

Senzorska procjena trodimenzionalno ispisanih proizvoda na bazi jagode i maginje

Bavrka, Katarina

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:159:108996>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Sveučilišni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija

Katarina Bavrka
0058217921

**SENZORSKA PROCJENA TRODIMENZIONALNO
ISPISANIH PROIZVODA NA BAZI JAGODE I
MAGINJE**

ZAVRŠNI RAD

Naziv znanstveno-istraživačkog projekta: Tehnologija preprekama i 3D printanje za okolišno prihvatljivu proizvodnju funkcionalnih voćnih sokova (3D-SustJuice) (IP-2019-04-2105)

Mentor: izv. prof. dr. sc. Danijela Bursać Kovačević

Zagreb, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Sveučilišni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za kemiju i tehnologiju voća i povrća

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Senzorska procjena trodimenzionalno ispisanih proizvoda na bazi jagode i maginje

Katarina Bavrka, 0058217921

Sažetak: Istraživanje je provedeno sa svrhom određivanja utjecaja dodatka različitih zaslađivača na senzorska svojstva trodimenzionalno (3D) ispisanih proizvoda na bazi jagode (*Fragaria ananassa* × Duch) i maginje (*Arbutus unedo* L.) s ciljem razvoja inovativnih funkcionalnih te potrošačima prihvatljivih proizvoda. Korišteno je 8 zaslađivača (saharozna, fruktoza, ksilitol, eritritol, javorov sirup, sirup od datulje, agavin sirup te stevija i eritrit) u dvije različite koncentracije, te je za usporedbu pripremljen i kontrolni uzorak bez zaslađivača. Metodom kvantitativne deskriptivne analize senzorsku procjenu proveo je senzorski panel ocijenivši ukupno 12 senzorskih deskriptora koji su se odnosili na svojstva boje, mirisa, arome, okusa i izgleda. Svi rezultati su objedinjeni i prikazani grafički te statistički obrađeni metodom analize glavnih komponenata. Zaključeno je da više koncentracije zaslađivača imaju veći pozitivan utjecaj na poželjna senzorska svojstva 3D ispisanih proizvoda što se osobito odnosi na uzorke s dodatkom javorovog sirupa, agavinog sirupa, saharoze i fruktoze.

Ključne riječi: 3D ispis, senzorska procjena, zaslađivači, personalizirana prehrana, funkcionalna hrana

Rad sadrži: 31 stranica, 14 slika, 1 tablica, 29 literaturnih navoda, 0 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: izv. prof. dr. sc. Danijela Bursać Kovačević

Pomoć pri izradi: mag. ing. Anica Bebek Markovinović

Datum obrane: npr. 14. rujna 2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Undergraduate thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
University undergraduate study Food Technology

Department of Food Engineering
Laboratory for Chemistry and Technology of Fruits and Vegetables

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

Sensory evaluation of fruit-based 3D printed products

Katarina Bavrka, 0058217921

Abstract: The research was conducted with the aim to evaluate influence of different sweeteners on the sensory properties of three-dimensional printed (3DP) products based on strawberry (*Fragaria ananassa* × Duch) and strawberry tree fruit (*Arbutus unedo* L.) to develop innovative functional products attractive to consumers. Eight sweeteners (sucrose, fructose, xylitol, erythritol, stevia, erythritol, syrups of maple, date and agave) were used at two different concentrations, with control sample without sweeteners for comparison. Using the method of quantitative descriptive analysis, sensory evaluation was performed by panel that evaluated total of 12 sensory descriptors on the attributes of color, odor, aroma, taste, and appearance. All results were presented graphically and statistically using the principal component analysis. Higher concentrations of sweeteners were found to have a greater positive impact on the desirable sensory properties of 3DP products, which was particularly true for samples with the addition of maple syrup, agave syrup, sucrose, and fructose.

Keywords: 3D printing, sensory evaluation, sweeteners, personalized food, functional food

Thesis contains: 31 pages, 14 figures, 1 table, 29 references, 0 supplements

Original in: Croatian

Thesis is deposited in printed and electronic form in the Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: Danijela Bursać Kovačević, PhD, Associate Professor

Technical support and assistance: M.Sc. Anica Bebek Markovinović

Thesis defended: September 14, 2023

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. TRODIMENZIONALNI (3D) ISPIS HRANE.....	2
2.2. PRILAGODBA 3D ISPISANE HRANE ZA INDIVIDUALNU UPOTREBU	3
2.2.1. PRILAGODBA IZGLEDA	3
2.2.2. MODIFIKACIJE TEKSTURE I OKUSA.....	4
2.2.3. PROMJENA PERCEPCIJE 3D ISPISANE HRANE.....	5
2.3. SENZORSKA PROCJENA HRANE	6
2.3.1. KVANTITATIVNA DESKRIPTIVNA ANALIZA.....	7
2.3.2. SENZORSKA PROCJENA 3D ISPISANIH PROIZVODA.....	8
3. EKSPERIMENTALNI DIO	10
3.1. MATERIJALI.....	10
3.1.1. VOĆNA SIROVINA	10
3.1.2. VOĆNA SMJESA ZA 3D ISPIS	10
3.2. METODE RADA	11
3.2.1. PRIPREMA VOĆNE SMJESE ZA 3D ISPIS	11
3.2.2. 3D ISPIS PROIZVODA	12
3.2.3. SENZORSKA PROCJENA 3D ISPISANIH PROIZVODA METODOM KVANTITATIVNE DESKRIPTIVNE ANALIZE	14
3.2.4. STATISTIČKA ANALIZA.....	15
4. REZULTATI I RASPRAVA	16
5. ZAKLJUČCI.....	27
6. POPIS LITERATURE	28

1. UVOD

U posljednje vrijeme globalnih kriza i ubrzanog rasta različitih oboljenja, potrošači su sve više usmjereni na nutritivnu vrijednost hrane te u poseban fokus postavljaju funkcionalnu hranu, primarno zbog pozitivnog utjecaja na unaprjeđenje zdravlja. U širem smislu, funkcionalna hrana je svaka hrana koja je prirodno bogata ili naknadno, tijekom proizvodnje, obogaćena biološki aktivnim spojevima (Butnariu i Sarac, 2019). Najveći izvori spojeva koji imaju blagotvoran učinak na ljudsko zdravlje su biljke, što se prvenstveno odnosi na svježe voće i povrće koje u svom sastavu sadrži značajne količine polifenola – visokovrijednih antioksidansa. Također, voće i povrće je izvor prehrambenih vlakana poput celuloze i pektina koji su hidrofilni te imaju sposobnost bubrenja prilikom čega reguliraju peristaltiku crijeva. Uz to, funkcionalnom hranom smatra se i hrana kojoj su određene komponente izmijenjene ili u potpunosti uklonjene što je slučaj kod hrane proizvedene za posebne dijetetske potrebe (Butnariu i Sarac, 2019). Takva hrana tražena je na tržištu zbog specifičnog načina prehrane određenih skupina potrošača poput sportaša, trudnica, osoba s različitim intolerancijama, a zahtijeva poseban pristup tijekom procesa proizvodnje.

Upravo iz razloga povećanja interesa za funkcionalnom hranom koja je prilagođena potrebama pojedinca, tehnologija 3D ispisa intenzivno se istražuje u prehrambenoj industriji. Tehnologija 3D ispisa pruža mogućnost prilagodbe sastojaka hrane pojedincu te pridonosi osjećaju sigurnosti i kvalitete kod potrošača. Također, takva revolucija u načinu proizvodnje omogućava potrošaču izravno sudjelovanje u procesu proizvodnje preko odabira boje, oblika i drugih potrošaču važnih osobina proizvoda (Shahrubudin i sur., 2019).

U svrhu proizvodnje funkcionalnog, a potrošačima privlačnog 3D ispisanog proizvoda, cilj ovog rada bio je dizajnirati funkcionalne 3D snack proizvode na bazi jagode (*Fragaria ananassa* × Duch) i maginje (*Arbutus unedo* L.) uz dodatak različitih zaslađivača te proizvode senzorski ocijeniti metodom kvantitativne deskriptivne analize kako bi se odabrale kombinacije (vrsta i koncentracija zaslađivača) koje su potrošačima senzorski najprihvatljivije.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. TRODIMENZIONALNI (3D) ISPIS HRANE

Trodimenzionalni (3D) ispis, poznat još i kao tehnologija aditivne proizvodnje, odnosi se na konstrukciju trodimenzionalnih predmeta i to na način da se korišteni materijal slaže „sloj po sloj“ prema prethodno dizajniranom digitalnom modelu (Ma i Zhang, 2022). 3D ispis pronašao je svoju primjenu i u prehrambenoj industriji te od 2007. godine, kad je uveden kao tehnologija u području proizvodnje hrane, teži poboljšanju dizajna prehrambenih proizvoda i formulaciji personalizirane prehrane, pojednostavljenju lanca opskrbe hranom te proširenja potencijalnih budućih izvora hrane (Ma i Zhang, 2022). Postoji nekoliko načina 3D ispisa od kojih je 3D ispis baziran na ekstruziji najčešće korišten oblik tehnologije kod ispisa hrane. Princip rada takvog uređaja zasniva se na automatiziranoj šprici (mlaznica za ispis) u kojoj se nalazi određeni prehrambeni materijal te koja nanosi taj materijal na platformu po principu „sloj po sloj“. Preostale tehnologije 3D ispisa podrazumijevaju lasersko sinteriranje te ispis na bazi tintnih pisaa (Ma i Zhang, 2022).

Prema Tejada-Ortigoza i Cuan-Urquizo (2022) glavne faze 3D ispisa hrane su izrada recepture, dizajn izgleda proizvoda, 3D ispis te naknadna obrada proizvoda. Prilikom osmišljavanja recepture važno je imati na umu interakciju različitih sastojaka što posljedično može dovesti do otežanog procesa 3D ispisa. Dizajn proizvoda se odnosi na odabir oblika proizvoda te njegove unutrašnje strukture nakon čega se pristupa 3D ispisu. U nekim slučajevima naknadna obrada 3D ispisanog proizvoda je neophodna te se odnosi na sušenje, prženje ili pečenje, a provodi se u svrhu produljenja trajnosti, osiguravanja mikrobiološke sigurnosti i održavanja oblika proizvoda (Tejada-Ortigoza i Cuan-Urquizo, 2022).

Prehrambeni materijali koji se koriste u svrhu 3D ispisa hrane zovu se prehrambenim tintama, a poželjno je da posjeduju određena svojstva, poput viskoelastičnosti, koja doprinosi potrebnim teksturnim svojstvima hrane, ali osigurava i neometan prolaz materijala kroz vrh mlaznice za ispis. Prehrambene tinte koje se koriste za 3D ispis mogu biti već postojeći prehrambeni materijali poput čokolade i tijesta za kekse koji su zbog svojih reoloških svojstava vrlo brzo pronašli svoju primjenu u 3D ispisu hrane. S druge strane, u želji za kreacijom raznovrsnih prehrambenih tinti s poboljšanim mogućnostima 3D ispisa formulirane su posebne prehrambene tinte u koje se ubrajaju razni prehrambeni hidrogelovi, emulzijski gelovi i proteinske disperzije (Ma i Zhang, 2022).

