



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Pasi Ranto

Kirnumaitoproteiinitiiivisten laktaasientsyymin annostelun optimointi

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

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

Suuntautumisvaihtoehto: Elintarviketeknologia

Tekijä: Pasi Ranto

Työn nimi: Kirnumaitoproteiinitiiivisten laktaasientsyymien annostelun optimointi

Ohjaaja: Jarmo Alarinta

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 47

Liitteiden lukumäärä: 1

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voidaanko Valion Seinäjoen tehtaalla kirnumaidosta suodatetun kirnumaitoproteiinitiiivisten laktaasientsyymien annostusta optimoida. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Valio Oy.

Laktoosipitoisuus vaihtelee eri tiiviste-erien kesken, joten laktaasin annostukseen ei ole yhtä oikeaa annostelutapaa. Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, riittääkö 0,12 % laktaasientsyymien annostus hydrolyysin maksimajan ollessa 16 tuntia. Tutkimuksessa hyödynnettiin BioMilk 7000 -pikamäärityslaitetta, jolla mitattiin laktoosipitoisuuksia.

Opinnäytetyössä käytiin kaksi erilaista tutkimussuunnitelmaa läpi. Ensimmäisen epäonnistuneen suunnitelman jälkeen kehitettiin toinen suunnitelma, joka toteutui hyvin, ja saatiin lopulta tutkimuksen kannalta positiivisia tuloksia. Tuloksia kerättiin noin kolmen kuukauden ajan.

Ensimmäisessä tutkimussuunnitelmassa pyrittiin mittaamaan kirnumaitoproteiinitiiivisten laktoosipitoisuuden lähtötasoa, jonka avulla saataisiin laskettua laktaasientsyymien annostelu ja kuinka paljon laktoosia hydrolysoituu lopulta. Laktoosin lähtötasot olivat kuitenkin niin suuria, että BioMilk 7000 -laitteella ei saatu luotettavia tuloksia.

Seuraavaa tutkimussuunnitelmaa toteutettiin niin, että kirnumaitoproteiinitiiivisten sekaan lisättiin 0,12 % laktaasientsyymiä laktoosipitoisen kirnumaitoproteiinitiiivisten mukaan. Kirnumaitoproteiinitiiiviste on peräisin kirnumaidosta, jossa voi olla sekaisin niin laktoosipitoista kuin laktoositonta kirnumaitoa. Tällöin laktoosipitoisuus vaihtelee.

Useiden mittausten jälkeen selvisi, että 0,12 % laktaasientsyymien annostus on riittävä ja tiivisteestä saadaan laktoositonta, kun laktoosipitoista kirnumaitoa on vähintään 70 % koko kirnumaidon määrästä.

¹ Asiasanat: Laktoosi, laktaasi, hydrolyysi, optimointi.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Food Processing and Biotechnology

Specialisation: Food technology

Author/s: Pasi Ranto

Title of thesis: Optimization of lactase enzyme in butter milk protein concentrate

Supervisor(s): Jarmo Alarinta

Year: 2023

Number of pages: 47

Number of appendices: 1

The purpose of this thesis was to find out if the lactase enzyme in the buttermilk protein concentrate can be optimized. The buttermilk protein concentrate comes from the buttermilk filtered at Valio Seinäjoki factory. The author of the thesis was Valio Oy.

The concentrate batches have different lactose contents, because the filterable buttermilk contains both lactose-containing and lactose-free buttermilk so there is no one right way to dose lactase. The aim of the thesis was to find out whether a dosage of 0.12% lactase enzyme is sufficient to make the concentrate lactose-free when the maximum hydrolysis time is 16 hours. The BioMilk 7000 rapid determination device was used in the study to measure lactose concentration.

Two different research plans were used in the thesis. After the first unsuccessful plan, a second plan was developed, which was executed well, and in the end, positive results were obtained from the point of view of the research. The results were collected for approximately three months.

The first research plan aimed to measure the baseline level of lactose content in the buttermilk protein concentrate. However, the starting levels of lactose were so high that reliable results were not obtained with the BioMilk 7000 device. The following research plan was implemented by adding 0.12% lactase enzyme to the buttermilk protein concentrate according to the lactose-containing buttermilk protein concentrate. During the research it became clear that the dosage of 0.12% lactase enzyme is sufficient and the concentrate becomes lactose-free, when there is at least 70% lactose-containing buttermilk in the total buttermilk intake.

¹ Keywords: Lactose, lactase, hydrolysis, optimizing.

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
2 VOIN VALMISTUSPROSESSI JA KIRNUMAITO	10
2.1 Voin valmistusprosessi.....	10
2.2 Kirnumaito	12
3 SUODATUS	14
3.1 Kalvosuodatus.....	14
3.2 Suodatustekniikat	15
3.3 UF-suodatus.....	15
4 HYDROLYYSSI	17
5 LAKTOOSI	19
5.1 Laktaasi.....	20
5.2 Maxilact LGX 5000	20
6 ENTSYymi.....	22
7 MENETELMÄT JA TYÖN KULKU	24
8 TULOKSET	27
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	43
LÄHTEET	45
LIITTEET	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Voitykki.	11
Kuvio 1. Voin valmistusprosessin askeleet.	11
Kuvio 2. Laktaasientsyymin annostelun vertailu.	41
Kuvio 3. Hintavertailu laktaasientsyymin käytön mukaan.....	42
Taulukko 1. Kirnumaidon ravintoarvoja.....	13
Taulukko 2. Ensimmäiset laktoosipitoisuusmittaukset.	27
Taulukko 3. Mitattuja laktoosipitoisuuksia sekä tulokset Helsingin Valiolle lähetetystä näytteestä.....	27
Taulukko 4. Hydrolyysitesti 1.	28
Taulukko 5. Hydrolyysitesti 2.	29
Taulukko 6. Hydrolyysitesti 3.	30
Taulukko 7. Hydrolyysitesti 3.	31
Taulukko 8. Hydrolyysitesti 4.	32
Taulukko 9. Hydrolyysitesti 5.	33
Taulukko 10. Hydrolyysitesti 5.	33
Taulukko 11. Hydrolyysitesti 6.	35
Taulukko 12. Hydrolyysitesti 6.	35
Taulukko 13. Hydrolyysitesti 7.	37

Taulukko 14. Hydrolyysitesti 7.	37
Taulukko 15. Hydrolyysitesti 8.	38
Taulukko 16. Hydrolyysitesti 9.	39
Taulukko 17. Hydrolyysitesti 10.	40
Taulukko 18. Hydrolyysitesti 10.	40

Käytetyt termit ja lyhenteet

Disakkaridi	Kahdesta monosakkaridista muodostunut hiilihydraatti.
Fermentaatio	Aineenvaihduntareaktio.
Glykeeminen indeksi	Kuvaa ruoka-aineen imeytyvien hiilihydraattien aiheuttamaa keskimääräistä muutosta verensokerissa.
Hydrolyysi	Kemiallinen reaktio, jossa vettä lisättäessä yhdiste hajoaa.
Immobilisoitu	Aineen muuttaminen liikkumattomaan muotoon.
Kurri	Maito, josta kerma separoitu pois, eli kuorittu maito.
Monosakkaridi	Yksinkertainen hiilihydraatti.
Permeaatti	Suodatuksessa syntyvä sivuvirta.
Prebioottinen	Sulamaton ruoan komponentti.
Retentaatti	Suodatuksessa syntyvä jalostettu raaka-aine.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Valio Oy Seinäjoen tehdas. Valio on yksi Suomen johtavimmista meijeri- ja elintarvikealan toimijoista. Seinäjoen Valion tehtaalla valmistetaan esimerkiksi rahkaa, raejuustoja, vanukkaita, Valio MiFu -ruokaraetta ja kaikki Valion voit, kuten Oivariinit. Seinäjoen Valion tehtaalla valmistetaan myös kaikki Valion Kevytlevi-levitteet. Seinäjoen tehdas on Valion monipuolisimpia ja maidonjalostusmäärältään suurimpia.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voidaanko Valion Seinäjoen tehtaalla UF-suodatetun kirnumaitoproteiiniitiivisteiden laktoosipitoisuuden hydrolysointia laktaasientsyymillä optimoida, eli voidaanko laktaasientsyymien annostusta pienentää. Kirnumaitoproteiiniitiiviste on peräisin voin valmistusprosessissa syntyvästä kirnumaidosta, joka suodatetaan tiivisteeksi.

Tutkimuksessa hyödynnettiin Biomilk7000 -pikamäärityslaitetta, jolla mitattiin laktoosipitoisuuksia hydrolyysitestinäytteistä. Biomilk7000 soveltuu mittaamaan laktoosipitoisuutta vain laktoosittomasta näytteestä, joka sisältää laktoosia 60 mg – 500 mg/l ja vähälaktoosisesta näytteestä, joka sisältää laktoosia 500 mg – 2500 mg/l. Ensimmäisessä tutkimussuunnitelmassa pyrittiin selvittämään kirnumaitoproteiiniitiivisteiden laktoosipitoisuuden lähtötason, jonka avulla saataisiin laskettua laktaasientsyymien annostelu ja kuinka paljon laktoosia hydrolysoituu lopulta. Biomilk7000 -pikamäärityslaitteen rajallinen mittausalue oli kuitenkin haasteena, sillä laktoosipitoisessa tiivisteessä on suuri määrä laktoosia. Näytteitä kokeiltiin laimentaa tislattulla vedellä, mutta tulokset olivat hyvin epäluotettavia ja virhemarginaali oli suuri. Tämän vuoksi kirnumaitoproteiiniitiivisteiden laktoosipitoisuuden lähtötason mittaamisesta täytyi luopua.

Seuraavaa tutkimussuunnitelmaa ryhdyttiin toteuttamaan niin, että kirnumaitoproteiiniitiivisteiden sekaan lisättiin 0,12 % Maxilact LGX 5000 -laktaasientsyymiä laktoosipitoisen kirnumaitoproteiiniitiivisteiden määrän mukaan. Kirnumaitoproteiiniitiiviste on siis peräisin kirnumaidosta, jossa voi olla sekaisin niin laktoosipitoista kuin laktoositonta kirnumaitoa. Tällöin laktoosipitoisuus vaihtelee tiiviste-erien kesken. Kun suodatettavassa kirnumaidossa on sekaisin laktoosipitoista ja laktoositonta kirnumaitoa, niin suodatuksen jälkeen lasketaan laktoosipitoisen kirnumaitoproteiiniitiivisteiden määrä koko tiivisteiden määrästä. Laskussa hyödynnetään laktoosipitoisen kirnumaidon sekä koko kirnumaidon määrää ja syntyneen tiivisteiden määrää ja täten lasketaan 0,12 % laktaasientsyymiä tiiviste-erää kohden.

Biomilk7000 -pikamäärityslaite soveltui hyvin tähän suunnitelmaan, sillä mitattujen hydrolyysitestinäytteiden laktoosipitoisuudet olivat sitä luokkaa, että Biomilk 7000:lla pystyttiin mitata laktoosipitoisuudet.

Opinnäytetyön rakenne. Opinnäytetyön johdanto-osiossa käydään läpi työn tavoitteista, työn kulkua, menetelmiä sekä esitellään toimeksiantaja. Opinnäytetyössä esitellään karkeasti voion valmistusprosessi ja kirnumaito.

