

# Primjena aditivne tehnike u razvoju proizvoda na bazi biljnih proteina kao zamjene za meso

---

**Mavrić, Renata**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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:159:590743>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Preddiplomski studij**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Renata Mavrić**

7747/PT

**Primjena aditivne tehnike u razvoju proizvoda na  
bazi biljnih proteina kao zamjene za meso**

**ZAVRŠNI RAD**

U sklopu predmeta Fizikalna svojstva složenog sustava hrane:

Mentor: Prof. dr. sc. Anet Režek Jambrak

Zagreb, 2021.

## ZAHVALA

*Najlijepše se zahvaljujem svojoj mentorici, prof.dr.sc. Anet Režek Jambrak te mag. nutr. Marineli Nutrizio na vrijednim savjetima, prenesnom znanju i velikoj pomoći pri izradi ovoga rada.*

*Također se zahvaljujem mag. ing. Filipu Valjak (Fakultet strojarstva i brodogradnje) na edukaciji u Onshape softveru te ing. Goranu Bosanac, univ. bacc. ing. Lidiji Drobac i svojim kolegama na velikodušnoj pomoći pri provođenju eksperimentalnog dijela rada.*

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

**Sveučilište u Zagrebu**

**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

**Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija**

**Zavod za opće programe**

**Laboratorij za održivi razvoj**

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija

## **Primjena aditivne tehnike u razvoju proizvoda na bazi biljnih proteina kao zamjene za meso**

Renata Mavrić, 7747/PT

**Sažetak:** Rješenje problema omogućavanja dostatne količine kvalitetne hrane rastućoj ljudskoj populaciji jest povećanje unosa proteina biljnog podrijetla i smanjivanje unosa hrane životinjskog podrijetla. Kako bi proizvod na bazi biljnih proteina bio prihvaćen od potrošača, moraju biti zadovoljeni zahtjevi organoleptičkih svojstava, ali i tržišna cijena na koju utječe cijena sirovina i proizvodnje. Aditivna tehnologija 3D printanja ima visoka početna ulaganja i dugo vrijeme proizvodnje, no omogućava stvaranje personaliziranih proizvoda. Primjenom tehnologije 3D printanja hrane na bazi ekstruzije razvijen je proizvod na bazi biljnih proteina kao alternativa mesnom proizvodu u obliku medaljona. Proizvod sadrži proteine riže i graška u različitim omjerima, pri čemu se prema parametrima instrumentalne analize teksture i senzorske analize kao najbolji istaknuo medaljon s 12% proteina graška i 4% proteina riže.

**Ključne riječi:** 3D printanje, biljni proteini, industrija 4.0, održivost, zamjena za meso

**Rad sadrži:** 32 stranica, 11 slika, 6 tablica, 35 literaturnih navoda

**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:** Prof. dr. sc. Anet Režek Jambrak

**Pomoć pri izradi:** Marinela Nutrizio, mag. nutr., asistent na projektu

**Datum obrane:** lipanj 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

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

**Department of**  
**Laboratory for sustainable development**

**Scientific area:** Biotechnical Sciences

**Scientific field:** Food Technology

### **Additive technology application on development of plant-based products as a meat alternative**

Renata Mavrić, 7747/PT

**Abstract:** A solution to ensure sufficient quantities of good-quality food to the growing human population is to reduce the amount of consumed animal protein and increase the intake of plant foods rich in proteins. In order for a plant-based protein product to be accepted by consumers, it has to be suitable sensorially and price-wise. Although additive manufacturing includes high initial investment that affects the cost of the product, it enables the production of personalized products. A plant-based product shaped as a nugget was developed as a meat alternative using extrusion-based 3D printing technology. Nuggets were made with pea and rice proteins in different amounts. The best texture parameters and sensory evaluation grades were assigned for the nugget with 14% of pea protein and 4% of rice protein.

**Keywords:** 3D printing, Industry 4.0, meat alternative, plant protein, sustainability

**Thesis contains:** 32 pages, 11 figures, 6 tables, 35 references

**Original in:** Croatian

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

**Mentor:** Anet Režek Jambrak, PhD Full Professor

**Technical support and assistance:** Marinela Nutrizio, MSc, Research Assistant

**Defense date:** June 2021

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Industrija 4.0: Aditivne tehnike .....	2
2.1.1. 3D printanje hrane .....	2
2.2. Biljni proteini.....	6
2.2.1. Održivost biljnih proteina .....	6
2.2.2. Tehnološka i nutritivna svojstva biljnih proteina.....	8
2.3. Razvoj printabilne formulacije na bazi biljnih proteina.....	10
2.4. Proizvodi na bazi biljnih proteina - moguća zamjena mesa?.....	13
2.4.1. Tržište .....	13
2.4.2. Prihvaćenost od strane konzumenata.....	14
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	17
3.1. Materijali.....	17
3.1.1. Laboratorijski pribor i uređaji.....	17
3.2. Metode.....	18
3.2.1. Priprema formulacije.....	18
3.2.2. Pečenje .....	19
3.2.3. Analiza teksture.....	20
3.2.4. Senzorska analiza.....	20
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	22
4.1. Tekstura.....	22
4.2. Senzorska analiza.....	24
5. ZAKLJUČAK.....	27
6. POPIS LITERATURE.....	28

## 1. UVOD

Jedan od glavnih pokretača promjene prema održivijem razvoju i cirkularnoj ekonomiji je hrana i način procesiranja hrane. Cirkularna je ekonomija u svojoj suštini obnovljiva i samoregenerirajuća s ciljem održavanja proizvoda, komponenata i materijala na najvišoj razini vrijednosti i korisnosti u svim trenucima. Zamišljena je kao kontinuirani, pozitivan krug razvoja koji čuva i unaprjeđuje prirodne resurse, optimira prinose resursa i minimizira rizike u sustavu (Blunck i Werthmann, 2017). Aditivne tehnike kao dio četvrte industrijske revolucije omogućuju učinkovitiju proizvodnju s obzirom na troškove i količinu resursa, podržavajući sustav cirkularne ekonomije (Berawi, 2019).

Svijest o sigurnosti hrane i izazovima rastuće populacije ljudi potiču stvaranje prakse održivosti i obnovljivosti prilikom dobivanja visokonutritivne hrane. Prateći demografsku eksploziju ljudske populacije u svijetu i porast ekonomskog statusa većeg broja populacije, povećava se uzgoj, proizvodnja i konzumacija proteina životinjskog podrijetla. Proteini životinjskog podrijetla terete ekosustav, imaju limitiranu proizvodnju te su usko vezani uz klimatske promjene, iscrpljivanje pitke vode, gubitak biološke razgradivosti i mogućeg utjecaja na zdravlje ljudi. Kao odgovor na taj problem pojavljuje se velik broj istraživanja o zamjeni tradicionalnih proteina životinjskog podrijetla alternativnim izvorima proteina, od kojih biljni proteini, već prisutni u ljudskoj prehrani, nude ekonomičnu i svestranu zamjenu (Segovia-Siapco i Sabate, 2019; Sa, 2020).

Cilj ovog završnog rada je teorijski proučiti aditivnu tehniku 3D printanja, primjenu 3D printanja u razvoju proizvoda na bazi biljnih proteina te opravdanost zamjene mesa alternativnim proizvodima na bazi biljnih proteina. Formulacija proizvoda i izvedba 3D printanja eksperimentalno su provedene u razvoju medaljona na bazi proteina graška i riže kojemu su određena svojstva teksture instrumentalnom analizom te svojstva preferencije i prihvaćenosti od strane potrošača senzorskom analizom.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Industrija 4.0: Aditivne tehnike

Razvoj znanosti i tehnologije ima značajnu ulogu u ostvarivanju Ciljeva održivog razvoja (engl. *Sustainable Development Goals*, SDG), unapređujući efikasnost i efektivnost novih, održivijih metoda razvoja. Tehnološki razvoj, inovacije i unapređenja u proizvodnji kritična su za postizanje zadanih ciljeva, stoga je danas Industrija 4.0 značajna u socijalnom, okolišnom i ekonomskom razvoju (Berawi, 2019).

Industrija 4.0 naziv je za četvrtu industrijsku revoluciju koja je definirana kao sljedeći nivo organizacije i kontrole nad cjelokupnim lancem vrijednosti životnog ciklusa proizvoda; usmjerena je prema povećanju individualiziranih potreba potrošača. Glavni cilj Industrije 4.0 jest ispunjavanje personaliziranih potreba potrošača u područjima od menadžmenta naručivanja, istraživanja i razvoja, proizvodnje te dostave do upotrebe i recikliranja iskorištenog proizvoda (Vaidya i sur., 2018). Unapređujući digitalizaciju i omogućavajući umrežavanje, Industrija 4.0 mijenja industrijski lanac vrijednosti (Blunck i Werthmann, 2017).

Aditivne tehnike kao jedan od glavnih stupova unutar Industrije 4.0 imaju široku primjenu u proizvodnji malih šarži visokoindividualiziranih proizvoda te dijelova geometrički kompleksnih oblika. Aditivne tehnike imaju mogućnost izrade dijelova prema digitalnom modelu čime se ističu od tradicionalnih metoda te u usporedbi s njima koriste manje materijala i proizvode manje otpada. Visokoučinkovite, decentralizirane proizvodnje mogu reducirati potrebne udaljenosti transporta i količine zaliha (Vaidya i sur., 2018; Blunck i Werthmann, 2017).

#### 2.1.1. 3D printanje hrane

Suprotno konvencionalnom, subtraktivnom procesu manufakture, 3D printanje aditivna je tehnika pri kojoj se trodimenzionalni objekt stvara sukcesivno, nanašanjem slojeva materijala sloj po sloj prema digitalnom nacrtu. Upotreba tehnologije 3D printanja za industrijsku proizvodnju prehrambenih proizvoda zadobiva interes i istraživača i proizvođača. Tehnologija 3D printanja doživjela je razvoj tijekom sredine 1980-ih godina razvojem računala i kontrolnih sustava (Gebler, 2014).

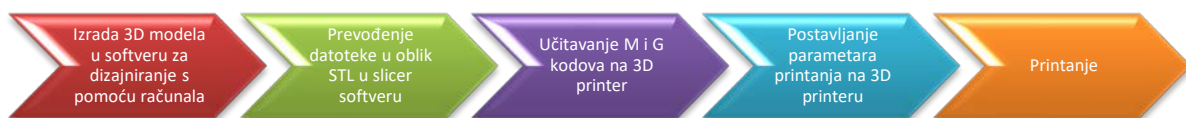
Evolucija 3D printanja hrane obilježena je fundamentalnim koracima kao što su primjena ekstruzije u 3D printanju (2006. godine) te printanje: šećernih materijala (2006.-2009.



godine); hrane koja se lako žvače i guta za stariju populaciju (2012.-2015. godine); skulptura od šećera (2013. godine); mesa uzgojenog *in vitro* (2013. godine); čokolade (2013. godine) i tjestenine (2015. godine). 3D printanje možemo definirati kao digitalno kontroliran, robotički proces primjeren za slojevitu proizvodnju kompleksne krute hrane uz međusobno spajanje slojeva omogućeno primjenom fazne promjene ili kemijskih reakcija (Baino, 2020).