2.2. PRILAGODBA 3D ISPISANE HRANE ZA INDIVIDUALNU UPOTREBU

Uspješan ispis prehrambenih tinti u stabilne oblike ukazao je na mogućnost korištenja tehnologije 3D ispisa hrane u prilagođavanju dizajna hrane, ali i predstavio iskorak prema personaliziranoj prehrani što bi moglo dovesti do poboljšanja prehrambenih navika i boljeg utjecaja na dugoročno zdravlje pojedinaca. U idealnom slučaju, 3D ispisana hrana zadovoljavala bi potrebe pojedinca za hranjivim tvarima, kontrolirala njihovo otpuštanje i trajanje pozitivnog djelovanja u organizmu, slično 3D ispisanim lijekovima (Ma i Zhang, 2022).

Razne vrste prehrambenih tinti razvijene su upravo kako bi se mogla postići prilagodljivost 3D ispisanu hrane, odnosno što je veći broj prehrambenih tinti, to je i veća mogućnost personalizacije prehrane pojedincu. Prilagodbu hrane promatramo kroz 3 ključna aspekta: prilagodba izgleda, modifikacija teksture i okusa, te promjena percepcije 3D ispisanu hrane.

2.2.1. Prilagodba izgleda

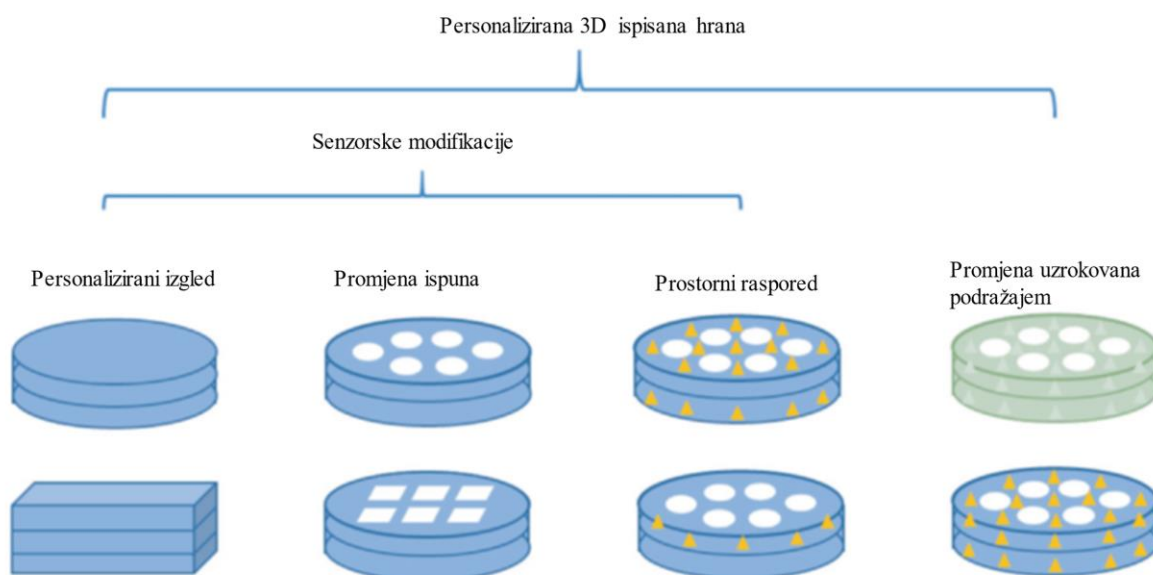
Rani pokušaji 3D ispisa hrane temeljenog na ekstruziji bili su usmjereni na ispis prehrambenih tinti u različite prilagodljive oblike. Prve korištene prehrambene tinte potjecale su iz već postojećih gotovih proizvoda (engl. *ready-to-eat*) ili prethodno osmišljenih receptura (Ma i Zhang, 2022). To se prvenstveno odnosilo na materijale poput čokolade, mesnih pasti, povrtnih pirea te tijesta za kekse. Posebnu pažnju zadobila je čokolada zbog svojih jedinstvenih strukturnih karakteristika i popularnosti među potrošačima što je dovelo do brzog razvoja specijaliziranih 3D pisaa za čokoladu koji su svoju primjenu pronašli u slastičarstvu, ali i drugim proizvodnim procesima konditorske industrije. U novijim istraživanjima kao tinte za hranu se koriste i proteinski gelovi, škrobni gelovi i emulzije te se dolazi do zaključka da mogućnost ispisa uvelike ovisi o omjerima makronutrijenata u prehrambenim tintama što je u izravnoj korelaciji sa reološkim svojstvima tinti (Godoi i sur., 2016).

S razvojem tehnologije 3D ispisa, znanstvenici su u svrhu postizanja daljnje prilagodbe izgleda počeli eksperimentirati i s četvrtom dimenzijom, odnosno 4D ispisom. Takva tehnologija ispisa omogućuje naknadnu transformaciju 3D ispisanog proizvoda u pogledu boje, oblika ili okusa. Transformacija može biti uzrokovana internim ili eksternim

stimulansima. Najčešće se u te svrhe koristi promjena pH sredine, dostupnost vode te utjecaj topline, ali se u novijim istraživanjima govori i o korištenju posebno formuliranih prehrambenih tinti koje u svom sastavu sadrže različite funkcionalne sastojke poput bojila, bioaktivnih spojeva, dielektričnih regulatora te tvari aroma (Ma i Zhang, 2022). Promjenu boje u 3D ispisanom proizvodu Ghazal i sur. (2019) postigli su dvostrukim ekstrudiranjem slojeva dviju različitih vrsta krumpirovog škroba od kojih je jedan sadržavao antocijane u obliku ljubičasto-crvenog praha (izoliranog iz borovnice), a drugi limunov sok. Istraživanje je pokazalo da je 30 minuta nakon ispisa došlo do interakcije između dvaju slojeva, odnosno do redistribucije vodikovih iona koji su uzrokovali sniženje pH vrijednosti sloja koji je u sebi sadržavao antocijane što je posljedično dovelo do pojačanja intenziteta boje tog sloja.

2.2.2. Modifikacije teksture i okusa

Osim utjecaja na izgled, 3D ispis daje mogućnost utjecaja i na mikro- i makrostrukturu hrane. Naime, digitalnim dizajnom preko odgovarajućeg računalnog programa moguće je definirati gustoću ispuna gotovog proizvoda (slika 1) što za posljedicu ima modifikacije u čvrstoći, „žvakljivosti“ i kohezivnosti (Ma i Zhang, 2022). Ispitivanja teksture 3D ispisanih proizvoda se najčešće rade instrumentalnim metodama, međutim neophodno je omogućiti i senzorske analize jer u nekim slučajevima je teško tvrditi da će modifikacije teksture proizvoda stvarno utjecati na percepciju potrošača.

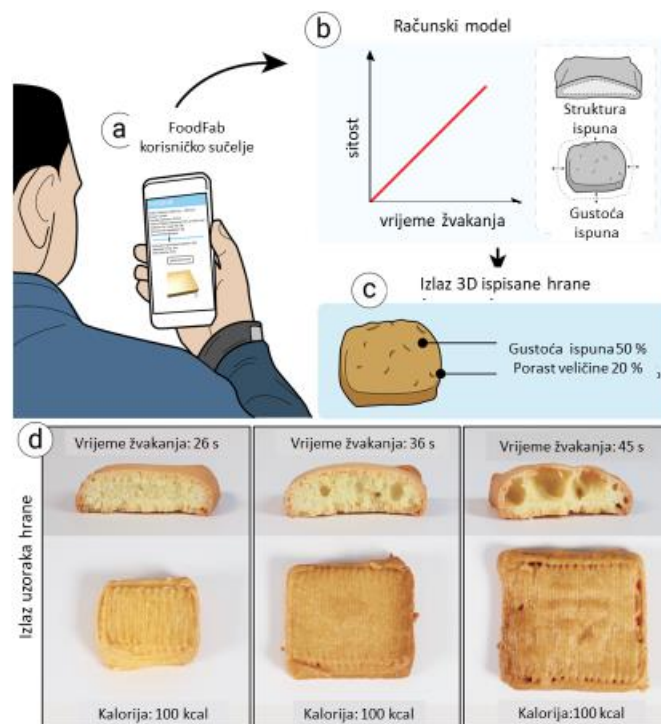


Slika 1. Shematski prikaz različitih načina personalizacije 3D/4D ispisane hrane: bijeli krugovi i pravokutnici predstavljaju različit dizajn ispuna; narančasti trokuti predstavljaju različitu raspodjelu funkcionalnih sastojaka; promjena boje iz zelene u plavu primjer je transformacije 3D ispisane hrane uzrokovane nekim podražajem (prema Ma i Zhang, 2022)

2.2.3. Promjena percepcije 3D ispisane hrane

U nastojanjima za postizanjem pozitivne promjene u prehranbenim navikama potrošača važnu ulogu igra promjena percepcije hrane. Kroz brojna istraživanja u područjima psihologije i sensorike dokazano je da postoje razni načini promjene percepcije o hrani od strane potrošača. Promjena percepcije može biti uzrokovana promjenom boje, teksture ili oblika hrane, ali i drugim promjenama koje se ne odnose na samu hranu nego i na njezinu okolinu poput oblika tanjura ili osvjetljenja u prostoriji (Lin i sur., 2020). Kroz sve prethodno navedene načine hrana se prilagođava pojedincu čime se potpuno mijenja koncept prehrane. Primjer takve prilagodbe je „FoodFab“ sustav za personalizaciju prehrane s ciljem kontrole unosa kalorija prema potrebama pojedinca. Sustav radi na principu kontrole dva parametra 3D ispisa – gustoće i vrste uzorka ispuna proizvoda (Lin i sur., 2020). FoodFab eksperiment obuhvaćao je 2 testiranja dviju grupa od 30 ispitanika. Promjenom parametara 3D ispisa ista početna smjesa (s određenom kalorijskom vrijednošću) može se tiskati na više

načina pri čemu će doći do promjene percepcije potrošača prema gotovom proizvodu tj. dokazano je da se promjenom spomenutih parametara može utjecati na duljinu žvakanja 3D ispisanog proizvoda čime se mijenja percepcija sitosti kod ispitanika. Duljina i način žvakanja je dosta istražena tema (Hogenkamp i Schiöth., 2013; Zijlstra i sur., 2009; Horio i sur., 1989), a rezultati znanstvenih radova uglavom upućuju na korelaciju žvakanja i osjećaja sitosti, odnosno tvrđa tekstura hrane, manji zalogaji hrane te sporija konzumacija proizvoda utječu na dulje vrijeme žvakanja. Tim se omogućuje dulji vremenski period za pokretanje signala sitosti u organizmu (Hogenkamp i Schiöth., 2013). FoodFab funkcioniра na način da korisnik unese vrstu željene hrane i stupanj gladi (Slika 2a) nakon čega se iz unesenih podataka podese parametri za ispun iz kojih sustav izračuna potrebno vrijeme žvakanja (Slika 2b) te na kraju slijedi 3D ispis proizvoda (Slika 2c). Kao rezultat dobiju se proizvodi s istim brojem kalorija samo s različitim vremenima žvakanja (d) (Slika 2).



