

Utjecaj dodatka začina, prehrambenih aroma i hidrokoloida na senzorska svojstva bezglutenskih 3D snack proizvoda s niskim udjelom FODMAP-a

Topić, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2025

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:159:386480>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-10**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, prosinac 2024.

Marija Topić

**UTJECAJ DODATKA ZAČINA,
PREHRAMBENIH AROMA I
HIDROKOLOIDA NA SENZORSKA
SVOJSTVA BEZGLUTENSKIH 3D SNACK
PROIZVODA S NISKIM UDJELOM
FODMAP-A**

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. Nikoline 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.

*Zahvaljujem svojoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Nikolini Čukelj Mustač na pruženoj prilici, pomoći, strpljenju, savjetima i prenesenom znanju tijekom pisanja ovog rada.
Hvala i mag. ing. Kristini Radoš na pomoći tijekom izvođenja eksperimentalnog dijela.
Posebnu zahvalu upućujem svojim roditeljima na bezuvjetnoj ljubavi i podršci koja me pratila kroz cijeli život, a posebno tijekom dana studiranja.
Veliko hvala i mojim curama koje su mi bile oslonac u izazovnim trenucima studija i koje su mi postale prijateljice za cijeli život.
Hvala Bogu čiji me blagoslov pratio kroz cijelo moje studiranje.*

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 DODATKA ZAČINA, PREHRAMBENIH AROMA I HIDROKOLOIDA NA SENZORSKA
SVOJSTVA BEZGLUTENSKIH 3D SNACK PROIZVODA S NISKIM UDJELOM FODMAP-A

Marija Topić, univ. bacc. ing. techn. aliment 0058216282

Sažetak: Jedan od završnih koraka proizvodnje *snack* proizvoda je nanošenje aroma i začina, što kod trodimenzionalnih (3D) *snack* proizvoda može predstavljati problem zbog krhkosti strukture. Stoga je cilj ovog rada bio ispitati utjecaj dodatka začina, prehrambenih aroma i hidrokoloida na senzorska svojstva 3D *snack*-ova. Bezglutenski 3D *snack*-ovi s niskim udjelom fermentabilnih oligosaharida, disaharida, monosaharida i poliola (FODMAP-a) začinjani su dodatkom luka u prahu i arome luka u tijesto ili arome luka tehnikom špricanja. Određena su im senzorska svojstva i sadržaj fruktana. Dodatno, ispitan je utjecaj hidrokoloida (psilijuma i natrijevog alginata) na senzorska svojstva i hlapive spojeve te je među studentima provedena anketa o stavovima o 3D hrani. Najpoželjniji *snack* bio je s aromom luka dodanom u tijesto ($6,7 \pm 0,95$) i bez hidrokoloida ($7,6 \pm 1,2$). 3D *snack* je imao veću prihvatljivost ($5,3 \pm 1,28$) od konvencionalnog ($2,0 \pm 1,48$) Anketa je otkrila da su studenti zainteresirani za 3D *snack*, ali potrebna je bolja informiranost o prednostima 3D ispisa hrane.

Ključne riječi: 3D ispis, *snack*, FODMAP, hidrokoloidi, arome, stavovi potrošača

Rad sadrži: 54 stranice, 28 slika, 2 tablice, 84 literaturnih navoda, 1 prilog

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. doc. dr. sc. Bojana Voučko
2. izv. prof. dr. sc. Nikolina Čukelj Mustač
3. izv. prof. dr. sc. Tomislava Vukušić Pavičić
4. izv. prof. dr. sc. Maja Repajić

Datum obrane: 17. prosinca 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 INFLUENCE OF THE ADDITION OF SPICES, FOOD AROMA, AND HYDROCOLLOIDS ON THE SENSORY PROPERTIES OF GLUTEN-FREE 3D SNACK PRODUCTS WITH LOW FODMAP CONTENT

Marija Topić, univ. bacc. ing. techn. aliment 0058216282

Abstract: One of the final steps in the production of snacks is the application of flavourings and seasonings, which can be a problem with three-dimensional (3D) snacks due to their fragile structure. Therefore, the aim of this study was to investigate the effects of adding spices, food flavourings and hydrocolloids on the sensory properties of 3D snacks. Gluten-free 3D snacks with a low content of fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides and polyols (FODMAP) were flavoured with onion powder and onion flavouring in the dough and with onion flavouring applied by spraying. Their sensory properties were determined. Additionally, the effect of hydrocolloids (psyllium and sodium alginate) on the sensory properties and volatile compounds was investigated and a survey was conducted among students on 3D foods. Snacks with onion flavouring in the dough (6.7 ± 0.95) and without hydrocolloids (7.6 ± 1.2) were most preferred. The 3D snack showed higher acceptance (5.3 ± 1.28) than the conventional snack (2.0 ± 1.48). The survey revealed that students are interested in 3D snacks, but a better awareness of the benefits of 3D food printing is needed.

Keywords: 3D printing, snack, FODMAP, hydrocolloids, aroma, consumer attitudes

Thesis contains: 54 pages, 28 figures, 2 tables, 84 references, 1 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, Assistant professor

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

Reviewers:

1. Bojana Voučko, PhD, Assistant professor (president)
2. Nikolina Čukelj Mustač, PhD, Associate professor (mentor)
3. Tomislava Vukušić Pavičić, PhD, Associate professor (member)
4. Maja Repajić, PhD, Associate professor (substitute)

Thesis defended: December 17th, 2024

4.3.	SADRŽAJ FRUKTANA U UZORCIMA.....	28
4.4.	UTJECAJ DODATKA HIDROKOLOIDA PSILIJUMA I NATRIJEVA ALGINATA NA SENZORSKA SVOJSTVA 3D SNACK-A	29
4.5.	REZULTATI GC- MS ANALIZE HLAPIVIH SPOJEVA	32
4.6.	REZULTATI SENZORSKE ANALIZE 3D I KONVENCIONALNOG SNACK-A I ANKETE O STAVOVIMA PREMA 3D HRANI	34
5.	ZAKLJUČCI.....	45
7.	LITERATURA	46
	PRILOZI.....	1
	Prilog 1 ANKETA.....	1

1. UVOD

Iako je sve do nedavno proizvodnja bezglutenskih proizvoda predstavljala izazov za prehrambenu industriju, u posljednje vrijeme ostvaren je značajan napredak u ovom području. Ipak, mnogi bezglutenski proizvodi na tržištu često su okarakterizirani slabijom tehnološkom kvalitetom, siromašnijom nutritivnom vrijednosti i lošijim okusom zbog čega se kontinuirano traga za alternativnim sastojcima koji mogu zamijeniti ulogu glutena kao esencijalnog proteina za izgradnju strukture i njegovu mogućnost vezanja plinova te stvaranja rastezljivog i elastičnog tijesta. Tako su istraživanja u kojima su korištene recepture koje uključuju primjenu različitih vrsta brašna, proteina i hidrokoloida, dala značajan doprinos razvitku proizvoda bez glutena. Također, traže se nova rješenja kroz tehnologije koje će uspješno zamijeniti nedostatak glutena. Bezglutenski proizvodi od velike su važnosti za prehranu osoba oboljelih od bolesti uzrokovanih osjetljivošću na gluten jer im je jedino rješenje stroga i doživotna prehrana bez glutena. S obzirom na sve veći broj dijagnosticiranih pacijenata s celijakijom i necelijakijom osjetljivošću na gluten, potražnja za kvalitetnom i nutritivnom bezglutenskom hranom također je u porastu. Prilagođeni prehrambeni proizvodi važan su dio prehrane i ljudi sa zdravstvenim poteškoćama kao što su sindrom iritabilnog crijeva, budući da se za njih preporučuje specijalizirana dijeta koja ima nizak udio fermentabilnih oligosaharida, disaharida, monosaharida i poliola, koje zajednički nazivamo FODMAP-ovima. Razvoj prilagođene hrane ima općenito ključnu ulogu u poboljšanju kvalitete života osoba s posebnim prehrambenim potrebama pružajući im nutritivno bogate i probavno prihvatljive opcije.

Jedna od inovacija koja zaokuplja znanstvenike je trodimenzionalni (3D) ispis hrane. 3D ispis je zanimljiva tehnologija zbog svog jedinstvenog potencijala za stvaranje geometrijski kompleksnih struktura i mogućnosti proizvodnje personaliziranih prehrambenih proizvoda. Ova inovativna metoda otvara nove mogućnosti za proizvodnju obroka prilagođenih specifičnim nutritivnim potrebama pojedinaca te je osobito važna za osobe s posebnim nutritivnim zahtjevima. 3D ispis hrane također pruža brojne prednosti, uključujući prilagodbu hrane prema potrebama potrošača, automatsku proizvodnju hrane, stvaranje jedinstvenih struktura i oblika te ekološku održivost jer pomaže u smanjenju otpada od hrane i omogućuje korištenje alternativnih izvora hranjivih tvari (Dankar i sur., 2018; Yang i sur., 2017). Hrana pripremljena ovom tehnologijom ima potpuno jedinstvene okuse i teksture koje je nemoguće postići manualnim i tradicionalnim metodama pripreme hrane.

U kontekstu ubrzanog načina života, sve više ljudi poseže za brzim i jednostavnim obrocima koji zadovoljavaju njihove prehrambene potrebe, uključujući *snack* proizvode koji se konzumiraju između glavnih obroka, nudeći tako brzo rješenje za utaživanje gladi. Međutim, raste i svijest o važnosti nutritivno kvalitetne hrane, zbog čega su istraživanja usmjerena na razvoj *snack* obroka koji ne samo da predstavljaju brz obrok, već također osiguravaju sve

potrebne hranjive tvari za održavanje zdravlja i pravilno funkcioniranje organizma. Ključnu ulogu u oblikovanju okusa i teksture bezglutenskih *snack*-ova imaju začini i arome koji doprinose njihovoj senzorskoj privlačnosti i kvaliteti.

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj začina, prehrambenih aroma i hidrokoloida na senzorska svojstva, sadržaj fruktana i hlapive spojeve bezglutenskih 3D *snack* proizvoda kao i ispitati stavove o 3D hrani među studentskom populacijom.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. SNACK PROIZVODI NA BAZI ŽITARICA

Snack proizvodi namijenjeni su za konzumaciju između glavnih obroka kako bi poslužili kao brzo i jednostavno rješenje za utaživanje gladi ili želje za laganim zalogajem. Dolaze u raznim oblicima i okusima te su često proizvedeni tako da budu lagani i brzi obrok zbog čega su pakirani u malim pakiranjima. S obzirom na današnji ubrzani tempo života, *snack* proizvodi su neizostavan obrok u većini populacije zbog mogućnosti konzumacije ovakvih proizvoda u pokretu. Njihova namjena je da pruže brz izvor energije i nutrijente koji će doprinijeti unosu hranjivih tvari potrebnih pojedincu. *Snack* proizvodi od žitarica su jedno od najčešće korištenih proizvoda u *snack* industriji gdje dominiraju *snack* proizvodi proizvedeni ekstruzijom poput žitarica za doručak, keksa i pločica od žitarica (Brennan i sur., 2013). Dnevna konzumacija grickalica u prosjeku povećala se s 1,0 na 2,2 u zadnjih 30 godina te u prosjeku 30 % odrasle populacije SAD-a dobiva 30 % ili više svoje dnevne energije iz grickalica (Drapeau i sur., 2017). *Snack* proizvodi dijele se na *snack* proizvode prve generacije koji su najlakši za proizvodnju te se sastoje od prirodnih proizvoda poput kokica, suhog voća, kikirikija i drugih orašastih plodova. Iduća kategorija, u koju se svrstava većina *snack* proizvoda koji se konzumiraju, su *snack* proizvodi druge generacije koja uključuje grickalice jednostavnih oblika koji se dobivaju procesom izravne ekstruzije poput kukuruznog čipsa ili ekspaniranih grickalica ili oblikovanjem proizvoda poput čipsa od krumpira, tortilja čipsa i pereca. U kategoriju *snack* proizvoda treće generacije spadaju peleti ili poluproizvodi dobiveni ekstruzijom. Ekstruder za oblikovanje proizvodi pelete koje zahtijevaju sušenje i naknadnu obradu prije konzumacije. Većina *snack* proizvoda treće generacije dobiva se prženjem peleta, iako se konvencionalnim pečenjem ili mikrovalnom pećnicom proizvodi niz niskokaloričnih proizvoda (Saldivar, 2016). Gotovi *snack* proizvodi postali su važan dio moderne prehrane, no često su siromašni vlaknima, a sadrže visok udio zasićenih masti, jednostavnih šećera i natrija (Kahlon, 2016).

2.1.1. Bezglutenski *snack* proizvodi

Zbog sve veće potražnje potrošača koji iz zdravstvenih ili prehrambenih razloga izbjegavaju gluten, tržište bezglutenskih proizvoda kontinuirano raste. Globalna potražnja za proizvodima bez glutena porasla je za oko 16 % u razdoblju od 2018. do 2022. godine, čineći ih jednim od 10 najvećih prehrambenih trendova koji postoje danas (Hassan i sur., 2024). Bezglutenski *snack* proizvodi najčešće su proizvedeni od žitarica poput riže, kukuruza, prosa i sirka, uz dodatak škroba poput kukuruznog i rižinog, kako bi se postigla tekstura slična pšeničnim proizvodima (Xu i sur., 2020). Riža je popularan izbor zbog svog neutralnog okusa

i visokog udjela škroba, koji doprinosi stabilnosti teksture, dok kukuruz, bogat prehranbenim vlaknima i antioksidansima, osigurava hrskavost proizvoda. Međutim, za osobe sa sindromom iritabilnog crijeva (engl. *Irritable bowel syndrome, IBS*) ili necelijakijskom osjetljivosti na pšenicu (engl. *Non-coeliac wheat sensitivity, NCWS*), važno je pridržavanje dijete s niskim udjelom FODMAP-a, koja je učinkovitija u ublažavanju simptoma nego li potpuna eliminacija glutena (Biesiekierski, 2013). FODMAP-ovi su prirodni prebiotici koji utječu na crijevnu mikrobiotu, no zbog slabe apsorpcije u tankom crijevu i visoke osmotske aktivnosti mogu izazvati probavne smetnje kod nekih osoba (Radoš i sur., 2022). Smanjenje unosa FODMAP-ova može dovesti do smanjenog unosa vlakana i mikronutrijenata, što može negativno utjecati na crijevnu mikrobiotu, ako se ne nadomjesti odgovarajućim izvorima vlakana (Brouns i sur., 2017). Stoga je važno razviti funkcionalne gotove proizvode s uravnoteženim nutritivnim sastavom i niskim udjelom FODMAP-ova (Ispiryani i sur., 2020). Razvoj zdravih *snack* proizvoda zahtjeva pažljiv odabir sastojaka kako bi se postigla atraktivna tekstura i okus koji su prihvatljivi potrošačima, što i inače predstavlja ključni izazov u razvoju bezglutenskih proizvoda.

2.2. HIDROKOLOIDI

Hidrokoloidi su polisaharidi velike molekulske mase koji se koriste kao zamjena za gluten u bezglutenskim proizvodima. To su dugolančani hidrofilni polimeri s raznovrsnim funkcionalnim skupinama, poput amino i karboksilnih skupina, ekstrahiranih iz biljnih i mikrobnih izvora te morskih algi. U proizvodnji bezglutenskih proizvoda, dodatak hidrokoloida nadomješta nedostatak glutena budući da stvaraju viskoelastičnu mrežu i pozitivno utječu na volumen, strukturu, okus i završnu kvalitetu gotovih proizvoda te produljenje roka trajanja. Hidrokoloidi se razlikuju po kemijskoj strukturi te se mogu svrstati u četiri glavne skupine: hidrokoloide biljnog podrijetla, hidrokoloide životinjskog podrijetla (kitozan i hitin), hidrokoloide iz mikroorganizama (mikroorganizmi izlučuju polisaharide kao sekundarne metabolite) i kemijski modificirane hidrokoloide biljnog podrijetla (sintetička guma i sl.) (Manzoor i sur., 2020). Njihova široka primjena u prehrambenoj industriji temelji se na sposobnosti vezanja vode i modifikacije svojstava sastojaka ili smjesa.

Pored toga što se koriste kao alternativa za gluten u bezglutenskim namirnicama, hidrokoloidi se općenito koriste u hrani za poboljšanje teksture, usporavanje retrogradacije škroba, bolje zadržavanje vlage i produljenje opće kvalitete proizvoda tijekom vremena (Rojas i sur., 1999). U pekarskoj industriji, njihova važnost kao poboljšivača kruha sve više raste. Njihova primjena ovisi o hidrokoloidnim svojstvima, sposobnosti povećanja kapaciteta vezanja vode zahvaljujući velikoj molekulskoj masi, viskoznosti, brzini hidratacije i utjecaju temperature na hidrataciju pri čemu viskoznost većine hidrokoloida opada s porastom temperature.

Također, poboljšavaju razvoj i zadržavanje plinova tijekom fermentacije što utječe na ukupnu kvalitetu bezglutenskih proizvoda i stvaranju stabilnije strukture. Osim u pekarskoj industriji, hidrokoloidi se koriste u prehrambenoj industriji za kontrolu reologije i teksture vodenih sustava tijekom stabilizacije emulzija, suspenzija i pjena (Dziezak, 1991).

2.2.1. Natrijev alginat

Natrijev alginat negativno je nabijen polisaharid topljiv u vodi, dobiva se ekstrakcijom iz morskih smeđih algi (lat. *Phaeophyceae*). Njegova upotreba kao prirodnog hidrokoloida je zamijećena u mnogim prerađenim prehrambenim proizvodima (Sim i sur., 2011). Smatra se poželjnim dodatkom u bezglutenskim proizvodima kao funkcionalno prehrambeno vlakno koje može služiti kao sredstvo za želiranje ili zgrušavanje. Alginat se sastoji od (1-4)-povezanih β -D-manuronske i α -L-guluronske kiseline. Voda i druge molekule mogu biti zarobljene kapilarnim silama unutar strukture alginata što čini ovaj hidrokoloid poželjnim za 3D ispis (Axpe i Oyen, 2016). Sposoban je formirati kontinuiranu mrežu koja suspendira granule škroba u homogeni kompozitni gel. Istraživanja su pokazala kako dodatak alginata utječe na ponašanje bezglutenskog tijesta povećavajući njegovu viskoznost. Liu i sur. (2023) proveli su istraživanje utjecaja različitih koncentracija natrijeva alginata i različitih vrsta rižinog brašna na tijesto od riže i kvalitetu 3D ispisa. Natrijev alginat pokazao se kao prikladan aditiv za održavanje stabilnosti i strukture gotovih 3D proizvoda te se natrijev alginat u koncentraciji od 0,5 % pokazao kao odgovarajuća količina za dobivanje željenih rezultata.

2.2.2. Psilijum

Psilijum je hidrokoloid koji se upotrebljava u prehrambenim proizvodima zbog svojih jedinstvenih svojstava poput sposobnosti zadržavanja vode i formiranja gelova, što doprinosi teksturi i strukturi hrane. Njegov sadržaj vlakana poboljšava reološka svojstva smjese i stabilizira teksturu što čini psilijum korisnim sastojkom u 3D ispisu hrane jer omogućuje precizno i kompaktno formiranje slojeva. Koristi se u smjesama za 3D ispis zbog svoje sposobnosti povećanja viskoznosti i zadržavanja vode, što omogućuje veću stabilnost hrane prilikom ekstruzije. Također ima utjecaj na nutritivnu vrijednost hrane. Dodaje se u bezglutenske proizvode, poput kruha i krepera, gdje služi kao zamjena za gluten i pomaže da se postigne bolja tekstura i struktura, zahvaljujući visokom sadržaju vlakana (Filipčev i sur., 2021; Fratelli i sur., 2021; Belorio i Gomez, 2020; Cappa i sur., 2013). Ova svojstva su naročito važna u 3D ispisu, gdje je cilj kreirati proizvode koji nisu samo vizualno prihvatljivi, već i funkcionalni i ukusni. Prema istraživanju koje su proveli Ren i sur. (2021), dodatak psilijuma povećao je teksturu i čvrstoću bezglutenskog krepera zbog čega se pokazao kao izvrsna

zamjena pšeničnim krekerima. Također, dodatak psilijuma povećao je sposobnost zadržavanja vode što je rezultiralo nižim aktivitetom vode i povećanom svježinom krekeričke čime je dokazan njegov pozitivan utjecaj na kvalitetu bezglutenskih proizvoda.

2.3. ZAČINI I PREHRAMBENE AROME

Začini i prehrambene arome ključni su u oblikovanju okusa i mirisa hrane i imaju značajan utjecaj na prihvatljivost prehrambenih proizvoda. Potrošači smatraju da su okus i tekstura među najvažnijim senzorskim svojstvima koje žele poboljšati u bezglutenskim proizvodima (Alencar i sur., 2021).

