



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET

**RAZVOJ NOVOG BEZGLUTENSKOG FUNKCIONALNOG FLIPS
PROIZVODA OPLEMENJENOG KORENOM CIKORIJE
(*Cichorium intybus* L.)**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:
Prof. dr Vesna Tumbas Šaponjac

Kandidat:
mast.inž.tehnol. Jelena Perović

Jul, 2022.

Zahvalnica

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada: VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Jelena Perović, diplomirani inženjer tehnologije-master
Mentor: MN	Prof. dr Vesna Tumbas Šaponjac, vanredni profesor
Naslov rada: NR	Razvoj novog bezglutenskog funkcionalnog flips proizvoda oplemenjenog korenom cikoriје (<i>Cichorium intybus L.</i>)
Jezik publikacije: JP	srpski, latinica
Jezik izvoda: JI	srpski / engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2022.
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Bulevar cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija
Fizički opis rada: FO	7 poglavlja, 218 stranica, 71 slika, 57 tabela, 415 literaturnih navoda
Naučna oblast: NO	Tehnološko inženjerstvo
Naučna disciplina: ND	Prehrambeno inženjerstvo
Predmetna odred- nica, ključne reči: PO	Pirinač, koren cikoriје, inulin, ekstrudiranje, flips proizvod, HPLC
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu, Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija

<p>Važna napomena: VN</p>	<p>Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije finansirana su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (u okviru projekta III 46005, te potom kroz finansiranje naučnoistraživačkog rada NIO od strane gorenavedenog ministarstva pod evidencionim brojevima 451-03-9/2021-14/200222 i 451-03-68/2022-14/200222).</p>
<p>Izvod: IZ</p> <p>Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije bavila su se proizvodnjom novog bezglutenskog prehrambenog proizvoda na bazi pirinčanog brašna sa dodatkom korena cikoriije na dvo-pužnom ekstruderu. U okviru ove studije prvi put je implementiran koren cikoriije u flips proizvode kao potencijalno funkcionalni dodatak. Koren cikoriije je jedan od najbogatijih izvora inulina, prebiotske komponente poželjne u ishrani osoba obolelih od dijabetesa, ali i mnogih drugih bioaktivnih komponenata (seskviterpenskih laktona, polifenolnih jedinjenja, masnih kiselina, amino kiselina, vitamina, minerala i dr). Ispitivanja u okviru doktorske disertacije definisana su u cilju određivanja optimalnih uslova procesa ekstrudiranja neophodnih za ostvarivanje poželjnih fizičkih, teksturnih, i funkcionalnih (sadržaj inulina i drugih gorenavedenih sastojaka) karakteristika finalnog proizvoda.</p> <p>Proistekli rezultati daju uvid u zakonitosti koje vladaju između zadatih procesnih parametara (sadržaja vlage polazne smeše, brzine obrtanja pužnice, i sadržaja korena cikoriije) i fizičkih, funkcionalnih, teksturnih, reoloških i senzorskih karakteristika finalnih flips proizvoda. Primenom optimalnih uslova proizvodnje, koji su definisani uz pomoć genetskog algoritma (16,3 % vlage; brzina obrtanja pužnice od 700 o/min i 30% korena cikoriije), uspešno je proizveden hrvkav flips proizvod prihvatljive boje, sa visokim sadržajem prebiotika inulina (5,36%). Time je opravdana primena korena cikoriije u razvoju novih funkcionalnih proizvoda prihvatljivih od strane potrošača.</p> <p>Predviđanje vrednosti ispitivanih parametara ekstrudata vršeno je primenom dva matematička modela čime se jasno pruža uvid u njihovu primenjivost i učinkovitost kod ove vrste proizvoda. U tu svrhu primenjene su veštačka neuronska mreža (<i>engl. Artificial neural network, ANN</i>) i nova metodologija ubranog regresionog stabla (<i>engl. Boosted regression trees, BRT</i>), koja se po prvi put primenjuje kod procesa ekstrudiranja hrane.</p> <p>Jedan od ciljeva istraživanja bio je obogaćnje ekstrudiranog proizvoda inulinom u literaturno preporučenim granicama. Stoga je posebna pažnja bila posvećena optimizaciji postupka ekstrakcije inulina, kao i razvoju i validaciji sofisticirane analitičke metode za njegovo kvantitativno određivanje primenom visokopritisne tačne hromatografije kuplovane sa detektorom rasipanja svetlosti na isparenom uzorku (<i>engl. High performance liquid chromatography-Evaporative light scattering detector, HPLC-ELSD</i>). Ova metoda primenjiva je na komercijalno dostupnim proizvodima na teritorije Republike Srbije koji sadrže inulin (flipsevi, kafe, dodaci ishrani sa inulinom).</p> <p>Inovativni prehrambeni funkcionalni proizvodi nastali u okviru ove disertacije mogu doprineti zdravijoj ishrani potrošača, obogatiti aktuelni tržišni asortiman flips proizvoda i promovisati implementaciju korena cikoriije u prehrambene proizvode s obzirom na to da Srbija spada u 10 najvećih svetskih proizvođača ove sirovine.</p>	
<p>Datum prihvatanja teme od strane Senata: DP</p>	<p>11.12.2020.</p>

Datum odbrane: DO	
Članovi komisije: KO	<p>Dr Aleksandar Fišteš, redovni profesor, Tehnološki fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, predsednik.</p> <p>Dr Vesna Tumbas Šaponjac, vanredni profesor, Tehnološki fakultet Novi Sad, mentor</p> <p>Dr Jovana Kojić, naučni saradnik, Naučni institut za prehrambene tehnologije, Novi Sad, član.</p> <p>Dr Boris Popović, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, član.</p> <p>Dr Predrag Kojić, docent, Tehnološki fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, član.</p>

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TEHNOLOGY**

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	PhD Thesis
Author: AU	Jelena Perović, M.Sc
Mentor: MN	PhD Vesna Tumbas Šaponjac, Associate professor
Title: TI	Development of a novel gluten-free functional puffed snack enriched with chicory root (<i>Cichorium intybus</i> L.)
Language of text: LT	Serbian, latin
Language of abstract: LA	Serbian / English
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina
Publication year: PY	2022.
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Bulevar cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia
Physical description: PD	7 chapters, 218 pages, 71 figures, 57 tables, 415 references
Scientific field: SF	Technology engineering

Scientific discipline: SD	Food engineering
Subject, Key words: SKW	rice, chicory root, inulin, extrusion, gluten-free functional puffed snack product, HPLC
UDC	
Holding data: HD	Library of Faculty of Technology, Novi Sad, Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia
Note: N	Research in this thesis was financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (within the project III46005, and than financing was continued by the above-mentioned ministry (grant numbers 451-03-9/2021-14/200222 and 451-03-68/2022-14/200222))

Abstract:

AB

Research conducted within this doctoral thesis was focused on the production of a novel gluten-free food product based on rice flour with the addition of chicory root on a twin-screw extruder. As a part of this study, chicory root was implemented for the first time in snack puffed products as potential functional ingredient. Chicory root is one of the richest sources of inulin, a prebiotic component desirable in the diet of people with diabetes, but also many other bioactive components (sesquiterpene lactones, phenolic compounds, fatty acids, amino acids, vitamins, minerals, etc.). The main goal of this doctoral thesis research was to define the optimal conditions of extrusion cooking process necessary to achieve the desired physical, textural, and potentially functional (inulin content and other bioactive compounds) characteristics of the final product.

The results provide insight into the relationships that prevail between the set of process parameters (moisture content of the starting mixture, screw speed, and chicory root content) and physical, functional, textural, rheological and sensory characteristics of the final puffed snack products. Applying the optimal production conditions, which were defined using a genetic algorithm (16.3% moisture; 700 rpm and 30.0% chicory root), it was successfully generated a crispy snack product of attractive color, with a high content of inulin (5.36%). This justifies the use of chicory root in the development of new food products acceptable to consumers.

Prediction of extrudates tested properties was performed using two mathematical models, which clearly provides insight into their applicability and effectiveness in this type of product. For this purpose, the Artificial neural network (ANN) was applied, as well as the new young methodology of Boosted regression trees (BRT), which is being used for the first time in food extrusion.

One of the goals of the research was to develop a functional extruded snack product enriched with inulin within the literary recommended intake. Therefore, special attention was dedicated to the optimization of the inulin extraction process, as well as for the development and validation of a sophisticated analytical method for its quantitative determination using high performance liquid chromatography coupled with evaporative light scattering detector (HPLC-ELSD). This method is applicable to commercially available products in the territory of the Republic of Serbia that contain inulin (flips, coffee, dietary supplements with inulin).

Innovative food products created within this dissertation can contribute to healthier consumer nutrition, enrich the current market range of snack products and promote the implementation of chicory root in food products, considering that Serbia is one of the 10 largest world producers of this raw material.

Accepted on Senate on: AS	11.12.2020.
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	<p>Dr. Aleksandar Fišteš, Full Professor, Faculty of Technology Novi Sad, University of Novi Sad, chairman</p> <p>Dr. Vesna Tumbas Šaponjac, Associate Professor, Faculty of Technology Novi Sad, University of Novi Sad, mentor</p> <p>Dr. Jovana Kojić, Research Associate, Institute of Food Technology Novi Sad, University of Novi Sad, member</p> <p>Dr. Boris Popović, Full Professor, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, member</p> <p>Dr. Predrag Kojić, Assistant Professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad, member</p>

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Pregled literature.....	5
2.1. Cikorija (<i>Cichorium intybus</i> L.) – nutritivno i zdravstveno značajna biljna vrsta	5
2.2. Koren cikorije (<i>Cichory radix</i>)	8
2.3 Nutritivni sastav.....	10
2.4. Inulin.....	12
2.4.1. Primena inulina u prehrambenoj industriji	13
2.5. Seskviterpenski laktoni.....	16
2.5.1. Seskviterpenski laktoni u prehrambenim proizvodima.....	18
2.6. Mineralni sastav korena cikorije.....	18
2.7. Biološke aktivnosti komponenata iz korena cikorije.....	20
2.8. Sigurnosne i zdravstvene tvrdnje o upotrebi cikorije	22
2.9. Trenutne i potencijalne primene korena cikorije u prehrambenim proizvodima	22
2.10. Pirinač - potencijal upotrebe kao bezglutenskog brašna za ekstrudiranje flips proizvoda.....	23
2.11. Ekstrudiranje.....	25
2.11.1. Ekstrudiranje u funkciji formiranja inovativnih flips proizvoda	26
2.11.2. Uticaj ekstrudiranja na prirodne komponente.....	29
2.11.3. Uloga ekstrudiranja i dvopužnih ekstrudera u dizajniranju inovativnih flips proizvoda	31
2.11.4. Ekstrudiranje inovativnih biljnih sirovih materijala	33
2.11.5. Primena komponenata korena cikorije u ekstrudiranim proizvodima	34
2.12. Primena matematičkog modelovanja u prehrambenoj industriji.....	37
2.12.1. Prednost korišćenja modela veštačke neuronske mreže u odnosu na analizu odzivne površine.....	38
2.12.2. Model ubrzanog regresionog stabla (<i>engl. Boosted regression trees, BRT</i>).....	39
2.12.3. Odabir matematičkog modela	40
3. Materijali i metode	43
3.1. Materijali	44
3.1.1. Sirovine.....	44
3.1.2. Hemikalije i reagensi	44
3.2. Metode.....	44
3.2.1. Ekstrudiranje	44
3.2.2. Hemijski sastav polaznih sirovina	45
3.2.3. Instrumentalno određivanje karakteristika ekspanzije flips proizvoda.....	45
3.2.4. Instrumentalno određivanje nasipne mase flips proizvoda.....	46
3.2.5. Instrumentalno određivanje zapremine i gustine flipsa primenom Mettler Toledo density kita	46
3.2.6. Određivanje prividne zapremine i prividne gustine flips proizvoda računskim putem.....	47
3.2.7. Određivanje poroznosti flips proizvoda primenom metode Image analysis.....	48
3.2.8. Instrumentalno određivanje teksturnih karakteristika.....	49
3.2.9. Instrumentalno određivanje boje.....	50

3.2.10. Instrumentalno određivanje toplotnih karakteristika flips proizvoda – Diferencijalno skenirajuća kalorimetrija (DSC)	52
3.2.11. Instrumentalno određivanje reoloških karakteristika flips proizvoda – Osobine proticanja	53
3.2.12. Određivanje sadržaja rezistentnog skroba	54
3.2.13. Instrumentalno određivanje metala i minerala u flips proizvodima	55
3.2.14. Instrumentalno određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja	55
3.2.15. Određivanje antioksidativne aktivnosti na DPPH radikale	56
3.2.16. Određivanje antioksidativne aktivnosti na ABTS katjon radikale	56
3.2.17. Određivanje redukcione sposobnosti	57
3.2.18. Razvoj i validacija hromatografske metode za detekciju i kvantifikaciju inulina.....	57
3.2.19. Optimizacija ELSD parametara za detekciju inulina.....	58
3.2.20. Instrumentalno određivanje sadržaja seskviterpenskikh laktona.....	60
3.2.21. Senzorska analiza.....	61
3.2.22. Optimizacija procesa ekstrudiranja.....	64
4. Rezultati i diskusija.....	67
4.1. Ekspanzione osobine	67
4.1.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na parametre ekspanzije flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela.....	68
4.2. Nasipna masa.....	73
4.2.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na nasipnu masu flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela.....	74
4.3. Gustina i zapremina	76
4.3.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na (prividnu) zapreminu i gustinu flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela.....	78
4.4. Poroznost.....	81
4.4.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na poroznost flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela	82
4.5. Teksturne osobine.....	84
4.5.1. Međusobne korelacije ispitanih parametara teksture flips proizvoda.....	87
4.5.2. Uticaj parametara ekstrudiranja na teksturne karakteristike flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela	88
4.6. Karakteristike boje	95
4.6.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na boju flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela	97
4.7. Toplotne karakteristike flips proizvoda – Diferencijalno skenirajuća kalorimetrija (DSC)	100
4.7.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na stepen želatinizacije flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela.....	105
4.8. Reološke karakteristike flips proizvoda – Osobine pastiranja	107
4.8.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na osobine pastiranja flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela.....	111
4.9. Sadržaj rezistentnog skroba u flips proizvodima	114
4.9.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na sadržaj rezistentnog skroba (RS) flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela.....	116

4.10. Sadržaj metala i minerala u flips proizvodima	118
4.10.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na sadržaj minerala i metala u flips proizvodima kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela	121
4.11. Spektrofotometrijsko određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja	125
4.11.1. Antioksidativna aktivnost ekstrudiranih flips proizvoda.....	126
4.11.2. Uticaj parametara ekstrudiranja na sadržaj polifenolnih jedinjenja i antioksidativnu aktivnost flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela.....	128
4.12. Sadržaj inulina – razvoj i validacija HPLC metode	132
4.12.1. Optimalni uslovi ekstrakcije i precipitacije inulina iz uzoraka ekstrudata	132
4.12.2. Optimalni uslovi rada ELS detektora.....	134
4.12.3. Optimalni uslovi hromatografisanja inulina primenom HPLC-ELSD	134
4.12.4. Validacija HPLC-ELSD metode za detekciju inulina	134
4.12.5. Sadržaj inulina u flips proizvodima	135
4.12.6. Uticaj parametara ekstrudiranja na sadržaj inulina u flips proizvodima kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela	137
4.13. Sadržaj seskviterpenskikh laktona.....	139
4.13.1. Uticaj parametara sadržaja seskviterpenskikh laktona prikazan kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela.....	141
4.14. Senzorska analiza	144
4.14.1. Multivarijantna analiza – Analiza glavnih komponenti.....	146
4.14.2. Test dopadljivosti.....	148
4.14.3. Analiza pada srednje vrednosti ocene ukupne dopadljivosti	152
4.15. Optimizacija procesa ekstrudiranja	153
4.15.1. Standardna ocena	153
4.15.3. Veštačka neuronska mreža (ANN)	161
4.16. Optimalni uzorak – fizičko-hemijske, funkcionalne i senzorske karakteristike. Poređenje optimalnog i kontrolnog uzorka	165
5. Zaključci.....	171
6. Literatura	179
7. Prilozi.....	207

Lista skraćenica

- a* – udeo crvene/zelene boje,
ABTS⁺ radikal – 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina)
ABTS_S – antioksidativna aktivnost slobodne frakcije polifenola određena ABTS testom (mmol TE/g),
ABTS_V – antioksidativna aktivnost vezane frakcije polifenola određena ABTS testom (mmol TE/g),
AC – Intenzitet arome na cikoriju,
AE – Aksijalna ekspanzija (mm/g),
Ae – Površina poprečnog preseka ekstrudata (mm²),
Am – Površina poprečnog preseka matrice (mm²),
ANN – Veštačka neuronska mreža (*engl. Artificial neural network*),
b* – udeo žute/plave boje,
BFGS – Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno algoritam,
BRT – Ubrzano regresiono stablo (*engl. Boosted regression tree*),
C* – intenzitet boje,
CAC (*engl. Codex Alimentarius Commission*) – Komisija Codex Alimentarius
Ci – Indeks hrskavosti,
Cw – Rad hrskavosti (N*mm),
DPPH[•] radikal – 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil,
DPPH_S – antioksidativna aktivnost slobodne frakcije polifenola određena DPPH testom (mmol TE/g),
DPPH_V – antioksidativna aktivnost vezane frakcije polifenola određena DPPH testom (mmol TE/g),
EAFUS (*engl. Substances Added to Food*) – komponente dodate u hranu
EFSA (*engl. European Food Safety Authority*) – Evropska agencija za bezbednost hrane
F – Srednja sila kompresije (N),
FDA (*engl. Food and Drug Administration*) – Uprava za hranu i lekove)
Fmax – Tvrdća (N),
FOS – frukto-oligosaharidi
G – gustina ekstrudata,
GAE – ekvivalent galne kiseline,
GRAS (*engl. Generally recognized as safe*) – opšte priznat kao bezbedan
GU – gorak ukus,
GU2 – gorak ukus nakon 2 minuta,
h – nijansa boje,
IE – Indeks ekspanzije,
IV – Inicijalni viskozitet (Pa*s),
KC – koren cikorije,
KU – kontrolni uzorak,
L* – svetloća,
LE – Laterana ekspanzija (%),
M – sadržaj vlage (%),
MC – Intenzitet mirisa na cikoriju,
MLP – Višeslojni perceptron model (*engl. Multi Layer Perceptron*),

MP – Intenzitet mirisa na pirinač,
MPp – Intenzitet mirisa na prženi pirinač,
NM – nasipna masa (g/L),
NoP – Broj pikova,
Nsr – Frekvencija loma strukture (1/mm),
o/min – obrtaja po minuti,
P – udeo korena cikorije (%),
PB – pirinčano brašno,
PG – prividna gustina ekstrudata (kg/m^3),
PV – pik viskoziteta ($\text{Pa}\times\text{s}$),
PZ – prividna zapremina ekstrudata (m^3),
 r^2 – koeficijent determinacije,
Re – Prečnik ekstrudata (mm),
RE – Radijalna ekspanzija,
RGB – „red-green-blue” sistem,
Rm – Prečnik matrice (mm),
RMSE – korena srednjeg kvadrata greške (*engl. Root-mean-square error*),
RS – rezistentni skrob,
RSM – Metoda odzivne površine (*engl. Response surface analysis*),
RS_S – redukciona sposobnost slobodne frakcije polifenola (mmol TE/g),
RS_V – redukciona sposobnost vezane frakcije polifenola (mmol TE/g),
s.d. – standardna devijacija,
s.m. – suva materija,
SG – Stepen želatinizacije skroba (%),
SL – seskviterpenski laktoni,
SP – stepen polimerizacije,
SSP – sadržaj slobodnih polifenolnih jedinjenja (mmol GAE/g),
SVP – sadržaj vezanih polifenolnih jedinjenja (mmol GAE/g),
T(IV) – temperatura inicijalnog viskoziteta (°C),
T(PV) – temperatura pika viskoziteta (°C),
T(VHP) – temperatura viskoziteta hladne paste (°C),
T(VTP) – temperatura viskoziteta tople paste (°C),
TE – ekvivalent troloksa,
To – Temperatura početka želatinizacije (°C),
Tp – Temperatura pika želatinizacije (°C),
Tv – Temperatura završetka želatinizacije (°C),
UA – Intenzitet ukupne arome,
UM – Intenzitet ukupnog mirisa,
V – brzina obrtanja pužnice (o/min),
VHP – viskozitet hladne paste ($\text{Pa}\times\text{s}$),
VTP – viskozitet tople paste ($\text{Pa}\times\text{s}$),
X_{Opt} – vrednost određenog parametra definisanog primenom ANN modela,
X_{Uzorak 11} – izmerena vrednost kod Uzorka 11,
Z – zapremina ekstrudata,
 ΔE – ukupna promena boje,
 ΔH – Promena entalpije (J/g).

1. Uvod



Kako ubrzani način života današnjice nameće često nepravilnu ishranu, javlja se potreba za razvojem novih prehrambenih proizvoda koji će imati pozitivan uticaj na ljudsko zdravlje. Sa druge strane, osim zahteva potrošača, potrebno je ispratiti konstantnu potrebu tržišta za inovativnim prehrambenim proizvodima. Stoga je danas posebna pažnja u prehrambenom sektoru usmerena na razvoj novih proizvoda sa smanjenim sadržajem masti, smanjenom kalorijskom vrednošću, bezglutenskim sastavom i sa povećanim sadržajem bioaktivnih komponenata koje mogu doprineti poboljšanju opšteg zdravstvenog stanja ljudi.

Prema definicije Evropske komisije, *“funkcionalna hrana predstavlja onu hranu koja ispoljava istaknuti efekat na jednu ili više određenih funkcija organizma sa ciljem da poboljša opšte zdravstveno stanje organizma i/ili umanja rizik od oboljenja”*. Takođe se ističe da je ona sastavni deo normalne ljudske ishrane i ne uključuje tablete, kapsule ili bilo kakav drugi oblik dodatka ishrani (Diplock i sar, 1999). Međutim, Evropsko zakonodavstvo funkcionalnu hranu prevashodno smatra konceptom, a ne specifičnom kategorijom hrane. Neki od funkcionalnih proizvoda mogu biti funkcionalna pića, flips proizvodi, peciva, mesni proizvodi ili jaja (Silva i sar., 2018; Siró sar., 2008). S obzirom na to da su flips proizvodi izuzetno prisutni u svakodnevnoj ishrani, oni predstavljaju idealnu osnovu za implementaciju bioaktivnih komponenata, i samim tim postaju proizvodi sa dodatom vrednošću (Sun-Waterhouse i sar., 2010).

Flips proizvodi dobijaju se procesom ekstrudiranja, koji predstavlja vrlo efikasnu tehnologiju za prevođenje najrazličitijih polaznih sirovina u raznovrsne prehrambene proizvode. Osnovna prednost ekstrudiranja u odnosu na druge konvencionalne načine proizvodnje hrane za

ljudsku upotrebu je upravo činjenica da se polazna smeša izlaže temperaturnom tretmanu i silama smicanja koji oblikuju plastično testo pre nego što se progura kroz kalup. Ekstrudiranjem se dobijaju različiti oblici i teksture proizvoda, najčešće na bazi kukuruznog, pirinčanog, pšeničnog ili krompirovog brašna (Lazou i Krokida, 2010).

Mnoge naučne studije bavile su se izučavanjem izvora funkcionalnih komponenata kojima je moguće obogatiti postojeće prehrambene proizvode, uključujući i grupu flips proizvoda. Biljke, morske alge, mikroalge i prehrambeni nus-proizvodi najvažniji su izvori bioaktivnih jedinjenja. Među njih spadaju prehrambena vlakna, fenolna jedinjenja, flavonoidi, ulja, biljni steroidi, proteini, prebiotici, probiotici, antocijanini, betalaini, hidrolizati, vlakna poreklom iz voća i povrća, i mnogi drugi (Quirós-Sauceda i sar., 2014; Da Silva i sar., 2016; Herrero i sar., 2015; López-Barríos i sar., 2014; Kammerer i sar., 2014; Goyal i sar., 2014).

Iako su od davnina aromatične biljke proučavane u svrhu njihove primene u tradicionalnoj medicini, savremeno naučno interesovanje fokusiralo se na njihovu primenu i u prehrambenoj industriji, sa ciljem da se poboljša nutritivni sastav i održivost različitih prehrambenih proizvoda. Posebna pažnja posvećena je bioaktivnim komponentama prisutnim u takvim biljkama (najčešće različitim vrstama voća, povrća i algi), uglavnom sekundarnim metabolitima kao potencijalnim nosiocima funkcionalnosti (Sánchez-Mata i sar., 2012; Nandagopal i Kumari, 2007; Al-Snafi, 2016). Jedna od takvih biljaka je cikorija (*Cichorium intybus* L.), čiji se mesnati čvornovati koren posebno izdvaja po bogatom nutritivnom i mineralnom sastavu, ali i prisustvu značajnih bioaktivnih komponenata koje čine ovu biljku važnim kandidatom za obogaćivanje prehrambenih proizvoda. Nekoliko naučnih publikacija istraživalo je cikoriju u kontekstu sastojka hrane, gde je koren cikorije smatran odličnim izvorom inulina, seskviterpenskih laktona, fenolnih jedinjenja, masnih i amino kiselina, i vitamina kao potencijalnih funkcionalnih komponenata (Ferioli i sar., 2015; Shoaib i sar., 2016; Jeong i sar., 2017; Perović i sar., 2021).

Današnje tržište nudi širok izbor komercijalnih prehrambenih proizvoda koji su uglavnom namenjeni zdravoj populaciji. U tom smislu primećuje se nedostatak onih proizvoda koje mogu da kozumiraju i specifične grupe potrošača kao što su osobe obolele od dijabetesa ili celijakije, odnosno oni koji mogu da ublaže simptome određenih oboljenja prvenstveno odgovarajućom ishranom. Prema procenama Instituta za javno zdravlje Republike Srbije „Dr Milan Jovanović Batut” dijabetes je peti uzročnik smrtnosti u Republici Srbiji, a broj obolelih od ove bolesti je veći od 700.000, sa tendencijom porasta u poslednjih 20 godina. Sa druge strane od celijakije boluje oko 70.000 stanovnika naše zemlje. Uzimajući u obzir tendenciju porasta broja obolelih od dijabetesa i celijakije kako u našoj zemlji tako i u svetu, važno je usmeriti pažnju prehrambene industrije na razvoj proizvoda bez prisustva glutena kao i proizvoda obogaćenih komponentama koje pogoduju ishrani dijabetičara, poput inulina (Shin i sar., 2010).

Imajući u vidu sve pomenute činjenice, koren cikorije odabran je za sirovinu u obogaćivanju flips proizvoda na bazi pirinča, kako bi se razvio novi bezglutenski prehrambeni proizvod sa potencijalnom funkcionalnošću.

U tu svrhu, ova disertacija ima nekoliko ciljeva:

- Razvoj novog prehrambenog flips proizvoda, bezglutenskog sastava, obogaćenog korenom cikorije kao bogatim izvorom prehrambenog vlakna inulina. Krajnji cilj je obogaćivanje postojećeg tržišta inovativnim proizvodom sa potencijalnim zdravstvenim efektom.

- Karakterizacija flips proizvoda dobijenih ekstrudiranjem (fizičke, funkcionalne, reološke, teksturne, senzorske osobine) u cilju definisanja optimalne recepture kako bi finalni proizvod bio prihvatljiv od strane potrošača, uz što povoljniji nutritivni sastav i fizička svojstva.
- Ispitivanje uticaja procesnih parametara ekstrudiranja na osobine finalnih proizvoda (fizičke, funkcionalne, reološke, teksturne, senzorske) u cilju boljeg razumevanja promena koje se dešavaju tokom primene ove prehrambene tehnologije u proizvodnji hrane. U tu svrhu biće upotrebljena dva matematička modela (metodologije Veštačke neuronske mreže i Ubrzanog regresionog stabla) i izvršiće se njihovo poređenje u smislu predviđačkih performansi. U ovoj disertaciji su, prema našim saznanjima, po prvi put za optimizaciju ekstrudiranja korišćeni razvoj i primena matematičkog modela ubrzanog regresionog stabla.
- Obogatiti flips proizvode korenom cikorije tako da se u finalnim proizvodima postigne sadržaj inulina koji odgovara literaturno preporučenim granicama.
- Razvoj i validacija nove sofisticirane hromatografske metode (HPLC-ELSD) za detekciju i kvantifikaciju inulina kao potencijalnog nosioca funkcionalnosti razvijenog bezglutenskog prehrambenog proizvoda. Razvoj metode obuhvatiće optimizaciju procesa ekstrakcije inulina iz polaznih sirovina i finalnih proizvoda, optimizaciju procesa taloženja inulina u cilju prečišćavanja ovog jedinjenja, kao i optimizaciju uslova rada detektora. Nova metoda omogućiće, po prvi put, kvantifikaciju inulina bez prethodne hidrolize.
- Primenom genetskog algoritma definišće se optimalni uslovi proizvodnje ekstrudata sa poželjnih fizičkim, funkcionalnim (sadržaj inulina) i senzorskim karakteristikama. Ovako dobijeni optimalni uslovi predlažu se za potencijalnu industrijsku proizvodnju.

2. Pregled literature

2.1. Cikorija (*Cichorium intybus* L.) – nutritivno i zdravsteno značajna biljna vrsta

Naziv cikorija potiče od grčkih i latinskih reči: *cichorium* što znači polje i *intybus* što je kovanica od grčke reči *in* sa značenjem „seći“ i odnosi se na listove, i latinske reči *tubus* što označa šuplje stablo. Cikorija (*Cichorium intybus* L.) je višegodišnja biljka koja pripada genu *Cichorium*, familiji *Asteraceae*, i uzgaja se širom sveta. Ova vrsta vodi poreklo iz Evrope (mediteranske regije), ali se takođe može uzgajati u svim drugim temperaturnim i polusušnim regijama (srednja Azija, severna Afrika, severna i južna Amerika, Australija). Cikorija je potencijalno bogat izvor bioaktivnih jedinjenja za obogaćivanje hrane za ljudsku upotrebu kao što su: inulin, seskviterpenski laktoni, derivati kafene kiseline (cikorijska kiselina, hlorogenska kiselina, izohlorogenska kiselina, dikafeotartarna kiselina), masti, proteini, hidroksikumarini, flavonoidi, alkaloidi, steroidi, terpenoidi, ulja, isparljive komponente, vitamini (α -tokoferol, γ -tokoferol), β -karoten, zeaksantin i minerali (Al-Snafi, 2016; Petropoulos i sar., 2017). Nadzemni delovi biljke, cvet, seme i koren se vekovima koriste u tradicionalnoj medicini u obliku čaja (Fleming, 2000; Al-Snafi, 2016). Pored bogatog nutritivnog profila, cikorija ispoljava mnogobrojne biološke aktivnosti: anti-inflamatorno, antioksidativno, sedativno, imunoloprotektivno, kardioprotektivno, antidijabetičko, antikancerogeno, antimikrobno i mnoge druge (Bahmani i sar., 2015; Al-Snafi, 2016). Nutritivni sastav cikorije prikazan je u tabeli 1 (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2019), dok je izgled biljke cikorije prikazan na slici 1.

Tabela 1. Nutritivni sastav cikorije (izraženo na 100 g sirove materije)

Nutrijent	Sadržaj
Vlaga	94,52 g
Energija	17 kcal/ 71kJ
Proteini	0,9 g
Ukupni lipidi (masti)	0,1 g
Pepeo	0,47 g
Ugljenihidrati	4 g
Ukupna prehrambena vlakna	3,1 g
<i>Minerali</i>	
Ca	19 mg
Fe	0,24 mg
Mg	10 mg
P	26 mg
K	211 mg
Na	2 mg
Zn	0,16 mg
Cu	0,051 mg
Mn	0,1 mg
Se	0,2 µg
<i>Vitamini</i>	
Vitamin C	2,8 mg
Tiamin	0,062 mg
Riboflavin	0,027 mg
Niacin	0,16 mg
Pantotenska kiselina	0,145 mg
Vitamin B6	0,042 mg
Ukupni folati	37 µg
Folna kiselina	0 µg
Folati, hrana	37 µg
Folati, DFE	37 µg
Vitamin B12	0 µg
Vitamin A, RAE	1 µg
Retinol	0 µg
Vitamin A, IU	29 IU
Vitamin D (D2+D3)	0 µg
<i>Lipidi</i>	
Masne kiseline, ukupne saturisane	0,024 g
14:0	0,001 g
16:0	0,021 g
18:0	0,001 g
Masne kiseline, ukupne monosaturisane	0,002 g
18:1	0,002 g
Masne kiseline, ukupne polisaturisane	0,044 g
18:2	0,037 g
18:3	0,006 g
Masne kiseline, ukupne trans	0 g
Holesterol	0 mg

Tabela 1. Nastavak

Nutrijent	Sadržaj
Amino kiseline	
Triptofan	0,016 g
Treonin	0,025 g
Izoleucin	0,054 g
Leucin	0,039 g
Lizin	0,035 g
Metionin	0,005 g
Fenilalanin	0,022 g
Valin	0,041 g
Arginin	0,066 g
Histidin	0,015 g

DFE, dijetetski folatni ekvivalenti; RAE, ekvivalent aktivnosti retinola; IU, internacionalna jedinica; podaci preuzeti sa <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search>; Pristupljeno 29. oktobra 2019.

Cichorium intybus L. broji šest vrsta i dve podvrste: *Cichorium intybus* L. foliosum Hegi (priprema salata) i *Cichorium intybus* L. Sativum (upotreba mesnatog čvornatog korena) (Bajaj, 1988; Street i sar., 2013). U prilog zapažanju da u svetu postoji veliki broj sorti cikoriije, uklapaju se podaci o 51 sorti cikoriije koje je registrovalo italijansko ministarstvo poljoprivrede (Tosini, 2004; Wang i Cui, 2011). Botanička klasifikacija *Cichorium intybus* L. prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2. Botanička klasifikacija *Cichorium intybus* L. (ITIS, 2019)

Rang	Naučno ime
Kraljevstvo	<i>Plantae</i> (biljke)
Subkraljevstvo	<i>Viridiplantae</i> – zelene biljke
Podkraljevstvo	<i>Streptophyta</i> – zemljišne biljke
Superdivizija	<i>Embryophyta</i>
Divizija	<i>Tracheophyta</i> – vaskularne biljke
Subdivizija	<i>Spermatophytina</i> – semenske biljke
Klasa	<i>Magnoliopsida</i>
Superred	<i>Asteranae</i>
Red	<i>Asterales</i>
Familija	<i>Asteraceae</i> – suncokreti
Gen	<i>Cichorium</i> L. – cikoriija
	Direktni potomak:
Vrsta	<i>Chicorium endivia</i> L.
Vrsta	<i>Chicorium intybus</i> L.



Slika 1. Izgled cele biljke cikorije

(https://as1.ftcdn.net/jpg/01/66/01/08/500_F_166010884_WYgGJn7db4TpW6npeehTwHDQtuK4aSR.jpg)

Cikorija je prvenstveno bila samonikla livadska biljka, koja se tek početkom 17. veka počela gajiti u Evropi. Na našim prostorima cikorija počinje da se gaji početkom 20. veka, u svrhu proizvodnje sirovine koja je služila kao zamena za kafu ili kao sveža salata. Koren cikorije se vadi u jesen kada je najmasivniji i najbogatiji bioaktivnim komponentama (Grlić, 1986). Prema podacima FAOSTA-a za 2020. godinu (FAOSTAT, 2020), Srbija se nalazi u grupi deset najvećih svetskih proizvođača korena cikorije.

2.2. Koren cikorije (*Cichory radix*)

Koren cikorije (slika 2) koristi se od davnina, kao jedna od najstarijih biljaka još iz vremena starih Egipćana i Grka, i to u tri najvažnije namene: u kulinarske svrhe (kao sveže povrće ili sastojak mnogih jela), u medicinske svrhe (koren ili ekstrakt), i u kozmetičke svrhe. Zbog bogatog sadržaja prehrambenih vlakana, ali i fitohemikalija koren cikorije nalazi svoju široku primenu u različitim domenima (Puhlmann i de Vos, 2020).

Koren cikorije se i danas primenjuje u Francuskoj i Japanu za pripremu čajeva, gorkih napitaka i bezkofeinskih zamena za kafu namenjenih potrošačima svih životnih dobi (Nishimura i sar., 2015). Koren cikorije se smatra jednim od najvažnijih izvora inulina za industrijsku proizvodnju, dok se za druge namene mora osušiti i tako skladištiti jer je lako kvarljiva sirovina (Park i sar., 2007). Međutim, hemijski sastav i veličina korena uslovljeni su mnogobrojnim faktorima koji uključuju vreme setve, vreme žetve, klimatske uslove tokom gajenja, kao i samu sortu (Baert, 1997).



Slika 2. Koren samonikle (a) i idustrijski uzgajene cikoriije (b)

(<https://www.dietandnutritionfact.com/wp-content/uploads/2017/12/The-Health-Benefits-of-Chicory-Root-1280x720.jpg>; <https://i.pinimg.com/originals/e5/65/44/e56544af2fccb04a7c6e26bc4b73fbeb.jpg>)

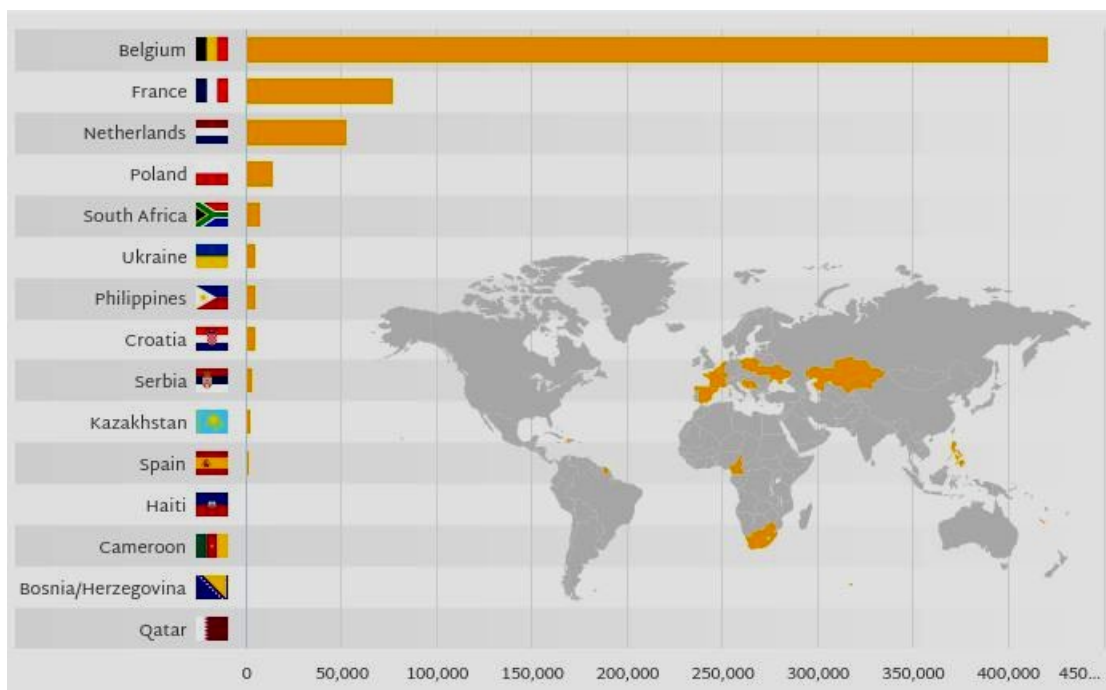
Koren cikoriije (slika 3) je smeđe-žute boje spolja, beo iznutra, sa tankom korom. Dobro razvijeni koren sadrži zreo centralni deo i deo ksilema sa brojnim ćelijskim kanalima koje provode vodu (Bais i Ravishankar, 2001). Cikoriija je biljka izuzetno tolerantna na uslove suše upravo zahvaljujući svom dubokom korenskom sistemu koji je poznat i po velikom prinosu mase (Poursakhi i sar., 2020).



Slika 3. Poprečni presek korena cikoriije

(<https://image.shutterstock.com/image-photo/root-common-chicory-cichorium-intybus-260nw-667694635.jpg>)

Zahvaljujući prisustvu raznovrsnih funkcionalnih komponenata, koren ove biljke nalazi primenu u lečenju oboljenja jetre, bubrega, digestivnog trakta, srca, kože i mnogih drugih. Inulin iz korena cikoriije poželjan je sastojak u ishrani osoba obolelih od dijabetesa (Nandagopal i Kumari, 2007). Danas je cikoriija usev koji je dominantan u severnim i zapadnim evropskim zemljama, prvenstveno zbog svog korena. Po podaci FAOSTAT, koren cikoriije se ipak uzgaja koncentrisano u određenim delovima sveta kao što je prikazano na slici 4 (<https://www.helgilibrary.com/charts/which-country-produces-the-most-chicory-roots/>).



Slika 4. Mapa sveta sa prikazom proizvodnje korena cikoriije za 2018. godinu (izvor FAOSTAT, preuzeto sa <https://www.helgilibrary.com/charts/which-country-produces-the-most-chicory-roots/>, 5.maj 2020.).

2.3 Nutritivni sastav

Visok sadržaj prehrambenih vlakana u korenu cikoriije potiče primarno od inulina, ali se tu ubrajaju i pektini i (hemi)-celuloza, čineći u zbiru ukupan sadržaj vlakana od 15 do 20% računato na svežu sirovinu, odnosno do 90% izraženo na suhu materiju. Štaviše, koren cikoriije nadmašuje neke druge često konzumirane vrste povrća, voća, semenki ili orašastih plodova u sadržaju prehrambenih vlakana (Puhlmann i de Vos, 2020). U poređenju sa povrćem koren cikoriije je jedan od najbogatijih izvora prehrambenih vlakana (87,6% s.m.), u poređenju sa Jerusalimskom artičokom (79,3% s.m.), paradajzom (14,4% s.m.), konzervisanim pasuljem (33,3% s.m.) i celerom (40,8% s.m.) (Puhlmann i de Vos, 2020). Tabela 3 prikazuje nutritivni sastav korena cikoriije.

Tabela 3. Nutritivni sastav korena cikoriije (g/100g s.m.)

Nutritivna komponenta	Sadržaj (g/100 g s.m.)	Literaturni podaci
Suva materija	96,08	Jan i sar. (2011)
Vlaga	58	Jan i sar. (2011)
	75,63	Nwafor i sar. (2017)
	3,44	Park i sar. (2003)
	87,57	Zarroug i sar. (2016)
	76,32	Khalaf i sar. (2018)
Pepeo	8,12	Jan i sar. (2011)
	4,25	Nwafor i sar. (2017)
	4,85	Park i sar. (2003)
	8,96	Zarroug i sar. (2016)
	4,45	Khalaf i sar. (2018)

Tabela 3. Nastavak

Nutritivna komponenta	Sadržaj (g/100 g s.m.)	Literaturni podaci
Sirova vlakna	27,32	Jan i sar. (2011)
	5,12	Nwafor i sar. (2017)
	5,51	Park i sar. (2003)
Nerastvorljiva prehrambena vlakna	30,73	Nwafor i sar. (2017)
Rastvorljiva prehrambena vlakna	0,42	Nwafor i sar. (2017)
	66,93	Zarroug i sar. (2016)
Ukupna prehrambena vlakna	31,15	Nwafor i sar. (2017)
Ugljeni hidrati	89,41	Nwafor i sar. (2017)
	70,43	Zarroug i sar. (2016)
	90,77	Khalaf i sar. (2018)
Ukupni rastvorni šećeri	11,06	Nwafor i sar. (2017)
	12,33	Zarroug i sar. (2016)
Inulin	44,69	Nwafor i sar. (2017)
Sirovi proteini	5,54	Jan i sar. (2011)
	4,65	Nwafor i sar. (2017)
	5,63	Park i sar. (2003)
	5,17	Zarroug i sar. (2016)
	3,83	Khalaf i sar. (2018)
Sirove masti	1,05	Park i sar. (2003)
	3,01	Zarroug i sar. (2016)
	0,95	Khalaf i sar. (2018)
Etarski ekstrakt	1,04	Jan i sar. (2011)
	1,69	Nwafor i sar. (2017)
Slobodnoazotni ekstrakt	57,98	Jan i sar. (2011)
	79,53	Park i sar. (2003)

Isparljiva ulja za koja je otkriveno da su efikasna u eliminaciji crevnih parazita nalaze se u svim delovima biljke, ali su više koncentrovana u korenu (Athanasiadou i sar., 2007; Wilson i sar., 2004). Etarsko ulje korena cikoriije bogato je kamforom (20,74%), cimenom (15,06%), γ -terpinenom (13,24%) i kuminalom (10,79%) (Gol i sar., 2014). Druga isparljiva jedinjenja koja se nalaze u korenu cikoriije su oktan (34,3-69,8%), nonadekan (0,3-3,9%), alifatična jedinjenja i njihovi derivati (64,1-81,3%) i ostala identifikovana jedinjenja (4,8- 22,7%) (Judžentienè i Būdienè, 2008). U korenu cikoriije prisutne su heksadekanska kiselina (32,9%), nonadekanska (26,1%) i trans- α -bergamoten (14,0%) kao glavne komponente od ukupno četrnaest identifikovanih jedinjenja (Rustaiyan i sar., 2011), kao i isparljiva aromatična jedinjenja (propil izovalerat, undekanal, nonanol, izoamil-nonanoat i 2-decen-1-ol) u žiličastom korenu cikoriije nakon uticaja gljivičnih elikatora (Bais i sar., 2003).

U ekstraktu korena vrste *Cichorium intybus* L. mogu se naći alkaloidi, flavonoidi, triterpenoidi, tanini i saponini (Nandagopal i Kumari, 2007). Nwafor i sar. (2017) su istraživali polifenolni sastav korena cikoriije i prijavili su ukupan udeo fenola od 20,0 mg ekvivalenta galne kiseline (GAE)/g suvog metanolnog ekstrakta korena. Utvrđeno je prisustvo protokatehinske kiseline (2,50%), hlorogenske kiseline (17,84%), *p*-hidroksibenzoeve kiseline (11,04%), kafene kiseline (35,22%), izo-vanilinske kiseline (1,97%) i *p*-kumarinske kiseline (9,65%). Brojne

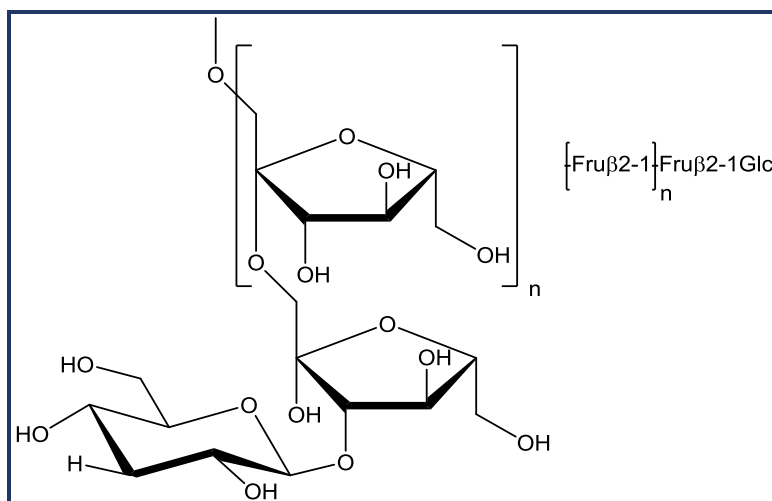
naučne studije su dokumentovale i prisustvo kofeoilhininske kiseline, mono- i dikafeoilhininske kiseline u korenu cikoriје (Milala i sar., 2009; Juškiewicz i sar. 2011). Denev i sar. (2014) saopštili su da razlika u ukupnom sadržaju polifenola zavisi od kulture cikoriје, vremena žetve i primenjenog rastvarača za ekstrakciju. Ukupan sadržaj polifenola varirao je od 3,7-7,9 mg GAE/g s.m. U istraživanju Spina i sar. (2008) sadržaj epigalokatehin galata i ukupnih polifenolnih jedinjenja u divljem i gajenom korenu cikoriје bio je sličan (16,5 mg/g i 17,53 mg/g), dok je ukupni polifenolni sadržaj bio značajno različit (22,4 i 35,1 mg GAE/100 g s.m.). Willeman i sar. (2014) saopštili su različit sadržaj hlorogenske kiseline u korenu, brašnu i pečenom semenu cikoriје (100,2; 1547 i 822,5 $\mu\text{g/g}$).

Temperatura ekstrakcije, vreme trajanja iste, tretman proteazama, čistoća vode i pranje pulpe vodom značajno utiču na prinos (35,0 do 242 mg/g s.m.) i sastav pektina poreklom iz korena cikoriје (Robert i sar., 2008). Prisutni su i šećeri koji ulaze u sastav pektina kao što su galakturonska kiselina (671 do 782 mg/g s.m.), galaktoza (21-60 mg/g s.m.), ramnoza (10-24 mg/g s.m.), dok su ksiloza, arabinoza i glukoza prisutne u manjim količinama (0-1 mg/g s.m., 5-18 mg/g s.m. i 0-3 mg/g s.m.). Datum žetve takođe utiče na velike varijacije sadržaja neutralnog šećera, dok na sadržaj galakturonske kiseline ne utiče (Robert i sar., 2008). U studiji Wilson i sar. (2004) najzastupljeniji šećeri u korenu cikoriје bili su fruktoza (0,6-11,5%), glukoza (0,3-10,6%) i saharoza (2,6-11,1%).

2.4. Inulin

Koren cikoriје se u zapadnoj Evropi uglavnom uzgaja zbog komercijalne proizvodnje inulina, prebiotskog jedinjenja fruktanskog tipa koji selektivno stimulišu „dobre bakterije“ kao što su *Bifidobacteria* i *Lactobacillae*, prirodno prisutne u debelom crevu čoveka (Roberfroid i Delzenne, 1998). Inulin predstavlja rezervnu komponentu, skladištenu u glavnom delu razgranatog korena, omogućavajući biljci da preživi sve reproduktivne faze, zimske uslove i uslove sušnih perioda (Van Laere i Van den Ende, 2002; Vandoorne i sar., 2012).

Inulin je u vodi rastvorljivi polisaharid koji pripada grupi nesvarljivih ugljenih hidrata fruktana. To je polimer fruktoze koji se sastoji od 2–60 molekula fruktoze povezanih β -(2-1)-glikozidnom vezom i sa molekulom glukoze na kraju (slika 5). U literaturi se nalaze različiti podaci o sadržaju inulina u korenu cikoriје: 1-20 g inulina/100 g svežeg korena (Figueira i sar., 2004), 44,69 % inulina u korenu izraženo na suhu materiju (Nwafor i sar., 2017), 5,79-17,17 g/100 g svežeg korena (Couri i sar., 2005). Milala i sar. (2009) istraživali su sadržaj inulina i ukupan sadržaj fruktana u korenu, listovima i semenu cikoriје, gde je najveći sadržaj bio u korenu (14,5% inulina i 61,8% fruktana na s.m.). Shoaib i sar. (2016) saopštili su sadržaj inulina u različitim biljkama ističući da koren cikoriје (11-20 g/100g) poseduje više inulina u poređenju sa ječmom (18-20 g/100g), korenom Jerusalimske artičoke (12-19 g/100 g), korenom špargle (15 g/100 g), stabljikom agave (12-15 g/100 g), korenom maslačka (12-15 g/100 g) i korenom dalije (10-12 g/100 g).



Slika 5. Hemijska formula inulina

Prinos korena cikoriije i sadržaj inulina kao i i dužinu lanaca inulina značajno zavise od uticaja vremenskih uslova, datuma setve i žetve i genotipa (Roustakhiz i Majnabadi, 2017, Černý i sar., 2008). Wilson i sar. (2004) proučavali su saopštili da se prinos korena cikoriije povećao za 84% u period od 1. septembra do 15. novembra, dok se značajno smanjenje prosečne dužine lanca inulina može se primetiti na jesen, kada su enzimi odgovorni za razgradnju fruktana najaktivniji. Stoga je rana žetva (u septembru) najpovoljnija za dobijanje većeg prinosa korena i inulina dužeg lanaca (Roustakhiz i Majnabadi, 2017).

Uslovi visoke vlage uslovljavaju nastanak kraćih lanaca inulina ali i povećanje njihovog prinosa (Vandoorne i sar., 2014). Na stepen polimerizacije (SP) fruktana takođe utiču sorta i datum setve i žetve, među kojima je najveći udeo pripada lancima inulina sa SP 3-10 (28,4-60,3%), zatim SP 11-20 (11-31,9%) i SP > 20 (1,9-25,3%). (Wilson i sar., 2004). Monti i sar. (2005) saopštili su da je prosečni SP fruktana korena cikoriije (obično 10–20) prosek kratkih (manje od 10 jedinica) i dugačkih lanaca (oko 60).

Preporučeni dnevni unosu inulina još uvek nije definisan, mada postoje smernice prema kojima se unosom određene količine inulina (g) dnevno mogu postići zdravstveni benefiti. Najučinkovitiji unos inulina kod ljudi u cilju smanjenja nivoa triglicerida, holesterola i LDL holesterola u krvi obuhvata 8-10 g inulina dnevno, dok 15-20 g inulina/dan može olakšati simptome konstipacije (Chaito i sar., 2016). Slično tome, konzumiranje 5-15 g inulina po danu u toku nekoliko nedelja pokazuje prebiotsku aktivnost (Khuenpet i sar., 2017). Prema smernicama FDA preporučeni dnevni unos ukupnih prehrambenih vlakana trebao bi da bude 25 g/danu (Khuenpet i sar., 2017). Uzimajući u obzir ove navode, može se smatrati da obogaćivanje proizvoda na najnižem nivou za koji se tvrdi da donosi zdravstvene benefite (tj. već od 5 g inulina/porciji) donosi interesantne izazove i inovacije u prehrambenom sektoru.

2.4.1. Primena inulina u prehrambenoj industriji

U zavisnosti od dužine lanca, inulin se dodaje u prehrambene proizvode sa ulogom zamenjivača šećera (inulin kratkog lanca), zamenjivača masti (inulin dugog lanca) ili kao modifikator teksture (inulin dugog lanca). Pored uticaja na senzorske karakteristike proizvoda, inulin se može primenjivati i kao dijetetski suplement ili pak prebiotik (Puhlmann i de Vos, 2020). Novije studije ispituju potencijal inulina kao nosača u procesu inkapsulaciji, sa ulogom da komponente od

interesa, koje bi se inače apsorbivale ranije u gastrointestinalnom traktu, dostavi do creva gde prisutna crevne mikroflore razgrađuje inulin, dok se analiti oslobodaju iz kapsula (Moreira Mar i sar., 2021). Do sada je ispitivan uticaj inulina na metabolizam glukoze i lipida, konstipaciju i opšte zdravstveno stanje gastrointestinalnog trakta, dok je prisutan nedostatak naučnih publikacija koje su ispitivale uticaj konzumiranja čitavog korena cikorije na ljudsko zdravlje.

Prehrambena vlakna smatraju se jednim od ključnih sastojaka koji poboljšavaju zdravlje ljudi pa se stoga pažnja usmerava na hranu obogaćenu prehrambenim vlaknima. Osnovne osobine prehrambenih vlakana su otpornost na hidrolizu u prisustvu želudačne kiseline i apsorpciju u tankom crevu, dok ih fermentiše mikroflora debelog creva (Roberfroid, 2007; Turner i Lupton, 2011). Inulin je skladišni ugljeni hidrat kod biljaka, i skoro 90% inulina prolazi u debelo crevo gde ga razgrađuju prisutne bakterije (Cherbut, 2002). Na prehrambenim proizvodima inulin se označava kao prehrambeno vlakno. U prehrambenom sektoru uglavnom se koristi iz dva razloga: daje bolji organoleptički karakter i poboljšava nutritivni sastav (Roberfroid, 2007). Inulin najčešće doprinosi ukusu i teksturi. U žitaricama za doručak i pekarstvu, inulin nudi važna poboljšanja u poređenju sa drugim vlaknima (Franck, 2002). Dodatak inulina u pečene proizvode ne samo da zadržava vlagu i svežinu duže vreme već unapređuje i hrvskavost proizvoda. U ispitivanju bezglutenskih kolačića pripremljenih sa 20% inulina u pirinčanom brašnu povećan je sadržaj prehrambenih vlakana i redukovan sadržaj masti (Wang i sar., 2019). Rastvorljivost inulina omogućava njegov dodatak u vodene sredine kao što su pića, mlečni proizvodi, zgušnjivači i namazi (Dahl i sar., 2005).

Niska kalorijska vrednost inulina (1,5 kcal/g odnosno 6,3 kJ/g) potiče od njegove nesvarljivosti za razliku od njegovih sastavnih monosaharida. Pod dejstvom crevnih bakterija, inulin prelazi u kratkolančane masne kiseline (kao što su sirćetna, propionska i buterna), laktat, i gaseve (Nyman, 2002). Kratki lanci masnih kiselina i laktati mogu povećati energetske metabolizam domaćina. Bakterije i ćelije domaćina takođe mogu da koriste delove kraćih lanaca masnih kiselina. Prema *in vivo* i *in vitro* rezultatima ispitivanja, energetska stopa inulina i oligofruktoze iznosi 1,5 kcal/g (Roberfroid, 1999).

Ranije je utvrđeno da su inulin i oligofruktoza najšire primenjena jedinjenja sa najvažnijom prebiotskom efikašnošću (Gibson i sar., 2004). Studije takođe predlažu kombinaciju kratko- i dugolančanih molekula inulina u odnosu 1:1, kako bi se unapredilo dejstvo prebiotika (Ghodusi i sar., 2007).

Dugolančani molekuli inulina često se koriste kao zamena za lipide, jer su u prisustvu vode sposobni da oforme gel i na taj način menjaju teksturu i obezbeđuju osećaj u ustima nalik na mast (Karimi i sar., 2015; Tunland i Meyer, 2002). U nemasnim funkcionalnim mlečnim proizvodima inulin može da se koristi kao zamena za mast, obezbeđujući približno iste senzorske karakteristike kao kod punomasnih proizvoda (Cruz i sar., 2010). Dodatakom 2-7% inulina u sveže mlečne napitke postiže se zamena masti, kremastiji osećaj u ustima, poboljšanje ukusa i obezbeđivanje efekata omekšavanja u proizvodu, što zavisi od nivoa u kome je inulin dodat (Salvatore i sar., 2014).

Kratkolančani inulin dostiže 35% slatkoće saharoze, te se stoga može primeniti da delimično zameni ukus saharoze (De Castro i sar., 2009; Villegas i sar., 2010). Do sada se inulin kao zamenjivač šećera primenjivao u čokoladama, uglavnom u kombinaciji sa poliolum koji zamenjuje šećer, bez uticaja na sadržaj masti (Farzanmehr i Abbasi, 2009).

Tabela 4 daje sumarni prikaz primene inulina u različitim prehrambenim proizvodima.

Tabela 4. Prehrambeni proizvodi sa dodatkom inulina

Proizvod	Uloga inulina	Literaturni podaci
Čokoladna torta	Funkcionalni sastojak	Moscatto i sar. (2006)
Kolači	Zamenjivač masti i šećera	Rodríguez-García i sar. (2014)
Čokolada	Zamenjivač masti, funkcionalni sastojak	Farzanmehr i Abbasi (2009)
Čokoladni mus	Funkcionalni sastojak	Cardarelli i sar. (2008)
Kobasice	Zamenjivač masti	Keenan i sar. (2014)
Bezglutenski hleb	Teksturni aditiv	Capriles i Arêas (2013)
Inkapsulirani proizvodi	Nosač	Beirão-da-Costa i sar. (2013)
Jogurt	Zamenjivač masti	Pasephol i sar. (2008)
Kefir	Regulator kalorijske vrednosti, zamenjivač masti	Glibowski i Kowalska (2012)
Sir	Funkcionalni sastojak	Cardarelli i sar. (2007)
Sladoled	Prebiotik, zamenjivač masti	Akalin i Erişir (2008) El-Nagar i sar. (2002)
Mortadela	Regulator kalorijske vrednosti, zamenjivač masti	García i sar. (2006)
Slani štapići	Stabilizator, modifikator teksture	Pencheva i sar. (2012)
Mlečni dezerti	Modifikator teksture	González-Tomás i sar. (2009)
Testenina	Modifikator teksture, funkcionalni sastojak	Manno i sar. (2009) Brennan i sar. (2004)

U prehrambenoj insutriji, inulin može pokazati određena tehnološka i funkcionalna svojstva. Poznata su i mnogobrojna terapijska dejstva inulina koja mogu pospešiti zdravlje ljudi i smanjiti rizik od različitih oboljenja. Kroz kliničke studije prikazani su različiti zdravstveni benefiti koje uzrokuje konzumiranje inulina i prikazani su u tabeli 5 (Ahmed i Rashid, 2019).

Tabela 5. Funkcionalna dejstva inulina (Ahmed i Rashid, 2019).

Dejstvo	Mehanizam delovanja
Uticaj na metabolizam lipida	Dodatkom nesvarljivih ugljenih hidrata kao što je inulin smanjuje se rizik od visokih koncentracija triglicerida.
Uticaj na probavu	Inulin u digestivnom traktu čoveka utiče na smanjenje pH creva pri čemu potpomaže rad probavnog sisetam slično kao pektin i guar guma.
Bifidogeni efekat	Inulin stimuliše razvoj i metaboličko delovanje određenog broja bakterija u debelom crevu, naročito <i>Bifidobacteria</i> i <i>Lactobacilli</i> , čime promoviše njihovo zdravlje, što se naziva bifidogenim efektom.
Samnjenje rizika od gastrointestinalnih oboljenja	Ispitivanja su pokazala da inulin povoljno utiče na smanjenje rizika od bolesti debelog creva, kancera creva, ulceroznog kolitisa i hroničnih bolesti. Inulin u sinergiji sa crevnim bakterijama smanjuje razvoj lezija i maligniteta, i pospešuje imuni sistem.

Tabela 5. Nastavak.

Dejstvo	Mehanizam delovanja
Povećanje apsorpcije kalcijuma, magnezijuma i gvožđa	Usled smanjenja pH, što je posledica stvaranja masnih kiselina kratkih lanaca tokom fermentacije inulina.
Regulacija apetita	Inulin i oligofruktoza utiču na gastrointestinalne hormone koji regulišu apetit.
Stimulacija imunog sistema	Studije su pokazale da inulin i oligofruktoza posredno stimulišu T ćelije, NK ćelije i aktivnost fagocita putem promene koncentracije lakto-kiselih bakterija u gastrointestinalnom traktu, čime se postiže zaštita od patogena i tumora.

U naučnoj literaturi posvećenoj medicinskim efektima inulina, najčešće se ispituje efekat inulina na dijabetes melitus tipa II (T2DM). Naime, inulin kao prebiotik ima pozitivan uticaj na crevnu mikrofloru, i podstiče proliferaciju crevnih bakterija. Na taj način se podstiče zaštita od kolonizacije patogenih mikroorganizama u crevnom traktu. Inulin utiče na nastanak masnih kiselina kratkih lanaca koje povećavaju osetljivost na insulin, poboljšavaju toleranciju na glukozu, smanjuje apoptozu (programiranu smrt ćelije bez zapaljenja) β ćelija kod osoba obolelih od gojaznosti i dijabetesa. Pored toga, inulin je pogodan za metabolizam glukoze i lipida kod osoba obolelih od dijabetesa. Ning i sar. (2017) su u kliničkoj studiji pokazali da inulin poreklom iz cikorijske redukuje nivo glukoze u krvi, kao i nivo insulina. Mišići, jetra i adipozne ćelije su glavna mesta metabolizma šećera i lipida, i osetljivi su na insulinski signal za regulaciju homeostaze glukoze u krvi. Kod T2DM delovanje insulina je ugroženo i uzimanje glukoze od strane pomenutih ćelija je poremećeno, što rezultira nastankom hiperglikemije. Inulin može promovirati unos glukoze u mišićne ćelije i hepatocite (ćelije jetre) gde se metaboliše, smanjujući na taj način nivo šećera u krvi. Ovo ukazuje na potencijal inulina iz cikorijske kao lekovitog suplementa kod pacijenata obolelih od T2DM.

2.5. Seskviterpenski laktoni

Seskviterpenski laktoni su jedna od najzastupljenijih i biološki najznačajnijih klasa biljnih sekundarnih metabolita, te su stoga bili predmet mnogobrojnih naučnih studija. Ova grupa broji preko 5000 poznatih jedinjenja zastupljenih u familijama Cactaceae, Solanaceae, Araceae i Euphorbiaceae. Međutim, seskviterpenski laktoni su najzastupljeniji u familiji Asteraceae. Seskviterpenoidi mogu imati značajan udeo u suvoj materiji takvih biljaka, sa skoro 3% koliko je prisutno u *Helenium amarum* i drugim vrstama širom ovog roda. Seskviterpenoidi su primarno locirani u laticiferima (ćelijama koje proizvode lateks), koji su specijalizovane sekretorne ćelije za većinu biljaka iz familije Asteraceae, ali se mogu naći i u vakuolama i u drugim tipovima ćelija (Chadwick i sar., 2013).

Seskviterpenski laktoni su bezbojne lipofilne supstance. Njihova biosinteza u biljkama počinje od tri izoprenske jedinice i odvija se preko farnezil-pirofosfata u endoplazmatičnom retikulumu. Germakranolidi, guaianolidi, pseudoguaianolidi i eudesmanolidi su najrepresentativnije klase laktona, među kojima su germakranolidi najznačajniji u smislu funkcionalnosti za ljudski organizam. Sve klase sadrže petočlanu laktonsku grupu (γ -lakton) sa karbonilnom grupom u

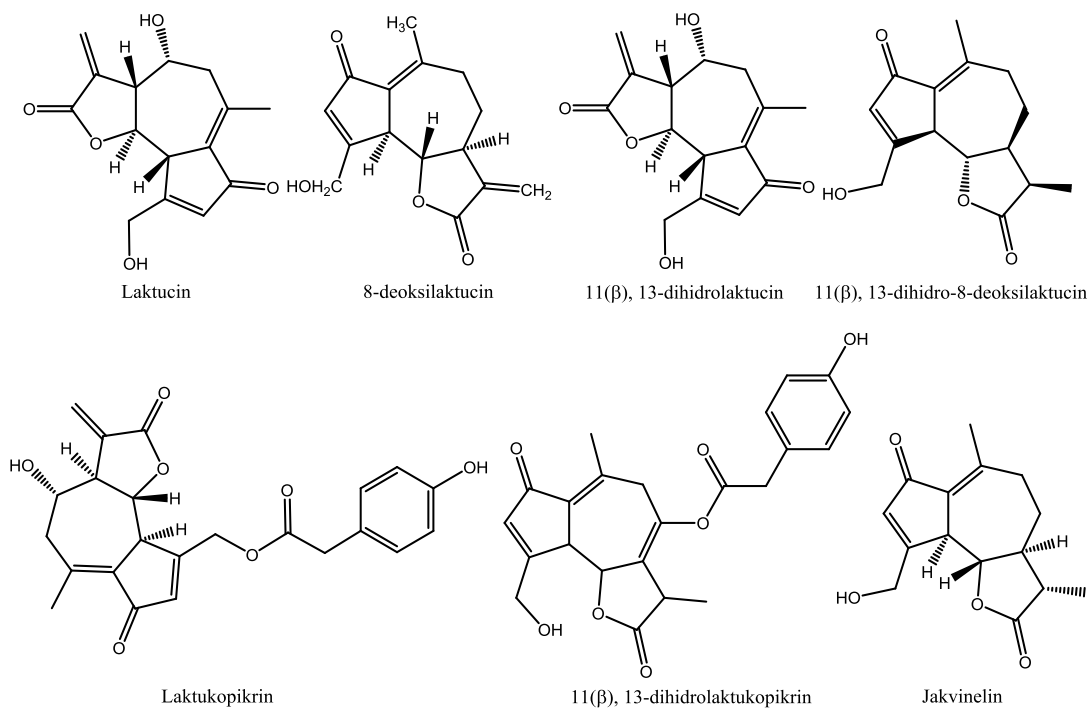
α položaju. Seskviterpenski laktoni iz korena cikorije, kao što su laktucin, laktukopikrin i 8-deoksilaktucin, pripadaju klasi guaianolida (Van Beek i sar., 1990).

Laktoni su rastvorljivi akumulirajući metaboliti biljaka sa malom molekulskom masom (Amorim i sar., 2013). Oni predstavljaju terpenoidne komponente sa 15 ugljenikovih atoma i u svojoj strukturi sadrže laktonski prsten (Ferioli i sar., 2015). Metabolički stres tokom defolijacije ili promena uslova spoljašnje sredine kao što su dužina dana, temperatura ili vlažnost zemljišta mogu imati značajan uticaj na sadržaj laktona u cikoriji (Foster i sar., 2011). Zahvaljujući raznolikosti hemijskih struktura ovih jedinjenja, oni ispoljavaju nekoliko funkcija važnih za biljku: privlače oprašivače, štite biljku od napada patogena, a takođe odbijaju insekte (Willeman i sar., 2014). Sa druge strane, ovi sekundarni metaboliti korena cikorije imaju veliki potencijal za obogaćivanje prehrambenih proizvoda zbog svojih izraženih bioloških osobina kao što su anti-inflamatorna aktivnost, analgetičko i neuroprotektivno dejstvo (Willeman i sar., 2014).

Najznačajniji izvori seskviterpenskih laktona u ljudskoj ishrani su zelena salata (*Lettuca sativa*) i cikorija (*Cichorium intybus* L.). Osim sa svežim povrćem, unos seskviterpenskih laktona može se ostvariti i sa različitim napitcima, kao što su čajevi od korena cikorije, ili zamene za kafu. Sa druge strane, seskviterpenski laktoni nalaze primenu i u proizvodnji nekih alkoholnih pića, kako bi se postigla odgovarajuća gorčina. Drugi vidovi unosa laktona kroz ishranu podrazumevaju korišćenje začina, ali je učestalost njihovog konzumiranja razumljivo manja (Chadwick i sar., 2013).

Seskviterpenski laktoni ispoljavaju veliki broj bioloških aktivnosti, uglavnom zasnovanih na alkilacionim sposobnostima ovih jedinjenja, što pozitivno utiče na njihov terapijski potencijal. Aktivnost laktona često se povezuje sa aktivnošću prisutne α -metil- γ -laktonske grupe ili nesaturisane karbonilne grupe (Chadwick i sar., 2013). Dosadašnje naučne studije su izučavale antioksidativnu, anti-inflamatornu, antitumorsku, antimalarijsku, antiulcernu i citotoksičnu aktivnost seskviterpenskih laktona. Pored toga, imaju i pozitivan uticaj u prevenciji kardiovaskularnih oboljenja, neurodegeneracije, migrene, dijareje, groznice itd. (Amorim i sar., 2013; Chadwick i sar., 2013). Alternativna i tradicionalna medicina takođe primenjuju seskviterpenske laktone u svojim terapijama. Pretpostavlja se da ishrana bogata biljkama iz porodice Asteraceae, kao što su zelena salata i cikorija, ima sposobnost da izrazi uticaj sličan onom dokazanom u *in vivo* studijama i promoviše razmatranje seskviterpenskih laktona kao deo balansirane zdrave ishrane (Chadwick i sar., 2013).

Takođe, seskviterpenski laktoni su odgovori za prepoznatljiv gorak ukus korena cikorije, najviše zahvaljujući prisustvu laktucina i laktukopikrina (Willeman i sar., 2014), i smatraju se komponentama korena koje podstiču apetit i rad digestivnog trakta kod ljudi (Ferioli i D'Antonio, 2012). Slika 6 prikazuje strukture laktona izolovanih iz korena *Cichorium intybus* L. (Ripoll i sar., 2007a, 2007b, Beharav i sar., 2010, Wulfkuehler i sar., 2013, Willeman i sar., 2014, Kisiel i Zielińska, 2001).



Slika 6. Seskviterpenski laktoni iz korena cikoriije

2.5.1. Seskviterpenski laktoni u prehrambenim proizvodima

Neki naučni radovi bavili su se ispitivanjem dodatka sprasenog korena cikoriije u proizvode kao što su nudle, testenina, biskviti sa kafom ili kakaom, kako bi ispitali uticaj sekundarnih metabolita biljke (seskviterpenskih laktona i polifenola) na održivost prehrambenih proizvoda. Seskviterpenski laktoni prisutni u ovim proizvodima pokazali su značajnu antimikrobnu aktivnost, posebno se ističući antifugalnim dejstvom i dugotrajnijom održivošću proizvoda (Nishimura i sar., 2000). Takođe, seskviterpenski laktoni izolovani su i iz čajeva na bazi korena cikoriije, i svrstani su u grupu komponenata odgovornih za ukus i aromu (Choi, 1999). Međutim, Chadwick i sar. (2013) ukazuju na nedostatak podataka o percepciji potrošača prema seskviterpenskim laktonima i smatraju da se mora proširiti javno razumevanje o važnosti konzumiranja voća i povrća bogatog ovim jedinjenjima, kako bi se povećao njihov unos.

Dostupna naučna literatura oskudeva u istraživanjima koja se bave određivanjem prisustva seskviterpenskih laktona u različitim prehrambenim proizvodima. Takođe, malo je publikacija sa tematikom implementacije sirovina bogatih ovim jedinjenjima, sa ciljem postizanja funkcionalnosti proizvoda. Stoga, ova doktorska disertacija doprinosi u tom smislu istraživanjima u prehrambenom sektoru, obogaćivanju tržišta novim proizvodima i daje uvid u prihvatljivost takvih proizvoda od strane potrošača.

2.6. Mineralni sastav korena cikoriije

U svrhu definisanja nutritivnog sastava vrlo je važno, između ostalog, odrediti i prisustvo i količinu minerala, uključujući makro- i mikroelemente. Mineralni sastav biljne sirovine značajan je za rast, metaboličke funkcije i normalan životni ciklus biljke. Stresni uslovi okoline, suša, temperaturni i svetlosni uslovi mogu značajno uticati na mineralni sastav biljke. Međutim, jačina tog uticaja u velikoj meri zavisi od biljne kulture, ali i od biljnog organa. Sa druge strane, minerali su takođe esencijalni za normalan metabolizam i telesne funkcije kod ljudi.

Mineralni profil korena *Cichorium intybus* L. detaljno je prikazan u tabeli 6. Prema istraživanjima Nwafor i sar. (2017), Jan i sar. (2011), Harrington i sar. (2006) i Foster i sar., (2006) koren cikoriije je dobar izvor minerala uključujući kalcijum, kalijum, natrijum i magnezijum, koji se ističu po sadržaju u poređenju sa drugim mineralima u korenu. Harrington i sar. (2006) su primetili prednosti mineralnog sastava korena cikoriije u poređenju sa nekim drugim biljkama uobičajenim na pašnjacima, poput bele deteline (*Trifolium repens*) ili običnog ljlja (*Lolium perenne*), u sadržaju P, S, Mg, Na, Cu, Zn i B.

Tabela 6. Mineralni sadržaj korena cikoriije

Mineral	Sadržaj (mg/100 g s.m.)	Literaturni podaci
Ca	181,26	Nwafor i sar. (2017)
	360	Jan i sar. (2011)*
	1180	Harrington i sar. (2006)
	1280	Foster i sar. (2006)
K	103,7	Nwafor i sar. (2017)
	1700	Jan i sar. (2011)*
	3800	Harrington i sar. (2006)
	2860	Foster i sar. (2006)
N	4350	Harrington i sar. (2006)
P	663	Harrington i sar. (2006)
	280	Foster i sar. (2006)
S	627	Harrington i sar. (2006)
	410	Foster i sar. (2006)
Mg	20,14	Nwafor i sar. (2017)
	300	Jan i sar. (2011)*
	393	Harrington i sar. (2006)
	270	Foster i sar. (2006)
Na	67,42	Nwafor i sar. (2017)
	50	Jan i sar. (2011)*
	591	Harrington i sar. (2006)
Fe	1,77	Nwafor i sar. (2017)
	16,7	Harrington i sar. (2006)
	17100	Foster i sar. (2006)
Cu	0,36	Nwafor i sar. (2017)
	2,70	Jan i sar. (2011)*
	1,86	Harrington i sar. (2006)
	1100	Foster i sar. (2006)
Mn	0,31	Nwafor i sar. (2017)
	7,5	Jan i sar. (2011)*
	16,1	Harrington i sar. (2006)
	8700	Foster i sar. (2006)
Zn	0,39	Nwafor i sar. (2017)
	4,0	Jan i sar. (2011)*
	5,77	Harrington i sar. (2006)
	3100	Foster i sar. (2006)
Pb	0,04	Nwafor i sar. (2017)
Co	0,0273	Harrington i sar. (2006)
Se	0,0043	Harrington i sar. (2006)
Mo	0,0420	Harrington i sar. (2006)

* nije definisano da li je rezultat izražen na suhu ili vlažnu materiju

Zastupljenost minerala u korenu divlje cikoriје opada prema sledećem redosledu: Mg>Cu>Zn>Na>Fe>Ca>Mn, dok su Cd, Cr, K, Ni i Pb bili ispod granice detekcije (Stanciu i sar., 2019). Izuzev gvožđa i natrijuma, svi drugi metali su bili najzastupljeniji u listu cikoriје, poređenjem mineralnog sastava koren, lista, stabla i cveta (Stanciu i sar., 2019). Sa druge strane, i Jangra i Madan (2018) su uporedili nadzemne delove, seme i koren cikoriје u sadržaju Fe, Cu, Zn i Mn. Sadržaj ovih elemenata u korenu iznosio je redom 493,7; 8,60; 24,33 i 27,13 ppm (Jangra i Madan, 2018). Neka istraživanja su pokazala da cikoriја (*engl. witloof*) ima sposobnost akumulacije K iz zemljišta čime ispoljava osobine kulture koja se može koristiti u „čišćenju“ zemljišta od visokih koncentracija kalijuma i samim tim postati biljna kultura sa povećanim sadržajem ovog minerala (Kumano i Araki, 2017). Pri ovim stresnim uslovima gajenja, sa povećanim sadržajem K₂O, takođe je zabeležen poboljšani rast biljke, pogotovo njenog korena. Crush i sar., (2019) ispitivali su potencijal cikoriје da uravnoteži visok sadržaj kadmijuma u zemljištu ili rudama, ističući mogućnost njene primene kao visoko akumulirajućeg rezervoara kadmijuma u zavisnosti od genotipa (Crush i sar., 2019). Poursakhi i sar. (2020) su takođe ukazali da je mineralni sastav cikoriје određen njenim genotipom.

2.7. Biološke aktivnosti komponenata iz korena cikoriје

Koren cikoriје svrstava se ne samo u industrijsku biljku visokog prinosa, već se sve više uzgaja zbog svojih funkcionalnih osobina i visokog prehrambenog kvaliteta. Koren cikoriје značajno je bogat jedinjenjima koja ispoljavaju mnogobrojna medicinska svojstva, te se može konzumirati i u svojstvu hrane i u svojstvu lekovitog bilja (Wang i Cui, 2011). Do sada je većina medicinskih naučnih studija bila posvećena izučavanju inulina kao nosioca funkcionalnosti cikoriје, međutim ova biljka sadrži i mnoge druge komponente odgovorne za širok spektar bioaktivnosti koje ispoljava brašno korena cikoriје i njegovi ekstrakti (Pouille i sar., 2020). Ova jedinjenja mogu biti odgovorna za promene u profilu ekspresije gena, promene nivoa markera metabolizma u plazmi, kao i za sastav mikrobiote creva (Pouille i sar., 2020). Mnogobrojni zdravstveni efekti i jedinjenja poreklom iz cikoriје odgovorna za te efekte sumirani su u tabeli 7.

Tabela 7. Sumarni prikaz bioaktivnosti korena *Cichorium intybus* L.

Bioaktivnost/ Zdravstveni efekat	Deo biljke	Ekstrakt	Jedinjenje/a	Literaturni podaci
Anti-hepatotoksična	Cela Biljka	Etil-acetatni	Nije definisano	Li i sar. (2014)
Anti- dijabetska	Delovi biljke (koren, stablo, listovi)	Etanolni	Potencijalno inulin	Pushparaj i sar. (2007)
Antimikrobna	Koren	Etil-acetatni	Nije definisano	Koner i sar. (2011)
	Koren i list	Metanolni	Potencijalno inulin, seskviterpenski laktoni, flavonoidi, kumarin	Verma i sar. (2013)

Tabela 7. Nastavak

Bioaktivnost/ Zdravstveni efekat	Deo biljke	Ekstrakt	Jedinjenje/a	Literaturni podaci
Antimikrobna	Koren	Nije definisano	Seskviterpenski laktoni: cikopaleksin, 10- α -hidroksicikopumilidin, 8- α -nageloiloksicikoleksin, terpenoidi i fenoli	Nishimura i Satoh (2006)
	Koren i list	Etanolni i metanolni ekstrakt γ -zračene cikorijske	Fenolne komponente i flavonoidi	Khalaf i sar. (2018)
Antioksidativna	Koren	Etanolni	Kafeoilhininska kiselina	Liu i sar. (2013)
Antiinflamatorna	Koren	Polarni rastvarači	Seskviterpenski laktoni	Ripoll i sar. (2007a) Ripoll i sar. (2007b)
	Koren	Vodeni	<i>Cikorijska, kafena i ferulna kiselina</i>	Azay-Milhau i sar. (2013)
Anti-hiperglikemijska	Koren	Etil-acetatna frakcija metanolnog ekstrakta	Kafena kiselina delimično, di-O-kafeoilhininska kiselina i derivati (3-kafeoilhininska, kafena, i hininska kiselina)	Jackson i sar. (2017)
Antimalarijska	Koren	Vodeni ekstrakt fracionisan sa dietil etrom ili etil acetatom	Seskviterpenski laktoni: laktucin i laktukopikrin	Bischoff i sar. (2004)
Antifungalna	Koren	Vodena faza prečišćenog acetonskog ekstrakta	Seskviterpenski laktoni: 8-deoksilaktucin i 11 β ,13-dihidrolaktucin.	Mares i sar. (2005)
Antikancerogena	Koren	Metanolni	Laktucin, β -sitosterol, hininska kiselina, sukcininska kiselina i polifenoli, naročito flavonoidi	Mehrandish i sar., (2017)
Tumor-inhibitorna	Koren	Etanolni	Inulin, čikorin, eskulin, eskuletin, kofein, poliacetileni, organske kiseline, guma, proteini i vitamini.	Hazra i sar. (2002)

Schmidt i sar. (2007) su primenom Ames testa pokazali da je ekstrakt korena cikorijske koji sadrži seskviterpenske laktone nije toksičan i mutagen. Pushparaj i sar. (2007) su saopštili da jaki hiperholesterolemički i hipotrigliceridemični efekti ekstrakta korena cikorijske mogu da budu posledica prisustva inulina. Koner i sar. (2011) testirali su etil-acetatni ekstrakt korena cikorijske na antibakterijska i antifungalna svojstva i zaključili da koren cikorijske ima veliku sposobnost inhibiranja i gram-pozitivnih i gram-negativnih bakterija (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizobium leguminosarum*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* yeast, *Sachharomyces cerevisiae* i *Aspergillus niger*). Verma i sar. (2013) su takođe istakli *in vitro* antibakterijsku aktivnost ekstrakta korena cikorijske protiv nekih patogenih bakterija. Liu i sar. (2013)

su povezali antioksidativno i antibakterijsko delovanje ekstrakata korena cikoriije sa bioaktivnim supstancama koje su primarno identifikovane kao kafeoilhininska kiselina. Kim i Yang (2001) zaključili su da je inhibicija lipidne peroksidacije LDL-a (lipoprotein male gustine) jedinjenjima poreklom iz cikoriije poželjna za zaštitu od nekih efekata starenja, a posebno ateroskleroze. Li i sar. (2014) primetili su hepatoprotektivni efekat cikoriije, odnosno sposobnost sprečavanja fibroze jetre izazvane ugljen-tetrahloridom, dok su Zafar i Ali (1998) predložili dalja istraživanja kako bi se izolovali i identifikovali aktivni principi prisutni u korenu cikoriije odgovorni za antihepatotoksično delovanje. Azay-Milhou i sar. (2013) istraživali su cikorijsku kiselinu, naročito kafenu i ferulnu kiselinu, kao antihiperглиkemijske agense iz korena cikoriije. Prema Bischoff i sar. (2004), seskviterpenski laktone iz korena cikoriije odgovorni su za antimalarijsku aktivnost. Rub i sar. (2014) povezuje antioksidativnu aktivnost frakcije korena cikoriije bogate polifenolima, sa jakim hipoglikemijskim potencijalom. Grigoriadou i sar. (2020) ističu da koren cikoriije ima pozitivan uticaj na apetit i gastrointestinalni trakt.

2.8. Sigurnosne i zdravstvene tvrdnje o upotrebi cikoriije

Ekstrakt cikoriije, kao i inulin, FDA (*engl. Food and Drug Administration*, Uprava za hranu i lekove) generalno smatra sigurnim (*engl. Generally recognized as safe*, GRAS) i ovaj ekstrakt se pojavljuje na listi svega što je dozvoljeno dodavati u hranu u Sjedinjenim Američkim Državama (*engl. Substances Added to Food*, EAFUS) (Food and Drug Administration, 2018). Schmidt i sar. (2007) su primenom Ames testa potvrdili sigurnost ekstrakta korena cikoriije tokom i četvoronedeljne studije subhronične toksičnosti kod mužjaka i ženki pacova Sprague–Dawley. Ekstrakt korena cikoriije koji sadrži seskviterpenske laktone nije toksičan niti mutagen, primenjen oralno u dozi od 70, 350 ili 1000 mg/kg/dan. Ispitano je toksikološko dejstvo (subakutna i hronična toksičnost) vodenog ekstrakta semena cikoriije, koji nema potvrđen negativan efekat pri dozi od 200 mg/kg telesne mase, i dovodi do značajnog smanjenja nivoa glukoze u serumu (52,7%) i nivoa triglicerida (65,3%), a zabeleženo je i smanjenje oksidativnog stresa kod pacova sa dijabetesom izazvanim velikim udelom masti u ishrani (Chandra i sar., 2018). Tvrdnja kratkoročnih i/ili dugoročnih efekata proizvoda od cikoriije na dijabetes dokazana je testom tolerancije na glukozu i merenjem HbA1c (Nowrouzi i sar., 2017). EFSA (*engl. European Food Safety Authority*, Evropska agencija za bezbednost hrane) potvrdila je zdravstvenu tvrdnju da nesvarljivi ugljeni hidrati iz cikoriije (frukto-oligosaharidi dobijeni iz inulina cikoriije), koji bi trebali zameniti šećere u hrani ili napitcima, umanjuju post-prandijalne glikemijske reakcije (EFSA Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies, 2014). Uredba EFSA i Komisije (EU) 2015/2314 potvrdila je pozitivan uticaj inulina iz cikoriije na funkciju debelog creva, sa blagotvornim fiziološkim efektom pri dozi od 12 g/dan za ovu tvrdnju (Theis, 2018).

2.9. Trenutne i potencijalne primene korena cikoriije u prehrambenim proizvodima

Trenutno postoji nekoliko poznatih primena cikoriije u prehrambenoj industriji: pečeni i mleveni koren kao zamena ili dodatak kafi, osušeni koren u čajevima i čajnim mešavinama, svež koren cikoriije kao salata (Saeed i sar., 2017). Više od 90% konzumirane kafe u Indiji i Južnoj Africi sadrži koren cikoriije, kao zamenu ili dodatak kafi. Druga značajna upotreba korena

cikorije je komercijana proizvodnja inulina. Inulin se može hidrolizovati do glukoze i fruktoze, i koristiti kao rastvorljivo vlakno u ishrani (Kaur i Gupta, 2002; Pool-Zobel, 2005). Inulin se uglavnom primjenjuje u prehrani kao niskokalorični zaslađivač, zamena za masti i modifikator teksture, kako bi se povećao sadržaj prehrambenih vlakana, poboljšala tehnološka i senzorska vrednost proizvoda (Drabińska i sar., 2016). Mnoge studije su istraživale bioaktivnosti inulina sa nizom dokazanih dejstava: tumor-inhibitorno, antidijabetsko, antihepatotoksično i antioksidativno delovanje (tabela 7).