Slika 2. FoodFab sustav za izradu personalizirane hrane (prema Lin i sur., 2020)

2.3. SENZORSKA PROCJENA HRANE

Senzorska procjena hrane je znanstvena disciplina koja potiče, mjeri, analizira i interpretira reakcije onih karakteristika hrane i tvari koje se zapažaju osjetilima vida, mirisa,

okusa, dodira i sluha (Vahčić i sur., 2000). Takva definicija implicira na to da se za provedbu senzorske procjene hrane ne koriste tehnički mjerni instrumenti te da njihovu ulogu preuzimaju osjetila čovjeka, odnosno da nju vrše posebno obrazovani ocjenjivači. Njihov zadatak je procijeniti senzorsku kvalitetu određenog proizvoda koristeći se nekom od poznatih metoda u koje se ubrajaju: metode (testovi) diferencije, testovi sklonosti, metode deskriptivne analize i sustavi bodovanja.

Jedna od često korištenih metoda, metoda deskriptivne analize, izdvaja se po činjenici da se prilikom ocjenjivanja proizvoda u obzir uzima svaki zapaženi osjet (vizualni, auditorni, olfaktorni i dr.) zbog čega se može reći da predstavlja potpuni osjetilni opis proizvoda. Osjetilna svojstva proizvoda tijekom ocjenjivanja najčešće se navode prema redosljedu pojavljivanja (Vahčić i sur., 2000). Ova metoda sagleda se kroz 4 glavne komponente: obilježja, intenzitet, slijed provođenja određenih postupaka analize (vremenski aspekt) te općenite dojmove (Vahčić i sur., 2000). Obilježja predstavljaju kvalitativno gledište na ocjenjivani proizvod, odnosno daju informaciju o boji, izgledu, mirisu, okusu, osjetu u ustima ili obliku. Intenzitet predstavlja kvantitativno gledište koje podrazumijeva korištenje određenih ljestvica kako bi se kvalitativnim obilježjima pripisale pripadajuće ocjene. Općeniti dojmovi (integrirani aspekt) promatraju se kroz ukupni intenzitet arome i okusa, ravnotežu sustava, općenite razlike te kroz hedonističku procjenu. Metode deskriptivne analize mogu se podijeliti na metodu profila okusa, metodu profila teksture, te kvantitativnu deskriptivnu analizu (engl. *Quantitative Descriptive Analysis, QDA*).

2.3.1. Kvantitativna deskriptivna analiza

Kvantitativna deskriptivna (opisna) analiza omogućuje potpun opis osjetilnih svojstava proizvoda riječima, provođenjem testiranja ograničenog broja kvalificiranih sudionika, uz grafički pristup prezentaciji (Vahčić i sur., 2000). Kvalificirani sudionici, odnosno članovi panela određuju kvalitativna i kvantitativna svojstva proizvoda tj. identificiraju prisutna osjetilna svojstva proizvoda te određuju njihov intenzitet putem ljestvica s ocjenom veličine. Prikupljene ocjene svih sudionika objedinjuju se u zajedničku tablicu nakon čega se pristupa statističkoj obradi podataka. Rezultati se prikazuju grafički „paukovom mrežom“. Svako senzorsko obilježje u takvom prikazu ima svoju polarnu koordinatu na koju se nanose zabilježene ocjene. Najmanji intenzitet pojedinog senzorskog

obilježja je u centru, a povećanjem udaljenosti od centra povećava se i intenzitet obilježja.

2.3.2. Senzorska procjena 3D ispisanih proizvoda

3D ispis u proizvodnji hrane uzima sve veći zamah. Kao što je već spomenuto, najviše istraženi 3D ispisani proizvodi su oni na bazi čokolade i žitarica. Razlog tome leži u njihovoj sličnosti s termoplastičnim materijalima koji su se najprije koristili za 3D ispis raznih objekata polilaktičnom kiselinom (engl. *polylactic acid, PLA*) te akrilonitril butadien stirenom (engl. *Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS*). Čokolada, poput PLA, se lako otapa pri 50 °C te se brzo skrutne tijekom skladištenja, dok tijesto posjeduje dobra svojstva viskoznosti koja ga čine odličnim materijalom u tehnologiji 3D ispisa (Ricci i sur., 2019). S druge strane, voće i povrće se zbog visokog udjela vode u svom sastavu i niske viskoznosti, smatra najzahtjevnijim matriksima za 3D ispis prehrambenih proizvoda. Iz tog razloga literatura o 3D ispisanim proizvodima na bazi voća je ograničena, te literatura koja postoji uglavnom se bavi osmišljavanjem prehrambenih tinti na bazi voća dok se senzorska procjena stavlja u drugi plan. Razlog leži u tome što senzorska procjena, kao napredniji korak u proizvodnji, može uslijediti tek nakon točnog definiranja recepture smjese za 3D ispis te zadovoljavajućih rezultata mogućnosti ispisa. Stoga, u nastavku će biti razmotrena pojedina istraživanja koja se odnose na 3D ispis prehrambenih tinti na bazi voća, ali i drugih sirovina kako bi se detaljnije objasnile uloge senzorske procjene prilikom dizajniranja 3D ispisanih proizvoda.

Chow i sur. (2021) istraživali su utjecaj dodatka želatine (1-2 %, w/w), limunske kiseline (0,9 - 1,5 % w/w) i izolata proteina sirutke (engl. *Whey Protein Isolate, WPI*) (8-18 % w/w) na fizikalna i senzorska svojstva kao i na mogućnost 3D ispisa *moussa* od limuna. Za senzorsku procjenu izabrano je 5 uzoraka s najboljom stabilnošću prilikom 3D ispisa što se odnosilo na uzorke s većim udjelima želatine. Senzorska svojstva 3D ispisanog *moussa* određivana su deskriptivnom analizom uz pomoć obučenog panela koji se sastojao od 10 sudionika. Prilikom procjene u obzir su uzeta 23 senzorska svojstva, a koja su se odnosila na izgled, okus, aromu, teksturu, osjećaj u ustima i naknadni okus u ustima. Procjena senzorskih svojstava odvijala se kroz dvije sesije profiliranja od kojih je svaka trajala po 2 sata. Panel je svaki uzorak ocjenjivao tri puta (slučajnim redoslijedom), a intenzitet pojedinih senzorskih svojstava bilježen je na linijskoj ljestvici od 15 cm. Početak ljestvice označavao je nikako/malo izraženo svojstvo dok je kraj ljestvice označavao jako izraženo svojstvo. Za

statističku obradu podataka korištena je statistička metoda analize glavnih komponentata (eng. *Principal Component Analysis, PCA*) analiza kako bi se pokazao odnos između različitih vrsta *moussa* i njegovih senzorskih svojstava. Iz statističke analize može se zaključiti da su uzorci s visokim i srednjim udjelom WPI okarakterizirani sa sjajnijom površinom, glatkom i ljepljivijom teksturom, slađim i kremastijim okusom od uzoraka s nižim udjelom WPI koji su ispoljavali svojstva grudaste i kompaktne teksture te grube površine. Očekivano, povećanje udjela limunske kiseline dovelo je do povećanja intenziteta kiselosti.

Utjecaj želatine i WPI-ja proučavali su i Riantiningtyas i sur. (2021). Udio tih komponenti variran je s ciljem povećanja stabilnosti 3D ispisanog gela od jogurta. Za senzorsku procjenu provedena je deskriptivna senzorska analiza. Ukupno je ispitano 5 uzoraka u paralelnim ispitivanjima, ali nasumičnim redoslijedom. Panel od 7 članova prošao je dodatnu obuku od ukupno 4 sata kako bi se utvrdio način opisa svih važnih svojstava gela od jogurta. Ispitivane osobine odnosile su se na izgled, okus, aromu, teksturu, osjećaj u ustima te naknadni okus u ustima. Intenzitet se bilježio na linijskoj ljestvici od 15 cm na već opisani način (Chow i sur., 2021). PCA analizom dobivenih podataka zaključeno je da u uzorcima u koje nije dodan WPI, već samo želatina, dominiraju svojstva karakteristična za obični grčki jogurt (kiselost, okus mlaćenice) te za limunsku kiselinu (opor okus). Uzorak s najvišom koncentracijom želatine isticao se izrazito grubim izgledom te čvrstom teksturom. Kod uzoraka s dodanim WPI zamijećen je porast u slatkoći i prozračnosti teksture gela.

Cilj istraživanja kojeg su proveli Chen i sur. (2021) je bio razviti složene prehrambene tinte od voća i povrća na bazi proteina s dobrim sposobnostima 3D ispisa. Kao proteinska baza korišteni su proteini sirutke, proteini kikirikija, kazein, hidrolizirani protein pšenice te protein graška. Sve navedene sirovine su bile u obliku praha te su sadržavale 80-90 % proteina (w/w). Od voća i povrća, korišteni su prahovi špinata, ljubičastog batata te limuna. Slično kao i kod Chow i sur. (2021), i u ovom eksperimentu provedena je senzorska procjena putem deskriptivne analize uz pomoć stručnog panela. Prije eksperimenta članovi panela (njih 9) su prošli kroz dodatnu dvotjednu obuku. Njihov zadatak bio je ocijeniti boju, teksturu, okus i izgled različitih uzoraka nakon 3D ispisa koristeći se skalom od 9 bodova. Najviši intenzitet za pojedino svojstvo bodovan je s 9, dok je najmanje izražen intenzitet danog senzorskog svojstva bodovan s 1 bodom. Provedena analiza pokazala je da se uzorci na bazi proteina kikirikija od ostalih ističu okusom i izgledom zbog čega pokazuju najbolje rezultate sveukupne prihvatljivosti.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

3.1.1. Voćna sirovina

Voćna mješavina namijenjena za 3D ispis pripremljena je od plodova maginje (*Arbutus unedo* L.) i jagode (*Fragaria ananassa* × Duch.). Maginja je prikupljena u Malom Lošinj u južnom dijelu otoka Lošinja (Primorsko – goranska županija, 44°32'N 14°28'E / 44.53°N 14.46°E), dok su plodovi jagode sorte 'Albion' ubrani u okolini grada Zagreba (Donja Lomnica, Zagrebačka županija, 45°42'10.4"N 16°01'32.1"E). Plodovi voća su nakon branja oprani i osušeni staničevinom, a zatim zapakirani u vrećice, zamrznuti na -18 °C do provedbe eksperimenta.

