



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marja Kaistinen

Proteiinin erotuksen optimointi

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

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

Suuntautumisvaihtoehto: Elintarviketeknologia

Tekijä: Marja Kaistinen

Työn nimi: Proteiinin erotuksen optimointi

Ohjaaja: Jarmo Alarinta

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 36

Liitteiden lukumäärä:

Suurin osa tärkkelysprosessissa syntyneestä proteiinimassasta ajetaan tislaukseen eikä sillä ole siellä mitään hyötyä vaan se vie vain turhaa tilaa, kemikaaleja sekä lämpöä. Jos proteiinimassa saataisiin ajettua tislauksen ohi ja eroteltua prosessista mahdollisimman puhtaana, sitä voitaisiin käyttää muuhun tarkoitukseen ja mahdollisesti korvattua nykyiset prosessissa käytössä olevat proteiinilietteen separaattorit.

Opinnäytetyön tavoite oli tutkia proteiiniin erottamista nykyisestä kolmifaasidekantterien välijakeesta. Koeajossa keskityttiin prosessointikapasiteetin testaukseen ja ajoparametrien määrittämiseen. Koeajot oli jaettu ensisijaisiin ja toissijaisiin tavoitteisiin. Pilotissa testattiin erotusteknologiaan perustuvaa sentrifugilinkoa.

Kirjallisuudessa perehdytään hieman proteiinien ja tärkkelyksen kemiaan sekä mitä käytännössä kiinteänesteen erotus tarkoittaa. Proteiini ja tärkkelys eroavat toisistaan kemiallisen rakenteensa vuoksi ja käyttäytyvät eri olosuhteissa eri tavalla. Kiinteänesteen erotuksessa tulee ottaa huomioon monia asioita kuten esikäsittely, kiintoainepitoisuus, kiintoaineiden erottaminen sekä jälkikäsittely.

Raaka-aine valmistettiin prosessissa ja jakeista suoritettiin laboratoriossa erilaisia näytteitä ja arvioitiin koneen säätöjä tuloksien avulla. Materiaalin tulokset suoritettiin analysoinnilla ja kokeiltiin uusia säätöjä parempia tuloksia varten. Linko saatiin kokeen aikana helposti tasapainoon ja se jaksoi erottaa raaka-ainetta. Koneen säädöissä raaka-aineella on suurin merkitys. Erotus vaatii suuremman koneen, jotta pystyttäisiin saamaan kaikkia haluttuja tavoitteita.

¹ Asiasanat: Erottaminen, proteiini, tärkkelys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Food Processing and Biotechnology

Specialisation: Food technology

Author/s: Marja Kaistinen

Title of thesis: Optimization of protein separation

Supervisor(s): Jarmo Alarinta

Year: 2023

Number of pages: 36

Number of appendices:

Most of the protein mass produced in the starch process is driven to distillation where it has no use, but it only consumes space, chemicals, and heat. If the protein mass was driven past the distillation and separated from the process as pure as possible, it could be used for other purposes and possibly replace the current protein sludge separators used in the process.

The aim of the thesis was to investigate protein separation from the current intermediate fraction of three-phase decanters. The trial run focused on testing the processing capacity and determining the driving parameters. The test runs were divided into primary and secondary objectives. In the pilot, a centrifuge based on separation technology was tested.

The literature section introduces the chemistry of proteins and starch and the solid-liquid separation in practice. Protein and starch differ from each other due to their chemical formula and behave differently under different conditions. In the separation of solid liquid, many factors must be considered, such as pre-treatment, solid content, separation of solids and post-treatment.

The raw material was prepared in the process and different samples were made of the fractions in the laboratory. Machine adjustments were evaluated using the results. The results of the material were analyzed, and new adjustments were tried for better results. During the test, the centrifuge was easily balanced, and it continued to separate the raw material. The raw material plays the most important role in the machine settings. The separation requires a larger machine to be able to achieve all the desired goals.

¹ Keywords: Separation (engineering), proteins, starch

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta.....	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn raportointi.....	8
1.4 Tärkkelysprosessi	9
2 TÄRKKELYS.....	11
2.1 Glukoosi	11
2.2 Amylaasi ja amylopektiini	11
2.3 Ohratärkkelys	13
2.4 Gelatinoituminen ja retrogradaatio.....	13
3 PROTEIINI.....	15
3.1 Aminohapot	15
3.2 Polypeptidi.....	16
3.3 Ohran proteiini	16
4 KIINTOAINEEN EROTUS NESTEESTÄ	18
4.1 Sedimentaatio.....	18
4.2 Erotuksen periaate.....	19
4.3 Kiintoaineen erotusprosessin optimointi.....	20
5 MENETELMÄKUVAUS JA TYÖN TOTEUTUS	21
6 [REDACTED].....	25
6.1 Toiminnan periaate	25
6.2 [REDACTED].....	26
7 TULOKSET.....	27

8 YHTEENVETO	33
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	35
LÄHTEET.....	36

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Raaka-aine koeputkessa	21
Kuvio 1. Tärkkelysprosessi.....	9
Kuvio 2. Amylaasin kierteinen organisaatio ja amylopektiinin haarautunut rakenne	12
Kuvio 3. Yleistetyn aminohapon luurankomalli	16
Kuvio 4. Polypeptidi runko, jossa aminohappotähteet esiintyvät proteiinissa	16
Kuvio 5. Sedimentointilaitteiden yleinen luokitus	19
Kuvio 6. Prosessikaavio koeajojen aikana.	22
Kuvio 7. Säättö- ja vastemuuttajat	23
Kuvio 8. Kokeessa käytetty linko	26
Taulukko 1. Koe ajoissa käytetyn raaka-aineen resepti.	22
Taulukko 2. Ensimmäisen päivän tuloksia.....	27
Taulukko 3. Ensimmäisen päivän parhain tulos.....	27
Taulukko 4. Toisen päivän tuloksia	28
Taulukko 5. Kolmannen päivän koeajoja.....	29
Taulukko 6. Neljännen päivän koeajoja.....	29
Taulukko 7. Pesuvaiheeseen syötetty arvo	30
Taulukko 8. Pesuvaiheen jälkeen	30