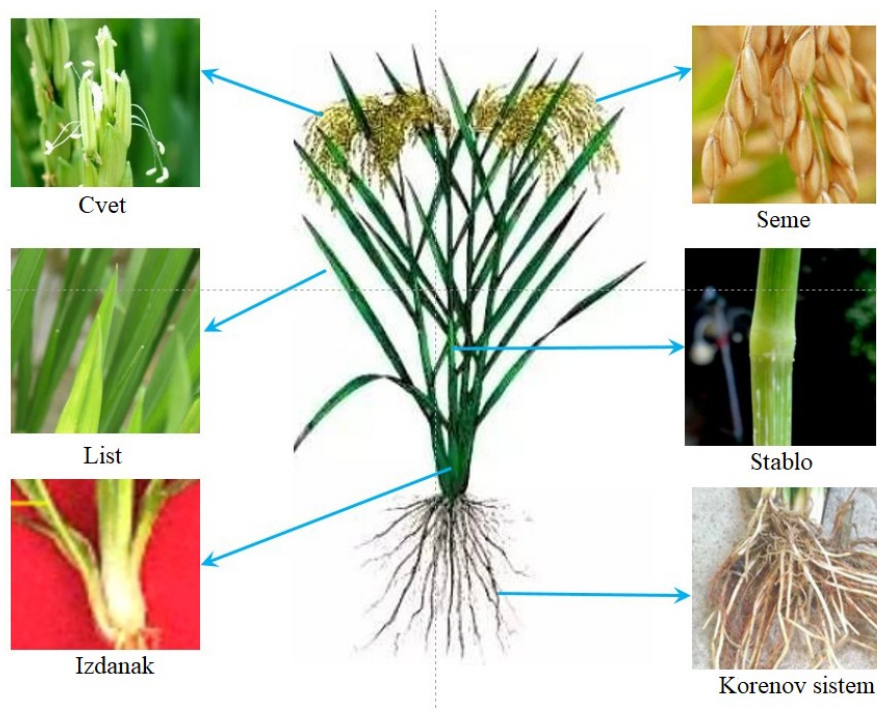
Prah korena cikoriije, nakon uklanjanja gorčine, potapanjem u vodi ili rastvoru limunske kiseline, pronalazi primenu u uspešnoj zameni pšeničnog brašna (10%) i masti (25%) u proizvodnji krekeri (Massoud i sar., 2009). Bossard i sar. (2006) su takođe proizveli brašno od dehidriranog korena cikoriije. Dodavanjem vlakana cikoriije u rekonstruisane kobasice kao zamenjivača masti, postiže se značajno smanjenje vlage, masti, tvrdoće i pH vrednosti kobasica (Choi i sar., 2016). Wang i Cui (2011) su saopštili da se čaj od cikoriije može koristiti za održavanje telesne težine.

Patil (2017) navodi da se na bazi korena cikoriije mogu razvijati novi prehrambeni proizvodi kao što su: sok od cikoriije, brašno korena cikoriije, fermentisani kiselikoren cikoriije u obliku turšije, ili pak brašno za mafine kao zamena za šećer i masti.

Takođe, istražena je primena ekstrakta korena cikoriije (1, 2 i 3%) kao dodatak za jogurt zbog svog pozitivnog uticaja na zdravlje, kao i sposobnost inulina da formira kremaste emulzije sa vodenim rastvorima (Jeong i sar., 2017). Ekstrakt korena sušene cikoriije (2-6%) implementiran je u formulaciju jogurta i sladoleda, u cilju zamene mlečnih sastojaka sa drugim alternativnim sirovinama kao što su inulin i mlečna mast i smanjenja troškova proizvodnje. Povećanjem količine ekstrakta korena cikoriije u formulaciji jogurt-sladoleda poboljšana su teksturna i aromatična svojstva i ukupna ocena prihvatljivosti, dok je stopa topljenja ovog proizvoda smanjena (Kumar i sar., 2018a).

2.10. Pirinač - potencijal upotrebe kao bezglutenskog brašna za ekstrudiranje flips proizvoda

Uzgajani pirinač (*Oryza sativa* L.) pripada porodici trava (gen *Oryza*) i više od pet vekova prisutan je u ljudskoj ishrani (slika 7). Uslovi gajenja, zemljište, kao i vrsta pirinča ispoljavaju najveći uticaj na hemijski sastav ove biljne kulture. Pirinač je izuzetno bogat skrobom, dok su lipidi i ulja najčešće koncentrisani u pirinčanim mekinjama gde mogu dostići količinu do 20% računato na suhu materiju. Sadržaj proteina varira među vrstama pirinča i kreće se od oko 6% za mleveni pirinač do 15% za divlji pirinač (Zhou i sar., 2002). Sa druge strane, pirinač privlači veliku pažnju zbog svog mineralnog sastava (Fe, Zn, Mn, Cu), antioksidativnih svojstava, uticaja na glikemijski indeks, i značajnog zdravstvenog potencijala. Danas se pirinač koristi u ljudskoj ishrani kao osnovna hrana, odličan izvor skroba i pirinčanih mekinja za proizvodnju ulja (Chaudhari i sar., 2018). Zahvaljujući svojoj beloj boji, neutralnom blagom ukusu, dobrim procesnim karakteristikama, hipoalergijskim osobinama i lakoj svarljivosti (Ding i sar., 2005), pirinač se smatra vrlo poželjnom sirovinom za proizvodnju testenine, žitarica za doručak, flips proizvoda, modifikovanog skroba itd. (Dalbhagat i sar., 2019).



Slika 7. Pirinač (*Oryza sativa* L.)

(<https://stories.zeiss.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/rice-plants.jpg>)

Sa drugog aspekta, ove karakteristike čine pirinač idealnom bazom za proizvodnju ekstrudiranih proizvoda. Do sada su se mnoge studije bavile izučavanjem uticaja dodatka mahunarki (kao što su sočivo ili soja), ostataka nakon obrade voća (npr. kora narandže ili pulpa jabuke), emulgatora (glicerolmonostearata ili komercijalnih emulzifikatora) i zgušnjivača na nutritivne, senzorske, reološke ili funkcionalne osobine ekstrudiranih pirinčanih proizvoda (Dalbhagat i sar., 2019; Norajit i sar., 2011).

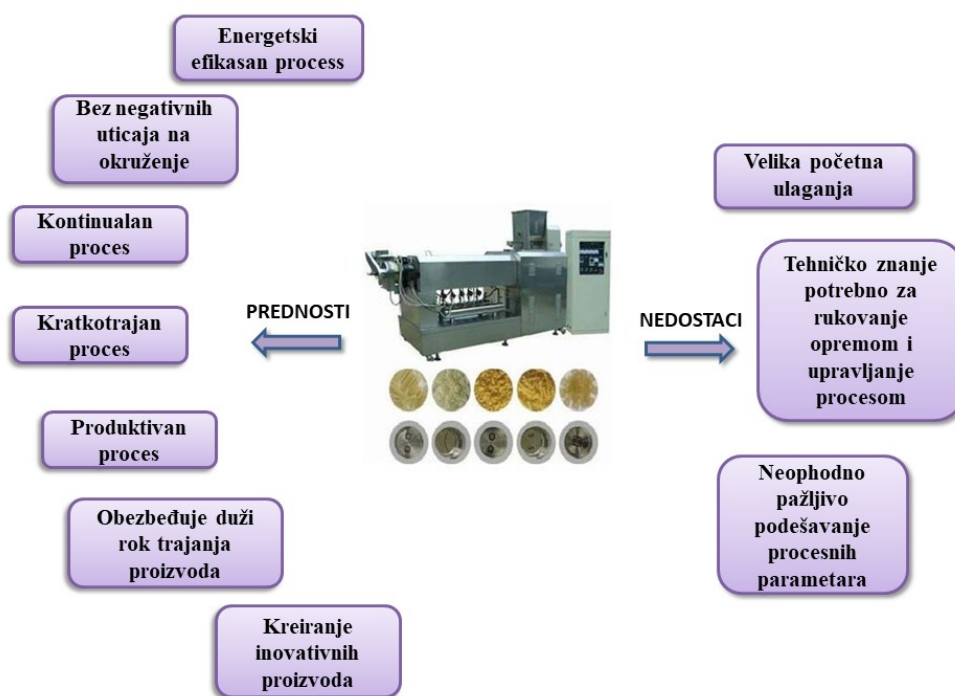
Poseban značaj u oblasti ishrane danas pridaje se razvoju prehrambenih proizvoda koji su namenjeni osobama koje boluju od celijakije, ljudima koji se pridržavaju vegetarijanske ishrane, ili pak ljudima koji iz drugih razloga praktikuju ishranu na bazi bezglutenskih sirovina kakve su pirinač, heljda, amarantus, kinoa i drugi. Pored bezglutenskog sastava, pirinač je izuzetno značajna sirovina u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda jer ima visok sadržaj skroba, poželjnog za ostvarivanje dobre ekspanzije proizvoda. Međutim, u cilju unapređenja nutritivnog sastava pirinčanih ekstrudata, oni se vrlo često obogaćuju sirovinama sa visokim sadržajem proteina ili prehrambenih vlakana (Arribas i sar., 2019).

Kombinacija pirinča kao glavne sirovine, različitih dodataka i ekstrudiranja kao procesa obrade može iznedriti inovativne prehrambene proizvode. Međutim, kako process ekstrudiranja može ispoljiti značajan efekat na fizičke, hemijske i senzorske karakteristike, potrebno je pažljivo odabrati procesne parametre kao i recepturu kako bi se razvili visokokvalitetni ekstrudirani proizvodi na bazi pirinča sa željenim osobinama (Dalbhagat i sar., 2019). Prema nekim istraživanjima, vlaga smeše ima najveći uticaj na finalne karakteristike pirinčanih ekstrudata, dok brzina obrtanja pužnice nije pokazala značajane promene (Ding i sar., 2005). Sa druge strane, ekstruziono kuvanje pirinčanog brašna donosi niz povoljnih promena. U prvom redu ističe se promena nutritivnog sastava brašna, koja uključuje povećanje sadržaja rastvorljivih vlakana i smanjenje tendencije oksidacije lipida. Intenzitet ekstrudiranja može uticati na povećanje sadržaja rezistentnog skroba, dovesti do želatinizacije i razgradnje pirinčanog skroba, i uticati na formiranje veza između skrobnih i drugih komponenata, kao što je lipidno-amilozni kompleks koji može

uzicati na *in vitro* digestiju pirinčanog skrobnog brašna (Martínez i sar., 2014a). Pored toga što pirinač poseduje brojne poželjne karakteristike za razvoj novih proizvoda, proces ekstrudiranja može uticati na poboljšanje tehnoloških i funkcionalnih osobina pirinčanog brašna. Tu se ubrajaju promene skrobnih granula koje se oslikavaju kroz promene strukture i toplotnih osobina, sposobnost apsorpcije vode i rastvaranja u vodi, sposobnost upijanja masti i viskozitet, koje mogu usloviti sorta, procesni uslovi obrade ili uslovi naknadne obrade. Neka funkcionalna svojstva kao što su sposobnost apsorpcije vode i rastvaranja u vodi uglavnom ne variraju unutar sorti pirinča, te se zakonitosti ovih funkcionalnih osobina mogu smatrati uniformin i kao takve mogu biti od značaja za aplikaciju pirinča u novim prehrambenim proizvodima (Kadan i sar., 2003).

2.11. Ekstrudiranje

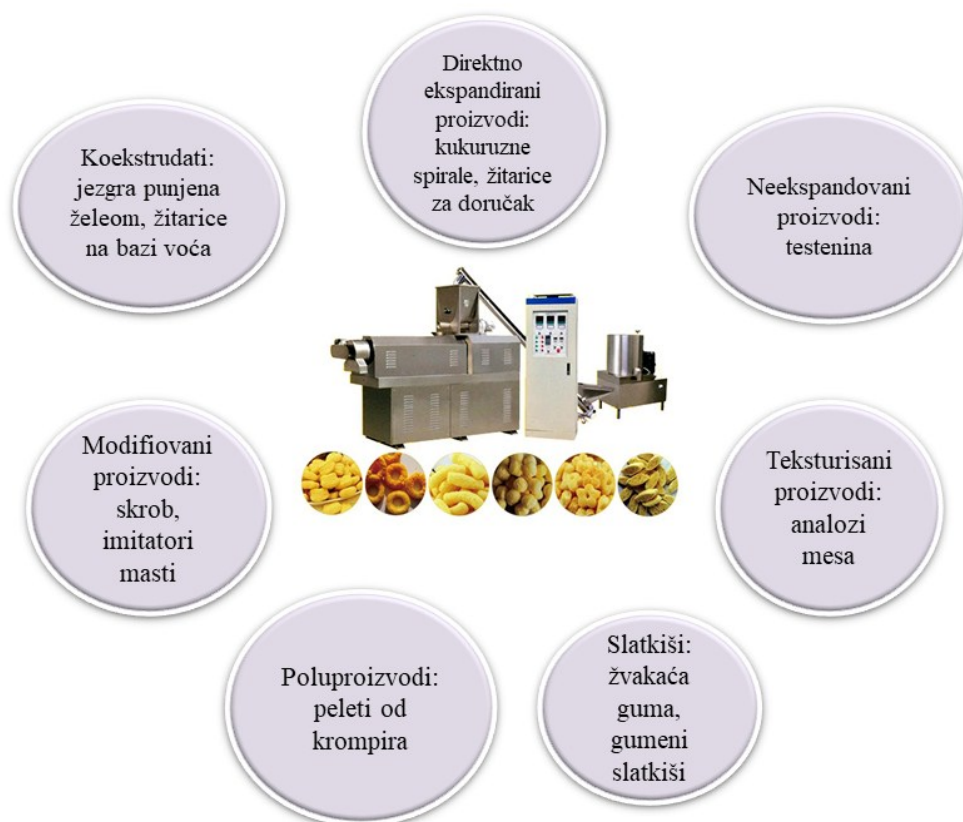
Ekstrudiranje u prehrambenom sektoru ima dugu istoriju koja datira od druge polovine 19. veka kada je ekstruziono kuvanje bilo primenjeno u proizvodnji kobasica. Početkom 20. veka ekstrudiranje doživljava ekspanziju u prehrambenom sektoru, pogotovo u proizvodnji testenine i žitarica za doručak. Dalje se ekstrudiranje primenjuje u mnogim granama prehrambene industrije: konditorskoj, pekarskoj, mesnoj, u proizvodnji instant pića itd. (Egal i Oldewage-Theron, 2020). Prednosti i nedostaci procesa ekstrudiranja prikazani su na slici 8.



Slika 8. Prednosti i nedostaci tehnologije ekstrudiranja u prehrambenoj industriji (Egal i Oldewage-Theron, 2020).

Ekstrudiranje može biti primenjeno u rešavanju problema bezbednosti hrane ili smanjenju neuhranjenosti kroz oplemenjivanje proizvoda, dodatak mikronutrijenata, raznovrsnost proizvoda i razvoj novih. Danas se ekstrudiranje primenjuje za proizvodnju testenine, teksturisanih biljnih protina, “*ready to eat*” grickalice kao što su flips proizvodi od žitarica, hrana za bebe, žitarica za doručak, prehrambenih vlakana, u modifikaciji skroba na bazi žitarica, i tradicionalnih proizvoda (Shelar i Gaikwad, 2019).

Ekstrudirani proizvodi za ljudsku upotrebu su kategorisani u 7 grupa (slika 9) (Shelar i Gaikwad, 2019)

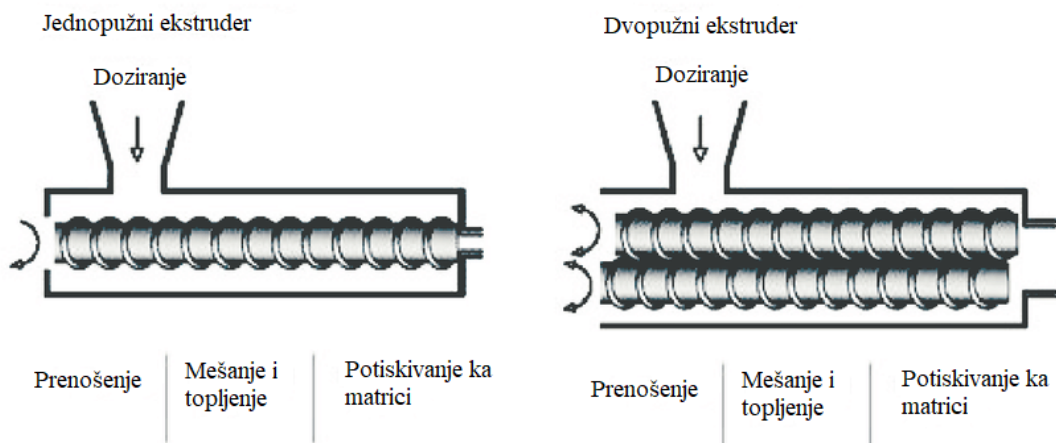


Slika 9. Tipovi ekstrudiranih proizvoda

2.11.1. Ekstrudiranje u funkciji formiranja inovativnih flips proizvoda

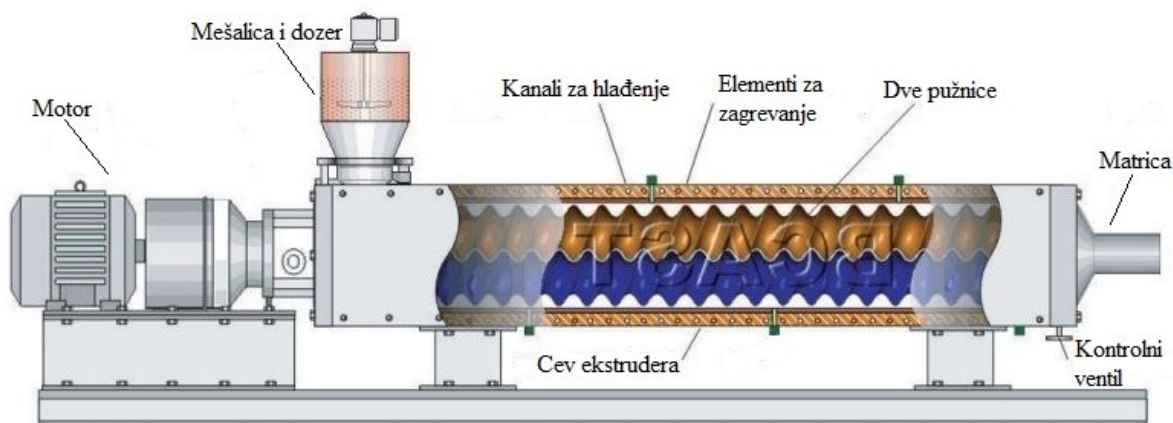
Industrija ekstrudiranih proizvoda je jedna od najbrže rastućih grana u prehrambenom sektoru. Danas se ekstrudirani proizvodi konzumiraju širom sveta, i zahvaljujući svom obogaćenom nutritivnom sastavu mogu pružiti značajan doprinos ljudskoj ishrani. Ekstrudiranje je ustaljen proces proizvodnje flips proizvoda na bazi žitarica (cerealija) ili biljnih proteina i značajno se razvija u poslednjih 30 godina, u pogledu kreiranja inovativnih flips proizvoda sa dodatnom vrednošću (Ajita, 2018).

Ekstrudirani prehrambeni proizvodi se mogu definisati kao temperaturno formirani ili kuvani proizvodi, nastali pod dejstvom sila smicanja, pritiskanja i oblikovanja, uz pomoć jednog ili dva puža (slika 10) i matrice (Ajita, 2018). Stoga se ekstruder može definisati kao bioreaktor koji procesira sirovinu pod visokom temperaturom, za kratko vreme prevodeći polaznu sirovinu ili sastojke u gotove proizvode. Ovaj kontinuirani proces daje sterilne proizvode. S obzirom na to da dovodi do želatinizacije skroba novoformirani proizvodi su veoma svarljivi (Agarwal i Chauhan, 2019).



Slika 10. Šematski prikaz poređenja jedno- i dvopusnog ekstrudera (Aleksovski i sar., 2016).

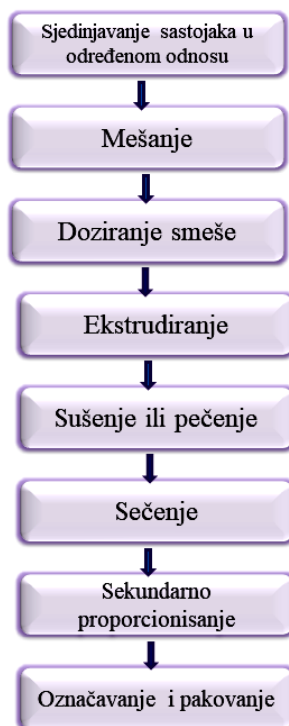
Tokom ekstruzije toplotna energija i energija smicanja utiču na sirovine i izazivaju strukturne, hemijske i nutritivne transformacije, kao što su želatinizacija skroba i degradacija, denaturacija proteina, oksidacija lipida, degradacija vitamina, antinutrijenata i fitokemikalija, formiranje ukusa, povećanje bioraspoloživosti minerala i rastvorljivosti dijetetskih vlakana (Alam i sar., 2016a). Uređaja za ekstruziono kuvanje dat je na slici 11 (Tang i sar., 2003).



Slika 11. Dvopusni ekstruder

(https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcQkZzF0QxDto5p_RiZzM0O4Nsa713pAK1760s1iPogw6YocyZn7&usqp=CAU; 8.april 2020.)

Proces proizvodnje flips proizvoda uključuje korake prikazane na slici 12.



Slika 12. Koraci u proizvodnji ekstrudiranih flips proizvoda (Shelar i Gaikwad, 2019)

Proces ekstrudiranja počinje mlevenjem sastojaka do željene veličine čestica. U pre-kondicioneru sirovi materijal se meša sa drugim sastojcima. Na početku ekstrudiranja dodaje se para i smeša iz prekondicionera i ekstrudira se u cevi ekstrudera. Velike rotirajuće pužnice koje guraju materijal ka izlazu postavljene su u cevi ekstrudera koja se završava matricom i. Vreme koje materijal provede u unutrašnjosti ekstrudera definiše se kao vreme zadržavanja/boravka. Tekstura ekstrudiranih proizvoda menja se usled uticaja temperature i vlage, zajedno sa delujućom silom. Na izlazu iz ekstrudera nalazi se nož specifične dužine koji se ujednačenom brzinom okreće oko otvora matrice. Nakon hlađenja i sušenja proizvod postaje krut. Usled stvaranja pritiska (10-20 bara) u ekstruderu sam proizvod stvara sopstvenu toplotu i trenje tokom procesa ekstruzionog kuvanja. U toku ovog procesa može doći do želatinizacije skroba ili denaturacije proteina. Kako bi se dobio proizvod željenih karakteristika i konzistencije potrebno je pažljivo kontrolisati vlagu, sastav smeše za ekstrudiranje, brzinu sečiva, brzinu rotacije i dužinu pužnice, temperaturu u cevi ekstrudera i oblik matrice. Prerada hrane ekstrudiranjem najčešće zahteva kontrolisano podizanje nivoa vlage sa niskog do srednjeg, koji ne prelazi 40%. Oni procesi u kojima se primenjuje veliki sadržaj vlage spadaju u vlažno ekstrudiranje koje je posebno razvijeno nakon pojave dvopužnih ekstrudera (Shelar i Gaikwad, 2019).

Hladna i topla ekstruzija su dva tipa procesa u tehnologiji ekstrudiranja. Topla ekstruzija primenjuje vruće istiskivanje proizvoda na temperaturi iznad 70 °C i primenjuje se za dobijanje proizvoda od soje, hrskave grickalice, i konditore na bazi šećera. Grejanje koje nastaje usled trenja jedan je od načina koji se primenjuje za brzo povećanje temperature u ovom procesu. Topla ekstruzija je takođe poznata i kao ekstruziono kuvanje. Kod hladne ekstruzije, mešanje i oblikovanje hrane odvija se bez primene kuvanja, i to uglavnom za proizvodnju testenine ili testa za biskvite pri niskim pritiscima. Dakle, ovaj proces ne primenjuje dodatnu toplotnu energiju osim one koja se sama formira u toku procesa proizvodnje (Mishra i sar., 2012).

2.11.2. Uticaj ekstrudiranja na prirodne komponente

Dve grupe parametara utiču na nutritivni profil proizvoda tokom ekstrudiranja: primarni i sekundarni. U primarne faktore spadaju: model ekstrudera, sastav smeše (uključujući i sadržaj vlage), veličina čestica u smeši, brzina doziranja, temperaturni profil u cevi ekstrudera, konfiguracija pužnice, brzina obrtanja pužnice i oblik matrice. Sekundarni parametri uključuju pritisak i specifičnu toplotu (Verma i sar., 2018).

Tokom procesa ekstrudiranja dešavaju se značajne promene koje uključuju:

1. Inaktivaciju sirovih enzima;
2. Destrukciju prirodno prisutnih toksina;
3. Smanjenje količine mikroorganizama u finalnom proizvodu;
4. Povećanje biodostupnosti gvožđa;
5. Gubitak esencijalnih amino kiselina poput lizina;
6. Prevođenje kompleksnih skrobova u jednostavnije oblike;
7. Utiče na biodegradaciju (truljenje);
8. Utiče na povećanje glikemijskog indeksa;
9. Gubitak vitamin A (Shelar i Gaikwad, 2019; Ajita, 2018).

Promene prirodnih komponenata koje se dešavaju tokom ekstruzionog kuvanja date su u tabeli 8.

Tabela 8. Promene prirodnih komponenata tokom procesa ekstrudiranja

Prirodna komponenta	Promene tokom ekstrudiranja
Proteini	<ul style="list-style-type: none"> • Denaturacija proteina i potencijalno povećanje njihove svarljivosti; • Gubitak aktivnosti enzima i njihovih inhibitora tokom denaturacije; • Inaktivacija anti-nutritivnih faktora, koji oslabjuju digestiju, što do- vodi do povećanja svarljivosti proteina; • Podsticanje denaturacije dejstvom sila smicanja (Shelar i Gaikwad, 2019).
Šećeri	<ul style="list-style-type: none"> • Saharoza se prevodi do glukoze i fruktoze (saharoza, fruktoza i lak- toza su dobar izvor energije i ukusa u ekstrudiranim proizvodima); • Gubitak šećera kroz reakcije neenzimskog tamnjenja (Shelar i Gaik- wad, 2019).
Skrob	<ul style="list-style-type: none"> • Pucanje glikozidnih veza u molekulu skroba usled izlaganja visokoj temperaturi, mehaničkoj sili smicanja i pritisku i prevođenje skroba u glukozu; • Sastavni delovi skroba, amiloza i amilopektin, odgovorni su za viskozitetne i želatinozne osobine ekstrudiranih proizvoda (Shelar i Gaikwad, 2019; Ajita, 2018).
Prehrambena vlakna	<ul style="list-style-type: none"> • Sadržaj vlakana rastvorljivih u vodi povećava se tokom ekstrudiranja jer se smanjuje sub-atomska težina hemiceluloze i pektina; • Dvopužni ekstruder doprinosi povećanju sadržaja prehrambenih vla- kana (Shelar i Gaikwad, 2019; Ajita, 2018).

Tabela 8. Nastavak

Prirodna komponenta	Promene tokom ekstrudiranja
Inulin	<ul style="list-style-type: none"> • Moguća razgradnja fruktana koji su imali ulogu funkcionalnog sastojka u ekstrudiranim proizvodima; • Delimična degradacija inulina na manje molekulske frakcije, bez uticaja na povećanje Maillard-ove reakcije u ekstrudatima obogaćenim vlaknima (Peressini i sar., 2015). • Na sadržaj inulina u ekstrudiranim proizvodima najveći negativan uticaj imaju povišena temperatura (iznad 140 °C), kao i kisela sredina (pH=3), dok veća brzina obrtanja pužnice uglavnom doprinosi boljem očuvanju inulina (Duar i sar., 2015).
Seskviterpenski i laktoni	<ul style="list-style-type: none"> • Nakon tretmana na 160-170 °C u trajanju od 60-90 min laktoni iz korena cikorije nisu detektovani, verovatno zbog potpune degradacije na visokim temperaturama (Leclercq, 1992).
Lipidi	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrudiranje je potpomognuto prisustvom lipida, te se stoga oni dodaju bilo kao sastojci ili eksterno (prisustvo lipida smanjuje obrtni moment i doprinosu manjoj ekspanziji proizvoda); • Povišena temperatura ekstrudiranja ili mehaničko cepanja zidova ćelija dovode do oslobađanja lipida (Shelar i Gaikwad, 2019; Ajita, 2018).
Vitamini	<ul style="list-style-type: none"> • Promena strukture i sastava vitamina. Stepem razgradnje vitamina zavisi kako od uslova ekstrudiranja tako i od uslova skladištenja (vlaga, temperatura, svetlost, kiseonik, vreme i pH); • Liposolubilni vitamin kao što su D i K su prilično stabilni, dok je β-karoten najpodložniji termalnoj degradaciji (Ajita, 2018); • Vitamin A i drugi srodni karotenoidi nisu stabilni u prisustvu kiseonika i toplote, pa su delimično podložni razgradnji tokom ekstrudiranja (Verma i sar., 2018); • Vitamin E i slični tokoferoli imaju smanjen sadržaj u ekstrudiranim uzorcima na povišenim temperaturama tokom skladištenja; • Riboflavin i niacin pokazuju veću stabilnost od tiamina i pirodoksina, dok zadržavanje određenog vitamina u proizvodu zavisi od sastava smeše koja se ekstrudira; • Vitamin C je podložan razgradnji pod dejstvom toplote i oksidacije, te se primenjuje površinska aplikacija askorbinske kiseline nakon ekstrudiranja kako bi se izbegli gubici (Verma i sar., 2018).
Minerali	<ul style="list-style-type: none"> • Mineralni sastav uglavnom ostaje nepromenjen; • Biodostupnost minerala može biti smanjena usled vezivanja sa makromolekulima (Verma i sar., 2018).
Fenolne komponente	<ul style="list-style-type: none"> • Fenolne komponente ostaju očuvane ili se neznajno smanji njihov sadržaj; • Više fenolnih komponenti biva zadržano tokom ekstrudiranja na višim temperaturama i sa većim sadržajem vlage u polaznoj smeši (Ajita, 2018).

2.11.3. Uloga ekstrudiranja i dvopužnih ekstrudera u dizajniranju inovativnih flips proizvoda

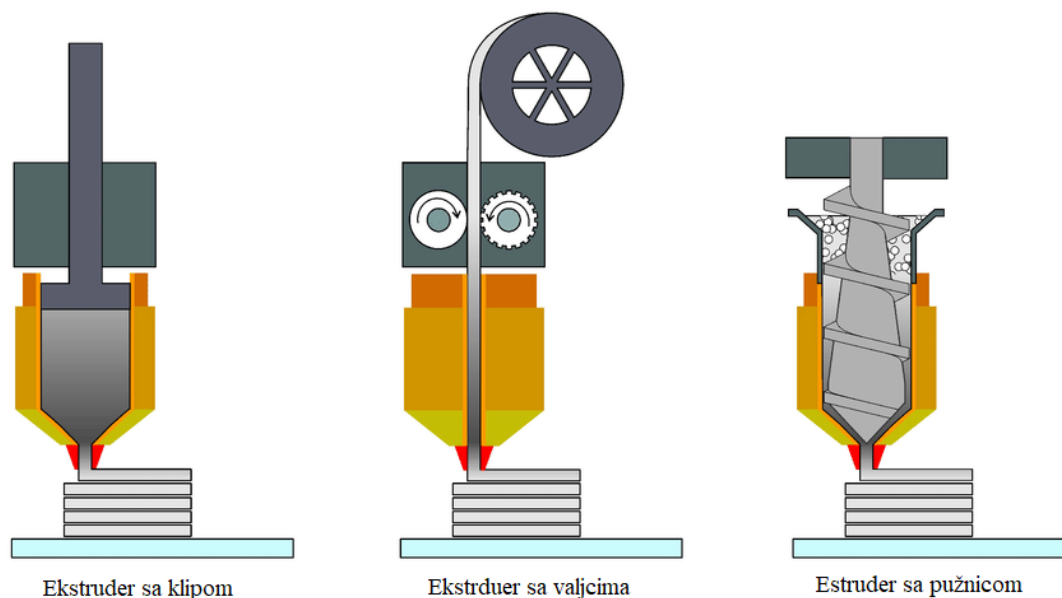
Potreba za novim, zdravijim prehrambenim proizvodima otkriva novo tržište za integralna zrna, pseudožitarice i mahunarke, zahvaljujući visokom sadržaju prehrambenih vlakana, mikronutrijenata, bezglutenskih proteina i fitohemikalija koje ove sirovine čine vrednim pažnje. Međutim, nativna brašna su deficitarna u pogledu funkcionalnih komponenata i zahtevaju dodatok drugih sirovina kako bi nadomestile nedostatak pomenutih jedinjenja (Martínez i sar., 2015). U tom smislu ekstrudiranje predstavlja značajnu procesnu operaciju za dobijanje flips proizvoda sa nizom prednosti među koje se ubrajaju stabilnost proizvoda, definisanje željene teksture i duži rok skladištenja. Sa druge strane, ekstrudiranje se smatra procesom sa potencijalom objedinjavanja različitih sirovina u nove prehrambene proizvode, ali i razvoja novih proizvoda sa funkcionalnim osobinama (Patil i Kaur, 2018).

Ekstrudirana brašna modifikovanih osobina pružaju širok spektar primene u prehrambenoj industriji, bilo kao zgušnjivači, hidrokoloide ili zamenjivači glutena u pekarskim proizvodima, sredstva za želiranje, funkcionalni sastojci ili zamenjivači masti (Mason, 2009; Patil i Kaur, 2018). Neke studije istakle su potencijal primene ekstrudiranja u proizvodnji funkcionalnog flipsa, žitarica za doručak, aditiva za hleb itd. (Martínez i sar., 2014b; Román i sar., 2015). S obzirom na to da uobičajeni ekstrudirani proizvodi imaju veliki sadržaj skroba i masti, sa druge strane siromašni su u pogledu bioaktivnih komponenata. Stoga se nameće potreba da ekstrudati budu obogaćeni različitim komponentama kao što su proteini, prehrambena vlakna, minerali, polifenoli i slično, čime bi se oplemenio nutritivni sastav i potencijalno postigla funkcionalnost proizvoda. Primer je upotreba celih zrna žitarica i pseudožitarica kao mogućih sirovina za oplemenjivanje flips proizvoda (Patil i Kaur, 2018).

Ekstrudiranje mahunarki (leblebije, graška, pasulja, sočiva), kao izuzetnih izvora prehrambenih vlakana i složenih ugljenih hidrata, je jedan od primera razvoja niskokaloričnih ekstrudata sa dodatom vrednošću i niskim glikemijskim indeksom koji je posledica želatinizacije i fragmentacije skroba tokom ekstrudiranja (Cabrera-Chávez i sar., 2012), i sa potencijalom inhibicije enzima α -glukozidaze za ublažavanje dijabetesa tipa II (Berrios i sar., 2010). Pored toga, amarantus, kinoa, kania, dehidrirano voće i povrće, takođe su razmatrani u kontekstu razvoja funkcionalnih proizvoda posredstvom ekstrudiranja, prihvatljivih od strane potrošača (Ramos Diaz i sar., 2017; Patil i Kaur, 2018).

Može se zaključiti da je ekstrudiranje tehnologija sa velikim potencijalom za proizvodnju inovativne funkcionalne hrane, u poređenju sa tradicionalnim ekstrudatima. Ekstrudiranjem se mogu dobiti različiti tipovi novih proizvoda: bezglutenski, sa povećanim sadržajem vlakana ili fenola, obogaćenih mineralima, sa niskim sadržajem masti i niskim glikemijskim indeksom. Stoga, ekstrudiranje može pronaći značajno mesto u industriji ekstrudiranih proizvoda i pekarstvu kao bi se razvili novi proizvodi prilagođeni potrebama kupaca (Patil i Kaur, 2018).

Ekstruderi se mogu klasifikovati u klipne, ekstrudere sa valjcima, ili ekstrudere sa pužnicom, zavisno od načina prenošenja mehanizma (slika 13). Za obradu hrane najpogodniji su ekstruderi sa pužnicom, koji mogu biti jedno-, dvo- ili višepužne konfiguracije. Jednpužni ekstruderi su pogodni za niskobudžetno ekstrudiranje manje kompleksnih sastojaka, dok se kompleksniji dvopužni ekstruder primenjuje za obradu različitih složenih matriksa (Offiah i sar., 2018; Riaz, 2019). Dvopužni ekstruderi se primenjuju često za ekstrudiranje visoko navlaženih smeša, proizvode koji sadrže veće količine prehrambenih vlakana ili masti, kao i za sofisticiranije proizvode (Choton i sar., 2020).



Slika 13. Tipovi ekstrudera (Riaz, 2019)

(<https://www.researchgate.net/publication/325266287/figure/fig2/AS:718151939522574@1548232173976/Different-types-and-approaches-for-extrusion-based-additive-manufacturing.png>; 8.april 2020.)

Profil pužnice predstavlja krucijalan segment za količinu formirane sile smicanja i mehaničke energije koja je usmerena na materijal za ekstrudiranje. Jedan od načina na koji se unos mehaničke energije može promeniti jeste modifikovanje geometrije zavrtnja ili profila zavrtnja. U ekstruderima sa dva puža, profil pužnice se sastoji od pojedinačnih elemenata koji se mogu preurediti, odnosno premestiti, a takođe imaju širok izbor dizajna (Kowalski i sar., 2021).

Dvopužni ekstruderi uključuju mnoge varijante uređaja sa različitim procesnim mogućnostima, mehaničkim karakteristikama i sposobnostima. Ovi ekstrudati mogu se kategorizovati prema poziciji pužnica u odnosu jedne na drugu i prema smeru obrtanja pužnica. Kod dvopužnih ekstrudera pužnice se okreću ili u suprotnom smeru (kontrarotacija) ili u istom smeru (korotacija) (Riaz, 2019).

Prednosti dvopužnog ekstrudera uključuju: mogućnost oblikovanja viskoznih, uljnih, lepljivih ili veoma vlažnih materijala, ili drugih materijala koji bi klizili u jednopužnom ekstruderu (moguće je dodati do 25% masti u dvopužni ekstruder), pozitivan uticaj pumpanja i smanjeno pulsiranje na matrici, manje habanje u sitnijim delovima uređaja nego kod jednopužnog ekstrudera, mogućnost obrade materijala različite veličine česica (od fino usitnjenog praha do zrna), za razliku od jednopužnog ekstrudera koji je ograničen samo na specifičan opseg veličine čestica, lakše čišćenje i održavanje, jednostavan razvoj procesa sa obima pilot postrojenja do proizvodnje industrijskih razmera (Riaz, 2019).

Tokom poslednjih nekoliko decenija, dvopužni ekstruder primenjivan je u razvoju različitih inovativnih flaps proizvoda. U tom smislu, ekstruderi sa dvopužnom konstrukcijom korišćeni su za kreiranje ekstrudata sa funkcionalnim i bioaktivnim karakteristikama, poput onih obogaćenih proteinima (Day i Swanson, 2013), vlaknima (Morales i sar., 2015) ili polifenolnim jedinjenjima (Guven i sar., 2018). Pored toga, tradicija primene dvopužnih ekstrudera u proizvodnji ekstrudata u čijoj osnovi je pirinčano brašno ima istoriju dugu oko 30 godina (Grenus i sar., 1993) (Ashwar i sar., 2021).

2.11.4. Ekstrudiranje inovativnih biljnih sirovih materijala

U zavisnosti od vrste polazne sirovine i željenih karakteristika finalnog proizvoda, ekstruderi mogu obrađivati materijal primenom male sile smicanja, kao što je slučaj kod testenine i mesa, srednje sile smicanja koja se upotrebljava u proizvodnji mesnih analoga, ili velike sile smicanja potrebne za dobijanje ekspandiranih proizvoda, teksturisanih biljnih proteina ili “*ready to eat*” žitarica za doručak. Ekstrudiranje omogućava brzu i efikasnu transformaciju različitih sirovih materijala u raznolike ukusne prehrambene proizvode, gde samo jednostavna promena formulacije dovodi do nastanka novih proizvoda primenom istih uslova proizvodnje na istoj opremi (Riaz, 2006). Mnoge grupe sirovina, kao što su mahunarke i semena bogata uljima, korenje i krtole biljaka, voće i povrće, nalaze svoje mesto polaznih sirovina u procesu ekstrudiranja (Offiah i sar., 2018).

Jedna od ključnih prednosti ekstrudiranja uključuje sposobnost dostizanja širokog obima proizvodnje, iz relativno jeftinih polaznih sirovina, tokom minimalnog vremena procesuiranja (Akhtar i sar., 2015). Sa druge strane, ogromne količine nus-proizvoda zaostaju nakon obrade hrane, i ekstrudiranje igra značajnu ulogu u ponovnoj integraciji ovih ostataka u inovativne prehrambene proizvode, kao i u razvoju proizvoda sa dodatkom vrednošću. Do sada su najčešći sastojci smeše za ekstrudiranje uključivali brašna i granule skrobnih sirovina kao što su kukuruz, pirinač, pšenica, krompir, ali i zob, ječam, raž, heljda i druge (Guy, 1993). Ostale sirovine koje se dodaju iz različitih razloga (poboljšana nutritivna vrednost, funkcionalnost) mogu usporiti proces proizvodnje i rezultirati izmenjenom strukturom krajnjeg proizvoda (Offiah i sar., 2018).

Među uobičajenim sirovinama koje se ekstrudiraju, sve veću pažnju privlače koreni različitih biljaka sa nutritivnim i funkcionalnim potencijalom (Offiah i sar., 2018). U većini razvijenih zemalja Afrike, Latinske Amerike i Azije, koreni i rizomi su glavni i jeftini izvori ugljenih hidrata (Ugwu, 2009). Stoga, oni imaju odličan potencijal za razvoj novih ekstrudiranih proizvoda, pogotovo zahvaljujući visokom sadržaju skroba. Nakon žitarica, oni predstavljaju sledeće najvažnije globalne izvore ugljenih hidrata. Među takvim sirovinama izdvajaju se krompir (*Solanum* spp.) i koreni tropskih biljaka: manioka (*Manihot esculenta* Crantz), jama (*Dioscorea* spp.), slatkog krompira batata (*Ipomoea batatas* L.) i kokojama (*Colocasia* spp. i *Xanthosoma sagittifolium*) (Chandrasekara i Kumar, 2016). Krompir i manioka se izdvajaju kao najčešće ekstrudirane sirovine među navedenima, i to u obliku brašna, skroba ili pahuljica (Ilo i sar., 2000). Ekstrudirane granule se proizvode od različitog biljnog korenja iseckanog na kockice, temperiranog kako bi se zgusnuli ćelijski zidovi, skuvanog i osušenog pod tačno definisanim uslovima (Riaz, 2006). Razlike u sirovim materijalima i procesnim faktorima mogu izmeniti profil granula. Testo od krompirovog brašna je tvrđe i lepljivije od onog dobijenog od granula (Guy, 2012). Brašno krompira je jedan od glavnih sastojaka direktno ekspandiranih proizvoda i fabrički proizvedenih čipseva, sa sadržajem amiloze od 20-25% i ulogom dodatka u ekstrudate kako bi im se unapredila ekspanzija i funkcionalne osobine (Riaz, 2006; Guy, 2012). Sa druge strane, skrob iz tapioke sadrži oko 17% amiloze i najčešće se koristi u proizvodnji ekstrudata treće generacije (Riaz, 2006; Offiah i sar., 2018).

Ekstrudiranje brašna dobijenog iz korenja i rizoma biljaka omogućava proizvodnju različitih ekstrudata i preželatiniziranog brašna koje se dalje može koristiti u različite svrhe, pružajući na taj način uvid u ekonomsku korist ovih biljaka (Offiah i sar., 2018). Prirodni skrob iz ovih biljaka modifikuje se tokom ekstrudiranja, što dovodi do unapređenja funkcionalnosti. Zahvaljujući poboljšanim viskozanim osobinama, formiranju gelova veće jačine, i potisnutoj ten-

denciji retrogradacije, modifikovani skrobovi poseduju širok spektar primene u poređenju sa nativnim oblikom (Santana i Meireles, 2014). Istraživanja ekstrudiranja korena manioke su pokazala da temperatura u cevi ekstrudera utiče na boju, specifičnu zapreminu, ekspanzioni index, indeks apsorpcije vode, incijalni viskozitet skroba, dok vlaga smeše utiče na specifičnu zapreminu, boju, finalnu viskoznost i retrogradaciju skroba (Leonel i sar., 2009). Manja razgradnja skroba postiže se na srednjim temperaturama, pri visokom sadržaju vlage i maloj brzini obrtanja pužnice. Temperatura cevi ekstrudera najviše utiče na reološke osobine proticanja, boju i ekspanziju (Offiah i sar., 2018).

Sa druge strane neke naučne studije beleže upotrebu različitih biljnih korena i rizoma u cilju njihove primene kao funkcionalnih sastojaka, a ne isključivo kao izvora skroba što je slučaj sa pomenutim sirovinama. Tako su Reddy i sar. (2014) primenjivali brašna korenja krompira, jama, batata, tara i šećerne repe u svrhu kreiranja ekstrudata sa poboljšanom nutritivnom vrednošću, tj. kalorijskom vrednošću većom od 400 Kcal i sadržajem proteina većim od 10%. Na taj način su pokazali da upotreba brašna ovog korenja može unaprediti izgled i nutritivnu vrednost ekstrudiranih proizvoda. Štaviše, Giri i sar. (2019) istakli su primenu batata, ne samo kao izvora skroba, već i kao sirovine bogatog nutritivnog i funkcionalnog sastava za proizvodnju najrazličitijih prehrambenih proizvoda (bilo kao brašno, za biskvite, nudle i drugo). Ova sirovina nalazi svoju primenu u razvoju novih prehrambenih proizvoda namenjenih pacijentima obolelih od dijabetesa zbog svog niskog glikemijskog indeksa, kao i za razvoj namirnica bez glutena. Radovanovic i sar. (2015) primenjivali su koren čičoke u ekstrudatima na bazi heljde, sa ciljem da se postigne poboljšanje nutritivnog sastava dobijenih proizvoda, ali i smanjenje glikemijskog odgovora kod ispitanika tokom sprovedene kliničke studije. Dodatak korena čičoke doprineo je povećanju ukupnih prehrambenih vlakana i inulina, dok je smanjen sadržaj ugljenih hidrata, masti i proteina. Takođe, dodatak korena čičoke pokazao se kao nutrijent koji ima sposobnost smanjenja glikemijskog odgovora, uz napomenu da su svi ekstrudati (sa 30, 60 ili 80% korena čičoke) pokazali poželjne senzorske osobine.

Sve gorenavedene naučne studije ukazuju na potencijal alternativnih izvora skroba, kakvi su korenje i rizomi raznih biljaka, za proizvodnju inovativne ekstrudirane hrane. Pored toga, ovi izvori mogu predstavljati nosioce nutritivnih i bioaktivnih komponenata koje dodatno obogaćuju kvalitet flips proizvoda. Prema dosadašnjim saznanjima, primećuje se nedostatak naučnih publikacija koje izučavaju ekstrudiranje brašna korena cikoriје, bilo kao aditiva ili osnovne sirovine za proizvodnju flips proizvoda, te ova doktorska disertacija može da popularizuje valorizaciju ove sirovine.

2.11.5. Primena komponenata korena cikoriје u ekstrudiranim proizvodima

Cikoriја se koristi u ljudskoj ishrani, kao što je već pomenuto u Uvodu ove disertacije (pododeljak 2.1). Trenutne i potencijalne primene korena cikoriје u prehrambenim proizvodima). Međutim, veliko naučno interesovanje posvećeno je implementaciji inulina, vodeće funkcionalne komponente korena cikoriје, u ekstrudirane proizvode. U tabeli 9 sumiran je prikaz studija koje su se bavile proizvodnjom ekstrudata sa dodatkom inulina.

Tabela 9. Ekstrudati sa dodatkom inulina

Proizvod	Uloga inulina	Literaturni podaci
Kukuruzni flips sa inulinom	Prehrambeno vlakno	Wójtowicz i sar., 2014. Han i sar., 2018.
Kukuruzni flips sa biljnim uljem i inulinom	Zamenjivač masti, funkcionalni sastojak	Capriles i sar., 2009.
Pirinčani flips sa dodatkom inulina	Prehrambeno vlakno	Tsokolar-Tsikopoulos i sar., 2015.
Pšenični ekstrudati obogaćeni vlaknima	Funkcionalni sastojak	Brennan, 2012.

Wójtowicz i sar., (2014) su obogaćivali flips na bazi kukuruza vlaknima iz različitih izvora: pšeničnih mekinja, ovsenih mekinja, ječmenih mekinja i inulina iz cikorije, u količinama od 5, 10, 15 i 20%. Oni ističu značajnost prehrambenih vlakana u cilju obogaćivanja nutritivnog sastava namirnica, formiranja proizvoda sa smanjenim sadržajem masti, održavanja adekvatnog nivoa šećera u krvi i telesne težine. Rezultati merenja efikasnosti u proizvodnji flipsa sa dodatkom inulina ukazali su na značajno smanjenje efikasnosti kod flipsa sa 10% inulina, dok je dalje povećanje sadržaja inulina u formulaciji flips proizvoda doprinelo povećanju efikasnosti procesa. Dodatak inulina izazvao je najveće varijacije u vrednosti tvrdoće flipseva. Pri dodatku inulina od 5 do 15% tvrdoća ekstrudata bila je veća nego kod uzoraka kukuruznog flipsa bez aditiva (10,9-12,8 N), dok se pri dodatku od 20% inulina tvrdoća značajno smanjila (8,8 N). Povećanje indeksa ekspanzije flipsa primećeno je jedino pri dodatku od 20% inulina, što je povezano sa smanjenjem tvrdoće ovog uzorka.

Han i sar. (2018) su kukuruzne ekstrudate obogaćivali sa 5% vlakana: inulin, ksantan guma, guma akacije, polidekstroza, rezistentni skrob i rezistentna maltodekstroza. Iako je dodata ista količina navedenih sirovina, najviše vlakana detektovano je u uzorcima sa inulinom, ksantan gumom i gumom akacije. Dodatak vlakana uticao je na smanjenje indeksa ekspanzije, povećanje gustine i tvrdoće proizvoda. Inulin je prouzrokovao smanjenje radijalne ekspanzije (146%), blago smanjenje aksijalne ekspanzije (123%), povećanje nasipne gustine (71,5 g/l), smanjenje hrskavosti (87 broj pikova) i povećanje tvrdoće (640 g) u odnosu na kontrolni uzorak bez dodatih vlakana (161%, 127%, 57,5 g/l, 108 br. pikova, 520 g.).

Capriles i sar. (2009) su razvili novi nisko-masni kukuruzni ekstrudat sa dodatkom inulina i delimično hidrogenovanom biljnom masnoćom. Novoformirani ekstrudat sadržao je svega 0,1% masti i 7 puta veći sadržaj vlakana nego kontrola (15,4% prehrambenih vlakana od čega su 13,3% fruktani). Ekstrudati obogaćeni fruktanima imali su smanjen glikemijski indeks za 25% što vodi do zaključka da ovaj proizvod redukuje glikemijski odgovor. Ocena potrošača za novoformirani ekstrudat bila je pozitivna. S obzirom na to da postoje literaturni navodi da dnevni unos od 4-5 g inulina pokazuje prebiotsko dejstvo, i da se pospešuje apsorpcija kalcijuma pri unosu 8 g inulina dnevno, Capriles i sar. (2009) su odlučili da formiraju ekstrudate tako da sadrže 4 g inulina po porciji od 30 g. Novoformirani ekstrudat sa inulinom i 10% ulja kanole imao je smanjen sadržaj masti (za 30%) i redukciju kalorijske vrednosti (za 34%) u uzorcima sa dodatkom inulina. Takav ekstrudat može biti deklarisan kao “*light snack*”, “*fat-free*” i “*fibres source*” prema smernicama za označavanje hrane od strane CAC (*engl. Codex Alimentarius Commission*, Komisija Codex Alimentarius (1996)), s obzirom na to da napravljeni ekstrudat snižava ener-

getska vrednost za najmanje 25%, sadržaj masti je manji od 0,5% i sadržaj prehrambenih vlakana je veći od 6%.

Tsokolar-Tsikopoulos i sar. (2015) su ispitivali osobine ekstrudata na bazi pirinča obogaćenih inulinom, ekstrudiranih pod različitim uslovima. Inulin i pirinčano brašno su mešani u odnosima: 5:95, 10:90 i 15:85. Sadržaj vlage je variran i iznosio je 14, 17 i 20%. Ekstrudiranje je vršeno na dvopužnom ekstruderu sa podešenim temperaturama po zonama: 140, 160 i 180 °C, dok je brzina okretanja pužnica varirala od 150, 200 ili 250 o/min. I gustina i maksimalan stres (prouzrokovan silama deformacije) su porasli kada se povećao sadržaj vlage i koncentracija inulina u uzorcima, a smanjili su se kada je povećana temperatura ekstrudiranja i brzina obrtanja pužnice. Najveća ekspanzija ekstrudata postignuta je pri manjim vrednostima svih parametara ekstrudiranja, osim brzine pužnice. Sadržaj inulina i sadržaj vlage su u najvećoj meri uticali na poroznost ekstrudata. Najbolje karakteristike imao je proizvod sa 14-17% vlage i 5-10% inulina u formulaciji ekstrudata. Povećanjem koncentracije inulina, vlage i temperature ekstrudiranja, opadala je vrednost indeksa ekspanzije proizvoda. Najvećoj krhkosti proizvoda doprineli su: sadržaj inulina od 10 do 15 %, visoke vrednosti vlage (20%), temperature ekstrudiranja od 140-160 °C, i male brzine obrtanja pužnice (150 o/min). Povećanje sadržaja inulina takođe je imalo uticaj na smanjenje modula elastičnosti proizvoda.

Brennan (2012) je ispitala uticaj dodatka komercijalnih prehrambenih vlakana i vlakana dobijenih iz nusproizvoda industrije na proizvodnju ekstrudata sa mogućnošću smanjenja glikemijskog odgovora. Udeo pšeničnog brašna zamenjivan je sa 5, 10 ili 15% prehrambenih vlakana, i sprovedena je medicinska studija na određenim uzorcima. Jedan od 8 tipova vlakana koji su korišćeni za oplemenjivanje ekstrudata bio je inulin. Zaključeno je da dodatak vlakana utiče na mobilnost vode u proizvodu, što može biti povezano sa potencijalnim lepljivim i viskoznom osobinama proizvoda. Uopšteno, uključivanje prehrambenih vlakana u proizvode smanjio je sadržaj glukoze koja se potencijalno oslobađa tokom digestije skroba i može se koristiti za regulisanje glikemijskog odgovora. Primenom određene recepture moguće je proizvesti ekstrudate obogaćene vlaknima sličnih osobina kao kontrolni ekstrudat bez vlakana. Inulin je korišćen jer je već u mnogim istraživanjima primenjivan kao modifikator teksture i ispitivan u *in vitro* ispitivanjima za regulaciju nivoa glukoze u krvi. Dodatak inulina u količinama od 5 i 10% smanjio je gubitak vlage u ekstrudatima, što može biti povezano sa visokim stepenom rastvorljivosti inulina u vodi. Sa dodatkom inulina od 15% značajno se smanjio indeks upijanja vode ekstrudata, dok se pri dodatku od 5, 10 i 15% inulina indeks rastvorljivosti u vodi značajno povećao. Takođe, indeks upijanja ulja pri dodatku inulina bio je značajno veći u poređenju sa pšeničnim kontrolnim ekstrudatima. Dodatak inulina imao je uticaj i na smanjenje viskoznosti ekstrudata.

Pregledom dostupne naučne literature, zaključuje se da je primena čistog izolovanog inulina (iz sirovina bogatih inulinom kakvi su koren cikoriije ili Jerusalimske artičoke) kao dodatka ekstrudiranim proizvodima izuzetno aktuelna u razvoju novih prehrambenih proizvoda. Međutim, primećuje se nedostatak istraživanja koja ispituju implementiranje celokupne biljne sirovine bogate inulinom i drugim različitim fitonutrijentima, bez njihove partikularne izolacije i pojedinačnog obogaćivanja proizvoda (uključujući seskviterpenske laktone, polifenole, minerale i drugo) i njihov uticaj na osobine i funkcionalnost dobijenih proizvoda. Kako je jedan od ciljeva ove disertacije implementacija brašna korena cikoriije kao nosioca funkcionalnih komponenata (inulina, seskviterpenskih laktona, polifenolnih jedinjenja, minerala i dr.) u ekstrudate na bazi pirinča, ova studija može dati odgovore na mnogobrojna pitanja koja se odnose na tehnološki i nutritivni kvalitet novoformiranih proizvoda.

2.12. Primena matematičkog modelovanja u prehrambenoj industriji

U savremenom tehnološkom dobu sve je aktuelnija potreba potrošača za inovativnim, zdravijim prehrambenim proizvodima, koje nameću zahtev prehrambenim tehnologizima da razviju kvalitetne i bezbedne proizvode, primenom savremenih procesa proizvodnje hrane. Stoga je primetan rastući trend interesovanja prehrambenog sektora za primenu matematičkih modela radi dizajniranja, optimizacije i kontrole procesa proizvodnje.

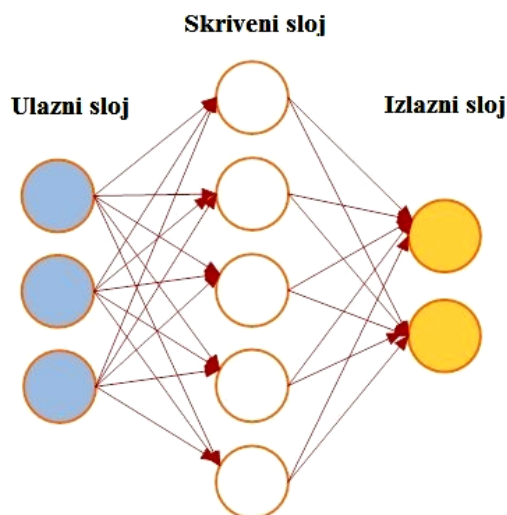
Matematički modeli danas predstavljaju “alatke” od izuzetnog značaja za osmišljavanje novih prehrambenih proizvoda, a njihov najveći uspeh se ogleda u mogućnosti predviđanja traženih karakteristika finalnog proizvoda. Međutim, posebnu pažnju treba obratiti na odabir parametara iz eksperimentalno dobijenih podataka, kako bi se formirao model adekvatnih predviđačkih sposobnosti (Vilas i sar., 2016).

Modelovanje u prehrambenom sektoru je izazov jer postoji nekoliko otežavajućih faktora koji se odnose na nedostatak shvatanja fenomena koji se dešavaju tokom proizvodnje, poteškoće u modelovanju eksperimenata, i nesigurnosti koje se odnose na pouzdanost podataka i osobine prehrambenih proizvoda. Udružujući interese velikih prehrambenih kompanija i potrošača, koji se odnose na proizvodnju bezbedne i kvalitetne hrane, razvijaju se matematički modeli koji daju informacije o prehrambenim proizvodima i promenama koje se dešavaju tokom proizvodnje. Dva osnovna razloga za primenu matematičkih modela u prehrambenom sektoru odnose se na bolje razumevanje procesa kao i proveru različitih “šta ako” scenarija kada se model primeni. Tako se uz pomoć primene matematičkih modela mogu predvideti promene karakteristika proizvoda, bez ponavljanja ili izvođenja čitavog eksperimenta. Na taj način se štede ekonomski resursi, ali i skraćuje vreme potrebno za dobijanje ovih informacija. Danas se matematički modeli u prehrambenom sektoru koriste u različite svrhe: za predviđanje ukusa, teksture, izgleda, nutritivnog sastava, veka trajanja i bezbednosti proizvoda (Djekic i sar., 2019).

Matematičko modelovanje primenjuje se u različitim sektorima prehrambene industrije. Kako je ekstrudiranje hrane prilično zastupljeno nekoliko poslednjih decenija i kako je ovaj tip proizvoda okarakterisan mnogobrojnim fizičkim i nutritivnim parametrima (kao što su boja, ekspanzija, nasipna masa, teksturne osobine, reološke karakteristike, sadržaj rezistentnog skroba, ugljenih hidrata, proteina, vlakana itd.), upotreba matematičkog modelovanja nalazi primenu kod optimizacije proizvodnje i podešavanja karakteristika finalnih proizvoda i kod ove vrste procesa. Mnogobrojne naučne studije su ispitivale aplikaciju različitih matematičkih modela u svrhu predviđanja karakteristika proizvoda od interesa. Do sada je u oblasti ekstrudiranja hrane primenjivano sledeće matematičko modelovanje: jednostavni eksponencijalni modeli (Lazou i Krokida, 2010), jednostavni modeli snage (*engl. Simple power model*) (Bisharat i sar., 2013), PLSR i L-PLSR modelovanje (*engl. Partial least squares regression/ L-partial least squares regression*), Delimična regresija najmanjih kvadrata) (Ramos Diaz i sar., 2017), algoritmi mašinskog učenja kao što je model nasumične šume (*engl. Random forest*) (Benes i sar., 2020), metoda odzivne površine (Pardhi i sar., 2019), veštačka neuronska mreža (Kowalski i sar., 2018) i drugi. U poslednje vreme razvijaju se novi matematički modeli koji kombinuju tradicionalne empirijske modele i mašinsko učenje kako bi se predvidele izlazne promenjive, kao što je slučaj kod regresione metode ubrzanog stabla (*engl. Boosted regression tree*). Stoga je posebna pažnja u okviru ove disertacije posvećena jednoj od najčešće primenjenih metodologija predviđanja izlaznih karakteristika proizvoda – veštačkoj neuronskoj mreži (ANN) i jednoj novoj perspektivnoj metodologiji – regresionoj metodi ubrzanog stable (BRT).

2.12.1. Prednost korišćenja modela veštačke neuronske mreže u odnosu na analizu odzivne površine

Veštačka neuronska mreža (*engl. Artificial neural network, ANN*) pripada tehnikama mašinskog učenja. Ova metodologija pruža mogućnost modelovanja složenih odnosa, pogotovo onih nelinearnih, bez složenih jednačina za razliku od RSM (*engl. Response surface analysis, Analiza odzivne površine, RSM*). ANN analiza je prilično fleksibilna u pogledu broja i oblika eksperimentalnih podataka, za razliku od RSM koja zahteva proračun regresionih (brojčanih) koeficijenata modela. Kako u stvarnosti veze između promenljivih nisu uvek linearne ili eksponentijalne, ANN model pristupa rešavanju problema slično kao ljudski mozak. Mreža se sastoji od nekoliko slojeva čvorova (neurona) koji nisu međusobno povezani. Svaki čvor povezan je sa čvorovima u sledećem sloju. U ulazni sloj uvode se ulazni podaci, dok izlazni sloj sadrži jednu ili više predviđenih vrednosti ispitivanih parametara. Između ovih slojeva je smešten jedan ili više skrivenih slojeva, i mreža se obučava pomoću iterativnih metoda (funkcija za iznalaženje težinskih koeficijenata) za prilagođavanje težinskih koeficijenata ANN modela (slika 14).



Slika 14. Slojevi u veštačkoj neuronskoj mreži sa tri sloja

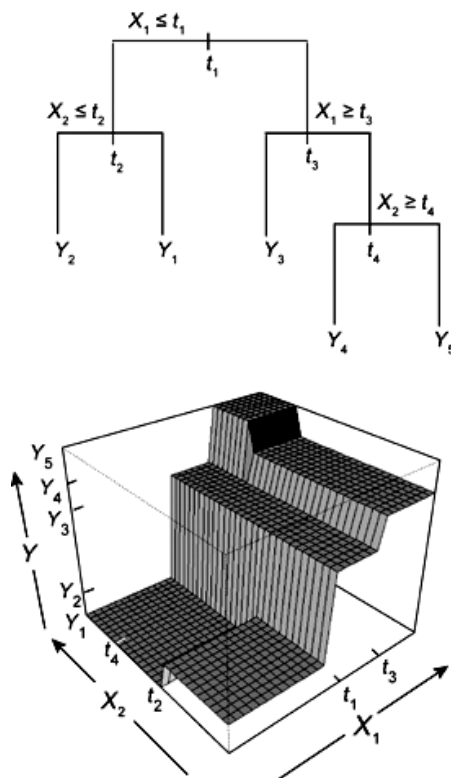
Takođe, model neuronske mreže može bolje predviđati nego polinomski modeli, tačniji je i može rešavati probleme, iako nemaju tačno definisan eksperimentalni plan za razliku od RSM. ANN je brža od drugih tehnika kada je problem koji se rešava izuzetno složen, i ne zahteva prethodno znanje o procesu ili definiciji funkcije modela. To znači da se tokom računanja može izabrati funkcija koja najbolje odgovara eksperimentalnim podacima, što nije slučaj kod RSM. Pored toga, ANN poseduje univerzalnu sposobnost aproksimacije (uklapanje/slaganje, približavanja vrednosti modela eksperimentalnim podacima), odnosno može da predstavlja gotovo sve vrste nelinearnih funkcija, uključujući i kvadratnu funkciju, dok je RSM primenjiv samo za polinomne aproksimacije. Veruje se da ANN zahteva mnogo veći broj eksperimenata u poređenju sa RSM kako bi izgradila efikasan model. Zapravo, ANN takođe može da radi veoma dobro čak i sa relativno malo podataka, ako su podaci statistički dobro raspoređeni u ulaznom sloju. Iz ovoga sledi da su eksperimentalni podaci za RSM dovoljni da se izgradi efikasan ANN model.

Nedostatak ANN se ogleda u tome što je ova metoda tzv. „crna kutija“ u kojoj se težinski koeficijenti (*engl. weights*) ne mogu tumačiti (nemaju nikakvu fizičku karakteristiku već samo matematički definisanu vrednost) zbog prisustva skrivenih slojeva i nelinearnosti funkcije (Aert-

sen i sar., 2010). ANN modeli isključivo zasnovani na podacima ne moraju biti zasigurno glatki (*engl. smooth*), što znači da u pojedinim tačkama ANN model može da ima odskočnu (Heaviside-ovu) funkciju. Dakle, konvencionalno korišćene metode optimizacije zasnovane na gradijentu koje zahtevaju kontinualnu, diferencijalnu i glatku funkciju ne mogu efikasno da se koriste u optimizaciji ulaznog prostora ANN modela jer ANN zahteva nelinearnu funkciju (logaritamsku, eksponencijalnu, tangens hiperboličnu i slično) (Desai i sar., 2008).

2.12.2. Model ubrzanog regresionog stabla (*engl. Boosted regression trees, BRT*)

BRT je jedna od nekoliko tehnika koja ima za cilj da unapredi performanse pojedinačnog modela udruživanjem i kombinovanjem više modela radi uspešnijeg predviđanja. BRT primenjuje dva algoritma: jedan se odnosi na regresiona stabla iz grupe klasifikacionih i regresionih modela (stablo odlučivanja), dok se drugi odnosi na ubrzavanje (*engl. boosting*) postavljanje modela i kombinovanja više modela. Modeli tipa stabla dele prostor predviđanja koristeći seriju pravila za izbor najhomogenijih (najpribližnijih) odgovora za predviđanje. Ta pravila se dalje prenose na svaku granu BRT drveta odlučivanja, pri čemu klasifikaciono stablo označava najverovatniju klasu kao konstantu, dok regresiono stablo utvrđuje srednji odgovor za posmatranje u toj grani (slika 15). Ubrzavanje, je metoda za poboljšavanje tačnosti modela, zasnovano na ideji da je lakše pronaći i uprosečiti više grubih pravila, nego pronaći jedno tačnije pravilo predviđanja. Ubrzavanje je numerička (računska) tehnika za optimizaciju sa ciljem da što više smanji gubitke funkcije, dodavanjem na svakom koraku novu granu koja ih najbolje smanjuje. Na kraju, BRT model je linearna kombinacija mnogih stabala/grana (uglavnom stotina ili hiljada) koja se može smatrati regresionim (računskim) modelom u kome je svaki član (*engl. term*) jedna grana.



Slika 15. Gornji deo slike predstavlja pojedinačno drvo odlučivanja gde Y vrednosti predstavljaju odgovore, X_1 i X_2 se odnose na predviđene vrednosti, dok su t_1 , t_2 itd. tačke grananja. Donji deo slike se odnosi na površinu predviđanja (Hastie i sar., 2001)

Postoji nekoliko prednosti BRT modelovanja. Stablo odlučivanja predstavlja informacije na način koji je vizuelno lako prihvatljiv. Izbor ispravnih vrednosti je pojednostavljen jer predviđačke promenljive mogu biti bilo kog tipa (brojčane, binarne – 0 ili 1, kategorijske – logičke promenljive koje ne moraju biti brojevi već grupacije podataka itd). Stabla nisu osetljiva na vrednosti koje izlaze iz opsega merenja, i uz pomoć predloženih vrednosti ovaj model može nadomestiti podatke koji nedostaju, za promenljive koje treba predvideti. Hijerarhijska struktura stabla ukazuje da odgovor na ulaznu promenljivu zavisi od vrednosti ulaza u višim granama stabla (na višim granama se vrši “filtracija” podataka), pa se interakcije između prediktora automatski podešavaju.

Uprkos gorenavedenim prednostima modela, ova metodologija nije toliko precizna kao druge. Pojavljuju se poteškoće u modelovanju glatkih funkcija. Struktura stabla zavisi od eksperimentalnih podataka i samo mala promena u podacima za treniranje modela može dovesti do veoma različitih serija grananja. Ovi faktori mogu uticati na predviđačke osobine (performanse) modela (Elith i sar., Hastie, 2008).

2.12.3. Odabir matematičkog modela

Matematičko modelovanje se primenjuje u prehrambenoj industriji ciljem da se ispita mogućnost predviđanja željenih karakteristika finalnih proizvoda (kao što su boja, tekstura, sadržaj bioaktivnih komponenata i dr.) kao funkcije nezavisnih promenljivih, koje su u ovoj disertaciji vlaga materijala (M), brzina obrtanja pužnice ekstrudera (V) i udeo korena cikoriije (P). Vrlo je važno odabrati odgovarajući matematički model koji će što bolje uklopiti eksperimentalno dobijene vrednosti željenih parametara sa onima koje je model izračunao. Tabela 10 daje sumarni prikaz prednosti i nedostataka matematičkog modelovanja RSM (Analiza odzivne površine (*engl. Response surface methodology*)), BRT (Ubrzano regresiono stablo (*engl. Boosted regression trees*)), i ANN (Model veštačke neuronske mreže (*engl. Artificial neural network*)) modelovanja za predviđanja izlaznih promenljivih.

Mnoge naučne studije primenjivale su i/ili poredile RSM i ANN u modelovanju i predviđanju uticaja polaznih parametara ekstrudiranja na karakteristike finalnih ekstrudata. Shihani i sar. (2006) su primenjivali RSM i ANN u predviđanju izlaznih parametara kao što su specifična mehanička energija, indeks upijanja vode, indeks rastvorljivosti u vodi, indeks ekspanzije i senzorske karakteristike ekstrudata na bazi pšenice sa dodatkom soje, u zavisnosti od procesnih parametara ekstrudiranja. Oni su zaključili da ANN bolje predviđa izlazne promenljive u odnosu na RSM, kako za pojedinačne tako i za grupne podatke. Slične zaključke izneli su Dalbhagat i sar. (2019) koji su primetili bolje slaganje eksperimentalnih rezultata sa onima predviđenim uz pomoć ANN, nego sa onima iz RSM modela, prilikom praćenja uticaja ekstrudiranja na fizičko-hemijske osobine ekstrudiranih obogaćenih zrna pirinča. Tom prilikom zabeležili su veće vrednosti koeficijenta determinacije (r^2) i niže vrednosti korena srednjeg kvadrata greške (*engl. root mean square error*, RMSE) za ANN model u poređenju sa RSM modelom, što govori u prilog tome da se ANN bolje poklopio sa dobijenim rezultatima, predstavljajući optimalan model u pogledu veće vrednosti r^2 i niže vrednosti RMSE. Pandey i sar. (2021) su u svojoj studiji optimizacije, modelovanja i karakterizacije ekstrudata na bazi banana i soje objasnili da ANN model smanjuje grešku (tj. RMSE vrednost) između predviđenog i eksperimentalnog odgovora, u poređenju sa RSM. ANN je pokazao bolju predviđačku sposobnost zbog svoje osobine da ne zavisi od eksperimentalnog dizajna, kao što je slučaj kod RSM. Štaviše, genetski nelinearni

sistemi kod ANN čine je pouzdanom metodologijom za predviđanje novih eksperimentalnih podataka u budućnosti. Uzimajući u obzir navedene literaturne navode kao i prednosti ANN nad RSM metodologijom (tabela 10), odlučeno je da u ovoj disertaciji bude primenjena veštačka neuronska mreža u predviđanju izlaznih vrednosti ispitivanih parametara.

Tabla 10. Sumarni prikaz prednosti i nedostataka RSM, BRT i ANN modelovanja

Model/Osobine	RSM model	BRT model	ANN model
Prednosti modela	Zahteva manji broj eksperimenata što štedi vreme, energiju i smanjuje troškove	Predstavlja informacije na način koji je vizuelno lako prihvatljiv	Može da izgradi model na osnovu eksperimenata dovoljnih za RSM model
	Ima sposobnost ocenjivanja interakcije među promenljivima	Predviđačke promenjive mogu biti bilo kog tipa	Ima bolju moć predviđanja nego polinomski modeli
			Tačnija je i može rešavati probleme iako nemaju tačno definisan eksperimentalni plan za razliku od RSM
		Stabla nisu osetljiva na vrednosti koje izlaze iz opsega merenja.	Brža od drugih tehnika kada je problem koji se rešava izuzetno složen
			Ne zahteva prethodno znanje o procesu ili definiciji funkcije modela
			Fleksibilna u pogledu broja i oblika eksperimentalnih podataka
Nedostaci modela	Broj članova u polinomu je ograničen vrstom funkcije iz eksperimentalnog dizajna	Nije toliko precizna kao druge tehnike (ANN)	Nemogućnost tumačenja težinskih koeficijenata iz skrivenog sloja
	Često za modelovanje zahteva komplikovane jednačine	Javljaju se poteškoće u modelovanju glatkih funkcija	U pojedinim tačkama ANN model može da ima odskočnu funkciju
	Primenjuje isključivo polinomske funkcije kao što su linearna, interakcija prvog reda ili kvadratna	Promena podataka za treniranje modela može dovesti do veoma različitih serija grananja	Zahteva nelinearnu funkciju
	Zahteva proračun regresionih (brojčanih) koeficijenata modela		

Primena BRT modela u prehrambenoj oblasti još uvek je uska i do sada se ova metodologija primenjivala za predviđanje starosti vina (Rendall i sar., 2017), i antioksidativne sposobnosti kafe (Podio i sar., 2015) i pšenice (Podio i sar., 2017), bazirane na njihovom polifenolnom profilu. Garre i sar. (2020) su ispitivali primenu mašinskog učenja u planiranju proiz-

vodnje u prehrambenom sektoru zasnovanu na iskorišćenju nusproizvoda, uključujući i “*regression tree*” modele, navodeći da imaju prednosti u interpretaciji rezultata, ali nedovoljno ispitano predviđačku moć. Uprkos tome, BRT modelovanje još nije primenjivano u predviđanju vrednosti izlaznih promenljivih, kao posledice uticaja različitih uslova ekstrudiranja, na krajnje karakteristike flips proizvoda. Uzimajući u obzir gorenavedene benefite ove metode, kao i činjenicu da je ona relativno nova metodologija sa velikim potencijalom primene u prehrambenoj industriji, odlučeno je da u okviru ove doktorske disertacije bude upotrebjeno i BRT modelovanje kako bi se doprinelo njenoj primeni u oblasti ekstrudiranih proizvoda.

3. Materijali i metode

Proizvodnja flips proizvoda iz okvira ove doktorske teze izvršena je u Pilot postrojenju tehnologije hrane za životinje Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, Univerziteta u Novom Sadu. Najveći deo eksperimentalnih istraživanja sproveden je u Laboratorijama Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu (Odeljenje za hemijske analize, Odeljenje za senzorske i tehničke analize, Odeljenje za mikroanalitiku, Odeljenje za reološka ispitivanja). U okviru ovih laboratorija definisan je nutritivni sastav polaznih sirovina, fizičke, reološke, toplotne, teksturne i senzorske osobine finalnih proizvoda, razvijena je i validovana metode za kvantifikaciju inulina te određen i sam sadržaj inulina u polaznim sirovinama i finalnim proizvodima. Određivanja sadržaja polifenolnih jedinjenja sprovedeno je u Laboratoriji za Organsku hemiju Tehnološkog fakulteta Novi Sad, Univerziteta u Novom Sadu. Sadržaj seskviterpenskih laktona polaznih smeša i gotovih flips proizvoda određen je u Laboratoriji španskog nacionalnog istraživačkog centra (CEBAS-CSIC), Univerziteta u Granadi, Španija.

3.1. Materijali

3.1.1. Sirovine

Nepečeni, fino usitnjeni koren cikorije, poreklom iz Indije, kupljen je od kompanije Patent. Co (Mišićevo, Srbija), dok je pirinčano brašno kupljeno od firme Hemija-Commerce doo (Novi Sad, Srbija). Sirovine su čuvane u originalnom pakovanju na hladnom i tamnom mestu do planiranih analiza i proizvodnje flips proizvoda.

3.1.2. Hemikalije i reagensi

Najveći deo korišćenih specifičnih hemikalija i reagenasa proizvela je Sigma-Aldrich Chemicals (Štajhajn, Nemačka), uključujući i standard inulina poreklom iz korena dalije, reagente za određivanje antioksidativne aktivnosti i kvantifikaciju ukupnog sadržaja polifenolnih jedinjenja, dok je gvožđe(III) hlorid proizvod kompanije JT Baker (Deventer, Holandija). Standarde seskviterpenskih laktona proizvela je Extrasynthese (Genai, Francuska). Svi drugi upotrebljeni reagensi i hemikalije u eksperimentalnom radu bili su analitičke čistoće. Bidestilovana voda je proizvedena korišćenjem sistema za prečišćavanje vode - Simplicity UV system (Merck Millipore, Bedford, Masačusets, SAD). Sadržaj rezistentnog skroba određen je primenom kita namenjenog za ovu analizu proizvođača Megazyme (Bri, Irska).

3.2. Metode

3.2.1. Ekstrudiranje

Priprema smeša za ekstrudiranje: pripremljeno je pet različitih smeša pirinčanog brašna i korena cikorije za estrudiranje (sa 0; 20; 24,1; 30; 35,9 ili 40% korena cikorije), gde je smeša sa 0% korena cikorije korišćena za proizvodnju kontrolnog uzorka (KU). Smeše su homogenizovane 2 minuta u dvovratnom lopatatom mikseru (*engl. twin-shaft paddle mixer*) koji je deo laboratorijskog vakuumskog uređaja za oblaganje (model F-6-RVC, Forberg International AS, Oslo, Norveška).

Centralni kompozitni dizajn (*engl. Central composite design, CCD*) je korišćen za generisanje 15 različitih formulacija flips proizvoda od pirinčanog brašna variranjem sadržaja vlage (M, 16,3-22,5%), brzine obrtanja pužnice (SS, 500-900 o/min) i sadržaja korena cikorije (P, 20-40%), sa šest ponavljanja u centralnoj tački (uzorci 2, 4, 9, 14, 19, 20). Kontrolni uzorak je proizveden pri 18% i 800 o/min. Granice u kojima su varirani procesni parametri izabrane su na osnovu preliminarnih istraživanja. Ekstruzija je izvršena u ekstruderu sa dva puža (slika 16), model Bühler BTRK 30/ 28D (Bühler, Uzvil, Švajcarska) sa sledećim karakteristikama: 7 zona, dužina cevi 880 mm i odnos dužina/prečnik = 28:1. Cev ekstrudera je bila obložena i voda je korišćena kao medijum za zagrevanje/hlađenje sekcija.

Temperaturu duž cevi su kontrolisale dve jedinice za kontrolu temperature (Regloplas P140 smart/RT61, Regloplas AG, Sen Galen, Švajcarska). Prva jedinica je kontrolisala tempe-

raturu u sekcijama 2, 3 i 4 (podešena na 60 °C), dok je druga kontrolisala temperaturu u sekcijama 6 i 7 (podešena na 120 °C). Prečnik otvora matrice bio je 4 mm (ukupna površina otvora 12,56 mm²), a brzina dodavanja suvih mešavina je bila konstantna i podešena na 60 kg/h. Smeše su navlažene direktno u cevi ekstrudera prema CCD-u. U tu svrhu voda je direktno dodavana na kraju prve sekcije cevi ekstrudera preko kavitantne pumpe (model NM005BI, Netzsch, Valdkrajburg, Nemačka). Vrednost potrošnje specifične mehaničke energije tokom procesa proizvodnje pirinčanih ekstrudata sa dodatkom korena cikoriije očitavana je direktno sa kontrolnog ekrana ekstrudera i izražavana u Wh/kg (vat satni po kilogramu). Ekstrudati su ostavljeni da se ohlade, te potom sušeni dok sadržaj vlage ne dostigne <10% i pakovani u plastične kontejnere do dalje analize.



Slika 16. Izgled pužnica primenjenih tokom procesa ekstrudiranja

3.2.2. Hemijski sastav polaznih sirovina

Sadržaj vlage (925.10, AOAC 2006) i pepela (923.02, AOAC 2006) određen je gravimetrijskim metodama. Sadržaj proteina analiziran je metodom po Kjehldal-u (ISO 1871:2009). Sadržaj masti određen je takođe gravimetrijskom metodom po Weibull-u i Stoldt-u (EN 98/64/EG, 963.15, AOAC 2006) prema radu Vujčić i Mašić (2021), dok je sadržaj ukupnih ugljenih hidrata određen računski: 100 - (sadržaj proteina + masti + voda + pepeo).

3.2.3. Instrumentalno određivanje karakteristika ekspanzije flips proizvoda

Ekspanzija flips proizvoda može se prikazati na više načina, bilo kao aksijalna, radijalna, lateralna ili kroz indeks ekspanzije.

Aksijalna ekspanzija (AE) predstavlja specifičnu dužinu ekstrudata i računski se izražava kao odnos dužine pojedinačnog ekstrudata (l , mm) i mase pojedinačnog ekstrudata (m , g) (formula 1), i izražava se u jedinici mm/g (Arivalagan i sar., 2018).

$$AE=l/m \quad (1)$$

Stepen radijalne ekspanzije (RE) ekstrudata određen je kao odnos površine poprečnog preseka ekstrudata (A_e , mm²) i poprečnog preseka površine matrice (A_m , mm²) (formula 2). Ova fizička veličina je bezjedinna (Zarzycki i sar., 2015).

$$RE= A_e/A_m \quad (2)$$

Lateralna ekspanzija (LE) određena je kao odnos prečnika ekstrudata (R_e , mm) i prečnika matrice (R_m , mm), i izražena je u %. Računa se prema formuli (3) (Wani i Kumar, 2015):

$$LE=((R_e-R_m)/R_m)*100 \quad (3)$$

Indeks ekspanzije (IE) određuje se kao odnos prečnika ekstrudata (R_e) i prečnika matrice (R_m) (formula 4), i bezjedinna je veličina (Vallée i sar., 2017)

$$IE=R_e/R_m \quad (4)$$

Određivanje karakteristika ekspanzije flips proizvoda izvršeno je u 10 ponavljanja. Prečnici ekstrudata su mereni uz pomoć pomičnog, kljunastog merila (MIB Messzeuge GmbH, Špangenberg, Nemačka), dok je masa ekstrudata merena na analitičkoj vagi.

3.2.4. Instrumentalno određivanje nasipne mase flips proizvoda

Nasipna masa flips proizvoda određena je primenom odgovarajuće aparature (Tonindustrie, West und Goslar, Nemačka). Princip merenja ove osobine proizvoda se zasniva na merenju mase ekstrudata (g) koja može da stane u zapreminu cilindra od 1 L. Merenje nasipne mase za svaki uzorak izvršeno je u 3 ponavljanja.

Nasipna masa ekstrudata po jedinici zapremine mernog cilindra (1L) računa se prema formuli (5) (Han i sar., 2018):

$$\text{Nasipna masa}=\text{Težina ekstrudata (g)}/\text{Zapremina cilindra (L)} \quad (5)$$

3.2.5. Instrumentalno određivanje zapremine i gustine flipsa primenom Mettler Toledo density kita

Ova analiza određivanja zapremine čvrstih tela zasniva se na primeni tečnosti čija gustina je poznata (najčešće se kao pomoćne tečnosti koriste voda ili etanol). Svakom pojedinačnom ekstrudatu meri se masa „u vazduhu“ tj. pre potapanja u pomoćnu tečnost (A, g), a potom i masa ekstrudata nakon uranjanja u tečnost (B, g). Gustina pojedinačnog ekstrudata (G , kg/m^3) se zatim računa prema formuli (6):

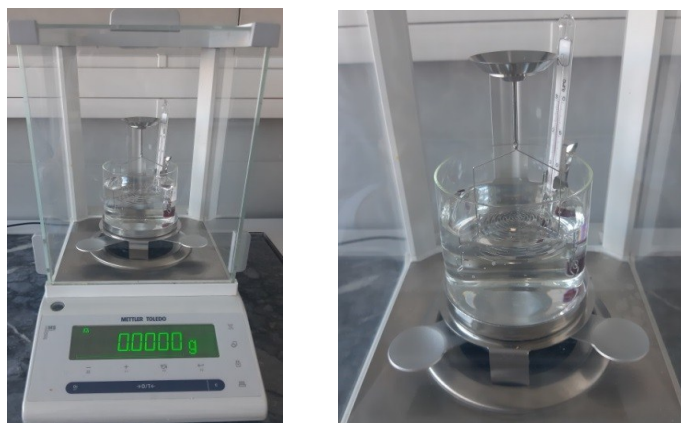
$$G=(A/A-B)*(\rho_0-\rho_L)+\rho_L \quad (6)$$

gde A predstavlja masu suvog ekstrudata (g), B predstavlja masu ekstrudata potopljenog u tečnost (g), ρ_0 se odnosi na gustinu pomoćne tečnosti (g/cm^3), dok je ρ_L gustina vazduha i iznosi $0,0012 \text{ g/cm}^3$. Gustina pomoćne tečnosti očitava se iz tabele pomoćnog materijala u zavisnosti od temperature u trenutku merenja. Pomoćna tečnost korišćena u ovoj analizi bila je destilovana voda. Aparatura Mettler Toledo kita za određivanje gustine, odnosno zapremine pojedinačnih ekstrudata, data je na slici 17, dok je merenje mase ekstrudata u vazduhu i u tečnosti prikazano na slici 18.

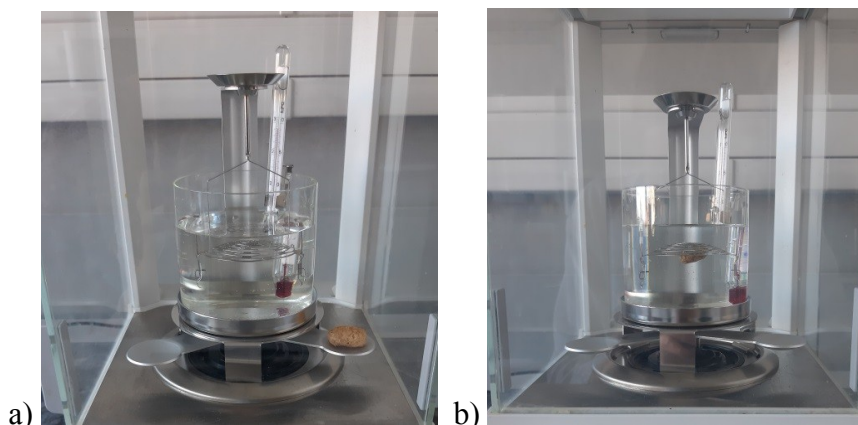
Zapremina pojedinačnog uzorka (Z , m^3) određuje se prema sledećoj formuli (7):

$$Z=\alpha*((A-B)/(\rho_0-\rho_L)) \quad (7)$$

gde α predstavlja težinski korekcionni faktor i iznosi 0,99985. Ovaj faktor uzima u obzir uticaj atmosferskog potiska na masu ekstrudata. Određivanja su izvršena u 10 ponavljanja.



Slika 17. Mettler Toledo kit za određivanje gustine ekstrudata



Slika 18. Merenje mase ekstrudata a) u vazduhu i b) u tečnosti.

3.2.6. Određivanje prividne zapremine i prividne gustine flips proizvoda računskim putem

Ekstrudati su sečeni uzdužno i prividna zapremina (PZ) (*engl. apparent density*) je određena nakon merenja njihovih stvarnih geometrijskih veličina (dužina, prečnik) uz pomoć pomičnog, kljunastog merila (MIB Messzeuge GmbH, Špangenberg, Nemačka). Prividna zapremina (PZ) (*engl. apparent volume*) ekstrudata određena je prema sledećoj formuli (8):

$$PZ = (\pi \cdot d^2 \cdot h) / 4 \quad (8)$$

gde d predstavlja prečnik ekstrudata (mm), a h se odnosi na dužinu pojedinačnog ekstrudata (mm). Prividna zapremina ekstrudata izražena je u kg/m^3 . Prividna zapremina kod granulastih (zrnastih) proizvoda naziva se nasipna zapremina (Rodríguez-Ramírez i sar., 2012).

