

# **Ekstrudeerimis- tehnoloogia ja taimsete piimaanaloo­gide arendus**



**Mari-Liis Tammik**

**Karel Talvistu**

**Aleksei Kaleda**

**Marie Kriisa**

**Irina Stulova**

**Natalja Part**

# **Ekstrudeerimistehnoloogia ja taimsete piimaanalooogide arendus**

**Mari-Liis Tammik**

**Karel Talvistu**

**Aleksei Kaleda**

**Marie Kriisa**

**Irina Stulova**

**Natalja Part**

Autorid: Mari-Liis Tammik  
Karel Talvistu  
Aleksei Kaleda  
Marie Kriisa  
Irina Stulova  
Natalja Part

Keeletoimetaja: Terje Tammearu  
Kujundaja: Maite Kotta  
Trükk: Paper Service OÜ

Fotod: TVIK

© MTÜ Taimsete Valkude Innovatsiooniklaster ja autorid  
ISBN: 978-9916-9897-0-8

Rahastajad:  
Eesti maaelu arengukava 2014–2020 ja Euroopa Maaelu Arengu Põllumajandusfond (EAFRD)



## Sisukord

<b>TAIMSETE VALKUDE EKSTRUDEERIMISTEHNOLOGIA ARENDUS</b> .....	4
<b>Sissejuhatus</b> .....	4
Klaster .....	4
Taimsete valkude väärindamise vajalikkus .....	4
<b>Lihaanalooigid</b> .....	5
<b>Ekstrudeerimine</b> .....	5
TFTAKis kasutatav ekstruuder .....	7
<b>Toorained</b> .....	8
Omadused ja muutused ekstrudeerimisel.....	8
Katsetes kasutatud taimsed valgud ning nende sobivus lihaanalooigide ekstrudeerimiseks.....	9
<b>Lõpptoodete arendus</b> .....	13
Turuülevaade .....	13
Analoogtoodete koostis .....	15
Taimsete lihaanalooigtoodete tootmine .....	17
<b>Kokkuvõte</b> .....	20
<b>Allikad</b> .....	21
<b>FERMENTEERITUD PIIMAANALOOGIDE ARENDUS</b> .....	22
<b>Piimaanalooigid</b> .....	22
<b>Piimaanalooigide arenduses kasutatavad toorained, nende omadused ja töötlemise võimalused</b> .....	22
Tooraine .....	22
Taimsed valgud ja nende omadused .....	23
Ensümaatiline töötlus .....	24
Fermentatsioon.....	25
<b>Piimaanalooigide tootearendus TVIKi tegevuse näitel</b> .....	26
Taimsete valkude ettevalmistamine mudeltoodete arendamiseks .....	26
Taimse jogurtianalooigi arendus .....	27
Taimse jogurtianalooigi tarbijakatse .....	30
Taimse pudingu arendus .....	31
Taimse juustuanalooigi arendus.....	32
<b>Kokkuvõte</b> .....	35
<b>Allikad</b> .....	36

# TAIMSETE VALKUDE EKSTRUDEERIMISTEHNOLLOOGIA ARENDUS

Mari-Liis Tammik, Karel Talvistu, Aleksei Kaleda

## Sissejuhatus

### Klaster

MTÜ Taimsete Valkude Innovatsiooniklaster viis ajavahemikul veebruar 2019 kuni veebruar 2023 ellu koostöö- ning teadus- ja arendustegevuse projekti, mille jaoks saadi toetust „Eesti maaelu arengukava 2014–2020“ meetmest „Innovatsiooniklaster“. Klasteril oli 12 põllumajandustootjast ja põllumajandussaaduste töötlemisliiget ning kaks teadus- ja arenduspartnerit: Toidu- ja Fermentatsioonitehnoloogia Arenduskeskus (TFTAK) ning Polli Aiandusuuringute Keskus.

Klasteri tegevusvaldkonnaks oli „Eestimaise taimse valgu tootmise ja tarneahela tõhustamine“ ning tegevuse eesmärgiks valgurikaste kultuuride väärindamine ja töötlemine kõrgema lisandväärtusega toodeteks. Selleks kavandati neli tegevust:

- põllukultuuride valik ja sobivus valkude eraldamiseks (Polli);
- taimsete valkude eraldamine, kontsentreerimine ja omaduste iseloomustamine (Polli);
- taimsete valkude ekstrudeerimistehnoloogia arendus (TFTAK);
- fermenteeritud taimsete piimaanalooide tehnoloogia arendus (TFTAK).

### Taimsete valkude väärindamise vajalikkus

Taimsed valgud leiavad toiduainetööstuses kasutust nii loomsete valkude asendustoodetes kui ka funktsionaalsete komponentidena erinevate toitude koostises. Loomseid valke on tihedalt seostatatud kliimamuutuste, magevee ammendumise ja bioloogilise mitmekesisuse vähenemisega (Sá *et al.*, 2020). Maailma rahvaarv kasvab tempos, millega ületatakse 10 miljardi inimese piir aastaks 2050. Valgu tarbimine elaniku kohta kasvab

peaaegu igas riigis ja seda nii toitumisvajaduste kui ka tarbimisest saadava naudingu tõttu. ÜRO hinnangul 2050. aastaks valgunõudlus kahekordistub ja kui drastilisi muutusi ei tehta, toob see kaasa kriitilise valgupuuduse. Seetõttu on maailm tegemas tehnoloogilisi läbimurdeid, et muuta valk jätkusuutlikult hõlpsasti kättesaadavaks ka tulevastele põlvkondadele (Aimutis, 2022).

Taimsete valkude tootmine on üks kiiremini arenevat toiduainetööstuse segmente, kuna nõudlus nende järel kasvab kiiresti kogu maailmas. Taimsete valkude suurenev tarbimine on tingitud mitmest tegurist: vajadus toita kasvavat maailma rahvastikku, mure valguallikate jätkusuutlikkuse ja keskkonnamõju pärast ning tervis ja heaolu. Kuigi taimsete valkude kasutamine on paljudes traditsioonilistes köökides väga pika ajalooga, areneb ja muutub selliste toodete turg endiselt kiiresti (Tan *et al.*, 2021).

Valgud on tähtsad makrotoitained, ent valguallika toiteväärtus varieerub sõltuvalt selle biosaadavusest, seeduvusest, aminohapete profiilist, antitoidainete sisaldusest ja töötlemismõjudest märkimisväärselt (Sá *et al.*, 2020). Loomsetel valkudel on võrreldes taimsete valkudega teistsugused funktsionaalsed omadused, mille tõttu ei ole neid lihtne asendada erinevates levinud toitudes nagu juust, jogurt, kotlet või vorst. Seega on taimsete valkude füüsikalise-keemiliste ja funktsionaalsete omaduste mõistmine ülioluline, et parandada nende kasutamist toidutööstuses (Sá *et al.*, 2020).

Hetkel on kommertsiaalsete taimsete valgupulbrite tooraineks peamiselt soja, nisugluteen, hernes, põlduba ning riis. Soja- ja nisupalke on turustatud enam kui viis aastakümnet ning selle tulemusel on kujunenud põhjalikud teadmised tarbijate eelistuste ja valgu funktsionaalsuse kohta (Aimutis, 2022). Paraku on nii soja kui ka nisu

puhul tegemist allergeenidega ning kuna soja on ühtlasi külmatundlik, kasvatatakse seda soojema kliimaga piirkondades. Seega on jätkusuutlikkuse seisukohast oluline leida kodumaiseid valguallikaid, millest erinevaid lõpptooteid luua.

Antud klasteri eesmärgiks oli leida rakendusi kohalikele põllukultuuridele nagu kaer, hernes ja põlduba ning väärindada neid valke inimtoiduks. Hetkel kasvatatakse nimetatud kultuure peamiselt loomasöödaks, kuid kindlasti on Eestis võimalik väärindada taimseid materjale majanduslikult kõrgema väärtusega toodeteks. Kui näiteks kaerasööda hind on keskmiselt 0,14 eurot/kg, siis kaeravalgu kontsentraat, millest innovaatilisi taimseid tooteid valmistatakse, maksab 9–13 eurot/kg. Seega pakub tulemuslik tootearendus häid majanduslikke võimalusi.

## Lihaanalooigid

„Lihaalternatiivid“ on üsna üldine termin – see tähistab tooraineid, mis jäljendavad loomaliha tekstuuri, maitset ja välimust, ning ümberstruktureeritud tooteid, mis jäljendavad töödeldud liha, nagu burgerid, vorstid ja „lihatükid“ (Sha & Xiong, 2020).

Traditsioonilised taimsed lihaalternatiivid põhinevad mitmete sajandite vanustel retseptidel. Toiduaineid, nagu nisugluteen, sojavalk, seened, riis ja kaunviljad, maitsestatakse ning saadakse toidud, mis meenutavad liha või mereande – eelkõige toiteväärtuselt. Üks enim tuntud taimseid lihaalternatiive on tofu, toit, mis on valmistatud sojaubadest. Paraku ei ole sellised traditsioonilised lihaalternatiivid populaarsed lääne kultuuris, sest neil puuduvad liharoogadele iseloomulikud maitseomadused, mistõttu ei ole need paljudele aktsepteeritavad. Seega on vaja arendada uusi innovaatilisi tooteid, mis oleksid Eesti ja Euroopa tarbijatele vastuvõetavamad. Parimateks lihaanaloojideks peetakse tooteid, mis sarnanevad rohkem lihatoodetele ning omavad seeläbi suurimat mõju lihatarbimise vähendamisele. Traditsiooniliselt hindavad tarbijad liha puhul selle sensoorseid omadusi, unikaalset kiulist struktuuri ning mahlasust (Frank *et al.*, 2017).

Lihalaadse struktuuri andmiseks analoogtoodetele on välja töötatud erinevaid tehnoloogiaid: elektroketrus, hõõrdekamber, kuumtöötlemine ja struktuuri tekitamine hüdrokolloididega, samas peamine töötlusviis on siiski ekstrudeerimine (Dekkers *et al.*, 2018).

## Ekstrudeerimine

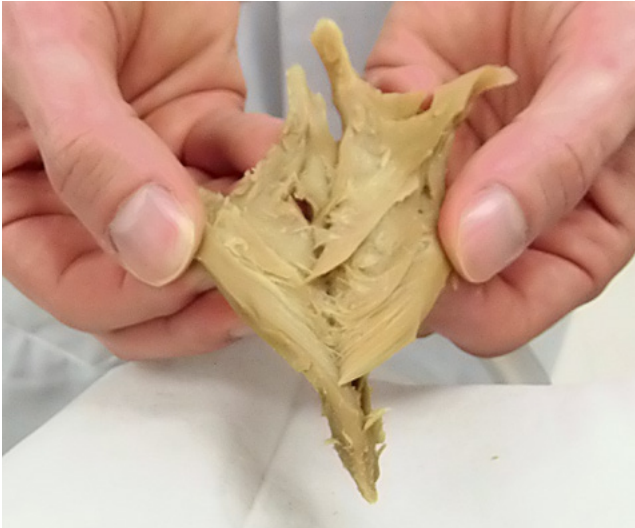
Toidu ekstrudeerimine on protsess, kus kõrge rõhu, hõõrdumise ja temperatuuri abil toimub valgu- või tärkliisirikaste kuivainesegude kiire ja intensiivne töötlemine ning küpsetamine. Ekstruuderis toimub korraga segu segamine ja edasilükkamine kruvide abil, kuumutamine ning vormimine läbi väikese ava. Lihaanaloojide ekstrudeerimine jaguneb valdavalt kaheks: kuiv- ja märgextrudeerimine.

Kuivekstrudeerimisel jääb ekstrudaadi niiskussisaldus alla 30 protsendi. Osa niiskust tuleb toorainest endast, jäädes reeglina alla 10 protsendi tooraine massist. Ülejäänud niiskus lisatakse tavaliselt pumbaga spetsiaalse pordi kaudu otse ekstruuderisse, kus vedelik seguneb pulbri ja tekib plastiline tainas. Ekstruuderi lõpus paikneb düüs, mis on oma olemuselt kitseneva ristlõikega kanal, läbi mille surutakse ekstrudaat kruvide abil välja. Düüsis väljudes satub kuum ja voolav ekstrudaat kõrge rõhuga keskkonnast normaalarõhuga keskkonda. Selle tulemusena toimub silmapilkne materjalise oleva vee aurustumine, mis seda paisutab, ning tekib poorne ja õhuline struktuur, nagu see on paljudel homimikuhelvestel ja snäkkidel, aga ka kiulistel lihaanaloojidel, mis sobivad taimsete hakktoodete valmistamiseks. Lõppstruktuur sõltub ekstrudeerimise parameetritest ja düüsi ülesehitusest. TFTAKis arendatud kuivekstrudeeritud lihaanalooigid on piklikud ja väga kiulised. Peale vees rehüdreerumist on need rebitud lihale sarnase struktuuriga (Joonis 1).

Märgextrudeerimisel on ekstrudaadi niiskussisaldus tavaliselt üle 50 protsendi. Tehnoloogiliselt on märgextrudeerimine sarnane kuivekstrudeerimisega, kuid kuum ja voolav mass väljub ekstruuderist edasi jahutustunnelisse, mis võimaldab jahutada massi alla 100 °C enne, kui see puutub kokku normaalarõhuga. Seetõttu vesi



**Joonis 1.** Herne- ja kaeravalgu segust saadud kuivekstrudaat



**Joonis 2.** Märgekstrudaat (70% hernevalk, 30% kaeravalk)

normaalrõhul enam ei aurustu ning jääb ekstrudaati. Samaaegse voolamise ja jahutamise tõttu jahutustunnelis tekivad plastilises massis pikad kiud ja kihid, mis rebides meenutavad lihafilee tükke (Joonis 2).

Lihaanalogueid puhul on oluline, et kasutatav tooraine moodustaks ekstrudeerimisel kiude, mis suudaksid imiteerida lihale omast struktuuri. See on ka üks peamisi omadusi, mida lihaanalogueid ekstrudeerimisel hinnatakse. Nagu eelnevalt mainitud, kuivekstrudeerimisel ekstrudaat

paisub vee aurustumise tõttu. See tekitab kiudude vahele suuremaid ning pisemaid auke, mistõttu on kuivekstrudaat rehüdreerides võimeline siduma palju vett nagu käsni. Veehoidmisvõime on teine tähtis omadus, mille põhjal lihaanalogueid võrrelda. Lihas on umbes 75% vett ning mahlasus on üks olulisi omadusi nii liha kui lihaanalogueid puhul. Rehüdreeritud lihaanalogueid meenutavad hakkliha, millest on võimalik arendada taimseid hakklihatooteid nagu kotletid, pihvid, vorstid jne. Samuti oleks hea, kui teksturaadi lõhna- ja maitseprofiil oleks võimalikult neutraalne, omamata taimsele toorainele iseloomulikkude lõhna ja maitset.

Ekstrudeerimise teeb keerukaks asjaolu, et see protsess sõltub mitmetest muudetavatest ja kontrollitavatest parameetritest, mis mõjutavad toote kvaliteeti. Muudetavad parameetrid on näitajad, mida operaator saab ise muuta. Need on:

- kruvide konfiguratsioon,
- kasutatava düüsiava parameetrid,
- kruvide pöörlemiskiirus,
- lisatava vee ja pulbri mahud,
- ekstrudeerimiskambri temperatuuriprofiil,
- ekstruuderil lõpus paiknevate lõikurinuude kiirus.

Kontrollitavad parameetrid on näitajad, mida operaator saab mõjutada läbi muudetavate näitajate. Need on:

- spetsiifiline mehaaniline energia (SME), mida rakendatakse läbi hõõrdumise,
- ekstrudeeritava massi temperatuuriprofiil,
- ekstrudeeritava massi kambri viibimise aeg,
- düüsile avaldatav rõhk,
- voolukiirus läbi düüsi.

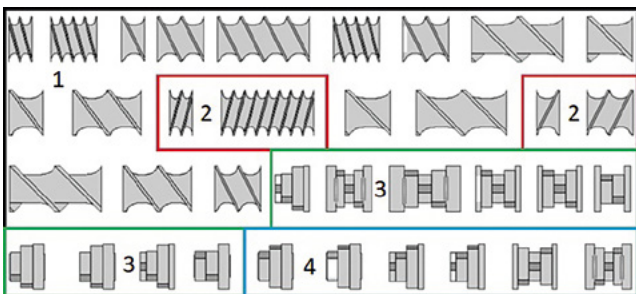
Protsessi teeb veelgi keerulisemaks see, et ülalmainitud parameetrid on omavahel seotud ning ühe muutmine mõjutab teisi. Lõpuks valitud parameetrite efekt lõpp-produktile sõltub ka tooraine koostisest ning selle füüsilistest, keemilistest ja funktsionaalsetest omadustest. Seega, enne protsessi viimist tööstuskaalale on hea teha arendustööd väikesel laboratoorsel ekstruuderil, mis võimaldab kiiresti läbi proovida erinevaid parameetreid ja optimeerida segusid väiksema materjalikuluga.

