



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joel Jokinen

---

## Ekstruusioreseptin alustava kehittäminen snacktuotteelle

Opinnäytetyö

Syksy 2024

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

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

Suuntautumisvaihtoehto: Elintarviketeknologia

Tekijä: Joel Jokinen

Työn nimi alaotsikoineen: Ekstruusioreseptin alustava kehittäminen snackstuotteelle

Ohjaaja: Merja Kyntäjä

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 30

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Seinäjoen ammattikorkeakoululle hankittiin keväällä 2024 uusi kaksiruuviekstruuderit ja sen käyttöönoton yhteydessä aloitettiin projekteja erilaisten pilottituotteiden valmistukseen. Tässä opinnäytetyössä projektin tavoitteena oli auttaa laitteen käyttöönotossa kehittämällä ja testaamalla reseptiikkaa kuivaekstruusiolla valmistetulle juustonaksumaiselle snackstuotteelle.

Projektin aikarajojen puitteissa ehdittiin toteuttaa seitsemän erilaista koeajoa. Ensimmäisessä koeajossa testattiin pääosin hampusta ja kaurasta koostuvaa raaka-aineyhdistelmää, joka ei tuottanut haluttua tulosta. Seuraavissa koeajoissa kaura jätettiin pois ja se korvattiin maissisuurimoilla, mikä helpotti rakenteen muodostumista. Kauraa testattiin myöhemmin myös erikseen ilman menestystä. Tuotteeseen saatiin yleensä halutunlainen niin sanotusti puffautunut rakenne, mutta kaikki tuotteet jäivät rakenteeltaan liian koviksi. Neljännen koeajon jälkeen hamppu jätettiin pois muuttujien minimoimiseksi ja maissin osuutta kasvatettiin. Liian kovaan rakenteen syntyyn ei silti löydetty ratkaisua. Myös kalsiumkarbonaatin lisäystä kokeiltiin lupaavin tuloksin, mutta rakenne jäi silti halutusta.

Opinnäytetyön tuloksena ei syntynyt valmista snacktuotetta, mutta projektista on ollut hyötyä laitteen käyttöönotossa, sen ominaisuuksien testauksessa, henkilöstön osaamisen kasvattamisessa sekä laitteen operointimenetelmien optimoinnissa. Tämän opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää tulevien snackprojektien pohjatyönä.

<sup>1</sup> Asiasanat: ekstruusio, snacksit, tuotekehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Food Processing and Biotechnology

Specialisation: Food Technology

Author/s: Joel Jokinen

Title of thesis: Preliminary development of an extruded snack recipe

Supervisor(s): Merja Kyntäjä

Year: 2024

Number of pages: 30

Number of appendices: 0

---

In the spring of 2024, a new twin screw extruder was purchased to Seinäjoki University of Applied Sciences, which led into several pilot projects. In this thesis the goal was to start developing and testing a recipe for an extruded corn puff-like snack product.

The project consisted of seven trial runs using different ingredient combinations. The first trial run consisted mainly of hemp and oats, but no desirable structure was formed. Oats were left out of the following trials, except for one where it was tested as the sole ingredient without success. Oats were replaced with corn semolina, which yielded much better puffed structure. Regardless of the puffing, the structure stayed too hard in all trial runs. From trial run five onward hemp was also dropped to minimize potential variables without much success.

In the end the project did not yield a usable final product, but it did help in the initial utilization of the new extruder, testing the capabilities of the extruder, staff training and optimization in use of the extruder. The results of this thesis can help in future product development of similar products.

<sup>1</sup> Keywords: extruder, product development, snack product

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	5
1 TAUSTA.....	6
2 EKSTRUUSIO.....	7
2.1 Ekstruusio teollisuudessa.....	7
2.2 Kylmä- ja keittoekstruusio .....	8
2.3 Tärkkelys keittoekstruusiossa.....	9
2.4 Yksiruuviekstruuderit.....	10
2.5 Kaksiruuviekstruuderit .....	11
3 RAAKA-AINEET .....	12
3.1 Hamppu.....	12
3.2 Kaura.....	13
3.3 Maissi .....	13
4 MATERIAALIT JA MENETELMÄT .....	14
4.1 Ekstruuderit .....	14
4.2 Koeajo 1 .....	15
4.3 Koeajo 2 .....	16
4.4 Koeajo 3.....	17
4.5 Koeajo 4 .....	17
4.6 Koeajo 5 .....	18
4.7 Koeajo 6 .....	19
4.8 Koeajo 7 .....	19
5 TULOKSET .....	21
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	26
LÄHTEET .....	29

**Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo**

Kuva 1. Kaksiruuviekstruuderin ..... 14	14
Kuva 2. Ekstruuderin kiinnitettävä leikkuri ja syklonikuivuri..... 15	15
Kuva 3. Koeajon 1 tuote.....21	21
Kuva 4. Koeajon 3 tuote.....22	22
Kuva 5. Koeajon 4 tuote.....22	22
Kuva 6. Koeajon 5 tuote.....23	23
Kuva 7. Koeajon 6 tuote.....24	24
Kuva 8. Koeajon 7 tuote.....25	25
Taulukko 1 Koeajon 1 raaka-aineet ..... 16	16
Taulukko 2 Koeajon 2 raaka-aineet ..... 17	17
Taulukko 3 Koeajon 5 raaka-aineet ..... 18	18
Taulukko 4 Koeajon 7 raaka-aineet ..... 19	19

# 1 TAUSTA

Snacks-teollisuus on nopeasti laajeneva elintarvikesektori, ja kuluttajien kiinnostus terveellisiin, ravitseviin ja innovatiivisiin välipaloihin on kasvanut merkittävästi viime vuosina. Yksi tärkeimmistä prosessointitekniikoista näiden tuotteiden valmistuksessa on ekstruusio. Ekstruuderilla valmistettavat snacksit tarjoavat monipuolisia mahdollisuuksia kehittää erilaisia tuotteita, jotka vastaavat sekä makutottumuksia että ravitsemuksellisia tarpeita.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on alustava kehitystyö snacksreseptille hyödyntäen ekstruusiotekniikkaa. Työssä tarkastellaan ekstruusion periaatteita, raaka-aineiden ominaisuuksia sekä eri prosessointiparametrien vaikutuksia lopputuotteiden laatuun ja rakenteeseen. Uusien raaka-aineiden käyttö on tässä työssä keskeisessä roolissa, sillä niiden avulla voidaan kehittää terveellisempiä tuotteita ja samalla lisätä tuotteen kiinnostavuutta markkinoinnin näkökulmasta.

Tämä opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Seinäjoen ammattikorkeakoulun kanssa hyödyntäen koulun uutta ekstruuderia. Reseptin kehittämisen lisäksi opinnäytetyön tavoitteena on auttaa Seinäjoen ammattikorkeakoulun uuden ekstruuderin käyttöönotossa kehittämällä sille käyttökelpoista reseptejä. Uuden reseptin kehittämällä on tarkoitus sekä testata ekstruuderin käyttöominaisuuksia että valmistaa niin rakenteeltaan kuin maultaan miellyttävä naposteltava demotuote, jota voidaan käyttää koulun markkinoinnissa.

## 2 EKSTRUUSIO

### 2.1 Ekstruusio teollisuudessa

Ekstruusio voidaan tiivistää prosessiksi, jossa käsiteltävä materiaali puristetaan suuttimen läpi (Hartel & Hedelman, 1997, s. 253). Yleensä ekstruusiolaitte koostuu yhdestä tai kahdesta ruuvista, jotka kuljettavat raaka-aineita sylinterin sisällä kohti sylinterin päässä olevaa suutinta ja puristavat raaka-aineen siitä läpi. Ekstrusion useita eri muotoja voidaan käyttää monien eri materiaalien valmistukseen, aina muoveista ja metalleista ruokaan. Tässä opinnäytetyössä keskitytään ruokaekstrusioon.

