

Opinnäytetyö (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Biotekniikka

2015

Mari Alatalo

KEITTOEKSTRUUSION KÄYTTÖ SOIJATUOTTEEN VALMISTUKSESSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma | Biotekniikka

Kevät 2015 | 35 sivua

Ohjaajat:

Mika Jokinen, yliopettaja, Turun ammattikorkeakoulu

Jukka Kaitaranta, toimitusjohtaja, JKK Partners Oy

Mari Alatalo

KEITTOEKSTRUUSION KÄYTTÖ SOIJATUOTTEEN VALMISTUKSESSA

Tiivistelmä

Työn tarkoituksena oli tuottaa ja kehittää pilot-mittakaavassa puffautunut soijatuote, joka vastaisi teollisuudessa valmistettavaa kaupallista tuotetta. Valmistettava soijatuote oli ihmisille suunnattu, elintarvikettä käyttöön tarkoitettu jatkojalostettava elintarvike. Tuotteet valmistettiin keittoekstruusiolla käyttäen kaksiruuviekstruuderia. Tutkimuksessa käytettiin raaka-aineena soijaproteiinikonsentraattia ja rasvatonta sekä rasvaista (18-25 %) soijajauhoa.

Tutkimus koostui kahdesta osasta: pilot-tuotteen valmistuksesta ja tuotekehityksestä. Pilot-tuotetta valmistettaessa selvitettiin sopivat ajoparametrit ekstruusioprosessiin: ruuvin kierrosnopeus, ekstruuderin muut käyttöparametrit sekä raaka-aineiden massavirrat ja niiden sopiva suhde. Lisäksi muutettiin ruuvin kokoonpanoa ja testattiin erimuotoisia suuttimia. Pilot-tuotteen valmistamisen jälkeen siirryttiin tuotekehitykseen. Tuotekehityksessä tutkittiin kahden eri soijajauhon vaikutusta soijaproteiinikonsentraatin keittoekstruusioprosessiin.

Pilot-tuote valmistettiin käyttäen kolmea eri lämpötilaa, tiettyä kierrosnopeutta ja raaka-aineen sekä veden massavirtaa. Lisäksi valmistettiin samoja olosuhteita käyttäen neljä erilaista soijajauhoa sisältävää tuotetta. Näistä 3 m-% tuotteet valittiin jatkoanalyysiin, joissa saatiin selville tarkemmin raaka-aine-eroista johtuneet laatuominaisuuksien muutokset. Soijajauhon lisäys vähensi puffautumista, jota vähensi huomattavasti myös rasvapitoisuuden kasvu. Kehitettyjen tuotteiden vedensidontakyky oli alhaisempi ja rakenne hajoavampaa kuin pilot-tuotteen ja sitä vastaavan kaupallisen tuotteen.

ASIASANAT:

keittoekstruusio, ekstruuderit, elintarvike, teksturoitu kasviproteiini, soijaproteiinikonsentraatti, soijajauho, soijapapu

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Biotechnology and Food Technology | Biotechnology

Spring 2015 | 35 pages

Instructors:

Mika Jokinen, Principal Lecturer, Turku University of Applied Sciences

Jukka Kaitaranta, Managing Director, JKK Partners Ltd

Mari Alatalo

DEVELOPMENT OF SOY EXTRUDATES BY EXTRUSION COOKING

Abstract

The purpose of this study was to produce and develop an expanded soy product in pilot scale which would be similar to commercially available products. The soy product was designed for human consumption and for further processing in the food industry. In this study the product was produced by extrusion cooking by using a twin-screw extruder. The raw materials used in this study were soy protein concentrate and defatted and full-fat (18-25 %) soy flour.

The study comprised two parts: production of pilot product and product development. In pilot product production, suitable conditions were sought for the extrusion process including screw speed, cylinder temperature, mass flow of raw materials, and a suitable water to raw materials ratio. In addition, the configuration of the screws was altered and different dies were tested. After the pilot product had been achieved, the effects of two different soy flours on the extrusion cooking process were investigated in the product development phase.

The pilot product was produced in three different temperatures and at a specific screw speed and a specific mass flow of raw material and water. Furthermore, four different products containing soy flour were produced under the same conditions. Products which contained 3 m-% of soy flour were chosen for further study wherein the effects of differences in raw materials on properties were investigated. The results showed that increases in soy flour and fat content reduced the expansion of the extrudate. The developed products had lower capacity to bind water and the texture was weaker than that of the pilot product and the corresponding commercial product.

KEYWORDS:

extrusion cooking, extruder, food, texturized vegetable protein, soy bean, soy protein concentrate, soy flour

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 SOIJA	9
2.1 Soijapapu	9
2.2 Soijan terveysvaikutuksia	9
2.3 Soijaproteiini	10
2.4 Soijapavusta valmistettuja elintarvikeraaka-aineita	10
2.4.1 Soijajauho	10
2.4.2 Soijaproteiinikonsentraatti	11
2.4.3 Soijaproteiini-isolaatti	11
3 KEITTOEKSTRUUSIO	13
3.1 Ekstruusio elintarviketeollisuudessa	13
3.1.1 Keittoekstruusio	13
3.1.2 Yksiruuviekstruuderit	14
3.1.3 Kaksiruuviekstruuderit	15
3.2 Prosessi	15
3.2.1 Syöttö	16
3.2.2 Vaivaus	16
3.2.3 Varsinainen keittoalue	16
3.2.4 Suutin	17
3.3 Ekstruusion vaikutus elintarvikkeeseen	17
3.3.1 Aistinvaraiset ominaisuudet	17
3.3.2 Ravintoarvo	18
3.3.3 Proteiinipitoiset soijatuotteet	18
4 TYÖN SUORITUS	20
4.1.1 Aloitus	20
4.2 Välineet ja materiaali	20
4.2.1 Ekstruuderin kokoonpano	21
4.2.2 Huolto ja ruuvikokoonpanon muutos	21
4.3 Kaupallisen tuotteen koostumuksen määrittäminen	23

4.4 Pilot-tuotteen valmistus	24
4.4.1 Syöttöparametrien selvitys: veden syöttö, jauhון syöttö	24
4.4.2 Testiajot	25
4.4.3 Pilot-tuote	26
4.5 Tuotekehitys	27
4.6 Tehdyt analyysit	28
5 TULOKSET JA POHDINTA	30
5.1 Tulokset	30
5.2 Pohdinta	32
6 LOPPUPÄÄTELMÄT	34
LÄHTEET	35

LIITTEET

Liite 1. Ekstruusioajojen parametrit.

Liite 2. Ekstruusioajojen syöttöparametrit.

KUVAT

Kuva 1. Ekstruusiosprosessi.	16
Kuva 2. Pilot-ekstruuderi.	21
Kuva 3. Vanha ruuvikokoonpano (Sorsa 2010).	22
Kuva 4. Uusi ruuvikokoonpano.	22
Kuva 5. Käytetyt suuttimet.	26
Kuva 6. Tuotteet ennen (vas.) ja jälkeen (oik.) keittokokeen.	31

TAULUKOT

Taulukko 1. Kaupallisen tuotteen kosteusanalyysi.	23
Taulukko 2. Vedensyötön tilavuusvirtamittaukset, ml/min = g/min.	25
Taulukko 3. Tuotteiden analyysitulokset.	30
Taulukko 4. Vedensidontakykyanalyysin tulokset.	31
Taulukko 5. Ajoparametrit.	36
Taulukko 6. Soijaproteiinikonsentraatin syöttöparametrit eri ajoissa. Huomioitu vain tuotteen kannalta tuloksia antavat ajot.	41
Taulukko 7. Tuotteiden raaka-aineiden syöttöparametrit.	41

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Lyhenne/sana	Lyhenteen/sanan selitys
Ekstrudaatti	Tuote, joka on pursotettu ekstruuderilla
Ekstruuder	Suulakepuristin
Keittoekstruusio	Prosessi, joka tapahtuu HTST-olosuhteissa, korkeassa paineessa ja suurissa leikkausvoimissa (Sharma ym. 2000).
GMO	Genetically modified organism, geenimuunneltu organismi.
HTST	High-temperature short-time, korkea lämpötila lyhyt aika (Sharma ym. 2000).
TVP	Texturized vegetable protein, teksturoitu kasviproteiini (Fellows 1992).
RPM	Revolutions Per Minute, kierrosnopeuden yksikkö eli kierrosta minuutissa
Soijajauho	Raaka-aine, joka on valmistettu soijapavun siemenistä, ja jossa on noin 50 % proteiinia (Jideani 2011).
Soijaproteiini-isolaatti	Raaka-aine, joka on valmistettu soijajauhosta, ja jossa on noin 70-90 % proteiinia (Jideani 2011).
Soijaproteiinikonsentraatti	Raaka-aine, joka on valmistettu soijajauhosta, ja jossa on noin 70 % proteiinia (Jideani 2011).

1 JOHDANTO

Ekstruusiomenetelmiä käytetään yleisesti metalli-, muovi- ja elintarviketeollisuudessa. Opinnäytetyössä keskityttiin elintarviketeollisuuden ekstruusioprosessiin tuottaessa soijatuotetta keittoekstruusiolla. Työn tarkoituksena oli kehittää ihmisille suunnattua teollisuudessa tuotettavaa kaupallista elintarviketta. Tutkimus tehtiin yhteistyössä JKK Partners Oy:n ja Suomen Kasvisruoka Finn Soy Oy Ltd:n (FinnSoy) kanssa ja työn käytännön osa suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun prosessilaboratoriossa.