## TFTAKis kasutatav ekstruuder

Toidu- ja Fermentatsioonitehnoloogia Arenduskeskus kasutab kahe kruviga ekstruuderit Brabender KETSE 20/40 (Joonis 3). Kruvi diameeter on 20 mm ja pikkus 800 mm (P/D suhe 40 : 1). Tegu on laboriskaalal ekstruuderiga, mis võimaldab ekstrudeerida nii kuiv- kui märgestrudate. Ühtlasi on võimalik muuta kruvide konfiguratsiooni vastavalt vajadusele.



**Joonis 3.** Toidu- ja Fermentatsioonitehnoloogia Arenduskeskuses kasutatav laboratoorne ekstruuder



**Joonis 4.** Näide osadest, millega on võimalik ekstruuderi kruvisid konfiguratsioonida:

- 1 – edasiviivad kruvid,
- 2 – tagasisuruivad kruvid,
- 3 – edasiviivad töötlevad kruvid,
- 4 – tagasiviivad töötlevad kruvid

Kuivainete lisamiseks ekstruuderisse kasutatakse tigukruvi ning vedelike jaoks on eraldi pump ja port.

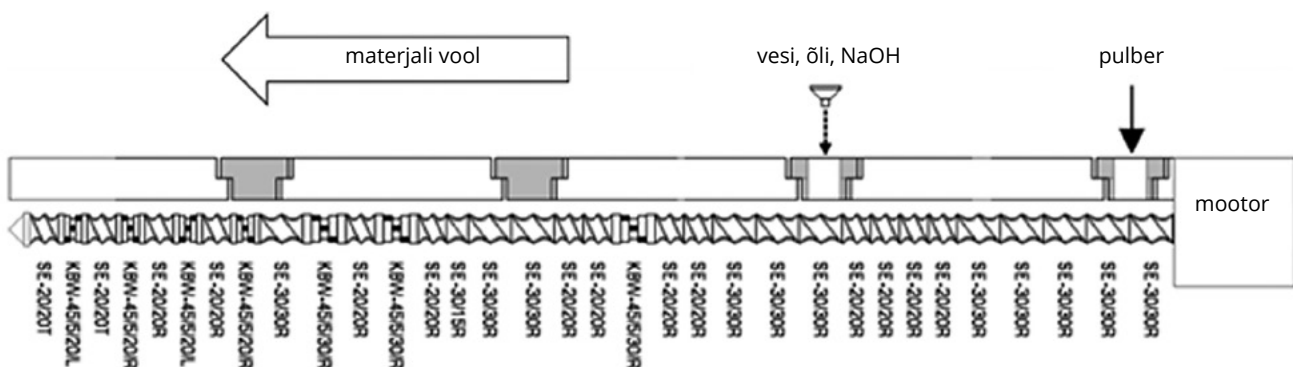
Joonisel 4 on visuaalselt näha kõik osad, millega on võimalik TFTAKi ekstruuderi kruvisid üles ehitada. Peamiselt jagunevad kruvi osad järgmiselt:

**Edasiviivad kruvid** – osad, mille ülesanne on liigutada massi edasi ekstruuderi lõpus oleva düüsi poole. Mida väiksem on kruvikeerme samm, seda rohkem surutakse massi kokku ning seda suuremat rõhku tekitatakse. Reeglina on väiksema kruvikeerme sammuga osad kõige lõpus, et tekitada võimalikult suurt rõhku enne ekstrudeeritava massi düüsi väljumist.

**Sõtkuvad kruvid** – osad, mille ülesanne on ekstruuderis olevat massi mehaaniliselt töödelda. Sellised osad on peamiselt ekstruuderi teises pooles, kus on kuumem ja kus mass on juba plastiline.

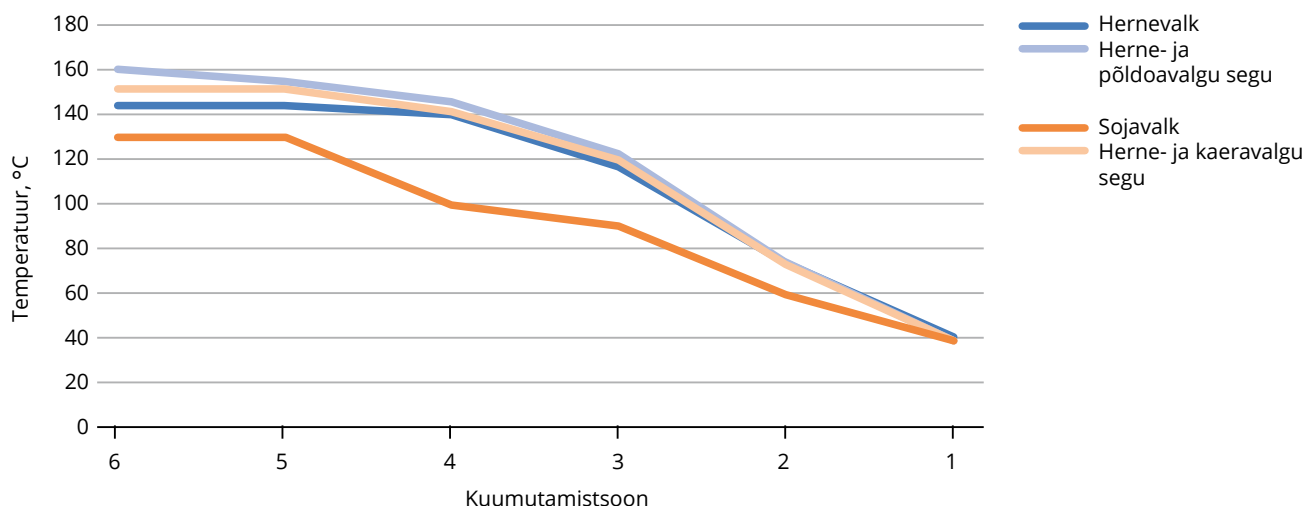
**Reeversid** – osad, mille keermed on vastasuunalised edasiviivatele kruvidele. Selliseid osasid kasutatakse massi pidurdamiseks ja tagasi surumiseks, et mass püsiks kauem ekstruuderis. See võimaldab massi rohkem töödelda.

Kruvide konfiguratsioon valitakse sõltuvalt massi niiskusesisaldusest, aga ka tooraine omadustest. Üldiselt, mida rohkem on kruvi konfiguratsioonis kasutatud sõtkuvaid kruvielemente, seda rohkem mehaanilist energiat on võimalik üle kanda ekstrudeeritavasse massi ehk suurendada hõõrdumist. Üks mitmetest kruvikonfiguratsioonidest, mida on kasutatud lihaanalogoide jahutustunneliga märgestrudeerimisel, on näidatud Joonisel 5.



**Joonis 5.** Üks kruvikonfiguratsioonidest, mida on kasutatud lihaanalogoide ekstrudeerimisel





**Joonis 6.** Temperatuuriprofiilid kuivekstrudeerimisel. Materjali vool on paremalt vasakule

TFTAKis on olemas mitmeid eri suuruse ja kujuga düüse, kuid peamiselt on kasutuses 2 ja 3 mm diameetriga ringikujulised düüsid. On oluline teada düüsi ava pindala, ava kuju ning düüsi ava sügavust, sest need näitajad määravad, millist rõhku on võimalik ekstruuderis saavutada, millise kujuga tuleb ekstrudaat, milline on massi voolavus ja kambri täituvus ning kui järsk on rõhu langus düüsi lõikes. Suurtel ekstruuderitel võib olla ka mitu ava.

Kruvikiirusest sõltub, kui kaua viibib ekstrudeeritav mass ekstruuderis, kui intensiivne on hõõrdumine ning milline on massi voolavus läbi ekstruuderi. Lisatava vee mahust ja lisamise kiirusest sõltub, milline on niiskus ekstruuderi kambri. Sellest oleneb, milline on massi viskoossus ning kui suur on hõõrdumisel ülekantav energia. Lisatava pulbri mahu ja lisamise kiiruse abil on aga võimalik reguleerida kambri täituvust ja see määrab, millised on kogu massi voolukiirus läbi ekstruuderi ning ülekantav mehaaniline energia.

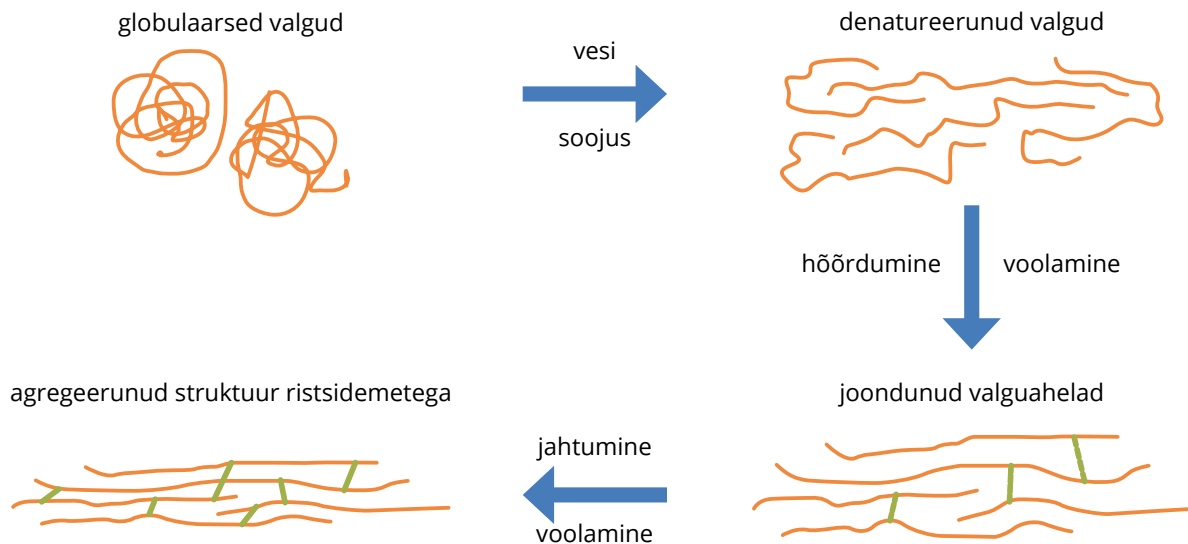
Ekstrudeerimiskambri temperatuuriprofiil mõjutab töödeldava massi temperatuuri, millest sõltuvad massi küpsemisaste ja voolavus. Siin tuleb arvesse võtta, milline on ekstrudeeritav segu, massi niiskus ning kas tegu on kuiv- või märgkstrudeerimisega. Reeglina jäädakse siiski alla 160 °C, et töödeldav mass kõrbema ei läheks. Igal valgupulbril on oma optimaalne temperatuuriprofiil (Joonis 6) ja see on seotud valgu denaturatsiooni temperatuuriga.

Kuivekstrudeerimisel on ekstruuder varustatud lõikuriga, mis paikneb vahetult pärast düüsi. Sellest, mitu tera on lõikuril ning kui kiiresti see pöörleb, sõltub, kui suur ning mis kujuga teksturaat tuleb.

## Toorained

### Omadused ja muutused ekstrudeerimisel

Taimsete lihaanaloogide peamisteks koostisaineteks on valgupulbrite kontsentratsioonid või isolaadid, mille valgusisaldus jääb vahemikku 50–90%. Ülejäänud koostisosad on tavaliselt tähtsused, kiudained ning vähesel määral ka mõned lisained ja õlid (Kyriakopoulou *et al.*, 2021). Lisatava rasva kogus peab jääma alla 6%. Kuna rasv on määrdeaine, siis selle kasutamisel suuremas kontsentratsioonis määrduvad kruvid ning kamber, mistõttu kannatab ekstrudeeritava massi töötlus ekstruuderi sees (Ganjyal, 2020). Valgusisaldus on oluline, sest valgud on lihaanaloogide puhul peamised struktuuri moodustajad. Ekstrudeerimisel lähevad molekulaarsed sidemed kõrge temperatuuri ja intensiivse hõõrdumise tõttu katki ning kerakujulised kokku pakitud valgud kaotavad oma ruumilist struktuuri (Joonis 7). Selle protsessi tagajärjel tekivad valkudel katkenud sidemed, mis on vabad moodustama uusi ristsidemeid. Valgud hakkavad omavahel



**Joonis 7.** Valkudes ekstrudeerimise käigus toimuvad muutused

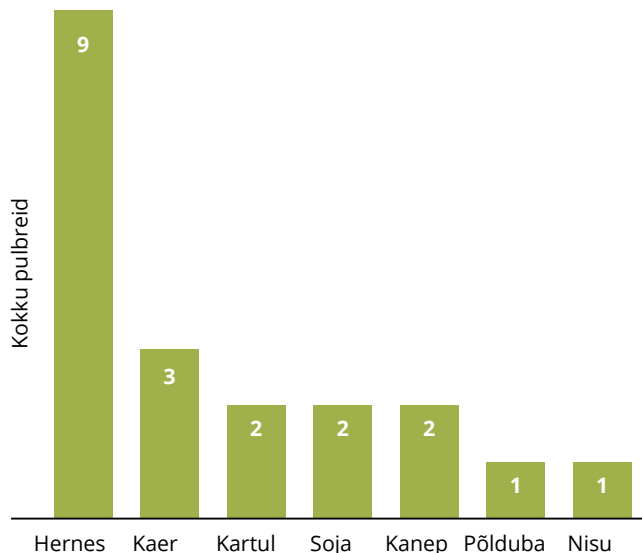
agregeeruma juba ekstrudeeri kambri sees ning tulemuseks on tihke, tugev ja ühtlane mass (Riaz, 2011). Selleks et tahkuv mass omaks kiulist struktuuri, on tooraines vaja muid komponente lisaks, nagu süsivesikuid või teistsuguste omadustega valke. Sel juhul tekib kahefaasiline süsteem, kuna teised komponendid takistavad valkude agregeerumist ühtlasesse massi ja valkude agregaadid hakkavad üksteisest eralduma, mida me näemegi kiududena (Wittek *et al.*, 2021). Seega on olemas optimaalne valgusisaldus, mille juures kiulisus on kõige suurem ning tugevus paras. TFTAKi katsetes oli see tavaliselt 60% juures. Alla 50% sisalduse puhul on valke liiga vähe, et agregeerudes struktuure moodustada, ning üle 75% valgusisaldusel on lihaanalooigid, vastupidi, liiga tugevad ja kummid.

Lihaanaloojide struktuuri moodustamisel mängivad tähtsat rolli valkude funktsionaalsed omadused, nagu vee- ja õlihoidmisvõime, lahustuvus, emulgeeritavus, vahustuvus ja geelistumisvõime. Kõik need omadused sõltuvad valguallikast ja selle keemilisest koostisest ning valkude aminohappelisest järjestusest, sekundärsetest ja kõrgema järgu struktuuridest, aga ka tehnoloogiast, mida kasutatakse konkreetse valgupulbri tootmisel. Keskkonnamuutused (pH, temperatuur, soolad) võivad muuta valgu struktuuri ja seeläbi selle omadusi (Kyriakopoulou,

Dekkers, & Goot, 2019). Katsed on näidanud, et valgud moodustavad tugevamaid struktuure kõrgemal temperatuuril ja kõrgema pH juures (Nisov *et al.*, 2022), samas soolad võivad valkude agregeerimist hoopis takistada.

### Katsetes kasutatud taimsed valgud ning nende sobivus lihaanaloojide ekstrudeerimiseks

Projekti raames ekstrudeeriti mitmeid komertsiaalseid valke, mis olid toodetud erinevatest kultuuridest ja erinevate ettevõtete poolt. Seetõttu oli vaja tihti otsida uusi parameetreid, mis oleks sobilikud konkreetse ettevõtte valgupulbrile. Lisaks võis märkimisväärseid erinevusi esineda ka sama ettevõtte valgupartide lõikes. Kuigi peamine parameeter, milleks on valgu kontsentratsioon, oli võrdlemisi stabiilne, siis spetsifikatsioonis deklareeritud valgu pH võis märgatavalt kõikuda, olles ühe komertsiaalse valgu puhul vahemikus 6–8. Juba pH muutus 0,1 võrra võib oluliselt mõjutada, kuidas toormaterjal ekstrudeeris reageerib. Katsetes kasutati tihti sidrunhappe või kaaliumhüdroksiidi lahuseid, et kompenseerida pH erinevusi. Taimsete valkude ekstrudeerimisel lähtuti eelkõige sellest, kas taimsest valgust või nende segudest on võimalik saada lihale sarnase struktuuriga teksturaate, mis oleksid sobilikud taimsete lihaanaloojide



**Joonis 8.** Katsetatud valgupulbrite allikad

arendamiseks. Kokku ekstrudeeriti 20 erinevat kommertsiaalset taimset valgukontsentraati ja -isolaati 7 erinevast toormaterjalist (Joonis 8).

Soja- ja nisuvalk on seni olnud põhilised taimsed valgud, mida on pikemat aega kasutatud lihaanalooogide valmistamiseks tänu nende väga heale ekstrudeeritavusele ning võimele moodustada lihale omaseid struktuure. Soja on ka üks vähestest taimedest, mille valk on täisväärtuslik, see tähendab, et selles on vajalikus koguses kõiki asendamatuid aminohappeid (Asgar, Fazilah, Huda, Bhat, & Karim, 2010) (Elham, *et al.*, 2019).