3.1.2. Voćna smjesa za 3D ispis

Za potrebe 3D ispisa plodovi voća su odmrznuti, usitnjeni štapnim mikserom (Cordys SB-1, MS Industrial Ltd., Kina) do postizanja homogene teksture i ujednačene veličine čestica te potom pomiješani u omjeru 50 : 50 (jagoda : maginja). Tako pripremljenoj voćnoj masi dodano je 8 % pšeničnog škroba (w/w) (Denes Natura Kft., Pečuh, Mađarska) nakon čega je smjesa uz kontinuirano miješanje kratko zagrijana na magnetskoj mješalici (LLG – uniSTIRRER 7, Lab Logistics Group GmbH, Meckenheim, Njemačka) do približno 65 °C. Cilj zagrijavanja je osiguravanje pastozne teksture voćne mase podesne za 3D ispis zahvaljujući želatinizaciji škroba. Tijekom želatinizacije škrob se hidratizira pri čemu dolazi do porasta volumena granula, razbijanja strukture, apsorpcije topline i gubitka kristalčnosti granula škroba te se nakon završetka zagrijavanja postiže odgovarajuća viskoznost smjese što pogoduje tehnologiji 3D ispisa (Tejada-Ortigoza i Cuan-Urquiza, 2022).

Tako pripremljena smjesa predstavljala je bazu za 3D ispis kontrolnog uzorka tj. uzorka koji se sastojao samo od voćne smjese i škroba bez dodatka zaslađivača. Prema planu pokusa (tablica 1), pripremljeno je još 16 uzoraka u koje su pored voćne mase i škroba, dodavani različiti zaslađivači u po dvije različite koncentracije. Ukupno je ispitan dodatak osam različitih zaslađivača kako slijedi:

- Saharoza (Aragold, Zagreb, Hrvatska)
- Frukoza (Diasan, Njemačka)
- Brezin šećer (ksilitol) (GreenLab, Finska)
- Eritritol (GreenLab, Francuska)
- Javorov sirup (Alnatura Bio, Darmstadt, Njemačka)
- Sirup od datulje (Alnatura Bio, Darmstadt, Njemačka)
- Agavin sirup (Alnatura Bio, Darmstadt, Njemačka)
- Stevija i eritrit (Silavit, Njemačka).

Odabir vrste zaslađivača, kao i njihovih nivoa koncentracija određen je preliminarnim ispitivanjem te rezultati tog istraživanja nisu dio ovog eksperimenta.

3.2. METODE RADA

3.2.1. Priprema voćne smjese za 3D ispis

Priprema voćne smjese za 3D ispis opisana je u potpoglavlju 3.1.2. Dobivena smjesa načinjena od voćne sirovine i škroba, po provedenom zagrijavanju raspoređena je na 17 jednakih dijelova. Jedan dio predstavljao je smjesu za ispis kontrolnog uzorka (bez dodatka zaslađivača), dok je ostalih 16 dijelova raspoređeno u 16 različitih staklenih čaša u koje su potom dodavani zaslađivači u dvije razine koncentracija sukladno planu pokusa (tablica 1). Zaslađivači su dodavani u toplu smjesu, dok se smjesa za potrebe 3D ispisa ohladila na sobnu temperaturu.

Tablica 1. Eksperimentalni dizajn

Šifra uzorka	Zaslađivač	Udio zaslađivača (%)	
A	Kontrolni uzorak	Bez zaslađivača	
B1	Saharoza	1. razina	6,1
B2		2. razina	9,1
C1	Fruktoza	1. razina	7,1
C2		2. razina	8,9
D1	Brezin šećer (ksilitol)	1. razina	5,6
D2		2. razina	8,5
E1	Eritritol	1. razina	3,2
E2		2. razina	4,7
F1	Javorov sirup	1. razina	5,5
F2		2. razina	8,7
G1	Sirup od datulje	1. razina	5,2
G2		2. razina	7,1
H1	Agavin sirup	1. razina	6,7
H2		2. razina	10,2
I1	Stevija i eritrit	1. razina	2,5
I2		2. razina	3,9

3.2.2. 3D ispis proizvoda

Za potrebe provedbe eksperimenta korišten je Foodini 3D pisac (Natural Machines, Barcelona, Španjolska) koji se sastoji od 3 glavna dijela, a to su kućište, mlaznice, te ekran za računalno upravljanje (slika 3). Ovaj uređaj radi na principu ekstruzije, tako što smjesu za ispis potiskuje kroz mlaznicu sve do otvora određenog promjera kroz koji se zatim ispisuje proizvod na za to predviđenu podlogu unutar kućišta uređaja. Mlaznice su volumena 100 mL, a smještene su na nosačima s unutarnje strane vrata pisaa. Uređaj posjeduje ukupno 5 mlaznica koje se mogu izmjenjivati tijekom ispisa ukoliko se radi o proizvodu načinjenom od više različitih sastojaka/smjesa. Također, mlaznice mogu biti različitih veličina otvora kojima se postižu precizne geometrije i teksture ispisanih proizvoda. Tijekom ispisa upravljački

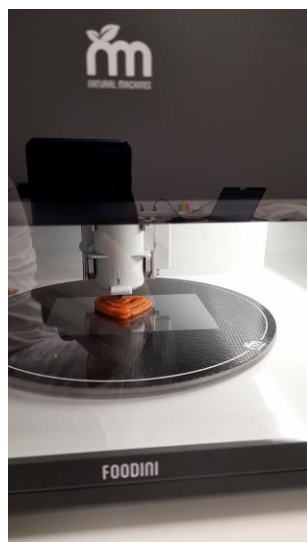
sustav pomjera mlaznicu vođen računalnim programom pri čemu nastaju oblici koji se mogu slagati jedan na drugi čineći trodimenzionalne oblike (slika 4A).

Nakon što su sve pripremljene smjese za 3D ispis bile ohlađene na sobnu temperaturu, započinje se s punjenjem mlaznica uređaja prilikom čega treba paziti na zaostatak mjehurića zraka koji mogu negativno utjecati na sam postupak ispisa.



Slika 3. Foodini 3D pisač (vlastita fotografija)

Za potrebe eksperimenta korištene su mlaznice s promjerom otvora od 4 mm. Napunjena mlaznica postavlja se u 3D pisač te se preko ekrana ili računala odabire željeni oblik proizvoda te program kojim će se proizvod ispisati. Za 3D ispis je odabran oblik srca sa 3 sloja (slika 4B).

**A****B**

Slika 4. a) Prikaz 3D ispisa ; b) Izgled gotovog proizvoda (vlastita fotografija)

Tijekom 3D ispisa brzina ispisa iznosila je 14000 mm/min, brzina protoka smjese bila je postavljena na 1,65 dok je debljina linije iznosila 3,4 mm.

3.2.3. Senzorska procjena 3D ispisanih proizvoda metodom Kvantitativne deskriptivne analize

Svi 3D ispisani proizvodi senzorski su ocijenjeni metodom kvantitativne deskriptivne analize. QDA metoda je postupak opisivanja osjetilnih svojstava proizvoda, najčešće prema slijedu pojavljivanja, pri čemu senzorski panel identificira i kvantitativno određuje osjetilna svojstva proizvoda i svojstva sastojaka (Vahčić i sur., 2000). U ovom istraživanju je sudjelovala panel grupa od 13 senzorskih analitičara. U svrhu kvantitativnog izražavanja intenziteta ispitivanih senzorskih svojstava, korištena je bodovna skala od 1 do 7, pri čemu je intenzitet 1 predstavljao neizraženo svojstvo, a intenzitet 7 najjače izražen intenzitet ocjenjivanog svojstva. Uzorci su bili servirani u kodiranim plastičnim Petrijevim zdjelicama (slika 5).



Slika 5. Kodirani 3D ispisani uzorci za senzorsku evaluaciju (vlastita fotografija)

Ocijenjeno je 12 senzorskih deskriptora koji uključuju slijedeća svojstva: (i) Boja – intenzitet narančaste boje; (ii) Miris – miris na jagodu, strani miris; (iii) Aroma – aroma po jagodi, aroma po maginji, strana aroma; (iv) Okus – slatkoća, kiselost, harmoničnost, strani okus i (v) Tekstura – homogenost, sjajnost površine. Srednje vrijednosti ocjena (svakog od 13 senzorskih analitičara) ocijenjenih senzorskih svojstava svakog pojedinog uzorka korištene su za grafičku obradu rezultata (prikaz tzv. paukove mreže), kao i za statističku obradu podataka.

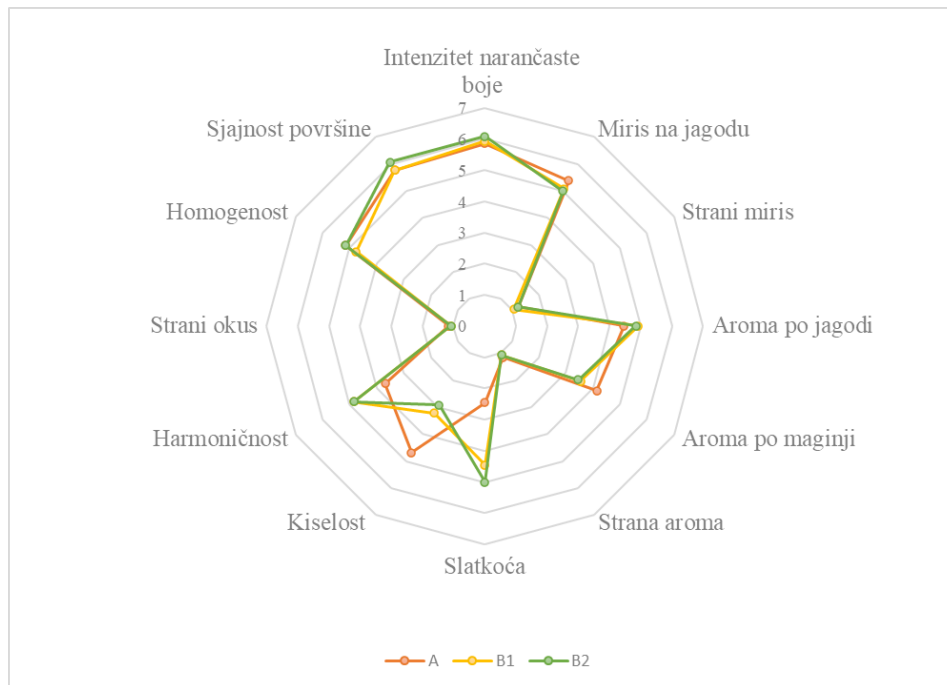
3.2.4. Statistička analiza

Statistička obrada rezultata provedena je metodom glavnih komponenta, odnosno PCA analizom primjenom računalnog programa Statistica 10.0 (Statsoft Inc, Tulsa, OK, USA). Statistička obrada je provedena s ciljem utvrđivanja razlika u između 3D ispisanih uzoraka obzirom na dodani zaslađivač (kontrolni vs. uzorci uz dodani zaslađivač) te obzirom na različite nivoe koncentracija dodanih zaslađivača, a prema ocjenjivanim senzorskim deskriptorima. Kao varijable su uzeti ispitivani senzorski deskriptori, a kao slučajevi su uzeti svi 3D ispisani proizvodi (kontrolni i uzorci uz dodane zaslađivače).

