

Utjecaj tehnika završne toplinske obrade na kvalitetu trodimenzijski ispisanog bezglutenskog snack proizvoda

Obad, Karla

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:906612>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2024.

Karla Obad

**UTJECAJ TEHNIKA ZAVRŠNE TOPLINSKE
OBRADE NA KVALITETU TRODIMENZIJSKI
ISPISANOG BEZGLUTENSKOG SNACK
PROIZVODA**

Rad je izrađen u Laboratoriju za kemiju i tehnologiju žitarica na Zavodu za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkoga fakulteta pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Nikolinom Čukelj Mustač te uz pomoć asistentice mag. ing. Kristine Radoš.

Diplomski rad izrađen je u sklopu znanstveno – istraživačkog projekta Hrvatske zaklade za znanost: Razvoj nove generacije *snack*-proizvoda namijenjenih potrošačima s posebnim prehrambenim potrebama primjenom tehnologija 3D tiskanja (IP-2020-02-3829) voditeljice prof. dr. sc. Dubravke Novotni.

ZAHVALA

Od srca se želim zahvaliti mentorici izv. prof. dr. sc. Nikolini Čukelj Mustač na ukazanom povjerenju, strpljenju i prenesenom znanju tijekom izrade ovog diplomskog rada. Također, veliko hvala asistentici mag. ing. Kristini Radoš na svim savjetima i pomoći tijekom eksperimentalnog rada.

Najveće hvala mojim roditeljima i bratu na neizmjerne ljubavi, podršci i motivaciji tijekom cijelog mog školovanja.

Hvala svim prijateljima i kolegama koji su bili uz mene na ovom putu i učinili ovu avanturu nezaboravnom. Hvala i zaručniku Vinku, njegova vjera u mene učinila je svaki korak ovog puta lakšim i ljepšim.

Hvala i mom anđelu, sestri Antoneli, koja mi uvijek čuva leđa. Zauvijek ćeš biti moja najveća inspiracija !

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za kemiju i tehnologiju žitarica

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Diplomski sveučilišni studij: Prehrambeno inženjerstvo

UTJECAJ TEHNIKA ZAVRŠNE TOPLINSKE OBRADJE NA KVALITETU TRODIMENZIJSKI ISPISANOG BEZGLUTENSKOG *SNACK* PROIZVODA

Karla Obad, univ. bacc. ing. techn. aliment. 0125161708

Sažetak: Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj četiri različita postupka (sušionik, pećnica, friteza na vrući zrak, vakuum sušionik) i dvije temperature (120 i 160 °C) završne obrade na parametre kvalitete (udio vlage, devijacije dimenzija, teksturu, boju i senzorska svojstva) trodimenzijski ispisanog (3D) bezglutenskog *snack* proizvoda. Pri tome je vrijeme trajanja završne obrade određeno praćenjem promjene mase proizvoda. Najkraće vrijeme završne obrade postignuto je fritezom na vrući zrak i vakuum sušionikom, no ove su tehnike rezultirale i većim devijacijama oblika pa bi bila potrebna njegova prilagodba. Veća hrskavost uzoraka postignuta je pri nižim temperaturama, dok su tvrdoća i čvrstoća bile izraženije kod viših temperatura obrade. U odnosu na niže, više temperature uzrokovale su tamniju boju i izraženije crvene tonove uzoraka. Rezultati hedonističke senzorske analize ukazuju na to da se završnom obradom pri nižim temperaturama postižu bolja prihvatljivost vanjskog izgleda, mirisa, okusa, arome, teksture i sveukupnog doživljaja *snack* proizvoda.

Ključne riječi: 3D ispis, završna obrada, kvaliteta, *snack*-proizvod, bez glutena

Rad sadrži: 45 stranica, 13 slika, 7 tablica, 66 literaturnih navoda, 00 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkoga fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Nikolina Čukelj Mustač

Pomoć pri izradi: Kristina Radoš, mag. ing.

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. prof. dr. sc. Dubravka Novotni (predsjednik)
2. izv. prof. dr. sc. Nikolina Čukelj Mustač (mentor)
3. izv. prof. dr. sc. Filip Dujmić (član)
4. izv. prof. dr. sc. Marija Badanjak Sabolović (zamjenski član)

Datum obrane: 23. rujna 2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Food Engineering
Laboratory for Cereal Chemistry and Technology

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

Graduate university study programme: Food Engineering

THE EFFECT OF THERMAL POST-PROCESSING TECHNIQUES ON THE QUALITY OF A 3D-
GLUTEN-FREE SNACK

Karla Obad, univ. bacc. ing. techn. aliment. 0125161708

Abstract: The aim of this study was to determine the effect of four different post-processing techniques (dryer, oven, air fryer, vacuum dryer) and two temperatures (120 and 160 °C) on quality (moisture content, dimensional deviations, texture, color, and sensory properties) of a three-dimensional (3D) gluten-free snack product. The duration of the post-processes was determined by monitoring product weight change. The shortest post-processing time was achieved with the air fryer and vacuum dryer; however, these techniques require shape adjustment as they resulted in greater shape deviations. Lower temperatures led to greater crispness of the samples, while higher temperatures resulted in increased hardness and firmness. Higher temperatures also caused darker color and more pronounced red tones in the samples. Results from the hedonic sensory analysis indicate that post-processing at lower temperatures yields better sensory characteristics in terms of appearance, smell, taste, aroma, texture, and overall sensory experience.

Keywords: 3D printing, post-processing, quality, gluten-free snack

Thesis contains: 45 pages, 13 figures, 7 tables, 66 references, 00 supplements

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) form is deposited in the Library of the University of Zagreb Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: Nikolina Čukelj Mustač, PhD, Associate professor

Technical support and assistance: Kristina Radoš, mag. Ing.

Reviewers:

1. Dubravka Novotni, PhD, Full professor (president)
2. Nikolina Čukelj Mustač, PhD, Associate professor (mentor)
3. Filip Dujmić, PhD, Associate professor (member)
4. Marija Badanjak Sabolović, PhD, Associate professor (substitute)

Thesis defended: September 3rd, 2023

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. 3D ISPIS HRANE.....	2
2.2. PRIMJENA 3D ISPISA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI.....	3
2.3. 3D ISPIS PROIZVODA OD ŽITARICA.....	5
2.3.1. Bezglutenski <i>snack</i> -proizvodi od žitarica.....	7
2.4. ZAVRŠNA TOPLINSKA OBRADA 3D ISPISANIH PROIZVODA.....	9
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	10
3.1. MATERIJALI.....	10
3.2. METODE.....	10
3.2.1. Priprema tijesta za 3D ispis <i>snack</i> -proizvoda.....	10
3.2.2. 3D ispis <i>snack</i> -proizvoda.....	11
3.2.3. Završna toplinska obrada uzoraka.....	11
3.2.4. Određivanje udjela vlage u uzorcima.....	12
3.2.5. Određivanje aktiviteta vode.....	12
3.2.6. Određivanje boje uzoraka.....	12
3.2.7. Određivanje teksturalnih svojstava.....	13
3.2.8. Obrada fotografija.....	13
3.2.9. Senzorska analiza.....	15
3.2.10. Obrada podataka.....	16
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	17
4.1. PRECIZNOST ISPISA.....	18
4.2. DINAMIKA SUŠENJA.....	21
4.3. UTJECAJ TEHNIKE I TEMPERATURE NA DEVIJACIJU OBLIKA.....	27
4.4. UTJECAJ TEHNIKE I TEMPERATURE NA TEKSTURALNA SVOJSTVA.....	31
4.5. UTJECAJ TEHNIKE I TEMPERATURE NA BOJU.....	33
4.6. SENZORSKA ANALIZA.....	36
4.7. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI.....	38
5. ZAKLJUČCI.....	40
6. LITERATURA.....	41

1. UVOD

Povećani interes potrošača za personaliziranim prehrambenim proizvodima stvorenim prema njihovim osobnim prehrambenim potrebama dao je vjetar u leđa razvoju trodimenzijskog (3D) ispisa hrane. 3D ispis hrane ima potencijal personalizirati prehranu kako bi se, primjerice, zadovoljile prehrambene potrebe djece, sportaša, starijih osoba i trudnica (Derossi i sur., 2018). Tehnologijom 3D ispisa mogu se stvoriti jedinstveni novi proizvodi koje nije moguće postići konvencionalnim metodama proizvodnje, a veliku prednost 3D ispisu daje smanjen utjecaj na okoliš korištenjem manje sirovina i energije (Tran, 2016). Ova tehnologija pruža brojne mogućnosti dizajna inovativnih oblika, tekstura i okusa te omogućuje kombiniranje sastojaka i okusa na potpuno nove načine.

Proizvodi od žitarica duboko su ukorijenjeni u svakodnevnicu prosječnog potrošača. Upravo zbog takvih prehrambenih navika te neutralnog okusa i mogućnosti naknadnog nutritivnog obogaćivanja proizvoda od žitarica, sirovine od žitarica su od velikog značaja u razvoju tehnologije 3D ispisa. S porastom svijesti potrošača o važnosti zdrave prehrane, raste i potražnja za zdravijim opcijama među *snack*-proizvodima. Istovremeno, porast broja dijagnoza celijakije i općenite osjetljivosti na gluten doveo je do značajnog razvoja tržišta bezglutenskih proizvoda u posljednjem desetljeću (Xu i sur., 2020).

3D ispisani proizvodi mogu zahtijevati dodatnu završnu toplinsku obradu koja obuhvaća procese poput sušenja, prženja, pečenja, kuhanja i hlađenja. Kod proizvoda od žitarica toplinska obrada je neizbježna kako bi se osigurala zdravstvena ispravnost i stabilnost proizvoda te pridonijela poželjna senzorska svojstva. Usprkos tome, dosad je nedovoljno istraženo na koji način tehnike završne obrade utječu na kvalitetu 3D proizvoda od žitarica.

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi utjecaj različitih tehnika završne toplinske obrade, koristeći sušionik, pećnicu, fritezu na vrući zrak i vakuum sušionik, pri različitim temperaturama, na kvalitetu (udio vlage, devijaciju dimenzija oblika, teksturu i boju) bezglutenskog 3D *snack*-proizvoda na bazi prosenog brašna, brašna batata i proteina riže.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. 3D ISPIS HRANE

Trodimenzijski (3D) ispis hrane je inovativan i digitalno kontroliran proizvodni proces koji se temelji na izradi trodimenzijskih oblika aditivnom tehnologijom, nanoseći materijal sloj na sloj. Kao takav izazvao je interes brojnih znanstvenih područja, od strojarstva, biotehnologije, farmaceutike, aeronautike pa sve do prehrambenog inženjerstva (Baiano, 2020).

Osnova 3D ispisa je kontrolirani robotski proces u kojem se izrađuje proizvod sloj po sloj prema 3D obliku generiranom računalnim dizajnom (engl. *Computer Assisted Design*, CAD) ili preuzimanjem s internetskih platformi (Kietzman i sur., 2015). Nakon stvaranja 3D modela, informacije o dizajnu prenose se u "*slicing*" računalni program koji služi za tzv. rezanje oblika u slojeve prije samog postupka ispisa (Manithal i sur., 2020). Potom slijedi odabir recepture, priprema 3D pisaa, ispis željenog oblika te, ako je potrebna, naknadna obrada oblika (npr. rezanje, sušenje, pečenje i sl.) (Sun i sur., 2018).

Trenutno se u prehrambenom sektoru koriste četiri metode 3D ispisa: 3D ispis na principu ekstruzije, 3D ispis selektivnim sinertiranjem, 3D ispis primjenom vezivnog sredstva i tintni ispis.

3D ispis na principu ekstruzije prvotno je bio namijenjen proizvodnji plastičnih predmeta od termoplastičnih materijala, no svoju je primjenu kroz razvoj metode pronašao i u 3D ispisu hrane te je danas najčešće korištena metoda ispisa u prehrambenom sektoru (Tejada-Ortigoza i Cuan-Urquizo, 2022). Metoda se temelji na kontinuiranom istiskivanju materijala kroz sapnicu 3D pisaa, nanoseći materijal sloj na sloj. Prednost ove metode je mogućnost ispisa različitih materijala kao što su sir (Le Tohic i sur., 2018), tijesto za *snack*-proizvode (Severini i sur., 2016), tijesto za kekse (Kim i sur., 2018a), povrće (Kim i sur., 2018b) i meso (Liu i sur., 2018a).

Ovaj princip ispisa može koristiti jedan od tri mehanizma istiskivanja materijala: istiskivanje pužnicom, tlačnim zrakom ili istiskivanje na principu šprice (Hussain i sur., 2021). Kod istiskivanja materijala pužnicom, dobro pomiješani sastojci materijala za ispis dodaju se u uložak uređaja, gdje se uz vrtnju osovine s pužnicom pomiču prema sapnici uređaja. Ovaj mehanizam istiskivanja nije pogodan za gelaste i viskozne materijale zbog visokog stupnja deformacije i nemogućnosti međusobnog spajanja slojeva (Liu i sur., 2018b). Pisač kod istiskivanja tlačnim zrakom koristi rad pneumatske pumpe koja ima sposobnost pokretanja više ekstruzijskih glava 3D pisaa istovremeno pomoću regulacijskih ventila. Ovaj mehanizam ekstruzije preporučuje se za ispis tekućih i manje viskoznih materijala (Hussain i sur., 2021). Ekstruzija na principu šprice provodi se istiskivanjem materijala napunjenog u špicu s pomičnim klipom. Na klip je spojen koračni motor koji svojim radom pomiče klip i vrši pritisak

na materijal te se on istiskuje kroz sapnicu uređaja. Ovaj mehanizam pogodan je za ispis složenih 3D oblika polu-krutih materijala poput čokolade i tijesta (Sun i sur., 2018).

Tehnologija 3D ispisa selektivnim sinertiranjem koristi snagu lasera i visoku temperaturu za selektivno spajanje slojeva praškastih materijala u 3D oblik. Laser se pokreće prema unaprijed definiranim putanjama i selektivno spaja sloj po sloj praha u skladu sa zadanim 3D modelom. 3D ispis selektivnim sinertiranjem primjenjuje se na praškaste materijale poput šećera i škroba. Ovom metodom značajno se gubi na nutritivnoj vrijednosti materijala pogotovo korištenjem visokih temperatura tijekom spajanja slojeva, stoga nije pogodna za stvaranje visokonutritivnih prehrambenih proizvoda (Baiano, 2020).

Pri 3D ispisu na principu vezivnog sredstva, na sloj praškastog materijala nanosi se sloj vezivnog sredstva. Površina se zatim grije zračenjem kako bi se osigurala čvrstoća i omogućilo nanošenje sljedećeg sloja praškastog materijala. Metoda 3D ispisa na principu vezivnog sredstva može se primijeniti na praškaste materijale poput: čokolade, škroba, šećera, proteina i sl. (Pitayachaval i sur., 2018).

Tintni ispis koristi mlaz kapljica doziranih iz toplinskih ili piezoelektričnih mlaznica na površinu proizvoda poput keksa, torti i pizze, u svrhu završne dekoracije ili ispune. Postoje dvije tehnike tintnog ispisa: kontinuirani i *drop-on-demand* tisak. Navedena metoda može se primijeniti za ispis materijala niske viskoznosti poput čokolade, tekućeg tijesta, glazura, mesnih pasti, džemova, gelova i slično (Godoi i sur., 2016).

2.2. PRIMJENA 3D ISPISA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

Brojna istraživanja ukazuju na mogućnosti primjene 3D ispisa u prehrambenoj industriji i njegovu ulogu u personalizaciji prehrane prilagodbom nutritivnog sastava potrebama potrošača, razvoju inovativnih proizvoda uvođenjem novih netradicionalnih sastojaka i proizvoda s prilagođenom teksturom.

Prema German i Watzke (2004), personalizirati hranu znači povezati samospoznaju potrošača s izborom hrane te prilagoditi hranu prehrambenim navikama i potrebama potrošača. Većinu personaliziranih proizvoda proizvode mali obrtnici čiji su proizvodi relativno skupi zbog dugotrajnosti izrade dizajna i proizvodnje. Primjena 3D ispisa u takvim slučajevima donijela bi pozitivne ekonomske utjecaje na tvrtke jer može zamijeniti čak cijeli proces proizvodnje hrane i pojednostaviti ga u jedan korak, smanjiti troškove masovne prilagodbe i ljudskih grešaka u proizvodnji, a istovremeno i povećati učinkovitost proizvodnje (Sun i sur., 2015). 3D ispis hrane pruža širok spektar potpuno personalizirane hrane koji odgovara potrebama, okusu i prehrambenim navikama potrošača raznih dobnih skupina, spola, zanimanja i stila života prilagođavajući sastav i strukturu proizvoda prema zahtjevima potrošača (Sher i Tutó, 2015).

Razvoj hrane s prilagođenom teksturom kao što su zgusnute tekućine i pirei, mogu pomoći pacijentima s poteškoćama pri žvakanju i gutanju uzrokovanim moždanim udarom, tumorima, neuromuskularnim poremećajima i sl. (Huang i sur., 2014). Otprilike 25 % ljudi dobi iznad 50 godina imaju probleme sa žvakanjem i gutanjem hrane zbog čega dnevne potrebe za hranjivim tvarima moraju osiguravati putem pasirane hrane, od koje je većina neprivlačnog izgleda, okusa i mirisa (Dankar i sur., 2018). Pacijenti s disfagijom obično imaju nedovoljan dnevni kalorijski unos te su zbog toga u riziku od pothranjenosti. Za razliku od klasičnih, 3D ispisani proizvodi mogu omogućiti prehranu obogaćenu proteinima (Burke-Shyne i sur., 2020), vlaknima (Sungsinchai i sur., 2019) i antioksidansima (Vieira i sur., 2020) te tako nutritivno obogatiti hranu. Pružanje mekane, nutritivno bogate hrane s inovativnom teksturom za starije i njeno usuglašavanje sa zakonskom regulativom, glavni je izazov proizvodnje personaliziranih proizvoda. Stoga je Nizozemska organizacija za primijenjena znanstvena istraživanja (*Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek*, TNO) pokrenula projekt nazvan "*Performance*" kojem je cilj 3D ispis personalizirane pasirane hrane za pomoć starijima pri žvakanju i gutanju. TNO također radi i na ispisu personalizirane hrane za oporavak sportaša poslije treninga i trudnice prilagodbom udjela pojedinih nutritivnih komponenata kao što su proteini i masti, smanjenjem neželjenih sastojaka i uvođenjem zdravih sastojaka kao što su vitamini, vlakna i fitokemikalije (Dankar i sur., 2018). Djeca su također osjetljiva skupina koja bi mogla imati koristi od personalizacije hrane, jer bi bila spremnija konzumirati nutritivno bogatije namirnice zanimljivijeg oblika, koji bi se mogli koristiti i kao edukativni alati (Hamilton i sur., 2017). Većina međuobroka i grickalica za djecu ne zadovoljava dnevne potrebe djece za unosom određenih nutrijenata (Dankar i sur., 2018). Derossi i sur. (2018) procijenili su korištenje tehnologija 3D ispisa za razvoj personalizirane grickalice za djecu na bazi voća. Ova grickalica osmišljena je tako da zadovoljava energetske potrebe djece od tri do deset godina te je obogaćena esencijalnim vitaminima i mineralima (vitamin D, kalcij i željezo) kako bi zadovoljila potrebe djece za dnevnim unosom. Postoji sve veća tržišna potražnja za prilagođenim prehrambenim proizvodima s personaliziranim vrijednostima glede pogodnosti cijene, pakiranja i okusa, koji bi se kao takvi mogli predstaviti kao prepoznatljiva hrana na tržištu.

