



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Kuutti

Maitojauhetuotannon proteiinivakioinnin tehostaminen

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

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

Suuntautumisvaihtoehto:

Tekijä: Mika Kuutti

Työn nimi alaotsikoineen: Maitojauhetuotannon proteiinivakioinnin tehostaminen

Ohjaaja: Jarmo Alarinta

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 44

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii paikallinen meijeri. Työ toteutettiin meijerin maitojauheprosessissa. Opinnäytetyön taustana on rasvattoman maitojauheen tuotannossa tapahtuva proteiinipitoisuuden vaihtelu ja siihen vaikuttavat tekijät. Rasvattoman maitojauheen proteiinivakiointia tehdään laktoosijakeiden avulla, jolla saadaan tasattua proteiinipitoisuuden luontaista kausivaihtelua ja ravitsemuksellista yhdenmukaisuutta. Maitojauheprosessissa proteiinipitoisuuden säätäminen tapahtuu valmiin jauheen perusteella, jolloin säätöjen tuloksia nähdään vasta viiveellä. Opinnäytetyön tavoitteena on etsiä mahdollisuuksia vaikuttaa proteiinipitoisuuteen jo ennemmin kuin vasta valmiin tuotteen tuloksiin perustuen.

Tutkimuksessa tutkittiin haihduttimelle menevän maitoseoksen proteiinipitoisuutta verraten sitä valmiin maitojauheen proteiinipitoisuuteen. Vertailunäytteiden välillä on kahden tunnin läpimenoaika toisiinsa nähden, jolloin tietty kohta maitoseoksesta on valmiina maitojauheena. Maitoseokseen lisättävien nesteiden ja jakeiden pitoisuuksia tarkasteltiin lähinnä tietojärjestelmistä saatujen tietojen perusteella.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että maitoseoksen ja maitojauheen proteiinipitoisuudesta löytyy yhteys. Tämän perusteella tuotantoajan aikana voitaisiin maitoseoksen perusteella löytää mahdolliset proteiinipitoisuuden alitukset tai ylitykset. Aivan tarkkoihin säätöihin ei tälläkään menetelmällä päästä, mutta suuntaa antavia tuloksia sillä saadaan valmiista maitojauheesta. Tutkimuksessa todetaan vaihtelua löytyvän maitoseokseen lisättävistä nesteistä ja jakeista, jotka vaikuttavat lopputuotteen proteiinipitoisuuteen. Tutkimuksen tarkemmat tiedot ja tulokset ovat salassapitosopimuksella suojattuja.

¹ Asiasanat: maito, maitojauhe, proteiini

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Food Processing and Biotechnology

Specialisation:

Author/s: Mika Kuutti

Title of thesis: Enhancing Protein Standardization in Milk Powder Production

Supervisor: Jarmo Alarinta

Year: 2025

Number of pages: 44

Number of appendices: 0

This thesis was commissioned by a local dairy. The work was carried out in the dairy's milk powder process. The background of the thesis is the variation in protein content occurring in the production of skimmed milk powder and the factors affecting it. Protein standardization of skimmed milk powder is done using lactose fractions, which help to even out the natural seasonal variation in protein content and nutritional consistency. In the milk powder process, protein content adjustment is based on the finished powder, so the results of the adjustments are seen only with a delay. The aim of the thesis is to find opportunities to influence the protein content earlier, rather than based on the results of the finished product.

The study examines the protein content of the milk mixture going to the evaporator compared to the protein content of the finished milk powder. There is a two-hour process time between the comparison samples, during which a certain point of the milk mixture is ready as milk powder. The concentrations of liquids and fractions added to the milk mixture are mainly examined based on data obtained from information systems.

Based on the study, it can be concluded that there is a connection between the protein content of the milk mixture and the milk powder. Based on this, possible protein content deficiencies or excesses could be found during production based on the milk mixture. Even with this method, precise adjustments cannot be achieved, but indicative results can be obtained from the finished milk powder. The study found variations in the liquids and fractions added to the milk mixture, which affect the protein content of the final product. The detailed information and results of the study are protected by a confidentiality agreement.

¹ Keywords: milk, milk powder, protein

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Kuvaotsikkoluettelon hakusanoja ei löytynyt.Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn lähtökohta.....	8
1.2 Työn tavoitteet.....	8
1.3 Työn rakenne	9
2 MAITO.....	10
2.1 Maidon koostumus	10
2.2 Maidon hiilihydraatit.....	11
2.3 Maidon rasva.....	11
2.4 Maidon proteiinit.....	12
2.5 Maidon vitamiinit ja kivennäisaineet	12
3 MAIDON SUODATUS	13
3.1 Mikro-suodatus	15
3.2 Ultra-suodatus	15
3.3 Nano-suodatus	16
3.4 Käänteisosmoosi	16
4 MAITOJAUHE	17
4.1 Maitojauheesta yleisesti	17
4.2 Maidon proteiinivakiointi	19
4.3 Maidon haihdutus	19
4.4 Haihdutintyytit.....	20
4.5 Maitojauheen kuivaus.....	21
4.6 Maitojauheen pakkaus ja laadun varmistus.....	24
4.7 Laktoositon maitojauhe	25

5	MENETELMÄT JA AINEISTO	26
5.1	Tutkimuksen toteuttaminen	26
5.2	Tulosten vertaaminen keskenään.....	27
5.3	Tutkimuksen suunnittelu.....	30
5.4	Tutkimuksen toteuttaminen	31
6	TULOKSET	32
6.1	Vertailunäytteet	32
6.2	Tutkimuksen tulokset.....	33
6.3	Tulosten erotuksen vaihteluväli	36
6.4	Tulosten korrelaatio.....	37
6.5	Vakioimaton maitojauhe	37
6.6	Maitovirtaan lisättävät laktoosijakeet.....	38
6.7	Kurritiiviste.....	39
7	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	40
	LÄHTEET	42

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Milkoscan FT3-analysaattori	27
Kuva 2. Foss NIR-analysaattori	28
Kuva 3. Maitojauheen asettelu NIR-analysaattorille	29
Kuvio 1. Maidon kemiallinen koostumus	10
Kuvio 2. Erilaisten suodattimien läpäisemät partikkelit	14
Kuvio 3. Korkeapainesuutin ja kiekkosumuttaja	22
Kuvio 4. Ulkoinen leijupeti	23
Kuvio 5 Tutkimuksen kohde	26

Opinnäytetyön julkisesta versiosta poistettu kuvat 6-9 ja taulukot 1-4.

Kuvaotsikkoluettelon hakusanoja ei löytynyt. Käytetyt termit ja lyhenteet

Dalton	Käytetään kuvaamaan suodatuskalvon kykyä erottaa eri kokoisia molekyylejä toisistaan
Ennastettu maito	Maitojauheesta ja vedestä valmistettu nesteseos
Kurri	Kuorittu maito
Milkki	Haihduuttimella valmistettu maitotiiviste
Permeaatti	Kalvon läpäisevä osa, eli suodos
Retentaatti	Kalvon pidättämä osa, eli konsentraatti
SMP	Skimmed milk powder, Rasvaton maitojauhe
Tangentiaalisuodatin	Kalvosuodatintyyppi
WMP	Whole milk powder, Täysmaitojauhe

1 JOHDANTO

1.1 Työn lähtökohta

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on paikallinen meijeriyritys ja sen maitojauheprosessi. Toimeksiantajayritys valmistaa maitojauheita vientiin ympäri maailmaa ja kotimaan markkinoille. Maitojauheen valmistuksella on tärkeä rooli maitoraaka-ainemäärien tasaajana meijerissä. Kuivaamalla maito jauheeksi saadaan siihen merkittävästi pidempi säilyvyys kuin vastaavilla maidon tuoretuotteilla. Maitojauhe on myös ravitsemuksellisesti kullanarvoista tuotetta erityisesti maissa, joissa oma maidontuotanto on vähäistä.

Suomalaisen maitojauheen korkea laatu perustuu puhtaaseen luontoon ja korkea hygieenisiin valmistusprosesseihin. Rasvattoman maitojauheen proteiinivakionilla saadaan tasattua maidon luontaisia kausivaihteluiden vaikutuksia maidon proteiinipitoisuuteen. Asiakkaiden tuotekohtaiset tavoitteet määrittävät standardoinnin maitojauheessa, joka yleisimpien standardien mukaan on lähellä 34 prosenttia. Proteiinipitoisuuden vakionilla maitojauheesta saadaan ravitsemuksellisesti yhdenmukaisempaa ja siihen saadaan käytettyä muiden tuotteiden valmistuksesta syntyviä laktoosin sivuvirtoja. Opinnäytetyöstä on tehty salassapitosopimus toimeksiantajan kanssa.

1.2 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää maitojauheen vakiointiin liittyvien lisättävien nesteiden pitoisuuksien vaihteluja ja mahdollisuutta vaikuttaa valmiin maitojauheen proteiinipitoisuuteen jo ennemmin kuin vasta lopputuotteen perusteella. Nykymallilla maitojauheen tuotantoajan aikaista proteiinipitoisuutta säädellään vasta valmiin tuotteen perusteella erilaisilla laktoosijakeilla. Läpimenoaika on noin kaksi tuntia haihduttimelle menevän nesteseoksen ja siitä kohdasta tehdyn valmiin maitojauheen välillä.

Tavoitteena työssä on tarkastella jo haihduttimelle menevän maitoseoksen proteiinipitoisuutta verrattuna valmiin maitojauheen proteiinipitoisuuteen ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tarkastelussa on myös muiden maitoseokseen lisättävien nesteiden pitoisuudet, jotka vaikuttavat merkittävästi lopputuotteeseen.