4. REZULTATI I RASPRAVA

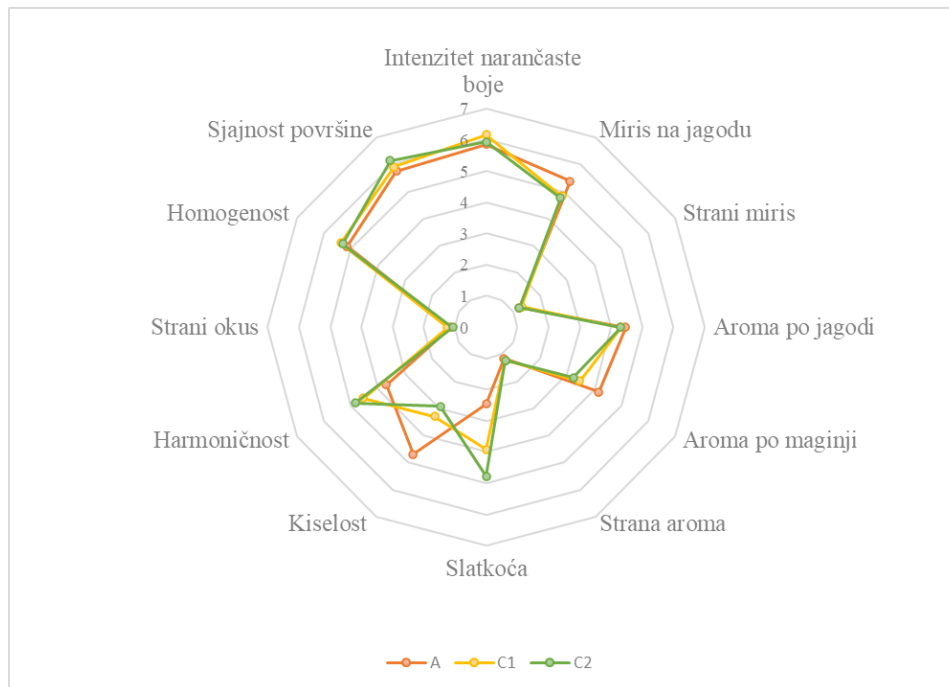
Cilj eksperimentalnog rada je bio senzorski procijeniti 3D ispisane proizvode na bazi maginje i jagode bez i s dodatkom osam različitih zaslađivača u dva nivoa koncentracija primjenom metode QDA analize (poglavlje 3.2.1., tablica 1). Senzorski deskriptori prema kojima se vršila senzorska analiza odnosili su se na boju, miris, aromu, okus i teksturu. Rezultati senzorske analize prikazani su grafički (slike 6 do 13) tzv. „paukovim mrežama“. Također, rezultati su statistički obrađeni PCA metodom te su i tu rezultati prikazani grafički (Slike 14 a i 14 b).

Senzorski deskriptori prema kojima se kontrolni uzorak A te uzorci B1 i B2 uz dodatak saharoze najviše razlikuju jesu harmoničnost, kiselost, slatkoća, aroma po maginji, aroma po jagodi te miris na jagodu (slika 6). Uz dodatak zaslađivača očekivano su svojstva harmoničnosti i slatkoće bila više izražena nego u kontrolnom uzorku. Dodatak zaslađivača pozitivno je utjecao na izraženiju aromu jagode u modelnim otopinama napitaka pripremljenim uz dodatak 67 % šećerne otopine i 47 % limunske kiseline (King i sur., 2006), što je evidentno i u dobivenim rezultatima, dok je aroma na maginju u uzorcima s dodanim zaslađivačem bila slabije izražena. Svojstva stranog okusa, strane arome i stranog mirisa nisu detektirana niti u jednom ispitivanom uzorku. Usporede li se utjecaji različitih koncentracija dodanog zaslađivača, vidljivo je da je niža koncentracija rezultirala neznatno niže ocijenjenom slatkoćom, homogenošću i sjajnošću površine te nešto većom kiselošću u usporedbi s uzorcima u kojima je dodavana viša koncentracija zaslađivača.



Slika 6. Rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak (A) te uzorke uz dodatak saharoze u koncentracijama 6,1 % (B1) i 9,1 % (B2)

Slično kao kod uzoraka s dodanim zaslađivačem B (saharozom), uzorci s dodanim zaslađivačem C (fruktoza) i kontrolni uzorak najviše su se razlikovali obzirom na harmoničnost, kiselost, slatkoću, aromu po maginji i mirisu na jagodu (slika 7). Uzorci s dodanim zaslađivačima izdvojili su se boljom harmoničnošću i slatkoćom dok su u kontrolnim uzorcima svojstva kiselosti, arome po maginji i mirisu na jagodu bila izraženija. Dodatak i ovog zaslađivača potvrđuje da je aroma maginje u 3D ispisanom proizvodu bez dodatka zaslađivača jače izražena. Svojstva stranog okusa, strane arome i stranog mirisa nisu detektirani niti u jednom uzorku. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da veća koncentracija zaslađivača pozitivno djeluje na slatkoću, a negativno na kiselost.

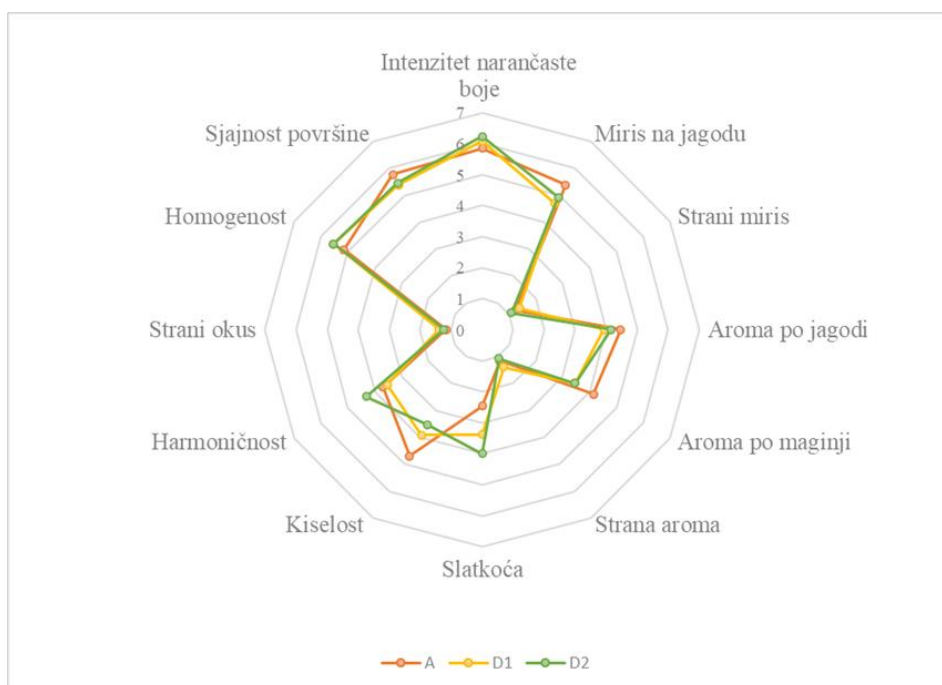


Slika 7. Rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak (A) te uzorke uz dodatak fruktoze u koncentracijama 7,1 % (C1) i 8,9 % (C2)

Ispitivana svojstva po kojima su se kontrolni uzorak i uzorci s dodatkom brezinog šećera razlikovali su harmoničnost, kiselost, slatkoća, aroma po maginji, aroma po jagodi, miris na jagodu, sjajnost površine te homogenost (slika 8). Kao i u prethodnom uzorku s dodatkom zaslađivača C (fruktoza), u uzorku s dodatkom brezinog šećera zabilježen je pad intenziteta u aromi po maginji, aromi po jagodi te mirisu na jagodu, ali i sjajnosti površine. Međutim, dodatak zaslađivača doveo je do povećanja harmoničnosti, slatkoće te homogenosti. Svojstvo stranog okusa nije zabilježeno niti u jednom uzorku dok su svojstva strane arome i stranog mirisa zabilježena u maloj mjeri što se može pripisati tzv. efektu hlađenja kojeg ovaj zaslađivač ispoljava (Ahuja i sur., 2020). Iz dobivenih rezultata može se uočiti veće raslojavanje između dvije korištene koncentracije zaslađivača pri čemu viša koncentracija zaslađivača D dovodi do većeg istupanja u parametrima harmoničnosti, slatkoće te homogenosti.

Brezin šećer uspješno je primijenjen u razvoju funkcionalnih želiranih proizvoda na bazi dinje (*Cucumis melo* L., 'Sun Lady') i pektina gdje se dodavao kao supstitucija saharozi u koncentracijama 0 %, 25 %, 50 %, 75 % i 100 %. Proizvodi su senzorski ocijenjeni prema svojstvima boje, teksture, okusa, mazivosti i ukupne senzorske prihvatljivosti. Dobiveni

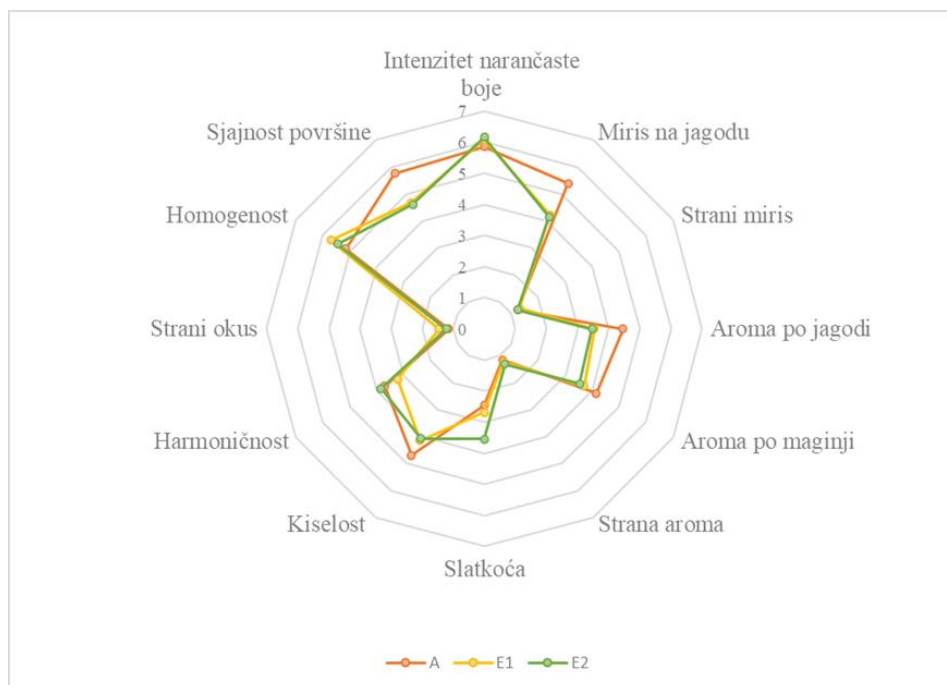
rezultati upućuju da je dodatak ksilitola (0 – 50 %) u pripremi proizvoda od dinje pozitivno utjecao na sve senzorske deskriptore, a posebice na teksturu i mazivost. Međutim, povećanje udjela ksilitola (75 % i 100 %) negativno je utjecalo na teksturu i mazivost, kao i ocjene ukupne senzorske prihvatljivosti. Ovaj rezultat se može objasniti činjenicom da povećanjem sadržaja ksilitola (> 50 %) dolazi do prividnog smanjenja čvrstoće dobivenog pektinskog gela, što je rezultiralo i smanjenjem sveopće prihvatljivosti proizvoda (Naknaen i Itthisoponku, 2015).