FinnSoy on suomalainen soijatuotteiden valmistaja, jonka tehdas sijaitsee Uudessakaupungissa. Yritys on alkujaan perustettu vuonna 1996, jonka jälkeen vuonna 2012 sen omistajuus vaihtui nykyisille omistajille. (FinnSoy 2015a) Yritys tuottaa jatkojalostettavia puffautuneita, eli rakenteeltaan ilmavia soijatuotteita elintarvikedyttöön. Sen tuotteisiin kuuluu Finnprotex-tuotesarja, joissa on vähintään 60 % proteiinia. Tuotteet valmistetaan GMO-vapaasta soijasta ja ne ovat 100 % kasvipohjaisia. (FinnSoy 2015b)

Työn tavoitteena oli saada aikaan laboratoriomittakaavan laitteella pilot-valmiste, joka vastaisi kaupallista tuotetta. Raaka-aineena käytettiin soijaproteiinikonsentraattia ja tuotekehityksessä myös erilaisia soijajauhoja korvaamaan osa konsentraatin määrästä. Kehitettyjen tuotteiden muotoa ja ominaisuuksia verrattiin pilot-valmisteeseen sekä kaupalliseen tuotteeseen. Tuotekehityksen tarkoituksena oli saada tietoa raaka-aineiden teknisestä käyttäytymisestä ekstruusioprosessissa sekä niiden soveltuvuudesta laatuominaisuuksien perusteella elintarvikekomponenttien tuottamiseen.

2 SOIJA

2.1 Soijapapu

Viljelty soija, tieteelliseltä nimeltään *Glycine max (L) Merill*, on papukasvi, joka sisältää paljon kasviproteiinia ja ihmiselle välttämättömiä aminohappoja. Soijapapuja on alettu tuottamaan yli 5000 vuotta sitten Aasiassa, josta se on levinnyt Eurooppaan, Amerikkaan ja nykypäivän johtavaan soijatuottajamaahan Yhdysvaltoihin. (Imram ym. 2010) Vuosina 1993-1998 arvioitiin soijatuotannon olevan maailmanlaajuisesti 134 miljoona tonnia ja vuonna 2008 tuottoa oli yhteensä noin 220 miljoonaa tonnia, josta yli 80 % käytettiin eläinrehuksi. (Imram ym. 2010; WWF 2010)

Soijapapu on yksivuotinen metrin korkuinen vihreä pensasmainen kasvi, joka ei kestä pakkasta. Se kuuluu *Leguminosae*-sukuun, joiden ominaisuuksia ovat mm. ilman typhen hajottaminen ammoniumnitraatiksi sen juurinystyröissä olevan *Rhizobium japonicum*-bakteerin avulla. Soijapavun ominaisuuksiin kuuluu korkea proteiinipitoisuus ja se sisältää runsaasti öljyä. Proteiinipitoisuus voi vaihdella 30:stä 50 %:iin sekä öljypitoisuus 12:sta 30 %:iin riippuen mihin tarkoitukseen soijapapua kasvatetaan. Soijapapua viljelläänkin pääasiassa kahteen eri tarkoitukseen: elintarviketeollisuuteen sekä öljyteollisuuteen. (Imram ym. 2010)

2.2 Soijan terveysvaikutuksia

Pääasiassa kuivattu soijapapu koostuu 40 % proteiinista ja 20 % öljystä (lipideistä). Soijaproteiinit sisältävät kaikkia ihmisen ja eläimen aineenvaihdunnalle välttämättömiä aminohappoja, erityisesti lysiiniä. Papu sisältää myös lipidejä, joita ovat mm. rasvahapot, fosfolipidit ja triglyseridit, ja joista suurin osa on tyydyttymättömiä, ihmiselle terveellisempiä rasvahappoja. (Imram ym. 2010)

Soijatuotteet ovat ravintoarvoltaan rikkaita, proteiinipitoisia ja luonnostaan laktoosittomia. Soijapavun rasvahapot ovat 85 %:sti tyydyttymättömiä rasvahappoja, jotka ovat ihmiselle ja eläimille terveellisempi vaihtoehto tyydyttyneisiin rasvahappoihin verrattuna. Tyydyttymättömistä rasvahapoista 60 %:a on linoli- ja linoleenihappoja, joiden on tutkittu ehkäisevän syöpää sekä sydän- ja verisuonisairauksia. Lisäksi soijalla on havaittu muita terveysvaikutuksia, kuten osteoporoosin, diabeteksen ja eturauhassairauksien ehkäisy. (Imram ym. 2010)

2.3 Soijaproteiini

Proteiinit koostuvat aminohapoista, jotka ovat välttämättömiä ihmisen aineenvaihdunnassa. Soijaproteiinit voidaan luokitella kahteen tyyppiin, metabolisiin ja varastoproteiineihin. Metabolisia proteiineja ovat entsyymit ja rakenteelliset proteiinit, jotka osallistuvat normaaliin solutoimintaan. Suurin osa pavun proteiineista on kuitenkin varastoproteiineja, joita tarvitaan typen ja hiilen lähteiksi. (Imram ym. 2010)

2.4 Soijapavusta valmistettuja elintarvikeraaka-aineita

Soijapavusta tuotetaan elintarviketeollisuuden erilaisia raaka-aineita, joilla on eroavia ravitsemuksellisia koostumuksia. Näitä ovat erilaiset soijajauhot, soijaproteiinikonsentraatit ja -isolaatit. Opinnäytetyössä käytettiin raaka-aineina pääosin soijaproteiinikonsentraattia sekä rasvatonta että rasvapitoista soijajauhoa.

2.4.1 Soijajauho

Soijajauho on valmistettu kuorituista soijapavun siemenistä, jotka on jauhettu jauhoksi, ja siinä on proteiinia noin 50 %. Soijajauhoja on neljää erilaista:

entsyymiaktiivista, luonnollista tai rasvapitoista, rasvatonta sekä lesitiinipitoista. (Jideani 2011)

Entsyymiaktiivinen soijajauho on tuotettu rasvattomasta soijapavusta, joka on prosessoitu niin, että lipoksidaasientsyymi säilyy. Sitä on käytetty mm. valkaisemaan vehnäjauhon karoteenipigmentejä leipien leivonnassa, mutta sen liiallinen käyttö tutkitusti lisää pavun epämieluisaa makua tuotteessa. (Jideani 2011)

Rasvainen soijajauho sisältää 18-25 % soijapavun öljyä, kun puolestaan rasvattomassa jauhossa rasva on prosessoitu pois niin, että jäljelle on jäänyt öljyä alle 1 %. Tuotantoprosessissa soijan lipoksidaasientsyymi on inaktivoitu, jonka myötä saadaan hyvän makuista soijajauhoa. (Jideani 2011)

Lesitiinisessä soijajauhossa lesitiinipitoisuus on kasvatettu luonnollisesta 0,5-1,5 %:sta 15 %:iin, jolloin sen emulgointiominaisuudet kasvavat. Se voidaan tuottaa suihkuttamalla lesitiiniä ja kasviöljyä soijajauhoon, jolloin jauhon emulgointiominaisuus kasvaa. Näin prosessoitua soijajauhoa voidaan käyttää esimerkiksi kananmunan sijasta. (Jideani 2011)

2.4.2 Soijaproteiinikonsentraatti

Soijaproteiinikonsentraatti sisältää noin 70 % proteiinia kuiva-aineesta. Konsentraatti valmistetaan erottamalla erityisesti sokeri, liukoinen hiilihydraatti ja mineraalit pois rasvattomasta soijajauhosta. Tällä käsittelyllä saadaan nostettua proteiini- ja ravintokuitupitoisuutta. (Jideani 2011)

2.4.3 Soijaproteiini-isolaatti

Soijaproteiini-isolaatti koostuu pääasiassa vain proteiineista, joita sen koostumuksessa on 70-90 % kuiva-aineesta. Isolaatti voidaan valmistaa liettämällä soijajauhoa emäksisessä vedessä, jolloin proteiini ja oligosakkaridit saadaan muutettua liukoiseen muotoon. Saatu proteiiniliuos sentrifugoidaan

erilleen liukenemattomasta jätteestä. Prosessin lopuksi pH säädetään proteiinien isoelektriseen pisteeseen, jolloin proteiinien liukeneminen on vähäisintä, ja konsentroitua raaka-ainetta voidaan spray-kuivata varastoitavaksi. (Jideani 2011)

3 KEITTOEKSTRUUSIO

3.1 Ekstruusio elintarviketeollisuudessa

Ekstruusio on prosessi, jossa raaka-aine altistetaan korkealle paineelle ja pakotetaan muotoonsa pienen suuttimen läpi. Prosessi koostuu sarjasta yksikköoperaatioita, joita ovat sekoitus, vaivaaminen, leikkaus, lämmitys, jäähdytys ja ulkoinen sekä rakenteellinen muotoilu. Monet nykypäivän elintarvikkeet valmistetaan ekstruusiolla. Näitä ovat esimerkiksi aamiaismurot, pastat, lemmikkieläinten ruuat, eräät välipalat ja eräät lihatuotteet. (Heldman & Singh 2010)

