



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ.КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“ - БИТОЛА
ТЕХНОЛОШКО-ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ – ВЕЛЕС**



**ТРЕТ ЦИКЛУС СТУДИИ НА СТУДИСКАТА ПРОГРАМА
ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ХРАНА И НУТРИЦИОНИЗАМ**

**САМОСТОЕН ДОКТОРСКИ ПРОЕКТ
ГОДИШНА КОНФЕРЕНЦИЈА, 2026 (зимска сесија)**

НАСЛОВ

**ОДРЖЛИВИ ИНОВАЦИИ: ИНКОРПОРИРАЊЕ НА БИО-ОТПАДНИ
МАТЕРИИ ВО НОВИ ПРЕХРАНБЕНИ ПРОИЗВОДИ И ПАКУВАЊА
СУДИЈА НА СЛУЧАЈ: ОКАРА
(ДОКТОРСКИ ПРОЕКТ)**

ИЗРАБОТИЛА

Анета Стајик, бр. индекс 37

МЕНТОР

проф. д-р Анка Т. Петкоска

Велес, 2026 година

СОДРЖИНА

1. Вовед.....	4
1.1. Тема и цел на истражувањето.....	4
1.2. Мотивација и оправданост на истражувањето.....	4
1.3. Истражувачки прашања, методологија и ограничувања.....	5
2. Преглед на литературата / Поширок истражувачки контекст.....	6
2.1. Потребата од валоризација на нуспроизводи.....	6
2.2. Окара како функционална состојка.....	6
2.3. Окара како додаток во вегански и растителни производи.....	7
2.4. Примена на окара во пекарски производи.....	7
2.5 Окара во 3Д процеси на печатење на храна.....	8
3. Методи и материјали.....	9
3.1 Методи и хипотези.....	9
3.2 Материјали.....	10
3.2.1 Материјали за вегански бургери.....	10
3.2.2 Материјали за реологија.....	10
3.2.3 Материјали за 3Д печатење.....	10
3.3 Методологија и подготовка на примероците.....	10
3.3.1 Подготовка на вегански бургери.....	10
3.3.2 Подготовка на примероци од смеси на брашно.....	11
3.3.3 Подготовка на ‘мастило’ за 3Д печатење.....	11
3.4 Метод за сензорна анализа.....	12
3.5 Реолошки методи на испитување на смеса од брашно.....	13
3.6 3Д принтер за храна ВЮ Х Cellink.....	14
3.7 Методи за анализа и интерпретација на податоците	15
4. Анализа, резултати и дискусија.....	15
4.1 Анализа, резултати и дискусија за вегански бургери.....	15
4.1.1. Нутритивни и технолошки својства на веган бургерите.....	15
4.1.2 Резултати и дискусија на сензорната анализа.....	16
4.2. Анализи, резултати и дискусија за брашно и смеси од брашно со окара.....	17
4.3 Анализа и дискусија на 3Д печатени крекери.....	20

4.4 Потврда на хипотезите и насоки за понатамошни истражувања.....	21
Заклучок.....	21
Користена литература.....	22

ОДРЖЛИВИ ИНОВАЦИИ: ИНКОРПОРИРАЊЕ НА БИО-ОТПАДНИ МАТЕРИИ ВО НОВИ ПРЕХРАНБЕНИ ПРОИЗВОДИ И ПАКУВАЊА СУДИЈА НА СЛУЧАЈ: ОКАРА

Анета Стајик

Универзитет Св. Климент Охридски, Битола, Македонија
aneta.stajik@uklo.edu.mk

проф. д-р Анка Трајковска Петкоска

Универзитет Св. Климент Охридски, Битола, Македонија
anka.trajkovska@uklo.edu.mk
ORCID: 0000-0002-9258-7966

Анстракт

Циркуларната економија во прехранбениот сектор овозможува одржливо управување со био-отпад преку негово повторно искористување како вредна суровина. Окара, нуспроизвод од производството на соино млеко и тофу, претставува нутритивно богат материјал со висока содржина на протеини и диететски влакна, но сè уште е недоволно искористена во прехранбените формулации. Истражувањето опфати развој на вегански бургер со додаток на окара (алтернатива на бургер од месо) и подготовка на „мастила“ (смеса) за 3Д печатење на крекери, како и реолошко испитување на брашно со окара (потенцијална смеса за пекарска индустрија). Сензорната прифатливост на бургерите беше оценета со квантитативна дескриптивна анализа (QDA), додека реолошките својства на тестото беа анализирани со Миксолаб. Дополнително, беше оценета печатливоста и стабилноста на 3Д-печатените производи.

Резултатите покажаа дека инкорпорацијата на окара ја зголемува хомогеноста и умами перцепцијата на веганските бургери, без појава на значајни непријатни сензорни атрибути, но со намалена сочност. Реолошката анализа укажа на зголемена апсорпција на вода и модификација на тестената структура, што бара прилагодување на рецептурата. 3Д печатењето беше успешно реализирано со стабилна екструзија и задржување на формата на испечатените примероци. Овие резултати ја потврдуваат окарата како одржлива и функционална состојка со значаен потенцијал за примена во иновативни прехранбени технологии.

Клучни зборови: окара, био-отпад, веган бургер, реологија, 3Д печатење на храна

1. Вовед

1.1. Тема и цел на истражувањето

Современите агро-прехранбени системи се соочуваат со предизвици поврзани со неефикасно користење на ресурсите, загуба и фрлање на храна и зголемен притисок врз животната средина. Загубата и отпадот од храна претставуваат системски проблем што произлегува од неусогласеноста помеѓу производството, преработката и потрошувачката, при што значителни количини нутритивно вредни сировини завршуваат како отпад (FAO, 2019; UNEP, 2021). Намалувањето на овие појави е клучен предуслов за развој на одржливи и циркуларни прехранбени системи (Rizwan et al., 2025).

Истражувањето е насочено кон валоризација на окарата, нуспроизвод од производството на соино млеко и тофу, како функционална состојка во (нови) прехранбени производи и јадливи пакувања. Примената на окарата во различни прехранбени матрици има за цел зголемување на нутритивната вредност, намалување на отпадот од храна и поттикнување на принципите на кружната економија (European Commission, 2022; Rizwan et al., 2025), што е и во контекст на глобалните трендови за одржливост како што се Green Deal (EU) и Sustainable Development Goals (UN, 2015).

Основната цел на истражувањето е да се испита потенцијалот на окарата како функционален додаток во растителни прехранбени производи преку експериментална анализа на нејзините нутритивни, технолошки и функционални својства, но и како додаток во одржливи пакувања за храна.

1.2. Мотивација и оправданост на истражувањето

Мотивацијата за ова истражување произлегува од потребата за одржливи решенија во прехранбениот сектор, во услови на растечка популација, ограничени ресурси и климатски промени. Околу една третина од глобално произведената храна не се консумира, што предизвикува значителни економски и еколошки загуби (слика 1) (Pannila et al., 2022; Tamasiga et al., 2022). Според ФАО, проблемите со безбедноста на храната произлегуваат од неефикасно управување со ресурсите, а не од недоволно производство на храна (FAO, 2019).



Слика 1: Споредба на количина на фрлена храна и популација која страда од глад (FAO, 2023)

Окарата, како нуспроизвод богат со протеини, диететски влакна и биолошки активни соединенија, претставува недоволно искористен ресурс со значителен потенцијал во прехранбената индустрија (Lesa et al., 2024). Нејзината валоризација може да придонесе за подобрување на нутритивниот квалитет на храната и намалување на еколошкиот отпечаток преку редукција на био-отпадот (Anjum et al., 2023).

Оправданоста на истражувањето се согледува преку научен придонес во проширување на знаењата за функционалните и технолошките својства на окарата и практичен придонес преку развој на иновативни производи со индустриски потенцијал.

1.3. Истражувачки прашања, методологија и ограничувања

Врз основа на поставената тема и дефинираните цели, истражувањето е конципирано како експериментално и структурирано во две меѓусебно поврзани фази. Во првата фаза се врши валоризација на окарата како отпад од храна (во локален индустриски сектор) и нејзина примена како функционален додаток во растителни прехранбени производи, потоа испитување на окарата како суровина за 3Д печатена храна, но и потенцијал за примена во материјали за пакување на храна.

Влажна окара ќе се применува во вегански бургер, при што ќе се анализира нејзиното влијание врз нутритивниот состав, со акцент на протеините и растителните влакна, како и врз сензорските својства (изглед, текстура, вкус и арома) во споредба со контролен примерок.

Дополнително, ќе се испитува влијанието на сува окара во прав врз реолошките својства на пченично брашно тип Т400 со примена на инструмент Миксолаб. Реолошките карактеристики на контролното брашно ќе се споредат со оние на брашно со додадена окара, со цел проценка на стабилноста на тестото и неговата технолошка применливост.

Конечно, предмет на истражување ќе биде и можноста за примена на окарата како суровинска компонента во развојот и оптимизацијата на формулации за производи/храна изработени со технологија на 3Д печатење на храна, со цел нејзина научна и технолошка валоризација во рамките на овој растечки и иновативен сегмент на производство на персонализирана храна.