Opinnäytetyössä käydään läpi suodatus, suodatukseen liittyvät suodatustekniikat sekä tarkemmin UF-suodatus. Suodatuksen lisäksi opinnäytetyössä esitellään hydrolyysi, laktaasi ja laktoosi sekä entsyymi.

Luvussa 6 käydään yksityiskohtaisemmin työn kulkua ja tarvittavia menetelmiä ja luvussa 7 esitellään mitattujen hydrolyysitestinäytteiden tuloksia ja tietoja sekä laktaasin käyttö ja kustannusvertailu kahden eri suunnitelman välillä.

Johtopäätökset osiossa käydään läpi opinnäytetyössä saavutettua tulosta ja omaa pohdintaa epäonnistuneista tuloksista sekä omia oletuksia tietyistä tuloksista.

2 VOIN VALMISTUSPROSESSI JA KIRNUMAITO

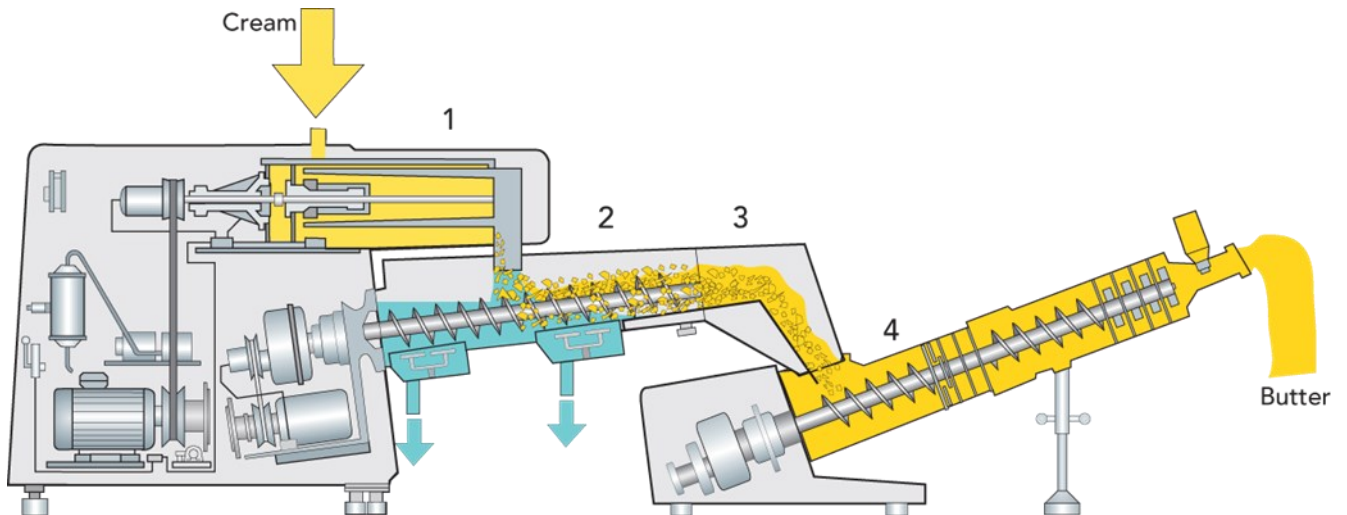
2.1 Voin valmistusprosessi

Voin valmistusprosessi alkaa raakamaidon separoinnista kermaksi ja kuorituksi maidoksi (Opetushallitus, i.a). Kerma pastöroidaan korkeassa lämpötilassa, (Tetra pak, i.a.) yleensä 95 °C tai jopa korkeammassa lämpötilassa ja yleensä ilman säilytysaikaa. Voimakas pastörinti tappaa patogeenisten bakteerien lisäksi myös muita säilyvyyteen vaikuttavia bakteereita ja entsyymejä. Lämpökäsittely ei saa olla niin intensiivistä, että se pilaisi kerman maun tai aiheuttaa muita vikoja kermaan.

Rasvapalloissa oleva rasva on nestemäisessä muodossa pastöroinnin jälkeen (Tetra pak, i.a.). Kun kerma jäähdytetään alle 40 °C:seen rasva alkaa kiteytyä. Jos jäähtyminen on asteittaista, eri rasvat kiteytyvät eri lämpötiloissa sulamispisteensä mukaan. Kun kerma on jäähdytetty kiteytyslämpötilaan, se kiteytetään (Opetushallitus, i.a). Sulasta maitorasvasta kiteytetään tarpeen mukaisia kiteitä, jotka vaikuttavat voin kiinteeseen. Mikäli voissa käytetään hapatetta, happaneminen tapahtuu kiteytyksen aikana. Voirasvan kiteyttäminen tapahtuu vaippajäähdytteisessä tankissa, jonka lämpötilaohjelmaa voidaan säätää voirasvan kovuuden mukaan. Kiteytysvaihe kestää noin 12–15 tuntia.

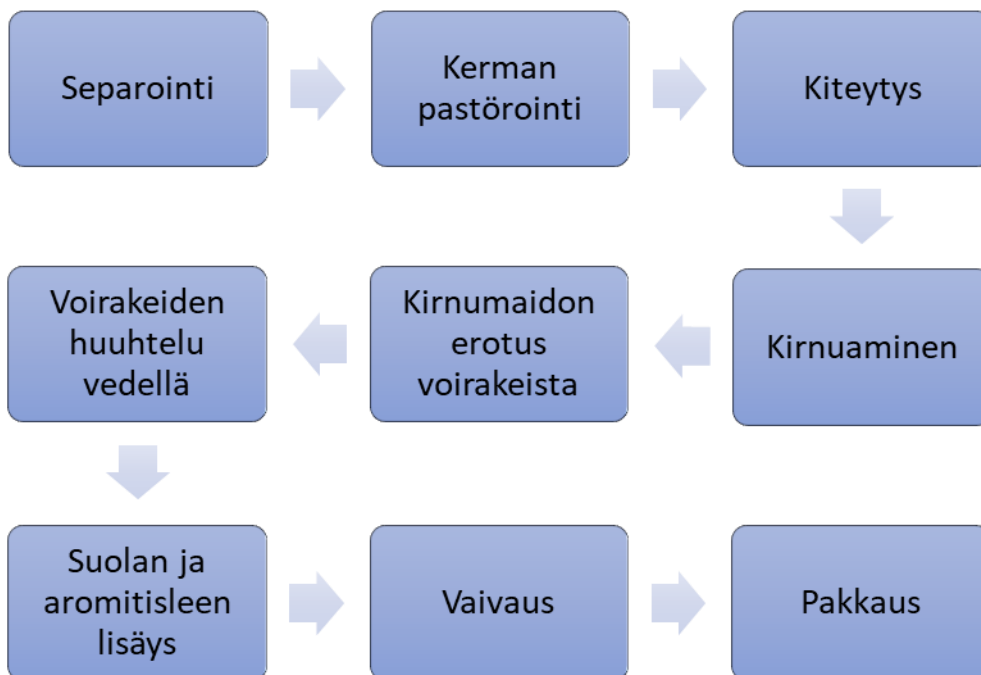
Kirnutessa tapahtuu muutos: rasva vedessä -emulsiosta eli kermasta tulee vesi rasvassa -emulsio eli voi (Opetushallitus, i.a). Ylimääräinen vesi erottuu kirnumaidoksi. Kirnu voi olla joko panostoiminen kirnu tai jatkuvatoiminen voitykki. Maitorasvan kovuus määrittelee kirnuamislämpötilan. Kesällä maitorasva on pehmeää ja kirnuamislämpötila on silloin 7–10 °C, ja talvella kun maitorasva on kovempaa niin kirnuamislämpötila on 10–13 °C.

Kirnumaito eristetään ja voirakeisto huuhdellaan vielä kylmällä vedellä, jotta saadaan kaikki kirnumaidon proteiinit ja laktoosit huuhdottua pois (Opetushallitus, i.a). Kuvassa 1 voidaan nähdä siniset nuolet, joiden mukaan kirnumaito poistetaan voin valmistusprosessissa.



Kuva 1. Voitykki. Tetrapak. (i.a)

Suola lisätään panostoisesti kirnutessa kiinteänä ja jatkuvatoimisessa kirnuamisprosessissa nestemäisenä (Opetushallitus, i.a). Mikäli kermaa ei ole hapatettu kypsytämisen aikana, voidaan hapattaminen hoitaa lisäämällä aromitislettä voijn joukkoon. Aromitisle on tiiviste, joka on valmistettu hapatebakteerien aiheuttaman käymisreaktion avulla. Tämän jälkeen voirakeet vaivataan massaksi, jossa vesipisarot ovat mahdollisimman pieniä ja jakautuvat tasaisesti massaan. Silmin nähtävää vettä voissa ei saa olla. Tämän jälkeen voi pakataan esimerkiksi kääreisiin tai rasioihin. Kuviossa 1 on voijn valmistusprosessin askeleet.



Kuvio 1. Voijn valmistusprosessin askeleet.

2.2 Kirnumaito

Vähäkuopuksen (2023) mukaan kirnumaitoa on haihdutettu pitkään jauheeksi ja jauheena kirnumaidolla on suuri tarve sekä laaja asiakaskunta. Tälläkin hetkellä 95 % laktoosipitoisesta kirnumaidosta haihdutetaan jauheeksi. Laktoosittomalle kirnumaidolle sen sijaan ei ollut varsinaista käyttötarkoitusta vuosiin, kunnes sitä alettiin suodattamaan tiivisteeksi. Laktoosittoman voin valmistuksesta syntyvän laktoosittoman kirnumaidon kanssa oli ongelmana se, että sitä ei voitu haihduttaa jauheeksi pilkotun laktoosin vuoksi. Pilkottuna glukoosi ja galaktoosi palavat haihduttimella ja aiheuttavat esi-haihduttimien tukkeutumista. Tämän takia laktoositon kirnumaito jouduttiin ohjaamaan eläinten rehuksi.

Tunkkarin (2023) mukaan ensimmäinen ajatus laktoosittoman kirnumaidon suodattamiselle oli jauhetehtaan tarpeita varten sekä saada rehuksi menevälle raaka-aineelle käyttötarkoitus. Laktoosittoman kirnumaidon suodattaminen kirnumaitoproteiiniitiivisteeksi sekä sekoittaminen se muun tiivisteeseen kanssa mahdollistaa sen käytön jauheen valmistuksessa, eikä siitä synny samaa ongelmaa kuin pelkällä laktoosittomalla kirnumaidolla syntyi.

Tunkkarin (2023) mukaan kirnumaitoproteiiniitiivisteelle keksittiin kuitenkin muutakin käyttöä ja siitä saatiin hyvä proteiininlähde proteiinivanukkaille. Nykypäivänä suurin osa kirnumaitoproteiiniitiivisteestä käytetään proteiinivanukkaiden valmistukseen. Suodatuksen myötä Vähäkuopuksen (2023) mukaan laktoosittoman kirnumaidon suodattaminen tiivisteeksi ja sen käyttö proteiinivanukkaissa poisti rehuksi toimitettavan raaka-aineen ja vanukkaan proteiini saadaan tällä hetkellä sivuvirrasta mikä lisää tuotteen maitokatetta huomattavasti.