Ekstruusioteknologian käyttö ruokateollisuudessa ei ole uusi keksintö. Maissista valmistettuja naksuja valmistettiin jo 1930-luvun lopulla (Karwe 2009, s. 227). Ensimmäinen patentti kaksiruuviselle ekstruuderille tehtiin 1950-luvun puolivälissä. Ajan kuluessa ekstruusiolaitteet ovat kehittyneet hienostuneemmiksi ja niiden tuotevalikoima on laajentunut. Esimerkkejä varhaisemmista ekstruusiotuotteista ovat jo edellä mainitut puffautetut naksut, pasta, eläinten nappulatyypiset ruuat, erilaiset aamiaismurot ja erilaiset snackstyyppiset ruuat. Uudempia tulokkaita ovat esimerkiksi kasviproteiineista valmistetut liha-analogit eli tuotteet, joiden rakenne on lihankaltainen. Ekstruusioilla kasviproteiinit saadaan muodostamaan lihassyynkaltaisia säikeitä, mikä saa aikaan samankaltaisen suutuntuman.

Ekstruusioilla on monia etuja ruokateollisuudessa (Guy 2001, s. 1–2; Hartel & Hedelman, 1997, s. 253–257):

1. Tuotannon tehokkuus: koska ekstruusiolaitte on yksinkertaistettuna vain putki, johon syötetään raaka-ainetta toisesta päästä ja se tulee ulos toisesta päästä, voidaan ekstruuderilla ajaa pitkiä tuoteajoja sen jatkuvatoimisuuden vuoksi, mikä mahdollistaa suurempia tuotantonopeuksia ja määriä.
2. Monipuolisuus: samalla ekstruuderilla voidaan valmistaa monia erilaisia tuotteita vain pienillä säädöillä. Ekstruuderin sisäisiä ominaisuuksia, kuten ruuvin muotoa, lämpöä ja painetta säätämällä, voidaan saada rakenteellisilta ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia tuotteita. Lisäksi ekstruuderin suutinta vaihtamalla voidaan valmistaa erimuotoisia tuotteita ja raaka-aineita vaihtamalla voidaan saavuttaa hyvinkin erilaisia tekstuureja.

3. **Energiatehokkuus:** ekstruusio on suhteellisen energiatehokas tapa valmistaa tärkkelyspohjaisia tuotteita. Tärkkelys kuumennetaan suuren paineen alla pienellä vesimäärällä, mikä on huomattavasti energiatehokkaampaa esimerkiksi höyrylämmitykseen verrattuna, minkä jälkeen tuote pitäisi myös kuivata.
4. **Tuotteen laatu:** korkeassa paineessa tapahtuva kuumennus säästää tuotteen ravintoarvoja perinteisempään kypsennykseen verrattuna, koska lämpökäsittely on hyvin nopea.
5. **Vähäpäästöinen:** ekstruusiossa ei synny juurikaan jätevettä, mikä helpottaa tilojen suunnittelua sekä vähentää kustannuksia.

Elintarviketeollisuudessa ekstruusio voidaan karkeasti jakaa ekstruusion lämpötilan perusteella kylmäekstruusioon ja keittoekstruusioon (Singh & Heldman, 2014, s. 751–754).

## **2.2 Kylmä- ja keittoekstruusio**

Kylmäekstruusio viittaa yleensä prosessointiin, johon ei lisätä ulkopuolista lämpöenergiaa, ja se tapahtuu suhteellisen matalassa paineessa (Singh & Heldman, 2014, s. 752). Kylmäekstruusioilla voidaan valmistaa puolivalmisteita ja muita tuotteita, joita ei haluta prosessoinnin aikana kuumentaa, kuten pastaa, karamelleja ja eläintenruokaa. Tämänkaltaisille tuotteille ekstruusiot käytetään massan sekoittamiseen, vaivaamiseen, muotoiluun ja teksturointiin, minkä jälkeen sitä voidaan jatkojalostaa muilla menetelmillä.

Keittoekstruusio viittaa prosessointiin, jossa ekstruusioon lisätään lämpöenergiaa prosessin aikana, joko lämmittämällä tai kitkan avulla (Singh & Heldman, 2014, s. 753–754). Keittoekstruusiossa tuotteen lämmitys tapahtuu nopeasti korkeassa paineessa (High Temperature Short Time =HTST), mikä ei heikennä tuotteen ravintoarvoja yhtä paljon kuin pidemmät kuumennusmenetelmät, mutta pystyy silti inaktivoimaan monia ei-toivottuja entsyymejä ja mikrobeja (Hartel & Heldman, 1997, s. 255).

Yleisimmät menetelmät lisätä lämpöenergiaa ekstruuderin sylinteriin ovat ekstruuderin sylinteriin rakennetuilla lämmitysvastuksilla, jolloin sylinterin eri osien lämpötiloja voidaan kontrolloida tarkasti, sekä ekstrudaatin eli prosessoitavan materiaalin ja ekstruuderin pintojen välisen

kitkan avulla. Kitkan määrää voidaan säädellä ekstruuderin ruuvin muodolla, pyörimisnopeudella sekä ekstruuderin syöttönopeudella.

Korkean lämpötilan lisäksi keittoekstruusiolle tärkeää on korkea paine. Ekstruuderin ruuvin muodolla saadaan ekstrudaatti pakkautumaan tiiviisti, minkä lisäksi ekstruuderin suuttimen aukko on yleensä huomattavasti kapeampi kuin ekstruuderin leveys, mikä pakottaa ekstrudaatin vielä korkeampaan paineeseen (Singh & Heldman, 2014, s. 753–754). Korkea lämpötila ja paine saavat ekstrudaatissa olevan veden tulistumaan, eli sen lämpötila nousee yli sen normaalin kiehumispisteen, mutta korkean paineen vuoksi vesi pysyy nesteenä. Kun ekstrudaatti pääsee suuttimen läpi normaaliin ilmanpaineeseen, sen sisään kertynyt tulistunut vesi höyrystyy välittömästi, mikä saa aikaan tuotteen nopean turpoamisen, eli niin kutsutun puffautumisen. Tuotteen lopullinen rakenne, sen kovuus ja puffautumisen määrä on riippuvainen monista tekijöistä, kuten paine-erosta ennen ja jälkeen ekstruuderin suutinta, ekstrudaatin lämpötilasta suuttimelle tullessa, raaka-aineista ja kosteuspitoisuudesta (Hartel & Heldman, 1997, s. 271–277).

### **2.3 Tärkkelys keittoekstruusiassa**

Tärkkelyspohjaiset tuotteet ovat hyvin yleisiä keittoekstruusiotuotteita. Ekstruuderin korkea lämpötila ja kosteus saavat raat tärkkelysrakeet gelatinoitumaan, joka johtaa tärkkelysrakeiden aukeamiseen, mutta samanaikaisesti ekstruuderin mekaaninen hankaus rikkoo tärkkelysrakeiden rakennetta pienempiin osiin (Hartel & Heldman, 1997 s.279-282). Mekaanisen ja lämpöenergian yhteisvaikutus saa tärkkelysrakeet hajoamaan erillisiksi tärkkelyspolymeereiksi, ja niistä pilkkoutumaan edelleen pienemmiksi oligosakkarideiksi ja sokeiksi.

Gelatinoitunut tärkkelyksen ja veden yhdistelmä käyttäytyy kuten viskositeettinen neste (Hartel & Heldman, 1997 s. 280). Kun yhdistelmä viilenee, sen rakenne on niin kutsutussa lasimaisessa vaiheessa. Keittoekstruusiassa tuotteen vesipitoisuuden ollessa noin alle 30 % gelatinoitunut ekstrudaatti laajenee eli puffautuu suuttimesta ulos tullessaan. Samalla ekstrudaatti jäähtyy alle sen lasittumislämpötilan, mikä saa sen jähmettymään. Tämä mahdollistaa puffautetun rakenteen pysymisen. Jos tuotteessa on liikaa vettä tai esimerkiksi liikaa sokeria, ekstrudaatti kutistuu suuttimesta tulon jälkeen, koska liian korkea

vesipitoisuus ja suuri määrä hyvin pieniä molekyylejä laskee ekstrudaatin lasittumislämpötilaa. Jos lasittumislämpötila on liian matala, ei tuote jäähdy sen alle riittävän nopeasti ja ei näin ollen kovetu ennen rakenteen supistumista.