Taulukko 9. Viimeisen päivän ajo parametrit ennen pesuvaihetta	31
Taulukko 10. Pesuvaiheen jälkeen	31
Taulukko 11. Lopullinen alitteen tulos	32

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Suurin osa prosessissa syntyneestä proteiinimassasta ajetaan tislaukseen. Proteiinista ei ole tislauksessa mitään hyötyä vaan se vie siellä turhaa tilaa, kemikaaleja sekä lämpöä. Jos proteiinimassa saataisiin erotettua prosessista kolmifaasidekanterien välijakeesta mahdollisimman puhtaana, sitä voitaisiin käyttää tulevaisuudessa elintarvike- tai rehukäyttöön. Tämä tarkoittaisi myös sitä, että proteiinimassa saataisiin ajettua tislauksen ohi ja mahdollisesti korvattua nykyiset käytössä olevat proteiinilietteen separaattorit. Prosessissa suoritettiin koe ajo pilot, jonka tarkoituksena oli tutkia proteiiniin erottamista nykyisestä kolmifaasidekanterien välijakeesta. Pilotissa testattiin erotusteknologiaan perustuvaa sentrifugilinkoa.

1.2 Työn tavoite

Sentrifugilingon testaus oli jaettu ensisijaisiin ja toissijaisiin tavoitteisiin. Ensisijaisissa tavoitteissa keskityttiin prosessointikapasiteetin testaukseen ja ajoparametrien määrittämiseen. Optimaaliselle erotusprosessille ulostulevan alitteen kuiva-aineksi oli määritelty tavoitteeksi 30 % ja proteiinipitoisuudeksi >45 %. Ylitteen kiintoaineksi vol. - % <5 % (tai täydellisessä tilanteessa <1 %). Toissijaisena tavoitteena oli jatkaa prosessia ns. pesuvaiheella. Tämä tarkoitti sitä, että raaka-aine erotetaan hyväksi todetulla prosessilla. Tästä alite otetaan sivuun ja lisätään siihen vettä, jonka jälkeen syötetään uudelleen lingon läpi. Toisen erotuksen alitteen kuiva-aineksi oli määritetty tavoitteeksi 30 % ja proteiinipitoisuudeksi >60 % sekä ylitteen kiintoaineksi vol. - % <1 %.

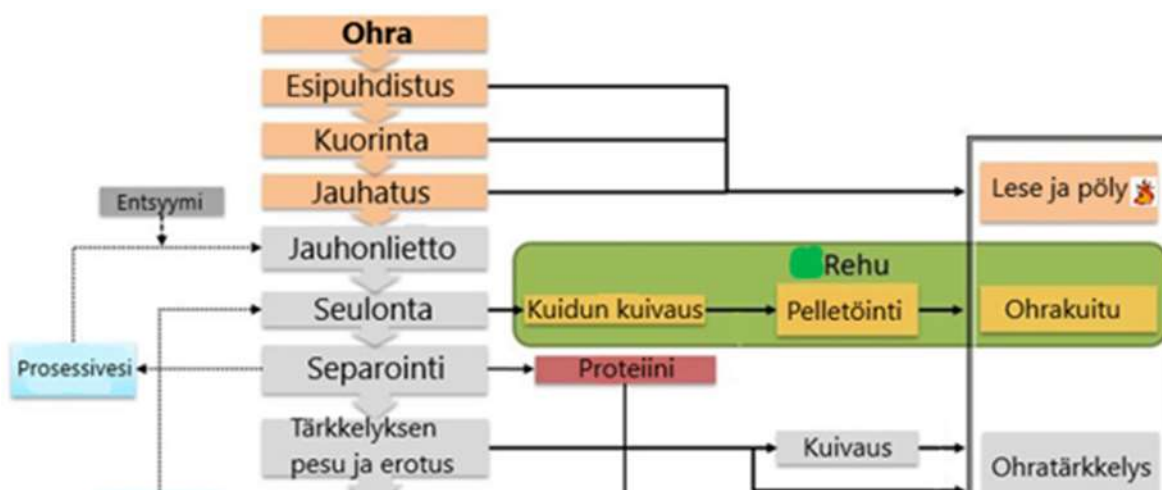
1.3 Työn raportointi

Lingon testauksessa keskityttiin prosessointikapasiteetin testaukseen ja ajoparametrien määrittämiseen. Viikon aikana kokeiltiin erilaisia säätöjä lingolle ja arvioitiin säätöjen tuloksia syötettävälle tavaralle. Materiaalin tulokset suoritettiin analysoinnilla ja kokeiltiin uusia säätöjä parempia tuloksia varten. Myös pesuvaihe suoritettiin kokeen lopussa.

Tuloksista analysoitiin tilavuus (vol.-%) jota otettiin 10 ml sentrifugointiputkeen ja fuugattiin 10 minuutin ajan. Tästä arviotiin pohjalla olevan kiintoaineen osuus kokonaistilavuudesta. Materiaalista analysoitiin kuiva-ainepitoisuus, proteiinipitoisuus sekä tärkkelyspitoisuus. Analysointeja tehtiin valvomossa sekä tehtaan omassa laboratoriossa, josta tulokset otettiin ylös ja kirjattiin. Kuiva-ainepitoisuus suoritettiin valvomon omalla kuiva-ainemittauksella ja tarkempi tulos kuiva-ainepitoisuudelle testattiin vielä uudelleen laboratorion kuiva-ainemittauksella. Tärkkelyspitoisuus määriteltiin laboratoriossa polaarisesti. Proteiinipitoisuuden määritti tehtaan oma laboratorion henkilökunta. Osasta materiaalista katsottiin myös viskositeetti sekä otettiin lämpötilat. Tulokset kirjattiin Exceliin.

1.4 Tärkkelysprosessi

Tärkkelysprosessi alkaa ohran esipuhdistuksella, kuorinnalla sekä jauhatuksella. Esipuhdistuksessa viljasta puhdistetaan mahdolliset pölyt, metallit sekä kivet. Puhdistuksesta vilja matkaa kuorintaan, jossa viljan kuori sekä pölyt poistetaan. Jauhatuus tapahtuu vasaramyllyillä kaksivaiheisessa jauhatuksessa. Jauhatuksen aikana ylimääräiset kuoret ja pölyt puhalletaan pneumaattisesti tehtaalla olevalle höyryvoimalaitokselle energian tuotantoon (Kuvio 1).