Kirnumaidossa on Vähäkuopuksen (2023) mukaan hyvin paljon rasvapallosen lipidejä eli kuoriosia. Siinä on n. 8 kertaa enemmän rasvahappoja kuin kurrissa, eli kuoritussa maidossa, joka syntyy, kun raakamaito separoidaan kermaksi ja kuorituksi maidoksi. Kirnumaito on melko laihaa kuorittuun maitoon verrattuna, mutta rasvaisempaa. Laktoosittoman kirnumaidon laktoosipitoisuus on alle 1 g/ 100 g. Taulukossa 1 on laktoosipitoisen kirnumaidon ravintoarvoja.

Taulukko 1. Kirnumaidon ravintoarvoja.

Proteiini	3 %
Rasva	0,3–0,5 %
Laktoosi	4–4,5 %
Kuiva-aine	9 %

Vähäkuopuksen (2023) mukaan kirnumaidossa on lisäksi hyviä kivennäisaineita kuten, magnesiumia, kaliumia ja kalsiumia.

Maidon rasvapallojen lipideillä eli MFGM:llä (milk fat globule membrane) on Conwayn ym. (2014, s. 44) mukaan todettu monia terveyteen vaikuttavia etuja. Näitä etuja ovat muun muassa kolesterolia alentavat, tulehdusta lievittävät sekä myös kemoterapeuttiset vaikutukset. Viimeisen vuosikymmenen aikana on tutkittu paljon MFGM-komponenttien eristämistä ja puhdistamista kirnumaidosta.

Kirnumaito syntyy sivutuotteena, kun kermaa kirnutaan voiksi. Kerma on aluksi rasva vedessä -emulsio. Kirnuaminen saa Conwayn ym. (2014, s. 44) mukaan kerman erottumaan kahteen erilliseen faasiin. Ensimmäinen faasi on vesipitoinen fraktio, joka tunnetaan kirnumaitona, ja toinen faasi on kiinteä eli voi. Erotus tapahtuu alkuperäisen emulsion mekaanisen epävakauden vuoksi. Tämä saavutetaan mekaanisella sekoituksella, joka hajottaa emulsion. Ilmankosketuksen ja toistuvien fyysisten törmäysten seurauksena sekoittumisen aikana triglyseridipalloja ympäröivä ja stabiloiva ohut kalvo rikkoutuu. Tämä johtaa pallosten yhteensulautumiseen. Rasvapallojen sulautuminen johtaa lopulta kiinteän faasin muodostumiseen, joka on itse voi. Kirnumaito erotetaan kiinteästä voista yksinkertaisesti valuttamalla. Kirnumaito on vesipitoinen jae, joka jää jäljelle kiinteän voim muodostumisen jälkeen.

Ravinder ym. (i.a.) kertovat, että kirnumaidolla on emulsio- ja makua parantavia ominaisuuksia, mikä tekee siitä arvokkaan komponentin erilaisissa elintarvikesovelluksissa. Kirnumaito on koostumukseltaan hyvin samanlainen kuin hera, mutta sen rasvapitoisuus on huomattavasti korkeampi (6–20 %), kun heralla tai rasvattomalla maidolla rasvapitoisuus on 0,3–0,4 %. Kirnumaidon rasvapitoisuus riippuu hyvin paljon kermaan lisätyn veden määrästä tuotantoprosessin aikana.

3 SUODATUS

3.1 Kalvosuodatus

von Weymarn, N. (2002 s. 185) mukaan kalvosuodatus on prosessi, joka perustuu puoliläpäisevien suodatuskalvojen käyttöön, jolla erotetaan neste kahdeksi erilliseksi virraksi. Näitä virtoja kutsutaan retentaaksi ja permeaatiksi. Permeaatti on suodatuksessa syntyvä sivuvirta ja retentaatti on suodatuksessa syntyvä jalostettu raaka-aine.

Nesteen pumppaus kalvon pinnan poikki luo positiivisen kalvon läpäisevän paineen, joka pakottaa kaikki kalvon huokoisuutta pienemmät komponentit kulkemaan läpi muodostaen permeaatin (Risingsun membrane technology. i.a). Kaikki huokoskokoa suuremmat komponentit, jotka eivät läpäise suodatuskalvoa muodostavat retentaatin.

Eri huokoskokoisia kalvoja käyttämällä on mahdollista erottaa maidosta tai herasta tiettyjä komponentteja kuten esimerkiksi rasvaa, laktoosia, proteiineja tai bakteereita.

Suodatettava tuote virtaa von Weymarnin, N. (2002 s. 185) mukaan suodattimissa joko suoraan suodatinpintaa kohden (dead-end) tai väliainekerroksen suuntaisesti (cross-flow). Dead-end-suodatuksessa kiinteät partikkelit törmäävät suodatinmateriaaliin ja kerääntyvät siihen muodostaen niin sanotun kakun. Cross-flow-suodatusta, eli väliaineen suuntaisesti virtaavaa suodatusta kutsutaan myös tangentiaalivirtaussuodatukseksi. Cross-flow-suodatuksessa paine synnytetään syöttöpumpun ja retentaattipuolen kuristusventtiilin avulla, jossa nestemolekyylit puristuvat kalvon läpi.

von Weymarn, N. (2002 s. 185–186) toteaa, että kiinteistä partikkeleista osa imeytyy suodatinmateriaaliin muodostaen ohuen kiintoainekerroksen sen retentaattipuolelle. Suurin osa kiintoaineesta poistuu suodattimesta retentaatin mukana ulos. Korkea virtausnopeus suodattimessa pitää suodatinpinnan puhtaana, sillä ylimääräiset kiinteät partikkelit huuhtoutuvat pois. Cross-flow-suodatuksessa retentaatiliuos yleensä kierrätetään takaisin suodattimeen.

Cross-flow-suodattimissa käytetään von Weymarnin, N. (2002 s. 186) mukaan yleensä synteettistä polymeerivalmistetta suodatusmateriaalina. Muita suodatinmateriaaleja ovat erilaiset kankaat, selluloosa, lasivilla, synteettiset kuidut. Keraamisia sekä metalleista valmistettuja suodattimia voidaan käyttää.

3.2 Suodatustekniikat

Mikrosuodatus (MF) on suodatustekniikka, jolla pyritään poistamaan pienet kiintoaineet, kuten bakteerit ja rasva (Risingsun membrane technology. i.a). Mikrosuodatuskalvot ovat hyvin kustannustehokkaita, mikä johtuu pääosin alhaisesta energiankulutuksesta.

Ultrasuodatus (UF) on suodatustekniikka, jossa käytetään kalvoja, joissa huokoskoko on hyvin pieni sekä käytetty paine on myös alhainen (Risingsun membrane technology. i.a). Ultrasuodatuksella pystytään erottamaan nesteestä proteiinit ja rasvat, jotka muodostavat retentaatin. Kalvojen läpi pääsevät esimerkiksi suolat ja sokerit, jotka muodostavat permeaatin.

Ultrasuodatuksesta kerrotaan tässä opinnäytetyössä lisää, sillä se on kirnumaidon suodatuksessa käytetty suodatustekniikka.

Nanosuodatus (NF) on suodatustekniikka, jossa huokoskoko on vielä pienempi, kuin ultrasuodatuksessa mutta paine on suurempi (Risingsun membrane technology. i.a). Nanosuodatuksessa pienet ionit pääsevät suodatuskalvojen läpi, kun taas suuremmat ionit sekä orgaaniset komponentit eivät. Nanosuodatuksella saadaan ultrasuodatuksen tapaan erotettua proteiinin ja rasvan lisäksi joitain mineraaleja.

Käänteisosmoosi (RO) on suodatustekniikka, jossa huokoskoko on hyvin pieni (Risingsun membrane technology. i.a). RO-suodatuksessa käytetään niin pieniä huokosia, että vain hyvin pieni osa suoloista sekä jotkin hyvin pienet orgaaniset yhdisteet pääsevät veden kanssa läpi.

3.3 UF-suodatus

McHugh ja Avena-Bustillos (2020) kertovat, että ultrasuodatusta käytetään keskisuuren tai suuren molekyylipainon omaavien komponenttien, kuten kasvi- tai maitoproteiinien, hiilihydraattien ja entsyymien konsentroimiseen ja puhdistamiseen. Sitä voidaan kuvailla paineohjattuna puhdistusprosessina, jolla erotetaan hiukkaset liukenevista yhdisteistä suodatuskalvoilla. UF-suodatusta voidaan käyttää suolanpoiston esikäsitteilyyn, käänteisosmoosiesikäsitteilyyn, jäteveden talteenottoon ja juomaveden tuottamiseen

Meijeriteollisuudessa ultrasuodatusta käytetään McHugh ja Avena-Bustillosin (2020) mukaan monenlaisiin sovelluksiin, kuten juustomaidon proteiinistandardointiin, permeaattien kalkinpoistoon, maidon laktoosipitoisuuden alentamiseen sekä proteiinipitoisuuden optimointiin.

McHugh ja Avena-Bustillosin (2020) mukaan UF-suodatin sallii erityisesti pienempien molekyylien läpäisyn kalvojen läpi, kuten laktoosi-, vesi-, kivennäis- ja vitamiinimolekyylit, kun taas suuremmat proteiini- ja rasvamolekyylit säilyvät ja tiivistyvät.

UF-suodattimen kalvot ovat huokoskokoalueelta McHugh ja Avena-Bustillosin (2020) mukaan NF-suodattimien ja MF-suodattimien välissä. UF-suodattimien kalvojen huokoskoko on 0,01–0,1 μm ja rakenteeltaan epäsymmetrisiä tiheällä pintakerroksella, jonka paksuus on 1,0–3,0 μm . UF-kalvot tuottavat korkean hydrodynaamisen vastuksen, johtuen sen pienestä huokoskoosta sekä pienestä pintahuokoisuudesta.

4 HYDROLYYSI

Hydrolyysi on kemiallinen reaktio, jossa vesimolekyyli katkaisee yhden tai useamman kemiallisen sidoksen, joka on olemassa jonkin tietyn aineen välillä (Toppr, i.a). Termiä hydrolyysi, käytetään laajalti solvaatio-, eliminaatio- ja substituutio reaktioissa, joissa vesi on nukleofiili. Sana hydrolyysi johtuu kreikan sanasta *hydrolysis*, jossa sana *hydro* tarkoittaa vettä ja *lysis* rikkomista tai irrottamista.

Kun hiilihydraatti käy hydrolyysireaktion läpi, hajoaa se pienemmiksi, yksinkertaisemmiksi molekyyleiksi, kuten esimerkiksi disakkaridi hajoaa kahdeksi monosakkaridiksi (Toppr, i.a). Hydrolyysillä voidaan myös hajottaa proteiineja, rasvoja sekä muita monimutkaisia hiilihydraatteja. Laktoosin hydrolysoituessa laktaasientsyymien avulla, hajoaa se glukoosiksi ja galaktoosiksi.

Hydrolyysireaktio on kondensaatioreaktion vastakohta (Toppr, i.a). Kondensaatioreaktiossa kaksi molekyyliä yhdistyy ja muodostavat kemiallisen sidoksen ja samalla poistuu vesimolekyyli, kun taas hydrolyysireaktio katkaisee kemiallisen sidoksen.

Hydrolysoitavassa aineessa yksi molekyyli saa H^+ -ionin, kun taas toinen molekyyli vastaanottaa OH^- -ryhmän (Toppr, i.a). Hydrolyysireaktiota käytetään pääosin polymeerien hajottamiseen monomeereiksi.