Ekstruusiosprosessin alkuperä liittyy läheisesti polymeeritieteeseen ja -teknologiaan. 1850-luvun puolivälissä ekstruusiolla valmistettiin saumatonta lyijyputkea ja 1860-luvulla ensimmäistä keinotekoisia termoplastista selluloidia. Elintarviketeollisuudessa ekstruusiosprosessit otettiin käyttöön 1930-luvun alussa, jonka jälkeen niitä on kehitetty ja paranneltu uusien kehittyneempien laitteiden avulla. (Heldman & Singh 2010)

Ekstruusiosysteemit voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan menetelmän ja ruuvityypin mukaan. Menetelminä käytetään yleisesti kylmä- tai keittoekstruusiota, joissa prosessit tapahtuvat nimensä mukaisesti joko alhaisessa tai korkeassa lämpötilassa. Lisäksi ekstruuderit voidaan jakaa ruuvityypin mukaan joko yksi- tai kaksiruuviseen ekstruuderiin, joita kumpaakin voidaan käyttää sekä kylmäekstruusiossa että keittoekstruusiossa. (Heldman & Singh 2010)

3.1.1 Keittoekstruusio

Keittoekstruusiomenetelmä perustuu alhaisen kosteuspitoisuuden omaavan materiaalin prosessointiin korkeassa lämpötilassa pienessä ajassa (HTST =

high-temperature short-time), minkä hyötynä on entsyymien inaktivoituminen ja mikrobikontaminaatioiden väheneminen. (Fellows 1992).

Vaikuttavimmat tekijät ekstrudoidun tuotteen muodostumiseen ovat ekstruuderin käyttöparametrit sekä ruoka-aineen reologiset ominaisuudet. Tärkeitä käyttöolosuhteita ovat lämpötila, paine, suuttimen halkaisija sekä leikkausnopeudet. Leikkausnopeus muodostuu ekstruuderin sisäkammion sekä ruuvin tai ruuvien muodon ja pyörimisnopeuden mukaan. Ekstrudaatin ominaisuuksiin, kuten väriin ja rakenteeseen vaikuttaa lisäksi raaka-aineen ominaisuudet, kuten kosteuspitoisuus, materiaalin fysikaalinen olomuoto ja kemiallinen koostumus sekä tärkkelyksen, proteiinien, rasvan ja sokerin määrä. (Fellows 1992).

Keittoekstruusiossa prosessiin lisätään ulkopuolista lämpöenergiaa tai muodostetaan lämpöä ekstrudaatin ja ekstruuderin välisellä kitkalla. Tärkeintä on, että lämpö jakautuu tasaisesti koko ekstrudaattiin. Keittoprosessissa materiaali ekstrudoidaan muotoonsa korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Paine muodostetaan ruuvin rakenteen ja huomattavasti sylinterin aukkoa pienemmän suuttimen ulostuloaukon avulla, jolloin työntävä massa synnyttää painetta muotin sisälle. Muodostunut paine estää veden höyrystymisen korkeassa lämpötilassa, eli pitää veden tulistettuna. Paineen muutos tuotteen tullessa ulos, normaaliin ilmanpaineeseen, johtaa nopeaan lämpötilan alenemiseen ja näin ollen kosteuden vapautumiseen veden höyrystyessä. Höyrystyminen aikaansaa tuotteelle ominaisen, niin sanotun puffautumisen, eli tuotteen laajentumisen ja huokoisen rakenteen muodostumisen. (Heldman & Singh 2010)

3.1.2 Yksiruuviekstruuderit

Yksiruuviekstruuderissa sylinterin sisällä on yksi ruuvi, joka ohjaa ekstrudaatin koko sylinterikokoonpanon läpi. Ekstrudaatin virtausnopeus on suoraan verrannollinen ruuvin kierrosnopeuteen (rpm). Yksiruuviekstruuderit voidaan luokitella leikkausvaikutuksen perusteella. Alhaisen leikkausvoiman

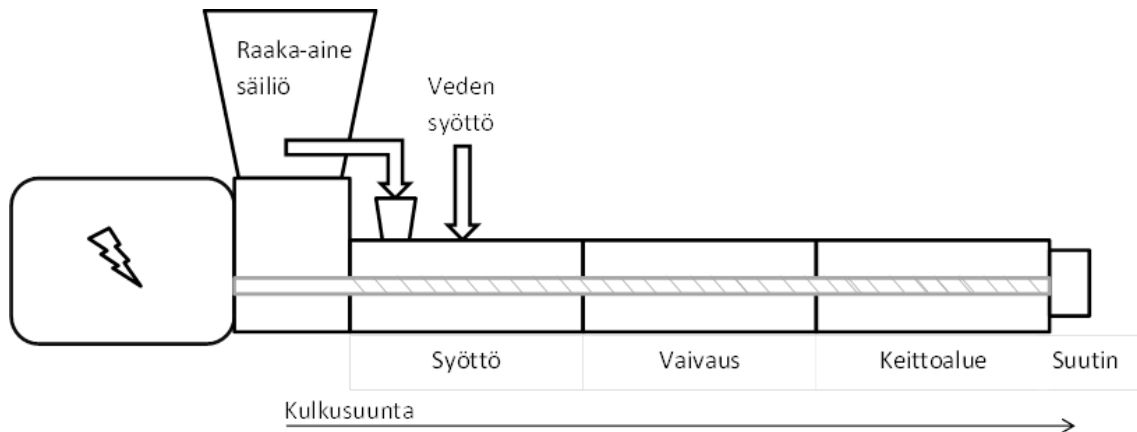
ekstrudereissa on sileät sylinterin pinnat, suhteellisen suuri virtauskanava ja alhainen ruuvin kierrosnopeus. Korkean leikkausvoiman ekstrudereissa on puolestaan korkea ruuvin kierrosnopeus, vaihtelevat ja syväkierteiset ruuvit sekä uritetut sylinterin pinnat. (Heldman & Singh 2010)

3.1.3 Kaksiruuviekstruuderit

Kaksiruuviekstruuderissa on kaksi rinnakkaista ruuvia sylinterissä. Ruuvit voivat olla samaan suuntaan pyöriviä tai vastakkaisesti pyöriviä. Laitetta käytetään monissa elintarvikesovelluksissa, koska kaksiruuviekstruusiossa sekoitus on hyvä, leikkausvoimaa voidaan säätää, se voidaan puhdistaa helposti ja kapasiteettia voidaan muokata. Kaksiruuviekstruuderissa on lukuisia etuja verrattuna yksiruuviekstruuderiin. Näiden suoritusteho voi olla riippumaton ruuvin kierrosnopeudesta ja syöttöasteesta. Prosessiin vaikuttavia muuttujia ovat lämmönsiirto, ruuvin täyttöaste, lämpötila ja leikkausvoimat, jotka kaikki voivat vaikuttaa ekstrudaatin ominaisuuksiin. Lisäksi kaksiruuvinen järjestelmä mahdollistaa tuotteen korkeamman kosteuspitoisuuden ja ainesosien korkeammat pitoisuudet. (Heldman & Singh 2010)

3.2 Prosessi

Keittoekstruusiosprosessi koostuu muutamasta perusvaiheesta, jotka ovat samat yksi- ja kaksiruuvisilla ekstrudereilla. Ekstruuderit koostuvat ruuveja ympäröivistä lämpövaipan omaavista sylintereistä, joita voidaan lämmittää tai viilentää prosessin vaatimusten mukaan. Erilaisten prosessointialueiden avulla saadaan aikaiseksi erilaisia lämmitys-, keitto-, teksturointi- ja muotoiluominaisuuksia. Keittoekstruusio koostuu pääasiassa syöttö-, vaivaus-, keitto- ja muotoiluvaiheesta. (Sharma ym. 2000; Marcotte & Ramaswamy 2006) Ekstruusion prosessi on kuvattuna kuvassa 1.



Kuva 1. Ekstruusioprosessi.

3.2.1 Syöttö

Syöttövaiheessa on tyypillistä ensimmäisenä syöttää kuivaraaka-aine ekstruuderin sisään ruuveille. Raaka-aineen kuljetustehoon vaikuttaa ruuvien pyörimisnopeus. Yleensä kuiva-aineen lisäyksen jälkeen on yksikkö, jossa vesi lisätään ja sekoitetaan raaka-aineeseen. (Sharma ym. 2000)

3.2.2 Vaivaus

Vaivausosa on pääasiassa kuljetusvaihe, joka kuljettaa ja vaivaa raaka-ainetta keittoalueelle. Vaivausvaiheessa puristusvaikutus kasvaa ja ruuvit alkavat täyttymään, samalla kun ruuvien kierrosjako pienenee. Raaka-aine alkaa menettämään partikkelimaisen rakenteensa ja sen tiheys kasvaa samalla, kun paine ekstruuderin kammiossa kasvaa. Kun ruuvien täyttöasteet kasvavat, alkavat leikkausvoimat vaikuttamaan enemmän. (Sharma ym. 2000)

3.2.3 Varsinainen keittoalue

Varsinaisessa keittoalueessa lämpötila ja paine kasvavat nopeasti ruuvien pienen kaltevuuden ja suuttimen vuoksi. Lopullinen raaka-aineen muutos tapahtuu tässä vaiheessa, mikä vaikuttaa huomattavasti lopputuotteen väriin,

tiheyteen sekä funktionaalisiin ominaisuuksiin. (Sharma ym. 2000) Keittoalueessa raaka-aine muuttuu homogeeniseksi viskoelastiseksi materiaaliksi ja raaka-aineiden kemialliset ominaisuudet muuttuvat, esimerkiksi proteiinit denaturoituvat ja muodostavat uusia tekstuureita. (Fellows 1992).