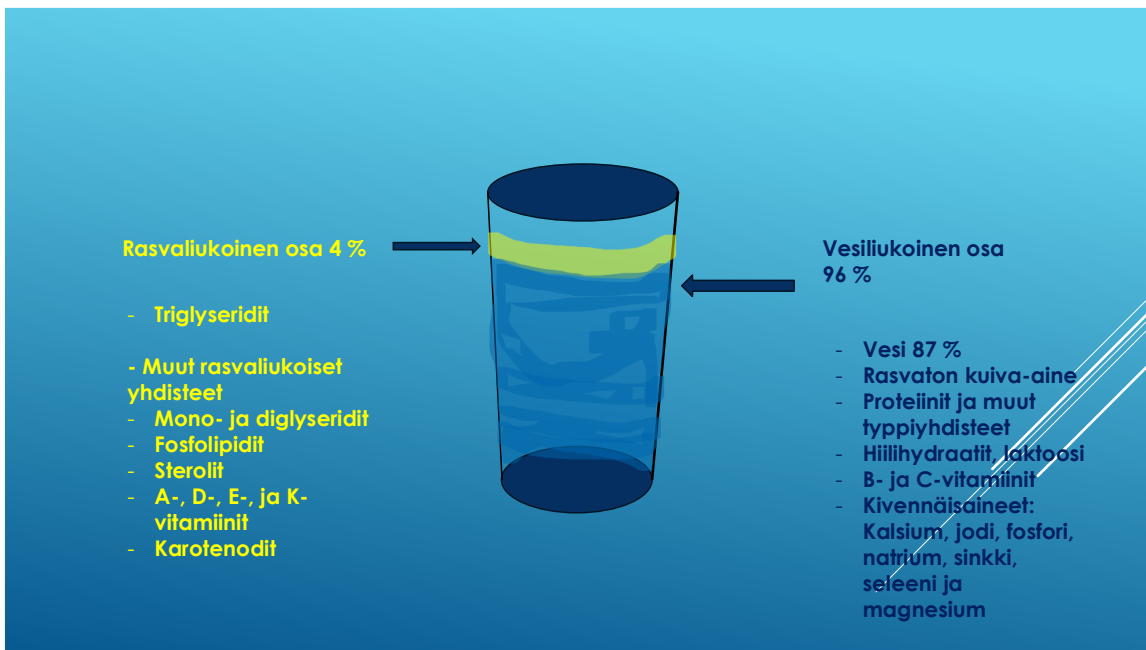
1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään aiheeseen liittyviä eri osa alueita. Ensimmäisessä teorian osassa on maidon koostumus ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Toisena teoriassa käsitellään maidon suodatusta ja siihen liittyviä eri laitteistoja. Kolmantena osana teoriassa on maitojauheesta yleisesti ja sen valmistus sekä laitteistojen läpikäyntiä. Menetelmäosiossa käydään läpi eri tutkimuslaitteistoa ja tutkimuksessa käytettävää suunnitelmaa. Tulososiossa käydään läpi tutkimuksessa saatuja tuloksia ja muita aiheeseen liittyvää tiedonkeruuta tietojärjestelmistä. Pohdinta ja johtopäätökset-osiossa käydään läpi tutkimuksen tuloksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä.

2 MAITO

2.1 Maidon koostumus

Raaka-aineena maito on biologinen ja sen ominaisuuksia ei pystytä selittämään pelkästään kemialliseen koostumukseen perustuen (Milkworks i.a). Vettä maidossa on 87 % ja aineosista muut ovat joko suspendoituneena tai liuenneena (kuvio 1.). Maito pitää sisällään muun muassa hiilihydraatteja 4,7 %, rasvaa n. 4,3 %, proteiineja 3,5 % ja kivennäisaineita 0,7 %. Näiden lisäksi maidossa on myös useita rasva- ja vesiliukoisia vitamiineja. Vaihteluun maidon koostumuksessa vaikuttavat lypsykauden (laktaatiokauden) vaihe, lehmärotu, lehmän ikä, lypsyn vaihe, ympäristöolot ja ruokinta. Maidon koostumuksen vaihtelu vuoden aikana voi vaikuttaa myöhempään prosessointiin meijeriteollisuudessa ja lopputuotteiden laatuun (Hamed ym.,2025). Maidon koostumuksen vaihtelu johtuu suorista ja epäsuorista tekijöistä, kuten vuodenaikojen vaihtelusta. Maidon vuodenaikaiset vaihtelut ovat hyvin dokumentoituja ja aiheuttavat haasteita maitotuotteiden tuotannossa. Yleisesti ottaen proteiinit ja mineraalit aiheuttavat haasteita eniten lämpökäsiteltäessä maitoa.



Kuvio 1. Maidon kemiallinen koostumus (Milkworks, i.a)

2.2 Maidon hiilihydraatit

Maitosokeri eli laktoosi on pääasiallinen hiilihydraatti maidossa (Milkworks i.a). Sitä maito pitää sisällään noin 4,7 g / 100 g. Laktoosi on disakkaridi, joka koostuu kahdesta monosakkariidista: glukoosista ja galaktoosista (Aho & Hilden, 2007, s. 38-39). Laktoosia esiintyy ainoastaan maidossa, eikä se maistu yhtä makealle kuin tavallinen sokeri. Laktoosipitoisuus maidossa vaihtelee 3,6 prosentista 5,5 prosenttiin (Bylund, 2025). Kun maito kuumennetaan korkeaan lämpötilaan ja pidetään siinä, niin sen laktoosi muuttuu ruskeaksi ja saa karamellin maun. Prosessia kutsutaan Maillard-reaktioksi ja se on seurausta proteiinien ja laktoosin kemiallisesta reaktiosta. Laktoosia esiintyy maidossa molekyyliliuoksena ja se on vesiliukoinen. Laktoosi ei ole yhtä makea kuin muut sokerit, vaan se on noin 30 kertaa vähemmän makeaa kuin esimerkiksi ruokosokeri.

2.3 Maidon rasva

Rasvaa maidossa on noin 4,3 g / 100 g (Aho & Hilden, 2007, s. 31-34). Se on pieninä pallosina vesiosassa jakautuneena. Maito on emulsio muodoltaan rasva vedessä tyyppinen. Maitorasva koostuu runsaista erilaisista kemiallisista rakenteeltaan monimuotoisista osista kuten: diglysereistä, triglysereistä, karotenodeista, steroleista, fosfolipideista ja hyvin pienistä määristä vapaita rasvahappoja. Suurimmalta osaltaan maidon rasva on triglyseridimuodossa, jossa glyseroliin kolme rasvahappoa on sitoutunut. Rasvapalloset ovat maidon kevyimpiä ja suurimpia partikkeleita, jotka nousevat pintaan, jos maito jätetään paikalleen pöydälle. Koostumukseltaan maidon rasva on erityinen ja siitä on eristetty yli 400 erilaista rasvahappoa, joista osa on sellaisia, että ne löytyvät vain maidosta (Arla, i.a). Sydän- ja verisuonitauteihin yhdistetään usein tyydyttynyt rasva. Maitorasvojen kulutuksen yhteyttä eivät tutkijat kuitenkaan ole pystyneet yhdistämään sairastuvuuteen. Maitorasvan ainutlaatuinen koostumus saattaa tähän olla ainakin osin syynä (Arla, i.a).

2.4 Maidon proteiinit

Erityyppisiä proteiineja maidon vesiosassa sisältää 3-3,5 g / 100 g (Aho & Hilden, 200, s. 34-36). Proteiinit maidossa jaotellaan pääryhmiin seuraavasti: kaseiinit (80 %) ja heraproteiinit (20 %). Proteiineihin maidossa kuuluvat myös entsyymit, jotka toimivat katalyytteina biokemiallisissa reaktioissa. Maidon proteiinit koostuvat ketjuista, jotka aminohapot ovat muodostaneet. Aminohappoja tunnetaan noin 20 erilaista ja 18 niistä löytyy maidosta. Latinankielisestä sanasta *Caseus* tulee kaseiinin yleisnimi, joka tarkoittaa juustoa. Väriltään kaseiini on puhtaan valkoista ja esiintyy ainoastaan maidossa, joka pitää sitä sisällään 2,6 %. Kaseiini on suurimolekyylinen proteiini, joka sisältää rikkiä, fosforia ja kalsiumia. Heraproteiineja maidon kokonaismäärästä on 0,5 % ja proteiinien määrästä 20 %. Heraproteiinit ovat pallomaisia ja vesiliukoisia. Maidon tärkeimmät proteiinit ovat: α -kaseiini, β -kaseiini, κ -kaseiini, β -laktoglobuliini ja α -laktalbumiini (Anandharamakrishnan, 2017, s. 79).

2.5 Maidon vitamiinit ja kivennäisaineet

Huomattava määrä maidon vitamiineista on A-vitamiinia ja sen esiastetta beetakaroteenia (Aho & Hilden, 2007, s. 40). Myös useita B-ryhmän vitamiineja, mutta C-, D-, E-, ja K- vitamiinin pitoisuudet ovat pienempiä. Vitamiinit maidossa ovat jakautuneet seuraavasti: rasvaliukoiset A-, D-, E, ja K- vitamiinit ovat maidon rasvaosassa, kun taas vesiliukoiset B- ja C- vitamiinit ovat maidon vesiosassa. Kivennäisaineita maidossa on noin 0,7 g / 100 g (Aho & Hilden, 2007, s. 40). Maidon kivennäisaineita ovat: magnesium, kalsium, natrium, fosfori, kloori, rikki ja kalium. Eniten kivennäisaineista maidossa on kalsiumia, 120 mg /100 g. Kalium ja Kalsiumsuolapitoisuudet ovat suurimpia normaalissa maidossa (Bylund, 2025).