Hydrolyysillä tarkoitetaan siis kahden tai useamman komponentin erottamista veden avulla (Toppr, i.a). Veden reagoiessa toisen yhdisteen kanssa syntyy vähintään kaksi molekyyliä.

Hydrolyysireaktion yleinen kaava (Toppr, i.a).



missä

AB on reagoiva aine

H_2O on vesi

AH on syntyvä tuote

BOH on syntyvä tuote

Hydrolaasi

Hydrolaasit ovat entsyymejä, jotka toimivat katalyytteinä biokemiallisessa kemiallisen sidoksen hydrolyysissä eli sidoksen katkaisemisessa veden avulla, mikä johtaa suuremman molekyylin jakautumiseen kahteen pienempään molekyyliin (Vedantu, i.a). Esteraasientsyymit, kuten lipaasit, fosfataasit, glykosidaasit, peptidaasit ja nukleosidaasit, ovat esimerkkejä hydro-laasientsyymeistä.

Hydrolyyttiset entsyymit ovat meijeriteollisuudessa tärkeitä komponentteja aistinvaraisten ominaisuuksien, kuten maun, rakenteen ja aromin saavuttamisessa (Sutay Kocabaş ym., 2022). Hydrolaasien kysynnän kasvaessa on tärkeää kehittää ja löytää uusia entsyymejä, joilla on parempia ominaisuuksia kuin edeltävillä. Uusien entsyymien ominaisuuksiin lukeutuu muun muassa parempi liukoisuus, tuotteen saanto, pienempi annostus sekä ympäristövaikutukset ja muut ominaisuudet, jotka johtavat meijerituotteiden parempaan laatuun.

5 LAKTOOSI

Laktoosi eli maitosokeri, on disakkaridi, joka koostuu glukoosista ja galaktoosista. Ihmisen elimistö ei pysty hyödyntämään laktoosia sellaisenaan, vaan se täytyy hajottaa ensin laktaasientsyymillä monosakkarideiksi eli glukoosiksi ja galaktoosiksi, jotta ne voivat imeytyä elimistöön (THL, i.a). Laktoosi-intoleranssioireet johtuvat laktaasientsyymien puutteesta.

A. Hettingan (2019) mukaan Paques ja Lindner (2019 s. 231–266) kertovat, että laktoosi on maidon päähiilihydraatti. Se on hyvin ainutlaatuinen sokeri, jota esiintyy vain nisäkkäiden maidossa. Laktoosilla on erityisiä fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia verrattuna muihin sokereihin. Esimerkiksi sen erityinen kiteytyskäyttäytyminen ja alhainen liukoisuus ovat ominaisuuksia, joiden takia laktoosilla on tärkeä rooli monien maitotuotteiden ja maitopohjaisten ainesosien valmistuksessa.

Schaafsma (2007, s. 458–465) kertoo että, laktoosia käytetään laajalti elintarvikkeiden ainesosana sekä myös lääkevalmisteissa. Laktoosilla on hyvin mielenkiintoisia ravitsemuksellisia ominaisuuksia. Laktoosin makeus on vain noin viidennes tavallisen sokerin makeudesta, eikä se sisällä kovin paljon kaloreita sekä sillä on hyvin pieni glykeeminen indeksi. Laktoosilla on myös prebioottisia sekä ravintokuitumaisia ominaisuuksia ja se parantaa kalsiumin ja magnesiumin imeytymistä. Laktoosi ja sen johdannaiset ovat hyvin arvokkaita ainesosia, joilla on hyviä ravitsemuksellisia etuja erityisesti suoliston terveyden edistämisen alalla. Laktoosi, laktitoli ja galakto-oligosakkaridit ovat laktoosinjohdannaisia, joita myös hyödynnetään elintarvikkeissa ja lääkevalmisteissa prebiootteina edistämään suoliston terveyttä.

A. Hettingan (2019) mukaan Paques ja Lindner (2019 s. 231–266) kertovat, että laktoosi toimii fermentaation aikana käytettävien maitohappobakteerien energianlähteenä, ja sen hajoaminen johtaa tiettyjen makukomponenttien muodostumiseen fermentoiduissa tuotteissa. Tiivistettyjen ja kuivattujen, kuten esimerkiksi maitojauheen ominaisuudet määräytyvät hyvin paljon laktoosipitoisuudesta, sillä laktoosia on hyvin suuri määrä.

Schaafsma (2007, s. 458–465) toteaa ihmisen maidossa olevan laktoosia noin 7 g / 100 ml ja lehmänmaidossa hieman vähemmän, noin 4–5 g / 100 ml. Hapatetussa lehmänmaidossa, kuten jogurtissa tai piimässä, laktoosipitoisuus on noin kolmanneksen pienempi kuin maidossa. Juuston valmistuksessa lähes kaikki maidon laktoosi poistuu heran mukana. Maidosta

ja herasta voidaan helposti erottaa laktoosia enemmän tai vähemmän puhtaassa muodossa ja käyttää ainesosana rehuissa, elintarvikkeissa ja lääkevalmisteissa.

5.1 Laktaasi

Grace ym. (2017 s. 4–5) kertovat, että laktaasi on laktoosia pilkkova entsyymi, joka on luokiteltu β -galaktosidaasiksi. Ihminen pystyy muiden nisäkkäiden lisäksi tuottamaan laktaasia ohutsuolessa, jossa laktaasi pilkkoo laktoosin yksinkertaisemmiksi sokerimolekyyleiksi, glukosiksi ja galaktosiksi, joita elimistö pystyy käyttämään energianlähteenä. Mikäli elimistö ei pysty tuottamaan laktaasia, on kyseessä laktoosi-intoleranssi.

Grace ym. (2017 s. 4–5) toteavat, että laktoosittomien tuotteiden ja juomien tarjonta on lisääntynyt huomattavasti. Laktoosittomat tuotteet läpikäyvät entsyymattisen laktoosin hajottavan käsittelyn, mikä tekee tuotteista laktoosi-intoleranssia sairastaville henkilöille sopivia. Tällaiset vaihtoehdot tarjoavat laktoosi-intoleranssista kärsiville mahdollisuuden nauttia laajasta valikoimasta maitopohjaisia elintarvikkeita ilman oireita.

Laktaasia voidaan eristää Gracen ym. (2017 s. 4–5) mukaan nuorten eläinten suolistosta, kasveista, sienistä, hiivoista ja bakteereista. Monet mikrobit voivat tuottaa laktaasia. Bakteerit, jotka voivat tuottaa laktaasia ovat muun muassa silmubasillit, *Escherichia coli* ja *Lactobacillus oleracea*. *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus niger* ja *Aspergillus sphaericus* ovat sieniä, joista voidaan eristää laktaasia. *Kluyveromyces* -maitohiivasta voidaan myös valmistaa laktaasia.

Gracen ym. (2017 s. 4–5) mukaan tällä hetkellä laktaasin valmistusmenetelmät ovat pääasiassa geenitekniikkaa, jolla voidaan johtaa laktaasigeenejä mikro-organismeihin ja immobilisointitekniikka, jolla saadaan helposti eroteltua immobilisoitu entsyymi lähtöaineesta. Molemmilla menetelmillä saadaan hyvin puhdasta lopputuotetta ja niissä on korkea saanto.

5.2 Maxilact LGX 5000

Maxilact Igx 5000 on hyvin korkealaatuinen puhdistettu nestemäinen laktaasivalmiste (β -galaktosidaasi) (IMCD, i.a). Maxilact Igx 5000 valmistetaan teollisesti *Kluyveromyces lactis* -maitohiivasta.

Maxilact -laktaasientsyymien avulla voidaan luoda tehokkaasti puhtaan makuisia laktoosittomia, vähälaktoosisia ja vähäsokerisia maitotuotteita (DSM, i.a), jotka soveltuvat todistetusti monenlaisiin käyttötarkoituksiin maidosta jogurttiin ja maitojuomiin.

6 ENTSYIMI

Pääosin kaikki tunnetut entsyymit ovat Suomisen (2002 s. 52) mukaan proteiineja. Entsyymit toimivat solun aineenvaihduntareaktioiden vauhdittajina, katalyytteinä, eli ne katalysoivat kemiallisia reaktioita. Entsyymit myös muuttavat monissa reaktioissa solun tarpeiden mukaan energiaa muodosta toiseen. Entsyymien toimintaa reaktion katalyyttinä kutsutaan entsyymien aktiivisuudeksi. Reaktio tapahtuu aina tietyssä kohtaa entsyymiä, jota kutsutaan aktiiviseksi keskuksiksi. Entsyymien substraatti, eli lähtöaine, sitoutuu aktiiviseen keskukseseen, jolloin reaktion tapahduttua lopputuote irtoaa entsyymistä.

Suominen (2002 s. 52) toteaa, että entsyymit ovat hyvin spesifisiä, eli ne tavallaan hyväksyvät substraatikseen vain tiettyjä molekyyliä. Entsyymien spesifisyys voi myös tarkoittaa sitä, että se yhdistää kemiallisen ryhmän vain substraatin tarkalleen määrättyyn paikkaan, jota voidaan nimetä paikkaspesifisyydeksi tai hyväksyy substraatikseen vain tarkoin määrätyn substraatin isomeerin, jota kutsutaan stereospesifisyydeksi. Entsyymien katalysoiman reaktion tuotteet ovat tarkkaan ennalta määrättyjä entsyymien spesifisyyden ansiosta. Näitä ominaisuuksia voidaan hyödyntää monissa bioteknisissä entsyymien katalysoimissa biokonversioreaktioissa, kuten esimerkiksi aspartaamin valmistuksessa.

Entsyymien määrän mittana käytetään Suomisen (2002 s. 52) mukaan sen aktiivisuutta, joka kertoo entsyymien katalysoimien reaktiotapahtumien määrän aikayksikössä. Entsyymiaktiivisuuden määrittäminen tapahtuu joko määrittämällä kuluneen substraatin määrä tai syntyneen lopputuotteen määrä aikayksikössä. Jälkimmäinen on yleensä tarkempi tapa, koska syntyneen aineen mittaaminen on helpompaa kuin pitoisuuden alenemisen mittaaminen.

Entsyymien annostus

Horner ym. (2011) tutkivat laktoosin hydrolysointia jäädytetyssä maidossa käyttämällä tiettyjä kaupallisesti saatavia laktaasientsyymejä. Hydrolysointi suoritettiin 2 °C:ssa ja siinä saavutettiin jopa yli 95 % laktoosin hydrolysointi 24 tunnissa. Tutkimuksessa käytetyt entsyymit olivat peräisin *Kluyveromyces lactis*- ja *Kluyveromyces sp.* -bakteereista. Tutkimuksessa arvioidtiin laktoosihydrolyysin tehoa eri maitotyypeissä, kuten raa'assa täysmaidossa, pastöroidussa täysmaidossa ja pastöroidussa rasvattomassa maidossa.