Tehnologijom 3D ispisa mogu se stvoriti jedinstveni novi proizvodi koje konvencionalne metode proizvodnje ne mogu oponašati. Ova tehnologija pruža razne mogućnosti dizajna inovativnih oblika, tekstura i okusa te omogućuje kombiniranje sastojaka i okusa na potpuno nove načine. TNO radi na istraživanjima za stvaranje novih proizvoda koristeći ne baš tako tradicionalne sastojke poput proteina iz algi, insekata, gljiva i leguminoza, čiji neprivlačan inicijalni izgled stvara odbojnost kod većine ljudi. Korištenje ovakvih materijala nije samo dobro za zdravlje, već i za okoliš (Dankar i sur., 2018). Prednosti koje nudi 3D ispis hrane uključuje

smanjenje utjecaja na okoliš korištenjem manje sirovina i manje energije (Tran, 2016). Zbog učinkovitosti procesa ispisa hrane koji spaja više koraka tijekom obrade u jedan jedinstven korak i proizvodnje samo potrebnih i naručenih količina, smanjuje se količina proizvedenog otpada. U Europi se godišnje proizvede oko 77 milijuna tona otpada hrane, od čega 70% ukupnog otpada čini otpad iz proizvodnje i kućanstava (Galdeano, 2015). Isto istraživanje pretpostavlja da implementiranje 3D ispisa u industriju i kućanstva može smanjiti ukupnu količinu bačene hrane za 25 %, što je otprilike 19 milijuna tona godišnje, te biti jedno od rješenja problema s otpadom hrane u Europi.

2.3. 3D ISPIS PROIZVODA OD ŽITARICA

Prema Pravilniku o žitaricama i proizvodima od žitarica, žitarice su biljne vrste iz porodice trava (lat. *Poaceae*) u koje se ubraja: pšenica (uključujući pir i khorasan), raž, ječam, tritordeum, zob, kukuruz, riža, proso, sirak i pšenoraž (tritikale) te heljda iz porodice dvornika (lat. *Polygonaceae*).

Proizvodi od žitarica su proizvodi dobiveni daljnjom obradom i preradom očišćenih žitarica, a namijenjeni su za daljnju proizvodnju i/ili za krajnjeg potrošača. S obzirom na namjenu, sastav, osobine i vrste tehnološkog procesa, razvrstavaju se na: mlinske proizvode, gotove proizvode od žitarica mješavine za pekarske proizvode, pekarske proizvode, tjesteninu, tijesto i proizvode od tijesta te fine pekarske i srodne proizvode (Pravilnik, NN 101/2022)

Sirovine od žitarica su izrazito pogodni materijali za 3D ispis zbog svoje sposobnosti da zadrže trodimenzijski oblik. Također su dobar izbor za nutritivno obogaćivanje zbog svoje svakodnevne primjene u prehrambenim navikama potrošača te svog relativno neutralnog okusa (Čukelj Mustač i sur., 2023).

U pristupu 3D ispisu hrane od žitarica potrebno je prvo uzeti u obzir kemijske i fizikalne osobine materijala (npr. veličinu čestica) te procijeniti reološka svojstva. Zatim se prema računalno dizajniranom obliku prilagođavaju parametri pisača, koji je obično pisač na principu ekstruzije. Parametri koji se prilagođavaju su: brzina ispisa, kretanje, opterećenje filameta, svojstva mlaznice, razina ispune oblika i sl. Nadalje, bitno je procijeniti protočnost, ekstrudibilnost i sposobnost oblikovanja materijala te stabilnost proizvoda nakon završne obrade (Čukelj Mustač i sur., 2023).

Općenito, na kvalitetu 3D ispisanih namirnica utječu brojni čimbenici, koji se mogu ugrubo podijeliti na one povezane s postavkama pisača, materijalom za ispis i metodama naknadne obrade. Kvaliteta materijala za 3D ispis na bazi žitarica uglavnom se procjenjuje reološkim mjerenjima, digitalnim snimanjem, analizom teksture i senzorskim analizama. Poznavanje povezanosti reologije tijesta s ponašanjem materijala pri ispisu iznimno je važno zbog viskoelastičnih i plastičnih svojstava materijala, koja se mijenjaju tijekom ispisa s obzirom na

smicanje, vrijeme i temperaturu te sastav (Liu i sur., 2019). Ipak, bolje razumijevanje reologije kako bi se predvidio uspjeh cijelog procesa ispisa, predmet je suvremenih istraživanja (Cheng i sur., 2022).

Materijali na bazi žitarica moraju imati odgovarajuća reološka svojstva kako bi se jednostavno istisnuli kroz sapnicu bez pucanja, u što kraćem roku prošli kroz fazu geliranja škroba te imali dovoljnu mehaničku čvrstoću kojom je završni oblik zaštićen od deformacija. Tri su faze tiskanja povezane s reološkim svojstvima: faza ekstruzije, faza oporavka i faza samopodupiranja. U fazi ekstruzije, reološka svojstva moraju biti takva da materijalu osiguravaju dovoljan viskozitet te otpornost na stres. Faza oporavka je povezana s oporavkom materijala od utjecaja smicanja i temperature tiska, a faza samopodupiranja s kompleksnim modulom i utjecajem smicanja pri sobnoj temperaturi (Liu i sur., 2019).

Proizvodi od žitarica, nastali 3D ispisom, zahtijevaju završnu temperaturnu obradu kao što je kuhanje, pečenje, parenje ili sušenje kako bi se poboljšala probavljivost te senzorska i nutritivna svojstva. Stabilnost i očuvanje 3D oblika tijekom završne obrade je izazovno, ali iznimno bitno za integraciju 3D ispisa u tradicionalne načine pripreme hrane u prehrambenom sektoru. Kvaliteta ispisane hrane ovisit će o brojnim čimbenicima, no za razvoj novog proizvoda prvi korak će biti usavršavanje senzorskih i fizikalnih svojstava. Deformacija oblika proizvoda od žitarica tijekom završne obrade može se procijeniti kao razlika u dimenzijama oblika prije i poslije završne obrade. U dimenzije oblika spadaju duljina, širina, visina, debljina i površina oblika te se mogu mjeriti pomičnim mjerilom ili digitalnom analizom fotografija prije i poslije završne obrade. Pozitivne vrijednosti pri računanju deformacije površine, predstavljaju skupljanje materijala u odnosu na početnu vrijednost površine, dok negativne vrijednosti ukazuju na širenje (Čukelj Mustač i sur, 2023).

Boja je iznimno važno svojstvo proizvoda koje utječe na prihvatljivost proizvoda u očima potrošača. Nastanak boje završnom obradom u proizvodima od žitarica još se naziva i neenzimsko posmeđivanje. Posmeđivanje je rezultat neenzimskih kemijskih reakcija koje proizvode obojene spojeve tijekom procesa toplinske obrade. U te kemijske reakcije ubrajamo Maillardove reakcije i karamelizaciju. Maillardove reakcije odvijaju se između reducirajućih šećera i aminokiselina, proteina ili drugih dušikom bogatih spojeva, pod utjecajem temperature (140 - 160 °C). Karamelizacija opisuje kompleksne reakcije kroz koje prolaze ugljikohidrati izravnim zagrijavanjem (posebice reducirajući šećeri i saharoza). Posmeđivanje ovisi o temperaturi kojoj je izložen proizvod i aktivitetu vode (Purlis, 2010). Tijekom toplinske obrade dolazi do razmjene topline i mase između sustava i proizvoda zbog kojih se, uz posmeđivanje, stvaraju razne fizikalne, kemijske i biokemijske promjene u proizvodu (npr. gubitak volumena i mase zbog isparavanja vode, denaturacija proteina, geliranje škroba) (Mondal i Datta, 2008;

Sablani i sur., 1998; Yin i Walker, 1995). Kolorimetrima se uspješno može procijeniti boja 3D tiskanih proizvoda, kao što je bio slučaj s funkcionalnim keksima obogaćenima mikroalgama (Viera i sur., 2020), keksima s visokim udjelom vlakana (Vukušić Pavičić i sur., 2021), grickalicama od pšeničnog brašna obogaćenima kukcima (Severini i sur., 2018) itd. Mjerenja se provode pomoću crno-bijelog standarda pod fluorescentnim svjetlom pri sobnoj temperaturi. Razlike u boji između sirovog tijesta i termički obrađenih uzoraka utvrđuju se pomoću CIELab sustava mjerenjem vrijednosti L^* (svjetlina), a^* (crveno-zelena) i b^* (žuto-plava) (Čukelj Mustač i sur., 2023).

Kritični faktori koji utječu na tvrdoću 3D ispisanih proizvoda na bazi žitarica su: putanja ispisa, ravnoteža između brzine ispisa i brzine ekstruzije i sabijanje materijala tijekom ekstruzije (Derossi i sur., 2020). Instrumentalnim analizama teksture možemo samo izmjeriti mehanička svojstva hrane, no primijenjene analize ne oponašaju točan proces senzorske procjene proizvoda u ustima. Budući da tekstura ovisi o subjektivnom iskustvu, njezina mehanička analiza otežava predviđanje korištenjem instrumentalnih alata. Stoga se, unatoč cijeni i dužem trajanju, senzorske evaluacije još uvijek smatraju najboljim pristupom za procjenu kvalitete hrane i prihvatljivosti od strane potrošača. U tu svrhu, koriste se različite metode i skale za evaluaciju senzorskih svojstava 3D ispisanih proizvoda od žitarica. Najčešće se koristi devet - stupanjaska hedonistička skala prema ISO Standardu 11035, a sensoriku provodi obučeni ili poluobučeni panel obično sastavljen od 20 ispitanika (Čukelj Mustač i sur., 2023). Koristeći se ovom skalom panel ocjenjuje svojstva proizvoda (npr. izgled, boju, okus i aromu, miris, teksturu, sveukupni doživljaj) ocjenama od 1 do 9.

2.3.1. Bezglutenski *snack*-proizvodi od žitarica

Snack-proizvodi, konzumirani kao međuobroci, dio su današnjeg ubrzanog načina života. Iako su obično namijenjeni uživanju, mogu biti i funkcionalni te pružati nutritivno obogaćen međuobrok. Mogu se podijeliti u nekoliko skupina: *snack*-proizvodi prve generacije (npr. orašasti plodovi, krumpirov čips i ispucane kokice), *snack*-proizvodi druge generacije (npr. tortilja čips i flips proizvodi) te *snack*-proizvodi treće generacije koji se još nazivaju poluproizvodima ili peletima od više sastojaka koji se kuhaju ekstruzijom (Riaz, 2016).

Pristupi izradi zdravih *snack*-proizvoda uključuju korištenje odgovarajućih tehnologija i sastojaka, a jedan od glavnih izazova kod razvoja nutritivno bogatih *snack*-proizvoda je osiguranje privlačne teksture i okusa uz smanjenje udjela šećera, soli i nezdravih masnoća i dodatak vlakana, proteina, vitamina i minerala. Povećanjem svijesti potrošača o važnosti zdrave prehrane, povećava se i potražnja za zdravijim alternativama na tržištu *snack*-proizvoda kojoj se proizvođači sve više prilagođavaju nudeći sve širi raspon zdravijih opcija (Joseph i sur., 2020).

U današnje vrijeme potrošači se sve više okreću ka zdravoj i pravilnoj prehrani. Uz medicinska postignuća, omogućena im je i pravovremena dijagnostika te samim time olakšan odabir odgovarajućih načina prehrane za određeno zdravstveno stanje. Trend konzumacije bezglutenskih proizvoda započeo je povećanim brojem dijagnoza bolesti celijakije, ali tome pridonose i sve češća pojavnost osjetljivosti i alergije na gluten iz žitarica poput pšenice, ječma, raži i zobi (Woomer i Adedeji, 2020). Procijenjeno je da oko 1 % svjetske populacije pati od celijakije, a čak 6 % od nekog oblika osjetljivosti na gluten (Leonard i sur, 2017). Također, velik udio potrošača bezglutenskih proizvoda čine potrošači koji samostalno biraju bezglutenski način prehrane zbog percepcije takvih proizvoda kao zdravijeg odabira čime uvelike pridonose tržištu bezglutenske hrane (Molina-Rosell i Matos, 2015).

Prema Članku 2. Pravilnika o hrani bez glutena (NN 83/2010), »hrana namijenjena osobama intolerantnim na gluten« jest hrana za posebne prehrambene potrebe posebno proizvedena, pripremljena i/ili prerađena kako bi zadovoljila posebne prehrambene potrebe osoba intolerantnih na gluten. Prema istom Pravilniku, gluten je proteinska frakcija pšenice, raži, ječma, zobi ili njihovih hibridnih vrsta i derivata, na koju su neke osobe intolerantne, a koji su netopljivi u vodi i 0,5 M otopini natrijeva klorida.

Održavanje pouzdane bezglutenske dijeta za većinu potrošača je velik izazov budući da je gluten prisutan u mnogo više oblika osim samo u brašnima, kruhu, tjestenini i drugim proizvodima od žitarica. Bezglutenske žitarice poput riže, kukuruza, kvinoje, heljde, prosa i sirka mogu biti kontaminirane glutenom tijekom određenih koraka pri kultivaciji i procesiranju zrna, kao što su žetva, mljevenje, transport, skladištenje i sl. Nadalje, gluten može biti prisutan u većini namirnica poput zgušnjivača, pojačivača okusa, emulgatora, filera i sličnih proizvoda (Scherf i Poms, 2016) što dodatno otežava samu proizvodnju. Uzimajući to u obzir, iznimno je teško uspostaviti sigurnu granicu za preostalu količinu glutena u bezglutenskim proizvodima. Prema Članku 3. Pravilnika o hrani bez glutena, prilikom označavanja, reklamiranja i prezentiranja, hrana namijenjena osobama intolerantnim na gluten mora biti označena navodom »vrlo mali sadržaj glutena« ukoliko je količina glutena manja od 100 mg/kg u gotovom proizvodu, a ukoliko je sadržaj glutena u gotovom proizvodu manji od 20 mg/kg takva hrana može se označiti navodom »bez glutena«.

Kruh i keksi su najpopularniji bezglutenski proizvodi od žitarica (Jnawali i sur., 2016). Receptura keksa inače karakterizira visoki udjel šećera i masti, a glavna komponenta je upravo glatko pšenično brašno. Razvoj bezglutenskih keksa i snack-proizvoda podrazumijeva uporabu bezglutenskog brašna od žitarica poput riže, kukuruza, prosa i sirka, zatim leguminoza, pseudožitarica i njihovih mješavina. Uz bezglutenska brašna, za recepturu keksa

i snack-proizvoda bitan je dodatak škroba, posebice kukuruznog i rižinog škroba (Xu i sur., 2020).

2.4. ZAVRŠNA TOPLINSKA OBRADA 3D ISPISANIH PROIZVODA

Samo mali broj 3D ispisanih proizvoda ne zahtijeva završnu toplinsku obradu koja obuhvaća procese poput sušenja, prženja, pečenja, kuhanja i hlađenja. Navedeni procesi osiguravaju stabilnost te sigurnost proizvoda i svaki od njih donosi proizvodu različita svojstva i prednosti (Demei i sur., 2022). Utjecaj toplinske obrade na mikrostrukturu i fizikalno-kemijska svojstva 3D ispisanih proizvoda od žitarica nije podrobno istraživano, posebice u odnosu na različite geometrijske strukture. Prethodna istraživanja uglavnom su usredotočena na dimenzijsku stabilnost 3D ispisanih proizvoda, dok tekstura, senzorska procjena i očuvanje termoosjetljivih bioaktivnih spojeva nisu istraživani (Radoš i sur., 2023).

Sušenje je vrlo česta metoda završne toplinske obrade hrane. Trenutno se, uz klasično sušenje, koriste novorazvijene metode sušenja za upravljanje svojstvima 3D ispisanih proizvoda poput liofilizacije, sušenja u pećnici i sušenja u vakuum sušari. Tehnologija 3D ispisa i pripadajući proces sušenja međusobno se nadopunjuju i u kombinaciji često daju neočekivane rezultate i učinke na proizvod (Demei i sur., 2022). 3D ispisani proizvodi mogu očuvati svoj oblik tijekom procesa sušenja te je potrebno istražiti utjecaj metode sušenja na oblik proizvoda ovisno o njegovim svojstvima. Na mogućnost očuvanja strukture proizvoda utječe udio suhe tvari, tj. što je veći udio suhe tvari, a manji udio vode to je veća strukturna čvrstoća nakon sušenja (Lille i sur., 2018).

Klasične metode prženja poput prženja u dubokom ulju primjenjuju se u proizvodnji škrobnih grickalica. Korištenje velike količine ulja dovodi do upijanja većih količina ulja u proizvod što posljedično može imati negativan učinak na ljudsko zdravlje. Zbog toga se istražuje učinkovitost drugih metoda prženja, kao što su vakuum prženje (Devi i sur., 2021), prženje vrućim zrakom (Zaghi i sur., 2019), prženje prskanjem (Udomkum i sur., 2020), radijacijom (Demei i sur., 2022), smjesom ulja i vode (Ma i sur., 2016) te prženje u električnom polju (Yang i sur., 2021). Ovisno o metodi prženja, mijenjat će se karakteristike proizvoda na što će uglavnom utjecati temperatura i vrijeme samog procesa (Demei i sur., 2022).