3.2.4 Suutin

Lopulta tuote muodostuu materiaalin pursuttua ulos suuttimesta, jonka yhteydessä voidaan käyttää tuotetta paloittelevaa leikkuria. Suuttimen muoto ja koko vaikuttavat muodostuvan ekstrudaatin ominaisuuksiin. Laajentuminen, eli niin sanottu puffautuminen syntyy tuotteen pursuttua ulos normaaliin ilmanpaineeseen, jolloin kosteus muuttuu äkillisesti höyryksi ja aiheuttaa tuotteen laajenemisen ilmapakiksi rakenteeksi. Merkittäviä ominaisuuksia puffautuvalle tuotteelle ovat rakenne, massa- ja partikkelitiheys sekä huokoisuus. (Sharma ym. 2000).

3.3 Ekstruusion vaikutus elintarvikkeeseen

3.3.1 Aistinvaraiset ominaisuudet

Keittoekstruusion HTST-olosuhteet vaikuttavat vain vähän elintarvikkeen luonnolliseen makuun ja väriin. Monissa elintarvikkeissa tuotteen väri määrätään luonnollisilla tai synteettisillä pigmenteillä, joita lisätään syötettävään materiaaliin (Fellows 1992; Aro ym. 2007). Elintarvikkeen haalea väri johtuu usein liiallisesta kuumentamisesta, tuotteen laajenemisesta tai reaktioista proteiinien kanssa. Sokerien tai metalli-ionien pelkistyminen voi olla myös ongelma joissakin ekstrudoiduissa elintarvikkeissa. Kylmäekstruusiassa makuaineet voidaan sekoittaa ennen ekstruusioprosessia, mutta keittoekstruusiassa näin ei yleensä voida tehdä, koska makuaineet haihtuvat ennen kuin tuote tulee ulos suuttimesta. Tämän takia useimmiten makuaineet

ruiskutetaan tuotteen pinnalle emulsiona tai viskoosina lietteenä, mikä kuitenkin voi aiheuttaa tahmeutta, joka vaatii lisäkuivausta tuotteelle. (Fellows 1992)

3.3.2 Ravintoarvo

Ekstrudoidun elintarvikkeen vitamiinipitoisuuden väheneminen vaihtelee riippuen siitä, mistä elintarvikkeesta on kyse, mikä on kosteuspitoisuus ja mikä on prosessin lämpötila sekä pitoaika. Kylmäekstruusiossa vitamiinien väheneminen on vähäistä. Keittoekstruusiossa HTST-olosuhteet sekä nopea jäähdytys heti tuotteen ulos tullessa suuttimesta aiheuttaa suhteellisen pientä haittaa useimmille vitamiineille ja välttämättömille aminohapoille. Esimerkiksi ekstrudoitaessa 154 °C lämpötilassa 95 % tiamiinista säilyy, mutta askorbiinihappo ja A-vitamiini säilyvät vain 50 %:sti. Aineiden säilyminen on riippuvainen ajasta, jossa tuotetta pidetään tietyssä lämpötilassa. Lisäksi korkeat lämpötilat yhdessä sokerin kanssa voivat aiheuttaa Maillard-reaktiota, eli tuotteeseen muodostuu ruskeita väriaineita ja aromeja tuottavia yhdisteitä. Proteiineihin korkeat lämpötilat vaikuttavat laatua heikentävästi, kun taas alemmat lämpötilat ja alhainen sokeripitoisuus kasvattaa proteiinien rakenteen uudelleenjärjestymistä. (Fellows 1992)

3.3.3 Proteiinipitoiset soijatuotteet

Ekstrudoitaessa proteiineihin perustuvia elintarvikkeita, kuten soijatuotteita tai rasvattomia öljykasvien jauhoja, niiden proteiinien kvaternaarin rakenne aukeaa kosteassa ja kuumassa olosuhteessa muodostaen viskoplastisen massan. Tämän jälkeen proteiinit polymerisoituvat, ristisilloittuvat (cross-linked) ja orientoituvat uudelleen muodostaen kuiturakenteisen teksturoidun kasviproteiinin (TVP = texturized vegetable protein). Proteiinien denaturointia voidaan määrittää tyypiliukoisuuden indeksillä, jonka arvo on suuri käsittelemättömällä raaka-aineella ja laskee keittoekstruusioaikana. (Fellows 1992).

Keittoekstruusiolla saadaan tuhotuksi soijapapujen entsyymejä kuten lipoksidaasi, ureaasi ja trypsiini-inhibiittori. Lipoksidaasi aiheuttaa sivumakuja hapettamalla soijaöljyä, ureaasi puolestaan vähentää säilyvyyttä, ja trypsiini-inhibiittori vähentää proteiinin muokkautumista. Näillä entsyymien inaktivoimisilla saadaan aikaiseksi tuotteelle parempia laatuominaisuuksia. Rasvaton soijajauho, sojakonsentraatti tai -isolaatti ovat kosteutettuja ja pH-säädettyjä. Alhaisempi pH (5,5) parantaa tuotteen jauhettavuutta, kun taas korkea pH (8,5) lisää mureutta ja mahdollistaa nopeamman veden imeytymisen tuotteeseen. (Fellows 1992)

Soijaproteiinin ominaisuustutkimuksissa on osoitettu proteiinin liukeneminen lämmitettäessä sitä 110-120 °C:ssa. Lisäksi on todettu proteiinin liukoisuuden kasvavan lämpötilojen ollessa yli 150 °C yli 10 minuutin ajan. Ekstruusio tutkimuksissa on myös mm. ekstrudoitu soijaproteiinikonsentraattia 32 kosteus-%:lla 145 °C:ssa sekä soijaproteiini-isolaattia 30-40 kosteus-%:lla 140, 160, ja 180 °C:ssa. (Chiang 2007) Edellä mainittujen tutkimusten tietoja käytettiin alkuarvoina selvitettäessä sopivia parametreja soijaproteiinikonsentraatin ekstruusioprosessiin käytännön osuudessa.

4 TYÖN SUORITUS

4.1.1 Aloitus

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla soijatuotteen ekstruusioprosessiin teollisuudessa FinnSoy:n tehtaalla Uudessakaupungissa. Tehtaalla prosessi koostui raaka-aineensyöttöastiasta, yksiruuviextruuderista, kuljetuslinjastosta sekä kuivausuunista. Tehtaassa tuotettiin tällöin suikalemaista soijaekstrudaattia, joka ekstrudoitiin tietyn mallisen suuttimen ja leikkauksen avulla omaan puffautuneeseen muotoonsa. Tuote kuljetettiin kuljetuslinjastoa pitkin uuniin kuivattavaksi, jonka jälkeen tuotteen laatu tarkastettiin visuaalisesti ja pakattiin säkkeihin. Tehtaalta kerättiin tällöin myös näytteitä laboratoriotutkimuksia varten. Näytteet otettiin kolmesta kohtaa: heti ekstrudoinnin jälkeen, kuljetuslinjalta tuotteen hetken jäähtyneenä sekä uunin jälkeen kuivattuna.

Tämän jälkeen tutustuttiin Turun ammattikorkeakoulun kaksiruuvisen pilot-ekstruuderin ja aloitettiin laitteen käytön harjoittelu koulutuksen avulla. Alussa aikaa kului paljon laitteen käytön opetteluun ja käyttövarmuuden saamiseen sekä myös tarvittaviin huoltotoimenpiteisiin.

4.2 Välineet ja materiaali

Tutkimuksessa käytettiin Berstorff 01-8-E0.0189/87 -merkkistä kaksiruuvisia pilot-ekstruuderia (ZE25 X33D) (Kuva 2). Tuotteiden valmistamiseen käytettiin samaa soijaproteiinikonsentraattia kuin FinnSoy:n tehtaalla saman koostumuksen aikaansaamiseksi. Materiaalina oli GMO-vapaata soijaproteiinikonsentraattia sekä rasvaista (18-25%) soijajauhoa että rasvatonta soijajauhoa.



Kuva 2. Pilot-ekstruuderin.

4.2.1 Ekstruuderin kokoonpano

Pilot-ekstruuderin koostui syöttö- ja suutinosasta sekä niiden välissä olevasta kuudesta sylinteristä. Syöttöpäästä katsoen ensimmäinen sylinteri toimi vedensyöttöyksikkönä ja toinen sylinteri viileänä sekoitusosana. Loput neljä sylinteriä oli tarkoitettu lämmitys- ja prosessointikäyttöön. Tutkimuksessa ei kuitenkaan pystytty käyttämään lämmitystä kaikissa neljässä sylinterissä, koska neljäs sylinteri syöttöpäästä lukien ei toiminut. Tämä ei kuitenkaan haitannut prosessia, sillä toimimaton osa lämpeni viereisten sylinterien avulla. Tutkimuksessa ei käytetty myöskään suuttimen jälkeistä leikkuria, vaan tuote kerättiin yhtenevänä tuotteena, joka paloiteltiin käsin.