Osalla entsyymeistä saavutettiin Hornerin ym. (2011) mukaan 98–99 % laktoosin hydrolysointi 24 tunnissa tavarantoimittajan suosittelmalla annostuksella (0,1 %) ja muutamalla entsyymillä saavutettiin 95 % laktoosihydrolyysi kaksi kertaa suositeltua suuremmalla annostuksella. Tutkimuksessa saavutettiin 72 tunnissa 95 % laktoosihydrolyysi käyttämällä vain neljäsosaa suositellusta entsyymien annostuksesta ja 99 % laktoosihydrolyysi puolella suositellusta annostuksesta. Hydrolyysinopeus pysyi tasaisena eri maitosubstraattien välillä rasvapitoisuuden ja jalostusmenetelmien eroista huolimatta.

Horner ym. (2011) toteavat, että entsyymien annostuksen määrällä on valtava merkitys laktoosin hydrolysoinnin tehokkuudelle. Käyttäen erilaisia kaupallisia *Kluyveromyces* -galaktosidaaseja 2 °C:n lämpötilassa 72 tunnin ajan, entsyymipitoisuuden nelinkertaistaminen johtaa merkittävään tehostumiseen laktoosin hydrolysoinnissa erilaisissa maitotyypeissä. Tutkimuksessa havaittiin jopa kaksinkertainen laktoosihydrolyysi maidossa jo 12 tunnin vaikutusajalla. Tämä korostaa entsyymipitoisuuden suoraa vaikutusta ja merkitystä laktoosin hydrolyysireaktion katalysoinnissa, jolloin suuremmat entsyymipitoisuudet johtavat tehokkaampaan laktoosin hajoamiseen. Entsyymiaktiivisuus on usein hyvin riippuvainen sen rakenteesta ja lämpötilan muutokset voivat muuttaa tätä rakennetta, mikä vaikuttaa entsyymien toimintaan.

Laktaasin ollessa katalyyttinä hydrolyysireaktiossa, voidaan haluttu laktoosin hydrolysointi Hornerin ym. (2011) mukaan saavuttaa pienemmällä entsyymiannostuksella, jos vaikutusaikaa pidennetään. Entsyymien kustannusten, tehokkuuden ja annostuksen tasapainottaminen laktoosin hydrolysoinnissa takaa kustannustehokkaan laktoosihydrolyysin.

7 MENETELMÄT JA TYÖN KULKU

Tutkimuksen alussa päätettiin selvittää kirnumaitoproteiiniitiivisteiden laktoosipitoisuus, eli lähtötaso, jonka mukaan laktaasiannostelu olisi laskettu. Tieto laktoosin lähtötasosta olisi helpotavaa, jotta tiedettäisiin, kuinka paljon laktoosia on hävinnyt tietyllä laktaasin annostelulla sekä hydrolyysi ajalla. Tiedon avulla pystyttäisiin laskemaan laktaasin annostus tiettyä tiiviste-erää kohden.

Opinnäytetyön alussa kokeiltiin selvittää BioMilk7000 pikamäärityslaitteen soveltumisen mittaamaan korkeita laktoosipitoisuuksia, jotta voidaan optimoida jatkossa laktaasin annostelu. Biomilk7000 -laitteella pystytään mittaamaan laktoosipitoisuutta vain laktoosittomasta näytteestä, joka sisältää laktoosia (60 mg – 500 mg/l) ja, vähälaktoosisesta (500 mg – 2500 mg/l) näytteestä.

Kirnumaitoproteiiniitiivisteessä on laktoosia suuri määrä, joten näytteitä täytyi laimentaa tislattulla vedellä, jotta näytteen laktoosipitoisuus olisi mitattavissa määreissä. BioMilk7000 -laitteella saatu tulos kerrotaan esim. kymmenellä, jos näytettä on laimennettu suhteessa 1/10 tai viidellä, jos laimennettu suhteessa 1/5.

Näytettä laimennettiin myös BioMilk7000 -laitteeseen kuuluvalla reagenssilla. Näyteputkeen pipetoiitiin 500 mikrogrammaa laimennettua näytettä ja sama määrä reagenssia lisättiin näyteputkeen, jonka tilavuus oli 5 ml. Näytteeseen lisättiin myös ASC1-nauha, jonka tarkoitus on poistaa näytteestä mahdollista C-vitamiinia, joka saattaisi vaikuttaa mitattuun tulokseen. Omissa mittauksissani en huomannut ASC1-nauhalla olevan mitään vaikutusta tuloksiin, oli se sitten mukana tai ei. Kun ASC1-nauha oli lisätty, tuli näytettä ravistaa n. 1 minuutin ajan niin, että nauha on varmasti kosketuksissa näytteen kanssa. Mitatuissa näytteissä havaittiin suurta virhemarginaalia, sillä näytteissä oli liian suuri määrä laktoosia eikä tislattulla vedellä laimentaminen ollut täysin optimaalista. Näin ollen laktoosipitoisuuden lähtötason hakeminen Biomilk7000 -pikamäärityslaitteella kirnumaitoproteiiniitiivisteestä täytyi luopua ja kehittää uusi tutkimussuunnitelma.

Samasta tiiviste-erästä, josta mitattiin laktoosipitoisuuksia, lähetettiin näytteitä myös Biolanille Espanjaan sekä Helsingin Valiolle referenssituloksien saamiseksi. Ensimmäiset Espanjaan lähetetyt näytteet kerkesivät kuitenkin pilaantua, joten niistä ei saatu tuloksia. Helsingin

Valiolla voidaan mitata laktoosipitoisuuksia Dionex -laitteella, jolla pystytään mittaamaan myös korkeita laktoosipitoisuuksia.

Uudessa tutkimussuunnitelmassa hyödynnettiin aikaisempia hydrolyysitestauksia. Hydrolyysitestauksia on aikaisemmin suoritettu niin, että kun kirnumaidossa on ollut seassa laktoosipitoista kirnumaitoa, niin suodatuksen jälkeen tiivisteeseen on lisätty 0,12 % laktaasientsyymiä koko tiivisteeseen määrään nähden, tällä tavoin tiivisteestä on saatu aina varmuudella laktoositonta, esim. kirnumaitoa on yhteensä 30 000 litraa, josta 20 000 litraa on ollut laktoosipitoista kirnumaitoa ja tiivistettä on syntynyt 8 000 kg, joten tiivisteeseen on lisätty $(0,12 \% * 8\ 000\ \text{kg}) / 100 = 9,6\ \text{kg}$ laktaasia.

Uutta tutkimussuunnitelmaa alettiin toteuttamaan niin, että tiivisteeseen lisättiin laktaasia laktoosipitoisen kirnumaitoproteiinitivisteeseen määrän mukaan, esim. kirnumaitoa on yhteensä 30 000 litraa, josta laktoosipitoista kirnumaitoa on 20 000 litraa ja tiivistettä syntyy 8 000 kg. Koko tiivisteeseen määräästä lasketaan laktoosipitoisen tiivisteeseen määrä seuraavasti: $8\ 000\ \text{kg} * (20\ 000\ \text{l} / 30\ 000\ \text{l}) = 5\ 333,3\ \text{kg}$ laktoosipitoista tiivistettä ja tästä lasketaan kuinka paljon laktaasia, lisätään tiivisteeseen sekaan: $(0,12 \% * 5\ 333,3\ \text{kg}) / 100 = 6,4\ \text{kg}$ laktaasia.

Näitä esimerkkejä vertailemalla säästyy jo 3,2 kg laktaasia. Jos esimerkiksi vuoden ajan keran viikossa täytyy hydrolysoida tämän esimerkin kaltainen kirnumaitoproteiinitiviste, niin tällä esimerkillä säästyy jopa $(52\ \text{viikkoa} * 9,6\ \text{kg}) - (52\ \text{viikkoa} * 6,4\ \text{kg}) = 166,4\ \text{kg}$ laktaasia vuodessa.

Uuden tutkimussuunnitelman hydrolyysitestauksia ryhdyttiin toteuttamaan niin, että kirnumaidon suodatuksen loputtua tiivisteeseen käytiin lisäämässä laktaasia. Laktaasin annettiin vaikuttaa vähintään 16 h, jonka aikana tiivisteestä haettiin 50 ml – 100 ml näytettä 10 h, 12 h, 14 h, sekä 16 h vaikutusajan kohdalla. Näytteitä keitettiin näytepurkeissaan kiehuvaan veteen 5 min ajan, jotta hydrolyysi pysähtyy.

Näytteiden mittaus onnistui BioMilk7000 -pikamäärityslaitteella, koska näytteissä oli laktoosia 0 mg/l – 500 mg/l. Tälle mittausalueelle BioMilk7000 soveltuu hyvin. Huomioitavaa on silti, että Biomilk7000 ei anna tarkkaa tulosta, kun laktoosipitoisuus on alle 60 mg/l, mutta laktoosipitoisuus on silti laktoosittomuusrajan alapuolella.

Hydrolyysitestauksia suoritettiin yhteensä kymmenen kertaa, kun kirnumaitoa suodatettiin. Tiiviste-eriä oli yhteensä 15 kappaletta, joista suurin osa saatiin onnistuneesti hydrolysoitua.

8 TULOKSET

Taulukossa 2 on lähtötasoja mitatuista laktoosipitoisuuksista kirnumaitoproteiinitivisteessä. Näytteet ovat samasta tiiviste-erästä. Taulukossa ilmoitetaan kirnumaidon suhteet, josta suodatettiin tiivistettä ja näytteet laimennettiin tislattulla vedellä suhteessa 1/5, joten tulokset kerrottiin viidellä. Taulukossa ilmoitetaan myös laktoosipitoisuus grammoina litrassa.

Mitatuista tuloksista voidaan huomata, että ne eivät ole kovin luotettavia. Korkein mitattu tulos oli 10 829 mg/l ja pienin tulos 1 144 mg/l.

Taulukko 2. Ensimmäiset laktoosipitoisuusmittaukset

Kirnumaito	Määrä	L	Näyte	Mitattu tulos mg/l	x5	g/l
Laktoositon kirnumaito	8000	L	1.	1144	5720	5,72
Laktoosipitoinen kirnumaito	22440	L	2.	10829	54145	54,145
Yhteensä	30440	L	3.	2317	11585	11,585
			4.	2306	11530	11,53
			5.	2417	12085	12,085

Taulukossa 3 on lisää mitattuja tuloksia lähtötasoa haettaessa. Tästä erästä lähetettiin näyte myös Valiolle Helsinkiin. Helsingin Valiolla mitatut tulokset ovat taulukon alareunassa. Tiedossa ei ole kirnumaidon määrä, eikä syntynyttä tiivisteiden määrää.

Taulukko 3. Mitattuja laktoosipitoisuuksia sekä tulokset Helsingin Valiolle lähetetystä näytteestä.

Näyte	Laimennossuhde	Mitattu tulos mg/l	Tulos x laimennossuhde
1	1/5	1495	7475
2	1/6	1456	8736
3	1/10	1210	12100
Helsinki	1/5	2400	12000

Tuloksista voidaan huomata, että lähtötason hakeminen BioMilk 7000 -pikamäärityslaitteella ei onnistu, koska tuloksissa on paljon heittoa, joten ne eivät ole luotettavia.