Втората фаза ќе биде насочена кон развој на тофу со ферментирана окара и испитување на неговата трајност при складирање во јадливо биоразградливо пакување на база на хитозан со додаток на окара, преку физичко-хемиски, микробиолошки и сензорски анализи. (Оваа фаза не се спроведува во рамките на ова истражување, туку е планирана за реализација покасно во текот на оваа година, бидејќи е потребно подолго време за изработка на примероците и соодветно нивно тестирање).

Досегашното истражување поврзано со темава се води од следниве истражувачки прашања:

1. Каков е ефектот на влажната окара врз нутритивниот и сензорскиот профил на веганските бургери?
2. Како додатокот на сува окара влијае врз реолошките својства на пченично брашно тип Т400?
3. Дали со користење на окара во соодветна формулација (мастило, ink) може да се испечати одреден прехранбен производ со помош на 3Д печатач за храна?

Ограничувањата на истражувањето се поврзани со варијабилноста во составот и влажноста на окарата, потребата од стандардизација на суровината, како и со техничките и организациските услови за спроведување на инструменталните и сензорските анализи, што претставува вообичаен предизвик во експерименталните истражувања од оваа област.

1. Преглед на литературата / Поширок истражувачки контекст

2.1. Потребата од валоризација на нуспроизводи

Загубата и фрлањето на храна претставуваат комплексен проблем во современата прехранбена индустрија. Според ФАО (FAO, 2019), значителен дел од храната се губи во фазите на преработка, при што се создаваат нуспроизводи со висока нутритивна вредност. UNEP, (2021) укажува дека овие нуспроизводи претставуваат неискористен потенцијал за развој на одржливи прехранбени решенија.

Во контекст на кружната економија, валоризацијата на прехранбените нуспроизводи се смета за клучна стратегија за намалување на био-отпадот и подобрување на ефикасноста на ресурсите. Според Rizwan et al., (2025), интегрирањето на нуспроизводите во нови производи со додадена вредност е неопходно за одржлив развој, при што окарата се издвојува како значаен нуспроизвод од растително потекло со широк апликативен потенцијал.

2.2. Окара како функционална состојка

Окара е нуспроизвод од производството на соино млеко и тофу, кој останува по екстракцијата на течната фаза од дробени соини зрна. Процесот вклучува киснење, мелење, варење и филтрирање, при што се добива значителна количина окара - приближно 1,1 kg од 1 kg преработена соја. Годишно се создаваат милиони тони, особено во земји како Јапонија, Кореја и Кина (Voss et al., 2021; Oyalo, 2025).

Окарата претставува функционална состојка со широк спектар на примена во прехранбени производи и значителен потенцијал за валоризација, што може да донесе економски придобивки и да придонесе кон намалување на загадувањето на животната средина (Colletti et al., 2020; Kamble & Rani, 2020). Сувата окара е богата со диететски влакна и протеини, а во зависност од условите на преработка може да содржи околу 36 % протеини, 32 % влакна и 21 % масти (Ospina et al., 2023). Присутни се и растворливи и нерастворливи влакна, поврзани со подобрување на дигестивното здравје и зголемено чувство на ситост (Swallah et al., 2021).

Свежата (влажна) окара се карактеризира со висока содржина на вода, најчесто 70-80 %, при што влажноста зависи од сортата на сојата и технолошките услови на преработка (слика 2) (Silveira et al., 2025; Usman et al., 2024). Поради високата влажност, содржината на хранливи материи изразена на свежа маса е пониска, но анализата на сува основа потврдува висока нутритивна вредност, споредлива или повисока од други растителни нуспроизводи (Usman et al., 2024).

Истражувањата ја потврдуваат улогата на растителните влакна од окара во превенцијата на хронични заболувања, регулирањето на гликемскиот одговор и подобрувањето на цревната микробиота, што ја прави погодна за развој на функционални и растителни производи (Anjum et al., 2023; Lesa et al., 2024). Покрај нутритивните, окарата поседува и поволни технолошко-функционални својства, како подобро врзување на вода и масти (емулзификаторски својства) (Prabsangob et al., 2024), но нејзината висока влажност и микробиолошка подложност наметнуваат примена на сушење или ферментација како пред-третман (Aussanasuwannakul et al., 2022).



Слика 2: Изглед на влажна окара

2.3. Окара како додаток во вегански и растителни производи

Окарата претставува погодна состојка за развој на замени за месо и вегански производи поради нејзината текстура и висока протеинска содржина. Таа успешно се применува во вегетаријански плескавици и месни аналози, при што ги подобрува нутритивните и сензорните својства и придонесува кон поодржлив прехранбен систем (Korkach et al., 2023; Shinde et al., 2025).

Покрај нутритивниот состав, клучно значење за квалитетот на месните аналози имаат текстурните и механичките својства. Технолошки постапки, како конјугација со соја протеински изолат преку Maillard-овата реакција, се покажале ефикасни во подобрување на емулгирачката активност и задршката на вода, што е важно за зачувување на текстуралниот интегритет и имитација на сензорните својства на месото (Ashaolu & Zhao, 2020; Ismail et al., 2020).

Иако конкретните препораки за дозирање на окара во месни аналози сè уште се ограничени, сознанијата од сродни системи укажуваат дека нивоа од околу 10–20 % можат да го подобрат нутритивниот и функционалниот квалитет без негативно влијание врз сензорската прифатливост (Lee et al., 2023). Оптимизацијата на дозирањето е неопходна за воспоставување рамнотежа помеѓу содржината на диететски влакна, текстурата, задршката на влага и целокупната прифатливост на финалниот производ (Ashaolu & Zhao, 2020; Jang & Lee, 2024).

2.4. Примена на окара во пекарски производи

Окарата покажува значителен потенцијал како состојка во пекарските производи поради високата содржина на диететски влакна и протеини. Истражувањата покажуваат дека инкорпорирањето на окарата во формулации може да го подобри нутритивниот профил на печивата, истовремено унапредувајќи ги нивните текстурални својства. На пример, додавањето брашно од окара во производството на бисквити резултирало со зголемена содржина на диететски влакна, со што се добива производ ориентиран кон здравјето без компромис во вкусот или текстурата (Momin et al., 2020; Korkach et al., 2023). Дополнително, забележано е дека окарата значително ја подобрува способноста на тестото за апсорпција на вода и масло, придонесувајќи за поголема сочност и задржување на влага во печивата (Korkach et al., 2023).

Понатаму, предностите се прошируваат и на безглутенските формулации. Окарата успешно се користи во производството на безглутенски леб, при што се подобрува антиоксидативниот капацитет и вкупните сензорни својства (Pešić et al., 2023; Shinde et al., 2025). Пекарски производи како мафини и лебови збогатени со окара покажуваат

повисока содржина на диететски влакна, а при тоа ја задржуваат прифатливоста кај потрошувачите (Sethi et al., 2022; Ibadullah et al., 2024).

2.5 Окара во 3Д процеси на печатење на храна

Технологијата на 3Д печатење значително ги трансформира различните индустриски сектори, вклучително и прехранбената индустрија, каде што нуди иновативни решенија за производство на храна, персонализација и одржливост. Во овој контекст, употребата на алтернативни состојки како што е окарата, нуспроизвод од производството на соино млеко, привлекува зголемено научно внимание поради нејзината нутритивна вредност и потенцијалните примени во 3Д печатењето на храна (Jang & Lee, 2024).

3Д печатењето на храна овозможува прилагодување на прехранбените производи во однос на нивниот нутритивен состав, текстура и визуелен изглед. Оваа иновација создава можности за персонализирана исхрана, особено кај чувствителни групи на потрошувачи, како што се постарите лица и лицата со дисфагија, со цел подобрување на вкупниот сензорен квалитет на прехранбените производи (Chao et al., 2024). Ваквата можност за прилагодување значително придонесува за исполнување на индивидуалните нутритивни потреби и преференции.

Покрај тоа, 3Д печатењето придонесува кон намалување на отпадот од храна преку искористување на состојки кои инаку би биле отфрлени. Примената на вакви системи овозможува рециклирање и повторна употреба на несовршени или преостанати прехранбени производи, со што се минимизира влијанието врз животната средина и се унапредува одржливоста (Ahmadzadeh et al., 2023). Кулинарските потенцијали на 3Д печатењето ја надминуваат новината како концепт, придонесувајќи кон поздрави избори во исхраната преку иновативно формулирање на печатени прехранбени производи.

Окарата претставува особено погодна состојка во контекст на 3Д печатењето на храна, поради високата содржина на диетални влакна, протеини и есенцијални нутриенти. Истражувањата укажуваат дека манипулацијата со големината на честичките на окарата може значително да влијае врз нејзината способност за печатење, овозможувајќи изработка на 3Д-печатени производи, како што се коцки од окара со контролирана текстура (Lee et al., 2021). Во оваа студија се нагласува дека варирањето на степенот на исполнетост (infill) кај ваквите производи резултира со широк спектар на сензорни својства.