Slika 8. Rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak (A) te uzorke uz dodatak brezinog šećera u koncentracijama 5,6 % (D1) i 8,5 % (D2)

Uz ksilitol, i eritritol se preporuča za upotrebu u konditorskoj industriji posebice jer pruža brojne prednosti u očuvanju dentalnog zdravlja (da Silva i sur., 2016), stoga je ovim istraživanjem ispitana njegoa perspektiva u proizvodnji funkcionalnih 3D ispisanih proizvoda. Prema rezultatima senzorske analize za kontrolni uzorak i uzorke s dodatkom eritritola vidljive su razlike između istih u pogledu svojstava harmoničnosti, kiselosti, slatkoće, arome po maginji, arome po jagodi, mirisu na jagodu te sjajnosti površine (slika 9). Zanimljivo je da niža koncentracija zaslađivača dovodi do značajnog smanjenja harmoničnosti u odnosu na kontrolni uzorak, dok viša koncentracija zaslađivača blago

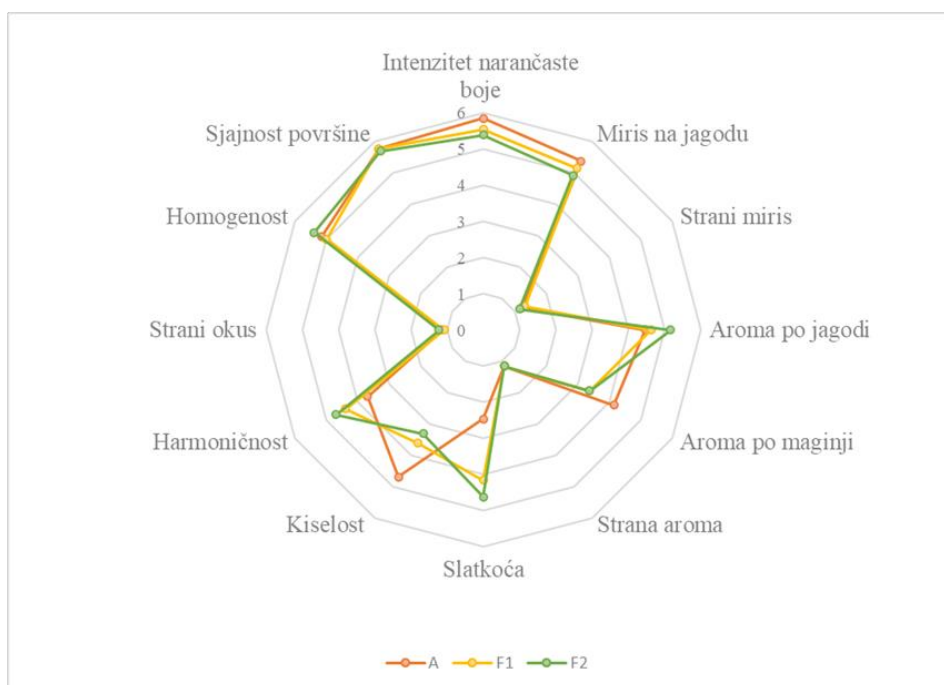
povećava svojstvo harmoničnosti. Očekivano, s dodatkom zaslađivača dolazi do povećanja slatkoće i homogenosti, a do smanjenja kiselosti. Dodatak zaslađivača uzrokovao je značajnije smanjenje arome po maginji, arome po jagodi, mirisa na jagodu te sjajnosti površine. Strani okus i strana aroma zabilježeni su u neznatnoj mjeri dok strani miris nije zabilježen niti u jednom uzorku. Usporedbom uzoraka prema dvjema korištenim koncentracijama zaslađivača vidljive su razlike obzirom na harmoničnost i slatkoću pri čemu viša koncentracija zaslađivača povećava intenzitet navedenih svojstava.



Slika 9. Rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak A te uzorke uz dodatak eritritola u koncentracijama 3,2 % (E1) i 4,7 % (E2)

Parametri senzorske analize u kojima se zamjećuje razlika između kontrolnog uzorka A i uzoraka F1 i F2 u koje je dodan javorov sirup su harmoničnost, kiselost, slatkoća, aroma po maginji, aroma po jagodi, miris na jagodu i intenzitet narančaste boje (slika 10). Kao i u prethodnim primjerima, povećanjem koncentracije zaslađivača dolazi i do povećanja harmoničnosti, slatkoće i arome po jagodi, no primjetan je značajan pad kiselosti, arome po maginji te mirisa na jagodu. Također, vidljivo je veće raslojavanje u pogledu intenziteta narančaste boje nego u prethodnim uzorcima pri čemu povećanje koncentracije javorovog sirupa djeluje negativno na intenzitet narančaste boje. Strani okus i strani miris zabilježeni su u maloj mjeri dok strana aroma nije zabilježena niti u jednom uzorku. Usporedbom uzoraka

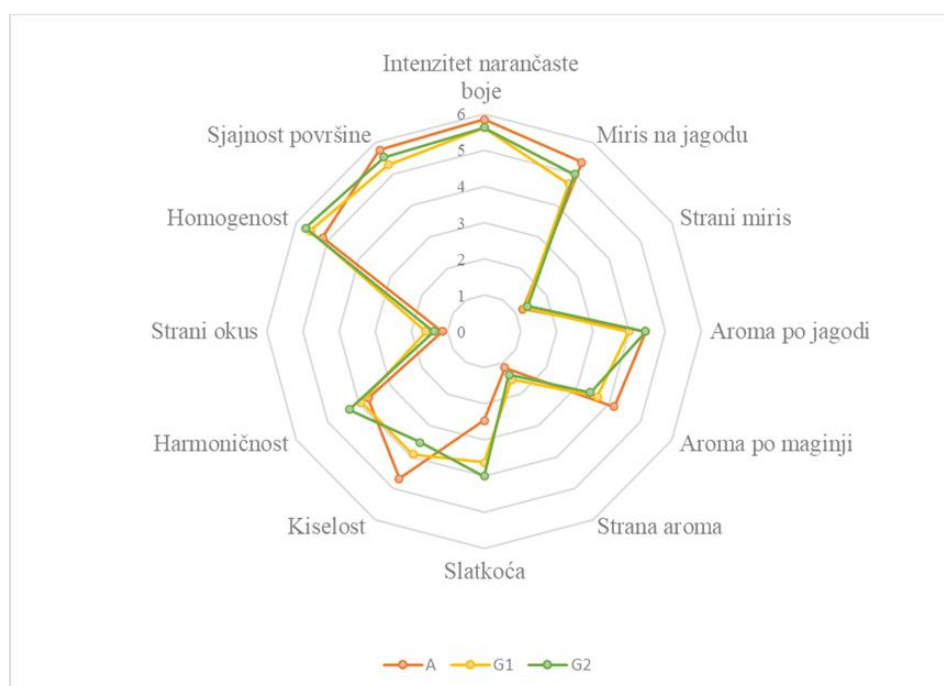
F1 i F2 na temelju razlike u koncentracijama zaslađivača moguće je zaključiti da viša koncentracija ima bolji učinak na harmoničnost, slatkoću, aromu po jagodi odnosno manje izražen učinak na kiselost, miris na jagodu te intenzitet narančaste boje. Javorov sirup je nedavno uspješno primijenjen u koncentracijama 0 %, 35 %, 70 % i 100 % kao alternativa saharozi u dizajniranju funkcionalnih pića na bazi šerbeta i sirutke. Dobiveni rezultati pokazuju da je zamjena šećera javorovim sirupom poboljšala okus, teksturu, boju i ukupnu prihvatljivost proizvoda ($p \leq 0.05$) (Mohammed i Mahmood, 2022).



Slika 10. Rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak (A) te uzorke uz dodatak javorovog sirupa u koncentracijama 5,5 % (F1) i 8,7 % (F2)

U slučaju prikazanom na slici 11. vidljivo je da se kontrolni uzorak A i uzorci s dodatkom sirupa od datulje (G1 i G2) razlikuju po svim parametrima senzorske analize. Uzorci s dodanim zaslađivačem odlikuju se većom harmoničnošću, slatkoćom te homogenošću. Dodatak zaslađivača doveo je do smanjenja kiselosti, arome po maginji, mirisa na jagodu, intenziteta narančaste boje i sjajnosti površine. U odnosu na kontrolni uzorak A, u uzorcima G1 i G2 evidentno je povećanje stranog okusa, strane arome i stranog mirisa zbog čega treba