Zbog blagog i neutralnog senzorskog profila bezglutenskih žitarica, proizvodi su često manje izraženog okusa i aroma. Kako bi nadomjestili te nedostatke, proizvođači bezglutenskih proizvoda sve više koriste začine i arome, kako bi poboljšali senzorske karakteristike i zadovoljili zahtjeve potrošača koji teže okusima što sličnijim konvencionalnim proizvodima. Istraživanje Ruiz-Aceituna i sur. (2024) pokazalo je da je bezglutenski kruh s dodatkom smjese bosiljka, origana, kumina i korijandera bio znatno bolje prihvaćen od strane potrošača, s višim senzorskim ocjenama, u odnosu na kontrolni kruh bez začina. Time je istaknuta važnost korištenja različitih začina i aroma u recepturama bezglutenskih proizvoda. Istraživanja pokazuju da osim poboljšavanja senzorske kvalitete hrane, dodatak začina ima i druge prednosti poput različitih zdravstvenih koristi te njihov dodatak, ne samo da pomaže u prevladavanju nedostatka okusa u bezglutenskim prehrambenim proizvodima, već ima razne funkcionalne prednosti. Njihovo antioksidativno djelovanje deset je puta veće od voća i povrća (Yashin i sur., 2017). Yao i sur. (2004) su proučavali flavonoide u raznoj hrani te njihove zdravstvene aspekte. Pri tome se pokazalo se da je luk izvor flavonola zbog čega se smatra odličnim izvorom antioksidanasa te njegov dodatak u hranu može poboljšati kvalitetu proizvoda.

Nanošenje aroma i začina na klasične *snack* proizvode ključno je za postizanje njihove privlačnosti i senzorskih svojstava. Tijekom procesa odabira aroma i začina, određuje se i tehnologija nanošenja koja će osigurati optimalnu distribuciju, stabilnost i očuvanje okusa. Za začinjavanje *snack*-ova uobičajeno se koriste aplikatori za prah, ulje i granule, uključujući raspršivače za ulje, dozatore za prah i bubnjeve za premazivanje (Welti-Chanes i sur., 2022). Tehnike poput prskanja ulja i začina te premazivanja (engl. *coating*) omogućuju ravnomjerno prekrivanje proizvoda začinima nakon pečenja ili prženja (Hanify, 2001). Međutim, kod novije generacije *snack* proizvoda, poput onih dobivenih 3D ispisom koji su osjetljiviji i lomljiviji, ove metode često nisu primjenjive jer mogu narušiti strukturu proizvoda. 3D ispis zahtjeva inkorporaciju aroma i začina u procesu formiranja proizvoda kako bi se očuvala struktura i

funkcionalnost zbog čega se istražuju alternativni pristupi.

2.4. TRODIMENZIONALNI (3D) ISPIS

Tehnika koja privlači sve više interesenata i postaje popularnija u istraživačkim krugovima i prehrambenoj industriji je tehnologija trodimenzionalnog (3D) ispisa. Koncept ispisa hrane podrazumijeva izradu prethodno računalno dizajniranih modela nanošenjem smjese sloj po sloj najčešće na principu ekstruzije (Keerthana i sur., 2020). 3D ispis omogućuje proizvodnju hrane prilagođenih oblika, teksture i hranjive vrijednosti. U prehrambenoj industriji, prva primjena 3D pisača zabilježena je na Sveučilištu Cornell koje je predstavilo Fab@Home Model 1 3D pisač s otvorenim kodom sposoban za proizvodnju oblika korištenjem tekućih prehrambenih materijala, a koji se temeljio na ekstruzijskim procesima (Godoi i sur., 2016). Zahvaljujući sposobnosti ispisa raznih složenih struktura koje se ne mogu proizvesti klasičnim metodama proizvodnje, tehnika 3D ispisa, osim u prehrambenoj industriji, koristi se u industrijama poput farmaceutske, tekstilne, automobilske i vojne.

Mogućnost ispisa materijala ovisi o raznim faktorima poput vrste pisača, karakteristika materijala za ispis, reoloških svojstava materijala te naknade obrade (Thangalakshmi i sur., 2021). Materijal koji je popularan za 3D ispis je onaj na bazi žitarica (tijesto) zbog sposobnosti zadržavanja oblika te mogućnosti obogaćivanja hranjivim tvarima s obzirom da se žitarice i proizvodi konzumiraju svakodnevno, a karakterizira ih neutralan okus. Uobičajen pristup kod ispisa hrane na bazi žitarica uključuje miješanje sastojaka s vodom (uzimajući u obzir njihova kemijsko-fizikalna svojstva poput veličine čestica i reoloških svojstava), kompjuterski dizajn željenog oblika i prilagođavanje parametara pisača (npr. brzine ispisa, putanje, opterećenje filameta, svojstva mlaznice, razina ispune), procjenu protočnosti, ekstrudiranja i oblikovanja materijala te procjena stabilnosti nakon ispisa (Čukelj Mustač i sur., 2023). Mogućnost 3D ispisa definira se kao sposobnost viskoelastičnog materijala poput tijesta da se glatko istisne kroz mlaznicu i uspostavi ravnotežu između fluidnosti i čvrstoće strukture kako bi izdržalo težinu oblika i spriječilo deformaciju. Kako bi se smjesa mogla ispisati u željenom obliku i zadržati svoju strukturu nakon nanošenja, potrebno je da ima konzistenciju koja će omogućiti jednolično i protočno ekstrudiranje iz mlaznice pisača.

3D ispis može biti posebno koristan u specifičnim prehrambenim industrijama, kao što su medicinska prehrana, prehrana za starije osobe ili proizvodnja hrane za svemirske misije. Primjer je NASA koja istražuje potencijal 3D ispisa hrane u svemirskim misijama kako bi se astronautima omogućili personalizirani obroci, što dokazuje da tehnologija 3D ispisa može doprinijeti ne samo prehrambenoj industriji već i drugim granama znanosti (Zoran i sur., 2011). 3D ispis hrane također pomaže u smanjenju prehrambenog otpada te omogućuje učinkovitije

korištenje alternativnih izvora nutrijenata, poput proteina iz algi ili insekata. Ova tehnologija postaje sve važnija u suočavanju s međunarodnim izazovima održivosti (Dankar i sur., 2018). Uz mnoge prednosti 3D ispisa, postoje i neke mane poput problema s preciznošću ispisa, ponovljivosti i zadržavanjem oblika i strukture te promjenama svojstava pri naknadnoj obradi. No, nova istraživanja usmjerena su na razvoj brzih sustava ekstruzije (Godoi i sur., 2016).

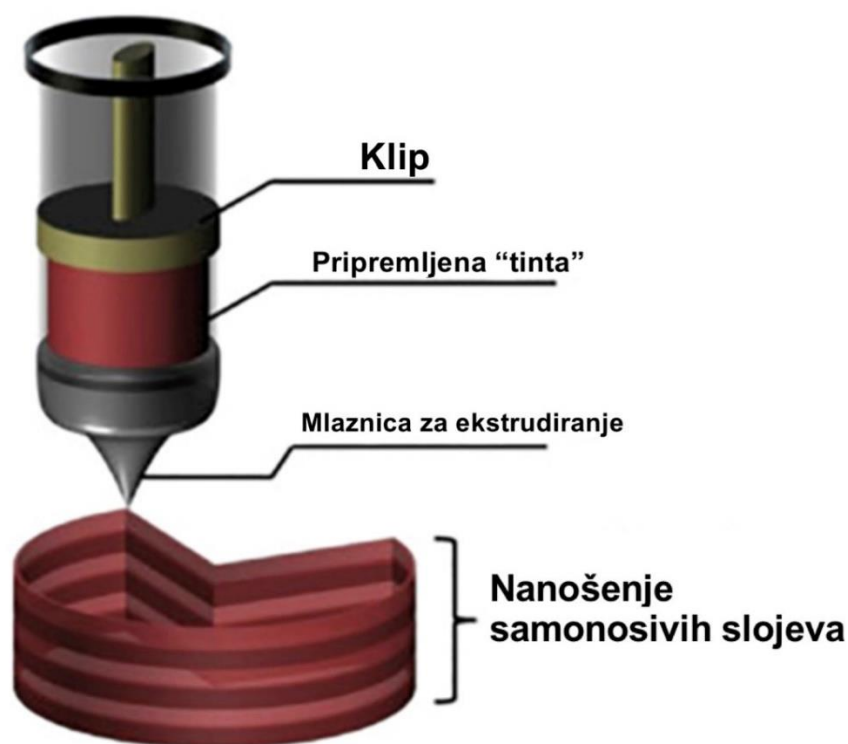


Slika 1. 3D pislač (*vlastita fotografija*)

2.4.1. Princip rada 3D pislača na principu ekstruzije

Korištenje ekstrudera u prehrambenoj industriji popularno je zahvaljujući činjenici da se ekstruzijom mogu pomiješati različite sirovine u željene oblike i strukture čime se otvaraju mogućnosti razvoju inovativne, funkcionalne hrane. 3D ispis na temelju ekstruzije temelji se na istiskivanju viskoelastičnog materijala kroz mlaznicu pislača, čime se 3D strukture oblikuju sloj po sloj. Ovaj proces zahtijeva materijale s odgovarajućim fizikalnim i reološkim svojstvima kako bi se osigurala nesmetana ekstruzija i stabilnost strukture nakon taloženja. Ključni faktori uključuju viskoznost materijala, temperature geliranja, taljenja i staklastog prijelaza te parametre poput promjera i visine mlaznice, brzine ekstruzije i radne temperature. Ekstruzija se može provoditi s visokim (proces taljenja) ili bez nižim temperaturama, ovisno o svojstvima materijala. U slučajevima kada se ne koriste visoke temperature, proces ekstruzije uglavnom ovisi o reološkim svojstvima materijala. S druge strane, kod ekstruzije pri visokim temperaturama, materijal je inicijalno u čvrstom stanju, a zatim se zagrijava do polu-rastaljenog

stanja kako bi se mogao istisnuti. Nakon taloženja, materijal mora očvrnuti kako bi se postigla vertikalna stabilnost i čvrsto povezivanje slojeva (Le-Bail i sur., 2020; Godoi i sur., 2019). Dodatak odgovarajućih aditiva može optimizirati reološka svojstva materijala. Poželjno je da viskoznost bude dovoljno niska za prolaz kroz mlaznicu, ali i dovoljno visoka za očuvanje oblika nakon ispisa. Ovo je ključno za izradu kompleksnih trodimenzionalnih struktura, gdje stabilnost proizvoda igra ključnu ulogu. Kod razvoja receptura za 3D ispis hrane, posebna pažnja posvećuje se nutritivnoj vrijednosti, osobito kod proizvoda namijenjenih specifičnim prehranbenim potrebama. Kvaliteta ispisa procjenjuje se prema preciznosti oblika i stabilnosti dimenzija tijekom i nakon procesa (Čukelj Mustač i sur., 2023). Platforme za 3D ispis hrane koriste kartezijanski koordinatni sustav s tri osi (x, y, z), čime je omogućena precizna kontrola putem kompjuterskog sučelja. Proces uključuje faze poput mjerenja, miješanja, doziranja, a po potrebi i kuhanja (Zoran i sur., 2011). Parametri poput brzine kretanja mlaznice i visine sloja izravno utječu na kvalitetu konačnog proizvoda. Tri su osnovna mehanizma ekstruzije u 3D ispisu hrane. Prvi je ekstruzija pomoću puža gdje se materijal kontinuirano potiskuje rotacijom vijka unutar cilindra prema mlaznici. Ovaj sustav prikladan je za viskozne materijale, pružajući ravnomjernu i stabilnu ekstruziju. Kontrola protoka omogućuje precizno nanošenje slojeva i visokokvalitetnu izradu (Liu i sur., 2017). Drugi je ekstruzija komprimiranim zrakom u kojoj tlak komprimiranog zraka potiskuje materijal iz spremnika prema mlaznici. Prednosti uključuju jednostavno upravljanje brzinom ekstruzije, dok izazovi leže u održavanju jednoličnog protoka, osobito kod materijala niže viskoznosti (Godoi i sur., 2020; Liu i Zhang, 2019). Treći mehanizam ekstruzije je ekstruzija špricom u kojoj klip pritišće materijal iz spremnika kroz mlaznicu. Ova metoda osigurava precizno doziranje materijala i pogodna je za pastozne smjese poput pirea od krumpira ili čokolade (Godoi i sur., 2020; Grgić, 2020; Liu i sur., 2017). Sve tri metode pružaju visoku razinu kontrole nad protokom materijala, čime se osigurava željena struktura i oblik konačnog proizvoda.



Slika 2. 3D ispis na bazi ekstruzije (prema Godoi i sur., 2016)

2.5. PRIHVATLJIVOST 3D PREHRAMBENIH PROIZVODA KOD POTROŠAČA

3D ispis hrane predstavlja rastuću tehnologiju koja se suočava s izazovima prihvatljivosti među potrošačima. Prihvatanje novih tehnologija u prehrambenoj industriji, poput 3D ispisa hrane, može biti otežano među potrošačima, prvenstveno zbog njihove novosti i nepoznatosti. Nove tehnologije stvaraju nepovjerenje uzrokovano sumnjama potrošača u sigurnost i zdravstvenu vrijednost u usporedbi s konvencionalnim proizvodima na tržištu. Ključni problemi uključuju strah prema novim namirnicama i tehnologijama te ih potrošači nove tehnologije često doživljavaju kao rizične zbog nesigurnosti i nepoznavanja procesa proizvodnje i nutritivne kvalitete nove hrane (Brunner i sur., 2018; Lupton i Turner, 2016). Kako ističu Chang i sur. (2024), sklonost potrošača prema kupovini hrane proizvedene 3D ispisom značajno ovisi o njihovim stavovima, subjektivnim normama, senzorskoj privlačnosti hrane, neofobiji prema hrani te percepciji ekološke prihvatljivosti tehnologije. Ovo sugerira da bi bolja edukacija, transparentnost i naglašavanje prednosti 3D ispisane hrane mogli igrati ključnu ulogu u povećanju njezinog prihvaćanja među potrošačima. Istraživanja pokazuju da hrana poboljšanog okusa s dokazanim zdravstvenim prednostima može imati pozitivan utjecaj na prihvaćenost od strane potrošača (Rollin i sur., 2011; Bruhn, 2007). Lupton i Turner (2016)

proveli su istraživanje fokusirano na reakcije potrošača prema 3D tehnologiji. Njihova *online* fokusna grupa otkrila je da je javno znanje o tehnologiji i karakteristikama hrane proizvedene 3D ispisom vrlo ograničeno i često utemeljeno na spekulacijama. Sudionici su izrazili zabrinutost da bi takva hrana mogla biti nejestiva, nesigurna ili nutritivno osiromašena. Dodatno, sama riječ "printer", koja se obično povezuje s neprehrambenom industrijom, imala je negativan utjecaj na prihvaćanje tehnologije. No, novija istraživanja pokazuju kako se pomak u percepciji hrane proizvedene 3D ispisom primijeti. Manstan i McSweeney (2019) analizirali su stavove potrošača prema 3D ispisanim prehrambenim proizvodima u usporedbi s konvencionalnim. Rezultati su pokazali da su sudionici bili skloniji kupnji 3D ispisanih mesnih okruglica nego konvencionalnih, no nije bilo razlike u spremnosti za konzumaciju između ta dva uzorka. Sudionici su ispisane proizvode smatrali zdravijima i manje obrađenima. Gotovo polovica sudionika ocijenila je 3D ispisanu hranu kao ekološki prihvatljivu, održivu i zdravu te izrazila želju za budućom kupnjom. Međutim, manji dio sudionika smatrao je 3D ispisanu hranu neprihvatljivom i nesigurnom za konzumaciju te nisu pokazali interes za kupnju ili konzumaciju ovih proizvoda, iako su smatrali da su manje obrađeni i potencijalno zdraviji od konvencionalnih (Manstan i McSweeney, 2019).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

Za proizvodnju bezglutenskih *snack* proizvoda u ovom radu korištene su sirovine: proseno brašno (Encian d.o.o., Hrvatska), brašno od batata (VG Fryer d.o.o., Hrvatska), brašno proteina riže (Biovega d.o.o., Hrvatska), suncokretovo ulje (Zvijezda d.o.o., Hrvatska), kuhinjska sol (Solana Pag d.o.o., Hrvatska), prašak za pecivo (Podravka d.d., Hrvatska), vodovodna voda, aroma luka (Fresh Onion Type Flavor 589206 CB, Innotaste GmbH, Firmenich, Njemačka), začini: bosiljak (Kotanyi, d.o.o., Austrija) origano (Farma shop d.o.o., Hrvatska), slatka paprika (Podravka d.d., Hrvatska), luk u prahu (OPG Bošković, Hrvatska), psilijum prah (Biovega d.o.o., Hrvatska), natrijev alginat (B.&V. S.R.L., Italija)

Za pečenje *snack* proizvoda korišteni su aparatura i pribor:

1. Etažna peć tip EBO 64 - 320 IS 600 (Wiesheu Wolfen GmbH, Njemačka)
2. Sušionik (Heratherm, Thermo Fischer Scientific, SAD)
3. Metalni pleh za pečenje
4. Papir za pečenje
5. Valjak za tijesto
6. Okrugli izrezivači za tijesto (4 i 2 cm)
7. Stolni mikser Profimixx 44 (Bosch, Njemačka)
8. Metalne žlice

Za pripremu tijesta za 3D ispis korišteni su aparatura i pribor:

1. Laboratorijska vaga Sartorius BL-150 (Sartorius AG, Njemačka)
2. Laboratorijske čaše
3. Žlica
4. Ručni mikser (Gorenje d.o.o., Slovenija)

Za 3D ispis *snack* proizvoda korišteni su aparatura i pribor:

1. 3D pisač (FoodBot D2 Multi Ingredient Dual Head Food 3D Printer, Changxing Shiyin Technology Co., d.o.o., Kina)
2. Šprica za 3D pisač
3. Laboratorijska čaša
4. Mlaznica promjera 1,2 mm
5. Špatula

Za određivanje FODMAP-a korišteni su aparatura i pribor:

- analitička vaga (ALS 220-4N, Kern & Sohn GmbH, Njemačka)
 - velike staklene epruvete s čepom (255 x 150 mm)
 - staklene epruvete (16 x 100 mm)
- plastične epruvete
- stalak za epruvete
- parafilm
- kivete za centrifugiranje
- automatske pipete
- spektrofotometar (Analytik Jena, SPECORD 50 PLUS)
- vortex uređaj
- vodene kupelji (SBS40, Stuart, UK)
 - kipuća vodena kupelj
 - centrifuga
- rashladna vodena kupelj
- štoperica
- spektrofotometar

Reagensi:

- kit za fruktane (standarde i enzimске otopine) (Megazyme, Irska)
- Na-maleatni pufer (100 mM, pH 6,5)
- Na-acetatni pufer (100 mM, pH 4,5)
- Otopina A
- Otopina B
- Natrij hidroksid (50 mM)
- Alkalni borohidrid (10 mg/mL)
- Octena kiselina (200 mM)

3.2. METODE

3.2.1. Odabir vrste začina za *snack* proizvod

3.2.1.1. *Proizvodnja konvencionalnih snack proizvoda (krejera) s različitim začinima*

U prvom dijelu eksperimentalnog rada, provedeno je pečenje konvencionalnog *snack* proizvoda prema različitim recepturama i začinima pri čemu su korišteni bosiljak, origano, paprika i luk.

Recepture i količine sastojaka korištene za proizvodnju *snack* proizvoda (krejera) prikazane su u tablici 1, a radi se o modificiranim recepturama iz rada Radoš i sur. (2022).

Tablica 1. Recepture konvencionalnih *snack* proizvoda (Radoš i sur., 2022)

Sirovine	Receptura Chia (%)	Receptura Lan (%)	Receptura Buča (%)	Receptura Psilijum (%)
Kukuruzno brašno	25	25	15	
Proseno brašno	10	10	20	40
Rižin protein	21,9	21,9	22,5	20
Brašno batata	9,4	9,4	/	12
Chia sjemenke	3,1	/	/	/
Lanene sjemenke	/	3,1	/	/
Heljda	/	/	10	/
Bučina pogača	/	/	3,1	/
Psilijum	/	/	/	1,3
Sol	1	1	1	1,1
Prašak za pecivo	/	0,7	0,7	0,7
Začin	1,4	1,4	1,4	1,4
Ulje	13,8	13,8	14	14
Voda	70	65,5	67	72

Postupak:

Suhi sastojci pomiješali su se prema količini navedenoj u tablici 1 te im je dodano ulje. Smjesa se zatim miješala u mikseru (Profimixx 44, Bosch, Njemačka) u trajanju od dvije minute. Voda se dodala u potrebnoj količini i ponovno se miješalo dvije minute kako bi se postigla željena smjesa. Zatim se na ravnoj površini tijesto podijelilo na dijelove, razvaljalo i kalupima oblikovalo u željeni oblik. Vanjski promjer kalupa bio je 4 cm, a unutarnji promjer 2 cm. Uzorci su se stavili na papir za pečenje i poslagali na metalni pleh te su stavljeni u peć (EBO 64 - 320 IS 600, Wiesheu Wolfen, Njemačka) na temperaturu od 120 °C gornjeg i donjeg grijača u trajanju od 45 minuta.

3.2.1.2. *Senzorska analiza konvencionalnih snack proizvoda*

Na pečenim *snack* proizvodima (krekerima) provedena je hedonistička senzorska analiza prihvatljivosti četiri različite recepture sa četiri različita začina (bosiljak, origano, luk, paprika) (slika 3) i test nizanja po preferenciji. Senzorska analiza pečenih *snack*-ova provedena je u Laboratoriju za kemiju i tehnologiju žitarica na Prehrambeno-biotehnološkom

fakultetu u Zagrebu. Prva provedena senzorska analiza sastojala se od panela od 11 sudionika. Prvo je provedena hedonistička senzorska analiza gdje se određivala razina sviđanja pojedinog senzorskog svojstva na ljestvici od 1 do 9, gdje je 1 – nimalo mi se ne sviđa, 5 – niti mi se sviđa niti mi se ne sviđa i 9 – jako mi se sviđa. Zatim je proveden test nizanja po preferenciji *snack*-ova gdje je bilo potrebno dodijeliti uzorcima mjesto od 1 do 4 pri čemu je 1 najbolji, a 4 najlošiji *snack*.