## 2.4 Yksiruuviekstruderit

Yksiruuviekstruderissa on nimensä mukaisesti yksi ruuvi, joka kuljettaa materiaalin sylinterin läpi. Koska laitteessa on vain yksi ruuvi, on materiaalin virtausnopeus suoraan sidoksissa ruuvin pyörimisnopeuteen (rpm) (Singh & Heldman, 2014, s. 754–756). Ruuvien pyörimisnopeuden lisäksi yksiruuviekstruderin oleellinen säätöominaisuus on ruuvien ja sylinterin välinen etäisyys, jota voidaan säädellä ruuvien tai sylinterin muodolla.

Yksiruuviekstruderin toiminta tapahtuu yleisesti kolmessa osiossa (Hartel & Heldman, 1997, s. 257–259; Sing & Heldman, 2014, s. 754–756). Ensimmäinen osio on syöttöosio, jossa materiaalia kuljetetaan syvemmälle sylinteriin. Toinen osio on siirtymävaihe ensimmäisen ja viimeisen vaiheen välillä. Tässä siirtymävaiheessa ruuvien ja sylinterin välinen tila alkaa kaventua eli ruuvien urasyvyys pienenee, yleensä ruuvia paksuntamalla, mikä kasvat-  
taa tasaisesti ekstrudaattiin kohdistuvaa painetta. Tämä puolestaan alkaa kypsentää ekstrudaattia ja aiheuttaa rakenteellisia muutoksia. Toista osiota voidaan kutsua myös vai-  
vusvaiheeksi. Kolmas osio on kypsytysoosio, jossa ekstrudaattiin kohdistuu suurin paine. Ekstruderin ruuvi on myös yleensä muotoiltu niin, että viimeisessä osiossa ekstrudaattimassa leikkaantuu ja sekoittuu tehokkaasti. Paine on suurimmillaan muotissa, jonka läpi ekstrudaatti puristetaan.

Ekstruderit, joilla ruuvien urasyvyys on suuri ja kierrosnopeus on pieni, ovat matalaleikkausvoimaisia (Hartel & Heldman, 1997, s. 259). Tällaisia ovat esimerkiksi pastan valmistuksessa käytetyt ekstruderit. Madaltamalla ruuvien urasyvyyttä ja nostamalla kierrosnopeutta saadaan nostettua ekstruderin leikkausvoimaa. Tästä syntyy myös huomattavasti enemmän lämpöä.

## 2.5 Kaksiruuviekstruuderit

Kaksiruuviekstruuderit on toimintamekanismiltaan monimutkaisempi kuin yksiruuviekstruuderit (Hartel & Heldman, 1997, s. 259–260). Sen etuna on, että säätämällä ruuvien muotoa ja pyörimissuuntaa voidaan tuottaa huomattavasti monipuolisempi tuotevalikoima kuin yksiruuviekstruuderilla.

Kaksiruuvisuus mahdollistaa vaihtelevia muotoja ja toimintoja ruuveille. Erilaisilla sekoitus- ja vaivausosilla saadaan ekstrudaatti sekoitettua tehokkaasti suhteellisen pienellä matkalla (Hartel & Heldman, 1997, s. 259–260). Sekoitusosoiden leikkausvoima on hyvin korkea. Ruuvien suuntaa ja urien leveyttä vaihtamalla saadaan vaikutettua ekstrudaatin suhteelliseen virtausnopeuteen. Leveämpi uraväli kuljettaa ekstrudaattia nopeammin ja lyhyempi uraväli hitaammin. Hitaampi nopeus saa aikaan materiaalin pakkautumista, mikä nostaa painetta, kun taas nopeampi kuljetus saa aikaan matalampaa painetta. Myös ruuvien suunnan vaihdos pudottaa ekstrudaattiin kohdistuvaa painetta.

Ruuvien pyörimissuunta voi olla joko samaan suuntaan tai eri suuntaan. Samaan suuntaan pyörivät ruuvit ovat yleisempiä, koska ne mahdollistavat suuremman tuotantokapasiteetin (Hartel & Heldman, 1997, s. 259–260).

Kaksiruuviekstruuderin sylinteri mukailee kahden ruuvien muotoa. Se on muistuttaa muodoltaan numeroa 8. Samaa suuntaan pyörivien ruuvien kuljettama ekstrudaatti kulkee ruuvien ympäri puolelta toiselle (Hartel & Heldman, 1997, s. 260). Ekstrudaatin sekoitus tapahtuu ruuvien välisessä tilassa. Eri lämpötilojen säätö sylinterin eri osissa yhdessä ruuvien muokattavuuden kanssa antaa kaksiruuviekstruudereille hyvin laajan tuotevalikoiman verrattuna yksiruuviekstruudereihin.

## 3 RAAKA-AINEET

### 3.1 Hamppu

Hamppu (*Cannabis sativa*) on yksivuotinen putkilokasvi, jota kasvatetaan Suomessa sekä kuitu-, että öljykäyttöön (Laine, 2017). Suomessa hampun elintarvikekäyttö on vielä pientä ja on keskittynyt lähinnä pienten erikoisliikkeiden myyntiin. Hampun viljely on kuitenkin ollut kasvussa (Norokytö, 2013). Vuonna 2017 Suomessa viljeltiin hampun öljykäyttöön yhteensä 540 ha peltoalalla, joista keskimääräinen sato on noin 600–1000 kg/ha ja alle 500 kg/ha luomuhampulla (Laine, 2017). Öljyhampusta Suomessa vuonna 2017 viljellyistä lajikkeista 99 % olivat Finola-lajiketta.

Hampun siemenet ovat ravintoarvoiltaan laadukkaita (Laine, 2017). Niissä on paljon hyvälaatuista öljyä, aminohappoja, kuituja, mineraaleja ja vitamiineja. Hampun siemenpähkylä sisältää noin 64 % rasvaa, 21 % proteiinia, 11 % kuitua ja 4 % imeytyvää hiilihydraattia. Hampun öljy sisältää runsaasti monityydyttyneitä rasvahappoja. Siemenet sisältävät myös paljon fosforia, kaliumia ja magnesiumia, tryptofaani aminohappoa, B-vitamiinia (riboflaviini ja tiamiini), sekä E-vitamiinia (alfatokoferoli).

Hamppuproteiinijauhe syntyy hampun öljyn kylmäpuristuksen sivutuotteena. Kuorineen jauhetuista kylmäpuristetusta hampunsiemenistä saadaan jauhetta, jonka proteiinipitoisuus on noin 32 % (FoodFarm, i.a.). Jos hampunsiemenet kuoritaan ennen puristamista, saadaan aikaan hamppuproteiinijauhetta, jonka proteiinipitoisuus on noin 65 %.

Hampun kukinnot sisältävät luontaisesti kannabinoideja. Öljy- ja kuituhampulla runsain kannabinoidi on kannabidiolihappo (CBDA), josta voidaan jalostaa kannabidiolia (CBD) sitä kuumentamalla (Keski-Saari ym, 2022). CBD:tä voidaan käyttää esimerkiksi ravintolisänä, sähkösavukkeiden nesteinä, ihonhoitotuotteissa ja kosmetiikassa, sekä lääkkeissä. Euroopan komission asetuksen mukaan öljy- ja kuituhampuissa korkein sallittu pitoisuus huumausaineeksi luokiteltua delta-9-tetrahydrocannabinolia ( $\Delta$ 9-THC) on 3 mg/kg ja hampun öljyssä 7,5 mg/kg (Euroopan komission asetus 2023/915). Suomessa kasvatettavan Finola-lajikkeen  $\Delta$ 9-THC-pitoisuus on selvästi alle sallitun rajan, keskimäärin noin 1–1,5 mg/kg kuivapainosta (Callaway, 2004).