**Joonis 9.** Märgekstrudaadid nisugluteeni ja kaeravalgu (vasakul) ning soja- ja kanepivalgu segust (paremal)

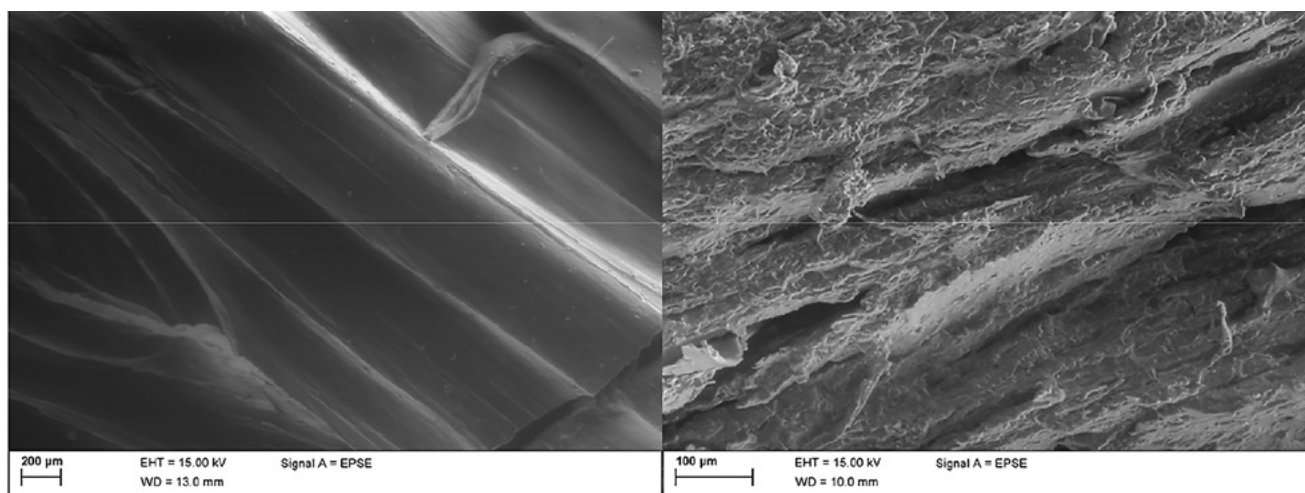
Katsed TFTAKis näitasid, et sojaisolaati on tõepoolest väga lihtne tekstureerida. Võrreldes teiste valkudega moodustab see väga tugevaid struktuure nii kuiv- kui märgekstrudeerimisel ning vajab selleks nõrgemat mehaanilist tööstlust ja madalamat temperatuuri. Sojavalgu kuivekstrudeerimisel oli vaja muuta kruvi konfiguratsioon lihtsamaks ning kasutada madalamaid kruvikii-ruseid, et vältida ületöötlemist, mis väljendub äärmiselt tugeva kummitaolise struktuurina. Sojavalk on neutraalse maitsega, samas kui teiste valkude puhul on tihtipeale probleemiks kõrvalmaitset, mida on väga raske peita ja mis piiravad kasutusvõimalusi. See valk seob ka hästi vett, mis teeb lihaanalooogid mahlasemaks. Lisaks on see neutraalse ja heleda tooniga, tänu millele on lõpp-produktile lihtsam anda soovitud värvi.

Nisugluteen moodustas väga kiulisi lihalaad-seid struktuure nii kuiv- kui ka märgekstrudeerimisel (Joonis 9). Võrreldes sojaga sidus see vähem vett, vajab kõrgemaid kruvikii-ruseid ja temperatuuri. Puudusena võib täheldada aga kõrvalmaitset, mis meenutab saia.

Soja ja nisugluteeni segud moodustasid ekstrudeerimisel kõige kiulisemaid struktuure. Neid toormaterjale kasutavad laialdaselt kommertsiaalsed lihaanalooogide tootjad, sest tekstuur on lihale väga sarnane ning maitse neutraalne.

SOJA

KAER



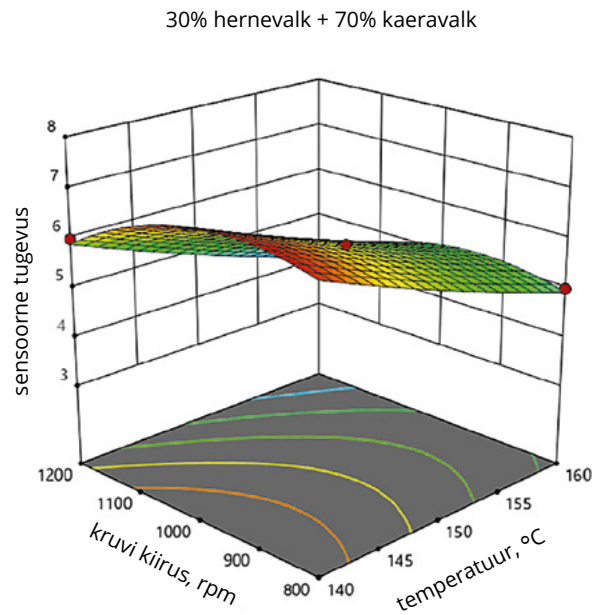
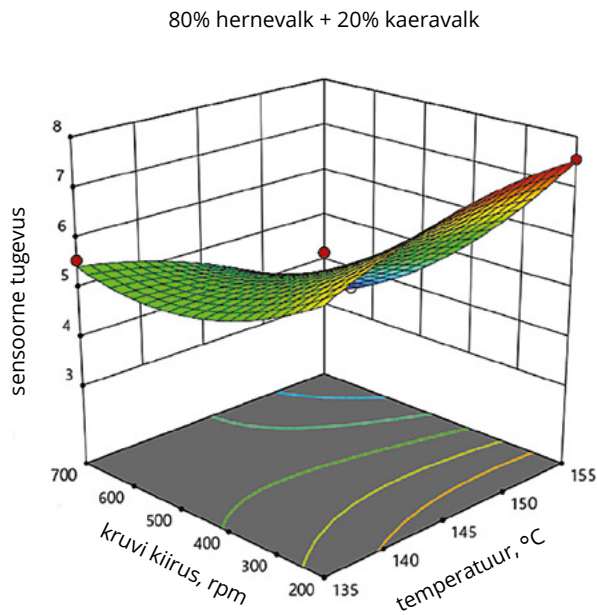
**Joonis 10.** Märgekstrudaadid elektronmikroskoobi all

Soja ja nisugluteen on allergeenid, seega on viimastel aastatel laialt levinud alternatiiviks hernevalk. Hernes sisaldab võrdlemisi palju valku, mis teeb selle eraldamise majanduslikult kasumlikuks, ning kasvab ka külmemas kliimas, sh Eestis. Katsed viidi läbi mitmete hernevalgupulbrite ja nende segudega. Kuigi valguallikas on sama, olid igal pulbril erinevad funktsionaalsed, füüsikalised-keemilised ja sensoorsed omadused. Üleüldiselt oli hernevalgust võimalik toota lihaanaloogete nii kuiv- kui ka märgekstrudeerimisega, ehkki töötamise intensiivsus ja temperatuur olid kõrgemad võrreldes soja või gluteeniga. Ekstrudaadi tugevus oli reeglina nõrgem kui sojal ja veesidumisvõime enamasti madalam, aga olid ka mõned erandid. Maitseprofiil oli selgelt hernene, täheldati ka kibedust, kootavust, metallilisust. Seega võib hernevalgu kasutamine lihaanaloogetes olla keeruline ja seda kasutades tuleks rakendada maskeerijaid toormaterjali maitse peitmiseks.

Kaeravalgupulbrite kommertsiaalne saadavus turul on väga piiratud. Nende valgusisaldus on madalam, pulber on tumedama värvitooniga ning teraviljase maitsega. Ühel kaerapulbril täheldati ka kõigist katses kasutatud valgupulbritest kõige kõrgem rasvasisaldus, mis takistab ekstrudeerimisprotsessi ja põhjustab rääsumist. Vaatamata sellele üritati katsete jooksul tekstureerida kaeravalgupulber märgekstrudeerimisega (kõrgel töötlemise intensiivsusel ja temperatuuril), aga saadud lihaanaloogete oli rabe, tihe ega

olnud kiuline (Joonis 10). Valgu veesidumisvõime oli väga madal, mille tõttu lihaanaloogete oli sensoorselt kuiv. Seega järeldati, et olemasolevaid kommertsiaalseid kaeravalke saab ekstrudeerida ainult segudes teiste valkudega.

Kaeras on olemas kõik asendamatud aminohapped, kuid jääb puudu lüsiinist (Kaleda *et al.*, 2020). Kaunviljades on aga asendamatutest aminohapetest puudu metioniinist, tsüsteiinist ja trüptofaanist (Sa, Moreno, & Carciofi, 2020). Seega oleks hernevalgu toiteväärtuse seisukohalt mõistlik ekstrudeerida koos kaeraga, mis kataks eelloetletud asendamatute aminohapete puudujäägi. Herne- ja kaeravalgu segu oleks heaks baasiks, millest ekstrudeerida taimseid lihaanaloogete. Herne- ja kaeravalgu segude kuivekstrudeerimine oli väga edukas: selle tulemusel saadi eriti kiulisi ja rebitud sealihameenutavaid tükke, mida kasutati lihalaadsete mudeltoodete arenduses. Veelgi enam: järgnevalt teostati suuremahuline teadusuuring, milles ekstrudeeriti segusid erineva kaeravalgu sisaldusega ja erinevatel krivikiirustel, temperatuuridel ja niiskusesisaldustel ning analüüsiti põhjalikult saadud lihaanaloogete füüsikalise-keemilisi, tekstuurseid ja sensoorseid omadusi. Tulemused avaldati teadusartiklina (Kaleda *et al.*, 2021). Selle katse üldine järeldus on, et lihaanaloogete omadused sõltuvad oluliselt nii toorainest kui ka ekstrudeerimise parameetritest (Joonis 11). Seega, iga retseptimuutuse puhul tuleb ekstrudeerimise protsessi uuesti optimeerida. Lihaanaloogete omadused peegeldavad



**Joonis 11.** Kuivekstrudeeritud lihaanalooži sensoorse tugevuse sõltuvus temperatuurist, krugikiirusest ja retsepti koostisest

suuresti algsete toorainete omadusi ehk siis teiste sõnadega, ekstrudeerimisparameetrite muutmise saab ainult osaliselt kompenseerida kehva tooraine kvaliteeti.

Katsetatud põldoa valgukontsentratsioon moodustas kuivekstrudeerimisel pehme tekstuuri, mis meenutas kala, märg-ekstrudeerimine aga ebaõnnestus. Sellest sai järeldada, et kuigi pulbri valgusisaldus oli 60%, mis on lähedane optimaalse valgusisaldusele, moodustab see valk agregeerudes siiski nõrgemaid struktuure. Võrreldes teiste valkudega vajab põldoavalk ka kõige kõrgemat temperatuuri. Seetõttu kasutati seda valku edaspidi peamiselt segudes, mitte puhtal kujul. Põldoavalgu kõige suuremateks puudusteks on aga äärmiselt tugev kibedus ja kootavus ning oane maitse. Kuigi tekstuur sobis hästi kalaanaloožide valmistamiseks, on vaja arendada paremaid valgupulbri tootmise tehnoloogiaid või aretada uusi põldoasorte, et sensoorsed omadused oleksid vastuvõetavamad.

Kuigi katsetatud kartulivalgupulbrid sisaldasid palju valku, lisati neid ekstrudeeritavatesse segudesse ennekõike nende hea geelustumisvõime tõttu. Puhtal kujul ekstrudeeritud kartulivalk ei moodustanud lihale omaseid struktuure.

Kanepivalk, mida saadakse kanepiõli tootmise pressijägist, moodustab nii kuiv- kui ka märg-ekstrudeerimisel sobivaid struktuure, mida on potentsiaalselt võimalik kasutada lihaanaloožide arenduses. Kuivekstrudeerimisel annab kanepiseemnevalk kalaseid aroominoote, mistõttu oleks see sobilik lähtematerjal kalaanaloožide arendusel. Märg-ekstrudeerimisel on kanepivalk võimeline moodustama nii väga tugevaid tekstuure, mis on võrreldavad sojateksturaatidega, kui ka pehmemaid tekstuure, mis on võrreldavad kanaliha või krabipulgaga. See valk seob hästi vett, mis teeb lõpptoote mahlasemaks. Siiski, kanepivalgul on üldiselt väga tugev maitse ja intensiivne lõhn, mida kirjeldati pigem ebameeldivana. Kanepivalk on roheka tooniga, mis võimendub ekstrudeerimisel veelgi, muutes kogu ekstrudaadi rohekaks (Joonis 9). See võib muuta lihaanalooži valmistamise raskemaks, sest kirjeldatud tooni võib olla raske peita. Kanepivalgu kasutamine on seega mõistlik segudes teiste valkudega, mille sensoorsed omadused ja värv on neutraalsemad.

Kokkuvõtteks: iga taimsest allikast pärit valk pole alati struktuuri moodustamiseks sobiv, kuid võib olla vajalik segukomponendina, aidates kaasa struktuuri ja toiteväärtuse parandamisele.

# Lõpptoodete arendus

## Turuülevaade

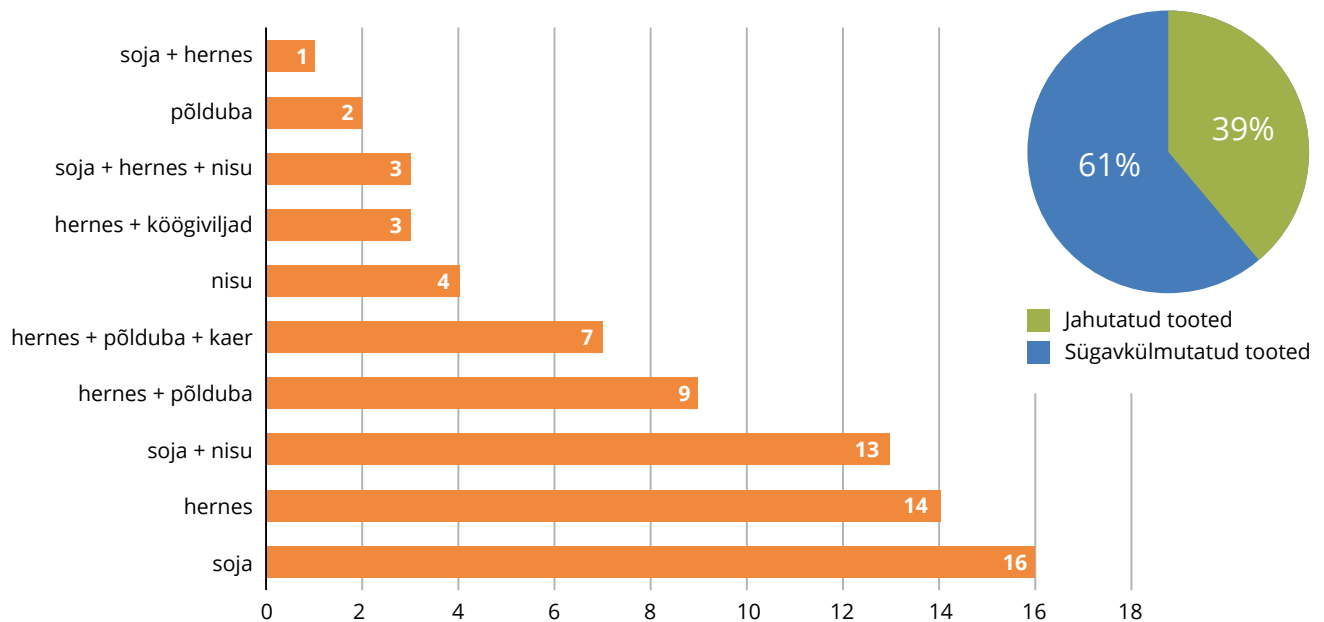
Lihaanalooigid, mis jäljendavad traditsiooniliste lihatoodete sensoorseid omadusi, koguvad valgutoitude kategoorias üha enam populaarsust. Euroopa taimse toidu sektor on viimase kahe aasta jooksul plahvatuslikult kasvanud, sest taimsed tooted on alates nende esmakordsest tutvustamisest märgatavalt paranenud ja on viimastel aastatel muutunud laiemale tarbijagrupile atraktiivsemaks (Boukid & Castellari, 2021). Teadlikkuse kasv taimse toitumise eelistest koos tõsiasjaga, et enamik suuremaid jaemüüjaid on kiiresti laiendanud oma riiulipinda ja kaubamärkide valikut uute taimsete toodetega, rõhutab sektori kasvu.

Kiire kasv toimub ülemaailmsel toiduturul nii jaekaubanduses kui ka toitlustussektoris (Bohrer, 2019). Smart Proteini projekti turu-uuringute kohaselt (*Plant-Based Foods in Europe*) kasvas turg 2,4 miljardilt eurolt 2018. aastal 3,6 miljardi euroni 2020. aastal. Suurimad turud Euroopas olid Ühendkuningriik ja Saksamaa. Ühendkuningriigi turu suurus oli 502 miljonit eurot, mis on 36% rohkem kui 2019. aastal, ja Saksamaa turu suurus 357 miljonit, mis on 76% rohkem kui 2019. aastal. Ühendkuningriigis olid populaarseimad lihaasendajad taimsed vorstid ja külmutatud

burgeripihvid ning lihalõigud, Saksamaal aga jahutatud lihaalternatiivid ning määrded. Üks paljutootavaid uuendusi selles vallas on veenva maitse ja tekstuuriga filee-tüüpi tooted, mida on võimalik toota kõrge niiskussisaldusega ekstrudeerimisel.