Slika 3. Serviranje uzoraka konvencionalnih *snack* proizvoda različitih receptura i različitih začina za senzorsku analizu (*vlastita fotografija*)

3.2.2. Ispitivanje načina nanošenja aroma i začina u 3D *snack* proizvode

3.2.2.1. Priprema tijesta za 3D ispis *snack* proizvoda

Tijesto za 3D ispis pripremljeno je tako da su se pomiješali sastojci prema recepturi navedenoj u tablici 2, prema Obad (2024). Smjesi od prosenog brašna, brašna batata i rižinog proteina dodani su sol, psilijum, ulje i voda. Psilijum gel napravljen je tako da je psilijum prah pomiješan s vodom u čaši te je ostavljen da stoji nekoliko minuta dok se nije dobila struktura gela. Čaša je zatim isprana ostatkom vodom koja je potom dodana smjesi. Tijesto je formirano ručnim mikserom s kukom za tijesto (Gorenje d.o.o., Slovenija) jednu minutu na brzini 3 i jednu minutu na brzini 2 dok se nije formirala homogena masa.

Tablica 2. Receptura Psilijum (Obad, 2024)

Sastojci		Masa (g)	Udio u tijestu
Smjesa brašna*	Proseno brašno	50	55,56 %
	Brašno batata	15	16,67 %
	Rižin protein	25	27,78 %
Ostali sastojci**	Sol	0,45	2 %
	Psilijum	0,54	1,8 %
	Ulje	6	20 %
	Voda	21,6 (za pripremu gela sa psilijumom)+8,4	72 % (za pripremu gela sa psilijumom)+28 %

*udio u smjesi brašna

** udio na smjesu brašna

3.2.2.2. 3D ispis snack proizvoda

3D ispis proveden je pomoću 3D pisača koji radi na osnovu ekstruzije FoodBot D2 Multi Ingredient Dual Head Food 3D Printer (Changxing Shiyin Technology Co., d.o.o., Kina). Napravljena smjesa se pomoću špatule precizno napunila u špricu tako da nije ostalo zraka u smjesi koji bi mogao ometati ispis i narušiti strukturu oblika. Zatim se napunjena šprica sa sapnicom promjera 1,2 mm umetnula u uređaj. Postupak ispisa je trajao 3 minute pri temperaturi od 30 °C.

3.2.2.3. Završna obrada

Nakon 3D ispisa svi uzorci podvrgnuti su se procesu sušenja u sušioniku (Heratherm, Thermo Fischer Scientific, SAD) pri temperaturi od 120 °C tijekom 30 minuta, što prema Obad (2024) predstavlja optimalne uvjete za postizanje željenih rezultata.

3.2.2.4. Nanošenje aroma i začina u 3D snack

Dodatak začina i arome luka ispitan je na način da su začini i aroma dodani direktno u tijesto ili je aroma pošpricano na tijesto nakon ispisa. Smjesa je napravljena prema recepturi navedenoj u tablici 2, a začini i aroma luka dodani su suhim sastojcima prije njihovog miješanja

s mokrim sastojcima u količini od 2 % na smjesu. Špricanje aromom luka provedeno je na način da su se ispisani 3D *snack*-ovi posložili ravnomjerno na površinu te je na njih špricana mješavina arome otopljene u vodi u količini koja bi trebala biti ekvivalent 2 % dodatka arome u tijesto.

3.2.2.5. *Senzorska analiza uzoraka s različitim načinima dodataka luka u 3D snack*

Na 3D *snack*-u s dodatkom luka provedena je deskriptivna senzorska analiza gdje je ispitivan intenzitet pojedinog senzorskog svojstva *snack*-a s dodatkom luka u obliku začina i prehrambene arome u tijesto i prehrambene arome pomoću tehnike špricanja. Uzorcima je bilo potrebno dodijeliti ocjenu na ljestvici od 0 do 10 pri čemu je 0- potpuno neizraženo, 5- srednje izraženo i 10- naročito visoko izraženo, a ocjenjivana senzorska svojstva bila su miris po luku i miris ukupno te okus i aroma- slano, po luku, naknadni gorki okus i ukupno. Proveden je i JAR (engl. *Just about Right*) test u kojem je bilo potrebno ocijeniti svaki uzorak stavljajući oznaku u odgovarajući kvadrat na skali počevši od sredine, ako je intenzitet arome i okusa idealan te ulijevo ukoliko se smatra da je nedovoljno intenzivan ili udesno ukoliko se smatra da je preintenzivan. Također je provede test nizanja po preferenciji u kojem su ispitanici trebali poredati uzorke od onog kojeg sveobuhvatno najviše preferiraju do najmanje poželjnog pri čemu je 1- najviše preferiram, a 3- najmanje preferiram.

3.2.2.6. *Određivanje sadržaja fruktana*

Sadržaj fruktana određen je u uzorcima *snack* proizvoda s dodatkom arome i začina luka te *snack* proizvoda bez dodatka standardnom metodom AOAC Method 999.03 koristeći enzimski kit (Megazyme Fructan assay kit).

Otopina A pripravljena je tako da se 10 g hidrazida p-hidroksibenzojeve kiseline dodalo u 60 mL vode i miješalo na magnetskoj mješalici. Zatim se otopini dodalo 10 ml koncentrirane HCl i napunilo destiliranom vodom dok se nije dobio volumen od 200 mL.

Otopina B pripravljena je tako da se u 500 ml destilirane vode otopilo 24,9 g trinatrij citrata dihidrata. Dodalo se 2,2 g kalcij klorid dihidrata i 40,0 g NaOH te se otopilo uz miješanje. Na kraju se nadopunilo destiliranom vodom dok se nije dostigao volumen od 2 L.

Radni reagens PAHBAH pripremljen je neposredno prije uporabe miješanjem 20 mL otopine A i 180 mL otopine B.

a) Ekstrakcija fruktana

Ekstrakcija fruktana provedena je tako da se u epruvetu odvagalo oko 400 mg ukoliko je uzorak sadržavao 0-10 % fruktana, a ako je sadržaj fruktana 10-40 % odvagalo se 100 mg

uzorka. Zatim se dodalo 25 mL destilirane vode u svaku epruvetu i uzorci su se izmiješali na vorteksu. Epruvete su se zatim lagano prekrile čepom bez pritiska i smjestile u kipuću vodenu kupelj u trajanju od 5 minuta, a nakon toga se stegnuo čep i ponovno vorteksiralo te vratilo u kupelj na 5 minuta. Nakon isteka vremena epruvete su se izvadile iz vodene kupelji, izmiješale na vorteksu i ohladile na sobnoj temperaturi. Ohlađene epruvete ponovno su se miješale na vorteksu i uzorci od 2 mL su stavljeni u kivete koje su se zatim umetnule u centrifugu na 13000 okretaja/min na maksimalnoj brzini u trajanju od 5 minuta. Jednaka procedura provodila se za standarde inulin, levana i saharozu i tretiralo ih se kao uzorke.

b) Uklanjanje saharoze, škroba, šećera

Nakon centrifugiranja, 0,2 mL supernatanta pipetmenom se prenijelo u staklenu epruvetu, kojoj se dodalo 0,2 mL enzimske otopine A. Epruveta se zatim inkubirala u vodenoj kupelji na 30 °C tijekom 30 minuta. Nakon toga, dodalo se 0,2 mL otopine alkalnog borohidrida, epruveta se snažno promiješala i zatvorila parafilmom. Uzorak se inkubirao na 40 °C kroz 30 minuta. Po završetku inkubacije, dodano je 0,5 mL ledene octene kiseline i otopina se miješala na vorteksu. Dobivena otopina je označena kao "Otopina S".

c) Hidroliza i mjerenje fruktana

U tri plastične epruvete pipetirano je po 0,2 mL "Otopine S". U dvije od tri epruvete dodano je 0,1 mL enzimske otopine B (uzorci), dok je u treću epruvetu dodano 0,1 mL pufera 2 (slijepa proba ili "*Sample blank*"). Epruvete su prekrivene parafilmom i inkubirane na 40 °C kroz 30 minuta.

Tijekom inkubacije bilo je potrebno pripremiti kontrolne otopine, odnosno slijepu probu (tzv. "Reagent blank") i kontrolu za D-fruktozu. "Reagent blank" se pripremio miješanjem 0,3 mL pufera 2 s 5 mL PAHBAH radnog reagensa. Za pripremu kontrole D-fruktoze, pomiješalo se 0,2 mL standardne otopine D-fruktoze (bočica 6) s 0,9 mL pufera 2. Dobivena smjesa se podijelila na četiri alikvota po 0,2 mL, u koje se dodalo 0,1 mL pufera 2 i 5 mL PAHBAH radnog reagensa (neposredno prije inkubacije zajedno s uzorcima). Svakoj epruveti, uključujući uzorke (s kontrolama inulina i levana), slijepu probu ("*Sample blank*") te kontrolne otopine (slijepa proba "Reagent blank" i standard D-fruktoze) dodano je 5 mL PAHBAH radnog reagensa, nakon čega je provedena inkubacija u kipućoj vodenoj kupelji u trajanju od točno 6 minuta. Po završetku inkubacije, epruvete su se izvadile i uronile u hladnu vodu na otprilike 5 minuta kako bi se ohladile. Apsorbancija se potom mjerila na 410 nm, uz referencu na slijepu probu ("Reagent blank"). Za izračun udjela fruktana u uzorcima na temelju izmjerenih apsorbancija korišten je Megazyme Mega-Calc™ kalkulator.

3.2.3. Ispitivanje utjecaja hidrokoloida na senzorska svojstva *snack*-a s dodanom aromom luka

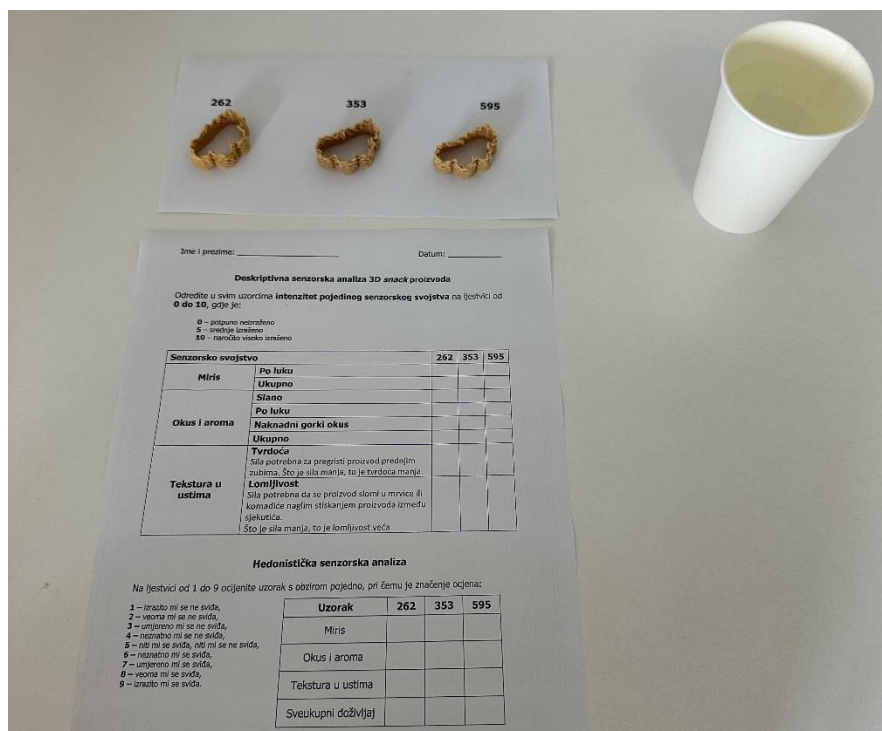
3.2.3.1. *Dodatak hidrokoloida u 3D snack proizvod*

U sljedećoj fazi istraživanja ispitivan je utjecaj dodatka različitih hidrokoloidi prema recepturi navedenoj u tablici 2 uz dodatak arome luka od 2 % u tijesto. Tijesto s psilijumom pripremljeno je i opisano kako je opisano u potpoglavlju 3.2.2.1. i 3.2.2.2..

U jednom uzorku psilijum je zamijenjen s 2 % natrijeva alginata na smjesu brašna i proveden je isti postupak miješanja smjese prema recepturi navedenoj u tablici 2, dok je u drugom uzorku uklonjen psilijum.

3.2.3.2. *Senzorska analiza 3D snack-ova s dodatkom hidrokoloida*

Na 3D *snack* proizvodima s dodatkom hidrokoloida psilijuma i natrijeva alginata te bez dodatka hidrokoloida, provedena je deskriptivna senzorska analiza s 14 panelista (slika 4) u kojoj je određen intenzitet pojedinog senzorskog svojstva te hedonistička senzorska analiza gdje se uzorak ocijenjen na ljestvici od 1 do 9, pri čemu je 1- izrazito mi se ne sviđa, 2- veoma mi se ne sviđa, 3- umjereno mi se ne sviđa, 4- neznatno mi se ne sviđa, 5- niti mi se sviđa, niti mi se ne sviđa, 6- neznatno mi se sviđa, 7- umjereno mi se sviđa, 8- veoma mi se sviđa, 9- izrazito mi se sviđa.



Slika 4. Pripremljeni uzorci *snack*-a bez dodatka hidrokoloida te s dodatkom psilijuma i natrijeva alginata za senzorsku analizu (*vlastita fotografija*)

3.2.3.3. Analiza hlapivih spojeva plinskom kromatografijom

Hlapivi spojevi uzoraka s dodatkom arome luka u tijesto i hidrokoloida analizirani su plinskom kromatografijom s masenom spektrometrijom (GC-MS). Svaki uzorak analiziran je u paralelnim ponavljanjima. U vijalicu se odvagalo 0,25 g uzorka i dodalo 5 mL otopine natrijevog klorida (pH = 3) pri čemu je provedena mikroekstrakcija na čvrstoj fazi prema metodi opisanoj u radu Drakula i sur. (2022) dok su podaci prikazani kao površina pikova spojeva.

3.2.4. Ispitivanje stavova o 3D hrani

S ciljem ispitivanja stavova studentske populacije o 3D hrani provedena je *online* anketa putem Google obrasca među 25 ispitanika, studenata 2. godine prijediplomskog studija Nutricionizma na Sveučilištu u Zagrebu na Prehrambeno-biotehnoškom fakultetu. Odgovori su prikupljeni anonimno i korišteni isključivo u svrhu istraživanja i diplomskog rada. Anketa se sastojala od 17 pitanja. Pitanja su obuhvaćala osnovne podatke o dobi i spolu ispitanika te su uključivala stavove, iskustva i mišljenja vezane za 3D hranu. Prije ankete provedena je hedonistička senzorska analiza 3D *snack*-a (napravljena prema recepturi navedenoj u tablici 2 s dodatkom arome luka) i konvencionalnoga *snack*-a (kreker) (receptura prikazana u tablici

1 pod nazivom Receptura Psilijum, uz dodatak arome luka). Studenti (njih 29) su na ljestvici od 1 do 9 ocjenjivali uzorak s obzirom na miris i aromu, teksturu te sveukupni doživljaj, pri čemu je 1- izrazito mi se ne sviđa, a 9- izrazito mi se sviđa. Proveden je i test preference u kojem je bilo potrebno uzeti u obzir cjelokupni doživljaj i na tom temelju odabrati proizvod koji više preferiraju.

3.2.5. Obrada podataka

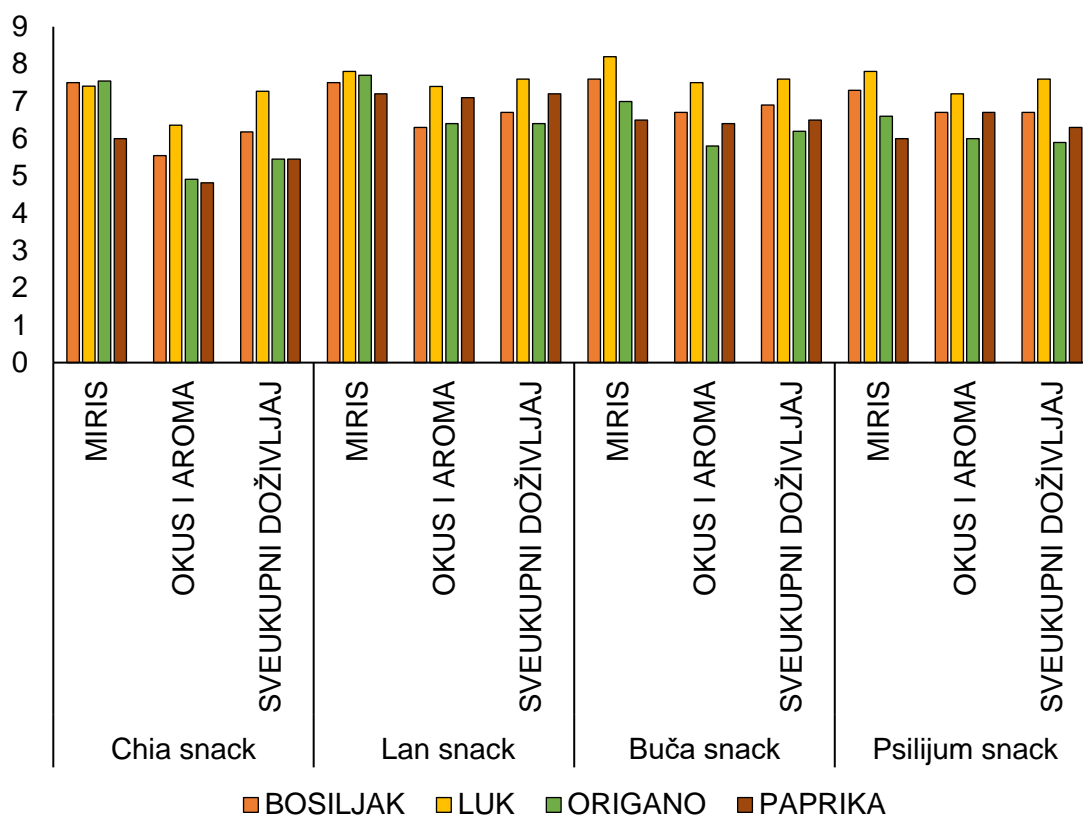
Obrada GC kromatograma hlapivih komponenti provedena je u programu MSD ChemStation Data Analysis. Dobiveni podaci obrađeni su u programu MS Excel 2013. Za obradu podataka korišten je program Microsoft Office Excel 2013. Rezultati mjerenja izraženi su kao srednja vrijednost sa standardnom devijacijom. Za izradu grafičkih prikaza korišten je Microsoft Office Excel 2013.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati utjecaj dodatka začina, prehrambenih aroma i hidrokoloida na senzorska svojstva 3D *snack* proizvoda bez glutena s niskim udjelom FODMAP-a. U prvom dijelu istraživanja je na različitim recepturama konvencionalno proizvedenih *snack* proizvoda s dodatkom začina u prahu (bosiljka, origana, luka i paprike) provedena hedonistička senzorska analiza i test nizanja po preferenciji, kako bi se odredila najpoželjnija receptura i začin. U idućoj fazi ispitivan je način nanošenja arome luka: u tijesto u obliku začina ili prehrambene arome te u obliku prehrambene arome primjenom tehnike špricanja tijesta nakon 3D ispisa. U ovoj fazi je provedena deskriptivna senzorska analiza 3D *snack* proizvoda te je proveden JAR test i test nizanja po preferenciji. Osim toga, provedeno je i određivanje sadržaja fruktana u uzorcima. U sljedećoj fazi istraživanja proveden je 3D ispis *snack* proizvoda s dodatkom arome luka u tijesto bez ili uz dodatak hidrokoloida psilijuma i natrijeva alginata pri čemu su provedene deskriptivna i hedonistička senzorska analiza te GC-MS analiza hlapivih spojeva. Kao zadnja faza istraživanja provedeno je anketno ispitivanje među studentskom populacijom kako bi se istražili stavovi o 3D hrani pri čemu je paralelno provedena senzorska analiza na 3D i konvencionalnom *snack* proizvodu s dodatkom arome luka u tijesto kroz hedonističku senzorsku analizu i test preferencije

4.1. UTJECAJ DODATKA RAZLIČITIH ZAČINA NA SENZORSKA SVOJSTVA 3D SNACK-OVA

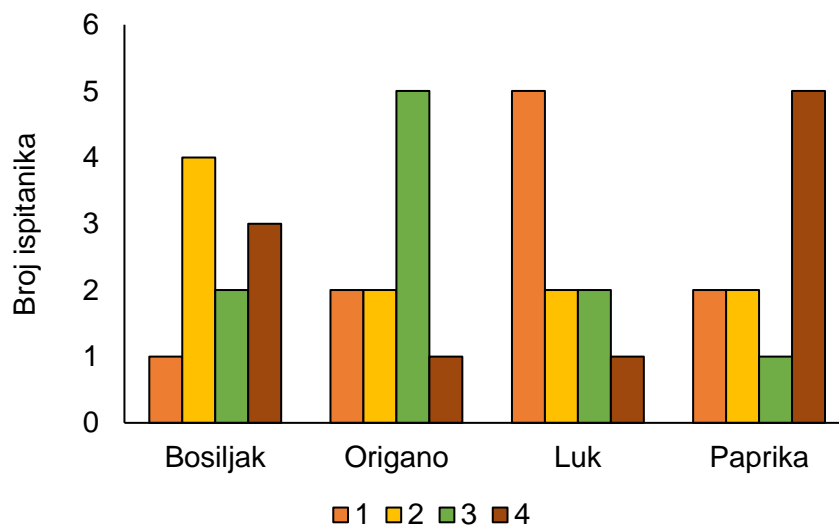
Rezultati hedonističke senzorske analize odabira začina po recepturama prikazani su na slici 5. U svim recepturama, luk se istaknuo kao začin s najvišim ocjenama u kategorijama mirisa, okusa i sveukupnog doživljaja. Kod recepture Chia, bosiljak ($7,50 \pm 1,80$), luk ($7,41 \pm 1,10$) i origano ($7,55 \pm 1,10$) dobili su slične ocjene, dok je paprika bila nešto niže ocjenjena. Najbolju ocjenu za okus i aromu dobio je luk ($6,4 \pm 1,6$) te za njim bosiljak ($5,5 \pm 2,7$), dok je sveukupni doživljaj bio najbolje ocjenjen kod začina luka ($7,3 \pm 1,3$). Kod recepture Lan, luk je bio najbolje ocjenjen i za miris ($7,8 \pm 1,1$) i okus i aromu ($7,4 \pm 1,5$) te sveukupni doživljaj ($7,6 \pm 1,4$). Sljedeće najbolje ocjenjena bila je paprika kod okusa i arome ($7,1 \pm 2,0$) te sveukupnog doživljaja ($7,2 \pm 1,4$), dok je origano imao najbolje ocjenjen miris nakon luka ($7,7 \pm 0,7$). Kod recepture Buča, luk se ponovo pokazao kao najpoželjniji dodatak dobivši najvišu ocjenu za miris ($8,2 \pm 0,9$), okus i aromu ($7,5 \pm 1,7$) te sveukupni doživljaj ($7,6 \pm 1,3$). U recepturi Psilijum luk je također bio ocijenjen najviše u svim kategorijama (miris, okus i sveukupni doživljaj), s prosječnom ocjenom iznad 7 u svim kategorijama.