Prema Le Bail i sur. (2020) u posljednjih par godina brojne su studije demonstrirale vrijednost tehnologije 3D printanja u prehrambenoj industriji za proizvodnju personalizirane hrane. Osim toga, tehnologija je privukla interes i drugih primjena u prehrambenoj industriji, poput proizvodnje vojnih obroka, hrane za svemirska putovanja te hrane za ljude s posebnim potrebama poput starijih osoba ili osoba s intolerancijama na određene sastojke.

Standardni printer za hranu sastoji se od tri bloka: računala, softvera i motora printera s kontrolnom komponentom. Platforma printera ima površinu sa XYZ trodimenzionalnom osi, jednu ili više sastavnica za dispenciju/sinteriranje te sučelja za korisnika. Proces 3D printanja sastoji se od četiri glavna koraka te započinje dizajniranjem digitalnog 3D modela. Taj model dobiva se izradom 3D modela u softveru za dizajniranje s pomoću računala (engl. *Computer Aided design*, CAD) ili uporabom već dizajniranih modela koji su dostupni na mreži. Zatim „slicer“ softver prevodi model u oblik STL (engl. *Standard Triangle Language*) datoteke i generira M kodove za svaki individualni sloj. M kodovi se učitavaju na printer koji, nakon postavki parametara printanja, može započeti printanje. Osim M kodova koji kontroliraju osna kretanja, G kodovi generirani na softveru za dizajniranje s pomoću računala određuju instrukcije vezane uz mjesto printanja, brzinu, osi, itd (Baiano, 2020). Završni korak je korak samoga printanja.

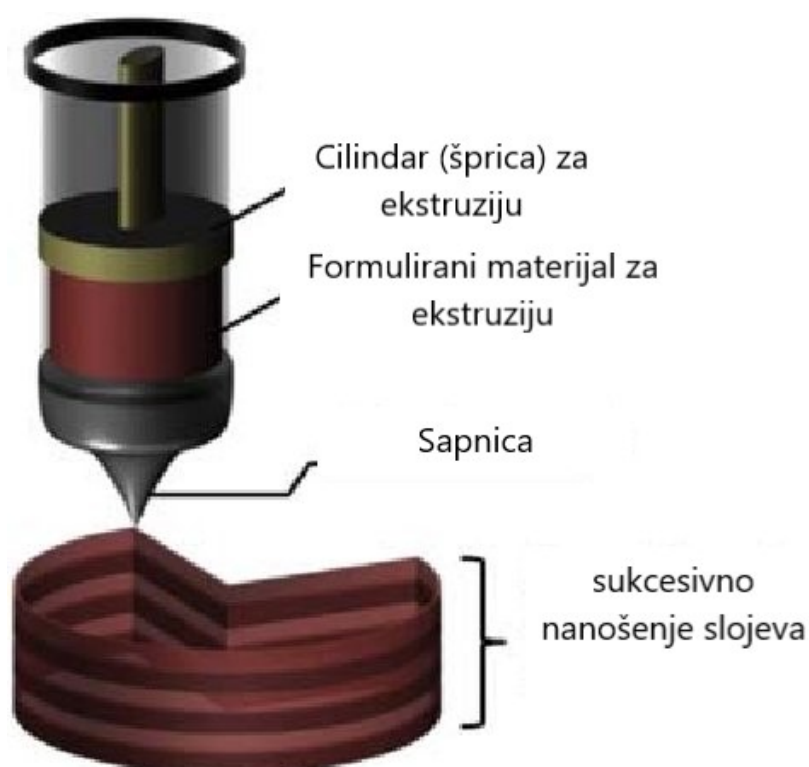


Slika 1. Redoslijed procesa 3D printanja.

Trenutno se u primjeni printanja hrane koriste selektivno lasersko sinteriranje, primjena vezivnog sredstva, tinti ispis te printanje na principu ekstruzije, odnosno modeliranje taložnim srašćivanjem (Sun i sur., 2015).

### 2.1.1.1. Printanje na principu ekstruzije

Printanje na principu ekstruzije smatra se najjednostavnijim za razvoj i ima najširi opseg već isprintane hrane. U primjeni za 3D printanje su 3 mehanizma ekstruzije: ekstruzija na bazi valjka, na bazi pritiska i na bazi ubrizgavanja (Liu i sur., 2017). Ova tehnika uključuje robotsku ruku s cilindrom (tj. špricom) koja, pomičući se po površini, ekstrudira materijal kroz sapnicu. Sukcesivno nanošenje slojeva se omogućava prostornim usmjeravanjem cilindra prema postojećem 3D modelu (Le-Bail i sur., 2020).



Slika 2. Prikaz 3D printanja na principu ekstruzije ubrizgavanjem (prema Javaid i Haleem, 2019).

Printanje na principu ekstruzije uže se klasificira i prema temperaturi ekstruzije na: ekstruziju pri sobnoj temperaturi (engl. *Room Temperature Extrusion*, RTE), ekstruziju taljenjem (engl. *Hot-melt Extrusion*, HME) i hidrogel formirajuću ekstruziju (engl. *hydrogel-forming extrusion*, HFE). RTE podrazumijeva glatko ekstrudiranje nativno printabilnog materijala pri sobnoj temperaturi, dok se kod HME polutekuća ili otopljena tinta ekstrudira pri visokim temperaturama i zahtijeva da se materijal stvrdne gotovo odmah nakon ekstruzije i zavari na prethodni sloj. Pri HFE hidrokoloidne se suspenzije printaju u polimernu otopinu ili otopinu za stvrdnjavanje gela kako bi se omogućilo stvrdnjavanje hidrokoloidne otopine u gel prije

nanošenja sljedećeg sloja (Le-Bail i sur., 2020). Uvjeti ekstruzije usko su povezani sa svojstvima tinte, odnosno formulacije koju se printa.

### *2.1.1.2. Prednosti i izazovi 3D printanja hrane*

Novе tehnologije koje se pojavljuju unutar Industrije 4.0 omogućuju brže i jeftinije procese istraživanja i razvoja, tj. simultani inženjering ili ubrzano prototipiranje. Upotrebom 3D printanja može se znatno smanjiti vrijeme koje je potrebno da se proizvod plasira na tržište (Blunck i Werthmann, 2017).

Prednost aditivnih tehnika uključuje mogućnost usklađivanja proizvodnje prema potražnji (Ford i Despeisse, 2016). Asocira se sa snižavanjem financijskih i energijskih resursa koji se ulažu u procese proizvodnje, što posljedično utječe na smanjenje cijene finalnog proizvoda i količine otpada prilikom proizvodnje. Također se smanjuje potreba za radnom snagom što je u samoj srži ciljeva industrije 4.0. Uz automatizaciju lanca opskrbe, omogućit će se približavanje mjesta proizvodnje hrane potrošaču, što smanjuje troškove i negativan utjecaj transporta, ali i omogućuje smanjivanje vremena skladištenja hrane (Baiano, 2020).

Neosporiva prednost 3D printanja hrane jest široki opseg sastojaka koji se mogu koristiti: od tradicionalnih sastojaka do netradicionalnih izvora hrane poput insekata i biljnih i životinjskih nusproizvoda. Osim što pruža mogućnost razvoja održivijih proizvoda, uporaba 3D printanja hrane značajna je za inovaciju i primjenu u gastronomiji (Baino, 2020).

Tehnologija 3D printanja hrane može se koristiti za proizvodnju velikog izbora gotove hrane koja zadovoljava potrebe onih ljudi sa specifičnim bolestima vezanih uz hranu (na primjer: celijakije, dijabetesa, hipertenzije i pretilosti) te ljudi s osobnim prehrambenim navikama (vegetarijanska, veganska, ...). Disfagija, poremećaj otežanog gutanja, može se olakšati primjenom tehnike 3D printanja hrane. Pacijenti koji boluju od disfagije mogu se hraniti jedino usitnjenom, kašastom hranom koja je objektivno neprimamljiva i ponekad nutritivno neprimjerena. Upotrebom 3D printanja usitnjena i procijeđena hrana može se koristiti za reprodukciju originalnog izgleda namirnice ili za stvaranje nove, prihvatljive teksture bez smanjenja nutritivne vrijednosti. Osim toga 3D printanje hrane može imati primjenu u proizvodnji prilagođenih obroka za starije ljude, za profesionalne sportaše, trudnice i djecu variranjem nutritivnog sastava, redukcijom ili eliminacijom nepoželjnih tvari poput antinutrijenata te dodavanjem prehrambenih dodataka poput vitamina, prehrambenih vlakana i fitokemikalija (Baino, 2020).

Unatoč brojnim prednostima koje uključuju stvaranje kompliciranih i personaliziranih dizajna hrane u pogledu teksture, izgleda i nutritivnog profila te proizvodnje minimalne količine otpada, 3D printanje hrane minimalno je primijenjeno u prehrambenoj industriji. Trenutno je tehnologija ograničena visokim početnim ulaganjima, dugim vremenom printanja i malim kapacitetom proizvodnje (Le-Bail i sur., 2020). Potrebno je bolje znanje kemijskih, fizičkih i bioloških svojstava printabilnih materijala, razvoj tinta s poželjnim svojstvima printabilnosti, razvoj mehanizma kontinuirane dobave materijala i ugradnja uređaja koji bi mogli smanjiti vrijeme potrebno za kreaciju rigidne strukture potrebne za podnošenje slojeva (Baiano, 2020). Također je potrebno potrošače educirati o samome procesu printanja hrane kako bi se uspješno prešlo preko neofobije - straha od konzumacije nove hrane.