Taulukoissa 4–18 on uuden suunnitelman mukaan kirnumaitoproteiinitivisteiden hydrolyysiteinäytteiden laktoosipitoisuuksista. Taulukoissa on esitetty päivämäärä, jolloin kirnumaito on

suodatettu kirnumaitoproteiinitivisteeksi sekä päivämäärä, jolloin olen mitannut laktoosipitoisuudet hydrolyysinäytteistä. Taulukoiden vasemmassa reunassa on ilmoitettu laktoosipitoisen sekä laktoosittoman kirnumaidon määrät sekä kuinka paljon tiivistettä on syntynyt tiivistesäiliöön. Taulukoissa kerrotaan myös mitattu laktoosin lähtötaso, laktoosipitoisen tiivisteeseen prosentuaalinen osuus koko tiivisteestä sekä kuinka paljon laktaasia on lisätty tiivisteeseen suodatuksen jälkeen tiivisteeseen sekaan.

Taulukoissa esitetään kaksi mittaamaani laktoosipitoisuutta eri hydrolyysi ajoilta, sekä keskiarvo näistä kahdesta mittauksesta. Kirnumaitoproteiinitiviste ajetaan säiliöihin, jotka on nimetty 3s30, 3s31 ja 3s32. Säiliöön, johon tiiviste on ajettu, ilmoitetaan taulukossa.

Taulukon 4 hydrolyysitestissä oli kirnumaidon suodatuksessa pelkästään laktoosipitoista kirnumaitoa. Tuloksista voidaan huomata, että hydrolyysi onnistui 0,12 % laktaasientsyymin annostuksella. Tiivisteeseen laktoosipitoisuuden lähtötasoa ei ole tiedossa.

Taulukko 4. Hydrolyysitestin 1.

Tiivisteet päivältä	16.kesä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	21.kesä		10 h	73,5	71	76
Säiliö	3s30		12 h	62	61	63
Laktoositon kirnumaito	0	L	14 h	52,5	60	45
Laktoosipitoinen kirnumaito	26277	L	16 h	50	53	47
Kirnumaitoa yhteensä	26277	L				
Tiivistettä säiliössä	7 244	Kg				
Josta laktoosipitoista	7244	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteeseen osuus	100	%				
Laktoosin lähtötaso	ei tiedossa					
Laktaasia lisätty	8,7	Kg				

Taulukon 5 hydrolyysitestauksessa oli sattunut laskuvirhe, joten laktaasia oli lisätty liikaa. Oikea annostus olisi ollut 7,5 kg. Tiivisteestä saatiin joka tapauksessa laktoositonta. Laskuvirheen takia en käyttänyt tämän hydrolyysitestin tuloksia vertailukaavioissa.

Taulukko 5. Hydrolyysitesti 2.

Tiivisteet päivältä	18.kesä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	21.kesä		10 h	29,5	26	33
Säiliö	3s30		12 h	22	17	27
Laktoositon kirnumaito	8000	L	14 h	18,5	23	14
Laktoosipitoinen kirnumaito	22717	L	16 h	18,5	21	16
Kirnumaitoa yhteensä	30717	L				
Tiivistettä säiliössä	8464	Kg				
Josta laktoosipitoista	6274	Kg				
Laktoosipitoisen tiiviste- osuus	74,1	%				
Laktoosin lähtötaso	ei tie- dossa					
Laktaasia lisätty	9,8	Kg				

Seuraavassa kirnumaidon suodatuksessa tiiviste täytyi jakaa kahteen säiliöön, 3s30 ja 3s32. Seuraavat kaksi taulukkoa ovat siis samasta ajasta. Molemmilla säiliöillä on omat taulukot. Biomilk 7000 -pikamäärityslaitteeseen tarvittavia komponentteja ei ollut saatavilla, joten kirnumaitoproteiinitivisteestä haetut hydrolyysinäytteet jouduttiin pakastamaan, niiden säilyvyyden varmistamiseksi. Pakastamisella ei todennäköisesti ollut vaikutusta laktoosipitoisuuksiin.

Taulukossa 6 säiliön 3s30 kirnumaitoproteiinitivisteiden laktoosipitoisuus jäi 16 h hydrolyysiajan jälkeen hieman yli sallitun laktoosittomuusrajan.

Taulukko 6. Hydrolyysitesti 3.

Tiivisteet päivältä	20.kesä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	3.heinä		10 h	277,5	279	276
Säiliö	3s30		12 h	196	203	189
Laktoositon kirnumaito	29000	L	14 h	160	153	167
Laktoosipitoinen kirnumaito	7682	L	16 h	103	103	103
Kirnumaitoa yhteensä	36682	L				
Tiivistettä säiliössä	7700	kg				
Josta laktoosipitoista tiivistettä	2040	kg				
Laktoosipitoisen tiivisteen osuus	20,9	%				
Laktoosin lähtötaso	0,11	%				
Laktaasia lisätty	2,4	Kg				

Taulukon 7 laktoosipitoisen kirnumaitoproteiinitivisteiden määrässä on tapahtunut laskuvirhe, joten laktaasia oli lisätty hieman liikaa. Virhe ei ollut kovin suuri, joten tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää.

Taulukko 7. Hydrolyysitesti 3.

Tiivisteet päivältä	20.kesä		Hydrolyysi ajat	ka mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	3.heinä		10 h	249	260	238
Säiliö	3s32		12 h	171	162	180
Laktoositon kirnumaito	29 000	L	14 h	119,5	130	109
Laktoosipitoinen kirnumaito	7 682	L	16 h	83	79	87
Kirnumaitoa yhteensä	36 682	L				
Tiivistettä säiliössä	5 000	Kg				
Josta laktoosipitoista tiivistettä	2 500	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	50,0	%				
Laktoosin lähtötaso	0,1	%				
Laktaasia lisätty	3	Kg				

Taulukossa 8 voidaan havaita taas, että laktoosin hydrolysointi laktoosittomuusrajan alapuolelle onnistuu hyvin helposti, kun suodatettavana on pelkästään laktoosipitoista kirnumaitoa.

Taulukko 8. Hydrolyysitesti 4.

Tiivisteet päivältä	30.kesä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	3.heinä		10 h	10	9	11
Säiliö	3s30		12 h	15,5	15	16
Laktoositon kirnumaitoa	0	L	14 h	7,5	15	0
Laktoosipitoinen kirnumaitoa	26277	L	16 h	36	33	39
Kirnumaitoa yhteensä	26277	L				
Tiivistettä säiliössä	6840	Kg				
Josta laktoosipitoista	6840	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	100	%				
Laktoosin lähtötaso	0,5	%				
Laktaasia lisätty	8,2	Kg				

Seuraavassa kirnumaidon suodatuksessa kirnumaitoa oli sen verran suuri määrä, että tiivisteet täytyi jakaa kahteen säiliöön. Laktoosin hydrolysointi onnistui kuitenkin odotetusti, kun suuriosa kirnumaidosta oli laktoosipitoista. Molemmilla säiliöillä on omat taulukot, taulukko 9 ja taulukko 10.

Taulukko 9. Hydrolyysitesti 5.

Tiivisteet päivältä	2.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	4.heinä		10 h	52	52	52
Säiliö	3s30		12 h	25,5	18	33
Laktoositon kirnumaito	10000	L	14 h	13,5	15	12
Laktoosipitoinen kirnumaito	30149	L	16 h	7,5	6	9
Kirnumaitoa yhteensä	40149	L				
Tiivistettä säiliössä	5550	Kg				
Josta laktoosipitoista	4168	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	75,1	%				
Laktoosin lähtötaso	0,35	%				
Laktaasia lisätty	5	Kg				

Taulukko 10. Hydrolyysitesti 5.

Tiivisteet päivältä	2.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	4.heinä		10 h	54	57	51
Säiliö	3s32		12 h	26,5	22	31
Laktoositon kirnumaito	10000	L	14 h	14,5	14	15
Laktoosipitoinen kirnumaito	30149	L	16 h	12,5	14	11
Kirnumaito yhteensä	40149	L				
Tiivistettä säiliössä	4 800	Kg				
Josta laktoosipitoista	3 604	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	75,1	%				
Laktoosin lähtötaso	0,4	%				
Laktaasia lisätty	4,3	Kg				

Seuraavassa kirnumaidon suodatuksessa oli laktoosipitoista kirnumaitoa hyvin vähän koko kirnumaidon määrässä. Tämän takia hydrolyysi oli hidasta, eikä 16 tuntia ajallisesti riittänyt hydrolysoimaan laktoosia 0,12 % laktaasientsyymillä annostuksella laktoosittomuus rajan alapuolelle. Tässä hydrolyysitestauksessa otettiin myös poikkeuksellisesti hydrolyysinäytteet vielä 18 h kohdalla selvittääkseen, että tapahtuuko vielä suurempaa muutosta laktoosipitoisuudessa parin tunnin lisäajalla. Taulukossa 12 laktoosipitoisuus jäi säiliössä 3s32 hieman yli sallitun rajan 18 tunnin hydrolyysi ajalla, mutta taulukossa 11 laktoosipitoisuus jäi säiliössä 3s30 vielä selvästi yli. Osan näytteistä mittasin vain yhden kerran, koska Biomilk700- pikamäärityslaitteeseen tarvittavia Biotest- liuskoja ei ollut tarpeeksi.

Taulukko 11. Hydrolyysitesti 6.

Tiivisteet päivältä	4.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	11.heinä		10 h	330	338	322
Säiliö	3s30		12 h	239	242	236
Laktoositon kirnumaito	37000	L	14 h	189	189	
Laktoosipitoinen kirnumaito	6620	L	16 h	171,5	174	169
Kirnumaitoa yhteensä	43620	L	18 h	143,5	148	139
Tiivistettä säiliössä	8710	Kg				
Josta laktoosipitoista	1322	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	15,2	%				
Laktoosin lähtötaso	1,6	%				
Laktaasia lisätty	0,1	Kg				

Taulukko 12. Hydrolyysitesti 6.

Tiivisteet päivältä	4.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	11.heinä		10 h	265,5	268	263
Säiliö	3s32		12 h	192	192	
Laktoositon kirnumaito	37000	L	14 h	154	154	
Laktoosipitoinen kirnumaito	6620	L	16 h	135	142	128
Kirnumaitoa yhteensä	43620	L	18 h	104,5	104	105
Tiivistettä säiliössä	3 355	Kg				
Josta laktoosipitoista	509	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	15,2	%				
Laktoosin lähtötaso	0,1	%				
Laktaasia lisätty	0,6	Kg				

Seuraavassa hydrolyysitestauksessa laktoosipitoisuus jäi huomattavasti yli laktoosittomuus rajan. Laktoosipitoista kirnumaitoa oli hyvin vähän koko kirnumaidon määrän seassa, joten laktoosia oli myös tosi vähän. Tämän takia hydrolyysi oli erittäin hidasta, eikä 16 h riittänyt ol- lenkaan hydrolysoimaan laktoosia laktoosittomuusrajan alapuolelle 0,12 % laktaasientsyymin annostuksella. Kirnumaitoproteiiniitivistet täytyi jakamaan kahteen säiliöön. Taulukot 13 ja 14 ovat siis samasta kirnumaidon suodatuksesta.

Taulukko 13. Hydrolyysitesti 7.

Tiivisteet päivältä	9.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	21.heinä		10 h	328,5	356	301
Säiliö	3s30		12 h	272	272	272
Laktoositon kirnumaito	40 000	L	14 h	244	229	259
Laktoosipitoinen kirnumaito	3620	L	16 h	215	211	219
Kirnumaito yhteensä	43 620	L				
Tiivistettä säiliössä	5787	Kg				
Josta laktoosipitoista	483	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	8,3	%				
Laktoosin lähtötaso	0,58	%				
Laktaasia lisätty	0,1	Kg				

Taulukko 14. Hydrolyysitesti 7.