Masa pojedinačnih ekstrudata (m_e , kg) izmerena je korišćenjem analitičke vage, a potom je prividna gustina (PG) proizvoda izračunata prema formuli (9):

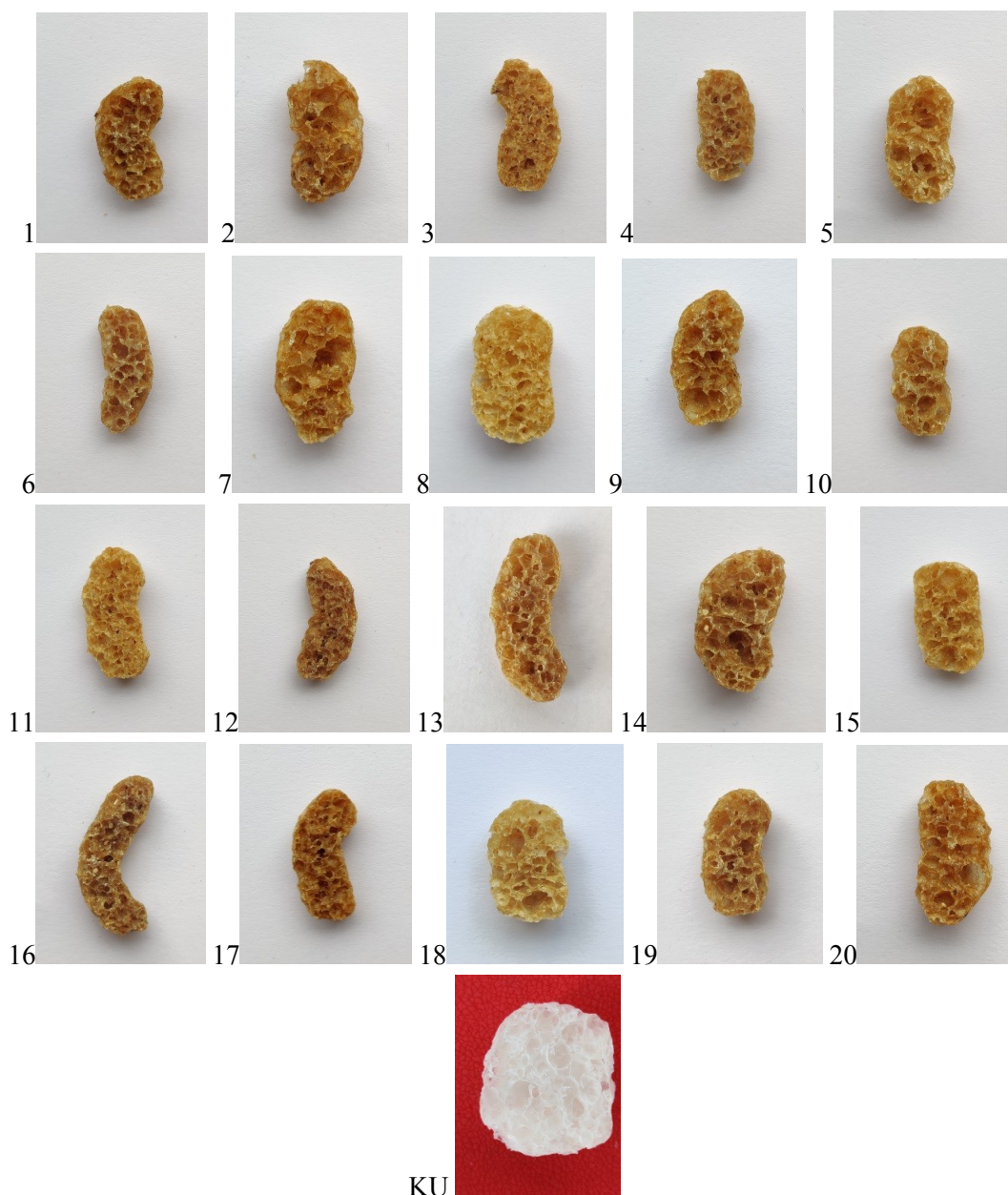
$$PG = m_e / PZ \quad (9)$$

Prividna gustina ekstrudata izražena je u kg/m^3 (Bisharat i sar., 2013). Prividna gustina, koja predstavlja odnos mase i zapremine materijala, koja uključuje sve pore (tj. Prividna zapremina), se kod granularnih materijalna još definiše kao nasipna masa (Rodríguez-Ramírez i sar., 2012).

Sva merenja i određivanje (prividne) zapremine i gustine izvršena su u 10 ponavljanja. Dobijeni rezultati prikazani su kao srednja vrednost \pm standardna devijacija.

3.2.7. Određivanje poroznosti flips proizvoda primenom metode Image analysis

Ispitivani uzorci flips proizvoda isečeni su uzdužno i fotografisani kamerom telefona Oneplus 7 pro (48 MP). Generisane fotografije su u rezoluciji 12 MP. Slike su unete u besplatan softver Python i binarizovane, odnosno pretvorene u crno-bele slike, gde je svaka boja u RGB (*engl. red-green-blue*, crvena-zelena-plava) sistemu koja ima veće koordinate od 255 pretvorena u belu boju, dok su boje čije su koordinate manje od 128 pretvorene u crnu boju. U binarizovanoj slici crnu boju predstavljaju pore, dok je bela boja ispunjena površina flipsa. Python-ov dodatak Porespy određuje poroznost na osnovu procenta crne boje u odnosu na belu (Gostick i sar., 2019). Sva određivanja poroznosti flips proizvoda izvršena su u 10 ponavljanja i rezultati su prikazani kao srednja vrednost (%) \pm standardna devijacija. Na slici 19 prikazani su analizirani uzorci.



Slika 19. Uzdužni preseki flips proizvoda (uzorci su redom obeleženi brojevima 1-20, dok je kontrolni uzorak uslikan na crvenoj podlozi radi boljeg kontrastnog prikaza pora i označen sa KU).

3.2.8. Instrumentalno određivanje teksturnih karakteristika

Teksturne karakteristike dobijenih flips proizvoda određene su uz pomoć analizatora teksture TA-XT2 Texture Analyzer (Stable Micro Systems, Surrey, Velika Britanija) (slika 20), primenom testa dijametralne kompresije na sobnoj temperaturi (25 °C). Ispitivanja su izvedena u 30 ponavljanja za svaki uzorak, postavljanjem pojedinačnog flipsa na ravnu podlogu uređaja i primenom kompresije pomoću cilindrične sonde od nerđajućeg čelika prečnika 45 mm (P45), pri opterećenju od 50 kg i sili okidanja od 5 g. Primenjena je metoda generisana u softveru teksturometra koja nosi naziv Extrudate compression-EXTR_P45. Parametri podešavanja instrumenta tokom testa su bili sledeći: brzina pre merenja iznosila je 2,0 mm/sec; brzina tokom merenja bila je 1 mm/sec; brzina nakon merenja bila je 10 mm/sec. Sonda je prelazila put potreban da se postigne deformacija uzorka od 70%, dok je prag merenja (*engl. threshold*) bio podešen na 0,49.



Slika 20. Analizator teksture TA-XT2 Texture Analyzer

Rad hrskavosti (*engl. crispiness work*, C_w) izračunat je prema formuli 10, kao odnos površine ispod krive (A , $N \cdot mm$) i broja pikova (N), i izražen u $N \cdot mm$ (Höglund i sar., 2018).

$$C_w = A/N \quad (10)$$

Indeks hrskavosti (*engl. Crispiness index*, C_i) određen je pomoću formule 11, kao odnos normalizovane dužine krive (L_N , mm/N) koja predstavlja odnos dužine krive i maksimalne sile (F_{max}), i proizvoda površine ispod krive (A , $N \cdot mm$) i srednje sile (F_{mean} , N) koja predstavlja sumu stvarnih sila podeljenu sa brojem pikova (Höglund i sar., 2018).

$$C_i = L_N / (A \cdot F_{mean}) \quad (11)$$

Frekvencija loma (*engl. Frequency of raptures*, N_{sr}) izračunata je iz odnosa ukupnog broja pikova (N_0) i rastojanja (d , mm) prema formuli 12, i izražena u mm^{-1} (Karkle i sar., 2012).

$$N_{sr} = N_0 / d \quad (12)$$

Prosečna sila kompresije (*engl. Average compression force*, F) predstavljena je formulom 13 kao odnos površine ispod krive (A, N*mm) i rastojanja (d, mm), izražena u N (Karkle i sar., 2012).

$$F=A/d \quad (13)$$

Tvrdoća flips proizvoda definisana je kao sila potrebna za ostvarivanje prvog loma uzorka flipsa očitana kao maksimalna vrednost sa dobijene krive zavisnosti sile od pređenog puta sonde (N*mm) i izražena je u N. Veće vrednosti maksimalne sile potrebne za kompresiju ukazuju na veću tvrdoću uzorka. Niže vrednosti tvrdoće su poželjne osobine flips proizvoda (Arivalagan i sar., 2018).

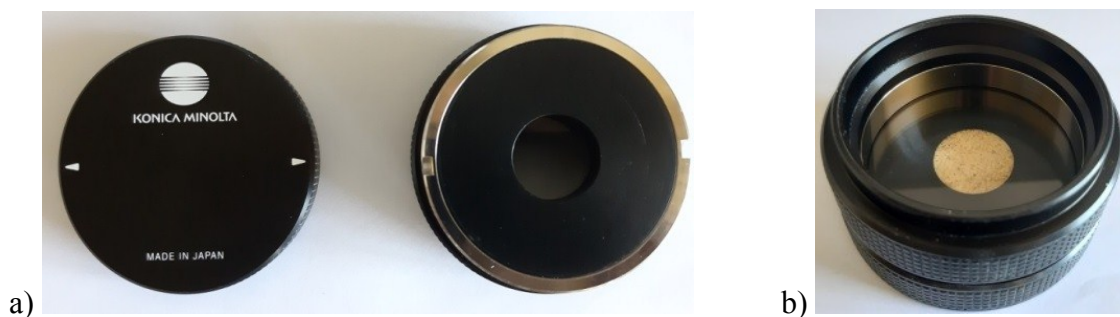
Takođe, važno je zabeležiti i broj pikova tokom testa dijametralne kompresije uzorka. Broj pikova predstavlja ukupan broj loma zidova ćelija uzorka tokom kompresije, označava se sa NoP i bezjedinna je veličina (Alam i sar., 2019).

3.2.9. Instrumentalno određivanje boje

Ekstrudati su smleveni uz pomoć mlina sa hlađenjem (KnifetecTM 1095, FOSS, Danska) i zatim prosejani kroz sito otvora pora 0,4 mm. Određivanje parametara boje izvršeno je pomoću kolorimetra Konica Minolta Chroma Meter (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan) (slika 21) uz prethodnu homogenizaciju uzorka. Zahvaljujući mogućnosti postavljanja određenih nastavaka, ovim uređajem moguće je meriti boju tečnih, čvrstih, polučvrstih i praškastih proizvoda. Kod merenja boje ekstrudiranih proizvoda primenjuje se nastavak CR-A50 (slika 22), dok je izabrani izvor svetlosti bio D65 koji se češće primenjuje u prehrambenoj industriji jer intenzitetom odgovara prosečnom podnevnom svetlu i uključuje UV region talasnih dužina. Reflektovani svetlosni zrak obrađuje se u glavi instrumenta i vrednosti se konvertuju u brojevne vrednosti L*, a* i b* parametara (<http://www.konicaminolta.eu>). Rezultati su prikazani kvantitativno preko Hunter-ove skale L*, a* i b* parametara, i kroz vrednosti C i h. Za svaki uzorak merenje je izvršeno u 5 ponavljanja, I izračunata standardna devijacija (s.d.). Pre početka merenja uređaj je kalibrisan standardom bele boje koja je dobijena uz uređaj (Milićević i sar., 2020).

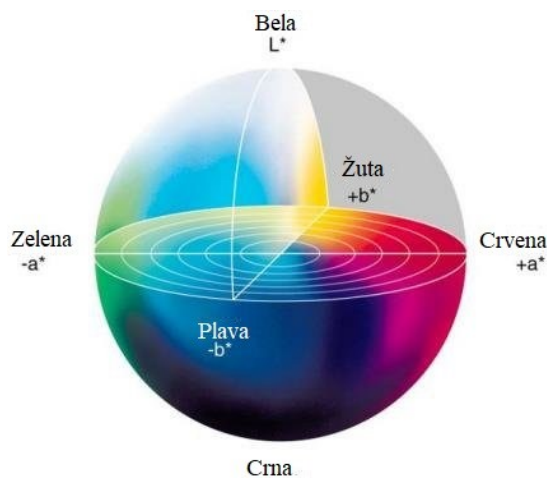


Slika 21. Konica Minolta Chroma Meter



Slika 22. Nastavak CR-A50 a) bez uzorka i sa pripremljenim uzorkom b)

U prehrambenoj industriji najčešće se primenjuju objektivni sistemi definisanja boje proizvoda koji se oslanjaju na CIE (*engl. The Commission Internationale de l'Eclairage*, Međunarodna komisija za osvetljenje) zakonitosti. Među njima ističe se CIEL*a*b* sistem boja (slika 23), koji definiše boju preko L*, a* i b* vrednosti (L* – gde 0 označava crno, a 100 belo; udeo crvene/zelene boje gde a* > 0 označava crvenu i a* < 0 označava zelenu boju; udeo žute/plave boje gde b* > 0 označava žutu i b* < 0 označava plavu boju), kao i definisanjem h i C* vrednosti. Vrednost h se odnosi na nijansu (*engl. hue angle*), dok C* označava hroma vrednost odnosno intenzitet boje. Pored toga, h vrednost se odnosi na vizuelni doživljaj boje, pri čemu se vrednosti boje od 0-90 odnose na crveno-ljubičastu, 90-180 na žutu, 180-270 na plavo-zelenu, i 270-360 na plavu boju. Sve vrednosti merenja boje su očitane direktno sa displeja uređaja, odnosno iz programa nakon povezivanja uređaja i softvera (h i C*).



Slika 23. CIEL*a*b* sistem

(https://www.researchgate.net/figure/CIE-Lab-color-system-4_fig3_329555404)

Rezultati su prikazani kvantitativno preko Hunter-ove skale L*, a* i b* parametara, i kroz vrednosti C i h. Za svaki uzorak merenje je izvršeno u 5 ponavljanja. Pre početka merenja uređaj je kalibrisan standardom bele boje koja je dobijena uz uređaj (Milićević i sar., 2020).

Ukupna promena boje (ΔE) izračunata je prema formuli (1410):

$$\Delta E = ((L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2)^{1/2} \quad (14)$$

u kojoj vrednosti označene sa „0“ u indeksu predstavljaju vrednosti izmerene u polaznim neekstrudiranim smešama, a ostale vrednosti bez indeksa „0“ predstavljaju vrednosti izmerene u uzorcima (Ačkar i sar., 2018).

3.2.10. Instrumentalno određivanje toplotnih karakteristika flips proizvoda – Diferencijalno skenirajuća kalorimetrija (DSC)

Skrob je glavna komponenta sirovih materijala koji se naširoko koriste za proizvodnju ekstrudirane hrane. Sam proces ekstrudiranja ima moć da raskine veze unutar molekula skroba, izazove njegovu želatinizaciju, topljenje i degradaciju usled mešanja, zagrevanja, gnječenja, potiskivanja i oblikovanja mase u cevi ekstrudera (Ye i sar., 2018). Stoga je važno ispitati uticaj procesnih parametara ekstrudiranja na promene koje se dešavaju sa skrobnim granulama.

Želatinizacija skroba je proces razgradnje skrobnih intermolekulskih veza u prisustvu vode i toplote, omogućavajući intenzivnije vezivanje vode (Guo i sar., 2018). Kada stepen želatinizacije (SG) iznosi 100% to ukazuje da je došlo do potpune želatinizacije skroba, dok vrednost SG od 0% govori da je u pitanju sirovi skrob (Guo i sar., 2018). Promena entalpija želatinizacije skroba (ΔH) predstavlja meru stepena kristalinizacije skroba, odnosno promenu kristalne strukture skroba u amorfnu (Paulik i sar., 2019).

Toplotne karakteristike flips proizvoda određene su diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom, primenom uređaja DSC 204 F1 Phoenix®, Netzsch, Nemačka (slika 24).



Slika 24. Diferencijalni skenirajući kalorimetar DSC 204 F1 Phoenix®

Oko 6 mg dobro homogenizovanih i prosejanih uzoraka (otvor pora sita 0,4 mm) flips proizvoda, polaznih sirovina, polaznih smeša i kontrolnog uzorka izmereno je direktno u aluminijumske posudice tako da uzorak prekrije dno. Potom je dodata destilovana voda (μl) tako da odnos uzorka i dodate vode bude 1:3 (w/v). Posudice su hermetički zatvorene i ostavljene da odstoje sat vremena pre analize na sobnoj temperaturi. Kalorimetar je kalibrisan primenom standarda indijuma, dok je prazna aluminijumska posudica služila kao referentni uzorak. Uzorci su analizirani prema metodi Wang i sar. (2018). Naime, uslovi analize bili su sledeći: uzorci su temperirani 1 minut na 20 °C, potom zagrevani od 20-120 °C brzinom zagrevanja od 10 °C/min, zadržavani 1 min na 120 °C i potom ohlađeni do sobne temperature (25 °C). Tom prilikom zabeležene su vrednosti promene entalpije (ΔH , J/g).

Tokom termalne analize uzoraka očitane su i vrednosti:

- inicijalne temperature želatinizacije (T_0) koja predstavlja temperaturu na kojoj počinje promena kristalne strukture skroba u amorfnu,
- temperature pika želatinizacije (T_p) koja se odnosi na temperaturu na kojoj je postignuta najveća promena kristalne strukture skroba u amorfnu,
- dok se krajnja temperatura želatinizacije skroba (T_v) odnosi na temperaturu završetka procesa promene kristalne strukture u amorfnu (Xie i sar., 2006).

Stepen želatinizacije (SG, %) izračunat je prema sledećoj formuli (15):

$$SG=(1-\Delta H \text{ uzorka}/\Delta H \text{ polazne smeše}) * 100 \quad (15)$$

gde „ ΔH uzorka“ predstavlja vrednost entalpije izmerene u uzorcima nakon ekstrudiranja, dok „ ΔH polazne smeše“ predstavlja vrednost entalpije polaznih neekstrudiranih smeša. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost ($n=3$) \pm s.d.

3.2.11. Instrumentalno određivanje reoloških karakteristika flips proizvoda – Osobine proticanja

Reološke osobine ekstrudiranih proizvoda na bazi žitarica veoma zavise od procesnih parametara kao što su temperatura ekstrudiranja, sadržaj vlage i brzina obrtanja pužnice, kao i molekulske transformacije skroba kao što su želatinizacija, topljenje i fragmentacija (Lai i Kokini, 1991).

Osobine proticanja flips proizvoda ispitane su na uređaju HAAKE Mars, Thermo Scientific, Nemačka. Prilikom ispitivanja korišćen je odgovarajući pribor prikazan na slici 25. Uzorci su najpre što uniformnije granulirani (mlevenjem i prosejavanjem) i homogenizovani pre analize. Potom su pripremljene 20%-ne vodene suspenzije, računate na suhu materiju uzorka. Ispitivanje je sprovedeno prema metodi Guha i Ali (2011), uz manje modifikacije koje je zahtevao primenjeni uređaj, te se analiza sastojala iz sledećih koraka:

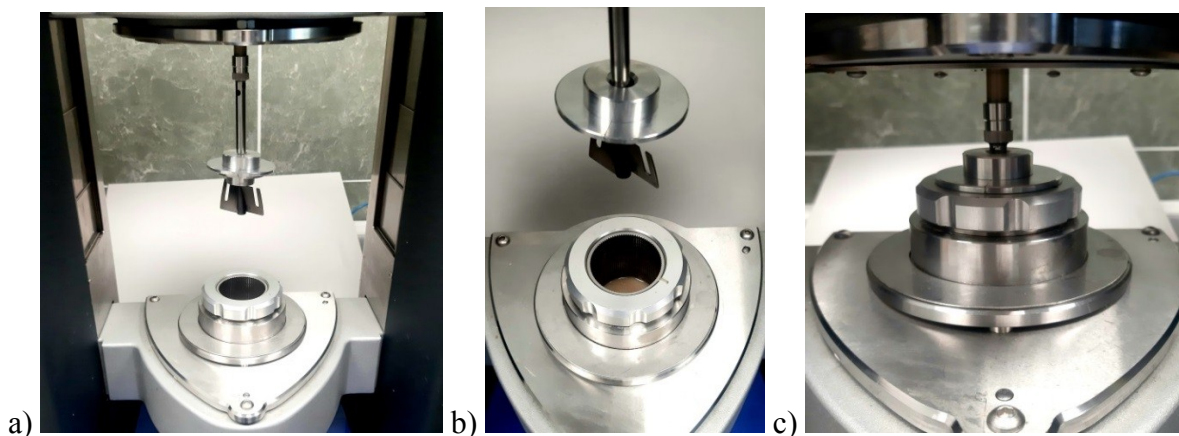
- zagrevanje suspenzije do 50 °C i zadržavanje 3 min na postignutoj temperaturi,
- zagrevanje suspenzije od 50 °C do 95 °C u trajanju od 30 min,
- održavanje suspenzije na 95 °C u trajanju od 15min na postignutoj temperaturi,
- hlađenje suspenzije do 50 °C u toku 30 min i
- zadržavanje formirane paste na 50 °C tokom 15 min.

Tom prilikom zabeleženi su podaci o:

- inicijalnom viskozitetu (IV), odnosno vrednosti viskoziteta na početku ispitivanja osobina proticanja na 50 °C,
- maksimalnom viskozitetu pika (PV), najvećoj vrednosti viskoziteta zabeleženoj tokom zagrevanja paste od 50 do 95 °C,
- viskozitetu tople paste (VTP), tj.viskozitetu paste na 95 °C,
- i viskozitetu hladne paste (VHP), odnosno viskozitetu paste na kraju faze hlađenja do 50 °C (Guha i Ali, 2011).

Sa grafika iscrtanih tokom analize reoloških osobina ekstrudata moguće je očitati i pojedinačne precizne temperature na kojima su postignuti IV, PV, VTP i VTH, i te temperature nosele su oznake T(IV), T(PV), T(VTP) i T(VTH).

Sva merenja izvršena su u tri ponavljanja, dok su rezultati prikazani kao srednje vrednosti ($n=3$) \pm s.d.



Slika 25. a) Propelerski rotor FL2B; b) Suspenzija uzorka pripremljena u posudi cilindra Z43S; c) Zatvoren sistem sa uzorkom kako bi se sprečilo isparavanje vode uz pomoć "solvent trap"-a za Z40 geometriju

3.2.12. Određivanje sadržaja rezistentnog skroba

Sadržaj rezistentnog skroba (RS) određen je prema AOAC 2002.02 metode uz pomoć komercijalno dostupnog Megazyme assay kita (K-RSTAR, Megazyme Int. Ireland, Viklou, Irska) (slika 26). Naime, određivanje RS prema ovoj metodi svodi se na prevođenje nerezi-stentnog skroba do glukoze uz pomoć enzima (pankreasne α -amilaze i amiloglukozidaze), nakon čega se RS izdvaja taloženjem. Nakon opisanog postupka prečišćavanja taloga koji sadrži RS iz uputstva proizvođača pomenutog Megazyme kita, RS biva razgrađen do glukoze dejstvom amiloglukozidaze. U zavisnosti od toga da li uzorak sadrži RS u količini većoj ili manjoj od 10%, primenjuje se postupak razblaženja uzoraka sa sadržajem RS većim od 10%. Rastvori glu-koze se zatim podvrgavaju spektrofotometrijskoj analizi na talasnoj dužini od 510 nm nakon čega zabeležena apsorbanca figuriše u formulama datim u uputstvu kita, u zavisnosti od sadržaja RS u uzorku (< ili > od 10%). Sva određivanja sadržaja RS u ispitivanim flips proizvodima izvr-šena su u dva ponavljanja.



Slika 26. Megazyme kit za određivanje sadržaja RS
(<https://www.megazyme.com/resistant-starch-assay-kit>)

3.2.13. Instrumentalno određivanje metala i minerala u flips proizvodima

Samleveni i prosejani uzorci flips proizvoda i polaznih sirovina podvrgnuti su analizi sadržaja minerala i metala na Atomskom absorpcionom spektrometaru (iCE 3300 FL, Thermo Scientific, SAD) (slika 27). Sadržaj Ca, K, Na, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu i Pb meren je u hlorovodoničnim rastvorima pepela (1:1) spaljenih uzoraka (na temperaturi od 550 °C za određivanje Ca, K, Na, Mg, i Mn, odnosno 450 °C za analizu Fe, Zn, Cu i Pb) nakon čega se u pripremljenom rastvoru određuje masena koncentracija ispitivanog elementa, uzimajući u obzir odvagu i razblaženje uzorka. Određivanje se vrši prema uputstvu proizvođača dobijenim uz aparat, plamenom tehnikom sa plamenom acetilen-vazduh, korišćenjem odgovarajućih lampi na odgovarajućim talasnim dužinama za svaki element. Optimalni radni opseg za svaki element je definisan uputstvom proizvođača (SpectrAA-10/20 Operation Manual). Nakon kalibracije određivanje nepoznate koncentracija očitava se automatski sa kalibracione krive. Sva određivanja izvršena su u tri ponavljanja.



Slika 27. Atomski absorpcioni spektrometar (iCE 3300 FL, Thermo Scientific, SAD)

3.2.14. Instrumentalno određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja

Priprema uzoraka za analizu polifenolnih jedinjenja: Postupak pripreme uzoraka za kvantifikaciju slobodne i vezane frakcije polifenolnih jedinjenja sastojao se iz nekoliko koraka:

- Ekstrakcija: Uzorak (5 g) prelijevan je sa 12,5 ml smeše etanol:voda (80:20, v/v) i ekstrahovan 15 min u ultrazvučnom kupatilu na temperaturi od 40 °C. Potom je ekstrakciona smeša centrifugirana 10 min na 3000 o/min (Centrifuga Tehnica, Železniki, Slovenija), supernatant je kvantitativno prenet u staklenu kivetu i uparavan do suva u struji azota pri temperaturi od 40 °C na uređaju Reacti-Therm I (Thermo Fisher Scientific, Voltam, Masačusets, SAD). Suvi ostatak je skladišten na temperaturi od –18 °C do nastavka ispitivanja slobodne frakcije polifenolnih jedinjenja. Izdvojena čvrsta faza, u vidu taloga, dalje se koristila za pripremu uzorka za određivanje frakcije vezanih polifenolnih jedinjenja.
- Hidroliza: Vezana polifenolna jedinjenja oslobođena su primenom alkalne hidrolize uz refluks koja je trajala 20 min. Nakon centrifugiranja talog je prenet u balon sa ravnim dnom i hidrolizovan pomoću 50 ml metanola uz dodatak 5 ml kalijum hidroksid:voda (1:1, w/w) i butil-hidroksitoluena (BHT).

- Filtracija: Ohlađeni hidrolizati profiltrirani su kroz Büchner-ov levak preko kvalitativne filter hartije (Whatman, Grade 4 Chr, Mejdston, Velika Britanija), a filtrat je iz vakuum boce prenet u levak za odvajanje.
- Tečno-tečna ekstrakcija: Hidrolizat je prvobitno neutralisan pomoću HCl koncentracije 6 mol/l, i izvršena je precipitacija proteina zasićenim rastvorom NaCl. Nakon toga je postupak tečno-tečne ekstrakcije izvršen pomoću levaka za odvajanje gde je dodato 50 ml smeše dietiletar:etilacetat (1:1, v/v). Vodeno-metanolni sloj je ekstrahovan još dva puta istim postupkom, a prikupljene frakcije su potom uparene na rotacionom vakuum uparivaču. Upareni ostatak je rastvoren pomoću smeše etanol:voda (80:20, v/v) nakon čega je određivanje sadržaja polifenola izvršeno na čitaču mikrotitar ploča Multiscan GO (Thermo Fisher Scientific Inc., Voltam, Masačusets, SAD).

Spektrofotometrijsko određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja: Singleton i Rossi (1965) opisali su postupak određivanja sadržaja polifenola zasnovanog na njihovoj reakciji sa Folin-Ciocalteu reagensom, koja je modifikovana za mikrotitar ploče sa 96 otvora (Gaonkar i sar., 2014). Intenzitet formiranog plavog obojenja, koje je rezultat pomenute reakcije, meri se na talasnoj dužini od 750 nm i proporcionalan je količini ukupnih polifenolnih jedinjenja u uzorku. Pripremljene reakcione smeše su sadržavale 170 μ l destilovane vode, 15 μ l centrifugiranog uzorka, 12 μ l 2M Folin-Ciocalteu reagensa, i 30 μ l 20% natrijum-karbonata. Smeše su inkubirane 1 h na sobnoj temperaturi u mraku, nakon čega je izvršeno merenje apsorbance na 750 nm uz slepu probu (destilovana voda). Kalibraciona kriva, neophodna za kvantitativno određivanje slobodne i vezane frakcije polifenola, formirana je korišćenjem galne kiseline kao standarda, a njihov sadržaj je izražen kao mg ekvivalenta galne kiseline (GAE) po g uzorka (ekstrudiranog flips proizvoda).

3.2.15. Određivanje antioksidativne aktivnosti na DPPH radikale

Određivanje antioksidativne aktivnosti na DPPH radikale bazira se na praćenju sposobnosti neutralizacije DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) radikala. Ovaj postupak se vrši spektrofotometrijski, odnosno detekcijom promene ljubičaste u žutu boju rastvora, usled redukcije stabilnog azotnog DPPH radikala (Brand-Williams i sar., 1995).

U otvore mikrotitar ploče dodato je 250 μ l rastvora DPPH^{*} i 10 μ l uzorka (ekstrakt slobodne i vezane frakcije polifenola u ekstrudiranim flips proizvodima). Inkubiranje je izvršeno u mraku na sobnoj temperaturi u toku 50 min nakon čega su apsorbance očitane na 515 nm uz slepu probu (metanol). Za izradu kalibracione krive je korišćen troloks, a rezultati su izraženi kao mg ekvivalenta troloksa po g ekstrudiranog flips proizvoda.

3.2.16. Određivanje antioksidativne aktivnosti na ABTS katjon radikale

Određivanje antioksidativne aktivnosti na ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina) katjon radikale zasniva se na sposobnosti ispitivnog uzorka da neutrališe slobodne ABTS⁺⁺ u hidrofilnom okruženju, pri čemu je primenjena metoda prilagođena za mikrotitar ploču (Mena i sar., 2011). Aktivacija ABTS⁺⁺ izvršena ja prema postupku:

I korak: 8 ml H₂O + 1 ml acetatnog pufera (0,1 M, pH 5,0) + 1 ml ABTS⁺⁺ rastvora + 35 mg čvrstog MnO₂;

II korak: Filtriranje rastvora i čuvanje u mraku;

III korak: Razblaživanje rastvora acetatnim puferom do postizanja apsorbance od oko 1,000.

Promena absorbance (ΔA) izračunata je primenom formule (16):

$$\Delta A = A_0 - A_{\text{fin}} - A_{\text{blank}} \quad (16)$$

Za definisanje A_0 korišćen je rastvor aktiviranog ABTS⁺⁺ pre dodatka uzorka, dok je A_{fin} apsorbance izmerena u rastvoru ABTS⁺⁺ sa dodatkom uzorka (2 μ l ekstrakta slobodne i vezane frakcije polifenola u ekstrudiranim flips proizvodima). Apsorbance vode kao slepe probe označena je sa A_{blank} . Sve absorbance izmerene su na 414 nm nakon tridesetpetominutne inkubacije na tamnom mestu sobne temperature. Za izradu kalibracione krive korišćen je troloks. Dobijeni rezultati su izraženi kao mg ekvivalenata troloksa po g ekstrudiranog flips proizvoda.

3.2.17. Određivanje redukcionne sposobnosti

Za određivanje redukcionne sposobnosti praćena je sposobnost uzorka da redukuje transformaciju Fe³⁺ → Fe²⁺ (Oyaizu, 1986). U tu svrhu korišćeni su 1% kalijum-fericijanid, 10% trihlorsirćetna kiselina, 0,1% ferihlorid, natrijum-fosfatni pufer pH 6,6 - 62,5 ml rastvora A (200 mmol/l Na₂HPO₄) pomešano je sa 37,5 ml rastvora B (200 mmol/l Na₂HPO₄).

Uzorci su razblaženi tako da finalna apsorbance bude u opsegu 0,2 do 0,8 te je potom 75 μ l rastvora uzorka (ekstrakt slobodne i vezane frakcije polifenola u ekstrudiranim flips proizvodima), ili 75 μ l ekstragensa (slepa proba), pomešano sa 75 μ l natrijumfosfatnog pufera pH 6,6 (62,5 ml rastvora 200 mmol/l Na₂HPO₄ pomešano je sa 37,5 ml rastvora 200 mmol/l Na₂HPO₄) i 75 μ l 1% kalijumfericijanida. Temperirani uzorci (20 min na 50 °C) su prohladjeni te im je dodato 75 μ l 10% trihlorsirćetne kiseline, nakon čega je usledilo centrifugiranje na 3000 o/min u toku 10 min. U odvojeni supernatant dodata je voda i 0,1% ferihlorid tako da njihov odnos bude 5:5:1=uzorak:voda:ferihlorid, te su absorbance izmerene odmah na talasnoj dužini od 700 nm. Standard troloksa primenjen je za formiranje kalibracione krive, a rezultati su izraženi kao mg ekvivalenata troloksa po g ekstrudiranog flips proizvoda.

3.2.18. Razvoj i validacija hromatografske metode za detekciju i kvantifikaciju inulina

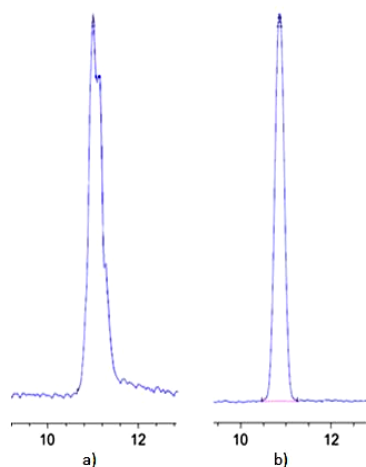
Optimizacija ekstrakcije i prečišćavanja (taloženja) inulina: Prilikom optimizacije uslova ekstrakcije inulina iz dostupnih proizvoda na tržištu Republike Srbije (korena cikoriije, kafe na bazi cikoriije, inulina kao suplementa i flips proizvoda sa dodatkom korena cikoriije proizvedenih u okviru ove disertacije) ispitivani su:

- odnos uzorka i ekstrakcionog sredstva odnosno vode (1:10, 1:15, 1:20, 1:30),
- taloženje ekstrakta sa različitim reagensima (acetone ili etanol),
- zapremina sredstva za taloženje inulina (dva, tri ili četiri puta veća zapremina sredstva za taloženje u odnosu na zapreminu ekstrakta),
- različita dužina vremena taloženja (preko jedne, dve ili tri noći).

Pored toga ispitan je i uticaj načina rastvaranja istaloženog inulina:

- Rastvaranje taloga 30 min u ultrazvučnom kupatilu,
- Rastvaranje taloga 30 min na 80 °C u vodenom kupatilu, uz naknadno rastvaranje taloga 30 min u ultrazvučnom kupatilu,
- Rastvaranje taloga 60 min na 80 °C u vodenom kupatilu, praćeno rastvaranjem taloga 30 min u ultrazvučnom kupatilu.

Optimizacija procesa ekstrakcije inulina izvršena je u cilju obezbeđivanja što većeg sadržaja inulina, što boljeg oblika pika analita od interesa primenom standardne ocene (*SS*, *engl. Standard score*), dok su parametri praćeni kod optimizacije postupka taloženja inulina bili što veći sadržaj inulina, oblik pika (0 – loš oblik, 1 – dobar oblik, slika 28), što veći odnos signala i šuma (*engl. signal to noise, S/N*), kao i što bolja rezolucija pika na hromatogramima (Perović i sar., 2022). Na osnovu formiranih *SS* ocena, odabrani su oni uslovi ekstrakcije i taloženja inulina koji su pokazali najveće standardne ocene.



Slika 28. Oblici pika inulina važni za determinaciju optimalnih uslova ekstrakcije i taloženja inulina. a) Loš oblik pika; b) Dobar oblik pika.

3.2.19. Optimizacija ELSD parametara za detekciju inulina

Nezavisne varijable korišćene u optimizaciji rada detektora bile su temperature nebulajzera (raspršivača) T_n (80-90 °C), temperature evaporatora (isparivača) T_e (80-90 °C), brzina protoka gasa (0,9-1,3 SLM – standardnih litara po minutu) i pojačanje signala detektora (1-7). Parametri istraživanja su odabrani u skladu sa Agilent ELSD preporukama (Agilent Technologies 2013), uz objašnjenje da temperatura isparivača za neisparljiva jedinjenja (kao što su šećeri) treba da bude podešena na 80-90 °C, dok viša temperatura raspršivača povećava odziv pika i ne bi trebalo da prelazi tačku ključanja mobilne faze (u ovom slučaju vode). Brzina protoka gasa bi trebalo da bude veća za vodenu mobilnu fazu u poređenju sa organskim rastvaračima (npr. 1,6 SLM), ali za višu temperaturu isparivača potreban je niži protok gasa (npr. 1,0 – 0,9 SLM). Pojačanje detektora je ispitivano u opsegu od 1 do 7, prema naučnim publikacijama posvećenim ELSD parametrima (Dvoračkova i sar., 2014; Condezo-Hoios i sar., 2015; Koh i sar., 2018). Varijable odgovora bile su oblik pika (0 – loš oblik, 1 – dobar oblik), simetrija pika (koja bi trebala da bude što bliža 1) i odnos S/N (poželjna je što veća vrednost) koji odgovaraju svojstvima pika, kao i određeni broj teoretskih podova koje ukazuju na efikasnost kolone (što je više teorijskih podova rad kolone je efikasniji) i uticaj određenih postavljenih uslova (kao što je temperatura).

Optimizacija rada detektora ispitana je na standardu koncentracije 0,15 mg/ml, primenom SS algoritma pri čemu je praćen oblik pika, simetrija pika, broj teorijskih podova i S/N odnos (Perović i sar., 2022).

Validacija HPLC-ELSD metode za kvantifikaciju inulina: Validacija novorazvijene analitičke metode za brzo kvantifikovanje inulina, bez koraka hidrolize, uz primenu oligosaharidne kolone sa Ag⁺ jonima, prvi put u analizi inulina izvršena je u pogledu linearnosti, granice detekcije, granice kvantifikacije, preciznosti unutar dana i između dana, tačnosti i *recovery* vrednosti.

1. *Linearnost:* Šest različitih standardnih koncentracija u rasponu od 0,05-0,25 mg/ml injektovano je (10 µl) u tri ponavljanja za generisanje kalibracione krive. Dobijene površine pikova koje odgovaraju određenim koncentracijama standarda korišćene su za konstruisanje krive. Linearnost odziva instrumenta izražena je koeficijentom determinacije (r^2).

2. *Osetljivost metode (LOQ i LOD):* Granica kvantifikacije (*engl. Limit of quantification, LOQ*) je najniža standardna koncentracija koja nije nula i koja definiše osetljivost metode. Pirinčano brašno je korišćeno kao „slepi uzorak“ (Eurachem, 2014) i dodat mu je referentni standard u deset različitih koncentracija (0,01–2,5 mg/ml) da bi se definisao LOQ. Svaki nivo koncentracije je injektovan šest puta i izračunata je relativna standardna devijacija (RSD). Prema Eurachem (2014), ako je standardna devijacija približno konstantna pri niskim koncentracijama, 10% relativne standardne devijacije odgovara LOQ. LOQ se takođe može odrediti kao minimalna koncentracija analita (mg/ml) koja daje odnos signal-šum od 10 (S/N) (Jiang i sar., 2014; Weng i sar., 2019), i ova metodologija je korišćena za određivanje LOK u drugim matriksima (koren cikoriije, flips na bazi pirinča sa dodatkom korena cikoriije i kafe sa cikorijom).

S druge strane, granica detekcije (LOD) je nivo analita pri kome detekcija postaje problematična (Eurachem Guide, 2014) i procenjena je kao minimalna koncentracija koja daje odnos S/N 3, za analit u različitim matriksima uključujući pirinčano brašno, flips na bazi pirinča sa dodatkom korena cikoriije i kafe sa cikorijom.

3. *Ponovljivost i reproduktivnost:* Ovi parametri procenjeni su testovima preciznosti i tačnosti. Preciznost merenja kao kvalitativni deskriptor predstavlja približnost upoređenih rezultata (Eurachem, 2014). S druge strane, blizina pojedinačnog rezultata referentnoj (istinskoj) vrednosti poznata je kao tačnost merenja i obično se izražava u procentima stvarne vrednosti. Procentualni odnos standardne koncentracije izračunate sa kalibracione krive i pripremljene (teorijske) koncentracije standarda koja je injektovana definisan je kao tačnost (Condezo-Hoios i sar., 2015). Unutardnevna i međudnevna varijacija su odabrane da bi se utvrdila preciznost i tačnost metode, a sedam različitih standardnih rastvora (0,05-0,25 mg/ml) je analizirano u šest ponavljanja u roku od jednog i šest uzastopnih dana.

4. *Recovery:* Test prinosa je izveden dodavanjem poznatih količina standarda u niskoj (80% poznate količina, I nivo), srednjoj (100% poznate količine, II nivo) i visokoj (120% od poznate količine, III nivo) koncentraciji u pirinčano brašnu i proizvode na bazi cikoriije. Zatim su spajkovani uzorci (dodata im je poznata količine standarda) ekstrahovani, analizirani i kvantifikovani u skladu sa gore pomenutom metodom.

Recovery (R) izračunat je prema sledećoj formuli (17):

$$R = \left(\frac{\%_{\text{pronađeno}} - \%_{\text{uzorka}}}{\%_{\text{dodato}}} \right) \times 100 \quad (17)$$

tako da se $\%_{\text{pronađeno}}$ odnosi na procenat inulina izmeren u spajkovanom uzorku, dok se $\%_{\text{uzorak}}$ odnosi na sadržaj inulina u uzorku bez spajka, a $\%_{\text{dodato}}$ predstavlja procenat dodatog inulina (spajk, *engl. spike*).

3.2.20. Instrumentalno određivanje sadržaja seskviterpenskih laktona

Uzorci pirinčanih ekstrudata sa dodatkom korena cikorije su samleveni na mlinu sa hlađenjem, prosejani kroz sito otvora pora 0,4 mm i čuvani u zamrzivaču do analize (-18°C). Ekstrakcija seskviterpenskih laktona iz ekstrudiranih flips proizvoda izvodi se u 3 faze:

- Prva faza podrazumeva ekstrakciju etanolom (95%) u toku 24 h na sobnoj temperaturi, pri odnosu uzorak:ekstrakciono sredstvo=1:10, pri čemu uzorci moraju biti zaštićeni od svetlosti. Nakon toga uzorci su profiltrirani i filtrat se podvrgava daljoj proceduri.
- Druga faza se odnosi na odmašćivanje profiltriranog etanolnog ekstrakta uz pomoć *n*-heptana u levku za odvajanje. S obzirom na to da su etanol i *n*-heptan mešljivi rastvarači, odmašćivanje etanolnog ekstrakta izvršeno je frakcionisanjem između vodene i *n*-heptanske faze. Naime, etanolni ekstrakt je koncentrovan na rotacionom vakuum uparivaču (Model R-210/215, Büchi, Flavil, Švajcarska) i razblažen bidestilovanom vodom, potom je dodat *n*-heptan u cilju raspodele ove dve nemešljive faze tako da odnos etanolnog ekstrakta i *n*-heptana bude 3:1. Ovaj postupak frakcionisanja ponovljen je dva puta u levku za odvajanje, pri čemu je *n*-heptanska frakcija odbacivana u cilju odmašćivanja ekstrakta.
- Odmašćen etanolni ekstrakt dalje je ekstrahovan etil-acetatom u trećoj fazi ekstrakcije kako bi se dobio koncentrovan ekstrakt seskviterpenskih laktona. Imajući u vidu da su etanol i etil-acetat mešljivi, takođe je pristupljeno frakcionisanju komponenti od interesa između vodeno-etanolne frakcije i etil-acetatne frakcije. Zapreminski odnos vodeno-etanolne i etil-acetatne frakcije bio je 1:1. Ovaj postupak takođe je ponovljen dva puta i sakupljeni etil-acetatni ekstrakti su upareni u struji azota (Schmidt i sar., 2007).

Upareni ekstrakti su rastvoreni u 2 ml ekstragensa (25:1:24; metanol:mravlja kiselina:bidestilovana voda), postavljeni 10 minuta u ultrazvučno kupatilo, profiltrirani kroz 0,22 µm Millipore PVDF filtre i podvrgnuti hromatografskoj analizi.

Analiza detekcije i kvantifikacije laktona izvršena je primenom HPLC-DAD-ESI/MSⁿ Agilent 1200 sistema (Agilent Technologies, Santa Klara, Kalifornija, SAD) povezanog sa masenim detektorom. HPLC sistem činile su binarna kapilarna pumpa (model G1376A), automatski injektor (model G1377A), degazer (model G1379B), hladnjak uzoraka (model G1330B), i DAD detektor (model G1315D) kontrolisan od strane ChemStation software-a (v.B.0103-SR2). Primenjen je maseni detektor marke Bruker, model UltraHCT (Billerica, Masačusets, SAD), spektrometar koji „hvata“ jone (*engl. ion trap spectrometer*) opremljen sa ESI (*engl. electrospray ionization interface*) i kontrolisan od strane Bruker Daltonic Esquire software-a (v.6.1). Jonizacioni uslovi su bili podešeni na 350 °C i 4 kV, za kapilarnu temperaturu i napon, redom. Pritisak raspršivača i protok azota bili su 65,0 psi and 11 L/min, redom. Skeniranje mase pokrivalo je opseg *m/z* od 100 do 1000. Eksperimenti fragmentacije izazvane sudarom izvedeni su u jonskom trapu koristeći helijum kao sudarni gas, sa ciklusima pojačavanja napona od 0,3 do 2 V. Podaci masene spektrometrije su dobijeni negativnom jonizacijom. MS_n je izveden u automatskom režimu na zastupljenijem fragmentnom jonu u MS⁽ⁿ⁻¹⁾.

U svrhu hromatografske identifikacije i kvantifikacije analita od interesa korišćena je Luna C18 kolona (250x4.6 mm, 5mm veličina čestica; Phenomenex, Torans, Kalifornija, SAD). Voda/mravlja kiselina (99:1, v/v) i acetonitril su korišćeni kao mobilne faze A i B, redom, sa protokom od 1 mL/min. Linearni gradijent počinjao je sa:

- 0 min – 5% B,
- 20 min – 80% B, za razdvajanje,

- na 25 min – 95% B,
- 30 min 95% B za ispiranje,
- povratak na početne uslove tj. 35 min - 5% B, 40 min - 5% B.

Zapremina injektovanja iznosila je 20 μ L. Hromatogrami su snimljeni na 254 i 320 nm. Sva ispitivanja izvršena su u 3 ponavljanja.

3.2.21. Senzorska analiza

Senzorska ispitivanja odobrena su od strane Etičke komisije Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu (Ref. No. 175/I/16-3).

3.2.21.1. Deskriptivna senzorska analiza

Deskriptivna senzorska analiza 7 odabranih uzoraka sprovedena je sa panelom obučениh ocenjivača koji imaju iskustva u analizi sličnih proizvoda ($n = 8$, 6 žena i 2 muškarca, starosti od 25 do 50 godina), u Laboratoriji za senzorske analize na Institutu za prehrambene tehnologije, Univerziteta u Novom Sadu. Uzorci koji nisu dovoljno ekspandovali nisu korišćeni za senzorsku analizu (indeks ekspanzije manji od 1,9). Odabir uzoraka za senzorsku ocenu izvršen je prema studiji do Carmo i sar. (2019). Iz svake od smeša pirinčanog brašna i različitih udela korena cikorije izabran je predstavnik za ocenjivanje, kao i kontrolni uzorak bez dodatka korena cikorije. Uzorci su šifrirani sa tri nasumično odabrane cifre (slika 29).



Slika 29. Odabrani flips proizvodi za deskriptivnu senzorsku ocenu

Tokom trening sesija (2 sesije po 1,5 h), ocenjivačima su bili prezentovani eksperimentalno pripremljeni uzorci ekstrudata kao i slični, komercijalno dostupni proizvodi, kako bi se ocenjivači usaglasili oko izbora deskriptora koji na najbolji način oslikavaju profile i razlike između analiziranih uzoraka, kao i za definisanje njihovih minimalnih i maksimalnih vrednosti. Definisana je lista koja je sadržala 18 deskriptora (tabela 11). Intenzitet opaženih svojstava iskazan je na kontinualnoj linijskoj skali od 100 mm, gde levi kraj skale ukazuje na nizak intenzitet opaženog svojstva, a desni kraj skale na njegov visok intenzitet (tabela 11). Ocenjivačima

su uzorci dostavljani sukcesivno, jedan po jedan, a ocenjivanje je sprovedeno u odvojenim kabinama za senzorsku ocenu u dve odvojene sesije. Destilovana voda i kriške jabuke su obezbeđene za čišćenje i odmaranje čula ukusa.

Tabela 11. Lista senzorskih svojstava, deskriptora sa opisom i krajnjih oznaka na skali korišćenih za senzorsku ocenu flips proizvoda

Senzorsko svojstvo	Deskriptor	Opis	Krajnje oznake na skali
Izgled			
	Nijansa boje	Nijansa boje proizvoda od bele do smeđe ocenjena prema dostavljenoj skali.	Bela → Smeđa
	Ujednačenost boje	Stepen ujednačene distribucije boje.	Homogena → Nehomogena
	Oblik pora na poprečnom preseku (Oblik P)	Opis oblika šupljina na poprečnom preseku uzorka.	Okrugle → Elipsaste
	Izgled pora na preseku (Izgled P)	Opis oblika šupljina na poprečnom preseku uzorka.	Vazdušaste → Voskaste
	Veličina pora na preseku (Veličina P)	Relativna veličina šupljina na poprečnom preseku uzorka.	Male → Velike
Miris			
	Ukupan intenzitet mirisa (UM)	Intenzitet ukupnog mirisa proizvoda ocenjen direktnim mirisanjem.	Slab → Izrazit
	Intenzitet mirisa na pirinač (MP)	Intenzitet mirisa koji potiče od kuvanog pirinča.	Slab → Izrazit
	Intenzitet mirisa na prženi pirinač (MPp)	Intenzitet mirisa koji potiče od pirinča koji je u dovoljnoj meri termički tretiran da bi se karamelizovao deo prisutnog skroba i šećera.	Slab → Izrazit
	Intenzitet mirisa na cikoriju (MC)	Intenzitet mirisa koji potiče od cikorije prelivene toplom vodom.	Slab → Izrazit
Ukus			
	Gorak ukus (GU)	Intenzitet gorkog ukusa koji se povezuje sa rastvorom kofeina.	Slab → Izrazit
Aroma			
	Ukupan intenzitet arome (UA)	Ukupan intenzitet arome proizvoda ocenjen nakon manipulacije uzorka u ustima.	Slab → Izrazit
	Intenzitet arome na cikoriju (AC)	Intenzitet arome koji se povezuje sa osećajem cikorije ocenjen nakon manipulacije uzorka u ustima.	Slab → Izrazit

Tabela 11. Nastavak

Senzorsko svojstvo	Deskriptor	Opis	Krajnje oznake na skali
Tekstura u ustima			
	Tvrdoća	Sila koja je potrebna da se zubima prodre kroz uzorak.	Meko →Tvrdo
	Grubost	Stepen u kojem je masa gruba, ima velike čestice.	Nežna →Gruba
	Hrskavost	Zvuk i sila sa kojom se uzorak lomi i puca.	Gnjecav →Hrskav
	Apsorpcija pljuvačke	Količina pljuvačke koju apsorbuje uzorak.	Bez →Potpuno
	Adhezivnost	Sila koja je potrebna da bi se uzorak sklonio sa kutnjaka.	Nepriionljivo → Veoma lepljivo
Naknadni utisci			
	Gorak ukus nakon 2 min (GU2)	Intenzitet osećaja gorkog ukusa dva minuta posle gutanja.	Slab →Izrazit

3.2.21.2. Test dopadljivosti (potrošački test)

Test dopadljivosti je sproveden sa potrošačima sa četiri reprezentativna uzorka (kontrola, uzorak 11, uzorak 12 i uzorak 18) koji su izabrani na osnovu uslova procesa proizvodnje i kvaliteta koji će se testirati. Senzorski panel, koji se sastojao od 40 neobučenih ocenjivača (16 muškog i 24 ženskog pola, 20 – 35 godina), osoblja i studenata sa Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu i Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu, ocenjivao je uzorke na ukupnu prihvatljivost (dopadljivost) ekstrudata, kao i na dopadljivost pojedinih svojstava izgleda, boje, ukusa, gorčine, teksture, hrskavosti i adhezivnosti, pomoću hedonske skale od 9 tačaka (1 - izuzetno mi se ne sviđa, 5 - niti mi se sviđa niti mi se ne sviđa, 9 - izuzetno mi se ne sviđa). Učesnici su birani nasumično, a kriterijum za učešće u potrošačkom testu je bio da su redovni potrošači flips proizvoda. Učesnicima je obezbeđena voda za piće između svakog uzorka za čišćenje nepca. Pre senzorske ocene, učesnicima je predloženo prisustvo mogućih alergena i svi učesnici su upitani za moguće alergije na hranu, a potom je zatraženo da potpišu pismeni pristanak za učešće u studiji. Upitnik za potrošački test dat je u Prilogu 1.

3.2.21.3. Analiza pada srednje vrednosti ocene ukupne dopadljivosti (engl. Mean Drop analysis)

Da bi se dobila informacija u pogledu odstupanja proizvedenih ekstrudata od nekog „idealnog proizvoda“ po mišljenju potrošača, sprovedena je analiza pada srednje vrednosti ocene ukupne dopadljivosti. Za tu svrhu učesnici u potrošačkom testu su bili zamoljeni da procene prikladnost izabranih senzorskih svojstava ekstrudata pomoću skale „upravo onako kako odgovara“ (eng. *just-about-right* (JAR)) (1 = premalo, 5 = upravo onako kako odgovara (JAR), 9 = pre-

više). Potrošači su ocenjivali intenzitet boje (1 = presvetla, 9 = pretamna), gorčina (1 = nedovoljno gorka, 9 = previše gorka), hrskavost (1 = nedovoljno hrskava, 9 = previše hrskava) i lepljivost (1 = nedovoljno lepljiva, 9 = previše lepljiva).

3.2.21.4. Statistička obrada podataka senzorske analize

Rezultati su prikazani kao aritmetičke sredine i standardne devijacije intenziteta senzorskih svojstava uzoraka određenih od strane 8 obučanih ocenjivača, izmerenih u dve odvojene sesije. Značajnost izmerenih razlika ispitana je primenom analize varijanse (ANOVA) i Tukey HSD (*engl. Honest Significant Difference*) testa višestrukih poređenja sa pragom značajnosti 0,05. U cilju vizuelizacije korelacionih odnosa između odabranih promenljivih i ispitivanih uzoraka, na matrici Pearsonovih koeficijenata korelacije sprovedena je analiza glavnih komponenti (*engl. Principal Component Analysis, PCA*). Rezultati potrošačkog testa su takođe analizirani primenom PCA. Analiza pada srednje vrednosti ocene ukupne dopadljivosti sprovedena je korišćenjem podataka o ukupnoj dopadljivosti i podataka prikupljenih na skali od 9 tačaka. Sirovi podaci grupisani su u tri kategorije na sledeći način: 1, 2 i 3 = nedovoljno izraženo (ispod „kako odgovara“); 4, 5 i 6 = upravo kako odgovara; 7, 8 i 9 = previše izraženo (iznad „kako odgovara“). Ukupni pad dopadljivosti je izračunat kao ponderisana razlika između naklonosti za „upravo kako odgovara“ i za dva druga nivoa uzeta zajedno. Statistička obrada podataka sprovedena je primenom statističkog paketa XLSTAT 2020.5.1.

3.2.22. Optimizacija procesa ekstrudiranja

Cilj ovog poglavlja bio je da se optimizuje proces ekstrudiranja u svrhu definisanja uzorka koji poseduje optimalne fizičko-hemijske i senzorske karakteristike prema zadatim kriterijumima. Kriterijumi (tj. polarnost i težinski koeficijenti) koji su dodeljivani svakom od izlaznih parametara birani su iskustveno i u kombinaciji sa literaturnim smernicama. U svrhu optimizovanja procesa ekstrudiranja primenjena je metoda standardnih ocena (*engl. Standard score, SS*) i veštačka neuronska mreža (*engl. Artificial neural network, ANN*).

Ovako optimizovan proces predstavlja značajnu osnovu za mogućnost primene ekstrudiranja u industrijskim uslovima sa ciljem dobijanja proizvoda željenih karakteristika. Na osnovu rezultata SS i ANN analiza moguće je izabrati bilo koji skup ulaznih parametara iz skupa podataka definisanog eksperimentalnim dizajnom ($M=16,30-22,5\%$; $V=500-900$ o/min; $P=20-40\%$) i izračunati vrednosti izlaznih parametara (Ekspanzija; Nasipna masa; Poroznost; Zapremina i gustina; Parametri boje; Rezistentni skrob; Inulin; Laktoni; Stepen želatinizacije; Metali i minerali; Osobine pastiranja; Teksturne osobine; Sadržaj polifenolnih jedinjenja i antioksidativna aktivnost).

Pored toga, optimizacija primenom SS je izvršena i u okviru senzorske analize (Ujednačenost boje, Veličina pora, Ukupan miris, Gorak ukus, Gorak ukus nakon 2 minuta, Ukupna aroma, Tvrdća, Grubost, Hrkavost, Absorpcija pljuvačke i Adhezivnost iz okvira deskriptivne analize, odnosno Ukupna dopadljivost, Dopadljivost Izgleda, Ukusa, Teksture, Boje, Gorkog ukusa, Hrkavosti i Adhezivnosti ocenjenih tokom potrošačkog testa), s obzirom na to da je ova analiza uključivala različit broj uzoraka (6 uzoraka+kontrola za deskriptivnu senzorsku analizu, i 3 uzorka+kontrola za potrošački test) u odnosu na definisanje gorenavedenih fizičko-hemijskih izlaznih parametara gde su bili uključeni svi uzorci (ukupno 20).

3.2.22.1. Standardna ocena (SS)

Standardna ocena predstavlja srednju vrednost transformisanih početnih vrednosti podataka primenom težinskih koeficijenata za svaki izlazni parameter generisan primenjenim metodama. SS predstavlja numeričku bezjediničnu skalu koja pokazuje dosledno slaganje sa fizičkim i hemijskim kvalitetom definisanim određenim metodama (Brlek i sar., 2013). Slično kao kod Brlek i sar. (2013), SS se smatra relativnim pokazateljem i ne mora nužno predstavljati specifičnu karakteristiku proizvoda, SS daje tačan redosled proizvoda prema ispitivanim osobinama kvaliteta. Gorenavedeni autori naglašavaju da primena analize standardnom ocenom i definisanje SS za različite osobine proizvoda može biti vrlo korisno za dalje unapređenje karakteristika proizvoda.

Standardna ocena (SS) naširoko se primenjuje u oblasti ekstrudirane hrane. U prilog tome govore studije Nkama i Filli (2015) koji primenjuju SS pri definisanju optimalnih procesnih uslova neophodnih za dobijanje željenih fizičkih osobina ekstrudata na bazi prosa i soje, kao i primena SS za definisanje redukcije mikotoksina pod različitim uslovima ekstrudiranja u studiji Janić Hajnal i sar. (2022).

S obzirom da je baza podataka svih izlaznih parametara obimna, da uključuje veličine različitog ranga i jedinica, potrebno je taj veliki skup podataka preoblikovati u normalizovane podatke tj. bezdimenzionalne veličine (Milojković i sar., 2016). Rangiranje između uzoraka je izvršeno na osnovu odnosa eksperimentalnih podataka i ekstremnih vrednosti za svaki primenjeni test primenom odgovarajućih jednačina (Brlek i sar., 2013).

Jednačina (18):

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - \min_i x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \quad \forall i \quad (18)$$

primenjuje se u slučaju kriterijuma „što veća vrednost parametra, to bolje“ (koristi se za RE, LE, IE, Poroznost, Z, PZ, L*, RS, Sadržaj inulina, Laktucin, Laktukopikrin, Dihidro-laktucin, Dihidro-laktukopikrin, SG, Ca, K, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, IV, VHP, Ci, Nsr, NoP, SSP, SVP, DPPH_S, DPPH_V, ABTS_S, ABTS_V, RS_S i RS_V, Veličina pora, Ukupan miris, Ukupna aroma, Hrskavost, Absorpcija pljuvačke, Ukupna dopadljivost, Dopadljivost Izgleda, Ukusa, Teksture, Boje, Hrskavsti), odnosno pozitivan polaritet za navedene parametre.

Jednačina 19:

$$\bar{x}_i = 1 - \frac{x_i - \min_i x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \quad \forall i \quad (19)$$

koristi se u slučaju kriterijuma „što manja vrednost parametra, to bolja“ (koristi se za AE, NM, G, PG, ΔE, VTP, Cw, F i Fmax, Ujednačenost boje, Gorak ukus, Gorak ukus nakon 2 minuta, Tvrdoća, Grubost, Adhezivnost) odnosno kada se primenjuje negativan polaritet za pomenute izlazne parametre.

U oba jednačine (18 i 19) x_i se odnosi na eksperimentalno određene vrednosti.

Standardna ocena (SS) se dobija sumiranjem normalnih ocena svih izlaznih promenljivih (\bar{X}_i) koje su pomnožene težinskim koeficijentima (w_i) prema jednačini (20):

$$SS(M,V,P) = w_1 \cdot \overline{X}_1 + w_2 \cdot \overline{X}_2 + \dots + w_n \cdot \overline{X}_n \quad (20)$$

Maksimum funkcije SS (za procesne uslove M, V i P) ukazuje na optimalne vrednosti izlaznih i ulaznih parametara. Ako je vrednost SS funkcije blizu 1, ona pokazuje da su vrednosti parametara bliske optimalnim.

Velika prednost primene SS ogleda se u mogućnosti uključivanja nekog drugog skupa podataka u formirani koncept, koji može poslužiti za buduća poređenja (Janić Hajnal i sar., 2016).

3.2.22.2. Veštačka neuronska mreža (ANN)

ANN detaljno je opisana u sekciji *Poređenje modela* (broj sekcije), gde se istakla kao vrlo fleksibilna i primenjiva alatka kod optimizacije procesa ekstrudiranja u cilju iznalaženja finalnih proizvoda poželjnih karakteristika. U prilog tome ide i studija Kojić i sar. (2019) koji primenjuju ANN za definisanje optimalnog ekstrudata sa najvišim sadržajem betaina i najmanjom potrošnjom SME. Pandey i sar. (2021) primenjivali su ANN model za definisanje optimalnog ekstrudata na bazi soje i banana, koji će imati najveću ekspanziju, ukupan sadržaj polifenolnih jedinjenja i nizak indeks absorpcije vode. U preglednom radu koji se bavio primenom ANN optimizacijom u prehrambenom sektoru, uključujući primenu u oblasti ekstrudiranja hrane, Bhagya Raj i Dash (2020) ističu da ANN može vrlo uspešno biti primenjena za optimizaciju ulaznih (brzina doziranja smeše, konfiguracija pužnica, brzina obrtanja pužnica, temperature u cevi ekstrudera, sadržaj vlage u smeši, sadržaj proteina u smeši za ekstrudiranje, pH vrednost smeše i drugo) i izlaznih (ekspanzija, tekstura, boja, viskozne osobine i mnoge druge) parametara ekstrudiranja.

4. Rezultati i diskusija

4.1. Ekspanzione osobine

Jedna od najvažnijih osobina flips proizvoda koja je na samom vrhu liste zahteva potrošača kod ekstrudiranih proizvoda jeste upravo njihova ekspanzija. Pored toga, proizvodi visokog stepena ekspanzije i poroznosti ukazuju na efikasnost procesa ekstrudiranja i u pozitivnoj su korelaciji sa dopadljivošću od strane potrošača (Kumar i sar., 2018b).

U istraživanjima ove doktorske disertacije određena su četiri ekspanziona parametra (aksijalna, radijalna, lateralna ekspanzija i indeks ekspanzije) flips proizvoda, i njihove vrednosti su prikazane u tabeli 12.

Tabela 12. Vrednosti aksijalne, radijalne, lateralne ekspanzije i indeksa ekspanzije flips proizvoda

Uzorak	M	V	P	AE	RE	LE	IE
1	21,2	820	35,9	37,69±1,19 ^{ab}	4,31±0,11 ^{bcd}	115,98±8,28 ^{bcd}	2,15±0,34 ^{ab}
2	19,4	700	30,0	38,67±2,49 ^{ab}	6,02±0,12 ^e	147,73±8,98 ^{cde}	2,50±0,43 ^{ab}
3	17,6	820	35,9	42,14±1,13 ^{ab}	5,73±0,24 ^{de}	142,75±11,88 ^{cde}	2,45±0,56 ^{ab}
4	19,4	700	30,0	36,58±1,82 ^{ab}	6,01±0,23 ^e	147,70±12,22 ^{cde}	2,47±0,44 ^{ab}
5	21,2	820	24,1	42,64±1,35 ^{ab}	6,89±0,11 ^{ef}	155,78±9,78 ^{de}	2,64±0,54 ^{ab}
6	22,5	700	30,0	40,38±1,64 ^{ab}	4,67±0,27 ^{de}	123,55±11,84 ^{bcd}	2,19±0,42 ^{ab}
7	19,4	900	30,0	42,46±3,01 ^{ab}	6,47±0,40 ^e	169,85±6,46 ^{ef}	2,71±0,43 ^{ab}
8	17,6	820	24,1	33,94±1,69 ^a	11,73±0,43 ^h	234,90±9,64 ^h	3,34±0,46 ^b
9	19,4	700	30,0	37,88±2,27 ^{ab}	5,93±0,12 ^e	147,55±7,57 ^{cde}	2,49±0,28 ^{ab}
10	21,2	520	24,1	37,75±1,64 ^{ab}	5,51±0,14 ^{cde}	140,15±12,80 ^{bcd}	2,40±0,39 ^{ab}
11	16,3	700	30,0	45,42±1,94 ^b	8,01±0,25 ^f	185,15±10,66 ^{ef}	2,84±0,36 ^{ab}
12	19,4	700	40,0	40,11±3,08 ^{ab}	3,74±0,20 ^b	93,55±8,01 ^b	1,94±0,28 ^{ab}
13	19,4	500	30,0	40,34±2,13 ^{ab}	4,09±0,10 ^{cd}	103,30±5,61 ^{cd}	2,02±0,17 ^{ab}
14	19,4	700	30,0	35,77±1,87 ^{ab}	6,50±0,19 ^e	147,53±6,81 ^{cde}	2,47±0,28 ^{ab}
15	17,6	520	24,1	37,49±1,52 ^{ab}	8,29±0,24 ^f	187,30±5,78 ^{ef}	2,90±0,35 ^{ab}
16	21,2	520	35,9	45,74±1,81 ^b	2,20±0,12 ^a	43,55±9,97 ^a	1,44±0,36 ^a
17	17,6	520	35,9	41,80±0,71 ^{ab}	3,93±0,26 ^b	106,65±6,21 ^{cd}	2,06±0,21 ^{ab}
18	19,4	700	20,0	34,37±1,18 ^a	9,81±0,27 ^g	217,10±6,88 ^{gh}	3,17±0,35 ^{ab}
19	19,4	700	30,0	37,40±1,84 ^{ab}	6,35±0,34 ^e	148,05±15,81 ^{cde}	2,46±0,53 ^{ab}
20	19,4	700	30,0	37,75±0,75 ^{ab}	6,32±0,29 ^e	147,65±8,38 ^{cde}	2,47±0,41 ^{ab}

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); AE – aksijalna ekspanzija (mm/g); RE – radijalna ekspanzija; LE – lateralna ekspanzija (%); IE – indeks ekspanzije; rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=10) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Vrednosti aksijalne, radijalne, lateralne ekspanzije i indeksa ekspanzije kretali su se u granicama od 33,94-45,74 mm/g; 2,20-11,73; 43,55-234,90 %; i 1,44-3,34 %, redom (tabela 12). Kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna beležio je vrednosti od 58,68 mm/g za aksijalnu, 7,47 za radijalnu, 384,13% za lateralnu ekspanziju i 4,84 za indeks ekspanzije.

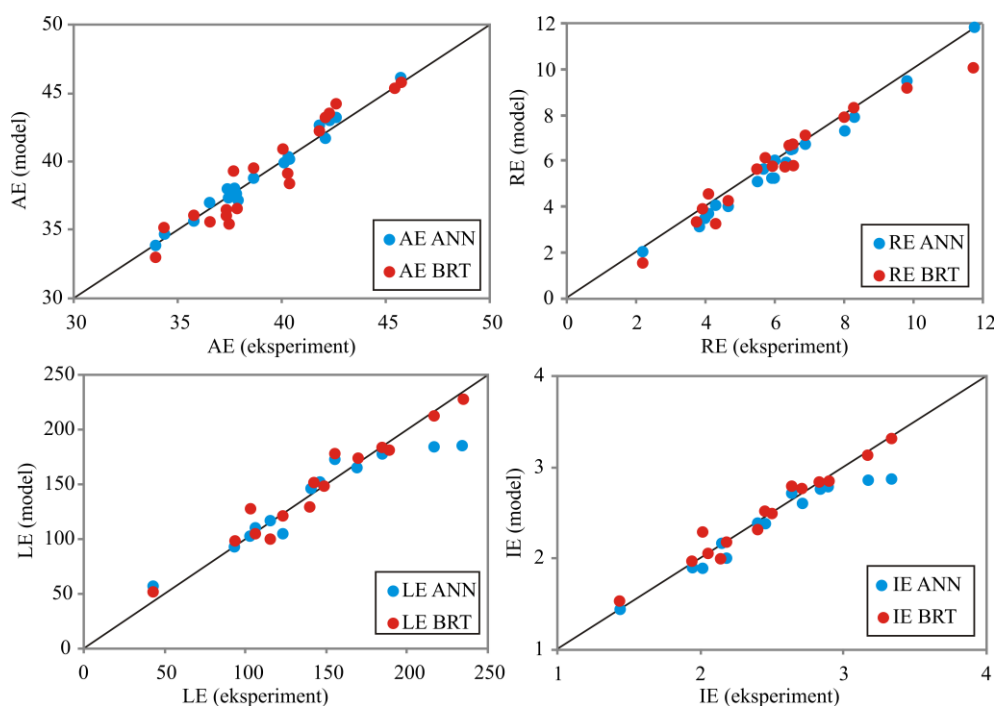
4.1.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na parametre ekspanzije flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

Ubrzano regresiono stablo (BRT) i veštačka neuronska mreža (ANN) formirali su modele za predviđanje parametara ekspanzije (AE – aksijalna ekspanzija, RE – radijalna ekspanzija, LE – lateralna ekspanzija i IE – indeks ekspanzije), na osnovu ulaznih eksperimentalnih vrednosti prikupljenih tokom procesa ekstrudiranja, menjanjem parametara vlage (M, %), brzine obrtanja pužnice (V, o/min) i udela korena cikoriije (P, %).

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje AE, RE, LE i IE, i iznosio je 500, 429, 462 i 467, redom. Maksimalna dužina grana za sve modele je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 44 težinskih koeficijenata i odsečka (*engl. biases*)). Na osnovu performansi ANN modela izabrano je 5 neurona u skrivenom sloju (mreža MLP 3-5-4), što je optimalan njihov broj, u cilju adekvatnog predviđanja izlaznih promenljivih (AE, RE, LE i IE), uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 13). Optimalna mreža koristila je BFGS 16 algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom i izlaznom sloju je bila tangens hiperbolicus.

Slika 30 prikazuje fitovanje modela kroz poklapanje crvenih/plavih tačaka koje odgovaraju predviđenim vrednostima BRT, odnosno ANN modela, sa eksperimentalnim podacima.



Slika 30. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima parametara ekspanzije flips proizvoda. AE – aksijalna ekspanzija (mm/g); RE – radijalna ekspanzija; LE – lateralna ekspanzija (%); IE – indeks ekspanzije.

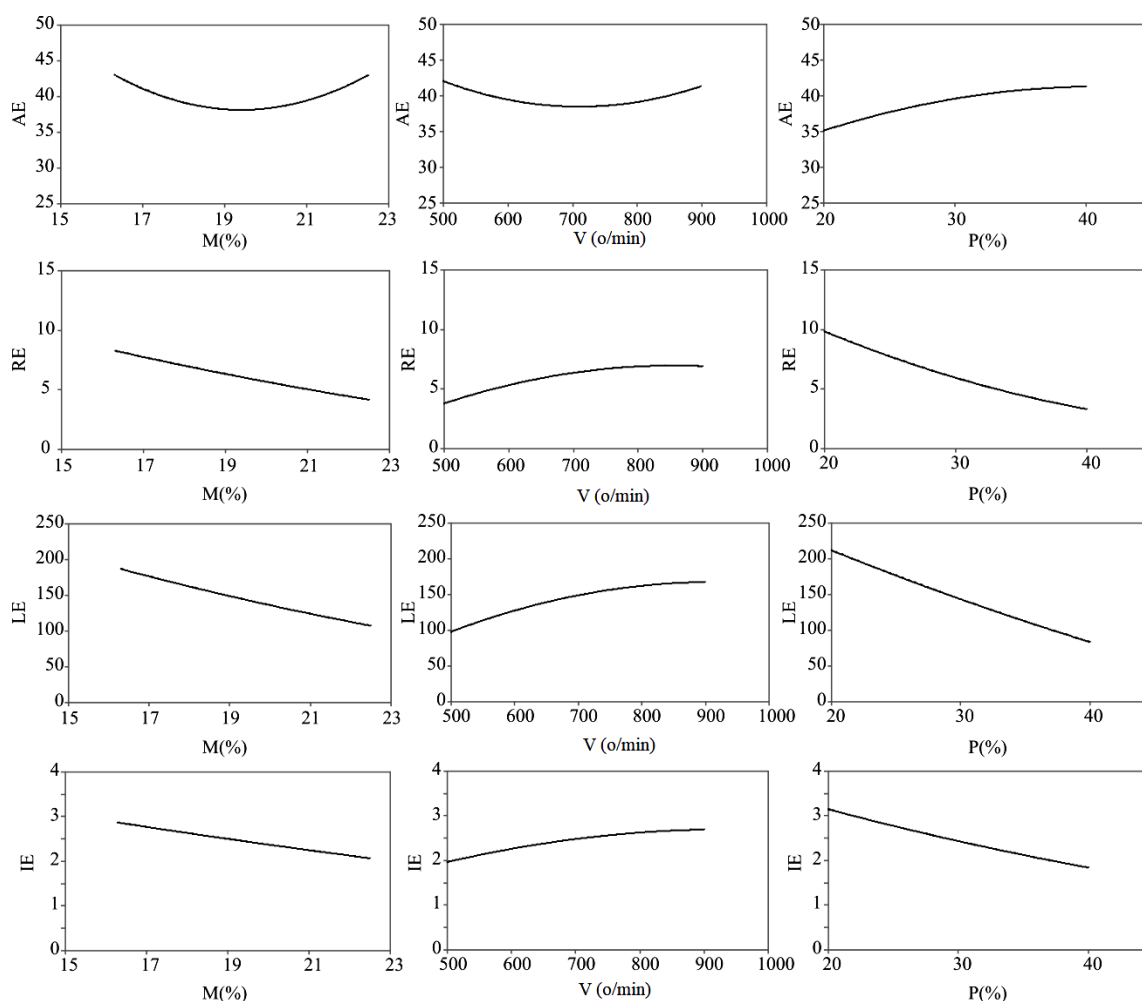
Tabela 13. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za parametre ekspanzije

Parametri ekspanzije	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
AE	1,067	0,398	0,905	0,988
RE	0,530	0,388	0,938	0,970
LE	15,039	9,284	0,895	0,953
IE	0,144	0,087	0,920	0,959

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške. AE – aksijalna ekspanzija (mm/g); RE – radijalna ekspanzija; LE – lateralna ekspanzija (%); IE – indeks ekspanzije

Na osnovu slike 30 i tabelle 13 može se primetiti da ANN model pokazuje bolje uklapanje predviđenih rezultata sa eksperimentalnim vrednostima u odnosu na BRT model. Vrednosti r^2 kod ANN modela kretale su se u rasponu od 0,953-0,988 za ispitivane parametre ekspanzije, dok

su r^2 vrednosi BRT modela iznosile 0,895-0,938. Greška ANN modela, izražena kroz RSME vrednost, takođe je bila manja za sve ispitivane parametre ekspanzije, osim za LE i IE, u odnosu na BRT model. Potrebno je naglasiti da su predviđačke performanse BRT modela bile samo nešto malo slabije od onih zabeleženih kod ANN modela (tabela 13), te se BRT takođe može uspešno primenjivati za predikciju karakteristika ekspanzije ekstrudiranih proizvoda, pogotovo kod LE i IE. Mnoge naučne studije su prikazale bolje predviđačke sposobnosti ANN modela u poređenju sa RSM i MLR (*engl. Multiple linear regression*) kada je u pitanju ekspanzija finalnih proizvoda (Shihani i sar., 2006; Pandiselvam i sar., 2019), što je u saglasnosti sa zapažanjima iznetim u ovoj disertaciji, dok BRT model još nije primenjivan u te svrhe. Uticaj procesnih parametara na karakteristike ekspanzije filps proizvoda kreiranih u okviru ove disertacije prikazani su uz pomoć veštačke neuronske mreže (slika 31).



Slika 31. Uticaj procesnih parametara (M – sadržaj vlage, V - brzina obrtanja pužnice, P - udeo korena cikoriije) na aksijalnu (AE), radijalnu (RE), lateralnu ekspanziju (LE) i indeks ekspanzije (IE)

Naime, sa slike 31 uočava se da procesni parametri imaju obrnuto proporcionalan uticaj na AE sa jedne strane, i RE, LE i IE kao ispitivanih parametara sa druge strane. Zabeležena je negativna korelacija AE sa RE, LE i IE ($r=-0,527$, $r=-0,519$ i $r=-0,502$, $p<0,05$, redom). Povećanje sadržaja vlage polazne smeše i udela korena cikoriije imali su negativan uticaj na RE, LE i IE, dok je porast brzine obrtanja pužnice doprineo njihovom povećanju. Obrnute zakonitosti su važile za uticaj procesnih parametara (M, V i P) na vrednost AE.

Aksijalna ekspanzija

Elastične i viskozne sile su dva glavna faktora koja regulišu ekspanziju proizvoda (Sumargo i sar., 2016). Dok se radijalno širenje obično pokreće elastičnim silama, aksijalno širenje zavisi od viskoznih sila.

Aksijalna ekspanzija opada sa povećanjem sadržaja vlage u polaznoj smeši do određene granice (19 %), te sa daljim povećanjem vlage (>19%) AE raste. Smanjenje AE se može objasniti smanjenjem elastičnosti testa u cevi ekstrudera pri sadržaju vlage do 19%, dok je veća količina vlage u smeši (>19%) doprinela intenzivnijem topljenju smeše smanjujući viskozitet rastopljene smeše, pri čemu se favorizovalo aksijalno širenje ekstrudata (Ryu i Ng, 2001).

Brzine obrtanja pužnice do 700 o/min uslovljava snižavanje AE, nakon čega se vrednost AE povećava (>700 o/min). Povećanje brzine obrtanja pužnice favorizovalo je aksijalno širenje usled manjeg pritiska na matrici koje se obično beleži pri visokoj vrednosti obrtanja pužnice. Slična zapažanja zabeležena su u studijama Gui i sar. (2012) i Kebede i sar. (2010).

Dodatak sirovine bogate vlaknima kao što je koren cikoriije mogao je imati uticaj na povećanje viskoznih sila unutar ekstrudera pri čemu je favorizovana aksijalna ekspanzija. Veća aksijalna ekspanzija može biti opravdana smanjenjem svojstava proticanja mase usled prisustva inulina poreklom iz korena cikoriije koji se takmiče sa skrobom za dostupnu vodu. Slična zapažanja izveli su Sumargo i sar. (2016) prilikom obogaćivanja pirinčanih ekstrudata brašnom pinto pasulja. Specifična dužina ekstrudata odnosno aksijalna ekspanzija zavisi od sastava smeše za ekstrudiranje, te tako dodatak kokosa od 10-30% u pirinčano-kukuruznu bazu značajno povećava aksijalnu ekspanziju ekstrudata u studiji Arivalagan i sar. (2018) koji beleže vrednosti aksijalne ekspanzije od 68,6-102 mm/g. U ovoj disertaciji zabeležen je porast aksijalne ekspanzije sa porastom udela korena cikoriije (slika 31) što se može pripisati smanjenju udela skroba u polaznoj smeši, te povećanju nasipne mase (od 137,67 do 333,67 g/L) i gustine proizvoda (od 310 do 830 kg/m³). Smanjenjem udela skroba u smeši posledično se smanjuje i stepen želatinizacije skroba usled čega se formiraju slabije ekspanzovani proizvodi. Takva zapažanja zabeležili su i Arivalagan i sar. (2018).

Radijalna ekspanzija

Povećanje radijalne ekspanzije može se povezati sa manjim sadržajem vlage polazne smeše i većim brzinama obrtanja pužnice (slika 31), što je zabeleženo i u studiji Pansawat i sar. (2008). Pokazano je da radijalna ekspanzija opada sa povećanjem sadržaja vlage usled ponašanja vode kao plastifikatora, dok zapreminsko širenje ćelija tokom ekstrudiranja zavisi od jačine i viskoziteta rastopa. Slične zaključke izveli su i Pushpadass i sar. (2008).

Radijalna ekspanzija ispitivanih ekstrudata raste sa povećanjem brzine obrtanja pužnice usled povećanja sila smicanja koje se prenose sa pužnica na materijal unutar cevi ekstrudera, i tako podstiče formiranje uniformnijeg testa koje potom ispoljava bolje ekspanzione karakteristike (slika 31) (Özer i sar., 2004).

Zamenom dela skroba sirovinom bogatom vlaknima smanjuje se ekspanzija skroba u radijalnom pravcu. Komponente poput inulina iz korena cikoriije nisu kompatibilne sa skrobom i verovatno bivaju poravnane aksijalno usled sila smicanja u ekstruderu, ometajući na taj način radijalno širenje. Vlakna naime smanjuju elastične osobine skroba što uzrokuje smanjeno bubrenje i redukciju radijalne ekspanzije. Slično beleže Karkle i sar. (2012) pri dodatku pulpe jabuke ekstrudiranim proizvodima. Yanniotis i sar. (2007) su zaključili da dodatak pektina i drugih vlakana poreklom iz žita smanjuje radijalnu ekspanziju i povećava tvrdoću ekstrudiranih proizvoda.

U studiji Han i sar. (2018) dodatak gume akacije, inulina ili rezistentnog skroba je uticao na smanjenje radijalne ekspanzije, dok je aksijalna ekspanzija ostala gotovo nepromenjena.

Primetna je negativna korelacija između radijalne i aksijalne ekspanzije ($r=-0,53$, $p<0,05$). Iz tabele 12 jasno se uočava da maksimalna vrednost aksijalne ekspanzije podudara sa minimalnom vrednošću radijalne ekspanzije (uzorak 16), i obrnuto (uzorak 8), dok se takođe sa porastom udela korena cikoriije smanjuje radijalna, odnosno povećava aksijalna ekspanzija (slika 31) što je u saglasnosti sa prethodno navedenim literaturnim podacima.

Lateralna ekspanzija

Rezultati lateralne ekspanzije zabeleženi u okviru ove doktorske disertacije iznosili su 43,55-217,10 % (tabela 12). Isti red veličina za parametar LE zabeležen je i u drugim studijama (Wani i Kumar, 2016; Kumar i sar., 2010).

Povećanje vlage uticalo je na smanjenje lateralne ekspanzije usled smanjenja elastičnosti testa u cevi ekstrudera formirane pri takvim procesnim uslovima (Kumar i sar., 2010).

Lateralna ekspanzija rasla je sa povećanjem brzine obrtanja pužnice, usled jačeg mehaničkog smicanja ostvarenog tokom procesa proizvodnje, dajući proizvode veće lateralne ekspanzije (Wani i Kumar, 2016).

Povećanje udela korena cikoriije doveo je do smanjenja LE, usled povećanja udela inulina i drugih neskrobnih komponenata (poput proteina), usle čega se formiraju njihovi međusobni kompleksi ometajući na taj način lateralnu ekspanziju. Slične fenomene zabeležili su i Wani i Kumar (2015) i Seth i sar (2015).

Indeks ekspanzije

Zabeležene vrednosti indeksa ekspanzije (IE) iznosile su 1,44-3,34. Sličan rang vrednosti bio je primetan i u studijama Seth i sar. (2015) i Salata i sar. (2014).

Visok sadržaj vlage doveo je do smanjenja IE ekstrudata pirinča obogaćenih korenom cikoriije usled smanjenja sile trenja i stvaranjem slabijeg pritiska na matrici. Naime, povećanje sadržaja vlage uslovljava razblaživanje materijala u cevi ekstrudera, omogućava njegov brži i lakši protok, i skraćuje vreme neophodno za ekstruziono kuvanje. Ovi uslovi su odgovorni za ihibiranje formiranja velikih vazdušnih mehurova pa samim tim i proizvoda smanjene ekspanzije (slika 31). Slično je zabeleženo i u drugim studijama (Seth i sar., 2015.; Salata i sar., 2014)

Povećanje brzine obrtanja pužnice dovelo je do porasta IE (slika 31). Ovaj trend se može objasniti postepenim povećanjem sila smicanja unutar cevi ekstrudera odgovornih za makromolekularnu degradaciju materijala. Ova okolnost dovodi do postizanja ujednačenog testa koje posledično dobija bolja svojstva ekspanzije pri izlasku iz kalupa. Slično zapažanje su dali Zhao i sar. (2021).

Povećanje udela korena cikoriije negativno utiče na IE finalnog proizvoda usled prisustvom većeg sadržaja vlakna inulina. Vlakna zapravo ometaju formiranje skrobnog filma oko vazdušastih ćelija redukujući njihovo formiranje i uvećanje, te negativno utiču na stvaranje velikih vazdušastih mehurova. Pored toga, vlakna utiču na viskozitet topljenja u cevi ekstrudera jer vezuju vodu umanjujući na taj način količinu dostune vode neophodne za širenje mase. Štaviše, dodatak vlakana poreklom iz soje ili dodatak opne kukuruza uticao je na smanjenje indeksa ekspanzije. Ista zapažanja zabeležena su i u studijama Seth i sar. (2015), Salata i sar. (2014) i Nascimento i sar. (2017) u kojima je povećanje vlage i dela brašna tropske biljke jam, lista manioke, brašna soje ili opne kukuruza bogatih vlaknima pokazalo negativan uticaj na ekspanziju proizvoda.

4.2. Nasipna masa

Nasipna masa (NM) je važna karakteristika ekstrudiranih proizvoda i određena je gustoćom, oblikom i veličinom samog proizvoda (Rytel i sar., 2013). Stoga, nasipna masa predstavlja važnu osobinu flaps proizvoda u prehrambenoj industriji kada je u pitanju količina proizvoda koja ispunjava pakovanje standardne mase. Obično zavisi od ekspanzionih osobina testa na izlasku iz matrice cevi ekstrudera, s tim što je nasipna masa uslovljena širenjem ekstrudirane mase u svim pravcima (radijalno, aksijalno i longitudinalno). Sama nasipna masa ekstrudata je obrnuto proporcionalna ekspanziji istih (Singha i sar., 2018).

Rezultati dobijeni za parametar nasipne mase proizvedenih ekstrudata dati su u tabeli 14.

Tabela 14. Vrednosti naspine mase za dobijene ekstrudate

Uzorak	M	V	P	NM
1	21,2	820	35,9	271,90±2,86 ^f
2	19,4	700	30,0	211,93±1,26 ^{ef}
3	17,6	820	35,9	186,50±0,98 ^d
4	19,4	700	30,0	217,67±2,46 ^{ef}
5	21,2	820	24,1	210,93±2,07 ^e
6	22,5	700	30,0	282,77±2,54 ^j
7	19,4	900	30,0	183,27±0,30 ^d
8	17,6	820	24,1	110,33±0,68 ^a
9	19,4	700	30,0	223,00±1,66 ^{ef}
10	21,2	520	24,1	266,67±2,14 ^{hi}
11	16,3	700	30,0	137,67±1,59 ^b
12	19,4	700	40,0	261,40±2,20 ^h
13	19,4	500	30,0	273,17±2,85 ⁱ
14	19,4	700	30,0	213,27±1,30 ^{ef}
15	17,6	520	24,1	159,93±1,43 ^c
16	21,2	520	35,9	333,67±1,74 ^k
17	17,6	520	35,9	242,87±1,17 ^g
18	19,4	700	20,0	159,13±1,11 ^c
19	19,4	700	30,0	217,00±0,20 ^{ef}
20	19,4	700	30,0	217,67±2,87 ^{ef}

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); NM – nasipna masa (g/L); rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=3) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Vrednosti nasipne mase zabeležene u studiji sprovedenoj u okviru ove disertacije kretale su se u rasponu od 110,33 g/L do 333,67 g/L. Najmanja vrednost nasipne mase izmerena je kod ekstrudata sa 24,1% korena cikoriije, 17,6% vlage, proizvedenog pri brzini pužnice od 820 o/min.