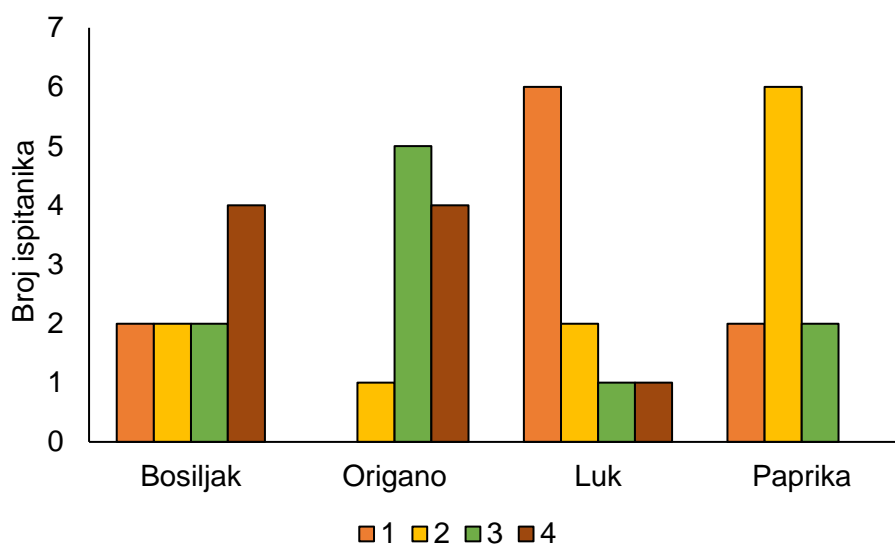
Slika 5. Grafički prikaz senzorske analize krepera različitih receptura i s različitim vrstama začina

Osim hedonističke senzorske analize proveden je i test nizanja po preferenciji začina po recepturama. Rezultati su prikazani na slikama 6, 7, 8 i 9, a označavaju broj ispitanika koji je pojedinu recepturu stavio na pojedino mjesto preference. U svim recepturama luk se istaknuo budući da mu je 21 ispitanik dodijelio prvo mjesto neovisno o recepturi. Najveći broj ispitanika stavio je na četvrto mjesto origano, odnosno ukupno 13 ispitanika. Bosiljak i origano su većinom zauzimali 2. i 3. mjesto po preferencijama ispitanika. Lisiecka i sur. (2021) imali su za cilj utvrditi učinak dodatka svježeg poriluka ili pulpe luka na ekstrudirane *snack*-ove na bazi krumpira. Senzorska privlačnost procijenjena je na prženim *snack*-ovima od strane 15-članog polutreniranog panela te se pokazalo kako je bolja senzorska privlačnost utvrđena kod prženih *snack*-ova s dodatkom pulpe luka. Gawlik-Dziki i sur. (2013) istraživali su utjecaj dodatka mljevene ljuske luka na antioksidativna svojstva i senzorsku vrijednost kruha. Zamjena pšeničnog brašna u kruhu s do 3% praha ljuske luka pokazala je zadovoljavajuću prihvatljivost kod potrošača. Rezultati ovog istraživanja ukazuju na to da izbor začina značajno utječe na senzorska svojstva bezglutenskih *snack* proizvoda, pri čemu se luk posebno ističe kao začina s visokim potencijalom za poboljšanje senzorskog doživljaja kod ovakve vrste *snack* proizvoda. Općenito, visok sadržaj vlakana, tvrdoća, žilavost, tamna boja i gorčina smanjuju prihvatljivost *snack* proizvoda, ali dodatak začina može poboljšati njihovu prihvatljivost i tržišnu

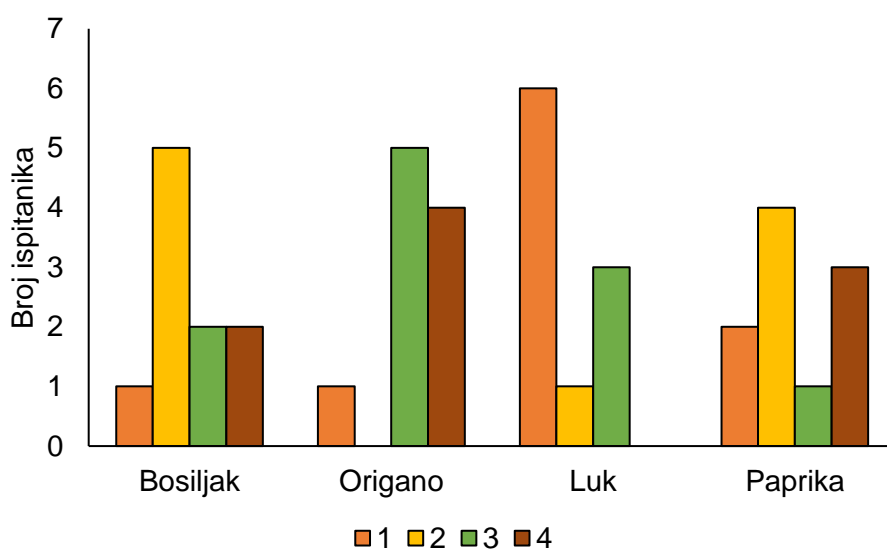
vrijednost (Radoš i sur., 2022). Ghawi i sur. (2014) ispitali su može li se začinsko bilje i začini koristiti za povećanje privlačnosti juhe od rajčice s niskim udjelom natrija. U istraživanju, koje je trajalo pet uzastopnih dana, sudjelovalo je 148 ispitanika. Ispitanicima su bile ponuđene tri vrste juhe od rajčice: s uobičajenim udjelom soli, s niskim udjelom soli i s niskim udjelom soli uz dodatak začina. Nakon ponovljenog izlaganja uzorcima juhe, rezultati su pokazali kako se kod sudionika povećala ukupna privlačnost, privlačnost okusa, teksture i naknadnog okusa juhe s niskim udjelom soli uz dodatak začina. Szymandera-Buszka i sur. (2021) u svom istraživanju dokazali su da dodatak 0,5 % začina značajno povećava sadržaj flavonoida i fenolnih kiselina u ekstrudiranim proizvodima, dok dodatak odabranih biljaka pozitivno utječe na senzorski profil i prihvaćenost proizvoda među potrošačima. Obzirom na rezultate prve faze istraživanja za daljnju fazu je kao začin odabran luk, a receptura Psilijum.



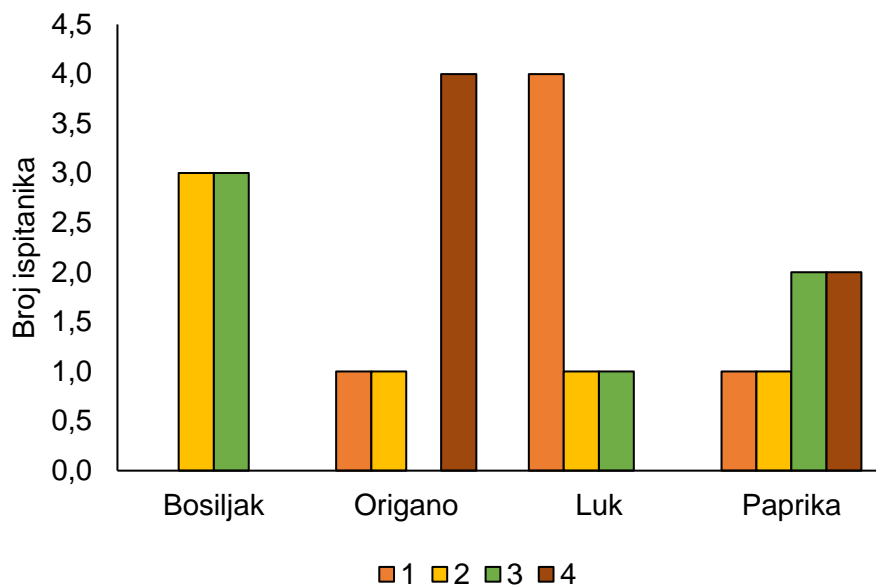
Slika 6. Rezultati testa po preferenciji Chia krekeri s različitim začinima, od 1. do 4. mjesta (najpoželjnije do najmanje poželjno)



Slika 7. Rezultati testa po preferenciji Lan kreker s različitim začinima, od 1. do 4. mjesta (najpoželjnije do najmanje poželjno)



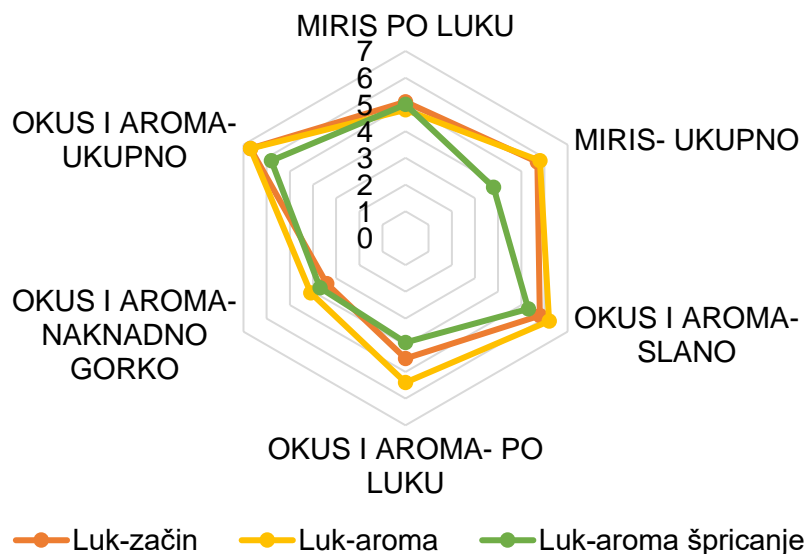
Slika 8. Rezultati testa po preferenciji Buča kreker s različitim začinima, od 1. do 4. mjesta (najpoželjnije do najmanje poželjno)



Slika 9. Rezultati testa po preferenciji Psilijum krekeru s različitim začinima, od 1. do 4. mjesta (najpoželjnije do najmanje poželjno)

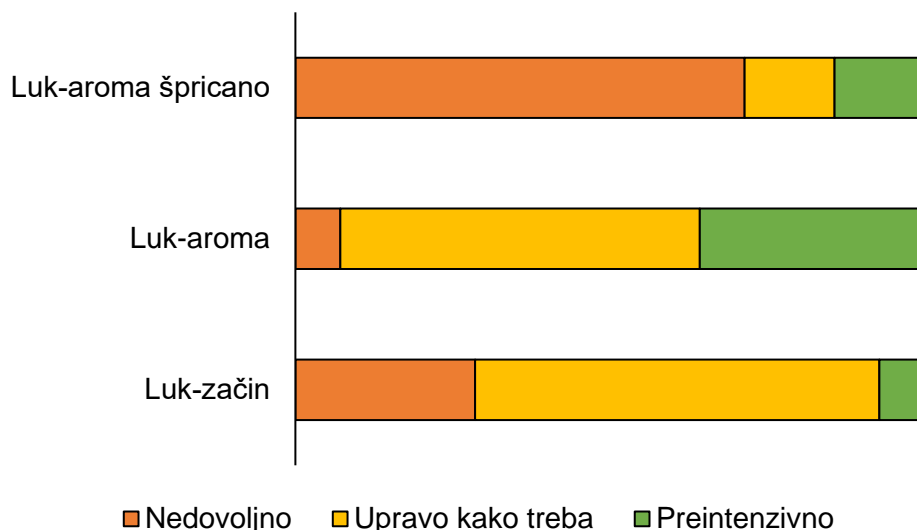
4.2. UTJECAJ DODATKA ZAČINA I AROME LUKA NA SENZORSKA SVOJSTVA 3D SNACK-A

Kako bi se istražio najpoželjniji način dodatka luka u 3D *snack* proizvod, provedena je senzorska analiza 3D *snack*-ova kod kojih su u tijesto dodani luk u prahu (Luk-začin) ili prehrambena aroma (Luk-aroma) ili je prehrambena aroma luka nanesa tehnikom špricanja po tijestu nakon 3D ispisa (Luk-aroma špricanje). Rezultati deskriptivne senzorske analize prikazani su na slici 10.



Slika 10. Rezultati senzorske analize 3D *snack*-a s dodatkom luka u tijesto u obliku začina (Luk-začin) ili arome (Luk-aroma) te špricanjem arome (Luk-aroma špricanje)

Kada je u pitanju intenzitet mirisa po luku, uzorak Luk-začin dobio je najvišu ocjenu ($5,1 \pm 1,7$) nakon čega slijedi Luk-aroma ($4,8 \pm 1,1$) dok je uzorak Luk-aroma špricanje dobio nižu ocjenu intenziteta mirisa po luku ($3,2 \pm 1,7$). Ovaj rezultat ukazuje kako se tehnikom špricanja spojevi slabije osjete na površini uzorka te oni mogu biti manje stabilni i hlapivi što rezultira manjim intenzitetom i slabijom percepcijom kod potrošača te bi ju trebalo nanijeti u većoj koncentraciji. Uzorci Luk-aroma imali su najvišu ocjenu za ukupni miris ($5,8 \pm 0,9$), a uzorak Luk-aroma postigao je i najvišu ocjenu za slani okus i aromu ($6,2 \pm 0,7$). U usporedbi, uzorci Luk-začin i Luk-aroma špricanje dobili su nešto niže ocjene ($5,8 \pm 1,2$ za začin i $5,3 \pm 1,1$ za špricanje). Najizraženiji okus po luku bio je zabilježen kod uzorka Luk-aroma ($5,4 \pm 0,9$), što pokazuje da ovaj oblik dodatka daje snažniji okus po luku u usporedbi s uzorcima Luk-začin ($4,5 \pm 1,5$) i Luk-aroma špricanje ($3,9 \pm 1,0$). Za svojstvo naknadne gorčine, uzorak Luk-aroma imao je najvišu ocjenu ($4,1 \pm 2,3$), dok je Luk-začin imao nešto nižu ($3,4 \pm 1,7$), a Luk-aroma špricano najmanju ($3,7 \pm 1,6$). Sveukupno, uzorci Luk-aroma i Luk-začin postigli su slične rezultate; $6,7 \pm 1,0$ za Luk-začin i $6,7 \pm 1,0$ za Luk-aroma kod kategorije za ukupni okus i aromu, dok je Luk-aroma špricano bio niže ocijenjen ($5,8 \pm 1,5$). Aromatski spojevi utječu na senzorski profil i predstavljaju jednu od glavnih senzorskih karakteristika koje utječu na preferencije i prihvatljivost potrošača (Tylewicz i sur., 2022). Međutim, dodatak luka u obliku začina također ima svoje prednosti, posebno u pogledu smanjene naknadne gorčine i ukupne ravnoteže okusa. Prema Espinosa-Ramirez (2022), sastojci začina mogu pomoći u poboljšanju stabilnosti začina i povećati privlačnost *snack*-a.



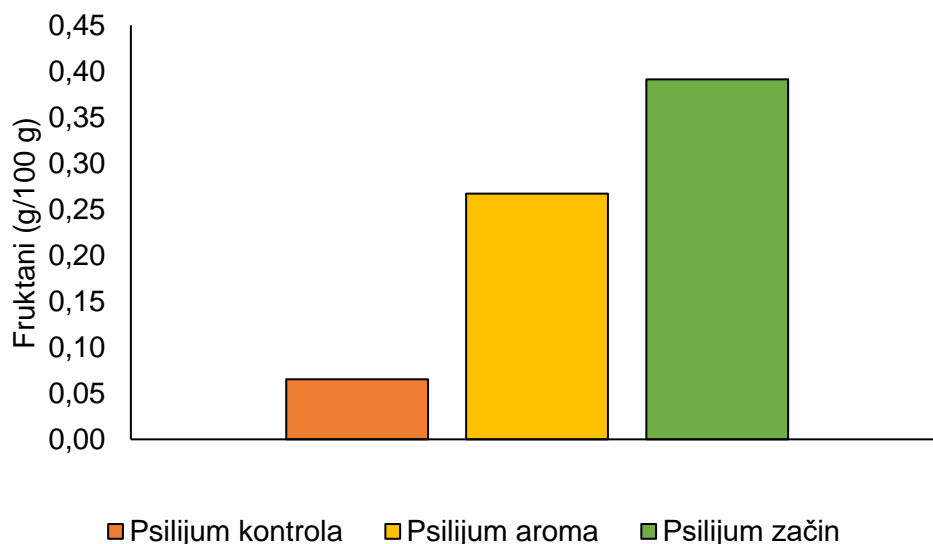
Slika 11. Rezultati JAR testa na uzorcima 3D *snack*-a s različitim načinima dodatka začina/arome luka

Rezultati JAR testa prikazani su na slici 11 te se pokazalo kako je od 14 ispitanika, njih 9 smatralo je da je uzorak 3D *snack*-a Luk-začin „upravo kako treba“, dok je njih 8 smatralo jednako za uzorak Luk-aroma. „Nedovoljno“ oznaku za intenzitet arome i okusa ocijenilo je 10 ispitanika za uzorak Luk-aroma špricano, a uzorak Luk-aroma 5 ispitanika je označilo preintenzivnim u usporedbi s uzorkom Luk-začin luka kojeg su 4 ispitanika označila preintenzivnim. Test nizanja po preferenciji pokazao je kako ispitanici najviše preferiraju 3D *snack* s dodatkom arome luka (Luk-aroma) kojem je 7 ispitanika dodijelilo prvo mjesto. Slijedio ga je 3D *snack* s dodatkom začina luka (Luk-začin) kojem je 6 ispitanika dodijelilo prvo mjesto, dok je Luk-aroma špricano bio na zadnjem mjestu s dodijeljenim trećim mjestom od 9 ispitanika. Luk-aroma špricano pokazala je nešto nižu prihvatljivost ukupnog okusa i arome, što može ograničiti njegovu primjenu u proizvodima gdje je cilj postići izraženiji okus, odnosno tehniku je potrebno dodatno doraditi. Aromatski spojevi skloni su gubitku putem isparavanja zbog svojih relativno visokih svojstava tlaka pare (King, 1983). Dodatak aromatskih spojeva je izazovno zbog njihove hlapivosti, a što dovodi do isparavanja i gubitka željenih okusa. Primjerice kod aroma dobivenih sušenjem raspršivanjem mogu se javiti vrlo značajni gubici aromatskih spojeva uslijed kemijskih reakcija ili difuzije prema površini, a zatim isparavanja u okolinu (Reineccius i sur., 2015).