## 2.2. Biljni proteini

Najbogatiji dio biljke proteinima jest sjemenka - grahorice, sjeme žitarica i orašasti plodovi. U orašastim plodovima i sjemenu žitarica proteini su uskladišteni unutar otpornih staničnih struktura te je sjeme kod kopnenih biljaka prekriveno čvrstim ljuskama kako bi bilo zaštićeno od nametnika i bolesti. Sjeme mora ostati očuvano i biokemijski stabilno dugo vrijeme, što se kod žitarica postiže tako da su proteini pohranjeni u obliku kompaktnih skladišnih proteina niske vlažnosti, prolamina i glutelina. Oba proteina su hidrofobni i loše topljivi u vodi, stoga se proteini iz žitarica i orašastih plodova teško ekstrahiraju u vodene otopine. Pročišćeni proteini iz tih izvora tek su nedavno postali dostupni na tržištu zbog otežane proizvodnje. Kod grahorica je glavna uloga proteina strukturalna i metabolička, a sastoje se od albumina topljivih u vodi i globulina topljivih u vodenim otopinama soli, što ih čini lakšima za ekstrakciju i pročišćavanje. Lišće, cvijeće i stabljike sadrže proteine u niskim udjelima, iako se topljivi metabolički proteini poput ribuloza-1,5-bisfosfat karboksilaza/oksigenaza (RuBisCO) mogu izolirati iz lišća (npr. šećerne repe) i algi (Loveday, 2020).

Teorijski bi svaki biljni protein mogao biti potencijalni kandidat za pripremu mesnih analoga i alternativnih proizvoda. Ipak, prema kriterijima dostupnosti, cijene sirovine, nutritivnih svojstva i svojstva procesiranja, najprisutniji u proizvodnji alternativnih proizvoda su soja, proteini graška (mahunarke) i pšenični gluten (žitarica) (Sha i Xiong, 2020).

### 2.2.1. Održivost biljnih proteina

Prema Organizaciji za prehranu i poljoprivredu (engl. Food and Agriculture Organization, FAO) održiva prehrana je okarakterizirana kao prehrana s niskim utjecajem na okoliš koja pridonosi sigurnosti hrane, osiguravanju nutritivnih potreba i zdravom životu za sadašnje i

buduće generacije. Budući da je proizvodnja, odnosno uzgoj biljnih proteina manje zahtjevno od uzgoja i proizvodnje proteina životinjskog podrijetla, prehrana bogata hranom biljnog podrijetla je održivija i manje zahtjevna za okoliš u usporedbi s prehranom koja se bazira na hrani životinjskog podrijetla (Segovia-Siapco i Sabate, 2019).

Za proizvodnju mesa i životinjskih proteina, potrebna je neproporcionalna količina biljnog proteina. U prosjeku je za 1 kg mesa potrebno 6 kg biljnog proteina (Dekkerr, 2018). Prema podacima Organizacije za Ekonomsku suradnju i razvoj (eng. *Organisation for Economic Cooperation and Development*, OECD) u svijetu će se do 2029. godine po stanovniku konzumirati 14,858 kg peradi, 6,279 kg govedine, 11,600 kg svinjetine te 0,984 kg ovčetine, što bi prosječno odgovaralo ukupnoj sumi od 202,326 kg biljnog proteina (OECD, 2021).

U istraživanju koje su proveli Segovia-Siapco i Sabate (2019) uspoređujući utjecaj na okoliš i potrebne resurse za proizvodnju biljnih proteina (grah i bademi) i životinjskih proteina (jaja, piletina i govedina) pokazali su da je za proizvodnju govedine potrebno najviše resursa i to: oko 18 puta više zemljišta, 11 puta više vode i 12 puta više gnojiva od iste količine proteina dobivenog iz graha. Također je potrebno oko 10 puta više pesticida nego kod uzgoja graha i proizvede se 5 puta više životinjskog otpada u usporedbi s proteinima iz jaja. Obradom ovih podataka došli su do zaključka da vegetarijanska prehrana naprema prehrani koja sadrži namirnice animalnog podrijetla koristi oko 10 000 litara manje vode, 9 900 kJ manje energije, 186 g manje gnojiva i 5 g manje pesticida. Redukcija ili eliminacija mesa iz prehrane prema podacima istraživanja rezultira smanjenjem stakleničkih plinova i to oko 29% i 22% kod polovične vegetarijanske i prave vegetarijanske prehrane u usporedbi s nevegetarijanskom prehranom. Prilikom konzumacije prosječne količine mesa (50-99 g mesa/danu) staklenički plinovi smanjili su se za 22%, dok kod veganske prehrane za 60% u usporedbi s prehranom bogatom mesom ( $\geq 100$  g mesa/danu).

Izoliranje proteina do visoke razine pročišćenosti uporabom konvencionalne metode mokrog frakcioniranja je proces koji zahtijeva mnogo resursa. Mnogi proizvodi na bazi biljnih proteina koriste upravo proteinske izolate dobivene tim procesom te bi se trebala utvrditi njihova održivost. Prema Berghout i sur. (2015) za 1 kilogram proteinskog izolata sjemenki uljarica, potrebno je 22,4 kg heksana za ekstrakciju ulja, 87 kg vode za izolaciju i oko 18 MJ za sušenje raspršivanjem. Osim toga, taloženje inducirano kiselinama pri proizvodnji proteinskih izolata soja daje iskorištenje koje je manje od pola početnih proteina (Wu i sur., 2014).

Prema nekim indikatorima o potrebnoj količini resursa, biljni proteini mogu biti usporedivi ili zahtjevniji od proteina životinjskog podrijetla uzgojenog na pašnjacima (Loveday, 2020).

Važno je prepoznati da preživači pretvaraju ljudima nejestivu sirovinu ili nusproizvode prehrambene industrije u visokokvalitetnu sirovinu (Wu i sur., 2014). Poboljšanja u procesiranju biljnih namirnica bogatih proteinom poput suhog frakcioniranja, ekstrakcije potpomognute enzimima i razvoja novih tehnologija imaju potencijala smanjiti zahtjevnost proizvodnje biljnih proteina, no mogu povećati antinutrijente prisutne u završnom proizvodu (Loveday, 2020).

### 2.2.2. Tehnološka i nutritivna svojstva biljnih proteina

Uporaba biljnih proteina zavisi o njihovim tehnološkim i nutritivnim svojstvima. Tehnološka svojstva određuju ponašanje proteina u sustavu hrane tijekom pripreme, procesiranja, skladištenja i konzumacije, a pod utjecajem su prirode i jačine međusobnih interakcija proteina, ali i interakcije proteina s ostalim komponentama sustava, uključujući vodu (Amagliani i sur., 2017). Tehnološka svojstva apsorpcije vode i ulja, emulgiranja, pjenjenja i termičke stabilnosti važna su svojstva proteina za formulaciju proizvoda na bazi biljnih proteina. Sposobnost tvorbe gela kritično je svojstvo proteina jer viskoelastični gelovi imaju ulogu u adheziji čestica čime imobiliziraju masti i zarobljuju vodu unutar matriksa alternativnog proteinskog proizvoda na bazi emulzije (Sha i Xiong, 2020). Nutritivna svojstva vezana su uz unos adekvatne količine esencijalnih i neesencijalnih komponenta hrane u organizam. Važno je osigurati unos svih potrebnih aminokiselina i omogućiti njihovu probavljivost. Osim toga, unosom proteina životinjskog podrijetla, osiguravamo i unos drugih vitamina i minerala čiji unos mora biti nadoknađen i u prehrani na bazi biljnog podrijetla.

#### *Kategorije proizvoda na bazi proteina*

Najčešća kategorija proizvoda na bazi proteina jesu proteinski koncentri koji sadrže 50-70% proteina te proteinski izolati čiji sastav ima preko 90% proteina. Kako bi se dobilo koncentrat ili izolat, potrebno je odvojiti proteine od ugljikohidrata, lipida i ostalih materijala u biljnoj sjemenki što se postiže odvajanjem temeljenim na različitoj topljivosti proteina od ostalih sastojka (Loveday, 2020).

#### *2.2.2.1. Proteini riže*

Proteinska komponenta riže smatra se hipoalergenskom te se sastoji od 4 proteinske frakcije: albumina, globulina, glutelina i prolamina. Albumini su topljivi u vodi, globulini u vodenim otopinama soli, glutelini su najzastupljeniji u alkalnim otopinama, dok manji dio proteina otpada na prolamine topljive u alkoholu. Veliki je broj istraživanja o rižnim proteinima koji su doveli do poboljšanja procesa ekstrakcije, obogaćenja, izolacije i

funkcionalnosti izolata rižinih proteina. Neki od istraživanih postupaka koji uključuju alkalne, enzimatske i fizikalne tretmane već su primijenjeni u industriji (Amagliani i sur., 2017).

Rižini proteini pokazuju minimalnu topljivost u vodi pri pH 4,5 te se njihova topljivost poboljšava pomicanjem prema lužnatijem ili kiselijem mediju na što najviše utječe dominantna glutelinska frakcija proteina. Slaba topljivost glutelina u vodi posljedica je ekstenzivne agregacije i umreženja putem disulfidnih veza. Svojstvo pjenjenja proteina smeđe riže, bijele riže i proteina rižinih mekinja bili su 3.65-, 5.52- i 4.21- puta viši pri pH 11, nego pH 5 te se topljivost poboljšava povećanjem koncentracije NaCl s 0,4% na 2% za rižine mekinje, odnosno s 0,4% na 0,8% za smeđu i bijelu rižu. Kapacitet apsorpcije vode proteinskih izolata riže na bazi endosperma i taloga iznosi 2,81 g/g, odnosno 3.02 g/g, te je zabilježeno da proteinski izolati iz mekinja, 3.54 mL/g, imaju višu sposobnost apsorpcije vode od onih iz bijele i smeđe riže, 1,78 mL/g i 1,96 mL/g. Kapacitet apsorpcije ulja važan je radi osiguravanja dobrih organoleptičkih svojstva završnog proizvoda. Za proteinske izolate riže iz endosperma i iz taloga kapacitet apsorpcije ulja iznosi 2.14 i 2.38 g/g, dok za proteine smeđe riže, bijele riže i rižinih mekinja 2.93, 2.56 i 3.83 mL/g (Amagliani i sur., 2017).

Proteini iz žitarica imaju nižu probavljivost od drugih biljnih proteina, što je posljedica suboptimalnog profila aminokiselina. Deficijentni su u nekoliko aminokiselina, no prva ograničavajuća aminokiselina je u pravilu lizin (Bohrer, 2019).

#### *2.2.2.2. Proteini graška*

Zrna graška sačinjavaju oko 22-23% proteina od kojih su većina globulini (55-65% ukupnih proteina) i albumini (18-25% ukupnih proteina). Glavni skladišni proteini u grašku jesu globulini i to: legumin, vicilin i konvicilin. Proteinski koncentрати najčešće se proizvode zračnom separacijom brašna graška dobivenog mljevenjem zrna te sadrže oko 50% proteina nakon uklanjanja škroba. Proteinski izolati podvrgavaju se mokrom procesiranju u lužnatim ili kiselim uvjetima nakon kojega se dobiva proizvod s udjelom proteina oko 85% (Barać i sur., 2015).