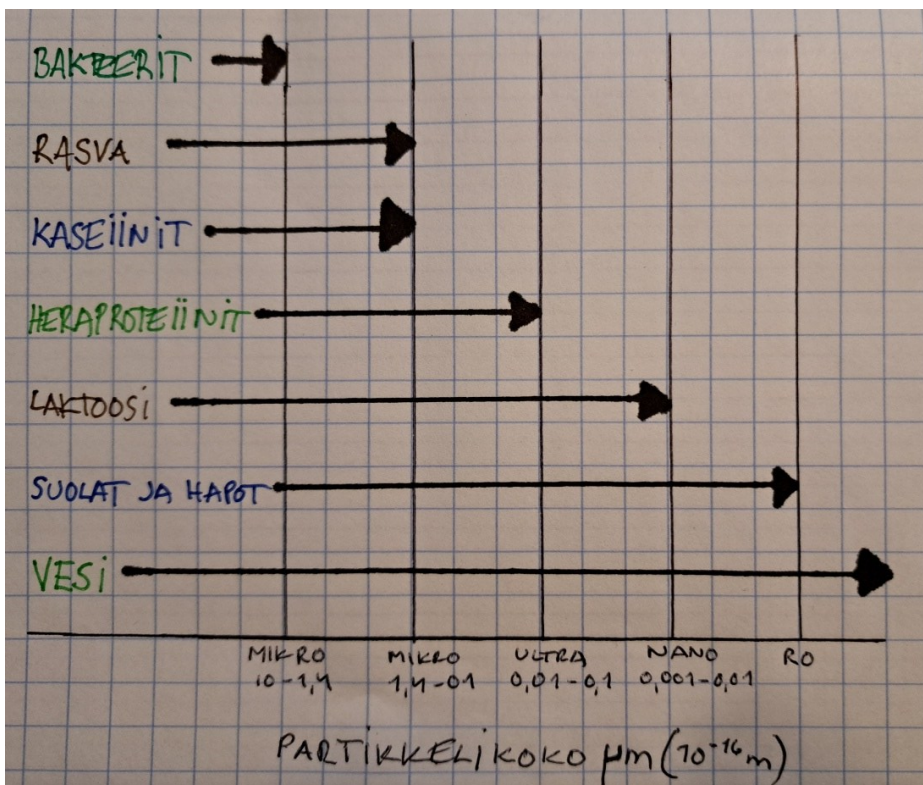
3 MAIDON SUODATUS

Maidon suodatuksessa on jo 1970-luvulta lähtien hyödynnetty kalvosuodatustekniikoita (Aho & Hilden, 2007, s. 79). Niiden kehitys on lisännyt mahdollisuuksia eristää komponentteja kannattavasti ja mahdollistanut uusien tuotteiden kehityksen. Joidenkin tuotteiden kohdalla sen käyttöönotto on huomattavasti alentanut valmistuskustannuksia ja joitakin ei ole ollut edes mahdollista valmistaa ilman kalvosuodatusta. Maidon ja heran käsittelyssä kalvosuodatustekniikat ovat laajasti käytössä, sekä jätevesien puhdistuksessa ja meijerien prosessivesien puhdistuksessa. Menetelmänä kalvosuodatus perustuu kalvoon, joka on kahden samaan suuntaan virtaavan nesteen välissä (Opetushallitus, i.a). Kalvot päästävät hiukkasia läpi vain valikoidusti, joka tarkoittaa niiden olevan puoliläpäiseviä (kuvio 2). Liuoksessa on korkea paine syöttövirran puolella. Sitä tiheämpi kalvo ja korkeampi syöttöpaine, mitä pienempiä komponentteja halutaan erottaa. Kalvon läpäisevää virtaa kutsutaan permeaatiksi ja kalvon pidättämää virtaa retentaatiksi.

Membraanisuoatus, eli kalvosuoatus on erotusmenetelmänä fyysinen. Sillä pystytään erottamaan kooltaan ja muilta ominaisuuksiltaan erilaiset molekyylit (Alfa Laval, 2025). Liikkeellepanevana voimana siinä on paine-ero erikoiskalvon eri puolien välillä. Kalvotekniikan avulla voidaan parantaa tuotteiden laatua ja pienentää tuotannon kokonaiskustannuksia. Yksi syöttövirta kulkee läpi kalvojärjestelmän kalvosuodatuksessa. Siinä ne erottuvat kahdeksi eri virraksi, jotka ovat retentaatti ja permeaatti. Kalvoluokkia on yleisesti hyväksyttynä neljä. Kalvotyyppit ovat suurimmasta huokoskoosta pienimpään seuraavat: mikrosuoatus, ultrasuoatus, nanosuoatus ja käänteisosmoosi.

Kalvosuodatustekniikat perustuvat ionien ja molekyylien liikkeeseen puoliläpäisevän kalvon läpi sähkökentän tai paineen avulla (Aho & Hilden, 2007, s. 80-81). Suodatusteknologioiden jako perustuu suodatuskalvojen ominaisuuksiin ja käytettyihin suodatuspaineisiin. Suodatukseen pätee käytännössä seuraava sääntö: sitä alhaisempia suodatuspaineita käytetään, mitä suurempia molekyylejä erotetaan. Meijeriteknologiassa hyödynnetään neljää päätyyppiä edustavia suodatuslaitteistoja: onttokuitusuodattimet, spiraalisuodattimet, putkimalliset suodattimet ja levysuodattimet. Suodatinlaitteistojen pesuissa käytetään kullekin sovellukselle ja kalvotyyppille sopivia pesuohjelmia ja pesukemikaaleja. Muista meijeriprosesseista poiketen ovat kalvosuodatuslaitteistojen pesuliuokset kertakäyttöisiä.

Maidon proteiinipitoisuuden nostamiseen käytetään jauheiden, jogurtin ja juustonvalmistuksessa ultrasuodatusta (UF) (Opetushallitus, i.a). Ultrasuodattamalla permeaattiin saadaan siirtymään laktoosi myös suolojen lisäksi. Juustolamaidon bakteerien poistossa käytetään mikro-suodatusta (MF). Laktoosin poistamiseen maidosta tai herasta käytetään nano- ja ultrasuodatuksen yhdistelmää (NF). Nanosuodatuksella voidaan myös poistaa suoloja. Ultrasuodatusta käytetään heraproteiinien erottamiseen. Maitopitoisten jätevesien (huuhteiden) käsittelyyn meijerissä sovelletaan käänteisosmoosia (RO), samoin kuin maidosta tai herasta veden poistamiseen. Joidenkin tuotteiden kohdalla sen käyttöönotto on huomattavasti alentanut valmistuskustannuksia ja joitakin ei ole ollut edes mahdollista valmistaa ilman kalvo-suodatusta.



Kuvio 2. Erialaisten suodattimien läpäisemät partikkelit (Opetushallitus, i.a)

3.1 Mikro-suodatus

Käytössä olevat mikro-suodattimet (MF) meijeriprosesseissa ovat pääasiassa keraamisia tangentiaalisuodattimia (Aho & Hilden, 2007, s. 82). Etuna niissä on suodatuskalvojen pitkä elinikä, mahdollisuus tehokkaisiin pesuihin ja steriloitavuus. Mikro-suodattimella konsentroidaan alhaisella suodatuspaineella (0,1-1,0 bar) suuria molekyyliä. Huokoskoko suodattimissa vaihtelee välillä 0,1-10 µm. Valinta suodatuskalvosta tehdään sen mukaan, suodatetaanko heraa, maitoa vai juustohapatetta tai konsentroidaanko juustonvalmistukseen maitoa. Mikro-suodatusta yleisimmin käytetään, kun halutaan poistaa maidosta mikrobeja, bakteeri-itiöitä ja soluja. Enimmäkseen mikro-suodatusta käytetään bakteerien vähentämiseen rasvattomassa maidossa, suolavedessä ja herassa, mutta myös proteiinifraktiointiin tarkoitetun heran rasvanpoistoon ja heraproteiinitivisteeseen (WPC) (Bylund, 2025).

3.2 Ultrasuodatus

Ultrasuodatuksella tarkoitetaan 1000-200 000 Daltonin (0,001-0,1 µm) keskimääräisen huokoskoon kalvoja (Aho & Hilden, 2007, s. 82). Ultrasuodatus perustuu siiviläilmiöön, eikä syöteen osmoottinen paine vaikuta käytännössä siihen. Käytettävät paineet ovat 1-7 baaria ja ne vaihtelevat suodatettavien liuosten ja kalvojen mukaan. Yleisesti ultrasuodatuksessa käytetään polysulfonipohjaisia polymeerikalvoja, mutta ultrasuodatuskalvoja on myös olemassa keraamisia. Ultrasuodatuskalvot kestävät hyvin hapettavien pesuaineiden käyttöä ja voimakkaita pesuja. Pääasiassa ultrasuodatusta käytetään maidon proteiinien konsentroinnissa. Suodatus konsentroi maidon proteiineista kaikki. Ultrasuodatuskalvot pidättävät kaiken rasvan ja lähes kaikki proteiinit maidosta (Anandharamkrishnan, 2017, s.35). Ultrasuodatuksen aikana maidossa pidätetyt muut ionit ja mineraalit ovat niitä, jotka ovat kiinnittyneet proteiineihin, kuten sitraatti, magnesium, fosfaatti ja kalsium, kun taas muut kulkeutuvat permeaattiin. Samalla tavalla proteiiniin sitoutuneet ja rasvaliukoiset vitamiinit pidätetään täysin.