Sa druge strane, najveća naspina gustina određena je kod proizvoda sa 35,9% cikoriije, ekstrudiranog pri 21,2% vlage i 580 o/min.

Slični rasponi veličina nasipne mase zabeleženi su i u studiji Alam i sar. (2016b) koji su ekstrudirali smešu pirinčanog brašna, sojinog brašna, brašna šargarepe i karfiola, čime su dobijeni ekstrudati sa povećanim sadržajem vlakana i vrednostima nasipne mase od 112 do 365 g/L. Singha i sar. (2018) takođe su prijavili približne rezultate nasipne mase za ekstrudate obogaćene vlaknima (98,3 do 445,5 g/L). Kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna pokazao je vrednost nasipne mase od $65,9 \pm 1,67$ g/L.

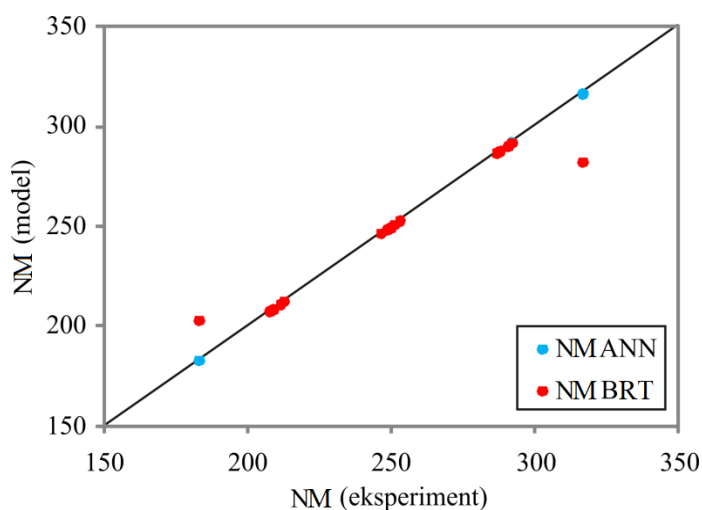
4.2.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na nasipnu masu flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

BRT i ANN modelovanje je primenjeno u cilju predviđanja vrednosti nasipne mase uslovljene ulaznim parametrima ekstrudiranja.

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje nasipne mase koji je iznosio 200. Maksimalna dužina grana za sve modele je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 36 težinskih koeficijenata i odsečaka). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju koji je bio 7 (mreža MLP 3-7-1), u cilju adekvatnog predviđanja izlazne promenljive (nasipne mase), uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 15). Optimalna mreža koristila je BFGS 15 za algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom i izlaznom sloju je bila identična (*engl. identity*).

Na slici 32 prikazano je fitovanje vrednosti predviđenih BRT (crvene tačke) i ANN modela (plave tačke) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima nasipne mase u okviru ove disertacije.



Slika 32. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima nasipne mase (NM)

Statistički pokazatelji kvaliteta uklapanja formiranih modela (RSME i r^2) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima prikazani su u tabeli 15.

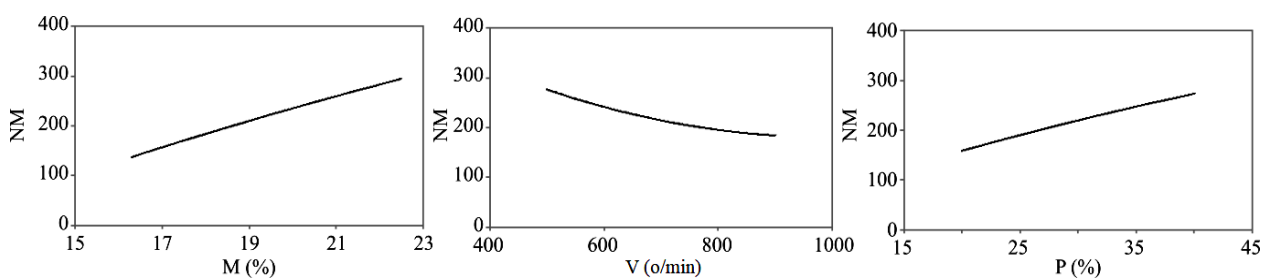
Tabela 15. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za nasipnu masu

Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r ² _{BRT}	r ² _{ANN}
NM	8,853	0	0,94	1

r² - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške, NM – nasipna masa (g/L).

Na osnovu slike 32 i tabele 15 jasno je uočljivo da je ANN model gotovo idealno predvideo vrednosti nasipne mase, s obzirom na to da je greška modela jednaka nuli a koeficijent determinacije iznosi 1. Sa druge strane, BRT model takođe je pokazao visoku vrednost koeficijenta determinacije, međutim greška modela izražena kroz RMSE vrednost iznosila je čak 8,853. S toga se bolje predviđačke sposobnosti za nasipnu masu u ovom slučaju mogu pripisati ANN modelu. Isti zaključak proizašao je i iz mnogobrojnih naučnih studija koje su pokazale da ANN bolje predviđa vrednost izlazanog parametra nasipne mase u odnosu na druge modele kao što su MLR (*engl. multiple linear regression*) i BBD (*engl. Box Bhenken design*) modeli (Pandiselvam i sar., 2019; Srikanth i sar., 2020).

Uticaj procesnih parametara ekstrudiranja (M, V, P) na nasipnu masu prikazani su na slici 33.

**Slika 33.** Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na nasipnu masu (NM)

Porast sadržaja vlage uticao je na porast nasipne mase dobijenih ekstrudata (slika 33). Naime, visok sadržaj vlage može se zadržati u cevi ekstrudera što uzrokuje veću razliku pritiska na izlasku iz matrice i verovatno onemogućava ekspanziju, te generiše kompaktnije proizvode. Poznato je da su ekspanzione karakteristike flips proizvoda i njihova nasipna masa u negativnoj korelaciji što se vidi i iz rezultata ove disertacije ($r=-0,91$, $p<0,001$), što je u saglasnosti sa rezultatima Kojić i sar. (2021) and Singha i sar. (2018).

Povećanje brzine obrtanja pužnice rezultiralo je nižom nasipnom masom ekstrudata na bazi pirinča sa dodatom korena cikoriije (slika 33). Velika brzina obrtanja pužnice povećava unos energije u sam proces (tabela 16), i posledično ubrzava nagli pad pritiska na matrici, što daje ekstrudate niže nasipne mase. Sličan trend je zabeležen u studijama Alam i sar. (2016b) i Sandrin i sar. (2018).

Tabela 16. Potrošnja specifične mehaničke energije (SME) tokom proizvodnje ekstrudata

Uzorak	M	V	P	SME
1	21,2	820	35,9	147,5
2	19,4	700	30,0	159,7
3	17,6	820	35,9	193,3
4	19,4	700	30,0	137,6
5	21,2	820	24,1	130,8
6	22,5	700	30,0	124,2
7	19,4	900	30,0	166,0
8	17,6	820	24,1	175,7
9	19,4	700	30,0	141,9
10	21,2	520	24,1	117,1
11	16,3	700	30,0	166,5
12	19,4	700	40,0	157,0
13	19,4	500	30,0	121,7
14	19,4	700	30,0	154,1
15	17,6	520	24,1	145,7
16	21,2	520	35,9	123,2
17	17,6	520	35,9	168,0
18	19,4	700	20,0	143,1
19	19,4	700	30,0	146,4
20	19,4	700	30,0	143,9
CV				5,56

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); SME – potrošnja specifične mehaničke energije (Wh/kg), CV (%) – koeficijent varijacije određen kod SME vrednosti zabeleženih kod centralnih tačaka (2, 4, 9, 14, 19 i 20).

Inulin iz korena cikoriije je odgovoran za blago povećanje nasipne mase zbog njegovog uticaja na viskozitet testa i formulaciju kompaktne strukture proizvoda (slika 33). Sličan trend je zabeležen nakon dodavanja komine šargarepe i karfiola bogatih vlaknima u ekstrudate soje i pirinča (Alam i sar., 2016b). Inulin iz korena cikoriije je dijetetsko probiotsko vlakno, koje se može koristiti kao sredstvo za zgušnjavanje. Dugolančani inulin zajedno sa skrobom ima sposobnost formiranja gelove visoke tvrdoće i posledično uzrokuje visoku zapreminsku gustinu proizvoda (Jiamjariyatam, 2017).

4.3. Gustina i zapremina

Kako povećan sadržaj proteina i prehrambenih vlakana kroz različite dodatke polaznim brašnima razrušavaju zidove ćelija i ne dozvoljavaju ekspanzovanje proizvoda, na taj način se formiraju flaps proizvodi veće gustine i manje zapremine. Sa druge strane, prava gustina ekstrudata ne zavisi značajno od procesnih uslova proizvodnje i karakteristika polaznih materijala, ali veoma zavisi od sadržaja vlage polazne smeše (Bisharat i sar., 2013). Stoga je važno odrediti gorepomenute karakteristike proizvoda i povezati ih sa uticajima sastava polazne smeše i uslovima ekstrudiranja.

Niža vrednost gustine je poželjna karakteristika ekstrudata i obrnuto je proporcionalna ekspanziji istih. U okviru ove disertacije uočena je negativna korelacija između ova dva parametra, sa faktorom korelacije od -0,89, statistički značajnim na nivou $p < 0,001$. Kuvanje ekstru-

zijom promoviše želatinizaciju skroba, povećavajući zapreminu proizvoda, uz smanjenje njihove gustine. Dodavanje različitih sirovina, uglavnom biljnog porekla, ukazalo je na promene u gustini ekstrudata (Bisharat i sar., 2013).

Nakon sprovedenih analiza, dobijene vrednosti ispitivanih parametara gustine i zapremine ekstrudiranih proizvoda dati su u tabeli 17.

Tabela 17. Dobijene vrednosti (prividnih) zapremine i gustine flips proizvoda

Uzorak	M	V	P	G	Z	PG	PZ
1	21,2	820	35,9	540,00±0,62 ^j	980,00±1,03 ^{ab}	454,66±0,32 ^l	1135,83±0,95 ^d
2	19,4	700	30,0	418,00±0,12 ^f	1340,00±0,65 ^{bc}	354,17±0,21 ^g	1510,27±1,99 ⁱ
3	17,6	820	35,9	540,00±0,55 ^j	960,00±0,22 ^{ab}	323,03±0,33 ^f	1634,28±1,93 ^j
4	19,4	700	30,0	419,00±0,22 ^f	1350,00±0,90 ^{bc}	355,01±0,40 ^g	1509,30±1,57 ⁱ
5	21,2	820	24,1	360,00±0,26 ^e	1400,00±0,93 ^{bc}	359,87±0,21 ^h	1491,36±1,54 ^h
6	22,5	700	30,0	520,00±0,30 ⁱ	1020,00±0,91 ^{ab}	398,10±0,45 ^j	1298,19±1,30 ^f
7	19,4	900	30,0	350,00±0,14 ^d	1520,00±0,22 ^{bc}	262,65±0,26 ^e	1857,29±1,05 ^k
8	17,6	820	24,1	250,00±0,17 ^a	2040,00±0,41 ^{bc}	166,94±0,86 ^a	3062,73±2,38 ^o
9	19,4	700	30,0	419,00±0,26 ^f	1345,00±0,96 ^{bc}	354,64±0,25 ^g	1509,97±0,99 ⁱ
10	21,2	520	24,1	500,00±0,24 ^h	1080,00±0,70 ^{ab}	368,67±0,36 ⁱ	1389,70±1,65 ^g
11	16,3	700	30,0	310,00±0,15 ^b	1730,00±0,10 ^c	216,79±0,19 ^b	2301,79±2,38 ^m
12	19,4	700	40,0	560,00±0,28 ^l	990,00±0,93 ^{ab}	534,39±0,52 ⁿ	1072,31±0,95 ^b
13	19,4	500	30,0	550,00±0,22 ^k	970,00±0,70 ^{ab}	479,79±0,37 ^m	1092,17±0,82 ^c
14	19,4	700	30,0	418,00±0,28 ^f	1355,00±0,85 ^{bc}	355,05±0,28 ^g	1510,43±1,18 ⁱ
15	17,6	520	24,1	330,00±0,16 ^c	1570,00±0,95 ^{bc}	257,88±0,13 ^d	2002,88±1,34 ^l
16	21,2	520	35,9	830,00±0,46 ^m	640,00±0,35 ^a	875,97±0,10 ^o	597,32±0,79 ^a
17	17,6	520	35,9	470,00±1,36 ^g	990,00±0,61 ^{ab}	447,26±0,28 ^k	1235,16±0,82 ^e
18	19,4	700	20,0	310,00±0,23 ^b	1810,00±0,49 ^c	230,75±0,96 ^c	2395,97±1,89 ⁿ
19	19,4	700	30,0	419,00±0,12 ^f	1340,00±0,80 ^{bc}	355,49±0,39 ^g	1509,78±1,63 ⁱ
20	19,4	700	30,0	418,00±0,12 ^f	1350,00±0,79 ^{bc}	354,17±0,25 ^g	1510,61±1,10 ⁱ

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikorije (%); G – gustina ekstrudata izračunata primenom Mettler Toledo density kit-a; Z - gustina ekstrudata izračunata primenom Mettler Toledo density kita; PG – prividna gustina; PZ – prividna zapremina; rezultati su izraženi kao srednja vrednost (n=10) ± s.d.

Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Vrednosti gustine ekstrudata i prividne gustine ekstrudate kretale su se u rasponu od 250-830 kg/m³ i 166,94-875,97 kg/m³ redom, dok su zapremina i prividna zapremina ekstrudata iznosile 640-2040 m³, odnosno 597,32-3062,73 m³. Najveće vrednosti gustine i prividne gustine zabeležene su kod uzorka 16 koji je imao najmanju ekspanziju (1,44), dok je najmanja vrednost gustine i prividne gustine zabeležena kod uzorka 8 koji je imao najveću ekspanziju (3,34). Kontrolni uzorak beležio je niže vrednosti gustine (110 kg/m³), odnosno prividne gustine (71,51 kg/m³), i više vrednosti zapremine (3100 m³), tj. prividne zapremine (5718,79 m³) u poređenju sa ekstrudatima obogaćenim korenom cikorije. To je bilo očekivano uzimajući u obzir odsustvo korena cikorije kod kontrolnog uzorka.

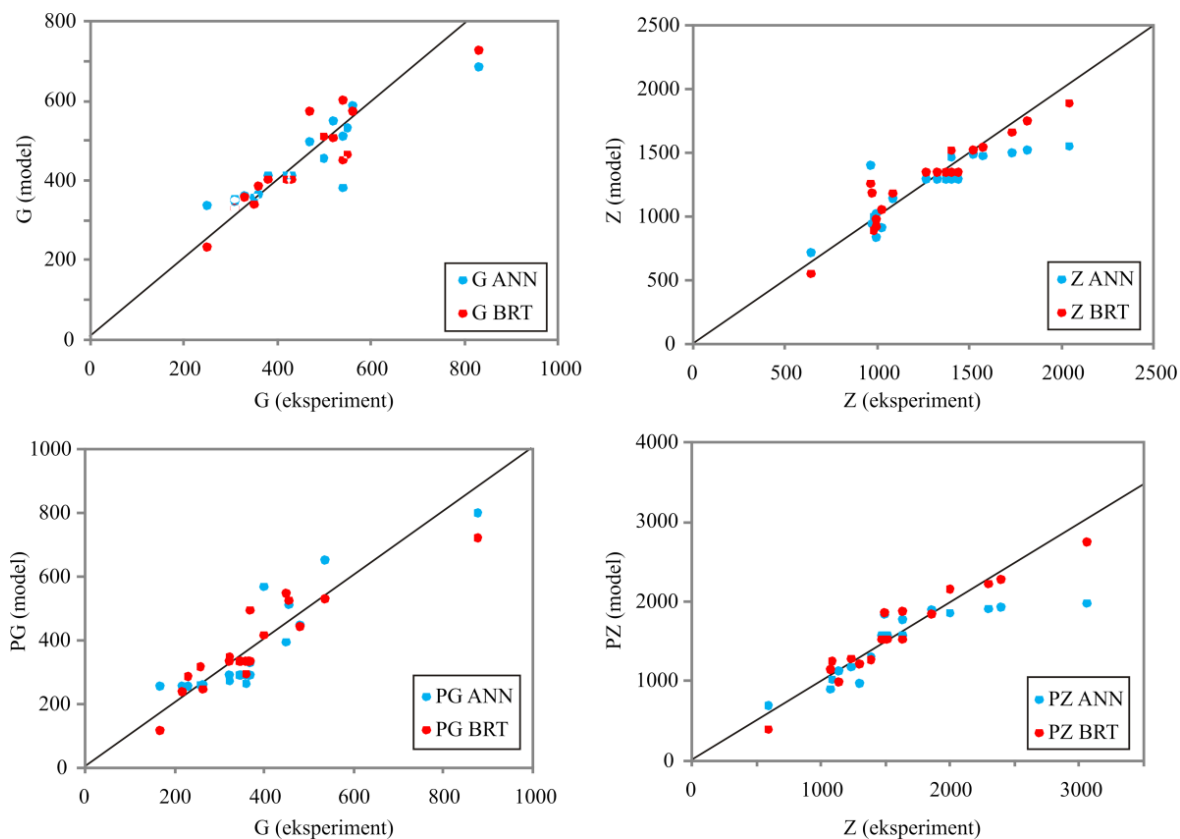
4.3.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na (prividnu) zapreminu i gustinu flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

Cilj ovog dela doktorske disertacije je da se ispita mogućnost predviđanja parametara gustine i zapremine flips proizvoda (gustine, zapremine, prividne gustine i prividne zapremine), kao funkcije nezavisnih promenljivih: vlage materijala (M), brzine obrtanja pužnice ekstrudera (V) i udela korena cikoriije (P). Za formiranje matematičkog modela korišćeno je ubrzano regresiono stablo i veštačka neuronska mreža.

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja i iznosio je 158, 162, 55 i 147 grana u modelima za predviđanje gustine, zapremine, prividne gustine i prividne zapremine, respektivno. Maksimalni dužina grana za sve modele je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 52 težinska koeficijenta i odsečaka). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju koji je bio 6 (mreža MLP 3-6-4), u cilju adekvatnog predviđanja izlaznih promenljivih (gustine, zapremine, prividne gustine i prividne zapremine), uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 18). Optimalna mreža koristila je BFGS 6 algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju je bila identična (*engl. identity*), a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je bila logistička (*engl. logistic*).

Slika 34 prikazuje uklapanje vrednosti izlaznih parametara (zapremine, gustine, prividne zapremine i prividne gustine), predviđenih primenom BRT (crvene tačke) i ANN modela (plave tačke), sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (podaci predstavljeni na x-osi). U idealnom slučaju predviđanja modela, crvene odnosno plave tačke trebale bi da se poklapaju sa linijom iscrtanom eksperimentalnim podacima.



Slika 34. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima gustine (G), zapremine (Z), prividne gustine (PG) i prividne zapremine (PZ) flips proizvoda.

Kvalitet slaganja BRT i ANN modela sa eksperimentalno dobijenim vrednostima je testiran klasičnim statističkim pokazateljima (r^2 , RMSE) i predstavljen je u tabeli 18.

Tabela 18. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za parametre (prividne) gustine i zapremine

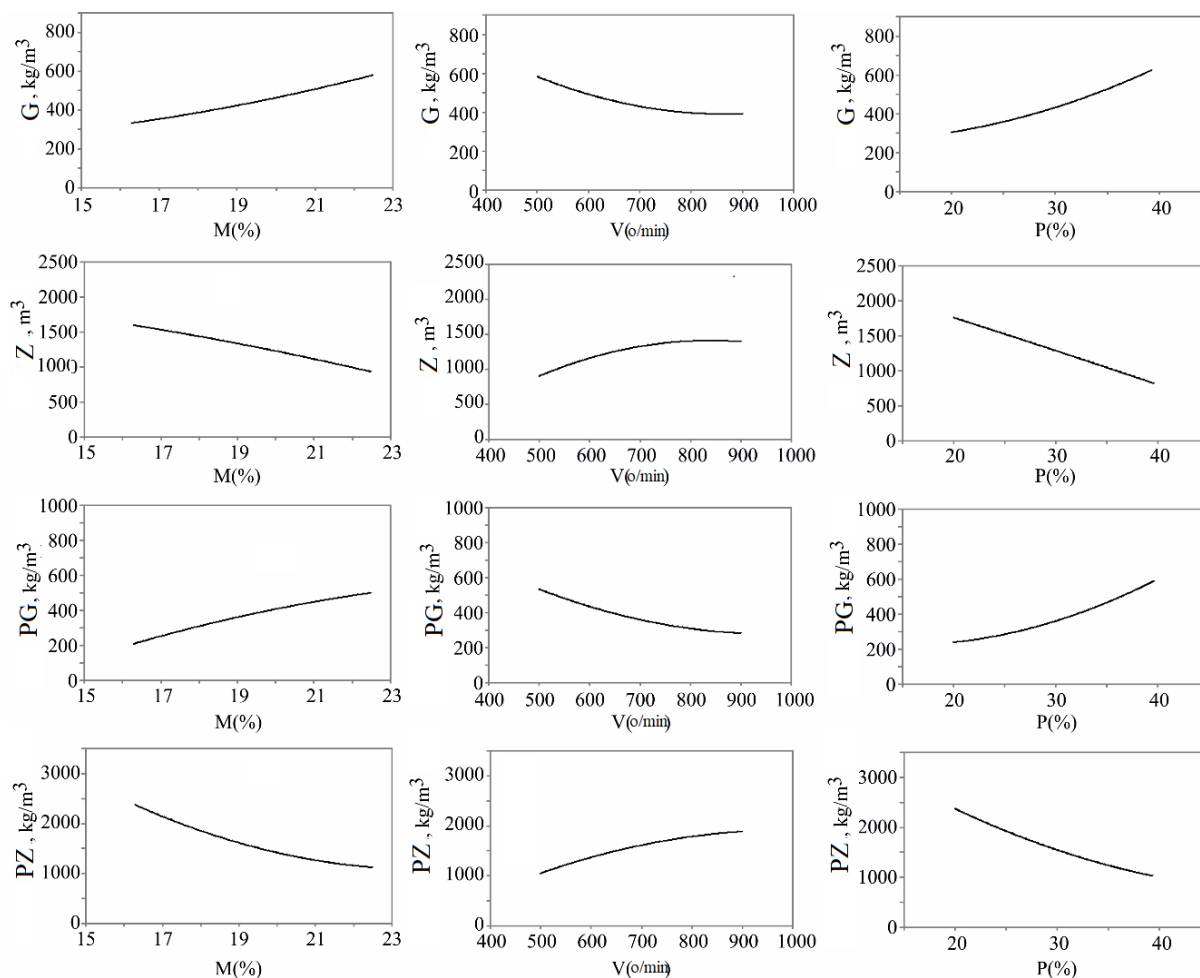
Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
G	56,729	47,823	0,827	0,856
Z	182,312	108,698	0,741	0,897
PG	70,847	60,574	0,787	0,828
PZ	307,516	153,398	0,701	0,916

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške, G – gustina ekstrudata izračunata primenom Mettler Toledo density kit-a; Z - gustina ekstrudata izračunata primenom Mettler Toledo density kita; PG – prividna gustina; PZ – prividna zapremina

Može se zaključiti da su predviđene vrednosti parametara gustine i zapremine flips proizvoda na osnovu rezultata ANN modela veoma bliske merenim vrednostima, u smislu visokih r^2 vrednosti koje su veće od r^2 vrednosti BRT modela. Takođe, koren srednjeg kvadrata greške niži je kod ANN nego kod BRT modela. Ovi rezultati govore u prilog tome da ANN model ima veliki potencijal u primeni predviđanja gustine, zapremine, prividne gustine i prividne zapremine ekstrudiranih proizvoda. Studija izvedena u okviru ove disertacije može se smatrati jednom od prvih koja je konkretno pokazala predviđačku prednost ANN modela u odnosu na BRT model kada je u pitanju zapremina i gustina flips proizvoda. Primena ANN modela za predviđanje uticaja procesnih parametara ekstrudiranja (M, V i P) na ponašanje izlaznih parametara od interesa (gustina i zapremina ekstrudata) prikazana je na slici 35. ANN model se može smatrati učinkovitijim u predviđanju u odnosu na BRT model, te je ANN model odabran za analiziranje uticaja ekstrudiranja na sve izlazne parametre.

Primećen je isti trend ponašanja parametara zapremine i prividne zapremine, kao i gustine i prividne gustine flips proizvoda, zavisno od procesnih parametara ekstrudiranja. U prilog tome govori pozitivna korelacija određena između Z i PZ ($r=0,93$, statistički značajan na nivou $p \leq 0,001$), kao i G odnosno PG flips proizvoda ($r=0,94$, statistički značajan na nivou $p \leq 0,001$). Sa druge strane, zabeležene su negativne korelacije između Z i G ($r=-0,93$, $p \leq 0,001$), odnosno PZ i PG ($r=-0,85$, $p \leq 0,001$). Na osnovu toga se može zaključiti da iste zakonitosti važe i pri određivanju zapremine i gustine ekstrudata primenom Arhimedovog zakona (tj. uz pomoć Mettler Toledo density kit-a), kao i prilikom računskog određivanja ovih parametara gde figurišu stvarne fizičke karakteristike pojedinačnih flips proizvoda (dužuna, širina, masa) (slika 35). Slično tome, Thymi i sar. (2005) su takođe primenjivali dve metode određivanja (prividne) gustine ekstrudiranog kukuruznog skroba (računska metoda i metoda potapanja uzorka u tečnost), pri čemu su došli do istih zaključaka.

Povećanje sadržaja vlage smeše povećava gustinu ekstrudata (slika 35). Veći sadržaj vlage smanjuje mogućnost topljenje granula skroba, čime se povećava prividna gustina. Tsokolar-Tsikopoulos i sar. (2015) su prijavili isti trend tokom proizvodnje ekstrudata sa dodatkom inulina, uz napomenu da vlaga verovatno utiče na promene u molekularnoj strukturi amilopektina iz skrobnih materijala.



Slika 35. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na (prividnu) gustinu i zapreminu. G – gustina ekstrudata izračunata primenom Mettler Toledo density kit-a; Z - gustina ekstrudata izračunata primenom Mettler Toledo density kita; PG – prividna gustina; PZ – prividna zapremina

Povećanje brzine pužnice rezultiralo je ekstrudatima sa nižim vrednostima gustine i većim vrednostima zapremine dobijenim u okviru ove disertacije. Visoke brzine obrtanja pužnice smanjuju viskozitet topljenja, ubrzavaju rast mehurića i daju proizvode sa formiranim vazdušastim ćelijama velike zapremine (slika 35). Takve zaključke su takođe izveli Yağcı i sar. (2020).

Dodatak korena cikoriije je prouzrokovao povećanje gustine i smanjenje zapremine (slika 35) pretpostavlja se zbog prisustva vlakana, kao što je objavljeno i u studiji Hegazy i sar. (2017). Saopšteno je povećanje sadržaja vlakana nakon dodavanja leblebije i paradajza u odnosu na kontrolni uzorak. Sirovine bogate vlaknima, kao što je koren cikoriije, najviše doprinose povećanju gustine proizvoda jer utiču na efikasnost „pakovanja“ molekula. Linearni polimeri, kao što su prehrambena vlakna poput inulina, sposobni su da se efikasnije pakuju. Isti zaključak je izveden iz studije Vargas-Solórzano i sar. (2014). Ipak, novoformirani proizvodi sa dodatkom sirovina bogatim vlaknima ili drugim nutritivnim komponentama mogu se smatrati adekvatnim prehrambenim proizvodima sa dodatkom vrednošću i zdravstvenim benefitima, gde se pri optimalnim uslovima proizvodnje mogu ublažiti negativni uticaju na fizičke karakteristike proizvoda.

4.4. Poroznost

Tabela 19 daje uvid u vrednosti poroznosti svakog od ispitivanih flips proizvoda.

Tabela 19. Poroznost ispitivanih flips proizvoda

Uzorak	M	V	P	Poroznost
1	21,2	820	35,9	83,87±1,54 ^{def}
2	19,4	700	30,0	81,25±0,75 ^{cd}
3	17,6	820	35,9	72,79±1,86 ^b
4	19,4	700	30,0	81,27±1,40 ^{cd}
5	21,2	820	24,1	85,70±0,89 ^{efg}
6	22,5	700	30,0	84,81±0,83 ^{def}
7	19,4	900	30,0	81,33±1,83 ^{cde}
8	17,6	820	24,1	88,72±1,08 ^{fg}
9	19,4	700	30,0	81,48±1,66 ^{cd}
10	21,2	520	24,1	83,91±1,26 ^{def}
11	16,3	700	30,0	78,29±1,72 ^c
12	19,4	700	40,0	72,47±1,79 ^b
13	19,4	500	30,0	69,77±1,15 ^{ab}
14	19,4	700	30,0	81,29±1,79 ^{cd}
15	17,6	520	24,1	88,32±0,75 ^{fg}
16	21,2	520	35,9	66,29±1,25 ^a
17	17,6	520	35,9	70,21±1,72 ^{ab}
18	19,4	700	20,0	90,96±1,21 ^g
19	19,4	700	30,0	81,49±1,46 ^{cd}
20	19,4	700	30,0	81,26±1,57 ^{dcd}

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=10) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Poroznost prehrambenih proizvoda je usko povezana sa fizičkim osobinama istih, kao što su mehaničke i teksturne osobine, dok je sa druge strane u negativnoj korelaciji sa prividnom gustom ekstrudata. Varijacije u poroznosti, veličini i distribuciji pora imaju važnu ulogu u određivanju teksturnih svojstava ekstrudirane hrane (Włodarczyk-Stasiak i sar., 2014). Tako se najveća tvrdoća proizvoda povezuje sa najmanjom poroznošću (Ramos Diaz i sar., 2015), što je vidljivo i iz rezultata ove disertacije, gde uzorak pod rednim brojem 16 pokazuje najveću tvrdoću (237,29 N) i najmanju poroznost (66,29 %).

Poroznost ekstrudata u ovoj studiji kretala se u rasponu od 66,29 do 90,96 % (tabela 19), što je isti red veličine za poroznost zabeleženu u studijama Ramos Diaz i sar. (2015) (poroznosti od 73,3-86,7% za kukuruzne ekstrudate sa različitim udelima amarantusa, kinoe i kanive), i Bisharat i sar. (2013) (poroznost kukuruznih ekstrudata sa dodatkom brokolija kretala se u rasponu od 80-94%). Kontrolni uzorak imao je vrednost poroznosti od 92,75 %, što je bilo i očekivano s obzirom na to da u ovom flips proizvodu nisu bila prisutna prehrambena vlakna (inulin) poreklom iz korena cikoriije koja zadržavaju vodu i smanjuju ekspanziju proizvoda. Giannini i sar.

(2013) napominju da ekstrudati obogaćeni prerambenim vlaknima poreklom iz biljaka (kao što su jabuka ili ovas) imaju bolje nutritivne karakteristike, iako se pri tome neke fizičke karakteristike proizvoda menjaju (kao što je poroznost).

Kao što Philipp i sar. (2017) navode, struktura ekstrudiranih proizvoda je važan parametar koji je usko povezan sa mehaničkim i zvučnim osobinama, odnosno senzorskom percepcijom proizvoda. Pored toga, tvrdoća proizvoda veoma zavisi od poroznosti, gde porozniji proizvodi pokazuju manju tvrdoću i veći broj zabeleženih lomova tokom mehaničke i akustične senzorske analize. Upravo takve zavisnosti zabeležene su u okviru ove disertacije, te je tako primetna negativna korelacija između tvrdoće i poroznosti ($r=-0,67$, $p<0,01$), kao i manji pozitivan korelacioni odnos između poroznosti i broja pikova zabeleženih tokom testa kompresije ($r=0,45$, $p<0,05$). Štaviše, veća poroznost uzoraka uslovlila je nastanak hrskavijih ekstrudata (pozitivna korelacija između poroznosti i indeksa hrskavosti iznosila je 0,70, pri $p<0,01$). Ramos Diaz i sar. (2017) navode da je poroznost ekstrudata važna za percepciju hrskavosti proizvoda. Oni navode da dodatak amaranta i kinoe u granicama od 20 do 50% u bezglutensku kukuruznu osnovu smanjuje veličinu i broj pora, a samim tim i hrskavost proizvoda, dok im tvrdoća raste. Želazinski (2010) je zaključio da dodatak heljde, kao i sadržaj vlage u polaznoj smeši, utiče na izgled pora ekstrudata, koje postaju deformisane, stisnute ili razvučene.

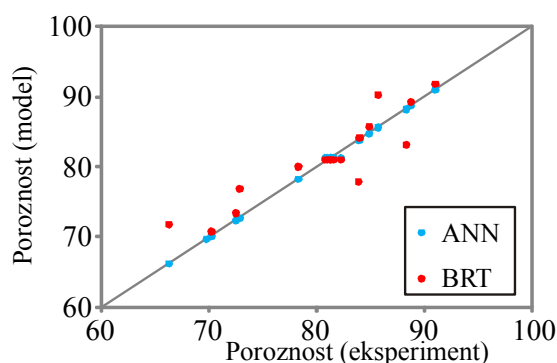
4.4.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na poroznost flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

BRT i ANN su primenjeni u cilju predviđanja vrednosti poroznosti uslovljene ulaznim parametrima ekstrudiranja.

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje poroznosti koji je iznosio 871. Maksimalna dužina grana za model je bila 3.

Optimalni ANN model je bio kompleksan (sa 36 težinskih koeficijenata i odsečaka). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju koji je bio 7 (mreža MLP 3-7-1), u cilju adekvatnog predviđanja izlazne promenljive (poroznost), uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 20). Optimalna mreža koristila je BFGS 146 algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju je bila eksponencijalna (*engl. exponential*), a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je bila identična (*engl. identity*).

Na slici 36 prikazano je fitovanje vrednosti predviđenih BRT (crvene tačke) i ANN modela (plave tačke) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima poroznosti u okviru ove disertacije.



Slika 36. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima poroznosti

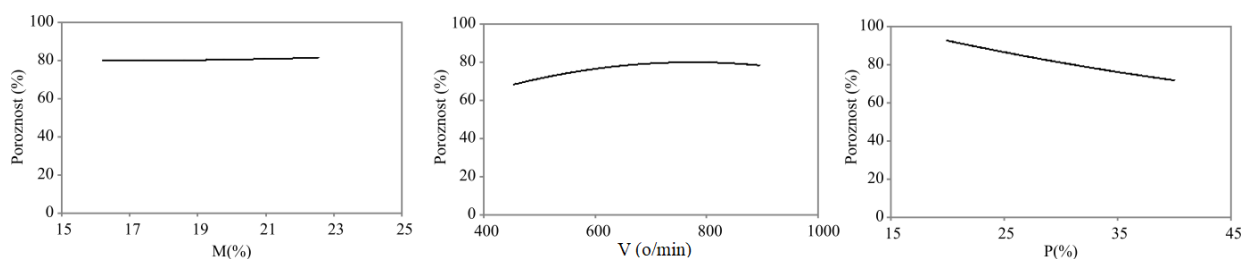
Statistički pokazatelji kvaliteta uklapanja formiranih modela (RMSE i r^2) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima prikazani su u tabeli 20.

Tabela 20. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za poroznost

Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
Poroznost	2,643	0,259	0,819	0,998

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške.

Na osnovu slike 36 i tabele 20 jasno je uočljivo da je ANN model gotovo idealno predvideo poroznost ekstrudata, s obzirom na to da je greška modela blizu nule a koeficijent determinacije veoma blizu vrednosti 1. Sa druge strane, BRT model je takođe pokazao visoku vrednost koeficijenta determinacije, međutim greška modela izražena kroz RMSE vrednost iznosila je 2,643. Stoga se bolje predviđačke sposobnosti za poroznost u ovom slučaju mogu pripisati ANN modelu. Slično tome, Srikanth i sar. (2020) ističu superiornost performansi ANN nad BBD (Box-Behnken dizajn) kada je u pitanju određivanje poroznosti kakao zrna. Uticaj procesnih parametara na karakteristike poroznosti proizvoda kreiranih u okviru ove disertacije prikazani su uz pomoć veštačke neuronske mreže (slika 37).



Slika 37. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na poroznost flips proizvoda.

Sadržaj vlage u polaznim smešama gotovo da nije imao uticaj na poroznost ispitivanih ekstrudata, s tim da je zabeležen tek blagi porast ove karakteristike ekstrudata sa porastom M (slika 37). Naime, uticaj sadržaja vlage na osobine poroznosti flips proizvoda zavisi od osobina polaznih sirovina (tj. njihovog sadržaja vlage), kao i od ispitivanog opsega vlage u polaznim smešama (Moraru i Kokini, 2003). Poroznije strukture formirane su pri većim sadržajima vlage i u studijama Zarzycki i sar. (2015) i Yağci i Göğüş (2008).

Poroznost ekstrudata rasla je sa porastom brzine obrtanja pužnice (slika 37). Zapravo, povećanje brzine obrtanja pužnice izazvalo je brže istiskivanje testa kroz otvor matrice, nagli pad pritiska i proizvodnju više pare što je doprinelo boljoj ekspanziji i većoj poroznosti flips proizvoda. Slično je zabeleženo i u studiji Bisharat i sar. (2013). Naime, brže obrtanje pužnice utiče na formiranje ekstrudata sa većim prečnikom pora i većom zapreminom (Włodarczyk-Stasiak i sar., 2014). Povećanje brzine obrtanja pužnice pozitivno je doprinelo formiranju poroznih struktura flips proizvoda i u studiji Ditudompo i sar. (2016).

Dodatak korena cikoriije negativno je uticao na poroznost finalnih proizvoda (slika 37). Inulin poreklom iz korena cikoriije mogao bi biti odgovoran za ovo zapažanje, usled negativnog uticaja na zidove ćelija skrobnog materijala, sprečavanje ekspanzije i nastanak gušćih i manje poroznih struktura (Tsokolar-Tsikopoulos i sar., 2015). Sa druge strane, dodatak drugih biljnih materijala poput osušenog povrća bogatog vlaknima doprineo je smanjenju poroznosti ekstru-

data, što može biti objašnjeno činjenicom da vlakna ometaju želatinizaciju skroba i ekspanziju proizvoda jer se ponašaju kao neplastifikujući materijal koji smanjuje nastanak pora (Steel i sar., 2012). Povećanje sadržaja inulina pokazao je negativan uticaj na poroznost ekspanziranih proizvoda obogaćenih inulinom u istraživanjima Katsavou i sar. (2019), usled redukcije elastičnih i plastičnih osobina testa, ometajući maksimalno formiranje pora.

4.5. Teksturine osobine

Često se u blisku vezu dovodi subjektivna ljudska percepcija proizvoda sa instrumentalnom analizom teksture. Instrumentalno određivanje teksture predstavlja objektivnu, brzu i relativno jeftinu analizu karakteristika finalnih proizvoda. Instrumentalna merenja teksture hrane obuhvataju destruktivne i nedestruktivne metode. U destruktivne metode spadaju test savijanja u tri tačke (*engl. three-point bending test*), test kompresije i probijanja (*engl. compression and puncture test*), test otpuštanja stresa (*engl. tens relaxation stress*), Warner–Bratzler test sile smicanja (*engl. Warner–Bratzler shear force (WBSF) test*), testovi kombinacije mehaničkih i akustičnih metoda i mnogi drugi. U nedestruktivne metode ubrajaju se mehaničke, optičke i ultrazvučne tehnike (Chen i Opara, 2013). Za ispitivanje teksturnih karakteristika u okviru ove disertacije odabran je destruktivni test kompresije na osnovu rezultata preliminarnih ispitivanja tokom kojih su bili primenjeni različiti gorenavedni testovi. Test kompresije pokazao se kao primenjiv na svim ispitivanim uzorcima za razliku od drugih testova (kod kojih je uzrok neizvodljivosti bila tvrdoća pojedinih uzoraka).

Rezultati teksturnih karakteristika dobijenih testom dijametralne kompresije primenjene u ovom istraživanju prikazane su u tabeli 21.

Tabela 21. Teksturine karakteristike flips proizvoda

Uzorak	M	V	P	DPPH _s	DPPH _v	ABTS _s	ABTS _v	RS _s	RS _v
1	21,2	820	35,9	0,79±0,00 ^{def}	0,05±0,00 ^c	400,17±28,52 ^{def}	80,41±3,26 ^{ab}	91,99±7,06 ^{def}	4,54±0,00 ^g
2	19,4	700	30,0	0,61±0,07 ^{bcd}	0,03±0,00 ^c	356,28±12,64 ^{bcd}	71,28±3,69 ^{ab}	79,54±4,16 ^{bcd}	3,97±0,00 ^c
3	17,6	820	35,9	1,03±0,00 ^g	0,06±0,00 ^f	473,69±12,97 ^{fg}	96,47±15,02 ^b	108,97±2,71 ^f	5,14±0,01 ^j
4	19,4	700	30,0	0,62±0,07 ^{bcd}	0,03±0,00 ^c	347,23±11,54 ^{bcd}	70,79±1,29 ^{ab}	79,1±3,15 ^{bcd}	3,76±0,00 ^c
5	21,2	820	24,1	0,54±0,09 ^{abc}	0,02±0,00 ^b	313,69±2,69 ^{abcd}	65,97±13,06 ^{ab}	60,12±7,56 ^{abcde}	3,11±0,00 ^c
6	22,5	700	30,0	0,48±0,01 ^{ab}	0,01±0,00 ^a	289,36±24,56 ^{abc}	61,17±4,15 ^{ab}	51,89±2,61 ^{ab}	2,83±0,00 ^b
7	19,4	900	30,0	0,55±0,01 ^{abc}	0,02±0,00 ^b	316,16±5,25 ^{abcd}	67,69±5,50 ^{ab}	62,06±2,97 ^{abcd}	3,09±0,00 ^c
8	17,6	820	24,1	0,60±0,00 ^{cd}	0,03±0,00 ^c	340,17±23,69 ^{abcd}	89,33±16,58 ^{ab}	77,14±9,88 ^{abcde}	3,47±0,01 ^d
9	19,4	700	30,0	0,63±0,00 ^{bcd}	0,03±0,00 ^c	353,69±16,87 ^{bcd}	69,79±2,58 ^{ab}	77,47±1,65 ^{bcd}	3,86±0,02 ^c
10	21,2	520	24,1	0,48±0,07 ^{ab}	0,01±0,00 ^a	279,36±21,49 ^{ab}	62,09±7,28 ^{ab}	53,71±8,63 ^{abc}	2,91±0,00 ^b
11	16,3	700	30,0	0,66±0,02 ^{bcd}	0,04±0,00 ^d	374,63±13,64 ^{cde}	75,87±2,14 ^{ab}	84,65±9,23 ^{cdef}	3,94±0,00 ^c
12	19,4	700	40,0	0,91±0,01 ^{fg}	0,06±0,00 ^f	498,21±14,36 ^g	91,63±2,41 ^{ab}	103,89±1,47 ^f	4,69±0,02 ^h
13	19,4	500	30,0	0,56±0,00 ^{abc}	0,03±0,00 ^c	324,61±2,57 ^{abcd}	67,48±2,11 ^{ab}	71,62±9,46 ^{abcde}	3,51±0,00 ^d
14	19,4	700	30,0	0,61±0,00 ^{bcd}	0,03±0,00 ^c	351,98±2,65 ^{bcd}	72,24±5,79 ^{ab}	78,73±2,65 ^{bcd}	3,92±0,00 ^c
15	17,6	520	24,1	0,53±0,03 ^{abc}	0,02±0,00 ^b	301,21±14,65 ^{abc}	65,26±1,36 ^{ab}	62,35±7,45 ^{abcd}	3,15±0,00 ^c
16	21,2	520	35,9	0,71±0,03 ^{cde}	0,05±0,00 ^c	395,27±14,57 ^{def}	78,25±11,69 ^{ab}	91,43±6,93 ^{def}	4,15±0,03 ^f
17	17,6	520	35,9	0,84±0,01 ^{efg}	0,04±0,00 ^d	436,11±23,14 ^{efg}	81,24±6,54 ^{ab}	96,36±5,87 ^{ef}	4,69±0,00 ^h
18	19,4	700	20,0	0,39±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	254,96±6,43 ^a	57,37±0,12 ^a	45,62±2,32 ^a	1,87±0,03 ^a
19	19,4	700	30,0	0,61±0,06 ^{bcd}	0,03±0,00 ^c	352,21±17,61 ^{bcd}	70,06±5,69 ^{ab}	78,14±0,39 ^{bcd}	3,69±0,00 ^c
20	19,4	700	30,0	0,62±0,00 ^{bcd}	0,03±0,00 ^c	353,28±29,64 ^{bcd}	70,31±6,91 ^{ab}	80,11±5,28 ^{bcd}	3,76±0,04 ^e

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); Cw – rad hrskavosti (N*mm); Ci×10⁻³ – indeks hrskavosti; F – prosečna sila kompresije (N); Nsr – frekvencija loma strukture (1/mm); Fmax – tvrdoća (N); NoP – broj pikova. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=30) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno (p<0,05) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Rad hrskavosti (Cw)

Kod flips proizvoda hrskavost (*engl. crispiness*) predstavlja jednu od najvažnijih osobina. Hrsravost je povezana sa brzim padom sile tokom mastikacionog procesa (žvakanja), i predstavlja širenje loma u krhkim materijalima. Prilikom loma krhkih proizvoda dolazi do formiranja određenog zvuka koji doprinosi senzitivnom doživljaju proizvoda. Hrsravski proizvodi često formiraju nepravilni krivu zavisnosti sile od deformacije (Anton i Luciano, 2007).

Kako bi se opisala hrskavost proizvoda primenjivani su različiti pristupi koji su uključivali rad hrskavosti (*engl. Crispiness work, Cw*) i indeks hrskavosti (*engl. Crispiness index, Ci*). Proizvod se smatra hrsravim ako ima niske vrednosti Cw i visoke vrednosti Ci, i obrnuto (Höglund i sar., 2018). Lakše pucanje zidova ćelija uzrokovano dejstvom male sile ukazuje na hrsraviji proizvod (Silva i sar., 2014).

Vrednosti rada hrskavosti kretale su se u opsegu od 3,31 do 41,25 N*mm (tabela 21), dok je kontrolni uzorak zabeležio vrednost Cw od 0,41 N*mm. Najmanja vrednost Cw (3,31 N*mm) zabeležena je kod uzorka 8 koji je imao najveću ekspanziju (IE=3,34), najmanju nasipnu masu (110,33 g/L) i najmanju gustinu (250 kg/m³), kao i nisku vrednost tvrdoće (98,74 N). Sa druge strane, najveći rad hrskavosti bio je potreban kod uzorka 16 (41,25 N*mm), kod koga je zabeležena niska vrednost ekspanzije (IE=1,44), visoka vrednost naspine mase (333,67 g/L) i gustine (830 kg/m³), kao i najveća vrednost tvrdoće (237,29 N).

Indeks hrskavosti (Ci)

Vrednosti parametra Ci (*engl. Crispiness index, Ci*) kretale su se u granicama od $0,09 \times 10^{-3}$ (uzorak 16) do $3,25 \times 10^{-3}$ (uzorak 8). Zabeležena Ci vrednost kontrolnog uzorka iznosila je $6,47 \times 10^{-3}$, što je bilo skoro duplo više u odnosu na najveću vrednost Ci zabeleženu među ekstrudatima obogaćenim korenom cikorije (uzorak 8). Ovaj trend bio je očekivan, s obzirom na to da je kontrolni uzorak proizveden od čistog prinčanog brašna, dok su ostali uzorci bili oplemenjeni korenom cikorije, bogatim prehrambenim vlaknom inulinom. U prilog tome govori studija Nascimento i sar. (2017) u kojoj je zabeleženo da je dodatak sirovina bogatih prehrambenim vlaknima tj. bioaktivnim komponentama poput pivskog tropa u ekstrudate od pirinčanog brašna doveo do porasta vrednosti Cw, i snižavanja vrednosti Ci. Međutim, Rayan i sar. (2018) su pokazali je da dodatak semena kaktusa (*O. dillenii*) do 15% u pirinčanu bazu doprinelo poboljšanju senzorskih karakteristika ekstrudata uključujući i hrskavost proizvoda.

Prosečna sila kompresije (F)

Prosečna sila kompresije (F) ispitivanih uzoraka u okviru ove disertacije kretala se u granicama od 19,88 (uzorak 7) do 96,38 N (uzorak 16) (tabela 21), dok je kontrolni uzorak zabeležio vrednost parametra F od 18,99 N. Sila kompresije je proporcionalna sa tvrdoćom proizvoda, i mala vrednost ove sile poželjna je karakteristika ekstrudata jer govori o njegovoj tvrdoći (Nascimento i sar., 2017). Najmanja vrednost prosečne sile kompresije (19,88 N) odgovara uzorku sa najmanjom tvrdoćom (66,45 N), dok je najveća vrednost sile kompresije (96,38 N) zabeležena kod najtvrdjeg uzorka (237,29 N) (tabela 21).

Frekvencija loma strukture (Nsr)

Frekvencija loma structure (*engl. Frequency of structural raptures, Nsr*) ekstrudata ukazuje na broj vazdušnih mehurastih džepova i opisuje broj pikova u odnosu na pređeni put senzora (Nascimento i sar., 2017). Nsr vrednost je povezana sa specifičnom mehaničkom energijom

primenjenom tokom procesa proizvodnje. Te tako uzorak 16 sa najmanjom vrednošću Nsr (2,48 1/mm) beleži nisku vrednost potrošnje SME (123,2 Wh/kg). Specifična mehanička energija je energija potrebna za obradu materijala u ekstruderu (Nascimento i sar., 2017). Povećanje unutrašnje energije može uticati na promene skroba i samim tim povećati nastanak vazdušasto mehuraste strukture ekstrudata, čime se povećava i Nsr vrednost (Nascimento i sar., 2017).

Najveća vrednost frekvencije loma strukture zabeležena je kod uzorka 8 i iznosila je 7,36 mm⁻¹. Ovaj uzorak imao je najveće vrednosti parametra ekspanzije (IE=3,24) što govori u prilog tome da se prilikom njegove proizvodnje formirao veliki broj vazdušastih džepova. Ovo zapažanje potkrepljuje podatak da je visoka vrednost poroznosti (88,72%) zabeležena kod uzorka 8, u odnosu na druge ispitane ekstrudate. Najmanja vrednost Nsr (2,48 mm⁻¹) zabeležena je kod uzorka 16 sa najmanjom ekspanzijom (IE=1,44) i najmanjom poroznošću (66,29%). Frekvencija loma strukture kontrolnog uzorka iznosila je 4,63 1/mm. Veće vrednosti Nsr ukazuju na to da je formirana rastresita struktura sa više vazdušnih ćelija i da je tekstura takvog flipsa hrskavija, a poroznost veća, kao što je slučaj kod uzorka 18 (6,16 1/mm, 2,89×10⁻³ i 90,96% , za Nsr, Ci i poroznost, redom). U prilog tome govori pozitivna korelacija između Nsr i Ci (r=0,71, p<0,05).

Tvrdoća (Fmax)

Tvrdoća (*engl. Hardness, Fmax*) ekstrudata predstavlja silu koja je potrebna kako bi se razrušila struktura uzorka kompresijom. Ova karakteristika ekstrudiranih proizvoda je usko povezana sa ekspanzijom i ćelijskom strukturom istih. Veće vrednosti sile ukazuju da je proizvod tvrdi (Arivalagan i sar., 2018). Sa druge strane, tvrdoća predstavlja površinsku osobinu proizvoda, ukazujući na to da manja tvrdoća doprinosi većoj prihvatljivosti od strane potrošača (Kanojia i Singh, 2016). Vrednosti tvrdoće (Fmax) ispitivanih uzoraka predstavljene su u tabeli 21.

Tvrdoća ekstrudata proizvedenih u okviru ove doktorske disertacije beleži vrednosti od 61,33 do 237,29 N (tabela 21). Najveća tvrdoća (237,29 N) zabeležena je kod uzorka 16 sa najmanjom ekspanzijom (uključujući parametre aksijalne, radijalne, lateralne ekspanzije kao i indeks ekspanzije), kao i najvećom vrednošću nasipne mase od 333,67 g/L. Najmanja tvrdoća određena je kod uzorka 18 (61,33 N) koji je ostvario najveći indeks ekspanzije (3,17) i malu nasipnu masu (159,13 g/L). Pored toga, uzorak 18 koji beleži najnižu tvrdoću među proizvedenim ekstrudatima (61,33 N) pokazuje ne mnogo veću vrednost tvrdoće u odnosu na kontrolni uzorak (43,48 N).

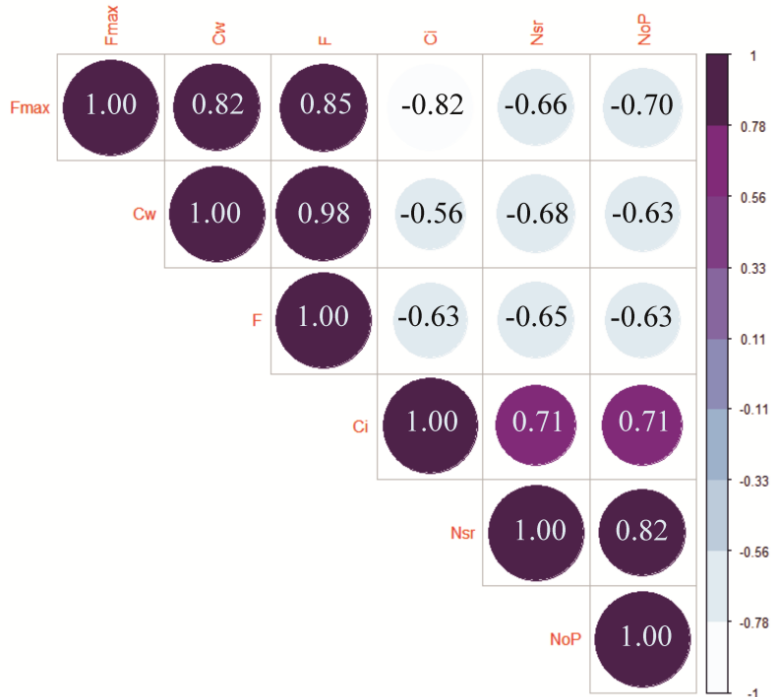
Broj pikova (NoP)

Broj pikova (*engl. Number of peaks*) predstavlja broj lomova zida ćelije tokom kompresije (Alam i sar., 2019). Broj pikova prema nekim zapažanjima može biti povezan sa poroznošću ekstrudata i time pružiti informacije o hrskavosti i lomljivosti istih (Anton i Luciano, 2007).

Broj pikova (NoP) zabeležen u okviru ispitivanja ove disertacije kretao se u rasponu od 14 do 66 (tabela 21), dok je kontrolni uzorak dao 69±6 pikova tokom sprovedenog ispitivanja. Najmanja vrednost broja pikova (14) zabeležena je kod uzorka 16 koji je imao najmanju ekspanziju (IE=1,44) i najmanju poroznost (66,29 %), te se pretpostavlja da je odsustvo vazdušastih mehurića doprinelo formiranju grube strukture sa malim brojem zabeleženih pikova tokom kompresije. Sa druge strane, najveća vrednost broja pikova (66) u ovoj disertaciji zabeležen je kod uzorka 11 koji je imao visoke vrednosti parametara ekspanzije (IE=2,84) i poroznosti (78,29%), niže vrednosti gustine (310 kg/m³) i tvrdoće (68,91 N), pa se može zaključiti da je ova struktura vazdušasta, što je doprinelo pojavi većeg broja pikova tokom testa dijametralne kompresije.

4.5.1. Međusobne korelacije ispitanih parametara teksture flips proizvoda

Nakon sumiranja eksperimentalnih podataka parametara teksture (C_w , C_i , F , N_{sr} , F_{max} , NoP) ispitivanih flips proizvoda u okviru ove disertacije i tumačenja njihovih međusobnih zavisnosti došlo se do zaključaka prikazanih na slici 38.



Slika 38. Sumarni prikaz korelacionih odnosa između ispitivanih parametara teksture flips proizvoda (C_w – rad hrskavosti, C_i – indeks hrskavosti, F – srednja sila kompresije, F_{max} – tvrdoća, N_{sr} – frekvencija loma strukture, NoP – broj pikova)

Na osnovu slike 38 jasno se uočava da su u pozitivnoj korelaciji tvrdoća flips proizvoda (F_{max}), prosečna sila kompresije (F), i rad hrskavosti (C_w), i to sa visokim vrednostima korelacije od 0,82-1 ($p < 0,001$). Ovo zapažanje govori o tome da će tvrdi flips proizvodi imati visoke vrednosti prosečne sile kompresije potrebne za njihov lom i veliki rad hrskavosti koji ukazuje da će biti potrebna veća sila da se razruši struktura takvih proizvoda. Sa druge strane, indeks hrskavosti (C_i), frekvencija loma strukture (N_{sr}) i broj pikova (NoP) su takođe u pozitivnoj korelaciji sa vrednostima od 0,71-0,81 ($p < 0,001$). Iz ovih odnosa se vidi da će hrskavi proizvodi sa visokim vrednostima C_i imati veću frekvenciju loma strukture usled svoje hrskavosti i samim tim veći broj pikova na krivoj zavisnosti sile od pređenog puta sonde ($N \cdot mm$), gde svaki pik odgovara jednom lomu strukture. Primetna je povezanost velikih pora sa većim brojem lomova prilikom kompresije, jer veće pore obezbeđuju veću spoljašnju površinu proizvoda pa samim tim i veći broj lomova odnosno broj pikova što ukazuje na hrskaviji proizvod. Ovo je u saglasnosti sa zaključcima Chanvriera i sar. (2006) koji su primetili pozitivnu korelaciju između N_{sr} i veličine pora, odnosno hrskavosti i broja pikova flips proizvoda.

U najvećoj negativnoj korelaciji su tvrdoća flipsa (F_{max}) i indeks hrskavosti (C_i) sa vrednošću od -0,82, praćene negativnim korelacijama između F_{max} , F i C_w sa jedne i C_i , N_{sr} i NoP sa druge strane, čije vrednosti korelacije se kreću u rasponu od -0,62 do -0,7 ($p < 0,001$). Ove negativne zavisnosti prikazane na slici 38 ukazuju da tvrdi proizvodi (sa visokim vrednostima

Fmax), koji se teško lome (sa visokim vrednostima prosečne sile kompresije i rada hrskavosti) ispoljavaju niske vrednosti indeksa hrskavosti (C_i), mali broj lomova tokom kompresije (Nsr) pa samim tim i mali broj zabeleženih pikova (NoP), i obrnuto.

Sve korelacije između ispitivanih teksturnih parametara koje su prikazane na slici 38 u saglasnosti su sa literaturnim navodima detaljno pojašnjenim u sekciji Rezultati i diskusija teksturnih parametara flips proizvoda. Ova zapažanja ukazuju na činjenicu da su rezultati parametara teksture i njihove međusobne korelacije dobijeni u okviru ove disertacije teorijski i praktično opravdani.

4.5.2. Uticaj parametara ekstrudiranja na teksturne karakteristike flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

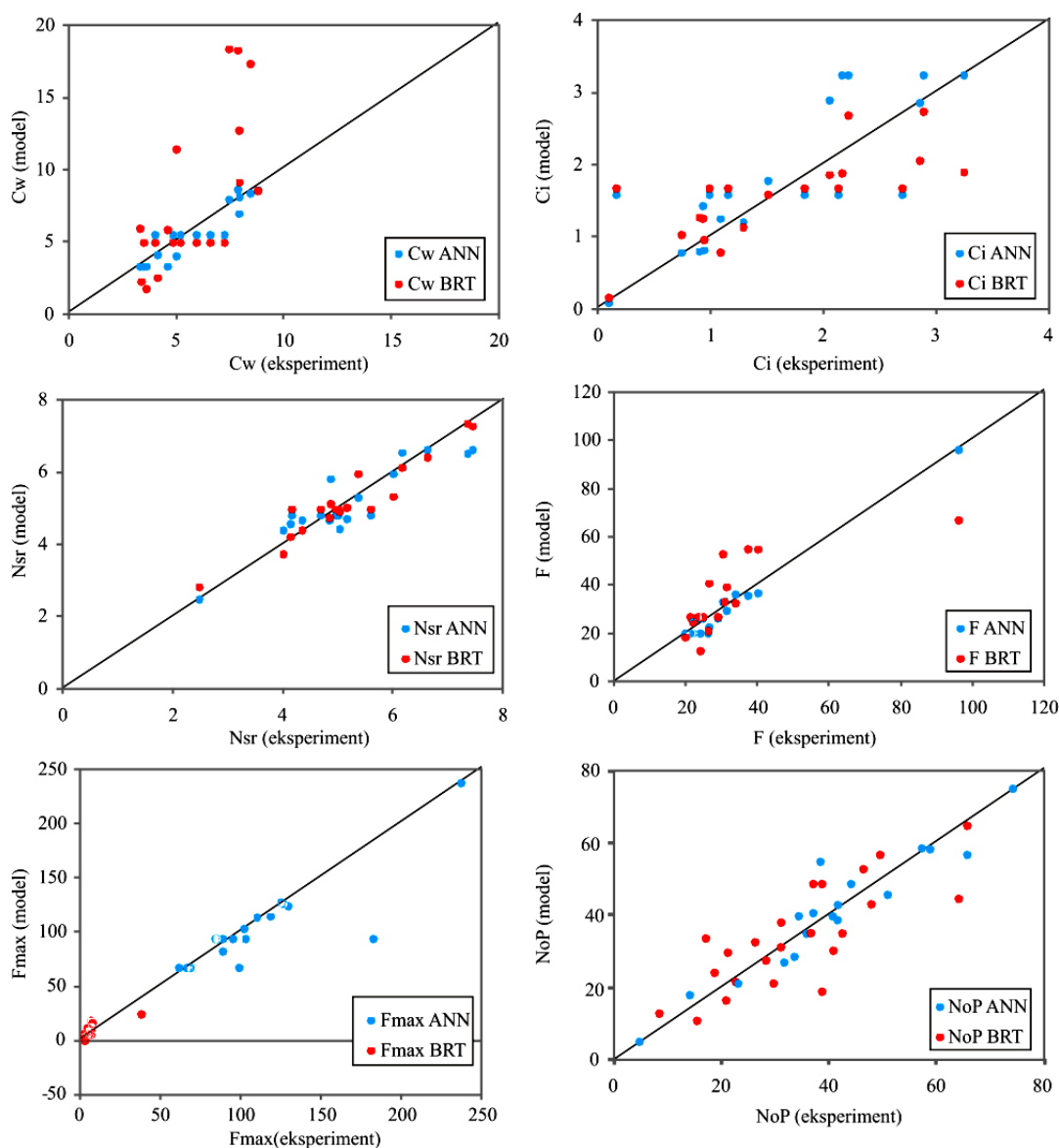
Mogućnost predviđanja parametara teksture flips proizvoda (C_w , C_i , Nsr, F, Tvrdoće i NoP), kao funkcije nezavisnih promenljivih: vlage materijala (M), brzine obrtanja pužnice ekstrudera (V) i udela korena cikoriije (P), ispitana je primenom ANN i BRT modela.

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje C_w , C_i , Nsr, F, Tvrdoće i NoP i iznosio je 16, 97, 157, 15, 17 i 112. Maksimalna dužina grana za sve modele je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 36 težinskih koeficijenata i bias-a). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju koji je bio 3 (mreža MLP 3-3-6), u cilju adekvatnog predviđanja izlaznih promenljivih (C_w , C_i , Nsr, F, Fmax i NoP), uz dostizanje visokih vrednosti r^2 i niskih vrednosti RSME (tabela 22). Optimalna mreža koristila je BFGS 59 algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom i izlaznom sloju je bila identična (*engl. identity*).

Slika 39 prikazuje uklapanje vrednosti izlaznih parametara teksture (C_w , C_i , F, Nsr, Tvrdoća, NoP) predviđenih primenom BRT i ANN modela (crvene, odnosno plave tačke; podaci predstavljeni na y-osi) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (prava linija iz kordinantnog početka; podaci predstavljeni na x-osi). Što manje tačaka odstupa od linije iscrtane eksperimentalnim vrednostima to je predviđanje modela bolje.

Poređenjem ova dva modela na osnovu koeficijenata determinacije (r^2) i korena srednjeg kvadrata greške (RMSE) prikazanih u tabeli 22 dolazi se do zaključka da se ANN model bolje uklapa u predviđanje teksturnih karakteristika ekstrudata u odnosu na BRT model, s obzirom na to da pokazuje veće vrednosti r^2 (0,874-0,996 za ANN, odnosno 0,489-0,912 za BRT) i niže vrednosti RMSE (0,482-21,777 za ANN, odnosno 0,342-29,454 za BRT).



Slika 39. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima parametara teksture flips proizvoda.

Tabela 22. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za parametre teksture

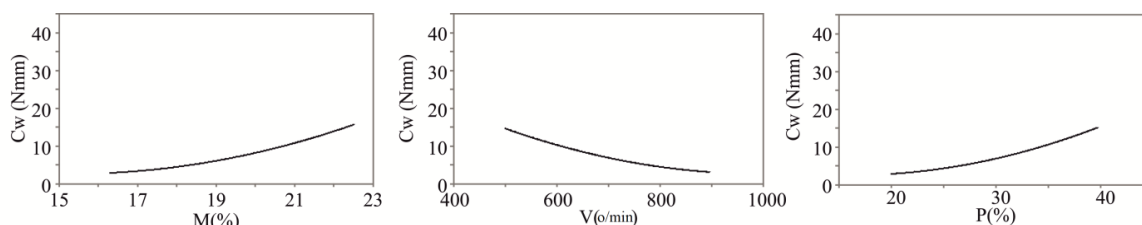
Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
Cw	5,815	0,763	0,497	0,996
Ci	0,615	0,619	0,526	0,874
Nsr	0,342	0,482	0,912	0,921
F	10,987	3,058	0,553	0,989
F max	29,455	21,777	0,489	0,995
NoP	18,527	19,892	0,527	0,991

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške. Cw – Rad hrskavosti (N×mm), Ci – Indeks hrskavosti, F - Srednja sila kompresije (N), Nsr – Frekvencija loma strukture (1/mm), Fmax – Tvrdća (N), NoP – Broj pikova.

Greška ANN modela nije bila statistički značajna, što znači da je ANN model na adekvatan način predvideo izlazne promenljive. Visoka vrednost r^2 ukazuje na to da je izračunata vrednost odstupanja mala i da je ANN model zadovoljavajuće predvideo izlazne vrednosti ispitivanih parametara teksture (Madamba, 2002). BRT model je pokazao nešto niže vrednosti koeficijenta determinacije, i više vrednosti srednjeg kvadrata greške (tabela 22), ukazujući na to da je ANN model bolje predvideo teksturne karakteristike flips proizvoda u okviru ove disertacije. Slično tome, Fan i sar. (2013) primetili su bolje fitovanje vrednosti parametara teksture (tvrdoće i guminoznosti) predviđenih ANN modelom sa eksperimentalno dobijenim vrednostima pirinčanih ekstrudata sa dodatkom sira u poređenju sa vrednostima predviđenim RSM modelom, u pogledu r^2 vrednosti. Shihani i sar. (2006) takođe ističu bolje predviđačke performanse ANN modela u definisanju teksturnih karakteristika čisto pšeničnih i pšeničnih ekstrudata sa dodatkom soje, u odnosu na vrednosti istih parametara predviđenih drugim linearnim modelom. Kako je primena BRT modelovanja u oblasti ekstrudiranja još uvek nedovoljno istražena, primetan je deficit literaturnih podataka za poređenje performansi ovog modela sa drugim modelima koji se koriste u prehrambenoj oblasti. Studija sprovedena u okviru ove disertacije doprinosi širenju naučnih saznanja iz ove oblasti, dovodeći do zaključaka da, u poređenju sa ANN modelovanjem teksturnih karakteristika flips proizvoda, BRT modeli pokazuju nešto slabije performanse. Upravo iz tog razloga ANN modelovanje je izabrano za predviđanje uticaja procesnih parametara na ispitivane osobine teksture.

Uticaj parametara ekstrudiranja na rad hrskavosti (Cw)

ANN model dao je prikaz uticaja procesnih parametara na rad hrskavosti (slika 40).



Slika 40. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na rad hrskavosti (Cw)

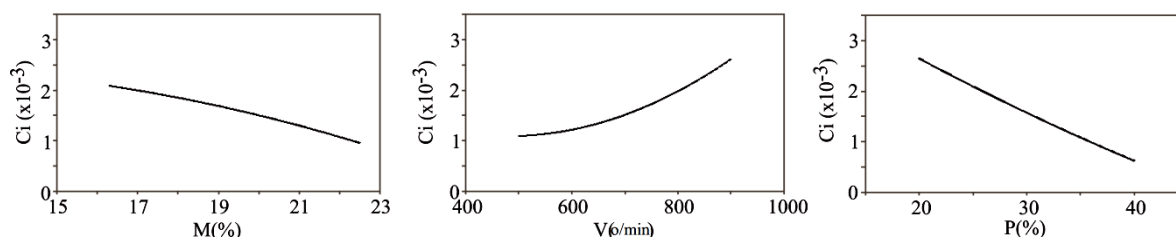
Sa slike 40 može se uočiti da povećanje vlage polazne smeše utiče pozitivno na vrednosti Cw proizvedenih pirinčanih ekstrudata sa dodatkom korena cikoriije. Porast vlage utiče na formiranje manje hrskavih proizvoda usled mogućeg nastanka manjeg broja vazdušastih mehurića i unutrašnjih ćelija ekstrudata koji su direktno povezani sa osobinama hrskavosti. Zabeležena je negativna korelacije između Cw i poroznosti uzoraka ($r=-0,57$, $p<0,01$). Naime, uslovi povećanog sadržaja vlage mogu izazvati takve promene skroba koje favorizuju nastanak robusnih struktura koje nisu lako lomljive, čime se povoljno utiče na porast Cw. Sličan zaključak izveli su i Silva i sar. (2014).

Sa povećanjem broja obrtaja pužnice, vrednosti Cw se smanjuju (slika 40). Naime, potrebno je uložiti manji rad da se razruši struktura tanjih zidova ćelija koje se formiraju pri višim vrednostima V (o/min). Štaviše, pri većim brzinama obrtanja pužnice potpomaže se nastanak mehurastih struktura ekstrudata koje bivaju lakše razorene i beleže niže vrednosti Cw. U korist ovoj činjenici govori uzorak 18 iz ove disertacije, koji je pokazao najveću vrednost poroznosti (90,96%) i veoma nisku vrednost Cw (3,47 N×mm) u odnosu na ostale uzorke. Rezultati ove disertacije su takođe u saglasnosti i sa studijama De Mesa i sar.(2009) i Alam i sar. (2014).

Povećanje udela korena cikoriije utiče na povećanje rada hrskavosti (slika 40). Naime, dodatak vlakna inulina iz korena cikoriije može uticati na povećanje debljine zidova ćelija ekstrudata što uslovljava porast vrednosti C_w tokom testa kompresije. Štaviše, inulin se može ponašati kao sredstvo za punjenje u vlaknasto-skrobnim matriksima, pri čemu dolazi do formiranja krutih i manje hrskavih strukturnih ćelija koje beleže veće vrednosti C_w . Slična zapažanja izveli su Höglund i sar. (2018) koji su primetili porast vrednosti C_w nakon dodatka pogače borovnice zaostale nakon ceđenja ulja u ražane ekstrudate. Sa smanjenjem brzine obrtanja pužnice i smanjenjem udela korena cikoriije može se primetiti opadanje vrednosti C_w , što je u saglasnosti sa zapažanjima Nascimento sar. (2012) koji su kukuruzne ekstrudate obogaćivali poluodmašćenom pogačom zaostalom nakon ceđenja ulja iz susama. Sirovine kao što su pogače zaostale nakon ceđenja ulja bogate su vlaknima, slično kao i koren cikoriije koji je bogat inulinom. Pretpostavlja se da inulin ima sposobnost vezivanja vode, da može izazvati smanjenje viskoziteta skroba na temperaturama topljenja, time redukovati mehaničku transformaciju skroba i izazvati smanjenje ekspanzije proizvoda, čime doprinosi povećanju tvrdoće, nasipne mase i rada hrskavosti. Slično ponašanje drugih prehrambenih vlakana zabeleženo je u radu Höglund i sar. (2018).

Uticaj parametara ekstrudiranja na indeks hrskavosti (C_i)

Slika 41 prikazuje uticaje procesnih parametara na indeks hrskavosti definisane primenom ANN modela.



Slika 41. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na indeks hrskavosti (C_i)

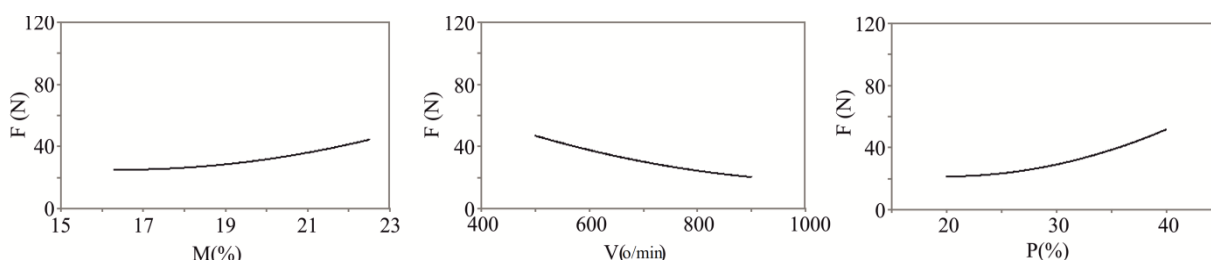
Povećanje vlage polazne smeše uticalo je na smanjenje indeksa hrskavosti, dok je povećanje brzine obrtanja pužnice izazvalo povećanje indeksa hrskavosti (slika 41). Ovi fenomeni mogu se pripisati uticaju sadržaja vlage i brzine obrtanja pužnice na formiranje većeg broja pora unutar ekstrudata. Primetna je pozitivna korelacija između indeksa hrskavosti i poroznosti proizvoda ($r=0,67$, $p<0,01$), što govori o tome da hrskavost proizvoda zavisi od unutrašnje strukture i morfologije zidova ćelija proizvoda. Štaviše, veće brzine obrtanja pužnice pospešuju porast temperature topljenja smeše čime se propagira nastanak hrskavijih struktura. Energija potrebna za lom poroznih struktura je niža od one potrebne za razrušavanje kompaktno pakovanih struktura (Alam i sar., 2014). Poznato je da veći sadržaj vlage negativno utiče na ekspanziju ekstrudata povećavajući im gustinu, dok povećanje brzine obrtanja pužnice ima suprotan efekat (Silva i sar., 2014). Ekstrudati proizvedeni iz smeše sa najvećim sadržajem vlage (22,5%, uzorak 6) i pri najmanjoj brzini obrtanja pužnice (500 o/min, uzorak 13) pokazali su niske vrednosti indeksa hrskavosti ($1,29 \times 10^{-3}$ i $0,90 \times 10^{-3}$, za uzorak 6 i uzorak 13, redom), niske vrednosti parametara ekspanzije (2,19 i 2,02, redom) i poroznosti (84,81% i 69,77%, redom), i veće vrednosti gustine ($520,00$ i $550,00 \text{ kg/m}^3$, redom). Kako veća ekspanzija i manja gustina, pa samim tim i manja tvrdoća, doprinose poželjno hrskavijem proizvodu sa većom vrednosti C_i , može se zaključiti da su rezultati ove disertacije u smislu indeksa hrskavosti opravdani i smisleni.

Povećanje udela korena cikoriije u polaznim smešama rezultiralo je smanjenjem indeksa hrskavosti. Isti trend primećen je u istraživanju Alam i sar.(2019) gde je povećanje dodatka ražane opne u formulaciji ekstrudata doprinelo smanjenju indeksa hrskavosti. Ovo zapažanje se može povezati sa prisustvom prehrambenog vlakna inulina, prisutnog u većim količinama u korenu cikoriije kojim su obogaćivani ekstrudati u okviru ove disertacije.. Inulin je negativno uticao na poroznost ekstrudata usled formiranja rigidnih struktura koje su teže pucale i dale proizvode niske hrskavosti. Sa druge strane, Höglund i sar. (2018) objašnjavaju da povećanje udela vlakana doprinosi smanjenju ekspanzije, većoj gustini, manjoj hrskavosti i većoj tvrdoći proizvoda. Iako je dodatak korena cikoriije uticao na smanjenje hrskavosti finalnih proizvoda u odnosu na kontrolni uzorak, važno je naglasiti da su takvi proizvodi nutritivno bogatiji i bojom primamljiviji za potrošače, kao što je pokazala senzorska analiza. Pri tome, pravilnim podešavanjem procesnih parametara ekstrudiranja moguće je proizvesti ekstrudate sa dodatkom korena cikoriije čija je vrednost C_i prihvatljiva za potrošače.

Indeks hrskavosti je obrnuto proporcionalan tvrdoći i gustini proizvoda ukazujući na činjenicu da su manje tvrdi ekstrudati hrskaviji, dok je direktno proporcionalan sa ekspanzijom proizvoda, kao što je pokazano u studiji Alam i sar. (2014), a potvrđeno rezultatima ove disertacije. Vrednosti indeksa hrskavosti zabeleženi u ovoj disertaciji kretali su se u opsegu od 0,09 do $3,25 \times 10^{-3}$ (tabela 21). Najmanja vrednost indeksa hrskavosti zabeležena je kod uzorka 16 koji je imao najmanju ekspanziju ($IE=1,44$), najveću nasipnu masu (333,67 g/L), najveću tvrdoću (237,29 N) i najveću gustinu (830 kg/m^3), dok je najveći indeks hrskavosti pokazao uzorak 7 sa oprečnim karakteristikama u poređenju sa uzorkom 16. Alam i sar. (2019) su zabeležili najmanju vrednost indeksa hrskavosti kod uzorka sa najmanjom ekspanzijom i najvećom gustinom tokom studije sprovedene sa ciljem da se ispituju teksturna svojstva ražanih ekstrudata bogatih vlaknima. Ovi rezultati su potkrepljeni zaključcima prethodno opisanim kod rada hrskavosti (C_w), uzimajući u obzir činjenicu da su indeks hrskavosti i rad hrskavosti obrnuto proporcionalni.

Uticaj parametara ekstrudiranja na prosečnu silu kompresije (F)

Slika 42 pokazuje da povećanje vlage i udela korena cikoriije ima pozitivan uticaj na vrednost F, dok su povećanje brzine obrtanja pužnice i vrednost F obrnuto srazmerni.



Slika 42. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na srednju silu kompresije (F)

Uticaj vlage (16,3-22,5%), brzine obrtanja pužnice (500-900 o/min) i sadržaja korena cikoriije (20-40%) imao je sličan uticaj na vrednosti prosečne sile kompresije (F) kao u ranije opisanim karakteristikama teksture ekstrudata (rad (C_w) i indeks (C_i) hrskavosti) dobijenim u ovoj disertaciji (slika 50 i 51). Veće vrednosti prosečne sile kompresije potrebne su za tvrde uzorke čije su vrednosti C_w veće, a vrednosti C_i niže.

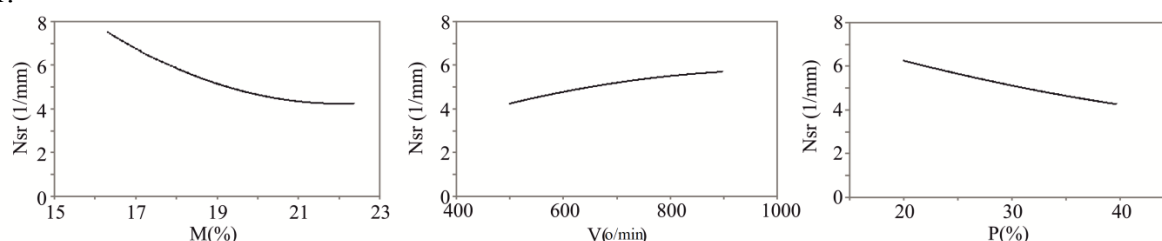
Porast vlage polazne smeše za ekstrudiranje, kao i porast sadržaja korena cikoriije bogatog inulinom, rezultirali su proizvodima za koje je bila potreba velika sila kompresije kako bi im se

narušila struktura. Takvi uslovi proizvodnje uticali su na smanjenje broja formiranih pora, na prevremeno pucanje vazdušnih ćelija i samim tim na formiranje manje vazdušastih struktura, dajući zbijeno pakovane ekstrudate. Ova pojava prvenstveno se može pripisati uticaju sadržaja vlage na ponašanje skroba tokom ekstrudiranja, dok inulin može uticati na povećanje jačine zidova ćelija pružajući veći otpor sili tokom kompresije. Zabeležena je negativna korelacija između F i poroznosti uzoraka ($r=-0,66$, $p<0,01$).

Sa druge strane, porast brzine obrtanja pužnice dao je niže vrednosti F, te samim tim lakše lomljive ekstrudate, što može biti objašnjeno pojavom slabljenja struktura manjih mehurića formiranih pri takvim uslovima proizvodnje. Ovi zaključci su u saglasnosti sa onima koje su zabeležili Nascimento i sar. (2012).

Uticaj parametara ekstrudiranja na frekvenciju loma strukture (Nsr)

ANN model dao je slikovit prikaz (slika 43) uticaja procesnih parametara (M, V i P) na Nsr.



Slika 43. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na frekvenciju loma strukture (Nsr).

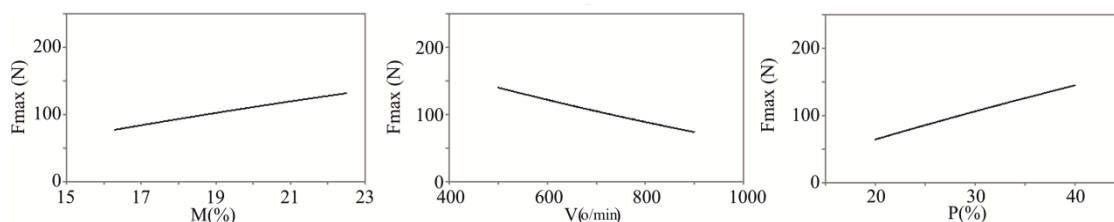
Povećanje vlage polazne smeše rezultiralo je ekstrudatima sa manjim vrednostima Nsr (slika 43). Ekstrudati sa smanjenim sadržajem vlage beležili su veću frekvenciju loma strukture i manji mehanički otpor što je u slaganju sa zapažanjima Hecke, Allaf i Bouvier (1998) koji su ispitivali teksturne karakteristike komercijalnih kukuruznih ekstrudata i laboratorijski proizvedenih kukuruznih i pšeničnih ekstrudata sa dodatkom granula krompira. Naime, smanjenje sadržaja vlage tokom ekstrudiranja povećava specifičnu mehaničku energiju i favorizuje nastanak fragilnih struktura koje pružaju mali otpor zida ćelija i veći broj lomova strukture pri dejstvu sile. Primer tome je uzorak broj 8 koji pri nižem sadržaju vlage (17,6%) beleži visoke vrednosti potrošnje SME (175,7 Wh/kg) i najveću vrednost Nsr (7,36 l/mm) među analiziranim uzorcima. Slična zapažanja teksturnih karakteristika kukuruznih ekstrudata sa dodatkom karioka brašna izneli su u svojoj studiji Silva i sar. (2014).

Porast brzine obrtanja pužnice uticao je pozitivno na vrednosti Nsr (slika 43). Ovaj trend se može tumačiti u svetlu pozitivnog uticaja obrtanja pužnice na formiranje proizvoda veće ekspanzije i krhkih struktura (Zhao i sar., 2021), koje su beležile veći broj pikova tokom loma koji figuriše u formuli za izračunavanje Nsr.

Obogaćivanje ekstrudata korenom cikoriije uslovalo je smanjenje vrednosti Nsr usled mogućeg formiranja homogenije raspodele veličina vazdušnih ćelija. Lom zidova ćelija približne čvrstoće beleži se kao istovremeni lom, smanjujući zabeleženi broj pikova i samim tim vrednost Nsr. Ovo je u saglasnosti sa zapažanjima Karkle, Alavi i Dogan (2012). Oni su приметili da dodatak tropa jabuke utiče na smanjenje Nsr vrednosti ekstrudiranih proizvoda na bazi žitarica, dok je uzorak bez dodatka tropa imao najveću vrednost Nsr.

Uticaj parametara ekstrudiranja na tvrdoću (Fmax)

Slika 44 koja prikazuje uticaj parametara ekstrudiranja na tvrdoću proizvoda primenom ANN modela proisteklih u okviru ove disertacije.



Slika 44. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na tvrdoću (Fmax)

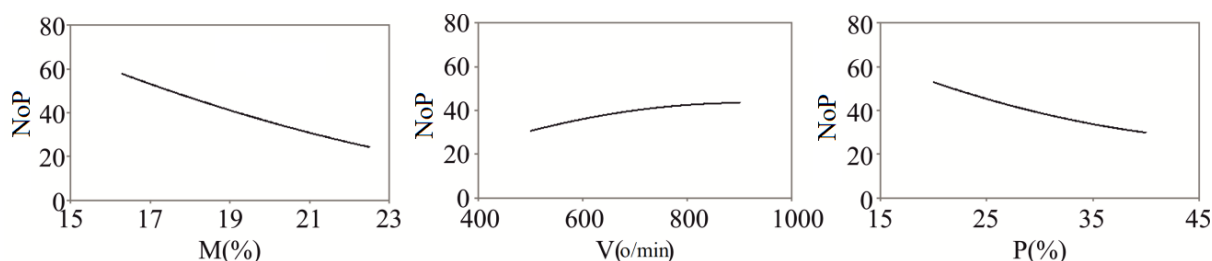
Porast vlage rezultirao je proizvodima povećane tvrdoće. Naime, voda može imati ulogu plastifikatora smeše, smanjiti viskozitet skroba i SME, onemogućiti formiranje rastresitih struktura, i dati kompaktne proizvode (Zhao i sar., 2021). Slično su zabeležili i Seth i sar. (2015). Prema rezultatima Brnčić i sar. (2006) vlaga je imala najveći pozitivan uticaj na tvrdoću, dok je brzina obrtanja pužnice pokazala značajan negativan uticaj na tvrdoću ekstrudata.

Sa porastom brzine obrtanja pužnice zabeleženo je smanjenje tvrdoće proizvoda što može biti posledica nastanka niže gustine topljenja smeše. Slično su zapazili i Kumar i sar. (2010). Brže obrtanje pužnice stvara jaču silu koja brže istiskuje materijal iz cevi ekstrudera i formira bolju ekspanziju proizvoda, dajući lakše i manje tvrde proizvode, što su takođe u svojoj studiji potvrdili i Tsokolar-Tsikopoulos i sar. (2015).

Povećanje sadržaja korena cikoriije negativno je uticalo na teksturne karakteristike proizvoda povećavajući im tvrdoću. Pretpostavlja se da je prisustvo prebiotskog vlakna inulina negativno uticalo na tvrdoću proizvoda usled uticaja na debljinu zida ćelija. Inulin verovatno može pružiti strukturni integritet ekstrudatima usled interakcije sa drugim komponentama prisutnim u smeši (poput proteina), što za rezultat daje veću tvrdoću proizvoda. Pored toga, moguće je da prisustvo inulina izaziva porast tvrdoće ekstrudata usled prevremenog pucanja vazdušnih ćelija. Inulin ne može biti inkorporiran u unutrašnje pore tokom ekstrudiranja te utiče na nastanak složenih struktura koje su posledično veoma tvrde (Zhao i sar., 2021).

Uticaj parametara ekstrudiranja na broj pikova (NoP)

Na slici 45 prikazana je zavisnost broja pikova od uticaja parametara ekstrudiranja.



Slika 45. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na broj pikova (NoP).

Porast sadržaja vlage i inulina smanjuju broj pikova tokom kompresije. Pokazano je da je povećanje vrednosti ovih nezavisnih promenljivih (vlage, udeo korena cikoriije) dovelo do formiranja grube strukture sa povećanom prividnom gustinom. Ova zapažanja su usaglašena sa zaključcima izvedenim u studiji Tsokolar-Tsikopoulos i sar. (2015) koji su ispitivali teksturne

karakteristike ekstrudata sa dodatkom inulina. Naime, povećanje udela korena cikoriije uslovalo je smanjenje količine skroba u smešama za ekstrudiranje, što je negativno uticalo na formiranje vazdušastih ekstrudata koji bi beležili veći broj pikova prilikom kompresije.