Kuvio 1. Tärkkelysprosessi

Jauhatuksen jälkeen ohrajauho siirretään pneumaattisesti jauhonliettoprosessiin. Jauhonliettoprosessissa jauhoihin lisätään prosessivettä oikeassa suhteessa sekä entsyymiä auttamaan tärkkelyksen, proteiinin ja kuidun erottamista myöhemmässä vaiheessa prosessia. Entsyymien annetaan vaikuttaa tehtaan viipymäsäiliössä ennen siirtoa seulontaan. Seulonnassa tapahtuu kuidunpesu. Kuidunpesussa kuitu erotetaan muista lietteen osista. Seulonta koostuu kolmesta eri seulasarjasta esi-, tärkkelys- ja kuituseuloista. Jokainen seula koostuu erikoisista seulapinnoista. Esiseulassa erottuu karkeampi jae ja muu pienipartikkelinen liete. Esiseulan läpi menevä liete matkaa tärkkelysseulalle, jossa seulapinnan reiät ovat tiheimät. Tärkkelysseula erottaa loput kuitupartikkelit tärkkelyksestä ja proteiineista. Esi- ja tärkkelysseuloilta tulleet isommat partikkelit matkaavat kuituseuloille. Kuituseuloilta kuitujae matkaa kuidun kuivaukseen sekä rehujen valmistukseen.

Seulonnan jälkeen tapahtuu separointi eli jakeen erotus. Tärkkelysseuloilta raskaampi jae eli alite syötetään kolmifaasidekanttereille. Syötetty suspensio jakaantuu kolmifaasidenkattereilta keskipakovoiman avulla kolmeen eri jakeeseen tiheyksien perusteella, alitteeseen, ylitteeseen ja välijakeeseen. Kolmifaasidenkattereilta saatu alite sisältää tärkkelystä ja vähän proteiinia. Alite pumpataan jatkoprosessointiin syklonisarjoille, jossa tärkkelys jaetaan A- ja B- tärkkelykseksi. Erottunut A-tärkkelys pumpataan suoraan tärkkelyslietteen myyntisäiliöihin tai jatketaan monivaiheiseen kuivaukseen, jossa tärkkelysliete kuivataan ja siirretään kuivatuna siiloihin. Syklonisarjalta erottunutta B-tärkkelystä käytetään etanolin valmistukseen. Kolmifaasidekanttereilta erottunut välijae eli runsaasti proteiinia sisältävä raskaampi jae pumpataan tehtaan proteiiniseparaattoreille jatkoprosessointiin. Proteiini separaattoreista saatu alite käytetään rehuotteiden ja etanolin valmistukseen.

2 TÄRKKELYS

Tärkkelystä pidetään runsaana ravintoaineena ihmisten ruokavaliossa mutta se on myös tärkein elintarvikkeiden varantoaine kasveissa (Bemiller 2018, s. 160–161). Viljan jyvien sisällä esiintyy suurin osa tärkkelyksestä ja isoin osa ihmisten kuluttamia tuotteita viljasta kulutetaan sen jälkeen, kun viljan ytimet on pelkistetty jauhoiksi tai vihanneksiksi. Tärkkelystä esiintyy myös paljon perunassa, riisissä sekä maississa. Tärkeänä ravintoaineiden runsaudessa sekä kasvien varantoaineena tärkkelys on myös ainutlaatuinen muilla tavoin. Bemillerin (2018) mukaan tärkkelys on aine, joka on vuorovaikutuksessa veden ja muiden hyvin polaaristen yhdisteiden kanssa, mutta voi muodostaa komplekseista hydrofobisia yhdisteitä. Vaikka tärkkelystä pidetään vesiliukoisena polysakkaridien seoksena se voi käyttäytyä kuin termoplastinen materiaali mikä tarkoittaa sitä, että se pystyy sulamaan oikeissa olosuhteissa.

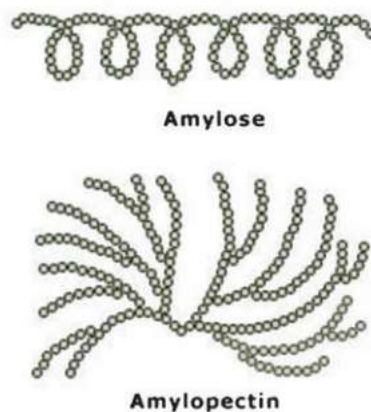
2.1 Glukoosi

Glukoosit ovat sokereita ja yksi yleisimmistä monosakkarideista fruktoosin ja galaktoosin kanssa (Biology online, 2022). Näitä perustuvanlaatuiksi hiilihydraateiksi kutsuttuja monosakkarideja kutsutaan yksinkertaisiksi sokereiksi. On myös olemassa monimutkaisimpia monosakkaridimuotoja, joita kutsutaan oligosakkarideiksi ja polysakkarideiksi. Nämä kaksi monosakkaridimuotoa voivat muodostaa monimutkaisia hiilihydraatteja glykosidisten sidosten eli glukosididosten kautta. Glykosidididos muodostuu dehydraatiosynteesin kautta, jolloin glukoosin monosakkaridi sitoutuu toiseen monosakkaridiin vapauttaen vettä. Kun monta monosakkaridia yhdistetään, muodostaa se polysakkarideja. Tällaisessa suhteessa glukoosi yhdistyy toisen monosakkaridin kanssa muodostaen disakkaridin. Esimerkiksi kun kaksi glukosimolekyyliä, liittyvät yhteen α (1→4) -glykosididoksella, muodostavat maltoosin ja β (1→4) -glykosididoksella muodostavat sellobioosia. Glukoosi on tiettyjen polymeerien, kuten selluloosan, tärkkelyksen ja glykogeenin tärkein monosakkaridiainesosa.