Taimsete valkude ekstrudeerimistehnoloogia arenduse tööpaketi osa oli välja arendada uued ning innovaatilised lõpptooted lähtuvalt tarbija eelistustest. Uurimistöö tulemusena töötati välja ekstrudeeritud kaun- ja teraviljatooted klasteri partnerettevõtetele, et hõlmata kogu „põllult taldrikule“ tootmisahelat.

Uuringut alustati turuanalüüsist, mille käigus külastati Tallinna, Helsingi ja Stockholmi suuremaid supermarketeid ning koguti kokku 72 erinevat lõpptoodet (Joonis 12). Näidiste valikul lähtuti sellest, et need sisaldaksid ekstrudeeritud taimseid valke. Kõige suuremad tootekategooriad moodustasid taimsed burgerid (28), „lihapallid“ (24) ning „hakklihatooted“ (20), millest 61% olid jahutatud ning 39% sügavkülmutatud tooted. Peamised valguallikad olid soja ning nisugluteen, kuid jõudsalt on kasvamas herne- ja põldoaivalgu kasutamine. Põhjus, miks soja ning nisugluteeni kasutamine on väga populaarne, tuleneb nende valkude funktsionaalsetest omadustest – hea veesidumis- ja geelistumisvõime ning kiulise struktuuri moodustamine ekstrudeerimisel.



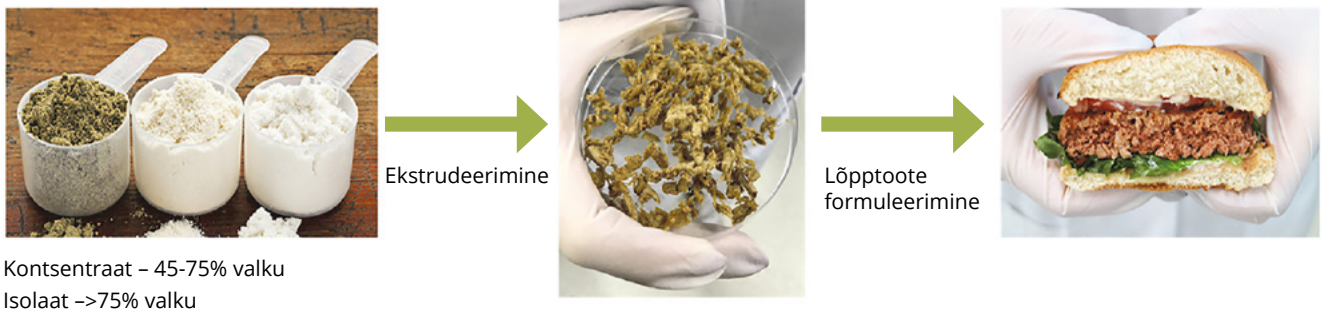
Joonis 12. Ekstrudeeritud materjali toorainete jaotus ja säilitustingimuste jaotus lõpptoodetel



Joonis 13. Taimsete toodete väljapanek Stockholmi supermarketis



Joonis 14. Taimsete toodete väljapanek Helsingi supermarketis



**Joonis 15.** Lihaanaloojide arendamise etapid

Lisaks on nimetatud valkude hind madalam kui teistel kaun- ja teraviljavalkudel. Samas otsitakse pidevalt alternatiive, sest tootjatel ja tarbijatel on üha suuremad ootused kodumaistele toorainetele.

Taimsed tooted paiknesid supermarketites erinevalt. Paljud jaeketid on eraldanud need spetsiaalselt veganseksiooni (Joonis 13), kuid oli märgata ka toodete paigutamist traditsiooniliste lihatoodete kõrvale (Joonis 14), et omnivooridki leiaksid ning prooviksid uusi ja innovaatilisi toiduaineid.

Tarbijate eelistusuuringud lääneriikides on näidanud, et lihasööjad ning lihavähendajad ehk fleksitaarlased on valmis üle minema taimsetele lihaanaloojidele, kui tooted jäljendavad liha tekstuuri ja sensoorseid omadusi ning neid saab lisada toidukorda, mis vastab tarbija ootustele (Hoek *et al.*, 2011). Sellele tarbijasegmendile keskendudes on üha enam ettevõtteid turule toonud liha meenutavaid taimseid tooteid. Peamised analoogtoodete kategooriad on hakklihatooded (burger ja hakkmass), filee-tüüpi tooted (kana- või lihatükid) ja emulsioon-tüüpi tooted (vorstid).

Hiljutised lihaanaloojide uurimis- ja arendustööd keskenduvad jätkusuutlike toodete tootmisele, mis oleksid kõrge toiteväärtuse ning sensoorsete (tekstuur, lõhn, maitse ja välimus) omadustega. Taimsete lihaanaloojide arenduse esimest etappi on kirjeldatud ekstrudeerimise peatükis – sellele järgnes lõpptoodete formuleerimine. Lihtsustatud skeem on toodud Joonisel 15.

### Analoogtoodete koostis

Kuigi kuiv- või märg ekstrudeeritud materjalid on tarbimiseks sobivad kohe peale ekstrudeerimist,

käsitletakse neid üldjuhul pooltoodetena, millest valmistatakse lõpp-produkte nagu burgerid, vorstid ja fileed.

Tüüpiline taimne lihaanaloogetoode sisaldab peale tektureeritud ja tektureerimata valgu märkimisväärses koguses vett, lõhna- ja maitseaineid, õli või rasva, sideaineid ja värvaineid. Lihaanaloojide puhul on hädavajalik mõista iga koostisosa rolli ja nende koosmõju, et arendada lõpptooteid, mida erinevad tarbijagrupid hindaksid (Kyriakopoulou *et al.*, 2019). Peamised koostisosad on toodud Tabelis 1.

Lõpptoodete arendamisel on üheks tähtsaks komponendiks ekstrudeeritud ehk tektureeritud taimne valk, sest see annab tootele kiulisuse ning näritavuse, mis traditsiooniliste taimsete toitute puhul puudub. Samas ei moodusta ühtset toodet ainuüksi ekstrudaadid. Lihaanaloojides sisalduval veel on mitu funktsiooni. Vesi toimib erinevate kuivatatud koostisosade hüdratatsioonikeskkonnana. Lisaks mõjutab vee olemasolu toidusüsteemis paljusid valkude funktsionaalseid omadusi, nagu paisumine, viskoossus, geelistumine, emulgeerimine ja vahustumine, ning biopolümeeride interaktsiooni määra. Veelgi enam, kõrgem veesisaldus võib olla soovitatav, sest see mõjutab lihaanaloojide mahlasust ja suutunnet. Soovitud veesisalduse säilitamiseks kasutatakse mitmesuguseid vett pidavate omadustega sideaineid. Lõpuks vähendab vee lisamine lõpptoote hinda. Mitte-tektureeritud valke ehk valgupulbreid lisatakse retsepti, et tõsta valgusisaldust, siduda vett või õli. Oluline on jälgida, et valgupulbritel oleksid kõrged funktsionaalsed omadused.

Lõhna- ja maitseaineid kasutatakse üldiseks toote maitsestamiseks, aga ka taimsetest kom-



**Tabel 1.** Taimsete lihaanalogoide sagedamini kasutatavad koostisosad

KOOSTISOSA	SISALDUS (%)
Vesi	50-80
Tekstureeritud ehk ekstrudeeritud materjal	10-25
Mitte-tekstureeritud valgud (kontsentraadid, isolaadid)	4-20
Lõhna- ja maitseained	3-10
Rasv/õli	10-15
Paksendajad/sidujad (kummid, kiudained, tärklised)	1-5
Värvained	0-0,5

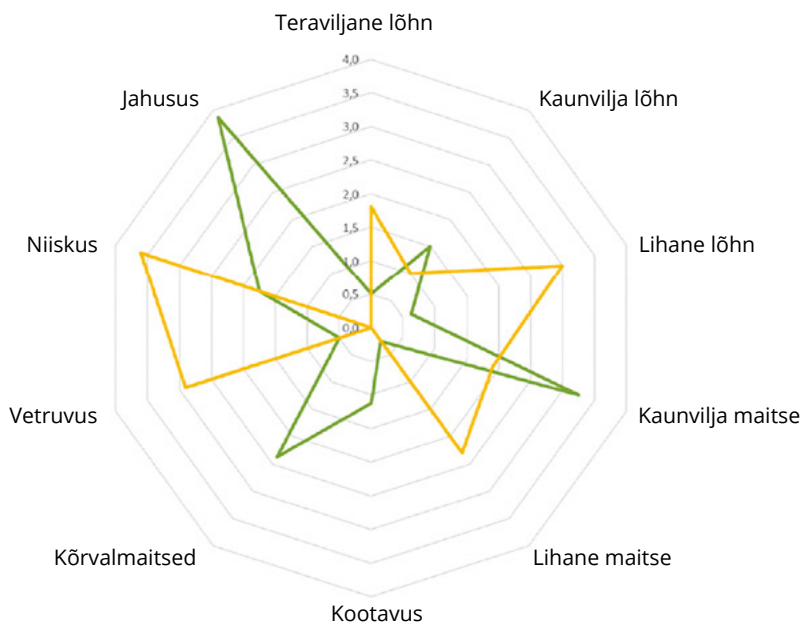
ponentidest tulenevate kõrvallõhnade ja -maitsete peitmiseks. Lisaks sellele uuritakse prekursorite kasutamist ja liha küpsetamisel tekkivaid lenduvaid komponente. Nende teadmiste põhjal on välja töötatud lihalaadsed maitseid, kasutades lähteaineid nagu redutseerivad suhkrud (ksüloos, riboos), aminohapped (tsüsteiin, metioniin), vitamiinid (tiamiin), nukleotiidid ja rauakompleksid (heemi sisaldavad valgud). Keemilised reaktsioonid, nagu Maillard'i reaktsioon, loovad suhkrutest ja aminohapetest uusi iseloomulikke maitseühendeid. Projekti vältel testiti erinevaid lõhna ja maitset parandavaid tooteid nagu fleivid ja pärmitooted, mis tõstaksid lihale sarnaseid sensoorseid parameetreid. Üksikud tooted (Biospringer, Lallemand, Givaudan) olid lihale sarnaste lõhna- ja maitseomadustega. Üldiselt kujundavad fleivid peamised lõhna ja maitse ning pärmitooted (nt pärmiekstraktid) toovad tootele kompleksust – umami ja kokumi maitse. Tootearendusel peab arvestama taimse toorme spetsiifiliste maitse- ja lõhnaomadustega ning seega on oluline valida lõhna- ja maitseained, mis peidaksid tekstureeritud materjali ebameeldivaid omadusi, tuues samal ajal tootesse lihasarnaseid noote.

Mahlast suutunnet mõjutab tootes leiduv rasv, nii vedel kui ka tahke, emulgeeritud või vaba. Paljudel juhtudel kasutatakse õige tasakaalu saavutamiseks vedelate (päevalille- või rapsiõli) ning tahkete rasvade (kookos- või palmiõli)

kombinatsiooni. Eelistatavalt on burgerikotletis olevad rasvad toatemperatuuril tahked ja muutuvad toote kuumutamisel vedelaks. See annab tootele meeldiva suutunde, mis meenutab vastavaid lihatooteid. Emulgaatoreid kasutatakse retseptuuris rasva sidumiseks.

Metüültselluloos ja teised taimsed kiud on peamised sidusained, sest loovad vee juuresolekul hüdrogeeli ehk võrgustiku ning aitavad siduda teksturaate ja teisi koostisosi. Tootes võib kasutada ka kombinatsiooni valgupulbritest ning polüsahhariididest. Nimetatud toorained aitavad tootes siduda vett ja õli ning tekitada struktuuri, mis kuumtöötlemisel ei lagune. Kõige kõrgemat sidumist on katsetes näidanud metüültselluloos, mis aga kaotab tekstuuri ja tugevust toote jahtudes. Erinevate tootjate herne-, kaera-, kartuli- ja peedikiuud ei suutnud teksturaate siduda ning andsid tootele kõrvalmaitseid. Tsitruskiu kasutamine võib üledoseerimisel muuta toote kibedaks. Psülliumi kasutamisel tekkis geeljas struktuur, mis aga võib muuta toote limaseks. Ka erinevad polüsahhariidid, nagu kappakarrageen, guar-, ksantaan- ja gellankummi, ei suuda teksturaate piisavalt siduda, samas kombineerituna metüültselluloosiga on võimalik vastavalt vajadusele toote tugevust, kohesiivsust ning mahlasust reguleerida.

Lihaanalogoide aktsepteerimise määrab suuresti nende visuaalne välimus. Pärast õige teks-



— Apetit Mustapapu  
— TFTAKi burger



**Joonis 16.** Taimsete burgerite sensoorne võrdlus

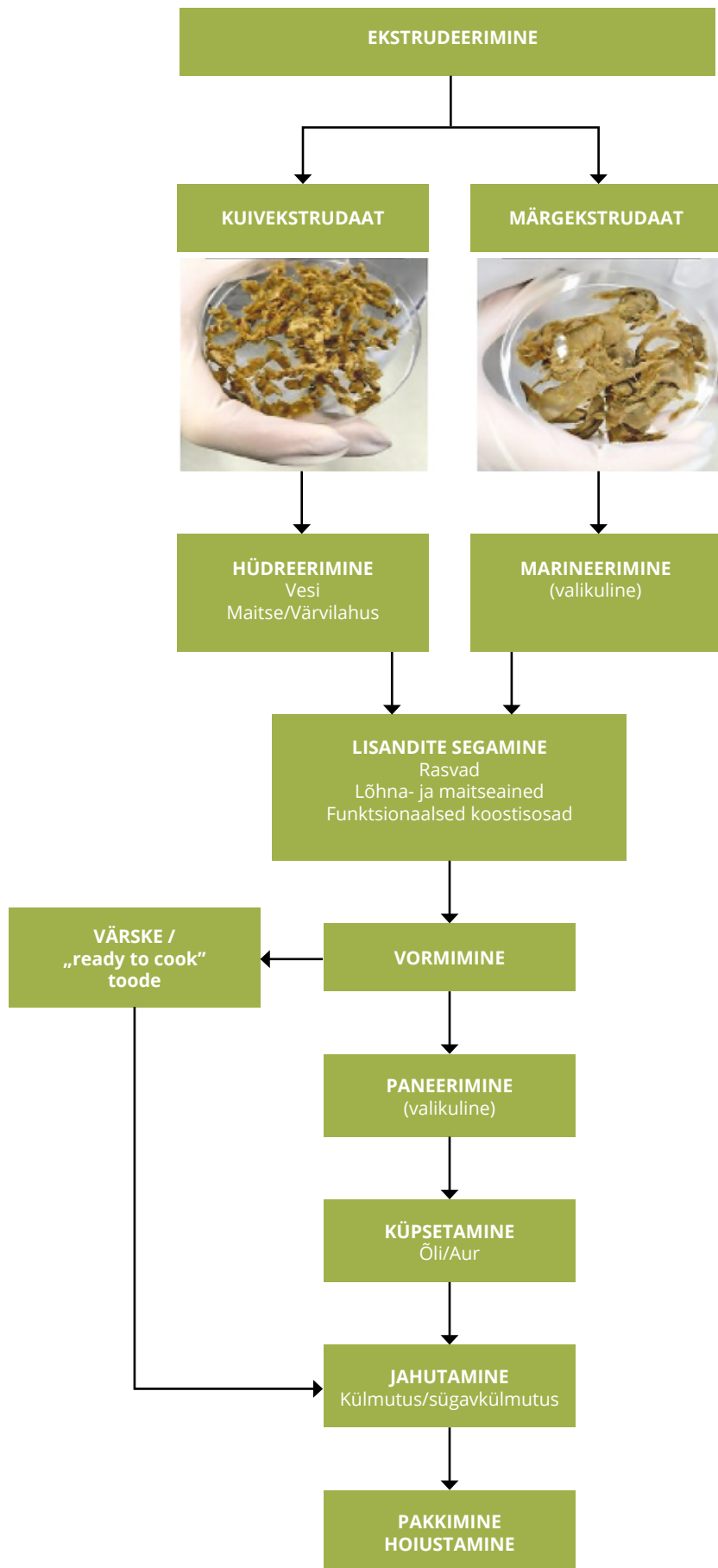
tuuri ja kuju andmist keskendutakse värvile või värvimuutustele küpsetamise ajal, et toode paremini liha meenutaks. Kõige sagedamini kasutavad taimsed valgud on beeži või kollakaspruuni värvusega. Seetõttu lisatakse koostisainete segule värvaineid: peedipulbrit, paprikat jt taimseid ekstrakte. Värvide lisamine võib toimuda struktureeriva töötlemise ajal (filee-tüüpi tooted) või lõpptoote valmistamise etapis (vorsti- ja burgeritüüpi toodete puhul). Sõltuvalt kasutusel olevast ja toote tüübist võivad värvinõuded erineda. Näiteks vorstitüüpi rakenduste puhul kasutatakse kuumakindlat punast tooni, küpsetamata analoogide puhul aga pruunistamist või esialgsete punaste toonide värvi muutmist.