Povećana brzina obrtanja pužnice je odgovorna za nastanak većeg broja ćelija proizvoda sa manjom debljinom zidova čime se povećava broj pikova tokom kompresije. Očekuje se da hrskavost takvih proizvoda bude veća, što je pokazano i u okviru ove teze. U korist ovom zapažanju govori uzorak 7 ekstrudiran pri najvećoj brzini obrtanja pužnice (900 o/min), koji beleži najvišu vrednost indeksa hrskavosti od $3,25 \times 10^{-3}$ i veliki broj pikova (52) u odnosu na ostale ispitivane ekstrudate.

4.6. Karakteristike boje

Izmerene vrednosti parametara boje neekstrudiranih smeša prikazane su u tabeli 23, dok su vrednosti istih parametara ispitivanih uzoraka prikazane u tabeli 24.

Tabela 23. Parametri boje polaznih neekstrudiranih smeša

Polazne smeše sa procentualnim udelom korena cikoriije, %	L*	a*	b*	C*	h
20,0	80,54±0,23 ^b	1,25±0,12 ^a	14,92±0,14 ^a	14,97±0,27 ^a	85,22±0,31 ^a
24,1	80,54±0,34 ^b	1,28±0,09 ^a	15,17±0,08 ^a	15,22±0,21 ^a	85,18±0,40 ^a
30,0	79,46±0,47 ^{ab}	1,27±0,17 ^a	15,50±0,19 ^{ab}	15,55±0,13 ^{ab}	85,32±0,37 ^a
35,9	78,67±0,35 ^a	1,48±0,23 ^a	16,47±0,28 ^a	16,54±0,14 ^{bc}	84,89±0,45 ^a
40,0	77,99±0,26 ^a	1,51±0,30 ^a	16,66±0,31 ^a	16,72±0,22 ^c	84,82±0,51 ^a

L* - svetloća; a* - udeo crvene/zelene boje; b* - udeo žute/plave boje; C* - intenzitet boje; h - nijansa boje. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=5) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Svetloća proizvoda dobijenih u ovoj studiji (L*) kretala se u rasponu od 63,16 do 70,48. Udeo crvene/zelene boje (a*) pokazao je vrednosti od 3,57 do 5,17, dok je udeo žute/plave boje (b*) zabeležen u granicama 20,52-24,49. Ovi rezultati su u rangu vrednosti zabeleženim u studiji Wani i Kumar (2015) koji su ispitivali uticaj dodatka različitih biljnih sirovina na promenu boje kukuruznih, pirinčanih i ječmenih ekstrudata i zabeležili vrednosti 56,3-71,3 za L*, 4,44-6,47 za a* i 11,89-19,88 za b*. Intenzitet boje (C*) ispitivanih flaps proizvoda imao je vrednosti od 20,83 do 24,92. Nijansa boje proizvoda (h) dobijenih u ovoj disertaciji kretala se u granicama 77,54 do 80,61. Vrednosti nijanse boje u intervalu od 0 do 90 ukazuju na to da su svi ispitivani uzorci imali nijansu crveno-ljubičaste boje.

Ukupna promena boje koja predstavlja razliku u boji polaznih sirovina i finanih proizvoda kretala se u rasponu 11,64 do 18,03. Borah i sar. (2016) su zabeležili sličan red veličina ukupne promene boje prilikom razvoja vlaknima obagaćenih flaps proizvoda na bazi pirinča ($\Delta E = 9,532-15,722$). Kontrolni uzorak napravljen od čistog pirinčanog brašna pokazao je vrednost $L^* = 99,94$, što ukazuje da je ovaj proizvod najsvetliji i da se uočava trend tamnjenja proizvoda sa dodatkom korena cikoriije. Ovaj uzorak takođe je pokazao zelenu ($a^* = -1,24$), odnosno plavu boju proizvoda ($b^* = 8,62$), što su niže vrednosti u poređenju sa svim ostalim uzorcima ekstrudiranim sa dodatkom korena cikoriije. Nijansa kontrolnog uzorka ($h = 98,21$) govori da se

ovaj proizvod svrstava u grupu proizvoda žute nijanse, dok je vrednost intenziteta boje C* (8,71) bila niža u odnosu na uzorke sa dodatkom korena cikoriije. Svi ovi rezultati govore da kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna pokazuje najsvetlije karakteristike parametara boje, te je ovaj uzorak ostvario najslabiji vizuelni doživljaj kod potrošača (ukupna dopadljivost boje ocenjena potrošačkim testom iznosila je 5,179 za kontrolni uzorak, dok je optimalni uzorak 11 ocenjen sa 6,276). Slično tome, pogače koje zaostaje nakon ceđenja ulja iz susama ili spiruline, imaju tamniju boju u odnosu na kontrolni uzorak (usled obogaćivanja polaznih flaps proizvoda vlaknima i proteinima), ali su finalni proizvodi ocenjeni su kao prihvatljivi od strane potrošača, i to sa visokim ocenama (Nascimento i sar., 2012; Tańska i sar., 2017).

Tabela 24. Izmereni parametri boje flaps proizvoda

Uzorak	M	V	P	L*	a*	b*	C*	h	ΔE
1	21,2	820	35,9	65,19±0,99 ^{bc}	4,28±0,21 ^{abcde}	22,36±0,40 ^{bcd}	22,77±0,34 ^{bcd}	79,18±0,41 ^{cdefgh}	14,97±1,11 ^e
2	19,4	700	30,0	64,10±1,24 ^{ab}	5,10±0,31 ^{def}	23,23±0,75 ^{bcd}	23,45±0,27 ^{cdef}	77,78±0,32 ^a	17,88±1,23 ⁱ
3	17,6	820	35,9	70,06±0,42 ^g	4,27±0,16 ^{abcde}	23,80±0,58 ^{efg}	24,18±0,61 ^{fg}	79,83±0,58 ^{ghi}	11,64±1,03 ^a
4	19,4	700	30,0	63,78±1,26 ^{ab}	5,09±0,28 ^{def}	23,25±0,52 ^{bcd}	23,48±0,63 ^{cdef}	77,79±0,51 ^a	17,83±1,87 ^j
5	21,2	820	24,1	67,55±0,50 ^{ef}	4,09±0,22 ^{abc}	22,15±0,76 ^{bc}	22,53±0,54 ^{bc}	79,53±0,43 ^{efgh}	15,02±1,34 ^e
6	22,5	700	30,0	63,16±1,77 ^a	4,84±0,28 ^{def}	22,34±0,78 ^{bcd}	22,86±0,11 ^{bcd}	77,78±0,21 ^{ab}	18,03±1,35 ⁱ
7	19,4	900	30,0	65,17±0,57 ^{bc}	4,91±0,17 ^{def}	23,58±0,33 ^{defg}	24,09±0,22 ^{fg}	78,25±0,32 ^{abc}	16,81±1,63 ⁱ
8	17,6	820	24,1	68,54±0,53 ^{fg}	4,58±0,13 ^{cdef}	24,49±0,26 ^g	24,92±0,47 ^g	79,41±0,47 ^{defgh}	15,55±1,31 ^f
9	19,4	700	30,0	64,08±0,89 ^{ab}	5,09±0,30 ^{def}	23,26±0,46 ^{bcd}	23,46±0,17 ^{cdef}	77,77±0,28 ^a	17,87±1,29 ^j
10	21,2	520	24,1	66,53±0,95 ^{cde}	4,37±0,22 ^{bcd}	22,49±0,39 ^{bcd}	22,91±0,24 ^{bcd}	79,01±0,34 ^{cdefg}	16,11±1,02 ^g
11	16,3	700	30,0	68,01±0,47 ^{ef}	4,82±0,16 ^{def}	24,31±0,34 ^{fg}	24,78±0,82 ^g	78,79±0,68 ^{cdef}	14,87±0,98 ^e
12	19,4	700	40,0	63,32±0,74 ^{ab}	5,10±0,25 ^f	23,11±0,42 ^{bcd}	23,67±0,56 ^{def}	77,55±0,61 ^a	16,42±1,26 ^h
13	19,4	500	30,0	65,27±0,64 ^{bc}	4,46±0,18 ^{bcd}	21,92±0,39 ^{ab}	22,36±0,30 ^b	78,50±0,27 ^{abcd}	15,89±1,15 ^g
14	19,4	700	30,0	64,10±0,53 ^{ab}	5,10±0,22 ^{def}	23,29±0,42 ^{bcd}	23,49±0,90 ^{def}	77,79±0,54 ^a	17,93±1,47 ^j
15	17,6	520	24,1	69,29±0,9 ^{fg}	4,23±0,27 ^{abcd}	23,09±0,59 ^{bcd}	23,47±0,74 ^{def}	79,62±0,68 ^{fgh}	14,07±1,05 ^d
16	21,2	520	35,9	67,32±0,41 ^{def}	3,57±0,07 ^a	20,52±0,43 ^a	20,83±0,60 ^a	80,12±0,56 ^{hi}	12,23±0,87 ^b
17	17,6	520	35,9	65,32±0,79 ^{bcd}	4,72±0,14 ^{cdef}	23,37±0,26 ^{cdefg}	23,84±0,41 ^{ef}	78,57±0,47 ^{bcd}	15,37±1,11 ^f
18	19,4	700	20,0	70,48±0,67 ^g	3,75±0,16 ^{ab}	22,69±0,29 ^{bcd}	23,00±0,22 ^{bcd}	80,61±0,63 ⁱ	12,95±1,07 ^c
19	19,4	700	30,0	63,91±0,65 ^{ab}	5,09±0,19 ^{def}	23,32±0,41 ^{bcd}	23,47±0,32 ^{cdef}	77,78±0,54 ^a	17,87±1,57 ^j
20	19,4	700	30,0	64,62±0,92 ^{ab}	5,10±0,36 ^{def}	23,28±0,52 ^{bcd}	23,45±0,28 ^{cdef}	77,79±0,62 ^a	17,92±1,72 ^j

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); L* - svetloća; a* - udeo crvene/zelene boje; b* - udeo žute/plave boje; C* - intenzitet boje; h – nijansa boje; ΔE – ukupna promena boje.

Rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=5) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Poređenjem parametra boje određenih kod polaznih neekstrudiranih smeša sa različitim udelima korena cikoriije (tabela 23) sa parametrima boje dobijenih ekstrudata zabeležene su niže vrednosti svetloće i nijanse boje nakon termičke obrade ekstrudiranjem (tabela 24). Parametri crvene/zelene, žute/plave boje i intenzitet boje ekstrudata (tabela 24) imali su znatno više vrednosti u odnosu na iste parametre definisane kod polaznih netretiranih smeša (tabela 23). Razlog ovakvim promenama nakon procesa ekstrudiranja može biti prisustvo prebiotika inulina u korenu cikoriije koji određuje obim reakcija neenzimskog tamnjenja. Ova zapažanja se slažu sa zaključcima koje su u svojim studijama oplemenjivanja proizvoda inulinom izneli Peressini i sar. (2015), ukazujući na činjenicu da prisustvo inulina utiče na formiranje tamnije boje proizvoda, odnosno blago smanjenje parametra L* i b*, i blagi porast vrednosti parametra a* nakon dodatka dugolančanog inulina (SP=23). Sa druge strane, prema Katsavou i sar. (2019) pored Maillard-ovih reakcija prilikom termičkog procesuiranja javlja se i reakcija karamelizacije kao posledica prisustva redukujućih šećera, i posebno zavisi od sadržaja vlage i razgradnje skroba prilikom dejstva sila smicanja.

Vrednosti ukupne promene boje (ΔE), koja predstavlja razliku boje neekstrudiranih smeša i flips proizvoda dobijenih ekstrudiranjem iz tih smeša, kreću se u intervalu od 11,64-18,03 (tabela 24). Povećanje vlage izaziva smanjenje vrednosti L^* pa samim tim daje veće vrednosti ΔE (Bakalov i sar., 2016), što je primećeno i u okviru ispitivanja ove disertacije gde je najveća promena boje (18,03) zabeležena kod uzorka sa najvećim sadržajem vlage (22,5%). Sa druge strane, povećanje sadržaja inulina negativno utiče na vrednost ΔE , što može biti posledica povećanog prisustva prehrambenih vlakana (Wang i Ryu, 2013), što je posebno uočljivo kod uzoraka sa 20% ($\Delta E=12,95$) i 40% ($\Delta E=16,42$) korena cikoriije ekstrudiranih pri istim uslovima.

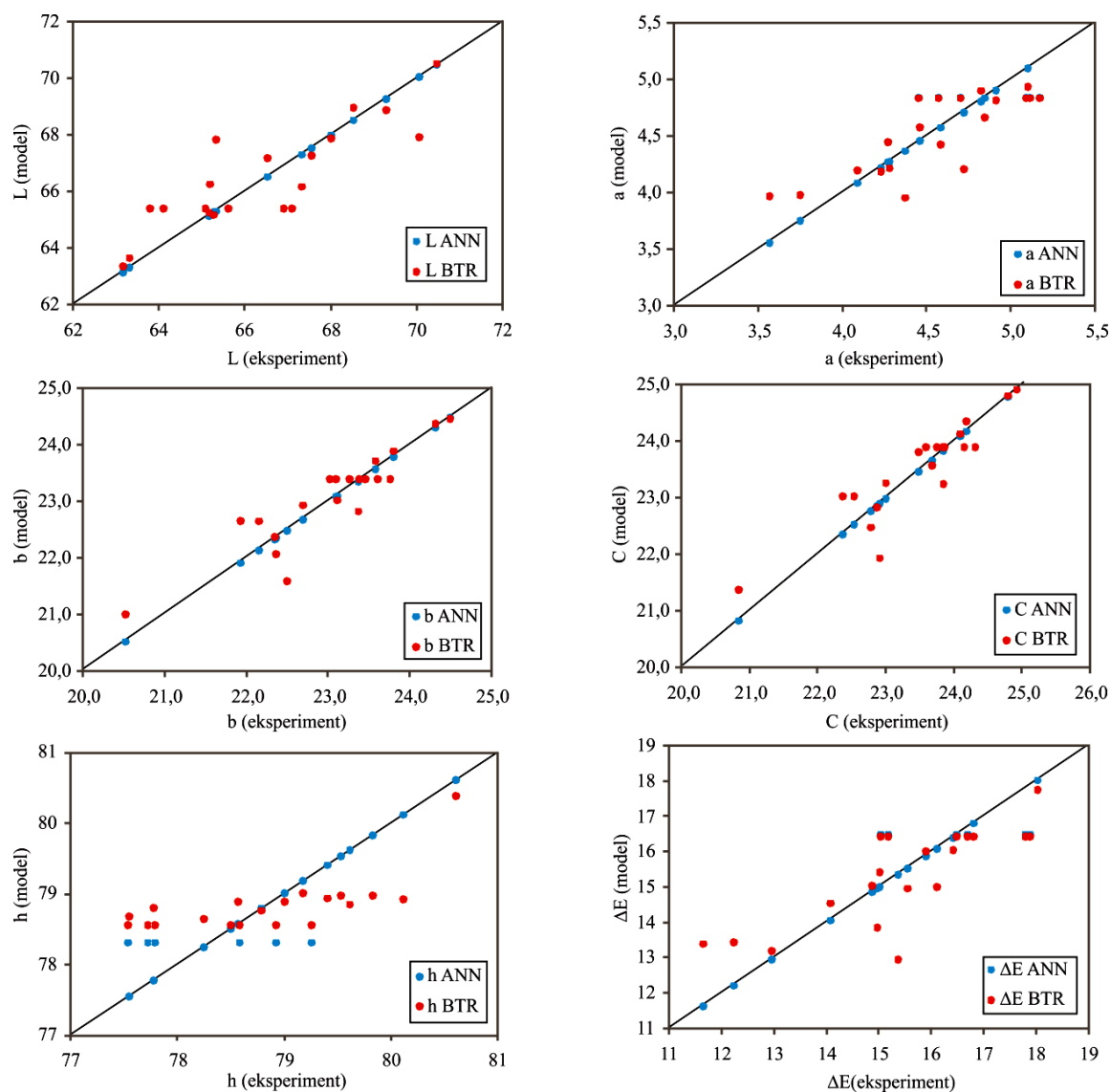
4.6.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na boju flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

Primena modelovanja u prehrambenom sektoru ima za cilj da predvidi željene karakteristike finalnih proizvoda. U tu svrhu primenjeni su: ubrzano regresiono stablo (*engl. Boosted regression tree*, BRT) i veštačka neuronska mreža (*engl. Artificial neural network*, ANN) da se ispita mogućnost predviđanja karakteristika boje ekstrudata (L^* , a^* , b^* , C^* , h^* , i ΔE), kao funkcije nezavisnih promenljivih: vlage materijala (M), brzine obrtanja pužnice ekstrudera (V) i udela korena cikoriije (P).

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje L^* , a^* , b^* , C^* , h i ΔE i iznosio je 24, 56, 57, 57, 8 i 81, respektivno. Maksimalna dužina grana za sve modele je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 106 težinskih koeficijenata i odesečaka), dok su r^2 vrednosti za izlazne promenljive, L^* , a^* , b^* , C^* , h , i ΔE bile visoke, uz niske vrednosti korena srednjeg kvadrata greške (tabela 25). Na osnovu performansi ANN modela, odabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju koji je bio 9 (mreža MLP 3-9-6), sa ciljem adekvatnog predviđanja izlaznih promenljivih (L^* , a^* , b^* , C^* , h , i ΔE). Optimalna mreža koristila je BFGS 2667 algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju je bila logistička (*engl. logistic*), a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je bila identična (*engl. identity*).

Slika 46 prikazuje uklapanje vrednosti izlaznih parametara boje (L^* , a^* , b^* , C^* , h , i ΔE) predviđenih primenom BRT (crvene tačke) i ANN modela (plave tačke) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (podaci predstavljeni na x-osi).



Slika 46. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima parametara boje flips proizvoda. L^* - svetloća; a^* - udeo crvene/zelene boje; b^* - udeo žute/plave boje; C^* - intenzitet boje; h – nijansa boje; ΔE – ukupna promena boje.

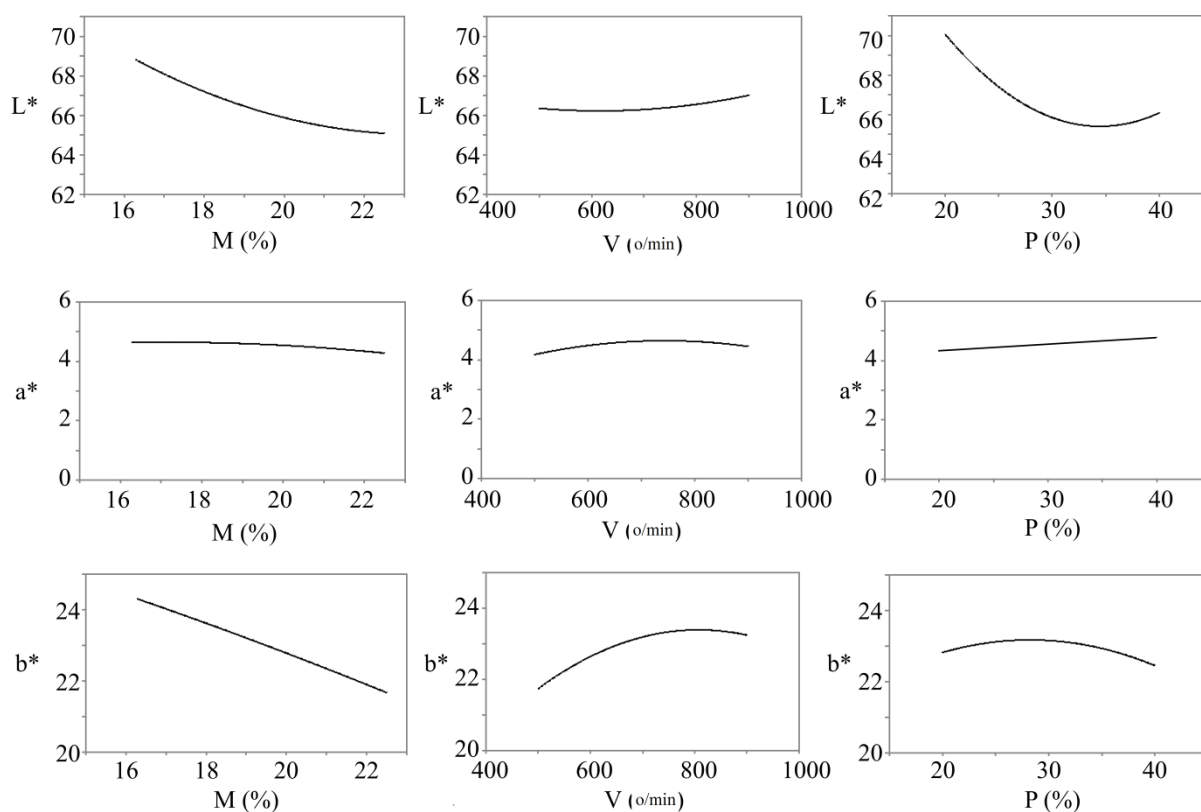
Kvalitet slaganja BRT i ANN modela sa eksperimentalno dobijenim vrednostima je testiran klasičnim statističkim pokazateljima (r^2 , RMSE) i predstavljen je u tabeli 25.

Tabela 25. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za parametre boje

Parametri boje	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
L^*	1,097	0,694	0,728	0,891
a^*	0,254	0,156	0,659	0,870
b^*	0,372	0,130	0,826	0,979
C^*	0,386	0,135	0,825	0,978
h	0,667	0,358	0,447	0,828
ΔE	1,036	0,614	0,635	0,870

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške, L^* - svetloća, a^* - udeo crvene/zelene boje, b^* - udeo žute/plave boje, C^* - intenzitet boje, h – nijansa boje, ΔE – ukupna promena boje.

Može se zaključiti da su predviđene vrednosti parametara boje na osnovu rezultata ANN modela veoma bliske merenim vrednostima, u smislu visokih r^2 vrednosti (tabela 25). Sa druge strane, niže vrednosti r^2 dobijene unutar BRT modela, i nešto više RMSE vrednosti, jasno ukazuju na slabije predviđanje ovog tipa modela u odnosu na ANN. Ovaj zaključak je još slikovitije i jasnije prikazan na slici 46, gde se vidi da plave tačke ANN modela mnogo manje odstupaju od eksperimentalnih vrednosti prikazanih linijom iz koordinatnog početka, u odnosu na crvene tačke koje pripadaju BRT modelu. U saglasnosti sa ovim zaključcima su i rezultati Sharma i sar. (2016) koji ističu bolje predviđačke sposobnosti ANN modela u odnosu na RSM model za iznalaženje vrednosti parametara boje (L^* , a^* , b^*), formiranih tokom ekstrudiranja pokožice ananasa. Pandey i sar. (2021) takođe ističu da je veštačka neuronska mreža pružila pouzdaniji model za predviđanje parametara boje sojinih ekstrudata sa dodatkom banane, u poređenju sa modelom formiranim uz pomoć metode odzivne površine, i stoga ANN smatraju primenjivom za predviđanje karakteristika ekstrudirane hrane na industrijskom nivou. Zaključci ove disertacije pokazuju da je ANN superiornija u predviđanju karakteristika boje ekstrudirane hrane i u odnosu na BRT model, čime se čvršće dokumentuje poređenje performansi ANN i BRT modela u predviđanju boje ekstrudata u naučnoj literaturi. Stoga je za ispitivanje uticaja procesnih parametara na karakteritike boje finalnih flips proizvoda primenjena veštačka neuronska mreža, što je prikazano na slici 47.



Slika 47. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na parametre boje (L^* - svetloća, a^* - udeo crvene/zelene boje, b^* - udeo žute/plave boje).

Sa slike 47 se primećuje da porast vlage polaznog materijala utiče na smanjenje vrednosti L^* i b^* , dok je kod parametra a^* zabeleženo samo blago smanjenje pri povećanju sadržaja vlage. Slična zapažanja zabeležili su Durge i sar. (2013), gde je sa povećanjem vlage smeše sa 14 na 18% opala vrednost svetloće pirinčanog ekstrudata sa dodatkom cvekle. Povećan sadržaj vlage

može doprineti biohemijskim transformacijama kao što su Maillard-ove reakcije tamnjenja, što izaziva redukciju vrednosti ispitivanih parametara boje (Chevanan i sar., 2008; Dalbhagat i sar., 2019).

Povećanje brzine obrtanja pužnice povećava vrednosti za L^* , a^* i b^* (slika 47). Ovi rezultati mogu biti objašnjeni kraćim zadržavanjem sirovine u cevi ekstrudera usled veće brzine obrtanja pužnice, pri čemu je skraćeno vreme degradacije pigmenata boje, odnosno vreme potrebno za formiranje tamnije boje ekstrudata. Slične zaključke zabeležili su Kaur i sar. (2014). Štaviše, Bakalov i sar. (2016) napominju da povećana brzina obrtanja pužnice povećava silu smicanja i temperaturu, čime se pospešuju reakcije tamnjenja (Bakalov i sar., 2016).

Dodatkom korena cikorije u pirinčanu bazu smanjena je svetloća ekstrudata i povećane su vrednosti parametara crvene i žute boje, usled tamnije boje korena cikorije ($L^*=63,75$, $a^*=4,33$, $b^*=17,23$). Sa druge strane, prisustvo inulina poreklom iz korena cikorije, koje određuje stepen neenzimske reakcije tamnjenja, može biti odgovorno za smanjenje L^* i povećanje vrednosti a^* i b^* , što ukazuje na visoku stopu Maillard-ovih reakcija u poređenju sa kontrolnim uzorkom ($L^*=99,94$, $a^*=-1,24$, $b^*=8,62$), što je takođe zabeleženo u studiji Morris i Morris (2012). Ovi rezultati su u saglasnosti sa studijom Singha i sar. (2018) koji su ispitali efekat dodavanja garbanzo brašna i osušenih zrna iz destilerije bogatih prehranbenim vlaknima na promenu boje ekstrudata kukuruza. Slične tome, ekstrakt paprike implementiran u pirinčane ekstrudate smatran je bezbednim dodatkom, gde su proizvodi imali atraktivnu crvenu boju što je imalo značajan komercijalni uticaj (Gat i Ananthanarayan, 2016).

4.7. Toplotne karakteristike flips proizvoda – Diferencijalno skenirajuća kalorimetrija (DSC)

Stepen želatinizacije skroba vrlo je važna karakteristika ekstrudiranih flips proizvoda jer daje informaciju o ekspanziji samog proizvoda, može uticati na teksturne karakteristike ekstrudata i objasniti ostale promene koje se dešavaju u skrobnim proizvodima nakon dodatka različitih sirovina tokom procesa ekstrudiranja (Gat i Ananthanarayan, 2015). Što je stepen želatinizacije veći to je flips proizvod lakše svarljiv (Wang i sar., 2018).

Stepen želatinizacije (SG) skroba u okviru ove studije izračunat je na osnovu razlike vrednosti entalpije (ΔH , J/g) izmerene kod polaznih neekstrudiranih smeša i flips proizvoda nastalih iz tih smeša ekstrudiranjem pod različitim procesnim uslovima. Dobijene vrednosti SG prikazane su u tabeli 26, dok tabela 27 sumira vrednosti temperature početka želatinizacije (T_0 , °C), temperature pika želatinizacije (T_p , °C), temperature završetka želatinizacije (T_v , °C), kao i vrednosti entalpija (ΔH , J/g) za polazne smeše, a tabela 28 te iste parametre za ekstrudate.

Tabela 26. Stepen želatinizacije skroba u flips proizvodima

Uzorak	M	V	P	SG
1	21,2	820	35,9	51,09±1,23 ^{de}
2	19,4	700	30,0	22,82±0,88 ^b
3	17,6	820	35,9	43,21±0,87 ^c
4	19,4	700	30,0	23,84±0,16 ^b
5	21,2	820	24,1	56,96±1,09 ^{efg}

Tabela 26. Nastavak

Uzorak	M	V	P	SG
6	22,5	700	30,0	60,96±0,92 ^g
7	19,4	900	30,0	44,64±0,53 ^c
8	17,6	820	24,1	69,70±2,43 ^h
9	19,4	700	30,0	22,91±0,63 ^b
10	21,2	520	24,1	24,70±1,34 ^b
11	16,3	700	30,0	41,32±0,32 ^c
12	19,4	700	40,0	14,43±0,62 ^a
13	19,4	500	30,0	43,18±1,29 ^c
14	19,4	700	30,0	22,88±0,15 ^b
15	17,6	520	24,1	54,50±0,89 ^{ef}
16	21,2	520	35,9	14,18±1,43 ^a
17	17,6	520	35,9	47,28±2,33 ^{cd}
18	19,4	700	20,0	59,61±0,84 ^{fg}
19	19,4	700	30,0	22,75±1,12 ^b
20	19,4	700	30,0	22,49±0,71 ^b

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); SG – stepen želatinizacije skroba (%). Rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=30) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Vrednost stepena želatinizacije flips proizvoda kretao se u intervalu od 14,18 % do 69,70%. Kontrolni uzorak beležio je stepen želatinizacije od 46,21%.

Ispitivane toplotne osobine polaznih smeša, korena cikoriije i pirinčanog brašna kao i polaznih sirovina prikazane su u tabeli 27.

Tabela 27. Vrednosti početna temperature (To), temperature pika (Tp), krajnje temperature (Tv) i entalpije (ΔH) polaznih neekstrudiranih smeša (sa sadržajem korena cikoriije od 20; 24,1; 30; 34,9 i 40%), korena cikoriije (KC) i pirinčanog brašna (PB)

Toplotne karakteristike	Polazna smeša sa procentualnim udelom korena cikoriije/sirovina							
	20,0% KC	24,1% KC	30,0% KC	35,9% KC	40,0% KC	KC	PB	
Pik I	To	45,96±0,15 ^{bc}	43,6±0,40 ^a	44,06±0,25 ^a	47,53±0,15 ^c	44,27±0,06 ^a	-	44,93±0,50 ^{ab}
	Tp	49,80±0,10 ^{bc}	47,36±0,35 ^a	47,43±0,35 ^a	51,13±0,15 ^c	47,16±0,21 ^a	-	48,46±0,35 ^{ab}
	Tv	55,26±0,15 ^a	53,46±0,35 ^a	74,80±0,50 ^b	53,86±0,63 ^a	54,47±0,46 ^a	-	55,63±0,40 ^a
	ΔH	4,50±0,03 ^a	4,21±0,02 ^a	4,21±0,01 ^a	3,80±0,12 ^{ab}	2,57±0,22 ^b	-	5,13±0,59 ^a
Pik II	To	68,40±0,20 ^{ab}	68,00±0,40 ^a	70,4±0,40 ^b	66,20±0,40 ^a	67,7±0,50 ^a	-	66,1±0,50 ^a
	Tp	73,40±0,40 ^b	73,20±0,20 ^b	74,80±0,50 ^b	71,20±0,20 ^a	70,80±0,30 ^a	-	71,1±0,10 ^a
	Tv	78,30±0,40 ^a	79,1±0,30 ^{ab}	80,1±0,40 ^{ab}	82,60±1,30 ^b	77,30±0,30 ^a	-	76,7±0,80 ^a
	ΔH	3,12±0,20 ^a	2,57±0,07 ^a	2,48±0,19 ^a	1,45±0,24 ^b	0,68±0,09 ^b	-	3,17±0,04 ^a

To - početna temperatura želatinizacije ($^{\circ}$ C); Tp - temperatura pika želatinizacije ($^{\circ}$ C); Tv - krajnja temperatura želatinizacije ($^{\circ}$ C); ΔH – entalpija (J/g), KC – koren cikoriije; PB – pirinčano brašno. Rezultati su izraženi kao srednja vrednost (n=3) ± s.d. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=30) ± s.d. Vrednosti u istom redu označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Primećeno je da je vrednost entalpije neekstrudiranih smeša opadala sa dodatkom korena cikorije (tabela 27, od 4,50 do 2,57 J/g za pik I, odnosno od 3,12 do 0,68 J/g za pik II), što je u saglasnosti sa rezultatima Wang i sar. (2018) u čijoj studiji vrednost entalpije opada sa dodatkom opne pirinčanog zrna u pirinčane ekstrudate. Naime, ova pojava može biti objašnjena time što se sa povećanjem udela korena cikorije koji ne sadrži skrob smanjuje udeo dostupnog skroba podložnog želatinizaciji.

Primetno je da neekstrudirane polazne smeše i pirinčano brašno beleže pojavu čak dva pika tokom DSC analize (tabela 27). Pojava drugog endotermnog pika kod neekstrudiranih smeša sa dodatkom korena cikorije u temperaturnoj regiji od 70,8-82,6 °C može biti sagledana kao temperatura disocijacije lipidno-amiloznog kompleksa, za koju je ranije utvrđeno da se dešava u intervalu temperature 70-108 °C (Wang i sar., 2018). Inulin poreklom iz korna cikorije može biti odgovoran za ovaj fenomen. Štaviše, Blecker i sar. (2003) navode da DSC analiza komercijalno dostupnog inulina takođe beleži pojavu dva endotermna pika, povezujući pojavu drugog pika sa topljenjem inulina. Oni takođe naglašavaju da pojava i temperatura drugog pika zavise od stepena polimerizacije inulina, gde se sa povećanjem stepena polimerizacije položaj drugog pika pomera ka višim temperaturama.

Tabela 28. Vrednosti početne temperature želatinizacije (T_o), temperature pika želatinizacije (T_p), krajnje temperature želatinizacije (T_v) i entalpije (ΔH) flips proizvoda

Uzorak	M	V	P	T_o	T_p	T_v	ΔH
1	21,2	820	35,9	45,53±0,41 ^{ab}	48,76±0,50 ^a	54,40±0,85 ^{ab}	1,24±0,03 ^a
2	19,4	700	30,0	44,63±0,17 ^{ab}	48,20±0,86 ^a	54,56±0,89 ^{ab}	3,26±0,04 ^g
3	17,6	820	35,9	45,50±0,17 ^{ab}	48,76±0,15 ^a	54,13±0,80 ^{ab}	1,46±0,02 ^{bc}
4	19,4	700	30,0	43,90±0,10 ^{ab}	47,60±0,20 ^a	53,93±0,06 ^{ab}	3,20±0,01 ^g
5	21,2	820	24,1	45,13±0,38 ^{ab}	48,50±0,53 ^a	53,60±0,56 ^{ab}	1,81±0,05 ^d
6	22,5	700	30,0	44,73±0,35 ^{ab}	47,66±0,21 ^a	53,23±0,96 ^{ab}	1,64±0,04 ^{cd}
7	19,4	900	30,0	44,03±0,15 ^a	47,30±0,36 ^a	53,10±0,30 ^a	2,33±0,02 ^{ef}
8	17,6	820	24,1	44,50±0,36 ^{ab}	47,70±0,26 ^a	52,50±0,56 ^a	1,27±0,10 ^{ab}
9	19,4	700	30,0	44,66±0,06 ^{ab}	48,16±0,11 ^a	55,60±0,36 ^{ab}	3,24±0,03 ^g
10	21,2	520	24,1	44,70±0,26 ^{ab}	48,00±0,26 ^a	54,26±0,65 ^{ab}	3,17±0,05 ^g
11	16,3	700	30,0	44,26±0,25 ^a	47,60±0,26 ^a	54,33±0,77 ^{ab}	2,47±0,01 ^f
12	19,4	700	40,0	44,43±0,40 ^a	47,70±0,30 ^a	54,23±0,46 ^{ab}	3,57±0,02 ^h
13	19,4	500	30,0	44,13±0,12 ^a	47,36±0,15 ^a	53,40±0,35 ^{ab}	2,39±0,05 ^{ef}
14	19,4	700	30,0	46,13±0,40 ^{ab}	49,23±0,32 ^a	56,36±0,85 ^{ab}	3,24±0,01 ^g
15	17,6	520	24,1	45,03±0,30 ^{ab}	48,30±0,20 ^a	53,73±0,15 ^{ab}	1,91±0,04 ^d
16	21,2	520	35,9	44,33±0,35 ^a	47,53±0,15 ^a	53,63±0,31 ^{ab}	2,20±0,04 ^e
17	17,6	520	35,9	45,13±0,15 ^{ab}	48,06±0,15 ^a	53,70±0,26 ^{ab}	1,35±0,06 ^{ab}
18	19,4	700	20,0	45,03±0,06 ^{ab}	48,20±0,20 ^a	53,53±0,59 ^{ab}	1,64±0,03 ^{cd}
19	19,4	700	30,0	44,43±0,51 ^{ab}	48,00±0,50 ^a	54,56±0,90 ^{ab}	3,25±0,05 ^g
20	19,4	700	30,0	44,50±0,26 ^{ab}	47,80±0,26 ^a	54,63±0,38 ^{ab}	3,26±0,03 ^g

T_o - početna temperatura želatinizacije (°C); T_p - temperatura pika želatinizacije (°C); T_v - krajnja temperatura želatinizacije (°C); ΔH – entalpija (J/g). Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ($n=3$) \pm s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Primenom Tukey HSD testa određeno je da nema statistički značajnih razlika ($p < 0,05$) u pogledu vrednosti T_0 , T_p i T_v , među ekstrudatima (tabela 28). Temperatura na kojima je započinjala želatinizacija skroba (T_0) ispitivanih ekstrudata kretala se u opsegu $43,90-46,13^\circ\text{C}$. Temperatura na kojoj je želatinizacija skroba dostizala maksimalnu vrednost (T_p) beležila je vrednosti od $47,30-49,23^\circ\text{C}$. Završetak želatinizacije skroba dešavao se na temperaturama (T_v) $52,50-56,36^\circ\text{C}$ (tabela 28).

Zabeležene su veće vrednosti entalpije kod neekstrudiranog pirinčanog brašna ($\Delta H_I=5,13$ J/g i $\Delta H_{II}=3,17$ J/g) u poređenju sa flips proizvodima od pirinčanog brašna sa dodatkom korena cikoriije ($\Delta H=1,24-3,57$ J/g) (Tabela 28). Ova pojava može se pripisati inulinu iz korena cikoriije. Smanjenje vrednosti entalpije nakon dodatka sirovine bogate inulinom kakav je koren cikoriije može bit posledica interakcije između funkcionalnih grupa inulina i stabilnih molekula skroba. Time se povećava amorfnost regija skroba. Sa druge strane, smanjenje entalpije može se pripisati osobinama vlakana (inulina) da vezuju vodu, čime se smanjuje količina dostupne vode neophodne za želatinizaciju skroba (Kiumarsi i sar. 2019). Takođe, ekstrudirani flips proizvodi pokazali su pojavu želatinizacije skroba na nižim temperaturama ($47,30-49,23^\circ\text{C}$ za flips proizvode, tabela 28) u poređenju sa neekstrudiranim smešama ($47,16-51,13^\circ\text{C}$, tabela 27) usled poremećaja rasporeda molekula skroba za šta je odgovoran proces ekstrudiranja. Slično je zabeleženo u studiji Samyor i sar. (2018). Smanjenje temperature želatinizacije, temperature pika i krajnje temperature želatinizacije za pirinčano brašno dobijene u okviru ove disertacije ($T_0=66,1^\circ\text{C}$, $T_p=77,1^\circ\text{C}$, $T_v=76,7^\circ\text{C}$) zabeležili su Gat i Ananthanarayan (2015) u svojoj studiji ispitivanja uticaja ekstrudiranja na fizičko-hemijske osobine pirinčanih ekstrudata ($T_0=51^\circ\text{C}$, $T_p=79^\circ\text{C}$, $T_v=109^\circ\text{C}$).

Pomeranje temperature želatinizacije nakon dodatka korena cikoriije može biti posmatrano kao posledica interakcije funkcionalnih grupa nekih jedinjenja iz korena cikoriije sa amilozom i amilopektinom iz pirinčanog skroba, ostvarene kroz vodonične veze ili Van der Waals-ove sile. Slična zapažanja izneli su Wang i sar. (2018) nakon dodatka pirinčane opne u ekstrudate od pirinčanog brašna.

Kako koren cikoriije ne sadrži skrob u svom hemijskom sastavu, nije bilo moguće odrediti termičke karakteristike ove sirovine primenom DSC analize. U prilog tome govori termograf prikazan na slici 48 b, gde se vidi da nije detektovan pik želatinizacije prilikom diferencijalne sekinarujuće kalorimetrije korena cikoriije.

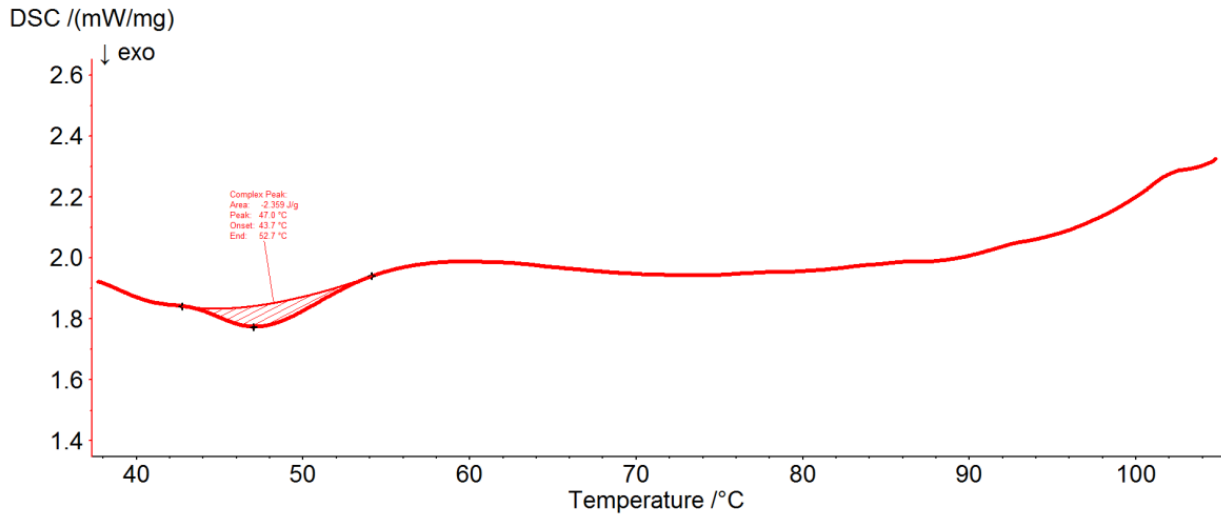
Kontrolni uzorak beležio je vrednosti $T_0=45,67^\circ\text{C}$, $T_p=49,39^\circ\text{C}$, $T_v=55,01^\circ\text{C}$, dok je optimalni uzorak 11 pokazao veoma približne vrednosti od $44,26^\circ\text{C}$; $47,60^\circ\text{C}$ i $54,33^\circ\text{C}$, za ispitivane parametre, redom. Veća vrednost T_0 ($45,67^\circ\text{C}$) kod kontrolnog uzorka proizvedenog od čistog pirinčanog brašna u odnosu na T_0 neekstrudiranog pirinčanog brašna ($44,93^\circ\text{C}$) ukazuje na činjenicu da je veća energija potrebna za inicijaciju želatinizacije skroba koga je pretpostavlja se bilo više u čistom pirinčanom brašnu, dok se sa dodatkom neskrobne sirovine kakav je koren cikoriije udeo skroba smanjio.

Entalpija želatinizacije skroba kod flips proizvoda kretala se u rasponu $1,24-3,57$ J/g (tabela 28), odnosno $1,38$ J/g za kontrolni uzorak.

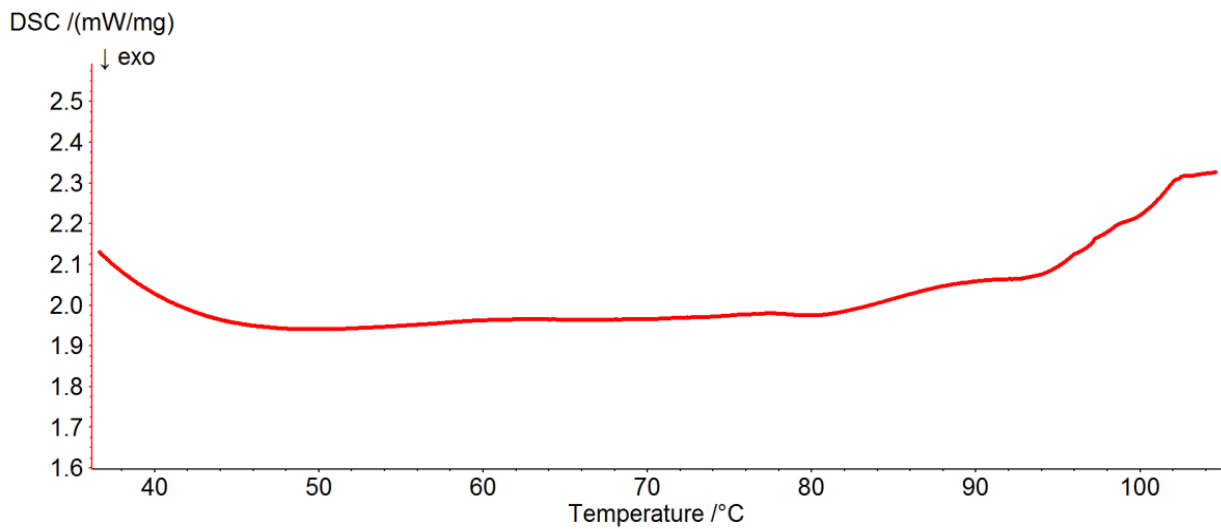
Širi raspon temperaturnih granica u okviru kojih se dešava želatinizacija kod flips uzoraka ($43,90-56,36$) u odnosu na kontrolni uzorak ($45,66-55,10$) može biti posledica prisustva korena cikoriije, kao što je slučaj sa prisustvom marakuje u ekstrudatima u studiji Samyor i sar. (2018).

Termografi određivanja stepena želatinizacije kod uzorka flips proizvoda i polaznih sirovina prikazan je na slici 48. Ovi termografi prikazuju endotermno ponašanje flips proizvoda.

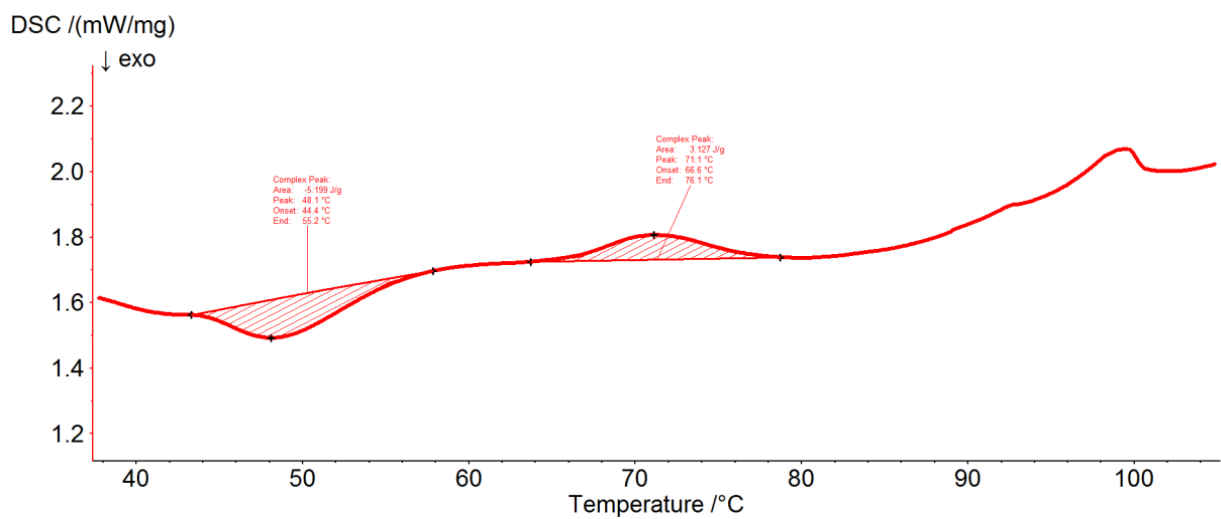
a)



b)



c)



Slika 48. Tipičan izgled rezultata analiziranih uzoraka/polaznih sirovina uz primenu DSC: uzorak; b) koren cikoriije; c) pirinčano brašno.

Endotermno ponašanje ukazuje na osobinu ekstrudata veće kristalnosti da apsorbuje toplotu ne samo usled oslobađanja vode tokom zagrevanja, nego i tokom topljenja delova kristalnih granula (Samyori i sar., 2018).

Uzorak 7 (slika 48a) pokazuje pojavu jednog pika želatinizacije, govoreći o tome da ovaj uzorka nije u potpunosti želatinizirao tokom procesa proizvodnje, te da je zaostao deo neželatiziranog skroba, u prilog čemu govori vrednost SG od 44,64% (tabela 26). Koren cikoriije nije zabeležio nijedan pik tokom DSC analize (slika 48b) što govori o tome da je ovo neskrbna sirovina, te da nije bilo skroba koji je mogao želatinizirati tokom sprovedene analize. Slika 48c daje uvid u pojavu dva pika kod pirinčanog brašna, gde prvi pik verovatno odgovara topljenju amilopektina, dok je moguće da drugi pik odgovara topljenju kompleksa amiloza-lipid kod skroba (Ji i sar., 2007).

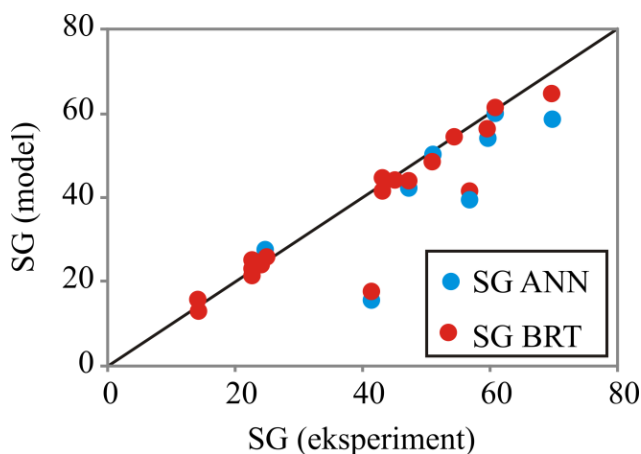
4.7.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na stepen želatinizacije flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

Cilj ovog poglavlja je da se primenom ANN i BRT modela ispita mogućnost predviđanja stepena želatinizacije flips proizvoda kao funkcije nezavisnih promenljivih: vlage materijala (M), brzine obrtanja pužnice ekstrudera (V) i udela korena cikoriije (P).

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje SG koji je iznosio 100. Maksimalna dužina grana za sve modele je bila 10.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 44 težinska koeficijenta i bias-a). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju i bio je 10 (mreža MLP 3-10-1), u cilju adekvatnog predviđanja izlazne promenljive SG, uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 29). Optimalna mreža koristila je BFGS 21 za algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija i u skrivenom i u izlaznom sloju bila je logistička.

Slika 49 prikazuje uklapanje vrednosti stepena želatinizacije predviđenih primenom BRT i ANN modela (crvene, odnosno plave tačke; podaci predstavljani na y-osi) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (prava linija iz kordinantnog početka; podaci predstavljani na x-osi).



Slika 49. Poređenje fitovanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima stepena želatinizacije (SG) flips proizvoda

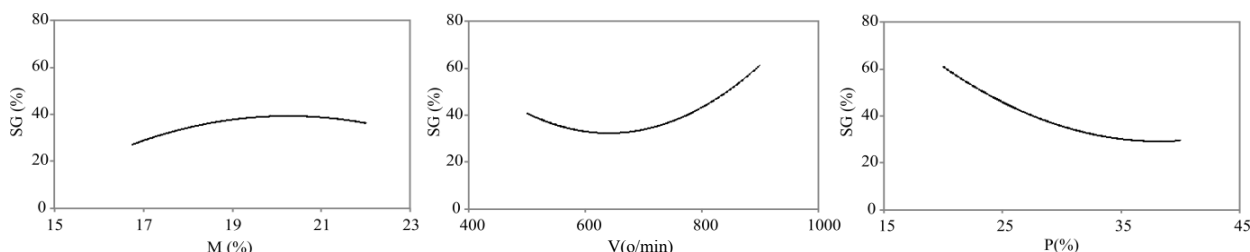
Tabela 29. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za stepen želatinizacije

Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
SG	7,757	7,625	0,821	0,834

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške, SG – stepen želatinizacije skroba (%)

Poređenjem dva gore pomenuta modela na osnovu koeficijenata determinacije (r^2) i korena srednjeg kvadrata greške (RMSE) prikazanih u tabeli 29 dolazi se do zaključka da se ANN model za nijansu bolje uklapa u predviđanje stepena želatinizacije ekstrudata u odnosu na BRT model, s obzirom da pokazuje nešto više vrednosti r^2 (0,834 za ANN, odnosno 0,821 za BRT) i nešto niže vrednosti RMSE. Međutim, rezultati uklapanja BRT modela dobijeni u okviru ove disertacije mogu pokazati potencijal njegove primene za predviđanje vrednosti SG skrobnih sirovina u prehrambenoj industriji, što do sada nije ispitano u naučnoj literaturi.

U prilog potencijalu primene ANN za predviđanje SG govore i druge studije. Naime, Ganjyal i sar. (2006) prikazali su da neuronska mreža za predviđanje stepena želatinizacije, kako kod pirinčanog brašna tako i kod pirinčanih ekstrudata, beleži visoke vrednosti koeficijenata determinacije ($r^2=0,94-0,96$) i niske vrednosti standardne greške ($SE=0,81-1,79$). Zhu i sar. (2004) ističu veliku predviđačku moć ANN sa genetskim algoritmom u određivanju optimalnih uslova želatinizacije pirinčanog skroba sa malom relativnom standardnom greškom. Olusola i sar. (2014) pokazali su da ANN ima bolju sposobnost predviđanja hidrolize skroba poreklom iz slatkog krompira u pogledu većih vrednosti r^2 i nižih vrednosti RMSE, kada se uporedi sa RSM modelom. U okviru ove disertacije primenjena je ANN u cilju ispitivanja uticaja procesnih parametara ekstrudiranja na stepen želatinizacije finalnih flips proizvoda (slika 50).

**Slika 50.** Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na stepen želatinizacije flips proizvoda

Porast sadržaja vlage polazne smeše do 20% uticao je na rast stepena želatinizacije skroba, dok je dalje povećanje M (>20%) izazvalo smanjenje SG. Povećanje količine vlage u polaznoj smeši može dovesti do smanjenja viskoznosti skroba i podsticanja molekula skroba da se slobodno kreću, prilikom čega toplota lakše prodre u materijal i samim tim pospešuje želatinizaciju (Samyori i sar., 2018). Pored toga, veći sadržaj vode redukuje elastične osobine testa usled plastifikacije mase što pozitivno utiče na povećanje SG (Jafari i sar., 2017). Dalji porast vlage (iznad 20%) izazvao je smanjenje SG verovatno zbog zaštitnog efekta vode čime se postiže očuvanje molekula skroba, kao što je slučaj u studiji i Sharma i Gujral (2013) kod ječmenih ekstrudata.

Poznato je da flips proizvodi visokog stepena ekspanzije imaju visoke vrednosti stepena želatinizacije (Leonel i sar., 2009), što je vidljivo i iz rezultata ove doktorske disertacije, gde je zabeležena pozitivna korelacija između SG i IE ($r=0,54$, $p<0,05$). Naime, najveći indeks ekspanzije (3,34) zabeležen kod uzorka 8 sa najvećom vrednošću stepena želatinizacije (69,70 %), i obrnuto (uzorak 16 pokazao je najmanji indeks ekspanzije od 1,44 i najmanji stepen želatini-

zacije od 14,18 %). Pored toga, tvrdoća je obrnuto proporcionalna stepenu želatinizacije (Ye i sar., 2018), što je potvrđeno negativnom korelacijom ova dva parametra koji su određeni u okviru ove disertacije ($r=-0,474$, $p<0,05$). U prilog tome govore i rezultati ove disertacije gde uzorak 16 beleži najveću vrednost tvrdoće (237,29 N) i najmanji stepen želatinizacije (14,18%), dok je kod uzorka 18 primećena obrnuta zakonitost (najmanja tvrdoća od 61,33 N i visok stepen želatinizacije od 59,61%). Dalji porast vlage (iznad 20%) izazvao je smanjenje SG, verovatno zbog zaštitnog efekta vode čime se postiže očuvanje molekula skroba (Sharma i Gujral, 2013).

Početno povećanje V (od 500 do 650 o/min) uticalo je na smanjenje SG usled uticaja obrtanja pužnice na smanjenje viskoziteta mase, dok su veće vrednosti obrtanja pužnice (iznad 650 o/min) izazvale povećanje SG skroba usled intenzivnijeg mešanja i ujednačenog zagrevanja testa, prilikom čega se pospešuje želatinizacija skroba kao što zaključuju Kaur i sar. (2014). Ova zapažanja su u saglasnosti sa onima zabeleženim u studiji Altan i sar. (2009) koji su saopštili povećanje želatinizacije skroba sa povećanjem brzine obrtanja pužnice pri proizvodnji ječmenih ekstrudata sa dodatkom nusproizvoda prerade voća i povrća. Ista zapažanja beleže i Ali i sar. (2017) pri analiziranju uticaja brzine obrtanja pužnice na SG ekstrudata od kukuruza i leblebije.

Udeo korena cikoriije pokazao je negativan uticaj na SG, usled smanjenja udela skroba sa povećanjem udela druge neskrobne sirovine kakav je koren cikoriije (Wang i sar., 2018). Pretpostavlja se takođe da inulin poreklom iz korena cikoriije, koji je u vodi rastvorni polisaharid, ometa interakciju skroba i vode. U prilog tome, Altan i sar. (2009) objašnjavaju da vlakna, odnosno neskrobni polisaharidi, imaju sposobnost upijanja vode i samim tim se takmiče sa skrobom za dostupnu vodu, pri čemu pospešuju viskozitet topljenja (*engl. melt viscosity*) i smanjuju stepen želatinizacije.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da porast sadržaja vlage (do 17 °C) pozitivno utiče na porast stepena želatinizacije skroba, usled podsticanja molekula skroba da se slobodno kreću, prilikom čega toplota lakše prodire u materijal i samim tim pospešuje želatinizaciju. Veći sadržaj vlage (iznad 17 °C) ometao je želatinizaciju skroba usled zaštitne uloge vode prema molekulima skroba. Veće vrednosti obrtanja pužnice (iznad 600 0/min) izazvale su povećanje želatinizacije skroba usled intenzivnijeg mešanja i ujednačenog zagrevanja testa. Dodatak korena cikoriije uslovio je smanjenje stepena želatinizacije usled smanjenja količine skroba u smešama za ekstrudiranje, koje se dešava paralelno sa porastom udela korena, kao i usled prisustva inulina iz korena cikoriije koji ima tendenciju ometanja interakciju skroba i vode.

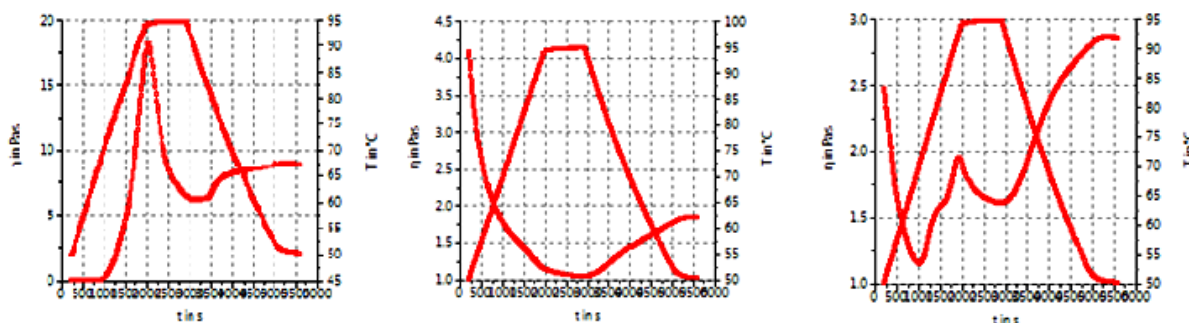
4.8. Reološke karakteristike flips proizvoda – Osobine pastiranja

Veza između strukturnih promena skroba i reoloških osobina proizvoda koje su rezultat tih promena važna je u prehrambenoj industriji sa više aspekata. Reološke osobine ne samo da utiču na ekspanziju ekstrudata, njihove teksturne osobine i krajnji kvalitet proizvoda, već pomažu da se bolje razumeju i objasne uticaji zadržavanja mase u cevi ekstrudera, potrošnja toplotne i mehaničke energije, uticaj pritiska unutar matrice, izgled i hidrataciona svojstva finalnog proizvoda. Reološke osobine ekstrudiranih proizvoda na bazi žitarica veoma zavise od procesnih parametara kao što su temperatura ekstrudiranja, sadržaj vlage i brzina obrtanja pužnice, kao i od molekulske transformacije skroba (Lai i Kokini, 1991).

Osobine pastiranja ekstrudiranih proizvoda opisuju reološke karakteristike ekstrudata, i važan su pokazatelj ponašanja skroba pod uticajem različitih procesnih uslova ekstrudiranja. Skrob je glavna komponenta pirinčanog zrna, čineći oko 90% njegove ukupne mase (Wani i sar.,

2012). Karakteristike pastiranja ekstrudata povezane su sa želatinizacijom i dekstrinizacijom skroba, koje se dešavaju tokom ekstrudiranja. Naime, što je veći stepen želatinizacije, skrobne granule postaju sve više hidrirane, nabubrele i pretvaraju se u pastu. Krive proticanja daju podatke o promeni viskoziteta ekstrudata usled zagrevanja tokom određenog vremenskog intervala, ukazujući da ekstrudati mogu sadržati potpuno želatiniziran skrob, ili pak udeo skroba koji pod određenim procesnim uslovima nije želatinizirao (Sandrin i sar., 2018). Stoga je važno ispitati osobine pastiranja flips proizvoda ispitivanih u okviru ove disertacije kako bi se bolje razumele promene koje su se dešavale na skrobnim granulama, kao i uticaj tih promena na fizičko-hemijske osobine finalnih proizvoda.

Grafički prikaz promene viskoziteta tokom primenjenog toplotnog režima dat je na slici 51. Ovi grafici predstavljaju promenu viskoziteta (η) polazne 20%-ne suspenzije (Pa \times s) neekstrudirane pirinčane smeše sa 20% korena cikoriije i uzoraka 18 i 6, u zavisnosti od temperature T ($^{\circ}$ C), u toku vremena τ (s).



Slika 51. Grafici prikaza pastirajućih osobina za neekstrudiranu smešu pirinča sa 20% korena cikoriije, uzorak 18 i uzorak 6, s leva na desno, redom.

Zabeležene vrednosti viskoziteta (inicijalnog, pika, tople i hladne paste) i temperature na kojima su te vrednosti ostvarene tokom analiziranja polaznih smeša, kontrolnog uzorka i pirinčanog brašna (tabela 30), kao i samih uzoraka (tabela 31) određeni su primenom reometra HAAKE Mars.

PV neekstrudiranih smeša opadao je sa povećanjem udela korena cikoriije. Ova pojava može biti objašnjena činjenicom da je time postignuto smanjenje udela skroba i povećanje sadržaja inulina koji vezuju vodu i na taj način smanjuju viskozitet paste. Takve zaključke izneli su i Tacer-Caba i sar. (2014) ukazujući da prisustvo higroskopskih supstanci smanjuje vrednost PV. Slično zaključcima ove disertacije, dodatak prehrambenih vlakana negativno je uticao na sposobnost bubrenja skroba što je posledično smanjilo vrednost PV i u studiji Yildiz i sar. (2013).

Vrednost VHP ukazuje na osobine geliranja usled retrogradacije skroba. Stoga je opravdano veća vrednost VHP zabeležena kod sirovog pirinčanog brašna (12,13 Pa \times s) u poređenju sa VHP ekstrudiranog pirinčanog brašna tj. kontrolnog uzorka (1,44 Pa \times s), što je u slaganju sa zapažanjima Guha i sar. (1998). Želatinizirani skrob okarakterisan je odsustvom pika viskoziteta, kontinuiranim opadanjem viskoziteta između 50 i 95 $^{\circ}$ C i progresivnim porastom viskoziteta tokom faze hlađenja (Gutkoski i El-Dash, 1999).

Tabela 30. Reološke karakteristike kontrolnog uzorka (KU), polaznih neekstrudiranih pirinčanih smeša sa dodatkom korena cikoriije (KC), i pirinčanog brašna (PB)

Karakteristika	Uzorak/Smeša						
	KU	20% KC	24,1% KC	30% KC	35,9% KC	40% KC	PB
IV	5,32±0,13 ^c	0,17±0,00 ^b	0,24±0,00 ^b	0,59±0,02 ^a	0,65±0,03 ^a	0,65±0,01 ^a	0,74±0,04 ^a
T(IV)	49,96±0,25 ^d	71,96±0,06 ^c	71,10±0,04 ^{bc}	70,12±0,02 ^a	70,09±0,03 ^a	70,09±0,03 ^a	70,69±0,15 ^{ab}
PV	/	19,18±0,10 ^d	15,28±0,18 ^c	11,19±0,11 ^b	9,76±0,09 ^a	9,76±0,09 ^a	31,64±0,19 ^e
T(PV)	/	94,23±0,11 ^a	94,18±0,08 ^a	94,30±0,13 ^a	94,38±0,06 ^a	94,38±0,06 ^a	93,10±0,37 ^a
VTP	0,88±0,07 ^b	6,69±0,05 ^d	5,53±0,04 ^c	4,70±0,09 ^a	4,51±0,03 ^a	4,51±0,03 ^a	8,08±0,20 ^e
T(VTP)	93,54±0,18 ^b	87,30±0,25 ^a	87,47±0,12 ^a	87,60±0,32 ^a	87,48±0,47 ^a	87,48±0,47 ^a	91,86±0,66 ^b
VHP	1,44±0,06 ^c	9,83±0,11 ^d	8,25±0,08 ^b	7,01±0,09 ^{ab}	6,88±0,13 ^{ab}	6,88±0,13 ^{ab}	12,13±0,53 ^e
T(VHP)	53,37±0,73 ^a	52,34±1,12 ^a	54,32±1,22 ^a	51,93±1,34 ^a	53,38±0,98 ^a	53,38±0,98 ^a	54,80±0,53 ^a

IV - Inicijalni viskozitet (Pa×s); T(IV) - temperatura inicijalnog viskoziteta (°C); PV - pik viskoziteta (Pa×s); T(PV) – temperatura pika viskoziteta (°C); VTP - viskozitet tople paste (Pa×s); T(VTP) - temperatura viskoziteta tople paste (°C); VHP - viskozitet hladne paste (Pa×s); T(VHP) - temperatura viskoziteta hladne paste (°C); KU – kontrolni uzorak; KC – koren cikoriije; PB – pirinčano brašno. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=3) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Tabela 31. Reološke karakteristike flips proizvoda

Uzorak	M	V	P	IV	T(IV)	PV	T(PV)	VTP	T(VTP)	VHP	T(VHP)
1	21,2	820	35,9	1,91±0,00 ^e	49,03±0,01 ^a	1,05±0,03 ^a	90,46±0,05 ^d	0,92±0,01 ^d	93,94±0,02 ^a	1,68±0,00 ^d	50,34±0,21 ^a
2	19,4	700	30,0	1,83±0,01 ^c	50,11±0,03 ^b	/	/	0,87±0,03 ^c	94,62±0,00 ^b	1,61±0,02 ^d	52,38±0,32 ^b
3	17,6	820	35,9	1,85±0,03 ^c	50,12±0,00 ^b	/	/	0,62±0,06 ^a	94,26±0,01 ^b	1,30±0,01 ^a	50,53±0,19 ^a
4	19,4	700	30,0	1,84±0,02 ^c	50,18±0,06 ^b	/	/	0,86±0,01 ^c	94,76±0,04 ^b	1,61±0,03 ^d	52,71±0,09 ^b
5	21,2	820	24,1	2,40±0,00 ^d	50,06±0,04 ^b	/	/	0,96±0,10 ^c	94,93±0,00 ^b	1,93±0,01 ^h	50,32±0,22 ^a
6	22,5	700	30,0	2,57±0,12 ^d	50,07±0,01 ^b	2,00±0,04 ^{ab}	93,08±0,15 ^a	1,67±0,00 ^b	94,87±0,01 ^b	2,98±0,05 ^k	50,43±0,34 ^a
7	19,4	900	30,0	1,87±0,04 ^c	50,03±0,05 ^b	/	/	0,73±0,02 ^b	94,91±0,07 ^b	1,56±0,08 ^b	50,45±0,21 ^a
8	17,6	820	24,1	3,19±0,03 ^f	50,12±0,10 ^b	/	/	0,76±0,02 ^b	94,89±0,08 ^b	1,61±0,11 ^c	50,36±0,41 ^a
9	19,4	700	30,0	1,86±0,11 ^c	50,11±0,08 ^b	/	/	0,87±0,01 ^c	94,26±0,04 ^b	1,60±0,09 ^d	52,36±0,23 ^b
10	21,2	520	24,1	2,85±0,00 ^e	50,12±0,03 ^b	1,60±0,03 ^a	81,87±0,06 ^c	1,24±0,03 ^g	94,93±0,03 ^b	2,36±0,05 ^j	50,70±0,12 ^a
11	16,3	700	30,0	2,58±0,02 ^d	50,11±0,00 ^b	/	/	0,96±0,04 ^c	94,90±0,02 ^b	1,87±0,02 ^f	50,32±0,16 ^a
12	19,4	700	40,0	1,40±0,02 ^b	50,13±0,12 ^b	1,39±0,01 ^a	94,74±0,00 ^b	1,26±0,01 ^g	94,76±0,02 ^b	2,23±0,02 ⁱ	50,33±0,32 ^a
13	19,4	500	30,0	1,68±0,02	50,13±0,02 ^b	2,39±0,05 ^a	93,26±0,01 ^a	1,95±0,02 ⁱ	94,95±0,00 ^b	3,49±0,03 ^l	50,38±0,26 ^a
14	19,4	700	30,0	1,92±0,00 ^c	50,21±0,02 ^b	/	/	0,81±0,05 ^c	94,79±0,01 ^b	1,60±0,01 ^d	52,39±0,41 ^b
15	17,6	520	24,1	2,65±0,04 ^{de}	50,09±0,03 ^b	/	/	0,87±0,02 ^{cd}	94,83±0,03 ^b	1,82±0,08 ^c	51,29±0,20 ^{ab}
16	21,2	520	35,9	0,87±0,11 ^a	50,22±0,07 ^b	3,08±0,00 ^b	94,36±0,04 ^b	2,36±0,01 ^j	94,86±0,02 ^b	3,62±0,03 ^m	51,72±0,22 ^{ab}
17	17,6	520	35,9	1,23±0,00 ^b	50,13±0,09 ^b	1,11±0,04 ^a	91,98±0,07 ^c	1,04±0,00 ^f	94,86±0,02 ^b	1,92±0,04 ^{sh}	51,76±0,35 ^{ab}
18	19,4	700	20,0	4,09±0,05 ^g	50,16±0,04 ^b	/	/	1,07±0,03 ^f	93,14±0,03 ^a	1,88±0,09 ^g	50,33±0,43 ^a
19	19,4	700	30,0	1,90±0,04 ^c	50,04±0,05 ^b	/	/	0,82±0,03 ^c	94,40±0,05 ^b	1,60±0,07 ^d	52,31±0,12 ^b
20	19,4	700	30,0	1,89±0,05 ^c	50,12±0,04 ^b	/	/	0,81±0,04 ^c	94,25±0,05 ^b	1,60±0,06 ^d	52,33±0,14 ^b

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); IV - Inicijalni viskozitet (Pa×s); T(IV) - temperatura inicijalnog viskoziteta (°C); PV - pik viskoziteta (Pa×s); T(PV) - temperatura pika viskoziteta (°C); VTP - viskozitet tople paste (Pa×s); T(VTP) - temperatura viskoziteta tople paste (°C); VHP – viskozitet hladne paste (Pa×s); T(VHP) - temperatura viskoziteta hladne paste (°C); rezultat su izraženi kao srednja vrednost (n=3)±s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Vrednosti IV proizvedenih flips uzoraka kretale su se u granicama od 0,87 Pa×s do 4,09 Pa×s. Sve vrednosti IV zabeležene su na temperaturi od oko 50 °C (49,03-50,22 °C). IV ekstrudiranih flips proizvoda (tabela 31) bio je znatno veći od vrednosti IV zabeleženih kod neekstrudiranih polaznih smeša (tabela 30). Ovi rezultati u saglasnosti su sa onima koje su zabeležili Sandrin i sar. (2018) prilikom ispitivanja osobina pastiranja ječmenih i pirinčanih ekstrudata. Oni objašnjavaju da su ekstrudati već želatinizirali i da stoga brže hidriraju, u odnosu na sirove smeše. Pored toga, pri ekstremnim uslovima ekstrudiranja dolazi do dekstrinizacione skroba koja je obrnuto proporcionalna viskozitetu. Pod takvim uslovima menja se količina amiloze i amilopektina smanjujući sposobnost bubrenja skroba pa samim tim i viskozne osobine. Iste zaključke iznose Tacer-Caba i sar. (2014) u svojoj studiji ispitivanja uticaja dodatka amiloze i praha grožđa na fizičke karakteristike pšeničnih ekstrudata.

PV zabeležen je samo kod nekih uzoraka kod kojih skrob nije potpuno želatinizirao, i u tim slučajevima kretao se u intervalu od 1,05-3,08 Pa×s, a te vrednosti su zabeležene na temperaturama od 81,87-94,74 °C. Prema zaključcima Nascimento i sar. (2012) odsustvo PV na 95 °C ukazuje da je ekstrudiranje pri zadatim uslovima izazvalo potpunu razgradnju skroba. U određenim slučajevima kada je PV veće od IV pretpostavlja se da deo skroba nije želatinizirao (Sandrin i sar., 2018). Ova pojava zabeležena je kod uzoraka 13 i 16 (tabela 31), kod kojih je definisan stepen želatinizacione od svega 43,18% i 14,18% (tabela 26), redom. Ovaj fenomen može biti objašnjen činjenicom da je došlo do formiranja kompleksa između lipida poreklom iz pirinčanog brašna i korena cikorije sa skrobnim granulama prilikom čega se formirao zaštitni sloj na površini molekula skroba i time deo skrobnih granula zaštitio od želatinizacione. Slično tome, Sandrin i sar. (2018) prijavljuju formiranje lipidno-skrobnih kompleksa kod ječmenih ekstrudata.

VTP (0,62-2,36 Pa×s), odnosno VHP (1,30-3,62 Pa×s) zabeleženi su pri vrednostima temperature od 93,14-94,95 °C, tj. od 50,32-52,71 °C, redom (tabela 31).

VTP koji se beleži blizu 95 °C daje informacije o strukturi skrobnih granula. Vrednosti VTP zabeležene kod sirovih neekstrudiranih smeša (87,30-87,60 Pa×s, tabela 30) bile su veće od onih određenih kod ekstrudiranih uzoraka (0,62-2,36 Pa×s, tabela 31). Isti trend beleže i Sandrin i sar. (2018). Zagrevanje paste koja je delimično ili potpuno želatinizirala (kao što je slučaj sa ekstrudatima) izaziva smanjenje viskoziteta uslovljavajući razređivanje paste. U prilog tome igovori uzorak 8 čiji je stepen želatinizacione bio najveći među ispitivanim uzorcima i iznosio je 69,7%, dok je VTP ovog uzorka bio 0,75 Pa×s. VTP vrednost polazne smeše iz koje je proizveden uzorak 8 iznosio je 5,53 Pa×s.

Pojava VHP ukazuje na prisustvo materija rastvorljivih u hladnoj vodi u zavisnosti od količine degradiranog i želatiniziranog skroba. Ovaj fenomen je takođe odgovoran i za nedostatak pojave PV u uzorcima flips proizvoda (Köksel i sar., 2004). Veće vrednosti VHP (uzorak 16 beležio je najveću vrednost VHP od 3,62 Pa×s) ukazuju na jaču sposobnost želatinizirane paste da se rekonstruiše, što je karakteristično za proces retrogradacije. Ovo ponašanje može varirati u zavisnosti od procesnih uslova ekstrudiranja. Niže vrednosti VHP (uzorak 3 beležio je najnižu vrednost VHP od 1,30 Pa×s) sugerišu da je skrob u ekstrudiranim uzorcima bio podvrgnut mehaničkoj i toplotnoj razgradnji u meri koja nije bila dovoljna da se postigne retrogradacija ili formiranje gela. Neekstrudirane smeše pokazale su veće vrednosti VHP (6,88-9,83 Pa×s, tabela 30) u odnosu na finalne flips proizvode (1,30-3,62 Pa×s) jer su granule skroba bile manje oštećene nego što je to bio slučaj nakon ekstrudiranja u ovoj disertaciji, kao što je zaključeno i u istraživanjima Sandrin i sar. (2018).

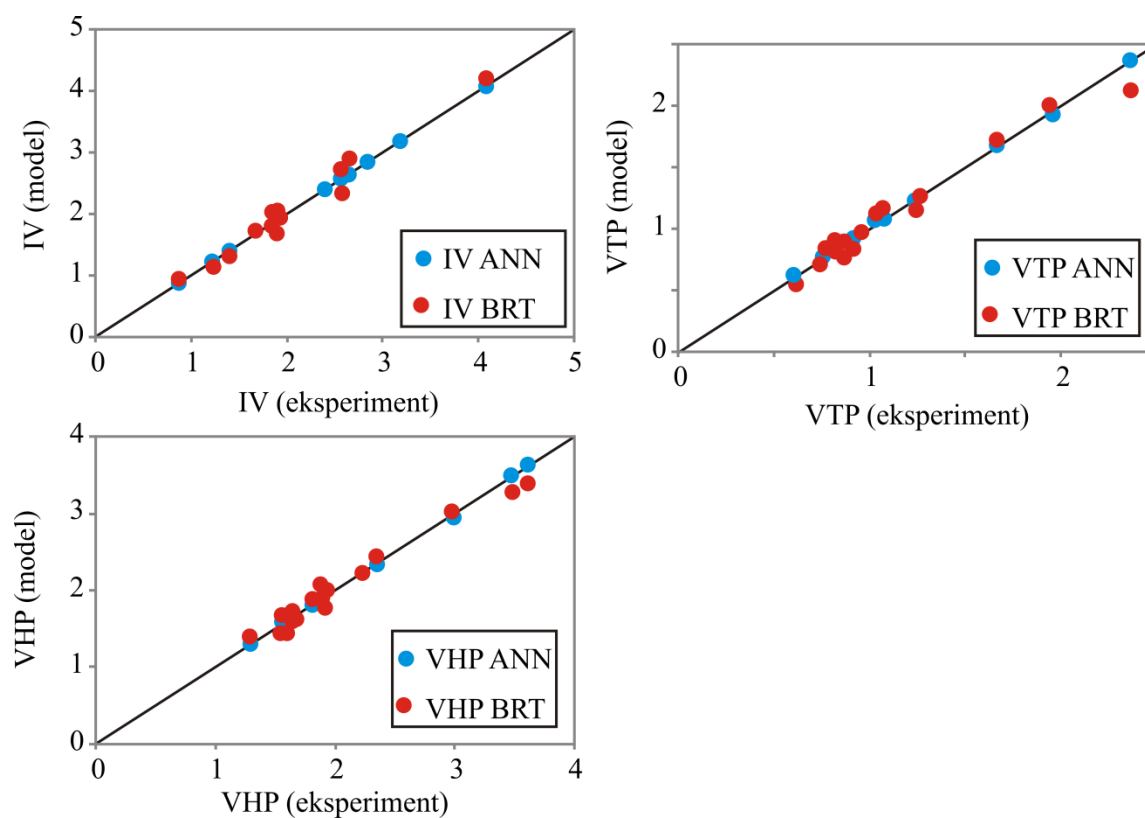
4.8.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na osobine pastiranja flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

Mogućnost predviđanja osobina pastiranja (IV, PV, VTP, VHP) flips proizvoda kao funkcije procesnih nezavisnih promenljivih (M, V i P) izvršena je primenom BRT i ANN modela.

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje IV, TI, VTP, TP, VHP i THP i iznosio je 101, 109, 103, 106, 101 i 102. Maksimalna dužina grana za sve modele je bila 10. BRT model pokazao je loše predviđačke performanse za parametre TI i TP te oni nisu grafički prikazani. Pored toga, nisu razmatrani uticaju procesa ekstrudiranja na PV predviđeni BRT i ANN modelom, s obzirom da je vrednost PV bila zabeležena kod malog broja uzoraka, dok je kod ostalih uzoraka izostala (tabela 31).

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 44 težinskih koeficijenata i bias-a). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju i bio je 10 (mreža MLP 3-10-6), u cilju adekvatnog predviđanja izlaznih promenljivih (IV, TI, VTP, TP, VHP i THP), uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja. Optimalna mreža koristila je BFGS 3948 za algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju je bila logistička, a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je tangens hiperbolikus.

Slika 52 prikazuje uklapanje vrednosti IV, VTP i VHP predviđenih vrednosti dobijenih primenom BRT i ANN modela (crvene, odnosno plave tačke; podaci predstavljeni na y-osi) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (prava linija iz kordinantnog početka; podaci predstavljeni na x-osi).



Slika 52. Poređenje fitovanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima osobina pastiranja (IV, VTP, VHP) flips proizvoda

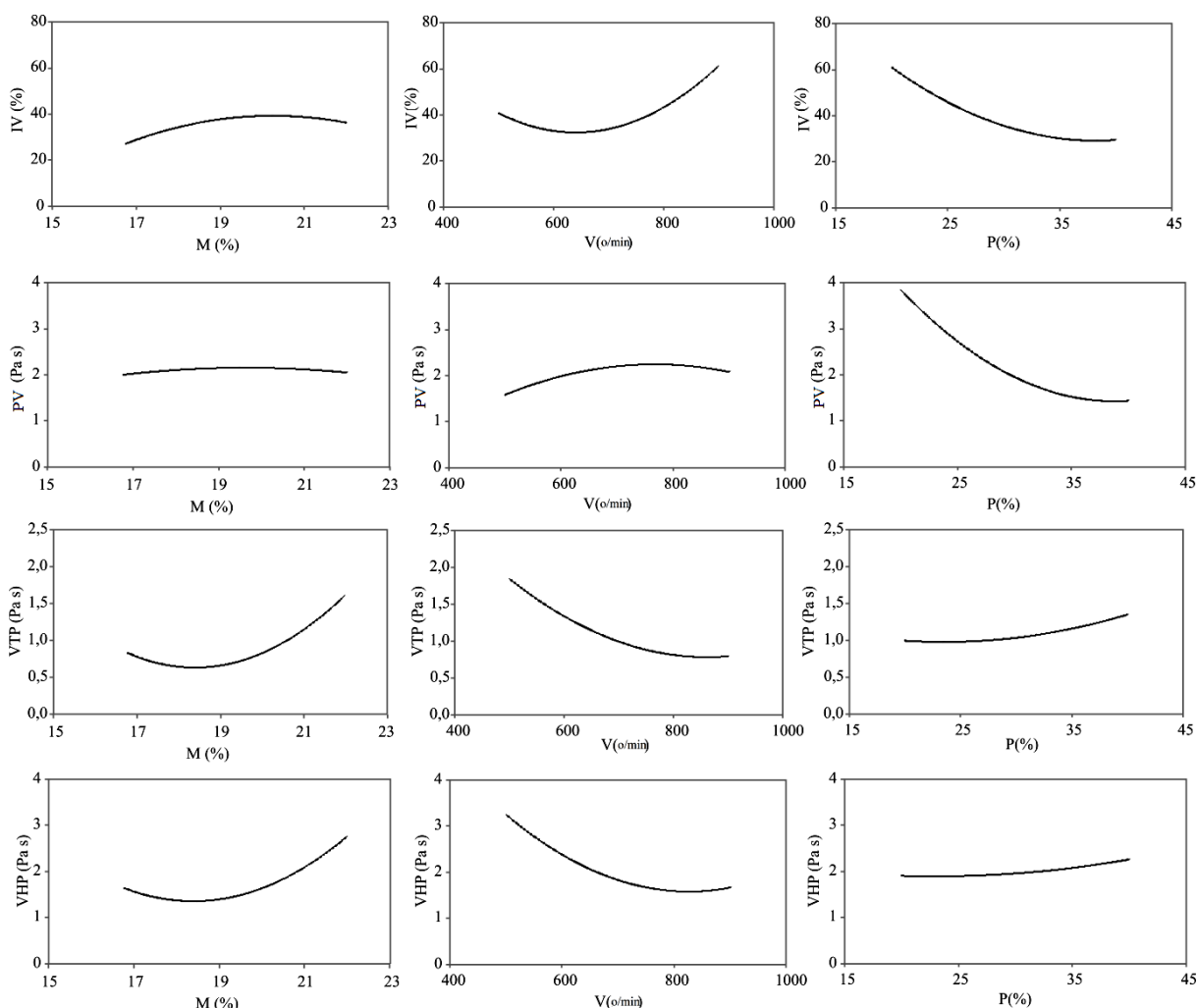
Tabela 32. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za osobine pastiranja flips proizvoda

Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r ² _{BRT}	r ² _{ANN}
IV	0,117	0,018	0,975	0,999
VTP	0,066	0,016	0,980	0,999
VHP	0,149	0,016	0,952	0,999

r² - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške,

IV – inicijalni viskozitet (Pa×s), VTP- viskozitet toplr paste (Pa×s), VHP – viskozitet hladne paste (Pa×s)

Iz tabele 32 uočljivo je da je ANN model pokazao bolje predviđačke sposobnosti u odnosu na BRT model, na osnovu niske vrednosti greške (RMSE) i visoke vrednosti koeficijenta determinacije (r²). Stoga je modelovanje primenom ANN upotrebljena za ispitivanje uticaja procesnih parametara ekstrudiranja na osobine pastiranja ispitivanih ekstrudata (slika 53). Slično tome, Sisay (2018) ističe prednost performansi ANN modela nad RSM modelom u predviđanju reoloških osobina pastiranja funkcionalnih ekstrudata na bazi pšenice.



Slika 53. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na inicijalni (IV), pik (PV), viskozitet tople (VTP) i viskozitet hladne paste (VHP).

Povećanje vlage polazne smeše pokazalo je pozitivan uticaj na PV, kao i na VTP i VHP (M>19%), dok je vrednost IV blago opadala kada je vlaga bila veća od 19% (slika 53), što je u

saglasnosti sa rezultatima Jyothi i sar. (2009) zabeleženih prilikom određivanja reoloških osobina ekstrudata na bazi skroba tropskih biljaka. Porast vlage nakon 19 % uslovio je opadanje stepena želatinizacije (slika 53). Samim tim ekstrudati proizvedeni pri niskim sadržajima vlage beleže veći indeks ekspanzije, manju nasipnu masu i veći IV. Ista zapažanja zabeležena su u okviru ove disertacije gde je uzorak 8 imao najveću vrednost indeksa ekspanzije (3,44), najmanju vrednost naspine mase (11,33 g/L) i najveću vrednost IV (4,09 Pa×s). Suprotno tome, najmanja vrednost IV (0,87 Pa×s) zabeležena je kod uzorka sa najmanjom ekspanzijom (1,44) i najvećom nasipnom masom (333,76 g/L) u okviru ispitivanja ove disertacije (uzorak 16). Sebio i Chang (2000) navode da IV ostaje gotovo nepromenjen kod ekstrudiranja jama pri malim sadržajima vlage polazne smeše, nezavisno od brzine obrtanja pužnice tokom ekstrudiranja, ističući takođe da je vrednost IV nativnog skroba približna nuli. Povećanje inicijalne vlage uslovilo je opadanje IV i u studiji Lam i Flores (2003), koji navode da voda u cevi ekstrudera deluje kao plastifikator, utiče na smanjenje sila smicanja i samim tim smanjuje IV proizvoda. Isti trend primećen je u okviru istraživanja ove doktorske disertacije, gde se sa povećanjem sadržaja vlage iznad 19% vrednost IV smanjuje (slika 53).

Sa druge strane, Gutkoski i El-Dash (1999) objašnjavaju da skrob u interakciji sa malim količinama vode ekstrudiran na visokim temperaturama daje nizak stepen retrogradacije tj. niže vrednosti VHP, i obrnuto, što je u saglasnosti sa uticajem porasta vlage na porast vrednosti VHP kako je zabeleženo u ovoj disertaciji (slika 53). Retrogradacija skroba je proces tokom kog se razdvojeni lanci amiloze i amilopektina u želatiniziranom skrobu ponovo povezuju da bi formirali uređeniju strukturu. Retrogradacija skroba je poželjna osobina kod nekih vrsta proizvoda kao što su žitarice za doručak, usled promene strukturnih, mehaničkih i senzorskih osobina skroba (Wang i sar., 2015). Sličnu tendenciju porasta VHP sa porastom sadržaja vlage kod kukuruznih ekstrudata obogaćenih brašnom ječma zabeležili su Tugrul Masatcioglu i sar. (2014), povezujući ovu zakonitost sa činjenicom da se postiže veća degradacija skroba pri ekstrudiranju na nižim sadržajima vlage. Oni objašnjavaju da nizak sadržaj vlage nije dovoljan da omogući mobilnost lanaca skroba koja je neophodna za njihovu interakciju tokom procesa retrogradacije jer takvi uslovi nisu pogodni za formiranje vodoničnih veza. Primećen je porast VHP i VTP sa porastom sadržaja vlage u okviru ove disertacije, što je u saglasnosti sa studijom Hagenimana i sar. (2006).