### 3.2 Kaura

Kaura (*Avena sativa*) on Suomessa laajasti rehu- ja ravintokäyttöön kasvatettu itsepölytteinen heinäkasvi. Se on sadoltaan Suomen toiseksi viljellyin viljakasvi ohran jälkeen, saavuttaen usein yli 1000 miljoonan kilon vuotuisen sadon (Luonnonvarakeskus (Luke), i.a.-b). Kauran suurin käyttö Suomessa on rehuna ja vain murto-osa käytetään ihmisravinnoksi (Leipätiedotus ry, i.a.). Kauran kulutus Suomessa on vuositasolla noin 10 kg per henkilö. Koska kaura ei muodosta sitkoa, ei se yleensä sovi leivontaan sellaisenaan ja vaatii esimerkiksi vehnän lisäystä. Kaurasta pyritään myös jalostamaan lajikkeita, joiden tietyt ominaisuudet, kuten proteiini- tai  $\beta$ -glukaanipitoisuudet ovat korkeampia, mikä mahdollistaisi uusia kauratuotteita tulevaisuudessa (Luke, i.a.-a).

Kaura on ravintoarvoiltaan kohtalaisen terveellinen viljakasvi. Se sisältää ohraan, rukiiseen ja vehnään verrattuna enemmän proteiinia ja rasvaa, ja vähemmän hiilihydraatteja (Leipätiedotus ry, i.a.). Kauran jyvä sisältää näistä viljoista vähiten kuitua. Kaurajyvien käsittelyssä erityisesti rasva on otettava huomioon, sillä se pilaantuu nopeasti. Sen vuoksi kaura lämpökäsitellään varastointiajan parantamiseksi.

### 3.3 Maissi

Maissi (*Zea mays*) on alun perin Amerikasta kotoisin oleva heinäkasvi. Maailmanlaajuisesti maissi on yksi tärkeimmistä viljelykasveista, mutta sitä ei perinteisesti ole viljelty laajemmin Suomessa kasvuolosuhteiden vuoksi.

Maissi on riisin lisäksi toinen suurimmista kuivaekstruusiossa käytetyistä viljakasveista sen suuren tärkkelysmäärän ja saatavuuden vuoksi. Maissi sisältää runsaasti tärkkelystä ja vähän kuitua (Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL), i.a.), mikä tekee siitä hyvän raaka-aineen tärkkelyspohjaiseen ekstruusioon.

## 4 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

### 4.1 Ekstruuderit

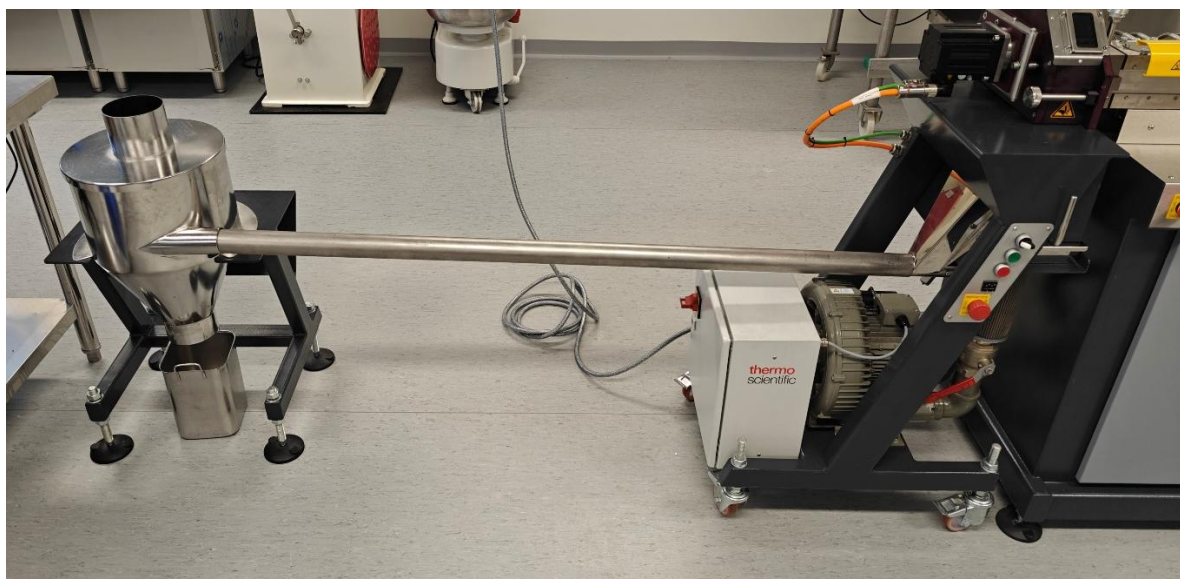
Snackstuotteiden valmistamiseen käytettiin Thermo Scientific TSE 24 MC -kaksiruuviekstruuderia. Ruuvien leveys oli 24 mm. Ruuvikonfiguraationa käytettiin valmistajan ohjetta mukailevaa konfiguraatiota, mutta osien saatavuuden vuoksi tuoteajoissa käytettiin neljää sekoitusaluetta, mikä oli enemmän kuin laitteenvalmistajan ohjeessa oli ehdotettu (kuva 1). Ruuvien ensimmäisessä sekoitusalueessa käytettiin kuutta sekoituskiekkoa ja seuraavissa sekoitusalueissa seitsemää sekoituskiekkoa. Suuttimena käytettiin yksi-reikäistä suutinta, jonka reikäkoko oli 5 mm. Ekstruuderin sylinteri oli jaettu kymmeneen lämmitysvyöhykkeeseen, mukaan lukien suuttimen lämpötila. Suuttimen painetta mitattiin siihen kiinnitetyllä paineanturilla.



Kuva 1. Kaksiruuviekstruuderin ruuvikonfiguraatio, jossa on neljä sekoitusaluetta. Ekstrudaatin virtaussuunta on oikealta vasemmalle (Jokinen, 2024, CC BY-NC-ND).

Varsinaisen ekstruuderin lisäksi käytössä oli erillinen leikkausterä ja syklonikuivuri (kuva 2). Leikkausterässä oli kaksi pyörivää terää, joiden pyörimisnopeutta voitiin säätää. Raaka-ainetta syötettiin ekstruuderiiin erillisellä säädettävällä ruuvikuljettimella, joka mittasi kulutettua raaka-ainetta vaa'an avulla. Ekstruuderin eri säädetyistä ja mitatuista parametreista kerättiin dataa ekstruuderiiin yhdistetyn tietokoneen avulla CX-Supervisor -ohjelmalla. Kerätyt lukemia olivat esimerkiksi säädetyt ja mitatut lämpötilat eri vyöhykkeille, suuttimen

paine ja moottorin momentti. Tietokoneen kanssa ilmeni jälkeinpäin ongelmia, eikä dataa ollut tallentunut koeajoista 3, 4 ja 7.



Kuva 2 Ekstruuderiin kiinnitettävä leikkausterä (oikealla) ja syklonikuivuri (vasemmalla) (Jokinen, 2024, CC BY-NC-ND).

Kaikissa koeajoissa ruuvien alkulämmityksen lämpötilat ruuvien eri osille asetettiin 40-40-60-60-80-80-80-80-80-80 °C alkaen jauheen syöttöpäästä ennen raaka-aineen syötön aloittamista. Ruuvien ensimmäinen lämpövyöhyke pidettiin aina 40 °C lämpötilassa, jotta voitiin välttää sekä kuivan jauheen kiinnipalaminen että vesihöyryn muodostuminen liian aikaisin ja sen takaperin virtaaminen syöttösuppiloon. Lämpötiloja nostettaessa lämpötilaeroja edelliseen lämmitysalueeseen pidettiin 10–20 °C tasaisen lämmön nousun takaamiseksi. Kosteustavoitteena koeajoissa pidettiin 15–20 % lisätyn veden määrää. Vettä lisättiin erikseen ekstruuderin ruuvien sisään erillisellä syöttöpumpulla.