Со понатамошниот развој на 3Д печатењето, инкорпорацијата на окарата во прехранбените формулации има потенцијал да го подобри и нутритивниот профил и функционалноста на производите. Составот на окарата е во согласност со современите трендови во 3Д печатењето на храна, бидејќи нејзините својства можат стратешки да се прилагодуваат за да ги задоволат различните реолошки и механички барања неопходни за успешна екструзија и задржување на формата за време на процесот на печатење (Farias et al., 2025).

И покрај наведените предности, интеграцијата на окарата и други алтернативни состојки во 3Д печатењето на храна е поврзана со одредени предизвици, особено во однос на материјалните својства и структурниот интегритет на печатените производи. Студиите кои ја анализираат механичката стабилност на гелови за храна, вклучително и оние со инкапсулирани функционални состојки, укажуваат дека е неопходно

внимателно формулирање за да се постигне оптимална печатливост и стабилност (Matas et al., 2025). Разбирањето на комплексните интеракции помеѓу различните компоненти во „мастилата“ за храна е клучно за обезбедување на финални производи кои ги исполнуваат и естетските и нутритивните критериуми.

Дополнително, истражувањата поврзани со стратегии за формулирање на 3Д-печатени емулзиски гелови ја нагласуваат важноста од контрола на текстурата и стабилноста, што овозможува ефикасно печатење на разновидни прехранбени производи (Farias et al., 2025). Овие сознанија се од значење за зголемување на привлечноста и применливоста на окарата во различни формулации, при што се задоволуваат потребите на здравствено ориентираните потрошувачи и се придонесува кон намалување на отпадот од храна.

3. Методи и материјали

3.1 Методи и хипотези

Истражувањето во рамките на овој труд е конципирано како комбинирано истражување, кое ги интегрира квантитативните и квалитативните методолошки пристапи. Комбинираниот пристап овозможува истовремена објективна инструментална евалуација и субјективна сензорна проценка, што е во согласност со современите истражувачки трендови во областа на науката за храна и развојот на одржливи производи.

Основните истражувачки прашања на трудот се:

1. Дали влажната окара може ефикасно да се искористи како извор на растителни протеини и диетални влакна во формулации на вегански бургери, без негативно влијание врз нивните сензорни својства?
2. Какво е влијанието на сува окара во прав врз реолошките карактеристики на пченично брашно тип Т-400?
3. Дали од окара може да се направи формулација на ‘мастило’ за 3Д принтер на храна?

Врз основа на поставените прашања се дефинирани следните хипотези:

- (1) додавањето на влажна окара во формулацијата на вегански бургери статистички значајно ја зголемува нивната нутритивна вредност во однос на содржината на протеини и растителни влакна;
- (2) додатокот на окара не предизвикува статистички значајно намалување на сензорната прифатливост на веганските бургери;
- (3) инкорпорацијата на сува окара во пченично брашно Т-400 доведува до мерливи промени во реолошките параметри на тестото, детектирани со инструментална анализа, и
- (4) окарата може успешно да се користи како суровинска компонента за формулирање на „мастило“ погодно за 3Д печатење на храна.

Популацијата во истражувањето ја опфаќа групата растителни алтернативи на месо, со фокус на вегански бургери како модел-производ, пченично брашно како основна суровина во пекарската индустрија, како и 3Д печатена храна. Примерокот во експерименталниот дел се состои од лабораториски подготвени серии на вегански бургери без додаток на окара (контролни примероци) и вегански бургери со додаток на дефиниран процент влажна окара. За реолошките испитувања, примерокот опфаќа

пченично брашно тип Т-400 и пченично брашно Т-400 со додаток на сува окара, при што се почитуваат принципите на репрезентативност и повторливост. За 3Д печатената храна, примероците опфаќаат 2 формулации на веган кречери (3Д кречери со лук и 3Д кречери со цвекло и соја сос).

3.2 Материјали

3.2.1. Материјали за вегански бургери

За изработка на веганските бургери беа користени: интегрален ориз, сушен морков, сушен кромид, влажна окара, сол, сув целер, куркума во прав, кари во прав, овесни снегулки, интегрално брашно, рафинирано сончогледово масло (за длабоко пржење). Сите суровини беа набавени од Аронија здрава храна дооел (Биокосмос), во чии производствен погон беше направен и спакуван веганскиот бургер.

3.2.2. Материјали за реологија

За реолошки карактеристики беше испитувано пченично брашно Т400 (Коки Лукс, Св. Николе) со влага 14% и пепел 0,45%, како и мешавина од истото пченично брашно помешано со сува окара во прав набавена од Аронија здрава храна дооел (Биокосмос).

3.2.3. Материјали за 3Д печатење

За 3Д печатените кречери беа искористени суровини од Аронија здрава храна дооел и тоа: сува окара, растително сончогледово масло, ксантан гума, гуар гума, сол, алкохолан оцет, аскорбинска киселина, лук во прав, протеин од грашок, карбоксиметил целулоза, цвекло во прав и соја сос.

3.3 Методологија за подготовка на примероците

3.3.1. Подготовка на вегански бургери

Подготовката на веганските бургери е извршена на слениот начин: Сите потребни суровини наведени во табела 1 беа измерени на дигитална вага (DIGI DS 70E-15KT, Teraoka Seiko Co, Јапонија). Потоа овесните снегулки беа иситнети на блендер (Nutri Bulet, 2000rpm). Сите состојки (освен влажна окара) беа рачно добро измешани. Вкупната маса на добиената смеса беше 2,670 kg. Оваа смеса беше поделена во два сада, по секој по 1,335 kg од смесата, и во едниот сад беше додадено 0,250 kg влажна окара (15,774%). Смесата во садот со окара беше повторно рачно добро измешана. Од двете смеси засебно, беа измерени на вага (DIGI DS 70E-15KT, Teraoka Seiko Co, Јапонија) и оформени топчиња со маса од 0,050 kg, кои потоа рачно беа обликувани во форма на бургери. Во претходно загреано рафинирано сончогледово масло, со метод на длабоко пржење, беа испржени сите формираните бургери (170-180°C, 6-7 min). Бургерите беа оставени да се изладат во период од 1 час, и потоа беа спакувани секој поединечно на вакумирка (Valko, Favola 315/10). Потоа бургерите беа означени со код 000 за контролен веган бургер и код 001 за веган бургер со додаток на окара. Сите примероци беа складирани во ладилник на температура од 5-8°C.

Анализата на примероците вегански бургери беше направена во акредитирана лабораторија ФудЛаб-Скопје и тоа за мерење на протеини по методот ISO 937:1978, и мерење на диетални влакна по методот PY 7.4-150X

3.3.2. Подготовка на примероци од смеси на брашно

Во однос на примероците кои беа испитувани на инструментот Миксолаб, во една трослојна (Kraft50/PET12/CPР60) кеса со патент-затварање, беше спакувано пченично брашно Т400 во количина од 0,150 kg, и беше означено со ‘Брашно Т400’, а во друга кеса беше спакувано претходно подготвена мешавина во количина од 0,150 kg (0,100 kg пченично брашно Т400 и 0,050 kg сува окара во прав) означена со ‘Брашно Т400 со окара’.

Табела 1: Потребни состојки изразени во kg и во % за изработка на веган бургер

Состојки	Контролен веган бургер 000		Веган бургер со окара 001	
	Количина во kg	%	Количина во kg	%
Инт. ориз (варен)	0,856*	64,139	0,856*	54,017
Морков сушен	0,125	9,363	0,125	7,887
Кромид сушен	0,125	9,363	0,125	7,887
Сол	0,026	1,685	0,026	1,420
Целер во прав	0,006	0,468	0,006	0,394
Куркума во прав	0,006	0,468	0,006	0,394
Кари во прав	0,006	0,468	0,006	0,394
Овесни снегулки	0,150	11,236	0,150	9,465
Инт. пчен. брашно	0,038	2,809	0,038	2,366
Окара влажна	0	0,000	0,250	15,774

*за 0,875 kg варен ориз беше потребно 0,125 kg сув ориз

3.3.3. Подготовка на ‘мастило’ за 3Д печатење

Во однос на подготовката на ‘мастилото’ за печатење на 3Д крекерите, беа подготвени 2 различни формулации, една за печатење на 3Д крекери со лук, и втора за печатење на 3Д крекери со цвекло и соја сос. Подготовката на ‘мастилата’ за крекери се одвиваше на истиот начин за двата вида крекери. Сите состојки наведени во табела 2 беа измерени на дигитална вага (DIGI DS 70E-15KT, Teraoka Seiko Co, Јапонија), во посебен сад за 3Д крекерите со лук, и во посебен сад за 3Д крекерите со цвекло и соја сос. Потоа секоја смеса посебно беше блендирана (Nutri Bulet, 2000 rpm), во времетраење од 2 мин. Потоа секоја смеса посебно беше складирана во стаклена тегла со поклопец, и оставена во ладилник на температура од 5-8°C. Смесата беше складирана во времетраење од 15 часа, и потоа беше искористена за формирање на 3Д печатени крекери на 3Д принтер за храна. После печатењето, крекерите беа печени во претходно загреана рерна (Elektrolux) на температура 150–160 °C, во времетраење од 12 min.