Projekti jooksul hinnati sensoorselt pidevalt ka kommertsiaalseid tooteid. Sensoorse analüüsi käigus selgus, et turul olevate toodete (burger, vorst, lihapallid) tekstuur muutub pärast kuumtöötlust pannil või ahjus tihti pehmeks ning tooted lagunevad lõikamisel. Tihti on toodetel tugevad taimse toorme kõrvalõhnad ja -maitset või on neile fleivide üledoseerimise tõttu tekkinud ebameeldiv järelmaitse. Projekti jooksul võrreldi burgeri mudeltoodet jaekaubanduses müüdavate toodetega (Joonis 16) ning sensoorse paneeli hinnangul oli Apetiti põldoavalgust burger tuge-

va kõrvalmaitsega, jahune ning kootav, samas TFTAKi prototüüp oli mahlasem, vetruvam ning enam lihasarnase profiiliga.

### Taimsete lihaanaloogtoodete tootmine

Taimseid lihaanalooge toodetakse (Joonis 17) peamiselt kas kuiv- või märggekstrudaatidest. Nende kahe materjali suurimad erinevused on niiskussalduses ning materjali tükisuurus. Kuivekstrudaadi puhul on oluline see eelnevalt hüdreerida, milleks kasutatakse nii vett kui ka maitse- ja värvilahust, et ekstrudaat võtaks pundumise jooksul maitset või värvi sisse. Märggekstrudaadi puhul pole eelnev hüdreerimine vajalik, kuid materjali võib pikemalt marineerida, et lõpptoode oleks maitserikkam. Seejärel viiakse ekstrudaadid segajasse (näiteks kutter) ning lisatakse rasvad, täiendavad maitsekomponendid ja funktsionaalsed lisaained (emulgaatorid, hüdrokolloidid, kiudained), et parandada massi vormimist, lõpptoote sensoorseid omadusi ning säilivust. Peale seda etappi mass jahutatakse, et saavutada vormitavuseks vajalik optimaalne viskoossus, ning kasutades spetsiaalseid vorme, antakse tootele soovitud kuju (lihapall, burger, nagits). Kui soovitakse, et toode küpsetab lõpptarbija, on tegemist



Joonis 17. Lihaanalogueid tootmisskeem

värske ehk *ready to cook* tootega ning vormitud mass külmutatakse või sügavkülmutatakse ja lõpuks pakendatakse. Tooted, mis on mõeldud ülessoojendamiseks ning nõuavad tarbija poolt minimaalset ettevalmistust, on võimalik paneerida – sel juhul kaetakse toode sobiva paneerimisseguga ning see läbib küpsetamise etapi (õlivann ja/või auruahi). Säilivusaja pikendamiseks võivad vajadusel järgneda termilised või mittetermilised protsessid (kuumpastöriseerimine, kõrgsurvetöötlus, antimikroobsete ainete lisamine). Järgneb massi jahutamine, sest temperatuuri alandamisega toimub mikroorganismide kasvu

pärssimine, et pikendada lõpptoote säilivusaega. Seejärel saavad tootjad otsustada – võttes arvesse säilivusaja nõudeid, toote kasutusviisi ja paigutamist jaemüügis –, kas toode tuleks ka külmutada või sügavkülmutada.

TVIKi projekti raames arendati välja hakkmassi ja burgeri mudeltoote retseptuur (Joonis 18), mille koostisosad ning toiteväärtus on järgnevad:

**Koostisosad:** tekstureeritud taimne valk (70% hernes / 30% kaer), vesi, kookosrasv, päevalilleõli, metüülselluloos, sool, lõhna- ja maitseained, peedipulber, õunaekstrakt.

	TOITEVÄÄRTUS								
	Energia, kj	Energia, kcal	Rasv	Küllastunud rasvhapped	Süsi-vesikud	Suhkrud	Kiudained	Valk	Sool
TFTAKi burger	916	219	13	6	9	2	3	18	1
Veiselihapihv	979	234	18,2	8,5	5,1	0,2	0	12,4	1,4



**Joonis 18.** TVIKi raames väljaarendatud herne- ja kaeravalkudest prototüübid: hakkmass (vasakul) ja burger (paremal)

## Kokkuvõte

TVIKi projekti ekstrudeerimise osa raames uuriti lihaanalogue tootmise tehnoloogiaid (kuiv- ja märgextrudeerimine) ning valmistati erinevatest taimsetest valgupulbritest lihaanalooge. Kokkuvõtteks võib öelda, et taimsetel valgupulbritel on väga erinev toitaineline koostis ning funktsionaalsed, füüsikalised-keemilised ja sensoorsed omadused, mis sõltuvad toorainest ja pulbri tootmise tehnoloogiast. Need omadused määravad ära, kas konkreetsest pulbrist on võimalik valmistada lihaanalooge või mitte. Üldiselt on kõige paremaks tooraineks siamaani olnud soja ning alternatiivsetel valkudel ilmnevad tavaliselt mingisugused puudused, mis mingil määral piiravad nende kasutusala. Heaks lahenduseks on osutunud erinevate taimsete valkude kombineerimine. Projekti raames uuritud herne- ja kaeravalgu segust kuivekstrudeeritud teksturaadid olid kõrge toitainelise väärtusega ja väga hea struktuuriga

ning meenutasid rebitud sealiha. Põhjalik ekstrudeerimisprotsessi optimeerimine näitas ka, et teksturaatide füüsikalisi ja sensoorseid omadusi on võimalik oluliselt mõjutada ekstruuderi parameetrite muutmisega, aga kahjuks täielikult kompenseerida tooraine puudusi ei saa.

Seega, edasised ekstrudeerimistehnoloogia uuringud võib fookustada lihaanalogue tootmisele erinevatest taimsete valkude segudest ja lisaiinetest. Kindlasti on vaja jätkata toormaterjali töötlemise tehnoloogiate arendamisega ja uute valgupulbrite ekstrudeerimisomaduste määramisega. Kõik ekstrudeerimiskatsed projekti raames olid teostatud väikesel laboratoorsel ekstruuderil. Üks suuremahuline tootmiskatse aga näitas, et väikesel masinal leitud parameetrid ei sobinud suurel ekstruuderil kasutamiseks ja saadud teksturaat oli märkimisväärselt teistsugune. Seepärast vajab tähelepanu ka lihaanalogue tootmistehnoloogia skaleerimine.

## Allikad

- Aimutis, W. R. (2022). Plant-Based Proteins: The Good, Bad, and Ugly. <https://doi.org/10.1146/Annurev-Food-092221-041723>, 13(1), 11–12. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-FOOD-092221-041723>.
- Bohrer, B. M. (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. In *Food Science and Human Wellness* (Vol. 8, Issue 4, pp. 320–329). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006>.
- Boukid, F., & Castellari, M. (2021). Veggie burgers in the EU market: a nutritional challenge? *European Food Research and Technology*, 247(10), 2445–2453. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03808-9>.
- Dekkers, B. L., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2018). Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>.
- FAO Expert Consultation. (2011). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. In *FAO Food and Nutrition*. [http://www.nutrinfo.com/biblioteca/libros\\_digitales/fao\\_protein\\_quality.pdf](http://www.nutrinfo.com/biblioteca/libros_digitales/fao_protein_quality.pdf).
- Frank, D., Oytam, Y., & Hughes, J. (2017). Sensory Perceptions and New Consumer Attitudes to Meat. In *New Aspects of Meat Quality* (pp. 667–698). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100593-4.00028-x>.
- Ganjyal, G. (2020). *Extrusion Cooking: Cereal Grains Processing*. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S20200021481>.
- Hoek, A. C., Luning, P. A., Weijzen, P., Engels, W., Kok, F. J., & de Graaf, C. (2011). Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person- and product-related factors in consumer acceptance. *Appetite*, 56(3), 662–673. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.02.001>.
- Kaleda, A., Talvistu, K., Tamm, M., Viirma, M., Rosend, J., Tanilas, K., Kriisa, M., Part, N., & Tammik, M.-L. (2020). Impact of Fermentation and Phytase Treatment of Pea-Oat Protein Blend on Physicochemical, Sensory, and Nutritional Properties of Extruded Meat Analogs. *Foods*, 9(8), 1059. <https://doi.org/10.3390/foods9081059>.
- Kaleda, A., Talvistu, K., Vaikma, H., Tammik, M., Rosenvald, S., & Vilu, R. (2021). Physicochemical, textural, and sensorial properties of fibrous meat analogs from oat-pea protein blends extruded at different moistures, temperatures, and screw speeds. *Future Foods*, 4(September), 100092. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100092>.
- Kyriakopoulou, K., Dekkers, B., & van der Goot, A. J. (2019). Plant-Based Meat Analogues. In *Sustainable Meat Production and Processing* (pp. 103–126). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814874-7.00006-7>.
- Kyriakopoulou, K., Keppler, J. K., & van der Goot, A. J. (2021). Functionality of Ingredients and Additives in Plant-Based Meat Analogues. *Foods*, 10(3), 600. <https://doi.org/10.3390/foods10030600>.
- Nisov, A., Nikinmaa, M., Nordlund, E., & Sozer, N. (2022). Effect of pH and temperature on fibrous structure formation of plant proteins during high-moisture extrusion processing. *Food Research International*, 111089. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111089>.
- Riaz, M. N. (2011). Texturized vegetable proteins. In *Handbook of Food Proteins* (pp. 395–418). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857093639.395>.
- Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science and Technology*, 97(December 2019), 170–184. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.011>.
- Sha, L., & Xiong, Y. L. (2020). Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 102(June), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.022>.
- Tan, M., Nawaz, M. A., & Buckow, R. (2021). Functional and food application of plant proteins – a review. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1955918>. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1955918>.
- Wittek, P., Zeiler, N., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). High moisture extrusion of soy protein: Investigations on the formation of anisotropic product structure. *Foods*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010102>.

# FERMENTEERITUD PIIMAANALOOGIDE ARENDUS

Marie Kriisa, Irina Stulova, Natalja Part

## Piimaanalooigid

Piimaanalooigid ehk taimsed alternatiivid piimatoodetele on tootegrupp, mille järele nõudlus tarbijate seas, sarnaselt lihaanalooigidele, üha kasvab. Põhjuseks võib tuua tarbijate terviseteadlikkuse, talumatuse teatud toidukomponentide suhtes (nt laktoos või kaseiin), maitse-eelistused, toidutootmise keskkonnamõju ning eetilised vaated. Lisaks võivad taimsed piimaalternatiivid olla heaks valgu-, kiudainete, vitamiinide ja mineraalide allikaks, neis toodetes on madalam küllastunud rasvhapete sisaldus ning puudub kolesterool (Pua *et al.*, 2022). Eesti rahvastiku 2014. aasta toitumisuuring (Tervise Arengu Instituut, 2020) näitas, et Eesti inimesed tarbivad liiga vähe kaunvilju ja seemneid, mis on kasulike rasvhapete ja mineraalainete allikaks. Seega on oluline leida alternatiive, mis aitaksid vähendada liigset loomsete toiduainete tarbimist ning tasakaalustada toitumist taimset päritolu toodetega.

Selleks et harjumuspärastele toiduainetele tervislikumaid asendusi välja töötada, on vajalik leida toorained, mis võimaldaksid jäljendada traditsiooniliste toodete omadusi. Turul on saadaval hulgaliselt soja baasil valmistatud piimaanalooige, ent tarbija soovib nende asemel näha kohalikest põllukultuuridest tooteid, mille päritolu on teada ning mille tarbimisel toetatakse just kohalikku põllumajandust. Ka tootjad on huvitatud uuenduslike taimsete toodete turule toomisest, ent neil puudub võimekus arendada retseptuuri, optimeerida olemasolevat tehnoloogiat või valida täiendavaid seadmeid, aga ka hinnata toodete tervislikkust ning vastuvõetavust tarbijate poolt. Lisaks on probleemiks kohaliku tooraine kättesaadavus. Kuigi Eestis kasvatatakse kõrge toiteväärtusega kaun- ja teravilju, puudub hetkel võimekus neid piisavas koguses töödelda, et tagada tootjatele kvaliteetse taimse valgu kätte-

saadavus. Seega oli uurimistöo eesmärgiks välja töötada kaun- ja teraviljapõhised alternatiivid piimatoodetele, mis hõlmaksid kogu „põllult taldrikule“ tootmisahelat.

## Piimaanalooigide arenduses kasutatavad toorained, nende omadused ja töötlemise võimalused

### Tooraine

Kõige sagedamini kasutatakse taimsete piimaanalooigide valmistamisel kaun- või teravilju, pähkleid, seemneid või mugulaid (Joonis 1). Toormaterjale valitakse valgu- ja rasvasisalduse järgi ning siin on tähtis roll nii lõpptoote toiteväärtusel, tekstuuril kui ka sensorsetel omadustel (Montemurro *et al.*, 2021). Toormaterjalil olevatel valkudel on oluline mõju nii toote veehoidmis- ja geelistumisvõimele kui ka lahuse stabiilsusele, samas kui rasvad mõjutavad mh lõpptoote suutunnet (Pua *et al.*, 2022). Üks võimalus on valmistada valitud toormaterjalist n-ö joogibaas – segu, mis koosneb peamiselt valkudest, süsivesikutest, rasvadest ja kiudainetest. Selliste toodete valgusisaldus on aga sageli väga madal: sõltuvalt toormaterjalist keskmiselt 1–3% (Angelino *et al.*, 2020). Valmistatud joogibaasi on võimalik kasutada edasises tootearenduses (nt fermenteerida), kuid selleks, et saavutada parema tekstuuri ja kvaliteediga tooteid, tuleb lisada paksendajaid (erinevaid polüsahhariide) või kasutada kõrgema valgusisaldusega materjale ehk taimseid valgupulbreid, mis ühtlasi aitavad saavutada parema toiteväärtusega lõpptooteid (McClements & Grossmann, 2021).



**Joonis 1.** Taimsed joogid ja erinevad toormaterjalid (hernes, kaer ja põlduba)

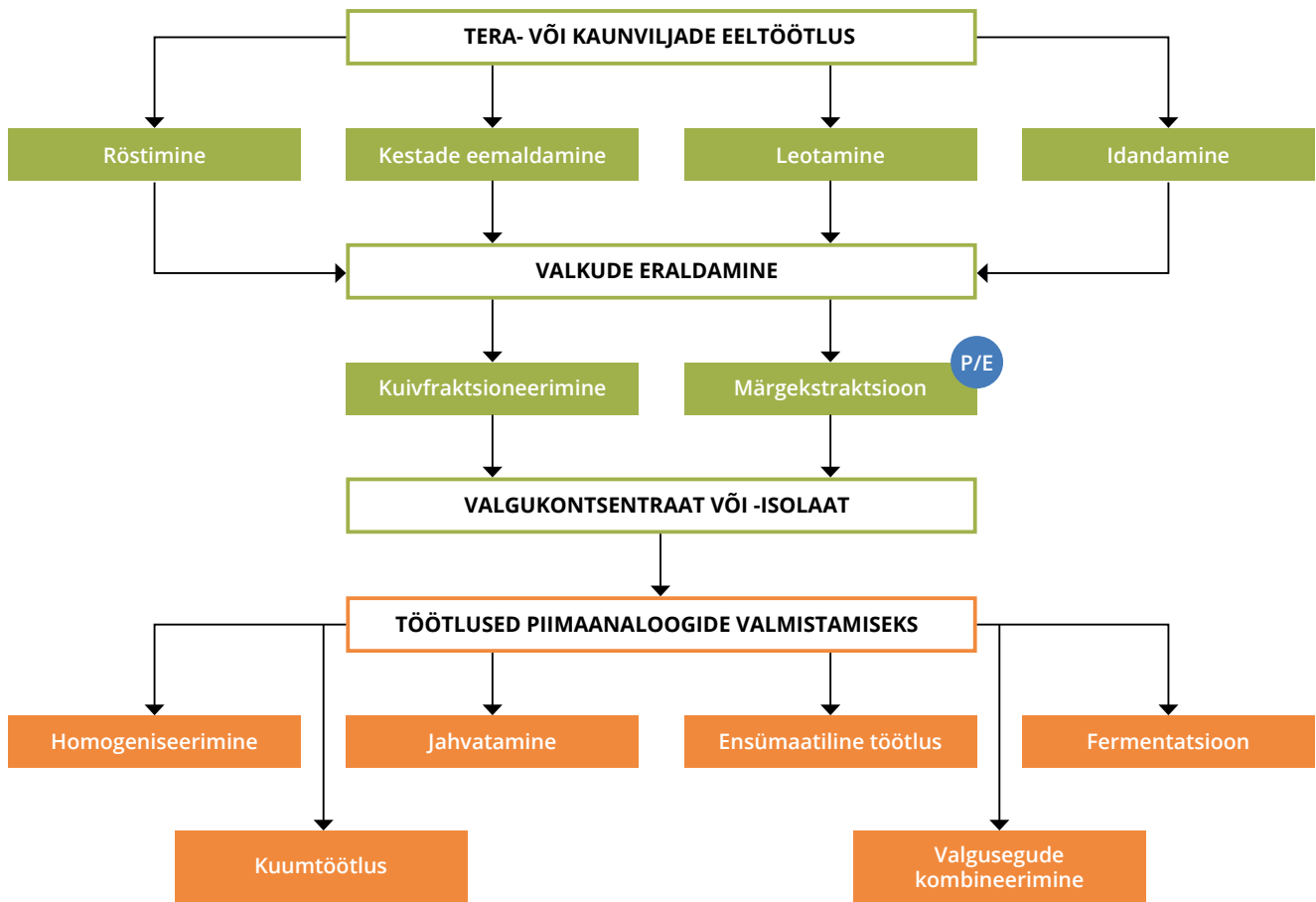
### Taimsed valgud ja nende omadused

Taimseid valgupulbreid saadakse valkude eraldamisel nt tera- või kaunviljadest, kasutades erinevaid tehnoloogilisi võtteid. Valke on võimalik kontsentreerida terade jahvatamisel ja sõelumisel (kuivfraksioneerimine) või kasutades ekstraktsiooni vesilahustes (märkekstraktsioon) (Joonis 2) (Pua *et al.*, 2022; Sim *et al.*, 2021). Vastavalt eraldamise meetodile ning valgusisaldusele pulbris saab eristada valgukontsentraate (valgusisaldus 50–60%) ja -isolaate (valgusisaldus >80%) (Sim *et al.*, 2021). Kuivfraksioneerimisel saavutatakse tavaliselt paremate funktsionaalsete omadustega pulbrid, kuid sageli on neil madalam valgusisaldus ja toorainele iseloomulikud sensoorsed omadused (kibedus, kootavus, tera- või kaunviljasus), mida lõpptoodetes ei soovita (Rivera *et al.*, 2022). Märgekstraktsiooniga toodetud pulbrite puhul saavutatakse kõrgema puhtusastmega pulbrid, kuid kasutatavate ekstraktsiooni-tingimuste (pH, temperatuur) tõttu võib toimuda valkude ulatuslik denaturatsioon ja agregeerumine, mis mõjutab märkimisväärselt valkude eda-

sisi omadusi, nagu lahustumine, geelistumine, emulsiooni stabiilsus, ning seega ka lõpptoodete tekstuurile (Pua *et al.*, 2022; Rivera *et al.*, 2022).