4.2.2 Huolto ja ruuvikokoonpanon muutos

Laite oli ollut jonkin aikaa käyttämättömänä ja sen toimintavarmuus oli huono. Laite piti ääntä ja prosessoiti tuotetta kehnosti, joten se päätettiin huoltaa.

Muutoksen myötä raaka-aineen huomattiin kulkevan paremmin ruuveilla. Huollossa puhdistettiin myös ruuvien pinnat puhtaaksi teräsharjan ja hiomakoneen avulla. Koska ruuvien pinnat olivat joissakin kohdissa epätasaisia tai lohjenneita, hiomakoneella saatiin myös hiottua ruuvien uria sileämmiksi, mikä puolestaan paransi ruuvien pyörimistä ja massan kulkeutumista ruuvin uria pitkin.

4.3 Kaupallisen tuotteen koostumuksen määrittäminen

Ennen pilot-tuotteen valmistusta täytyi selvittää teollisuudessa käytetyn raaka-aineseoksen resepti. Veden massavirtaus tiedettiin tarkalleen, mutta kuiva-aineen suhde reseptissä täytyi selvittää, jotta pystyttiin aloittamaan pilot-tuotteen tuotanto-olosuhteiden ja parametrien selvitys.

Kuiva-ainepitoisuuden tutkimus aloitettiin mittaamalla teollisuudesta otettujen ei-kuivattujen näytteiden kosteuspitoisuudet laboratorion kosteusanalyysilaitteilla. Näytteet oli säilytetty viisi päivää jääkaapissa MiniGrip-pakastepussissa ennen mittausta. Kosteusanalyysilaitteina käytettiin Mettler HR73 Halogen Moisture Analyzer -laitetta ja mittauksessa tehdasasetusohjelmaa, jossa näytettä kuivattiin +150 °C lämpötilassa 14-24 minuuttia näytteestä riippuen. Kummallekin näytteelle tehtiin kolme rinnakkaista määrittäystä, joista otettiin keskiarvo. Oletettavasti jäähtymisen aikana haihtuu kosteutta, mikä näkyi myös mittaustuloksissa. Tulokset ovat taulukossa 1 ja ne olivat lähellä FinnSoy:n antamaa arvoa eli 26 kosteus-%:a. Säilytys saattoi vaikuttaa mitattujen tuloksien suurempaan prosenttilukemaan.

Taulukko 1. Kaupallisen tuotteen kosteusanalyysi.

Näyte	Kosteuspitoisuus
Suoraan ekstruuderista	28-29 %
Hetken jäähtymisen jälkeen	27 %
FinnSoy:n arvo	26 %

Tuotteiden kuiva-ainepitoisuuden selvittyä voitiin päätellä lisätyn veden osuus. Koska vettä haihtuu kuumasta tuotteesta sen puffauduttua, vettä tuli olla vähintään mitatun kosteuspitoisuuden verran. Oletettavasti haihtumisen vuoksi vettä tulee olla reseptissä hieman enemmän.

Tarkkaa kuiva-aineen ja veden syöttösuhdetta ei ollut tiedossa tutkimuksen aikana, mutta saatujen raaka-aineen kulutusmäärien ja vedensyötön tietojen avulla voitiin hahmottaa niiden suhde teollisessa prosessissa. Laskujen perusteella voitiin olettaa, että kuiva-ainepitoisuus syötössä olisi lähellä 28 %:a, jota pidettiin suuntaa antavana tietona pilot-tuotetta kehittäessä. Laskuissa ei huomioitu raaka-aineen omaa kosteuspitoisuutta, joka oli tuotetietojen mukaan 3-6 m-%.

4.4 Pilot-tuotteen valmistus

Tutkimuksen ensimmäisenä vaiheena oli valmistaa pilot-tuote, joka vastaisi teollisuudessa valmistettavaa kaupallista tuotetta. Tätä varten täytyi selvittää syöttöparametrit pilot-ekstruuderilla ja löytää sopivat parametrit keittoekstruusioon, eli prosessilämpötilat ja -kierrosnopeus sekä oikeanlainen raaka-ainesyöttö ja sopiva suutin.

4.4.1 Syöttöparametrien selvitys: veden syöttö, jauhon syöttö

Ennen varsinaisen ekstruusiosprosessin aloittamista selvitettiin syöttöparametrit vedelle ja kuiva-aineelle. Veden tilavuusvirta ja samalla massavirta laitteeseen määritettiin vesipumpun eri säädöillä, joiden mittaustulokset on taulukoituna taulukossa 2. Mahdollisimman todenmukaisen tuloksen saamiseksi, syöttö mitattiin syöttöletkun kiinnittymiskohdan vierestä minuutin ajan.

Taulukko 2. Vedensyötön tilavuusvirtamittaukset, ml/min = g/min.

Säädin	Iso									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Pieni	20	-	31	40	48	58	60	-	-	-
	30	-	49	50	59	68	79	-	-	-
	40	-	56	76	80	93	107	-	-	-
	50	-	73	86	106	116	129	-	-	-
	60	-	87	108	122	134	152	-	-	-
	70	-	93	125	145	157	-	-	-	-
	80	-	115	131	164	175	-	-	-	-
	90	-	120	146	178	193	-	-	-	-
	100	-	128	150	193	207	-	-	-	-

Kuiva-aineen syöttö mitattiin syöttösuppilosta keräämällä minuutin ajan eri asetuksilla näytteitä, jotka tämän jälkeen punnittiin. Asetuksessa täytyi huomioida mittarin kalibrointi nollakohtaan jokaisella ajokerralla, ja se ettei sama asetus pysynyt samana massavirtauksena siihen palattaessa, esim. aluksi asetus 0,6 muutettiin 0,7:ään ja palattiin takaisin 0,6:een, jolloin syötön massavirtaus oli muuttunut. Syötön massavirtaukseen vaikuttaa myös kuiva-aine itse, sillä eri kuiva-aineilla on erilainen virtaus, kuten myös samalla aineella eri kosteuspitoisuuksilla, esimerkiksi, jos kuiva-aine on sitonut itseensä kosteutta.

4.4.2 Testiajot

Ajojen aikana tehtiin testejä eri lämpötiloissa, kierrosnopeuksilla ja erilaisilla syöttövirtauksilla, jotta nähtiin niiden vaikutus tuotteeseen. Tehtyjen ajojen tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Eri ajojen myötä huomattiin, että puffautuminen saatiin aikaiseksi tuotteen ollessa vähintään 130-150 °C:n

lämpöinen, kierrosnopeuksien ollessa 200-220 rpm ja syötön kuiva-ainepitoisuuden ollessa vähintään 35 %.

Tuotteen syntyyn vaikutti myös suuttimen muoto sekä koko verrattuna ekstruuderin sisäkammioon. Kokoero vaikutti paineen kasvuun ekstruuderin sisällä, mikä oli edellytys tuotteen puffautumiseen. Lisäksi suuttimilla oli erilainen sisäprofiili: 6 x 20 mm:n suuaukollisella suuttimella oli sylinterimäinen profiili ja muissa kartiomainen profiili, joka oli jyrkempi mitä pienempi suuaukko oli kyseessä. Koeajoissa testattiin useaa suutinta, jotka ovat kuvassa 5. Suurinta suutinta käytettiin alussa harjoitteluun sekä myöhemmissä testiajoissa huomattiin sen huono soveltuminen materiaalin työstöön, sillä laite alkoi tukkeutumaan suurennettaessa syöttömateriaalin kuiva-ainepitoisuutta. Ongelmaan auttoi suuttimen vaihto pienempään ja sisältä kartiomaisempaan osaan. Tehtyjen testiajojen perusteella 2x7 mm:n kokoinen suutin osoittautui parhaimmaksi pilot-tuotetta kehittäessä.



Kuva 5. Käytetyt suuttimet.

4.4.3 Pilot-tuote

Kun tuote lopulta saatiin puffautumaan, alettiin säätämään parametreja sopivampien olosuhteiden löytämiseksi pilot-tuotteelle, joka ominaisuuksiltaan muistuttaisi kaupallista tuotetta. Ongelmaksi tuli, ettei lopputuotetta saatu puffautumaan yhtä korkealla loppukosteuspitoisuudella. Suurennettaessa kuiva-ainepitoisuutta syötössä saatiin aikaiseksi liian suureksi puffautunut ja kuiva tuote. Puolestaan yrittäessä vähentää kuiva-ainepitoisuutta, tuotteen kosteuspitoisuus nousi, mutta puffautumista ei tapahtunut.