Табела 2: Потребни состојки за формирање на ‘мастило’ за 3Д печатење на крекери

3Д крекери со лук		3Д крекери со цвекло и соја сос	
Состојки	нето маса/кг	Состојки	нето маса/кг
Сува окара	0,040	Сува окара	0,013
Вода	0,355	Вода	0,146
Сончогледово масло	0,012	Протеин од грашок со 80% протеини	0,019
Ксантан гума	0,001	Сонч. масло	0,005
Гуар гума	0,001	Карбоксиметил целулоза	0,0011
Сол	0,004	Ксантан гума	0,0003
Алкохолен оцет	0,003	Цвекло во прав	0,0005
Аскорбинска к-на	0,0001	Соја сос	0,002
Лук во прав	0,0005	Лук во прав	0,0003
		Сол	0,001

3.4 Метод за сензорна анализа

Сензорната евалуација на примероците беше изведена со примена на методот на квантитативна дескриптивна анализа. Анализата беше спроведена од вкупно 14 панелисти. Пред почетокот на оценувањето, панелистите беа запознаени со целта на испитувањето, методологијата и сензорните атрибути што ќе се оценуваат. Атрибутите опфаќаа категории поврзани со изглед, арома, вкус и текстура. Примероците беа подготвени под контролирани услови и сервирани на панелистите означени со троцифрени кодови, со цел да се избегне пристрасност. Интензитетот на секој сензорен атрибут беше оценуван со нумеричка скала од 0 до 10, каде 0 означува „атрибутот не е присутен“, 5 „умерено присутен“, а 10 „исклучително изразен“. Секој панелист ги внесуваше оценките индивидуално, без меѓусебна комуникација. Добиените резултати беа обработени со дескриптивна статистика, при што беа пресметани средни вредности и стандардни девијации за секој атрибут. Податоците понатаму беа користени за споредба на сензорните профили на испитуваните примероци.

Квантитативна дескриптивна анализа (QDA) – Формулар за панелисти

Код на примерок: _____
Датум: _____ Панелист: _____

Инструкции:

Се оценува контролен веган бургер со код 000 и веган бургер со додаток на влажна окара со код 001. Оценете го интензитетот на секој атрибут на скала од 0 (не е присутен), 5 (умерено присутен) до 10 (исклучително изразен). Впишете број во празното поле.

Сензорна категорија	Атрибут	Опис	Оценка (0–10)
Изглед	Интензитет на боја	Од светла до темна боја	_____
Изглед	Хомогеност	Равномерност на структурата	_____
Изглед	Видливи честички	Присуство на фиброзни/зрнести честички	_____
Арома	Интензитет на арома	Вкупен интензитет на мирис	_____
Арома	Мешункаста нота	Земјен или мирис на мешунки	_____
Арома	Непријатна арома	Присуство на непријатен мирис	_____
Вкус	Интензитет на вкус	Вкупен интензитет на вкус	_____
Вкус	Умами	Перцепција на полност и длабочина	_____
Вкус	Непријатен вкус	Присуство на непријатен вкус	_____
Текстура / чувство во устата	Цврстина	Отпор при чвакање	_____
Текстура / чувство во устата	Сочност	Ослободување на влага при чвакање	_____
Текстура / чувство во устата	Фиброзност	Чувство на диететски влакна во уста	_____
Забелешки на панелистот:			

Слика 3: Изглед на прашалникот користен за сензорна анализа

3.5 Реолошки методи на испитување на смеса од брашно

Реолошката и термомеханичката карактеризација на тестото беше спроведена со помош на Миксолаб (Chopin Technologies, Франција), инструмент кој овозможува континуирано следење на вртежниот момент (torque) на тестото за време на контролирано мешање, загревање и ладење. Анализата се базира на стандарден температурен и механички профил, при што тестото е изложено на прогресивни промени на температурата (од ~30 до 90 °C и повторно ладење), со константна брзина на мешање.



Слика 4: Изглед на Миксолаб (<https://vgv.kz/p39170076-miksolab-sistema-chopin.html>)

При карактеризација на брашното и смеси од брашно се определуваат следниве параметри:

Параметар C1: Максимален вртежен момент

C1 е максималниот вртежен момент забележан при почетното мешање и ја покажува апсорпцијата на вода и развојот на глутенската мрежа. Поголемата вредност укажува на оптимална конзистентност и стабилност на тестото (Dragomir et al., 2025; Cingöz & Yörükoğlu, 2022). C1 е важен за оценка на квалитетот на брашното и тестото (Slavu et al., 2021; Apostol et al., 2020).

Параметар C2: Ослабување на протеините

C2 ја покажува слабата на протеинската структура при продолжено мешање и загревање. Намалувањето од C1 до C2 ја покажува големината на распаѓањето на протеините (Plustea et al., 2022). C2 е чувствителен индикатор за квалитетот на протеините во брашното (Apostol et al., 2020).

Параметар C3: Желатинизација на скробот

C3 го мери набабрувањето на скробот при зголемување на температурата. Поголем C3 укажува на добра способност на скробот за желатинизација, што влијае на текстурата, волуменот и квалитетот на финалниот производ (Slavu et al., 2021; Gu et al., 2023; Plustea et al., 2022).

Параметар C4: Распаѓање на желатинизираниот скроб

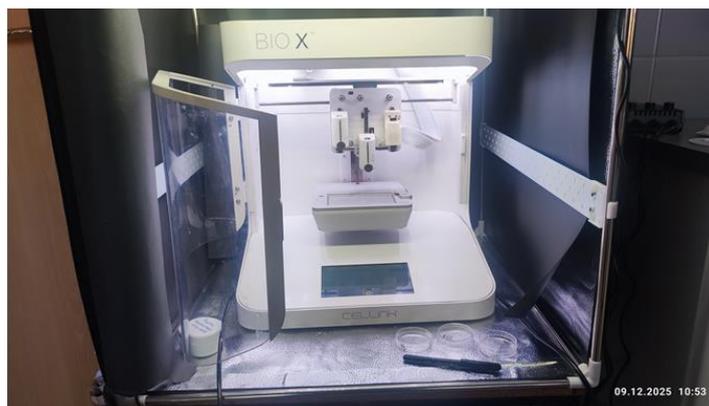
C4 е намалувањето на вртежниот момент по желатинизацијата, што покажува физичко распаѓање на скробните гранули. Пониски вредности укажуваат на помала стабилност на тестото (Plustea et al., 2022; Vojňanská et al., 2024; Machado-Velarde et al., 2023; Apostol et al., 2020).

Параметар C5: Ретроградација на скробот

C5 се мери при ладење и ја покажува ретроградацијата на скробот. Поголеми вредности значат поголема цврстина и побрзо стареење на лебот, додека намалувањето на C5 со адитиви може да ја продолжи свежината (Barakat, 2021; Slavu et al., 2021; Vojňanská et al., 2024; Cingöz & Yörükoğlu, 2022).

3.6 3Д принтер за храна BIO X Cellink

За 3Д печатењето на крекери беше користен **Cellink BIO X**, екструзионен принтер за храна со отворен систем за материјали, (лабораторија на Факултет за Фармација, УКИМ, Скопје) кој овозможува печатење со различни ‘мастила’, гелови и сирупи. Принтерот користи до четири независни екструзиони модули, пневматски или механички, кои овозможуваат печатење со повеќе ‘мастила’ со различни реолошки својства и однесување при вкрстено печатење (Matamoros et al., 2020). Затворената комора за печатење ја одржува температурата (4 °C до 60 °C) и влажноста, со цел стабилизирање на вискозитетот на ‘мастилото’ и спречување на микробна контаминација преку НЕРА-филтриран проток на воздух (Matamoros et al., 2020). Принтерот поддржува дијаметри на игли од 27G до 21G (каде „G“ означува gauge, односно стандардна мерка за дебелина на иглата) (Dharmaraj et al., 2024), со точност на позиционирање од 5 µm и повторливост од ±25 µm, а максималниот волумен за печатење е 100 mm×100 mm×80 mm. Екструдерот и подлогата можат да се контролираат до 60 °C, а брзината на екстудирање се движи од 1 до 50 mm/s при притисок до 600 kPa, овозможувајќи прецизно формирање на структури.



Слика 5: BIO X Cellink 3D принтер за храна (лабораторија на Факултет за фармација, УКИМ-Скопје)

3.7 Методи за анализа и интерпретација на податоците

Квантитативните резултати од сензорната анализа беа анализирани со дескриптивна статистика (Microsoft Excel 2010).