Pečenje je često korištena metoda za završnu obradu proizvoda na bazi žitarica te 3D ispisanih tijesta. Proizvodi od žitarica općenito gube svoj izvorni oblik tijekom pečenja na visokim temperaturama (160-200 °C) te stvaraju poroznu strukturu. Kako bi se prevladali ti problemi i očuvao oblik proizvoda, u tijesto se mogu dodavati hidrokoloidi i stabilizatori poput ksantan gume, metil-celuloze, kalcij kazeinata, transglutaminaze i želatine (Hussain i sur., 2021).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

Za potrebe provođenja istraživanja korišteni su sljedeći materijali:

1. Smjesa brašna: proseno brašno (Encian Ltd., Hrvatska), brašno batata (VG Fryer Ltd., Hrvatska) i proteini riže (BIOfan Fan-Commerce Ltd., Bosna i Hercegovina)
2. Vodovodna voda
3. Psilijum prah (Biovega Ltd., Hrvatska)
4. Suncokretovo ulje (Zvijezda Ltd., Hrvatska)
5. Morska sol (Solana Pag Ltd., Hrvatska)

3.2. METODE

3.2.1. Priprema tijesta za 3D ispis *snack*-proizvoda

Priprema tijesta za 3D ispis izvedena je miješanjem sastojaka u količinama prema recepturi prikazanoj u tablici 1. U smjesu prosenog brašna, proteina riže i brašna batata dodani su sol, ulje, voda i psilijum gel. Psilijum gel formirao se iz smjese psilijum praha i vode nekoliko minuta nakon miješanja. Čaša u kojoj je pripremljen gel isprana je preostalim vodom po dodatku gela te je voda od ispiranja dodana ostatku sastojaka. Tijesto je miješano ručnim mikserom s nastavkom (kukom) za tijesto (Gorenje, Slovenija) dvije minute i ostavljeno da stoji dvije minute prije punjenja u šprice za ekstruder 3D pisača.

Tablica 1. Receptura tijesta za 3D ispis

Sastojak		Udio u tijestu
*Smjesa brašna	Brašno prosa	55,67 %
	Proteini riže	27,67 %
	Brašno batata	16,66 %
Vodovodna voda	Za pripremu psilijum gela	72%
	Ostatak	28%
Biljno ulje	/	20%
Psilijum prah	/	1,8%
Sol	/	1 %

*Smjesa brašna izražena je kao 100%, a udio ostalih sastojaka je prikazan je na masu smjese brašna

3.2.2. 3D ispis *snack*-proizvoda

Pripremljeno tijesto punjeno je u graduiranu špricu za 3D pisač (Foodbot D2 Multi Ingredient Dual Head Food 3D Printer, Changxing Shiyin Technology Co., Kina) do oznake za maksimalan kapacitet pritom pazeći da u šprici ne zaostaju zračni džepovi koji otežavaju ispis tijesta i narušavaju strukturu oblika. Na napunjenu špricu stavljena je sapnica promjera 1,2 mm te je šprica umetnuta u ekstruder 3D pisača. Željene postavke 3D ispisa odabrane su u izborniku samog pisača. Brzina ispisa postavljena je na 10 mm/s pri temperaturi ispisa od 30 °C. Odabrani oblik za ispis bio je oblak (slika 1) s 12 slojeva čije su zadane dimenzije širine, dužine i visine iznosile 40 mm × 24 mm × 15 mm. Zadana visina prvog sloja iznosila je 2 mm, a ostalih 1,5 mm. Uzorci su ispisivani tijekom osam dana (tablica 3) prilikom čega je svaki dan pripremljena nova šarža tijesta. Nakon ispisa, uzorci su vagani te obrađivani prema ispod navedenim metodama.



Slika 1. Prikaz 3D modela oblika (preuzeto s: <https://www.stlfinder.com/model/double-heart-cookie-cutter-X0lpWeeF/4764284/>)

3.2.3. Završna toplinska obrada uzoraka

Ispisani i izvagani uzorci završno su obrađivani pomoću jednog od četiri uređaja: sušionik (Heratherm, Thermo Fischer Scientific, SAD), pećnica (etažna peć tip EBO 64 – 320 IS 600, Wiesheu Wolfen GmbH, Njemačka), friteza na vrući zrak (Essential Airfryer XL HD9270/90, Philips, Nizozemska) ili vakuum sušara (VO 200 Vacuum Drying Oven, Memmert GmbH, Njemačka) (tablica 3). Temperature obrade uzoraka bile su 120 i 160 °C za svaki uređaj. Obrada uzoraka u fritezi na vrući zrak zahtijevala je prethodnu kraću obradu u sušioniku (10 min pri 120 °C i 6 min pri 160 °C) jer je u suprotnom dolazilo do narušavanja oblika uzoraka uslijed zračnih strujanja. Obrada u vakuum sušari provedena je pri tlaku od 100 mbar. Vrijeme trajanja završne obrade uzoraka određeno je praćenjem gubitka mase uzoraka, svakih 1 – 5 minuta ovisno o promijenjenom uređaju, do konstantne mase.

Tablica 2. Temperaturni uvjeti završne obrade 3D uzoraka

Oznaka uzorka	Dan ispisa	Tehnika	Temperatura (°C)
S120	1	sušionik	120
S160	2		160
FVZ120	3	friteza na vrući zrak	120
FVZ160	4		160
VS120	5	vakuum sušionik	120
VS160	6		160
P120	7	pećnica	120
P160	8		160

3.2.4. Određivanje udjela vlage u uzorcima

Udio vlage određen je u uzorcima poslije završne toplinske obrade sušenjem u sušioniku (Heratherm, Thermo Fischer Scientific, Waltham, MA, SAD), pri 130 °C u trajanju od 3 h prema metodi opisanoj u Argawal i sur. (2022).

3.2.5. Određivanje aktiviteta vode

Aktivitet vode određivan je prijenosnim a_w -metrom (HygroPalm HP23-AW-A, Rotronic, Švicarska). Uzorci, izuzimani u određenim vremenskim intervalima tijekom sušenja, su za analizu pripremljeni usitnjavanjem u keramičkom tarioniku s tučkom. Usitnjeni uzorci postavljeni su u držač uzorka načinjen od nehrđajućeg čelika i pokriveni sondom uređaja nakon čega je pokrenuto mjerenje. Aktivitet vode izmjeren je i u sirovom tijestu.

3.2.6. Određivanje boje uzoraka

Mjerenje boje uzoraka temelji se na parametrima trodimenzijskog spektra boja korištenjem spektrofotometra Konica Minolta (CM-700d, Minolta, Japan) koji radi na principu mjerenja stupnja reflektirane svjetlosti od mjerne površine. Parametar L^* označava svjetlinu boje uzoraka te se njegove vrijednosti kreću u rasponu od 0 (crno) do 100 (bijelo). Boja uzoraka određena je parametrima a^* i b^* , gdje vrijednosti parametra a^* ukazuju na obojenost u spektru od crvene do zelene boja, a vrijednosti parametra b^* na obojenost u spektru od plave do žute boje (Ibraheem i sur., 2012).

Mjerenje je provedeno na uzorcima poslije završne toplinske obrade prema metodi Oliveira i sur. (2017). Uzorci su prije mjerenja usitnjeni u keramičkom tarioniku s tučkom. Usitnjeni uzorci su preneseni u držač uzorka nakon čega je pokrenuto mjerenje.

3.2.7. Određivanje teksturalnih svojstava

Teksturalna svojstva uzoraka određivana su teksturometrom (TA 1, Ametek Lloyd Instruments Ltd., Bongor Regis, Velika Britanija) prema metodi provedenoj u radu Radoš i sur. (2023). Uzorci su nakon završne toplinske obrade postavljeni na postolje uređaja te su presječeni oštricom uređaja koja se kretala brzinom od 2 mm/s (slika 2). Analiza uzoraka provedena je otprilike 24 h nakon toplinske obrade. Određivani su sljedeći parametri: hrskavost (Nmm), čvrstoća (N) i tvrdoća (N). Rezultati mjerenja su obrađeni računalnim programom NexygenPlus 4.0.



Slika 2. Provođenje mjerenja teksturalnih svojstava uzoraka (*vlastita fotografija*)

3.2.8. Obrada fotografija

Nakon istiskivanja i nakon završne toplinske obrade uzorci su fotografirani pametnim telefonom (Iphone 13 Pro, Apple, SAD) koristeći crnu podlogu. Uzorci su fotografirani pokraj ravnala te uvijek s iste udaljenosti od 13 cm pri danjem svjetlu. Fotografije su obrađene u računalnom programu ImageJ v.1.53e (National Institute of Health, NIH, SAD). Pomoću programa mjerene su dimenzije oblika (dužina, širina i visina) te unutrašnja površina oblika očitana iz vrijednosti crnih i bijelih piksela obradom fotografije u binarnom obliku (slika 3).

Dobivene vrijednosti korištene su za izračun preciznosti dužine [1], širine [2], i visine [3] ispisa te vjernost oblika (engl. *shape fidelity*) [4] u odnosu na vrijednosti zadane CAD modelom te za izračun devijacija dužine [5], širine [6], visine [7] i površine [8] (engl. *shrinkage*) toplinski obrađenih uzoraka u odnosu na sirove prema radu Čukelj Mustač i sur. (2023):

$$\text{Preciznost dužine ispisa (\%)} = \frac{d_1}{d_2} \times 100 \quad [1]$$

$$\text{Preciznost širine ispisa (\%)} = \frac{\check{s}_1}{\check{s}_2} \times 100 \quad [2]$$

$$\text{Preciznost visine ispisa (\%)} = \frac{v_1}{v_2} \times 100 \quad [3]$$

$$\text{Vjernost oblika (\%)} = \frac{p_1}{p_2} \times 100 \quad [4],$$

gdje su:

d_1 , \check{s}_1 , v_1 i p_1 – vrijednosti dužine (cm), širine (cm), visine (cm) i unutrašnje površine ispisanog oblika (tijesto)

d_2 , \check{s}_2 , v_2 i p_2 – vrijednosti dužine (cm), širine (cm), visine (cm) i unutrašnje površine zadane CAD modelom

$$\text{Devijacija dužine nakon završne obrade (\%)} = \frac{d_1 - d_3}{d_1} \times 100 \quad [5]$$

$$\text{Devijacija širine nakon završne obrade (\%)} = \frac{\check{s}_1 - \check{s}_3}{\check{s}_1} \times 100 \quad [6]$$

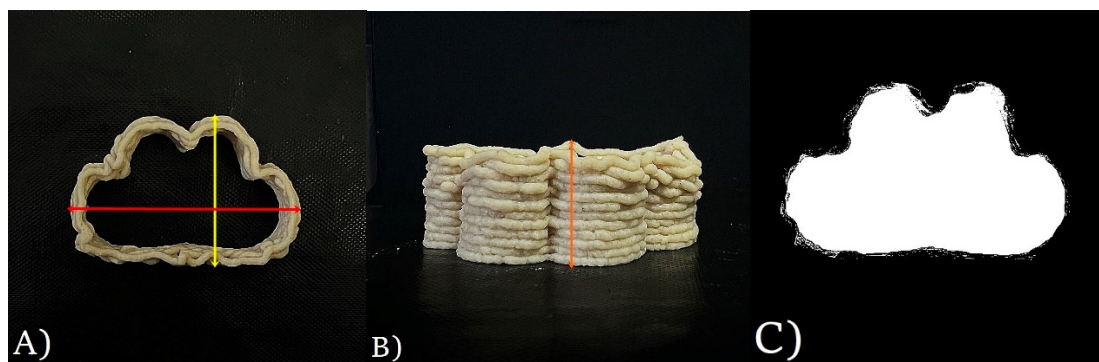
$$\text{Devijacija visine nakon završne obrade (\%)} = \frac{v_1 - v_3}{v_1} \times 100 \quad [7]$$

$$\text{Devijacija površine nakon završne obrade (\%)} = \frac{p_1 - p_3}{p_1} \times 100 \quad [8],$$

gdje su:

d_1 , \check{s}_1 , v_1 i p_1 – vrijednosti dužine (cm), širine (cm), visine (cm) i unutrašnje površine ispisanog oblika (tijesto)

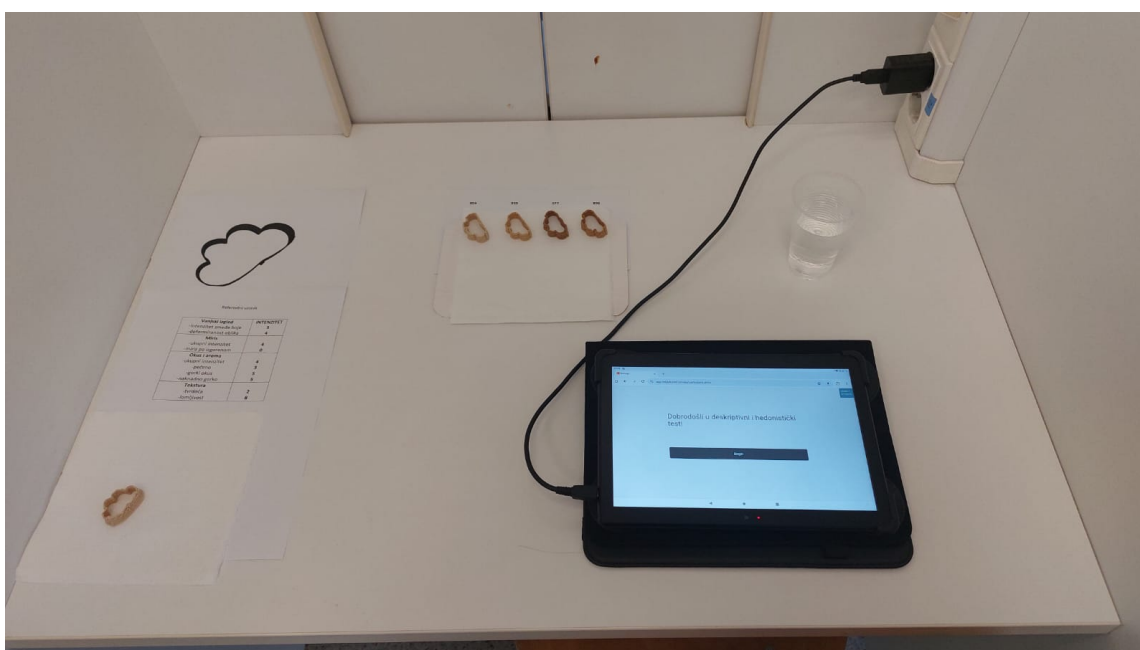
d_3 , \check{s}_3 , v_3 i p_3 – vrijednosti dužine (cm), širine (cm), visine (cm) i unutrašnje površine toplinski obrađenih uzoraka.



Slika 3. Prikaz načina mjerenja dimenzija 3D ispisanog uzorka; A) dužina (žuto) i širina (crveno), B) visina (narančasto), C) binarni oblik fotografije (*vlastita fotografija*)

3.2.9. Senzorska analiza

Deskriptivna i hedonistička senzorska analiza provedena je prema normi ISO11035:1994. Analiza je provedena od strane internog panela Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta koji se sastojao od 12 ispitanika starosti između 26 i 48 godina. Prije analize panelistima je predstavljen referentni uzorak s prethodno definiranim intenzitetima. Panelistima su posluženi uzorci kodirani troznamenkastim brojevima te čaša vode za ispiranje nepca kao što je prikazano na slici 4. Promatrana senzorska obilježja deskriptivne analize bila su: intenzitet smeđe boje, deformiranost oblika, miris po izgorenom, ukupni intenzitet mirisa, aroma po pečenom, gorki okus, naknadni gorki okus, ukupni intenzitet okusa i arome, tvrdoća i lomljivost te su ocjenjivani ocjenama od 0 (nizak intenzitet obilježja) do 10 (visok intenzitet obilježja). Opća prihvatljivost uzoraka ocjenjivana je hedonističkom skalom u rasponu od 1 do 9, pri čemu ocjena 1 predstavlja izrazito nepoželjan uzorak, a ocjena 9 izrazito poželjan.



Slika 4. Priprema uzoraka za senzorsku analizu (*vlastita fotografija*)

3.2.10. Obrada podataka

Za određivanje utjecaja tehnike i temperature završne obrade na vrijednosti dobivene provedenim analizama korištena je faktorska analiza varijanci (ANOVA) s intervalom pouzdanosti od 95 % ($p < 0,05$), popraćena *post-hoc* Tukey HSD metodom, kojom su uspoređene vrijednosti unutar tehnika završne obrade pri istom temperaturnom programu te su im pripisana mala (120 °C), odnosno velika (160 °C) tiskana slova. Nadalje, proveden je i studentski t-test kojim su uspoređene vrijednosti unutar iste tehnike pri različitim temperaturama te je statistički značajna razlika označena simbolom †. Osim toga, provedena je i analiza glavnih komponenti. Statistička obrada dobivenih rezultata provedena je u programu Statistica v.13 (Tibco Statistica, SAD).

4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom radu promatran je utjecaj četiri različite tehnike završne toplinske obrade (primjenom sušionika, pećnice, friteza na vrući zrak ili vakuum sušionika) pri temperaturama od 120 i 160 °C na parametre kvalitete 3D bezglutenskog *snack*-proizvoda. Tijekom pripreme uzoraka kroz osam dana ispisivanja mjerene su dimenzije ispisanih uzoraka i uspoređivane sa zadanim vrijednostima CAD modela te je prema dobivenim vrijednostima izračunata preciznost ispisa oblika prema jednadžbama [1] - [4] prikazana u tablici 3 s pripadajućim koeficijentima varijacija. Također, na slici 5 prikazane su fotografije ispisanih uzoraka. Tijekom provođenja završne toplinske obrade uzoraka praćena je dinamika sušenja vaganjem uzoraka do konstantne mase te je na temelju nje određeno ukupno vrijeme trajanja pojedine tehnike pri određenoj temperaturi. Ovisnost gubitka mase o vremenu trajanja završne toplinske obrade pojedinom tehnikom pri temperaturama od 120 i 160 °C prikazana je na slikama 6 a, 7 a, 8 a i 9 a. Osim gubitka mase, praćena je promjena vrijednosti aktiviteta vode tijekom završne toplinske obrade pojedinom tehnikom pri temperaturama od 120 i 160 °C, a prikazana je na slikama 6 b, 7 b, 8 b i 9 b. U tablici 4 prikazano je konačno vrijeme trajanja završne obrade te konačne vrijednosti aktiviteta vode uzoraka. Također, prikazan je utjecaj pojedine tehnike i temperature na konačni udio vlage u uzorcima. Promatrani parametri kvalitete uzoraka nakon završne toplinske obrade bili su: devijacija dimenzija oblika, tekstura (hrskavost, tvrdoća i čvrstoća), boja (vrijednosti L*, a* i b* trodimenzijskog spektra boja CIELab sustava) te je na kraju provedena senzorska procjena kvalitete gotovog bezglutenskog *snack*-proizvoda. U tablici 5 prikazan je utjecaj pojedine tehnike i primijenjene temperature završne obrade na devijacije dimenzija oblika: duljine, širine, visine i površine oblika uzoraka izračunatim prema jednadžbama [5] - [8]. Fotografije uzoraka nakon završne obrade prikazane su na slici 10. U tablici 6 prikazane su vrijednosti teksturalnih svojstava te je statistički određen utjecaj primijenjene tehnike i temperature završne obrade na njih. Utjecaj primijenjene tehnike i temperature na vrijednosti parametara boje uzoraka prikazan je u tablici 7. Senzorska procjena kvalitete krajnjeg *snack*-proizvoda provedena je deskriptivnom i hedonističkom senzorskom analizom. Rezultati deskriptivne senzorske analize uzoraka prikazani su paukovom mrežom na slici 11, a rezultati hedonističke senzorske analize na slici 12. Provedena je i analiza glavnih komponenti, a rezultati su prikazani na slici 13 a i b.