Rajallinen aikataulu johti siihen, että pilot-tuotetta ei saatu kehitettyä vastaavanlaiseksi kaupallisen tuotteen kanssa. Lopulta päädyttiin kuitenkin tuotteeseen, joka saatiin aikaiseksi seuraavilla parametreilla: vedensyöttö 80/40, raaka-ainesyöttö 89 g/min ja lämpötilat 40/80/150 °C, ja joka muistutti eniten kaupallista tuotetta: kosteuspitoisuus heti ekstruusion jälkeen mahdollisimman suuri (18-19%), mahdollisimman pieni puffautuminen, vedensidontakyky mahdollisimman samankaltainen. Tämä mahdollisti siirtymisen seuraavaan vaiheeseen, eli kehitykseen ja uusien raaka-aineseoksien testaamiseen ekstruusioajossa.

4.5 Tuotekehitys

Tutkimuksen seuraavana tarkoituksena oli tuotekehitys uusilla raaka-aineseokituksilla. Perusteena raaka-ainemuutoksille oli huono makuaineen sitoutuminen soijaproteiinikonsentraattiin. Makuaineen sitoutumista päätettiin parantaa korvaamalla osa konsentraatista soijajauholla, sillä esimerkiksi rasvan lisäys tuotteessa saa aikaan paremman makuaineen kiinnittymiskyvyn. Tutkimuksessa ei kuitenkaan päästy makuainetesteihin asti, mutta saatiin selville raaka-ainemuutoksien vaikutus ekstruusioprosessiin.

Tuotekehityksessä testattiin neljää eri kuiva-aineseosta:

- Seos, joka sisälsi 3 m-% rasvatonta soijajauhoa ja loput konsentraattia
- Seos, joka sisälsi 10 m-% rasvatonta soijajauhoa ja loput konsentraattia
- Seos, joka sisälsi 3 m-% rasvaista (18-25 %) soijajauhoa ja loput konsentraattia
- Seos, joka sisälsi 10 m-% rasvaista (18-25 %) soijajauhoa ja loput konsentraattia.

Kuiva-aineseokset valmistettiin punnitsemalla konsentraatti ja soijajauho oikeassa suhteessa ja sekoittamalla nämä tilavuudeltaan viiden litran kuiva-aineseokittimella. Jokaista seosta valmistettiin kaksi erää yhtä ekstruusioajoa varten. Uudet seokset poikkesivat sisällöltään toisistaan, jonka vuoksi niiden

massavirtaukset olivat erilaiset. Tämän vuoksi tuotteiden kuiva-aineiden syöttöparametrit tuli selvittää ennen ekstruusioprosessia ja kalibroida se vastaamaan pilot-tuotteessa käytettyä arvoa. Uusien raaka-aineseosten ekstruusiota testattiin erityisesti samoissa olosuhteissa kuin pilot-tuotetta valmistettaessa.

Tuotteet, joiden kuiva-aine sisälsi 10 m-% soijajauhoa, eivät ekstrudoituneet samalla tavalla pilot-tuotteen kanssa. Rasvaton tuote oli ekstrudoitaessa epätasaista ja puffautui vaihtelevasti. Se vaati suurempaa syötön kuiva-ainepitoisuutta, jotta tuote ekstrudoitui yhtäläisesti eikä laajentumisessa ollut huomattavia eroja eri ajanjaksoina. Muutos kuitenkin aiheutti tuotteen kuivumisen ja liiallisen puffautumisen. Rasvaa sisältävän tuotteen ekstrudoinnissa ei ollut huomattavissa puffautumista, ennen kuin kuiva-ainepitoisuutta kasvatettiin suuremmaksi, jonka jälkeen laite tukkeutui. Näiden tietojen perusteella 10 m-% soijajauhoseoksien ekstruusioprosessin tutkinta jätettiin tähän.

Tuotteet, joiden kuiva-aine sisälsi 3 m-% soijajauhoa, ekstrudoituivat lähes vastaavasti pilot-tuotteen kanssa. Rasvaa sisältävä seos ei puffautunut yhtä paljon kuin rasvaton, jonka laajentuminen ja kosteuspitoisuus olivat lähes samankaltaiset kuin pilot-tuotteella. Molemmat 3 m-% soijajauhoseoksella valmistetut tuotteet päätettiin ottaa jatkotutkimuksiin.

4.6 Tehdyt analyysit

Valittujen tuotteiden sekä myös joidenkin välituotteiden kosteuspitoisuudet mitattiin mahdollisimman pian ekstrudoinnin jälkeen kosteusanalysointilaitteella ja puffautumiskerroin mitattiin vertaamalla suuttimen ja tuotteen kokoeroa. Lopulta valitut tuotteet kuivattiin uunissa noin 9-10 kosteus-%:iin, joka oli kaupallisen tuotteen lopullinen ja varastointia varten optimoitu kosteuspitoisuus. Kuivausprosessin jälkeen pystyttiin analysoimaan valmistettujen tuotteiden vedensidontakyvyt keittokokeella, jossa tuotteita keitettiin 15 minuutin ajan. Keittokokeessa saatiin selville, kuinka paljon tuote sitoi itseensä vettä omaan

lähtöpainoonsa nähden ja lisäksi verrattiin rakenteellisia muutoksia kaupalliseen tuotteeseen nähden. Tarkemmat tulokset ja analyysit ovat esitetty seuraavassa kappaleessa.

5 TULOKSET JA POHDINTA

5.1 Tulokset

Tutkimuksessa saatiin valmistetuksi pilot-tuote sekä neljä vertailtavaa tuotetta uusilla raaka-aineseoksilla. Pilot-tuote valmistettiin noin 89 g/min raaka-aineen massavirralla, 131 g/min veden massavirralla, 220 rpm:lla sekä lämmityksillä: 40, 80 ja 150 °C. Kehitetyt tuotteet puolestaan vastaavilla olosuhteilla ja massavirroilla, joista tarkemmat tiedot ovat liitteissä 1 ja 2. Tuotteiden analyysitulokset näkyvät taulukossa 3, jossa KT = kaupallinen tuote, 1 = pilot-tuote, 2 = 10 m-% rasvaista (18-25 %) soijajauhoa sisältävä tuote, 3 = 10 m-% rasvatonta soijajauhoa sisältävä tuote, 4 = 3 m-% rasvaista (18-25 %) soijajauhoa sisältävä tuote, 5 = 3 m-% rasvatonta soijajauhoa sisältävä tuote. Tulokset on kerätty tuotteista, jotka ovat ekstrudoitu samoilla ajo-olosuhteilla kuin pilot-tuote.

Taulukko 3. Tuotteiden analyysitulokset.

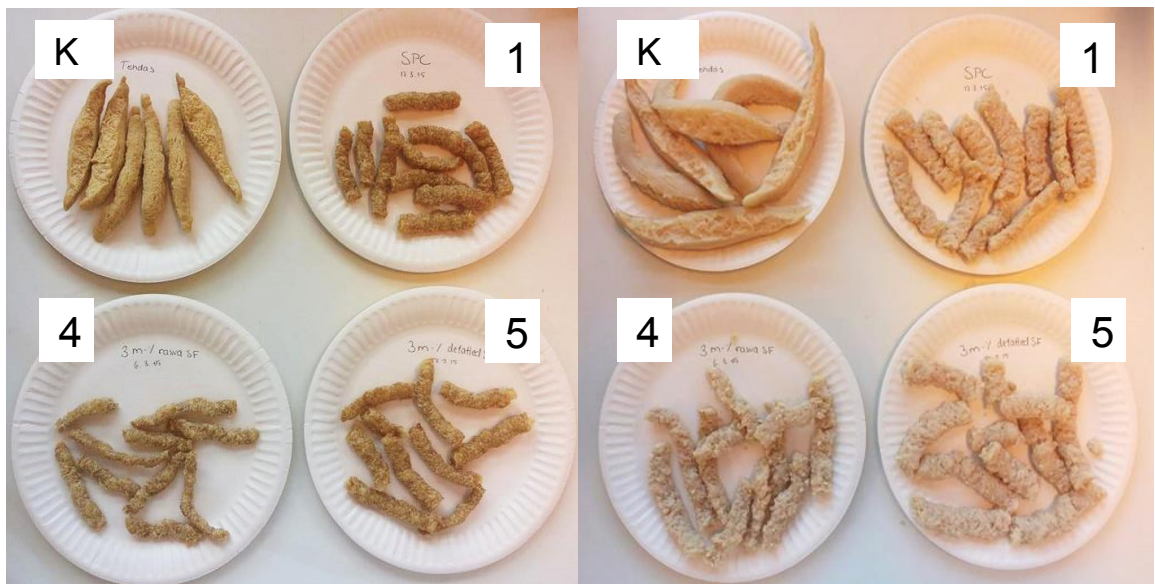
Tuote	Suutin (mm)	Ekstrudoitu (mm)	Laajentumiskerroin	Kosteus-%	Veden-sidontakerroin
KT	15,1 x 13,5	18,1 x 40,2	3,6	26	6,8
1	2 x 7	6 x 11	4,7	18,8	5,1
2	2 x 7	2 x 7	1,0	-	-
3	2 x 7	6 x 8	3,4	19	-
4	2 x 7	4 x 8	2,3	16,3	3,9
5	2 x 7	6 x 11	4,7	17,7	4,9

Tulokset on kerätty eri analyysimenetelmin. Laajentumiskerroin selvitettiin vertaamalla suutinta ja ekstrudoitua tuotetta toisiinsa. Esim. pilot-tuote: (6 mm x 11 mm) / (2 mm x 7 mm) = 4,7

Tuotteen kosteusprosentti keittoekstruusion jälkeen saatiin mittaamalla tuote kosteusanalysaattorin avulla. Vedensidontakyky puolestaan analysoitiin kuivatuilla tuotteilla, joita keitettiin 15 minuutin ajan. Vedensidontakykyanalyysissa verrattiin tuotteen aloituspainoa loppupainoon, joiden tiedot ovat taulukossa 4 ja tuotteiden kuvat kuvassa 6.