4. Анализа, резултати и дискусија

4.1 Анализа, резултати и дискусија за вегански бургери

4.1.1. Нутритивни и технолошки својства на веган бургерите

Измерените резултати за протеини и диетални влакна на веган бургер и веган бургер со окара беа како што е прикажано во табела 3:

Табела 3: Измерени лабораториски вредности за протеини и диетални влакна

	Контролен вегански бургер 000	Вегански бургер со окара 001	Зголемување во %
Протеини	4,5%	5,1%	13,3%
Диетални влакна	4,8%	6,2%	29,17%

Анализата на формулациите на веганските бургери покажа дека инкорпорирањето на влажна окара како функционална состојка има значајно влијание врз нивниот нутритивен и технолошки профил. Зголемената содржина на растителни протеини и диететски влакна кај примероците со окара укажува на успешна валоризација на овој нуспроизвод како состојка со додадена вредност. Технолошки, присуството на окара влијаеше врз структурата и врзувањето на водата во матрицата на бургерите, што резултираше со поголема мекост и помала сочност на бургерите со окара во споредба со контролните примероци.



Слика 6: Изглед на контролен веган бургер (лево) и веган бургер со окара (десно)

4.1.2 Резултати и дискусија на сензорната анализа

Во однос на сензорната анализа, добиените резултати се прикажани во табела 4, како и на слика 7, каде е прикажан пајак-дијаграм со истите резултати за поголема визуелна воочливост на разликите/сличностите.

Табела 4: Резултати од сензорна анализа на вегански бургери, со средна вредност и стандардна девијација за секој атрибут

Оценување на:	Атрибут	Опис	000 Вег. бургер		001 Вег. бургер со окара	
			Ср. Вред.	Стан. Дев.	Ср. Вред.	Стан. Дев.
Изглед	Интензитет на боја	Од светла до темна боја	7.75	1.86	7.58	1.68
Изглед	Хомогеност	Рамномерност на структурата	5.83	1.70	6.88	2.59
Изглед	Видливи честички	Присуство на фиброзни/зрн. чест.	7.92	1.83	7.50	2.15
Арома	Интензитет на арома	Вкупен интензитет на мирис	6.83	2.29	6.50	2.24
Арома	Мешункаста нота	Земјен или мирис на мешунки	3.58	2.75	4.75	3.39
Арома	Непријатна арома	Присуство на непријатен мирис	2.17	2.92	2.00	2.89
Вкус	Интензитет на вкус	Вкупен интензитет на вкус	7.42	1.88	7.08	2.35
Вкус	Умами	Перцепција на полност и длабочина	7.08	2.75	7.91	2.26
Вкус	Непријатен вкус	Присуство на непријатен вкус	2.00	2.95	1.00	1.86
Текстура	Цврстина	Отпор при цвакање	2.42	2.19	1.25	1.48
Текстура	Сочност	Ослободување на влага при цвакање	4.58	3.87	2.92	3.48
Текстура	Фиброзност	Чувство на диететски влакна во уста	3.75	3.08	4.42	3.06

Споредба бургери 000 со 001



Слика 7: Дијаграм за сликовит приказ на резултатите од сензорната анализа на 000 вегански бургер и 001 вегански бургер со окара

Квантитативната дескриптивна анализа (QDA), спроведена со 14 панелисти, покажа дека инкорпорацијата на окара во формулацијата на веганскиот бургер (001) влијае врз одделни сензорни атрибути, при што најизразени разлики се забележани кај изгледот, вкусот и текстурата.

Во однос на **изгледот**, двата бургери покажуваат сличен интензитет на боја, со нешто пониска средна вредност кај бургерот со окара (7.58) во споредба со контролниот примерок (7.75), што укажува дека додавањето на окара нема значително влијание врз визуелната перцепција на бојата. Сепак, бургерот со окара е оценет како похомоген (6.88) во однос на контролниот бургер (5.83), што сугерира подобра структурна рамномерност. Перцепцијата на видливи честички е висока кај двата примероци, со благо пониска вредност кај бургерот со окара, што укажува дека и покрај присуството на диетални влакна, структурата останува прифатлива од визуелен аспект.

Кај **ароматичните атрибути**, двата примероци покажуваат сличен вкупен интензитет на арома. Сепак, мешункестата нота е поизразена кај бургерот со окара (4.75) во споредба со контролниот примерок (3.58), што е очекувано со оглед на потеклото и составот на окара. Присуството на непријатна арома е ниско кај двата примероци, што укажува дека додавањето на окара не доведува до појава на несакани мирисни ноти.

Во однос на **вкусот**, вкупниот интензитет на вкус е сличен кај двата бургери, при што контролниот примерок има нешто повисока средна вредност. Сепак, бургерот со окара покажува повисока оценка за умами вкус (7.91) во споредба со контролниот бургер (7.08), што укажува дека окара може позитивно да придонесе кон перцепцијата на полност и длабочина на вкусот. Непријатниот вкус е оценет како минимален, со пониски вредности кај бургерот со окара, што укажува на подобра вкусовна прифатливост.

Најзначајни разлики се забележани кај **текстурните атрибути**. Бургерот со окара е оценет како помалку цврст (1.25) и помалку сочен (2.92) во споредба со контролниот примерок (2.42 и 4.58, соодветно), што може да се припише на високата способност на окара да врзува вода и да ја намалува количината на слободна влага при цвакање. Од друга страна, фиброзноста е поизразена кај бургерот со окара (4.42), што е во согласност со неговата зголемена содржина на диетални влакна и може да придонесе за пополна и покомплексна устна перцепција.

Стандардните девијации кај повеќето атрибути се умерени, што укажува на прифатливо ниво на согласност меѓу панелистите и ја потврдува релевантноста и репродуктивноста на добиените QDA резултати.

4.2. Анализи, резултати и дискусија за брашно и смеси од брашно со окара

Реолошката анализа спроведена со инструментот Миксолаб покажа јасни разлики помеѓу контролното пченично брашно тип Т-400 и брашното со додаток на окара. Присуството на окара резултираше со зголемена апсорпција на вода и намалена стабилност на тестото, што укажува на интеракција помеѓу влакнестата структура на окарата и глутенската мрежа. Дополнително, беше забележано побрзо слабеење на

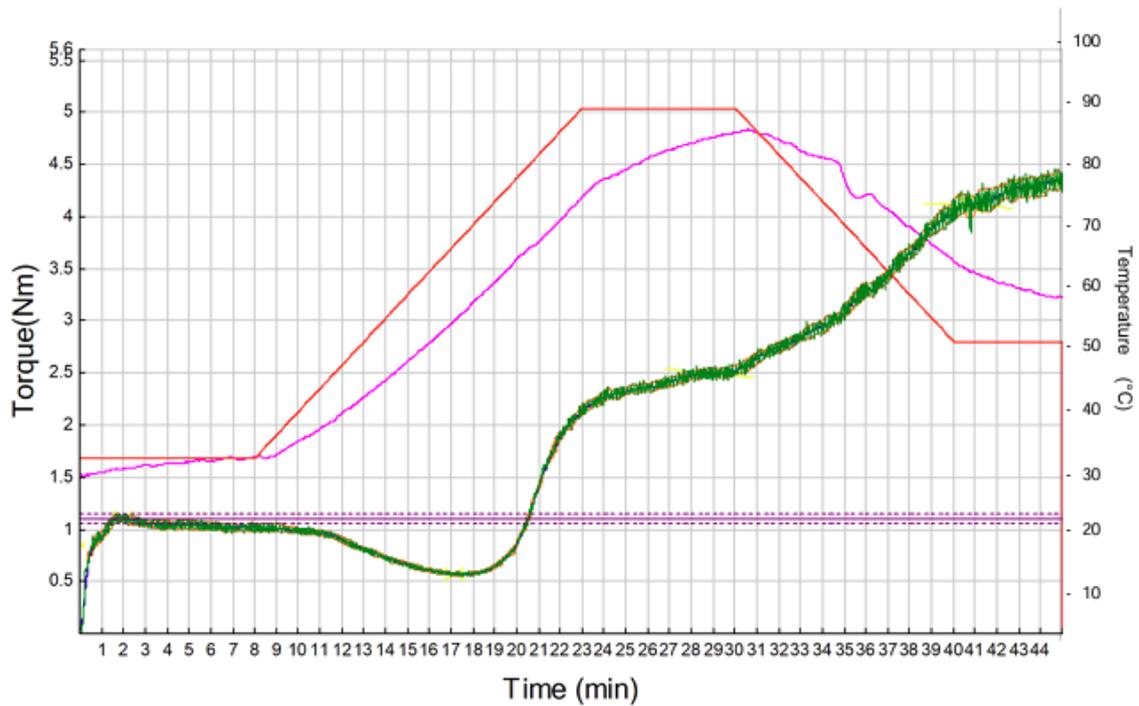
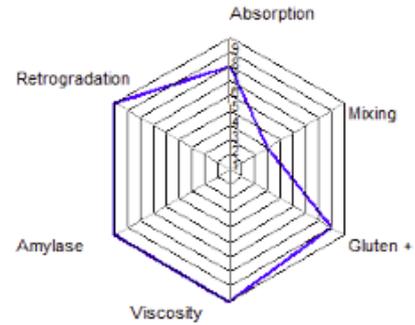
протеинската структура при загревање, како и модифициран профил на желатинизација на скробот.