Topljivost proteina graška ovisi o svojstvima topljivosti najprisutnije proteinske frakcije, globulina čija je minimalna topljivost u njihovoj izoelektičnoj točki pri pH oko 4,5. Maksimalna topljivost zapažena je pri pH 8-9. Svojstva emulgiranja proteinskog izolata graška tretiranog taloženjem induciranog kiselinama ovise o pH vrijednosti otopina. Pri neutralnoj pH vrijednosti proteini brže adsorbiraju i posljedično čine manje stabilan gel s većim razlikama u veličini čestica. Suprotno tome, pri nižim pH vrijednostima (pH 2,4) stvoreni gel homogeniji

je i stabilniji kao posljedica tvorbe veće površinske viskoelastičnosti. Proteinski izolat graška stvara stabilniju pjenu od pjene proteinskog izolata soje, no ima nižu aktivnost pjenjenja. Proteini graška tvore slabi gel, induciran toplinom. Tvorba gela ovisi o stupnju denaturacije, pri čemu niži stupanj denaturacije utječe na formiranje jačeg gela. Osim toga na formaciju gela utječe i koncentracija proteina, što je veća i gel je jači, stoga proteinski izolati kreiraju jači gel od proteinskih koncentrata graška (Barać i sur., 2015).

Proteini graška bogati su svim esencijalnim aminokiselinama osim metionina te imaju manje antinutritivnih faktora od proteina soje, što ih čini bolje probavljivim (Zhao, 2020).

### *2.2.2.3. Nutritivna svojstva biljnih proteina*

Istraživanja pokazuju da iako neki izvori biljnih proteina sadrže kompletan aminokiselinski sastav, mnogi imaju manjak jedne ili više aminokiseline. Nedostatak esencijalnih aminokiselina rezultira nepravilnim funkcioniranjem organizma. Biljni proteini, ovisno o izvoru, mogu imati manjak lizina (žitarice) ili metionina i cisteina (mahunarke) (Sa, 2020). Ovaj problem može se riješiti kombiniranjem izvora biljnih proteina, miješajući proteine dobivene iz mahunarki s ovima iz žitarica kako bi se stvorila kompletna aminokiselinska slika proizvoda, bez deficijencije ili limitirajuće aminokiseline. Probavljivost biljnih proteina je također narušena antinutritivnim faktorima prisutnim u biljkama iz kojih se dobivaju proteini (Bohrer, 2019). Probavljivost i bioraspoloživost ovise o kemijskoj strukturi proteina, koracima procesiranja proteina i prisutnosti nepoželjnih antinutritivnih sastojaka. Iako antinutritivni sastojci smanjuju kvalitetu proteina, mogu imati i pozitivne utjecaje na kvalitetu zbog svojih potencijalnih antioksidativnih i protuupalnih svojstava (Sa, 2020). Prehrana bazirana na hrani biljnog podrijetla može reducirati rizik od razvoja nekih kroničnih bolesti, poput kardiovaskularnih bolesti, dijabetesa tipa 2 i raka crijeva zbog svojih nutritivnih prednosti koje uključuju povećan unos vlakana, folne kiseline i unosa ulja i masti bolje kvalitete. Prema provedenoj studiji, djelomična zamjena proteina životinjskog podrijetla s proteinima biljnog podrijetla u periodu od 12 tjedana zabilježila je povećan rizik za zdravlje kosti, što se povežalo s manjom unosom unosa kalcija i vitamina D važnih za njihovo zdravlje (Itoken i sur., 2021).

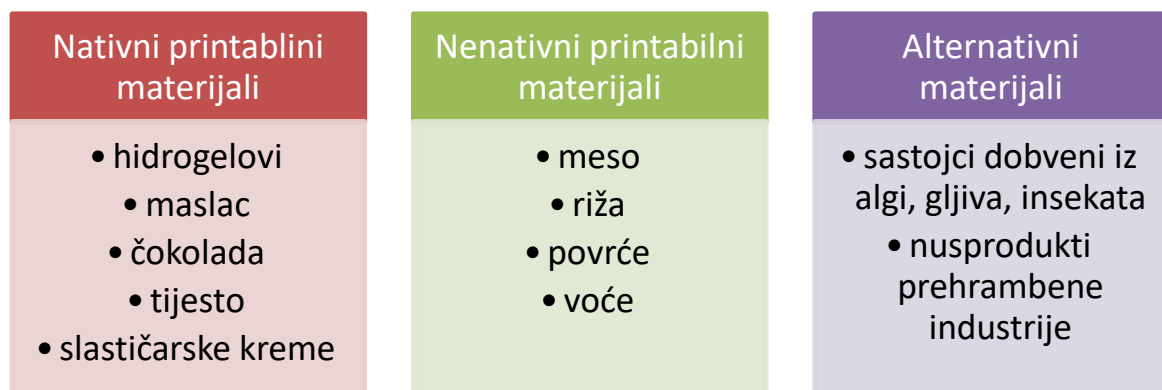
## 2.3. Razvoj printabilne formulacije na bazi biljnih proteina

Jedan od najvećih izazova prilikom 3D printanja hrane jest osmišljavanje i razvoj prikladne formulacije hrane u kombinaciji s pogodnim parametrima procesiranja poput stabilnosti proizvoda i printabilnosti strukture.



Uvjeti koji materijali moraju ispuniti kako bi se mogli koristiti za 3D printanje jesu viskoelastičan odgovor koji se može kontrolirati, mogućnost formiranja struktura sposobnih podnositi kompresivan stres kapilarnih sila te se ne smije prekomjerno stisnuti tijekom sušenja kako bi se spriječila deformacija strukture. Nužno je da materijali zadržavaju svoj oblik jednom kada su nanoseni, odnosno treba biti omogućeno nanašanje u definirane oblike bez njihovih širenja, pljoštenja i spajanja (Gholamipour-Shirazi i sur., 2020).

Tri su kategorije na kojima se temelji sposobnost printanja prehrambenih proizvoda: prirodni (nativni) printabilni prehrambeni materijali, nenativni printabilni tradicionalni prehrambeni materijali i alternativni sastojci. Nativno printabilni materijali su konditorski proizvodi, mliječni proizvodi i hidrogelovi, a nenativno printabilni meso i biljni materijali. Razlika je da nenativno printabilni materijali zbog svoga kemijskog sastava i određenih nepovoljnih fizikalnih karakteristika zahtijevaju dodatak tvari koje olakšavaju istjecanje i povećavaju viskoznost. Alternativni sastojci uključuju funkcionalne i bioaktivne komponente poput proteinskog izolata i izolata vlakana iz insekata, algi te nusprodukata prehrambene industrije (Baiano, 2020).



Slika 3. Kategorije prehrambenih proizvoda prema sposobnosti printanja materijala s primjerima (Baiano, 2020, Sun i sur., 2015, Gholamipour-Shirazi i sur., 2020).

Fizičkim i kemijskim reakcijama, biljni proteini sposobni su agregirati u veće čestice i anizotropna vlakna koji oponašaju teksturu i strukturu mišića (Sha i Xiong, 2020). Alternativni proteini stoga se mogu koristiti za dobivanje organoleptički prihvatljivih proizvoda, što predstavlja veliki izazov u rekreaciji mesa. Okus mesa rezultat je velikog broja molekula različitih kemijskih kategorija prisutnih u različitim koncentracijama. Okus govedine najviše je istražen te ima otkrivenih preko 600 različitih tvari arome (Shadidi, 1986).

Masti i hidrofilne tvari niske molekularne mase najvažniji su prekursori u mesu odgovorni za okus. Smatra se da okus kuhanog mesa potječe iz nehlapljivih prekursora iz sirovog mesa koji su esencijalni za stvaranje percepcije okusa i mirisa. Osim toga, okusu doprinose i ostale senzacije kao što su boja, žvkljivost, sočnost, tekstura i aroma (Arshad, 2018).

Alternativni proizvodi često sadrže jednako masti poput tradicionalnih mesnih proizvoda. Ulja i masti dodaju se formulacijama za mesne analoge kako bi doprinijeli sočnosti, mekoći, žvkljivosti i otpuštanju okusa proizvoda, ali također tijekom procesiranja djeluju na način da sprječavaju prekomjerno lijepljenje materijala za opremu i omogućavaju lubrikaciju (Bohrer, 2019). Upravo su masti glavi nosači okusa jer proteini puno manje zadržavaju hlapljive tvari od masti. Percepcija okusa hidrofilnih tvari okusa i njihovo otpuštanje značajno je za proteine na granici uljne i vodene faze (Sahar, 2018).

Proizvodi na bazi biljnih proteina također sadrže ugljikohidrate koji se dodaju radi modificiranja i stabiliziranja strukture. Osim toga, doprinose unosu prehrambenih vlakana važnih za zdravlje (Bohrer, 2019). Prema Sha i Xiong (2020) ugljikohidratne biopolimere možemo podijeliti na 3 skupine:

1. Sirova vlakna pripremljenih od staničnih stijenki biljaka poput jabuke, zobi i pšenice
2. Probavljiv škrob
3. Pročišćeni polisaharidi i derivati.

Kao funkcionalni sastojci koriste se škrobovi (kukuruzni, krumpirov, ...) ili brašna koji poboljšavaju teksturu i konzistenciju te vezivna sredstva poput guma (guar guma, karagen, ksantan guma, ...) i metilceluloze koji služe za stabilizaciju formulacije (Bohrer, 2019).

Odabrani minerali i vitamini mogu se dodati kako bi se omogućio isti nutritivni profil mesa i eliminirale potencijalne deficijencije nutrijenata u prehrani ljudi. Također se mogu dodavati antioksidansi kako bi se spriječila oksidacija dodanih ulja prilikom procesiranja i skladištenja pri čemu antioksidansi poput organskih kiselina, ekstrakta začina i fosfatnih soli utječu i na okus, osim mikrobne stabilnosti i produljenja roka trajanja (Sha i Xiong, 2020).

Važan faktor formulacije proizvoda je boja smjese pri čemu se u alternativama za meso nastoji postići crvenkasti izgled sirovog materijala te smeđi nakon termičke obrade. Prirodni ekstrakti pigmenta cikla, crvenog kupusa, crvenog bobičastog voća, paprike i mrkve daju crvenkastu boju sirovoj formulaciji, no teško je dobiti željenu boju nakon termičke obrade. Ekstrakt jabuke uzrokuje posmeđivanje proizvoda prilikom kuhanja zbog oksidacije

polifenolnih spojeva i askorbinske kiseline. Također je zabilježeno dodavanje pigmenta leghemoglobina dobivenog iz korijena mahunarki, najčešće soje, pri čemu je Američka agencija za lijekove (FDA) odobrila upotrebu leghemoglobina u udjelu do 0,8% težine sirovog analognog proizvoda mesu kao bojila. Primjenu leghemoglobina uvela je kompanija *Impossible Foods Inc.* (Kalifornija, Sjedinjene Američke Države). Bojilo titanijev dioksid, osim što pojačava bjelinu alternativnog proizvoda piletini, posjeduje i antimikrobnu aktivnost (Sha i Xiong, 2002; FDA, 2019).