Sobivate omadustega valgupulber on lõpptoodete valmistamisel kriitilise tähtsusega. Piimaanalöogide (jogurti-, kohupiima- või juustuanalöog) arendamisel on oluline kasutada valgupulbreid, mis on eelkõige kergesti **vees lahustuvad**, sellele järgnevad teised funktsionaalsed omadused, nagu geelistumise, vahustumise, emulgeerimise ning vee- ja õlisidumise võime (Sim *et al.*, 2021). Madalam funktsionaalsus on tingitud taimses esinevate valkude koostisest ja omadustest, aga ka sellest, kuidas valk on taimsest maatriksist eraldatud ja töödeldud. Samuti on oluline kasutatava valgupulbri **osakeste suurus** ning selle mõju lõpptoodete kvaliteedile – tekstuurile, teralisusele või jahususele ning stabiilsusele (Engelen *et al.*, 2005). Lisaks põhjustavad mittelahustuvad osakesed edasist agregeerumist ja sadestumist toote säilitamise ajal. Samuti tuleb valgupulbri valikul arvesse võtta selle **sensoorseid omadusi**





P/E – pH või ensümaatiline töötlus

**Joonis 2.** Ülevaade erinevatest taimsete valkude eraldamise võimalustest ning nende töötlemisest piimaanalogue valmistamiseks (Pua *et al.*, 2022; Sim *et al.*, 2021)

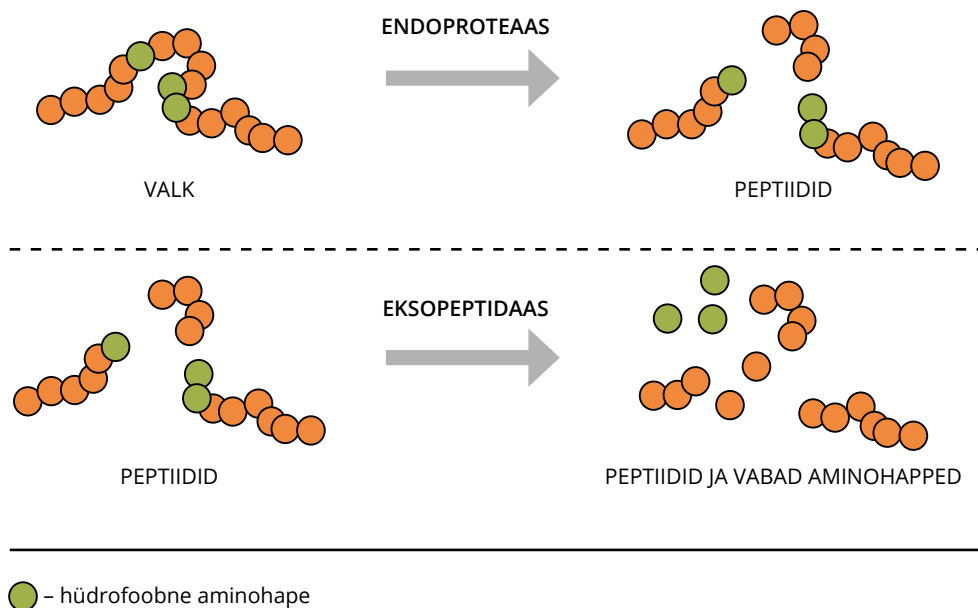
ning kas pulber võimaldab arendada neutraalse maitsega lõpptootet.

Selleks et suurendada piimaanalogue kvaliteeti ja tarbijaskonda, on olulised hoolikas tooraine valik ja sobivate tehnoloogiliste võtete kasutamine nii toormaterjali töötlemisel kui ka lõpptootet arendamisel. Erinevate toormaterjali eeltöötlemise võtetega (Joonis 2), nagu röstimine, leotamine, idandamine või kestade eemaldamine, on võimalik vähendada toormaterjalist tulenevaid kõrvallõhnu ja -maitseid ning vähendada antitootainete sisaldust lõpptootes (Ferawati *et al.*, 2019; Rivera *et al.*, 2022). Pärast märg- või kuivfraksioneerimist on võimalik nii valkude kui ka teiste tootes oluliste komponentide (nt süsivesikud, rasvad, kiudained) funktsionaalsuse ja sensorsete omaduste parandamiseks kasutada nt homogeniseerimist erinevatel rõhkudel, kuumu-

tamist või jahu peenestamist erinevate võtetega (Pua *et al.*, 2022). Tähelepanu tuleb pöörata ka taimse toormaterjali ja valkude segude valmistamisele ja kombineerimisele nii, et lisaks tekstuurile ja sensorsetele omadustele saaks parandada ka arendatavate toodete toiteväärtust (Sim *et al.*, 2021). Samuti kasutatakse tootearenduses sageli algmaterjalide ensümaatilist töötlust või fermenteerimist, mis aitavad veelgi parandada lõpptootete kvaliteeti ja vastuvõetavust.

### Ensümaatiline töötlus

Taimsete materjalide töötlemine ensümaatiliselt on kasulik moodus parandamiseks nii valkude funktsionaalsust kui ka neist valmistatavate lahuste omadusi. Üheks võimaluseks valkude omaduste muutmiseks on kasutada valkude hüdroolüüsi proteaaside abil. Olenevalt hüdroolüüsi



**Joonis 3.** Valkude hüdrolüüsimine kasutades endoproteaase või eksopeptidaase (Novozymes, 2013)

intensiivsusest tekitatakse lahusesse erineva suurusega valgufragmente ning seega on võimalik parandada nii valkude lahustuvust kui ka emulsioonide stabiilsust (Opazo-Navarrete *et al.*, 2022). Kasutades sobivaid proteaase, on võimalik valmistada erineva pikkusega peptiidide ja aminohapete segusid (Joonis 3). Katsed näitavad, et kaeravalgu isolaadi hüdrolüüsisel trüpsiiniga paraneb oluliselt kaeravalgu lahustuvus pH 4–7 juures ning emulgeerimisvõime (Brückner-Gühmann *et al.*, 2018). Proteaaside kasutamise puhul on aga oluline jälgida valkude hüdrolüüsiastet, et vältida liigset hüdrolüüsi, mis võib põhjustada valgupulbri maitseomaduste halvenemist ning kibeda kõrvalmaitse teket (Spaen & Silva, 2021).

Lisaks on taimsed materjalid tihti tärgliserikad (Rasane *et al.*, 2015; Shanthakumar *et al.*, 2020). Lahuste viskoossuse ja maitseomaduste parandamiseks kasutatakse sageli amülolüütilisi ensüüme või teisi karbohüdraase. Selle tulemusel veeldatakse suspensioone, takistatakse lahustumatu tärglise sadestumist ning stabiliseeritakse lahuseid. Samuti on võimalik reguleerida valkude vabastamist algmaterjalist ning sellega suurendada lõpptoote valgusisaldust ja toiteväärtust (Liu *et al.*, 2008). Lisaks on võimalik tärg-

lise hüdrolüüsil reguleerida toodetele lisatava suhkru sisaldust ning lõpptoote maitseomadusi. Suurendades tärglise hüdrolüüsil vabanevate suhkrute osakaalu, tõstetakse toote magusust ning see võimaldab peita toormaterjalist tulenevat iseloomulikku maitset.

Toormaterjalide valikul tuleb jälgida ka anti-toitainete sisaldust. Antitoitained, nagu näiteks fütaadid, moodustavad mittelahustuvaid komplekse nii valkude kui ka mineraalidega (kaltsium, tsink, magneesium ja raud), takistades nende omastatavust toidust (Wang & Guo, 2021). Seega, kasutades vastavaid ensüüme, fütaase, on võimalik antitoitaineid efektiivselt lagundada ja saavutada materjali sobiv kvaliteet lõpptoote arendamiseks.

## Fermentatsioon

Traditsiooniliselt on fermentatsiooni kasutatud toodete toiteväärtuse, sensoorse profiili ja säileaja suurendamise eesmärgil. Fermenteeritud piimatoodetes toimuvad protsessid (proteolüüs, süsivesikute tarbimine, hapete moodustumine) on hästi kirjeldatud (Harper *et al.*, 2022). Kuidas viia aga samu protsesse läbi taimsete materjalidega, et saavutada piimatoodetele sarnase

maitse ja tekstuuriga toode, on vähem uuritud ja iseloomustatud.

Tüüpiliselt kasutatakse jogurtite valmistamiseks kahe sümbiootilise bakterikultuuri, *Lactobacillus bulgaricus*'e ja *Streptococcus thermophilus*'e segu ning piima fermenteeritakse vähemalt pH 4,5-ni, millele vastab piimhappesisaldus ~0,8% (Aryana & Olson, 2017). Bakterite perekonnad, mida tavaliselt loetakse piimhappetegurite hulka, on *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* ja *Weissella*. Sageli peetakse piimhappeteguriteks ka *Bifidobacterium*'i perekonda, sest neil on mitmeid sarnaseid omadusi piimhappeteguritega (Axelsson, 2004).

Taimsete piimaalternatiivide õige happesuse, lõhna ja tasakaalustatud maitseprofili loomiseks on vajalik valida õiged juuretisbakterid, mis on võimelised kasvama ja domineerima taimse keskkonna mikroflooras (Mäkinen *et al.*, 2016). Fermentatsiooni käigus tekkivate ensüümide abil on võimalik lagundada valke peptiidideks ja aminohapeteks, mis on maitse- ja aroomiühendite moodustumise aluseks; suhkrutest on aga võimalik toota eksopolüsahhariide, mis parandavad fermenteeritud toodete tekstuuri (Korcz & Varga, 2021; Pua *et al.*, 2022). Lisaks aitab fermenteerimine kaasa toitainete seeditavuse ja biosaadavuse parandamisele, vähendades toodetes nt antitoidainete (fütaaside) sisaldust (Wang & Guo, 2021). Samuti aitab fermenteerimine kaasa toodete säilivusaja pikendamisele, võimaldades toota orgaanilisi happeid, mis loovad teistele mikroorganismidele ebasoodsa kasvukeskkonna (Harper *et al.*, 2022).

## Piimaanaloojide tootearendus TVIKi tegevuse näitel

Käesoleva projekti eesmärgiks oli arendada välja taimsete jogurti-, pudingu- ja juustuanaloojide mudeltooted (Joonis 4) ning hinnata erinevate toorainete ja tehnoloogiliste etappide mõju arendatavatele toodetele.



**Joonis 4.** TVIKi tegevuste käigus välja töötatud taimsed piimaanaloojid jogurtile, juustule ja pudingule

Tootearendusele eelnes turuanalüüs, mille käigus kaardistati nii Eesti kui ka Skandinaavia jaekettides müügil olevad erinevad piimaanaloojid: taimsed joogid, fermenteeritud tooted ja juustuanaloojid. Kuigi eri tootekategooriates on valik juba suhteliselt lai ja järjest suurenev, selgus analüüsist, et turul on puudu kaera või herne baasil valmistatud toodetest, mis oleksid lehmapiiimast valmistatud toodetega võrdväärse toitainelise koostisega. Puudu on ka fermenteeritud jogurti- ja juustuanaloojidest. Kuigi mitmete taimsete jogurtianaloojide puhul on välja toodud, et need sisaldavad fermentatsioonikultuure nagu *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* või *Bifidobacterium spp.*, on peaaegu kõigile neile toodetele lisatud ka happesuse regulaatoreid, nagu piim-, õun- või sidrunhapet. Juustuanaloojide suureks puuduseks on nende koostis, mis sisaldab peamiselt erinevaid tärkliseid ja kookosrasva. Seega võiksid just kohalikust toorainest valmistatud parendatud toiteväärtusega tooted pakkuda tarbijatele uusi võimalusi oma toidukorvi täisväärtuslikumaks muuta.

## Taimsete valkude ettevalmistamine mudeltoodete arendamiseks

Klastri eesmärgiks oli saavutada „põllult lauale“ tootmisahel, kasutades selleks eelkõige kohalike toormaterjale, milleks kõige paremini sobivad

kaer, hernes ja põlduba. Uurimistöö alguses valiti kommertsiaalsete valgupulbrite seast välja kõige sobivamad algmaterjalid, mille omadused kirjeldati ning mida kasutati tootearenduse protsessides toormaterjali tundmaõppimiseks. Töö käigus saadi täiendavat informatsiooni algmaterjalide tähtsamate omaduste kohta, mis olid sisendiks uute ja paremate valgupulbrite tootmiseks ning eeltötlusprotsesside läbiviimiseks.

Kasutatud pulbritel olid erinevad omadused ja koostis. Kaeravalgukontsentraadi valgusisaldus oli 55–60% ning seda iseloomustasid valkude madal lahustuvus, tugev teraviljane maitse ja aroom ning kibe järelmaitse. Herne- ja põldoavalgupulbritel olid kõrgemad funktsionaalsed omadused, kuid samas ka toorainele iseloomulik kootav ja kibe maitse.

Projekti raames uuriti nii ensüümtötluse kui ka fermentatsiooni mõju valgupulbrite omaduste parandamisele ning hinnati nende sobivust piimaanaloožite tootearenduses.

**Ensüümtötluse** juurutamise etapi üheks eesmärgiks oli fermenteeritavate suhkrute vabastamine polüsahhariididest taimset päritolu toodete fermenteeruvusomaduste parandamiseks, taimsete valkude lahustuvuse tõstmiseks ja taimsele materjalile omaste maitsete kõrvaldamiseks. Taimses maatriksis sisalduva tähtsusega ensümaatilise lagundamise optimeeritud protsessi tulemusena vabanes suhkruid kuni 4 grammi 100 grammi segu kohta, mis võimaldas saadud lahust fermenteerida ilma täiendava sahharoosi või glükoosi lisamiseta. Saadi hea viskoossuse ja maitseomadustega ajas stabiilne taimne jook, mida oli võimalik kasutada baasina teiste taimsete piimaanaloožite arendamisel. Lisaks viidi läbi põhjalik arendustöö taimse valgu (kaer, hernes) lahustuvuse tõstmiseks, kasutades erinevaid endo- ja eksopeptidaase (Joonis 3). Katsete tulemusena selgus, et sõltumata ensüümtötluse parameetritest jääb antud töö käigus kasutatava kaeravalgu lahustuva valgu osakaal vaid 40% juurde kogu valgu kogusest. Samas näitasid täiendavad katsed koos detailse sensoorse analüüsiga, et tänu ensüümtötlusele eksopeptidaasiga elimineeriti taimsele materjalile omane kibe kõrvalmaitse. Antitoitainete, nagu fütaadid, sisalduse vähendamiseks taimsetes materjalides

rakendati ensüümtötlust erinevate fütaasidega. Tulemused näitasid, et kirjeldatud töötusega on võimalik edukalt lagundada kui 70% fütaatidest, mis võiks ühtlasi parandada valkude ja mineraalainete omastatavust taimsete toodete tarbimisel (Wang & Guo, 2021).