BioCosmos - T 400 bez Okara

Date : 21/01/2026 Hour : 09:58 Protocol : Chopin+
 Sample : Dough weight : 75.0 g
 Water absorption : 61.0 % base 14% (b14) Water tank temperature : 30.0 °C
 Moisture content : 14.50 % Mixing speed : 80 rpm
 Index: 7-38-999

α :	-0.076	Nm/min
β :	-0.020	Nm/min
γ :	-0.012	Nm/min

	Time (min)	Torque (Nm)	Temp. Dough (°C)	Amplitude (Nm)	Stability (min)
C1	2.02	1.108	28.3	0.079	10.00
CS	8.00	1.020	30.3		0
C2	17.15	0.568	53.7		
C3	40.57	4.144	62.4		
C4	40.92	4.085	62.0		
C5	45.02	4.348	57.6		



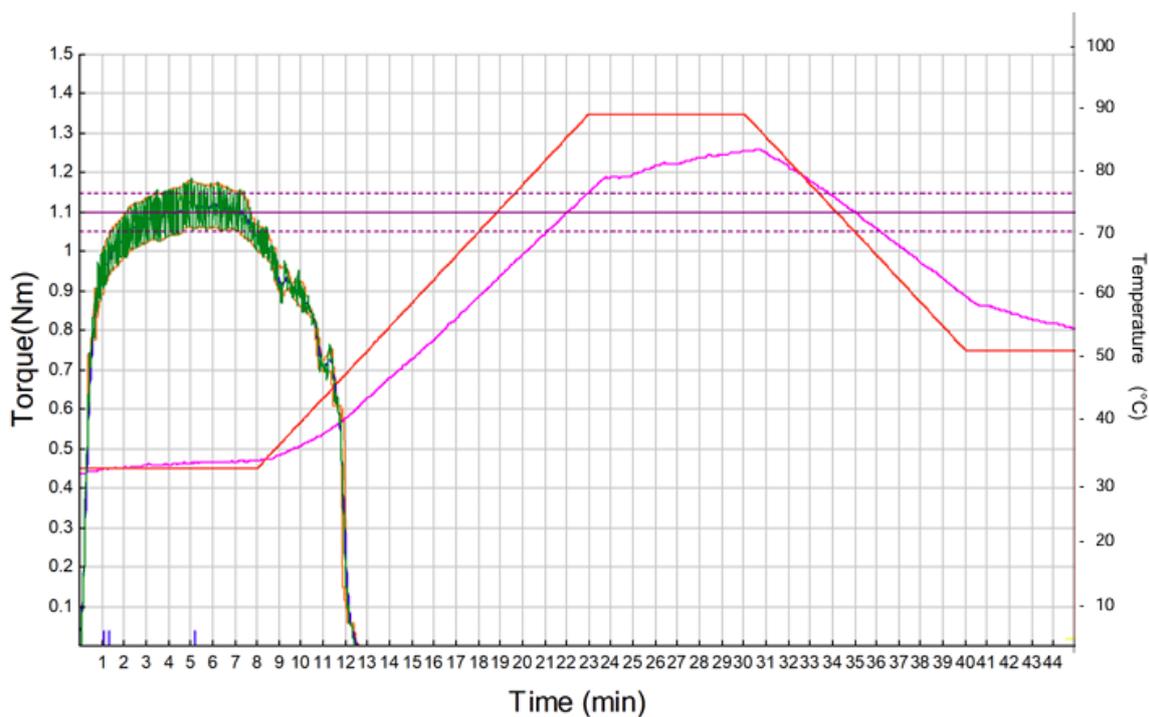
Слика 8: Резултати од Миксолаб-контролен примерок 100% пченично брашно T400

BioCosmos - T 400 so Okara

Date : 21/01/2026 Hour : 11:03 Protocol : Chopin+
 Sample : Dough weight : 75.0 g
 Water absorption : 90.8 % base 14% (b14) Water tank temperature : 30.0 °C
 Moisture content : 14.50 % Mixing speed : 80 rpm

α :	0.000	Nm/min
β :	0.000	Nm/min
γ :	0.000	Nm/min

	Time (min)	Torque (Nm)	Temp. Dough (°C)	Amplitude (Nm)	Stability (min)
C1	4.90	1.128	30.9	0.114	7.80
CS	8.00	1.038	31.3		3.8
C2	45.02	0.002	53.7		
C3	23.00		76.8		
C4	30.00		83.6		
C5	45.02	0.002	53.7		



Слика 9: Резултати од Миксолаб-примерок брашно Т400 со сува окара (66.7% брашно Т400 и 33.3% сува окара во прав)

Резултатите од Миксолаб анализата покажаа дека додавањето на 33 % окара значително ја зголемува апсорпцијата на вода (90,8 %) во споредба со контролниот примерок (61,0 %). Ова се припишува на високата содржина на диететски влакна и протеини во окара, кои имаат изразен капацитет за врзување на вода, што директно влијае врз хидратацијата и реолошките својства на тестото. Зголемената апсорпција укажува на потреба од прилагодување на водната фаза при формулации со високо ниво на окара за оптимален развој на тестото.

Максималниот вртежен момент при развој на тестото (C1) беше сличен кај двата примерока, што укажува дека иницијалната конзистентност и формирањето на глутенската мрежа може да се постигнат и во присуство на окара, доколку се обезбеди соодветна хидратација. Сепак, стабилноста на тестото беше намалена (7,8 min vs 10,0 min), што укажува на делумно нарушување на континуитетот и кохезијата на глутенската структура. Окара делува како дисперзирана фаза во протеинската матрица, при што влакната механички го прекинуваат интегритетот на мрежата, ограничувајќи ја еластичноста и отпорноста на механичко оптоварување.

Термичката стабилност на протеините (C2) беше значително намалена кај тестото со окара, при што вредноста на вртежниот момент се приближува кон нула. Овој резултат укажува на изразена слабост на глутенската мрежа при загревање, што може да предизвика нестабилна ферментација и потешка обработка на тестото. Слабењето на мрежата се објаснува со разредување на глутенските протеини, конкуренција за вода помеѓу влакната и глутенот, како и присуство на растителни протеини со пониска термичка стабилност.

Во фазата на желатинизација на скробот (C3) беше забележано дека скробот е целосно разграден, неможност да се формира скробен гел поради присуството на влакната од окара. Ова дава предикција дека нема да се добие производ со добар волумен.

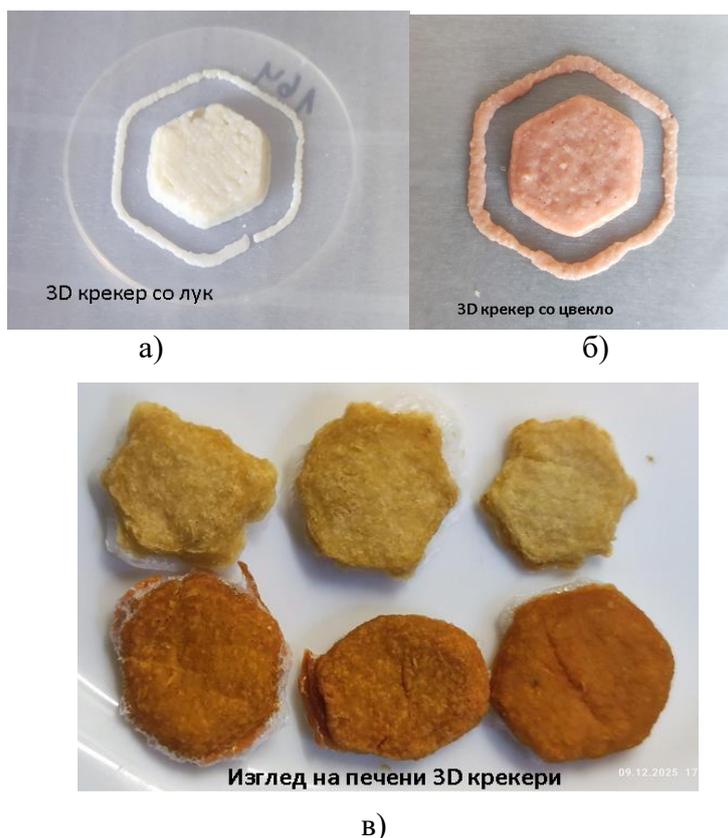
Стабилноста на скробниот гел (C4) беше нарушена, што сугерира дека изменетата распределба на вода и присуството на не-скробни полисахариди негативно влијаат на интегритетот на гелната структура. Ова може да резултира со производ со помал волумен и нееднаква порозност.

Параметарот C5, кој ја одразува ретроградацијата на скробот и потенцијалното застарување на производот, беше понизок кај примерокот со окара. Овој ефект е позитивен, бидејќи намалената ретроградација ја продолжува свежината на финалните производи и потенцијално ја зголемува трајноста (Плустеа и сор.-Plustea et al., 2022)

Сумирано, додатокот на 33 % окара во прав значајно ги менува реолошките и термомеханичките својства на тестото, при што окара дејствува како активен структурен модификатор. Иако се забележува слабење на глутенската мрежа и нејзината термичка стабилност, придобивките од зголемената апсорпција на вода и намалената ретроградација на скробот укажуваат на потенцијално подобрена свежина на финалните пекарски производи. Овие наоди ја потврдуваат потребата од внимателна оптимизација на рецептурата и процесните услови при примена на окара како функционален и одржлив нутритивен додаток во пекарските формулации.

