista uudenlaiseen ajorytmiin. Elintarviketurvallisuuden tai tuotannon ei tule heikentyä missään kohdassa, vaikka optimointia lähdetäisiin tavoittelemaan. Vaikka separointilaitteiden maksimaalista ajoaikaa ei täysin hyödynnettäisi, separointiajan tehostamisella näyttäisi olevan suuria vaikutuksia tuotannon optimointiin.

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

## LÄHTEET

Aho, J., & Hildèn, T. (2007). *Maidon matkassa*. Edita Prima.

Asetus (852/2004). Regulation of the European Parliament and of the Council on the hygiene of foodstuffs. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32004R0852&qid=1696246462208>

Franz, F., & Mattsson, G. (2023). Collection and reception of milk. Teoksessa G. Bylund (toim.). *Dairy processing handbook*. Tetra Pak. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/collection-and-reception-milk>

Franz, F., & Svensson, C. (2023). Cleaning of dairy equipment. Teoksessa G. Bylund (toim.). *Dairy processing handbook*. Tetra Pak. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/cleaning-dairy-equipment>

Pearse, J. (2023). Primary production of milk. Teoksessa G. Bylund (toim.). *Dairy processing handbook*. Tetra Pak. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/primary-production-milk>

Pålsson, H., & Rehn, U. (2023). Centrifugal separators and milk standardization. Teoksessa G. Bylund (toim.). *Dairy processing handbook*. Tetra Pak. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/centrifugal-separators-and-milk-standardization>

Svensson, C. (2023). The chemistry of milk. Teoksessa G. Bylund (toim.). *Dairy processing handbook*. Tetra Pak. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/chemistry-milk>

Ilmastolaki 423/2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423>

Laitinen, E.K. (2021). *Laskentatoimen analyysia ja analytiikkaa*. Vaasan yritysinformaatio.

Milkworks. (i.a.). *Oppimateriaali: Maito meijerissä*. <https://milkworks.fi/maitomeijerissa/#separointi>

Vehviläinen, I., Halonen, M., Hiltunen, J., Kjellman, J., Kumpulainen, A., Pursula, T., & Vanhanen, J. (2009). *Energiätehokkuus kansainvälisesti*. Sitra.

Virtanen, A., & Rohweder, L. (2011). *Ilmastonmuutos käytännössä: hillinnän ja sopeutumisen keinoja*. Gaudeamus.