U sljedećim poglavljima detaljno su opisani i raspravljani rezultati provedenih analiza.

4.1. PRECIZNOST ISPISA

Ispis tijesta proveden je kroz osam dana te je svaki dan korištena nova šarža pripremljenog tijesta, a uzorci ispisani u jednom danu obrađivani su jednom od četiri navedene tehnike završne obrade (tablica 2). U tablici 3 prikazane su vrijednosti preciznosti ispisa s pripadajućim koeficijentima varijacija.

Tablica 3. Prikaz prosječnih vrijednosti preciznosti ispisa izračunatih prema jednadžbama [1] - [4] tijekom osam dana ispisivanja uzoraka s pripadajućim koeficijentima varijacija. Vrijednosti su dobivene mjerenjem uzoraka tijesta nakon istiskivanja (n = 5)

Dan		Dužina	Širina	Visina	Vjernost oblika
1	Preciznost	103,7 ± 3,7	112,1 ± 4,0	91,6 ± 7,2	101,8 ± 7,8
	CV%	3,53	3,60	7,83	7,66
2	Preciznost	112,1 ± 3,3	119,1 ± 7,9	106,6 ± 10,3	98,7 ± 4,6
	CV%	2,94	6,61	9,68	4,65
3	Preciznost	111,9 ± 5,4	112,0 ± 5,1	99,9 ± 4,4	106,8 ± 4,4
	CV%	4,79	4,54	4,43	4,15
4	Preciznost	109,4 ± 2,1	109,4 ± 2,1	97,0 ± 2,4	104,7 ± 3,0
	CV%	1,95	1,95	2,45	2,89
5	Preciznost	112,4 ± 3,5	122,5 ± 5,2	90,08 ± 3,4	97,5 ± 5,9
	CV%	3,08	4,28	3,75	6,04
6	Preciznost	113,3 ± 1,8	125,4 ± 1,9	114,2 ± 5,9	110,0 ± 2,4
	CV%	1,59	1,54	5,20	2,18
7	Preciznost	112,2 ± 2,2	114,2 ± 6,9	97,5 ± 2,4	97,4 ± 2,6
	CV%	1,98	6,03	2,42	2,67
8	Preciznost	109,9 ± 1,8	120,4 ± 4,3	114,0 ± 6,2	102,5 ± 2,1
	CV%	1,59	3,55	5,43	2,08

*Preciznost je prikazana kao prosječna vrijednost mjerenja ± standardna devijacija mjerenja. CV% - koeficijent varijacije.

Preciznost ispisa mjerena kroz dužinu bila je najveća prvog dana ispisa, gdje je u prosjeku dužina uzoraka bila veća za 3,7 % u odnosu na zadanu vrijednost dužine CAD modela od 40 mm. U odnosu na prvi dan, utvrđena je razlika u preciznosti tijekom ostalih sedam dana od 6,2 - 9,6 % pri čemu je odstupanje od zadane dužine bilo najveće šestog dana ispisa. Tijekom ispisa u prvom danu koeficijent varijacije relativno je velik u odnosu na ostale dane što ukazuje na nešto veću raspršenost rezultata. Tijekom trećeg dana ispisa zabilježen je najveći koeficijent varijacije koji je u odnosu na najmanji bio veći za 3,2 %, zabilježen šestog i osmog

dana ispisa. Iz navedenog proizlazi da je ispis uzoraka tijekom šestog i osmog dana ispisa bio ujednačen, što je vidljivo i iz vrijednosti standardne devijacije.

CAD modelom zadana je širina uzoraka od 24 mm. Vrijednosti preciznosti ispisa mjereno kroz širinu tijekom osam dana ispisa bile su veće od vrijednosti širine zadane CAD modelom u rasponu od 9,4 - 25,4 %. Najprecizniji ispis širine postignut je tijekom četvrtog dana ispisa gdje je širina ispisanih uzoraka u prosijeku bila veća za 9,4 % od zadane širine. Koeficijent varijacije četvrtog dana ukazuje na ujednačenost širine uzoraka tijekom ispisa. Najmanji koeficijent varijacije uočen je kod šestog dana ispisa te je u odnosu na četvrti dan bio manji za 0,41 %. No, tijekom šestog dana ispisa postignuta je najmanja preciznost širine koja je u odnosu na zadanu vrijednost CAD modelom bila veća za čak 25,4 %.

Najveća preciznost visine uzoraka postignuta je tijekom trećeg dana ispisa, gdje je prosječna visina uzoraka bila gotovo 100 % u skladu sa zadanom visinom CAD modela od 15 mm. No, ispis tijekom trećeg dana nije bio najujednačeniji, što je vidljivo iz koeficijenta varijacije. Tijekom prvog, četvrtog, petog i sedmog dana ispisani su uzorci s prosječnom visinom manjom od visine zadane CAD modelom. Najveće odstupanje visine ispisanih uzoraka uočeno je petog dana ispisa, gdje je prosječna visina ispisanih uzoraka bila manja za 9,92 % odnosu na zadanu visinu. Zatim slijede prvi dan s visinom manjom za 8,54 %, četvrti dan s 3 % manjom visinom te sedmi dan s 2,5 % manjom visinom. Tijekom ostalih dana, ispisani uzorci bili su viši od zadane vrijednosti u rasponu od 6,6 - 14,2 %.

Vjernost oblika predstavlja omjer unutrašnje površine ispisanih oblika i unutrašnje površine zadane CAD modelom. Zadana unutrašnja površina predstavljena je kao udio crnih piksela tijekom obrade fotografija uzoraka u programu ImageJ te je iznosila 90000. Najbolja vjernost oblika postignuta je ispisom uzoraka tijekom prvog dana gdje je unutrašnja površina uzoraka u prosijeku bila veća za 1,8 %. No, ispis uzoraka tijekom prvog dana nije bio ujednačen kao tijekom ostalih dana ispisa kao što je vidljivo iz koeficijenta varijacije. Najujednačeniji ispis postignut je tijekom osmog dana, koji je bio manji za 5,58 % od koeficijenta varijacije prvog dana. Također, tijekom osmog dana ispisa postignuta je relativno dobra preciznost ispisa, a prosječna unutrašnja površina uzoraka bila je veća od zadane za 2,5 %. Od zadane unutrašnje površine najviše su odstupali uzorci tiskani šestog dana ispisa, gdje je unutrašnja površina bila veća za 10 % u odnosu na zadanu.

Usprkos navedenim varijacijama u preciznosti ispisa tijekom različitih dana, koeficijenti varijacije su bili ispod 10 %, što je smatrano prihvatljivim.

Na slici 5 prikazani su primjeri ispisanih uzoraka tjesta kroz osam dana ispisa.



Slika 5. Uzorci tijesta tijekom osam dana ispisa (*vlastita fotografija*)

Na preciznost ispisa na bazi ekstruzije ponajviše utječu svojstva materijala koji se ispisuje. U ta svojstva ubrajaju se: reološka, mehanička i toplinska svojstva materijala te udio vlage u sastavu. Nadalje, na preciznost utječe i visina ispisa, promjer sapnice te brzina ispisa i pomjeranja sapnice (Baiano, 2020).

Iz prikazanih fotografija uzoraka (slika 5) vidljivo je da porastom broja ispisanih slojeva dolazi do većeg ili manjeg krivudanja materijala tijekom istiskivanja kroz sapnicu čiji je promjer bio 1,2 mm. Prema tome, prvo moguće rješenje bila bi prilagodba brzine ispisa uzoraka i promjera sapnice kako bi slojevi, a time i sam oblik, bili što stabilniji. Drugo rješenje bila bi prilagodba visine uzoraka, odnosno smanjenje broja slojeva materijala.

Ispis je proveden pri temperaturi od 30 °C. Kao što je već navedeno, na ispis utječu mehanička i toplinska svojstva materijala pa bi prilagodbom temperature bilo moguće utjecati na

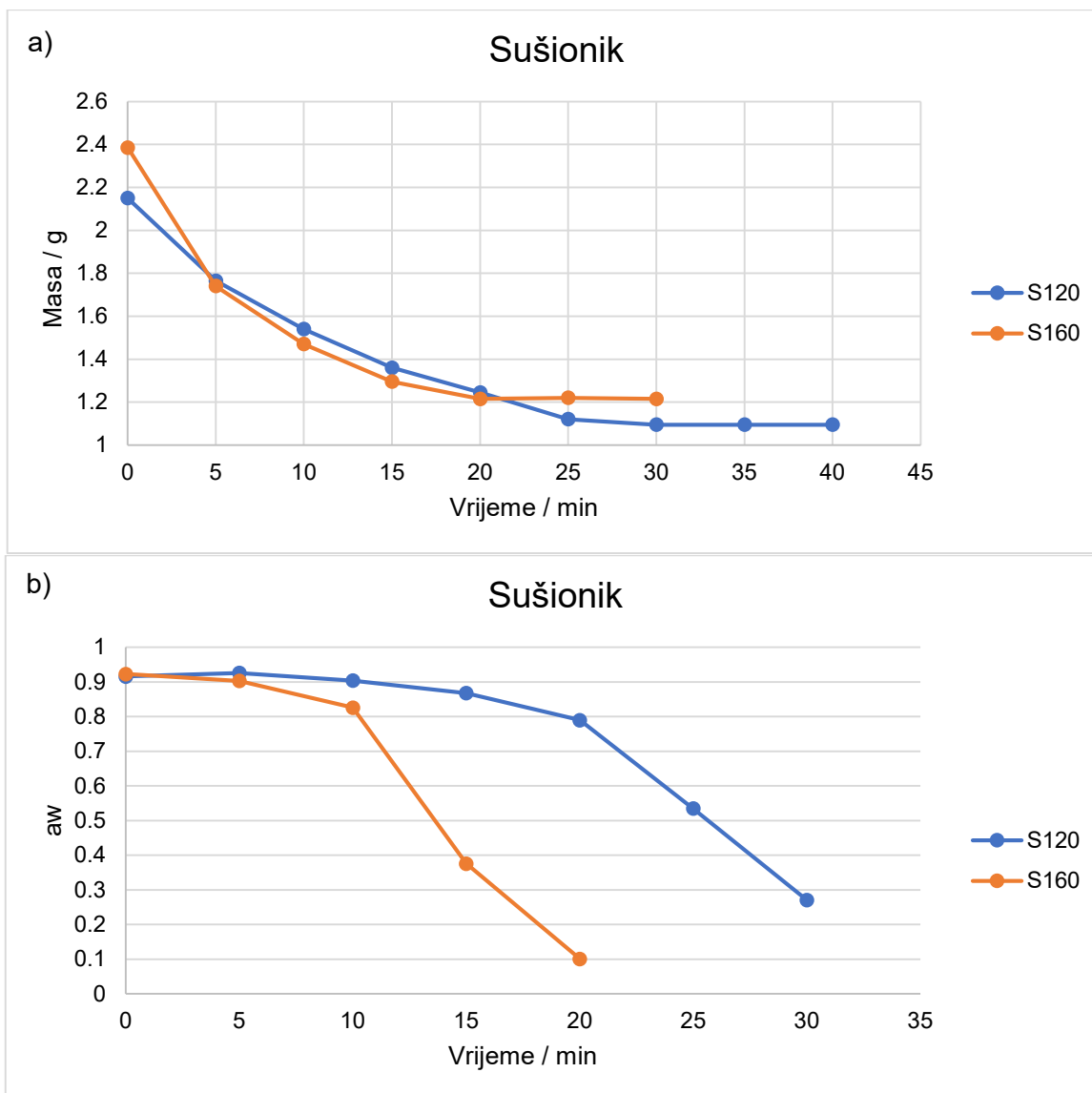
viskoznost samog materijala. Tako bi višom temperaturom bila postignuta manja viskoznost materijala što bi omogućilo ujednačeniji prolazak materijala kroz sapnicu. Na pojedinim uzorcima uočeno je prekidanje filameta materijala te je svakim sljedećim slojem stabilnost oblika bila narušena. Važno je naglasiti da preciznost ispisa uzoraka utječe na daljnju stabilnost i kvalitetu uzoraka tijekom i nakon završne obrade.

4.2. DINAMIKA SUŠENJA

Na slikama 6 a, 7 a, 8 a i 9 a prikazani su grafovi ovisnosti mase o vremenu trajanja završne obrade različitim tehnikama pri temperaturama od 120 i 160 °C. Podaci su dobiveni vaganjem 3D uzorka u definiranim vremenskim intervalima do konstantne mase u svrhu određivanja odgovarajuće duljine trajanja sušenja. Zatim su uzorci ponovno ispisani te korišteni za mjerenje aktiviteta vode a_w -metrom i prikaz trenda promjene aktiviteta vode ovisno o tehnici završne obrade i temperaturi (slike 6 b, 7 b, 8 b i 9 b).

Za potrebe određivanja duljine trajanja završne obrade u sušioniku pri temperaturama od 120 i 160 °C, uzorci su izuzimani i vagani do konstantne mase svakih pet minuta. Pri 120 °C uzorci su obrađivani 40 minuta, a iz grafičkog prikaza (slika 6a) vidljivo je da je masa nepromijenjena od 30. do 40. minute, zbog čega je utvrđeno vrijeme trajanja sušenja od 30 minuta. Završna obrada pri 160 °C trajala je očekivano kraće. Od 25. do 30. minute nije uočena značajna promjena u masi uzorka te je kraj završne obrade pri 160 °C utvrđen nakon 25 minuta.

Početna vrijednost, odnosno vrijednost aktiviteta vode u sirovom tijestu prije provođena završne obrade uzorka u svim je mjerenjima iznosila oko 0,9. Tijekom završne obrade u sušioniku uzorci su izuzimani svakih pet minuta. Iz grafičkog prikaza (slika 6b) je vidljivo da aktivitet vode tijekom završne obrade u sušioniku pri 120 °C postepeno opada povećanjem vremena te na kraju mjerenja, nakon 30 minuta, iznosi 0,271. Također je vidljivo da vrijednosti aktiviteta vode pri 160 °C postepeno opadaju prvih 10 minuta sušenja, nakon čega naglo opadaju te na kraju procesa a_w iznosi 0,101.

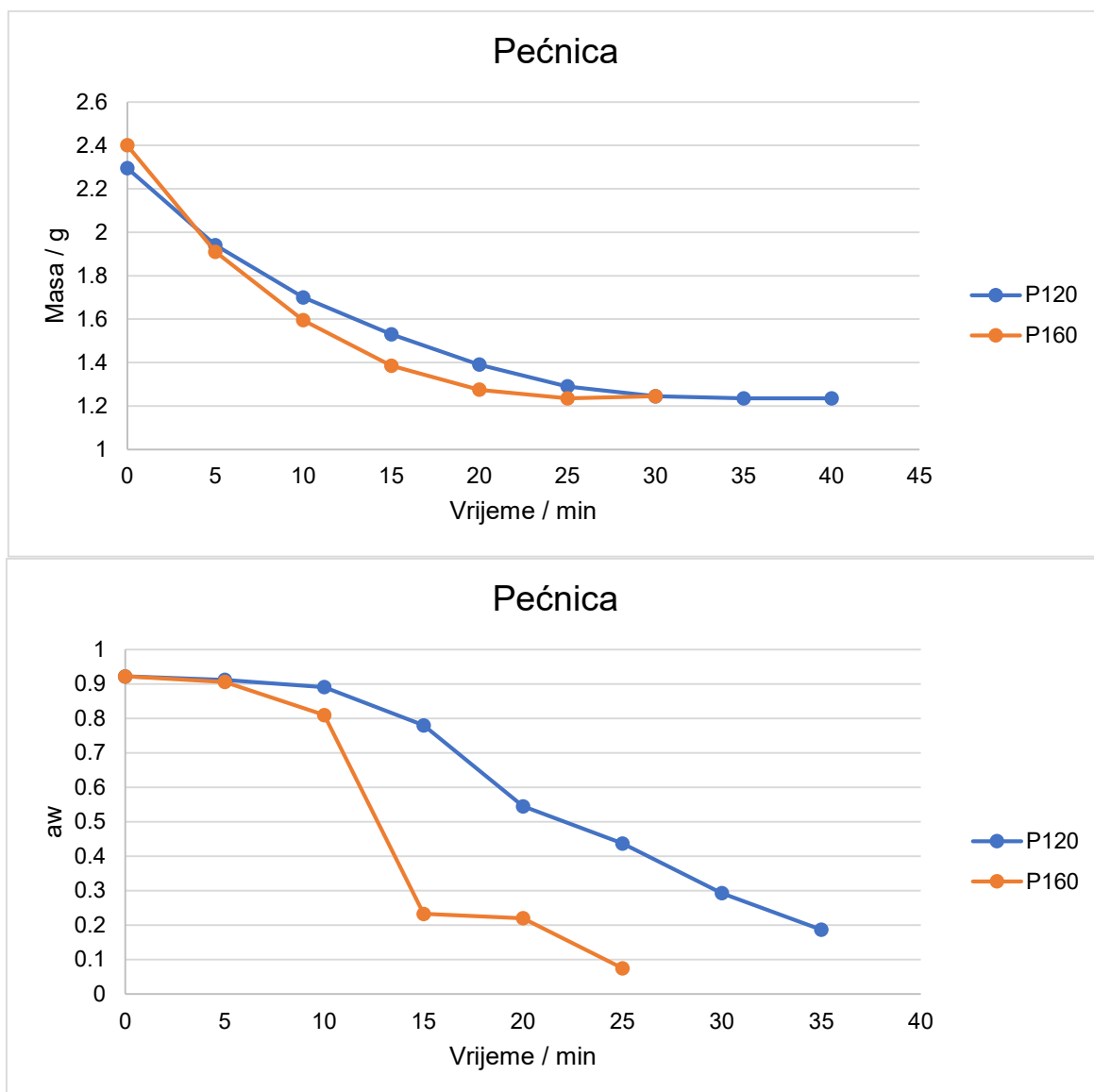


Slika 6. Grafički prikaz a) ovisnosti promjene mase s vremenom trajanja završne obrade i b) trenda promjene vrijednosti aktiviteta vode tijekom završne obrade u sušioniku pri temperaturama od 120 i 160 °C

Iz grafičkog prikaza (slika 7a) ovisnosti promjene mase uzoraka završno obrađenih u pećnici vidljiv je sličan trend promjene mase kao tijekom završne obrade u sušioniku. Vaganje uzoraka također je provođeno svakih pet minuta. Pri 120 °C utvrđeno je vrijeme trajanja sušenja od 30 minuta, a pri 160 °C od 25 minuta jer u kasnijim mjerenjima nije uočena značajna promjena mase uzoraka.