3.3 Nanosuodatus

Käytettävä suodatuspaine nanosuodatuksessa on 15-40 baaria suodatettavan liuoksen ja suodatuskalvojen mukaan (Aho & Hilden, 2007, s. 83). Suodattimissa käytetään vain polymeerikomposiittikalvoja, joiden keskimääräinen huokoskoko on 150-1000 Daltonia (0,0001-0,001 μ m). Osittain suodatus perustuu sähköisiin varauksiin ja osittain huokosiin, mutta vaikuttavista tekijöistä ei täydellistä selvyyttä ole. Maidosta voidaan poistaa suoloja ja konsentroida nanosuodatuksella. Kahdenarvoiset suolat nanosuodatus pidättää ja yhdenarvoiset se läpäisee. Nanosuodatus päästää läpi pienet ionit (esimerkiksi mineraalit), mutta suuremmat ionit se sulkee pois ja useimmat orgaaniset komponentit (esimerkiksi sokerit, proteiinit, rasvat, itiöt ja bakteerit) (Alfa, 2025).

3.4 Käänteisosmoosi

Kalvosuodatustekniikasta yleisimmin käytetty on käänteisosmoosi (RO) (Aho & Hilden, 2007, s. 83). Huokosia ei käänteisosmoosikalvoissa ole, vaan tekniikka perustuu osmoosin hyödyntämiseen pelkästään. Käänteisosmoosi kattaa suodatuskalvot, jossa on keskimäärin alle 150 Daltonia (0,0001 μ m) huokoskoko. Paineet, joita käänteisosmoosissa käytetään ovat 20-60 baaria ja siinä on polymeerikomposiittimateriaaleista valmistetut kalvot. Yleisesti käänteisosmoosia käytetään heran ja maidon esikonsentroinnissa haihdutusta ja kuivausta ennemmin. Suodatettavasta liuksesta voidaan menetelmällä poistaa vain vettä, jolloin muut aineosat ja maidon suolat pidättyvät. Kalvon läpi mennyt jae eli vesi liukenee kalvoon ja siirtyy permeaattiin käänteisosmoosissa. Heraa ja maitoa konsentroidessa suolojen aiheuttama osmoottinen paine kohoaa ja rajoittaa kuiva-aineen noston 15-18 prosenttiin. Käänteisosmoosista saatua vettä voidaan hyödyntää esimerkiksi huuhteluissa, jolloin vedenkulutusta saadaan vähennettyä. Nesteen erottamiseen käänteisosmoosissa käytetään tiukinta mahdollista kalvoa (Alfa Laval, 2025). Vesi on periaatteessa ainoa aine, joka kalvon voi läpäistä. Aineista mikään muu (mineraalit, sokerit, suolat, proteiinit, rasvat, itiöt ja bakteerit) ei pysty sitä läpäisemään.

4 MAITOJAUHE

4.1 Maitojauheesta yleisesti

Elintarvikkeiden kuivaus on säilöntämenetelmä, joka estää mikro-organismien, kuten hiivojen ja homeen kasvua vettä poistamalla (Bylund, 2025). Kuivaaminen on yksi vanhimmista säilytysmenetelmistä, joita ihmiskunnalla on ollut käytössä. Kuivaamalla maito tai hera jauheeksi, sille saadaan paremmin säilyvä muoto ja maidon arvokkaat ravintoaineet pysyvät tallella (Aho & Hilden, 2007, s.144). Maitojauhe oli yksi Suomen viedyimmistä jalostettujen elintarvikkeiden tuoteryhmistä vuonna 2022 (Kehittyvä elintarvike, 2023). Kuumennuskäsittelyjen perusteella maitojauheet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan. Vähiten kuumennuskäsittelyä saanut maitojauhe vastaa ominaisuuksiltaan eniten ennastettua tuoretta maitoa. Voimakkaasti kuumennuskäsitelty maitojauhe sopii taas tuotteisiin, joissa on paljon kuumennuskäsittelyjä kuten esim. leipomotuotteisiin. Keskimmäiseen kuumennuskäsittelykategoriaan kuuluvaa maitojauhetta käytetään taas yleisemmin kuluttajatuotteissa.

Maitojauhetekniikan tavoitteena on ensisijaisesti muuttaa helposti pilaantuva nestemäinen raaka-aine tuotteeksi, jota voidaan säilyttää pitkään (tyypillisesti 2 vuotta) ilman merkittäviä laadun menetyksiä (Hamed ym.,2025). Ruiskukuivauksen jälkeinen jauheen alhainen vesipitoisuus (a_w 0,1-0,2) estää mikrobien kasvua ja mahdollistaa pitkäaikaisen huoneenlämmössä varastoinnin. Jauhekuivausprosessi maidolle sisältää useita kriittisiä vaiheita, joilla varmistetaan lopputuotteen täyttävän halutut laatuvaatimukset (Acmeofil, i.a). Esimerkiksi Yhdysvalloissa rasvattoman maitojauheen tulee täyttää kaikki liitovaltion kosmetiikka- lääke- ja elintarvikemääräykset (ADPI, 2023). Standardeissa on tarkasti määriteltä mitä siihen voidaan lisätä tai poistaa.

Suomessa valmistettu maitojauhe erottuu edukseen maailmanmarkkinoilla puhtaiden tuotanto-olosuhteiden ja korkean laadun avulla (Wanhalinna.V, 2023). Maitojauheen käyttökohteet ovat erilaisissa elintarvikesovelluksissa kuten ikääntyneiden täydennysravintovalmis-teissa, imeväisikäisten äidinmaidonkorvikkeissa ja urheiluravitsemustuotteissa.

Elintarviketeollisuudessa maitojauheen käyttökohteet ovat maitopohjaisissa tuotteissa (Wanhalinna.V, 2023). Maitojauhetta käytetään meijeriteollisuudessa tuoreen maidon korvaajana esim. tuorejuustoissa, juomissa ja jogurteissa. Maitojauheen sisältämässä suolassa on huomattavasti vähemmän natriumia, kuin ruokasuolassa. Maitojauhe sisältää muitakin kivennäisaineita, jotka aistitaan suolaisena makuna. Tämän vuoksi maitojauhetta voidaan käyttää myös suolan määrän vähentäjänä tuotteissa.

Teknologisilta ominaisuuksiltaan maitojauhe on monikäyttöinen ja hyvä liukoisuus helpottaa sen käyttöä (Kehittyvä elintarvike, 2021). Maitojauhe on ravitsemuksellisessa mielessä loistava proteiinin lähde, mutta myös monien vitamiinien ja mineraalien lähde. Makeisteollisuudessa etsitään keinoja terveellisempien tuotteiden valmistamiseen. Maitojauheella voidaan esimerkiksi korvata sokeria ilman, että suklaan maku tai rakenne kärsivät. Täysmaitojauhe (WMP) sisältää 26-42 % rasvaa ja proteiinia 34 %, ja sen kosteuspitoisuus on alle 5 % (Anandharamakrishnan, 2017, s.16). Rasvaton maitojauhe (SMP), joka saadaan raakamaidosta maitorasvan erottamisen jälkeen sisältää proteiinia 34 % ja alle 1,5 % rasvaa, sekä sen kosteuspitoisuus on alle 5 %. Maidon komponenttien alkuperäiset ominaisuudet säilyvät suurelta osin muuttumattomina kuivausolosuhteissa, jotka ovat kohtuulliset. (Schuck, 2009, s 292). Spraykuivatun jauheen ominaisuudet voivat vaihdella merkittävästi lämpötilan, kuivaajan suunnittelun ja esilämmitysolosuhteiden mukaan.

Joitain maitojauheen valmistuksenaikaisia muutoksia maidon eri komponentteihin löytyy seuraavasti (Singh ym., 2015). Esikuumennuksessa tuhotaan bakteerit ja heraproteiinit denaturoituvat. Haihdutuksessa maidon kiintoaineiden määrän lisääntyminen ja pH:n lasku. Tiivistettä kuumennettaessa sen viskositeetti vähenee. Spray- tai suihkukuivauksessa vesi poistetaan nopeasti ja sillä on suhteellisen vähäiset vaikutukset maitojauheen proteiineihin. Maitojauhetuotannossa on tärkeää korkeiden laatustandardien ja laadunvalvontaperusteiden ylläpitäminen seuraavilla toimilla (Acmeofil, i.a): Kosteuspitoisuus on ratkaisevan tärkeää säilyvyyden kannalta. Liukoisuus on myös laatuominaisuutena hyvinkin keskeinen. Ravintoarvoissa säännöllinen mineraalien, vitamiinien ja proteiinipitoisuuden testaus varmistaa, että lopputuote on ravitsemukselliset standardit täyttävää. Mikrobiologisista turvallisuutta täytyy ylläpitää säännöllisellä mikrobiologisella testaamisella ja tiukoilla hygieniakäytänteillä maitojauheen tuoteturvallisuuden varmistamiseksi.

4.2 Maidon proteiinivakiointi

Maidon vakiointi on yleisesti käytetty toimintatapa, jota käytetty jo vuosikymmeniä maitojauheen tuotannossa vähentämään vuodenaikojen vaihteluun liittyviä käsittelyongelmia (Hamed ym., 2025). Maidon vakiointi auttaa parantamaan maitojauheen ravitsemuksellista yhdenmukaisuutta ja parantaa sen käyttäytymistä eri prosessivaiheissa. Tasaisen koostumuksen varmistamiseksi on proteiinipitoisuus tyypillisesti standardoitava. Standardoimalla proteiinipitoisuuden tuote säilyttää tasaisemman koostumuksen. Maitoproteiini on merkittävin komponentti maitotuotteiden tuotannossa. Sen koostumuksella ja vaihtelulla on suuri vaikutus maitojauheen tuotantoon. SMP:n proteiini alaraja on 34 % kiintoainepitoisuuden perusteella ja permeaattia ja laktoosia saa käyttää standardointivälineenä SMP:n valmistuksessa. Jokaisella käytössä olevalla standardointityypillä on etunsa ja haittansa.