Taulukko 4. Vedensidontakykyanalyysin tulokset.

Tuote	Alkupaino	Loppupaino	Vedensidontakyky
KT	15,0 g	102,5 g	6,8
1	10,0 g	51,0 g	5,1
4	9,5 g	37,0 g	3,9
5	9,0 g	44,0 g	4,9



Kuva 6. Tuotteet ennen (vas.) ja jälkeen (oik.) keittokokeen.

5.2 Pohdinta

Saaduista tuloksista (Taulukko 3 ja 4; Kuva 6) huomataan, että soijajauhon lisäyksellä on vaikutusta keittoekstruusioon ja lopputuotteen laatuun. Huomattavaa oli se, että rasvainen soijajauho vähensi enemmän puffautumista kuin rasvaton soijajauho. Syynä tähän on rasvan määrän nousun epäsuotuisa vaikutus ekstruusioprosessissa. Lisäksi soijajauhon määrällä oli vaikutusta puffautumiseen, sillä suuremmalla soijajauhon massaprosentilla ei saatu aikaiseksi tasaista tuotetta (rasvaton) tai laajentumista (rasvainen) pilot-tuotteen ajo-olosuhteilla. Koska ekstrudaatin puffautuminen on muun muassa riippuvainen korkeasta proteiinipitoisuudesta, korvattaessa osa soijaproteiinikonsentraatista soijajauholla raaka-aineen proteiinipitoisuus laski ja mahdollisesti vähensi tuotteen laajentumista. Kuitenkin ajoparametrien muutoksilla oli mahdollista saada aikaan tasaisempi tai laajentuneempi tuote. Soijajauhoa sisältävät tuotteet olivat myös kuivempia kuin pilot-tuote, mikä saattoi johtua siitä, että raaka-aineseokset vapauttivat enemmän vesihöyryä puffautuessa.

Tuotteissa havaittiin myös rakenteellisia eroja keittokokeen jälkeen visuaalisella testillä. Varsinainen kaupallinen tuote oli rakenteeltaan pitkäsaikeinen ja lihasmainen, kun taas laboratoriossa valmistetuissa tuotteissa oli huomattavissa pahkuramainen, ei-lihasmainen rakenne. Tuotteita käsiteltäessä ja pilkottaessa havaittiin Pilot-tuotteen olevan rakenteeltaan kestävin, kun puolestaan soijajauhoa sisältävät tuotteet olivat rakenteeltaan heikompia ja helpommin hajotettavissa. Erityisesti rasvapitoisen 4-tuotteen rakenne oli helposti rikkoutuva.

Mahdollisena syynä tuotteiden eroavuuteen kaupallisesta tuotteesta oli ero syötettävän raaka-aineseoksen kosteuspuiteisuudessa. Pilot-tuotteen laskettu kosteuspuiteisuus oli korkea, noin 60 %, kun puolestaan kaupallisen tuotteen arvioitu kosteus oli alle 30 %. Reseptin määrittämisen perusteella teollisessa prosessissa kosteutta ei haihdu huomattavasti ekstruusioprosessissa, vaan tuotteen puffaututtua sen koostumus oletettavasti pidättää osan veden

haihtumisesta. Kuitenkin laboratoriokokeessa ongelmaksi tuli suuri vedenhaihtuvuus. Tällöin teollista prosessia korkeammalla alkukosteuspitoisuudella saatiin ainoastaan teollista prosessia alhaisempi kosteuspitoinen tuote. Yritettäessä saada ekstrudoitavasta materiaalista sitkeämpää laskemalla alkukosteuspitoisuutta, saatiin aikaiseksi entistä kuivempi tuote. Ekstrudoitavat materiaalit eivät olleet tällöin yhtenevät. Materiaalien reologisten ominaisuuksien tutkiminen olisi auttanut tutkimustyössä. Kuitenkaan ei ollut mahdollista saada näytettä ekstruderin sisältä kesken prosessin eikä sen simulointiin ollut käytettävissä tutkimuslaitetta.

Tuotantoskaalan muutos vaikuttaa eroavaisuuteen ekstruusioprosessissa. Teollisessa mittakaavassa käytetyt parametrit eivät olleet samoja pilot-mittakaavassa, vaan täytyi löytää mahdollisimman samankaltaisen lopputuloksen antavat arvot ja säädöt. Kokoeron kasvaessa laitteen halkaisijalla lämmönsiirron vaikutus lämmitettävään massaan voi heikentyä verrattaessa pienempään halkaisijaan, jolloin lämmitysteho on erilainen. Myös massaa muokkaavan alueen pituus ja lämmityksen vaikutusaika vaikuttaa tuotteeseen. Ekstruusiossa merkittävä tekijä ekstrudantin syntyyn on myös painetta muodostavan suuttimen ja ekstruderin sisäkammion kokoero ja profiili, jotka olivat erilaiset teollisuuden yksiruuvisella ja pilot-mittakaavan kaksiruuvisella ekstrudereilla. Laitteiden ruuvi-profiili oli myös erilainen, joka vaikuttaa materiaalin muokkautuvuuteen ja sekoitukseen.

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Vaikka tutkimuksessa ei pystytty valmistamaan identtistä tuotetta teollisen mittakaavan tuotteelle, tutkimuksessa saatiin kuitenkin selville tärkeä osa tuotekehityksen päätarkoituksesta, eli tietoa raaka-aineiden teknisestä käyttäytymisestä ekstruusioprosessissa sekä niiden soveltuvuudesta laatuominaisuuksien perusteella elintarvikekomponenttien tuottamiseen. Näitä tutkimustuloksia voidaan käyttää apuna jatkotutkimuksissa sekä soveltaa niitä tuotannon koeajoihin.

Tutkimuksessa aikaa kului odotettua enemmän alkuvalmisteluihin ja pilot-ekstruuderin huoltoon. Jos aikaa olisi ollut käytettävissä enemmän, tuotekehitystä olisi ollut mahdollista jatkaa uusilla raaka-aineseoksilla sekä käyttämällä myös materiaalina erilaisia soijaproteiini-isolaatteja. Mahdollinen tuotekehityksen jatkaminen on tämän opinnäytetyön jälkeen helpompi prosessi, jolloin haluttuihin tuloksiin voidaan päästä nopeammin.

LÄHTEET

- Aro, H.; Hietaniemi, V.; Huopalahti, R.; Järvenpää, E. & Valta, K. 2007. 34 Kotimaisten luontaisten värien tuotantoketju kehittyy pellolta pöytään. *Kehittyvä elintarvike* 4/2007. Viitattu 27.5.2015 <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/34-kotimaisten-luontaisten-varien-tuotantoketju-kehittyy-pelloilta-poytaan>.
- Chiang, A. 2007. Protein-protein interaction of soy protein isolate from extrusion processing.
- Fellows, P. 1992. *Food Processing Technology Principles and practice*. 227-276. Chichester: Ellis Horwood Limited.
- FinnSoy Oy Ltd. 2015a. Soijatuotteet moneen käyttöön. Viitattu 10.4.2015 www.finnsoy.com > Tuotteet.
- FinnSoy Oy Ltd. 2015b. Yrityksemme. Viitattu 10.4.2015 www.finnsoy.com > Finnsoy.
- Guy, R. 1994. *The Technology of Extrusion Cooking*. 52-53. Springer Science + Business Media Dordrecht.
- Heldman, D. & Singh, R. 2014. *Introduction to Food Engineering*. 743-763. USA: Elsevier.
- Imram, N.; Gomez, I. & Soh, V. 2003. *Soya handbook*. 1-33. Singapore: Tetra Pak.
- Jideani, V. 2011. *Soybean – Biochemistry, Chemistry and Physiology*. 345-363. Cape Town: InTech.
- Marcotte, M. & Ramaswamy, H. 2006. *Food Processing Principles and Applications*. 72. NW: Taylor & Francis Group.
- Sharma, K.; Mulvaney, S. & Rizvi, S. 2000. *Food Process Engineering. Theory and Laboratory Experiments*. 268-278. New York: Wiley-Interscience.
- Sorsa, M. 2010. Puffautuvan snack-tuotteen kehittäminen viljahernetempestä. Opinnäytetyö. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Turku: Turun ammattikorkeakoulu.
- WWF 2010. Sademetsää lihatiskillä – Soijan tuotannon ympäristö- ja sosiaaliset vaikutukset.

Ekstruusioajojen parametrit

Taulukossa 5 on lueteltuna merkittävimpiä ajojen parametreja. VS = veden syöttö, R-AS = raaka-aineen syöttö, KN = ruuvien kierrosnopeus, rpm, 1-3 = laitteen nimetyt sylinterit (syöttöpäästä katsoen järjestyksessä: 3-1-2).