Tiivisteet päivältä	9.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	21.heinä		10 h	274	270	278
Säiliö	3s31		12 h	267,5	268	267
Laktoositon kirnumaito	40 000	L	14 h	241	238	244
Laktoosipitoinen kirnumaito	3620	L	16 h	215,5	216	215
Kirnumaito yhteensä	43 620	L				
Tiivistettä säiliössä	5 999	Kg				
Josta laktoosipitoista	501	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	8,4	%				
Laktoosin lähtötaso	0,1	%				
Laktaasia lisätty	0,6	Kg				

Taulukossa 15 voidaan jälleen huomata, että hydrolyysi tapahtuu hyvin nopeasti, kun kirnumaidon seassa on enemmän laktoosipitoista kirnumaitoa, kuin laktoositonta kirnumaitoa. Laktoosipitoisuus saatiin helposti alle laktoosittomuusrajan alapuolelle.

Taulukko 15. Hydrolyysitesti 8.

Tiivisteet päivältä	16.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	22.heinä		10 h	49	47	51
Säiliö	3s32		12 h	38	41	35
Laktoositon kirnumaito	10 000	L	14 h	24	26	22
Laktoosipitoinen kirnumaito	25 588	L	16 h	17,5	13	22
Kirnumaitoa yhteensä	35 588	L				
Tiivistettä säiliössä	9 475	Kg				
Josta laktoosipitoista	6 831	Kg				
Laktoosipitoisen tiiviste- osuus	72,1	%				
Laktoosin lähtötaso	0,4	%				
Laktaasia lisätty	8	Kg				

Taulukon 16 hydrolyysitestissä oli laktoosipitoista kirnumaitoa hyvin pieni määrä, mutta laktoosin hydrolysointi onnistui kuitenkin, koska kaikki tiivisteet saatiin mahtumaan yhteen säiliöön. Tiiviste-erässä oli siis riittävästi laktoosia, kun se suodatettiin yhteen säiliöön. Mikäli tiivisteet olisi pitänyt jakaa kahteen säiliöön, ei tiivisteitä todennäköisesti olisi saatu laktoosittomaksi 0,12 % laktaasientsyymien annostuksella per säiliö.

Taulukko 16. Hydrolyysitesti 9.

Tiivisteet päivältä	23.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	24.heinä		10 h	129,5	137	122
Säiliö	3s30		12 h	110	107	113
Laktoositon kirnumaito	31 000	L	14 h	82,5	84	81
Laktoosipitoinen kirnumaito	4489	L	16 h	64	62	66
Kirnumaitoa yhteensä	35 489	L				
Tiivistettä säiliössä	9574	Kg				
Josta laktoosipitoista	1 211	Kg				
Laktoosipitoisen tiiviste- osuus	12,6	%				
Laktoosin lähtötaso	0,1	%				
Laktaasia lisätty	1,5	Kg				

Viimeisin hydrolyysitestausta onnistui odotetusti, vaikka tiivisteet jouduttiin jakamaan kahteen säiliöön suuren tiiviste määrän takia. Laktoosipitoista kirnumaitoa oli enemmän kuin laktoositon kirnumaitoa, jonka takia hydrolyysi tapahtui nopeasti. Molemmilla tiiviste-erillä on omat taulukot.

Taulukko 17. Hydrolyysitesti 10.

Tiivisteet päivältä	30.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	2.elo		10 h	51	49	53
Säiliö	3s31		12 h	41,5	36	47
Laktoositon kirnumaito	10 000	L	14 h	30,5	35	26
Laktoosipitoinen kirnumaito	31 949	L	16 h	37	36	38
Kirnumaitoa yhteensä	41 949	L				
Tiivistettä säiliössä	5 184	Kg				
Josta laktoosipitoista	3 948	Kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	76,2	%				
Laktoosin lähtötaso	0,4	%				
Laktaasia lisätty	4,7	Kg				

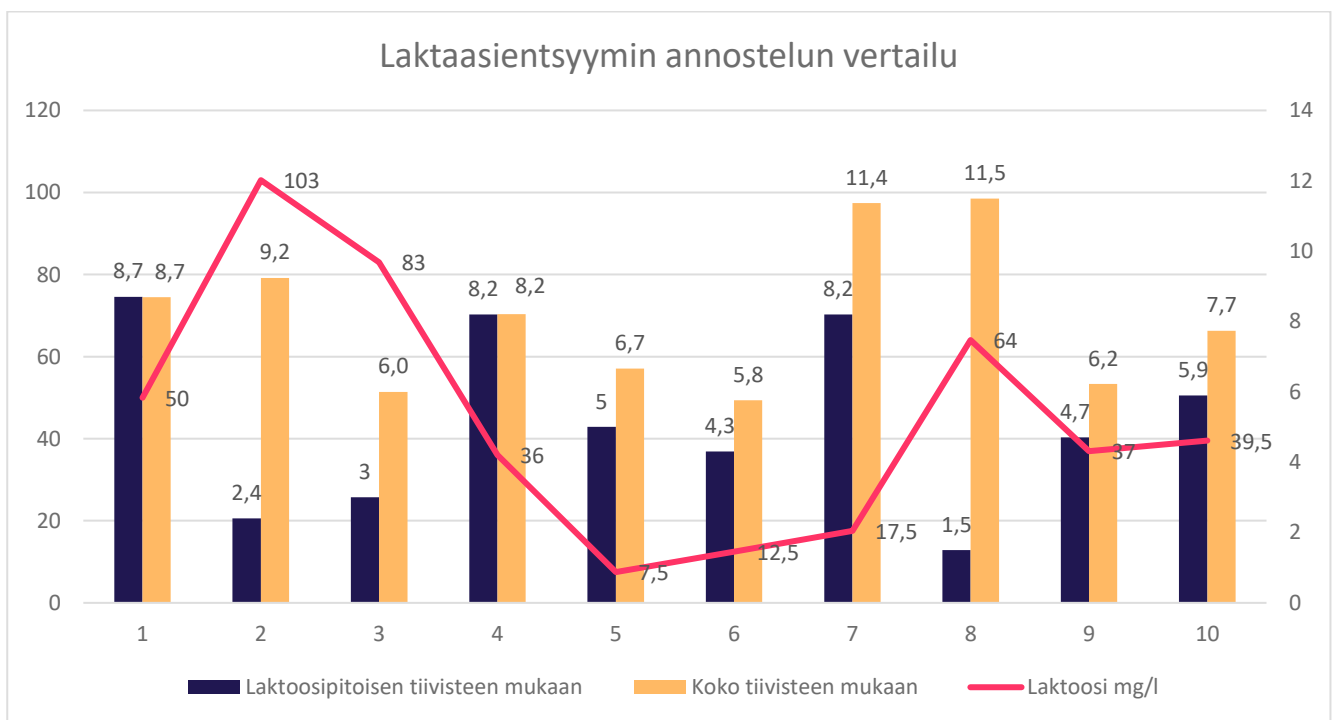
Taulukko 18. Hydrolyysitesti 10.

Tiivisteet päivältä	30.heinä		Hydrolyysi ajat	ka, mg/l	Mittaus 1.	Mittaus 2.
Mittauspäivä	2.elo		10 h	54	50	58
Säiliö	3s32		12 h	50	55	45
Laktoositon kirnumaito	10 000	L	14 h	36,5	36	37
Laktoosipitoinen kirnumaito	31 949	L	16 h	39,5	41	38
Kirnumaitoa yhteensä	41 949	L				
Tiivistettä säiliössä	6 449	Kg				
Josta laktoosipitoista	4 912	kg				
Laktoosipitoisen tiivisteiden osuus	76,2	%				
Laktoosin lähtötaso	0,5	%				
Laktaasia lisätty	5,9	kg				

Laktaasin käyttö ja kustannusvertailu

Kuviossa 2 on vertailussa laktaasientsyymien annostelu nykyisen sekä vanhan suunnitelman mukaan. Sinisellä on 0,12 % laktaasientsyymien annostelu laktoosipitoisen kirnumaitoproteiinitiivisteiden prosentuaalisen osuuden mukaan koko tiivisteiden määrästä ja keltaisella on laktaasientsyymien määrä, joka olisi lisätty vanhan suunnitelman mukaan, eli 0,12 % koko syntyneen tiivisteiden määrästä. Punaisella on jokaisen hydrolyysitestin laktoosipitoisuus 16 h hydrolyysiajalla.

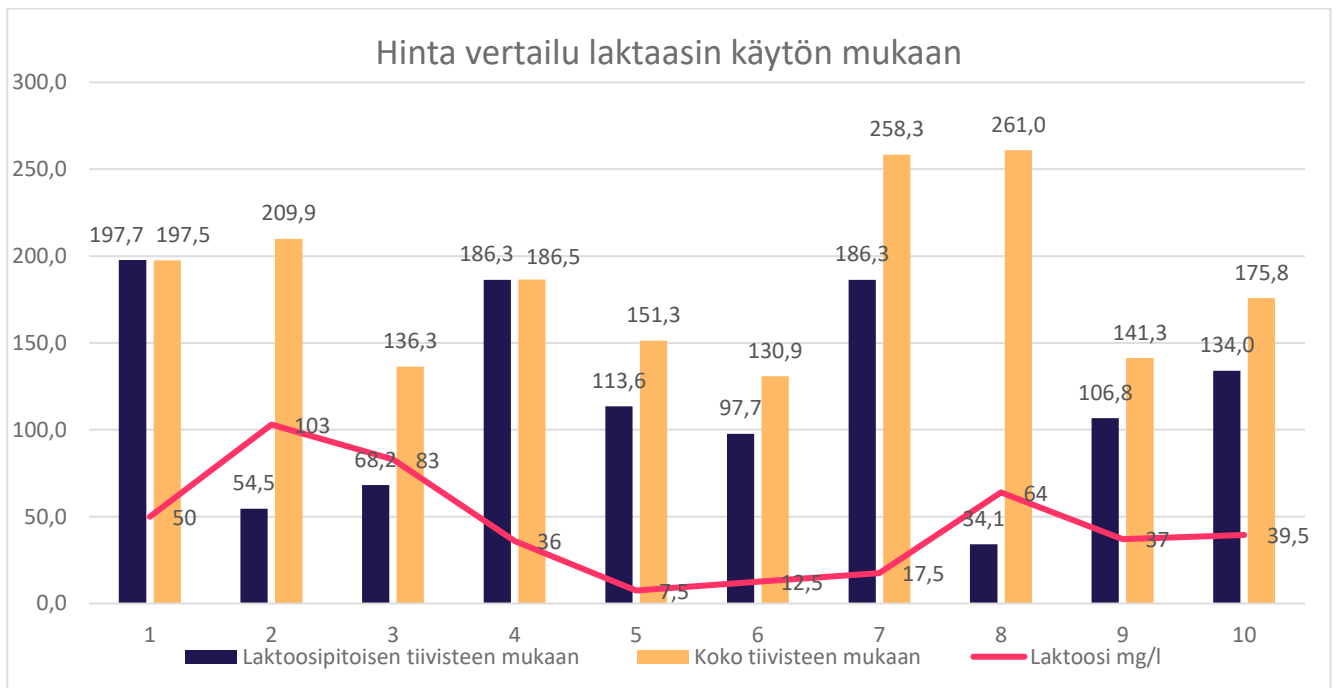
Vertailussa on ne kirnumaitoproteiinitiiivisteet, joissa hydrolyysi onnistui tai jäi laktoosittomuuden rajoille. Mukana on myös hydrolyysitesti, jossa laktoosipitoisuus jäi 3 mg/l yli laktoosittomuusrajan. Laktaasientsyymit on esitetty kiloina. Suurimmassa osassa on laktaasientsyymiä säästetty vain muutama kilo, mutta pitkällä aikavälillä säästö on suuri. Muutamassa hydrolyysitestauksessa laktaasientsyymien säästö oli hyvin suuri.