Uzorci završno obrađivani u pećnici također su izuzimani svakih pet minuta za mjerenje aktiviteta vode. Završnom obradom pri 120 °C aktivitet vode (slika 7b) prati gotovo linearan trend smanjenja vrijednosti povećanjem vremena trajanja završne obrade te na kraju iznosi 0,187. Pri 160 °C vrijednost aktiviteta vode naglo se mijenja između mjerenja provedenih u 10. i 15. minuti sušenja nakon čega postepeno opada i na kraju sušenja iznosi 0,075, što je ujedno

i najniža postignuta vrijednost aktiviteta vode u odnosu na ostale primijenjene tehnike i temperature.

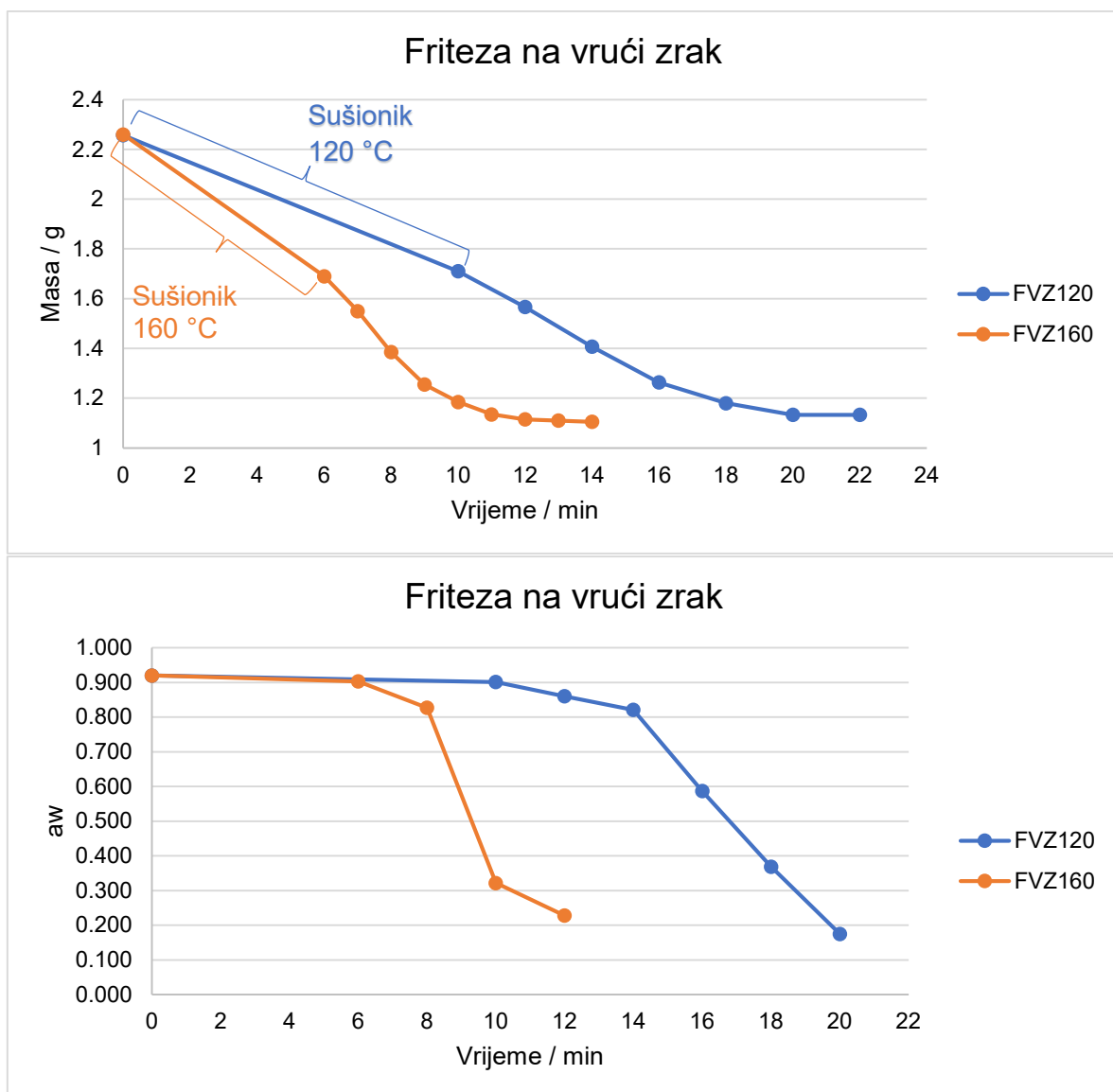


Slika 7. Grafički prikaz a) ovisnosti promjene mase s vremenom trajanja završne obrade i b) trenda promjene vrijednosti aktiviteta vode tijekom zaršne obrade u pećnici pri temperaturama od 120 i 160 °C

Na slici 8a prikazana je promjena mase uzoraka s vremenom trajanja završne obrade u fritezi na vrući zrak. Prije završne obrade u fritezi na vrući zrak pri oba temperaturna režima, uzorci su prethodno osušeni u sušioniku kako ne bi došlo do narušavanja oblika. Prije sušenja u fritezi na 120 °C, uzorci su stavljeni u sušionik pri istoj temperaturi na deset minuta te su prije prenošenja u fritezu izvagani. Završna obrada u fritezi na vrući zrak pri 120 °C trajala je dodatnih 12 minuta unutar kojih su uzorci izuzimani svake dvije minute i vagani. Ukupno vrijeme obrade uzorka bilo je u trajanju od 22 minute. Sušenje pri 160 °C trajalo je očekivano kraće. Uzorci su prethodno osušeni u sušioniku u trajanju od šest minuta pri temperaturi od

160 °C, nakon čega su izvagani i preneseni u fritezu. Završna obrada uzoraka u fritezi pri 160 °C trajala je dodatnih osam minuta unutar kojih su uzorci izuzimani svake dvije minute i vagani. Ukupno vrijeme obrade uzoraka bilo je 12 minuta jer nakon tog vremena nije utvrđena značajna promjena u masi uzoraka.

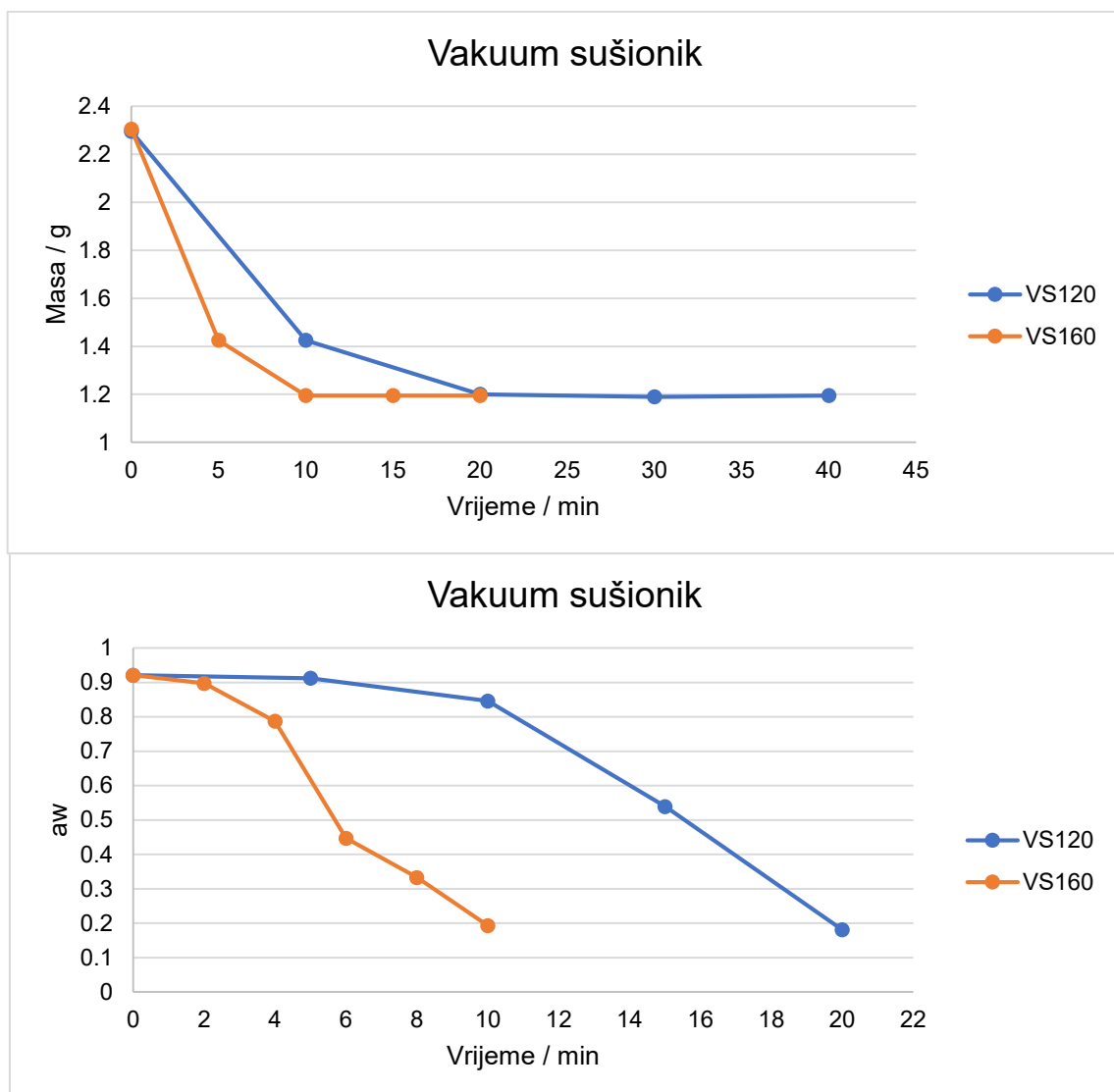
Kod uzoraka FVZ aktivitet vode ostao je gotovo nepromijenjen nakon predušenja u sušioniku, točnije 10 minuta pri 120 °C i 6 minuta sušenja pri 160 °C, u odnosu na sirovo tijesto (slika 8b). Nastavkom završne obrade u fritezi na vrući zrak pri 120 °C došlo je do postepenog pada vrijednosti aktiviteta vode do 14. minute, nakon čega aktivitet vode naglo opada te na kraju iznosi 0,175 (20. minuta). U uzorcima sušenim na 160 °C dolazi do još naglijeg pada nakon sušenja u sušioniku. Krajnja vrijednosti aktiviteta vode iznosila je 0,228



Slika 8. Grafički prikaz a) ovisnosti promjene mase s vremenom trajanja završne obrade i b) trenda promjene vrijednosti aktiviteta vode tijekom završne obrade u fritezi na vrući zrak pri temperaturama od 120 i 160 °C

Završna obrada uzoraka u vakuum sušioniku pri 120 °C trajalo je 40 minuta unutar kojih su uzorci izuzimani svakih 10 minuta. Iz grafičkog prikaza (slika 9a) vidljivo je da je kraj sušenja uzoraka pri navedenoj temperaturi na 20 minuti, nakon čega nema značajne promjene mase uzoraka. Pri temperaturi od 160 °C uzorci su sušeni 20 minuta, unutar kojih su izuzimani uzorci svakih pet minuta. Kraj sušenja utvrđen je nakon 10 minuta, što je ujedno i najkraće vrijeme potrebno za završnu obradu uzoraka u odnosu na ostale primijenjene tehnike i temperature.

Tijekom završne obrade u vakuum sušioniku pri temperaturi od 120 °C i tlaku od 100 mbar vrijednosti aktiviteta vode opadaju postepeno te je krajnja vrijednost iznosila 0,181. Pri sušenju na 160 °C vrijednosti aktiviteta opadaju naglo kao i u prethodnim slučajevima, a krajnja vrijednost aktiviteta vode iznosila je 0,193 (slika 9b).



Slika 9. Grafički prikaz a) ovisnosti promjene mase s vremenom trajanja završne obrade i b) trenda promjene vrijednosti aktiviteta vode tijekom završne obrade u vakuum sušioniku pri temperaturama od 120 i 160 °C

U tablici 4 prikazano je vrijeme trajanja završne obrane uzoraka te prosječne vrijednosti aktiviteta vode i udjela vlage nakon završne obrade pojedinom tehnikom sušenja pri temperaturama od 120 i 160 °C u prethodno određenom vremenu trajanja završne obrade.

Tablica 4. Vrijeme trajanja završne obrade, konačna vrijednost aktiviteta vode i udio vlage u uzorcima nakon završne obrade (n = 5)

Uzorak	Vrijeme trajanja završne obrade / min	Konačna vrijednost a_w	Udio vlage (%)
S120	30	0,271	2,34 ± 0,18 a †
S160	20	0,101	2,10 ± 0,02 AB
P120	35	0,187	2,56 ± 0,04 b †
P160	25	0,075	2,79 ± 0,07 C
FVZ120	20	0,175	2,27 ± 0,06 a †
FVZ160	12	0,228	1,91 ± 0,01 A
VS120	20	0,181	2,75 ± 0,03 c †
VS160	10	0,193	2,13 ± 0,01 B

Prosječne vrijednosti označene različitim malim tiskanim slovima opisuju uzorke završno obrađene na 120 °C koji se međusobno statistički značajno razlikuju ($P < 0,05$); Prosječne vrijednosti označene različitim velikim tiskanim slovima opisuju uzorke sušene na 160 °C koji se međusobno statistički značajno razlikuju ($P < 0,05$); † - uzorci unutar iste tehnike između kojih postoji statistički značajna razlika ($P < 0,05$) nakon obrade pri različitim temperaturama.

Svi uzorci, neovisno o tehnici sušenja, imali su udio vlage niži od 5% te zadovoljavaju preporučeni krajnji udio vlage u *snack*-proizvodima od žitarica prema Manley i sur. (2011), koji osigurava stabilnost i veću trajnost proizvoda na bazi žitarica tijekom skladištenja.

Iz prikazanih rezultata uočeno je da najmanji udio vlage postignut završnom obradom u fritezi na vrući zrak pri 160 °C. Između uzoraka FVZ160, VS160 i P160 uočena je statistički značajna pri čemu su uzorci P160 i VS160 imali udio vlage manji za 0,22 i 0,88 % u odnosu na uzorak FVZ160. U odnosu na uzorak S160, uzorci FVZ160 i VS160 nisu se statističku značajno razlikovali. Pregledom rezultata u uzorcima završno obrađenim pri 120 °C, najmanji udio vlage postignut je također obradom u fritezi na vrući zrak. Između uzoraka S120 i FVZ120 nije uočena statistički značajna razlika, za razliku od uzoraka P120 i VS120 gdje je udio vlage bio za 0,2 i 0,5 % veći od uzorka FVZ120.

Korištenjem više temperature postignuto je značajno smanjenje udjela vlage (uzorci S160, FVZ160 i VS160). Jedino je u uzorku P160 primijećeno značajno povećanje od 0,23 %, koje se potencijalno može pripisati prebrzom stvaranju korice tijekom pečenja zbog koje uzorak nije gubio više vode isparavanjem. Povišenjem temperature pri završnoj obradi u vakuum

sušioniku postignuto je najveće smanjenje udjela vlage za 0,62 %, zatim slijedi uzorak FVZ160 sa smanjenjem od 0,36 % te uzorak S160 sa smanjenjem od 0,24 %.

Udio vode kritičan je faktor tijekom i nakon završne obrade u gotovom proizvodu od tijesta. Također, relativna vlažnost okoline tijekom i nakon završne obrade utječe na gubitak vode, ali i potencijalno naknadno nakupljanje vlage proizvodu (Chieh, 2014). Prema tome, bitno je utvrditi efikasnost pojedine metode završne obrade ovisno o vremenu trajanja samog procesa, konačnoj a_w vrijednosti i zaostalom udjelu vlage u proizvodu.

Kao što je već navedeno, primjenom više temperature završne obrade postignuti su značajno manji udjeli vlage u konačnom proizvodu te je smanjeno je vrijeme trajanja završne obrade za 8-10 minuta.

Obradom u sušioniku pri 160 °C postignuto je kraće vrijeme trajanja završne obrade za 10 minuta, pri čemu se aktivitet vode smanjio za 0,169, a udio vlage za 0,24 % u odnosu na uzorak S120. Povećanjem temperature završne obrade u pećnici skraćeno je vrijeme sušenja za 10 minuta te je najmanji aktivitet vode, koji se smanjio za 0,112 u odnosu na uzorak P120. U uzorku FVZ160, povećanjem temperature postignut je najmanji udio vlage, ali uočeno je povećanje vrijednosti aktiviteta vode za 0,113 u odnosu na uzorak FVZ120. Vrijeme završne obrade smanjeno je za 8 minuta što je relativno veliko smanjenje s obzirom na to da su uzorci zahtijevali prethodnu obradu u sušioniku. Kod vakuum sušionika je povećanjem temperature postignuto najveće smanjenje udjela vlage u uzorcima, a vrijeme trajanja završne obrade smanjeno za 10 minuta.

Fritezom na vrući zrak pri 120 i 160 °C postignut najniži udio vlage u uzorcima, koji najvjerojatnije osigurava najbolju mikrobiološku stabilnost uzoraka u odnosu na uzorke obrađivane ostalim tehnikama. Veliki nedostatak ove tehnike je potreba za prethodnom obradom u sušioniku koja komplicira samu završnu obradu. Zbog male stabilnosti uzoraka, sušenje u sušioniku bilo je neophodno za očuvanje stabilnosti tijekom obrade u fritezi na vrući zrak. Modifikacijom oblika u vidu popunjenosti unutrašnje površine, potencijalno bi se osigurala praktičnija primjena friteze na vrući zrak kao što je prikazano u radu Radoš i sur. (2023). No, bitan čimbenik u odabiru prikladne tehnike završne obrade također su i ostali parametri kvalitete (devijacija dimenzija oblika, tekstura, boja i senzorska procjena) određeni u ovom radu.

4.3. UTJECAJ TEHNIKE I TEMPERATURE NA DEVIJACIJU OBLIKA

Stabilnost oblika 3D ispisanih proizvoda tijekom završne toplinske obrade ovisi o sastojcima materijala za 3D ispis. Sastojci poput ugljikohidrata, proteina i masti izrazito su osjetljivi na toplinu te neprimjereno visoka temperatura završne obrade može uzrokovati deformaciju oblika krajnjeg proizvoda (Godoi i sur., 2016). Rezultati utjecaja tehnike i temperature završne

obrade uzoraka na devijacije dimenzija krajnjeg proizvoda u odnosu na ispisane uzorke tijesta prikazani su u Tablici 5.