Taulukko 5. Ajoparametrit.

AJO	VS	R-AS	KN	1	2	3	Suutin	Tuote	Kosteus-%	Huom
1	30/60	0,5	200	80	120	50	6x20			
	30/60	0,6	200	80	120	50				Liian tumma
	30/60	0,6	240	80	120	50				
	30/60	0,7	240	80	120	50				
	30/60	0,7	200	80	120	50				Rypsiöljyä
	30/40	0,7	200	80	120	50				
	30/40	0,7	240	80	120	50				
2	60/60	0,5	150	90	140	50	6x20			
	60/60	0,6	150	90	140	50				
	60/60	0,7	150	90	140	50				
	40/60	0,7	150	90	140	50				
	40/60	0,7	200	90	140	50				Rypsiöljyä
	40/60	0,8	200	90	140	50				
	20/60	0,8	200	90	140	50				Tukos
3	70/70	0,5	170	50	100		6x20			
4	80/80	0,2	150	80	120		6x20			Tukos
5	60/90	0,3	150	80	110	40	6x20		53 %	
									47 %	Pinta karhea
	60/70	0,3	170	80	120	40				
	60/70	0,3	200	80	130	40				Rakenne hajoo
6	50/60	0,2	170	80	110	40	6x20		41 %	

	60/50	0,2	170	80	115	40			41 %	
	60/40	0,2	170	80	115	40			42 %	
	70/30	0,2	170	80	115	40				Tukos
7	60/50	0,35	160	80	110	40	d 7			
	60/50	0,3	160	80	110	40				
	60/50	0,35	160	80	120	50			39 %	
	60/50	0,3	160	90	130	40				
8	50/40	0,25	170	80	110	40	d 3			
	60/40	0,3	170	80	110	40				
9	70/60	0,3	150	80	125	40	2x7			
	70/40	0,2	150	80	125	40				Ritisee
	70/40	0,35	170	80	125	40				
	60/50	0,45	180	80	125	40				
10	70/60	0,4	160	80	125	40	2x7		33,7 %	
	80/50	0,4	200	80	150	40				Ritisee
	80/50	0,4	180	80	150	40				Ritisee
	80/50	0,4	180	80	160	40				
	80/50	0,4	200	80	160	40				
11	70/60	0,35	160	80	125	40	d 7			
	70/60	0,3	200	80	140	40				Ritisee
	70/60	0,3	200	80	150	40				
	70/60	0,3	200	80	160	40				
	70/60	0,3	200	80	168	40			41 %	Ritisee
	70/60	0,3	200	80	175	40				Ritisee
	70/60	0,3	200	80	180	40				Ritisee
12	70/70	0,2	160	80	140	40	d 7			
	60/60	0,35	200	80	168	40			40 %	Ritisee
	60/60	0,4	200	80	168	40				Ritisee
	50/60	0,4	200	80	168	40				Ritisee
13	70/70	0,2	160	80	140	40	d 7			
	70/60	0,3	200	80	160	40				Ritisee

	60/60	0,3	200	80	160	40				Ritisee
	60/60	0,3	220	80	160	40				Ritisee
	60/60	0,4	220	80	160	40				Ritisee
	60/60	0,3	200	80	160	40			37 %	Ritisee
	60/60	0,3	200	80	150	40				Ritisee
	60/50	0,3	180	80	150	40				Ritisee
14	80/40	0,4	180	80	140	40	2x7			
	70/40	0,6	200	80	140	40				
	60/40	0,6	200	80	140	40		10x13		
	60/40	0,65	210	80	140	40		5x11	17,1 %	
15	70/40	0,6	200	80	140	40	2x7	6x10	16,97 %	
	60/40	0,6	210	80	140	40		6x10	17 %	
	60/30	0,6	210	80	140	40		8x11		
	60/40	0,6	210	80	140	40		12x15		
	60/50	0,6	210	80	140	40		7x11	17,2 %	
	60/40	0,6	210	80	150	40		8x11		
	60/50	0,6	210	80	150	40		7x10		
	60/50	0,6	210	80	160	40		7x11		Tumma
16	80/40	0,6	200	80	140	40	2x7	5x9	18,9 %	
	70/40	0,6	200	80	140	40		5x10		
	60/40	0,6	200	80	140	40		7x10		
	60/40	0,65	200	80	140	40		5x11	13,6 %	
	60/40	0,7	220	80	140	40		7x12	13,6 %	
	60/50	0,6	200	80	140	40		5x9	15,9 %	
	60/50	0,65	200	80	140	40		6x10	15,3 %	
	60/40	0,6	200	80	130	40		5x10	14 %	
	70/40	0,6	200	80	130	40		4x8	17,4 %	
17	70/40	0,6	200	80	140	40		3x8		
	60/40	0,6	200	80	140	40		6x10		
	60/40	0,7	200	80	140	40		4x10		
	50/40	0,7	220	80	140	40		8x13		

	50/40	0,8	200	80	140	40		10x13		
	50/30	0,8	220	80	140	40		8x13	8,89 %	
	70/50	0,7	200	80	140	40		3x7	17,11 %	
	70/50	0,6	200	80	140	40		2x6		
	70/50	0,6	180	80	140	40		2x6		
	70/50	0,7	180	80	140	40		3x7		
	70/50	0,8	180	80	140	40		3x7		
	70/50	0,9	180	80	140	40		4x10	16,30 %	
	70/50	0,9	180	80	160	40		4x10	14,72 %	
	70/50	0,9	200	80	160	40		6x10		
	70/50	0,9	180	80	170	40		5x10		
	70/50	0,8	180	80	170	40		5x10	17,20 %	
	70/50	0,8	180	80	175	50		4x9	16,41 %	
18	70/40	0,6	200	80	140	40	2x7	6x10		
	60/40	0,6	200	80	140	40		9x13	16,16 %	
	60/40	0,6	200	80	150	40		9x11	15,49 %	Palaa
	60/40	0,6	220	80	150	40		9x13	16,04	
	65/40	0,6	220	80	150	40		8x13		
	70/40	0,6	220	80	150	40		6x12	18,01 %	
19	50/40	0,4	200	80	140	40	2x7			
	50/40	0,5	200	80	140	40				
	50/40	0,6	200	80	140	40				
	50/40	0,7	200	80	140	40				
	50/40	0,8	200	80	140	40		6x12		
	50/30	0,8	200	80	140	40		8x13		
	50/30	0,9	200	80	140	40		7x14		
	40/30	0,9	200	80	140	40		7x12	7,7 %	
	30/30	0,9	200	80	140	40		7x12		
20	80/40	0,6	200	80	140	40	2x7			
	70/40	0,6	200	80	140	40		6x11	16,97 %	
	80/40	0,6	200	80	140	40		6x11	17,92 %	

	80/40	0,6	220	80	150	40		6x11	18,78	
25	80/40	0,6	220	80	150	40	2x7	6x11	18,6 %	1-tuote
10 m-% rasvaton soijajauhoseos										
21	80/40	0,65	200	80	150	40	2x7			
	80/40	0,65	220	80	150	40		4x6		
	60/40	0,7	220	80	150	40		5x10		
	50/40	0,7	220	80	150	40		6x12		
	80/40	0,65	220	80	150	40		6x8	19 %	3-tuote
10 m-% rasvainen (18-25%) soijajauhoseos										
22	80/40	0,7	220	80	150	40	2x7	3x8		
	60/40	0,7	220	80	150	40		5x8		
	50/40	0,7	220	80	150	40		5x8		
	40/40	0,7	220	80	150	40		9x13	9,4 %	Paloi kiinni
3 m-% rasvaton soijajauhoseos										
23	80/40	0,5	200	80	150	40	2x7			
	80/40	0,6	200	80	150	40		10*6	16,64 %	
	80/40	0,6	220	80	150	40		11*6	17,73	5-tuote
	80/40	0,7	220	80	150	40		12*7	16,97	
3 m-% rasvainen (18-25%) soijajauhoseos										
24	80/40	0,6	220	80	150	40	2x7			
	80/40	0,7	220	80	150	40		4x8	16,30 %	4-tuote
	80/40	0,75	220	80	150	40		4x11	16,23 %	
	80/40	0,8	220	80	150	40		5x11	15,27 %	

Ekstruusioajojen syöttöparametrit

Taulukko 6. Soijaproteiinikonsentraatin syöttöparametrit eri ajoissa. Huomioitu vain tuotteen kannalta tuloksia antavat ajot.

Ajo	Asetus ja sen massavirtaus, g/min		
	0,5	0,6	0,7
13	67		
14	61		
15	66		93
16		83	98
17		80	93
18	63	77	91
19-20, 25		89	

Taulukko 7. Tuotteiden raaka-aineiden syöttöparametrit.

Raaka-aine	Asetus ja sen massavirtaus, g/min		
	0,5	0,6	0,7
Soijaproteiinikonsentraatti		89	
10 m-% rasvaton soijajauhoseos		80	100
10 m-% rasvainen (18-25%) soijajauhoseos		77	90
3 m-% rasvaton soijajauhoseos	78	93	107
3 m-% rasvainen (18-25%) soijajauhoseos			93