Kuvio 2. Laktaasientsyymien annostelun vertailu.

Laktaasientsyymiä kului 51,9 kg onnistuneissa hydrolyysitestauksissa. Vanhan suunnitelman laktaasientsyymien annostelulla olisi kulunut 81,4 kg. Laktaasientsyymiä säästyi jopa 29,5 kg ja kyseessä oli kuitenkin vain 10 kirnumaitoproteiinitiiivisteiden hydrolyysintä.

Kuviossa 3 vertaillaan laktaasientsyymin käytöstä syntyneitä kuluja vanhaan laktaasientsyymin annosteluun verrattuna. Sinisellä on kulut 0,12 % laktaasientsyymin annostelulla laktoosipitoisen kirnumaitoproteiinitivisteiden prosentuaalisen osuuden mukaan koko tiivisteiden määrästä ja keltaisella on kulut, jotka syntyisivät, kun laktaasientsyymiä olisi lisätty vanhan suunnitelman mukaan, eli 0,12 % syntyneen tiivisteiden koko määrästä. Punainen viiva kertoo jokaisen hydrolyysitestin laktoosipitoisuuden 16 h hydrolyysiajalla. Laktaasientsyymiä, maxilact LGX 5000 tilataan 20 kg kanistereissa, jonka kilohinta on 22,72 €/kg. Vertailussa on mukana ne kirnumaitoproteiinitivisteiden hydrolyysitestit, jotka onnistuivat. Kulut on esitetty euroina.



Kuvio 3. Hintavertailu laktaasin käytön mukaan.

Laktaasientsyymin käytöstä syntyneet kulut onnistuneissa hydrolyysitestauksissa olivat yhteensä 1180 €. Vanhan suunnitelman mukaan laktaasientsyymin annostelusta olisi syntynyt kuluja yhteensä 1850 €. Nykyisellä suunnitelmalla rahallista säästöä syntyi siis 670 €. Kyseessä on siis säästö noin kuukauden ajalta onnistuneista hydrolyysitestauksista. Testejä suoritettiin yhteensä 15, joista 10 onnistui, eli tiiviste saatiin laktoosittomaksi.

Kun kyseessä on kirnumaidon suodatukset, joissa laktoosipitoisen kirnumaidon osuus on 100–70 %, niin laktaasientsyymiä kuluu vuodessa kirnumaitoproteiinitivisteiden hydrolysointiin n. 1000 kg. Uuden suunnitelman mukaan laktaasientsyymiä kuluisi n. 700 kg/vuosi. Vuodessa säästöä syntyisi siis n. 300 kg. Rahallista säästöä syntyisi vuodessa n. 7000 €, kun laktaasientsyymin kilohinta on 22,72 €.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voidaanko kirnumaitoproteiinitivisteeseen käytettävän laktaasientsyymien määrää optimoida. Tutkimuksien perusteella voidaan. Liitteessä 1 on laktoosipitoisen kirnumaidon prosentuaalinen osuus koko kirnumaidon määrästä sekä kyseisen kirnumaidosta suodatetun kirnumaitoproteiinitivisteeseen laktoosipitoisuus 16 h hydrolyysi ajalla. Liitteestä 1 voidaan selvästi nähdä, että laktoosin hydrolysointi 0,12 % laktaasientsyymien annostuksella laktoosipitoisen kirnumaitoproteiinitivisteeseen prosentuaalisen osuuden mukaan onnistuu ja kirnumaitoproteiinitivisteeseen laktoosipitoisuudet saatiin laktoosittomuus rajan alapuolelle, joka on alle 100 mg/l, kun laktoosipitoisen kirnumaidon osuus on vähintään 70 %.

Kun laktoosipitoisen kirnumaidon osuus koko kirnumaidon määrästä on n. 20 %, jää laktoosipitoisuus pääosin vielä vähän laktoosittomuus rajan rajoille 16 h hydrolyysi ajalla.

Syy miksi osassa hydrolyysitestejä laktoosipitoisuus jäi yli laktoosittomuusrajan, on siinä, että laktoosia oli todella vähän säiliöissä olevassa tiivisteessä, joten hydrolyysi oli hyvin hidasta. Eli laktoosia on liian vähän tiivisteeseen määrään verrattuna, jolloin laktaasientsyymi ei tavallaan löydä laktoosia tarpeeksi nopeasti. Mikäli kirnumaitoproteiinitivisteet olisi saatu mahtumaan yhteen säiliöön, olisi laktoosipitoisuus paljon pienempi 16 h hydrolyysi ajan jälkeen.

Yhden hydrolyysitestin perusteella voidaan silti olettaa, että kirnumaitoproteiinitivisteeseen hydrolysointi laktoosittomaksi onnistuu myös silloin, kun laktoosipitoista kirnumaitoa on vain noin 12 %, kunhan kirnumaitoproteiinitiviste saadaan ajettua yhteen säiliöön. Tällöin laktoosia on tiivisteessä vielä riittävästi ja hydrolyysi tapahtuu nopeasti. Tämä vaatii kuitenkin enemmän tutkimusta ja useampia mittauksia, jotta voidaan olla täysin varmoja, että tämän kaltainen kirnumaitoproteiinitiviste erä saadaan varmasti laktoosittomaksi.

Kun suodatettavassa kirnumaidossa on sekaisin laktoositonta sekä laktoosipitoista kirnumaitoa, on määrät yleensä niin, että joko laktoosipitoista kirnumaitoa on suuri määrä, eli vähintään 70 % tai sitten hyvin pieni määrä, eli alle 21 %. Tutkimuksessa ei siis tule selville, kuinka 0,12 % laktaasientsyymien annostus toimii laktoosipitoisen kirnumaitoproteiinitivisteeseen, kun laktoosipitoista kirnumaitoa olisi esimerkiksi 60–30 %.

Kirnumaitoproteiinitivisteeseen lisättävä 0,12 % laktaasientsyymien annostus on Horner ym. tutkimukseen laktoosihydrolyysistä verrattuna hyvin kustannustehokas. Laktaasientsyymien

annostusta olisi mahdollista pienentää, mutta vaikutusaikaa täytyisi pidentää, joka ei aina ole täysin optimaalinen vaihtoehto. Entsyymien annostuksen ja reaktioajan tasapaino on tässä työssä hyvällä tasolla kustannustehokkuutta katsottuna.

LÄHTEET

- Conway, V., Gauthier, S. F., & Pouliot, Y. (2014). Buttermilk: Much more than a source of milk phospholipids. *Animal Frontiers*, 4, s. 44–51. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0014>
- DSM. (i.a.) *Ingredients: Maxilact®*. https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/dairy/fresh-dairy/maxilact.html
- Grace, K., Jones., Yuiry, H. & Kim, L. (2017). Production technology of lactase and its application in food industry application. *The journal of the science of food and agriculture. Hill publishing*, 1(1), 4-6. <https://wap.hillpublisher.com/UpFile/201709/2017092458401721.pdf>
- Hettinga, A. (2019). Chapter 6 - Lactose in the dairy production chain. Teoksessa M. Paques, & C. Lindner (toim.), *Lactose: Evolutionary role, health effects, and applications* (s. 231-266). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811720-0.00006-4>
- Horner, T.W., Dunn, M.L., Eggett, D.V. & Ogden, L.V. (2011). β -Galactosidase activity of commercial lactase samples in raw and pasteurized milk at refrigerated temperatures. *Journal of dairy science*, 94 (7), s, 3242-3249. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3742>
- Imcd (i.a.). Maxilact Igx 5000. <https://www.imcd.se/trade-names/food-and-nutrition-BG3/maxilact-a5u690000000IQhAAI/maxilact-igx-5000-01t6900000AXcypAAD>
- McHugh, T. & Avena-Bustillos, R. (2020). The ultimate on ultrafiltration. *Food technology magazine*, 74(8). <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2020/august/columns/processing-the-ultimate-on-ultrafiltration>
- Opetushallitus (i.a.) *Voin teollinen valmistus*. <https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/voin-teollinen-valmistus.pdf>
- Ravinder, K., Manpreet, K., Anita, K., Bhuvnesh, S., Velugoti, P. R. & Ashish, T. (2015). Natural and cultured buttermilk. *Fermented milk and dairy products*, 8, s. 203-225. CRC press https://www.researchgate.net/profile/Ravinder-Kumar-39/publication/280136366_Natural_and_Cultured_Buttermilk/links/55f696a508ae1d98039770ed/Natural-and-Cultured-Buttermilk.pdf
- Risingsun membrane technology. (i.a.) How membrane filtration works. <https://www.risingsunmem.com/en/tech.html?id=25>
- Schaafsma, G. (2007). Lactose and lactose derivatives as bioactive ingredients in human nutrition. *International dairy journal*, 18(5), 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.11.013>
- Suominen, I. (2002). Solujen rakenne ja toiminta: Entsyymit: katalyyysi ja toiminta metabolian säätelyssä. E. Aittomäki, T. Eerikäinen, M. Leisola, H. Ojamo & I. Suominen (toim.), *Bio-prosessitekniikka* (s. 52–54). WSOY

- Sutay Kocabaş, D., Lyne, J., Ustunol, Z. (2022). Hydrolytic enzymes in the dairy industry: Applications, market, and future perspectives. *Trends in food science & technology*, 119, s. 467-475. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.013>
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (i.a.). Ravintotekijä: laktoosi. <https://fineli.fi/fineli/fi/ravintotekijat/2196>
- Tetra pak. (i.a.) Dairy processing handbook: *Butter and dairy spreads*, 12. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/butter-and-dairy-spreads>
- Toppr (i.a.). Hydrolysis. <https://www.toppr.com/guides/chemistry/biomolecule/hydrolysis/>
- Tunkkari, S. (Asiantuntija). (04.09.2023) *Voiprosessin läpikäynti* [asiantuntijahaastattelu].
- Vedantu (i.a.). Hydrolase: *What is hydrolase?* <https://www.vedantu.com/chemistry/hydrolase>
- von Weymarn, N. (2002). Valmistusprosessit: Suodatus. E. Aittomäki, T. Eerikäinen, M. Leisola, H. Ojamo & I. Suominen (toim.), *Bioprosessitekniikka* (s. 185–189). WSOY
- Vähäkuopus, K. (Prosessiasiantuntija). (04.09.2023) *Voiprosessin läpikäynti* [asiantuntijahaastattelu].

LIITTEET

Liite 1. Laktoosipitoisen kirnumaidon prosentuaalinen osuus / laktoosipitoisuus

Liite 1. Laktoosipitoisen kirnumaidon prosentuaalinen osuus / laktoosipitoisuus