Povećanje brzine obrtanja pužnice uslovilo je povećanje vrednosti IV i opadanje vrednosti PV, VTP i VHP (slika 53). Ova zapažanja mogu biti objašnjena činjenicom da visoke vrednosti brzine obrtanja pužnice povećavaju intenzitet i stepen kuvanja tj. želatinizacije skroba, dajući visoke vrednosti IV (Sebio i Chang, 2000). Povećanje brzine obrtanja pužnice (iznad 800 o/min) može pospešiti porast mehaničkog smicanja čime se smanjuje viskozitet rastopljenog skroba (slika 53), kao što je zabeleženo i kod Nascimento i sar. (2012). Upotreba mehaničkog narušavanja strukture skroba može izazvati gubitak njegove sposobnosti da nabubri tokom zagrevanja u vodi, dajući niske PV i VTP (Guha i sar., 1998), što je pokazano i u rezultatima reoloških osobina ekstrudata iz ove disertacije (slika 53). Day i Swanson (2013) navode da povećanje brzine obrtanja pužnice utiče na bolju raspodelu vode unutar smeše u cevi ekstrudera, smanjuje se viskozitet topljenja i postiže lakša deformacija ekstrudata.

Dodatak korena cikorijske u pirinčano brašno uslovio je opadanje IV i PV, dok su rasle vrednosti VTP i VHP (slika 53). Za ovo zapažanje može biti odgovoran inulin poreklom iz korena cikorijske. Inulin kao prehrambeno vlakno može vezati dostupnu vodu koja je neophodna skrobu za želatinizaciju, čime se smanjuju pastirajuće osobine proizvoda (Kour i sar., 2019). Dodatak pogače zaostale nakon ceđenja susama bogate nerastvornim vlaknima u kukuruzne ekstrudate izazvalo je povećanje VHP jer se vlakna teško tope tokom ekstrudiranja i ponašaju se kao

materijal koji potpomaže trenje i smicanje (Nascimento i sar., 2012). Slično tome, dodatak ječmenog brašna u kukuruzne ekstrudate proizvedene pri višim sadržajima vlage uslovalo je povećanje VHP u studiji Tugrul Masatcioglu i sar. (2014). Vlakna nisu kompatibilna sa skrobom i redukuju njegove elastične osobine kao i mogućnost bubrenja (Karkle i sar., 2012). Sa druge strane, za fenomen opadanja IV i PV, i porasta VTP i VHP (što je primećeno u našoj studiji sa dodatkom korena cikoriје) može biti odgovorno smanjenje količine skroba u smeši nakon povećanja udela neskrobne sirovine, kakav je koren cikoriје. U korist tome govori i studija Day i Swanson (2013) koji objašnjavaju da zamena dela skroba šećerom ili vodom može izazvati smanjenje temperature staklene transformacije skroba (*engl. glass transition temperature*) i na taj način smanjiti viskozne osobine proizvoda. Opadanje vrednosti viskoziteta paste bilo je očekivano i u studiji Oliveira i sar. (2015), nakon zamene kukuruznog brašna pšeničnim brašnom od celog zrna bogatog vlaknima. Na ovaj način smeša je obogaćena prehrambenim vlaknima, ali je smanjen udeo skroba neophodan za bubrenje i formiranje viskoznih karakteristika proizvoda.

Na osnovu svih prikazanih rezultata, primetan je isti trend ponašanja viskoziteta tople i hladne paste pod uticajem procesnih uslova ekstrudiranja. Naime, povećanje sadržaja vlage i udela korena cikoriје uticali su na povećanje viskoziteta tople i hladne paste. Skrob u interakciji sa malim količinama vode ekstrudiran na visokim temperaturama daje nizak stepen retrogradacije, tj. niže vrednosti VHP, i obrnuto. Primećeno je direktno proporcionalno ponašanje VHP i VTP

Sa druge strane, vlaga je blago smanjivala vrednost IV, dok je porast ovog procesnog parametra uticao na naglo smanjenje PV. Ovo može biti objašnjeno činjenicom da voda u cevi ekstrudera deluje kao plastifikator, utiče na smanjenje sila smicanja i samim tim smanjuje viskozitet smeše.

Porast brzine obrtanja pužnice uticao je na smanjenje svih ispitivanih parametara viskoziteta, osim IV čija vrednost je rasla pri obrtajima pužnice većim od 600 o/min. Pretpostavlja se da je uzrok ove pojave smanjenje intenziteta i stepena kuvanja tj. želatinizacije skroba koja se javlja sa porastom V (o/min), a usko je povezana sa osobinama pastiranja. Štaviše, veće brzine obrtanja pužnice izazivaju efikasniju želatinizaciju skroba, što uslovljava opadanje vrednosti VHP a povećava vrednost IV (Mahasukhonthachat i sar., 2010).

Porast udela korena cikoriје uslovio je smanjenje kako IV, tako i PV ispitivanih ekstrudata, usled prisustva inulina iz korena cikoriје. Inulin kao prehrambeno vlakno može zadržati dostupnu vodu koja je neophodna skrobu za želatinizaciju, čime se smanjuju pastirajuće osobine proizvoda. Štaviše, vlakna nisu kompatibilna sa skrobom i redukuju njegove elastične osobine kao i mogućnost bubrenja. Pored toga, za ovu pojavu odgovorno je i smanjenje količine skroba u smeši nakon povećanja udela druge neskrobne sirovine, kakav je koren cikoriје.

4.9. Sadržaj rezistentnog skroba u flips proizvodima

Rezistentni skrob je linearni molekul α -1,4-D-glukan koji spada u grupu prehrambenih vlakna sa uticajem na smanjenje glikemijskog indeksa, čime se smanjuje rizik od nastanka kardiovaskularnih oboljenja, dijabetesa i gojaznosti (Raigond i sar., 2015). Da bi ljudski organizam osetio blagodati konzumiranja namirnica sa većim sadržajem rezistentnog skroba na metabolizam i zdravstvene benefite, ishrana ugljenim hidratima trebala bi da sadrži bar 10-20% RS. Međutim, većina komercijalno proizvedene hrane sadrži manje od 5% rezistentnog skroba, dok većina konvencionalnih načina obrade i proizvodnje hrane smanjuje udeo RS u finalnim proiz-

vodima (Dupuis i sar., 2014). Stoga je važno unaprediti i optimizovati različite tehnologije proizvodnje hrane kako bi se povećao sadržaj RS u finalnim proizvodima.

Sadržaj rezistentnog skroba određen u kontrolnom uzorku i pirinčanom brašnu dat je u tabeli 33, dok je sadržaj RS u ispitivanim flips proizvodima sumiran u tabeli 34.

Tabela 33. Sadržaj rezistentnog skroba (RS) u pirinčanom brašnu i kontrolnom uzorku

Uzorak/sirovina	M	V	P	RS
KU	16	800	0	2,070±0,102 ^a
PB	/	/	/	20,504±0,712 ^b

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); KU – kontrolni uzorak; PB – pirinčano brašno; RS – sadržaj rezistentnog skroba (g/100 g). Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Tabela 34. Sadržaj rezistentnog skroba (RS) u flips proizvodima

Uzorak	M	V	P	RS
1	21,2	820	35,9	0,177±0,017 ^c
2	19,4	700	30,0	0,235±0,014 ^{ef}
3	17,6	820	35,9	0,224±0,007 ^a
4	19,4	700	30,0	0,236±0,004 ^{ef}
5	21,2	820	24,1	0,348±0,032 ^l
6	22,5	700	30,0	0,359±0,002 ^k
7	19,4	900	30,0	0,274±0,103 ^g
8	17,6	820	24,1	0,175±0,057 ^c
9	19,4	700	30,0	0,237±0,016 ^{ef}
10	21,2	580	24,1	0,361±0,014 ^k
11	16,3	700	30,0	0,139±0,022 ^a
12	19,4	700	40,0	0,137±0,001 ^a
13	19,4	500	30,0	0,330±0,083 ^l
14	19,4	700	30,0	0,236±0,006 ^{ef}
15	17,6	580	24,1	0,175±0,056 ^c
16	21,2	580	35,9	0,529±0,024 ^l
17	17,6	580	35,9	0,287±0,078 ^h
18	19,4	700	20,0	0,160±0,005 ^b
19	19,4	700	30,0	0,236±0,013 ^{ef}
20	19,4	700	30,0	0,237±0,012 ^{ef}

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); RS – sadržaj rezistentnog skroba (g/100 g). Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Sadržaj RS u kontrolnom uzorku proizvedenom od čistog pirinčanog brašna iznosio je 2,070 g RS/100g. Pirinčano brašno beležilo je sadržaj rezistentnog skroba od 20,504 g/100 g, što je isti nivo veličine kao Ashwar i sar. (2021), odnosno 15,44% RS za čisto pirinčano brašno. Pri likom procesa ekstrudiranja razrušava se kristalna struktura skroba, delimično ili potpuno, u zavisnosti od procesnih parametara ekstrudiranja, što je uslovalo smanjenje sadržaja RS za 89,90% naon ekstrudiranja pirinčanog brašna (kontrolni uzorak). Stoga je za očekivati da je sadržaj RS u nativnom brašnu nakon ekstrudiranja značajno opao, kao što je slučaj u ovoj disertaciji. Sara-

wong i sar. (2014) beleže drastično opadanje sadržaja RS nakon ekstrudiranja brašna od banane, i to u vrednostima od 91,5-98,1%. Opadanje vrednosti sadržaja RS nakon ekstrudiranja čistog pirinčanog brašna može biti opravdano različitim fenomenima koji se dešavaju prilikom procesa ekstrudiranja kao što su: želatinizacija skroba, formiranje kompleksa amiloze i lipida, interakcije proteina i skroba, i druge složene reakcije (Hagenimana i sar., 2006).

Iako je sadržaj RS u kontrolnom uzorku bio veći u poređenju sa flips proizvodima formiranim iz smeša pirinčanog brašna sa korenom cikoriije, važno je napomenuti da su dodatkom korena cikoriije ekstrudati obogaćeni i drugim vlaknima (inulin), kao i drugim komponentama sa potencijalnim zdravstvenim benefitima (minerali, laktoni). Naime, rezistentni skrob ima slična svojstva kao prehrambena vlakna i pokazuje pozitivna svojstva na ljudsko zdravlje, jedina razlika u poređenju sa vlaknima je da RS ne menja kvalitet i senzorska svojstva proizvoda (Šárka i sar., 2015).

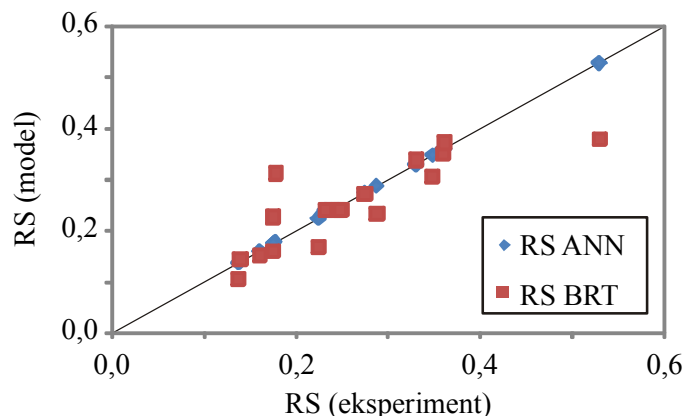
4.9.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na sadržaj rezistentnog skroba (RS) flips proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

Ubrzano regresiono stablo (BRT) i veštačka neuronska mreža (ANN) primenjene su radi formiranja modela za predviđanje sadržaja rezistentnog skroba, na osnovu ulaznih eksperimentalnih vrednosti prikupljenih tokom procesa ekstrudiranja menjanjem parametara vlage, brzine obrtanja pužnice i udela korena cikoriije.

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje RS koji je iznosio 729. Maksimalna dužina grana je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 31 težinskih koeficijenata i odsečaka). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju i bio je 6 (mreža MLP 3-6-1), u cilju adekvatnog predviđanja izlazne promenljive RS, uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 35). Optimalna mreža koristila je BFGS 67 algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju je bila je tangens hiperbolicus, a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je bila identična funkcija.

Slika 54 prikazuje uklapanje vrednosti izlaznog parametra RS predviđenih primenom BRT i ANN modela (crvene, odnosno plave tačke; podaci predstavljani na y-osi) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (prava linija iz koordinantnog početka; podaci predstavljani na x-osi).



Slika 54. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima parametra RS

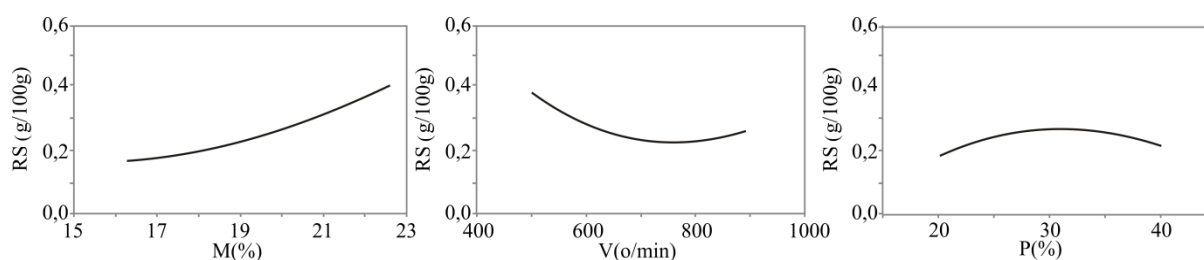
Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela je testiran klasičnim statističkim pokazateljima (r^2 , RMSE) i predstavljen u tabeli 35.

Tabela 35. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za rezistentni skrob

Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
RS	0,052	0,004	0,694	0,998

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške, RS – rezistentni skrob.

Vrednost r^2 ANN modela za izlaznu promenljivu RS je bila 0,998, dok je RSME iznosila svega 0,004. Sa druge strane, BRT model je pokazao nešto niže vrednosti koeficijenta determinacije, i više vrednosti srednjeg kvadrata greške (tabela 35), dovodeći do zapažanja da je ANN model bolje predvideo sadržaj RS flips proizvoda u okviru ove disertacije. Slika 54 koja daje grafički prikaz poklapanja formiranih modela sa eksperimentalnim vrednostima sadržaja RS takođe govori u prilog tome da plavi kvadrati koje predstavljaju vrednosti predviđene ANN modelom manje odstupaju od prave konstruisane na osnovu eksperimentalno dobijenih vrednosti u poređenju sa BRT modelom (crveni kvadrati). Stoga je ANN primenjena za određivanje uticaja parametara ekstrudiranja na sadržaj rezistentnog skroba u nastavku (slika 55). Pored toga, malo je naučnih studija koje su primenjivale matematičko modelovanje u predviđanju sadržaja rezistentnog skroba u finalnim flips proizvodima. Na primer, u studiji González-Soto i sar. (2007) je primenjeno regresiono modelovanje (*engl. Multiple regression analysis*, MRA) koje se dobro pokazalo, sa vrednošću koeficijenta determinacije od 0,985. Šárka i sar. (2015) su takođe primenili MRA za predviđanje uticaja procesnih parametara na sadržaj RS u suncokretovim ekstrudatima. Prema našim saznanjima nema mnogo naučnih studija koje su primenjivale ANN i BRT modelovanje u predviđanju sadržaja RS kod ekstrudiranih proizvoda, te primena pomenutih matematičkih modela u okviru ove disertacije ima poseban doprinos.



Slika 55. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na sadržaj rezistentnog skroba (RS)

Povećanje sadržaja vlage uticalo je na povećanje sadržaja RS (slika 55). Ova pojava može biti objašnjena činjenicom da veći sadržaj vode dovodi do retrogradacije skroba prilikom čega se formiraju jače vodonične molekulske veze u amiloznim frakcijama, a povećan sadržaj amiloze uslovljava formiranje više RS. Ova zapažanja su u saglasnosti sa studijom Neder-Suárez i sar. (2016) koji su ispitali uticaj parametara ekstrudiranja na formiranje RS u kukuruznim ekstrudatima. Sarawong i sar. (2014) takođe beleže pozitivan uticaj povećanja sadržaja vlage polazne smeše na sadržaj RS u finalnim ekstrudatima na bazi brašna banane. Kim i sar. (2006) su uočili da je vlaga smeše bila u pozitivnoj korelaciji sa rezistentnim skrobom u ekstrudatima od pšeničnog brašna za pecivo i da bi vlažnost hrane od 60% mogla značajno povećati sadržaj RS.

Brzina obrtanja pužnice (do 750 o/min) proizvodi ekstrudate sa manjim sadržajem rezistentnog skroba, što ukazuje da ovaj procesni parametar ima najveći negativan uticaj na sadržaj RS. Pri brzini obrtanja pužnice većoj od 750 o/min, sadržaj RS je imao blagi porast (slika 55). Brzine obrtanja pužnice niže od 750 /min mogle su usloviti duže zadržavanje mase u cevi ekstrudera, te proizvesti ekstrudate sa smanjenim sadržajem RS u ovoj disertaciji. Rastvaranje molekula amiloze i bubrenje granula skroba tokom povećanja brzine obrtanja pužnice (od 500 do 750 o/min) moglo je dovesti do gubitka kristalne strukture molekula skroba, a samim tim i do formiranja niskog sadržaja RS, što je u saglasnosti sa studijom Neder-Suárez i sar. (2016). Povećanje brzine obrtanja pužnice (od 500 do 750 o/min) moglo je takođe izazvati porast sila smicanja u cevi ekstrudera, što je dovelo do razgradnje molekula amiloze do molekula manjeg stepena polimerizacije ($SP < 26$) koji ne mogu biti inkorporirani u kristalnu strukturu RS, čime se njegova količina posledično smanjuje. Slične zaključke izveli su Sandrin i sar. (2018) i Samray i sar. (2019). Dalji porast brzine obrtanja pužnice (iznad 750 o/min) uslovio je porast sadržaja RS što se potencijalno može povezati sa porastom temperature u skrobnoj masi dajući veće količine želatiniziranog skroba, čija retrogradacija dovodi do formiranja RS (Wang i sar., 2012).

Udeo korena cikoriije do 30% uslovljava povećavanje sadržaja RS, dok dalje povećanje udela korena cikoriije negativno utiče na sadržaj RS (slika 55). Povećanje sadržaja RS nakon dodatka korena cikoriije (do 30%) može biti objašnjeno fenomenom formiranja kompleksa amiloze i lipida poreklom iz korena cikoriije tokom procesa ekstrudiranja, što dovodi do smanjenog bubrenja skrobnih granula i intenziviranja procesa enzimske hidrolize skroba (Wang i sar., 2018). Slično tome, dodatak opne pirinčanih zrna uticao je pozitivno na sadržaj RS u finalnim pirinčanim flips proizvodima, čime su formirani ekstrudati sa potencijalnim zdravstvenim benefitima za gojazne osobe i one koje boluju od dijabetesa (Wang i sar., 2018). Sa druge strane, dodatak korena cikoriije u količini većoj od 30% može favorizovati interakciju skroba i vlakana poreklom iz cikoriije, čime je smanjena količina dostupnog skroba neophodnog za formiranje RS. Slične zaključke izneli su Jozinović i sar. (2016) koji su zabeležili opadanje sadržaja RS usled dodatka speltinog brašna bogatog vlaknima u kukuruzne ekstrudate.

4.10. Sadržaj metala i minerala u flips proizvodima

Proces ekstrudiranja hrane predstavlja efikasnu tehnologiju za proizvodnju hrane bazirane na skrobu, koja može biti idealna osnova za obogaćivanje mineralima i metalima (García-Segovia i sar., 2020). Sa druge strane, minerali su esencijalne komponente neophodne za normalno funkcionisanje organizma svakog živog bića, dok nedostatak minerala kao što su Ca, P, Mg i Zn može nepovoljno uticati na ljudsko zdravlje, kao što je ometan pravilan razvoj kostiju (Alonso i sar., 2001). Koren cikoriije se nameće kao obećavajuća sirovina za obogaćivanje funkcionalne hrane kako prehrambenim vlaknima, tako i mineralima. Sa druge strane, dokazano je da prebiotici inulinskog tipa stimulišu apsorpciju minerala u crevima. Ove funkcionalne komponente iz korena cikoriije (inulin i minerali) mogu pozitivno uticati na metabolizam i aktivirati mehanizam enzima koji štite organizam od oksidativnog stresa (Lepczyński i sar., 2020).

Ideja obogaćivanja prehrambenih proizvoda mineralima i metalima iz različitih biljnih sirovina prisutna je u mnogobrojnim naučnim publikacijama. Filipčev i sar. (2011) su obogaćivali pšenične medenjake brašnom heljde u cilju povećanja sadržaja Cu, Mn i Fe. Cabal i sar. (2014) su razvili nove kolačiće na bazi brašna pasulja, manioke i pšenice kako bi formirali proizvod po-

boljšane nutritivne vrednosti sa aspekta sadržaja metala i minerala. Bashir i sar. (2017) su inkorporirali spirulinu u pirinčano ekstrudirane grickalice kako bi ih oplemenili metalima i mineralima. Slično tome, jedan od ciljeva ove doktorske disertacije bio je da se pirinčani flips proizvodi oplemene korenom cikoriije radi povećanja sadržaja mikronutrijenata, u prvoj liniji vlakana, metala i minerala, kako bi se poboljšao nutritivni profil do sada hranljivo siromašnih komercijalno razvijenih flips proizvoda. Tabela 36 daje uvid u sadržaj ispitivanih metala i minerala u polaznim sirovinama i kontrolnom uzorku.

Tabela 36. Sadržaj minerala i metala u polaznim sirovinama i kontrolnom uzorku (mg/kg)

Mineral	Uzorak		
	KC	PB	KU
Ca	1799,71±2,02 ^c	66,63±0,51 ^b	43,82±0,26 ^a
K	8001,77±3,49 ^c	1041,64±1,01 ^b	934,98±0,89 ^a
Mg	1002,41±0,98 ^c	880,53±1,13 ^b	380,18±0,45 ^a
Na	5749,28±2,51 ^c	160,40±0,90 ^b	56,10±0,37 ^a
Fe	160,84±1,01 ^c	8,16±0,37 ^b	3,42±0,41 ^a
Mn	10,10±0,42 ^b	5,24±0,11 ^a	4,79±0,07 ^a
Zn	15,87±0,26 ^c	12,24±0,09 ^b	9,91±0,06 ^a
Cu	6,62±0,09 ^b	1,66±0,03 ^a	1,08±0,05 ^a
Pb	<0,01	<0,01	<0,01

KC – koren cikoriije, PB – pirinčano brašno, KU – kontrolni uzorak. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost ($n=3$) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Koren cikoriije pokazao se kao sirovina izuzetno bogata K, Na, Ca i Mg, dok su takođe zabeležene značajne količine gvožđa, cinka, mangana i bakra (tabela 36). Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima Nwafor i sar. (2017) i Zarroug i sar. (2016) koji su zabeležili značajno prisustvo K, Na, Ca i Mg u korenu cikoriije (1037-3800 mg/kg za K, 5910-6742 mg/kg za Na, 1813-5400 mg/kg za Ca i 201,4-3930 mg/kg za Mg). Na sadržaj minerala i metala u korenu cikoriije utiču mnogobrojni faktori kao što su salinitet zemljišta, suša, ekstremne temperature, količina dostupne svetlosti tokom gajenja, kao i vrsta i sorta same biljke (Perović i sar., 2021). Rezultati mineralnog sastava pirinčanog brašna u saglasnosti su sa onima koje su u svojoj studiji ispitivanja nutritivnih karakteristika bezglutenskih brašna zabeležili Hager i sar. (2012) beležeći 973,7 mg/kg kalijuma, 15,1 mg/kg natrijuma, 50,7 mg/kg za kalcijum i 338 mg/kg magnezijuma.

Dobijene vrednosti sadržaja minerala i metala u flips proizvodima kreiranim u okviru ove disertacije sumirane su u tabeli 37.

Za normalno funkcionisanje ljudskog organizma neophodan je unos različitih metala i minerala koji imaju bitan uticaj na pravilan i normalan metabolizam (Perović i sar., 2021). Sadržaj metala i minerala u proizvedenim flips proizvodima kretao se u granicama: 385,94-713,51 mg/kg za Ca, 1835,95-3018,60 mg/kg za K, 427,24-564,56 mg/kg za Mg, 1145,93-2076,30 mg/kg za Na, 24,21-54,13 mg/kg za Fe, 6,07-7,36 mg/kg za Mn, 12,16-15,75 mg/kg za Zn, 2,26-3,76 mg/kg za Cu, dok je sadržaj Pb u svim uzorcima bio manji od 0,01 mg/kg. Ostvarene vrednosti sadržaja minerala i metala približne su onima koje odgovaraju preporučenom dnevnom unosu (*engl. Recommended daily allowance*, RDA) od: 1000 mg za Ca, 3500 mg za K, 350 mg za Mg, 2400 mg za Na, 15 mg za Fe, 5 mg za Mn, 15 mg za Zn i 2 mg za Cu.

Tabela 37. Sadržaj minerala i metala u flips proizvodima (mg/kg)

Uzorak	M	V	P	Ca	K	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb
1	21,2	820	35,9	639,29±1,32 ⁱ	2242,72±4,32 ^e	501,48±0,98 ^{cd}	2076,30±3,03 ⁱ	54,13±0,26 ^h	7,36±0,06 ^{cd}	15,75±0,22 ^h	3,75±0,09 ^e	<0,01 ^a
2	19,4	700	30,0	534,07±1,04 ^f	2292,48±3,13 ^e	512,78±0,83 ^{ef}	1562,49±2,76 ^d	33,63±0,13 ^d	6,91±0,11 ^{abcd}	14,77±0,37 ^{gh}	2,83±0,03 ^{abcd}	<0,01 ^a
3	17,6	820	35,9	427,90±1,12 ^c	2159,61±2,59 ^c	514,25±1,01 ^{ef}	1358,71±2,02 ^c	28,41±0,11 ^b	6,40±0,09 ^{ab}	15,59±0,45 ^h	2,27±0,11 ^{ab}	<0,01 ^a
4	19,4	700	30,0	535,51±2,01 ^f	2290,68±3,24 ^e	539,55±0,76 ^{ef}	1561,92±2,14 ^d	35,25±0,27 ^d	6,93±0,09 ^{abcd}	14,76±0,51 ^{gh}	2,95±0,09 ^{abcd}	<0,01 ^a
5	21,2	820	24,1	483,27±1,00 ^e	2214,95±2,11 ^d	534,14±1,12 ^{hi}	1398,47±1,98 ^c	31,04±0,31 ^c	6,90±0,07 ^{abcd}	11,21±0,20 ^{ab}	2,26±0,21 ^{ab}	<0,01 ^a
6	22,5	700	30,0	556,71±0,98 ^e	2544,48±2,27 ^f	545,94±1,22 ⁱ	1700,58±2,04 ^{ef}	34,47±0,44 ^d	6,53±0,10 ^{abc}	15,60±0,11 ^h	2,78±0,17 ^{abcd}	<0,01 ^a
7	19,4	900	30,0	533,90±1,03 ^f	2565,08±3,01 ^f	533,04±0,99 ^{ij}	1702,68±2,15 ^{ef}	35,18±0,34 ^d	6,84±0,12 ^{abcd}	15,48±0,27 ^{gh}	3,15±0,23 ^{cde}	<0,01 ^a
8	17,6	820	24,1	417,43±1,15 ^b	2070,44±1,09 ^b	487,20±0,73 ^b	1242,16±1,72 ^b	26,05±0,25 ^{ab}	6,07±0,07 ^a	14,50±0,35 ^{fg}	2,29±0,31 ^a	<0,01 ^a
9	19,4	700	30,0	531,03±1,02 ^f	2293,79±1,56 ^e	508,63±1,01 ^{ef}	1560,18±1,84 ^d	36,34±0,61 ^d	6,91±0,09 ^{abcd}	15,01±0,19 ^{gh}	2,88±0,14 ^{abcd}	<0,01 ^a
10	21,2	520	24,1	482,28±0,89 ^e	2240,59±1,48 ^e	510,00±0,94 ^{de}	1729,49±2,01 ^f	26,25±0,23 ^{ab}	6,43±0,10 ^{ab}	10,72±0,29 ^a	3,07±0,19 ^{cde}	<0,01 ^a
11	16,3	700	30,0	563,83±1,17 ^b	2526,92±3,22 ^h	534,87±1,04 ^{hi}	1693,07±1,87 ^{ef}	36,02±0,56 ^d	6,44±0,11 ^{ab}	11,32±0,35 ^{ab}	2,63±0,09 ^{abc}	<0,01 ^a
12	19,4	700	40,0	713,51±2,09 ^j	3018,60±4,02 ^m	526,52±0,73 ^{gh}	2074,80±2,90 ⁱ	51,11±0,72 ^g	7,32±0,07 ^d	13,30±0,27 ^{de}	3,75±0,07 ^e	<0,01 ^a
13	19,4	500	30,0	555,55±1,23 ^e	2525,85±3,12 ^h	564,65±1,12 ^k	1668,48±1,78 ^e	36,62±0,45 ^d	6,59±0,12 ^{abcd}	12,48±0,41 ^{cd}	2,96±0,08 ^{bcde}	<0,01 ^a
14	19,4	700	30,0	532,15±1,11 ^f	2285,53±2,12 ^g	552,90±1,01 ^{ef}	1560,16±1,09 ^d	36,77±0,37 ^d	6,90±0,15 ^{abcd}	14,91±0,61 ^{gh}	2,86±0,11 ^{abcd}	<0,01 ^a
15	17,6	520	24,1	472,51±0,99 ^d	2260,06±1,87 ^f	522,93±0,95 ^{fg}	1381,76±1,23 ^c	24,21±0,22 ^a	6,87±0,07 ^{abcd}	12,16±0,37 ^{bc}	2,43±0,12 ^{abc}	<0,01 ^a
16	21,2	520	35,9	644,01±2,01 ⁱ	2777,22±2,35 ^k	493,60±0,84 ^{bc}	1899,85±2,34 ^e	46,03±0,48 ^f	7,09±0,09 ^{abcd}	14,12±0,59 ^{ef}	3,76±0,21 ^e	<0,01 ^a
17	17,6	520	35,9	643,34±1,92 ⁱ	2824,91±2,47 ^l	507,18±1,01 ^{de}	2027,11±2,76 ^h	43,99±0,58 ^f	7,29±0,11 ^{cd}	14,20±0,63 ^{ef}	3,49±0,31 ^{de}	<0,01 ^a
18	19,4	700	20,0	385,94±1,35 ^a	1835,95±1,03 ^a	427,24±0,78 ^a	1145,93±1,03 ^a	41,78±0,33 ^c	6,81±0,08 ^{abcd}	12,60±0,43 ^{cd}	3,08±0,19 ^{cde}	<0,01 ^a
19	19,4	700	30,0	532,69±1,22 ^f	2295,36±2,25 ^e	506,46±1,17 ^{ef}	1560,14±1,54 ^d	35,45±0,28 ^d	6,92±0,07 ^{abcd}	14,68±0,52 ^{gh}	2,82±0,11 ^{abcd}	<0,01 ^a
20	19,4	700	30,0	533,35±1,24 ^f	2293,32±2,11 ^e	528,88±0,72 ^{ef}	1562,28±1,86 ^d	35,14±0,31 ^d	6,93±0,08 ^{abcd}	14,47±0,47 ^{gh}	2,98±0,10 ^{abcd}	<0,01 ^a

M - sadržaj vlage (%), V - brzina obrtanja pužnice (o/min), P - udeo korena cikorije (%). Rezultati su prikazani kao srednja vrednost (n=3) ± s.d. Sadržaj svih ispitivanih elemenata izražen je u mg/kg. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Sadržaj pojedinih minerala i metala u ekstrudatima proizvedenim u okviru ove disertacije premašivao je RDA (Mg, Fe, Mn, i Cu). Međutim, prema literaturnim navodima povišen sadržaj navedenih elemenata ne ispoljava značajne smetnje metabolizmu (uglavnom je to konstipacija ili dijareja), dok su u lečenju nekih drugih tegoba ljudskog organizma inače preporučene veće doze ovih elemenata (npr. veći unos Fe kod osoba obolelih od anemije) (<https://www.lenntech.com/recommended-daily-intake.htm>). Kontrolni uzorak proizveden od čistog pirinčanog brašna beležio je niže vrednosti sadržaja minerala i metala u odnosu na polaznu sirovinu od koje je proizveden (tabela 36). Pretpostavlja se da je došlo do gubitka dela ispitivanih elemenata na izlasku iz matrice.

4.10.1. Uticaj parametara ekstrudiranja na sadržaj minerala i metala u flips proizvodima kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

BRT i ANN su primenjeni u cilju predviđanja vrednosti sadržaja ispitivanih minerala i metala (Ca, K, Na, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu i Pb) uslovljene ulaznim parametrima ekstrudiranja (sadržaj vlage, brzina obrtanja pužnice, sadržaj korena cikoriije).

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje Ca, K, Mg, Na, Fe, Mn, Zn i Cu i iznosio je 106, 111, 117, 125, 117, 118, 119 i 112. Maksimalna dužina grana za sve modele je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 44 težinskih koeficijenata i bias-a). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju koji je bio 10 (mreža MLP 3-10-8), u cilju adekvatnog predviđanja izlaznih promenljivih (Ca, K, Mg, Na, Fe, Mn, Zn i Cu). Optimalna mreža koristila je BFGS 1000 za algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju je bila tangens hiperbolicus, a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je bila identična.

Na slici 56 prikazano je fitovanje vrednosti predviđenih BRT (crvene tačke) i ANN modela (plave tačke) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima u okviru ove disertacije.

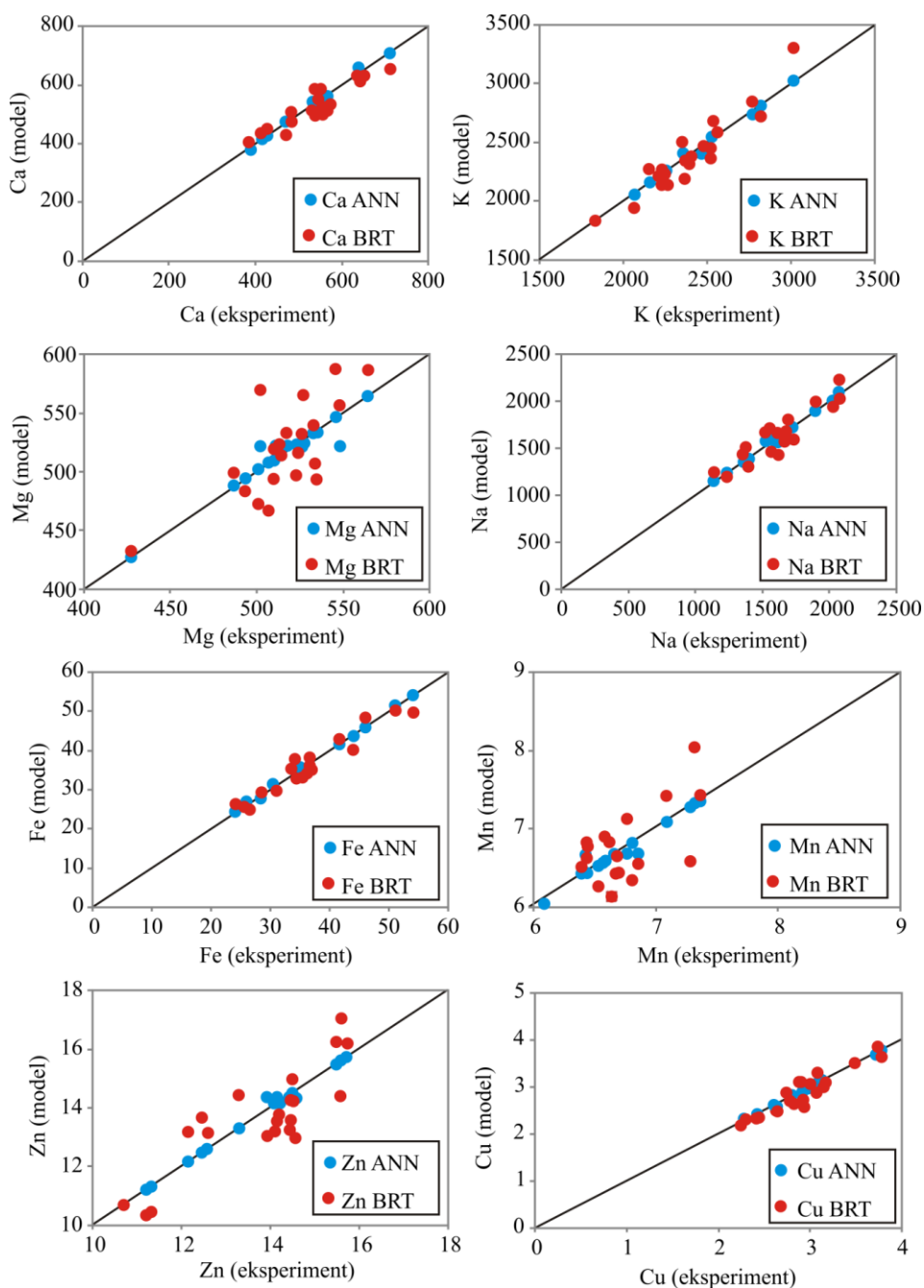
Statistički pokazatelji kvaliteta uklapanja (RSME i r^2) formiranih BRT i ANN modela sa eksperimentalno dobijenim vrednostima prikazani su u tabeli 38.

Analizom rezultata uklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalno dobijenim vrednostima koji su prikazani grafički (slika 56) i tabelarno (tabela 38) uočljivo je da je ANN model bolje fitovao sa eksperimentalnim podacima, da je pokazao manju grešku modela i veći koeficijent determinacije u odnosu na BRT model za sve minerale i metale određivane u ovoj studiji. Iako u naučnoj literaturi do danas nije dostupno puno publikacija koje primenjuju ili porede matematičke modele za predviđanje sadržaja metala i minerala u ekstrudiranim prehrambenim proizvodima, postoji nekoliko studija koje ističu obećavajuće predviđačke sposobnosti ANN u analizi povezanosti čvrstoće ploda kivija sa sadržajem minerala u poređenju sa MLR modelom (*engl. Multiple linear regression*) (Torkashvand i sar., 2017), kao i odlične predviđačke performanse MLP-ANN modela (*engl. Multilayer perceptron artificial neural networks*) za razlikovanje Meksičkih prženih kafa na osnovu mineralnog sastava (Muñiz-Valencia i sar., 2014). Prema našim saznanjima BRT modelovanje nije do sada primenjivano za predviđanje sadržaja metala i minerala kod ekstrudiranih proizvoda.

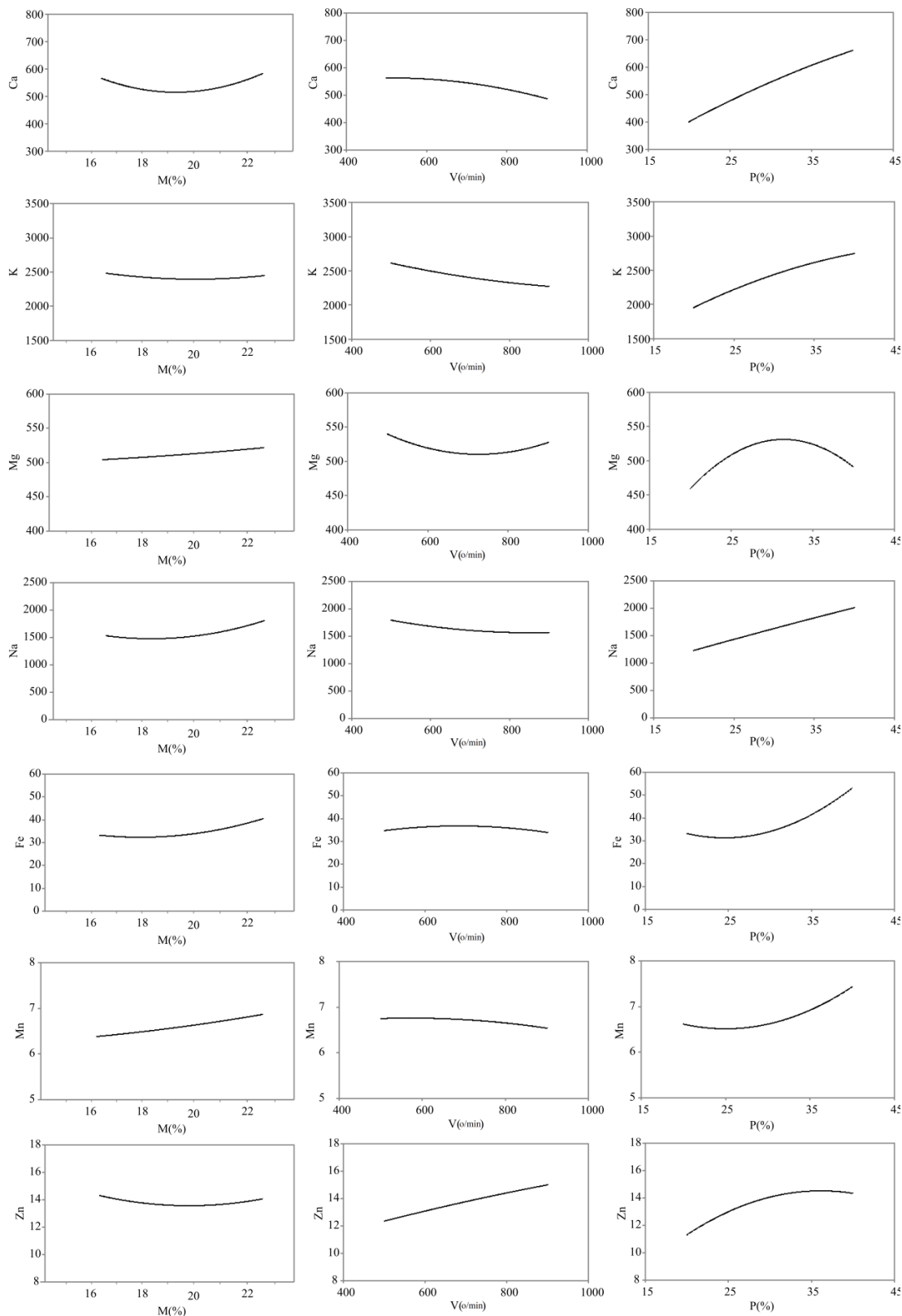
Tabela 38. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za metale i minerale u flips proizvodima

Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
Ca	30,212	7,494	0,887	0,991
K	164,191	30,359	0,734	0,987
Mg	34,588	7,868	0,324	0,919
Na	76,285	24,719	0,921	0,990
Fe	1,729	0,607	0,954	0,994
Mn	0,395	0,071	0,275	0,953
Zn	0,822	0,123	0,850	0,993
Cu	0,168	0,039	0,905	0,993

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške

**Slika 56.** Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima sadržaja metala i minerala u flips proizvodima

Uprkos tome, mogu se naslutiti dobre performanse BRT modela za predviđanje sadržaja Fe i Na u flips proizvodima na osnovu visokih koeficijenata determinacije i nižih RSME vrednosti (tabela 38). Uzimajući u obzir performanse ANN modela prikazanog u ovoj disertaciji, upravo ovaj model je korišćen za ispitivanje uticaja procesnih parametara ekstrudiranja na sadržaj metala i minerala u finalnim proizvodima (slika 57).



Slika 57. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na sadržaj metala i minerala u flips proizvodima

Sa slike 57 primetno je da je process ekstrudiranja imao gotovo isti uticaj na sadržaj svih metala i minerala ispitanih u okviru ove studije (Ca, K, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu i Pb).

Minerali se ne mogu razgraditi s obzirom da su čvrsti i imaju kristalnu formu. Proces ekstrudiranja utiče prvenstveno na makromolekule, te posledično i na manje molekule poput minerala, usled promena drugih jedinjenja prisutnih u hrani (kao što su fitati ili polifenolna jedinjenja). Minerali su generalno otporni na agresivne procesne uslove ali može doći do njihovog gubitka u pari na matrici, prilikom izlaska iz cevi ekstrudera (Singh i sar., 2007).

Povećanje sadržaja vlage polazne smeše (M, %) pozitivno je uticalo na sadržaj metala i minerala u flips proizvodima. Takođe se može primetiti da je u pojedinim slučajevima porast vlage do određene vrednosti (19%) uslovljavao smanjenje sadržaja određenih minerala i metala (Ca, K, Zn i Pb), da bi se sa daljim povećanjem nivoa vlage (iznad 19%) njihov sadržaj uvećao. Pretpostavlja se da u okviru optimalnih uslova ekstrudiranja koji u studiji sadržaja metala i minerala obuhvataju sadržaj vlage iznad 19%, sadržaj elemenata od interesa raste. Slična zapažanja izneli su Danbaba i sar. (2015) u svojoj studiji uticaja parametara ekstrudiranja na sadržaj minerala u pirinčanim ekstrudatima sa dodatkom graška. Oni beleže porast vrednosti sadržaja određenih elemenata (Mg, Ca i Cu) sa porastom vlage (iznad 20%), navodeći da se mogu primetiti negativne promene u sadržaju ovih elemenata izvan optimalnih uslova ekstrudiranja. Takođe, povećanje sadržaja minerala u ekstrudatima može biti posledica njihove akumulacije u vodi koja je korišćena za navlaživanje smeša (Camire i sar., 1990).

Povećanje brzine obrtanja pužnice pokazalo je negativan uticaj na sadržaj ispitivanih elemenata, izuzev kod Zn. Povećanje brzine obrtanja pužnice može uticati na efikasnije vezivanje jona cinka sa vlaknima čime se može doprineti očuvanju ovog elementa tokom procesa ekstrudiranja (Bergman i sar., 1997). Pretpostavlja se da je inulin poreklom iz korena cikoriije vezao jone Zn na šta je uticao porast brzine obrtanja pužnice u ispitivanom opsegu (500,0-900,0 o/min). Brzina obrtanja pužnice iznad 700 o/min uslovljava povećanje sadržaja Mg (slika 57), što je potencijalno posledica uništavanja antinutritivnih jedinjenja (poput tanina i fitata koji grade nerastvorne komplekse sa mineralima) pri takvim uslovima proizvodnje, čime se povoljno utiče na dostupnost minerala (S. Singh et al., 2007).

Dodatak korena cikoriije očekivano je pokazao pozitivan uticaj na sadržaj svih ispitivanih elemenata, s obzirom na to da je ova sirovina znatno bogatija mineralima i metalima od interesa za ovu studiju u poređenju sa pirinčanim brašnom (tabela 36) (Perović i sar., 2021). Jedini izuzetak predstavlja sadržaj Mg, gde je primetan trend opadanja sadržaja ovog elementa nakon dodatka brašna korena cikoriije u količini većoj od 30%. Ovo može biti objašnjeno činjenicom da vlakna (inulin) prisutna u korenu cikoriije tokom procesa ekstrudiranja dobijaju osobine helirajućih agenasa prilikom čega ometaju ekstrakciju Mg, slično kao u studiji Irungu i sar. (2018). Poznato je takođe da ekstrudiranje povećava količinu dostupnog Fe u skoro svim slučajevima (Wani i Kumar, 2016). Slično tome, Suliburska i sar. (2009) su zabeležili značajan porast minerala, pogotovo Fe, nakon ekstrudiranja zrna lupina objašnjavajući ovaj rezultat činjenicom da proces ekstrudiranja pospešuje oslobađanje minerala iz složenih kompleksa koje oni grade sa vlaknima, fitatima i proteinima. Stoga se može pretpostaviti da je ekstrudiranje sprovedeno u okviru ove disertacije pospešilo oslobađanje Fe iz složenih kompleksa koje verovatno gradi sa inulinom.

4.11. Spektrofotometrijsko određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja

Biljni izvori, poput lekovitog bilja, voća, povrća i žitarica, bogati su biološki aktivnim jedinjenjima ili fitohemikalijama koja doprinose postizanju optimalnog zdravstvenog stanja i snižavanju rizika od različitih oboljenja. Među njima posebno se ističu polifenolna jedinjenja čije je biološko dejstvo bilo predmet naučnih studija u poslednjih nekoliko decenija (Rasouli i sar., 2017). Stoga je naučna svest, kao i svest samih potrošača, usmerena na proizvodnju i konzumiranje prehrambenih proizvoda sa obogaćenim nutritivnim sastavom u pogledu sadržaja polifenolnih jedinjenja. Shodno tome, jedan od ciljeva ove doktorske disertacije uključio je ispitivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja u ekstraktima na bazi pirinča sa dodatkom korena cikoriје.

Zrno pirinča poseduje mnogobrojna polifenolna jedinjenja, najviše u svom perikarpnom i aleuronskom sloju. Među takvim jedinjenjima izdvajaju se fenolne kiseline, flavonoidi, antocijani, proantocijanidini, tokoferoli, tokotrienoli, γ -orizanoli, steroli i fitinska kiselina (Goufo i Trindade, 2014; Huang i Lai, 2016). Najzastupljenija fenolna kiselina koja se nalazi u endospermu, mekinjama i celom zrnu pirinča je ferulna kiselina (koja čini 56 – 77% ukupnih fenolnih kiselina), koju po sadržaju potom prate *p*-kumarinska kiselina, sinapinska kiselina, galna kiselina, protokatehinska kiselina, *p*-hidroksibenzoeva kiselina, vanilinska kiselina i siringinska kiselina. U malim koncentracijama prisutne su kafena, hlorogenska, cimetna i elaginska kiselina. U ljusci pirinča primećeno je da je *p*-kumarinska kiselina najdominantnija fenolna kiselina (71%), zatim ferulna, vanilinska i siringinska kiselina (Goufo i Trindade, 2014). Od flavonoida najzastupljeniji je tricin (čini 77% ukupnih flavonoida), te potom luteolin, apigenin, kvercetin, izoramnetin, kempferol i miricetin (Goufo i Trindade, 2014).

Biljne vrste iz porodice *Asteraceae*, sa posebnim naglaskom na višegodišnju biljku cikoriју, spadaju u grupu biljnih izvora bogatih polifenolnim jedinjenjima (Singh i Chahal, 2018). Kada su u pitanju polifenolna jedinjenja identifikovana u cikoriји, posebno se izdvajaju fenolne kiseline, flavonoidi, kumarini i lignani, dok se od terpenoida izdvajaju seskviterpenski laktani (laktucin i laktukopikrin) i triterpeni (Hoste i sar., 2006; Das i sar., 2016). Prema istraživanju Nwafor i sar. (2017) zabeležen je ukupan sadržaj polifenolnih jedinjenja od 20,0 mg GAE/g suvog metanolnog ekstrakta *Cichorium intybus*. Iz grupe polifenolnih jedinjenja detektovana je *m*-kumarinska, *p*-kumarinska, kafena kiselina, hlorogenska, i protokatehinska kiselina, poređane prema zastupljenosti.

Polifenolna jedinjenja spadaju u grupu široko rasprostranjenih sekundarnih biljnih metabolita, veoma značajnih kako sa nutritivnog tako i sa funkcionalnog aspekta. Ova grupa broji preko 8000 različitih jedinjenja, i godinama unazad predmet su istraživanja u pogledu preventivnog delovanja i terapije različitih oboljenja kod ljudi (Cory i sar., 2018). Shodno tome, od velikog značaja je odrediti sadržaj polifenolnih jedinjenja u novokreiranim pirinčanim flips proizvodima sa dodatkom korena cikoriје, kako bi se na taj način definisao nutritivni i potencijalno funkcionalni profil proizvoda.

Određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja ekstrakata uzoraka flips proizvoda obogaćenih korenom cikoriје vršeno je spektrofotometrijski. Spektrofotometrijska metoda izabrana je radi ekonomičnijeg i bržeg skrininga kvaliteta ispitivanih uzoraka u pogledu sadržaja polifenolnih jedinjenja u slobodnom i vezanom obliku (tabela 39), kao i antioksidativne i redukcione sposobnosti ispitivanih frakcija (tabela 40), u odnosu na relativno skupu HPLC analizu (Jandrić i Cannavan, 2017).

Tabela 39. Sadržaj polifenolnih jedinjenja u slobodnoj (SSP) i vezanoj frakciji (SVP) ispitivanih flips proizvoda

Uzorak	M	V	P	SSP	SVP
1	21,2	820	35,9	33,26±0,64 ^g	8,13±0,06 ^{ef}
2	19,4	700	30,0	27,12±0,13 ^{def}	6,96±0,11 ^{cde}
3	17,6	820	35,9	36,87±0,98 ^h	9,06±0,32 ^f
4	19,4	700	30,0	27,01±0,02 ^{def}	6,57±0,24 ^{cde}
5	21,2	820	24,1	23,11±0,54 ^{bc}	5,51±0,12 ^{abc}
6	22,5	700	30,0	20,47±0,06 ^b	4,25±0,57 ^{ab}
7	19,4	900	30,0	24,55±0,69 ^{cd}	6,05±0,09 ^{cd}
8	17,6	820	24,1	26,98±0,39 ^{def}	6,90±0,25 ^{cde}
9	19,4	700	30,0	26,68±0,21 ^{def}	6,85±0,04 ^{cde}
10	21,2	520	24,1	20,81±0,03 ^b	4,41±0,39 ^{ab}
11	16,3	700	30,0	28,54±0,03 ^f	7,01±0,03 ^{cde}
12	19,4	700	40,0	36,14±0,87 ^h	8,94±0,01 ^f
13	19,4	500	30,0	25,77±0,36 ^{cde}	6,13±0,68 ^{cd}
14	19,4	700	30,0	27,36±1,06 ^{def}	7,16±0,01 ^{cde}
15	17,6	520	24,1	23,55±0,28 ^c	5,81±0,08 ^{bcd}
16	21,2	520	35,9	32,05±0,43 ^g	8,01±0,09 ^{ef}
17	17,6	520	35,9	34,56±0,91 ^{gh}	8,32±0,11 ^{ef}
18	19,4	700	20,0	16,83±0,07 ^a	4,12±0,08 ^a
19	19,4	700	30,0	26,96±0,13 ^{def}	6,87±0,21 ^{cde}
20	19,4	700	30,0	27,08±0,09 ^{def}	6,99±0,56 ^{cde}

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); GAE – ekvivalent galne kiseline; SSP – sadržaj polifenolnih jedinjenja u slobodnoj frakciji (mg GAE/g s.m.); SSV – sadržaj polifenolnih jedinjenja u vezanoj frakciji (mg GAE/g s.m.); rezultati određivanja izraženi su na suhu materiju (s.m.) kao srednja vrednost (n=3) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Sadržaj slobodnih polifenolnih jedinjenja kretao se u opsegu 16,83-36,87 mg GAE/g s.m., gde je očekivano najmanji sadržaj zabeležen kod Uzorka 18 koji je sadržao svega 20% korena cikoriije (najniži nivo supstitucije), dok je najveći sadržaj slobodnih polifenolnih jedinjenja zabeležen kod uzorka 3 sa visokim udelom korena cikoriije od 35,9% (tabela 39). Ovaj trend se može opravdati činjenicom da je cikoriija bogat izvor polifenolnih jedinjenja, što je uslovljeno kulturom i uslovima gajenja (Perović i sar., 2021). Kontrolni uzorak beležio je niže vrednosti SSP i SVP u odnosu na uzorke sa dodatkom korena cikoriije (8,39 mg GAE/g s.m. slobodnih polifenola i 2,45 mg GAE/g s.m. vezanih polifenolnih jedinjenja).

4.11.1. Antioksidativna aktivnost ekstrudiranih flips proizvoda

Antioksidativna aktivnost ekstrudiranih proizvoda određena je primenom 3 spektrofotometrijska testa i dobijene vrednosti prikazane su u tabeli 40. Naime, u praksi je za *in vitro* procenu antioksidativne aktivnosti endogenih fitokemikalija potrebno primeniti više od jednog testa, s obzirom da se testovi razlikuju u pogledu mehanizama i eksperimentalnih uslova (Mannino i sar., 2020).

Tabela 40. Antioksidativna aktivnost uzoraka na DPPH[•] radikale u slobodnoj (DPPH_S) i vezanoj frakciji (DPPH_V), na ABTS^{•+} radikale u slobodnoj (ABTS_S) i vezanoj (ABTS_V) frakciji, i kroz test redukcione sposobnosti u slobodnoj (RS_S) i vezanoj frakciji (RS_V).

Uzorak	M	V	P	DPPH _S	DPPH _V	ABTS _S	ABTS _V	RS _S	RS _V
1	21,2	820	35,9	0,79±0,00 ^{def}	0,05±0,00 ^e	400,17±28,52 ^{def}	80,41±3,26 ^{ab}	91,99±7,06 ^{def}	4,54±0,00 ^g
2	19,4	700	30,0	0,61±0,07 ^{bed}	0,03±0,00 ^c	356,28±12,64 ^{bcd}	71,28±3,69 ^{ab}	79,54±4,16 ^{bcd}	3,97±0,00 ^e
3	17,6	820	35,9	1,03±0,00 ^g	0,06±0,00 ^f	473,69±12,97 ^{fg}	96,47±15,02 ^b	108,97±2,71 ^f	5,14±0,01 ^j
4	19,4	700	30,0	0,62±0,07 ^{bed}	0,03±0,00 ^c	347,23±11,54 ^{bcd}	70,79±1,29 ^{ab}	79,1±3,15 ^{bcd}	3,76±0,00 ^e
5	21,2	820	24,1	0,54±0,09 ^{abc}	0,02±0,00 ^b	313,69±2,69 ^{abcd}	65,97±13,06 ^{ab}	60,12±7,56 ^{abcde}	3,11±0,00 ^e
6	22,5	700	30,0	0,48±0,01 ^{ab}	0,01±0,00 ^a	289,36±24,56 ^{abc}	61,17±4,15 ^{ab}	51,89±2,61 ^{ab}	2,83±0,00 ^b
7	19,4	900	30,0	0,55±0,01 ^{abc}	0,02±0,00 ^b	316,16±5,25 ^{abcd}	67,69±5,50 ^{ab}	62,06±2,97 ^{abcd}	3,09±0,00 ^e
8	17,6	820	24,1	0,60±0,00 ^{cd}	0,03±0,00 ^c	340,17±23,69 ^{abcd}	89,33±16,58 ^{ab}	77,14±9,88 ^{abcde}	3,47±0,01 ^d
9	19,4	700	30,0	0,63±0,00 ^{bed}	0,03±0,00 ^c	353,69±16,87 ^{bcd}	69,79±2,58 ^{ab}	77,47±1,65 ^{bcd}	3,86±0,02 ^e
10	21,2	520	24,1	0,48±0,07 ^{ab}	0,01±0,00 ^a	279,36±21,49 ^{ab}	62,09±7,28 ^{ab}	53,71±8,63 ^{abc}	2,91±0,00 ^b
11	16,3	700	30,0	0,66±0,02 ^{bcd}	0,04±0,00 ^d	374,63±13,64 ^{cde}	75,87±2,14 ^{ab}	84,65±9,23 ^{cde}	3,94±0,00 ^e
12	19,4	700	40,0	0,91±0,01 ^{fg}	0,06±0,00 ^f	498,21±14,36 ^f	91,63±2,41 ^{ab}	103,89±1,47 ^f	4,69±0,02 ^b
13	19,4	500	30,0	0,56±0,00 ^{abc}	0,03±0,00 ^c	324,61±2,57 ^{abcd}	67,48±2,11 ^{ab}	71,62±9,46 ^{abcde}	3,51±0,00 ^d
14	19,4	700	30,0	0,61±0,00 ^{bed}	0,03±0,00 ^c	351,98±2,65 ^{bcd}	72,24±5,79 ^{ab}	78,73±2,65 ^{bcd}	3,92±0,00 ^e
15	17,6	520	24,1	0,53±0,03 ^{abc}	0,02±0,00 ^b	301,21±14,65 ^{abc}	65,26±1,36 ^{ab}	62,35±7,45 ^{abcd}	3,15±0,00 ^e
16	21,2	520	35,9	0,71±0,03 ^{cde}	0,05±0,00 ^e	395,27±14,57 ^{def}	78,25±11,69 ^{ab}	91,43±6,93 ^{def}	4,15±0,03 ^f
17	17,6	520	35,9	0,84±0,01 ^{efg}	0,04±0,00 ^d	436,11±23,14 ^{efg}	81,24±6,54 ^{ab}	96,36±5,87 ^{ef}	4,69±0,00 ^b
18	19,4	700	20,0	0,39±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	254,96±6,43 ^a	57,37±0,12 ^a	45,62±2,32 ^a	1,87±0,00 ^a
19	19,4	700	30,0	0,61±0,06 ^{bed}	0,03±0,00 ^c	352,21±17,61 ^{bcd}	70,06±5,69 ^{ab}	78,14±0,39 ^{bcd}	3,69±0,00 ^e
20	19,4	700	30,0	0,62±0,00 ^{bcd}	0,03±0,00 ^c	353,28±29,64 ^{bcd}	70,31±6,91 ^{ab}	80,11±5,28 ^{bcd}	3,76±0,04 ^e

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%); TE – ekvivalent troloksa; DPPH_S – antioksidativna aktivnost slobodne frakcije polifenola određena DPPH testom (mmol TE/g s.m.), DPPH_V – antioksidativna aktivnost vezane frakcije polifenola određena DPPH testom (mmol TE/g s.m.), ABTS_S – antioksidativna aktivnost slobodne frakcije polifenola određena ABTS testom (mmol TE/g s.m.), ABTS_V – antioksidativna aktivnost vezane frakcije polifenola određena ABTS testom (mmol TE/g s.m.), RS_S – redukciona sposobnost slobodne frakcije polifenola (mmol TE/g s.m.), RS_V – redukciona sposobnost vezane frakcije polifenola (mmol TE/g s.m.). Rezultati određivanja izraženi su na suhu materiju (s.m.) kao srednja vrednost (n=3) ± s.d. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Antioksidativna aktivnost na DPPH[•] radikale u frakciji slobodnih polifenolnih jedinjenja ispitivanih ekstrudata sa dodatkom korena cikoriije se kreće u opsegu od 0,39 mmol TE/g s.m. do 1,03 mmol TE/g SM, dok je u frakciji vezanih polifenolnih jedinjenja zabeležena aktivnost u opsegu od 0,01 mmol TE/g s.m. do 0,06 mmol TE/g s.m. (tabela 40). Najmanja antioksidativna aktivnost na DPPH[•] radikale u slobodnoj i vezanoj frakciji zabeležena je u kontrolnom uzorku (gde je udeo korena cikoriije bio 0%), i to 0,11 mmol TE/g s.m. za DPPH_S i 0,00 mmol TE/g s.m. za DPPH_V. Nasuprot tome, najveća antioksidativna aktivnost bilo frakcije slobodnih ili vezanih polifenolnih jedinjenja određena je kod uzorka 3 koji je sadržao 35,9 % korena cikoriije (1,03 i 0,06 mmol TE/g s.m, redom). Frakcija slobodnih polifenolnih jedinjenja uzorka 11 pokazala je antioksidativnu aktivnost na DPPH[•] radikale od 0,66 mmol TE/g s.m, što je bilo gotovo 6 puta više od kontrolnog uzorka (0,11 mmol TE/g s.m). Antioksidativna aktivnost frakcije vezanih polifenolnih jedinjenja optimalnog uzorka 11 beleži 0,04 mmol TE/g s.m, dok kod kontrolnog uzorka nije primećena (0,00 mmol TE/g s.m).

Antioksidativna aktivnost na ABTS^{•+} radikale bila je u opsegu od 254,96 mmol TE/g s.m. do 498,21 mmol TE/g s.m. za frakciju slobodnih polifenolnih jedinjenja, odnosno od 57,37 mmol TE/g s.m. do 96,47 mmol TE/g s.m za frakciju vezanih polifenolnih jedinjenja. Najmanja antioksidativna aktivnost na ABTS^{•+} radikale u frakciji slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja zabeležena kod kontrolnog uzorku (85,73 mmol TE/g s.m. i 35,36 mmol TE/g s.m., redom). Antioksidativna aktivnost na ABTS^{•+} radikale optimalnog uzorka 11 bila je 374,63 mmol TE/g s.m. i 75,87 mmol TE/g s.m. za frakciju slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja, redom, što je znatno više nego za kontrolni uzorak bez dodatka korena cikoriije.

Redukciona sposobnost frakcija slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja flaps proizvoda obogaćenih korenom cikoriije bila je 45,62-108,97 mmol TE/g s.m., odnosno 1,87-5,14 mmol TE/g s.m., redom (tabela 40), dok je kontrola imala najmanju redukcionu sposobnost u obe ispitivane frakcije (14,85 mmol TE/g s.m. za frakciju slobodnih polifenolnih jedinjenja, tj. 0,76 mmol TE/g s.m. za frakciju vezanih polifenolnih jedinjenja). Optimalni uzorak 11 pokazao je skoro šestostruku redukcionu sposobnost (84,65 mmol TE/g s.m.) u odnosu na kontrolu kada je u pitanju frakcija slobodnih polifenolnih jedinjenja, odnosno gotovo petostruku vrednost RS_V (3,94 mmol TE/g s.m.) u poređenju sa kontrolom (14,85 mmol TE/g s.m. za RSS, i 0,76 mmol TE/g s.m. za RSV).

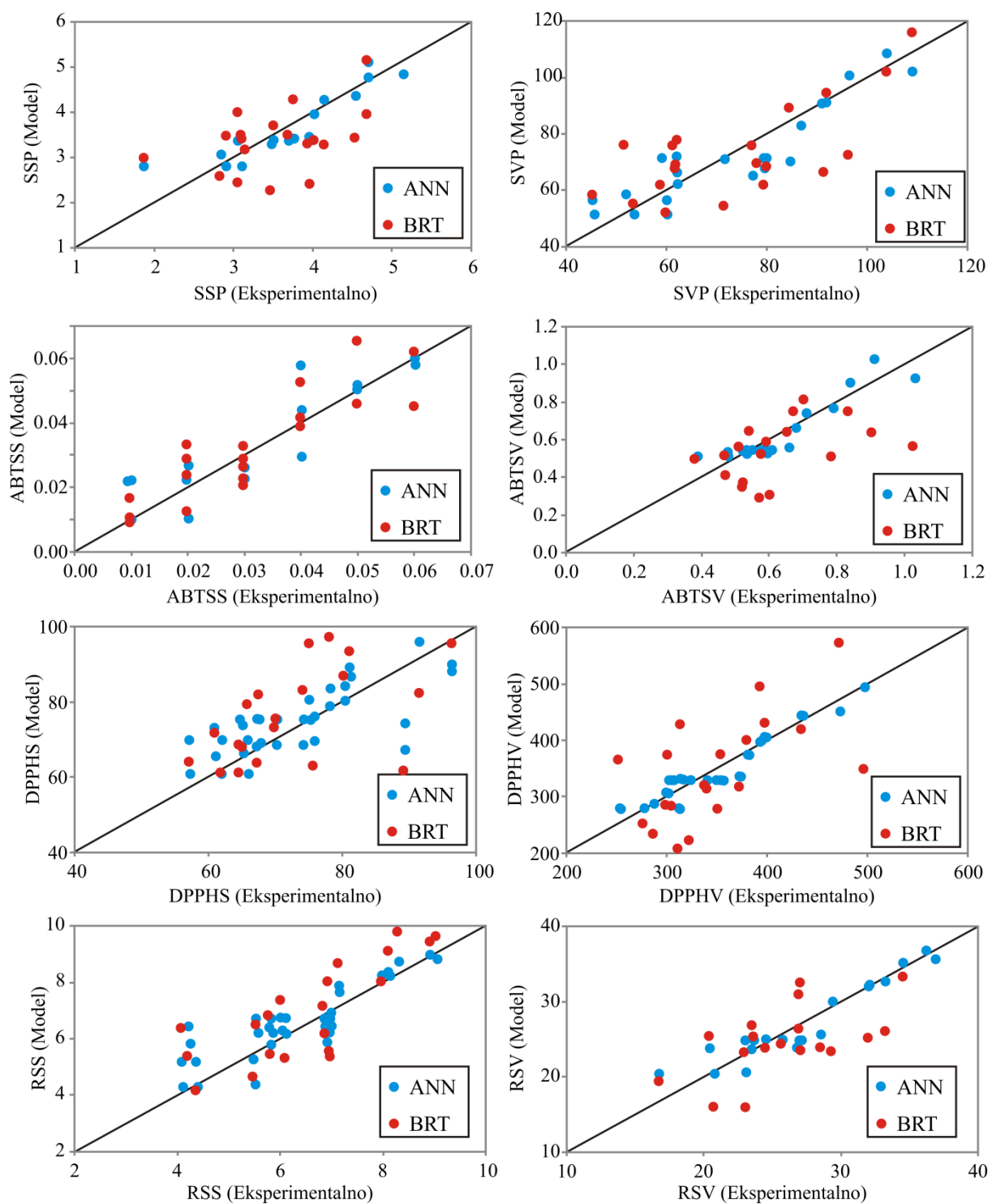
4.11.2. Uticaj parametara ekstrudiranja na sadržaj polifenolnih jedinjenja i antioksidativnu aktivnost flaps proizvoda kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

BRT i ANN formirale su modele za predviđanje sadržaja polifenolnih jedinjenja u slobodnom i vezanom obliku, kao i antioksidativne aktivnosti ispitane različitim testovima, na osnovu ulaznih eksperimentalnih vrednosti prikupljenih tokom procesa ekstrudiranja menjanjem parametara vlage, brzine obrtanja pužnice i udela korena cikoriije.

Na osnovu performansi BRT modela, odabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje parametara sadržaja polifenolnih jedinjenja u izlovanim frakcijama (SSP i SVP) kao i njihovih antioksidativnih aktivnosti ($DPPH_S$, $DPPH_V$, $ABTS_S$, $ABTS_V$, RS_S i RS_V) i iznosio je 229. Maksimalna dužina grana je bila 3.

U cilju adekvatnog predviđanja parametara sadržaja polifenolnih jedinjenja u izlovanim frakcijama kao i njihovih antioksidativnih aktivnosti, na osnovu performansi ANN modela odabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju koji iznosi 3 (mreža MLP 3-3-8). Optimalni ANN model je kompleksan (sa 44 težinska koeficijenta i bias-a). Postignute su visoke vrednosti parametra r^2 uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 41). Optimalna mreža koristila je BFGS 57 za algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skriven sloju je bila je tangens hiperbolikus, a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je bila logistička funkcija.

Slika 58 prikazuje uklapanje vrednosti izlaznih parametara (SSP , SVP , $DPPH_S$, $DPPH_V$, $ABTS_S$, $ABTS_V$, RS_S i RS_V) predviđenih primenom BRT i ANN modela (crvene, odnosno crne tačke; podaci predstavljeni na y-osi) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (prava linija iz kordinantnog početka; podaci predstavljeni na x-osi). Što manje tačaka odstupa od linije iscrtane eksperimentalnim vrednostima to je predviđanje modela bolje.



Slika 58. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima sadržaja polifenolnih jedinjenja slobodne (SSP) i vezane frakcije (SVP) polifenolnih jedinjenja, kao i njihova antioksidativna (DPPH_s, DPPH_v, ABTS_s, ABTS_v) i redukciona sposobnost (RS_s, RS_v) ispitana kroz različite testove

Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela je testiran klasičnim statističkim pokazateljima (r^2 , RMSE) i predstavljen je u tabeli 41.

Tabela 41. Kvalitet uklapanja ANN modela za parametre sadržaja polifenolnih jedinjenja i osobine antioksidativne aktivnosti ispitivanih ekstrudata

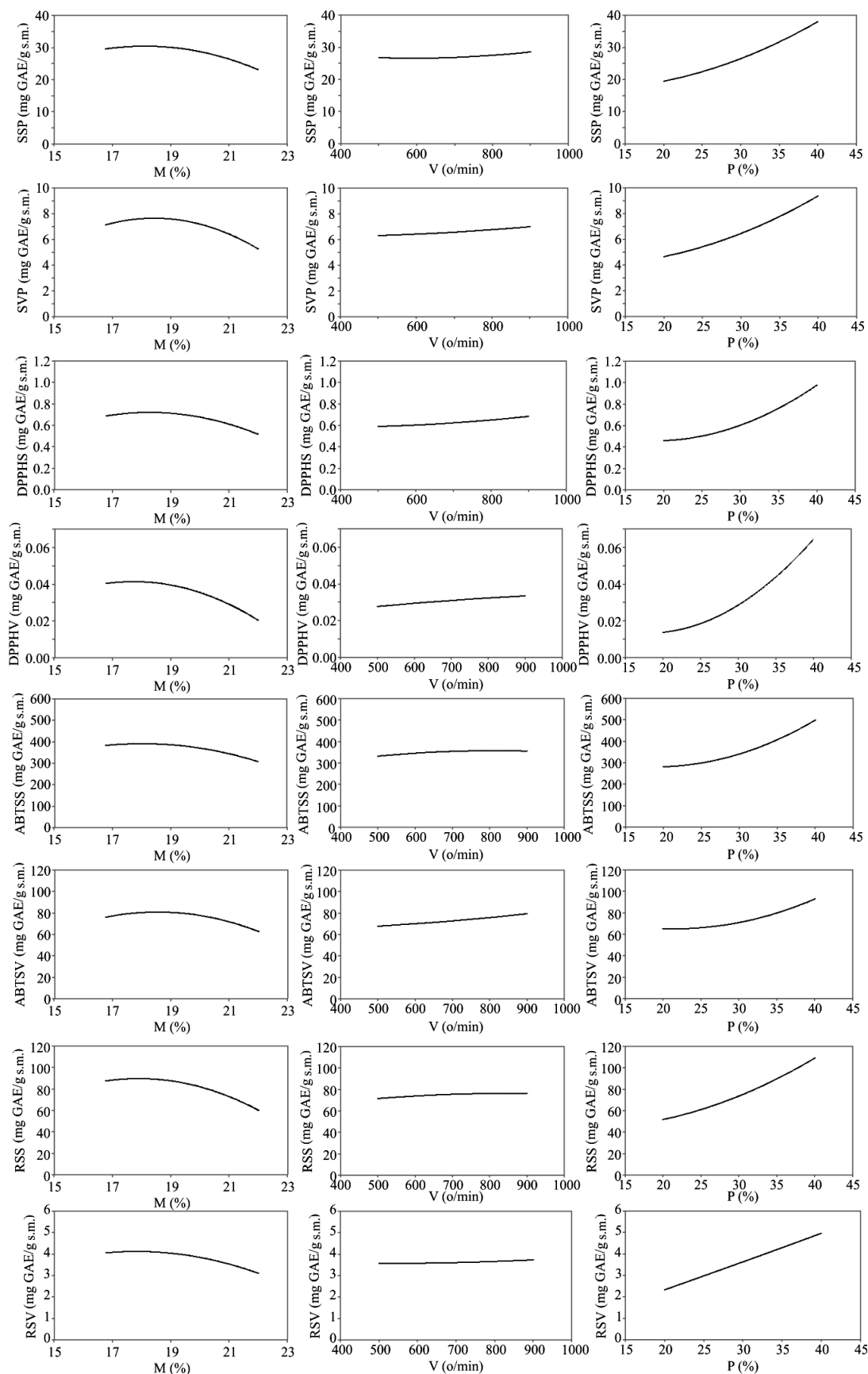
Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r ² _{BRT}	r ² _{ANN}
SSP	4,742	1,887	0,566	0,873
SVP	1,332	0,630	0,626	0,812
DPPH _S	0,160	0,061	0,174	0,851
DPPH _V	0,008	0,007	0,773	0,818
ABTS _S	74,202	18,685	0,357	0,913
ABTS _V	15,052	6,244	0,305	0,656
RS _S	16,146	7,594	0,481	0,827
RS _V	0,800	0,358	0,346	0,782

r² - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške

ANN beleži r² vrednost za izlazne promenljive (SSP, SVP, DPPH_S, DPPH_V, ABTS_S, ABTS_V, RS_S i RS_V) u intervalu 0,656 - 0,913, dok je RSME iznosio 0,007-18,685 (tabela 41). Sa druge strane, BRT model je pokazao nešto niže vrednosti koeficijenta determinacije (0,174-0,773), i više vrednosti srednjeg kvadrata greške (0,008-74,202) (tabela 41) što ukazuje na to da je ANN model bolje predvideo navedene ispitivane parametre kvaliteta SSP, SVP, DPPH_S, DPPH_V, ABTS_S, ABTS_V, RS_S i RS_V flips proizvoda. Slično tome, ANN-TLBO pristup (*engl. Artificial neural network-teaching learning based optimization*, Veštačka neuronska mreža-optimizacija bazirana na podučavanju i učenju) je tačnije predvideo optimalan sadržaj ukupnih polifenolnih jedinjenja u poređenju sa RSM modelom kod ispitivanja bioaktivnog potencijala manga (*Mangifera indica*) u studiji Sarkar i sar. (2020). Stoga je ANN model primenjen za predviđanje uticaja procesnih parametara na sadržaj polifenolnih jedinjenja u slobodnoj i vezanoj frakciji, kao i na antioksidativnu aktivnost i redukcionu sposobnost ispitanih kroz određene testove (slika 59).

Porast sadržaja vlage unutar ispitivanog opsega negativno je uticao na sadržaj polifenolnih jedinjenja (slika 59). Naime, pri uslovima povećanog sadržaja vlage moguće je da se favorizuje dekarboksilacija fenolnih kiselina. Štaviše, tokom procesa ekstruzionog kuvanja može doći do polimerizacije polifenolnih jedinjenja usled čega se smanjuje mogućnost njihovog ekstrahovanja, a posledično se smanjuje i antioksidativna aktivnost, što je takođe uočljivo sa slike 59. Slična zapažanja zabeležili su Yağci i Göğüş (2009) koji su zaključili da u ekstrudatima na bazi kukuruza koji su obogaćeni brašnom brokolija, sadržaj polifenolnih jedinjenja opada sa povećanjem sadržaja vlage. Rezultati sadržaja vezanih i slobodnih polifenolnih jedinjenja zavisili su od sadržaja vlage polazne smeše koja je pospešila prenos toplote što je dovelo do njihove razgradnje, slično kao u studiji Brennan i sar. (2011).

Povećanje brzine obrtanja pužnice doprinelo je povećanju sadržaja polifenolnih jedinjenja. Ovaj trend može biti protumačen u pogledu osobađanja polifenolnih jedinjenja iz zidova ćelija matriksa tokom ekstruzionog procesa pri povišenoj brzini obrtanja pužnice. Nadalje, pri agresivnim uslovima ekstrudiranja na velikim brzinama obrtanja pužnice može doći do formiranja proizvoda neenzimskog tamnjenja fenolne strukture, što se odrazilo na povećan finalni sadržaj slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja. Takva zapažanja zabeležili su i Chalermchaiwat i sar. (2015) prilikom ispitivanja ekstrudata od smeđeg pirinča.



Slika 59. Uticaj procesnih parametara (M, V, P) na sadržaj polifenolnih jedinjenja u slobodnoj (SSP) i vezanoj frakciji (SVP), na antioksidativnu aktivnost ekstrudata ispitano kroz test na DPPH[•] (DPPH_S, DPPH_V) i ABTS radikale (ABTS_S i ABTS_V) i na redukcionu sposobnost slobodne (RS_S) i vezane frakcije polifenolnih jedinjenja (RS_V)

Štaviše, porast brzine obrtanja pužnice mogao bi skratiti vreme izlaganja polifenolnih jedinjenja toplotnom razaranju usled čega ostaju očuvani u velikoj meri, kao što su zabeležili Natabirwa i sar. (2018). Porast brzine obrtanja pužnice i porast udela korena cikoriije uticali su pozitivno na antioksidativnu (AA) i redukcionu sposobnost (RS) ekstrudiranih proizvoda. Ovaj trend bio je očekivan, s obzirom na to da se pri takvim uslovima formiraju flips proizvodi sa povećanim sadržajem polifenolnih jedinjenja, koja su direktno povezana sa AA i RS (Olszowy, 2019).

Dodatak korena cikoriije doprineo je povećanju sadržaja slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja, u poređenju sa kontrolnim uzorkom. Ovo može biti objašnjeno činjenicom da je koren cikoriije dobar izvor polifenolnih jedinjenja (Perović i sar., 2021). Bilo je očekivano da ekstrudati obogaćeni korenom cikoriije budu bogatiji u sadržaju polifenolnih jedinjenja u odnosu na kontrolni ekstrudat od čistog pirinčanog brašna, uzimajući u obzir činjenicu da je pirinčano brašno oskudan izvor ovih jedinjenja. Naime, tokom mlevenja zrna prinča u cilju dobijanja brašna, većina polifenolnih jedinjenja odlazi u nusproizvod procesa mlevenja, odnosno odlazi sa ljuskom pirinčanog zrna, te samo pirinčano brašno biva osiromašeno u pogledu sadržaja ovih jedinjenja (Boue i sar., 2019).

Iz prikazanih rezultata, jasno se može zaključiti da su novokreirani ekstrudati pokazali kako poboljšan sadržaj polifenolnih jedinjenja tako i veću antioksidativnu i redukcionu sposobnost, u odnosu na kontrolni uzorak. Pri tome, može se smatrati da je ostvaren jedan od početnih ciljeva ove doktorske disertacije, odnosno formiranje novog prehrambenog proizvoda poboljšanog nutritivnog sastava i potencijalne funkcionalnosti.

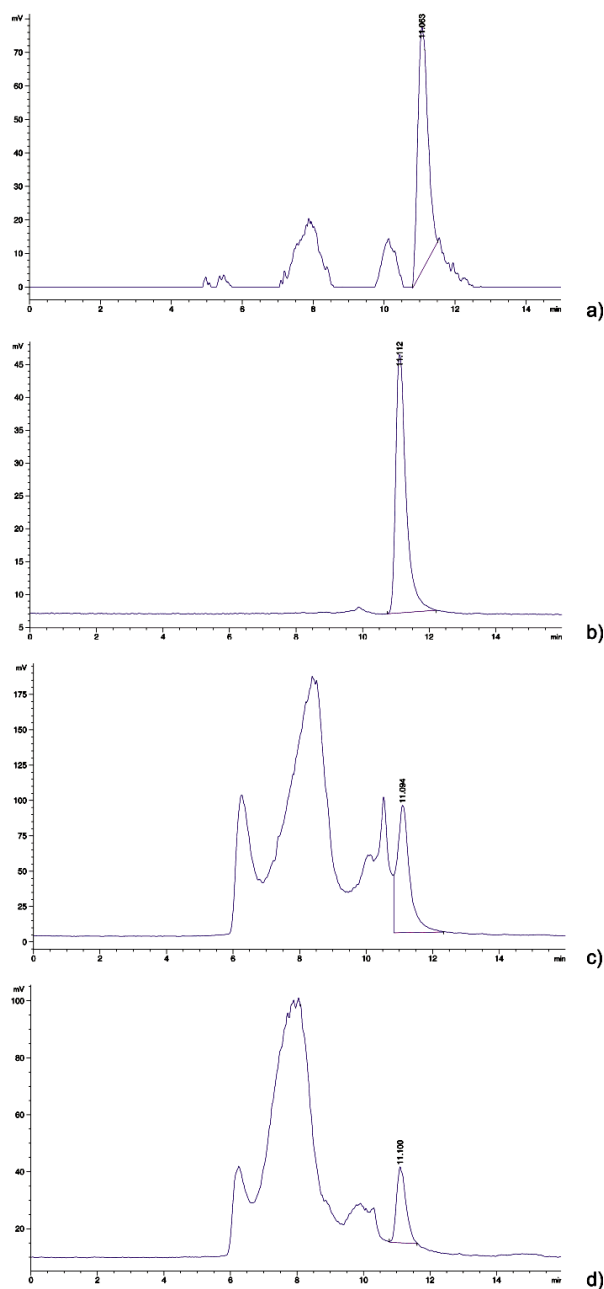
4.12. Sadržaj inulina – razvoj i validacija HPLC metode

4.12.1. Optimalni uslovi ekstrakcije i precipitacije inulina iz uzoraka ekstrudata

Najveće standardne ocene (*engl. Standard score*, SS) za ekstrakciju i precipitaciju inulina (0,729 i 0,532, respektivno) pripisane su optimalnim uslovima. Shodno tome, optimalni uslovi ekstrakcije inulina obuhvatali su jednostepenu ekstrakciju pri odnosu uzorka i ekstrakta 1:10 (w/v), dok je optimalno taloženje izvršeno sa 4 puta većom zapreminom acetona (u odnosu na zapreminu izdvojenog supernatanta ekstrahovanog inulina) tokom noći na 4 °C. Nakon taloženja, optimalni uslovi predlažu rastvaranje izdvojenog taloga inulina na 80 °C tokom 60 minuta u vodenom kupatilu nakon čega je rastvaranje nastavljeno još 30 minuta ultrazvukom.

Precipitacija sa acetonom dala je veći sadržaj inulina (2,15-2,57%) u odnosu na etanol (1,42-1,83%), zbog činjenice da je aceton bio bolji rastvarač za precipitaciju ugljenih hidrata sa većim stepenom polimerizacije uključujući inulin. Veće količine reagensa za taloženje su bile efikasnije za povećanje težine istaloženog inulina, u poređenju sa manjim zapreminama I u studiji Abozed i sar. (2009). Do istog zaključka su doveli i eksperimenti u ovoj disertaciji, gde su 4 zapremine reagensa bile efikasnije za precipitaciju inulina (sadržaj 2,57%) u poređenju sa manjim zapreminama (2 i 3 zapremine reagensa dale su 1,72% i 2,15% sadržaja inulina, redom). Najveći sadržaj inulina postignut je u procesu rastvaranja u uslovima optimizovanim za ekstrakciju inulina (3,25%). Dobijeni rezultati pokazuju da duže rastvaranje inulina pokazuje veću efikasnost u poređenju sa kraćim vremenom rastvaranja (2,66% sadržaja inulina) ili primenom isključivo ultrazvučnog rastvaranja (sadržaj inulina od 2,57%). Pored toga, povećanje trajanja taloženja (tokom jedne, dve ili tri noći) nije pokazalo značajan uticaj na sadržaj inulina, što

ukazuje na to da se najviše inulina taloži tokom prvih 12 sati (López-Molina i sar., 2005). Isti zaključak je postignut i u ovoj doktorskoj disertaciji, izdvajajući taloženje tokom jedne noći (2,15%) kao efikasnije u pogledu sadržaja inulina u odnosu na precipitaciju tokom dve (1,21%) i tri (1,31%) noći. Optimizovani rezultati precipitacije dobijeni u ovoj doktorskoj disertaciji (taloženje ekstrahovanog supernatanta sa četiri zapremine acetona tokom jedne noći na 4 °C) su u saglasnosti sa Abozed i sar. (2009) koji su izvršili i precipitaciju inulina preko noći na 4 °C. Oni su primetili da su aceton (68,87%) i etanol (70,25%) bolja sredstva za taloženje u odnosu na propanol (62,82) i acetonitril (65,21%) u pogledu težine istaloženog inulina, čemu doprinose i veće zapremine precipitativnog reagensa. Slika 60 prikazuje unapređenje separacije i prečišćavanja inulina tokom optimizacije precipitacije.



Slika 60. Hromatogrami tokom optimizacije razdvajanja inulina. a) hromatogram inulina iz korena cikoriije bez koraka taloženja, b) hromatogram inulina iz korena cikoriije sa taloženjem, c) hromatogram inulina iz pirinčanih ekstrudata bez koraka taloženja, d) hromatogram inulina iz pirinčanih ekstrudata sa taloženjem.

4.12.2. Optimalni uslovi rada ELS detektora

Oblik pika je direktno eliminisao one uslove detektora koji su dali loše oblike pikova (slika 28), dok bi simetrija vrha, broj teorijskih podova i vrednosti S/N trebalo da budu što je moguće veći. Konačno, najbolji SS (0,849) je dodeljen za 80 °C Tn, 80 °C Te, 1,3 SLM i pojačanje 1. Slični parametri detektora su prilagođeni za analizu ugljenih hidrata pomoću HPLC-ELSD (Tn 79,9 °C, Te 88,9 °C, brzina protoka gasa 1,1 SLM i pojačanje 1) u studiji Condezo-Hoyos i sar. (2015).

4.12.3. Optimalni uslovi hromatografisanja inulina primenom HPLC-ELSD

Ekstrakcija analita od interesa izvršena je prema optimalnim uslovima (odnos uzorak:ekstragens=1:10 (w/v), ekstrakcija je trajala sat vremena u vodenom kupatilu na 80 °C uz konstantno mućkanje, potom je ekstrakcija nastavljena 30 minuta u ultrazvučnom kupatilu, nakon čega je smeša centrifugirana 15 minuta na 10 000 o/min. Odvojeni supernatant preliven je sa 4 zapremine acetona (u odnosu na zpreminu supernatanta) i ostavljen preko noći u frižideru na 4 °C kako bi se istaložio inulin).