4.3. Анализа, резултати и дискусија за 3Д печатени крекери

Експерименталното печатење на 3Д крекери со различни вкусови и ‘мастила’ (3Д крекер со лук и 3Д крекер со цвекло и соја сос) се покажа како успешно. Структурниот интегритет на печатените производи беше задоволителен, без значително деформирање или колапс по печатењето, што укажува на соодветни реолошки својства и стабилност на употребените ‘мастила’. И двете формулации овозможува добивање на хомогени линии и слоеви, при што успешно се репродуцираше комплексниот дизајн на крекерите. Овие резултати го потврдуваат потенцијалот на 3Д принтањето како метод за подготовка на персонализирана и функционална храна, со можност за инкорпорирање на различни вкусови и нутритивни компоненти. Изгледот на добиените 3Д крекери е прикажани на слика 10.



Слика 10: а) Изглед на непечен 3Д крекер со лук, б) непечен 3Д крекер со цвекло и соја сос, в) печени 3Д крекери (горе-со лук, доле-со цвекло и соја сос)

4.4 Потврда на на хипотезите и насоки за понатамошни истражувања

Врз основа на добиените резултати може да се заклучи дека поставените хипотези во најголем дел се целосно или делумно потврдени. Додавањето на влажна окара доведе до зголемување на нутритивната вредност на веганските бургери без значајно нарушување на нивната сензорна прифатливост, додека реолошката анализа на башното со додаток на сува окара потврди дека окарата значајно влијае врз однесувањето на пченичното тесто. Окарата се покажа и како вредна суровина за имплементирање во формулации за ‘мастило’ за 3Д печатење на храна.

Иако добиените резултати се охрабрувачки, потребни се дополнителни истражувања за да се испита долгорочното влијание на окара врз стабилноста, рокот на траење и нутритивната биодостапност на производите. Понатамошни студии би можеле да се насочат кон оптимизација на процентот на додаток на окара, примена на различни соодноси во веганските бургери, смесите со брашно и за 3Д печатена храна, но и во технолошките третмани на истите, како и проширување на примената во други категории на растителни и пекарски производи.

Заклучок

Овој труд покажува дека окара, како био-отпад од прехранбената индустрија, може успешно да се валоризира и интегрира во различни прехранбени системи во рамки на

концептот на циркуларна економија. Наместо да се третира како отпад, окарата се потврди како функционална состојка со значаен нутритивен и технолошки потенцијал.

Инкорпорацијата на влажна окара во формулацијата на вегански бургери резултираше со зголемување на содржината на растителни протеини и диетални влакна, без значајно нарушување на сензорната прифатливост. QDA анализата покажа дека бургерите со окара се карактеризираат со поголема хомогеност, поизразен умами вкус и зголемена фиброзна, додека намалената сочноста укажува на потреба од оптимизација на водната фаза и текстурните параметри.

Реолошката анализа со Миксолаб потврди дека додавањето на сува окара значително ја зголемува апсорпцијата на вода и ја модифицира глутенската мрежа, при што се забележува намалена стабилност на тестото, но и позитивен ефект врз ретроградацијата на скробот. Овие промени укажуваат дека окара дејствува како активен структурен модификатор, што бара прилагодување на рецептурата и процесните услови при индустриска примена.

Дополнително, успешната подготовка и печатење на 3Д кречери со формулации базирани на окара ја потврдуваат нејзината применливост во современи технологии за 3Д печатење на храна. Ова отвора можности за развој на персонализирани, функционални и одржливи прехранбени производи со намален еколошки отпечаток.

Севкупно, резултатите од истражувањето укажуваат дека окара претставува стратешка суровина за развој на иновативни производи во растителната и дигиталната прехранбена индустрија, при што нејзината примена придонесува кон одржлив развој, редукција на био-отпадот и унапредување на циркуларните прехранбени системи. Сите овие обиди за валоризација на окарата се во контекст на глобалните принципи за одржливост, искористување на био-отпадот и намалување на влијанието на климатските промени - со што допринесуваме за подобро здравје на човекот и планетарна добросостојба.

Благодарност – неизмерна благодарност до мојот ментор, проф д-р Анка Т. Петкоска, м-р Тони Ацоски (Кидекс довел, Тетово), проф. д-р Ристе Попески-Димовски (Институт за физика, Скопје), фам. Мирсинови (Биокосмос, Велес), членовите на комисијата, панелистите во сензорната анализа, фам. Стајиќ, фам. Костадиновски.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА:

1. Ahmadzadeh, S., Clary, T., Rosales, A., & Ubeyitogullari, A. (2023). Upcycling Imperfect Broccoli and Carrots Into Healthy Snacks Using an Innovative 3D Food Printing Approach. *Food Science & Nutrition*, 12(1), 84–93. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3820>
2. Anjum, S., Agnihotri, V., Rana, S., Pandey, A., & Pande, V. (2023). The Impact of Processing Methods and Conditions on Nutritional Properties of Soybean-Based Tofu: A Review. *Journal of Food Engineering and Technology*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.32732/jfet.2023.12.1.1>
3. Apostol, L., Belc, N., Gaceu, L., Oprea, O. B., & Popa, M. E. (2020). Sorghum Flour: A Valuable Ingredient for Bakery Industry? *Applied Sciences*, 10(23), 8597. <https://doi.org/10.3390/app10238597>
4. Ashaolu, T. J., & Zhao, G. (2020). Fabricating a Pickering Stabilizer From Okara Dietary Fibre Particulates by Conjugating With Soy Protein Isolate via Maillard Reaction. *Foods*, 9(2), 143. <https://doi.org/10.3390/foods9020143>

5. Aussanasuwannakul, A., Teangpook, C., Treesuwan, W., Puntaburt, K., & Butsuwan, P. (2022). Effect of the Addition of Soybean Residue (Okara) on the Physicochemical, Tribological, Instrumental, and Sensory Texture Properties of Extruded Snacks. *Foods*, *11*(19), 2967. <https://doi.org/10.3390/foods11192967>
6. Barakat, H. (2021). Nutritional and Rheological Characteristics of Composite Flour Substituted With Baobab (*Adansonia Digitata* L.) Pulp Flour for Cake Manufacturing and Organoleptic Properties of Their Prepared Cakes. *Foods*, *10*(4), 716. <https://doi.org/10.3390/foods10040716>
7. Bojňanská, T., Kolesárová, A., Čech, M., Tančinová, D., & Urminská, D. (2024). Extracts With Nutritional Potential and Their Influence on the Rheological Properties of Dough and Quality Parameters of Bread. *Foods*, *13*(3), 382. <https://doi.org/10.3390/foods13030382>
8. Bruna Méris Grigoletto da Silveira, Bermejo-Poza, R., Fuente, J. d. l., Ramires, T. G., & Ponsano, E. H. G. (2025). Effects of Different Dehydration Methods on the Color, Nutritional, and Functional Characteristics of Okara. *Food Science and Technology*, *45*. <https://doi.org/10.5327/fst.00410>
9. Chao, C., Nam, H. K., Park, H. J., & Kim, H. (2024). Potentials of 3D Printing in Nutritional and Textural Customization of Personalized Food for Elderly With Dysphagia. *Applied Biological Chemistry*, *67*(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-023-00854-7>
10. Cingöz, A., & Yörükoğlu, T. (2022). Determination of Rheological Properties of Alternative Flour Substituted Doughs. *Black Sea Journal of Agriculture*, *5*(4), 392–400. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1141895>
11. Colletti, A., Attrovio, A., Boffa, L., Mantegna, S., & Cravotto, G. (2020). Valorisation of by-Products From Soybean (*Glycine Max* (L.) Merr.) Processing. *Molecules*, *25*(9), 2129. <https://doi.org/10.3390/molecules25092129>
12. Dharmaraj, J. J. J., Hynes, N. R. J., Królczyk, G., & Pitchumani, S. V. (2024). Extrusion-Based Bioprinting in a Cost-Effective Bioprinter. *Machines*, *12*(8), 518. <https://doi.org/10.3390/machines12080518>
13. Dragomir, C., Dossa, S., Jianu, C., Cocan, I., Radulov, I., Berbecea, A., Radu, F., & Alexa, E. (2025). Composite Flours Based on Black Lentil Seeds and Sprouts With Nutritional, Phytochemical and Rheological Impact on Bakery/Pastry Products. *Foods*, *14*(2), 319. <https://doi.org/10.3390/foods14020319>
14. European Commission. (2022). EU food waste prevention and measurement: Progress report. Publications Office of the European Union.
15. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction.
16. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). The State of Food and Agriculture 2023. Revealing the true cost of food to transform agrifood systems.
17. Farias, B. S. d., Cunha, L., Christ-Ribeiro, A., Jaeschke, D. P., Gonçalves, J. O., Fernandes, S. S., Cadaval, T. R. S., & Luiz Antônio de Almeida Pinto. (2025). Designing Emulsion Gels for 3D Food Printing: Structure, Stability, and Functional Applications. *Surfaces*, *8*(3), 64. <https://doi.org/10.3390/surfaces8030064>
18. Gu, Y., Cheng, L., Li, C., Li, Z., Gu, Z., & Hong, Y. (2023). Effects of Wheat Flour Substitution With High-Amylose Corn Flour on the Quality of Dough and Chinese Steamed Bread. *Starch - Stärke*, *75*(11–12). <https://doi.org/10.1002/star.202300088>
19. Ibadullah, W. Z. W., Mokhtar, F., Hanani, Z. A. N., Nor-Khaizura, M. A. R., Ibrahim, N. H., & Mustapha, N. A. (2024). Okara-Fortified Wheat Bread: Effect on Nutritional,