## 4.2 Koeajo 1

Ensimmäiseen koeajoon valittiin pääraaka-aineiksi hamppu ja kaura niiden kotimaisuuden vuoksi. Hamppuna käytettiin hamppuöljyn puristuksen sivutuotteena syntyvää puristetta, jonka proteiinipitoisuus oli noin 32 % ja kuitupitoisuus 45 %. Lisäksi hampun makua vahvistettiin käyttämällä hamppuöljyä. Kaurana käytettiin karkeaa kokojyväkaurajauhoa. Riisijauhoa, maissijauhoa ja perunajauhoa lisättiin tärkkelyspitoisuuden nostamiseksi. Jauheesta valmistettiin 3 kg panos taulukon 1 raaka-ainesuhteiden mukaan. Raaka-aineet ja

niiden suhteet valittiin vertailemalla useiden markkinoilla olevien kilpailevien tuotteiden tuoteselosteiden ja internetistä löytyvien reseptien perusteella (Ingredion, i.a.).

Öljy lisättiin jauheseokseen suihkepullolla sumuttaen mahdollisimman pieninä pisaroina samalla, kun jauhetta sekoitettiin yleiskoneella tasaisen levityksen parantamiseksi. Sumutetun öljyn määrä per suihkaus arvioitiin punnitsemalla kymmenen suihkauksen yhteispaino. Jauheseoksen kosteuspitoisuudeksi sekoituksen jälkeen mitattiin 9,87 %. Seoksen kosteuspitoisuutta nostettiin 15 %:iin lisäämällä siihen vettä öljyn tapaan spraypullolla samalla sekoittaen. Seos peitettiin tiiviisti kostutuksen jälkeen ja siirrettiin jääkaappiin yön yli kosteuden tasaisen leviämisen edistämiseksi. Koeajossa 1 ei lisätty vettä ekstruusion aikana.

Taulukko 1. Koeajossa 1 käytettyjen raaka-aineiden suhde pois lukien vesi, joka lisättiin raaka-aineseokseen erikseen.

<b>Raaka-aine</b>	<b>Prosenttiosuus raaka-aineista</b>
Hamppu 32 %	45 %
Kaura	25 %
Perunajauho	8,5 %
Riisijauho	7,5 %
Maissijauho (hieno)	7,5 %
Sokeri	5 %
Hamppuöljy	1,5 %

Koeajon aikana ekstruuderin lämpötilaa ja raaka-aineen syöttömäärää lisättiin tasaisesti. Viimeiset ja korkeimmat mitatut lämpötilat ruuvien eri osille olivat 40-55-80-105-125-130-130-140-140-150 °C. Mitattu suuttimen paine näissä lämpötiloissa oli korkeimmillaan 5 bar.

### 4.3 Koeajo 2

Koeajossa 2 pääraaka-aineeksi vaihdettiin luomumaissisuurimot. Kaura jätettiin kokonaan pois reseptistä ja hampun suhdetta laskettiin. Lisätystä öljystä puolet vaihdettiin hamppuöljystä rypsiöljyyn. Raaka-aineseosta valmistettiin taulukon 2 mukaisilla suhteilla 3 kg panos. Seoksen kosteus ennen veden lisäämistä oli 11,6 %. Jauheen kosteuspitoisuus nostettiin esikostuttamalla noin 18 %:iin. Öljyt ja vesi lisättiin raaka-aineen sekaan koeajon 1 tapaan

suihkepullolla sumuttamalla mahdollisimman pieninä pisaroina samalla, kun jauheseosta sekoitettiin yleiskoneella.

Koeajossa raaka-aineen syöttö aloitettiin tavallista korkeammilla lämpötiloilla 40-45-60-80-80-85-85-90-90-90 °C. Koeajon alkuvaiheessa ekstrudaatti paloi kiinni ruuviin ja ajo piti keskeyttää aikaisin. Koeajossa 2 ei saatu ulos tuotetta. Viimeiset tallentuneet lämpötilat koeajolle olivat 40-45-60-80-80-100-100-100-100-100 °C ja suuttimen paine 0 bar.

Taulukko 2. Koeajossa 2 käytettyjen raaka-aineiden suhde pois lukien vesi, joka lisättiin raaka-aineseokseen erikseen ekstruusion aikana.

<b>Raaka-aine</b>	<b>Prosenttiosuus raaka-aineista</b>
Maissisuurimo	75 %
Hamppu 32 %	15 %
Perunajauho	5 %
Hamppuöljy	2,5 %
Rypsiöljy	2,5 %

#### 4.4 Koeajo 3

Koeajossa käytettiin samaa jauheseosta kuin koeajossa 2 (taulukko 2), mutta jauheen esikostutuksen sijaan vettä lisättiin ekstruusion aikana laitteen säädettävällä vedensyöttimellä. Öljyt lisättiin muiden raaka-aineiden sekaan suihkepullolla sumuttaen mahdollisimman pieninä pisaroina yleiskoneella koko ajan sekoittaen. Veden syöttö aloitettiin 50 % suhteella ja sitä laskettiin tasaisesti samalla kun lämpötilaa, jauheen syöttöä ja ruuvien kierrosnopeutta nostettiin.

Koeajon alkulämmityslämpötilat laskettiin takaisin alkuperäiseen 40-40-60-60-80-80-80-80-80-80 °C raaka-aineen syötön aloitukseen kiinnipalamisen välttämiseksi. Koeajon 3 tarkat mitatut lämpötilat eivät tallentuneet CX-Supervisor -ohjelmaan, mutta korkein käytetty suuttimen lämpötila oli 130 °C.

#### 4.5 Koeajo 4

Koeajossa 4 hamppu 32 vaihdettiin hamppuproteiinikonsentraattiin, jonka proteiinipitoisuus oli noin 65 % ja kuitupitoisuus 9 %. Hampun vaihtoa lukuun ottamatta raaka-aineseos oli

muuten sama kuin taulukossa 2. Öljyt lisättiin raaka-aineiden sekaan suihkepullolla sumuttaen mahdollisimman pieninä pisaroina yleiskoneella koko ajan sekoittaen. Jauheseosta ei esikostutettu ja vesi lisättiin ekstruusion aikana. Koeajon aikana ajon alkurampitusta, eli veden syötön osuuden laskua ja lämpötilan ja kierrosten nopeuden nostoa, tehtiin paljon nopeammin kuin edellisissä ajoissa.

Lopullinen syötetyn veden osuus oli 15 % suuttimen lämpötilan päästyä 110 °C-asteeseen, minkä jälkeen lämpötilaa nostettiin tasaisesti vielä 125 °C asti. Koeajon 4 tarkat arvot eivät tallentuneet CX-Supervisor -ohjelmaan.

#### 4.6 Koeajo 5

Koeajossa 5 hamppu jätettiin kokonaan pois muuttujien minimoimiseksi. Uutena raaka-aineena otettiin käyttöön suola. Uusi 3 kg raaka-ainepanos valmistettiin taulukon 3 mukaisilla suhteilla. Öljy lisättiin suihkepullolla sumuttaen pieninä pisaroina yleiskoneella samalla sekoittaen. Vesi lisättiin raaka-aineen sekaan ekstruusion aikana. Ajon ylösrampituksessa otettiin käyttöön järjestelmällisempi porrastettu malli, jossa vedensyötön suhdetta laskettiin, kunnes ekstruuderin paine ja moottorin momentti alkoivat nousta, minkä jälkeen lämpötilaa nostettiin hieman, mikä sai paineen ja momentin putoamaan ekstrudaatin viskositeetin laskiessa. Koko ylösrampitus toteutettiin tällä menetelmällä.