4.3. SADRŽAJ FRUKTANA U UZORCIMA

Fruktani su analizirani u uzorcima *snack* proizvoda s dodatkom arome i začina luka te u uzorcima bez dodatka luka kako bi se ispitalo smanjuje li dodatak arome luka sadržaj fruktana, s obzirom na njihov inače visok sadržaj u luku. Rezultati su prikazani na slici 12. Uzorak Psilijum kontrola bez dodatka začina ili arome sadržavao je $0,0651 \pm 0,0035$ g fruktana

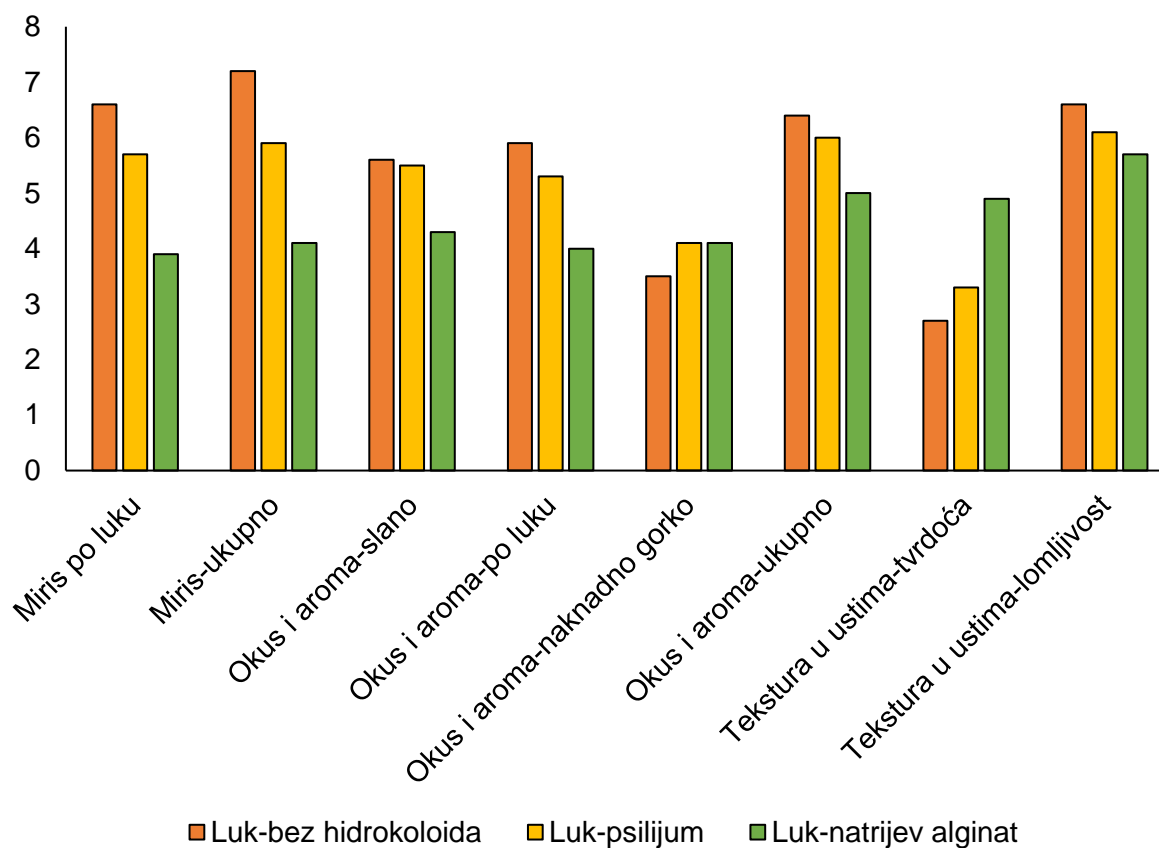
u 100 g uzorka. Uzorak Psilijum aroma sadržavao je $0,267 \pm 0,006$ g fruktana u 100 g uzorka, a uzorak Psilijum začin sadržavao je $0,3912 \pm 0,0014$ g fruktana u 100 g uzorka. Rezultati pokazuju kako dodatak luka u *snack* proizvodima povećava sadržaj fruktana. Naime, luk je bogat izvor fruktana, posebice inulina i drugih oligosaharida koji su poznati po svojim prebiotičkim svojstvima i pozitivnom utjecaju na zdravlje crijeva (Golubkina i Caruso, 2020), ali mogu predstavljati problem kod određene skupine ljudi. Bisen i Emerald (2016) proučavali su koncentraciju fruktana i drugih bioaktivnih tvari u lukovicama i listovima luka te su zaključili da su fruktani s maksimalnim stupnjem polimerizacije tipični za lukovice luka s visokim udjelom suhe tvari. Oni se nalaze u visokoj koncentraciji u lukovicama (35-40 % suhe mase), čineći glavni dio topljivih ugljikohidrata, dok je maksimalna koncentracija fruktana niže molekularne mase, pronađena je u unutaršnjim, mlađim bazama listova luka. Granična vrijednost od 0,3 g fruktana po porciji smatra se značajnom za *low-FODMAP* dijetu, jer granica za oligosaharide (ukupne fruktane i galakto-oligosaharide) ne smije premašiti tu količinu, kako bi ukupna količina apsorbirana u tijelu ostala unutar sigurnih granica (Varney i sur., 2017).



Slika 12. Sadržaj fruktana u uzorcima *snack*-a bez (Psilijum kontrola), s dodatkom luka u prahu (Psilijum začin) i s dodatkom arome luka (Psilijum aroma)

4.4. UTJECAJ DODATKA HIDROKOLOIDA PSILIJUMA I NATRIJEVA ALGINATA NA SENZORSKA SVOJSTVA 3D SNACK-A

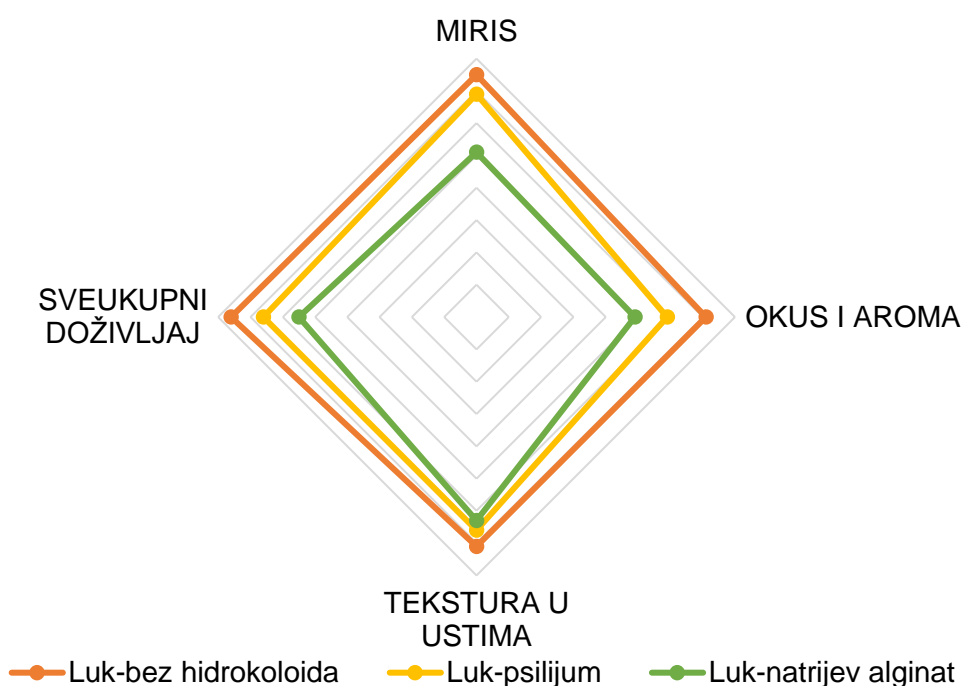
U idućoj fazi istraživanja odabran je način dodatka luka putem arome luka u tijesto te je u ispitivano kako dodatak hidrokoloida u tijesto utječe na senzorsku percepciju 3D *snack*-a. Rezultati deskriptivne senzorske analize 3D *snack* proizvoda bez ili s dodatkom hidrokoloida psilijuma i natrijeva alginata prikazani su na slici 13.



Slika 13. Rezultati deskriptivne senzorske analize uzoraka s dodatkom psilijuma (Luk-psilijum), natrijeva alginata (Luk-natrijev alginat) i bez dodatka hidrokoloida (Luk- bez hidrokoloida)

Hidrokoloidi utječu na oslobađanje hlapivih spojeva okusa koji su ključni za aromu i cjelokupno senzorsko iskustvo hrane (Pangborn i sur.,1974). Uzorak Luk-bez hidrokoloida dobio je u senzorskoj analizi najvišu ocjenu za miris po luku ($6,6 \pm 1,4$) i ukupni miris ($7,2 \pm 1,1$). U usporedbi, uzorak Luk-psilijum imao je niže ocjene za miris po luku ($5,7 \pm 1,1$) i ukupni miris ($5,9 \pm 0,9$), dok je uzorak Luk-natrijev alginat dobili najniže ocjene; $3,9 \pm 1,7$ za miris po luku i $4,1 \pm 1,3$ za ukupni miris. Okus i aroma po luku također su bili izraženiji u uzorku Luk-bez hidrokoloida ($5,9 \pm 1,6$), dok je Luk-psilijum dobio nešto nižu ocjenu ($5,3 \pm 1,5$). Uzorak Luk-natrijev alginat dobio je najniže ocjene za slani okus ($4,3 \pm 1,6$) i okus po luku ($4,0 \pm 1,7$), dok su u usporedbi Luk-bez hidrokoloida i Luk-psilijum dobili više ocjene ($5,6 \pm 1,8$ za Luk-hidrokoloida i $5,5 \pm 2,4$ za Luk-psilijum). Dakle, dodatak hidrokoloida smanjio je intenzitet mirisa i okusa. Dieker i sur. (2012) istraživali su utjecaj različitih hidrokoloida na oštrinu okusa hrane te su rezultati pokazali kako je povećanje koncentracije alginata smanjivalo ljutinu hrena. Polarnost i hlapivost aromatskih spojeva igraju važnu ulogu u određivanju načina na koji dodatak hidrokoloida utječe na njihov intenzitet mirisa i okusa (Pangborn i sur.,1974). Gorki naknadni okus bio je jednako izražen u uzorku Luk-psilijum ($4,1 \pm 2,2$) i uzorku Luk-natrijev alginat ($4,1 \pm 1,5$), dok je uzorak Luk-bez hidrokoloida pokazao nižu razinu gorčine ($3,5 \pm 1,7$). Senzorska ocjena za ukupni okus i aromu bila je najviša kod uzoraka Luk-bez hidrokoloida

($6,4 \pm 1,2$), dok je Luk-psilijum dobio nešto nižu ocjenu ($6,0 \pm 1,8$), a Luk-natrijev alginat najmanju ($5,0 \pm 1,4$). Uzorak Luk-bez hidrokoloida dobio je najnižu ocjenu tvrdoće ($2,7 \pm 1,7$), dok su uzorci Luk-psilijum bili nešto tvrdi ($3,3 \pm 1,4$) što se slaže s istraživanjem provedenom od Mancebo i sur. (2015) koji su pokazali kako je dodatak psilijuma u bezglutensko tijesto od riže smanjilo specifični volumen i povećalo tvrdoću kruha. Uzorak Luk-natrijev alginat dobio je najvišu ocjenu tvrdoće ($4,9 \pm 1,6$). Povećana tvrdoća u Luk-natrijev alginat uzrokovana je njegovom sposobnosti formiranja čvrstih gelova pa njegov dodatak može ograničiti kretanje molekula vode i time stvoriti jači gel sustav (Huang i sur., 2020). Što se tiče lomljivosti, uzorci Luk-bez hidrokoloida i Luk-psilijum pokazali su slične ocjene, $6,6 \pm 2,7$, odnosno $6,1 \pm 2,3$ za psilijum, dok se Luk-natrijev alginat pokazao najmanje lomljivim ($5,7 \pm 1,1$), što se može pripisati povećanoj viskoznosti koju uzrokuje dodatak natrijeva alginata.



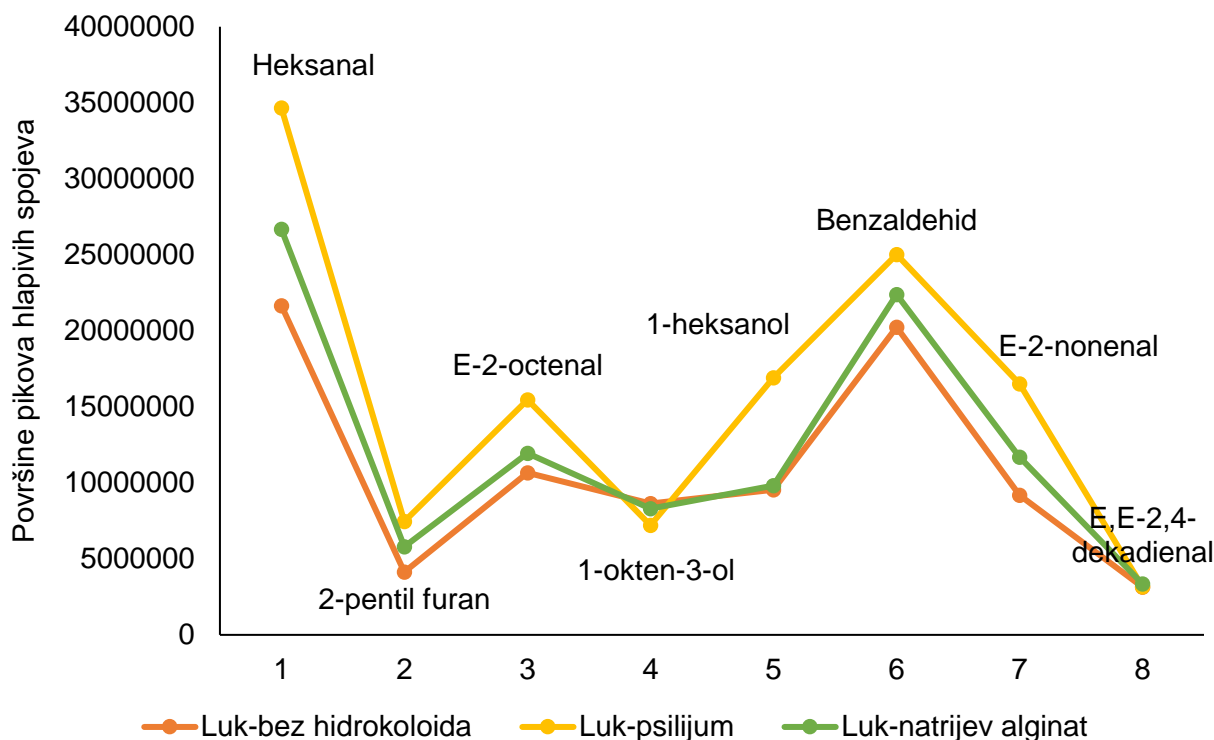
Slika 14. Rezultati hedonističke senzorske analize uzoraka s dodatkom psilijuma (Luk-psilijum), natrijeva alginata (Luk-natrijev alginat) i bez dodatka hidrokoloida (Luk-bez hidrokoloida)

Hedonistička senzorska analize 3D *snack*-ova s dodatkom psilijuma, natrijeva alginata i bez dodatka hidrokoloida, pokazala je značajne razlike u preferencijama potrošača prema kriterijima koji su uključivali miris, okus i aromu, teksturu u ustima te sveukupni doživljaj (slika 14.). *Snack* Luk-bez hidrokoloida dobio je najvišu ocjenu ($7,5 \pm 1,3$) za miris, dok je uzorak Luk-natrijev alginat dobio najnižu ocjenu ($5,1 \pm 1,4$). Luk-psilijum je ocijenjen niže ($6,9 \pm 1,4$), što pokazuje da potrošači nisu osjetili značajan mirisni doprinos ovog hidrokoloida u usporedbi s uzorkom Luk-bez hidrokoloida, ali su ga ipak više preferirali u odnosu na uzorak Luk-natrijev alginat. U usporedbi okusa i arome, *snack* Luk-bez hidrokoloida pokazao se kao najbolji s

ocjenom $7,1 \pm 1,2$, dok je *snack* Luk-natrijev alginat ocijenjen znatno niže ($4,9 \pm 1,4$). Hidrokoloide utječu na aromu sustava kroz dva glavna mehanizma. Prvi je povećanje viskoznosti sustava, što uzrokuje smanjenje brzine difuzije u mediju, a drugi mehanizam je vezanje molekula arome na hidrokoloide prisutne u strukturi (Ćorković i sur., 2021). Luk-psilijum je u ovoj kategoriji dobio nižu ocjenu ($5,9 \pm 1,9$), što bi moglo ukazivati na slabiji utjecaj ovog hidrokoloide na profil okusa i arome. Tekstura se ne razlikuje značajno među uzorcima, no i dalje je najvišu ocjenu za teksturu dobio *snack* Luk-bez hidrokoloide ($7,1 \pm 2,0$), dok je najnižu dobio *snack* Luk-natrijev alginat ($6,3 \pm 1,9$), a sličnu ocjenu je dobio i Luk-psilijum ($6,6 \pm 2,1$). Sveukupno, *snack* Luk-bez hidrokoloide je ocijenjen kao najprivlačniji ($7,6 \pm 1,2$), što pokazuje da izostanak dodatka hidrokoloide pruža željene i uravnotežene senzorske karakteristike koje su potrošačima bile najugodnije. Nasuprot tome, *snack* Luk-natrijev alginat dobio je najnižu sveukupnu ocjenu ($5,5 \pm 1,6$), potvrđujući da nije u potpunosti zadovoljio preferencije ispitanika. Luk-psilijum je dobio nešto višu ocjenu ($6,6 \pm 1,3$), što pokazuje određeni pozitivan doprinos, ali slabiji u odnosu na uzorak Luk-bez hidrokoloide. Rezultati hedonističke senzorske analize ukazuju na to da su *snack*-ovi bez dodatka hidrokoloide (Luk-bez hidrokoloide) postigli najvišu senzorsku prihvatljivost među ispitanicima. Dodatak hidrokoloide pokazao je bolju prihvaćenost kod uzoraka s dodatkom psilijuma (Luk-psilijum) u usporedbi s dodatkom natrijeva alginata (Luk-natrijev alginat). Brennan (2012) u svom istraživanju imala je za cilj utvrditi učinak dodatka psilijuma na prihvatljivost *snack* proizvoda u usporedbi s kontrolnim uzorkom, koristeći senzorsko ispitivanje. U evaluaciji je sudjelovalo ukupno 50 volontera, a rezultati su pokazali da nema značajnih razlika u senzorskim parametrima između različitih *snack*-ova. Potrošači su ocijenili okus kontrolnog uzorka prosječnom ocjenom 4,91, dok je *snack* s psilijumom dobio 4,76 na 10 cm linearnoj skali.

4.5. REZULTATI GC- MS ANALIZE HLAPIVIH SPOJEVA

Hlapivi spojevi mogu se oslobađati u prostor iznad hrane u različitim koncentracijama, ovisno o njihovoj topljivosti u strukturi, apsolutnoj količini i hlapivosti (Colina-Cola, 2013). Hlapivi spojevi pridonose ukupnim senzorskim karakteristikama prehrambenih proizvoda, često određujući njihovu prihvatljivost i kvalitetu kod konzumacije proizvoda (King i sur., 2010). Rezultati GC-MS analize hlapivih spojeva uzoraka 3D *snack*-a s ili bez dodatka hidrokoloide prikazani su na slici 15.



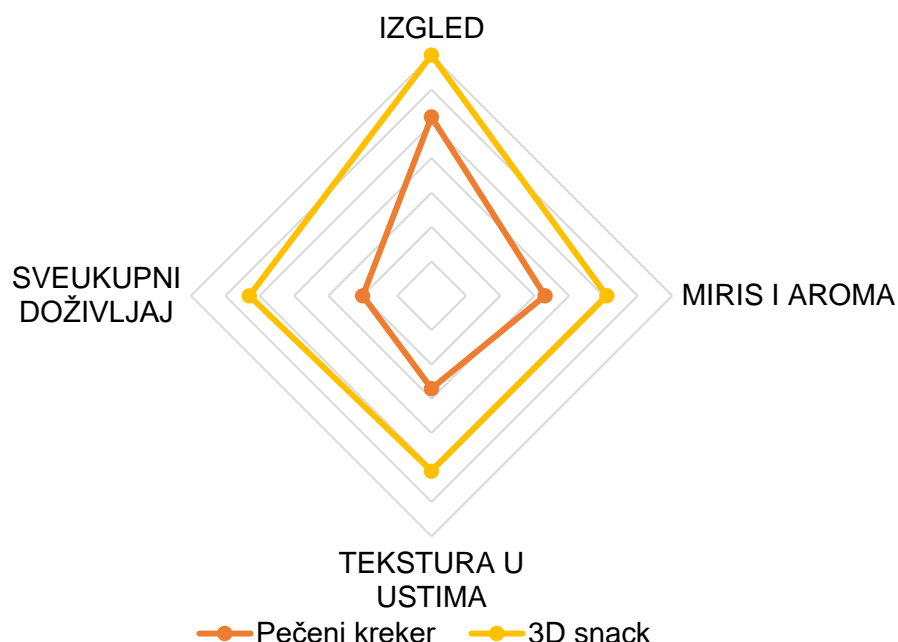
Slika 15. Površina hlapivih spojeva dobivenih plinskom kromatografijom uzoraka s dodatkom psilijuma (Luk-psilijum), natrijeva alginata (Luk-natrijev alginat) i bez dodatka hidrokolojida (Luk- bez hidrokolojida)

Rezultati ukazuju na razlike u intenzitetu i vrsti hlapivih spojeva među uzorcima. Najveće površine hlapivih spojeva zabilježene su u uzorku s dodatkom psilijuma (Luk-psilijum), dok su površine pikova u uzorcima bez hidrokolojida (Luk-bez hidrokolojida) bile u većini slučajeva najniže. Primjerice, površine spojeva poput heksanala (34650708 ± 6076175) i benzaldehida ($25009250 \pm 540675,8$), važnih za stvaranje orašastih nota, bile su najviše u uzorku Luk-psilijum. Uzorak Luk-bez hidrokolojida imao je najniže vrijednosti za spojeve poput 2-pentil furana (4132089 ± 483090) i E-2-nonenala (9195450 ± 925753), što može biti posljedica manjeg kapaciteta za zadržavanje hlapivih spojeva. Dodatak hidrokolojida, poput psilijuma i natrijeva alginata, značajno poboljšava očuvanje hlapivih spojeva. Psilijum se pokazao posebno učinkovit što se može pripisati njegovoj sposobnosti zadržavanja vlage i hlapivih komponenti što rezultira očuvanjem spojeva poput 1-heksanola i 1-okten-3-ola, koji doprinose voćnim i zemljanim aromama, dok su njihove vrijednosti bile najmanje u uzorku bez hidrokolojida. E,E-2,4-dekadienal bio je zabilježen u najmanjim koncentracijama. Uzorak s natrijevim alginatom imao je srednje vrijednosti između uzoraka Luk-psilijum i Luk-bez hidrokolojida, što ukazuje na određeni, ali slabiji utjecaj na očuvanje hlapivih spojeva. Uzorak s dodatkom psilijum pokazao se najefikasnijim u očuvanju hlapivih spojeva, što može značajno unaprijediti organoleptički profil proizvoda. Choi i sur. (2017) proveli su istraživanje hlapivih spojeva u uzorcima sušenog luka te su nađeni spojevi koji se podudaraju s analizom heksanal,

E-2-octenal i benzaldehid, dok je kod Colina- Cola i sur. (2013) detektiran i 2- pentil furan. Arome su bile izraženije u uzorku Luk-psilijum, dok su rezultati bili slični u uzorcima Luk-natrijev alginat i Luk-bez hidrokoloida. Razlika između senzorske i GC-MS analize može proizlaziti iz činjenice da senzorska analiza obuhvaća cjelokupan doživljaj arome, uključujući i spojeve prisutne u nižim koncentracijama, dok prikazani podaci pokazuju samo određene spojeve karakteristične za sirovine te je potrebna detaljnija analiza koja će uključiti i druge spojeve.