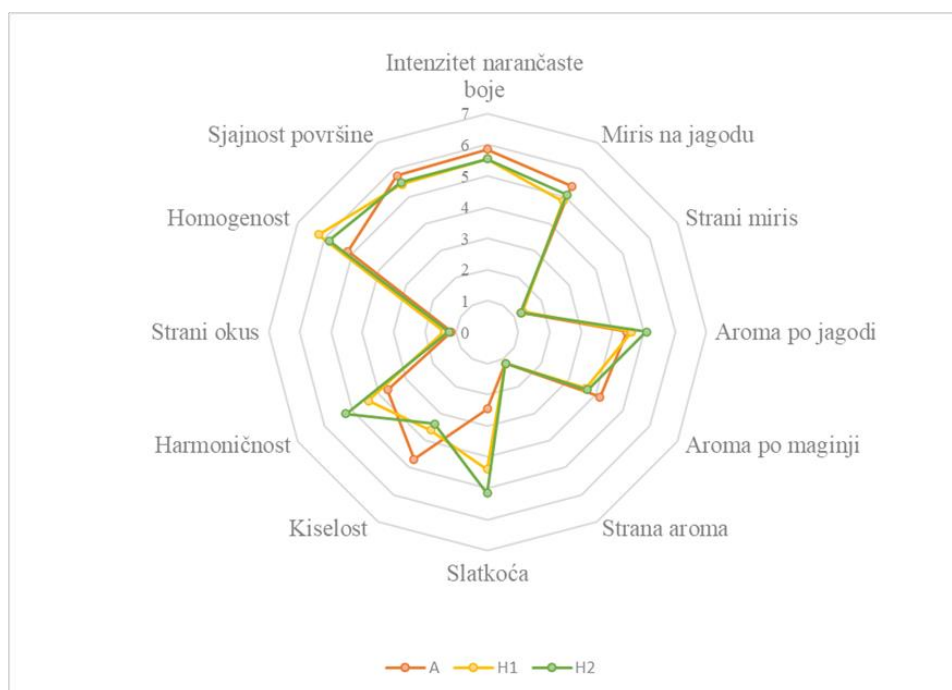
voditi računa o koncentraciji dodatnog zaslađivača (Tammam i sur, 2014). Usporedbom uzoraka G1 i G2 prema zadanim koncentracijama zaslađivača može se primijetiti da viša koncentracija odnosi prednost gotovo u svakom pogledu jer osim ispoljavanja poželjnih svojstava (npr. harmoničnost i slatkoća), uzorak G2 pokazuje manja odstupanja u pogledu stranog okusa i strane arome. Izuzetak čine svojstvo arome po maginji (koja je veća u uzorku G1) i svojstvo stranog mirisa (koje je manje izraženo u uzorku s nižom koncentracijom zaslađivača, G1).



Slika 11. Rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak (A) te uzorke uz dodatak sirupa od datulje u koncentracijama 5,2 % (G1) i 7,1 % (G2)

Agavin sirup, kao alternativa tradicionalnim zaslađivačima, trenutno uživa veliku popularnost zbog relativno niskog glikemijskog indeksa (11 ± 1) i opće prihvaćenosti od strane vegana. Sirup od agave sadrži visok udio ugljikohidrata ($> 95\%$), s fruktozom kao najzastupljenijom sastavnicom (od $55,6\%$ do 90%) (Willems i sur., 2012). Postoje tvrdnje da se sirup od agave može koristiti kao dio prehrambene strategije za prevenciju metaboličkog

sindroma pretilosti jer u usporedbi sa saharozom, agava može pozitivno utjecati na kontrolu glukoze u krvi (Leal-Díaz i sur., 2016; Hooshmand i sur., 2014). U ovom istraživanju, agavin sirup je također izabran za ispitivanje prikladnosti kao zamjena za saharozu u razvoju funkcionalnog 3D ispisanog proizvoda na bazi jagode i maginje. Rezultati senzorske analize su prikazani na slici 12., te pokazuju da senzorski deskriptori prema kojima se kontrolni uzorak A i uzorci H1 i H2 s dodatkom agavinog sirupa najviše razlikuju jesu harmoničnost, kiselost, slatkoća, aroma po maginji, aroma po jagodi te homogenost. Slično kao i u većini prethodnih slučajeva, uzorci s dodanim zaslađivačem pokazuju poboljšanu harmoničnost, slatkoću, aromu po jagodi i homogenost pri čemu istovremeno dolazi i do pada kiselosti te arome po maginji. Od nepoželjnih svojstava zabilježena je samo pojava stranog okusa dok strana aroma i strani miris nisu zapaženi niti u jednom uzorku. Usporedbom utjecaja različitih koncentracija zaslađivača, vidljivo je da viša koncentracija ima pozitivniji učinak na harmoničnost, slatkoću i aromu po jagodi odnosno negativniji utjecaj na kiselost.

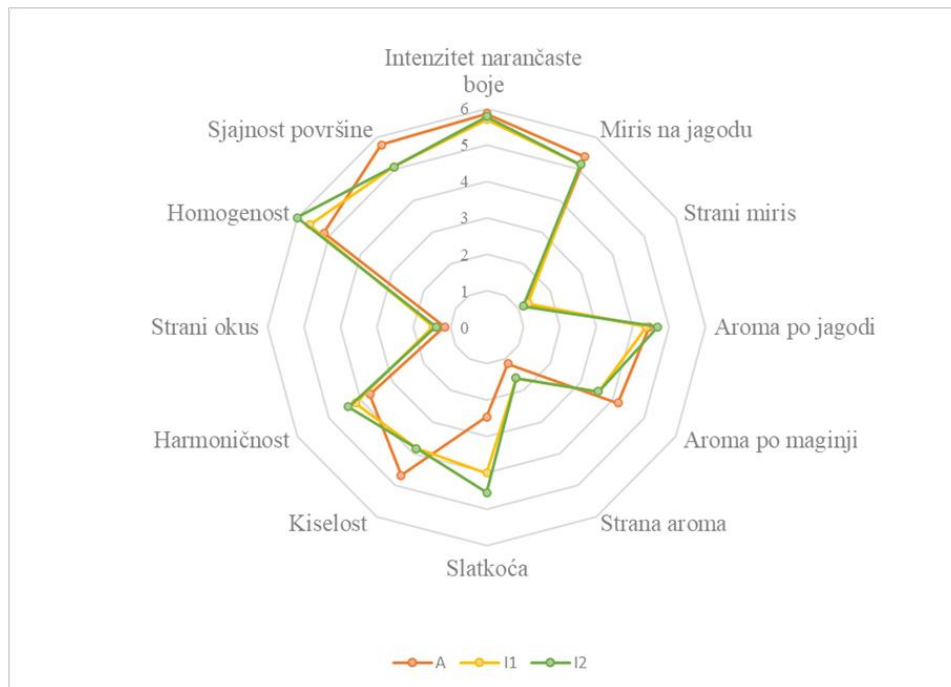


Slika 12. Rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak A te uzorke uz dodatak agavinog sirupa u koncentracijama 6,7 % (H1) i 10,2 % (H2)

Stevia rebaudiana Bertoni stekla je veliki industrijski i znanstveni interes u posljednjih

20 godina, predstavljajući prikladnu prehrambenu alternativu saharozi i umjetnim sladilima. Osim toga, ova biljka sadrži antioksidanse polifenole, kao i pigmente klorofile i karotenoide, stoga pored senzorka, može doprinijeti i nutritivnoj kvaliteti funkcionalne hrane (Bursać Kovačević i sur., 2018a). Slatkoća stevije potječe od steviol glikozida steviozida i rebaudiozida A, koji su 250 do 400 puta slađi od saharoze, a tijekom prerade nisu osjetljivi na promjene temperature i pH (Bursać Kovačević i sur., 2018b). Glavni nedostatak primjene stevije u proizvodnji funkcionalne hrane jesu nepoželjna senzorska svojstva poput gorkog i/ili metalnog okusa (de Oliveira Rocha i Bolini., 2015), stoga je u ovom ispitivanju odabrana stevija u kombinaciji s eritritom.

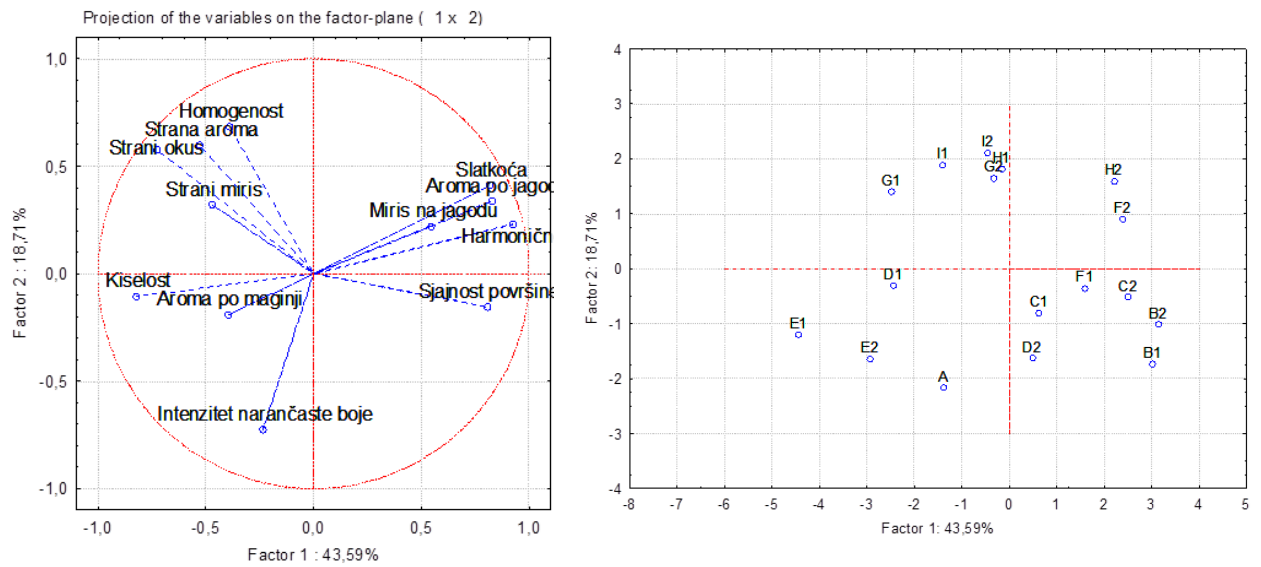
Na slici 13. prikazani su rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak A i uzorke s dodatkom zaslađivača kojeg čini smjesa stevije i eritrita, I1 i I2. Iz dobivenih rezultata moguće je iščitati razlike između spomenutih uzoraka koje se ponajviše ogledaju u svojstvima harmoničnosti, kiselosti, slatkoće, arome po maginji, sjajnosti površine te homogenosti. Navedeni senzorski deskriptori prate dosadašnji trend tj. dodatak zaslađivača pozitivno utječe na harmoničnost, slatkoću, aromu po jagodi i homogenost, a negativno utječe na kiselost i sjajnost površine. Dodana stevija može potencirati pojavu stranog okusa, strane arome i stranog mirisa, stoga navedena nepoželjna senzorska svojstva mogu smanjiti interes potrošača prema proizvodu s dodanom stevijom, zato je neophodno optimizirati koncentraciju koja se dodaje u proizvod (Tasso i sur., 2020). Usporede li se uzorci prema dvjema korištenim koncentracijama zaslađivača, vidljivo je da je viša koncentracija zaslađivača rezultirala nešto višim ocjenama u pogledu harmoničnosti, slatkoće, arome po jagodi i homogenosti.