Taulukko 3. Koeajossa 5 käytettyjen raaka-aineiden suhde pois lukien vesi, joka lisättiin raaka-aineseokseen erikseen ekstruusion aikana.

<b>Raaka-aine</b>	<b>Prosenttiosuus raaka-aineista</b>
Maissisuurimo	90 %
Perunajauho	7 %
Rypsiöljy	3 %
Suola	1,5 %

Koeajossa päästiin yli 120 °C suutinlämpötilaan ja uuden rampitusmenetelmän avulla tuotteen muutoksia oli helpompi seurata ja ennustaa. Koeajo jouduttiin lopettamaan äkillisesti kesken koeajon lopussa, kun jauheen syöttöruuvi pysähtyi raaka-aineen määrän pudottua alle kilogrammaan. Katkos jauheen syötössä sai aikaan tukkeen ekstruuderin suuttimeen.

Ennen tukkeen muodostumista päästiin ruuvilämpötiloihin 40-45-60-70-80-100-120-120-130-130 °C. Lopullinen veden syötön osuus oli 16 %, raaka-aineen kokonaissyöttö 5,8

kg/h ja ruuvin nopeus 400 rpm. Viimeisillä lämpötila-arvoilla suuttimen paine vaihteli välillä 0-30 bar, josta korkeampien paineiden voidaan olettaa johtuvan syntyneestä tukkeesta.

#### 4.7 Koeajo 6

Koeajo 6 oli ylimääräinen testiajo, jossa haluttiin varmistaa kokojyväkauran negatiivinen vaikutus tuotteen puffautumiseen. Koeajossa raaka-aineena käytettiin pelkkää kokojyväkaurajauhoa. Koeajoon ei lisätty öljyä. Vesi lisättiin raaka-aineen sekaan ekstruusion aikana. Ajo toteutettiin parannellun ylösrampitusmenetelmän avulla lisäämällä lämpöä vain, kun suuttimen paine ja moottorin momentti alkoivat kasvaa.

Koeajoa jatkettiin, kunnes päästiin suutinlämpötilaan 125 °C, kokonaissyöttömäärään 5,7 kg/h ja ruuvin kierrosnopeuteen 400 rpm. Lopulliset sylinterin lämpötila-arvot olivat 40-45-60-60-80-95-105-125-125-125 °C. Suuttimen paine korkeimmissa lämpötiloissa oli ylimmillään 10 bar.

#### 4.8 Koeajo 7

Koeajossa 7 raaka-aineseokseen lisättiin 0,5 % kalsiumkarbonaattia sen kuplien määrää lisäävän vaikutuksen vuoksi (Guy, 2001). Samalla lisätty öljy jätettiin pois raaka-aineista. Vesi lisättiin raaka-aineseoksen sekaan ekstruusion aikana. Jauheseosta valmistettiin viiden kilon panos taulukon 4 mukaisesti. Koeajo toteutettiin samalla porrastetulla ylösrampitusmenetelmällä kuin koeajo 5.

Taulukko 4. Koeajossa 7 käytettyjen raaka-aineiden suhde pois lukien vesi, joka lisättiin raaka-aineseokseen erikseen ekstruusion aikana.

<b>Raaka-aine</b>	<b>Prosenttiosuus raaka-aineista</b>
Maissisuurimo	90 %
Perunajauho	5 %
Sokeri	3 %
Suola	1,5 %
Kalsium karbonaatti	0,5 %

Koeajossa nostettiin lämpötilaa kymmenen asteen välein aina 140 °C suutinlämpötilaan asti. Lopullinen lisätyn veden pitoisuus oli 16 %, kokonaissyöttö 6,5 kg/h ja ruuvin nopeus 400 rpm. Koeajon 7 tarkat mitatut lämpötilat eivät tallentuneet CX-Supervisor -ohjelmaan.

Tuotetta yritettiin pätkiä ekstruuderiin kiinnitettävällä leikkurilla, mutta ekstruuderista ulostuleva tuote oli liian tahmeaa ja tuote jäi kiinni teriin, minkä vuoksi leikkaamisesta luovuttiin tässä vaiheessa.

## 5 TULOKSET

Koeajon 1 tuote ei puffautunut lainkaan korkeissakaan lämpötiloissa. Tuote oli kovaa ja kuivaa (kuva 3). Tuotteen rakenne oli hyvin tiivis. Koeajosta 2 ei saatu ulos tuotetta arvioitavaksi syntyneen tukkeen vuoksi.



Kuva 3. Koeajon 1 tuote. Tuote oli kovaa eikä puffautumista tapahtunut (Jokinen, 2024, CC BY-NC-ND).

Koeajosta 3 hamppu 32 -seoksesta syntynyt tuote puffautui voimakkaasti (kuva 4). Tuotteen väri oli tumman vihreä. Tuotteen rakenne oli liian kovaa. Tuotetta oli vaikea purra poikki hampailla ja sen katkaisu vaati kahta kättä. Tuotteen sisäinen rakenne oli hyvin suurikuplaista. Hampun maku oli voimakas tuotteessa.

Koeajon 4 tuote puffautui hyvin. Tuote oli väriltään vaaleampi kuin kuitupitoisemmasta hampusta valmistetut tuotteet (kuva 5). Maultaan hampun maku oli miedompi kuin hamppu 32 -tuotteella, mutta hampun maku oli silti havaittavissa. Rakenteeltaan tuote oli silti liian kovaa tuotteen kuivuttua. Kovuudessa ei havaittu muutoksia hamppu 32 -tuotteeseen verrattuna. Kuplakoko tuotteen sisällä on suuri (kuva 5). Nopeampi ylösrampitus ei vaikuttanut negatiivisesti tuoteajoon ja raaka-ainetta jäi ylösrampituksesta jäljelle enemmän varsinaiseen tuoteajoon.



Kuva 4. Koeajon 3 tuote 130 °C lämpötilasta. Tuote on puffautunut, mutta rakenteeltaan liian kovaa (Jokinen, 2024, CC BY-NC-ND).



Kuva 5. Koeajon 4 tuote 125 °C lämpötilasta. Tuote on väritään vaaleampaa kuin koeajossa 3. Rakenteeltaan tuote on liian kovaa ja kuplakooltaan liian suurta (oikealla alla) (Jokinen, 2024, CC BY-NC-ND).

Koeajossa 5 tuote puffautui samaan tapaan kuin koeajossa 4. Järjestelmällisemmän ylös-rampitusmenetelmän avulla tuotteen muutoksia oli helpompi seurata ja ennustaa. Koeajo jouduttiin lopettamaan kesken, kun jauheen syöttöruuvi pysähtyi raaka-aineen määrän pudottua alle kilogrammaan. Katkos jauheen syötössä sai aikaan tukkeen ekstruuderin suuttimeen.

Ennen tukkeen muodostumista tuoteajo sujui aikaisempia sulavammin. Tuote puffautui hyvin, mutta sen rakenne oli vieläkin hyvin kovaa. Suolalla ei havaittu vaikutusta kuplakoon tai tuotteen kovuuteen (kuva 6), mutta se lisäsi makua.