4.6. REZULTATI SENZORSKE ANALIZE 3D I KONVENCIONALNOG SNACK-A I ANKETE O STAVOVIMA PREMA 3D HRANI

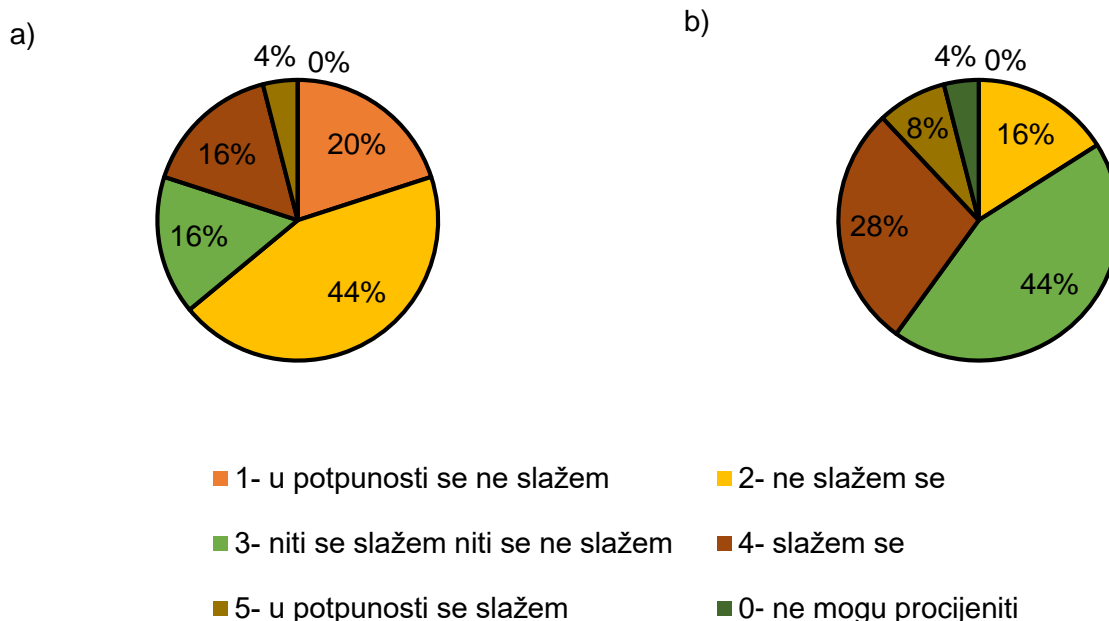
U ovom diplomskom radu provedena je i senzorska analiza kojom su uspoređeni 3D i konvencionalni *snack*, a rezultati su prikazani na slici 16.



Slika 16. Grafički prikaz senzorske analize 3D i konvencionalnih *snack*-ova s dodanom aromom luka

Prema rezultatima hedonističke senzorske analize između konvencionalnih krekeri i 3D *snack*-ova, može se primijetiti značajna razlika u preferencijama studenata koji su sudjelovali u istraživanju. 3D *snack* postigao je znatno bolje prosječne ocjene u svim analiziranim parametrima - izgledu, mirisu i aromi, teksturi u ustima, kao i sveukupnom doživljaju (slika 16). Kod izgleda, prosječna ocjena za 3D *snack* bila je $7,0 \pm 1,2$, dok je pečeni kreker postigao ocjenu $5,2 \pm 1,3$. Slično tome, za miris i aromu, 3D *snack* postigao je ocjenu $5,1 \pm 1,4$, naspram $3,3 \pm 1,5$ za pečeni kreker. Primijećena je razlika i u teksturi, gdje je 3D *snack* dobio ocjenu $5,1 \pm 1,4$ u usporedbi s pečenim krekerom koji je postigao ocjenu $2,7 \pm 1,0$.

1,4, ali je važno napomenuti da su konvencionalni krekeri djelomično navukli vlagu i omekšali što je moglo utjecati na nižu ocjenu. Konačno, sveukupni doživljaj je također bio pozitivniji kod 3D *snack*-a s prosječnom ocjenom $5,3 \pm 1,3$ u usporedbi s pečenim krekerom ocijenjenim $2,0 \pm 1,5$. Test preferencije također je potvrdio ove rezultate, gdje je od 29 ispitanika njih 25 izabralo 3D *snack*-ove, dok su samo 2 ispitanika preferirala pečene, a 2 ispitanika nisu imala preferencu. Rezultati upućuju na to da 3D *snack*-ovi pružaju bolji senzorski doživljaj u usporedbi s pečenima. Rezultati se slažu s istraživanjem koje su proveli Manstan i sur. (2020). To istraživanje je provedeno među 133 ispitanika koji su ocjenjivali dva kolačića od kojih je jedan konvencionalni, a drugi dobiven 3D ispisom. Pokazalo se da postoji razlika u preferenciji izgleda između uzoraka kolačića pri čemu je 3D kolačić pokazao značajno veću prihvaćenost. Ukupne ocjene za kolačiće iznosile su 7,5 i 7,6 na hedonističkoj skali od 9 točaka te se može zaključiti da su ispitanici imali pozitivno iskustvo s 3D kolačićem.

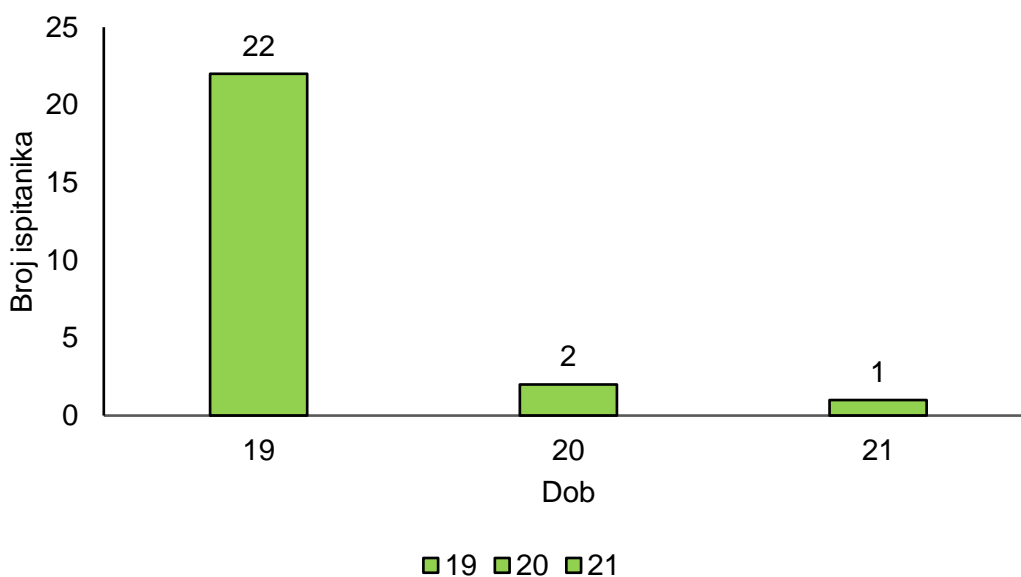


Slika 17. Odgovori na pitanja „Na današnjoj senzorskoj analizi, informacija da se radi o 3D *snack*-u je NEGATIVNO utjecala na moju percepciju i prihvatljivost proizvoda.“ (a) i „Na današnjoj senzorskoj analizi, informacija da se radi o 3D *snack*-u je POZITIVNO utjecala na moju percepciju i prihvatljivost proizvoda.“ (b)

Nakon senzorske analize konvencionalnih krekeri i 3D *snack*-a, među ispitanicima je provedena anketa te je od 29 prisutnih studenata anketu ispunilo njih 25. Na tvrdnju kako je 3D *snack* negativno utjecao na vlastitu percepciju i prihvatljivost proizvoda (slika 17a), 44 % ispitanika odgovorilo je da se ne slaže s tom tvrdnjom u usporedbi sa 28 % ispitanika koji su

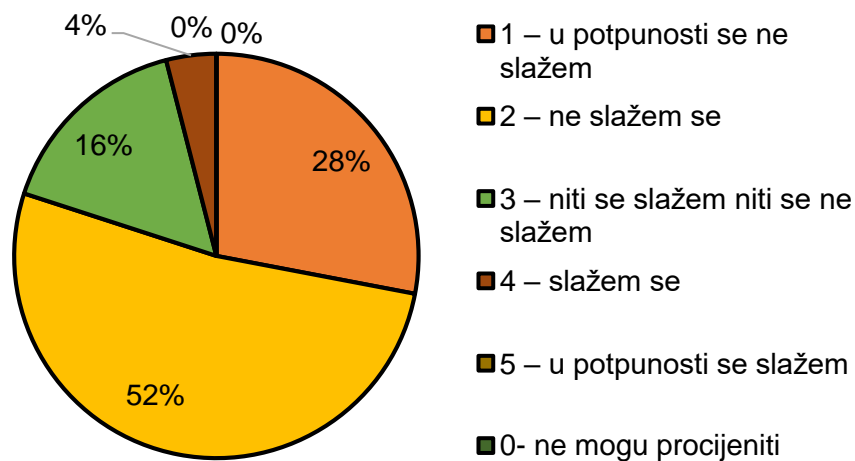
se složili s tvrdnjom kako je današnja senzorska analiza pozitivno utjecala na percepciju i prihvatljivost 3D *snack*-a (slika 17b). Ipak, 16 % ispitanika i dalje je imalo negativan stav i nije se složilo s pozitivnom tvrdnjom prema 3D *snack*-u. Feng i sur. (2022) navode kako razlozi za nepovjerenje prema novim tehnologijama i novoj hrani mogu biti višestruki, poput nedostatka edukacije o tehnologiji i njezinih prednosti, neofobije te neprihvatanja hrane proizvedene novom tehnologijom od strane potrošača. Ipak, informiranje potrošača o novoj hrani i tehnologiji pokazalo je pozitivan učinak i napredak za poboljšanje stavova prema navedenom (Zu i Xie, 2015).

Raspodjela ispitanika ankete po dobnoj granici prikazana je na slici 18.



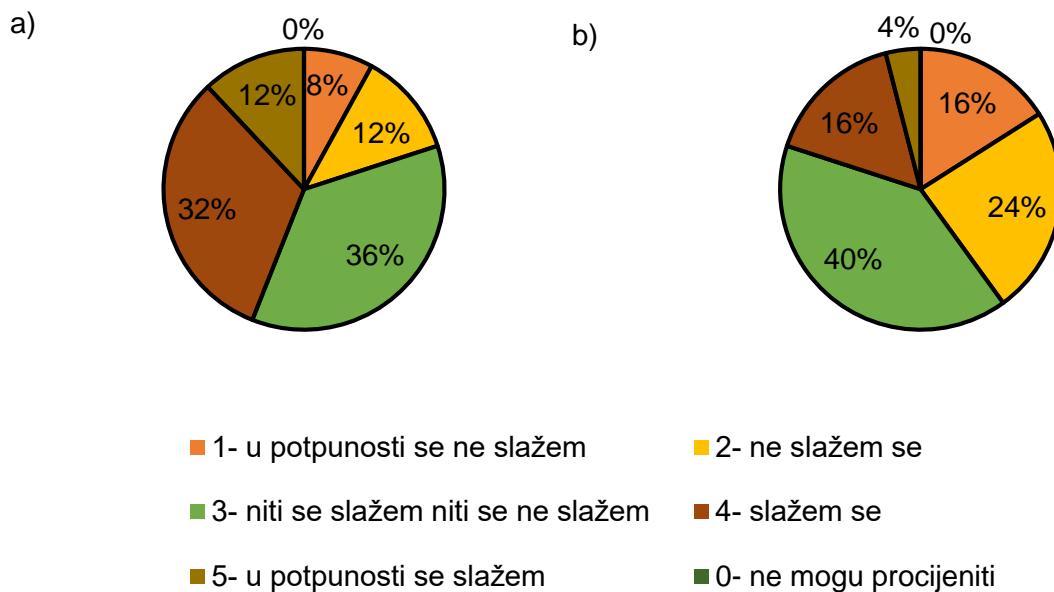
Slika 18. Prikaz raspodjele ispitanika prema dobnim granicama

Sudionici ankete bili su starosti između 19 i 21 godine te su svi ispitanici bili ženskog spola.



Slika 19. Odgovori na pitanje „Dobro sam upoznat/a s tehnologijom 3D ispisa hrane.“

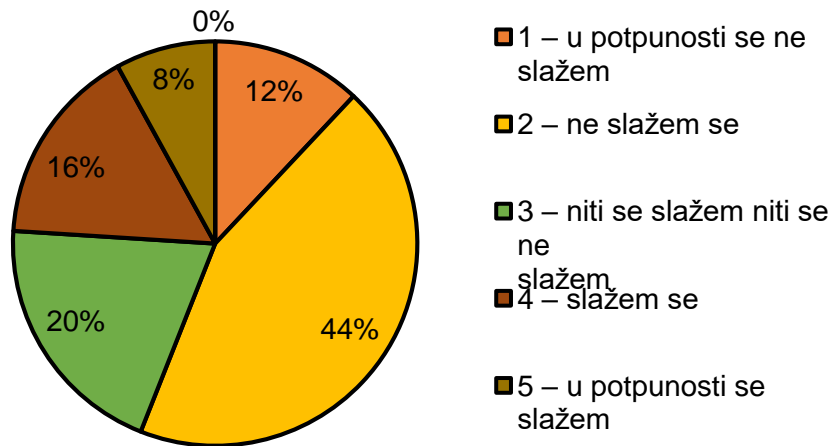
Od ukupnog broja ispitanika, najveći postotak, njih 52 % se nije složilo s tvrdnjom da je dobro upoznata s tehnologijom 3D ispisa hrane (slika 19). Suprotno tome, samo 4 % ispitanika se složilo s navedenom tvrdnjom. Tesikova i sur. (2022) naveli su kako je većina ispitanika (90,6 %) u njihovoj provedenoj anketi navela da je čula za 3D ispis. Za usporedbu su naveli istraživanje od Mantihal i sur. (2019) gdje je 63,5 % ispitanika navelo kako je upoznato s tehnologijom 3D ispisa te pretpostavljaju da je osviještenost o ovoj tehnologiji napredovala s vremenom. No, u istom istraživanju pokazalo se kako je znanje o 3D ispisu hrane i dalje slabo (38,8 %) što podupire istraživanje provedeno od Brunner i sur. (2018) koji su ustanovili kako potrošači imaju relativno loše prijašnje znanje o 3D ispisu hrane.



Slika 20. Odgovori na pitanja „Ne bi me smetalo konzumirati 3D hranu.“ (a) i „Kupovao/la bih 3D hranu.“ (b)

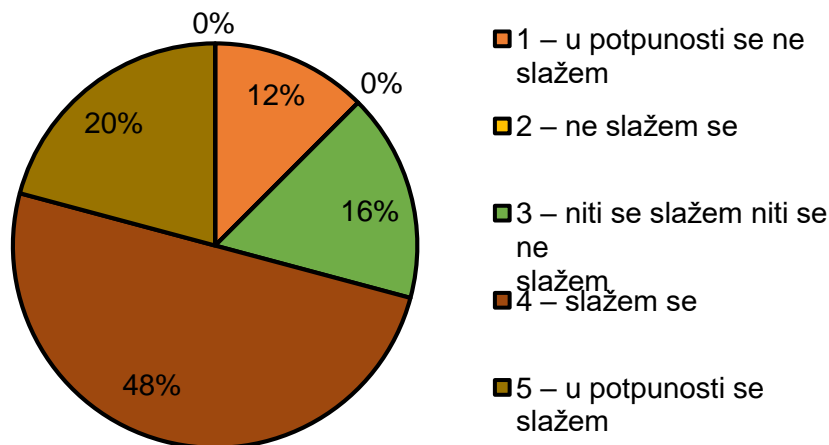
32 % ispitanika izjasnilo se kako im ne bi smetalo konzumirati 3D hranu u usporedbi sa samo 12 % ispitanika koje se nije složilo s tom tvrdnjom (slika 20a). Silva i sur. (2024) proveli su anketu kako bi bolje poznavali i razumjeli percepciju, motivaciju i konzumaciju povezanu s 3D ispisom te su rezultati pokazali kako je 51,6 % potrošača spremno probati 3D hranu.

Od svih ispitanika, njih 24 % se nije složilo s tvrdnjom i 16 % se u potpunosti nije složilo da bi kupilo 3D hranu, dok se manji postotak (16 %) složio s navedenom tvrdnjom (slika 20b). Sklonost potrošača za kupovinu 3D hrane određena je njihovim stavovima, subjektivnim stavovima, senzorskom prihvatljivosti, zdravstvenim rizicima i ekološkom prihvatljivosti (Chang i sur., 2024). Iako su neka ispitivanja pokazala da potrošači smatraju 3D hranu zdravom, ostali su ju opisali kao nepoznatu, neprirodnu i nezdravu (Feng i sur., 2022; Mantihal i sur., 2019; Manstan i McSweeney, 2019; Lupton i Turner, 2018).



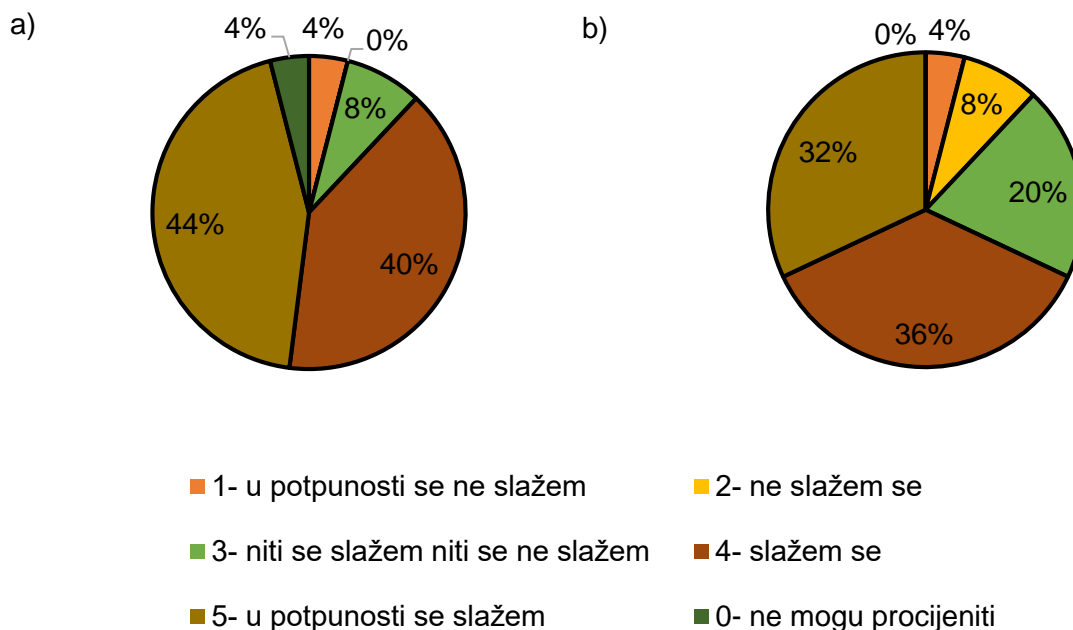
Slika 21. Odgovori na pitanje „Osjećam veliku odbojnost prema 3D hrani.“

44 % ispitanika se nije složilo s tvrdnjom kako osjeća veliku odbojnost prema 3D hrani, dok je njih 16 % odgovorilo kako se slaže s navedenom tvrdnjom (slika 21). Neofobiju se može definirati kao sklonost odbijanju ili oklijevanju kušanja nove i nepoznate hrane koja može imati značajan utjecaj na izbor hrane kod djece, preferencije okusa i kvalitetu prehrane te to može rezultirati odbojnošću prema novoj hrani u odrasloj dobi (Białek-Dratwa i sur., 2022). Brunner i sur. (2018) istraživali su formiranje stavova potrošača i evoluciju prema ovoj tehnologiji. Među 260 ispitanika, pokazalo se da su prijavljeni potrošači imali minimalno znanje o 3D ispisu hrane. Razlog za to može biti neupućenost sudionika u tehnologije 3D ispisa, kao i 3D hrane. Nakon što potrošači dobiju pravilnu edukaciju i upoznaju se s novim prehrambenim proizvodima i tehnologijom, njihova volja da kupuju i jedu hranu ima tendenciju rasta (Tuorila i sur., 2001).