## 2.4. Proizvodi na bazi biljnih proteina - moguća zamjena mesa?

Organoleptički je reprodukcija cjelovitog komada mišića mesa iz biljnog ili alternativnog izvora unaprijeđena, no organizacija imitacije mišićnog tkiva vrlo je zahtjevan proces. Stoga je trenutno tržište u većini fokusirano na restrukturirane ili formirane alternativne mesne proizvode poput mljevenog mesa, kobasica ili pljeskavica. Suprotno *in vitro* uzgojenom mesu, gotovo je nemoguće postići da proizvod na bazi biljnih proteina ima istu vlaknastu mikrostrukturu poput strukture mišića što se odražava na sočnost i mekoću. Osim toga, u svježem mesu čak je do 85% vezane vode zarobljeno unutar mikrofilamenta. Formacija vlaknastih struktura poput vlakna miofibrila u mišićima zahtjeva intenzivne procese termoektruzije koji denaturiraju biljne proteine kako bi se stvorile međusobne interakcije proteina i ugljikohidratnih polimera. Stoga je potrebno, neovisno o uspjehu kreacije žvkljivosti proizvoda dobivenim trenutnim tehnikama procesiranja biljnih proteina, istražiti inovacije koje bi omogućile reprodukciju tipova kapilarnih sistema u mišićima koji su od izrazite važnosti za sočnost termički obrađenih proizvoda na bazi biljnih proteina (Sha i Xiong, 2020).

Osim prepreka u tehnološkom ostvarivanju teksture i okusa, potencijalna prepreka jest i sigurnost hrane i njezina nutritivna vrijednost. Upotreba široko dostupnih biljnih proteina koji su potencijalni alergeni, veliki broj sastojaka i aditiva kojima se postižu organoleptičke karakteristike mesa, mogućnost kemijskih promjena termolabilnih sastojaka uzrokovanih povišenom temperaturom i mikrobiološka kontaminacija moraju se sistematski istražiti (Sha i Xiong, 2020).

### 2.4.1. Tržište

Europska unija 3D printanu hranu navodi kao „novu hranu“, tj. hranu koja nije bila konzumirana u značajnoj količini prije 15. svibnja 1997. kada je prva regulacija o novoj hrani stupila na snagu. Regulira se zakonom o provedbi uredbe (EU) 2015/2283 europskog

parlamenta i vijeća od 25. studenoga 2015. o novoj hrani. Prema ovom zakonu nova hrana mora biti: sigurna za potrošača; pravilno označena; ukoliko zamjenjuju drugu hranu tada nova hrana ne smije nutritivno odudarati od hrane koju zamjenjuje.

Očekuje se da će tržište proizvoda na bazi biljnih proteina kao zamjene za meso porasti s \$4,6 milijardi američkih dolara u 2018. do \$85 milijardi 2030. godine, s prekretnicom 2026. godine kada bi trebalo iznositi \$30,9 milijardi (Sha i Xiong, 2020). Prema Zion Market Research (2019) svjetsko tržište alternativnih proizvoda na biljnoj bazi u 2018. godini aproksimirano je na vrijednost \$11,92 milijarde te se očekuje rast na vrijednost \$21,23 milijarde do 2025. godine. Relativno loša efikasnost proizvodnje mesa, slika negativnog utjecaja mesnih proizvoda na zdravlje potrošača i na okoliš te problematika etičnosti konzumacije i uzgoja životinja glavne su sile koje guraju tržište mesnih alternativa. Ipak, konzumacija mesa danas je vrlo visoka. Samo u Sjedinjenim Američkim Državama po stanovniku se je 2018. godine konzumiralo 100,8 kg crvenog mesa i peradi prema podacima Ministarstva poljoprivrede Sjedinjenih Američkih Država (eng. *United States Department of Agriculture*, USDA). Zbog toga je gotovo nemoguće očekivati u bliskoj budućnosti da će alternative mesu moći u potpunosti zamijeniti i eliminirati mesne proizvode koji će zasigurno ostati dominantan izvor proteina (Sha i Xiong, 2020).

Razdioba unosa alternativnih proizvoda za meso na bazi biljnih proteina u Europskoj Uniji slijedi trend da je najveći unos među stanovnicima Ujedinjenog Kraljevstva koji su osviješteni o zdravlju i okolišu, zatim slijede veći gradovi u Italiji i Murcia (Španjolska), a Švedska i Potsdam (Njemačka) imaju najmanji unos. Zbroj unosa mahunarki, povrća i voća veći je u južnijim, a manji u sjevernijim gradovima Europske Unije (Halkjær i sur., 2009).

Veliki nedostatak alternativnih proizvoda je što u prosjeku imaju više cijene u odnosu na meso. Ekstenzivno procesiranje, optimizacija uvjeta procesiranja te upotreba biljnih proteina niske cijene i funkcionalnih, ali jeftinih sastojaka mogu biti rješenje za problem visoke cijene. Očekuju se sporovi vezani uz terminologiju takvih novih proizvoda jer često uzimaju nazive svojih mesnih alternativa što je također jedan od nedostataka (Sha i Xiong, 2020).

#### 2.4.2. Prihvaćenost od strane konzumenata

Prema nekoliko istraživanja, najbitniji faktori prihvaćenosti proizvoda od strane potrošača na regularnoj bazi su izgled, tekstura i okus (Sha i Xiong, 2020). Istraživanje koje je obuhvatilo 13 zemalja pronašlo je velike varijacije u odbijanju nove hrane, pri čemu se odbijanje najčešće pojavljuje u Europi, Sjedinjenim Američkim Državama i Australiji i to među starijom

populacijom. Ako potrošač ima izbora, u prosjeku preferira goveđu pljeskavicu bolje od njezine biljne alternative. Manjak motivacije za konzumaciju održive prehrane je barijera za redovitu konzumaciju biljnih alternativa mesu (Tuorila i Hartmann, 2020).

Percipirana senzorska kvaliteta koja se sastoji od izgleda, teksture i organoleptičkih atributa je osnova prihvaćanja novog proizvoda, a upoznavanje s proizvodom i načinom proizvodnje važno je za stvaranje očekivanja o senzorskoj kvaliteti. Prehrambena neofobija ustanovljena je prepreka prema isprobavanju nove hrane i kvantificira se skalom prehrambene neofobije (*engl. Food Neophobia Scale, FSN*). Kako bi se fokus stavio na strah isprobavanja hrane procesirane novim tehnologijama razvila se i skala neofobije prehrambenih tehnologija (*engl. Food Technology Neophobia scale, FTNS*). FSN i FTNS koriste se kako bi prikazale nisku voljnost prihvaćanja nove hrane, najčešće zbog nedostatka atributa prirodnosti. Prividna prirodnost hrane veoma je bitna za potrošača, a može biti bazirana na aspektu uzgoja (lokalni, organski, ...), metode proizvodnje (npr. minimalno procesirana) i sastojcima (npr. bez aditiva, ...) (Tuorila i Hartmann, 2020).

U istraživanju Luptona (2017) iz sociološke je perspektive zaključeno da se printanje hrane smatra futurističkim, kreativnim, zdravim, efikasnim i tehnološki održivim. Ipak, istraživanje koje su proveli Brunner i suradnici (2018) pokazalo je na 260 stanovnika Švicarske bez predznanja o 3D printanju hrane kako nisu uspjeli premostiti neofobiju. Kvalitativna studija Luptona i Turnera (2019) zaključila je na temelju razgovora s 30 Australaca da postoji oklijevanje u prihvaćanju 3D printane hrane kao sigurne, pa čak i jestive zbog nepoznatih elemenata: neobičnog izgleda hrane, inovativnih sastojka koji se mogu koristiti (npr. insekti, mikroalge, ...), sumnja oko utjecaja na zdravlje radi upotrebe aditiva, proizvođačke prakse i higijene, prisutnosti alergena i očuvanja nutrijenata procesiranjem. Smatra se da bi prihvaćenost 3D printanja hrane bila veća ako su zagwarantirani parametri kvalitete, nutritivne vrijednosti i svježine (Baiano, 2020).

Trenutno se vodi opravdana rasprava oko nutritivne vrijednosti za zdravlje modernih zamjena za meso. S jedne strane, povećan unos biljne hrane smatra se pozitivnim za zdravlje te alternativni proizvodi sadrže u prosjeku sličan udio makronutrijenata kao i meso. Ipak, povećan unos visokoprociranih proizvoda i smanjeni unos cjelovitih namirnica može sadržavati nepredvidljive negativne utjecaje na zdravlje (Bohrer, 2019).

Suhoća i nedovoljna sočnost obrađenih biljnih alternativa mesu jedan je od najčešćih nedostataka, zatim neprivačan okus ili izostanak okusa mesa kojemu su potrošači navikli predstavlja drugu važnu prepreku preko koje treba prijeći. Osim toga, crvenkasta boja

svježeg mesa i roza obojenost mesnih prerađevina nije prirodno prisutna u biljnim namirnicama bogatih proteinom te boje moraju biti dodane prilikom procesiranja proizvoda kako bi potrošači bili skloniji proizvodu. Upotrebom termina koji impliciraju cjelovitu zamjenu za meso (kobasica, pljeskavica, medaljon i sl.) industrija nameće kontroverze i prepreke generirane zbog pokušaja imitiranja mesa te bi se njihovom zamjenom za termin „mesne alternative“ mogli eliminirati nerealna očekivanja potrošača (Sha i Xiong, 2020).

U istraživanju koje su proveli Nielsen i sur. (2018), pokazali su da izokalorični obroci, jedan baziran na biljnim proteinima, a drugi na mesnim, oba uravnoteženih makronutrijenata s jednakom količinom vlakana imaju slične učinke na apetit i unos energije *ad libitum*. Prema tome, unos proizvoda baziranih na biljnim proteinima ne bi trebao imati utjecaja na povećanje apetita ili nedovoljan osjećaj sitosti potrošača.