**Fermentatsiooniprotsessi** optimeerimise etapi eesmärgiks oli taimse materjali fermenteerimiseks ja antitoitainete, nagu fütaadid, lagundamiseks sobivate juuretiste valimine, jälgides nende mõju tekstuurile, maitsele ja aroomile. Uurimisperioodi jooksul katsetati erinevate tootjate juuretiste kultuure kaera- ja hernevalgu ning mainitud valkude segude prototüüp-jogurti fermenteerimiseks. Juuretise kasvu analüüsiti mikrokalorimeetri abil, mis võimaldas iseloomustada juuretise kasvuprofiili ning määrata fermentatsiooniprotsessi pikkust, mis andis võimaluse optimeerida toodete tootmistehnoloogiat. Katsete tulemusena täheldati, et valgulahustele lisatud suhkur (glükoos, sahharoos) aitab vältida kõrvalmaitsete ja -aroomide teket. Nii juuretise valikut kui ka maitse- ja happeprofiili mõjutavad tugevalt valguallika valik (kaer, hernes, põlduba), valgupulbri omadused ning koostis. Seega, kõrge kvaliteedi ja heade maitseomadustega toote saamiseks oli vajalik testida erinevaid juuretisi erinevates segudes, et leida parim variant. Tähelepanu pöörati ka juuretise võimekusele toota eksopolüsahhariide, et tõsta fermenteeritud baaside viskoossust ja vältida paksendavate komponentide, nagu tähtsusega, lisamist valmistootesse. Samuti testiti uurimisperioodi jooksul erinevate juuretisekultuuride võimekust degradeerida taimses materjalis sisalduvaid antitoitaineid. Kahjuks ei näidanud tulemused kasutatud katsetingimustel märkimisväärset antitoitainete sisalduse langust pärast fermenteerimist ning efektiivseks antitoitainete lagundamiseks tuli kasutada kommertsiaalseid ensüüme.

## Taimse jogurtianaloogi arendus

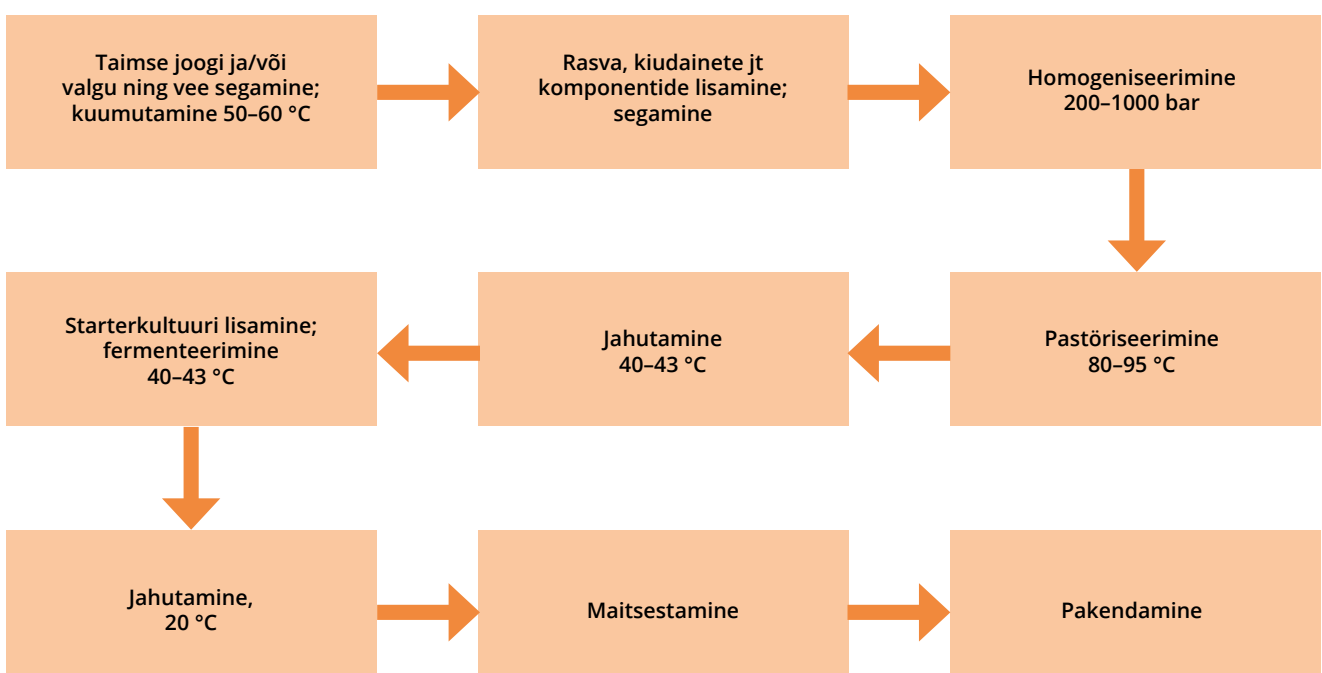
Taimseid jogurtianalooge valmistatakse soovitud taimse toormaterjali (soja-, kaera-, mandlijook, kookoskreem vmt taimsest materjalist vesilahus) fermenteerimisel, kus sarnaselt piimale kasutatakse bakterikultuuridena peamiselt

**Tabel 1.** Välja töötatud taimse jogurtianaloogi toitumisalane teave. Võrdluseks on toodud andmed lehmapiimast valmistatud maitsestatamata jogurti kohta

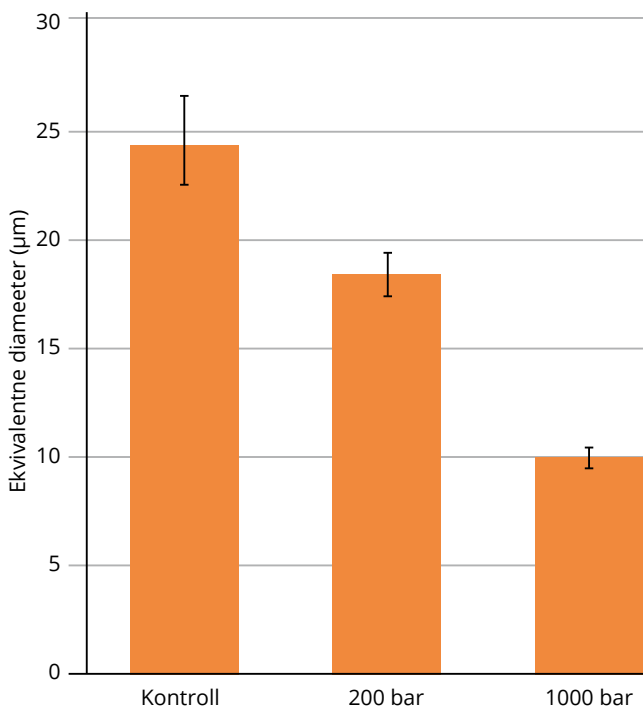
Toitumisalane teave 100 g toote kohta	TVIKi taimne jogurtianaloog kõrgendatud valgusisaldusega (maitsestatamata)	Maitsestatamata jogurt lehmapiimast
Energiasisaldus	73 kcal	81 kcal
Rasv	1,1 g	5 g
Süsivesikud	4,2 g	4,8 g
millest suhkrud	1,8 g	4,8 g
Kiudained	<b>6,2 g</b>	-
Valk	<b>5,1 g</b>	4,5 g
Sool	0,02 g	0,12 g

*Streptococcus thermophilus*t koos erinevate piimhappebakteritega (*Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus lactis* jt) (Pua et al., 2022). Selleks et saavutada tootele sobiv tekstuur, lisatakse tavaliselt taimsesse jogurtisse erinevaid rasvu, paksendajaid (modifitseeritud tärklised, kiudained, kummid), stabilisaatoreid (pektiin) ja emulgaatoreid. Sageli on fermentatsiooni õnnestumiseks vaja lisada ka suhkrut. Taimsele materjalile iseloomuliku aroomi ja maitse varjamiseks kasutatakse erinevaid lõhna- ja maitseaineid.

Käesoleva projekti raames uuriti tooraineid ja erinevaid tehnoloogilisi võtteid ning protsessi käigus viidi pidevalt läbi sensoorseid ja tekstuurianalüüse sobivaimate tötluste ja tooraine kombinatsioonide leidmiseks. Arendatava taimse jogurtianaloogi toiteväärtuslik koostis valiti vastavalt tavalise jogurti koostisele, kus valgusisaldus on vahemikus 3–4,5%. Valguline osa asendati kas kaera-, herne- või põldoavalguga. Rasvasisalduse muutmiseks testiti erinevate rasvainete (rapsi-, kookos-, päevalilleõli) lisamist. Tekstuuri



**Joonis 5.** Taimse jogurtianaloogi valmistamise tehnoloogiline skeem



**Joonis 6.** Osakeste keskmine suurus (µm) kaera- ja hernevalgu segudes (kontroll) ning pärast segude homogeniseerimist 200 või 1000 baari juures.

loomiseks kasutati erinevate kiudainete ( $\beta$ -glükaan, inuliin, psüllium) segu ning lõpptoote maitse täiustamiseks lisati madala kalorsusega maitsetajaid, nagu stevia. Tabelis 1 on välja toodud arendatud mudeltoote toiteväärtuslik koostis.

Kvaliteetse lõpptoote saavutamisel on oluline osa erinevatel tehnoloogilistel etappidel – nagu lahuste kuumutamine, homogeniseerimine jne – ning nende järjekorral (Joonis 5). Valgulahuste eelkuumutamine parandab valkude lahustuvaid omadusi, aga ka maitset. Segude homogeniseerimine aitab lahuseid stabiliseerida, siduda erinevaid komponente, vähendada osakeste suurust ning saavuta ühtlasemat tekstuuri (McClements & Grossmann, 2021). Kõnealusel projektis testiti erinevaid homogeniseerimise rõhkusid vahemikus 200–1000 bar (Joonis 6), mille tulemusel selgus, et kõrgemate rõhkude kasutamisel saadakse parema kvaliteediga lõpptoode. Mida kõrgematel



**Joonis 7.** Taimsete piimaanalooide valmistamiseks kasutatud 10-liitrine katel tooraine segamiseks, kuumutamiseks ning fermentatsiooni teostamiseks

rõhkudel herne- ja kaeravalgu segu homogeniseeriti, seda väiksema osakeste suurusega lahus saadi, mistõttu olid lõpptootel paremad sensoorsed omadused ja ühtlasem tekstuur. Seega võib kõrgemate rõhkude kasutamine osutada oluliseks just taimsel toorainel arendatavate toodete puhul. Tähtis roll on ka pastöriseerimisel, mis on vajalik soovimatute mikroorganismide kasvu pärssimiseks ning valkude, tärkliste või teiste lisatavate komponentide funktsionaalsete omaduste suurendamiseks.

Pärast juuretiskultuuride lisamist ning fermentatsiooni sobiva pH saavutamiseni peatatakse fermentatsiooniprotsess toote jahutamisega. Käesoleva töö käigus arendatud taimsete jogurtianaloogide mudelretseptuuride reoloogilised analüüsid näitasid, et pärast segude fermenteerimist on mudeltoodete viskoossus (350 cP) sarnane lehmapiimast valmistatud maitsestatamata jogurti viskoossusele (490 cP). Lisaks tuleb tähelepanu pöörata toote stabiilsusele, et saavutatud tekstuur ja maitseomadused jääksid püsima kogu säilivusaja jooksul. Saadud fermenteeritud baasi on võimalik kasutada nii maitsestatamata kujul kui ka maitsestatuna erinevate püreede, mooside, marjade või teiste sobivate maitselisanditega.

Joonisel 7 on näha uurimistöö raames kasutatud 10-liitrise mahuga katel, kus viidi läbi mudeltoodete valmistamise protsess alates erinevatest segamise ja kuumutamise etappidest kuni segude fermenteerimiseni.

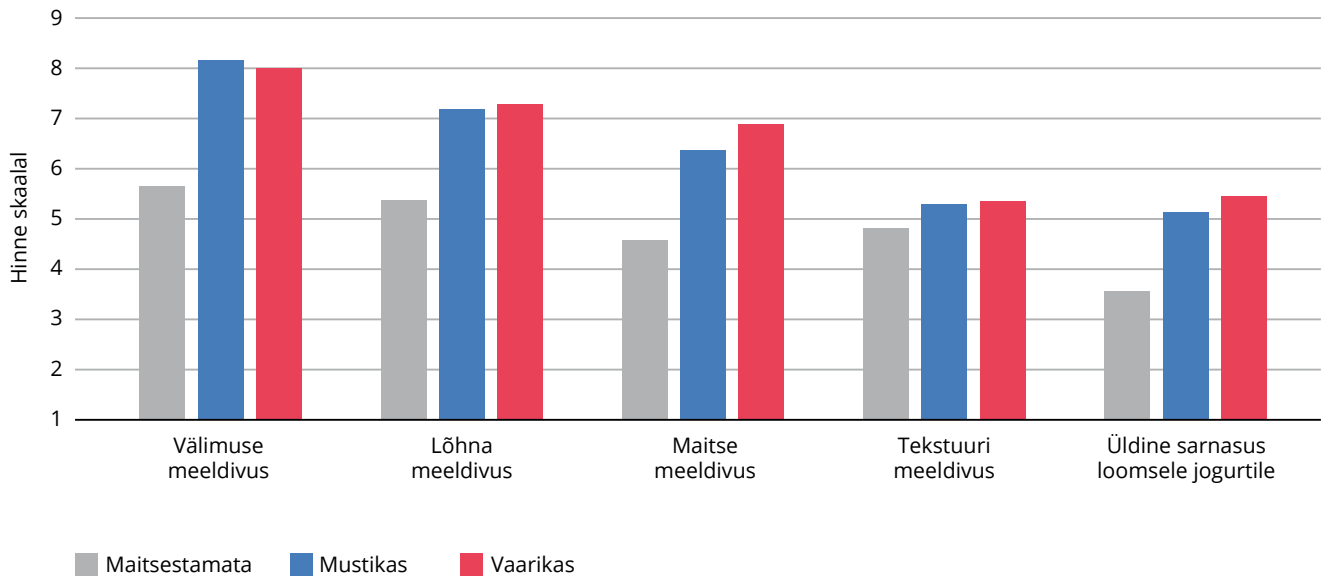
## Taimse jogurtianaloogi tarbijakatse

Tootearenduse seisukohalt on oluline, kuidas tarbija arendatavatesse toodetes suhtub, milles on maitse-eelistused, millele pööratakse tähelepanu toote valikul jmt. Tarbijakatsed on tootearenduse protsessis suure väärtusega, andes tagasisidet, mida tarbijad tegelikult ootavad ning millises suunas tuleks tootearendusprotsessiga jätkata.

Taimsete piimaanalogoogide arendamise jooksul viidi mudeltoodetega läbi nii sensoorseid analüüse treenitud assessoritega kui ka tarbijauringuid (Joonis 8), kuhu oli kaasatud erinevas vanuserühmas naisi ja mehi – omnivoore, fleksitaarlasid, taimetoitlasi ja veganeid. Tarbijakatsed näitasid, et taimsete piimaanaloogetoode suhtes ollakse vastuvõtlikumad juhul, kui tooted on maitsestatud versioonis, kus marjased ja puuviljased maitselisandid peidavad toorainele iseloomulikke (kaun- või teraviljast) maitset ja kibedust (Joonis 9). Kui toote maitseomadused on tarbijale meeldivamad, pööratakse tekstuurile vähem tähelepanu. Lisaks pööratakse tähelepanu toote värvusele: tera- ja kaunviljast arendatud toodetele iseloomulike kollakas-beežile toonile eelistatakse toodete heledamat värvust. Tarbijakatsed näitasid, et tarbijad ootavad maitsestatamata jogurtianalooge, mis oleksid kreemisema suutunde, valgema ja heledama tooniga ning veelgi vähem toorainele iseloomuliku maitsega.



**Joonis 8.** Proovide ettevalmistamine sensoorse hindamise ning tarbijakatsete läbiviimiseks



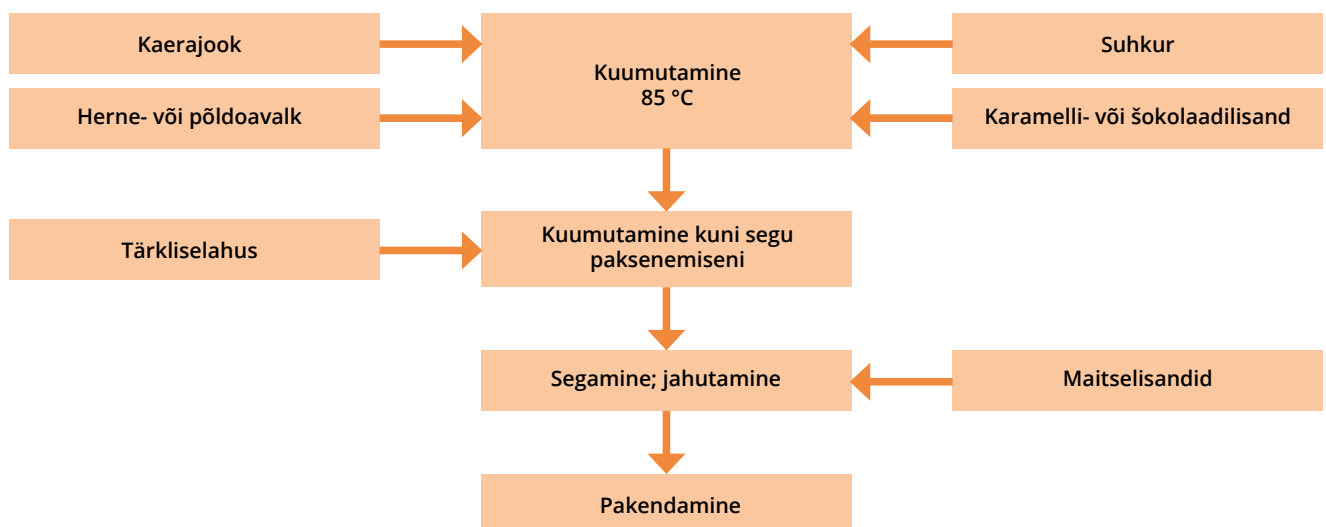
**Joonis 9.** Taimsete jogurtianaloogide tarbijauuringu tulemused. Uuringu käigus viidi läbi küsitlus maitsestatamata ning maitsestatatud (mustikas ja vaarikas) mudeltoodete meeldivuse kohta

## Taimse pudingu arendus

Lisaks fermenteeritud toodetele võeti vaatluse alla ka mittefermenteeritud tooted, nagu pudingud. Piimast tehtud pudingutes on tavaliselt rasva 2,2–2,3 g, valke 2,5–2,8 g ning süsivesikute sisaldus jääb 15–17 g vahele. Pudinguid toodetakse peamiselt vanilli-, karamelli- ja kakaomaitselistena. Lisaks meeldivale maitsele peavad pudinguid olema siidise ja ühtlase konsistentsiga, mis poleks liiga vedel ega ka tükiliselt tahke. Pudingute õiget tekstuuri aitavad säilitada modifitseeritud tärklised ning paksendava toimega guarikummi

või karrageen. Olulisteks tootmise etappideks on segude kuumtöötlus, sellele järgnev segu jahutamine 20–40 kraadini ja toote steriilne pakkimine.