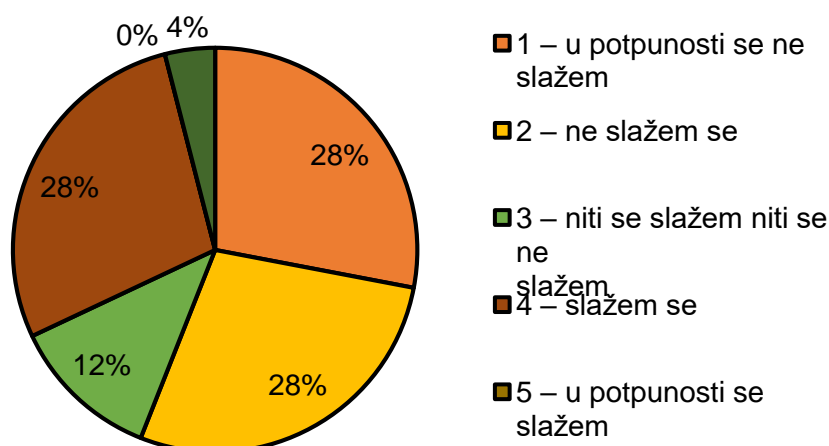
Slika 22. Odgovori na pitanje „Sviđa mi se ideja personalizirane 3D hrane (napravljene specifično za individualne potrebe alergije, intolerancije, sklonosti itd.).“

Kao što je vidljivo na slici 22, 48 % ispitanika izrazilo je sviđanje prema ideji personalizirane 3D hrane, dok je dodatnih 20 % ispitanika izjavilo da se u potpunosti slaže s navedenom tvrdnjom. Rezultati se slažu s istraživanjem provedenom od Mantihal i sur. (2019) koji su istraživali percepciju potrošača prema 3D čokoladi. Više od polovice ispitanika smatralo je da se 3D pisač može koristiti za pripremu zdravih *snack*-ova (56,1 %), da potencijalno rješava disfagiju gutanja (53,7 %) i može biti koristan za personalizaciju prehrane (57,4 %) te ima potencijal za smanjenje otpada (56,6 %). U istraživanju provedenom od Tesikova i sur. (2022) od 1156 ispitanika, njih 37,6 % složilo se s korištenjem 3D ispisa u zdravstvene svrhe za izradu obroka za pacijente na prilagođenoj dijeti te za osobe s probavnim problemima i problemima s gutanjem.



Slika 23. Odgovori na pitanja „Općenito volim kuhati.“ (a) i „Volim isprobavati nova jela i nove prehrambene proizvode.“ (b)

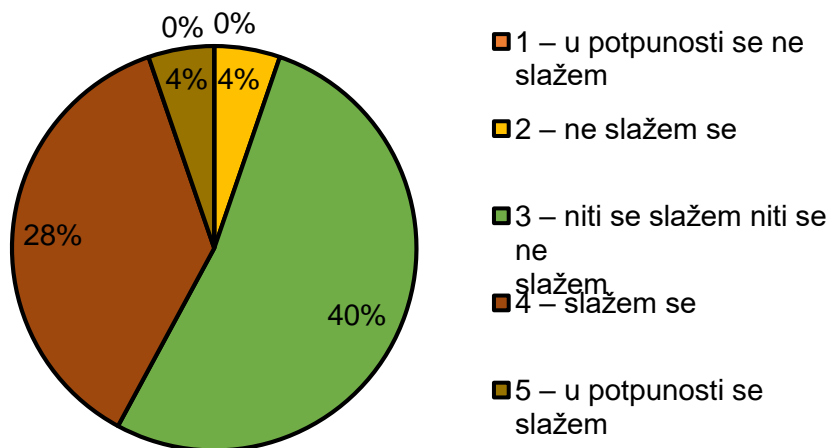
Većina ispitanika izjasnila je kako voli isprobavati nova jela i nove prehrambene proizvode te vole kuhati (slika 23). Prema Feng i sur. (2022) stav sudionika prema 3D ispisu bio je pozitivniji nakon primitka informacija i prilike da se kušaju proizvodi.



Slika 24. Odgovori na pitanje „Kupio/la bih 3D pisač za kućnu upotrebu.“

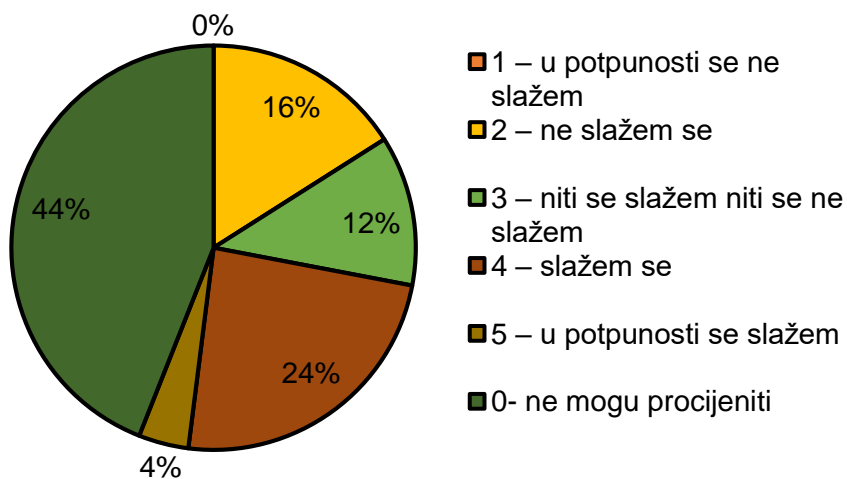
Odgovori vezani uz kućnu upotrebu 3D pisača prikazani su na slici 24 i podijeljeni, pri čemu je jednak postotak ispitanika (28 %) odgovorilo kako se s tom tvrdnjom ne slaže i u

potpunosti se ne slaže, a njih također 28 % reklo je kako se slaže s navedenom tvrdnjom. Istraživanje koje su proveli Mantihal i sur. (2019) pokazali su nešto otvoreniji stav prema upotrebi 3D pisača u kućanstvu gdje je 54,5 % ispitanika izrazilo spremnost da u svom domu ima 3D pisač za hranu, njih 30,3 % navelo je da nije sigurno, dok se 15,2 % se opredijelilo da neće imati 3D pisač za hranu. Također, u istraživanju provedenom od Talens i sur., 50 % ispitanika vjeruje kako bi 3D pisači bili korisni u domovima.



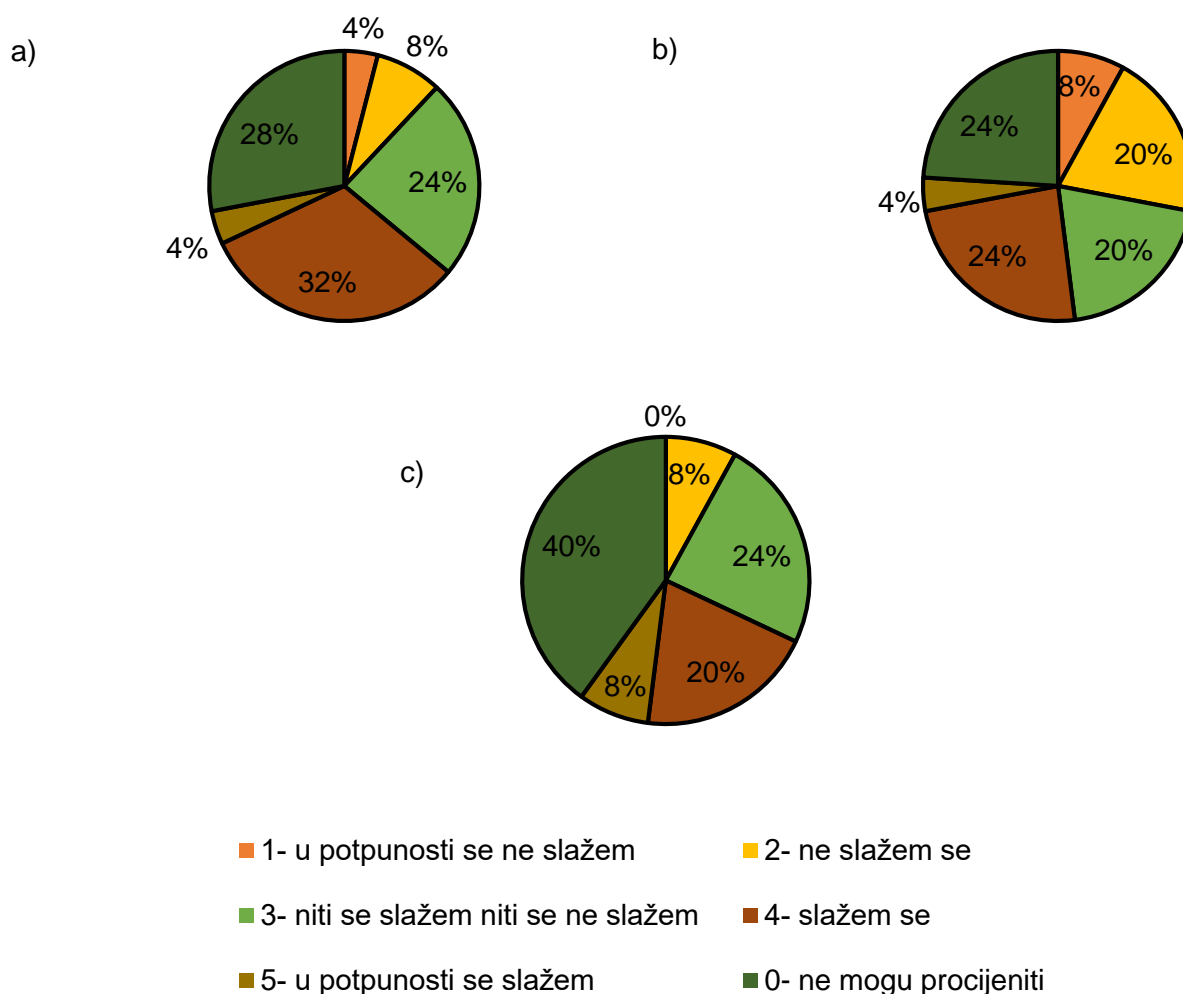
Slika 25. Odgovori na pitanje „3D hrana je sigurna za konzumaciju.“

U provedenoj anketi, 28 % ispitanika se složilo kako je 3D hrana sigurna za konzumaciju, dok se 40 % njih se nije opredijelilo niti da se slaže niti da se ne slaže (slika 25). Ponavljana konzumacija *snack* proizvoda proizvedenih 3D ispisom imala je pozitivan utjecaj na stavove sudionika u istraživanju koje su proveli Manstan i McSweeney (2019). Sudionici su ocijenili 3D hranu znatno boljom nakon degustacije u usporedbi s ocjenama prije konzumacije.



Slika 26. Odgovori na pitanje „3D hrana je ultraprocesirana hrana.“

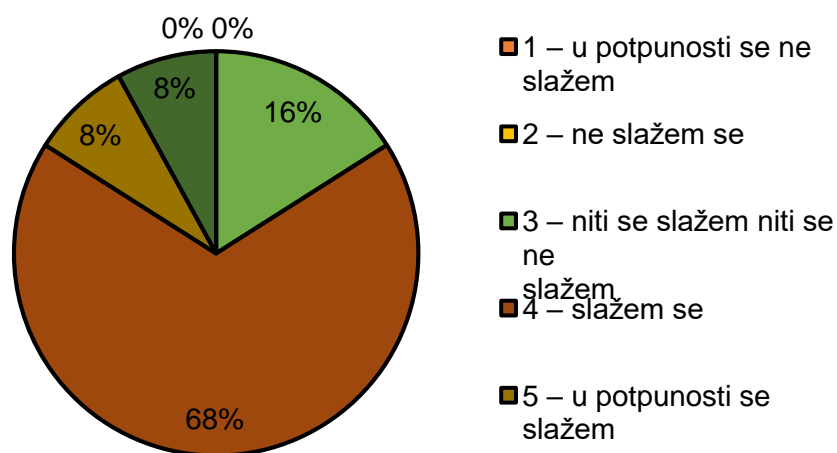
Na slici 26 prikazano je kako gotovo polovica ispitanika (44 %) nije mogla procijeniti smatra li 3D hranu ultraprocesiranom hranom, dok se 24 % ispitanika slagalo s tom tvrdnjom u usporedbi sa 16 % ispitanika koji nisu smatrali 3D hranu ultraprocesiranom. Istraživanje koje su proveli Manstan i McSweeney (2019) među 329 ispitanika pokazalo je da sudionici smatraju da su konvencionalni prehrambeni proizvodi više obrađeni od 3D proizvoda. No, potrošači kojima je bitno da je hrana označena kao „prirodna“ mogu percipirati 3D hranu kao ultra-prerađenu i neprirodnu zbog broja koraka obrade (npr. miješanje smjesa i ponekad dodavanje aditiva za stvaranje željenih tekstura za ispis).



Slika 27. Odgovori na pitanja „Ispis hrane pridonosi održivom načinu proizvodnje hrane.“ (a) i „3D ispis hrane može smanjiti troškove proizvodnje hrane.“ (b) i „3D hrana je ekološki prihvatljiva.“ (c)

Na tvrdnju kako je 3D hrana ekološki prihvatljiva 40 % ispitanika nije moglo procijeniti i 24 % ispitanika se nije opredijelilo (slika 27c), kao ni za tvrdnju da 3D ispis hrane pridonosi održivom načinu proizvodnje (slika 27a). Nešto manje ispitanika odgovorilo je da nije moglo procijeniti pridonosi li ispis hrane održivom načinu proizvodnje, dok se 32 % ispitanika složilo

s navedenom tvrdnjom. Na tvrdnju da 3D ispis hrane može smanjiti troškove proizvodnje hrane odgovori su bili raspodijeljeni te nijedan stav nije značajno odskakao (slika 27b). Ti podaci pokazuju da nedostaje informacija o ekološkim aspektima 3D hrane te da je potrebna dodatna edukacija o procesu ispisa i njegovom učinku na okoliš. Istraživanja pokazuju da se stavovi potrošača prema novim tehnologijama u prehrani poboljšavaju s povećanjem njihovog znanja i iskustva s tim tehnologijama (Jaeger i sur., 2015). Nasuprot tome, gotovo polovica sudionika u istraživanju provedenom od Manstan i McSweeney (2019) izjavila je da smatra kako je hrana proizvedena 3D ispisom ekološki prihvatljiva, održiva, zdrava te da bi u budućnosti bili voljni kupovati 3D hranu što ukazuje na pozitivnu percepciju ispitanika prema inovativnim tehnologijama.



Slika 28. Odgovori na pitanje „3D ispis je perspektivna moderna tehnologija koja omogućava razvoj nove hrane.“

Većina ispitanika, njih 68 % smatralo je da 3D ispis perspektivna moderna tehnologija koja omogućava razvoj nove hrane (slika 28). Tesikova i sur. (2022) promatrali su percepciju potrošača o 3D ispisu hrane te su među 969 ispitanika pokazali kako njih 83,8 % vjeruje da je 3D ispis hrane budućnost prehrambenog sektora.

5. ZAKLJUČCI

1. Dodatak začina (bosiljak, origano, paprika, luk) utjecao je na senzorsku prihvatljivost bezglutenskih 3D *snack*-ova na bazi brašna prosa, brašna kukuruza, brašna batata i proteina riže, pri čemu je začina luk u prahu postigao najviše ocjene u svim kategorijama senzorskih svojstava (miris, okus i aroma, sveukupni doživljaj).
2. Test nizanja po preferenciji pokazao je kako je dodatak arome luka u tijesto najpoželjniji način dodatka. Ocjene ukupnog okusa i arome za uzorke u koje je luk dodan u obliku prehrambene arome ($6,7 \pm 1,0$) i uzorke u koje je luk dodan kao začina u prahu ($6,7 \pm 1,03$) postigli su slične rezultate, dok je najvišu ocjenu za ukupni miris postigao uzorak u koji je luk dodan u obliku prehrambene arome ($5,8 \pm 0,9$).
3. Dodatak prehrambene arome luka, rezultiralo je nižom razinom fruktana u 3D *snack* proizvodima ($0,267 \pm 0,005$ g fruktana u 100 g uzorka) u usporedbi s lukom u prahu ($0,391 \pm 0,001$ g fruktana u 100 g uzorka), ali su obje razine bile veće od uzorka bez dodatka luka ($0,065 \pm 0,004$ g fruktana u 100 g uzorka).
4. 3D *snack* bez dodatka hidrokoloida dobio je najbolje ocjene u hedonističkoj senzorskoj analizi, pri čemu je sveukupni doživljaj ocijenjen s ocjenom $7,6 \pm 1,2$, a *snack* s dodatkom psilijuma ocijenjen je bolje od uzorka s dodatkom natrijevog alginata koji je rezultirao najvećom tvrdoćom *snack* proizvoda i naknadnim gorkim okusom.
5. 3D *snack* proizvodi na bazi brašna prosa, brašna batata i proteina riže s dodatkom arome luka bili su prihvatljiviji od konvencionalnih krepera iste recepture.
6. Postoji potencijal za prihvaćanje 3D *snack* proizvoda među studentskom populacijom i prevladava pozitivan stav prema 3D ispisu, ali su potrebni daljnji naponi u informiranju potrošača o prednostima i sigurnosti 3D hrane kako bi se povećala njihova prihvaćenost.

7. LITERATURA

Akhila PP, Aaliya B, Navaf M, Sudheer KP, Mir SA, Sunooj KV (2023) 3D Food Printing. *Cereal-Based Food Products*. Springer, Cham. 313–341. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40308-8_14

Alencar NMM, de Araújo VA, Faggian L, da Silveira Araújo MB, Capriles VD (2021) What about gluten-free products? An insight on celiac consumers' opinions and expectations. *J. Sens. Stud* **36**(4), e12664. <https://doi.org/10.1111/joss.12664>

Anton AA i Artfield SD (2008) Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr* **59**(1), 11–23. <https://doi.org/10.1080/09637480701625630>

Axpe E i Oyen ML (2016) Applications of alginate-based bioinks in 3D bioprinting. *International Journal of Molecular Sciences* **17**(12), 1976. <https://doi.org/10.3390/ijms17121976>

Ayu AM, Anjani G, Afifah DN, Asikin Y, Ayustaningwarno F (2024) Enhancing Quality and Stability of Herbs, Spices, and Citrus Flavored Vegetable Oil: Challenges and Future Developments. *Future Foods*, 100455–100455. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100455>.

Barak S i Mudgil D (2022) Application of bioactives from herbs and spices for improving the functionality and shelf life of dairy products—A review. *Biointerface Research in Applied Chemistry* **13**(2), 141. <https://doi.org/10.33263/BRIAC132.141>

Belorio M i Gomez M (2020) Psyllium: A useful functional ingredient in food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1-12. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1822276>

Białek-Dratwa A, Szczepańska E, Szymańska D, Grajek M, Krupa-Kotara K, Kowalski O (2022) Neophobia—a natural developmental stage or feeding difficulties for children? *Nutrients* **14**(7), 1521. <https://doi.org/10.3390/nu14071521>

Biesiekierski JR, Peters SL, Newnham ED, Rosella O, Muir JG, Gibson PR (2013) No Effects of Gluten in Patients With Self-Reported Non-Celiac Gluten Sensitivity After Dietary Reduction of Fermentable, Poorly Absorbed, Short-Chain Carbohydrates. *Gastroenterology* **145** (2), 320-328.e3. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2013.04.051>

Bisen PS i Emerald M (2016) Nutritional and therapeutic potential of garlic and onion (*Allium* sp.). *Current Nutrition & Food Science* **12** (3), 190–199. <https://doi.org/10.2174/1573401312666160608121954>

Brennan MA (2012) Modulating the glycaemic response of ready to eat extruded snack products utilising dietary fibre and fibre rich waste stream materials, (Doctoral dissertation, Manchester Metropolitan University).

Brennan MA, Derbyshire E, Tiwari BK, Brennan CS (2013) Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science & Technology* **48** (5), 893–902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12099>

Brouns F, Delzenne N, Gibson G (2017) The dietary fibers—FODMAPs controversy. *Cereal Foods World* **62**(3), 98–103. <https://10.1094/CFW-62-3-0098>

Brownlee IA, Allen A, Pearson JP, Dettmar PW, Havler ME, Atherton MR i sur. (2005) Alginate as a source of dietary fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **45** (6), 497–510. <https://doi.org/10.1080/10408390500285673>

Brunner TA, Delley M, Denkel C (2018) Consumers' attitudes and change of attitude toward 3D-printed food. *Food Quality and Preference*, **68**, 389–396. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.12.010>

Bukit BF, Syamani FA, Rochima E, Panatarani C, Widiyastuti W, Praseptiangga D, i sur. (2024) Review of alginate-based composites for 3D printing material. *Polymers from Renewable Resources* **15**(2), 256–277. <https://doi.org/10.1177/20412479241227137>.

Çakmak H i Gümüş CE (2020) 3D food printing with improved functional properties: A review. *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.* **4** (2), 178–192. https://www.researchgate.net/publication/343655333_3D_Food_Printing_with_Improved_Functional_Properties_A_Review. Pristupljeno 17. listopada 2024.

Cappa C, Lucisano M, Mariotti M (2013) Influence of psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, **98** (2), 1657–1666. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.007>

Caulier S, Doets E, Noort M (2020) An exploratory consumer study of 3D printed food perception in a real-life military setting. *Food Quality and Preference*, **86**, 104001. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104001>

Chen Y, Zhang M, Sun Y, Phuhongsung P (2022) Improving 3D/4D printing characteristics of natural food gels by novel additives: A review. *Food Hydrocolloids* **123**, 107160. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107160>

Choi SM, Lee DJ, Kim JY, Lim ST (2017) Volatile composition and sensory characteristics of onion powders prepared by convective drying. *Food Chemistry* **231**, 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.129>.