2.2 Amylaasi ja amylopektiini

Tärkkelys koostuu pääasiassa kahdesta suuresta polysakkaridista: amylaasista ja amylopektiinistä (Hui 2006, s. 3–3). Amylaasi ja amylopektiini kuuluvat molemmat glukoosiyk-

sikköihin, mutta rakenteeltaan ne eroavat toisistaan erilaisten glukoosiyksikköjen sidoksista. Sidosten vaihtelut vaikuttavat amylaasin ja amylopektiinin toimivuuteen elintarvikesovelluksissa. Amylaasi koostuu D-glukoosimolekyyleistä, jossa on sidottuna α -(1 \rightarrow 4) glukoosiyksikköä. Tätä molekyyliä kutsutaan suoraketjuiseksi. Amylopektiini koostuu taas D-glukoosimolekyyleistä, jossa on sidottuna α -(1 \rightarrow 4) -d-glukoosiyksikköä, jotka haarautuvat α -(1 \rightarrow 6) -d-glukoosiyhteyksien kautta. Tätä molekyyliä kutsutaan haaraketjuiseksi. Kuviossa 2 on kuvattuna amylaasin kierteinen organisaatio ja amylopektiinin haarautunut rakenne. Amylaasi on tärkkelyksessä vähemmän vallitseva polysakkaridi, jonka osuus on n. 20–40 %. Loput koostuvat amylopektiinistä, jonka osuus on jopa 70–80 %. Noin 5 % amylopektiinin rakenteesta koostuu α -(1 \rightarrow 6) -d- sidoksista, joka aiheuttaa haarautumista. Tästä syystä amylopektiini on paljon suurempi molekyyli kuin amylaasi. Molemmat molekyylit imeytyvät, sulavat ja hydrolysoituvat eri tavalla. Pääasiassa amylaasi hydrolysoituu amylaasin vaikutuksesta, kun amylopektiini taas tarvitsee entsyymejä haaroittumisen poistamiseksi saadakseen täydellisen hydrolyysin. Erilaisten rakenteiden ja luonteiden seurauksena molempien molekyyliden hydrolyysi eroaa toisistaan. Elintarvikkeissa amylaasin ja amylopektiinin osuudet vaikuttavat tärkkelyksen sulavuuteen myös amylaasin ja amylopektiinin määrät vaihtelevat eri tärkkelyslähteissä. Koska amylaasi ja amylopektiini muodostavat tärkkelysrakeen, on tärkkelyslähteellä merkittävä rooli määrittellä tärkkelyksen erilaiset reaktiot ja fysikaaliskemialliset ominaisuudet jalostus- ja elintarvikesovelluksissa.



Kuvio 2. Amylaasin kierteinen organisaatio ja amylopektiinin haarautunut rakenne. (DeMan ym., 2018, s. 193)

2.3 Ohratärkkelys

Tärkkelys on hiilihydraattiryhmän suurin komponentti ja ohran tärkein energianlähde ravintoon ja uuden kasvin kasvuun itämisen jälkeen (Newman & Newman, 2008, s. 60–61).

Tärkkelys on myös kaikista ravintoaineista vaihtelevin ainesosa ohran ytimessä, joka vaihtelee 45 % jopa 65 %. Amylopektiiniä pidetään useimmissa ohrissa tärkeimpänä tärkkelystyyppinä. Sen osuus kokonaismäärästä ohrassa on 72–78 %, ja loput 22–28 % on amylaasia. Amylaasimolekyylit ovat paljon pienempiä kuin amylopektiinimolekyylit, joita esiintyy ohrassa vain satunnainen kela. Vaikka amylopektiini on ohrassa suuri molekyyli, sen suuresta koosta huolimatta sillä on laimeissa liuoksissa suhteellisen alhainen viskositeetti verrattaen amylaasiin. Amylaasi on taas epästabili vesiliuoksissa ja sillä on taipumus saostua tai retrogradoitua laimeissa liuoksissa sekä muodostaa geelejä väkevöidyissä liuoksissa.

2.4 Gelatinoituminen ja retrogradaatio

Kun tärkkelystä kuumennetaan veden läsnä ollessa, käy se läpi faasimuutoksen, jota kutsutaan gelatinoitumiseksi (Bemiller & Whistler 2009, s. 607–610). Gelatinoituminen tapahtuu tärkkelyslähteelle ominaisella lämpötila-alueella. Vaihdemuutos liittyy veden diffuusiioon kuten tärkkelysrakeeseen, vedenottoon amorfisella tausta-alueella, hydraatioon sekä säteittäisen tärkkelysrakeiden turpoamiseen. Myös tärkkelyksen kahtaistaitavuuden menetykseen, lämmönottoon, amylaasin huuhtoutumiseen ja molekyyli- ja kiteisen järjestyksen menetykseen.

Ohratärkkelysten gelatinoitumislämpötilaa on tutkittu polarisoidulla valomikroskopiolla ja differentiaalisella pyyhkäisykalometrillä (Bemiller & Whistler 2009, s. 610). Normaalin ohran gelatinoitumislämpötila on välillä 52,0–74,4 °C.

Molekyyliuorovaikutuksia kuten tärkkelyksen välisissä vetysidosketjuissa tapahtuvia vuorovaikutuksia, joita esiintyy jäähtymisen jälkeen, kutsutaan retrogradaatioksi (Bemiller & Whistler 2009, s. 618). Kun tärkkelysraetta kuumennetaan gelatinisaatio lämpötilan ylä-

puolella aiheuttaa se retrogradaation. Tämä tarkoittaa sitä, että rae turpoaa palauttamattomaksi ja johtaa amylaasin huuhtoutumisen liuokseen. Korkean tärkkelyspitoisuuden ollessa läsnä tämä aiheuttaa suspension, joka muodostaa elastisen geelin jäähtyessään.