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Materijali

Kao sirovine u pripremi smjesa za printanje korišteni su sljedeći sastojci:

- Natrijev alginat - Sigma Aldrich, St. Louis, SAD
- Guar guma Polygum 29/1-75 - Fisher Chemical, Hanover, Njemačka
- Natrijev klorid - Solana Pag, Pag, Hrvatska
- Krumpirov škrob C\*gel 30002 - Fisher Chemical, Hanover, Njemačka
- Kalcijev klorid, bezvodni granulirani - Lach-ner, Neratovice, Češka
- Proteini graška - Nutrigold, Zagreb, Hrvatska
- Proteini riže - Nutrigold, Zagreb, Hrvatska
- Začin za piletinu - Podravka, Koprivnica, Hrvatska
- Suncokretovo ulje - Zvijezda, Zagreb, Hrvatska
- Tofu - dm Bio, Karlsruhe, Njemačka

Nakon printanja medaljoni uvaljani su u krušne mrvice - Spar, Amsterdam, Nizozemska.

Tablica 1. Prikaz prosječne hranjive vrijednosti proteina korištenih u pripremi smjese

<b>Prosječne hranjive vrijednosti na 100 grama proizvoda</b>	<b>Proteini riže</b>	<b>Proteini graška</b>
Energijska vrijednost (kJ)	1660	1614
Masti (g)	4,5	4,1
- Od kojih zasićene masne kiseline (g)	2,2	1,4
Ugljikohidrati (g)	2,9	0,5
- Od kojih šećeri (g)	1,25	0
<b>Bjelančevine (g)</b>	<b>83</b>	<b>80</b>
Sol (g)	<0,05	<0,05

##### 3.1.1. Laboratorijski pribor i uređaji

Stakleno posuđe: čaše, menzura (5mL), stakleni štapić, kapaljka.

Ostali pribor: aluminijska folija, metalne špatule, metalne žlice.

Uređaji:

- Focus 3D Food Printer - byFlow, Eindhoven, Nizozemska
- Teksturometar - TA.HDPlus, Stable Micro Systems, Godalming, Velika Britanija
- Pećnica - EB 064-320 IS 600, Wiesheu, Njemačka
- Štapni mikser - MSM66110, Bosch, Gerlinger, Njemačka
- analitička vaga - NBL 254i, ADAM equipment, Milton Keynes, Ujedinjeno Kraljevstvo.

## 3.2. Metode

### 3.2.1. Priprema formulacije

U staklenu čašu odvagani su tofu i voda i usitnjeni do homogene teksture sa štapnim mikserom (Bosch, Gerlinger, Njemačka) u pripadajućoj posudi. U tu homogenu tekućinu dodani su svi ostali sastojci u količini navedenoj u Tablici 2 te je smjesa ponovno usitnjena štapnim mikserom. Napravljene su ukupno 3 formulacije s različitim udjelima proteina graška i riže, svaki u ukupnoj količini od 50 grama što je dovoljno za 2 punjenja zapremnine šprice 3D printera (Focus 3D Food Printer, ByFlow, Eindhoven, Nizozemska).

Tablica 2. Udio i masa sastojaka formulacije 1, 2 i 3.

Sastojak	Formulacija 1 (%)	Formulacija 2 (%)	Formulacija 3 (%)
Protein graška	8	12	4
Protein riže	8	4	12
Tofu	26	26	26
Voda	46	46	46
Ulje	4	4	4
Krumpirov škrob	4	4	4
Guar guma	1	1	1
Natrijev alginat	0,5	0,5	0,5
Kalcijev klorid	0,1	0,1	0,1
Natrijev klorid	0,3	0,3	0,3
Začin za piletinu	2	2	2

### 3.2.2 Izvedba 3D printanja

#### a) Dizajn oblika



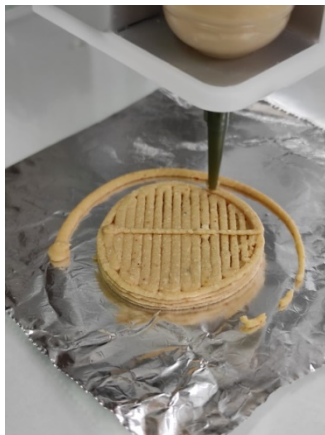
Digitalni model izrađen je u programu Onshape, a zatim u softveru Slic3r preveden u .gcode datoteku koju 3D printer prepoznaje. Veličina otvora šprice iznosi 1,2 mm.

b) Postavke parametara printanja

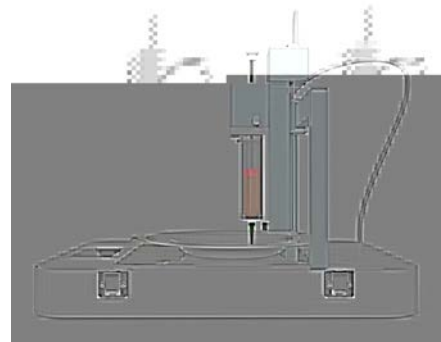
Parametri printanja prethodno su optimirani te su iznosili:

- Brzina printanja (engl. *speed*): 80
- Količina ekstruzije (engl. *extruding rate*): 65.

Smanjenjem količine ekstruzije sa 100 na 65 vizualno se dobivaju vlakna unutar medaljona što je vidljivo na slici 4.



Slika 4. Printanje medaljona



Slika 5. Focus 3D printer (ByFlow, Eindhoven, Nizozemska)

### 3.2.2. Pečenje

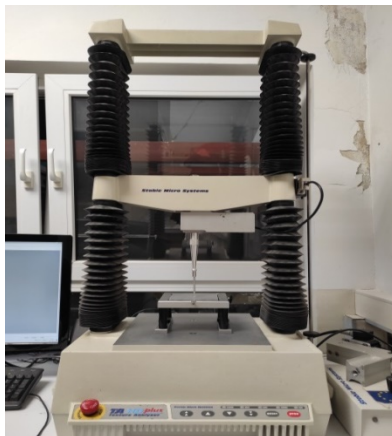
Isprintani medaljoni prije pečenja uvaljani su u krušne mrvice, a zatim pečeni u pećnici (EB 064-320 IS 600, Wiesheu, Njemačka, slika 6) na parametrima temperature: 210°C predgrijavanje, 210°C gornji grijač i 210°C donji grijač u vremenu od 18 minuta.



Slika 6. Pećnica (EB 064-320 IS 600, Wiesheu, Njemačka)

### 3.2.3. Analiza teksture

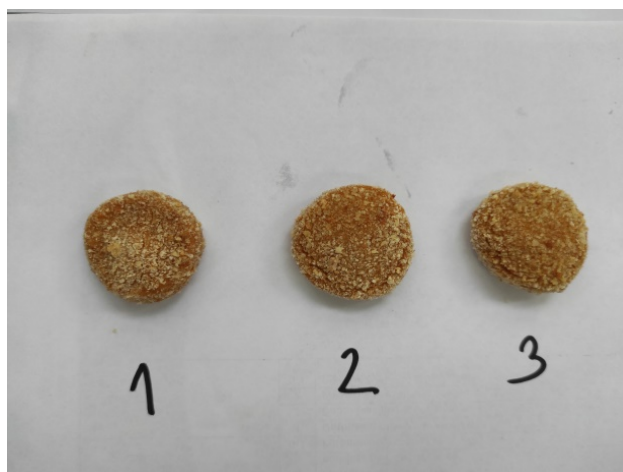
Tekstura je analizirana na teksturometru (TA.HDPlus, Stable Micro Systems, Godalming, Velika Britanija, slika 7). Analiza se provodila sondom promjera 4 mm. Dubina prodiranja prije pečenja (sirovih medaljona) iznosila je 5 mm, a pečenih 8 mm. Analiza je provedena u dvije paralele na dva uzorka od svake formulacije, prije i nakon pečenja.



Slika 7. TA.HD plus teksturometar (Stable Micro Systems, Godalming, Velika Britanija)

### 3.2.4. Senzorska analiza

Senzorska analiza provedena je pomoću deskriptivnog testa pri čemu su u obzir uzeta zapažanja osjetila vida, mirisa, okusa, dodira i sluha panela sastavljenog od 16 osoba. Ispitanici su ocjenjivali izgled, boju, miris, teksturu, okus i žvakljivost/sočnost medaljona (slike 8 i 9) bodovima od 0-4, prema objašnjenima danima u Tablici 3, a oznake su objašnjene u Tablici 4.



Slika 8. Pečeni medaljoni



Slika 9. Sirovi medaljoni

Tablica 3. Tablice za ocjenjivanje medaljona na bazi biljnih proteina

SVOJSTVO	MAKSIMALAN BROJ BODOVA	OCJENA	
IZGLED	4	4	Precizan i jasno definiran, karakterističan oblik medaljona.
		3	Vrlo dobro izveden oblik, nije sasvim precizan, karakterističan oblik za proizvod.
		2	Prihvatljivo izveden oblik, nije karakterističan za proizvod.
		0-1	Neprihvatljiv, nekarakterističan i neprecizan oblik.
BOJA	4	4	Boja gotovo jednaka boji pilećeg medaljona.
		3	Boja lagano odskače od boje pilećeg medaljona.
		2	Boja donekle odgovara boji pilećeg medaljona.
		0-1	Boja uopće ne liči boji pilećeg medaljona.
MIRIS	4	4	Veoma primamljiv.
		3	Ugodan i primamljiv.
		2	Prihvatljiv, ali nije primamljiv.
		0-1	Veoma odbojan i neprihvatljiv.
		4	Ima vlaknastu unutrašnjost karakterističnu za mišiće životinja, ne raspada se na dodir, optimalne tvrdoće.

TEKSTURA	4	3	Vide se naznake vlaknaste strukture, ne raspada se na dodir, nedovoljno čvrst.
		2	Nema naznaka vlaknaste strukture, iako se ne raspada na dodir, previše je mekan.
		0-1	Gnjecav, kašast i raspada se pri dodiru.
OKUS	4	4	Izvrstan, veoma podsjeća na pileće medaljone.
		3	Ukusan, neugodni okusi su većinom maskirani, proizvod podsjeća na pileće medaljone.
		2	Prihvatljiv okus, ali ima neugodne note (engl. <i>off-flavors</i> ) i ne podsjeća okusom na pileće medaljone.
		0-1	Potpuno neukusan i nejestiv.
ŽVAKLJIVOST/ SOČNOST	4	4	Optimalne sočnosti i žvkljivosti.
		3	Dobra žvkljivost, u manjoj mjeri premalo/previše sočna.
		2	Prihvatljiva žvkljivost, nedovoljno ili previše sočan.
		0-1	Praškast i gnjecav ili veoma suh proizvod.

Tablica 4. Objašnjene oznaka korištenih u radu.