Kansainvälisten standardien (esim. Codex Alimentarius) mukaan on proteiinipitoisuuden oltava massasta vähintään 34 % (FAO, 1999). Tämän edellytyksenä on, että WMP tai SMP maitojauheissa rasvattomasta kuiva-aineesta vähintään 34 % sisältää proteiinia. Tavoitteisiin pääsyssä hyödynnetään standardointitekniikoita proteiinille, kuten laktoosin lisäämistä tai ultrasuodatusta. Näin proteiinipitoisuus voidaan säätää halutulle tasolle ennen kuivausprosessia.

4.3 Maidon haihdutus

Maitopohjaisten nesteiden ja maidon haihdutus tapahtuu alipaineessa, koska siinä saavutetaan kiehumispiste normaaliin ilmanpaineeseen verrattuna huomattavasti alemmassa lämpötilassa (Aho & Hilden, 2007, s.146). Näin tarvitaan vähemmän energiaa haihdutuslämmön ylläpitoon ja proteiinien ominaisuudet eivät tuotteissa kärsi. Haihdutus tapahtuu useissa peräkkäisissä vaiheissa ja näistä ensimmäisen kiehumislämpötila on enintään 68–75 °C ja viimeisessä vaiheessa vähintään 45°C. Varsinaista haihdutusta ennen neste esilämmitetään valmiiksi ensimmäisen vaiheen kiehumislämpötilaan. Lämmityksessä käytetään vastavirtaan tulevaa tuotetta (regenerointi) tai lauhdevettä. Mahdollisimman suuri osa vedestä pyritään poistamaan jo haihdutusvaiheessa, sillä energiakustannukset haihdutuksessa ovat vain kymmenesosa verrattuna tornikuivauksen kustannuksiin. Maito haihdutetaan yleensä 48–53 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen haihduttimella.

Tuleva neste ohjataan haihduttimessa ensin jakolevylle, joka on haihduttimen yläosassa (Aho & Hilden, 2007, s. 146). Jakolevyn tehtävä haihduttimessa on jakaa neste tasaisesti sen sisällä oleviin putkiin, joissa tapahtuu varsinainen haihtuminen. Neste valuu alas seinämää ohuena kerroksena putkien sisällä. Samaan aikaan putken ulkopuolella kuuma höyry lämmitteää putkea ja saa nesteen kiehumään, jolloin vesi haihtuu. Nestepinnan täytyy olla koko ajan jakolevyn yläpuolella, jotta kaikissa putkissa nestettä olisi tasaisesti, eikä pääsisi kiinnipalamista tapahtumaan. Jakolevy erottaa myös tiivistyneen nesteen ja vesihöyryn toisistaan. Vesihöyry ohjataan pois haihduttimesta ja kylmän veden avulla tiivistetään vedeksi. Näin lämmennyt vettä käytetään tulevan kylmän nesteen lämmitykseen regeneroinnissa. Haihduttimesta on poistettava tuotteesta haihtuva vesihöyry ja tiivistettävä vedeksi, jolloin se voidaan käyttää uudelleen prosessissa. Tämä voidaan tehdä kahdella erityyppisellä haihduttimella, joita voidaan käyttää samassa prosessissa myös yhdistelmänä.

Whey Protein Nitrogen Index (WPNI) ilmaisee jauheessa denaturoimattoman heraproteiinin määrän. (Schuck, 2009, s. 292). Esilämmitysprosessi on toimenpiteistä tärkein vaaditun WPNI-arvon säätämisessä. Maitojauheen tuotannossa lämpökäsittelyn vaikutus heraproteiinien denaturoitumiseen on tärkeä haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi lopputuotteessa.

4.4 Haihdutintyytit

MVR-haihdutin eli puhallinhaihdutin (Mechanical Vapour Recompression), joka on yleisin haihdutintyyppi nykyisin (Aho & Hilden, 2007, s.147). Kompressoripuhallin siirtää tuotteesta lähtevän vesihöyryn puristukseen, jossa paineen nousun myötä sen lämpötila nousee. Haihduttimen seuraavassa vaiheessa tätä kuumennettua höyryä käytetään lämmitykseen.

TVR-haihdutin eli Termokompressorihaihdutin (Thermal Vapour Recompression) käyttää höyrykattilasta tuotua höyryä tuotteesta poistuvan höyryn lämmitykseen ja tiivistykseen (Aho & Hilden, 2007, s.146). TVR-haihdutus, eli lämpöhöyryn uudelleenkompressiohaihdutus (Hanpu technology, i.a). Pääperiaatteena siinä on käyttää TVR- lämpöpumppua osan toisiohöyryn uudelleenpuristamiseen käytettäväksi uudelleen lämmönlähteenä. Tällä toiminnolla saadaan vähennettyä raakahöyryn kulutusta prosessissa.

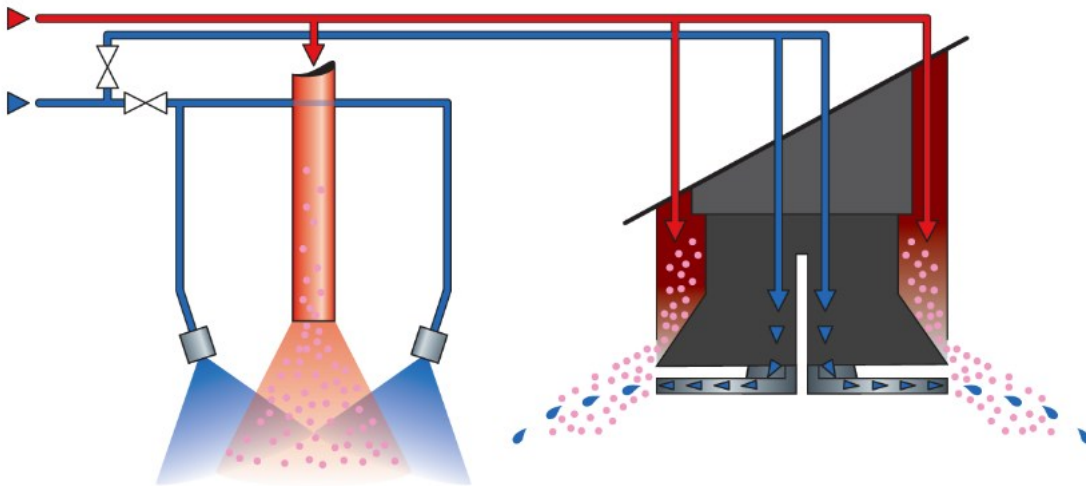
4.5 Maitojauheen kuivaus

Kuivaus on massansiirtoprosessi, jossa muu liotin tai vesi poistetaan haihduttamalla kiinteästä nesteestä, aineesta tai lietteestä (Bylund, 2025). Elintarvikkeet kuivataan yleensä kuumalla ilmalla veden poistamiseksi. Tehokasta kuivausta varten ilman tulee olla liikkuvaa, kuumaa ja kuuma. Tiivistetty neste (Hera- tai maitotiiviste) kerätään haihduttimessa niin sanottuun mikkisäiliöön ja kuivataan jauheeksi sumuttamalla sitä pieninä pisaroina kuumaan ilmapirtaan, jolloin se kuivuu kokonaan tai osittain (Aho & Hilden, 2007, s. 149). Kuivaimeen tiivistettä sumutettaessa siinä voidaan käyttää kahta erityyppistä sumuttajaa (kuvio 3). Kiekkosumuttaja, jossa tiiviste ohjataan kiekon keskelle. Tiiviste hajoaa pieniksi pisaroiksi keskipakovoiman vaikutuksesta kiekon pyöriessä ja sinkoutuu ulos reunoissa olevien reikien kautta. On olemassa erilaisia kiekkoja eri tuotteille.

Pyörivä kiekkosumuttaja koostuu ruostumattomasta teräksestä valmistetusta kiekosta, joka pyörii nopeudella 10 000-30 000 kierrosta minuutissa (Anandharamakrishnan, 2017, s. 60). Pisaroiden poistumisnopeus on 90-200 m/s. Maitotiivisteen syöttönopeudella ja syötteen viskositeetilla on suora yhteys pisarakokoon.

Toinen vaihtoehtoista on korkeapainesuutin, jonka pienestä reiästä tiiviste puristuu paineella ulos samalla hajoten sumuksi (Aho & Hilden, 2007, s.149). Suuttimesta tuleva nestekalvo hajoaa hienoksi pisarasuihkuksi paine-energian muuttuessa kineettiseksi energiaksi (Anandharamakrishnan, 2017, s.62). Painesuuttimien tuottamien pisaroiden halkaisija on 120–250 µm. Pisarakoko pienenee suutinpaineiden kasvaessa ja syöttönopeuden, sekä viskositeetin pienentyessä.