Nakon taloženja, rastvaranje izolovanog inulina izvršeno je prema sledećoj proceduri:

- Centrifugiranjem 15 min na 10 000 o/min odvojen je talog inulina nakon čega je osušen na 40 °C kako bi ispario zaostali aceton;
- Osušeni talog inulina preliven je sa 10 ml vruće vode (80 °C), te potom rastvaran sat vremena u vodenom kupatilu na 80 °C uz konstantno mućkanje, nakon čega je rastvaranje istaloženog inulina nastavljeno još 30 minuta u ultrazvučnom kupatilu;
- Rastvoreni uzorci su razblaženi do željenih koncentracija, profiltrirani kroz celulozne filtere (0,45 µm veličina pora) i analizirani pri optimalnim uslovima rada na HPLC-ELSD.

Kolona korišćena za detekciju analita od interesa (Rezex RSO Oligosaccharide Ag⁺) zagrevana je na 80 °C, protok mobilne faze (vode) iznosio je 0,3 ml/min, dok je sama analiza trajala 16 minuta. Optimalni uslovi rada detektora bili su sledeći: temperature uparivača (evaporatora) i raspršivača (nebulajzera) od 80 °C, protok gasa od 1,3 SLM (*engl. Standard Liters per Minute*), i pojačanje signala detektora (*engl. detector gain*) 1. Svaki uzorak analiziran je u 3 ponavljanja. Analiza varijanse (ANOVA) i Tukijev HSD test su korišćeni za poređenje razlika između sadržaja inulina tokom ekstrakcije i optimizacije detektora. Statistička obrada podataka obavljena je korišćenjem softverskog paketa STATISTICA 13.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, SAD).

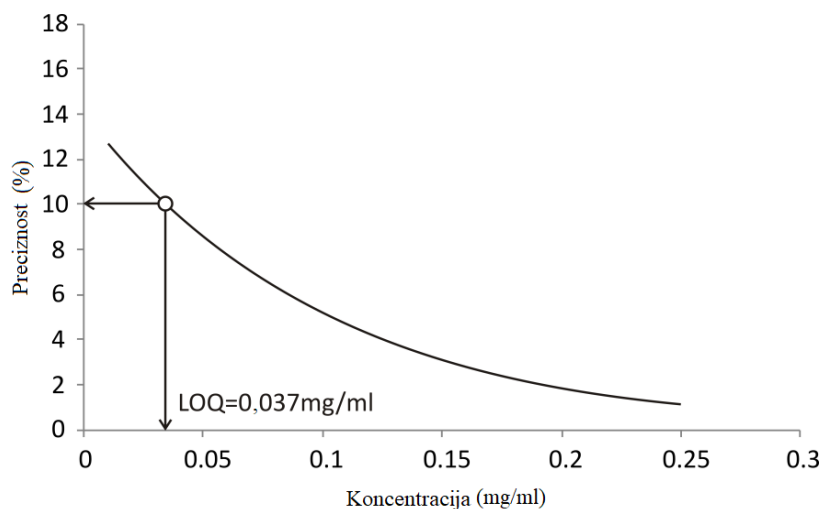
4.12.4. Validacija HPLC-ELSD metode za detekciju inulina

Dobijene vrednosti parametara ispitivanih u okviru validacije HPLC-ELSD metode bili su unutar raspona dozvoljenih i prihvatljivih propisanih granica i njihove vrednosti su prikazane u tabeli 42 i na slici 61.

Tabela 42. Parametri validacije HPLC-ELSD metode

Parametar	Vrednost	
Linearnost	$Y = 6173,7x - 251.56$, $r^2 = 0,9982$ (n=9)	
LOQ	Pirinčano brašno	
	Koren cikoriје	$y = 14,291e^{-9,509x}$; 0,037 mg/ml
	Flips sa dodatkom korena cikoriје	0,031 mg/ml
	Kafa sa cikorijom	0,11 mg/ml
LOD	Pirinčano brašno	0,010 mg/ml
	Koren cikoriје	0,006 mg/ml
	Flips sa dodatkom korena cikoriје	0,0103 mg/ml
	Kafa sa cikorijom	0,036 mg/ml
Tačnost	88,28 - 102,51% unutar dana	
	88,48 - 100,07% između dana	
Preciznost	2,55 - 7,93 unutar dana	
	1,84 - 5,81 između dana	
Recovery	Pirinčano brašno	96,20 - 99,19%
	Flips sa dodatkom korena cikoriје	96,19 - 104,23%
	Kafa sa cikorijom	81,02 - 97,38%

LOQ – granica kvantifikacije, LOD – granica detekcije.



Slika 61. LOQ vrednost inulina u spajkovanom pirinčanom brašnu izračunata na osnovu preciznosti

4.12.5. Sadržaj inulina u flips proizvodima

Primenjenom HPLC-ELSD analizom kvantifikovan je sadržaj inulina u polaznim sirovinama, smešama i kontrolnom uzorku (tabela 43), kao i u samim ekstraktima (tabela 44).

Tabela 43. Sadržaj inulina u polaznim sirovinama, smešama i kontrolnom uzorku

Sirovina/Smeša/Uzorak	Sadržaj inulina (%)
Koren cikoriije	30,65±1,28 ^c
Pirinčano brašno	n.d.
Kontrolni uzorak	n.d.
Smeša sa 20% korena cikoriije	6,34±0,11 ^a
Smeša sa 24,1% korena cikoriije	6,50±0,51 ^a
Smeša sa 30% korena cikoriije	9,07±0,05 ^{ab}
Smeša sa 35,9% korena cikoriije	10,08±0,30 ^b
Smeša sa 40% korena cikoriije	11,28±0,32 ^b

n.d. - nije detektovano. Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Sadržaj inulina u korenu cikoriije iznosio je 30,65%, što je u saglasnosti sa rezultatima Černý i sar. (2008) koji su saopštili da je sadržaj inulina 18,13-22,93%, dok su Zarroug i sar. (2016) odredili 35,9% inulina u korenu cikoriije nakon ultrazvučne ekstrakcije. Sadržaj inulina u korenu cikoriije može varirati u zavisnosti od vremenskih uslova tokom gajenja, vremena setve, žetve i genotipa (Perović i sar., 2021).

Rezultati sadržaja inulina u polaznim smešama sa 20%, 24,1%, 30%, 35,9% i 40% korena cikoriije iznosili su redom 6,34%, 6,50%, 9,07%, 10,08% i 11,28%, gde je primetan porast sadržaja inulina sa povećanjem udela korena cikoriije u smešama.

Inulin nije detektovan u pirinčanom brašnu, kao ni u kontrolnom uzorku od čistog pirinčanog brašna, što je bilo i očekivano, s obzirom na to da gotovo nema naučnih studija u kojima je kvantifikovan inulin u ovoj sirovini. Stoga se može zaključiti da je dodatak korena cikoriije pozitivno uticao na oplemenjivanje pirinčanih ekstrudata inulinom, u poređenju sa kontrolnim uzorkom. Sličnu ideju oplemenjivanja bezglutenskih proizvoda prehrambenim vlaknima propagirali su Stojceska i sar. (2010). Oni su dodavali 30% jabuke, cvekle, šargarepe, brusnice i žitarica u bezglutenske sirovine kao što su brašno pirinča, krompira, kukuruza, mleko i soja, i primenom procesa ekstrudiranja uspešno formirali bezglutenske flaps proizvode sa dodatom vrednošću u pogledu prehrambenih vlakana. Na taj način oplemenili su kontrolne bezglutenske proizvode prehrambenim vlaknima u granicama od 1,67 do 5,79%. Sličnim ciljem istraživanja bili su vodeći i Selani i sar. (2014), koji su ispitivali potencijal ananasa kao sirovine koja može oplemeniti kukuruzne ekstrudate prehrambenim vlaknima.

Dnevni unos inulina, važnog sastojka u ishrani svetske populacije, iznosi 1-4 g za američku, odnosno do 10 g za evropsku populaciju. Do danas nema prijavljenih toksičnih efekata prouzrokovanih visokim dozama inulina te se stoga inulin u mnogobrojnim zemljama širom sveta može koristiti kao sastojak hrane bez posebnih ograničenja. Takođe, inulin se na ambalaži proizvoda koji ga sadrže najčešće obeležava kao “prehrambeno vlakno”, dok je spominjanje “bifidogenog efekta” (zaštitno dejstvo prema crevnim bakterijama) na etiketi proizvoda koji sadrže inulin zakonit u nekoliko zemalja (Coussement, 1999). Cilj ove doktorske disertacije bio je da se pirinčani flaps proizvodi obogate inulinom iz korena cikoriije tako da se zadovolji neformalni preporučeni dnevni unos inulina (do 10% sadržaja inulina) kroz konzumaciju 100 g ovakvog ekstrudiranog proizvoda. Iako mnoge naučne studije inkorporiraju čist inulin u prehrambene proizvode kao što su pasta, (Filipović i sar., 2014), kolačići (da Silva i Conti-Silva, 2018) i hleb

(Morris i Morris, 2012), jedan od ciljeva ove disertacije bio je da se u flips proizvod doda koren cikoriije kao nosilac bioaktivnih komponenti (inulina, seskviterpenskih laktona, polifenolnih jedinjenja, minerala). Time bi se sprečio nastanak i nagomilavanje nusproizvoda u prehrambenoj industriji, kao što je slučaj sa korenom cikoriije koji se tretira kao otpad nakon ekstrakcije inulina.

Tabela 44. Sadržaj inulina u flips proizvodima

Uzorak	M	V	P	Sadržaj inulina
1	21,2	820	35,9	5,52±0,26 ^c
2	19,4	700	30,0	7,26±0,16 ^e
3	17,6	820	35,9	7,15±0,06 ^e
4	19,4	700	30,0	7,55±0,41 ^e
5	21,2	820	24,1	4,28±0,42 ^b
6	22,5	700	30,0	9,17±0,18 ^g
7	19,4	900	30,0	8,39±0,14 ^f
8	17,6	820	24,1	5,64±1,05 ^c
9	19,4	700	30,0	7,77±0,55 ^e
10	21,2	520	24,1	4,18±0,49 ^b
11	16,3	700	30,0	5,36±0,10 ^c
12	19,4	700	40,0	9,49±0,69 ^g
13	19,4	500	30,0	7,61±0,64 ^e
14	19,4	700	30,0	7,66±0,66 ^e
15	17,6	520	24,1	6,58±0,14 ^d
16	21,2	520	35,9	4,23±0,03 ^b
17	17,6	520	35,9	10,10±0,27 ^h
18	19,4	700	20,0	3,29±0,02 ^a
19	19,4	700	30,0	7,42±0,64 ^e
20	19,4	700	30,0	7,59±1,31 ^e

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%). Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Sadržaj inulina u flips proizvodima kreiranim u okviru ove disertacije kretao se u rasponu od 3,29 do 10,10% za uzorke sa 20% (Uzorak 18) odnosno 35,9% (Uzorak 17) dodatog korena cikoriije, čime je ostvaren prvobitno zadati cilj proizvodnje ekstrudiranih proizvoda sa dodatkom inulina u preporučenim granicama. Kontrolni uzorak nije zabeležio pristustvo inulina, dok je optimalni uzorak 11 sadržao 5,36 % inulina, što ukazuje da je formirani proizvod oplemenjen korenom cikoriije u smislu prebiotika inulina.

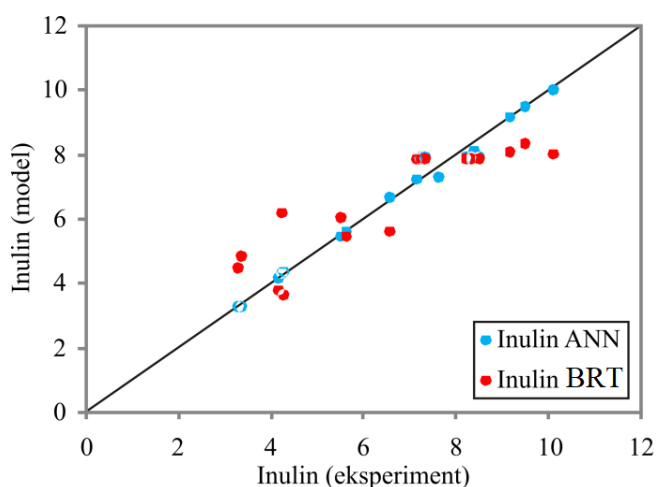
4.12.6. Uticaj parametara ekstrudiranja na sadržaj inulina u flips proizvodima kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

Mogućnost predviđanja sadržaja inulina, kao funkcije nezavisnih promenljivih: vlage materijala, brzine obrtanja pužnice ekstrudera i udela korena cikoriije ispitana je primenom BRT i ANN matematičkih modela.

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelu za predviđanje sadržaja inulina koji je iznosio 56. Maksimalna dužina grana za model je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 21 težinskih koeficijenata i odsečaka). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju i bio je 4 (mreža MLP 3-4-1), u cilju adekvatnog predviđanja izlazne promenljive (sadržaja inulina), uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 45). Optimalna mreža koristila je BFGS 1000 algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju je bila eksponencijalna (*engl. exponential*), a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je bila identična.

Slika 62 prikazuje uklapanje vrednosti izlazne promenljive (sadržaj inulina) predviđene primenom BRT i ANN modela (crvene, odnosno plave tačke; podaci predstavljeni na y-osi) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (prava linija iz kordinantnog početka; podaci predstavljeni na x-osi).



Slika 62. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima sadržaja inulina u flips proizvodima

Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela je testiran klasičnim statističkim pokazateljima (r^2 , RMSE) i predstavljen je u tabeli 45.

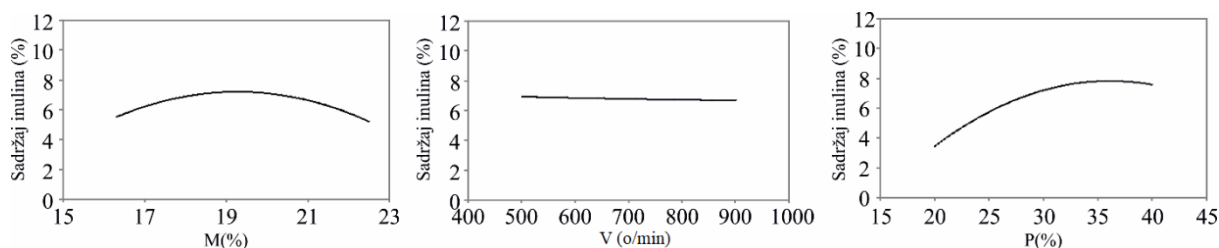
Tabela 45. Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela za sadržaj inulina

Parametar	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r^2_{BRT}	r^2_{ANN}
Sadržaj inulina	0,980	0,325	0,767	0,974

r^2 - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške.

Na osnovu slike 62 i vrednosti r^2 i RMSE iz tabele 44 može se zaključiti da je ANN model bolje predvideo sadržaj inulina u finalnim proizvodima. ANN je pokazala odlične performanse predviđanja izlaznih parametara od interesa prilikom inkorporacije vlakana poreklom iz šargarepe u fermentisane kobasice, gde je r^2 iznosio 0,992 (Eim i sar., 2013), kao i prilikom inkorporacije inulina sa ulogom prebiotika u mleko (Raftani Amiri i sar., 2010). ANN je takođe pokazala bolje performanse u poređenju sa RSM kod predviđanja karakteristika bezglutenskih kolačića (Olawoye i sar., 2020), slično kao što je ANN pokazao bolje predviđačke sposobnosti u odnosu na BRT model za predviđanje karakteristika bezglutenskih flips proizvoda, kao što je

slučaj u ovoj disertaciji. Stoga je za predviđanje uticaja procesnih parametara ekstrudiranja na sadržaj inulina u finalnim proizvodima odabrana ANN (slika 63).



Slika 63. Uticaj parametara ekstrudiranja (M – sadržaj vlage, V - brzina obrtanja pužnice, P - udeo korena cikoriije) na sadržaj inulina u flips proizvodima

Sadržaj inulina pri većim vrednostima vlage polazne smeše opada ($M > 19\%$) što je u saglasnosti sa istraživanjima Ferreira i sar. (2020). Naime, veći sadržaj vlage može podstaći rastvaranje inulina u vodi u cevi ekstrudera tokom procesa ekstrudiranja, čime je inulin izloženiji silama smicanja i razgradnji tokom proizvodnje. Stoga je primetno opadanje sadržaja inulina pri sadržaju vlage većem od 19% (slika 63). Sa druge strane, Sharma i Gujral (2013) ističu da blaži uslovi ekstrudiranja i sadržaj vlage do 17% nemaju negativan uticaj na sadržaj prehrambenih vlakana, kao što je inulin. Slično je zabeleženo u okviru ove doktorske disertacije, gde sadržaj vlage do 19% utiče na porast sadržaj inulina u ekstrudiranim proizvodima.

Porast brzine obrtanja pužnice imao je gotovo neznatan uticaj na sadržaj inulina, sa malom tendencijom opadanja sadržaja inulina usled porasta brzine obrtanja pužnice. Ovaj fenomen može biti objašnjen činjenicom da brže obrtanje pužnice izaziva intenzivnije delovanje sila smicanja odgovornih za degradaciju molekula poput inulina (Katsavou i sar., 2019). Iste zaključke izveli su i Tsokolar-Tsikopoulos i sar. (2015), u studiji ispitivanja osobina ekspanziranih proizvoda sa dodatkom inulina, gde je brzina obrtanja pužnice varirana u granicama od 150 do 250 o/min.

Sa slike 63 jasno se može uočiti da je najveći uticaj na porast inulina imao rast udela korena cikoriije u flips proizvodima, što je bilo i za očekivati s obzirom na to da je koren cikoriije jedan od najbogatijih izvora inulina (Singh i sar., 2019; Perović i sar., 2021). Slično tome, zabeležen je značajan porast sadržaja inulina ($p < 0,05$) u ekstrudatima na bazi heljde sa dodatkom korena čičoke, bogate inulinom. U toj studiji, Radovanović i sar. (2015) su zabeležili porast sadržaja inulina (5,23%, 11,40% i 18,23%) u ekstrudatima sa 30%, 60% i 80% korena čičoke, redom.

4.13. Sadržaj seskviterpenskih laktona

Rezultati sadržaja SL u korenu cikoriije, pirinčanom brašnu, polaznim neekstrudiranim smešama i kontrolnom uzorku dat je u tabeli 46, dok je sadržaj SL u finalnim flips proizvodima prikazan u tabeli 47.

Tabela 46. Sadržaj SL u korenu cikoriije (KC), pirinčanom brašnu (PB), polaznim neekstrudiranim smešama i kontrolnom uzorku (KU)

Uzorak	Laktucin ($\mu\text{g/g}$)	Laktukopikrin ($\mu\text{g/g}$)	Dihidrolaktucin ($\mu\text{g/g}$)	Dihidrolaktukopikrin ($\mu\text{g/g}$)
KC	82,93 \pm 1,01 ^e	332,71 \pm 1,13 ^e	50,90 \pm 0,98 ^b	46,32 \pm 0,77 ^e
PB	0,00 \pm 0,00 ^c	0,03 \pm 0,01 ^d	0,05 \pm 0,01 ^c	0,00 \pm 0,00 ^c
20% KC	25,00 \pm 0,95 ^d	14,57 \pm 0,74 ^a	29,51 \pm 0,88 ^a	8,42 \pm 0,96 ^a
24,1% KC	31,39 \pm 0,65 ^a	16,31 \pm 0,34 ^{ab}	34,94 \pm 0,68 ^a	11,05 \pm 0,28 ^{ab}
30% KC	32,13 \pm 0,72 ^a	18,35 \pm 0,53 ^b	35,72 \pm 0,81 ^a	11,60 \pm 0,90 ^{ab}
35,9% KC	47,20 \pm 0,57 ^b	23,74 \pm 0,62 ^c	41,11 \pm 0,54 ^a	12,34 \pm 0,12 ^b
40% KC	50,30 \pm 0,47 ^b	25,06 \pm 0,59 ^c	43,12 \pm 0,63 ^{ab}	16,23 \pm 0,47 ^d
KU	0,00 \pm 0,00 ^c	0,00 \pm 0,00 ^d	0,00 \pm 0,00 ^c	0,00 \pm 0,00 ^c

Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Tabela 47. Sadržaj seskviterpenskih laktona (SL) u proizvedenim ekstraktima ($\mu\text{g/g}$)

Uzorak	M	V	P	Laktucin	Laktukopikrin	Dihidro- laktucin	Dihidro- laktukopikrin
1	21,2	820	35,9	7,35 \pm 0,89 ^e	4,15 \pm 0,49 ^{gh}	4,15 \pm 0,49 ^{gh}	9,79 \pm 0,97 ^h
2	19,4	700	30,0	4,29 \pm 0,56 ^{cd}	2,74 \pm 0,34 ^{ef}	2,64 \pm 0,34 ^{de}	5,09 \pm 0,57 ^{de}
3	17,6	820	35,9	9,13 \pm 0,93 ^f	4,61 \pm 0,41 ^h	4,61 \pm 0,41 ^h	9,47 \pm 0,86 ^h
4	19,4	700	30,0	4,35 \pm 0,47 ^{cd}	2,72 \pm 0,29 ^{ef}	2,62 \pm 0,29 ^{de}	4,97 \pm 0,43 ^{de}
5	21,2	820	24,1	1,92 \pm 0,21 ^b	1,13 \pm 0,13 ^{ab}	1,13 \pm 0,13 ^{ab}	2,45 \pm 0,25 ^b
6	22,5	700	30,0	4,97 \pm 0,52 ^d	2,89 \pm 0,12 ^{ef}	2,89 \pm 0,12 ^{ef}	5,68 \pm 0,46 ^{ef}
7	19,4	900	30,0	4,77 \pm 0,61 ^d	2,53 \pm 0,23 ^{de}	2,53 \pm 0,23 ^{de}	4,76 \pm 0,51 ^{cde}
8	17,6	820	24,1	3,97 \pm 0,38 ^{cd}	1,64 \pm 0,16 ^{bc}	1,64 \pm 0,16 ^{bc}	3,68 \pm 0,33 ^{bcd}
9	19,4	700	30,0	4,53 \pm 0,50 ^{cd}	2,50 \pm 0,36 ^{de}	2,50 \pm 0,36 ^{de}	5,05 \pm 0,48 ^{de}
10	21,2	520	24,1	3,12 \pm 0,43 ^{bc}	1,94 \pm 0,20 ^{cd}	1,94 \pm 0,20 ^{cd}	4,16 \pm 0,53 ^{cde}
11	16,3	700	30,0	5,05 \pm 0,57 ^d	2,22 \pm 0,41 ^{cde}	2,22 \pm 0,41 ^{cde}	4,54 \pm 0,40 ^{cde}
12	19,4	700	40,0	7,28 \pm 0,75 ^e	4,18 \pm 0,52 ^h	4,18 \pm 0,52 ^h	8,61 \pm 0,76 ^{gh}
13	19,4	500	30,0	0,51 \pm 0,12 ^a	0,56 \pm 0,10 ^a	0,56 \pm 0,10 ^a	0,49 \pm 0,09 ^a
14	19,4	700	30,0	4,42 \pm 0,34 ^{cd}	2,62 \pm 0,44 ^{de}	2,62 \pm 0,44 ^{de}	5,14 \pm 0,55 ^{de}
15	17,6	520	24,1	2,16 \pm 0,23 ^b	1,52 \pm 0,17 ^{bc}	1,52 \pm 0,17 ^{bc}	3,28 \pm 0,39 ^{bc}
16	21,2	520	35,9	8,72 \pm 0,88 ^f	5,52 \pm 0,64 ⁱ	5,52 \pm 0,64 ⁱ	12,39 \pm 0,99 ⁱ
17	17,6	520	35,9	4,64 \pm 0,63 ^d	3,38 \pm 0,39 ^{fg}	3,38 \pm 0,39 ^{fg}	5,38 \pm 0,67 ^e
18	19,4	700	20,0	6,40 \pm 0,72 ^e	2,86 \pm 0,38 ^{ef}	2,86 \pm 0,38 ^{ef}	7,21 \pm 0,78 ^{fg}
19	19,4	700	30,0	4,46 \pm 0,54 ^{cd}	2,63 \pm 0,40 ^{de}	2,63 \pm 0,40 ^{de}	5,22 \pm 0,72 ^{de}
20	19,4	700	30,0	4,45 \pm 0,47 ^{cd}	2,60 \pm 0,48 ^{de}	2,60 \pm 0,48 ^{de}	4,97 \pm 0,68 ^{de}

M – sadržaj vlage (%); V – brzina obrtanja pužnice (o/min); P – sadržaj korena cikoriije (%). Vrednosti u istoj koloni označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Najveći sadržaj SL poseduje koren cikoriije (82,93 $\mu\text{g/g}$, 332,71 $\mu\text{g/g}$, 50,90 $\mu\text{g/g}$, i 46,32 $\mu\text{g/g}$, za laktucin, laktukopikrin, dihidrolaktucin i dihidrolaktukopikrin, redom). Sličan sadržaj seskviterpenskih laktona zabeležen je i u studiji Willeman i sar. (2014) gde se u zavisnosti od

primenjenog ekstrakcionog sredstva sadržaj laktona kretao u granicama od 39,5-150,0 µg/g, 38,8-110,4 µg/g, 59,4-318,8 µg/g, i 7,5-27,2 µg/g, za laktucin, laktukopirkin, dihidrolaktucin i dihidrolaktukopikrin, redom. Sadržaj SL raste u polaznim neekstrudiranim smešama sa povećanjem udela korena cikoriije (tabela 46), što je bilo i očekivano s obzirom na prisustvo SL u ovoj sirovini, ukazujući na to da su ovi rezultati smisleni i opravdani. U kontrolnom uzorku nije detektovano prisustvo SL, što je bilo očekivano s obzirom na to da je proizveden od čistog pirinčanog brašna u kojem nije dokazano prisustvo SL u dostupnoj naučnoj literaturi.

Prisustvo SL kretao se u sledećim granicama: 0,51-9,13 µg/g za laktucin, 0,56-5,52 µg/g za laktukopikrin, 0,49-12,39 µg/g za dihidrolaktucin i 0,00-4,07 µg/g za dihidrolaktukopikrin. Uzorak broj 16 sadrži najveće koncentracije svih ispitivanih seskviterpenskih laktona u okviru ove disertacije, što je bilo i očekivano s obzirom na to da je ovaj uzorak imao najveći udeo korena cikoriije (40%). Sa druge strane, uzorak broj 13 beležio je najniže vrednosti sadržaja sva četiri laktone, što govori o tome da su uslovi ekstrudiranja primenjeni kod proizvodnje ovog uzorka najnepovoljnije uticali na sadržaj laktone (u prvom redu sadržaj korena cikoriije od 30%, tabela 47). Kontrolni uzorak nije sadržao nijedan od ispitivanih SL.

Seskviterpenski laktone, koji sadrže veliki broj terpenoidnih jedinjenja, ispoljavaju širok spektar bioloških aktivnosti, pri čemu su neki od njih i komercijalno u upotrebi (kao što je artemisinin), a takođe je izvesna njihova primena u razvoju novih farmaceutskih preparata (Moujir i sar., 2020). Međutim, prema našim saznanjima, do sada ne postoje zvanični podaci o preporučenom dnevnom unosu ovih jedinjenja.

Iako su seskviterpenski laktone poreklom iz familije *Asteraceae* odgovorni za gorak ukus biljaka i proizvoda u kojima su prisutni, neke studije su se bavile ispitivanjem smanjenja gorčine prilikom konzumiranja ovih jedinjenja. Yanagisawa i Misaka (2021) su istakli da podešavanje vrednosti pH od neutralne do slabo kisele sredine može ublažiti gorčinu ovih jedinjenja.

Pored toga, malo je naučnih publikacija koje su se bavile obogaćivanjem različitih prehrambenih proizvoda seskviterpenskim laktoneima, kao ni uticajem procesnih parametara na sadržaj ovih bioaktivnih jedinjenja od interesa. Makowska i sar. (2017) skromno navode da je niža senzorska ocena hleba na bazi tritikala sa dodatkom heljde možda posledica prisustva seskviterpenskih laktone odgovornih za gorak ukus proizvoda. Sa druge strane, Kulkarni i sar. (2017) su ispitivali uticaj ekstruzionog kuvanja na biodostupnost seskviterpenskog laktone artemisinina, pri čemu su zaključili da podešavanje pH (blago kisela sredina) može doprineti očuvanju ovog bioaktivnog jedinjenja. Johansson i sar. (2015) ističu prisustvo seskviterpenskih laktone u Jerusalimskoj artičoki (*Helianthus tuberosus* L.) kao jedinjenja odgovornih za medicinske benefite, koji čine ovu biljku potencijalnim izvorom za proizvodnju preparata na biorafinerijskom nivou. Uzimajući u obzir nedostatak naučnih studija koje su se bavile ispitivanjem uticaja različitih procesa proizvodnje hrane na sadržaj SL, ova doktorska disertacija daje odgovore na pitanje kako različiti procesni parametri ekstrudiranja (sadržaj vlage, brzina obrtanja pužnice i sadržaj korena cikoriije) utiču na sadržaj seskviterpenskih laktone u bezglutenskim flaps proizvodima sa dodatkom korena cikoriije.

4.13.1. Uticaj parametara sadržaja seskviterpenskih laktone prikazan kroz matematičke modele - Poređenje BRT i ANN modela

Dostupna naučna literatura oskudna u podacima o uticaju procesnih parametara ekstrudiranja poput sadržaja vlage, brzine obrtanja pužnice ili udela korena cikoriije, na finalni sadržaj

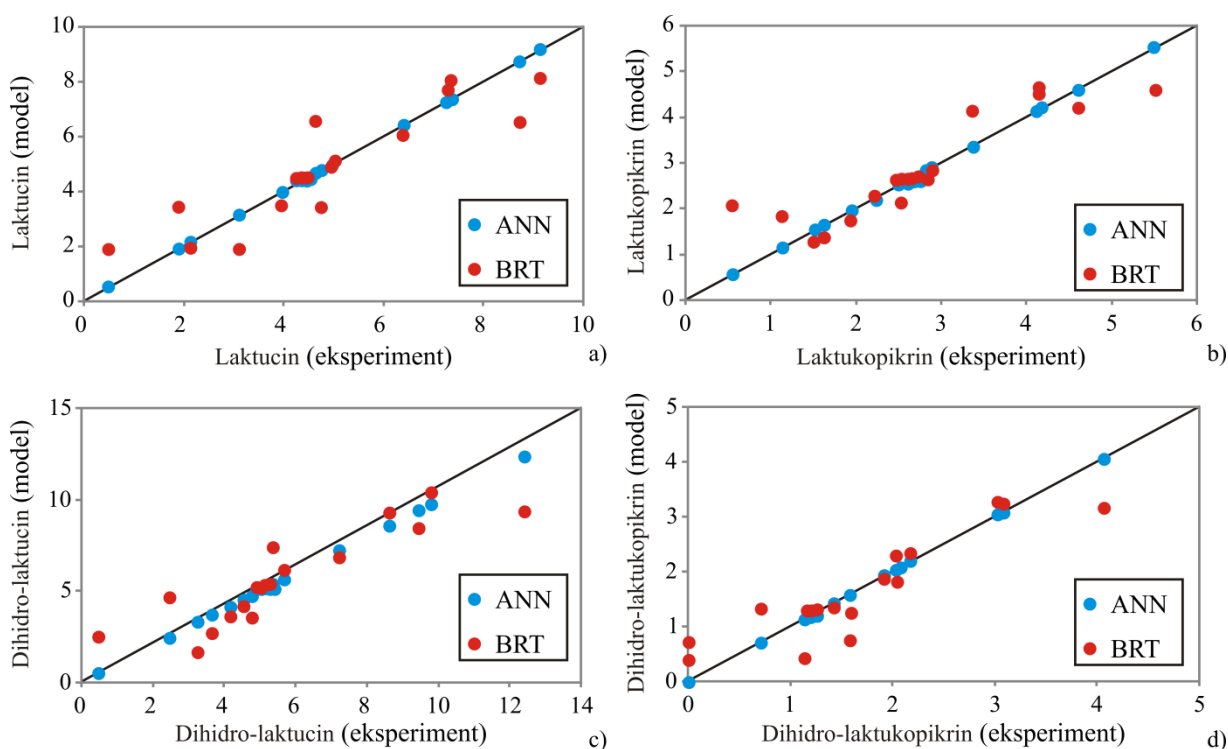
SL u flips proizvodima. Stoga, ova doktorska disertacija po prvi put pruža uvid u povezanost sadržaja SL u ekstrudatima sa složenim procesnim parametrima. Circioban i sar. (2020) navode da su SL, kao i njihovi derivati, izuzetno termonestabilni, pogotovo na temperaturama iznad 130 °C.

U cilju definisanja uticaja procesnih parametara (M, V i P) na sadržaj seskviterpenskih laktona (SL) primenjeni su BRT i ANN za formiranje matematičkih modela.

Na osnovu performansi BRT modela, izabran je optimalan broj grananja u modelima za predviđanje sadržaja laktucina, laktukopikrina, dihidrolaktucina i dihidrolaktukopikrina koje se iznosile 440, 270, 281 i 140, redom. Maksimalna dužina grana je bila 3.

Optimalni ANN model je kompleksan (sa 76 težinskih koeficijenata i odsečaka). Na osnovu performansi ANN modela, izabran je optimalan broj neurona u skrivenom sloju i bio je 9 (mreža MLP 3-9-4), u cilju adekvatnog predviđanja izlaznih promenljivih: laktucin, laktukopikrin, dihidrolaktucin i dihidrolaktukopikrin, uz dostizanje visoke vrednosti parametra r^2 i uz malu vrednost zbira kvadrata odstupanja (tabela 48). Optimalna mreža koristila je BFGS 771 za algoritam za učenje. Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju je bila tangens hiperbolikus, a funkcija aktivacije u izlaznom sloju mreže je bila identična funkcija.

Slika 64 prikazuje uklapanje vrednosti izlaznih parametara sadržaja laktucina, laktukopikrina, dihidrolaktucina i dihidrolaktukopikrina predviđenih primenom BRT i ANN modela (crvene, odnosno plave tačke; podaci predstavljani na y-osi) sa eksperimentalno dobijenim vrednostima (prava linija iz kordinantnog početka; podaci predstavljani na x-osi). Što manje tačaka odstupa od linije iscrtane eksperimentalnim vrednostima to je predviđanje modela bolje.



Slika 64. Poređenje poklapanja BRT i ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima parametra sadržaja laktucina, laktukopikrina, dihidrolaktucina i dihidrolaktukopikrina

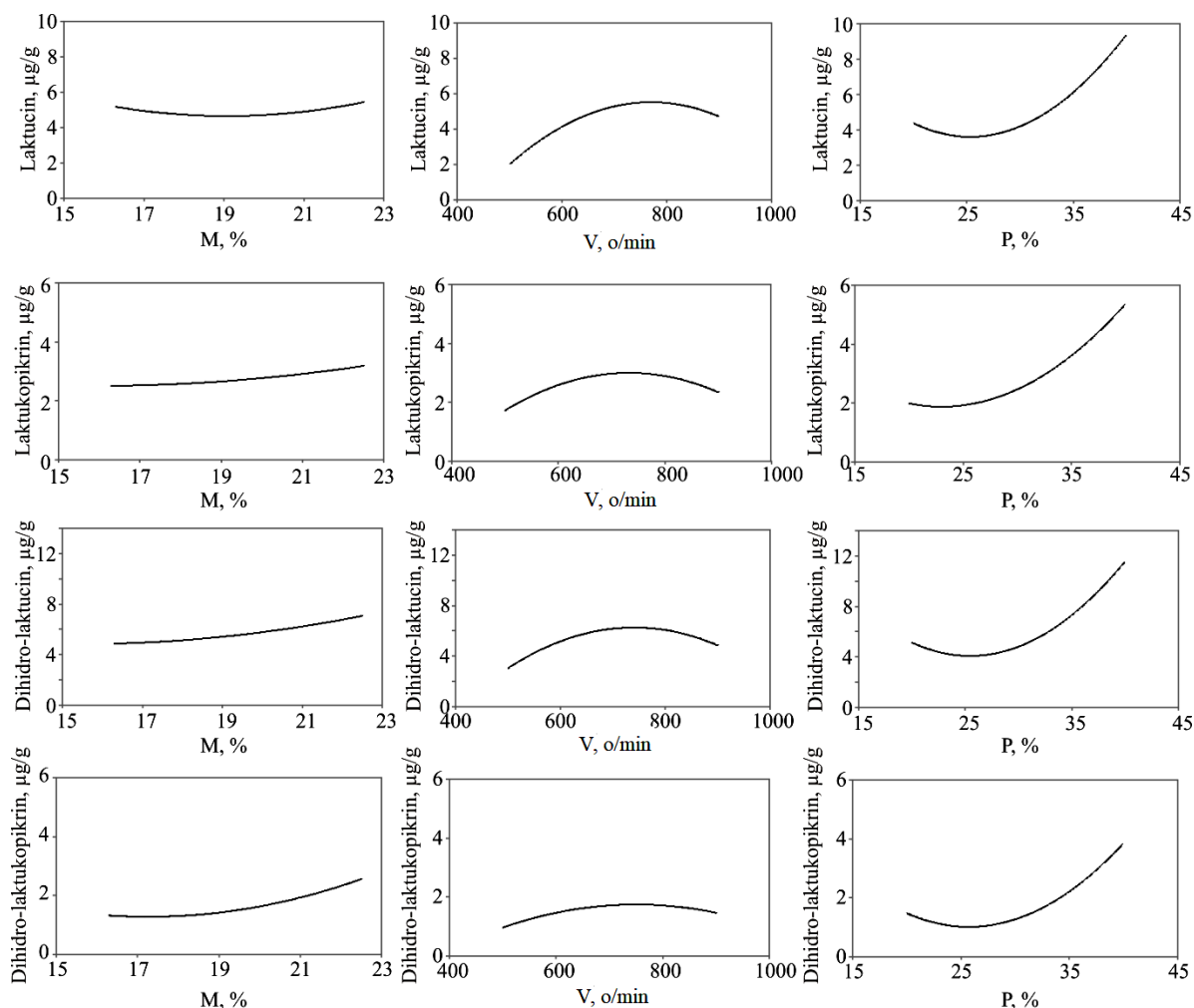
Kvalitet uklapanja BRT i ANN modela je testiran klasičnim statističkim pokazateljima (r^2 , RMSE) i predstavljen je u tabeli 48.

Tabela 48. Kvalitet uklapanja ANN modela za parametar sadržaja seskviterpenskih laktona

Seskviterpenski laktoni	RMSE _{BRT}	RMSE _{ANN}	r ² _{BRT}	r ² _{ANN}
Laktucin	0,955	0,043	0,792	1,000
Laktukopikrin	0,506	0,044	0,812	0,999
Dihidrolaktucin	1,227	0,093	0,786	0,999
Dihidrolaktukopikrin	0,410	0,022	0,816	0,999

r² - koeficijent determinacije, RMSE - koren srednjeg kvadrata greške.

BRT model je pokazao niže vrednosti koeficijenta determinacije, i više vrednosti srednjeg kvadrata greške (tabela 48), dovodeći do zaključka da je ANN model bolje predvideo sadržaj seskviterpenskih laktona flips proizvoda u okviru ove disertacije. Stoga je uticaj procesnih parametara na sadržaj seskviterpenskih laktona prikazan uputrebom ANN modelovanja (slika 65).



Slika 65. Uticaj procesnih parametara ekstrudiranja (M, V, P) na sadržaj seskviterpenskih laktona u flips uzorcima (laktucina, laktukopikrina, dihidrolaktucina, dihidrolaktukopikrina)

Sa slike 65 uočljivo je da porast sadržaja vlage ima pozitivan uticaj na sadržaj svih ispitivanih SL u okviru ove disertacije. Ovo može biti protumačeno u svetlu uticaja većeg sadržaja vlage na oslobađanje SL iz vezanih formi i složenih kompleksa. Slično tome, zabeleženo je da vlaga u procesu ekstrudiranja ima uticaj na rastvorljivost artemisina, bioaktivnog jedinjenja koje

sadrži seskviterpenski prsten, povećavajući na taj način njegovu biodostupnost (Kulkarni i sar., 2017). Sa druge strane, Aberham i sar. (2010) su ispitivali stabilnost seskviterpenskih laktona (poput absintina) u vodenoj sredini, pokazavši tom prilikom da je vodeni rastvori ispitivanog laktona stabilan i do 6 meseci. Ovo govori u prilog tome da veći sadržaj vlage polazne smeše nije imao negativan uticaj na sadržaj laktona.

Porast brzine obrtanja pužnice je do vrednosti od 700 o/min izazivao porast sadržaja SL, dok je dalji porast V (iznad 700 o/min) negativno uticao na sadržaj laktona u flips proizvodima. Pretpostavlja se da veće brzine obrtanja pužnice uzrokuju nastanak jačih sila smicanja, trenja i zagrevanja pri čemu može doći do delimične ili potpune degradacije ispitivanih laktona. Sa druge strane, brzine obrtanja pužnice do 700 o/min verovatno uzrokuju oslobađanje laktona vezanih u složene komplekse sa drugim jedinjenjima prisutnim u pirinčano-cikorijiskim smešama što uzrokuje povećanje biodostupnosti ispitanih jedinjenja. Do sada nema dostupne naučne literature čija se tematika odnosila na ispitivanje uticaja brzine obrtanja pužnice na sadržaj seskviterpenskih laktona u ekstrudiranim proizvodima. Ova doktorska disertacija je među prvim naučnih studijama koje se bave uticajem ekstrudiranja na sadržaj SL u finalnim proizvodima.

Porast sadržaja korena cikoriije izazvao je povećanje sadržaja svih SL u formiranim flips proizvodima. Ovi rezultati su smisleni i opravdani činjenicom da je koren cikoriije bogat seskviterpenskim laktonima, te je bilo za očekivati da veći udeo korena cikoriije u finalnim proizvodima rezultira većim sadržajem SL u istim (Willeman i sar., 2014).

4.14. Senzorska analiza

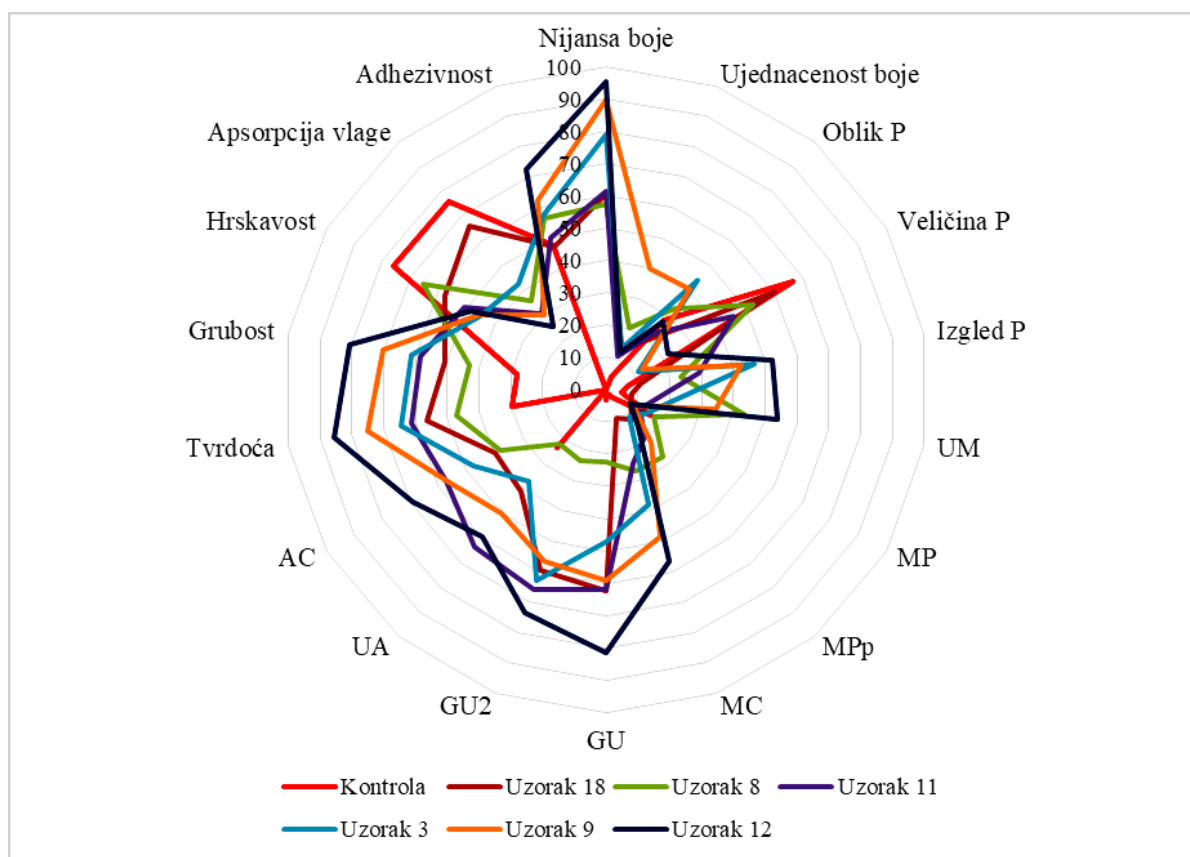
Iako je nutritivni sastav proizvoda ključni faktor za razmatranje kvaliteta hrane, kod ekstrudiranih proizvoda vrlo je važno postići prihvatljive organoleptičke osobine takve da zadovolje zahteve potrošača (Morsy i sar., 2015). Najpouzdaniju procenu fizičkih i teksturnih osobina hrane vrši sam čovek tokom konzumiranja iste. Često se teksturne osobine ekstrudiranih proizvoda ocenjuju kao kombinacija karakteristika dobijenih primenom različitih instrumentalnih metoda i same senzorske percepcije teksture od strane obučanih panelista ili samih potrošača (Phillip i sar., 2017). Stoga su u okviru ove doktorske disertacije sprovedeni deskriptivna senzorska analiza i potrošački test za odabrane uzorke, u cilju definisanja uzorka koji ispoljava poželjne organoleptičke karakteristike i dopadljiv je potrošačima.

Rezultati deskriptivne senzorske analize i senzorski profil uzoraka prikazani su na slici 68 i u tabeli 49.

Senzorski profil uzoraka definisan je na osnovu izgleda, mirisa, ukusa, arome, teksture i naknadnih utisaka, i prikazan je pomoću pauk dijagrama (slika 66). Kontrolni uzorak odlikuje se belom bojom, veoma blagom aromom, umerenim mirisom na kuvani pirinač i izraženom hrskavošću i apsorpcijom pljuvačke tokom konzumiranja.

Dodatak cikoriije i različiti procesni parametri uticali su da se boja promeni od bele ka bež i smeđim nijansama. Pored navedenog, dodatak cikoriije doprineo je pojavi gorkog ukusa koji je najizraženiji kod Uzorka 12 što je bilo očekivano s obzirom da ovaj uzorak sadrži najveći udeo korena cikoriije od 40%. Intenzitet gorkog ukusa kod Uzorka 3, 9, 11 i 18 je bio izražen, ali nešto umereniji usled nižeg sadržaja korena cikoriije (20-30%). Pojava gorkog ukusa sa dodatkom korena cikoriije posledica je prisustva gorkih seskviterpenskih laktona, sekundarnih metabolita biljke cikoriije posebno prisutnih u korenu (Perović i sar., 2021). U pomenutim uzorcima izražen gorak ukus bio je osetan i dva minuta nakon njihovog gutanja. Prisustvo cikoriije u

formulaciji osetno je i u mirisu, naročito kod uzorka 9 i 12, a veoma doprinosi i aromi proizvedenih ekstrudata.



Slika 66. Pauk dijagram – senzorski profil uzoraka ekstrudata

AC – Intenzitet arome na cikoriju; UA – Ukupan intenzitet arome; GU – Gorak ukus; GU2 – Gorak ukusan nakon 2 minuta; MC – Intenzitet mirisa na cikoriju; MP – Intenzitet mirisa na pirinač; MPp – Intenzitet mirisa na prženi pirinač; UM – Ukupan intenzitet mirisa; Izgled P – izgled pora; Veličina P – veličina pora; Oblik P – oblika pora

Doživljaj ukupne arome uzorka 9, 11 i 12 je značajno ($p < 0,05$) intenzivniji u poređenju sa kontrolnim uzorkom, s obzirom da koren cikoriije daje složena organoleptička svojstva pirinčanim ekstrudatima u poređenju sa kontrolnim uzorkom na bazi čistog pirinčanog brašna. Poznato je da je pirinčano brašno bele boje i neutralne arome (Hagenimana i sar., 2006), te je i bilo očekivano da intenzitet ukupne arome kontrolnog uzorka bude slabijeg intenziteta u odnosu na ostale ispitivane uzorke obogaćene korenom cikoriije. Posmatrajući ekstrudate koji u formulaciji sadrže koren cikoriije u različitim odnosima, aroma na cikoriju najizraženija je u uzorku 12 koji je sadržao najveći udeo korena cikoriije od 40%.

Za proizvode poput ekstrudata, teksturna svojstva su veoma važna odlika kvaliteta pri čemu senzorska percepcija teksture flips proizvoda predstavlja važan pristup u generisanju podataka o kvalitetu istih (Philipp i sar., 2017). Promene u formulaciji polaznih smeša i procesnim parametrima značajno utiču na teksturne parametre poput tvrdoće, grubosti, hrskavosti, apsorpciju pljuvačke i adhezivnost uzoraka. Uzorak 12 se može okarakterisati kao najtvrdi, veoma grub i lepljiv za zube pri konzumiranju. Ovi rezultati su u saglasnosti sa instrumentalno određenim vrednostima tvrdoće, gde je pokazano da uzorak 12 ima najveću tvrdoću (125 N) u odnosu na ostale uzorke odabrane za senzorsko ocenjivanje (61,33–113,68 N).

Tabela 49. Senzorska analiza uzoraka ekstrudata

Parametar	Uzorci							F
	Kontrola	Uzorak 3	Uzorak 8	Uzorak 9	Uzorak 11	Uzorak 12	Uzorak18	
Nijansa boje	0,0 ^d	78,9±10,7 ^b	57,4±11,1 ^c	89,6±8,3 ^{ab}	61,5±12,8 ^c	95,3±6,5 ^a	60,6±15,7 ^c	73,7
Ujednačenost boje	4,3±10,5 ^b	13,3±9,5 ^b	20,5±16,8 ^{ab}	39,9±21,2 ^a	10,8±9,9 ^b	12,1±2,7 ^b	13,4±15,4 ^b	5,7
Oblik pora	28,0±17,2 ^a	44,0±31,2 ^a	32,5±29,6 ^a	40,4±26,5 ^a	22,9±17,1 ^a	27,3±35,7 ^a	20,1±16,9 ^a	0,9
Veličina pora	7,0±4,6 ^c	46,4±19,9 ^{ab}	23,5±8,8 ^{bc}	42,4±23,2 ^{ab}	29,3±15,5 ^{abc}	52,3±28,0 ^a	10,9±6,4 ^c	8,3
Izgled pora	66,9±13,9 ^a	11,3±4,7 ^d	52,5±6,3 ^{bc}	12,9±4,5 ^d	45,5±4,9 ^c	22,0±6,9 ^d	60,1±6,1 ^{ab}	77,6
UM	4,9±3,5 ^f	20,5±5,4 ^d	43,1±6,8 ^b	34,3±7,2 ^c	15,8±3,9 ^{de}	54,0±6,7 ^a	7,9±3,0 ^{ef}	91,7
MP	16,0±21,5 ^a	14,5±13,5 ^a	17,1±16,8 ^a	9,6±6,7 ^a	11,8±7,1 ^a	8,8±7,2 ^a	8,5±7,3 ^a	0,6
MPP	3,1±3,6 ^d	11,0±4,2 ^{cd}	27,0±10,9 ^a	21,5±6,8 ^{ab}	18,8±7,2 ^{abc}	15,1±3,8 ^{bc}	12,1±4,9 ^{bcd}	11,8
MC	1,3±2,3 ^e	38,0±8,3 ^{bc}	27,0±13,8 ^c	48,4±15,7 ^{ab}	24,3±6,0 ^{cd}	56,8±16,8 ^a	9,5±3,6 ^{de}	26,7
GU	3,4±7,6 ^d	47,0±8,6 ^b	22,6±11,3 ^c	59,1±13,8 ^b	61,9±11,7 ^b	81,6±10,1 ^a	62,5±11,8 ^b	48,3
GU2	0,3±0,5 ^b	62,9±17,4 ^a	23,4±10,6 ^b	56,6±14,2 ^a	65,9±14,5 ^a	73,8±17,3 ^a	59,8±22,1 ^a	24,8
UA	23,5±5,2 ^{cd}	37,1±7,7 ^{bcd}	22,3±4,2 ^d	50,3±12,1 ^{ab}	63,6±10,9 ^a	59,8±18,1 ^a	41,3±15,6 ^{bc}	15,9
AC	0,1±0,4 ^c	47,4±17,1 ^{ab}	37,8±20,1 ^b	56,6±12,8 ^{ab}	57,1±16,4 ^{ab}	69,3±21,5 ^a	39,5±17,6 ^b	14,6
Tvrdoća	29,8±21,2 ^d	64,5±16,2 ^{abc}	47,1±18,5 ^{cd}	75,1±10,7 ^{ab}	61,3±23,5 ^{abc}	85,6±14,3 ^a	56,3±18,6 ^{bcd}	8,2
Grubost	28,1±16,5 ^c	61,4±20,9 ^{ab}	43,1±19,1 ^{bc}	70,1±20,0 ^{ab}	58,4±18,7 ^{ab}	80,9±12,4 ^a	50,9±14,6 ^{bc}	7,8
Hrskavost	76,1±19,3 ^a	45,1±8,3 ^c	65,6±7,4 ^{ab}	45,8±16,1 ^c	50,9±13,7 ^{bc}	48,3±5,9 ^{bc}	57,9±5,5 ^{abc}	7,5
Apsorpcija pljuvačke	76,0±16,0 ^a	42,5±10,8 ^b	35,9±5,7 ^{bc}	29,9±4,7 ^{bc}	30,9±6,4 ^{bc}	25,6±8,4 ^c	66,0±5,9 ^a	37,2
Adhezivnost	47,5±6,9 ^b	57,3±18,5 ^{ab}	56,5±9,2 ^{ab}	62,5±16,4 ^{ab}	49,9±14,5 ^b	72,8±19,9 ^a	47,3±10,9 ^b	3,2

Rezultati su aritmetičke sredine i standardne devijacije (n = 16, 8 ocenjivača u dve odvojene sesije)

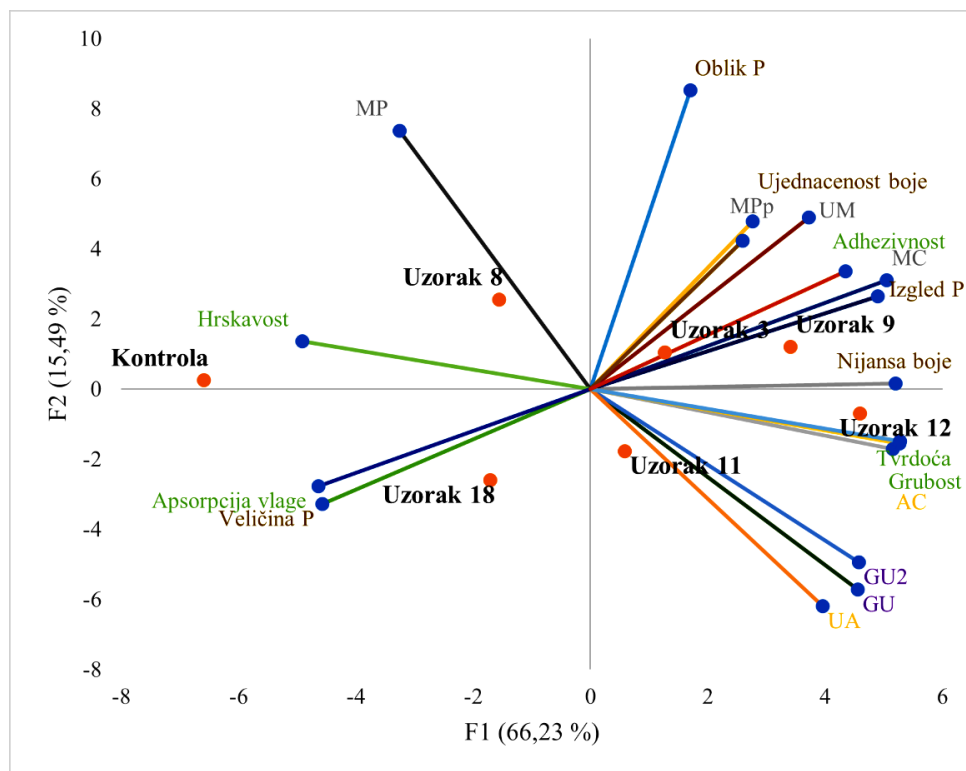
Vrednosti u istom redu označene različitim slovima statistički se značajno ($p < 0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa

Vrednosti F koje su podebljane ukazuju da ne postoji statistički značajna razlika ($p > 0,05$) između uzoraka u pogledu posmatranog svojstva

UM – Intenzitet ukupnog mirisa, MP – Intenzitet mirisa na pirinač, MPP – Intenzitet mirisa na prženi pirinač, MC – Intenzitet mirisa na cikoriju, GU – gorak ukus, GU2 – gorak ukus nakon 2 minuta, UA – Intenzitet ukupne arome, AC – Intenzitet arome na cikoriju

4.14.1. Multivarijantna analiza – Analiza glavnih komponenti

U cilju vizuelizacije i istraživanja multivarijantnih podataka, dobijenih prilikom određivanja fizičkih karakteristika, primenjena je analiza glavnih komponenti (*engl. Principal Component Analysis – PCA*). Dobijeni rezultati prikazani su na slici 67.



Slika 67. Analiza glavnih komponenti (PCA) primenjena na uzorke ekstrudata i posmatrana senzorska svojstva – Biplot (PC1 i PC2: 81,72%)

PC analizom objašnjeno je ukupno 81,72% varijanse, pri čemu je doprinos prve glavne komponente (PC1) 66,23% što ukazuje da ona objašnjava vezu između većine posmatranih svojstava. Druga glavna komponenta PC2 objašnjava 15,49% varijanse, a povezana je sa oblikom pora i mirisom na kuvani pirinač. Analiziranjem korelacionih odnosa, može se uočiti negativna korelacija između veličine pora na poprečnom preseku sa izgledom pora ($r=-0,95$, $p<0,01$), tvrdoćom ($r=-0,86$, $p<0,01$), grubošću ($r=-0,87$, $p<0,01$) i adhezivnošću ($r=-0,7502$, $p<0,05$). Tvrdoća i grubost veoma dobro međusobno koreliraju, ($r=0,99$, $p<0,01$), a takođe su oba pomenuta parametra u pozitivnoj korelaciji sa adhezivnošću ($r=0,89$ i $r=0,89$, $p<0,01$, redom). Nijansa boje može da ukaže na intenzitet gorkog ukusa, kao i na aromatičnost ekstrudata. U prilog tome govore zabeležene pozitivne korelacije nijanse boje sa gorkim ukusom ($r=0,83$, $p<0,05$), gorkim ukusom nakon 2 minuta ($r=0,77$, $p<0,05$) i aromom na cikoriju ($r=0,78$, $p<0,05$).

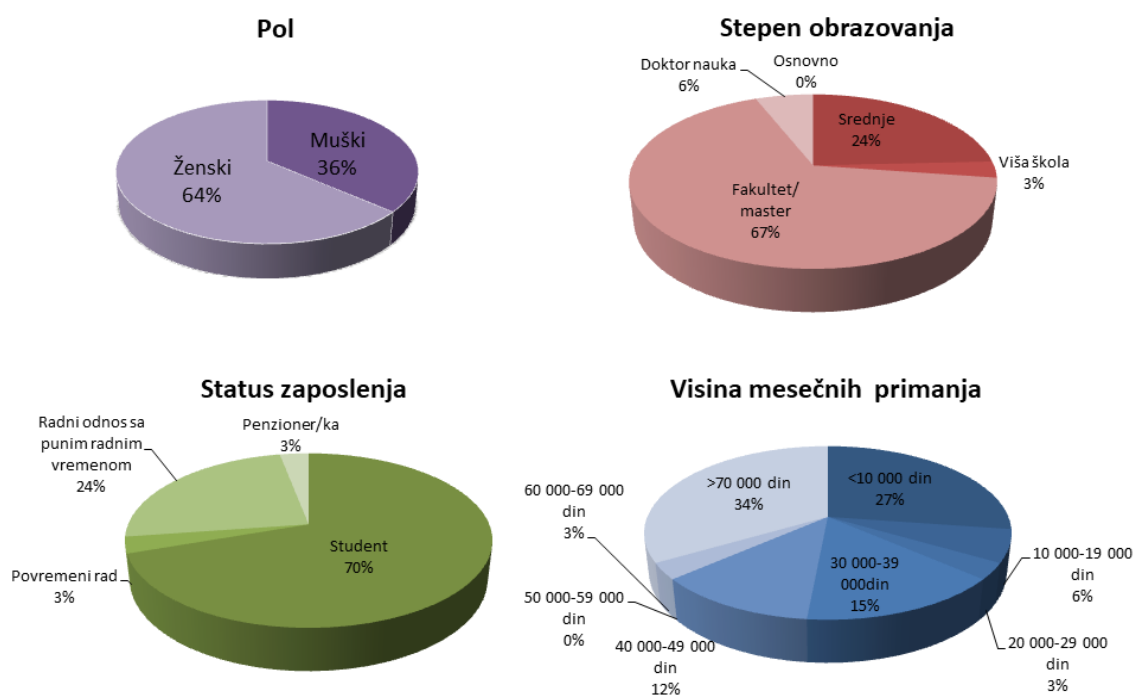
Sa slike 67 jasno se uočava diferenciranje kontrolnog od ostalih analiziranih uzorka. Ovaj uzorak se od ostalih izdvaja po značajno ($p<0,05$) drugačijim teksturnim svojstvima, pre svega većim porama na preseku koje doprinose izrazitoj hrskavosti i apsorpciji pljuvačke. Šupljine na poprečnom preseku kontrolnog ekstrudata su ocenjene kao izrazito puhave što se može dovesti u vezu sa izraženom hrskavošću ovog uzorka. Ovi rezultati su opravdani činjenicom da je kontrolni uzorak sadržao isključivo pirinčano brašno, odnosno skrob koji je neophodan za ekspanziju i hrskavost finalnog proizvoda. Sa druge strane, povećan sadržaj vlakna inulina kroz dodatak korena cikorije uslovio je značajne promene u strukturi flips proizvoda utičući negativno na hrskavost nakon smanjenja udela skroba. Slično je zabeleženo u studiji Altan i sar. (2009), gde je dodatak ječma i kaše grožđa značajno promenio senzorske osobine u odnosu na kontrolni pirinčani ekstrudat.

Sa slike 67 se uočava da uzorci 8, 11, 18 i kontrola beleže izrazitu hrskavost, i malu tvrdoću, adhezivnost, grubost i gorak ukus, u odnosu na ostale ispitivane uzorke (3, 9, i 12). Uzorci 9 (sa 30% korena cikoriije) i 12 (sa 40% korena cikoriije) se najviše razlikuju od kontrolnog uzorka (0% korena cikoriije). Diferenciranje ovih uzoraka je uglavnom posledica izraženog gorkog ukusa i intenzivne arome koja potiče pre svega od dodate cikoriije.

4.14.2. Test dopadljivosti

Kako bi se stekao uvid u razmišljanja i doživljaj potrošača vezano za konzumiranje inovativnih flips proizvoda, sproveden je test dopadljivosti u kojem je učestvovalo 40 ispitanika.

Slika 68 daje uvid u socio-demografske osobine potrošača uključenih u test dopadljivosti. Prehrambene navike ispitanika date su u tabeli 50.



Slika 68. Socio-demografske osobine potrošačke grupe

U grupi ispitanika koja je bila uključena u sprovođenje potrošačkog testa preovladavale su žene (64%), najvećim delom studenti (70%) osnovnih ili master studija (67%), čija mesečna primanja nisu prevazilazila 70 000 dinara (ukupnu udeo od 67%).

Tabela 50. Navike u ishrani učesnika u potrošačkom testu

Kategorija		Rezultati (%)	
Učestalost konzumiranja grickalica	nikada	Smoki 9,09	Krekeri 27,27
		Čips 12,12	Slani štapići 12,12
		Grisine 18,18	Kikiriki, semenke i sl. 3,03
	<jednom mesečno	Smoki 36,36	Krekeri 45,45
		Čips 36,36	Slani štapići 36,36
		Grisine 45,45	Kikiriki, semenke i sl. 3,03

Tabela 50. Nastavak

Kategorija		Rezultati (%)	
Učestalost konzumiranja grickalica	jednom mesečno	Smoki 12,12	Krekeri 18,18
		Čips 6,06	Slani štapići 21,21
		Grisine 18,18	Kikiriki, semenke i sl. 15,15
	dva-tri puta mesečno	Smoki 27,27	Krekeri 3,03
		Čips 21,21	Slani štapići 15,15
		Grisine 12,12	Kikiriki, semenke i sl. 36,36
	jednom nedeljno	Smoki 9,9	Krekeri 9,09
		Čips 21,21	Slani štapići 15,15
		Grisine 6,07	Kikiriki, semenke i sl. 15,15
	≥dva puta nedeljno	Smoki 6,07	Krekeri 3,03
		Čips 3,03	Slani štapići 6,06
		Grisine 0,00	Kikiriki, semenke i sl. 27,28
Aktivnosti uz koje se konzumiraju grickalice	Tokom čitanja	12,12	
	Tokom učenja	0,00	
	Tokom gledanja televizije	63,64	
	Tokom šetnje	6,06	
	Tokom igranja društvenih igara	15,15	
	Ostalo	3,03	

Na osnovu tabele 50, uočljivo je da ispitanici rado konzumiraju grickalice, u prvom redu kikiriki, semenke i slične proizvode više od dva-tri puta nedeljno (27,28%) u odnosu na ostale ispitane proizvode, dok se flips proizvodi poput smokija najčešće konzumiraju dva do tri puta mesečno (27,27%). Sa druge strane, komercijalno dostupne grickalice najvećim delom se konzumiraju manje od jedanput mesečno (smoki 36,36%, čips 36,36%, grisine 45,45%, krekeri 45,45% i slani štapići 36,36%), što može ukazati na potrebu potrošača za inovativnim i zdravijim prehrambenim proizvodima iz ovih grupa, kao što su flips proizvodi. Pomenute grupe proizvoda najviše se konzumiraju tokom gledanja televizije (63,64%), igranja društvenih igara (15,15%) i tokom čitanja (12,12%).

Koristeći Likertovu skalu stavova od 1 do 7 (na kojoj vrednost 1 odgovara tvrdnji sa kojom se ispitanik nikako ne slaže, dok vrednost 7 odgovara izjavi sa kojom se anketirani potrošač potpuno slaže) formirana je slika o poznavanju navika potrošača u ishrani kao i poznavanju sfere bezglutenskih proizvoda, proizvoda bogatih vlaknima, značajnosti inulina i dr. Gotovo 67% ispitanika izjasnilo se da voli da konzumira grickalice, voli da se hrani zdravo te smatraju da vlakna nedostaju njihovoj ishrani (dodeljujući ocene ≥ 5 ovim izjavama). Gotovo 90% ispitanika bilo je upoznato sa činjenicom da prebiotsko vlakno inulin pruža mnogobrojne zdravstvene benefite. Nasuprot tome, gotovo svi ispitanici izjasnili su se da uglavnom ne kupuju bezglutenske proizvode, premda su upoznati sa činjenicom da je ova vrsta proizvoda neophodna u ishrani osoba obolelih od celijakije. Skoro 70% potrošača kupilo bi novi prehrambeni proizvod na tržištu. Gotovo svi učesnici potrošačkog testa izjasnili su se da ne preferiraju gorke proizvode, kao ni one koji se lepe za zube, dok je među osobinama flips proizvoda dopadljivih potrošačima hrskavost (96,97%) bila bitnija od boje (63,64%).

Ukupna dopadljivost kao i dopadljivost izgleda, ukusa, teksture, boje, gorkog ukusa, hrskavosti i adhezivnosti proizvedenih pirinčanih ekstrudata sa dodatkom korena cikoriije ocenjivani su primenom hedonske skale sa 9 kategorija,. Svaki potrošač ocenjivao je četiri odabrana uzorka proizvedenih ekstrudata. Sumarni rezultati ocena dopadljivosti dati su u tabeli 51 i na slici 69.

Tabela 51. Ukupna dopadljivost i dopadljivost ispitanih parametara za odabrane uzorke ocenjena na skali od 1 do 9

Parametar	Uzorci			
	KU	Uzorak 11	Uzorak 12	Uzorak 18
Ukupna dopadljivost	5,591 ^a	4,709 ^b	3,601 ^c	4,487 ^b
Izgled	5,393 ^{ab}	5,966 ^a	4,259 ^b	5,200 ^{ab}
Ukus	4,464 ^a	2,759 ^b	2,926 ^b	3,533 ^{ab}
Tekstura	5,393 ^a	6,069 ^a	4,037 ^b	5,200 ^{ab}
Boja	5,179 ^{ab}	6,276 ^a	4,593 ^b	6,133 ^a
Gorak ukus	5,893 ^a	2,724 ^b	2,741 ^b	2,933 ^b
Hrskavost	6,143 ^a	6,552 ^a	4,259 ^b	5,733 ^a
Adhezivnost	5,464 ^a	5,345 ^a	5,037 ^a	5,367 ^a

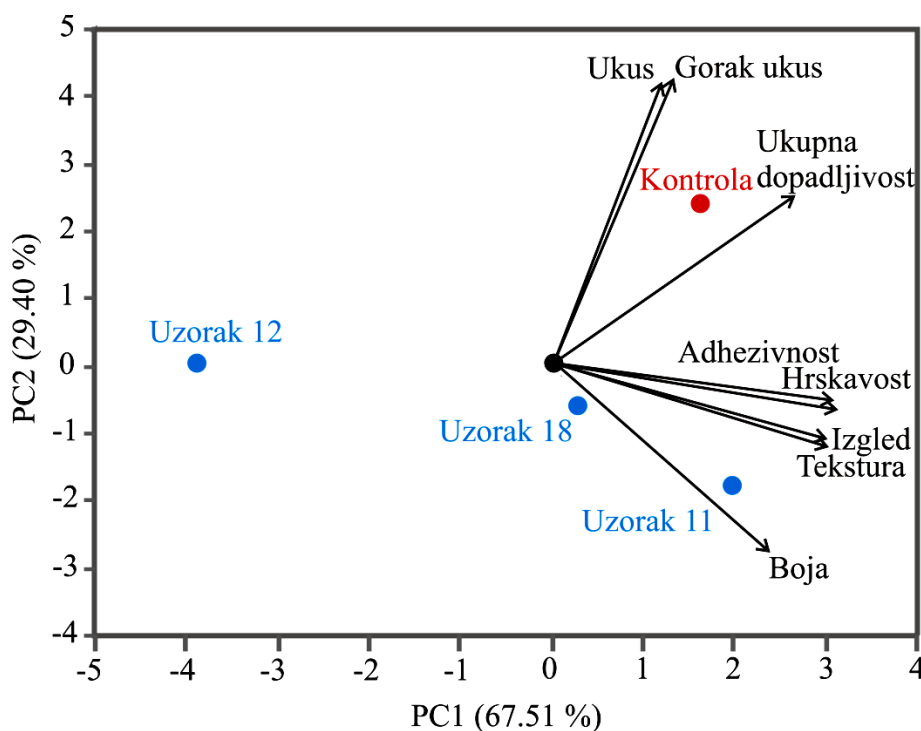
Rezultati su prikazani kao srednja vrednost ($n=40$) \pm s.d. KU – kontrolni uzorak. Vrednosti u istom redu označene različitim slovima statistički se značajno ($p<0,05$) razlikuju primenom Tukey HSD testa.

Analiza korelacionih odnosa pokazala je pozitivan odnos dopadljivosti izgleda sa dopadljivošću teksture ($r=0,99$, $p<0,01$) i hrskavosti ($r=0,98$, $p<0,05$), kao i dopadljivosti teksture i hrskavosti ($r=0,98$, $p<0,05$).

Ukoliko je ocena za ukupnu dopadljivost, dopadljivost izgleda, ukusa, teksture, boje, gorkog ukusa, hrskavosti i adhezivnosti bila viša od 5 (niti mi se sviđa niti ne sviđa) može se smatrati da je uzorak prihvatljiv potrošačima i sviđa im se u manjoj (ocena bliže 5) ili većoj meri (ocena bliže 9) (Škrobot D., 2016). Prema rezultatima prikazanim u tabeli 51, kontrolni uzorak čini se najdopadljivijim potrošačima prema ukupnoj dopadljivosti, gorkom ukusu i adhezivnosti. Uzorak 11 dobio je visoke ocene dopadljivosti kada su u pitanju izgled, tekstura, boja i hrskavost, čak i više od onih zabeleženih kod kontrole. Pretpostavlja se da je kontrolni uzorak dobio najbolje ocene ukupne dopadljivosti upravo zbog familijarnosti potrošača sa pirinčanim ekstrudatima, i proizvodima na bazi pirinča uopšte. Uzorak sa najnižom ukupnom dopadljivošću bio je uzorak 12, pretpostavlja se zbog slabog poznavanja arome korena cikoriije i retkog konzumiranja istog, usled čega nije uspostavljena bliskost sa ovom vrstom ukusa, mirisa i arome. Naime, senzorska percepcija određene hrane ili pića je modulirana prehrambenim navikama i poznavanjem ispitivane vrste namirnice, kao i učestalosti konzumiranja takvih proizvoda. Takođe je utvrđeno da učesnici bolje identifikuju ili opisuju senzorske parametre koji su im poznati (Pramudya i Seo, 2018).

Analiza glavnih komponentata (PCA) primenjena je za prikaz rezultata potrošačkog testa (slika 69). Procenat varijabilnosti predstavljen sa prva dva faktora je veoma visok (96,91%), gde komponenta PC1 doprinosi 67,51%, a komponenta PC2 29,40%. Analizirani uzorci ekstrudata dobro su diferencirani na osnovu potrošačkih rezultata. Najveću ukupnu dopadljivost pokazao je kontrolni uzorak, a zatim uzorak 11. Učesnici su pokazali sklonost kontrolnom uzorku zbog blagog ukusa i nedostatka gorčine, a uzorku 11 uglavnom zbog žućkasto-smeđe boje i umerene

hrskavosti. S druge strane, Uzorak 12 se najmanje svideo ispitanicima posebno zbog izraženog gorkog ukusa, tamnije boje i niske hrskavosti.



Slika 69. PCA plot konstruisan na osnovu ocena senzorskih atributa dodeljenih različitim uzorcima

Nakon rangiranja proizvoda po dopadljivosti od strane potrošača, uspostavljen je sledeći redosled: kontrola > uzorak 11 > uzorak 18 > uzorak 12.

Kontrolni uzorak najviše se dopao ispitanicima uglavnom zbog odsustva gorkog ukusa i hrskavosti, međutim veliki deo ispitanika naveo je da bi unapredio (neutralan) ukus ovog uzorka dodatkom soli, paprike, čilija, zaslađivača ili začinskog bilja, uz konstataciju da “fali nešto da istakne ukus/aromu” ovog proizvoda. Predlozi za unapređenje kontrolnog uzorka odnosili su se i na promenu boje iz bele u tamnije nijanse slične komercijalno dostupnim flips proizvodima, kako bi proizvod bio privlačniji kupcima.

Potrošači su kao najmanje dopadljiv uzorak izdvojili uzorak 12 zbog gorkog ukusa i neadekvatne teksture za ovakvu vrstu proizvoda, odnosno niske hrskavosti. Sugestije kupaca za poboljšanje kvaliteta ovog (uzorak 12) ali i ostalih isitanih ekstrudata sa dodatkom korena cikoriije (uzorci 11 i 18) odnosio se uglavnom na “maskiranje/ublažavanje” gorkog ukusa primenom crne čokolade, zaslađivača ili čilija.

Razlozi za kupovinu inovativnih flips proizvoda kreiranih u okviru ove disertacije uglavnom su se odnosili na radoznalost, želju da se proba novi proizvod, zbog poznavanja zdravstvenih benefita, ali i zato što su “drugačiji i zanimljiviji”. Nasuprot tome, najdominantniji uzrok odbojnosti kupaca ka ovim proizvodima je gorak ukus.

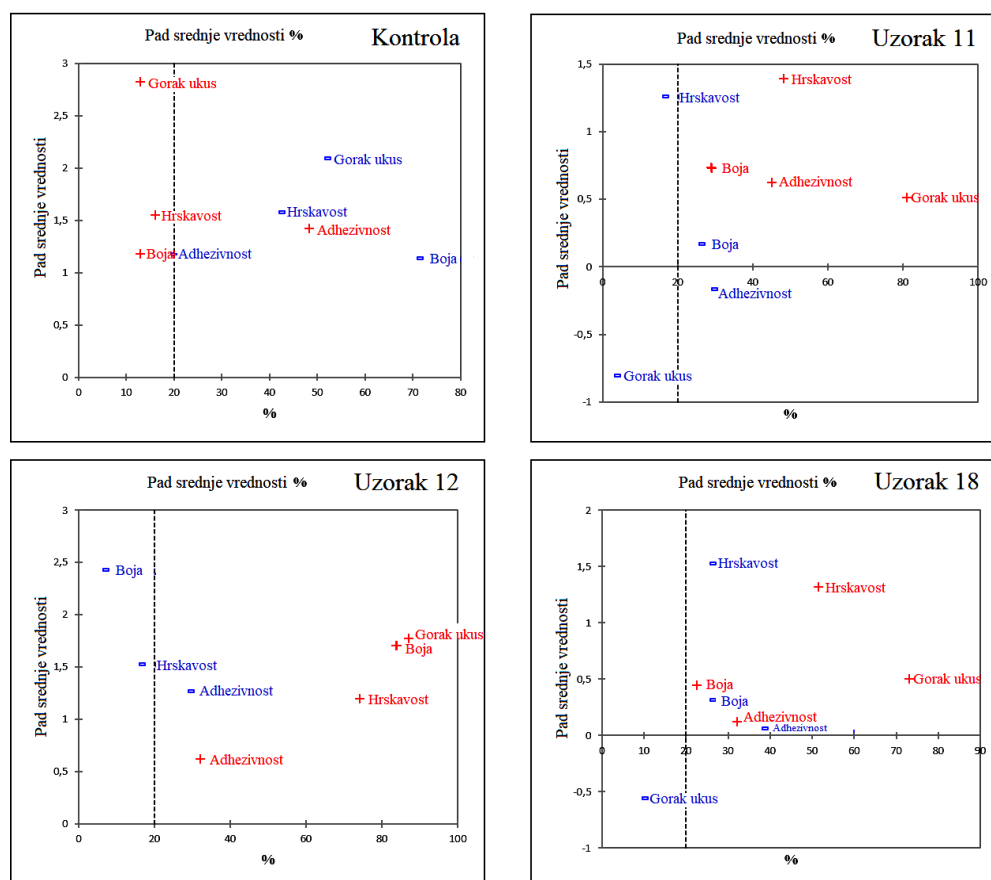
Slično tome, Tańska i sar. (2017) beleže blago opadanje senzorskih ocena kukuruznih ekstrudata nakon dodatka spiruline, pri čemu naglašavaju da implementacija ove sirovine doprinosi obogaćenju nutritivnog sastava ekstrudata. Najveće senzorne ocene takođe su zabeležene kod svih kontrolnih uzoraka bez aditiva u studiji Tomaszewska-Ciosk i sar. (2019), dok je nakon

dodatka bilo krompirove pulpe, lana, šipka ili kaše jabuke u kukuruzne ekstrudate senzorska ocena bila niža. Sa druge strane, kod ovih proizvoda ostvareno je povećanje sadržaja inulina porekom iz pomenutih izvora što je doprinelo poboljšanju nutritivne vrednosti ovih flips proizvoda.

Sumirajući doživljaj potrošača i uzimajući u obzir njihove sugestije, buduća istraživanja odnosiće se na unapređenje ukusa novoformiranih flips proizvoda, tako da se smanji ili neutrališe gorak ukus.

4.14.3. Analiza pada srednje vrednosti ocene ukupne dopadljivosti

Analiza pada srednje vrednosti ocene ukupne dopadljivosti predstavlja koristan alat u dobijanju informacija u pogledu odstupanja posmatranog proizvoda od "idealnog proizvoda" po mišljenju potrošača. Drugim rečima ova analiza omogućava da se identifikuje koja senzorska svojstva nisu na optimalnom nivou i na koji način utiču na smanjenje prihvatljivosti proizvoda (Lipan i sar., 2019). Rezultati su predstavljeni grafički (slika 70), i pružaju uvid u udeo testiranih potrošača koji smatraju da im je posmatrano svojstvo previše ili nedovoljno izraženo u odnosu na „upravo kako odgovara“, kolika je vrednost pada srednje ocene ukupne prihvatljivosti za taj udeo potrošača i statističku značajnost vrednosti pada srednje ocene ukupne prihvatljivosti. Granična vrednost proporcije testiranih potrošača čije se mišljenje uzima kao relevantno je podešeno na 20% od ukupnog broja ispitanika.



Slika 70. Dijagram analize pada srednje vrednosti ocene ukupne dopadljivosti za odabrane uzorke ekstrudata (kontrola, uzorak 11, uzorak 12, i uzorak 18). Pojmovi na graficima koji su podebljani i markirani crvenom bojom ukazuju na značajan srednji pad ($p < 0,05$)

Potrošači su kontrolni uzorak ocenili kao „nedovoljno gorak“, „nedovoljno hrskav“, „nedovoljno obojen“ i „previše adhezivan“. Ovi odgovori ukazuju u kom pravcu bi trebalo da ide optimizacija kontrolnog uzorka. Sa druge strane, svi analizirani uzorci sa dodatkom korena cikoriije ocenjeni su kao „previše goraki“, „previše adhezivni“, „previše hrskavi“ što je značajno uticalo na pad ocene ukupne prihvatljivosti i jasno ukazuje u kom pravcu bi trebalo da se odvija optimizacija ovih proizvoda.

4.15. Optimizacija procesa ekstrudiranja

4.15.1. Standardna ocena

U ovom istraživanju su izračunate standardne ocene uzoraka u okviru tri zasebne optimizacije. Prva optimizacija obuhvatila je sve ispitivane uzorke kojima je dodeljena SS (za 20 uzoraka) za izlazne fizičko-hemijske promenljive (AE, RE, LE, IE, NM, G, PG, Z, PZ, Poroznost, L*, ΔE , RS, Sadržaj inulina, Laktucin, Laktukopikrin, Dihidro-laktucin, Dihidro-laktukopikrin, SG, Ca, K, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, IV, VHP, VTP, Cw, F, Fmax, Ci, Nsr, NoP, SSP, SVP, DPPHS, DPPHV, ABTSS, ABTSV, RSS i RSV). Druga optimizacija odnosila se na parametare deskriptivne senzorske ocene u kojoj je učestvovalo 6 uzoraka sa dodatkom korena cikoriije kojima je dodeljeno SS za parametre: Ujednačenost boje, Veličina pora, Ukupan miris, Ukupna aroma, Gorak ukus, Gorak ukus nakon 2 min, Tvrdoća, Grubost, Hrsravost, Absorpcija pljuvačke, Adhezivnost). Treća optimizacija imala je cilj da odredi optimalni uzorak iz potrošačkog testa u kome su učestvovala 3 uzorka obogaćena korenom cikoriije, i to za parametre: Ukupna dopadljivost, Dopadljivost izgleda, Dopadljivost ukusa, Dopadljivost teksture, Dopadljivost boje, Dopadljivost gorkog ukusa, Dopadljivost hrskavosti, Dopadljivost adhezivnosti). Cilj sve tri optimizacije bio je da se definišu optimalne vrednosti ulaznih promenljivih (M, V, P), koje daju optimalne vrednosti izlaznih promenljivih (fizičko-hemijskih osobina, osobina deskriptivne senzorske analize i parametara potrošačkog testa). U proces optimizacije nije bio uključen kontrolni uzorak s obzirom da je on služio kao referentni uzorak, a cilj optimizacije je bio da se pronađu uslovi proizvodnje kao i optimalne finalne karakteristike flipsa obogaćenog korenom cikoriije. Poželjne tj. minimalne ili maksimalne vrednosti za izlazne parametre prikazani su u tabeli 52, dok su dodeljeni težinski koeficijenti svakom od izlaznih parametara prikazani u tabeli 53. Generisane standardne ocene prikazane u tabeli 54, uz primenu koncepta da se SS čija je vrednost bila iznad 0,60 smatra visokim standardom za fizička, hemijska i senzorska svojstva.

Tabela 52. Poželjne (maksimalne ili minimalne) vrednosti izlaznih parametara i dodeljeni polariteti

Parametar	Maksimalna/minimalna vrednost	Polaritet
AE	33,94 mm/g	-
RE	11,73	+
LE	234,90 %	+
IE	3,34	+
NM	110,33 g/L	-
Poroznost	90,96%	+
Z	2040,00 m ³	+
G	250,00 kg/m ³	-
PZ	3062,73 m ³	+
PG	166,94 kg/m ³	-
L*	70,48	+
ΔE	11,64	-
RS	0,54 %	+
Inulin	10,10%	+
Laktucin	9,13 μg/g	+
Laktukopikrin	5,52 μg/g	+
Dihidrolaktucin	12,39 μg/g	+
Dihidrolaktukopikrin	4,07 μg/g	+
SG	69,70%	+
Ca	713,51 mg/kg	+
K	3018,60 mg/kg	+
Mg	564,65 mg/kg	+
Na	2076,30 mg/kg	+
Fe	54,13 mg/kg	+
Mn	7,36 mg/kg	+
Zn	15,75 mg/kg	+
Cu	3,75 mg/kg	+
IV	4,09 Pa·s	+
VTP	0,62 Pa·s	-
VHP	3,25 Pa·s	+
Cw	3,31	-
Ci	3,25	+
Nsr	7,45	+
F	19,88	-
Fmax	61,33	-
NoP	66,00	+
SSP	36,87 mg GAE/g s.m.	+
SVP	9,06 mg GAE/g s.m.	+
DPPH _S	1,03 mmol TE/g s.m.	+
DPPH _V	0,06 mmol TE/g s.m.	+
ABTS _S	498,21 mmol TE/g s.m.	+

Tabela 52. Nastavak

Parametar	Maksimalna/minimalna vrednost	Polaritet
ABTS _v	96,47 mmol TE/g s.m.	+
RS _s	108,97 mmol TE/g s.m.	+
RS _v	5,14 mmol TE/g s.m.	+
Senzorska analiza		
Deskriptivna senzorska analiza		
Ujednačenost boje	10,75	-
Veličina pora	60,13	+
Ukupan miris	54,00	+
Ukupna aroma	63,63	+
Gorak ukus	22,63	-
Gorak ukus nakon 2 min	23,38	-
Tvrdoća	47,13	-
Grubost	43,13	-
Hrskavost	65,63	+
Apsorpcija pljuvačke	66,00	+
Adhezivnost	47,25	-
Potrošački test		
Ukupna dopadljivost	4,71	+
Dopadljivost izgleda	5,97	+
Dopadljivost ukusa	3,53	+
Dopadljivost teksture	6,07	+
Dopadljivost boje	6,28	+
Dopadljivost gorkog ukusa	2,72	+
Dopadljivost hrskavosti	6,55	+
Dopadljivost adhezivnosti	5,37	+

Napomena: kod parametara gde je određen negativan polaritet (-) u tabeli je prikazana poželjna minimalna vrednost, dok je kod karakteritika kojima je dodeljen pozitivan polaritet (+) u tabeli je data maksimalna vrednost određenog parametra.