Oznaka	Udio proteina graška (%)	Udio proteina riže (%)
34 / 1 / G8%R8%	8	8
56 / 2 / G12%R4%	12	4
88 / 3 / G4%R12%	4	12

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati su obrađeni pomoću programa Microsoft Excel 2012.

### 4.1. Tekstura

Prema Kalović i sur. (2009), instrumentalna analiza teksture mjeri sile i deformacije koje odgovaraju prvom zagrizu prilikom konzumacije te rezultat takvog mjerenja daje odnos fizikalnih svojstava proizvoda prema dinamičkoj percepciji teksture.

Rezultati provedene instrumentalne analize teksture prikazani su u Tablici 5 na temelju određenih parametara tvrdoće, elastičnosti, rada i naprežanja. Parametar tvrdoće predstavlja maksimalan otpor površine medaljona na pritisak sonde. Elastičnost je parametar koji opisuje udaljenost sode do točke loma. Parametar rada iskazuje koliki je rad potreban za žvakanje, a naprežanje (deformacija uzorka) omjer sile i jedinice površine (Baruškin i Kralj, 2020).

Tablica 5. Rezultati analize teksture

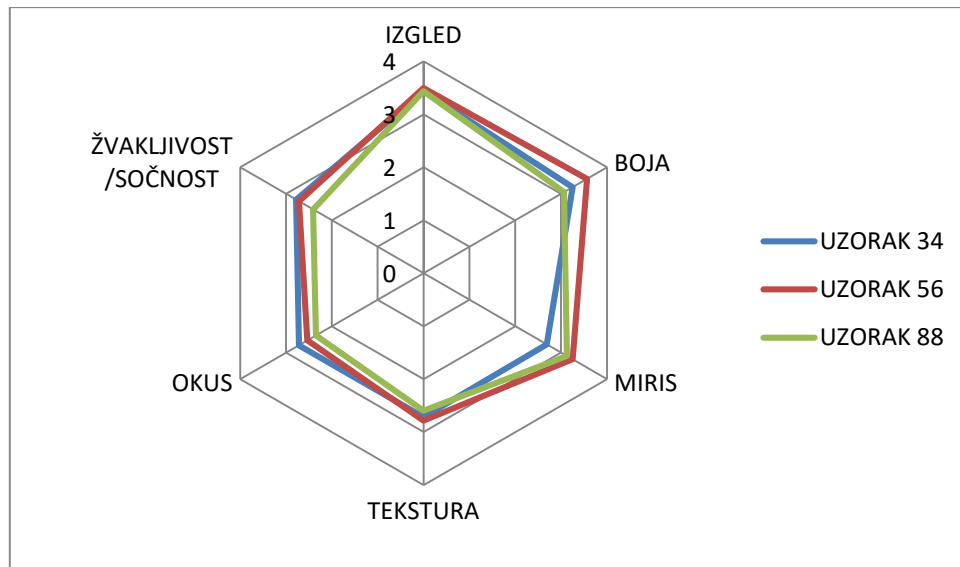
Uzorak	Tvrdoća [N]	Elastičnost [mm]	Rad [mJ]	Naprezanje [MPa]
<b>a) sirovi</b>				
G8%R8%	0,2503 ± 0,0304	4,9995 ± 0,0005	162,9168 ± 9,2461	0,0090 ± 0,0012
G12%R4%	0,2498 ± 0,0108	4,9935 ± 0,0074	172,7283 ± 4,5264	0,0418 ± 0,0061
G4%R12%	0,2063 ± 0,0165	4,9863 ± 0,0133	147,4775 ± 6,9092	0,0075 ± 0,0005
<b>b) pečeni</b>				
G8%R8%	1,3180 ± 0,5457	4,1250 ± 1,1801	922,2315 ± 476,6466	0,0433 ± 0,0171
G12%R4%	12,2418 ± 5,3360	8,0000 ± 0,0000	3253,3838 ± 968,9826	0,0418 ± 0,0061
G4%R12%	3,2248 ± 1,9840	5,4725 ± 2,5313	1434,8348 ± 409,3229	0,0383 ± 0,0064

Sirovi medaljoni imaju značajno manju tvrdoću i rad potreban za žvakanje jer uslijed pečenja dolazi do isparavanja vode i stvaranja poželjne hrskavosti vanjskog omotača medaljona. Najmanju izmjerenu tvrdoću sirovog medaljona ima uzorak G4%R12% (0,2063 ± 0,0165 N), dok se tvrdoća G8%R8% i G12%R4% neznatno razlikuje (0,2503 ± 0,0304 N; 0,2498 ± 0,0108N). Svi uzorci sirovih medaljona imaju veoma sličnu vrijednost parametra elastičnosti (4,9995 ± 0,0005 mm; 4,9935 ± 0,0074 mm; 4,9863 ± 0,0133 mm), dok kod pečenih najveću vrijednost elastičnosti ima G12%R4% (8,000 ± 0,0000 mm), zatim G4%R12% (5,4725 ± 2,5313mm) te najmanju G8%R8% (4,1250 ± 1,1801 mm). Rezultati rada za žvakanje slični su kod sirovih medaljona, no pečenjem se povećavaju razlike u teksturi. Za sirovi i pečeni uzorak G12%R4% potreban je najveći rad (172,7283 ± 4,5264 mJ; 3253,3838 ± 968,9826 mJ). Sirovi G8%R8% ima srednju vrijednost (162,9168 ± 9,2461 mJ), a pečeni najmanju vrijednost rada (922,2315 ± 476,6466 mJ). Obrnuto od toga, sirovi G4%R12% ima najmanju vrijednost parametra rada (147,4775 ± 6,9092 mJ), a pečeni srednju vrijednost (1434,8348 ± 409,3229 mJ). Naprezanje, odnosno deformacija uzroka znatno je viša kod sirovog G12%R4% (0,0418 ± 0,0061 MPa) u odnosu na ostale uzorke koji imaju slične vrijednosti (0,0090 ± 0,0012 MPa za G8%R8%, 0,0075 ± 0,0005 MPa za G4%R12%), dok su kod pečenih uzoraka vrijednosti slične (0,0433 ± 0,0171 MPa; 0,0418 ± 0,0061 MPa; 0,0383 ± 0,0064 MPa).

Na različite vrijednosti izmjerenih rezultata utječe ravnomjernost pečenja, pravilnost oblika medaljona, njihov sadržaj vlage te posljedično koncentracija proteina graška i proteina riže u formulaciji. Prema rezultatima instrumentalne analize teksture, uzorak G12%R4% postigao je najbolje karakteristike hrskavosti i žvakljivosti medaljona.

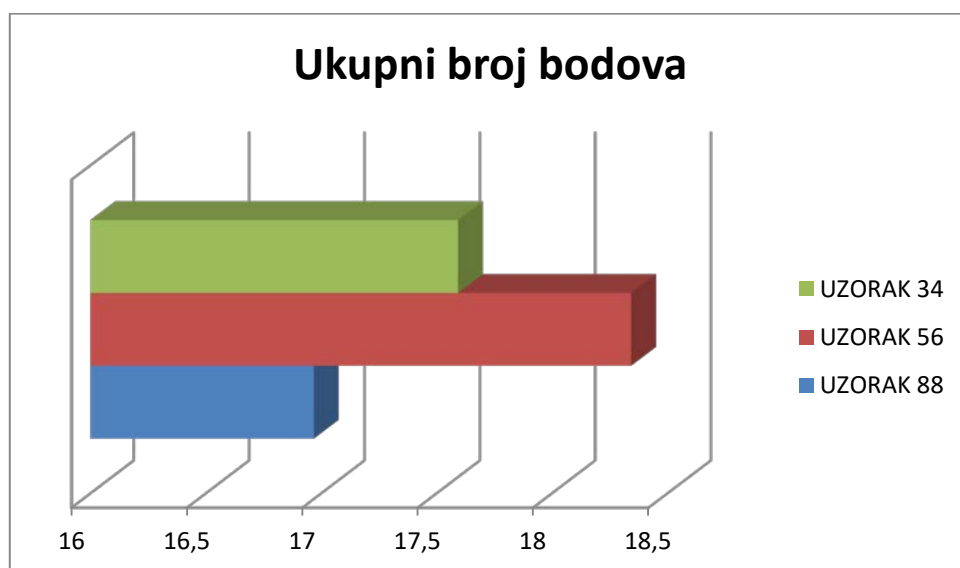
## 4.2. Senzorska analiza

Provedena senzorska analiza izvođena je u cilju utvrđivanja optimalnog udjela proteina riže i proteina graška za prihvaćenost potrošača. Također se utvrđivalo voljnost konzumacije alternativnog proizvoda mesu i znanje o prisutnim pročišćenim biljnim izvorima proteina.



Slika 10. Prikaz rezultata senzorske analize medaljona u obliku polarnog grafa (engl. *spider chart*)

Na slici 10 grafički su prikazani rezultati senzorske analize medaljona te je vidljivo da su prema kriteriju izgleda ocjene medaljona iste. U kategoriji okusa, uzorak 56 je bio najuspješniji. Viši udio proteina riže smanjuje primamljiv miris i negativno utječe na boju, okus i žvkljivost/sočnost. Viši udjeli proteina graška rezultiraju boljom bojom, mirisom i žvkljivosti/sočnosti. Uzorak 34 ima najbolji okus, ali najmanje primamljiv miris.



Slika 11. Prikaz rezultata senzorske analize medaljona s obzirom na ukupni broj bodova

Na temelju ukupnih bodova iz svih kategorija može se odrediti koji medaljon je najprihvaćeniji od strane potrošača. Maksimalan broj bodova je 20. Iz grafičkog prikaza na slici 11 vidljivo je da je uzorak 56, odnosno medaljon u kojemu je više proteina graška ukupno imao najviše bodova ( $18,34 \pm 2,59$ ). Najniže ocjene imao je uzorak 88, odnosno medaljon u kojemu je više proteina riže ( $16,97 \pm 2,67$ ). Srednju ocjenu dobio je medaljon 34 u kojemu su udjeli graška i riže jednaki ( $17,59 \pm 2,68$ ). Vidljivo je da razlike u ocjenama nisu drastično različite i da omjer proteina riže i graška nema presudnu važnost za prihvatljivost ovakvog proizvoda.

Tablica 6. Odgovori na pitanja iz upitnika za senzorsku analizu.