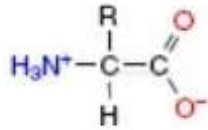
3 PROTEIINI

Elintarvikkeiden makrokomponenttien kolmanteen luokkaan kuuluvat proteiinit ovat polymeerejä ja niiden molekyylipainot voivat vaihdella 10 000:sta jopa useisiin miljooniin, siksi niitä usein kuvataan olevan rakenteeltaan monimutkaisia (Coultate 2009, s. 160–161). Rakenne koostuu aminohapoista, jotka liittyvät toisiinsa peptidisidoksilla. Proteiinien aminohappojen valikoima on rajallinen ja se on periaatteessa yhteistä kaikille proteiineille. Lisäksi proteiinien polypeptidiketju ei ole koskaan haarautunut. Proteiinien luonne piilee rakenteessa, toiminnasta sekä monimuotoisuudessa. Esimerkiksi tiettyjen proteiinityyppien toiminnot ja ominaisuudet riippuvat sen aminohappojen tarkasta sekvenssistä, kun taas polypeptidiketjun pituudessa ei voi olla mitään epämääräistä. Tämä tarkoittaa sitä, että proteiini voi menettää biologisen aktiivisuutensa, mikäli yksikin aminohappo sekvenssissä on väärässä paikassa.

Proteiinin rakenne riippuu aminohapposekvenssistä, jota kutsutaan ensisijaiseksi rakenteeksi (primääri) (Elfson 2012, s. 316). Primäärinen rakenne määrittää proteiinin toissijaisen (sekundaari) sekä kolmannen (tertiääri) molekyylirakenteen. Joskus proteiinit voivat esiintyä myös molekyyliagregaatteina, jotka ovat geometrisesti järjestyksessä (kvaternäärinen rakenne).

3.1 Aminohapot

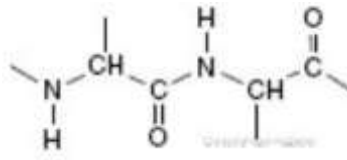
Aminohapoista puhutaan proteiinin rakennuspalikoina (Whitford 2005, 33–39). Kaikki aminohapot sisältävät hiiltä, vetyä, typpeä ja happea. Kaksi poikkeusta (kystiini ja metioniini) sisältävät myös rikkiä. Proteiineista löytyy 20 erilaista aminohappoa joista 9 kuvataan olevan välttämättömiä ihmiskeholle kuten lysini ja histidiini. Loput 11 kykenee keho valmistamaan itse. Proteiinissa esiintyvän aminohapon yleinen rakenne sisältää varautuneita amino- (NH_3^+) ja karboksyyliiryhmiä (COO^-). Nämä ovat kiinnittyneet keskeiseen hiiliatomiin, jota kutsutaan α -hiileksi. Muut α -hiileen liittyvät atomit ovat yksi vetyatomi ja r-ryhmä tai sivuketju. Kuviossa 3 on kuvattuna yleistetyn aminohapon luurankomalli. Whitfordin (2005) mukaan aminohapot liitetään yhteen muodostamalla peptidisidos, jossa yhden molekyylin aminoryhmä reagoi toisen karboksyyliiryhmän kanssa. Kun aminohappoihin linkittyy sarja peptidisidoksia, pystytään erottamaan proteiinin muoto.



Kuvio 3. Yleistetyn aminohapon luurankomalli, jossa amino- (sininen) karboksyyli (punainen) ja R-ryhmät kiinnittyneenä keskus- tai α -hiileen (Whitford 2005, s. 34)

3.2 Polypeptidi

Proteiinin polypeptidiketju eli pääketju tai runko muodostuu aminohappojen välisten peptididostosten muodostumisesta (Whitford 2005, 38–40). Runko koostuu amidi N:sta, α - hiilestä sekä karbonyyli-C:sta, jotka on kytketty toisiinsa. Kuviossa 4 on kuvattuna polypeptidi runko, jossa aminohappotähteet esiintyvät proteiinissa. Aminohappojen yhdistäminen muodostaa proteiinisekvenssin, joka on jaettu pää- ja sivuketjun komponentteihin. Jotkin proteiinit liittyvät toisiinsa samanlaisen sekvenssin ansiosta, mutta useimmilla proteiineilla on hyvin erilainen koostumus sekä järjestys ketjussa. Pää ketjulla, eli polypeptidirungolla on sama koostumus kaikissa proteiineissa, vaikka se voi vaihdella laajuudeltaan eli polypeptidiketjusta löydettyjen aminohappojen lukumäärän myötä.



Kuvio 4. Polypeptidi runko, jossa aminohappotähteet esiintyvät proteiinissa (Whitford 2005, s. 40)

3.3 Ohran proteiini

Proteiinit ovat ohrassa kolmannella sijalla tärkkelyksen ja ravintokuidun jälkeen (Newman & Newman, 2008, s. 71–71). Hordeiinit muodostavat suurimman osan ohran endospermin varastoivista proteiineista, ja niiden määrä on 35–50 % viljan kokonaistypestä. Yleensä viljan varastoproteiineista puuttuu tiettyjä välttämättömiä aminohappoja. Välttämättömien aminohappojen määrittäminen kokeellisesti suuresta määrästä viljan jyvistä paljasti, että ohrassa

on eniten metioniinia, treoniinia sekä histiiniä. Taas kokonaisaminohappojen prosenttiosuutta verrattaessa ohraproteiinit sijoittuivat kauraproteiinien jälkeen, mutta olivat parempi kuin vehnäproteiinit.

Ohran tyypillinen proteiinipitoisuus vaihtelee 7–13 % välillä (Newman & Newman, 2008, s. 68). Ohran ytimessä proteiinit esiintyvät monissa muodoissa ja vastaavat ohran rakenteellisista toiminnoista kuten aineenvaihdunnasta ja tuottaa tyypeä kehittyvälle alkiolle itämisen aikana. Typen läsnäolon vuoksi ohrassa proteiinitaso mitataan yleensä määrittelemällä tyypipitoisuus yhdellä tai useammalla menetelmällä. Kuitenkaan kaikki tyyppi ohran jyvässä ei ole todellisia proteiineja sillä ohra sisältää myös proteiinitonta tyypeä. Tämän tunnistamiseksi proteiinimittauksia kutsutaan raakaproteiineiksi. Aito proteiini (typpi I-aminohapoista) sisällä ohran määrä on 80–85 % standardissa määritetystä raakaproteiiniarvosta.