Tablica 5. Prosječne vrijednosti devijacija dimenzija oblika i površine nakon završne obrade
(n = 5)

Uzorak	Devijacija dužine (%)	Devijacija širine (%)	Devijacija visine (%)	Devijacija površine (%)
S120	6,09 ± 2,59 a †	14,45 ± 4,26 a †	19,77 ± 3,44 ab †	23,38 ± 5,00 a
S160	16,55 ± 2,87 A	20,90 ± 4,27 B	31,51 ± 6,64 A	21,43 ± 4,18 A
P120	15,35 ± 3,14 b	14,66 ± 5,55 a	17,87 ± 5,14 ab †	22,89 ± 1,61 a †
P160	17,00 ± 2,63 A	16,89 ± 5,75 B	26,08 ± 2,94 A	17,14 ± 3,63 A
FVZ120	14,63 ± 8,03 ab	19,29 ± 3,03 a	25,96 ± 6,51 b	37,45 ± 6,53 b
FVZ160	15,26 ± 2,38 A	17,78 ± 3,58 B	25,29 ± 0,52 A	35,60 ± 2,23 B
VS120	14,63 ± 3,60 b	10,51 ± 8,13 a	12,37 ± 3,74 a	34,32 ± 2,53 b
VS160	11,94 ± 2,63 A	7,01 ± 4,87 A	28,92 ± 11,81 A	42,63 ± 8,57 B

Prosječne vrijednosti označene različitim malim tiskanim slovima opisuju uzorke završno obrađene na 120 °C koji se statistički značajno razlikuju ($P < 0,05$); Prosječne vrijednosti označene različitim velikim tiskanim slovima opisuju uzorke završno obrađene na 160 °C koji se statistički značajno razlikuju ($P < 0,05$); † - uzorci unutar iste tehnike između kojih postoji statistički značajna razlika ($P < 0,05$) nakon završne obrade

Najmanja devijacija dužine zabilježena je u uzorku S120, a značajne razlike utvrđene su u usporedbi s ostalim tehnikama završne obrade pri istoj temperaturi, pri čemu su vrijednosti devijacije dužine kod drugih uzoraka bile veće za 8,54 % - 9,26 %. Značajna razlika zabilježena je između uzoraka S120 i S160, pri čemu je devijacija dužine u uzorku S160 bila veća za 10,46 %. Kod drugih tehnika završne obrade pri 120 °C, nije utvrđena statistički značajna razlika, a najveća devijacija dužine zabilježena je u uzorku P120. Pri usporedbi devijacija dužine uzoraka obrađivanih različitim tehnikama pri 160 °C, nije uočena statistički značajna razlika. Najmanja devijacija dužine zabilježena je u uzorku VS160, dok je najveća devijacija zabilježena u uzorku P160. Devijacija dužine uzorka P160 bila je veća za 5,06 % od uzorka VS160. Iz rezultata se može zaključiti da najmanji utjecaj na dužinu uzoraka ima tehnika završne obrade u sušioniku pri 120 °C.

Nije utvrđena statistički značajna razlika u devijaciji širine između tehnika završne obrade pri 120 °C. Tehnikom obrade u fritezi na vrući zrak postignuta je najveća devijacija širine koja je u odnosu na ostale uzorke bila veća u rasponu od 4,63 – 78,78 %. Povišenjem temperature pri obradi u sušioniku postignuta je značajno veća devijacija širine te je uzorak S160 imao je

devijaciju širine veću za 6,45 % u odnosu na uzorak S120. Također, povišenjem temperature u uzorku P160 postignuta je nešto veća devijacija širine u odnosu na uzorak P120, no ta razlika nije bila statistički značajna. Suprotno tome, tehnikama obrade u fritezi na vrući zrak i vakuum sušioniku postignute su manje vrijednosti devijacije širine oblika, no nije postojala statistički značajna razlika. Najmanja devijacija širine zabilježena je u uzorku VS160 te je utvrđena statistički značajna razlika u odnosu na uzorke obrađivane drugim tehnikama pri 160 °C čije su vrijednosti devijacije bile veće u rasponu od 9,88 - 13,89 %.

Najznačajniji utjecaj povišenja temperature završne toplinske obrade na devijaciju visine zabilježen je među uzorcima S120 i S160. Devijacija visine u uzorku S160 povećana je za 11,74 % u odnosu na uzorak S120. Iako je utvrđena najveća devijacija visine u uzorku S160, statistički značajna razlika nije zabilježena u usporedbi s ostalim uzorcima obrađenim pri 160 °C. Jedino u uzorcima FVZ120 i FVZ160, povišenje temperature nije uzrokovalo je povećanje devijacije visine te je u uzorku FVZ160 zabilježeno smanjenje devijacije za 0,67 %. Najmanja devijacija visine zabilježena je u uzorku VS120, a značajna razlika utvrđena je samo u odnosu na uzorak FVZ120 kod kojeg je zabilježena veća vrijednost devijacije za 13,59 %. Uzorci S120 i P120, koji su svrstani u istu statističku grupu, nisu bili značajno različiti od uzoraka FVZ120 i VS120.

Najveća devijacija površine zabilježena je tehnikama završne obrade u fritezi na vrući zrak i vakuum sušioniku pri obje primijenjene temperature. Statistički značajna razlika utvrđena je u usporedbi s tehnikama završne obrade u sušioniku i pećnici. Pri temperaturi od 120 °C, devijacija površine u uzorcima S120 i P120 smanjena je za 14,07 - 14,56 % u odnosu na uzorak FVZ120 te za 10,94 - 11,44 % u odnosu na uzorak VS120. Pri temperaturi od 160 °C, devijacija površine u uzorcima S160 i P160 bila je manja za 14,17 - 18,46 % u odnosu na uzorak FVZ160 te za 21,2 - 25,49 % u odnosu na uzorak VS160. Povišenjem temperature uzrokovana je veća devijacija površine jedino primjenom vakuum sušionika, pri čemu je zabilježena veća devijacija površine uzorka VS160 za 8,31 % u odnosu na uzorak VS120, no ta razlika nije bila statistički značajna.

Uzrok deformacija oblika tijekom sušenja je migracija i gubitak vode. Osim tehnike i temperature sušenja, na devijaciju oblika može utjecati i postotak popunjenosti oblika. U istraživanju provedenom od strane Chen i sur. (2022) uočena je poveznica među postotkom ispune 3D tiskanog *snack*-proizvoda na bazi buče i deformacijom tijekom sušenja proizvoda procesom liofilizacije. Uočeno je da se povećanjem postotka ispunjenosti oblika sa 75 % na 100 %, smanjuje postotak deformiranosti oblika tijekom završne obrade te je istaknut i utjecaj ovisno o načinu ispune oblika. U odnosu na navedeni rad, uzorci u ovom radu nisu imali ispunu oblika te bi se eventualnom primjenom ispune mogao smanjiti postotak deformacije dimenzija

oblika. Matas i sur. (2022) ukazali su da povećanje visine ima negativan utjecaj na deformiranost oblika tijekom završne obrade. Tijekom završne obrade uzoraka u ovom radu u vakuum sušioniku i fritezi na vrući zrak došlo je do najvećih deformacija u dimenzijama oblika posebice u devijaciji površine zbog urušavanja oblika prema sredini. Kako bi se dalje izbjegao isti problem, moguće je smanjiti visinu uzoraka ovisno o primijenjenoj tehnici završne obrade ili uvesti ispunu. Na slici 10 prikazane su fotografije uzoraka nakon završne obrade na kojima se jasno vidi stupanj deformacija primjenom pojedine tehnike i temperature. Iz slike 10 vidljiva je i promjena boje uzoraka ovisno o tehnici i temperaturi te je primijećeno da je povišenjem temperature postignuto značajno tamnjenje uzoraka, a boja uzoraka FVZ120 i FVZ160 ukazuje na veći razvoj boje tijekom završne obrade što je kasnije i potvrđeno (tablica 7). Analiza pokazuje da različite tehnike sušenja i temperature imaju značajan utjecaj na dimenzije uzoraka. Gubitkom vode sušenjem proizvod gubi na masi, ali i na stabilnosti oblika zbog stvaranja poroznije strukture. Odabir tehnike sušenja i temperature ovisit će o željenim karakteristikama krajnjeg oblika. Želja je uglavnom u zadržavanju inicijalnog oblika proizvoda te prema ovim podacima vidljivo je da najmanju devijaciju dimenzija i površine imaju uzorci sušeni u pećnici i sušioniku pri 120 i 160 °C.



Slika 10. Fotografije uzoraka nakon završne obrade različitim tehnikama i temperaturama (*vlastita fotografija*)

S – sušionik, P – pećnica, FVZ – friteza na vrući zrak, VS – vakuum sušionik

4.4. UTJECAJ TEHNIKE I TEMPERATURE NA TEKSTURALNA SVOJSTVA

Teksturalna svojstva uvelike utječu na prihvatljivost proizvoda od strane potrošača. Poželjna teksturalna svojstva *snack*-proizvoda na bazi žitarica su hrskavost, tvrdoća i čvrstoća. Različiti parametri tehnika završne obrade kao što su prijenos topline, temperatura i vrijeme obrade dovode do manje ili više naglašenog formiranja i proširenja porozne strukture unutar samog *snack*-proizvoda (Derossi i sur., 2021) što utječe na krajnja teksturalna svojstva proizvoda. Većina literaturnih navoda ističe da na teksturalna svojstva 3D ispisanih *snack*-proizvoda uvelike utječe i stupanj ispune. Na uzorcima je provedena analiza teksturalnih svojstava (hrskavost, tvrdoća i čvrstoća) te je određen utjecaj tehnike i temperature na njihove vrijednosti, a rezultati su prikazani u tablici 6.

Tablica 6. Prosječne vrijednosti parametara teksture uzoraka nakon sušenja pojedinom tehnikom pri različitim temperaturama (n = 5)

Uzorak	Hrskavost (Nmm)	Čvrstoća (N)	Tvrdoća (N)
S120	62,66 ± 4,02 c †	7,33 ± 0,99 a	5,83 ± 1,10 a †
S160	46,64 ± 4,25 B	7,79 ± 2,25 A	8,52 ± 1,81 A
P120	17,85 ± 2,79 a †	6,25 ± 2,39 a	6,25 ± 0,70 a
P160	42,11 ± 7,98 A	8,82 ± 1,15 A	8,82 ± 1,16 A
FVZ120	37,44 ± 4,22 b	13,44 ± 2,25 b	12,61 ± 3,05 b
FVZ160	35,69 ± 3,56 A	13,38 ± 2,19 B	13,64 ± 3,50 B
VS120	43,61 ± 2,79 b	5,74 ± 1,84 a	5,74 ± 1,84 a
VS160	40,83 ± 1,35 A	5,83 ± 1,15 A	5,83 ± 1,15 A

Prosječne vrijednosti označene različitim malim tiskanim slovima opisuju uzorke završno obrađene na 120 °C koji se statistički značajno razlikuju ($P < 0,05$); Prosječne vrijednosti označene različitim velikim tiskanim slovima opisuju uzorke završno obrađene na 160 °C koji se statistički značajno razlikuju ($P < 0,05$); † - uzorci unutar iste tehnike između kojih postoji statistički značajna razlika ($P < 0,05$) nakon završne obrade.

Najveća postignuta hrskavost bila je u uzorku S120. Promatranjem rezultata hrskavosti među tehnikama pri 120 °C uočena je statistički značajna razlika. Hrskavost uzorka S120 značajno se razlikovala od ostalih vrijednosti pri 120 °C te je najznačajnija razlika uočena kod P120 gdje je hrskavost bila manja za čak 44,84 Nmm. Uzorci FVZ120 i VS120 svrstani su u istu statističku grupu te su glede hrskavosti imali vrijednost za 19,59 i 25,76 Nmm višu od uzorka P120.

Korištenjem više temperature završne obrade u sušioniku značajno je povećana hrskavost uzoraka i to za 16,02 Nmm, a isto je uočeno s uzorcima obrađivanim u pećnici gdje je povećanjem temperature postignuto povećanje hrskavosti za 24,26 Nmm. Nadalje, u odnosu na ostale tehnike pri 160 °C, u uzorku S160 postignuta je značajno veća hrskavost u rasponu od 4,53 - 10,95 Nmm. Završnom obradom u vakuum sušioniku i fritezi na vrući pri obje temperature postignuta je poprilično visoka hrskavost. Iako razlika nije bila značajna, u uzorku FVZ120 postignuta je hrskavost manja za 6,17 Nmm u odnosu na uzorak VS120. Isti trend primijećen je povećanjem temperature, gdje je uzorak FVZ160 imao hrskavost manju za 5,14 Nmm od uzorka VS160. S druge strane, u radu Radoš i sur. (2023) uzorci završno obrađeni u vakuum sušioniku pokazali su najnižu hrskavost u usporedbi s ostalim uzorcima koji su bili obrađeni u fritezi na vrući zrak i pećnici, što može biti povezano s oblikom uzorka, budući da su u navedenom radu korišteni oblici kockice s ispunom. Također, prema radu Monteiro i sur. (2020) utvrđena je poveznica visoko porozne strukture i hrskavosti *snack*-proizvoda na bazi batata. Na poroznost strukture utjecala je tehnika završne obrade u mikrovalnom vakuum sušioniku.

Prema Radoš i sur. (2023), čvrstoća uzoraka ovisila je o interakciji ispune oblika i tehnike završne obrade, a isto se pokazalo i na tvrdoći uzoraka prema radu Feng i sur. (2020). Čvrstoća se povećavala s većim udjelom popunjenosti te je bila izraženija u uzorcima obrađivanim u fritezi na vrući zrak i pećnici. U skladu s navedenim, čvrstoća uzoraka obrađivanih u fritezi na vrući zrak u ovom radu bila je značajno veća pri obje temperature u odnosu na uzorke obrađivane ostalim tehnikama. Pri 120 °C postignuta je za 6,11 - 7,7 N veća čvrstoća u uzorku FVZ120 u odnosu na ostale uzorke. Čvrstoća uzorka FVZ160 bila je veća od ostalih uzoraka za 4,56 - 7,55 N. Minimalne razlike u čvrstoći postignute su povećanjem temperature završne obrade. Najmanja čvrstoća postignuta je primjenom vakuum sušionika pri 120 °C. Usporedbom rezultata hrskavosti i čvrstoće uočeno je u uzorcima s većom hrskavosti izmjerena manja čvrstoća i obrnuto.

Mjerenjem tvrdoće uzoraka postignut je sličan trend kao kod čvrstoće. Najveća tvrdoća postignuta je u uzorcima obrađivanim u fritezi na vrući zrak te unutar tehnike nije primijećena značajna razlika povećanjem temperature završne obrade. S druge strane, uočena je značajna razlika s ostalim tehnikama završne obrade pri obje temperature. Pri 120 °C u uzorku FVZ120 postignuta je veća tvrdoća za 6,26 - 6,87 N u odnosu na ostale uzorke, dok je tvrdoća uzorka FVZ160 bila veća za 4,82 - 7,81 N. Povećanjem temperature značajno povećanje tvrdoće postignuto je jedino primjenom tehnike završne obrade u sušioniku. Tako je uzorak S160 imao veću tvrdoću za 2,69 N od S120. Najmanja tvrdoća postignuta je primjenom vakuum sušionika pri 120 °C. Kao kod čvrstoće, u uzorcima s većom hrskavosti izmjerena je manja tvrdoća i obrnuto.

Dobiveni rezultati ukazuju da povišenjem temperature završne obrade unutar pojedine tehnike dolazi do relativnog smanjenja hrskavosti, a u slučaju čvrstoće i tvrdoće dolazi do neznatnog povećanja vrijednosti. Uzorci nisu bili dodatno ispunjeni tijestom te su zbog toga imali niže vrijednosti tvrdoće i čvrstoće, koje bi se teoretski povećale sa stupnjem ispune uzoraka. Prema radu Feng i sur. (2020), povećanje postotka ispune oblika produžuje vrijeme završne obrade te utječe na teksturalna svojstva proizvoda zbog veće površine i samim time većeg isušivanja proizvoda. Liu i sur. (2021) također potvrđuju da teksturalna svojstva ovise o unutarnjoj strukturi proizvoda te da se ista mogu modificirati korištenjem odgovarajućeg stupnja i načina ispune uzoraka. Utjecaj na teksturalna svojstva 3D ispisanih uzoraka nakon završne obrade pečenjem u radu Matas i sur. (2022) imala je visina uzoraka, iako taj utjecaj nije bio statistički značajan. Tako su najveću tvrdoću imali najviši uzorci te je smanjenjem visine slojeva ispisanih uzoraka došlo i do smanjenja tvrdoće.

4.5. UTJECAJ TEHNIKE I TEMPERATURE NA BOJU

Na boju krajnjeg proizvoda na bazi žitarica utječu, osim završne toplinske obrade, različiti sastojci u tijestu (Martinez i sur., 2021). Boja površine smatra se indikatorom stupnja pečenja te igra važnu ulogu u prihvaćanju proizvoda od strane potrošača. Preferirana boja površine proizvoda nakon pečenja je zlatno-smeđa (Awolu i sur., 2018). Za mjerenje parametara boje u uzorcima korišten je CIELab trodimenzijskii spektar boja, a rezultati mjerenja prikazani su u tablici 7.

Tablica 7. Prosječne vrijednosti bezdimenzijskih parametara boje uzoraka (L^* , a^* i b^*) nakon završne obrade pojedinom tehnikom pri različitim temperaturama ($n = 5$)

Uzorak	L^*	a^*	b^*
S120	42,51 ± 0,12 a †	5,75 ± 0,08 c †	22,67 ± 0,08 a †
S160	37,9 ± 0,45 C	8,83 ± 0,28 C	27,96 ± 0,85 D
P120	54,93 ± 0,04 d †	4,57 ± 0,01 a †	25,10 ± 0,00 d †
P160	34,06 ± 0,05 A	8,52 ± 0,00 B	25,81 ± 0,03 B
FVZ120	44,05 ± 0,06 b †	5,84 ± 0,01 d †	24,71 ± 0,03 c †
FVZ160	34,78 ± 0,04 B	8,86 ± 0,00 C	24,49 ± 0,06 A
VS120	46,08 ± 0,06 c †	5,05 ± 0,01 b †	22,96 ± 0,02 b †
VS160	39,60 ± 0,09 D	7,45 ± 0,01 A	26,66 ± 0,04 C

Prosječne vrijednosti označene različitim malim tiskanim slovima opisuju uzorke završno obrađene na 120 °C koji se statistički značajno razlikuju ($P < 0,05$); Prosječne vrijednosti označene različitim velikim tiskanim slovima opisuju uzorke završno obrađene na 160 °C koji se statistički značajno razlikuju ($P < 0,05$); † - uzorci unutar iste tehnike između kojih postoji statistički značajna razlika ($P < 0,05$) nakon završne obrade.

Vrijednosti parametra L^* ukazuju na svjetlinu uzoraka. Povišenjem temperature završne obrade uzrokovano je očekivano veće tamnjenje uzoraka, odnosno niže vrijednosti parametra L^* . Uočena je statistički značajna razlika u vrijednostima parametra L^* kod više temperature unutar pojedine tehnike završne obrade. Najsvjetlija boja postignuta je u uzorku P120 te je vrijednost parametra L^* u odnosu na najtamniji uzorak S120 pri istoj temperaturi bila za 12,42 veća. Povišenjem temperature obrade u pećnici na 160 °C postignuta je najveća razlika u smanjenju svjetline te je uzorak P160 imao za 20,87 manju vrijednosti parametra L^* u odnosu na uzorak P120.