<b>Koji su izolati biljnih proteina korišteni u formulaciji medaljona?</b>	<b>Odgovor</b>	<b>Broj panelista</b>
	slanutak	4
	grašak	2
	soja	2
	konoplja	2
	ružmarin	1
	origano	2
	leća	1
	mahunarke	1
	mediteransko bilje	1
<b>Koji od ponuđenih uzoraka preferirate?</b>	34	8
	56	8
	88	0
<b>Biste li bili voljni kupiti ovakav proizvod na tržištu i uvrstiti ga u jelovnik?</b>	DA	3
	OVISNO O CIJENI	5
	OVISNO O NUTRITIVNOM SASTAVU	5
	NE	3

Ispitanici nisu uspjeli ispravno zaključiti koji izolati proteina su se koristili u formulaciji, izuzev dva ispitanika koji su napisali proteini graška. Proteine riže nije nitko predložio. Moguće je da su proteini riže manje očitii odabir zbog percepcije ispitivača da je riža, kao žitarica, primarno izvor ugljikohidrata. Predloženi su proteini slanutka, soje, graška i konoplje koji se kao mahunarke, odnosno sjemenke, broje u dobre izvore proteina i kao cjelovita namirnica, a ne samo proteinski koncentrat ili izolat.

Iako je uzorak broj 56 dobio veći broj ukupnih bodova, izjednačen je po kriteriju preferencije s uzrokom 34.

Prema rezultatima provedene deskriptivne senzorske analize, u prosjeku, medaljoni na bazi biljnih proteina imaju precizan i jasno definiran oblik medaljona, boje su veoma slične boji pilećeg medaljona te imaju ugodan i primamljiv miris. U teksturi se vide naznake vlaknaste strukture i medaljoni se ne raspadaju na dodir, okusom su prihvatljivi, ali nemaju okus pilećeg medaljona, dok je žvkljivost dobro prihvaćena.



## 5. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog istraživanja i dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

1. Prednosti 3D printanja hrane uključuju proizvodnju kompliciranih i personaliziranih dizajna u pogledu teksture, izgleda i nutritivnog profila uz stvaranje minimalne količine otpada. Tehnologija 3D printanja hrane ograničena je visokim početnim ulaganjima, dugim vremenom printanja i malim kapacitetom proizvodnje.
2. Konsenzus oko zamjene životinjskih proteina biljnima jest da je takav tip prehrane održiviji jer je proizvodnja biljnih proteina efikasnija i ima manji utjecaj na okoliš. Prehrane bazirane na biljnoj hrani bolje su za zdravlje i imaju manje štetnog utjecaja na okoliš od tipične zapadnjačke prehrane. Ipak, potrebno je razviti metode za pročišćavanje i izolaciju biljnih proteina kako bi se unaprijedila održivost proizvoda na bazi biljnih proteina.
3. Faktori koji su bitni za prihvaćenost proizvoda od strane potrošača na regularnoj bazi su izgled, tekstura, okus i cijena, a kako bi prihvatili tzv. novu hranu potrošači moraju prijeći preko straha od prihvaćanja nove hrane.
4. Formulaciju na bazi proteina riže i proteina graška uz dodatak ugljikohidrata koji služe modificiranju i stabiliziranju strukture, ulja radi poboljšavanja okusa, teksture i nutritivnih svojstva te začina moguće je 3D printanjem na bazi ekstruzije isprintati u medaljone koji služe kao alternativa mesnim proizvodima.
5. Najbolje karakteristike hrskavosti i žvakljivosti nakon pečenja pokazao je uzorak medaljona s najvećim udjelom proteina graška (12%), a najmanjim udjelom proteina riže (4%) prema rezultatima instrumentalne analize teksture. Isti uzorak dobio je i najveći broj ukupnih bodova, ali je izjednačen po kriteriju preferencije s uzrokom koji ima jednake udjele proteina graška (8%) i riže (8%).

## 6. POPIS LITERATURE

- Amagliani L., O'Regan J., Kelly A.L., O'Mahony A. J. (2017) The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review. *Trends in Food Science & Technology* **64**, 1-12.
- Arshad M.S., Sohaib M., Ahmad R.S. i sur. (2018) Ruminant meat flavor influenced by different factors with special reference to fatty acids. *Lipids in Health and Disease* **17** (223).
- Baiano A. (2020) 3D Printed Foods: A Comprehensive Review on Technologies, Nutritional Value, Safety, Consumer Attitude, Regulatory Framework, and Economic and Sustainability Issues. *Food Reviews International*, u postupku obrade.
- Barać M.B., Pešić M.B., Stanojević S.P., Kostić A.Ž., Čabrilo S.B. (2015) Techno-functional properties of pea (*pisum sativum*) protein isolates- a review. *Acta Periodica Technologica* **46**, 1-18.
- Baruškin M., Kralj J. (2020) Primjena elemenata industrije 4.0 u biotehničkim znanostima: aditivne tehnike u kreiranju kapsula s biljnim materijalom i jestivih hidrokoloidnih gelova s biljnim ekstraktima. Sveučilište u Zagrebu.
- Berawi, M.A. (2019) The Role of Industry 4.0 in Achieving Sustainable Development Goals. *International Journal of Technology* **10** (4), 644-647.
- Berghout J.A.M., Pelgrom P.J.M., Schutyser M.A.I. i sur. (2015) Sustainability assessment of oilseed fractionation processes: A case study on lupin seeds. *Journal of Food Engineering* **150**, 117- 24.
- Blunck E., Werthmann H. (2017) Industry 4.0 - an opportunity to realize sustainable manufacturing and its potential for a circular economy. *Dubrovnik International Economic Meeting* **3**, 644-666.
- Bohrer B.M. (2019) An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness* **8** (4), 320-329.
- Brunner T.A., Delley M., Denkel C. (2018) Consumers' Attitudes and Change of Attitude toward 3D-printed Food. *Food Quality and Preference* **68**, 389–396.
- Ford S., Despeisse M. (2016) Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production* **139**, 1573-1587.

Gebler M., Schoot Uiterkamp A.J.M., Visser C. (2014) A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy policy Elsevier* **74**, 158-167.

Gholamipour-Shirazi A., Kamlow M., Norton I.T., Mills T. (2020) How to Formulate for Structure and Texture via Medium of Additive Manufacturing-A Review. *Foods* **9** (4), 497-517.

Godoi F.C., Prakash S., Bhandari B.R. (2016) 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering* **179**, 44 – 54.

Itkonen S.T., Päivärinta E., Pellinen T., Viitakangas H., Risteli J., Erkkola M., Lamberg-Allard C., Pajari A. (2021) Partial Replacement of Animal Proteins with Plant Proteins for 12 Weeks Accelerates Bone Turnover Among Healthy Adults: A Randomized Clinical Trial. *The Journal of Nutrition Biochemical, Molecular, and Genetic Mechanisms* **151** (1), 11-19.

Javaid M., Haleem A. (2019) Using additive manufacturing applications for design and development of food and agricultural equipments. *International Journal of Materials and Product Technology* **58** (2-3), 225-238.

Karlović S., Šimunek M., Ježek D., Tripalo B., Bosiljkov T., Brnčić M., Blažić M. (2009) Određivanje teksturnih svojstava Gauda sira. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam* **4** (3-4), 98-103.

Keppner B., Kahlenborn W., Richter S., Jetzke T., Lessmann A., Bovenschulte M. (2018) Focus on the future: 3D printing, Trend report for assessing the environmental impacts. *Umweltbundesamt*.

Le-Bail A., Chieregato Maniglia B., Le-Bail P. (2020) Recent advances and future perspective in additive manufacturing of foods based on 3D printing. *Current Opinion in Food Science* **35**, 54-64.

Liu Z., Zhang M., Bhandari B., Wang Y. (2017) 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology* **67**, 83-94.

Loveday S.M. (2020) Plant protein ingredients with food functionality potential. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin* **45**, 321–327.

Lupton D. (2017) 'Download to Delicious': Promissory Themes and Sociotechnical Imaginaries in Coverage of 3D Printed Food in Online News Sources. *Futures* **93**, 44–53.

- Lupton D., Turner B. (2016) 'Both Fascinating and Disturbing': Consumer Responses to 3D Food Printing and Implications for Food Activism. *In Digital Food Activism*, Routledge London.
- Nielsen L.V., Kristensen M.D., Klingenberg L., Ritz C., Belza A., Astrup A., Raben A. (2018) Protein from Meat or Vegetable Sources in Meals Matched for Fiber Content has Similar Effects on Subjective Appetite Sensations and Energy Intake-A Randomized Acute Cross-Over Meal Test Study. *Nutrients* **10** (1), 96.
- Ramachandraiah K. (2021) Potential Development of Sustainable 3D-Printed Meat Analogues: A Review. *Sustainability* **13** (938).
- Sha L., Xiong Y.L. (2020) Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology* **102**, 51–61.
- Shoib A., Sahar A., Sameen A., Saleem A., Tahir A.T. (2018) Use of pea and rice protein isolates as source of meat extenders in the development of chicken nuggets. *Journal of Food Processing and Preservation* **42** (9).
- Sun J., Weibiao Z., Huang D., Fuh J.Y.H., Hong G.S. (2015) An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication. *Food and Bioprocess Technology* **8** (8), 1605-1615.
- Segovia-Siapco G., Sabaté J. (2019) Health and sustainability outcomes of vegetarian dietary patterns: a revisit of the EPIC-Oxford and the Adventist Health Study-2 cohorts. *European Journal of Clinical Nutrition* **72**, 60–70.
- Tuorila H., Hartmann C. (2020) Consumer responses to novel and unfamiliar foods. *Current Opinion in Food Science* **33**, 1-8.
- Vaidya S., Ambad P., Bhosle S. (2018) Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing* **20**, 233-238.
- Vukušić Pavičić T., Herceg Z. (2020) Application of 3D Food Printing in Food Industry development. *Engineering power* **15** (3), 20-23 .
- Wu G., Franco J., Miller D.D., Pingali P., Post M., Steiner J.L., Thalacker-Mercer A.E. (2014) Production and supply of high-quality food protein for human consumption: sustainability, challenges, and innovations. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1321**, 1–19.

FDA (2019) FDA In Brief: FDA approval of soy leghemoglobin as a color additive is now effective, <<https://www.fda.gov/news-events/fda-brief/fda-brief-fda-approval-soy-leghemoglobin-color-additive-now-effective>> Pristupljeno 22. svibnja 2021.

Zion Market Research (2019) Global Plant Based Meat Market Will Reach USD 21.23 Billion By 2025, <<https://www.globenewswire.com/news-release/2019/03/28/1781303/0/en/Global-Plant-Based-Meat-Market-Will-Reach-USD-21-23-Billion-By-2025-Zion-Market-Research.html>> Pristupljeno 17. travnja 2021.

OECD (2021) Meat consumption, <<https://doi.org/10.1787/fa290fd0-en>> Pristupljeno 13. svibnja 2021.

## Izjava o izvornosti

*Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.*

---

ime i prezime studenta