Globuraaliset proteiinit ohrassa kuten hordeiinit ovat yleensä liukoisia vesipitoisissa ympäristöissä (Phillips ym., 2011, s. 3–4). Globulaariset proteiinit avautuvat normaalisti kuumennettaessa ja riittävän suurina pitoisuuksina denaturoidut ketjut aggregoituvat muodostaen termisesti palautumattomia geelejä. Tämä muodostuminen voi aiheuttaa proteiinin biologisen aktiivisuutensa menetykseen. (Phillips ym., 2011) mukaan geelien ominaisuudet riippuvat useista tekijöistä kuten proteiiniketjujen avautumisasteesta ja laajuudesta sekä proteiini ketjun aggregaation kinetiikasta. Denaturaatiota voi tapahtua myös äärimmäisissä olosuhteissa liuoksen pH:n muutoksessa. Denaturoituneiden molekyylien lineaarinen assosiaatio johtaa yhtenäisten hienajuosteisten kolmiulotteisten verkkorakenteiden muodostumiseen. Kun proteiiniketjujen sähköstaattinen varaus vähenee merkittävästi, muodostuu mikronin kokoisia proteiiniaggregaatteja, jotka yhdistyvät karkeiden verkkorakenteiden muodostamiseksi.

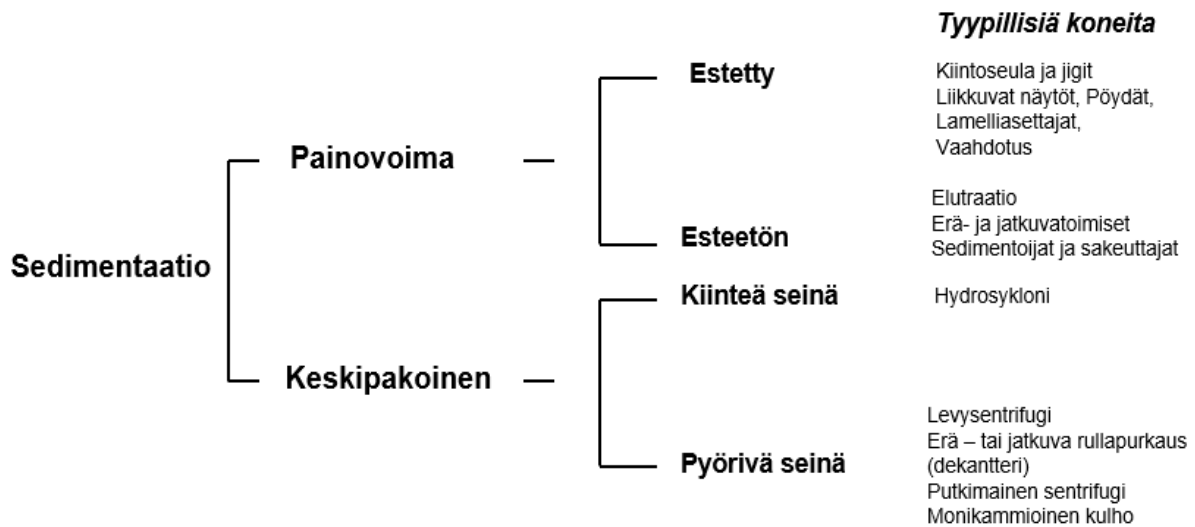
4 KIINTOAINEEN EROTUS NESTEESTÄ

On olemassa monia kiinteiden ja nesteiden erotustekniikoita, jotka ovat vakiintuneet yleiseen käyttöön prosessiteollisuudessa ja muutamia, jotka ovat tällä hetkellä kaupallisen hyödyntämisen alkuvaiheessa (Svarovsky 2000, s. 16.). Teollisuus aloilla erotusteknologialla on hallitseva rooli kemiallisessa prosessissa. Svarovskyn (2000) mukaan, suurin osa prosessiteollisuudesta, joissa käsitellään hiukkaslietteitä, on käytössä jonkinlainen kiinteän ja nesteen erotus niiden virtaustaulukoissa. Kasvu-ero on noussut huomattavasti vuosien varrella. Tämä johtuu esimerkiksi jatkuvasta lisääntymis- vaatimuksista tuotteiden puhtaudelle erityisesti elintarviketeollisuudessa, lääketeollisuudessa sekä bioteknologiassa.

De Haan (2015) mukaan kahden nestefaasin, sekoittumattomien tai osittain sekoittuvien nesteiden, erottaminen on yleinen vaatimus prosessiteollisuudessa (De Haan 2015, s. 197–198). Nestefaasien yksinkertaisin erottamiseen käytetty laite on painovoiman selkeytyssäiliö. Painovoiman selkeytyssäiliöiden käyttö on pitkälti analoginen kiinteän aineen ja nesteen erotusta varten. Vaikeasti erotettavissa neste-neste-seoksissa, kuten emulsioissa, käytetään keskipakeroottimia. Kiinteä-neste-erotuksen lisäksi on usein toivottavaa poistaa joko karkea tai hieno tuotteessa peräisin olevat hiukkaset. Tätä prosessia kutsutaan luokitukseksi tai kiinteäkiinteä erotukseksi ja se voidaan saavuttaa monen tyyppisissä kiinteän ja nesteen erotuslaitteissa. Jos hiukkasia rajoittaa väliaine, joka sallii nesteen tai kaasun läpi, käsitellään erottelua suodattamalla.

4.1 Sedimentaatio

Jos hiukkaset tai pisarat voivat liikkua vapaasti jatkuvassa nestefaasissa käsitellään sedimentaatiota ja laskeutumista (De Haan 2015) s. 196–197). Sedimentaatio voidaan jakaa toiminnallisiin toimintoihin, sakeuttamiseen ja selkeyttämiseen. Sakeuttamisen ensisijainen tarkoitus on lisätä suspendoituneiden kiintoaineiden pitoisuutta syöttövirrassa, kun taas selkeytyksen tarkoituksena on poistaa suhteellisen pieni määrä suspendoituneita hiukkasia ja tuottaa kirkasta vettä. Sedimentaatio hyödyntää tiheyseroa kiinteiden aineiden ja nesteen välillä suspendoituneiden kiinteiden hiukkasten erottamiseksi osittain tai konsentraatioksi nesteestä painovoiman tai keskipakosaostuksen avulla. Kuviossa 5 on esitetty sedimentointitekniikan ryhmät, jotka jaotellaan erilaisiin toimintoihin.