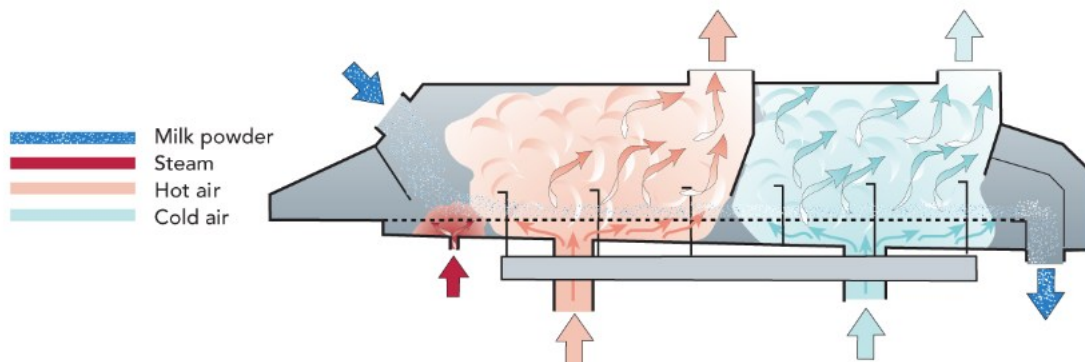
Käytössä on yleensä useita suuttimia samaan aikaan (Aho & Hilden, 2007, s. 149). Suuttimien asentoa ja suuttimien reiän kokoa voidaan vaihdella tuotteen vaatimusten mukaan. Spraykuivaus ei denaturoi merkittävästi heraproteiinia ja denaturoituneen heraproteiinin määrä on siinä suunnilleen sama, kuin tiivistetyssä maidossa ja kuumennetussa maidossa (Schuck, 2009, s. 292). Spraykuivauksen ja maitoteollisuuden välinen yhteys juontaa juurensa toiseen maailmansotaan, jolloin tarvittiin suuria määriä maitojauhetta armeijan tarpeisiin eri puolilla maailmaa (Anandharamakrishnan, 2017, s. 57).



Kuvio 3. Korkeapainesuutin ja kiekkosumuttaja (Tetra Pak, 2025)

Jauheen partikkelikokoon eli karkeuteen on suora vaikutus sumutuksen pisarakoolla. Pisarakokoa voidaan säädellä molemmissa sumutintyyeissä kuiva-ainepitoisuuden ja syötön avulla (Aho & Hilden, 2007, s.150). Lisäksi kiekon pyörimisnopeus kiekkosumuttajassa ja paine suutinsumuttimessa vaikuttavat pisarakokoon. Tuloilman ilmamäärä ja lämpötila vaikuttavat kuivumisnopeuteen. Tiivisteiden sisältämän laktoosin, proteiinin, suolojen tai muun sokeerin määrä vaikuttaa olennaisesti valmiin jauheen ominaisuuksiin ja kuivumisnopeuteen. Korkeaproteiiniset tiivisteet ovat jauheena kevyempiä ja myös helpoimmin kuivuvia (Aho & Hilden, 2007, s.150). Kuivaustornin kammio sumutinkuivauksessa on lieriömainen ja alaosasta kartiomainen. Sumuttaja on sen yläosassa ja tuloaukot kuumalle kuivausilmalle. Kammiossa on lievä alipaine kuivauksen aikana. Tuloilman lämpötila on 175–210 °C ja poistuvan ilman 70–80 °C. Sumuttajasta tulevat pienet pisarat kuivuvat ilmavirassa ja samalla putoavat kamion alaosaan.

Käytössä on usein erillinen leijupeti, jolla voidaan tehdä lopullinen jauheen kuivaus (Aho & Hilden, 2007, s. 149-150). Tällöin jauheesta tulee vähemmän pölyävää ja karkeampaa. Periaatteessa leijupeti on pienireikäinen levy, jossa lämmintä ilmaa puhalletaan alapuolelta. Jauhekerros leijuu levyn päällä ilmavirassa kuivuen samalla tehokkaasti (kuvio 4). Sisäänrakennettu leijupeti on joidenkin kuivaustornien pohjalla, jossa jauhepartikkelit osittain tarttuvat kiinni toisiinsa muodostaen huokoisempaa ja karkeampaa jauhetta. Sitä kutsutaan jauheen instantoinniksi. Ulkoisella leijupedillä voidaan tehdä myös sama, johon jauhe ohjataan suoraan tornista. Useissa kuivaimissa on sekä ulkoinen että sisäinen leijupeti.



Kuvio 4. Ulkoinen leijupeti (Tetra Pak, 2025)

Instantointi on prosessi, jolla voidaan parantaa ennustusominaisuuksia maitojauheissa kuten vettyvyyttä (Pihlaja, 2023). Maitojauhe instantoidaan tyypillisesti joko agglomeroinnilla, eli kasvattamalla jauhepartikkelin huokoisuutta ja kokoa. Sitä voidaan tehdä myös lisäämällä le-sitiiniä jauheeseen, joka vähentää jauhepartikkelin hydrofobisuutta sen pinnassa. Jauheen agglomeroinnilla tarkoitetaan sitä, että hienoimmat hiukkaset tarttuvat yhteen muodostaen isompia hiukkasia (Westergaard, 1994, s.66). Isommilla partikkeleilla on parempi dispersiokyky. Tavoitteena on sumutuskuivaus prosessin aikana tuottaa pinta-alaltaan suurempia partikkeleita. Jauheen koostuessa pienemmistä partikkelista sen veteen liuottaminen on vaikeampaa ja vaatii enemmän sekoittamista.

Pienimmät jauhepartikkelit eli hienojauhe poistuu myös kuivaustornista poistuvan ilman mukana. (Aho & Hilden, 2007, s.151). Hienojauhe ohjataan sykloniin erotettavaksi ilmavirrasta ja muuhun jauheeseen palautettavaksi. Erotussykloni toimii keskipakoisvoiman periaatteella. Hienojauhe voidaan palauttaa joko leijupedille tai kammioon tai molempiin sen mukaisesti, kuinka karkeaa jauhetta halutaan. Palautettaessa esimerkiksi kammion kosteaan sumutusvirtaan, niin saadaan aikaan suurempia jauhepartikkeleita. Maitojauheiden partikkelinmuoto ja -koko vaikuttavat oleellisesta sen koheesiivisuuteen, virtaavuuteen ja liukoisuuteen (Dec ym.,2023). SPC:n ja MCC:n parempi virtaavuus ja huonompi liukoisuus selittyvät niiden pienemmällä koheesiolla ja suuremmalla partikkelikoolla.

Hienojauhe ohjataan ulkoiselle leijulle hienojakoista jauhetta valmistettaessa (Aho & Hilden, 2007, s.151). Huolimatta hienojauheen palautusjärjestelmästä jauheesta osa on niin hienojakoista, ettei tavanomaisilla sykloneilla saada sitä talteen vaan se sekoittuu poistoilmaan. Tiu-kentuneissa ympäristövaatimuksissa on viime vuosina kehitetty pölyn talteenottojärjestelmiä tornin poistoilmalle. Pussisuodatus-periaatteella toimiva järjestelmä on ehkä näistä menetelmistä merkittävin. Poistoilma tornista kulkee suodattimien kautta, jolloin mukaan jauheeseen saadaan myös jauhepöly. Jauheen kuivaushävikki myös pienenee pussisuodatusta käytettäessä.

4.6 Maitojauheen pakkaus ja laadun varmistus

Maitojauhe jäähtyy noin 20-asteiseksi leijupedin loppupäässä (Aho & Hilden, 2007, s.151). Seuraavana se menee seulalle ja edelleen siitä paineilmalla toimivan siirtolinjan kautta pakattavaksi jauhesiiloon. Tilavuus jauhesiilossa on noin 50000 kiloa jauhetta. Erilaisia jauhepakkauksia ovat monikerrospaperisäkki, jossa on sisäpussi muovia, nettopaino 10-25 kg. Polypropeenikuiduista tehdyt suursäkit, joissa on muovitettu sisäpinta ja nettopaino 500-1100 kg (Aho & Hilden, 2007, s.151). Pakattu jauhe varastoidaan muovilla kelmutettuina lavoille kuivassa ja viileässä varastossa, ilman kosteus alle 50 % RH ja optimilämpötila 10-25°C. Laadunvarmistuksessa nykyisten jauheiden itiöpitoisuusmäärittelyt vaihtelevat suuresti tuotteen ja asiakkaan loppukäytön mukaan (Murphy ym.,2016). Maitojauheissa huolenaiheena ensisijaisesti ovat mesofiilliset ja termofiilliset itiöitä muodostavat bakteerit, jotka ovat peräisin käsittely-ympäristöstä sekä raakamaidosta. Maitojauheen pakkaaminen on kriittinen vaihe säilyvyyden ja tuoteturvallisuuden ylläpitämiseksi, erityisesti suunnattaessa kansainvälisille markkinoille (Acmeofil, i.a).

Maitojauheiden kemiallinen koostumus ja fyysiset ominaisuudet ovat keskeisiä laatumittareita ja niihin kuuluvat tekijät, kuten partikkelikoko, tiheys, virtaavuus, liukoisuus ja vesipitoisuus (Hamed ym.,2025). Maitojauheissa laktoosin kiteytyminen voi johtaa muutoksiin, joita ei toivota (Huppertz &Gazi, 2016). Mikrorakenteita maitojauheissa voidaan vertailla objektiivisesti fraktaaliallyysillä (Dec ym.,2023). Fraktaaliallyysia voidaan käyttää hiukkasten pinnan epäsäännöllisyyden määrittämiseen. Ominaisuuksiin maitojauheissa vaikuttavat useat tekijät, kuten partikkelinkoko, -muoto, huokoisuus, pinta ja kemiallinen koostumus.