Slika 13. Rezultati senzorske analize za kontrolni uzorak A te uzorke uz dodatak stevije i eritrita u koncentracijama 2,5 % (I1) i 3,9 % (I2)

Naposljetku, svi rezultati dobiveni senzorskom analizom statistički su obrađeni PCA analizom kako bi se utvrdilo koja su senzorska svojstva karakteristična za pojedini 3D ispisani proizvod prema vrsti i koncentraciji dodanih zaslađivača (slika 14a i 14b). Analizom su dobivene glavne komponente, od kojih prva sadrži 43,59 % (PC1), a druga 18,71 % (PC2) ukupne varijance. Uzorci koji se izdvajaju najvećim doprinosima prvom faktoru (PC1) su 3D ispisani uzorci B2, C2 i F2, tj. uzorci s dodanom saharozom, fruktozom i javorovim sirupom u višim nivoima koncentracija. Visoke pozitivne korelacije utvrđene su za faktor PC1 i poželjna senzorska svojstva poput mirisa na jagodu, arome po jagodi, slatkoće, harmoničnosti i sjajnosti površine. Senzorska svojstva stranog mirisa, strane arome, kiselosti i stranog okusa negativno koreliraju s faktorom PC1. S faktorom PC2 visoko pozitivno koreliraju svojstva obojenosti i homogenosti. Iz grafičkog prikaza PC1 vs. PC2, te korelacijama s pojedinim faktorima vidljivo je da prema položaju u koordinatnom sustavu 3D ispisane uzorke B2 i C2 karakterizira sjajnost površine, a prethodno navedena poželjna senzorska obilježja karakteristična su za uzorke F2 i H2 uz dodatke javorovog i agavinog sirupa. Dobiveni rezultati pokazuju da su poželjna senzorska svojstva ipak ostvariva tek uz više koncentracije dodanih zaslađivača, te je to ključni korak u dizajnu funkcionalnih 3D ispisanih proizvoda

koji će potrošačima biti senzorski prihvatljivi.



Slika 14. PC1 vs. PC2 za ispitivana senzorska svojstva (a) i 3D ispisane uzorke (b)

5. ZAKLJUČCI

1. Tehnologijom 3D ispisa pripremljeno je 17 funkcionalnih proizvoda na bazi jagode i maginje, od kojih je jedan kontrolni uzorak (bez zaslađivača) te 16 uzoraka uz dodatak 8 različitih zaslađivača u 2 različite koncentracije.
2. Svi uzorci ocijenjeni su od strane senzorskog panela metodom kvantitativne deskriptivne analize pri čemu je ukupno procijenjeno 12 senzorskih svojstava.
3. U odnosu na kontrolni uzorak, 3D ispisani proizvodi na bazi jagode i maginje uz dodatak zaslađivača pokazali su značajno odstupanje čemu svjedoče rezultati senzorske procjene. Senzorski deskriptori po kojima su se kontrolni uzorak i uzorci s dodatkom zaslađivača većinom razlikovali bili su slatkoća, harmoničnost, kiselost, aroma po maginji te aroma po jagodi. Dodatak zaslađivača je u najvećem broju slučajeva imao pozitivan utjecaj na slatkoću, harmoničnost i aromu po jagodi tj. utjecao je na povećanje poželjnih svojstava proizvoda. Također, u 3D ispisanim proizvodima je dodatkom zaslađivača došlo i do slabije percepcije kiselosti te arome po maginji.
4. S obzirom da je svaka vrsta zaslađivača dodavana u dvije različite koncentracije, primjetno je da viša koncentracija intenzivnije doprinosi isticanju poželjnih svojstava u 3D ispisanim proizvodima.
5. PCA analiza je potvrdila rezultate iz grafičke obrade podataka gdje je vidljivo da uzorci s višim koncentracijama zaslađivača ispoljavaju poželjna svojstva harmoničnosti, slatkoće, arome po jagodi, mirisa na jagodu te sjajnosti površine. To se osobito odnosi na uzorke F2, H2, B2 i C2 (s dodacima javorovog sirupa, agavinog sirupa, saharoze i fruktoze) zbog čega se ti uzorci izdvajaju najvećim potencijalom u ostvarivanju cilja ovog rada - formulaciji funkcionalnog, ali i senzorski prihvatljivog 3D ispisanog proizvoda.

6. POPIS LITERATURE

Ahuja V, Macho M, Ewe D, Singh M, Saha S, Saurav K (2020) Biological and pharmacological potential of xylitol: A molecular insight of unique metabolism. *Foods* **9** (11), 1592. <https://doi.org/10.3390/foods9111592>

Bursać Kovačević D, Barba FJ, Granato D, Galanakis CM, Herceg Z, Dragović-Uzelac V, i sur. (2018b) Pressurized hot water extraction (PHWE) for the green recovery of bioactive compounds and steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Food Chem.* **254**, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.192>

Bursać Kovačević D, Maras M, Barba FJ, Granato D, Roohinejad S, Mallikarjunan K, i sur. (2018a) Innovative technologies for the recovery of phytochemicals from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves: A review. *Food Chem.* **268**, 513-521. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.091>

Butnariu M, Sarac I (2019) Functional food. *International Journal of Food Science and Nutrition* **3** (3), 7-16. <https://doi.org/10.14302/issn.2379-7835.ijn-19-2615>

Chen Y, Zhang M, Phuhongsung P (2021) 3D printing of protein-based composite fruit and vegetable gel system. *Food Sci. Technol. Int.* **141**, 110978. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110978>

Chow CY, Thybo CD, Sager VF, Riantiningtyas RR, Bredie WLP, Ahrné L (2021) Printability, stability and sensory properties of protein-enriched 3D-printed lemon mousse for personalised in-between meals. *Food Hydrocoll.* **120**, 106943. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106943>

da Silva LB, Queiroz MB, Fadini AL, da Fonseca RCC, Germer SPM, Efraim P (2016) Chewy candy as a model system to study the influence of polyols and fruit pulp (açai) on texture and sensorial properties. *Food Sci. Technol. Int.* **65**, 268-274. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.006>

de Oliveira Rocha IF, Bolini HMA (2015) Passion fruit juice with different sweeteners: Sensory profile by descriptive analysis and acceptance. *Food Sci. Nutr.* **3** (2), 129-139. <https://doi.org/10.1002/fsn3.195>

Ghazal AF, Zhang M, Liu Z (2019) Spontaneous Color Change of 3D Printed Healthy Food Product over Time after Printing as a Novel Application for 4D Food Printing. *Food Bioproc. Tech.* **12** (10), 1627-1645. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02327-6>

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

Hogenkamp PS, Schiöth HB (2013) Effect of oral processing behaviour on food intake and satiety. *Trends Food Sci. Technol.* **34** (1), 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.08.010>

Hooshmand S, Holloway B, Nemoseck T, Cole S, Petrisko Y, Hong MY, i sur. (2014) Effects of agave nectar versus sucrose on weight gain, adiposity, blood glucose, insulin, and lipid responses in mice. *J. Med. Food* **17** (9), 1017-1021. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0162>

Horio T, Kawamura Y (1989) Effects of texture of food on chewing patterns in the human subject. *J. Oral Rehabil.* **16** (2), 177-183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1989.tb01331.x>

King BM, Arents P, Bouter N, Duineveld CAA, Meyners M, Schroff SI, i sur. (2006) Sweetener/sweetness-induced changes in flavor perception and flavor release of fruity and green character in beverages. *J. Agric. Food Chem.* **54** (7), 2671-2677. <https://doi.org/10.1021/jf060195f>

Leal-Díaz AM, Noriega LG, Torre-Villalvazo I, Torres N, Alemán-Escondrillas G, López-Romero P, i sur. (2016) Aguamiel concentrate from *Agave salmiana* and its extracted saponins attenuated obesity and hepatic steatosis and increased *Akkermansia muciniphila* in C57BL6 mice. *Sci. Rep.* **6**, 34242. <https://doi.org/10.1038/srep34242>

Lin YJ, Punpongsanon P, Wen X, Iwai D, Sato K, Obrist M, i sur. (2020) FoodFab: Creating Food Perception Illusions using Food 3D Printing. U: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20), Association for Computing Machinery, New York, str. 1-13 <https://doi.org/10.1145/3313831.3376421>

Ma Y, Zhang L (2022) Formulated food inks for extrusion-based 3D printing of personalized foods: a mini review. *Curr. Opin. Food Sci.* **44**, 100803. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.12.012>

Mohammed OJ, Mahmood SJ (2022) Using of maple syrup as an alternative to sucrose and whey in making healthy functional sherbet-ice. *Food Res.* **6** (1), 269-273. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(1\).228](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(1).228)

Naknaen P, Itthisoponkul T (2015) Characteristics of cantaloupe jams as affected by substitution of sucrose with xylitol. *Int. J. Fruit Sci.* **15** (4), 442-455. <https://doi.org/10.1080/15538362.2015.1031433>

Natural Machines, <https://www.naturalmachines.com/how-it-works> Pristupljeno 25. srpnja 2023.

Riantiningtyas RR, Sager VF, Chow CY, Thybo CD, Bredie WLP, Ahrné L (2021) 3D printing of a high protein yoghurt-based gel: Effect of protein enrichment and gelatine on physical and sensory properties. *Food Res. Int.* **147**, 110517. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110517>

Ricci I, Derossi A, Severini C (2019) 3D printed food from fruits and vegetables, U: Godoi FC, Bhandari BR, Prakash S, Zhang M (ured.) Fundamentals of 3D Food Printing and Applications, Academic Press, London/San Diego/Cambridge/Kidlington, str. 117-149. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814564-7.00005-5>

Shahrubudin N, Lee TC, Ramlan R (2019) An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing* **35**, 1286-1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>

Tammam AA, Salman K, Abd-El-Rahim A (2014) Date syrup as a sugar substitute and natural flavour agent in ice cream manufacture. *J. Food & Dairy Sci.* **5** (8), 625-632. <https://doi.org/10.21608/jfds.2014.53075>

Tasso, I. de S., dos Santos, T. G., & Seibel, N. F. (2020) Elaboration of a natural sweetener using Erythritol/Stevia. *Food Sci. Technol.* **40** (2), 370-375 <https://doi.org/10.1590/fst.42718>

Tejada-Ortigoza V, Cuan-Urquiza E (2022) Towards the Development of 3D-Printed Food: A Rheological and Mechanical Approach. *Foods* **11** (9), 1191. <https://doi.org/10.3390/foods11091191>

Vahčić N, Hruškar M, Marković K (2000) Metoda kvantitativne deskriptivne analize u senzorskoj procjeni jogurta. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka* **50**(4), 279-296. <https://hrcak.srce.hr/93330>

Willems JL, Low NH. (2012) Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *J. Agric. Food Chem.* **60** (35), 8745-8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>

Zijlstra N, de Wijk RA, Mars M, Stafleu A, de Graaf C (2009) Effect of bite size and oral processing time of a semisolid food on satiation. *Am. J. Clin. Nutr.* **90** (2), 269-275. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27694>

Izjava o izvornosti

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

Katarina Bavrka

Vlastoručni potpis