Kuvio 5. Sedimentointilaitteiden yleinen luokitus (De Haan 2015, 197, muokattu)

4.2 Erotuksen periaate

Kiinteän nesteen ja nesteen erotusprosessit voidaan luokitella asianomaisten periaatteiden mukaisesti (De Haan 2015, s. 197). De Haan (2015) mukaan täydellinen kiinteän ja nesteen erotus johtaisiin nestevirtaan, jossa nesteet menevät yhteen suuntaan ja kuivat ja kiinteät aineet menevät toiseen suuntaan. Valitettavaa kuitenkin on, että mikään erotuslaitteista ei toimi täydellisesti. Tyypillisesti nestevirtaan voi jäädä hienojakoisia kiinteitä aineita, ja osa nesteestä voi poistua suurimmaksi osaksi kiinteisiin aineisiin. Tämä tyyppinen epätäydellisyys on tunnusomaista talteen otetun kiintoaineen massaosuudelle ja kiintoaineiden jäännöskosteuspitoisuudelle.

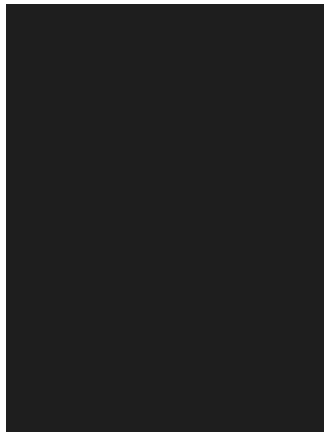
(Svarovsky 2000) mukaan kiinteäneste erotus on kahden faasin, kiinteän ja nestemäisten erottamista suspensiosta (Svarovsky 2000, s. 16.). Kiinteä-neste erotusta käytetään monin tavoin prosesseissa. Esimerkiksi arvokkaan kiinteän komponentin talteenottoon, jossa neste osa poistetaan tai nesteen talteenottoon, jossa kiinteät aineet poistetaan. Myös molempien faasien nesteen- sekä kiinteän aineen talteenottoon esimerkiksi molempien vaasien kierrättämistä tai uudelleen käyttöä varten prosessissa. Jossain tilanteissa kummankaan faasin talteenottoa ei tarvita eli neste ja kiinteät aineet erotetaan toisistaan eikä niille ole tarvetta. Tämä voi johtua esimerkiksi ympäristöllisistä syistä.

4.3 Kiintoaineen erotusprosessin optimointi

Kiinteän ja nesteen erotusprosessissa tulee ottaa huomioon prosessin esikäsittely, kiintoainepitoisuus, kiintoaineiden erottaminen sekä jälkikäsittely (Thermopedia 2011). Esikäsitellyssä kiintoaineiden luonnetta voidaan muuttaa esimerkiksi kemiallisin tai fysikaalisin keinoin. Näitä voivat olla esimerkiksi pH:n säätäminen tai suodatusapuvälineiden lisääminen. Kiintoainepitoisuudessa osa nesteestä voidaan poistaa (painovoimalla tai keskipakovoimalla) saakeuttamalla tai hydrosyklonoimalla. Tällä saadaan vähennettyä suodattimien nestetilavuuden kuormitusta. Tehokkaamman erottelun saamiseksi käytetään avusteista erottelutekniikkaa. Näitä voi olla mm. sähköinen- ja magneettinen apu. Kiintoaineiden erotteluun liittyy suodatin, joka jaetaan paine-, tyhjiö-, keskipako- ja painovoimatoimintoihin. Kiinteiden tai nestemäisten tuotteiden laadun parantamiseksi tapahtuu jälkikäsittelyprosessi, tätä kutsutaan myös nimellä kiillotus prosessi, jossa kiinteä tai nestemäiselle liuokselle tehdään lisäpuhdistus, pestään tai lämpö kuivataan.

5 MENETELMÄKUVAUS JA TYÖN TOTEUTUS

[REDACTED]



Kuva 1. Raaka-aine koeputkessa (Kaistinen, 2023).

[REDACTED]

[REDACTED]



Kuvio 7. Säättö- ja vastemuuttujat

[REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

6 [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

6.1 Toiminnan periaate

[REDACTED]



Kuvio 8. Kokeessa käytetty linko

7 TULOKSET

Taulukko 2. Ensimmäisen päivän tuloksia.

--	--

Taulukko 3. Ensimmäisen päivän parhain tulos (vihreällä)

--	--	--	--	--

[REDACTED]

Taulukko 4. Toisen päivän tuloksia

[illegible]

[REDACTED]