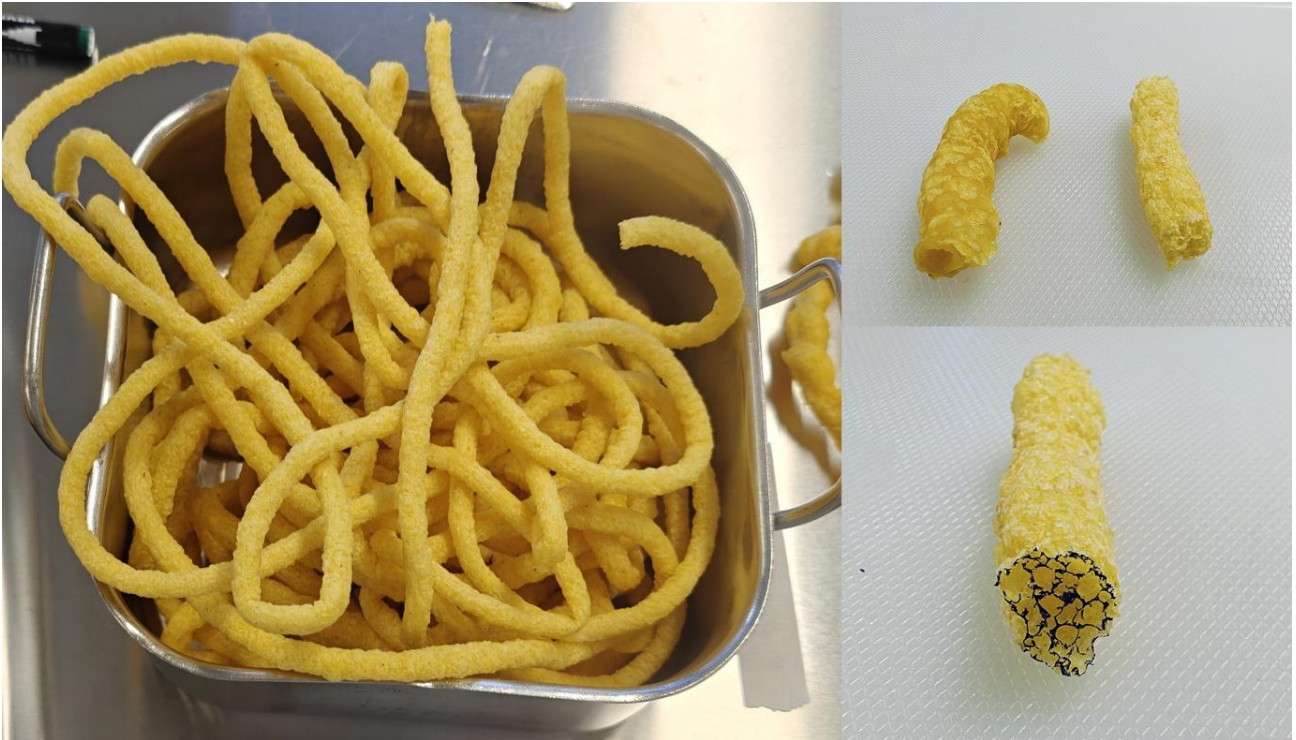
Kuva 6. Koeajon 5 tuote 120 °C lämpötilasta. Rakenteeltaan tuote on liian kovaa ja kuplakooltaan liian suurta (oikealla alla) (Jokinen, 2024, CC BY-NC-ND).

Koeajossa 6 kaurasta valmistetussa tuotteessa puffautumista ei tapahtunut lainkaan eikä jauheen rakenne ollut juurikaan muuttunut. Saatua tuotetta vastasi lähinnä kuumaa, kasaan puristettua kaurajauhoa. Jauho imi itseensä osan vedestä, mutta ei laajentunut. Tuote oli rakenteeltaan yhtenäistä nauhaa, joka oli haurasta ja hajosi helposti takaisin jauheeksi sitä käsiteltäessä (Kuva 7).



Kuva 7. Koeajon 6 tuote 125–130 °C lämpötilasta. Tuote ei puffautunut lainkaan ja rakenne on hauras ja jauhoinen (Jokinen, 2024, CC BY-NC-ND).

Koeajossa 7 kalsiumkarbonaatilla havaittiin olevan selkeä vaikutus tuotteen puffautumiseen. Tuotteen kuplakoko oli selvästi pienempi ja kuplien määrä suurempi kuin edeltävissä koeajoissa (kuva 8). Tuote ei kuitenkaan puffautuessaan laajentunut yhtä paljon kuin edelliset versiot. Tuotteen läpimitta laski erityisesti suuremmissa, yli 130 °C lämpötiloissa. Tuote oli ekstruuderista tullessaan hyvin pehmeää, mikä sai aikaan osittaisen rakenteen kasaan puristumisen painovoiman vaikutuksesta. Tuotteen rakenne oli silti hieman liian kova verrattuna toivottuun suutuntumaan, mutta kuitenkin selkeästi hauraampi kuin edellisten koeajojen tuotteet. Tuotetta yritettiin pätkiä ekstruuderiin kiinnitettävällä leikkurilla, mutta ekstruuderista ulostuleva tuote oli liian tahmeaa ja tuote jäi kiinni teriin, minkä vuoksi leikkaamisesta luovuttiin tässä vaiheessa.



Kuva 8. Koeajon 7 tuote 140 °C lämpötilasta 16 % vedensyötön suhteella. Tuote on ka-  
peampaa kuin koeajossa 5 (oikealla yllä), ja rakenne on pienikuplaisempaa (oikealla alla)  
(Jokinen, 2024, CC BY-NC-ND).

## 6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä ei päästy toivotunlaiseen lopputuotteen rakenteeseen, mutta projektista on silti ollut hyötyä uuden ekstruuderin käyttöönotossa, erityisesti kuivaekstruusion kannalta.

Selkein havaittu tuotteen puffautumiseen vaikuttava tekijä on raaka-aineen kuitupitoisuus. Koeajoista 1 ja 6 nähdään selvästi karkean kokojyväkaurajauheen estäneen tuotteen puffautumisen. Tämä mukailee olemassa olevaa siitä, että liukenemattomat suurimolekyyliset kuidut eivät sula samalla tavalla kuin tärkkelys ekstruusioprosessin aikana (Ek ym., 2020, s. 131). Koeajoissa käytettiin karkeaa kokojyväkaurajauhetta, mikä sisältää paljon liukeneamatonta kuitua erityisesti jyvän kuorissa. Vähäkuituisempaa kauraa ei tässä opinnäytetyössä testattu, mutta pienissä pitoisuuksissa se voi mahdollisesti toimia tuotteessa. Hampun kuitupitoisuudella ei koeajojen 3 ja 4 välillä havaittu aistinvaraisesti eroja tuotteen kovuudessa. Kuitupitoisempi hampujauho (32 % proteiinia) oli väriltään ja maultaan voimakkaampi kuin 65 % proteiinikonsentraatti jauheessa olevien hampunsiementen kuorien vuoksi, mutta lopputuotteet molemmista koeajoista jäivät liian koviksi puffautumisesta huolimatta.

Proteiinipitoisuuden ero hampujauheiden välillä ei aiheuttanut selkeää vaikutusta puffautumiseen. Kirjallisuuden mukaan suuri proteiinipitoisuus vaikuttaa heikentävästi tuotteen puffautumiseen (Ek ym., 2020, s. 120). Proteiinipitoisempaa hampua käytettiin koeajossa kuitenkin vain 15 % koko raaka-ainemäärästä, mikä tarkoittaa vain noin 9,75 % hampuproteiinia koko raaka-ainemäärästä. Tämä määrä on todennäköisesti liian pieni negatiivisesti vaikuttamaan puffautumiseen.

Syytä tuotteen liian kovalle rakenteelle ei varmuudella pystytty selvittämään tässä opinnäytetyössä. Mahdollisia testaamatta jääneitä muuttujia olivat huomattavasti suurempi suuttimen paine sekä erilainen ekstruuderin ruuvikonfiguraatio. Paine on tärkeä osa tuotteen puffautumista (Hartel & Heldman, 1997, s. 271–277; Singh & Heldman, 2014, s. 744–751) ja paine-ero suuttimen sisä- ja ulkopuolella vaikuttaa suoraan kuplien muodostumiseen tuotteen puffautuessa. Painetta voidaan nostaa lisäämällä raaka-aineen syöttönopeutta ja ekstruuderin ruuvin pyörimisnopeutta huomattavasti. Kuitenkin tämän opinnäytetyön

ulkopuolella tehty alustava, julkaisematon koeajo yli kolminkertaisella syöttönopeudella ei tuottanut merkittävästi parempia tuloksia, mikä viittaisi ongelman olevan mahdollisesti laitteessa.