Taimsete pudingute valmistamiseks (Joonis 10) on võimalik kasutada erinevaid taimsel toorainel põhinevaid jooke, millele lisatakse kas tärklis (kartuli-, tapioki- või maisitärklis) või erinevaid tärklise ja teiste eespool mainitud paksendajate kombinatsioone. Käesoleva arendustöö jooksul valiti taimse pudingu jaoks välja nii tärklised (riisi- ja maisitärklis), mis annavad pudingule omast tekstuuri, kui ka valguallikad (kaerajook, põldoa-



**Joonis 10.** Taimse pudingu valmistamise tehnoloogiline skeem





**Joonis 11.** Taimne soolakaramelli- ja šokolaadipuding

või hernevalk), mis annavad võimaluse tõsta toote toiteväärtust ilma kõrvalmaitsete tekkimiseta. Lisaks valiti toote toiteväärtuse tõstmiseks sobivad kiudained, mis ühtlasi annavad tootele magusust.

Välja arendati kahe maitsevariandiga (soolakaramell ja šokolaad) taimse pudingu mudeltooted (Joonis 11) ning tootmistehnoloogia, mille järel katsetati toote valmistamist 10 l pilootskaalal. Sarnaselt fermenteeritud toodete valmistamise protsessidele on ka pudingu valmistamise juures olulisteks etappideks segamine ja/või homogeniseerimine ning sobival temperatuuril kuumuta-

mine. Sensoorse paneeli hinnangul oli arendatud mudeltoodetel hea tekstuur ja maitseprofiil ning meeldiv magusus. Arendatud mudeltoodete toitumisalane teave võrdluses piimast valmistatud tootega on toodud Tabelis 2.

### Taimse juustuanaloogi arendus

Juust on laialt levinud erineva maitse, aroomi ja kujuga fermenteeritud piimatoode ning selle tootmise põhilised etapid on järgmised: piima töötlemine, juustupiima kalgendamine laapensüümiga, kalgendi lõikamine, vadaku eraldamine, järelsoojendamine ja pressimine. Juustu valmimine võib olla väga erineva kestusega (mõnest päevast mitme aastani), mis määrab valminud toote aroomi, maitse ja tekstuuri. Juustu puhul mõjutab toodete maitse- ja aroomierinevusi ka erinevate piimhappejuuretiste kasutamine.

Tarbijate jaoks vastuvõetavate taimsete juustuanaloogide valmistamine pakub teadlastele ja tootearendajatele suurt väljakutset. Piimavalkudel on ainulaadsed sensoorsed ja tekstuurilised omadused, mida taimsete valkudega asendamisel ei ole kerge jäljendada. Fermenteerides pähklimassi või taimsete valkude segusid, on võimalik saada hapestatud geeljas mass, mille abil on võimalik valmistada n-ö värsked pehmed tekstuuriga juustuanalooge (Pua et al., 2022). Selleks et saavutada juustuanaloogi puhul tugevam tekstuur, millel oleksid ka venivad ja sulavad omadused, tuleks kasutada erinevaid taimseid rasvu ja paksendajaid. Kommertsiaalsete juustu-

**Tabel 2.** Taimsete ning piimast valmistatud pudingute toitumisalane teave

Toitumisalane teave 100 g toote kohta	TVIKi taimne soolakaramellipuding	TVIKi taimne šokolaadipuding	Kakaopuding piimast
Energiasisaldus	118 kcal	118 kcal	96 kcal
Rasv	1,8 g	4,6 g	2,4 g
Süsivesikud	16,3 g	12,7 g	14,9 g
millest suhkrud	11,1 g	6,2 g	11,8 g
Kiudained	<b>4,5 g</b>	<b>4,5 g</b>	-
Valk	1,7 g	2,3 g	3,7 g
Sool	0,2 g	0,0 g	0,2 g

**Tabel 3.** Taimsetes juustuanaloogides sagedamini kasutatavad koostisosad

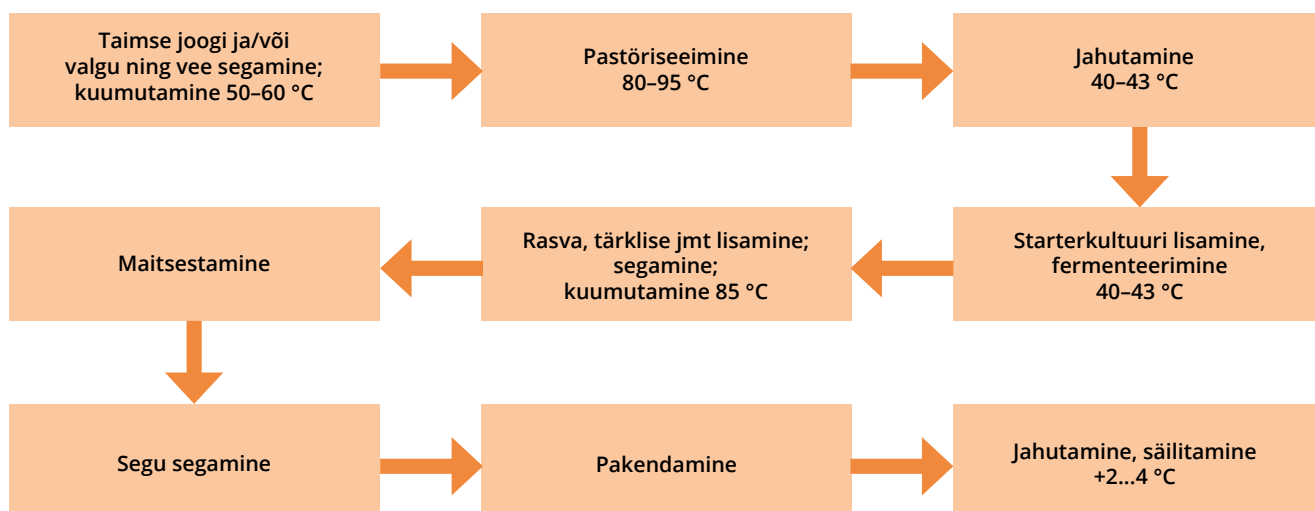
Koostisosa	Sisaldus (%)
Vesi	50-80
Kookosrasv, päevalilleseemne- või rapsiõli vmt taimne rasv	10-25
Paksendajad/sidujad (tärkliised, kiudained)	10-20
Stabilisaatorid (karrageen, kummid)	1-2
Emulgaatorid	0,5-2
Lõhna-, maitse- ja värvained	0,2-1
Sool	0-1



**Joonis 12.** TVIKi projekti raames välja töötatud taimsed juustuanaloogid

analoogide peamised koostisosad on vesi, kookosrasv, tärkliis, stabilisaatorid, sool, vitamiinid ning värvi-, lõhna- ja maitseained (Tabel 3) (Grasso *et al.*, 2021).

Käesoleva projekti raames arendatud taimsete juustuanaloogide (Joonis 12) jaoks valiti välja sobivad taimsed valguallikad, et tõsta toote valgulist sisaldust ning ühtlasi panustada tugevama tekstuuri moodustumisse. Samuti viidi sisse fermentatsiooniprotsess, et parandada baasi sensoorseid omadusi, vähendada toorainest tulenevaid maitseid ja lõhnu ning täiendada baasi sobiva happeprofiiliga. Arendustes kasutati kaerajooži ja hernevalgu segu, millele pärast fermenteerimist lisati sobivaid paksendajaid (tärkliis, karrageen, kummid), emulgaatoreid, rasvu, maitseparme ning looduslikke lõhna- ja maitseaineid



**Joonis 13.** Taimse juustuanaloogi valmistamise tehnoloogiline skeem

**Tabel 4.** Taimsete juustuanalooide ja piimast valmistatud juustu toitumisalane teave

Toitumisalane teave 100 g toote kohta	TVIKi taimne juustuanaloo	Kommertsiaalne juustuanaloo	Lehmapiimast valmistatud juust
Energiasaldus	345 kcal	285 kcal	334 kcal
Rasv	18 g	23 g	25 g
Süivesikud	14 g	20 g	1 g
millest suhkrud	2,6 g	0 g	0,5 g
Kiudained	<b>4,3 g</b>	0 g	0 g
Valk	<b>7 g</b>	0 g	27 g
Sool	1,3 g	2,3 g	1,4 g

koos sobivate värvust andvate lisanditega (nt  $\beta$ -karoteen).

Nii nagu teiste piimaanalooide arendustes, on ka juustuanalooide puhul oluline leida toorainetele sobivad kuumutamise tingimused (temperatuur, segamise kiirus ja aeg) ning komponentide lisamise järjekord. Joonis 13 kirjeldab taimse juustuanalooide valmistamise tehnoloogiat.

Tabel 4 kirjeldab juustuanalooide toiteväärtust võrreldes kommertsiaalse taimse juustuanalooide ning piimast valmistatud juustuga. Võrreldes kommertsiaalse juustuanalooidega tõsteti arendatud mudeltootes valgusisaldust ~7x ning saadud arendused on tähtsaks sammuks edasistes tootarenduse protsessides, et tarbijateni jõuaksid maitvad ning toitvad tooted.



## Kokkuvõte

TVIKi uurimistöode eesmärgiks oli jõuda „põllult lauale“ ehk kasutada kohalikest toormaterjalidest (kaer, hernes, põlduba) saadud väärtuslikke komponente (nt valke), et saada täisväärtuslikke ja maitsvaid tooteid, mis suurendaksid tarbijate valikut taimsete piimaanalooogide tootekategooriates. Kriitilise tähtsusega on sobivate omadustega valgupulbrite, aga ka teiste oluliste komponentide, nagu kiudainete, rasvade ja erinevate polüsahhariidide valik. Tooraine kvaliteet ja omadused sõltuvad aga selle päritolust ja tootmistehnoloogiast. Mida madalam on toorainele iseloomulik lõhna- ja maitseintensiivsus ning mida paremad on selle lahustuvad ja geelistuvad omadused, seda suuremad on võimalused arendada võimalikult väheste lisakomponentidega erinevaid taimseid tooteid.

Käesolevas töös uuriti erinevate valgupulbrite funktsionaalseid ja sensoorseid omadusi. Kasutati ensümaatilist töötlust ning fermenteeriti valmistatud segusid erinevate juuretisekultuuridega, mille tulemusel parandati mudeltoodete tekstuuri, maitset ja aroomi. Uurimistöö käigus arendati mudelretseptuurid nii taimsele jogurti- ja juustuanalooogile kui ka pudingule. Rakendati erinevaid tehnoloogilisi võtteid (homogeniseerimine, segamine, kuumutamine), et toodete kvaliteeti veelgi parendada. Töö tulemusena saadi kõrgendatud valgu- ja kiudainesisaldusega taimsete piimaanalooogtoodete retseptuurid ja valmistamise tehnoloogiad.

Läbi viidud uurimis- ja arendustöö on oluliseks sammuks edasistes tootearenduse protsessides, et tarbijateni jõuaksid veelgi maitavamad, väheste lisakomponentidega ning kõrge toiteväärtusega tooted.



## Allikad

- Angelino, D., Rosi, A., Vici, G., Dello Russo, M., Pellegrini, N., & Martini, D. (2020). Nutritional Quality of Plant-Based Drinks Sold in Italy: The Food Labelling of Italian Products (FLIP) Study. *Foods*, 9(682). <https://doi.org/10.3390/foods9050682>.
- Aryana, K. J., & Olson, D. W. (2017). A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9987–10013. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12981>.
- Axelsson, L. (2004). Lactic Acid Bacteria: Classification and Physiology. In S. Salminen, A. Wright, & A. Ouwehand (Eds.), *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects* (3rd ed., pp. 1–67). Marcel Dekker.
- Brückner-Gühmann, M., Heiden-Hecht, T., Sözer, N., & Drusch, S. (2018). Foaming characteristics of oat protein and modification by partial hydrolysis. *European Food Research and Technology*, 244(12), 2095–2106. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3118-0>.
- Engelen, L., De Wijk, R. A., Van Der Bilt, A., Prinz, J. F., Janssen, A. M., & Bosman, F. (2005). Relating particles and texture perception. *Physiology and Behavior*, 86(1–2), 111–117. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.06.022>
- Ferawati, F., Hefni, M., & Witthöft, C. (2019). Flours from Swedish pulses: Effects of treatment on functional properties and nutrient content. *Food Science and Nutrition*, 7(12), 4116–4126. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1280>
- Grasso, N., Roos, Y. H., Crowley, S. V., Arendt, E. K., & O'Mahony, J. A. (2021). Composition and physicochemical properties of commercial plant-based block-style products as alternatives to cheese. *Future Foods*, 4, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100048>.
- Harper, A. R., Dobson, R. C. J., Morris, V. K., & Moggré, G. J. (2022). Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, 15(5), 1404–1421. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14008>.
- Korcz, E. & Varga, L. (2021). Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Techno-functional application in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 110, 375–384. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.014>.
- Liu, J., Guan, X., Zhu, D., & Sun, J. (2008). Optimization of the enzymatic pretreatment in oat bran protein extraction by particle swarm optimization algorithms for response surface modeling. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1913–1918. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.02.013>.
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>.
- McClements, D. J. & Grossmann, L. (2021). A brief review of the science behind the design of healthy and sustainable plant-based foods. *Npj Science of Food*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41538-021-00099-y>.
- Montemurro, M., Pontonio, E., Coda, R., & Rizzello, C. G. (2021). Plant-based alternatives to yogurt: State-of-the-art and perspectives of new biotechnological challenges. *Foods*, 10 (2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/foods10020316>.
- Novozymes. (2013). Enzymatic Hydrolysis of Proteins Using Novozymes Protease. *Application Sheet*, 1–5.
- Opazo-Navarrete, M., Burgos-Díaz, C., Garrido-Miranda, K. A., & Acuña-Nelson, S. (2022). Effect of Enzymatic Hydrolysis on Solubility and Emulsifying Properties of Lupin Proteins (*Lupinus luteus*). *Colloids and Interfaces*, 6(82). <https://doi.org/10.3390/colloids6040082>
- Pua, A., Chia, V., Tang, Y., Min, R., Goh, V., Sun, J., & Lassabliere, B. (2022). Organoleptic Boundaries of Plant-Based Dairy Analogues. *Foods*, 11 (875). <https://doi.org/10.3390/foods11060875>.
- Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L., Kumar, A., & Unnikrishnan, V. S. (2015). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods - a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (2), 662–675. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1072-1>.
- Rivera, J., Siliveru, K., & Li, Y. (2022). A comprehensive review on pulse protein fractionation and extraction: processes, functionality, and food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2139223>.
- Shanthakumar, P., Klepacka, J., Bains, A., Chawla, P., Dhull, B. S., & Najda, A. (2020). The Current Situation of Pea Protein and Its Application in the Food Industry. *Molecules*, 27(5354), 777–782. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-099925-8.00065-x>.
- Sim, S. Y. J., Sriv, A., Chiang, J. H., & Henry, C. J. (2021). Plant proteins for future foods: A roadmap. *Foods*, 10(8), 1–31. <https://doi.org/10.3390/foods10081967>.
- Spaen, J. & Silva, J. V. C. (2021). Oat proteins: Review of extraction methods and techno-functionality for liquid and semi-solid applications. *LWT*, 147, 111478. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111478>.
- Tervise Arengu Instituut. (2020). *Eestlaste tegeliku söömise võrdlus soovitusliku toidupüramiidiga*. <https://tai.ee/et/valjaanded/tegeliku-ja-soovitusliku-toidupuramiidivordlus>.
- Wang, R., & Guo, S. (2021). Phytic acid and its interactions: Contributions to protein functionality, food processing, and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 2081–2105. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12714>.