Povećanje parametra a^* ukazuje na veću obojenost uzoraka u crvenom dijelu spektra, a parametra b^* u žutom. Pregledom rezultata mjerenja vrijednosti parametra a^* u uzorcima obrađivanim pri 120 °C uočena je statistički značajna razlika. Obradom u pećnici pri 120 °C postignut je najmanji razvoj boje u crvenom dijelu spektra. Vrijednost parametra a^* u uzorku P120 značajno je manja od ostalih uzoraka pri istoj temperaturi te se vrijednost povećavala sljedećim redom: VS120 za 0,48, S120 za 1,18 te FVZ120 za 1,27. Povišenjem temperature završne obrade uočeno je značajno povećanje vrijednosti parametra a^* unutar svih primijenjenih tehnika. Među uzorcima obrađivanim pri 160 °C jedino se uzorci FVZ160 i S160 nisu značajno razlikovali te je vrijednost parametra a^* u uzorku FVZ160 bila zanemarivo veća

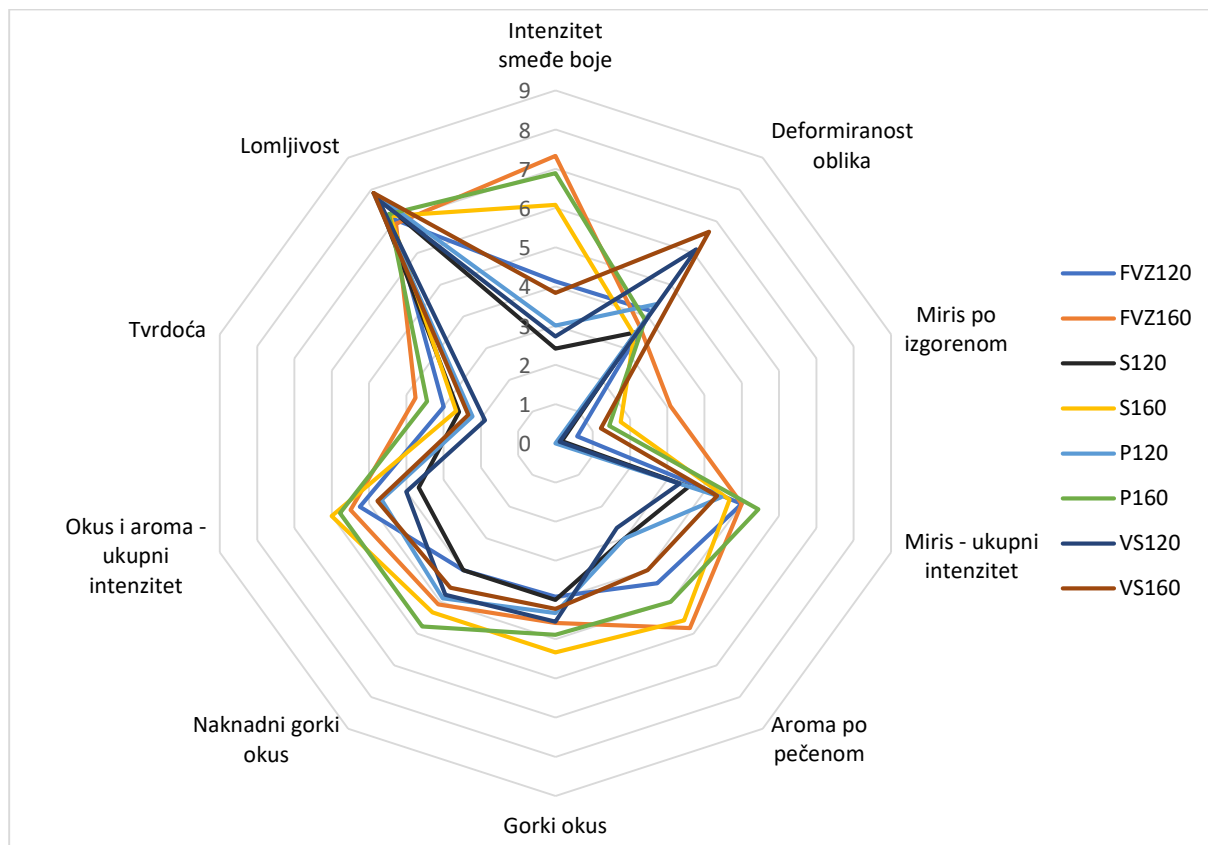
(0,03). Najmanja vrijednost parametra a^* pri 160 °C izmjerena je u uzorku VS160 te je u odnosu na S160 i FVZ160 bila manja za 1,38 - 1,41.

Pregledom rezultata mjerenja parametra b^* u uzorcima uočen je značajan utjecaj tehnike i temperature. Primjenom završne obrade u sušioniku pri 120 °C postignuta je najniža vrijednost parametra b^* . Uočena je statistički značajna razlika u vrijednostima ovisno o primijenjenoj tehnici završne obrade pri 120 °C. Vrijednost parametra b^* povećavala se u odnosu na S120 redom: VS120 za 0,29, FVZ120 za 2,04 te P120 za 2,43. Primjenom više temperature završne obrade uočeno je povećanje vrijednosti parametra b^* , osim u slučaju primjene friteze na vrući zrak. Povećanjem temperature vrijednost parametra b^* u uzorku FVZ160 smanjila se za 0,22 u odnosu na uzorak FVZ120. U ostalim uzorcima vrijednosti parametra b^* povećavale su se povećanjem temperature unutar pojedine tehnike sljedećim redoslijedom : P160 za 0,71, VS160 za 3,7 te S160 za 5,29.

Povišenjem temperature unutar pojedine tehnike također postignuto je povećanje vrijednosti parametara a^* i b^* , što je i očekivano jer povišenjem temperature dolazi do većeg razvoja boje te potencijalnog posmeđivanja uzrokovanog zagaranjem proizvoda. Kirthana i sur. (2020) utvrdili su da liofilizirani 3D ispisani uzorci s dodatkom praha gljive imaju više vrijednosti parametra L^* i manje razvijenu boju tj. niže vrijednosti parametara a^* i b^* . Završnom obradom uzoraka u mikrovalnoj pećnici, svjetlina uzoraka značajno se smanjila te je došlo i do značajnijeg razvoja boje uzoraka. Iz navedenog se može zaključiti da svjetlina i boja uzoraka značajno ovisi o izboru tehnike završne obrade. Također, povišenjem temperature završne obrade pridonosi se stupnju reakcija neenzimskog posmeđivanja (Mailliardove reakcije i karamelizacija) koje mogu dovesti do razvoja nepoželjne smeđe boje i neugodnog gorkog okusa proizvoda.

4.6. SENZORSKA ANALIZA

Rezultati deskriptivne senzorske analize prikazani su na slici 11. Iz rezultata je vidljivo da različite metode sušenja i primijenjena temperatura značajno utječu na senzorske karakteristike uzoraka.



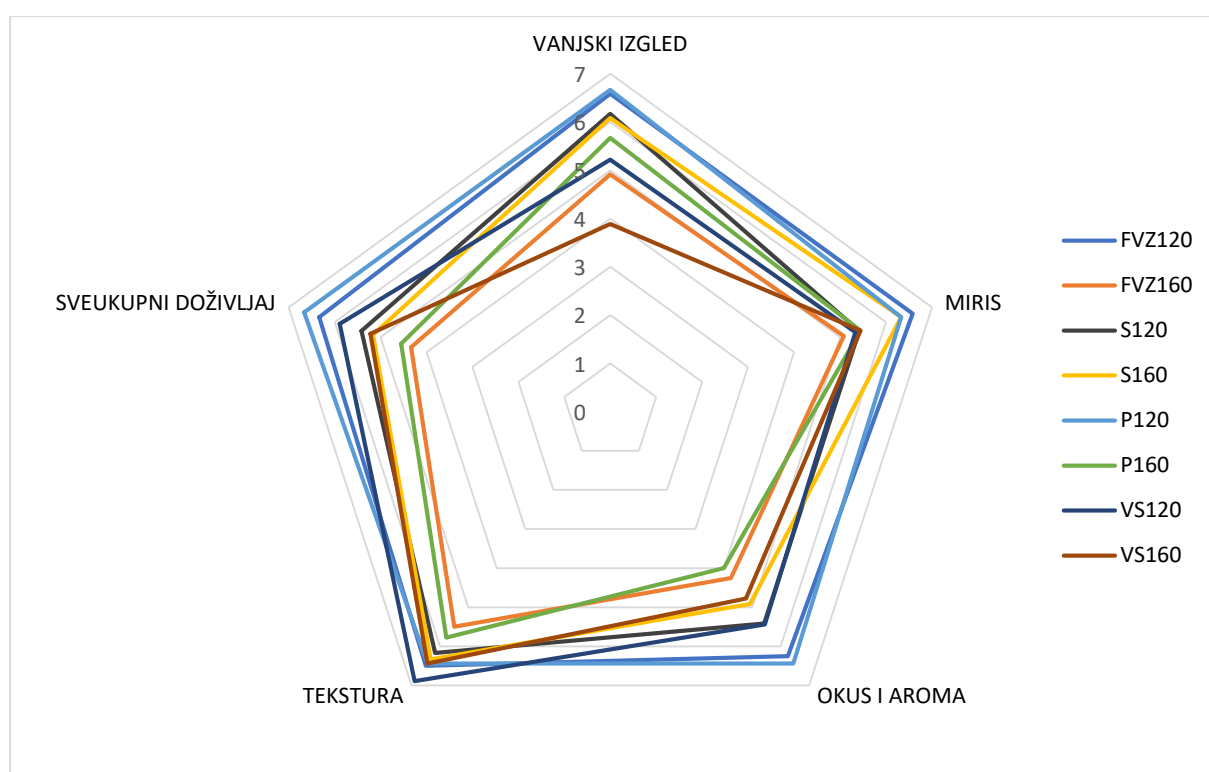
Slika 11. Rezultati deskriptivne senzorske analize uzoraka obrađivanih različitim tehnikama završne obrade pri temperaturama od 120 °C i 160 °C
S – sušionik, P – pećnica, FVZ – friteza na vrući zrak, VS – vakuum sušionik

Najizraženiji intenzitet smeđe boje postignut je sušenjem uzoraka u fritezi na vrući zrak (VS160) i pećnici (P160) pri 160 °C, dok su najmanji intenzitet imali uzorci sušeni u sušioniku pri 120 °C (S120). Deformiranost oblika bila je najizraženija kod uzoraka sušenih u vakuum sušioniku i to 6,1 kod VS120 i 6,7 kod VS160, dok su ostali uzorci ocijenjeni su sličnim ocjenama koje opisuju srednje izraženu deformiranost oblika. Miris po izgorenom nije bio uvelike primjetan među uzorcima, no prema ocjenama je najizraženiji bio u uzorku FVZ160 (3,1). Potpuno odsustvo mirisa po izgorenom imali su uzorci S120 (0,2), P120 (0,0) i VS120 (0,1). Ukupni intenzitet mirisa ocijenjen je sličnim vrijednostima (4,3 – 5,4) za većinu uzoraka no nešto nižu vrijednost imali su uzorci VS120 (3,3) i S120 (3,6). Aroma po pečenom bila je najizraženija kod uzoraka FVZ160 (5,8) i S160 (5,6) dok su uzorci sušeni pri nižoj temperaturi pokazali blaže izražene arome. Gorki okus bio je najizraženiji kod uzoraka sušenih pri višoj temperaturi, posebice kod S160 (5,3) i P160 (4,9) te je isti obrazac primijećen i pri ocjenjivanju

naknadnog gorkog okusa i ukupnog intenziteta okusa i arome. Tvrdoća je bila najviše izražena kod uzorka FVZ160 (3,8), a najmanje kod uzorka VS120 (1,9). Promatranjem rezultata lomljivosti uočava se povezanost lomljivost s tvrdoćom pa su tako najtvrdi uzorak FVZ160 i ostali uzorci sušeni pri 160 °C bili najmanje lomljivi, dok su uzorci sušeni pri 120 °C pokazali veću lomljivost.

Deskriptivna senzorska analiza pokazuje da više temperature završne obrade općenito povećavaju intenzitet boje, mirisa, okusa i tvrdoće uzoraka, dok sušenje u vakuum sušioniku uzrokuje veću deformiranost oblika i manji intenzitet po izgorenom. Više temperature sušenja daju intenzivnije senzorske karakteristike, a niže rezultiraju blažim senzorskim karakteristikama i manje deformiranim uzorcima.

Nadalje, na slici 12 prikazani su rezultati senzorske analize uzoraka ocjenjivanjem hedonističkom skalom koji opisuju opću prihvatljivost uzoraka s obzirom na vanjski izgled, miris, okus i aromu, teksturu te ukupni doživljaj.



Slika 12. Rezultati hedonističke senzorske analize uzoraka obrađivanih različitim tehnikama završne obrade pri temperaturama od 120 °C i 160 °C
S – sušionik, P – pećnica, FVZ – friteza na vrući zrak, VS – vakuum sušionik

Najbolje ocijenjen vanjski izgled i miris imali su uzorci P120 (6,7) i FVZ120 (6,6). U obje metode je povišenjem temperature došlo do negativnih promjena te su uzorci FVZ160 i P160 glede mirisa i vanjskog izgleda ocijenjeni nešto lošijim ocjenama. Tako je u uzorku FVZ160 vanjski

izgled ocijenjen s prosječnom ocjenom 4,9, a miris s 5,1. Uzorku P160 vanjski izgled ocijenjen je s 5,7, a miris s 5,4. Uzorci S120 i S160 daju slične rezultate za vanjski izgled (redom: 6,1 i 6,2), dok su ocjene na miris nešto više kod S160 (6,3). Sušenjem u vakuum sušioniku uzorci najviše gube na kvaliteti na što upućuje najniža ocjena vanjskog izgleda uzorka VS160 (3,9), dok su za miris ocjene nešto bolje.

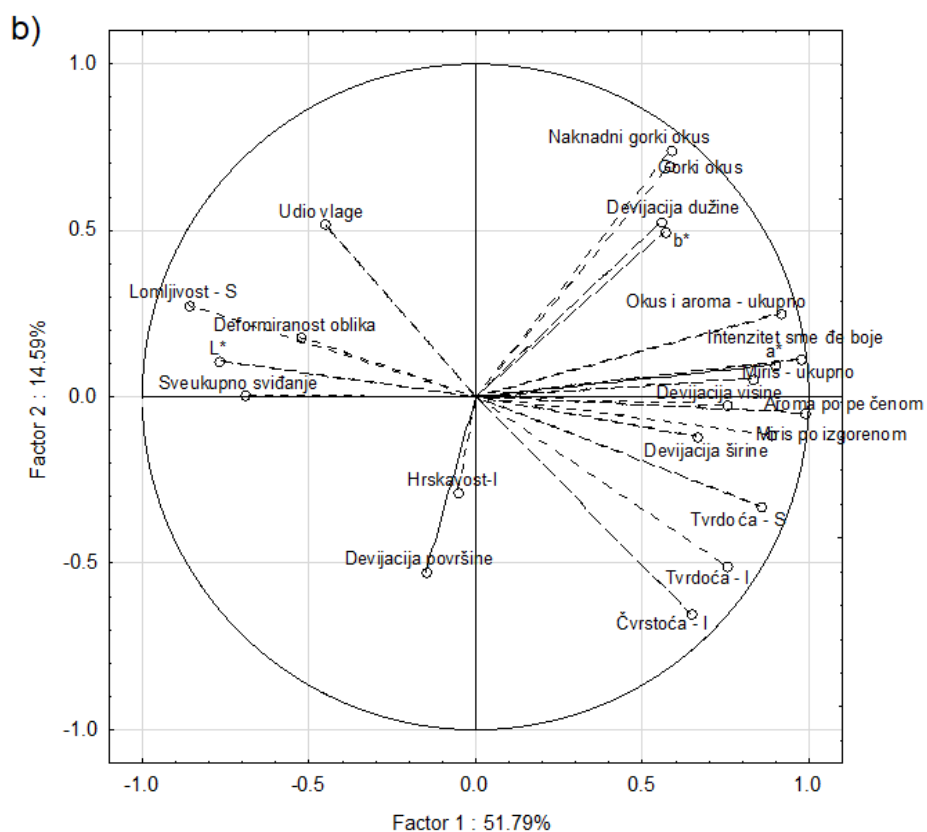
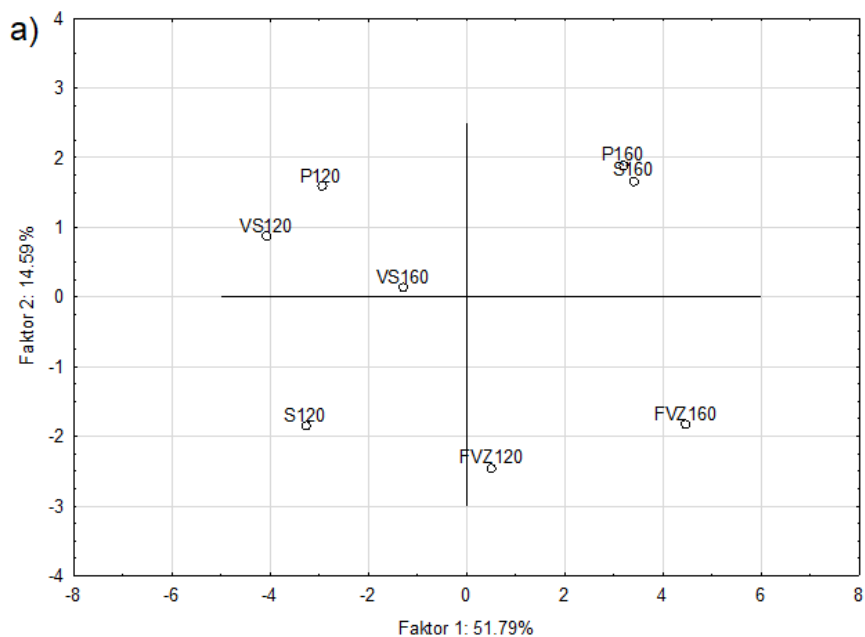
U slučaju okusa i arome, uzorak P120 ocijenjen je najvišom ocjenom (6,4) dok je uzorak P160 ocijenjen najnižom (4,0). Kod uzoraka S120 (5,4) i S160 (4,9) ocjene ukazuju na umjeren razvoj okusa i arome te su slične ocjene dodijeljene i uzorcima VS120 (5,4) i VS160 (4,8). Najbolje ocijenjena tekstura bila je u uzorcima FVZ120 (6,5) i VS120 (6,9).

Sveukupni doživljaj najbolje je ocijenjen u uzorcima P120 (6,7) i FVZ120 (6,3), dok su uzorci obrađivani istim tehnikama pri 160 °C najlošije ocijenjeni: P160 – 4,6 i FVZ160 – 4,3. Uzorci sušeni u sušioniku pri obje temperature (S120 i S160), te vakuum sušioniku pri obje temperature (VS120 i VS160) ocijenjeni su ocjenama u rasponu od 5,2 do 5,9.