4.7 Laktoositon maitojauhe

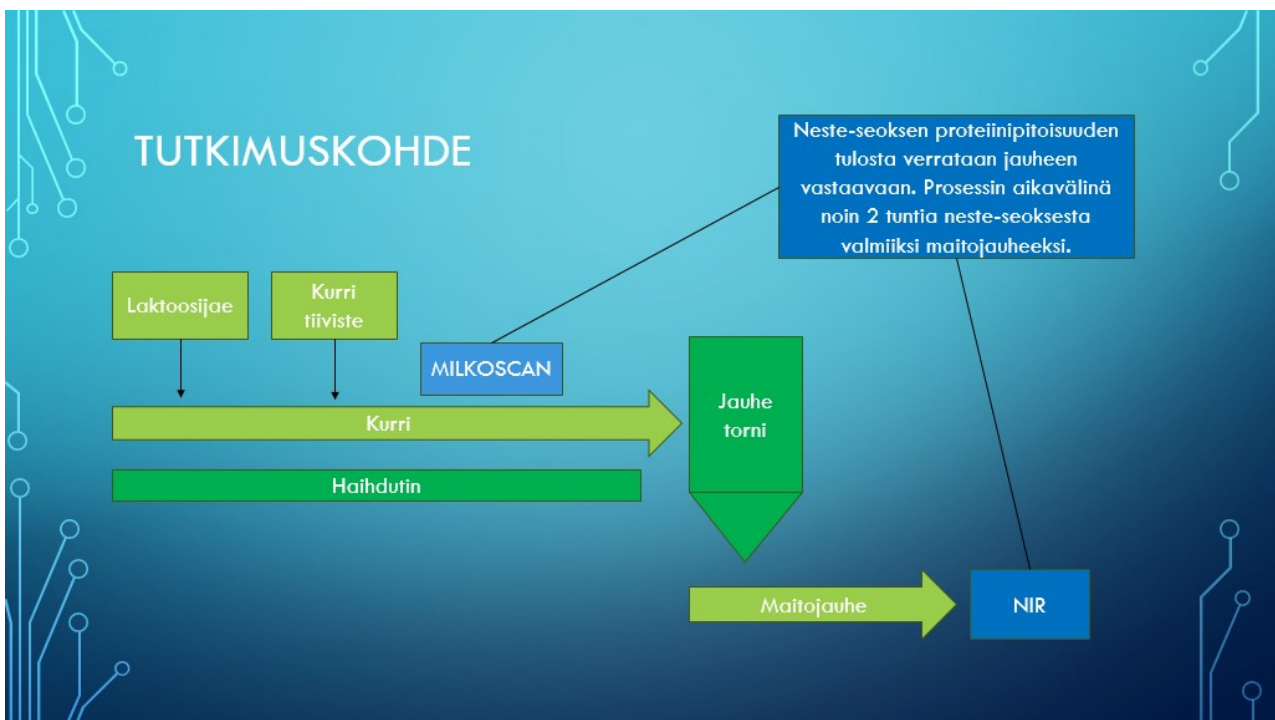
Laktoosi-intoleranssi vaikuttaa 60-70 % maailman väestöön ja aasialaiset muodostavat tapauksista 90 % (Sen ym.,2025). Laktoosittomien maitotuotteiden odotetaan saavuttavan 24,36 miljardin Yhdysvaltain dollaria vuoteen 2031 mennessä (Sen ym.,2025). Vähälaktoosinen maitojauhe on kustannustehokkaampi kuin nestemäinen vähälaktoosinen maito sen pidemmän säilyvyysajan vuoksi, joka vähentää hävikkiä ja pilaantumista. Sillä on alhaisemmat kuljetus- ja varastointikustannukset, koska se ei vaadi jäähdytettyjä tiloja. Spraykuivaus vähälaktoosisella maidolla kuitenkin sisältää teknisiä haasteita, kuten paakkuuntumista, kuivaajan seinämiin tarttumista ja Maillard-reaktioon liittyviä muutoksia.

Valion verkkosivujen mukaan laktoositon maitojauhe on valmistettu sen omalla patentoidulla valmistusmenetelmällä tuoreesta suomalaisesta maidosta (Valio, i.a). Se sisältää runsaasti maitoproteiinia ja on maultaan luonnollisen raikas. Jauhe soveltuu laajasti laktoosittomien tuotteiden valmistukseen ja sen avulla on mahdollista valmistaa luonnollisesti vähemmän sokeria sisältäviä tuotteita tai tuotteita, jossa on korkea proteiinipitoisuus.

5 MENETELMÄT JA AINEISTO

5.1 Tutkimuksen toteuttaminen

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä paikallisen meijerin kanssa ja tutkimuspaikkana toimi jauheprosessi sekä sen käytössä olevat mittalaitteet. Tutkimuksen lähtökohtana on rasvattoman maitojauheen proteiinivakioinnin vaihtelut. Prosessissa haihduttimelle syötettävään maitovirtaan lisätään erilaisia laktoosijakeita ja kurritiivistettä (kuvio 5). Näiden edellä mainittujen jakeiden pitoisuuksissa on eroja, joka tekee kurrimaitoseokseen proteiinin osalta vaihtelua. Kurritiivisten lisäyksellä saadaan nostettua haihduttimelle menevän maitovirran kuiva-ainepitoisuutta, jolloin maidon tiivistäminen on helpompaa haihduttimelle.



Kuvio 5 Tutkimuksen kohde

Tutkimus aloitettiin ottamalla haihduttimen syöttösuppilolta kuusi maitoseosnäytettä purkkeihin. Toinen näytteistä lähetettiin toimipaikan laboratorioon ja toinen näytteistä analysoitiin jauheosastolla sijaitsevalla Milkoscan FT3 analysaattorilla (kuva 1), että saataisiin selville testilaitteiden vertailukelpoisuus.

Milkoscan FT3- analysaattori on suunniteltu puolikiinteiden ja nestemäisten maitotuotteiden kuten creme fraicen, jogurtin, heran, kerman, proteiinitivisteiden ja maidon koostumusanalyysin tekemiseen (fossanalytics, i.a). Vertailukelpoisuutta haettiin kolmella parilla satunnaisnäytteitä, joita vertailtiin keskenään. Laitevalmistajan ilmoittama mittaustarkkuus on maidolla <1,0 %.



Kuva 1. Milkoscan FT3-analysaattori

5.2 Tulosten vertaaminen keskenään

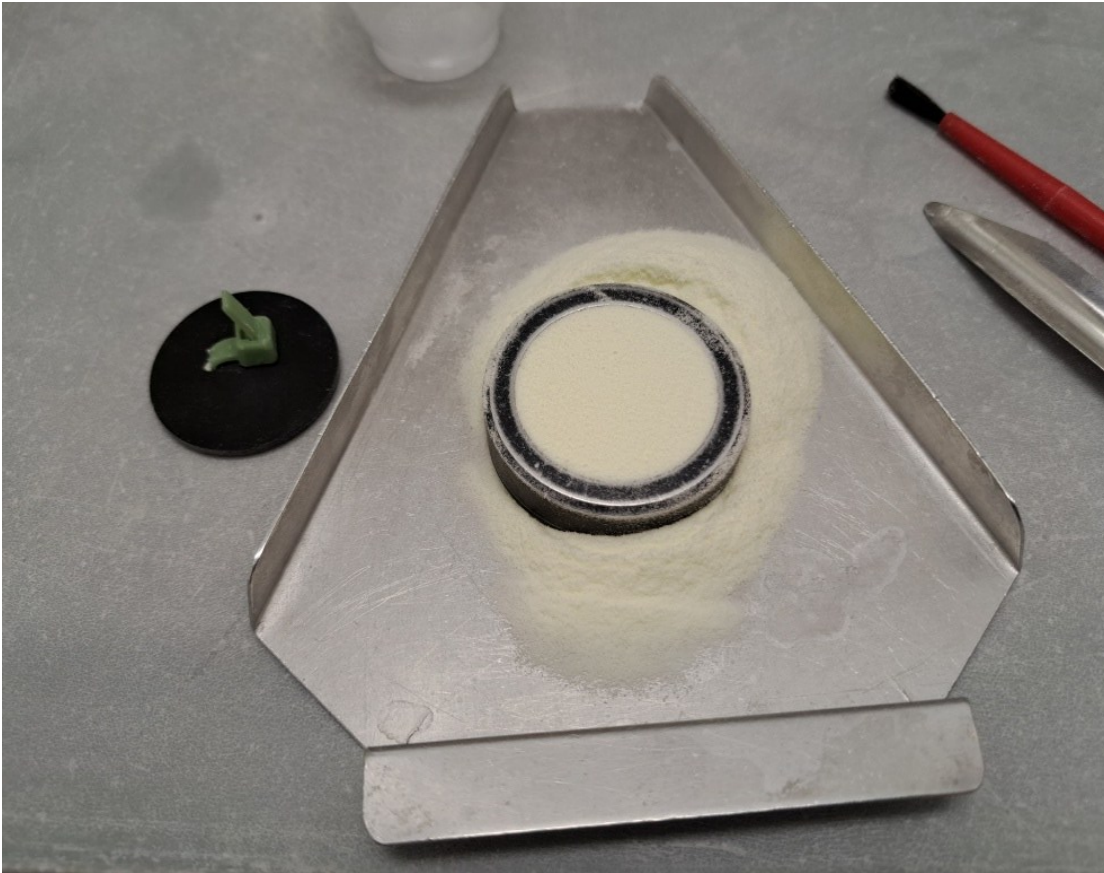
Varsinaisessa tutkimuksessa verrattiin keskenään haihduttimen syöttösuppilolta otettua näytettä (kuva 1) jauhelaitteiston loppupäästä otettuun jauhenäytteeseen. Näytteiden välinen aikavälin tulee olla noin kaksi tuntia, että kyseinen kohta maitotiivisteestä ehtii tulla läpi kuivaimesta. Maitojauheen proteiinipitoisuutta mitataan NIR-analysaattorilla (kuva 2). Lähi-infrapunaspektroskopia eli NIR on menetelmänä tehokas ja se soveltuu, niin kvantitatiiviseen, kuin kvalitatiiviseen tutkimukseen (Measurlabs, 2025). NIR-spektrometri mittaa infrapuna-alueen lähellä värähtelevien molekyylien yhdistelmä- ja yläsäveliä.