Colina-Coca C, González-Peña D, Vega E, de Ancos B, Sánchez-Moreno C (2013) Novel approach for the determination of volatile compounds in processed onion by headspace gas chromatography–mass spectrometry (HS GC–MS). *Talanta*, **103**, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.10.022>

Culetu A, Duta DE, Papageorgiou M, Varzakas T (2021) The role of hydrocolloids in gluten-free bread and pasta; rheology, characteristics, staling and glycemic index. *Foods* **10**(12), 3121. <https://doi.org/10.3390/foods10123121>

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* **184**, 115065. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115065>

Ćorković I, Pichler A, Šimunović J, Kopjar M (2021) Hydrogels: Characteristics and Application as Delivery Systems of Phenolic and Aroma Compounds. *Foods* **10**(6), 1252. <https://doi.org/10.3390/foods10061252>

Dankar I, Haddarah A, Omar FEL, Sepulcre F, Pujola M (2018) 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration. *Trends in Food Science & Technology* **75**, 231–242. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.018>

- 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.foodeng.2017.05.015>
- Di Renzo T, Trivisonno MC, Nazzaro S, Reale A, Messia MC (2024) Effect of different hydrocolloids on the qualitative characteristics of fermented gluten-free quinoa dough and bread. *Foods* **13** (9), 1382. <https://doi.org/10.3390/foods13091382>
- Dickinson E (2003) Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids* **17**(1), 25–39. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00120-5)
- Dieker, V., Rieger, C., Sauer, G., Szanto, V., & Schmitt, J. J. (2012). Taste-and flavour-quenching of horseradish by hydrocolloids. *Advance Journal of Food Science and Technology* **4**(5), 231. https://www.researchgate.net/publication/283774396_Taste- and Flavour-Quenching_of_Horseradish_by_Hydrocolloids. Pristupljeno 22. studenog 2024.
- Drakula S, Čukelj Mustač N, Novotni D, Voučko B, Krpan M, Hruškar M i sur. (2022) Optimization and validation of a HS-SPME/GC–MS method for the analysis of gluten-free bread volatile flavor compounds. *Food Analytical Methods* **15**, 1155–1170. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02076-3>
- Drapeau V, Pomerleau S, Provencher V (2017) Snacking and energy balance in humans. *Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease* 539–568. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391884-0.00027-5>
- Dziezak JD (1991) A focus on gums. *Food Technology (Chicago)*, **45** (3), 116–132.
- Espinosa-Ramirez, J. (2022). Seasonings for Snack Foods. *Snack Foods*, 179-200.
- Feng X, Khemacheevakul K., De León Siller, S, Wolodko J, Wismer W (2022) Effect of labelling and information on consumer perception of foods presented as 3D printed. *Foods* **11**(6), 809. <https://doi.org/10.3390/foods11060809>
- Filipčev B, Pojić M, Šimurina O, Mišan A, Mandić A (2021) Psyllium as an improver in gluten-free breads: Effect on volume, crumb texture, moisture binding and staling kinetics. *LWT* **151**, 112156. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112156>
- Fratelli C, Santos FG, Muniz DG, Habu S, Braga ARC, Capriles VD (2021) Psyllium Improves the Quality and Shelf Life of Gluten-Free Bread. *Foods* 2021, **10**, 954. <https://doi.org/10.3390/foods10050954>
- Gallagher E, Gormley, T, Arendt E (2004) Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, **15**(3–4), 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012>
- Gawlik-Dziki U, Świeca M, Dziki D, Baraniak B, Tomiło JP, Czyż J (2013) Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion (*Allium cepa* L.) skin. **138** (2-3), 1621–1628. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.151>
- Ghawi SK, Rowland I, Methven L (2014) Enhancing consumer liking of low salt tomato soup over repeated exposure by herb and spice seasonings, *Appetite* **81**, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.05.029>

Godoi FC, Prakash S, Bhandari BR (2016) 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering* **179**, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>

Golubić P (2021) Fizikalna svojstva trodimenzijski tiskanog snack proizvoda obogaćenog obrađenim pšeničnim posijama. (diplomski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Grgić, T (2020) Utjecaj sastava tijesta na tehnološke karakteristike trodimenzionalno ispisanih keksa. (Diplomski rad). Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Guo Z, Arslan M, Li Z, Cen S, Shi J, Huang X i sur. (2022) Application of protein in extrusion-based 3D food printing: Current status and prospectus. *Foods* **11**(13), 1902. <https://doi.org/10.3390/foods11131902>

Habuš M, Benković M, Iveković, D, Vukušić Pavičić T, Čukelj Mustač N i sur. (2022) Effect of oil content and enzymatic treatment on dough rheology and physical properties of 3D-printed cereal snack. *Journal of Cereal Science* **108**, 103559. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103559>

Hanify DE (2001) Snack seasoning application. *Snack foods processing*, 517-527.

Hassan HF, Mourad L, Khatib N, Assi R, Akil S, El Khatib S, Hteit R (2024) Perceptions towards gluten-free products among consumers: A narrative review. *Applied food research* **4**(2), 100441–100441. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100441>

Horstmann SW, Axel C, Arendt EK (2018) Water absorption as a prediction tool for the application of hydrocolloids in potato starch-based bread. *Food Hydrocolloids*, **81**, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.045>

Hu H, Guo J, Huang Z, Huang Q, Lu X (2023) Effect of different hydrocolloids on the physicochemical, printing, and digestion properties of 3D printed purple sweet potato. *Food Hydrocolloids* **144**, 109058. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109058>

Huang MS, Zhang M, Guo CF (2020) 3D printability of brown rice gel modified by some food Hydrocolloids. *J Food Process Preserv* **44** (7), 14502. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14502>

Hussain S, Malakar S, Arora VK (2021) Extrusion-based 3D food printing: Technological approaches, material characteristics, printing stability, and post-processing. *Food Engineering Reviews*. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09293-w>

Ispiryan L, Zannini E, Arendt EK (2020) Characterization of the FODMAP-profile in cereal-product ingredients. *Journal of Cereal Science* **92**, 102916. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102916>

Jaeger H, Knorr D, Szabó E, Hámori J, Bánáti D (2015) Impact of terminology on consumer acceptance of emerging technologies through the example of PEF technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **29**, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.12.004>

Kadival A, Kour M, Meena D, Mitra J (2023) Extrusion-based 3D food printing: Printability assessment and improvement techniques. *Food and Bioprocess Technology* **16**(5), 987–1008. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02931-z>

- Kahlon TS, Avena-Bustillos RJ, Chiu MCM (2016) Sensory evaluation of gluten-free quinoa whole grain snacks. *Heliyon* **2**(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00213>
- 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 (2019) Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *LWT* **101**, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.019>
- King ES, Kievit RL, Curtin C, Swiegers JH, Pretorius IS, Bastian SEP, Leigh Francis I (2010) The effect of multiple yeasts co-inoculations on Sauvignon Blanc wine aroma composition, sensory properties and consumer preference. *Food Chemistry* **122**(3), 618–626. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.021>.
- King CJ (1983) Physical and chemical properties governing volatilization of flavor and aroma components. *AVI Pub. Co.* 399-421
- Knežević N, Karlović S, Takács K, Szűcs V, Knežević S, Badanjak Sabolović M, Brnčić SR (2024) Consumer satisfaction with the quality and availability of gluten-free products. *Sustainability* **16**(18), 8215. <https://doi.org/10.3390/su16188215>
- Koh LW, Kasapis S, Lim KM, Foo CW (2009) Structural enhancement leading to retardation of in vitro digestion of rice dough in the presence of alginate. *Food Hydrocolloids* **23** (6), 1458–1464. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.020>
- Lisiecka K, Wójtowicz A, Mitrus M, Oniszczyk T, Combrzyński M (2021) New type of potato-based snack-pellets supplemented with fresh vegetables from the Allium genus and its selected properties. *LWT* **145**, 111233. <https://10.1016/j.lwt.2021.111233>
- Lisovska T i Harasym J (2023) 3D printing progress in gluten-free food—Clustering analysis of advantages and obstacles. *Applied Sciences* **13**(22), 12362. <https://doi.org/10.3390/app132212362>
- Liu Y, Liang X, Saeed A, Lan W, Qin W (2019) Properties of 3D printed dough and optimization of printing parameters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **54**, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.03.008>
- Liu Y, Tang T, Duan S, Qin Z, Li C, Zhang Z i sur. (2020) Effects of sodium alginate and rice variety on the physicochemical characteristics and 3D printing feasibility of rice paste. *LWT* **127**, 109360. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109360>
- Liu Z i Zhang M (2019) 3D food printing technologies and factors affecting printing precision. U F. C. Godoi, B. R. Bhandari, S. Prakash, & M. Zhang (Ur.), *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications* 19–40. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814564-7.00002-X>
- Liu Z, Zhang M, Bhandari B, Wang Y (2017) 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology* **69**, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.018>

- Lupton D i Turner B (2018) 'I can't get past the fact that it is printed': consumer attitudes to 3D printed food. *Food, Culture & Society* **21**(3), 402–418. <https://doi.org/10.1080/15528014.2018.1451044>.
- Mancebo CM, San Miguel MÁ, Martínez MM, Gómez M (2015) Optimisation of rheological properties of gluten-free doughs with HPMC, psyllium and different levels of water. *Journal of Cereal Science* **61**, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.10.005>
- Manstan T i McSweeney MB (2020) Consumers' attitudes towards and acceptance of 3D printed foods in comparison with conventional food products. *International Journal of Food Science & Technology* **55**(1), 323–331. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14292>
- Manstan T, Chandler SL, McSweeney MB (2020) Consumers' attitudes towards 3D printed foods after a positive experience: An exploratory study. *Journal of Sensory Studies*, **36**(1) e12619 <https://doi.org/10.1111/joss.12619>
- Mantihal S, Prakash S, Bhandari B (2019) Texture-modified 3D printed dark chocolate: Sensory evaluation and consumer perception study. *Journal of Texture Studies*. **50**(5), 386–399. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12472>
- Manzoor M, Singh J, Bandral JD, Gani A, Shams R (2020) Food hydrocolloids: Functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds. *International Journal of Biological Macromolecules* **165**, 554–567. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.182>
- Mattes R i Tan SY (2013) Snacking and energy balance in humans. *Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease* 501–515. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-391884-0.00027-5>
- Mir SA, Shah MA, Naik HR, Zargar IA (2016) Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. *Trends in Food Science & Technology* **51**, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.005>
- Mudau M i Adebo OA (2024) Three dimensional (3D)-printed foods: A review of recent advances in their ingredients, printing techniques, food printers, post-processing methods, consumer acceptance and safety. *Journal of Food Process Engineering* **47**(5), e14621. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14621>
- Obad K (2024) Utjecaj tehnika završne toplinske obrade na kvalitetu trodimenzijski ispisanog bezglutenskog snack proizvoda (diplomski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- Pangborn RM i Szczesniak AS (1974) Effect of hydrocolloids and viscosity on flavor and odor intensities of aromatic flavor compounds. *Journal of Texture Studies*, **4**(4), 467-482. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1974.tb00857.x>.
- Pérez B, Nykvist H, Brøgger AF, Larsen MB, Falkeborg MF (2019) Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A review. *Food Chemistry* **287**, 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.090>
- Radoš K, Benković M, Čukelj Mustač N, Habuš M, Voučko B, Vukušić Pavičić T i sur. (2022) Powder properties, rheology and 3D printing quality of gluten-free blends. *Journal of Food Engineering* **338**, 111251. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111251>

- Radoš K, Čukelj Mustač N, Varga K, Drakula S, Voučko B, Ćurić D i sur. (2022) Development of high-fibre and low-FODMAP crackers. *Foods* **11**(17), 2577. <https://doi.org/10.3390/foods11172577>
- 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>
- Reineccius GA i Yan C (2015) Factors controlling the deterioration of spray dried flavourings and unsaturated lipids. *Flavour and Fragrance Journal* **31**(1), 5–21. <https://doi.org/10.1002/ffj.3270>
- Ren Y, Linter BR, Foster TJ (2021) Effects of psyllium seed husk powder, methylcellulose, pregelatinised starch, and cold water swelling starch on the production of gluten-free crackers. *Food & Function* **12**(17), 7773–7786. <https://doi.org/10.1039/D0FO03377D>
- Rojas JA, Rosell CM, Benedito de Barber C (1999) Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids* **13**(1), 27–33. [https://doi.org/10.1016/s0268-005x\(98\)00066-6](https://doi.org/10.1016/s0268-005x(98)00066-6)
- Rosell C, Rojas J i Benedito de Barber C (2001) Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids* **15**(1), 75–81. [https://doi.org/10.1016/s0268-005x\(00\)00054-0](https://doi.org/10.1016/s0268-005x(00)00054-0)
- Ruiz-Aceituno L, Casado N, Arriero-Romo E, Morante-Zarcero S, Lázaro A i Sierra I (2024) Development of gluten-free bread based on maize and buckwheat and enriched with aromatic herbs and spices. *Applied Sciences* **14**(8), 3348. <https://doi.org/10.3390/app14083348>
- Rysenaer VBJ, Ahmadzadeh S, Van Bockstaele F, Ubeyitogullari A (2023) An extrusion-based 3D food printing approach for generating alginate-pectin particles. *Current Research in Food Science* **6**, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.11.023>
- Saldivar SOS (2016) Snack foods: Types and composition. *Encyclopedia of Food and Health* 13–18. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00633-4>
- Santos FG, Aguiar EV, Centeno ACLS, Rosell CM i Capriles VD (2020) Effect of added psyllium and food enzymes on quality attributes and shelf life of chickpea-based gluten-free bread. *LWT* 110025. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110025>
- Sciarini LS, Ribotta PD, León AE, Pérez GT (2012) Incorporation of several additives into gluten-free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering* **111**(4), 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.011>
- Silva F, Pereira T, Mendes S, Gordo L, Gil MM (2024) Consumer's perceptions and motivations on the consumption of fortified foods and 3D food printing. *Future Foods* **10**, 100423. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100423>
- Sim SY, Aziah AN, Cheng LH (2011) Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginates or konjac glucomannan. *Food Hydrocolloids* **25**(5), 951–957. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.009>
- Singh M i Singh R (2022) 3D food printing and its applications: A review. *International Journal of Innovation and Multidisciplinary Research* **1**(1), 1–11.

Sun J, Peng Z, Zhou W, Fuh JY, Hong GS, Chiu A (2015) A review on 3D printing for customized food fabrication. *Procedia Manufacturing* **1**, 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.057>

Sun J, Zhou W, Huang D, Fuh JYH, Hong GS (2015) An overview of 3D printing technologies for food fabrication. *Food Bioprocess Technology* **8**(8), 1605–1615. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1528-6>

Szymandera-Buszka K, Gumienna M, Jedrusek-Golinska A, Waszkowiak K, Hes M, Szwengiel A, Gramza-Michałowska A (2021) Innovative Application of Phytochemicals from Fermented Legumes and Spices/Herbs Added in Extruded Snacks. *Nutrients* **13**, 4538. <https://doi.org/10.3390/nu13124538>

Talens C, Rios Y, Santa Cruz E (2022) Leveraging innovative technologies for designing a healthy and personalized breakfast: Consumer perception of three smart cooking devices in the EU. *Open Research Europe* **1**, 151. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.14234.3>

Tesikova K, Jurkova L, Dordevic S, Buchtova H, Tremlova B, Dordevic D (2022) Acceptability analysis of 3D-printed food in the area of the Czech Republic based on survey. *Foods* **11**, 3154. <https://doi.org/10.3390/foods11203154>

Thangalakshmi S, Arora VK, Prithviraj V (2021) A comprehensive assessment of 3D food printing: Technological and processing aspects. *Journal of Biosystems Engineering* **46**, 286–304. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00106-w>

Thorakkattu P, Awasti N, Sajith Babu K, Khanashyam AC, Deliephan A, Shah K i sur. (2024) 3D printing: trends and approaches toward achieving long-term sustainability in the food industry. *Critical Reviews in Biotechnology* 1–21. <https://doi.org/10.1080/07388551.2024.2344577>

Tylewicz U, Inchingolo R, Rodriguez-Estrada MT (2022) Food aroma compounds. *Nutraceutical and Functional Food Components* 363–409. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85052-0.00002-7>

Varney J, Barrett J, Scarlata K, Catsos P, Gibson PR, Muir JG (2017) FODMAPs: Food composition, defining cutoff values and international application. *J. Gastroenterol. Hepatol* **32**, 53–61. <https://10.1111/jgh.13698>

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>

Welti-Chanes J, Tejada-Ortigoza V, García-Amezquita LE (2022) Application of Traditional and Emerging Processes, *Snack Foods*, 25-62

Xu J, Zhang Y, Wang W, Li Y (2020) Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science & Technology* **103**, 200–213. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.007>

Yang F, Zhang M, Bhandari B (2017) Recent development in 3D food printing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **57**(14), 3145–3153. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1094732>

Yao LH, Jiang YM, Shi J, Tomás-Barberán FA, Datta N, Singanusong R i sur. (2004) Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition* **59**(3), 113–122. <https://doi.org/10.1007/s11130-004-0049-7>

Yashin A, Yashin Y, Xia X, Nemzer, B (2017) Antioxidant activity of spices and their impact on human health: A review. *Antioxidants* **6** (3), 70. <https://doi.org/10.3390/antiox6030070>

Zannini E, Jones JM, Renzetti S, Arendt EK (2012) Functional replacements for gluten. *Annu Rev Food Sci T* **3**, 227–245. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101203>

Zhang J, Li Y, Cai Y, Ahmad I, Zhang A, Ding Y i sur. (2022) Hot extrusion 3D printing technologies based on starchy food: A review. *Carbohydrate Polymers* **294**, 119763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119763>

Zhu S, Stieger MA, van der Goot AJ, Schutyser MAI (2019) Extrusion-based 3D printing of food pastes: Correlating rheological properties with printing behaviour. *Innov. Food Sci. Emerg, Technol.* **58**, 102214. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102214>

Zoran A i Coelho M (2011) Cornucopia: the concept of digital gastronomy. *Leonardo*, **44**(5), 425–431. https://doi.org/10.1162/leon_a_00243.

PRILOZI

Prilog 1 ANKETA

Ispitivanje stavova o 3D tiskanoj hrani

Poštovane/i studentice/i,

Ovaj upitnik provodi se s ciljem ispitivanja stavova studentske populacije o 3D tiskanoj hrani.

Tehnološki napredak posljednjih desetljeća doveo je do razvoja inovativnih metoda proizvodnje hrane, među kojima se ističe 3D tiskanje hrane. Ova tehnologija, koja kombinira visoku razinu preciznosti s raznovrsnošću sastojaka, predstavlja potencijalno revolucionaran pristup proizvodnji hrane.

Vaše mišljenje i stavovi su od velike važnosti za naše istraživanje jer će nam pomoći da bolje razumijemo percepciju i prihvatljivost 3D tiskane hrane među studentskom populacijom. Vaši odgovori će biti tretirani anonimno i korišteni isključivo u svrhu istraživanja i diplomskog rada.

Molimo vas da iskreno odgovorite na pitanja koja slijede, imajući na umu svoje stavove, iskustva i mišljenja vezana za 3D tiskanu hranu. Vaš doprinos će biti od velike pomoći u istraživanju ove teme i unapređenju razumijevanja o budućnosti hrane.

Hvala na sudjelovanju!

Dob? (tekst kratkog odgovora)

Spol

- Muško
- Žensko

Dobro sam upoznat/a s tehnologijom 3D ispisa hrane.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Ne bi me smetalo konzumirati 3D hranu.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Kupovao/la bih 3D hranu.

- 1 – u potpunosti se ne slažem

- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Osjećam veliku odbojnost prema 3D hrani.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Sviđa mi se ideja personalizirane 3D hrane (napravljene specifično za individualne potrebe, alergije, intolerancije, sklonosti itd.).

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Općenito volim kuhati.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Kupilo/la bih 3D pisač hrane za kućnu upotrebu.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Volim isprobavati nova jela i nove prehrambene proizvode.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Ispis hrane pridonosi održivom načinu proizvodnje hrane.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem

- 0 - Ne mogu procijeniti

3D hrana je sigurna za konzumaciju.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

3D hrana je ultraprocesirana hrana.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

3D hrana je ekološki prihvatljiva.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

3D ispis je perspektivna moderna tehnologija koja omogućava razvoj nove hrane.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

3D ispis hrane može smanjiti troškove proizvodnje hrane.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Na današnjoj senzorskoj analizi, informacija da se radi o 3D snacku je NEGATIVNO utjecala na moju percepciju i prihvatljivost proizvoda.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

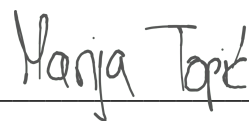
Na današnjoj senzorskoj analizi, informacija da se radi o 3D snacku je POZITIVNO utjecala na moju percepciju i prihvatljivost proizvoda.

- 1 – u potpunosti se ne slažem
- 2 – ne slažem se
- 3 – niti se slažem niti se ne slažem
- 4 – slažem se
- 5 – u potpunosti se slažem
- 0 - Ne mogu procijeniti

Ukratko opišite vaš općeniti stav o 3D hrani?

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja Marija Topić 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.

Handwritten signature of Marija Topić in black ink, written over a horizontal line.

Vlastoručni potpis