- Physicochemical and Sensory Properties. *Journal of Biochemistry Microbiology and Biotechnology*, 12(SP1), 110–113. <https://doi.org/10.54987/jobimb.v12isp1.971>
20. Ismail, I., Hwang, Y.-H., & Joo, S.-T. (2020). Meat Analog as Future Food: A Review. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(2), 111–120. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.2.111>
 21. Jang, J., & Lee, D.-W. (2024). Advancements in plant based meat analogs enhancing sensory and nutritional attributes. *Npj Science of Food*, 8(1), 50. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00292-9>
 22. Kamble, D. B., & Rani, S. (2020). Bioactive Components, in Vitro Digestibility, Microstructure and Application of Soybean Residue (Okara): A Review. *Legume Science*, 2(1). <https://doi.org/10.1002/leg3.32>
 23. Korkach, H., Kotuzaki, O., Shunko, H., Krusir, G., Hugi, C., & Брайтенмозер, Л. (2023). Інноваційна Технологія Виробництва Печива На Основі Використання Вторинних Продуктів Переробки Сої. *Journal of Chemistry and Technologies*, 31(1), 128–139. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i1.263187>
 24. Lee, C. P., Takahashi, M., Arai, S., Lee, K., & Hashimoto, M. (2021). 3D Printing of Okara Ink: The Effect of Particle Size on the Printability. *Acs Food Science & Technology*, 1(11), 2053–2061. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00236>
 25. Lee, D. P. S., Gan, A. X., Xia, X. J., Toh, K. Q. X., Chan, G., Jung, S., & Kim, J. E. (2023). Regular Consumption of Biovalorized Okara-Containing Biscuit Improves Circulating Short-Chain Fatty Acids and Fecal Bile Acids Concentrations by Modulating the Gut Microbiome: A Randomized Controlled Crossover Trial. *Molecular Nutrition & Food Research*, 67(13). <https://doi.org/10.1002/mnfr.202200756>
 26. Lesa, K. N., Ahmad, N., Mayangsari, Y., Cahyanto, M. N., & Saputra, W. D. (2024). Anti-Diabetic Effect of Okara Noodles on Streptozotocin-Nicotinamide Induced Diabetic Rats. *Trends in Sciences*, 21(5), 7428. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.7428>
 27. Machado-Velarde, L. X., Dávila-Vega, J. P., Gutiérrez-Urbe, J. A., Espinosa-Ramírez, J., Martínez-Ávila, M., Guajardo-Flores, D., & Chuck-Hernández, C. (2023). Black Bean Hulls as a Byproduct of an Extraction Process to Enhance Nutraceutical and Glycemic-Related Properties of Nixtamalized Maize Tostadas. *Foods*, 12(9), 1915. <https://doi.org/10.3390/foods12091915>
 28. Matamoros, M., Gómez-Blanco, J. C., Sánchez, Á. J., Sánchez, E. M., Marcos-Romero, A. C., Carrasco-Amador, J. P., & Pagador, J. B. (2020). Temperature and Humidity PID Controller for a Bioprinter Atmospheric Enclosure System. *Micromachines*, 11(11), 999. <https://doi.org/10.3390/mi11110999>
 29. Matas, A., de-la-Haba, F., Igual, M., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2025). Incorporation of Encapsulated Omega-3 in 3d-Printed Food Gels: A Study on Rheology, Extrusion, and Print Performance in Dual Ink Printing. *Foods*, 14(15), 2681. <https://doi.org/10.3390/foods14152681>
 30. Momin, A., Jubayer, Md. F., Begum, A. A., Nupur, A. H., Ranganathan, T. V., & Mazumder, Md. A. R. (2020). Substituting Wheat Flour With Okara Flour in Biscuit Production. *Foods and Raw Materials*, 8(2), 422–428. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-422-428>
 31. Ospina, Y. A. M., Lionello, M. E., Garófalo, L., Burbano, J. J., Cabezas, D. M., & Correa, M. J. (2023). Effect of Ultrasonic Treatment on Soybean Okara to Be Used as a Gluten-free Bread Improver. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(7), 3827–3837. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16484>

32. Oyalo, J. O. (2025). Enhancement of Okara Functionality via Fermentation With Single and Cocultures of Lactic Acid Bacteria. *Journal of Food Science*, 90(12). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70735>
33. Pannila, N., Jayalath, M. M., Thibbotuwawa, A., Nielsen, I., & Uthpala, T. G. G. (2022). Challenges in Applying Circular Economy Concepts to Food Supply Chains. *Sustainability*, 14(24), 16536. <https://doi.org/10.3390/su142416536>
34. Pešić, M. B., Pešić, M. M., Bezbradica, J., Stanojević, A. B., Ivković, P., Milinčić, D. D., Demin, M., Kostić, A. Ž., Dojčinović, B., & Stanojević, S. P. (2023). Okara-Enriched Gluten-Free Bread: Nutritional, Antioxidant and Sensory Properties. *Molecules*, 28(10), 4098. <https://doi.org/10.3390/molecules28104098>
35. Plustea, L., Negrea, M., Cocan, I., Radulov, I., Tulcan, C., Berbecea, A. & Alexa, E. (2022). Lupin (*Lupinus* spp.)-Fortified Bread: A Sustainable, Nutritionally, Functionally, and Technologically Valuable Solution for Bakery. *Foods*, 11(14), 2067. <https://doi.org/10.3390/foods11142067>
36. Prabsangob, N., Hangsalad, S., & Udomrati, S. (2024). Surface Modification of Okara Cellulose Crystals with Phenolic Acids to Prepare Multifunction Emulsifier with Antioxidant Capacity and Lipolysis Retardation Effect. *Foods*, 13(2), 184. <https://doi.org/10.3390/foods13020184>
37. Rizwan, D., Kirmani, S. B. R., & Masoodi, F. A. (2025). Circular Economy in the Food Systems: A Review. *Environmental Quality Management*, 34(4). <https://doi.org/10.1002/tqem.70096>
38. Sethi, S., Joshi, A., Seth, K., Bhardwaj, R., Yadav, A., & Grover, M. (2022). Phytonutrient Content, Antioxidant Potential and Acceptability of Muffins Functionalized With Soy and Citrus Industry Waste. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16606>
39. Shinde, R. R., Patil, A., Kamble, H. A., Patil, P., & Gatade, A. A. (2025). Unlocking the Potential of Soymilk Industry Waste (Okara): A Comprehensive Review on Valorization and Food Applications. *JFL*, 38(2), 187–198. <https://doi.org/10.53550/jfl.v38.i2.259>
40. Slavu, M. G., Banu, I., Milea, Ștefania A., Aprodu, I., Enachi, E., Cotârleț, M., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2021). Designing Gluten-free, Anthocyanins-enriched Cookies on Scientific Basis. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(8), 4726–4735. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15457>
41. Swallah, M. S., Fan, H., Wang, S., Yu, H., & Piao, C. (2021). Prebiotic Impacts of Soybean Residue (Okara) on Eubiosis/Dysbiosis Condition of the Gut and the Possible Effects on Liver and Kidney Functions. *Molecules*, 26(2), 326. <https://doi.org/10.3390/molecules26020326>
42. Tamasiga, P., Miri, T., Onyeaka, H., & Hart, A. (2022). Food Waste and Circular Economy: Challenges and Opportunities. *Sustainability*, 14(16), 9896. <https://doi.org/10.3390/su14169896>
43. UNEP. United Nations Environment Programme. (2021). Food waste index report 2021.
44. Usman, M., Li, Q., Luo, D., Xing, Y., & Dong, D. (2024). Valorization of Soybean By-products for Sustainable Waste Processing With Health Benefits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(10), 5150–5162. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13999>
45. Voss, G. B., Sousa, V., Rema, P., Pintado, M., & Valente, L. M. (2021). Processed by-Products From Soy Beverage (Okara) as Sustainable Ingredients for Nile Tilapia (O.

Niloticus) Juveniles: Effects on Nutrient Utilization and Muscle Quality. *Animals*, 11(3), 590. <https://doi.org/10.3390/ani11030590>