Dataa voidaan käyttää materiaalien tunnistamiseen ja koostumuksen määrittämiseen. Toiminta NIR-spektroskopiassa perustuu elektromagneettiseen säteilyyn (Measurlabs, 2025). NIR-analysissa käytetään diffraktiohilaa, jolla valo saadaan eroteltua halutulle aallonpituudelle. Sitten tämä eroteltu valo suunnataan näytteeseen.

Näytteen läpi kulkenut ja sironnut valo kerätään erityisellä diodirividetektorilla, joka mittaa absorbanssia ja läpäisykykyä (Measurlabs, 2025). Mitatusta tiedosta luodaan heijastusspektrit saadun tiedon esitystä varten. Näytteeseen absorboitunut ja sen läpi kulkeutunut valo riippuu näytteen koostumuksesta. Sähkömagneettista säteilyä suunnattaessa näytteeseen säteilyn kantama energia aiheuttaa erilaisia vuorovaikutuksia, kuten yläsäveliä molekyylien värähtelyssä kemiallisissa sidoksissa näytteessä. NIR-menetelmä on käytössä yleisesti toiminnallisten ominaisuuksien määrittämisessä ja koostumuksen sekä materiaalien tunnistamisessa. Rehuissa ja elintarvikkeissa NIR-spektroskopia on tehokas työkalu hiilihydraattiprofiiliin, orgaanisten happojen, kiintoaineiden, tiheyden, etanolin, vapaiden rasvahappojen, rasvan, proteiinin, kosteuden ja muiden tärkeiden aineosien mittaamisessa.



Kuva 2. Foss NIR-analysaattori



Kuva 3. Maitojauheen asettelu NIR-analysaattorille

NIR-mittauksessa maitojauhe tulee asetella tasaisesti kyvetiin ja tasata jauheen pinta käävintävälineellä (kuva 3). Jauhepinnan päälle asetetaan kansi tasaisesti ja kyveti puhalletaan tämän jälkeen paineilmalla puhtaaksi ulkoapäin ennen NIR-analysaattoriin asetettamista. Kyveti laitetaan NIR-analysaattoriin lasipinta alaspäin ja sen tulokset voidaan lukea näytöltä. Mittauksen jälkeen kyveti taas puhalletaan puhtaaksi paineilmalla ennen seuraavaa mittausta. NIR-analysaattorille on tallennettu valmiit kalibroidut kanavat eri maitojauhe-laaduille.

5.3 Tutkimuksen suunnittelu

5.4 Tutkimuksen toteuttaminen

6 TULOKSET

6.1 Vertailunäytteet

6.2 Tutkimuksen tulokset

6.3 Tulosten erotuksen vaihteluväli

6.4 Tulosten korrelaatio

6.5 Vakioimaton maitojauhe

6.6 Maitovirtaan lisättävät laktoosijakeet

6.7 Kurritiiviste

7 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

LÄHTEET

- AcmeFIL (i.a.) *Spray Dryer for Milk Powder Production*. <https://spraydryer.com/spray-dryer-for-milk-powder/#:~:text=Spray%20Dryer%20for%20Milk%20Powder,Airflow%20Managemen>
- ADPI (7.7.2023). *Skim Milk Powder Standard*. <https://adpi.org/ingredient-resources/skim-milk-powder/#:~:text=Parameter%20Units%20of%20Measure%20Limits,5.0%20maximum>
- Aho, J., & Hilden, T. (2007). *Maidon matkassa*. Opetushallitus
- Alfa Laval (2025). *Erotustekniikka*. https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ja-jarjestelmat/erotustekniikka/kalvot/what-is-membrane-filtration/?source=google&medium=cpc&campaign=neu_nrd_fwd_dec_a_always-on_gcpc_membranes&content=search&term=nanosuodatus&msclkid=7bd3af4b7143182fd20fc8e294c4064d
- Anandharamakrishnan, C. (toim.). (2017). *Handbook of drying for dairy products*. Wiley Blackwell. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/seamkebrary-ebooks/reader.action?docID=4801041&ppg=38>
- Arla. (i.a). *Monipuolinen maitorasva*. <https://www.arla.fi/yritys/hyvinvointi/monipuolinen-maito/rasva/>
- Bylund, G. (2025). *Dairy processing handbook*. Tetra Pak. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/milk-and-whey-powder>
- Dec, B., Kielczewska, K., Smoczyński, M., Baranowska, M., & Kowalik, J. (2023). Properties and Fractal Analysis of High-Protein Milk Powders. *Applied Sciences*, 13(6), 3573. <https://doi.org/10.3390/app13063573>
- FAO (1999). Codex Standard for Milk Powders and Cream Powder (CODEX STAN 207-1999).
- Fossanalytics. (i.a). *Milkoscan FT3*. <https://www.fossanalytics.com/en/products/milkoscan-ft3#Features>
- Hamed, A. M., Galli, B., Hogan, S. A., Abdel-Hamid, M., & Romeih, E. (2025). Adaptive and predictive approaches, to mitigate the impact of milk seasonality on composition, processing technologies and quality of milk powders. *International Journal of Dairy Technology*, 78(1), e13148. doi: 10.1111/ 1471-0307.13148
- Hanpu Technology, (i.a). TVR- Evaporator. <https://fi.hanpumachinery.com/evaporation-project/evaporation-system/tvr-evaporator-plant.html>

- Huppertz T, & Gazi I. (2016). Lactose in dairy ingredients: Effect on processing and storage stability. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 6842-6851. doi: 10.3168/jds.2015-10033.
- Hyvärinen, L. (2021). Maitojauheet ovat elintarvikesektorin suurin vientituote suomessa. *Kehittyvä elintarvike*.
<https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/toimialat/maitoteollisuus/maitojauheet-ovat-elintarvikesektorin-suurin-vientituote-suomessa/>
- Measurlabs. (2025). *Lähi-infrapunaspektroskopia*. <https://measurlabs.com/fi/menetelmat/lahi-infrapunaspektroskopia-nir/#:~:text=NIR-spektroskopian%20toiminta%20perustuu%20elektromagneettiseen%20s%C3%A4teilyyn.%20NIR-analyysissa%20k%C3%A4ytet%C3%A4%C3%A4n%20diffraktiohilaa%2C,halutuille%20aallonpituuksille.%20T%C3%A4m%C3%A4%20eroteltu%20valo%20suunnataan%20sitten%20n%C3%A4ytteeseen.>
- Milkworks. (i.a). *Maidon mikrobiologinen koostumus*. <https://milkworks.fi/maidon-mikrobiologinen-koostumus/>
- Murphy, S. C., Martin, N. H., Barbano, D. M., & Wiedmann, M. (2016). Influence of raw milk quality on processed dairy products: How do raw milk quality test results relate to product quality and yield? *Journal of Dairy Science*, 99(12), 10128–10149
[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(16\)30640-3/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(16)30640-3/fulltext)
- Opetushallitus. (i.a). *Maidon jalostus: kalvosuodatus*.
<https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/kalvosuodatus.pdf>
- Pihlaja, L. (2023). *Agglomeroinnin vaikutukset maitojauheen ennustusominaisuuksiin*. Helsingin yliopisto. <https://helda.helsinki.fi/items/d0cbb4ac-5633-4fd8-9359-c71f0d19b87a>
- Schuck, P. (2009). Effects of Drying on Milk Proteins. Teoksessa A. Thompson, M. Boland, & H. Singh (toim.). *Milk proteins: From expression to food*. Elsevier.
<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMPEF0001/milk-proteins-from-expression/milk-proteins-from-expression>
- Sen, C., Arora, S., Singh, R., Sharma, V., Meena, G. S., & Singh, A. K. (2025). Impact of polysaccharide addition on the technological aspects of low lactose milk powders. *Food Research International*, 201, 115592. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115592>
- Singh, P.K., & Singh, H. (2015). Dry Milk Products. Teoksessa R.C. Chandan, A. Kilara and N.P. Shah (toim.), *Dairy Processing and Quality Assurance*. <https://doi.org/10.1002/9781118810279.ch14>
- Tampereen yliopisto. (i.a). *Tietoarkisto: Kovarianssi ja korrelaatio*.
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/korrelaatio/korrelaatio/>

- U.S. Dairy Export Council (2014). *Milk protein concentrates: Manufacturing and applications*. Dairy Research Institute. <https://www.usdec.org/>
- Valio. (i.a). *Valio Eila pro laktoositon rasvaton maitojauhe*. <https://www.valio.fi/tuotteet/valio-eila-pro-laktoositon-rasvaton-maitojauhe/>
- Wanhalinna, V. (2023). Maitojauhe antaa makua rakennetta ja väriä. *Kehittyvä elintarvike*. <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/teemajutut/valmistus-ja-lisaaineet-tuotekehitys/maitojauhe-antaa-makua-rakennetta-ja-varia/>
- Westergaard, V. (2010). *Milk powder technology evaporation and spray drying*. Gea Niro. <https://www.greatspringpack.com/js/20212/Milk-Powder-Technology-Evaporation-and-Spray-Drying.pdf>