Ruuvikonfiguraatiolla oli mahdollisesti vaikutusta tuotteen kovuuteen. Käytössä olleessa konfiguraatiossa oli neljä erillistä sekoitusaluetta, mikä oli enemmän kuin valmistajan suosittelema 2–3 ja niiden pituudet olivat suuremmat (Kuva 1). Tämä johtui saatavilla olevien ruuvinosien määrästä, minkä vuoksi ruuvikonfiguraatiota ei voitu tämän opinnäytetyön aikarajojen puitteissa muuttaa. Käytetty konfiguraatio oli mahdollisimman lähellä valmistajan ohjetta. Sekoitusalueet kohdistavat ekstrudaattiin ruuvinosista eniten mekaanista leikkausvoimaa, mikä voi aiheuttaa tärkkelyspolymeerien liiallista pilkkoutumista pieniin sokereihin, mikä voi mahdollisesti haitata halutun rakenteen muodostumista.

Myös raaka-aineilla ja niiden laadulla on todennäköisesti ollut negatiivista vaikutusta tuotteen kovuuteen. Käytetty karkea maissijauho on voinut olla huonosti tarkoitukseen sopivaa. Siinä on voinut olla mukana liikaa kuoren osia, mikä voisi vaikuttaa ekstrudaatin sulamiseen ekstruusioprosessin aikana. Koeajot 3, 4 ja 5 olivat aistinvaraisesti hyvin lähellä toisiaan kovuuden ja kuplakoon suhteen, mutta koeajo 7 oli kalsiumkarbonaatin vaikutuksesta hieman pehmeämpi, vaikka kaikissa oli käytetty samaa karkeaa maissijauhetta samalta valmistajalta. Suuri partikkelikoko tarkoittaa pienempään kokoon verrattuna hitaampaa kostumis- ja sulamisaikaa, mikä vaikuttaa todennäköisesti tuotteen rakenteeseen (Hartel & Heldman, 1997, s. 271–272). Karkean maissijauhon vaihtaminen hienompaan jauhoon voisi siis tuottaa mahdollisesti parempia tuloksia.

Vaikka opinnäytetyöstä ei syntynyt toivotunlaista lopputuotetta, on projektista ollut hyötyä uuden ekstruuderin käyttöönotossa. Projektin aikana on kartutettu sekä henkilökunnan käyttökokemusta laitteelle, kuin myös paikallistettu tarvittavia parannuksia. Ekstruuderin ylösrampitusta on nopeutettu koeajojen aikana parhaimmillaan noin 10–15 minuuttia, mikä säästää sekä raaka-ainetta, että energiakustannuksia. Projektin aikana havaittiin myös ongelma puffautetun tuotteen leikkaamisessa, minkä perusteella leikkuria tulisi säätää paremmin tarkoitukseen sopivaksi.

Koko prosessi sujuu projektin jälkeisen kokemuksen kautta yleisesti myös paljon sulavammin ja aikaa vieviltä tukoksilta ja kiinni palamisilta vältyttiin myöhemmissä koeajoissa paremmin. Erityisesti kiinnipalamiseen johti jauheseoksen esikostutus ainoana vedenlisäysmuotona. Suihkepullolla veden tai öljyn lisäys raaka-aineen sekaan todettiin toimivaksi tavaksi lisätä nestemäinen raaka-aine jauheen sekaan tasaisesti, mutta kosteuspitoisuus jää liian pieneksi ekstruuderin ylösrampituksen aikana. Tässä opinnäytetyössä ei testattu molempien kostutusmenetelmien yhdistelmää, jossa raaka-aineet esikostutetaan haluttuun pitoisuuteen ja ekstruusion aikana lisätyn veden määrää laskettaisiin rampituksen edetessä kohti nollaa. Näin lopullisessa lämpötilassa ekstrudaatin vesi tulisi vain esikostutuksesta. Tämänkaltaisesta kostutusmenetelmästä voi tosin olla vain vähän tai ei lainkaan hyötyä lopputuotteen kannalta, minkä vuoksi siitä aiheutuva ylimääräinen työ ei todennäköisesti ole kannattavaa.

Tämän opinnäytetyön pohjalta pystytään mahdollisesti jatkamaan snackstuotteen tuotekehitystä oppimalla tässä työssä tehdyistä virheistä ja havainnoista, jolloin uudessa tuotekehityksessä voidaan päästä nopeammin käyttökelpoiseen tuotteeseen.

## LÄHTEET

- Callaway, J. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140(1-2), 65-72. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4811-6>
- Ek, P., Kowalski, R. J. & Ganjyal, G. M. (2020). Chapter 4 - Raw material behaviors in extrusion processing I (Carbohydrates). Teoksessa G. M. Ganjyal. (2020) *Extrusion cooking: Cereal grains processing* (2. p., s. 119–152). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00004-3>
- Euroopan komission asetus (2023/915). Asetus tiettyjen elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismääristä ja asetuksen (EY) N:o 1881/2006 kumoamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915>
- FoodFarm. (i.a.). *Hamppuproteiinit*. <https://www.foodfarm.fi/tutustu-tuotteisiimme/hamppuproteiinit/>
- Guy, R. (2001). *Extrusion cooking*. Woodhead Publishing Limited.
- Hartel, R. W., & Heldman, D. R. (1997). *Principles of Food Processing*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6093-7>
- Ingerdion (i.a.). *Crispy extruded snack*. <https://www.ingredion.com/apac/en-sg/solving-a-challenge/resource-library/crispy-extruded-snack.html>
- Karwe, M. V. (2009). Food Extrusion. Teoksessa G. V. Barbosa- Cánovas. (2009) *Food Engineering – Volume III* (s. 227–256). EOLSS Publications
- Keski-Saari, S., Kuittinen, S., Pappinen, R., Pappinen, A., & Keinänen, M. (2022). *Ölly- ja kuituhampun mahdollisuudet uusien hampputuotteiden raaka-aineena: Hankenumero 112972 : loppuraportti 27.4.2022*. Itä-Suomen yliopisto. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-61-4701-7>
- Laine, A. (2017). *Öllyhamppu*. Luonnonvarakeskus. <https://projects.luke.fi/futurecrops/wp-content/uploads/sites/12/2018/02/Ollyhampun-viljely.pdf>
- Leipätiedotus ry. (i.a.). *Tietoa leivästä: Kaura (Avena sativa)*. <https://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/vilja/kotimaiset-viljat/kaura.html>
- Luonnonvarakeskus (Luke). (i.a.-a). *Kaikki kaurasta – Luke tarjoaa laajan osaamisensa yritysten hyödynnettäväksi*. <https://www.luke.fi/fi/palvelut/kaikki-kaurasta-luke-tarjoaa-laajan-osaamisensa-yritysten-hyodynnettavaksi>

- Luonnonvarakeskus (Luke). (i.a.-b) *Satotilasto: Sato 1920-*. Valitut muuttajat: 2020–2023. [https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_02%20Maatalous\\_04%20Tuotanto\\_14%20Satotilasto/03\\_Vilja- ja\\_perunasato\\_1920-.px/](https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_04%20Tuotanto_14%20Satotilasto/03_Vilja- ja_perunasato_1920-.px/)
- Norokytö, N. (2013). *Öljyhamppu: opas viljelyyn ja käsittelyyn*. Turun ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-216-414-8>
- Reddy, M. K., Kuna, A., Devi, N. L., Krishnaiah, N., Kaur, C., & Nagamalleswari, Y. (2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1929–1937. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1251-0>
- Singh, R. P. & Heldman, D. R. (2014). *Introduction to food engineering* (5. p.). Elsevier.
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) (i.a.) *Fineli: Jauho, maissijauho, karkea, polentajauho*. <https://fineli.fi/fineli/fi/elintarvikkeet/29822>