Hedonistička senzorska analiza ukazuje na to da se završnom obradom pri nižim temperaturama, posebice u pećnici i fritezi na vrući zrak, postižu bolje senzorske karakteristike glede vanjskog izgleda, mirisa, okusa, arome i teksture te sveukupnog doživljaja.

4.7. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI

Analiza glavnih komponenti pokazala je da prva dva faktora objašnjavaju 66,38 % ukupne varijance među uzorcima (slika 13). Prva komponenta odvaja većinu senzorskih parametara određenih deskriptivnom senzorskom analizom, devijacije oblika (visine, širine i dužine), instrumentalno određene tvrdoće te a^* i b^* parametara boje od lomljivosti i deformiranosti oblika senzorski određenih, L^* parametra boje i sveukupnog sviđanja. Druga komponenta razdvaja hrskavost i čvrstoću uzoraka određeno instrumentalno te devijaciju površine od udjela vlage, gorkog okusa i naknadno gorkog okusa (slika 13 b). Prva komponenta razdvaja uzorke obrađene na 120 °C u odnosu na one obrađene na 160 °C, s iznimkom VS160 i FVZ120 (slika 13 a). Pozicija uzorka FVZ120 ukazuje na veće sličnosti ove tehnike završne obrade s ostalim tehnikama pri 160 °C. Suprotno tome, uzorak VS160 nalazi se bliže uzorcima VS120, P120 i S120. Ovakav položaj uzorka VS160 daje naslutiti da primjena djelomičnog vakuuma umanjuje utjecaj temperature u završnoj obradi. Uzorci pri 120 °C i uzorak VS160 pokazuju zajedničke karakteristike glede većeg udjela vlage, svjetline, lomljivosti i manje deformiranosti oblika u odnosu na uzorke obrađivane pri 160 °C, ali i sveukupno sviđanje. Analiza pokazuje da intenzitet deformiranosti oblika nužno ne utječe na prihvatljivost proizvoda, odnosno ima manji utjecaj od intenziteta mirisa i okusa.



Slika 13. Rezultat analize glavnih komponenti: a) raspodjela uzoraka b) raspodjela svojstava
 S – sušionik, P – pećnica, FVZ – friteza na vrući zrak, VS – vakuum sušionik, 120 – 120 °C, 160 – 160 °C, I – instrumentalno, S - senzorski

5. ZAKLJUČCI

1. Koeficijenti varijacije preciznosti trodimenzijskog ispisa bezglutenskog tijesta kroz osam dana bili su ispod prihvatljivih 10 %. Na poboljšanje preciznosti ispisa moglo bi se utjecati modifikacijom dimenzija oblika, parametara ispisa ili recepture.
2. Primjenom friteze na vrući zrak i vakuum sušionika postignuto je najkraće vrijeme trajanja završne obrade uzoraka, 12-20 min, ovisno o temperaturi. No, za daljnju primjenu ovih uređaja potrebno je odabrati odgovarajući 3D oblik s većom stabilnosti, budući da tijekom obrade dolazi do većih devijacija oblika, posebice devijacije površine, u odnosu na češće korištene uređaje (sušionik i pećnicu).
3. Hrskavost je bila izraženija u uzorcima obrađenima u sušioniku i vakuum sušioniku, dok su tvrdoća i čvrstoća više bile izražene obradom u fritezi na vrući zrak. U pravilu, kod više temperature završne obrade, *snack* ima manju hrskavost te veću čvrstoću i tvrdoću.
4. Obradom na višoj temperaturi postignuta je tamnija boja uzoraka te je najveća razlika u boji uočena među uzorcima obrađenim u pećnici na različitim temperatura. Boja uzoraka u crvenom dijelu spektra izraženija je u uzorcima obrađenim u fritezi na vrući zrak, dok je boja u žutom dijelu spektra izraženija u sušioniku. Bolji razvoj boje u crvenom u i žutom spektru postiže se višom temperature završne obrade.
5. Deskriptivna senzorska analiza pokazala je da više temperature završne obrade općenito rezultiraju intenzivnijim senzorskim karakteristikama, a niže temperature blažim intenzitetima senzorskih karakteristika i manje deformiranim uzorcima. Hedonistička senzorska analiza ukazala je na to da se završnom obradom pri nižim temperaturama, posebice u pećnici i fritezi na vrući zrak, postižu bolja prihvatljivost glede vanjskog izgleda, mirisa, okusa, arome i teksture te sveukupnog doživljaja proizvoda.
6. Analizom glavnih komponenti utvrđena je veća sličnost u kvaliteti *snack*-a obrađenog u fritezi na vrući zrak pri 120 °C s uzorcima završno obrađenim ostalim tehnikama pri 160 °C. Suprotno tome, *snack* obrađen u vakuum sušioniku pri 160 °C pokazuje veće sličnosti s uzorcima obrađivanim pri 120 °C.

6. LITERATURA

- Agarwal D, Wallace A, Kim HJE, Wadamori Y, Feng L, Hedderley D, Morgenstern MP (2022) Rheological, structural and textural characteristics of 3D-printed and conventionally-produced gluten-free snack made with chickpea and lupin flour. *Future Foods* **5**, 100134. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100134>
- Awolu OO, Sudha LM, Manohar B (2018) Influence of defatted mango kernel seed flour addition on the rheological characteristics and cookie making quality of wheat flour. *Food Sci. Nutr.* **6(8)**, 2363–2373. <https://doi.org/10.1002%2Ffsn3.825>
- Baiano A (2020) 3D Printed Foods : A Comprehensive Review on Technologies, Nutritional Value, Safety, Consumer Attitude, Regulatory Framework, and Economic and Sustainability Issues. *Food Reviews International* **38(5)**, 986-1016. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2020.1762091>
- Burke-Shyne S, Gallegos D, Williams T (2020) 3D food printing: Nutrition opportunities and challenges. *British Food Journal* **123(2)**, 649–663. <http://dx.doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0441>
- Cheng Y, Fu Y, Ma L, Yap PL, Losic D, Wang H i sur. (2022). Rheology of edible food inks from 2D/3D/4D printing, and its role in future 5D/6D printing. *Food Hydrocolloids* **132(6)**, 107855. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107855>
- Chieh PC (2014) Water. U : Zhou W, Hui YH, De Leyn I, Pagani MA, Rosell CM, Selman JD, Therdthai N (ured.) Bakery Products Science and Technology, 2.izd., John Wiley & Sons, Ltd., str. 130- 152. <https://doi.org/10.1002/9781118792001.ch7>
- Čukelj-Mustač N, Pastor K, Kojić J, Voučko B, Ćurić D, Rocha JM i sur. (2023) Quality assessment of 3D-printed cereal-based products. *LWT – Food Science and Technology* **184**, 115065. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115065>
- Dankar I, Haddarah A, Sepulcre F, Pujola M (2018) 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration. *Trends in Food Science and Technology* **75**, 231-242. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.018>
- Dapčević Hadnađev T, Torbica AM, Hadnađev M (2013) Influence of Buckwheat Flour and Carboxymethyl Cellulose on Rheological Behaviour and Baking Performance of Gluten-Free Cookie Dough. *Food and Bioprocess Technology* **6(7)**, 1770-1781. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0841-6>
- Demei K, Zhang M, Phuhongsung P, Mujumdar AS (2022) 3D food printing: Controlling characteristics and improving technological effect during food processing. *Food Research International* **156**, 111120. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111120>
- Derossi A, Caporizzi R, Azzollini D, Severini C (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering* **220**, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
- Derossi A, Paolillo M, Caporizzi R, Severini C (2020) Extending the 3D food printing tests at high speed. Material deposition and effect of non-printing movements on the final quality of printed structures. *Journal of Food Engineering* **275**, 109865. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109865>
- Derossi A, Caporizzi R, Paolillo M, Severini C (2021) Programmable texture properties of cereal-based snack mediated by 3D printing technology. *J. Food Eng.* **289**, 110160. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110160>

- Devi S, Zhang M, Mujumdar AS (2021) Influence of ultrasound and microwave-assisted vacuum frying on quality parameters of fried product and the stability of frying oil. *Drying Technology* **39(5)**, 655–668. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2019.1702995>
- Di Cairano M, Galgano F, Tolve R, Caruso MC, Condelli N (2018) Focus on gluten free biscuits: Ingredients and issues. *Trends in Food Science & Technology* **81**, 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.006>
- Feng C, Zhang M, Bhandari B, Ye Y (2020) Use of potato processing by-product: Effects on the 3D printing characteristics of the yam and the texture of air-fried yam snacks. *LWT – Food Science and Technology* **125(1)**, 109265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109265>
- Galdeano L (2015) 3D printing food: The sustainable future. (Mater Thesis) Institute of Environmental Engineering, Kaunas University of Technology, Litva.
- German JB, Watzke HJ (2004) Personalizing Foods for Health and Delight. *Comprehensive reviews in food science and food safety* **3(4)**, 145–151. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2004.tb00065.x>
- Godoi FC, Prakash S, Bhandari BR (2016) 3D Printing Technologies Applied for Food Design: Status and Prospects. *J. Food Eng.* **179**, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>
- Hamilton CA, Alici G, Panhuis M (2018). 3D printing Vegemite and Marmite: Redefining “breadboards.” *Journal of Food Engineering* **220**, 83-88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.008>
- Huang KL, Liu TY, Huang YC, Leong CP, Lin WC, Pong YP (2014) Functional outcome in acute stroke patients with oropharyngeal Dysphagia after swallowing therapy. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* **23(10)**, 2547–2553. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2014.05.031>
- Hussain S, Malakar S, Arora VK (2021) Extrusion-Based 3D Food Printing: Technological Approaches, Material Characteristics, Printing Stability, and Post-processing. *Food Engineering Reviews* **14(1)**, 100-119. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09293-w>
- Ibraheem NA, Hasan MM, Khan RZ, Mishra PK (2012) Understanding Color Models: A Review. *ARPN Journal of Science and Technology* **2(3)**, 265-275.
- ISO11035:1994 Sensory analysis – Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach
- Jnawali P, Kumar V, Tanwar B (2016) Celiac disease: Overview and considerations for development of gluten-free foods. *Food Science and Human Wellness* **5(4)**, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.09.003>
- Keerthana K, Anukiruthika T, Moses JA, Anandharamakrishnan C (2020) Development of fiber-enriched 3D printed snacks from alternative foods: A study on button mushroom. *Journal of Food Engineering* **287**, 110116. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110116>
- Kim HW, Lee IJ, Park SM, Lee JH, Nguyen MH, Park HJ (2018a) Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *LWT-Food Sci. Technol.* **101**, 69–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.019>
- Kim HW, Lee JH, Park SM, Lee MH, Lee IW, Doh HS i sur. (2018b) Effect of Hydrocolloids on Rheological Properties and Printability of Vegetable Inks for 3D Food Printing. *J. Food Sci.* **83(12)**, 2923–2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14391>

- Le Tohic C, O'Sullivan J, Drapala KP, Chartrin V, Chan T, Morrison A i sur. (2018) Effect of 3D printing on the structure and textural properties of processed cheese. *J. Food Eng.* **220**, 56–64. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.02.003>
- Leonard MM, Sapone A, Catassi C, Fasano A (2017) Celiac disease and nonceliac gluten sensitivity: A review. *JAMA* **318** (7), 647–656. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.9730>
- Lille M, Nurmela A, Nordlund E, Metsä-Kortelainen S, Sozer N (2017). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering* **200**, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
- Liu C, Ho C, Wang JC (2018a) The development of 3D food printer for printing fibrous meat materials. U: IOP Conference Series: Materials, Science and Engineering. *IOP Publishing* **284(1)**, 012019. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/284/1/012019>
- Liu Z, Zhang M, Bhandari B, Yang C (2018b) Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing. *J. Food. Eng.* **220**, 76–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.017>
- Liu Z, Zhang M, Bhandari B, Wang Y (2017) 3D Printing: Printing Precision and Application in Food Sector. *Trends Food Sci. Technol.* **69(A)**, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.018>
- Liu Z, Bhandari B, Prakash S, Mantihal S, Zhang M (2019) Linking rheology and printability of a multicomponent gel system of carrageenan-xanthan-starch in extrusion based additive manufacturing. *Food Hydrocolloids* **87**, 413–424. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.026>
- Liu Z, Zhang M (2021) Texture properties of microwave post-processed 3D printed potato snack with different ingredients and infill structure. *Future Foods* **3**, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100017>
- Ma R, Gao T, Song L, Zhang L, Jiang Y, Li J i sur. (2016). Effects of oil-water mixed frying and pure-oil frying on the quality characteristics of soybean oil and chicken chop. *Food Science and Technology* **36(2)**, 329–336. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0092>
- Manley D (2011) Classification of biscuits. U: Manley D (ured.) Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies, 4. izd., Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Amsterdam, Nizozemska, str. 271-178.
- Mantihal S, Rovina K, Boon-Beng L (2020) 3D food printing as new way of preparing food: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science* **22(6)**, 100260. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100260>
- Martínez E, García-Martínez R, Álvarez-Ortí M, Rabadán A, Pardo-Giménez A, Pardo JE (2021) Elaboration of Gluten-Free Cookies with Defatted Seed Flours: Effects on Technological, Nutritional, and Consumer Aspects. *Foods* **10(6)**, 1213. <https://doi.org/10.3390/foods10061213>
- Matas A, Igual M, García-Segovia P, Martínez-Monzó J (2022) Application of 3D Printing in the Design of Functional Gluten-Free Dough. *Foods* **11(11)**, 1555. <https://doi.org/10.3390/foods11111555>
- Mondal A, Datta AK (2008) Bread baking – a review. *Journal of Food Engineering* **86(4)**, 465–474. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014>
- Monteiro RL, de Moraes JO, Domingos JD, Carciofi Mattar BA, Laurindo JB (2020) Evolution of the physicochemical properties of oil-free sweet potato chips during microwave vacuum drying. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **63**, 102317. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102317>

- Oliveira LC, Schmiele M, Steel CJ (2017) Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. *LWT – Food Science and Technology* **75**, 261–270. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.064>
- Pitayachaval P, Sanklong N, Thongrak A (2018) A Review of 3D Food Printing Technology. U: MATEC Web Conf. **213**, 01012. <http://dx.doi.org/10.1051/mateccconf/201821301012>
- Pravilnik (2022) Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica. Narodne novine 101, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_09_101_1495.html Pristupljeno 20. kolovoza 2024.
- Pravilnik (2010) Pravilnik o hrani bez glutena. Narodne novine 83, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_83_2374.html Pristupljeno 20. kolovoza 2024.
- Purlis E (2010) Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering* **99(3)**, 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008>
- Radoš K, Pastor K, Kojić J, Drakula S, Dujmić F, Novotni D i sur. (2023) Influence of Infill Level and Post-Processing on Physical Parameters and Betaine Content of Enriched 3D-Printed Sweet Snacks. *Foods* **12(24)**, 4417. <https://doi.org/10.3390/foods12244417>
- Riaz MN (2016) Snack Foods: Processing. U: Wrigley C, Corke H, Seetharaman K, Faubion J (ured.) *Encyclopedia of Food Grains*, 2.izd., Academic Press, Oxford, str. 414–422.
- Rosell CM, Matos ME (2015) Market and nutrition issues of gluten-free foodstuff. U: Arranz E, Fernández-Bañares F, Rosell CM, Rodrigo L, Peña AS (ured.) *Advances in the Understanding of Gluten related Pathology and the Evolution of Gluten-Free Foods*, 1.izd. OmniaScience Monographs, Barcelona, Španjolska, str. 675–713. <https://doi.org/10.3926/oms.248>
- Scherf KA, Poms RE (2016) Recent developments in analytical methods for tracing gluten. *J. Cereal Sci.* **67**, 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.08.006>
- Severini C, Azzollini D, Albenzio M, Derossi A (2018) On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International* **106**, 666–676. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.034>
- Severini C, Derossi A, Azzollini D (2016) Variables affecting the printability of foods: Preliminary tests on cereal-based products. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **38(A)**, 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.001>
- Sher D, Tutó X (2015). Review of 3D Food Printing. *Temes de Disseny* **31**, 104–117.
- Sun J, Zhou W, Yan L, Huang D, Lin LY (2018) Extrusion based food printing for digitalized food design and nutrition control. *J. Food Eng.* **220**, 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.028>
- Sun J, Zhou W, Huang D, Fuh JYH, Hong GS (2015) An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication. *Food Bioprocessing Technology* **8(8)**, 1605–1615. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1528-6>
- Sungsinchai S, Niamnuy C, Wattanapan P, Charoenchaitrakool M, Devahastin S (2019) Texture Modification Technologies and Their Opportunities for the Production of Dysphagia Foods: A Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **18(6)**, 1898–1912. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12495>
- Tejada-Ortigoza V, Cuan-Urquiza E (2022) Towards the Development of 3D-Printed Food: A Rheological and Mechanical Approach. *Foods* **11(9)**, 1191. <https://doi.org/10.3390/foods11091191>
- Tran JL (2016). 3D-Printed Food. *Minnesota Journal of Law, Science & Technology* **17(2)**, 854–880. <http://dx.doi.org/10.31228/osf.io/qsfvh>

Udomkun P, Tangsanthatkun J, Innawong B (2020) Influence of process parameters on the physico-chemical and microstructural properties of rice crackers: A case study of novel spray-frying technique. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **59**, 102271. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102271>

Vieira MV, Oliveira SM, Amado IR, Fasolin LH, Vicente AA, Pastrana LM i sur. (2020) 3D printed functional cookies fortified with *Arthrospira platensis*: Evaluation of its antioxidant potential and physical-chemical characterization. *Food Hydrocolloids* **107**, 105893. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105893>

Vukušić Pavičić T, Grgić T, Ivanov M, Novotni D, Herceg Z (2021) Influence of Flour and Fat Type on Dough Rheology and Technological Characteristics of 3D-Printed Cookies. *Foods* **10(1)**, 193. <https://doi.org/10.3390/foods10010193>

Woomer JS, Adedeji AA (2020): Current applications of gluten-free grains – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **61(1)**, 14-24. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1713724>

Xu J, Zhang Y , Wang W, Li Y (2020) Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science and Technology* **103**, 200-213. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.017>

Yang D, Wu G, Lu Y, Li P, Qi X, Zhang H i sur. (2021). Comparative analysis of the effects of novel electric field frying and conventional frying on the quality of frying oil and oil absorption of fried shrimps. *Food Control* **128(1)**, 108195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108195>

Zaghi AN, Barbalho SM, Guiguer EL, Otoboni AM (2019) Frying process: From conventional to air frying technology. *Food Reviews International* **35(8)**, 763–777. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2019.1600541>

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, Karla Obad, izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Vlastoručni potpis