Taulukko 5. Kolmannen päivän koeajoja

Year	1990	1991	1992	1993	1994
1990	1990	1991	1992	1993	1994
1991	1991	1992	1993	1994	1995
1992	1992	1993	1994	1995	1996
1993	1993	1994	1995	1996	1997
1994	1994	1995	1996	1997	1998
1995	1995	1996	1997	1998	1999
1996	1996	1997	1998	1999	2000
1997	1997	1998	1999	2000	2001
1998	1998	1999	2000	2001	2002
1999	1999	2000	2001	2002	2003
2000	2000	2001	2002	2003	2004
2001	2001	2002	2003	2004	2005
2002	2002	2003	2004	2005	2006
2003	2003	2004	2005	2006	2007
2004	2004	2005	2006	2007	2008
2005	2005	2006	2007	2008	2009
2006	2006	2007	2008	2009	2010
2007	2007	2008	2009	2010	2011
2008	2008	2009	2010	2011	2012
2009	2009	2010	2011	2012	2013
2010	2010	2011	2012	2013	2014
2011	2011	2012	2013	2014	2015
2012	2012	2013	2014	2015	2016
2013	2013	2014	2015	2016	2017
2014	2014	2015	2016	2017	2018
2015	2015	2016	2017	2018	2019
2016	2016	2017	2018	2019	2020
2017	2017	2018	2019	2020	2021
2018	2018	2019	2020	2021	2022
2019	2019	2020	2021	2022	2023
2020	2020	2021	2022	2023	2024
2021	2021	2022	2023	2024	2025
2022	2022	2023	2024	2025	2026
2023	2023	2024	2025	2026	2027
2024	2024	2025	2026	2027	2028
2025	2025	2026	2027	2028	2029
2026	2026	2027	2028	2029	2030
2027	2027	2028	2029	2030	2031
2028	2028	2029	2030	2031	2032
2029	2029	2030	2031	2032	2033
2030	2030	2031	2032	2033	2034
2031	2031	2032	2033	2034	2035
2032	2032	2033	2034	2035	2036
2033	2033	2034	2035	2036	2037
2034	2034	2035	2036	2037	2038
2035	2035	2036	2037	2038	2039
2036	2036	2037	2038	2039	2040
2037	2037	2038	2039	2040	2041
2038	2038	2039	2040	2041	2042
2039	2039	2040	2041	2042	2043
2040	2040	2041	2042	2043	2044
2041	2041	2042	2043	2044	2045
2042	2042	2043	2044	2045	2046
2043	2043	2044	2045	2046	2047
2044	2044	2045	2046	2047	2048
2045	2045	2046	2047	2048	2049
2046	2046	2047	2048	2049	2050
2047	2047	2048	2049	2050	2051
2048	2048	2049	2050	2051	2052
2049	2049	2050	2051	2052	2053

[REDACTED]

Taulukko 6. Neljännen päivän koeajoja

[illegible]

Taulukko 9. Viimeisen päivän ajo parametrit ennen pesuvaihetta

Taulukko 10. Pesuvaiheen jälkeen

8 YHTEENVETO

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Linko saatiin helposti tasapainoon ja se jaksoi erottaa raaka-ainetta. Kiintoaineen erottaminen vaatii pitkän selkeytysvyöhykkeen, tasaisen virtauksen, suuren selkeytystilavuuden sekä voimakkaan keskipakokentän. Suuremmalla koneella pystyttäisiin saamaan kokeessa haluttuja tavoitteita ylitteen kohdalla. Lingon säädöillä sekä syötettävällä materiaalilla oli hiuksenhieno raja, joka tarkoitti sitä, että jopa pienellä säädöllä karkasi ylite alitteeseen eikä kone enää tehnyt töitä. Koneen ajossa tuli haasteita siinä, että samoja säätöjä käyttämällä seuraavan päivän kokeilulla oli jakeen arvot muuttuneet, vaikka samoja säätöjä käytettiin. Tämä johtui raaka-aineen käyttäytymisestä ja kiintoaineen muutoksista. Raaka-aineeksi muutettu jae matkaa monen prosessin kautta kolmifaasidenkattereilta ja elää prosessissa. Näin se on myös luultavasti muuttunut kolmifaasidenkattereilta prosessin aikana. Tämä havainto voi olla myös yksi syy muuttuneisiin raaka-aineen kiintoainepitoisuuksiin. Tätä en kuitenkaan näe ongelmana. Kone saatiin helposti tasapainoon ja se jaksoi erottaa raaka-ainetta.

Yksi syy raaka-aineen käymiseen voi johtua myös keräyssäiliöstä. Raaka-ainetta kerättiin säiliöön 1/3 koko säiliön tilavuudesta. Raaka-aineella oli paljon tilaa ja ehti jäähtyä nopeasti säiliössä. Myös käymisen syyksi arvioitiin liian pitkä raaka-aineen seisonta aika säiliössä. Koneen säädöissä raaka-aineella on suurin merkitys. Raaka-aineen kiintoainepitoisuutta tulisi tarkastella tulevien koeajojen aikana, jotta kokonaiskuva saadaan ja ymmärretään raaka-aineen erottavuus koneen ajossa. Esimerkiksi raaka-aineen kiintoaineen ollessa 24 % kuinka tämä vaikuttaa kuorijan asetuksiin?

Koeajot järjestettiin hieman kiireellä. Koeasetelmassa oli monta muuttujaa, että yhteen muuttujaan oli vaikea perehtyä tarkemmin. Koeajon aikana haasteita tuli siinä, että ajoparametrejä piti samaan aikaan arvioida, kirjata ylös ja tehdä laboratoriossa näytteitä.

LÄHTEET

Bemiller, J. (2018). *Carbohydrate chemistry for food scientists*. (3.p.). Elsevier Inc.

Bemiller, J., & Whistler, R. (2009). *Starch: Chemistry and technology*. (3.p.). Elsevier Inc.

Biology online. (2022). *Glucose*. <https://www.biologyonline.com/dictionary/glucose>

Coulter, T. (2009). *Food: The chemistry of its components*. (5.p.). RSCPublishing.

De Haan, A. (2015). *Process Technology: An Introduction*. De Gruyter.

Elfson, S. (2012). *Barley: Production, cultivation and uses*. Nova Science Publishers, Inc.

Flottweg (2011). How the flottweg sedicanter works. *Flottweg separation technology*, 4.
https://www.europages.com/filestore/gallery/dd/47/16320200_e0eb07be.pdf

Flottweg. (2023). Flottweg Sedicanter. <https://www.flottweg.com/product-lines/sedicanter/>

Hui, Y.H. (2006). *Handbook of food science, technology, and engineering*. CRC Taylor & Francis.

Newman, R.K., & Newman C.W. (2008). *Barley for food and health: Science, technology, and products*. John Wiley & Sons, Inc.

Phillips, G. O., & Williams, P.A. (2011). *Handbook of Food Proteins*. Woodhead Publishing.

Records, A., & Sutherland, K. (2001). *Decanter Centrifuge Handbook*. Elsevier Science Ltd.

Svarovsky, L. (2000). *Solid-Liquid Separation*. (4.p.). Butterworth – Heinemann.

Thermopedia (2011). Liquid-solid separation. <https://www.thermopedia.com/content/928/>

Whitford, D. (2005). *Proteins: Structure and function*. John Wiley & Sons, Ltd.