Tabela 53. Težinski koeficijenti dodeljeni pojedinačnim izlaznim parametrima i grupama parametara

Grupa parametara	Parametar	Težinski koeficijent parametra	Grupni težinski koeficijent
Ekspanzija	AE	0,25	0,11
	RE	0,25	
	LE	0,25	
	IE	0,25	
Nasipna masa	NM	1,00	0,03
Poroznost	Poroznost	1,00	0,08
Zapremina i gustina	Z	0,25	0,03
	G	0,25	
	PZ	0,25	
	PG	0,25	
Boja	L*	0,40	0,09
	ΔE	0,60	
Rezistentni skrob	RS	1,00	0,05
Inulin	Inulin	1,00	0,15
Laktoni	Laktucin	0,25	0,07
	Laktukopikrin	0,25	
	Dihidro-laktucin	0,25	
	Dihidrola-ktukopikrin	0,25	
Toplotne osobine	SG	1,00	0,06
Metali i minerali	Ca	0,13	0,07
	K	0,13	
	Mg	0,13	
	Na	0,13	
	Fe	0,13	
	Mn	0,13	
	Zn	0,13	
	Cu	0,13	
Osobine pastiranja	IV	0,60	0,06
	VTP	0,20	
	VHP	0,20	
Teksturne osobine	Cw	0,20	0,13
	Ci	0,25	
	Nsr	0,10	
	F	0,10	
	Fmax	0,25	
	NoP	0,10	

Tabela 53. Nastavak

Grupa parametara	Parametar	Težinski koeficijent parametra	Grupni težinski koeficijent
Polifenolna jedinjenja, antioksidativna aktivnost i redukciona sposobnost	SSP	0,20	0,07
	SVP	0,20	
	DPPH _S	0,10	
	DPPH _V	0,10	
	ABTS _S	0,10	
	ABTS _V	0,10	
	RS _S	0,10	
	RS _V	0,10	
Deskriptivna senzorska analiza	Ujednačenost boje	0,30	1,00
	Veličina pora	0,125	
	Ukupan miris	0,05	
	Ukupna aroma	0,14	
	Gorak ukus	0,04	
	Gorak ukus nakon 2 min	0,05	
	Tvrdoća	0,005	
	Grubost	0,06	
	Hrskavost	0,1	
	Apsorpcija pljuvačke	0,07	
	Adhezivnost	0,06	
	Potrošački test	Ukupna dopadljivost	
Dopadljivost izgleda		0,02	
Dopadljivost ukusa		0,65	
Dopadljivost teksture		0,02	
Dopadljivost boje		0,02	
Dopadljivost gorkog ukusa		0,2	
Dopadljivost hrskavosti		0,02	
Dopadljivost adhezivnosti		0,05	

Tabela 54. Sumarne standadne ocene uzoraka dodeljene nakon optimizacije izlaznih fizičko-hemijskih parametara, parametara deskriptivne senzorske analize i potrošačkog testa

Uzorak	SS
Fizičko-hemijski parametri	
1	0,515
2	0,538
3	0,544
4	0,570
5	0,590
6	0,446
7	0,488
8	0,506
9	0,567
10	0,608
11	0,634
12	0,507
13	0,593
14	0,528
15	0,543
16	0,565
17	0,478
18	0,579
19	0,569
20	0,560
Deskriptivna senzorska analiza	
3	0,471
8	0,616
9	0,422
11	0,626
12	0,551
18	0,575
Potrošački test	
11	0,853
12	0,843
18	0,030

Maksimum funkcije SS izračunate prema jednačini (20) odnosi se na optimalne uslove procesa ekstrudiranja, ali daje uvid i u optimalne vrednosti svih ispitanih izlaznih parametara.

Sumiranjem SS za tri sprovedene optimizacije (unutar fizičko-hemijskih parametara, deskriptivne senzorske analize i potrošačkog testa) može se zaključiti da je najveće standardizovane ocene unutar sve tri pomenute optimizacije dobio uzorak 11 (0,634; 0,626; i 0,853; redom) te se upravo ovaj uzorak može smatrati optimalnim, a procesni uslovi pod kojima je proizveden

pomenuti uzorak se mogu tumačiti kao optimani uslovi ekstrudiranja (M=16,3%; V=700 o/min; P=30%). Optimalne vrednosti ulaznih (M, V i P), kao i svih izlaznih fizičko-hemijskih i parametara senzorske ocene su predstavljene u tabeli 55.

Tabela 55. Optimalne vrednosti procesnih parametara ekstrudiranja, fizičko-hemijskih parametara, parametara deskriptivne senzorske ocene i potrošačkog testa dobijeni primenom standardne ocene

Procesni parametar	Optimalna vrednost definisana SS-om
M	16,3%
V	700 o/min
P	30,0 %
Fizičko-hemijski parametri	
AE	45,42 mm/g
RE	8,01
LE	185,15 %
IE	2,84
NM	137,67 g/L
Poroznost	78,29%
Z	1730,00 m ³
G	310,00 kg/m ³
PZ	2301,79 m ³
PG	216,79 kg/m ³
L*	68,01
ΔE	14,87
RS	0,14 %
Inulin	5,36%
Laktucin	5,05 μg/g
Laktukopikrin	2,22 μg/g
Dihidrolaktucin	4,54 μg/g
Dihidrolaktukopikrin	1,43 μg/g
SG	41,32%
Ca	563,83 mg/kg
K	2526,92 mg/kg
Mg	534,87 mg/kg
Na	1693,07 mg/kg
Fe	36,02 mg/kg
Mn	6,44 mg/kg
Zn	11,32 mg/kg
Cu	2,63 mg/kg
IV	2,58 Pa×s
VTP	0,96 Pa×s

Tabela 55. Nastavak

Procesni parametar	Optimalna vrednost definisana SS-om
VHP	1,87 Pa×s
Cw	3,59
Ci	2,05
Nsr	7,45
F	26,48
Fmax	68,91
NoP	66,00
SSP	28,54 mg GAE/g s.m.
SVP	7,01 mg GAE/g s.m.
DPPH _S	0,66 mmol TE/g s.m.
DPPH _V	0,04 mmol TE/g s.m.
ABTS _S	374,63 mmol TE/g s.m.
ABTS _V	75,87 mmol TE/g s.m.
RS _S	84,65 mmol TE/g s.m.
RS _V	3,94 mmol TE/g s.m.
Senzorska analiza	
Deskriptivna senzorska analiza	
Ujednačenost boje	10,75
Veličina pora	45,50
Ukupan miris	15,75
Ukupna aroma	63,63
Gorak ukus	61,88
Gorak ukus nakon 2 min	65,88
Tvrdoća	61,25
Grubost	58,38
Hrskavost	50,88
Apsorpcija pljuvačke	30,88
Adhezivnost	49,88
Potrošački test	
Ukupna dopadljivost	4,71
Dopadljivost izgleda	5,97
Dopadljivost ukusa	2,76
Dopadljivost teksture	6,07
Dopadljivost boje	6,28
Dopadljivost gorkog ukusa	2,72
Dopadljivost hrskavosti	6,55
Dopadljivost adhezivnosti	5,35

4.15.3. Veštačka neuronska mreža (ANN)

Za optimizaciju su korišćeni ANN modeli razvijeni u pojedinačnim poglavljima ove teze za svaki ispitivani izlazni parametar, gde su detaljno opisani (Poglavlja 4.1.1; 4.2.1; 4.3.1; 4.4.1; 4.5.2; 4.6.1; 4.7.1; 4.8.1; 4.9.1; 4.10.2; 4.11.2; 4.12.6; 4.13.1). Ovi modeli su se pokazali kao sposobni za aproksimaciju nelinearnih funkcija (Hu i Weng, 2009; Momenzadeh i sar, 2011; Atsamnia i sar., 2017; Pavlić i sar., 2019), dok je optimizacija mreže sprovedena na osnovu performansi svih razvijenih ANN modela za ispitivane parametre, u cilju dobijanja visokih vrednosti koeficijenta determinacija r^2 i niskih vrednosti korena srednjeg kvadrata greške RMSE za cikluse učenja. Tabela 56 daje sumarni prikaz adekvatnosti razvijenih modela veštačke neuronske mreže. Senzorska ocena i potrošački test nisu optimizovani korišćenjem razvijenih ANN modela, nego isključivo SS analizom, zbog manjeg broja uzoraka.

Tabela 56. Adekvatnost razvijenih ANN modela za ispitivane parametre prikazana kroz parametre r^2 i RMSE

Parametar	Mreža	r^2	RMSE
AE	MLP 3-5-4	0,988	0,398
RE		0,970	0,388
LE		0,895	15,039
IE		0,920	0,144
NM	MLP 3-7-1	1	0,0
Poroznost	MLP 3-7-1	0,998	0,259
Z	MLP 3-6-4	0,827	56,729
G		0,741	182,312
PZ		0,787	70,847
PG		0,701	307,516
L*	MLP 3-9-6	0,891	0,694
ΔE		0,870	0,614
RS	MLP 3-6-1	0,998	0,004
Inulin	MLP 3-4-1	0,974	0,325
Laktucin	MLP 3-9-4	1,000	0,043
Laktukopikrin		0,999	0,044
Dihidrolaktucin		0,999	0,093
Dihidrolaktukopikrin		0,999	0,022
SG	MLP 3-10-1	0,834	7,625
Ca	MLP 3-10-8	0,991	7,494
K		0,987	30,359
Mg		0,919	7,868
Na		0,990	24,719
Fe		0,994	0,607
Mn		0,953	0,071
Zn		0,993	0,123
Cu		0,993	0,039
IV		0,999	0,018
VTP		MLP 3-10-6	0,999
VHP		0,999	0,016

Tabela 56. Nastavak

Parametar	Mreža	r^2	RMSE
Cw	MLP 3-3-6	0,996	0,763
Ci		0,874	0,619
Nsr		0,921	0,482
F		0,989	3,058
Fmax		0,995	21,777
NoP		0,991	19,892
SSP		0,873	1,887
SVP		0,812	0,630
DPPH _S	MLP 3-3-8	0,851	0,061
DPPH _V		0,818	0,007
ABTS _S		0,913	18,685
ABTS _V		0,656	6,244
RS _S		0,827	7,594
RS _V		0,782	0,358

MLP - Višeslojni perceptron model (*engl. Multi Layer Perceptron*); RMSE - korena srednjeg kvadrata greške (*engl. Root-mean-square error*); r^2 - koeficijent determinacije;

Fitovanje ANN modela sa eksperimentalnim vrednostima bilo je vrlo dobro, o čemu govore visoke vrednosti r^2 (koje treba da budu što bliže vrednosti 1) i niske vrednosti RMSE (koje treba da budu bliske 0), za pojedinačne izlazne parametre. Optimizacija ANN izlaza je izvršena korišćenjem vrednosti predstavljenih u tabeli 53 primenjenih u jednačinama ANN modela. Izračunati maksimumi za RE, LE, IE, Poroznost, Z, PZ, L*, RS, Sadržaj inulina, Laktucin, Laktukopikrin, Dihidrolaktucin, Dihidrolaktukopikrin, SG, Ca, K, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, IV, VHP, Ci, Nsr, NoP, SSP, SVP, DPPHS, DPPHV, ABTSS, ABTSV, RSS i RSV, Veličina pora, ukupan miris, Ukupna aroma, Hrsravost, Absorpcija pljuvačke, Ukupna dopadljivost, Dopadljivost Izgleda, Ukusa, Teksture, Boje, Hrsravosti, i minimalne vrednosti za AE, NM, G, PG, ΔE , VTP, Cw, F i Fmax, Ujednačenost boje, Gorak ukus, Gorak ukus nakon 2 minuta, Tvrdća, Grubost, Adhezivnost prikazane su u tabeli 55. Dobijene vrednosti optimalnih izlaza iznsile su od 16,34% vlage, 697,84 o/min za brzinu pužnice i 30,32% udela korena cikoriije. Ovi rezultati su u dobrom slaganju sa onim procesnim parametrima primenjenim kod proizvodnje optimalnog Uzorka 11 (16,3% vlage, 700 o/min i 30% korena cikoriije), koji je dobio najveće SS za sve tri optimizacije (Tabela 54). ANN model predvideo je optimalne vrednosti svih izlaznih promenljivih od interesa, i one su sumirane u tabeli 57.

Tabela 57. Optimalne vrednosti parametara ekstrudiranja i ispitivanih izlaznih parametara definisanih primenom ANN modela i određenih kod uzorka 11

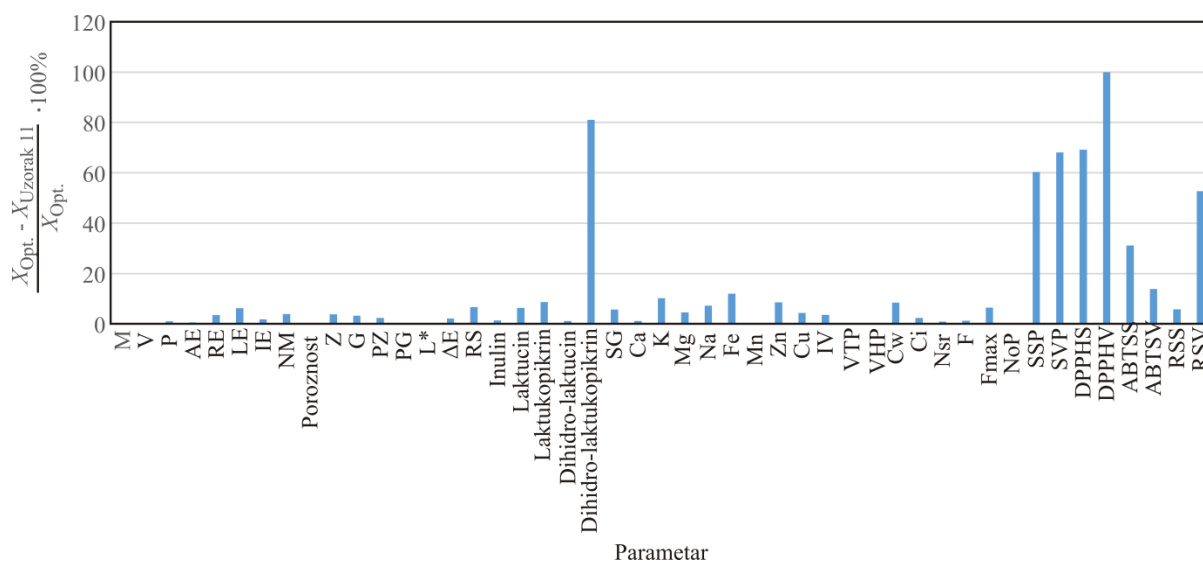
Parametar	Optimalna vrednost prema ANN modelu	Uzorak 11
M	16,34%	16,30%
V	697,84 o/min	700 o/min
P	30,32 %	30,0%
Fizičko-hemijski parametri		
AE	45,69 mm/g	45,42 mm/g
RE	7,74	8,01
LE	174,38 %	185,15 %
IE	2,79	2,84
NM	143,31 g/L	137,67 g/L
Poroznost	78,56%	78,29%
Z	1665,85 m ³	1730,00 m ³
G	320,48 kg/m ³	310,00 kg/m ³
PZ	2247,82 m ³	2301,79 m ³
PG	217,59 kg/m ³	216,79 kg/m ³
L*	68,27	68,01
ΔE	14,56	14,87
RS	0,15 %	0,14 %
Inulin	5,29%	5,36%
Laktucin	4,75 μg/g	5,05 μg/g
Laktukopikrin	2,43 μg/g	2,22 μg/g
Dihidrolaktucin	4,59 μg/g	4,54 μg/g
Dihidrolaktukopikrin	0,79 μg/g	1,43 μg/g
SG	39,11%	41,32%
Ca	557,70 mg/kg	563,83 mg/kg
K	2814,12 mg/kg	2526,92 mg/kg
Mg	560,48 mg/kg	534,87 mg/kg
Na	1579,44 mg/kg	1693,07 mg/kg
Fe	32,17 mg/kg	36,02 mg/kg
Mn	6,45 mg/kg	6,44 mg/kg
Zn	12,38 mg/kg	11,32 mg/kg
Cu	2,75 mg/kg	2,63 mg/kg
IV	2,49 Pa×s	2,58 Pa×s
VTP	0,96 Pa×s	0,96 Pa×s
VHP	1,87 Pa×s	1,87 Pa×s
Cw	3,31	3,59
Ci	2,10	2,05
Nsr	7,38	7,45
F	26,81	26,48
Fmax	73,67	68,91
NoP	65,94	66,00
SSP	17,80 mg GAE/g s.m.	28,54 mg GAE/g s.m.
SVP	4,17 mg GAE/g s.m.	7,01 mg GAE/g s.m.
DPPHS	0,39 mmol TE/g s.m.	0,66 mmol TE/g s.m.
DPPHV	0,02 mmol TE/g s.m.	0,04 mmol TE/g s.m.
ABTSS	285,65 mmol TE/g s.m.	374,63 mmol TE/g s.m.
ABTSV	88,12 mmol TE/g s.m.	75,87 mmol TE/g s.m.
RSS	79,99 mmol TE/g s.m.	84,65 mmol TE/g s.m.
RSV	2,58 mmol TE/g s.m.	3,94 mmol TE/g s.m.

Upoređivanjem vrednosti koje je predvideo ANN model sa vrednostima određenim kod uzorka 11 (koji se smatra optimalnim uzorkom proisteklim iz tri gorepomenute optimizacije) (tabela 57), može se primetiti vrlo dobro slaganje predviđenih i izmerenih vrednosti izlaznih parametara. Slaganje rezultata predviđenih ANN modelom i eksperimentalno dobijenih rezultata za optimalni uzorak 11 izračunato je primenom formule (21):

$$\frac{X_{\text{Opt.}} - X_{\text{Uzorak 11}}}{X_{\text{Opt.}}} \cdot 100\% \quad (21)$$

gde $X_{\text{Opt.}}$ predstavlja vrednost određenog parametra definisanog primenom ANN modela, dok $X_{\text{Uzorak 11}}$ predstavlja izmerenu vrednost kod uzorka 11.

Grafički prikaz slaganja vrednosti ispitivanih parametara određenih primenom ANN modela i onih određenih kod optimalnog uzorka 11, dati su na slici 71.



Slika 71. Slaganje vrednosti ispitivanih parametara određenih primenom ANN modela i izmerenih kod optimalnog uzorka 11

Primetno je da svega 7 od ispitivanih 47 parametara izmerenih kod uzorka 11 odstupa više od 20% od predviđenih vrednosti ANN modelom (slika 71). Osim seskviterpenskog lakona dihidro-laktukopirkin (čija je koncentracija bila skoro dva puta veća kod optimalnog uzorka 11 (1,43 $\mu\text{g/g}$) u odnosu na predviđenu vrednost ANN modelom (0,79 $\mu\text{g/g}$) (tabela 57), sadržaj polifenolnih jedinjenja, antioksidativna aktivnost i redukciona sposobnost optimalnog uzorka 11 pokazale su takođe veće vrednosti u odnosu na one predviđene neuronskom mrežom (tabela 57). Uprkos tome, ove karakteristike proizvoda (sadržaj seskviterpenskih laktona, polifenolnih jedinjenja, antioksidativna aktivnost i redukciona sposobnost) mogu se smatrati poželjnim sa zdravstvenog aspekta, te govore u prilog optimalnom uzorku 11 (Chadwick i sar, 2013; Rasouli i sar., 2017).

4.16. Optimalni uzorak – fizičko-hemijske, funkcionalne i senzorske karakteristike. Poređenje optimalnog i kontrolnog uzorka

Ekspanzione osobine

Kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna beležio je vrednosti od 58,68 mm/g za aksijalnu, 7,47 za radijalnu, 384,13% za lateralnu ekspanziju i 4,84 za indeks ekspanzije. Optimalni uzorak 11 dostigao je 45,42 mm/g AE, 8,01 RE, 185,15% LE i 2,84% za IE. Primetno je da je optimalni uzorak 11 pokazao nižu vrednost AE i višu vrednost RE, u odnosu na kontrolni uzorak, što se može tumačiti kao poželjna karakteristika flips proizvoda. Štaviše, učesnici potrošačkog testa ocenili su optimalni uzorak 11 kao najdopadljiviji u smislu izgleda i teksture u odnosu na ostale ocenjivane uzorke, što je u tesnoj vezi sa ekspanzionim karakteristikama proizvoda. Optimalni uzorak 11 (uzorak sa 30% korena cikoriije) dopao se potrošačima između ostalog i zbog osobine hrskavosti. Poznato je da je ekspanzija proizvoda u direktnoj vezi sa hrskavošću istih (Taewee, 2011), što je potvrđeno i u ovoj disertaciji ($r=0,86$, $p<0,001$). Ovaj zaključak govori u prilog tome da obogaćivanje pirinčane osnove korenom cikoriije na određenom nivou, kao i proizvodnja ekstrudata pri definisanim optimalnim uslovima, mogu iznedriti nov prehrambeni proizvod željenih ekspanzionih osobina, koji je dopadljiv potrošačima.

Nasipna masa (NM)

Kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna pokazao je vrednost nasipne mase od 65,9 g/L. Uprkos tome, optimalni uzorak 11 ocenjen je kao dopadljiv od strane potrošača u pogledu ukupne dopadljivosti i teksture, iako je vrednost NM za ovaj uzorak (137, 67 g/L) bila skoro duplo veća od vrednosti NM za kontrolni uzorak (65,9 g/L). Iz tabele 14 uočljivo je da je optimalni uzorak 11 imao nisku vrednost NM u odnosu na ostale ekstrudate obogaćene korenom cikoriije, odmah nakon uzorka 8. Takođe, dodatak kaktus pirea (5-20%) u pirinčanu bazu povećao je vrednost nasipne mase finalnih proizvoda usled zamene dela skroba sirovinom bogatom šećerima i vlaknima usled čega se formiraju flips proizvodi veće nasipne mase (El-Samahy i sar., 2007). Iako su u svojoj studiji obogaćivanja pirinčane baze sojom, šargarepom i karfiolom zabeležili porast nasipne mase, Alam i sar. (2016b) navode da je tako kreiran flips proizvod pokazao poboljšan nutritivni sastav sa sadržajem vlakana od čak 0,84 g/100 g, što opravdava primenu sirovina bogatih vlaknima u cilju dobijanja inovativnih „*low-cost*“ flips proizvoda. Slično tome, optimalni uzorak 11 obogaćen korenom cikoriije u količini od 30% kreiran u okviru ove disertacija beležio je sadržaj inulina od 5,36 g/100 g proizvoda, dok kod kontrolnog uzorka od čistog pirinčanog brašna nije detektovano pristustvo ovog prebiotskog vlakna. Stoga se može smatrati da je optimalni uzorak 11 pokazao poboljšana nutritivna i potencijalno funkcionalna svojstva kada je u pitanju sadržaj inulina.

Gustina i zapremina ekstrudata

Kontrolni uzorak beležio je niže vrednosti gustine (110 kg/m^3), odnosno prividne gustine ($71,51 \text{ kg/m}^3$), i više vrednosti zapremine (3100 m^3), tj. prividne zapremine ($5718,79 \text{ m}^3$) u poređenju sa ekstrudatima obogaćenim korenom cikoriije. To je bilo očekivano uzimajući u obzir odsustvo korena cikoriije kod kontrolnog uzorka. Optimalni uzorak 11 imao je gustinu 310 kg/m^3 i zapreminu 1730 m^3 , odnosno prividnu gustinu $216,79 \text{ kg/m}^3$ i prividnu zapreminu $2301,79 \text{ m}^3$. Važno je napomenuti da je optimani uzorak 11, među ekstrudatima obogaćenih korenom cikoriije, potrošačkim testom ocenjen kao najprihvatljiviji u pogledu dopadljivosti izgleda (ocena je iznosila 5,97 na skali od 1 do 9), dok je kontrolni uzorak zabeležio ocenu od 5,39.

Poroznost

Optimalni uzorak 11 pokazao je vrednost poroznosti od 78,29%, nešto nižu u odnosu na kontrolni uzorak (92,75%). Uprkos tome, potrošačkim testom je optimalni uzorak 11 definisan kao dopadljiv potrošačima, između ostalog i zbog svoje hrskavosti, koja je direktno povezana sa poroznošću. Naime, ekstrudati sa većim porama su hrskaviji (u prilog čemu govori pozitivna korelacija poroznosti i indeksa hrskavosti od $r=0,69$ pri $p<0,01$, zabeležena u ovoj disertaciji). Štaviše, takve osobine mogu ukazivati na visok senzorski kvalitet takvog proizvoda (Ekielski i sar., 2020).

Teksturne karakteristike

Rad hrskavosti (Cw)

Kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna imao je vrednost Cw od 0,41 N×mm. Ovako niska vrednost Cw ukazuje na činjenicu da je čist pirinčani ekstrudat vrlo hrskav i da je potrebno uložiti manje rada da bi se narušila njegova struktura (niža vrednost Cw). Primetno je da je optimalni uzorak 11 pokazao veoma nisku vrednost Cw (3,59 N×mm) u odnosu na ostale ekstrudate obogaćene korenima cikorijske (čija se vrednost kretala u opsegu 3,31 do 41,25 N×mm), što je poželjna teksturna osobina ekstrudiranih proizvoda s obzirom da lakše pucanje zidova ćelija uzrokovano dejstvom male sile ukazuje na hrskaviji proizvod kako u svojoj studiji navode Silva i sar. (2014).

U prilog tome govore i rezultati potrošačkog testa. Među teksturnim osobinama u ustima ocenjivača ispitani su tvrdoća (sila koja je potrebna da se zubima prodre kroz uzorak), grubost (stepen u kojem je masa gruba, ima velike čestice) i hrskavost (zvuk i sila sa kojom se uzorak lomi i puca). Optimalni uzorak 11 je ocenjen kao najdopadljiviji među ispitivanim ekstrudatima sa dodatkom korena cikorijske, upravo zbog svoje umerene hrskavosti. Slična zapažanja izneli su Höglund i sar. (2018) prilikom obogaćivanja ražanih ekstrudata spraćenom pogačom zaostalim nakon obrade borovnica. Dodatak ove sirovine povećao je vrednost Cw ražanih ekstrudata, ali su oni i dalje bili vrlo prihvatljivi od strane potrošača, gde su proizvodi sa dodatkom od 10% pogače zaostale nakon obrade borovnica ocenjeni kao proizvodi sa prijatnom teksturom.

Indeks hrskavosti (Ci)

Zabeležena Ci vrednost kontrolnog uzorka iznosila je $6,47 \times 10^{-3}$ dok je optimalni uzorak 11 zabeležio Ci vrednost od $2,05 \times 10^{-3}$. Uprkos maloj vrednosti indeksa hrskavosti određenoj instrumentalnim tehnikama, uzorak 11 dobio je najveću ocenu dopadljivosti u potrošačkom testu kada je u pitanju hrskavost (6,55), čak veću od one dodeljene kontrolnom uzorku (6,14).

Srednja sila kompresije (F)

Prosečna sila kompresije potrebna za razrušavanje strukture kontrolnog flips proizvoda iznosila je 18,99 N. Ovaj rezultat ukazuje na činjenicu da je kontrolni uzorak krhke i lako lomljive strukture. Opimalni uzorak 11 beležio je 26,48 N za parametar F, što predstavlja relativno nisku vrednost među ispitivanim uzorcima koja se kretala u opsegu od 19,88 do 96,38 N, i ne tako veću vrednost F u odnosu na kontrolu. Tekstura formiranih proizvoda rezultat je kompleksnih uticaja dodatka korena cikorijske i uslova ekstrudiranja. Dodatak korena cikorijske ne mora nužno imati negativan uticaj na vrednost parametra F ukoliko se na odgovarajući način podese uslovi ekstrudiranja. Poželjne su niže vrednosti parametra F kod flips proizvoda, povezujući obrnutu proporcionalnost između F i indeksa hrskavosti ($-0,63$, $p<0,001$), što se može smatrati postignutim kod optimalnog uzorka.

Frekvencija loma strukture (Nsr)

Frekvencija loma strukture kontrolnog uzorka iznosila je 4,63 1/mm. Veće vrednosti Nsr ukazuju da je formirana rastresita struktura sa više vazdušnih ćelija i da je tekstura takvog flipsa hrskavija, a poroznost veća. U prilog tome govori pozitivna korelacija između Nsr i Ci ($r=0,71$, $p<0,05$). Optimalni uzorak 11 zabeležio je vrednost Nsr od 7,45 1/mm, više nego kod kontrole, što je u slaganju sa rezultatima potrošačkog testa koji su optimalni uzorak ocenili krhkijim tj. hrskavijim od kontrole. S obzirom na to da su pojedini uzorci dobijeni u okviru ove disertacije imali veće vrednosti Nsr u odnosu na kontrolni uzorak može se zaključiti da dodatak korena cikoriije ne mora imati negativan uticaj na vrednost Nsr, već da se podešavanjem uslova ekstrudiranja (snižavanjem sadržaja vlage i povećanjem broja obrtaja pužnice) mogu ostvariti poželjne vrednosti Nsr kod flips proizvoda.

Tvrdoća (Fmax)

Iako dodatak sirovina bogatih proteinima i vlaknima uglavnom utiče na povećanje tvrdoće proizvoda, sa druge strane biljni dodaci (kao što je različito povrće) često mogu prouzrokovati smanjenje tvrdoće jer njihov dodatak utiče na strukturu proizvoda na nivou pora (Poliszko i sar., 2019). U prilog tome govori negativan korelacioni odnos tvrdoće i poroznosti dobijen u okviru ove disertacije ($r=-0,67$, $p<0,01$). Vrednost tvrdoće kontrolnog uzorka iznosila je 43,48 N. Sa druge strane, optimalni uzorak 11 evaluiran je kao prihvatljiv od strane ispitanika u toku potrošačkog testa odabranih ekstrudata iz okvira ove disertacije, iako je tvrdoća ovog proizvoda (68,91 N) bila nešto malo veća od one zabeležene kod kontrolnog uzorka. Pored toga, optimalni uzorak 11 dobio je najveću ocenu ukupne dopadljivosti teksture (6,07), što je bolja ocena u odnosu na kontrolni uzorak (5,39). Iz toga se može zaključiti da je moguće proizvesti flips proizvod zadovoljavajuće tvrdoće uz podešavanje uslova ekstrudiranja kao i procentualnog udela korena cikoriije.

Broj pikova (NoP)

Broj pikova zabeleženih prilikom kompresije kontrolnog flips uzorka iznosio je 69, što je slično vrednosti broja pikova kod optimalnog uzorka 11 (66). Ostali uzorci pokazali su niže vrednosti broja pikova (od 11 do 66) u odnosu na kontrolni uzorak predstavljajući rezultat složenih uticaja sadržaja vlage, brzine obrtanja pužnice i dodatka korena cikoriije u pirinčanu bazu.

Parametri boje

Kontrolni uzorak napravljen od čistog pirinčanog brašna imao je vrednost $L^*=99,94$, što ukazuje da je ovaj proizvod najsvetliji i da se uočava trend tamnjenja proizvoda sa dodatkom korena cikoriije. Ovaj uzorak takođe je imao zelenu ($a^*=-1,24$), odnosno plavu boju proizvoda ($b^*=8,62$), što su niže vrednosti u poređenju sa svim ostalim uzorcima ekstrudiranim sa dodatkom korena cikoriije. Nijansa kontrolnog uzorka ($h=98,21$) govori da se ovaj proizvod svrstava u grupu proizvoda žute nijanse, dok je vrednost intenziteta boje C^* (8,71) bila niža u odnosu na uzorke sa dodatkom korena cikoriije. Optimalni uzorak 11 imao je sledeće vrednosti za parametre boje: $L^*=68,01$, $a^*=4,82$, $b^*=24,31$, $h=78,79$ (crveno-ljubičasta nijansa) i $C^*=24,78$. Svi ovi rezultati govore da kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna pokazuje najsvetlije karakteristike parametara boje, međutim ovaj uzorak ostvario je najslabiji vizuelni doživljaj kod potrošača. Ukupna dopadljivost boje ocenjena potrošačkim testom iznosila je 5,179 za kontrolni uzorak, dok je optimalni uzorak 11 ocenjen sa 6,276, govoreći o tome da je boja optimalnog uzorka bila poznata i dopadljivija potrošačima.

Stepen želatinizacije (SG)

Kontrolni uzorak pokazao je stepen želatinizacije od 46,21%. Optimalni uzorak 11 pokazao je vrednost SG od 41,32%, približnu onoj kod kontrolnog uzorka. Ovaj rezultat ukazuje da dodatak korena cikorijske u kombinaciji sa određenim procesnim parametrima ne mora uticati negativno na vrednost SG, s obzirom na to da dodatak korena cikorijske kod uzorka 11 nije bitno umanjio vrednost stepena želatinizacije skroba u odnosu na čisto pirinčani kontrolni uzorak. Sa druge strane, vrednost SG određena kod ostalih flis proizvoda iz okvira ove disertacije kretala se u intervalu od 14,18 % do 69,70%.

Osobine pastiranja

Optimalni uzorak 11 imao je vrednosti IV od 2,58 Pa×s, VTP od 0,96 Pa×s i VHP od 1,87 Pa×s, dok je kontrolni uzorak pokazao 5,32 Pa×s, 0,88 Pa×s i 1,44 Pa×s, za IV, VTP i VHP, redom. Primetan je niži inicijalni viskozitet optimalnog uzorka 11 u odnosu na kontrolni uzorak, dok su vrednosti VTP i VHP bili približne. Kod oba uzorka zabeleženo je odsustvo PV, što govori u prilog tome da je skrob u visokoj meri ili potpuno želatinizirao tokom procesa ekstrudiranja. Može se zaključiti da je moguće proizvesti flips proizvod na bazi pirinčanog brašna obogaćen korenima cikorijske (optimalni uzorak 11) sa zadovoljavajućim pastirajućim osobinama (u pogledu vrednosti inicijalnog viskoziteta (2,58 Pa×s) i približno istog stepena želatinizacije (41,32%)), u odnosu na kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna (5,32 Pa×s za IV, i 46,21% za stepen želatinizacije).

Rezistentni skrob

Sadržaj RS u kontrolnom uzorku proizvedenom od čistog pirinčanog brašna iznosio je 2,070 g RS/100g, dok je optimalni uzorak 11 imao 0,139 g RS/100g. Sadržaj rezistentnog skroba u pirinčanom brašnu bio je 20,504 g/100 g. Prilikom procesa ekstrudiranja razrušava se kristalna struktura skroba, delimično ili potpuno, u zavisnosti od procesnih parametara ekstrudiranja, što je uslovalo smanjenje sadržaja RS za 89,90% nakon ekstrudiranja pirinčanog brašna (kontrolni uzorak). Opadanje vrednosti sadržaja RS nakon ekstrudiranja čistog pirinčanog brašna može biti opravdano različitim fenomenima koji se dešavaju prilikom procesa ekstrudiranja kao što su želatinizacija skroba, formiranje kompleksa amiloze i lipida, interakcije proteina i skroba, i druge složene reakcije (Hagenimana i sar., 2006).

Iako je sadržaj RS u kontrolnom uzorku bio veći u poređenju sa optimalnim uzorkom 11, važno je napomenuti da su dodatkom korena cikorijske ekstrudati obogaćeni i drugim vlaknima (inulin), kao i drugim komponentama sa potencijalnim zdravstvenim benefitima (minerali, seskviterpenske laktoni, polifenolna jedinjenja). Naime, rezistentni skrob ima slična svojstva kao prehrambena vlakna i pokazuje pozitivna svojstva na ljudsko zdravlje, jedina razlika u poređenju sa vlaknima je da RS ne menja kvalitet i senzorska svojstva proizvoda (Šárka i sar., 2015).

Metali i minerali

Kontrolni uzorak proizveden od čistog pirinčanog brašna imao je niže vrednosti sadržaja minerala i metala u odnosu na polaznu sirovinu od koje je proizveden. Pretpostavlja se da je došlo do gubitka dela ispitivanih elemenata na izlasku iz matrice. Poređenjem sadržaja metala i minerala zabeleženih kod kontrolnog uzorka i optimalnog uzorka 11 obogaćenog korenima cikorijske (u količini od 30%) jasno je uočljivo da je novi bezglutenski flips proizveden u okviru ove disertacije zapaženo bogatiji mineralima i metalima u pogledu svih ispitivanih elemenata. Naime, optimalni uzorak 11 imao je veći sadržaj Ca, K, Mg, Na, Fe, Mn, Zn i Cu (92,23%, 63,02%,

28,92%, 96,68%, 90,51%, 25,62%, 12,59% i 58,94%, redom), u odnosu na kontrolni uzorak od čistog pirinčanog brašna. U tom smislu, koren cikoriije se može smatrati značajnim dodatkom u smislu obogaćivanja proizvoda metalima i mineralima, uz napomenu da je optimalni uzorak 11 dobio najbolje ocene kako deskriptivne analize tako i potrošačkog testa, pogotovo kada su u pitanju ukupna arome (63,63) i ukupna dopadljivost (4,71). Imajući u vidu preporuke unosa ovih metala i minerala u ishrani (*engl. Recommended Dietary Allowances*, RDA), 100g optimalnog flips proizvoda sadrži 5,64% RDA za Ca, 7,22% RDA za K, 15,28% RDA za Mg, 7,05% RDA za Na, 24,01% RDA za Fe, 12,88% RDA za Mn, 7,55% RDA za Zn i 13,15% RDA za Cu, dok je ista porcija kontrolnog uzoraka pokazala manji sadržaj metala i minerala (izražen kao % RDA) od 0,44; 2,67; 10,86; 0,23; 2,28; 9,58; 6,60; i 5,40, za navedene elemente, redom. Konzumiranjem 100g optimalnog flips proizvoda izbegavaju se nuspojave prekomernog unosa navedenih elemenata, dok se sa druge strane njihov veći unos može postići konzumiranjem veće količine flipsa, ili kombinacijom sa raznovrsnom ishranom bogatom navedenim elementima.

Sadržaj slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja i antioksidativna aktivnost frakcija (slobodne i vezane) ispitane kroz DPPH[•], ABTS^{•+} i test redukcione sposobnosti

U optimalnom uzorku 11 utvrđeno je 28,54 mg GAE/g s.m. slobodnih polifenola i 7,01 mg GAE/g s.m. vezanih polifenolnih jedinjenja, što je gotovo trostruko veći sadržaj ispitivanih jedinjenja od interesa u poređenju sa kontrolnim uzorkom (8,39 mg GAE/g s.m. slobodnih polifenola i 2,45 mg GAE/g s.m. vezanih polifenolnih jedinjenja).

Antioksidativna aktivnost na DPPH[•] u frakciji slobodnih polifenolnih jedinjenja ispitivanih ekstrudata sa dodatkom korena cikoriije se kreće u opsegu od 0,39 mmol TE/g s.m. do 1,03 mmol TE/g SM, dok je u frakciji vezanih polifenolnih jedinjenja zabeležena aktivnost u rangju od 0,01 mmol TE/g s.m. do 0,06 mmol TE/g s.m. Najmanja antioksidativna aktivnost na DPPH[•] u slobodnoj i vezanoj frakciji zabeležena je u kontrolnom uzorku (gde je udeo korena cikoriije bio 0%), i to 0,11 mmol TE/g s.m. za DPPH_S i 0,00 mmol TE/g s.m. za DPPH_V. Nasuprot tome, najveća antioksidativna aktivnost, bilo frakcije slobodnih ili vezanih polifenolnih jedinjenja, određena je kod uzorka 3 sa 35,9 % korena cikoriije (1,03 i 0,06 mmol TE/g s.m, redom). Frakcija slobodnih polifenolnih jedinjenja uzorka 11 pokazala je antioksidativnu aktivnost na DPPH[•] radikale od 0,66 mmol TE/g s.m, što je bilo gotovo 6 puta više od kontrolnog uzorka (0,11 mmol TE/g s.m). Antioksidativna aktivnost frakcije vezanih polifenolnih jedinjenja optimalnog uzorka 11 bila je 0,04 mmol TE/g s.m, dok kod kontrolnog uzorka nije primećena (0,00 mmol TE/g s.m).

Antioksidativna aktivnost na ABTS^{•+} bila je u opsegu od 254,96 mmol TE/g s.m. do 498,21 mmol TE/g s.m. za frakciju slobodnih polifenolnih jedinjenja, odnosno od 57,37 mmol TE/g s.m. do 96,47 mmol TE/g s.m za frakciju vezanih polifenolnih jedinjenja. Najmanja antioksidativna aktivnost na ABTS^{•+} u frakciji slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja zabeležena je kod kontrolnog uzorku (85,73 mmol TE/g s.m. i 35,36 mmol TE/g s.m., redom). Antioksidativna aktivnost optimalnog uzorka 11 na ABTS^{•+} bila je 374,63 mmol TE/g s.m. i 75,87 mmol TE/g s.m. u frakcijama slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja, redom, što je znatno više nego kontrolni uzorak bez dodatka korena cikoriije.

Redukciona sposobnost frakcija slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja flips proizvoda obogaćenih korenom cikoriije bila je 45,62-108,97 mmol TE/g s.m., odnosno 1,87-5,14 mmol TE/g s.m., redom, dok je kontrola imala najmanju redukcionu sposobnost u obe ispitivane frakcije (14,85 mmol TE/g s.m. za frakciju slobodnih polifenolnih jedinjenja, tj. 0,76 mmol TE/g s.m. za frakciju vezanih polifenolnih jedinjenja). Optimalni uzorak 11 posedovao je skoro še-

stostruku redukcionu sposobnost (84,65 mmol TE/g s.m.) u odnosu na kontrolu kada je u pitanju frakcija slobodnih polifenolnih jedinjenja, odnosno gotovo petostruku vrednost RS_V (3,94 mmol TE/g s.m.) u poređenju sa kontrolom.

Inulin

Sadržaj inulina u flips proizvodima kreiranim u okviru ove disertacije kretao se u rasponu od 3,29 do 10,10% za uzorke sa 20% (uzorak 18), odnosno 35,9% (uzorak 17) dodatog korena cikoriije, čime je ostvaren prvobitno postavljeni cilj ove disertacije. Naime, uspešno je sprovedena ideja o razvoju inovativnih ekstrudiranih proizvoda sa sadržajem inulina u literaturno preporučenim granicama (do 10 g po porciji bez nuspojava). U kontrolnom uzorku nije zabeleženo prisustvo inulina, dok je u optimalnom uzorku 11 sadržaj inulina bio 5,36 %, što ukazuje na to da je formirani proizvod oplemenjen korenom cikoriije u pogledu prebiotika inulina.

Seskviterpenski laktoni (SL)

Prisustvo seskviterpenskih laktona kretao se u sledećim granicama: 0,51-9,13 $\mu\text{g/g}$ za laktucin, 0,56-5,52 $\mu\text{g/g}$ za laktukopikrin, 0,49-12,39 $\mu\text{g/g}$ za dihidrolaktucin i 0,00-4,07 $\mu\text{g/g}$ za dihidrolaktukopikrin. Uzorak 16 sadrži najveće koncentracije svih ispitivanih seskviterpenskih laktona u okviru ove disertacije, što je bilo i očekivano s obzirom na to da je ovaj uzorak imao najveći udeo korena cikoriije (40%). Sa druge strane, uzorak 13 beležio je najniže vrednosti sadržaja sva četiri laktona, što govori o tome da su uslovi ekstrudiranja primenjeni kod proizvodnje ovog uzorka najnepovoljnije uticali na sadržaj laktona. U kontrolnom uzorku nije utvrđeno prisustvo nijednog od ispitivanih SL, dok je optimalni uzorak 11 bio obogaćen sadržajem SL i to u količini od 5,05 $\mu\text{g/g}$, 2,22 $\mu\text{g/g}$, 4,54 $\mu\text{g/g}$, 1,43 $\mu\text{g/g}$, za laktucin, laktukopikrin, dihidrolaktucin i dihidrolaktukopikrin, redom.

Senzorska ocena

Sumiranjem rezultata deskriptivne senzorske analize u kojoj je učestvovalo 6 odabranih uzoraka sa dodatkom korena cikoriije (uzorci 3, 8, 9, 11, 12 i 18) i kontrola može se primetiti da je optimalni uzorak 11 zabeležio vrednosti ujednačenosti boje (10,8), oblika pora (22,9) i adhezivnosti (49,9) približne onima kod kontrole (4,3; 28,0; i 47,5; redom). Ukupna aroma bila je najizraženija kod optimalnog uzorka 11, u poređenju sa svim ostalim uzorcima (63,6).

Potrošačkim testom je optimalni uzorak 11 ocenjen dopadljivijim u pogledu izgleda (5,966), boje (6,276), teksture (6,069) i hrskavosti (6,552) u odnosu na kontrolni uzorak (5,393; 5,179; 5,393 i 6,143, redom). Štaviše, uzorak 11 rangiran je od strane potrošača kao najprihvatljiviji odmah nakon kontrolnog uzorka.

5. Zaključci

Iz istraživanja sprovedenih u okviru ove doktorske disertacije proistekli su sledeći zaključci:

- Prvi put je proizveden bezglutenski flips proizvod na bazi pirinčanog brašna sa dodatkom korena cikoriije za ljudsku upotrebu. Cilj je bio formulisanje novog prehrambenog proizvoda čime bi se obogatilo tržište flips proizvoda, ali i kreirao novi prehrambeni proizvod sa potencijalnom funkcionalnošću. Pored toga akcentovana je upotreba korena cikoriije s obzirom na to da je Srbija jedan od najvećih svetskih proizvođača ove sirovine (FAOSTAT, 2020). Takođe, favorizovano je uspostavljanje održive poljoprivredne proizvodnje sa ciljem izbegavanja nastanka otpada (tzv. „*food waste*“) tako što se u okviru ove disertacije u proizvodnji inovativnog flipsa koristio čitav koren cikoriije, bez zaoostatka nusproizvoda.
- Postupak proizvodnje inovativnog flips proizvoda izvršen je na dvopužnom ekstruderu prilikom čega je formirano ukupno 20 flips proizvoda variranjem parametara proizvodnje (sadržaj vlage polazne smeše od 16,3 do 22,5%, brzina obrtanja pužnice od 500 do 900 o/min, i sadržaj korena cikoriije od 20 do 40%). Dobijeni proizvodi okarakterisani su u fizičkom, hemijskom i senzorskom smislu.

- Prvi put je primenjeno modelovanje ubrzanog regresionog stabla (*engl. Boosted regression tree, BRT*) za predviđanje uticaja procesnih parametara ekstrudiranja na karakteristike flips proizvoda. Pored toga, izvršeno je poređenje predviđačkih sposobnosti pomenutog BRT modela sa onim koje je dobila veštačka neuronska mreža (*engl. Artificial neural network, ANN*).
- Aksijalna ekspanzija (AE) ekstrudata opadala je sa povećanjem sadržaja vlage u polaznoj smeši do određene granice (19%), dok je sa daljim povećanjem sadržaja vlage (>19%) AE rasla. Smanjenje AE se može objasniti smanjenjem elastičnosti testa u cevi ekstrudera pri sadržaju vlage do 19%, dok je veća količina vlage u smeši (>19%) doprinela intenzivnijem topljenju smeše smanjujući pik viskoziteta rastopljene smeše, pri čemu se favorizovalo aksijalno širenje ekstrudata. Radijalna (RE) i lateralna (LE) ekspanzija su opadale sa povećanjem sadržaja vlage usled plastifikirajućeg efekta vode. Visok sadržaj vlage doveo je do smanjenja indeksa ekspanzije (IE) usled smanjenja sile trenja i stvaranja slabijeg pritiska na matrici. Povećan sadržaj vlage uslovljavao je razblaživanje materijala u cevi ekstrudera, omogućavao njegov brži i lakši protok, i skraćivao vreme neophodno za ekstruziono kuvanje. Ovi uslovi su verovatno odgovorni za inhibiranje formiranja velikih vazdušnih mehurova pa samim tim i nastanak proizvoda smanjene ekspanzije.
- Pri brzini obrtanja pužnice do 700 o/min AE je opadala, nakon čega se povećavala (>700 o/min). Povećanje brzine obrtanja pužnice pospešilo je aksijalno širenje usled manjeg pritiska na matrici. RE i LE su rasle sa povećanjem brzine obrtanja pužnice usled povećanja sile smicanja koje se prenose sa pužnica na materijal unutar cevi ekstrudera, i tako podstiče formiranje uniformnijeg testa koje potom ispoljava bolje ekspanzione karakteristike. Povećanje brzine obrtanja pužnice dovelo je do porasta IE usled postepenog povećanja sile smicanja unutar cevi ekstrudera odgovornih za makromolekularnu degradaciju materijala. Ova okolnost dovodi do postizanja ujednačenog testa koje posledično dobija bolja svojstva ekspanzije pri izlasku iz matrice.
- Dodatak sirovine bogate vlaknima kao što je koren cikorije mogao je imati uticaj na povećanje viskoznih sila unutar ekstrudera pri čemu je favorizovana AE. Veća AE može biti opravdana smanjenjem svojstava proticanja mase usled prisustva inulina poreklom iz korena cikorije koji se takmiče sa skrobom za dostupnu vodu. Zamenom dela skroba sirovinom bogatom vlaknima smanjuje se ekspanzija skroba u radijalnom pravcu. Komponente poput inulina iz korena cikorije nisu kompatibilne sa skrobom i verovatno bivaju poravnane aksijalno usled sile smicanja u ekstruderu, ometajući na taj način radijalno širenje. Vlakna naime smanjuju elastične osobine skroba što uzrokuje smanjeno bubrenje i redukciju RE i LE. Povećanje udela korena cikorije negativno je uticao na IE jer vlakna inulina ometaju formiranje skrobnog filma oko vazdušastih ćelija redukujući njihovo formiranje i uvećanje.
- Porast sadržaja vlage uticao je na porast nasipne mase (NM) usled zadržavanja vlage u cevi ekstrudera što uzrokuje veću razliku pritiska na izlasku iz matrice i verovatno onemogućava ekspanziju, te generiše kompaktnije proizvode. Poznato je da su ekspanzione karakteristike flips proizvoda i njihova nasipna masa u negativnoj korelaciji što se vidi i iz rezultata ove disertacije ($r=-0,91$, $p<0,001$). Povećanje brzine obrtanja pužnice

rezultiralo je nižom nasipnom masom jer velika brzina obrtanja pužnice ubrzava nagli pad pritiska na matrici, što daje ekstrudate niže nasipne mase. Inulin iz korena cikoriije može se smatrati odgovornim za blago povećanje nasipne mase zbog uticaja na viskozitet testa i formulisanje kompaktne strukture proizvoda.

- Primećen je isti trend ponašanja parametra zapremine i prividne zapremine (o čemu govori pozitivna korelacija određena između ovih parametara i to od $r=0,93$, $p\leq 0,001$), kao i gustine odnosno prividne gustine flips proizvoda (o čemu govori pozitivna korelacija određena između ovih parametara i to od $r=0,94$, $p\leq 0,001$). Sa druge strane, zabeležene su negativne korelacije između zapremine i gustine ekstrudata ($r=-0,93$, $p\leq 0,001$), odnosno prividne zapremine i prividne gustine ($r=-0,85$, $p\leq 0,001$). Povećanje sadržaja vlage smeše povećavalo je gustinu ekstrudata. Porast sadržaja vlage smanjuje topljenje granula skroba, čime se povećava prividna gustina. Vlaga verovatno utiče na promene u molekularnoj strukturi amilopektina iz skrobnih materijala. Visoke brzine obrtanja pužnice smanjuju viskozitet topljenja, ubrzavaju rast mehurića i daju bolje ekspanđovane proizvode sa velikom zapreminom, i manjom (prividnom) gustinom. Dodatak korena cikoriije je prouzrokovao povećanje gustine i smanjenje zapremine zbog prisustva inulina. Sirovine bogate vlaknima kao što je koren cikoriije najviše doprinose povećanju gustine proizvoda jer utiču na efikasnost „pakovanja“ molekula. Linearni polimeri kao što su prehrambena vlakna (inulin) su sposobni da se bolje pakuju.
- Sadržaj vlage u polaznim smešama gotovo da nije imao uticaj na poroznost ispitivanih ekstrudata, s tim da je zabeležen tek blagi porast ove karakteristike ekstrudata sa porastom vlage. Poroznost ekstrudata rasla je sa porastom brzine obrtanja pužnice. Zapravo, povećanje brzine obrtanja pužnice izazvalo je brže istiskivanje testa kroz otvor matrice, nagli pad pritiska i proizvodnju više pare što je doprinelo boljoj ekspanziji i većoj poroznosti flips proizvoda. Dodatak korena cikoriije negativno je uticao na poroznost finalnih proizvoda. Inulin poreklom iz korena cikoriije mogao bi biti odgovoran za ovo zapažanje, usled negativnog uticaja na zidove ćelija skrobnog materijala, sprečavanje ekspanzije i nastanak gustih i manje poroznih struktura.
- Rad hrskavosti (C_w) predstavlja rad koji je potrebno uložiti da dođe do pucanja uzorka, i veće vrednosti ovog parametra ukazuju na grub i manje hrskav proizvod. Indeks hrskavosti (C_i) je pozitivna teksturna osobina flips proizvoda, gde veće vrednosti C_i govore o hrskavijem proizvodu. C_w i C_i su obrnuto proporcionalni, što je pokazano i u rezultatima ove disertacije. Porast vlage uticao je na formiranje manje hrskavih proizvoda sa višim vrednostima C_w i nižim vrednostima C_i , usled mogućeg nastanka manjeg broja vazdušastih mehurića i unutrašnjih ćelija ekstrudata. Naime, uslovi povećanog sadržaja vlage mogu izazvati takve promene skroba koje favorizuju nastanak robustnih struktura koje nisu lako lomljive. Potrebno je uložiti manji rad da se razruši struktura tanjih zidova ćelija koje se formiraju pri bržem obrtanju pužnice pri čemu se beleži pad C_w i porast C_i . Povećanje udela korena cikoriije uticalo je na povećanje C_w i snižavanje C_i . Naime, dodatak korena cikoriije bogatog inulinom može uticati na povećanje debljine zidova ćelija ekstrudata što uslovljava ulaganje veće vrednosti rada da se naruši takva struktura, čime se posledično smanjuje indeks hrskavosti.

- Porast vlage polazne smeše za ekstrudiranje, kao i porast sadržaja korena cikoriije bogatog inulinom, rezultirali su proizvodima za koje je bila potreba velika sila kompresije (F) kako bi im se narušila struktura. Takvi uslovi proizvodnje uticali su na smanjenje broja formiranih pora, na prevremeno pucanje vazdušnih ćelija i samim tim na formiranje manje vazdušastih struktura, dajući zbijeno pakovane ekstrudate. Ova pojava prvenstveno se može pripisati uticaju sadržaja vlage na ponašanje skroba tokom ekstrudiranja, dok inulin može uticati na povećanje jačine zidova ćelija pružajući veći otpor sili tokom kompresije. Porast brzine obrtanja pužnice dao je lakše lomljive ekstrudate te samim tim i niže vrednosti sile kompresije, što može biti objašnjeno pojavom slabljenja struktura manjih mehurića formiranih pri takvim uslovima proizvodnje.
- Povećanje vlage polazne smeše rezultiralo je ekstrudatima sa manjim vrednostima frekvencije loma strukture (Nsr). Povećanje sadržaja vlage tokom ekstrudiranja smanjuje specifičnu mehaničku energiju i favorizuje nastanak grubih struktura koje pružaju veliki otpor zida ćelija i manji broj lomova strukture pri dejstvu sile. Porast brzine obrtanja pužnice uticao je pozitivno na vrednosti Nsr, usled formiranja krhkih struktura koje su beležile veći broj pikova tokom loma. Obogaćivanje ekstrudata korenom cikoriije uslovalo je smanjenje vrednosti Nsr usled mogućeg formiranja homogenije raspodele veličina vazdušnih ćelija. Lom zidova ćelija približne čvrstoće beleži se kao istovremeni lom, smanjujući zabeleženi broj pikova i samim tim vrednost Nsr.
- Porast vlage rezultirao je proizvodima povećane tvrdoće (Fmax), jer voda može imati ulogu plastifikatora smeše, onemogućiti formiranje rastresitih struktura, i dati kompaktne proizvode. Sa porastom brzine obrtanja pužnice zabeleženo je smanjenje tvrdoće proizvoda. Brže obrtanje pužnice stvara jaču silu koja brže istiskuje materijal iz cevi ekstrudera i formira bolju ekspanziju proizvoda, dajući lakše i manje tvrde proizvode. Povećanje sadržaja korena cikoriije negativno je uticalo na teksturne karakteristike proizvoda povećavajući im tvrdoću. Pretpostavlja se da je prisustvo prebiotskog vlakna inulina negativno uticalo na tvrdoću proizvoda usled uticaja na debljinu zida ćelija. Inulin verovatno može pružiti strukturni integritet ekstrudatima usled interakcije sa drugim komponentama prisutnim u smeši za ekstrudiranje.
- Porast sadržaja vlage i inulina smanjuju broj pikova (NoP) tokom kompresije. Zaključeno je da je povećanje vrednosti ovih nezavisnih promenljivih (vlage, sadržaja korena cikoriije) dovelo do formiranja grube strukture sa povećanom prividnom gustinom. Naime, povećanje udela korena cikoriije uslovalo je smanjenje količine skroba u smešama za ekstrudiranje, što je negativno uticalo na formiranje vazdušastih ekstrudata koji bi beležili veći broj pikova prilikom kompresije. Povećana brzina obrtanja pužnice je bila odgovorna za nastanak većeg broja ćelija proizvoda sa manjom debljinom zidova i time povećavala broj pikova tokom kompresije.
- Porast vlage polaznog materijala uticao je na smanjenje vrednosti svetloće (L*) i udeo žute/plave boje (b*), dok je kod udela crvene/zelene boje (a*) zabeleženo samo blago smanjenje. Povećan sadržaj vlage može doprineti biohemijskim transformacijama kao što su Maillard-ove reakcije tamnjenja, što izaziva redukciju parametara L*, a* i b*. Sa povećanjem brzine obrtanja pužnice povećavale su se vrednosti L*, a* i b*. Ovi rezultati

moгу biti objašnjeni kraćim zadržavanjem sirovine u cevi ekstrudera usled veće brzine obrtanja pužnice, pri čemu je skraćeno vreme degradacije pigmenta boje. Dodatkom korena cikoriје u pirinčanu bazu smanjena je svetloća ekstrudata i povećane su vrednosti parametara crvene i žute boje, usled tamnije boje korena cikoriје i prisustva inulina koji doprinosi povećanju stepena neenzimske reakcije tamnjenja.

- Porast sadržaja vlage polazne smeše do 20% uticao je na rast stepena želatinizacije skroba, dok je dalje povećanje (>20%) izazvalo njegovo smanjenje. Povećanje količine vlage u polaznoj smeši može dovesti do smanjenja viskoznosti skroba i podsticanja molekula skroba da se slobodno kreću, prilikom čega toplota lakše prodire u materijal i samim tim pospešuje želatinizaciju. Porast vlage iznad 20% izazvao je smanjenje stepena želatinizacije verovatno zbog zaštitnog efekta vode čime se postiže očuvanje molekula skroba. Početno povećanje brzine obrtanja pužnice (od 500 do 650 o/min) uticalo je na smanjenje stepena želatinizacije skroba usled uticaja obrtanja pužnice na smanjenje inicijalnog viskoziteta mase, dok su veće vrednosti obrtanja pužnice (iznad 650 o/min) izazvale povećanje stepena želatinizacije skroba usled intenzivnijeg mešanja i ujednačenog zagrevanja testa. Udeo korena cikoriје pokazao je negativan uticaj na stepen želatinizacije, usled smanjenja udela skroba neophodnog za želatinizaciju zamenom sa drugom neskrobnom sirovinom kakav je koren cikoriје.
- Povećanje vlage polazne smeše pokazalo je pozitivan uticaj na pik viskoziteta (PV), kao i na viskozitet tople paste (VTP) i viskozitet hladne paste (VHP) ($M > 19\%$), dok je vrednost inicijalnog viskoziteta (IV) blago opadala kada je vlaga bila veća od 19%. Ova zapažanja mogu biti objašnjena osobinom vode da deluje kao plastifikator i smanji sile smicanja u cevi ekstrudera utičući na gorepomenute promene viskoziteta. Povećanje brzine obrtanja pužnice uslovlilo je povećanje vrednosti IV i opadanje vrednosti PV, VTP i VHP. Ova zapažanja mogu biti objašnjena činjenicom da visoke vrednosti brzine obrtanja pužnice povećavaju intenzitet i stepen kuvanja tj. želatinizacije skroba, dajući visoke vrednosti IV. Povećanje brzine obrtanja pužnice (iznad 800 o/min) verovatno može pospešiti porast mehaničkog smicanja čime se smanjuje viskozitet rastopljenog skroba dajući niske vrednosti PV, VTP i VHP. Dodatak korena cikoriје u pirinčano brašno uslovlilo je opadanje IV i PV, dok su rasle vrednosti VTP i VHP. Za ovo zapažanje može biti odgovoran inulin poreklom iz korena cikoriје. Inulin kao prehrambeno vlakno može vezati dostupnu vodu koja je neophodna skrobu za želatinizaciju, čime se smanjuju pastirajuće osobine proizvoda.
- Povećanje sadržaja vlage uticalo je na povećanje sadržaja rezistentnog skroba (RS). Veći sadržaj vode doveo je do retrogradacije skroba prilikom čega su se verovatno formirale jače vodonične molekulske veze u amiloznim frakcijama, a povećan sadržaj amiloze uslovljava formiranje više RS. Brzine obrtanja pužnice niže od 750 /min mogle su uslovliti duže zadržavanje mase u cevi ekstrudera, te proizvesti ekstrudate sa smanjenim sadržajem RS. Dalji porast brzine obrtanja pužnice (iznad 750 o/min) uslovlilo je porast sadržaja RS što se potencijalno može povezati sa porastom temperature u skrobnoj masi dajući veće količine želatiniziranog skroba, čija retrogradacija dovodi do formiranja RS. Udeo korena cikoriје do 30% uslovljavao je povećavanje sadržaja RS, dok je dalje povećanje udela korena cikoriје negativno uticalo na sadržaj RS. Povećanje sadržaja RS

nakon dodatka korena cikoriije (do 30%) može biti objašnjeno fenomenom formiranja kompleksa amiloze i lipida poreklom iz korena cikoriije tokom procesa ekstrudiranja, što dovodi do smanjenog bubrenja skrobnih granula i intenziviranja procesa enzimske hidrolize skroba. Sa druge strane, dodatak korena cikoriije u količini većoj od 30% može favorizovati interakciju skroba i vlakana poreklom iz cikoriije, čime je smanjena količina dostupnog skroba neophodnog za formiranje RS.

- Povećanje sadržaja vlage polazne smeše pozitivno je uticalo na sadržaj metala i minerala u flips proizvodima. Takođe se može primetiti da je u pojedinim slučajevima porast vlage do određene vrednosti (19%) uslovljavao smanjenje sadržaja određenih minerala i metala (Ca, K, Zn i Pb), da bi se sa daljim povećanjem nivoa vlage (iznad 19%) njihov sadržaj uvećao. Povećanje sadržaja ispitivanih elemenata u ekstrudatima može biti posledica njihove akumulacije u vodi koja je korišćena za navlaživanje smeša. Povećanje brzine obrtanja pužnice pokazalo je negativan uticaj na sadržaj ispitivanih elemenata, izuzev kod Zn. Povećanje brzine obrtanja pužnice moglo je uticati na efikasnije vezivanje jona Zn sa vlaknima čime se može doprineti očuvanju ovog elementa tokom procesa ekstrudiranja. Brzina obrtanja pužnice iznad 700 o/min uslovljava povećanje sadržaja Mg, što je potencijalno posledica uništavanja antinutritivnih jedinjenja (poput tanina i fitata) pri takvim uslovima proizvodnje čime se povoljno utiče na dostupnost ovog minerala. Dodatak korena cikoriije očekivano je pokazao pozitivan uticaj na sadržaj svih ispitivanih elemenata, s obzirom na to da je ova sirovina znatno bogatija mineralima i metalima od interesa za ovaj novokreirani proizvod, u poređenju sa pirinčanim brašnom.
- Porast sadržaja vlage negativno je uticao na sadržaj polifenolnih jedinjenja. Pri uslovima povećanog sadržaja vlage moguće je da se favorizuje dekarboksilacija fenolnih kiselina. Tokom procesa ekstrudiranja može doći do polimerizacije fenolnih jedinjenja usled čega se smanjuje mogućnost njihovog ekstrahovanja, a posledično se smanjuje i antioksidativna i redukciona sposobnost, što je pokazano kroz rezultate tri primenjena testa u ovoj disertaciji (test na DPPH[•] radikale, ABTS^{•+} radikale, i redukciona sposobnost). Povećanje brzine obrtanja pužnice doprinelo je povećanju sadržaja polifenolnih jedinjenja do čega dolazi verovatno usled osobađanja polifenolnih jedinjenja iz zidova ćelija matriksa tokom procesa ekstrudiranja. Pri velikim brzinama obrtanja pužnice može doći do formiranja proizvoda neenzimskog tamnjenja fenolne strukture, što se potencijalno odrazilo na povećan finalni sadržaj slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja, a posledično i pozitivno na antioksidativnu i redukcionu sposobnost flips proizvoda. Dodatak korena cikoriije doprineo je povećanju sadržaja slobodnih i vezanih polifenolnih jedinjenja, jer je koren cikoriije dobar izvor polifenolnih jedinjenja.
- Sofisticirana analitička metoda za detekciju i kvantifikaciju inulina pojednostavljena je u pogledu izbegavanja koraka hidrolize i definisani su optimalni uslovi rada na HPLC (visokopritisnoj tačnoj hromatografiji). Optimalni uslovi ekstrakcije inulina podrazumevali su odnos sirovine i ekstrahovnog sredstva (vode) 1:10, ekstrakciju 60 minuta na 80 °C uz dodatno ekstrahovanje u ultrazvučnom kupatilu (30 minuta), i taloženje supernatanta sa četiri puta većom zapreminom acetona u odnosu na zapreminu supernatanta tokom noći na 4 °C. Kolona korišćena za detekciju analita od interesa (Rezex RSO Oligosaccharide Ag⁺, Phenomenex, Nemačka) zagrevana je na 80 °C, protok mobilne faze

(vode) iznosio je 0,3 ml/min, dok je sama analiza trajala 16 minuta. Optimalni uslovi rada detektora bili su sledeći: temperature uparivača (evaporatora) i raspršivača (nebulajzera) od 80 °C, protok gasa od 1,3 SLM (engl. Standard liters per minut, Standardna litra po minuti), i pojačanje signala detektora u iznosu od 1.

- Sadržaj vlage iznad 19% smanjivao je sadržaj inulina usled njegovog rastvaranja u vodi tokom procesa ekstrudiranja, čime je inulin izloženiji silama smicanja i razgradnji tokom proizvodnje. Porast brzine obrtanja pužnice imao je gotovo neznatan uticaj na sadržaj inulina, sa malom tendencijom opadanja sadržaja inulina usled porasta brzine obrtanja pužnice. Ovaj fenomen može biti objašnjen činjenicom da brže obrtanje pužnice izaziva intenzivnije delovanje sila smicanja odgovornih za degradaciju molekula poput inulina. Najveći pozitivan uticaj na porast inulina imao je rast udela korena cikoriije u flips proizvodima, što je bilo i za očekivati s obzirom na to da je koren cikoriije jedan od najbogatijih izvora inulina.
- Porast sadržaja vlage imao je pozitivan uticaj na sadržaj svih ispitivanih seskviterpenskih laktona (SL) kod formiranih flips proizvoda a usled uticaja većeg sadržaja vlage na oslobađanje SL iz vezanih formi i složenih kompleksa. Porast brzine obrtanja pužnice do 700 o/min izazivao je porast sadržaja SL, dok je dalji rast iznad 700 o/min negativno uticao na sadržaj laktona u flips proizvodima. Pretpostavlja se da veće brzine obrtanja pužnice uzrokuju nastanak jačih sila smicanja, trenja i zagrevanja pri čemu može doći do delimične ili potpune degradacije ispitivanih laktona. Sa druge strane, brzine obrtanja pužnice do 700 o/min verovatno uzrokuju oslobađanje laktona vezanih u složenim kompleksima sa drugim jedinjenjima prisutnim u smešama pirinča i korena cikoriije, što je uzrokovalo povećanje biodostupnosti ispitanih jedinjenja. Porast sadržaja korena cikoriije izazvao je povećanje sadržaja svih SL u formiranim flips proizvodima. Ovi rezultati su smisleni i opravdani činjenicom da je koren cikoriije bogat seskviterpenskim laktonima.
- Senzorskom analizom se među odabranim ekstrudatima za oceljivanje izdvojio uzorak 11 zbog svoje smeđe-žute boje i umerene hrskavosti, rangirajući se prema prihvatljivosti od strane potrošača odmah nakon kontrolnog uzorka. Ovaj uzorak zabeležio je dobre osobine ujednačenosti boje, oblika pora, intenziteta ukupne arome kao i ukupne dopadljivosti izgleda, teksture, boje i hrskavosti među ispitivanim uzorcima. Ova zapažanja govore u prilog tome da se novokreirani flips proizvodi sa korenom cikoriije mogu dopasti potrošačima uz primenu adekvatnih uslova proizvodnje.
- U cilju definisanja optimalnih uslova proizvodnje za dobijanje proizvoda željenih karakteristika sprovedene su tri zasebne optimizacije, primenom veštačke neuronske mreže (ANN) i standardizovane ocene (SS). Prva optimizacija odnosila se na pronalaženje uzorka optimalnih fizičko-hemijskih osobina, druga optimizacija bazirala se na određivanju uzorka sa najboljim deskriptivnim senzorskim karakteristikama, dok je treća optimizacija dala odgovor koji se uzorak najviše dopao potrošačima. Rezultati sve tri optimizacije bili su usaglašeni i za optimalni rezultat dali uslove ekstrudiranja i fizičko-hemijske i senzorske osobine proizvoda koji odgovaraju uzorku 11. Definisani optimalni uslovi ekstrudiranja bili su 16,3% vlage, 700 o/min za brzinu obrtanja pužnice i udeo korena cikoriije od 30%.

6. Literatura

1. Aberham, A., Cicek, S. S., Schneider, P., Stuppner, H. (2010). Analysis of sesquiterpene lactones, lignans, and flavonoids in wormwood (*Artemisia absinthium* L.) using high-performance liquid chromatography (HPLC)-mass spectrometry, reversed phase HPLC, and HPLC-Solid phase extraction-nuclear magnetic resonance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(20), 10817–10823.
2. Abozed, S. S., Abdelrashid, A., El-kalyoubi, M., Hamad, K. I. (2009). Production of inulin and high-fructose syrup from Jerusalem artichoke tuber (*Helianthus tuberosus* L.). *Annals of Agricultural Science*, 54(2), 417-423.
3. Ačkar, Đ., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Panak Balentić, J., Šubarić, D. (2018). Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47(2017), 517–524.
4. Agarwal, S., Chauhan, E. S. (2019). Extrusion processing: The effect on nutrients and based products. *The Pharma Innovation Journal*, 8(4), 464–470.
5. Ahmed, W., Rashid, S. (2019). Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1), 1–13.
6. Ajita, T. (2018). Extrusion cooking technology: An advanced skill for manufacturing of extrudate food products. *Extrusion of metals, polymers, and food products*, 197–210, 261–272.
7. Akalin, A. S., Erişir, D. (2008). Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. *Journal of Food Science*, 73(4), 1–5.

8. Akhtar, S., Ismail, T., Fraternali, D., Sestili, P. (2015). Pomegranate peel and peel extracts: chemistry and food features. *Food Chemistry*, 174, 417–425.
9. Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., Gupta, K. (2016a). Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445–473.
10. Alam, M. S., Pathania, S., Sharma, A. (2016b). Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 135–144.
11. Alam, S. A., Pentikäinen, S., Närväinen, J., Katina, K., Poutanen, K., Sozer, N. (2019). The effect of structure and texture on the breakdown pattern during mastication and impacts on in vitro starch digestibility of high fibre rye extrudates. *Food and Function*, 10(4), 1958–1973.
12. Aleksovski, A., Vervaet, C., Dreu, R. (2016). Hot-melt extrusion and prilling as contemporary and promising techniques in the solvent free production of solid oral dosage forms, based on solid dispersions. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*, 62(1), 3–24.
13. Ali, S., Singh, B., Sharma, S. (2017). Development of high-quality weaning food based on maize and chickpea by twin-screw extrusion process for low-income populations. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3).
14. Alonso, R., Rubio, L. A., Muzquiz, M., Marzo, F. (2001). The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals. *Animal Feed Science and Technology*, 94(1–2), 1–13.
15. Al-Snafi, A. E. (2016). Medical importance of *Cichorium intybus* – A review. *Journal of Pharmacy*, 6(3), 41–56.
16. Altan, A., McCarthy, K. L., Maskan, M. (2009). Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. *Journal of Food Science*, 74(2), 77–86.
17. Amorim, M. H. R., Gil Da Costa, R. M., Lopes, C., Bastos, M. M. S. M. (2013). Sesquiterpene lactones: Adverse health effects and toxicity mechanisms. *Critical Reviews in Toxicology*, 43(7), 559–579.
18. Anton, A. A., Luciano, F. B. (2007). Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria*, 5(4), 245–251.
19. AOAC International (2006). Official methods of analysis (17th ed.). Gaithersburg, MS: Association of Official Analytical Chemists International.
20. Arivalagan, M., Manikantan, M. R., Yasmeen, A. M., Sreejith, S., Balasubramanian, D., Hebbar, K. B., Kanade, S. R. (2018). Physicochemical and nutritional characterization of coconut (*Cocos nucifera* L.) haustorium based extrudates. *LWT- Food Science and Technology*, 89, 171–178.
21. Arribas, C., Cabellos, B., Cuadrado, C., Guillamón, E., Pedrosa, M. M. (2019). Bioactive compounds, antioxidant activity, and sensory analysis of rice-based extruded snacks-like fortified with bean and carob fruit flours. *Foods*, 8(381), 1–13.
22. Ashwar, B. A., Gani, A., Gani, A., Ahmad, M., Shah, A. (2021). Encapsulating probiotics in novel resistant starch wall material for production of rice flour extrudates. *LWT*, 140, 110839.
23. Athanasiadou, S., Githiori, J., Kyriazakis, I. (2007). Medicinal plants for helminth parasite control: facts and fiction. *Animal*, 1(9), 1392–1400.

24. Atsamnia, D., Hamadache, M., Hanini, S., Benkortbi, O., Oukrif, D. (2017). Prediction of the antibacterial activity of garlic extract on *E. coli*, *S. aureus* and *B. subtilis* by determining the diameter of the inhibition zones using artificial neural networks. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 287–295.
25. Azay-Milhau, J., Ferrare, K., Leroy, J., Aubaterre, J., Tournier, M., Lajoix, A., Tousch, D. (2013). Antihyperglycemic effect of a natural chicoric acid extract of chicory (*Cichorium intybus* L.): A comparative *in vitro* study with the effects of caffeic and ferulic acids. *Journal of Ethnopharmacology*, 150(2), 755–760.
26. Baert, J. R. A. (1997). The effect of sowing and harvest date and cultivar on inulin yield and composition of chicory (*Cichorium intybus* L.) roots. *Industrial Crops and Products*, 6(3–4), 195–199.
27. Bahmani, M., Shahinfard, N., Rafieian-Kopaei, M., Saki, K., Shahsavari, S., Taherikalani, M., Ghafourian, S., Baharvand-Ahmadi, B. (2015). Chicory: A review on ethnobotanical effects of *Cichorium intybus* L. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Science*, 8(4), 672–682.
28. Bais, H. P., Ravishankar, G. A. (2001). *Cichorium intybus* L - Cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology, with an emphasis on current status and future prospects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(5), 467–484.
29. Bais, H. P., Dattatreya, B. S., Ravishankar, G. A. (2003). Production of volatile compounds by hairy root cultures of *Cichorium intybus* L. under the influence of fungal elicitors and their analysis using solid-phase micro extraction gas chromatography – mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 769–774.
30. Bajaj, Y. R. S. (1988). Biotechnology in Agriculture and Forestry 6. *Crops II*, 1–683.
31. Bakalov, I. Y., Petrova, T. V, Ruskova, M. M., Karadzhova, K. D. K., Penov, N. D. (2016). The effect of extrusion variables on the colour of bean-based extrudates. *Bulgarian Chemical Communications*, 48, 407–411.
32. Bashir, S., Sharif, M. K., Butt, M. S., Rizvi, S. S. H., Paraman, I., Ejaz, R. (2017). Preparation of micronutrients fortified spirulina supplemented rice-soy crisps processed through novel supercritical fluid extrusion. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3).
33. Beharav, A., Ben-David, R., Malarz, J., Stojakowska, A., Michalska, K., Doležalová, I., Lebeda, A., Kisiel, W. (2010). Variation of sesquiterpene lactones in *Lactuca aculeata* natural populations from Israel, Jordan and Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38, 602–611.
34. Beirão-da-Costa, S., Duarte, C., Bourbon, A. I., Pinheiro, A. C., Januário, M. I. N., Vicente, A. A., Beirão-da-Costa, M. L., Delgadillo, I. (2013). Inulin potential for encapsulation and controlled delivery of Oregano essential oil. *Food Hydrocolloids*, 33(2), 199–206.
35. Benes, E., Bajusz, D., Gere, A., Fodor, M., Rácz, A. (2020). Comprehensive chemometric classification of snack products based on their near infrared spectra. *LWT*, 133(August).
36. Bergman, C. J., Gualberto, D. G., Weber, C. W. (1997). Mineral binding capacity of dephytinized insoluble fiber from extruded wheat, oat and rice brans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 51(4), 295–310.
37. Berrios, J. D. J., Morales, P., Cámara, M., Sánchez-Mata, M. C. (2010). Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*, 43(2), 531–536.

38. Bhagya Raj, G. V. S., Dash, K. K. (2020). Comprehensive study on applications of artificial neural network in food process modeling. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–28.
39. Bischoff, T. A., Kelley, C. J., Karchesy, Y., Laurantos, M., Nguyen-Dinh, P., Arefi, A. G. (2004). Antimalarial activity of lactucin and lactucopicrin: sesquiterpene lactones isolated from *Cichorium intybus* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 95, 455–457.
40. Bisharat, G. I., Oikonomopoulou, V. P., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., Maroulis, Z. B. (2013). Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53(1), 1–14.
41. Blecker, C., Chevalier, J. P., Fougnes, C., Van Herck, J. C., Deroanne, C., Paquot, M. (2003). Characterisation of different inulin samples by DSC Influence of polymerisation degree on melting temperature. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 71(1), 215–224.
42. Borah, A., Lata Mahanta, C., Kalita, D. (2016). Optimization of process parameters for extrusion cooking of low amylose rice flour blended with seeded banana and carambola pomace for development of minerals and fiber rich breakfast cereal. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 221–232.
43. Bossard, S., Leveque, M., Marboutin, F. (2006). Use of a chicory flour for preparing a food dough. Patent No. US 2006/0141117 A1.
44. Boue, S. M., Daigle, K., Beaulieu, J. C., Heiman, M. (2019). Rice flour and bran enriched with blueberry polyphenols increases storage stability and decreases arsenic content in bran. *Foods*, 8(7), 276.
45. Brand-Williams, W., Cuvelier, E. M., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
46. Brennan, C. S., Kuri, V., Tudorica, C. M. (2004). Inulin-enriched pasta: Effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86(2), 189–193.
47. Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E., Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 22(10), 570–575.
48. Brennan, M. A. (2012). Modulating the glycaemic response of ready to eat extruded snack products utilising dietary fibre and fibre rich waste stream materials. Departman za menadžment hrane i turizma, Fakultet Hollings Faculty, Mančester Metropolitan Univerzitet, Doktorska disertacija.
49. Brlek, T., Pezo, L., Voća, N., Krička, T., Vukmirović, Đ., Čolović, R., Bodroža-Solarov, M. (2013). Chemometric approach for assessing the quality of olive cake pellets. *Fuel Processing Technology*, 116, 250–256.
50. Brnčić, M., Tripalo, B., Ježek, D., Semenski, D., Drvar, N., Ukrainczyk, M. (2006). Effect of twin-screw extrusion parameters on mechanical hardness of direct-expanded extrudates. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 31(5), 527–
51. Caba, l G., D. C., Melo, R., A., Lissbrant, S., Gallego, C., S., La O Hechavarría, M. de la L., Tofiño, R., A. (2014). Highly nutritional cookies based on a novel bean-cassava-wheat flour mix formulation. *Agronomia Colombiana*, 32(3), 407–416.
52. Cabrera-Chávez, F., Calderón de la Barca, A. M., Islas-Rubio, A. R., Marti, A., Marengo, M., Pagani, M. A., Bonomi, F., Iametti, S. (2012). Molecular rearrangements in extrusion processes for the production of amaranth-enriched, gluten-free rice pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 47(2), 421–426.

53. Camire, M. E., Camire, A., Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29(1)(July 2012), 35–57.
54. Capriles, V. D., Soares, R. A. M., Pinto E Silva, M. E. M., Arêas, J. A. G. (2009). Effect of fructans-based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(10), 1895–1901.
55. Capriles, V. D., Arêas, J. A. G. (2013). Effects of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycemic response of gluten-free breads. *Food and Function*, 4(1), 104–110.
56. Cardarelli, H. R., Argon-Alegro, L. C., Alegro, J. H. A., de Castro, I., Saad, S. M. I. (2007). Effect of phytate and storage conditions on the development of the ‘hard-to-cook.’ *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1243(December 2007), 1237–1243.
57. Cardarelli, Haïssa R., Buriti, F. C. A., Castro, I. A., Saad, S. M. I. (2008). Inulin and oligofructose improve sensory quality and increase the probiotic viable count in potentially synbiotic petit-suisse cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 41(6), 1037–1046.
58. Chadwick, M., Trewin, H., Gawthrop, F., Wagstaff, C. (2013). Sesquiterpenoids lactones: Benefits to plants and people. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(6), 12780–12805.
59. Chaito, C., Judprasong, K., Puwastien, P. (2016). Inulin content of fortified food products in Thailand. *Food Chemistry*, 193, 102-105.
60. Chalermchaiwat, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C., Prinyawiwatkul, W. (2015). Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 490–496.
61. Chandra, K., Khan, W., Jetty, S., Ahmad, S., Jain, S. (2018). Antidiabetic, toxicological, and metabolomic profiling of aqueous extract of *Cichorium intybus* seeds. *Pharmacognosy Magazine*, 14, 377–383.
62. Chandrasekara, A., Josheph Kumar, T. (2016). Roots and tuber crops as functional foods: A review on phytochemical constituents and their potential health benefits. *Hindawi*, 2016, 1–15.
63. Chanvrier, H., Valle, G. Della, Lourdin, D. (2006). Mechanical behaviour of corn flour and starch-zein based materials in the glassy state: A matrix-particle interpretation. *Carbohydrate Polymers*, 65(3), 346–356.
64. Chaudhari, P. R., Tamrakar, N., Singh, L., Tandon, A., Sharma, D. (2018). Rice nutritional and medicinal properties: A review article. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 150–156.
65. Chen, L., Opara, U. L. (2013). Texture measurement approaches in fresh and processed foods - A review. *Food Research International*, 51(2), 823–835.
66. Cherbut, C. (2002). Inulin and oligofructose in the dietary fibre concept. *British Journal of Nutrition*, 87(2), 159–162.
67. Chevanan, N., Rosentrater, K. A., & Muthukumarappan, K. (2008). Effect of DDGS, moisture content, and screw speed on physical properties of extrudates in single- screw extrusion. *Cereal Chemistry*, 85(2), 132-139.
68. Choi, S.-H. (1999). Aroma components of chicory (*Cichorium intybus* L.) tea and its model system. *Journal of Food Science and Nutrition*, 4(2), 88–91.

69. Choi, S.-H., Choi, H.-G., Choi, Y.-S., Kim, J.-H., Lee, J.-H., Jung, E.-H., Lee, S.-H., Choi, Y., Choi, J.-S. (2016). Effect of chicory fiber and smoking on quality characteristics of restructured sausages. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(1), 131–136.
70. Choton, S., Gupta, N., Bandral, J. D., Anjum, N., Choudary, A. (2020). Extrusion technology and its application in food processing: A review. *The Pharma Innovation*, 9(2), 162–168.
71. Circioban, D., Ledeti, A., Vlase, G., Vlase, T., Dehelean, C., Ledeti, I. (2020). Thermal stability and kinetic degradation study for dihydroartemisinin. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 142(5), 2131–2139.
72. Codex Alimentarius Commission (1996). Report of the twentyfourth session of the codex committee on food labeling - Alinorm 97/22. Appendix II - Guidelines for use of nutrition claims. Ottawa, Canada, 14–17 May 1996.
Dostupno na <http://www.fao.org/3/w1715e/W1715E01.htm>
73. Condezo-Hoyos, L., Pérez-López, E., Rupérez, P. (2015). Improved evaporative light scattering detection for carbohydrate analysis. *Food Chemistry*, 180, 265–271.
74. Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., Mattei, J. (2018). The role of polyphenols in human health and food systems: a mini-review. *Frontiers in Nutrition*, 5(September), 1–9.
75. Couri, S., Gones, F. S., Nogueira, R. I., Wilberg, V. C., Cabral, L. M. C., Silva, V. V., Almeida, D. L. (2005). Determination of inulin content of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) cultivated organically in three regions of Rio de Janeiro state. *Embrapa Agroindústria de Alimentos*, 1–5.
76. Coussement, P. A. A. (1999). Inulin and oligofructose: Safe intakes and legal status. *Journal of Nutrition*, 129(7 SUPPL.), 1412–1417.
77. Crush, J. R., Ouyang, L., Cousins, G. R. (2019). Variation in cadmium concentrations in shoots of chicory (*Cichorium intybus* L.). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 62(4), 495–503.
78. Cruz, A. G., Cadena, R. S., Walter, E. H. M., Mortazavian, A. M., Granato, D., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A. (2010). Sensory analysis: Relevance for prebiotic, probiotic, and synbiotic product development. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(4), 358–373.
79. Černý, I., Pačuta, V., Kovár, M. (2008). Yield and quality of chicory (*Cichorium intybus* L.) in dependence on variety and foliar application of atonik and polybor 150. *Central European Journal of Agriculture*, 9(3), 425–430.
80. Da Silva, V. B., Barreira, J. C. M., Oliveira, M. B. P. P. (2016). Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 144–158.
81. Da Silva, T. F., Conti-Silva, A. C. (2018). Potentiality of gluten-free chocolate cookies with added inulin/oligofructose: chemical, physical and sensory characterization. *LWT - Food Science and Technology*, 90(June 2017), 172–179.
82. Das, S., Vasudeva, N., Sharma, S. (2016). *Cichorium intybus*: A concise report on its ethnomedicinal, botanical, and phytopharmacological aspects. *Drug Development and Therapeutics*, 7(1), 1-12.
83. Dahl, W. J., Whiting, S. J., Isaac, T. M., Weeks, S. J., Arnold, C. J. (2005). Effects of thickened beverages fortified with inulin on beverage acceptance, gastrointestinal function, and bone resorption in institutionalized adults. *Nutrition*, 21(3), 308–311.

84. Dalbhagat, C. G., Mahato, D. K., Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 85(January), 226–240.
85. Danbaba, N., Nkama, I., Badau, M. H. (2015). Application of response surface methodology (RSM) and central composite design (CCD) to optimize minerals composition of rice-cowpea composite blends during extrusion cooking. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 5(1), 40–52.
86. Day, L., Swanson, B. G. (2013). Functionality of protein-fortified extrudates. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5), 546–564.
87. De Castro, F. P., Cunha, T. M., Barreto, P. L. M., Amboni, R. D. D. M. C., Prudêncio, E. S. (2009). Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages. *International Journal of Dairy Technology*, 62(1), 68–74.
88. De Mesa, N. J. E., Alavi, S., Singh, N., Shi, Y. C., Dogan, H., Sang, Y. (2009). Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 262–270.
89. Denev, P., Petkova, N., Ivanov, I., Sirakov, B., Vrancheva, R., Pavlov, A. (2014). Determination of biologically active substances in taproot of common chicory (*Cichorium intybus* L.). *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 18, 124–129.
90. Desai, K. M., Survase, S. A., Saudagar, P. S., Lele, S. S., Singhal, R. S. (2008). Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) in fermentation media optimization: Case study of fermentative production of scleroglucan. *Biochemical Engineering Journal*, 41(3), 266–273.
91. Ding, Q. B., Ainsworth, P., Tucker, G., Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 283–289.
92. Diplock, A. T., EC Concerted Action (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe - Consensus Document. *British Journal of Nutrition*, 81(4), 1–27.
93. Ditudompo, S., Takhar, P. S., Ganjyal, G. M., Hanna, M. A. (2016). Effect of extrusion conditions on expansion behavior and selected physical characteristics of cornstarch extrudates. *Transactions of the ASABE*, 59(4), 969–983.
94. Djekic, I., Mujčinović, A., Nikolić, A., Jambrak, A. R., Papademas, P., Feyissa, A. H., Kansou, K., Thomopoulos, R., Breisen, H., Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Silva, C. L. M., Sirbu, A., Moisescu, A. M., Tomasevic, I., Brodnjak, U. V., Charalambides, M., Tonda, A. (2019). Cross-European initial survey on the use of mathematical models in food industry. *Journal of Food Engineering*, 261(June), 109–116.
95. Drabińska, N., Zieliński, H., Krupa-Kozak, U. (2016). Technological benefits of inulin-type fructans application in gluten-free products-a review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 149–157.
96. Duar, R. M., Ang, P. T., Hoffman, M., Wehling, R., Hutkins, R., Schlegel, V. (2015). Processing effects on four prebiotic carbohydrates supplemented in an extruded cereal and a low pH drink. *Cogent Food & Agriculture*, 1, 1013782.
97. Dupuis, J. H., Liu, Q., Yada, R. Y. (2014). Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1219–1234.

98. Durge, A. V., Sarkar, S., Survase, S. A., Singhal, R. S. (2013). Impact of extrusion on red beetroot colour used as pre-extrusion colouring of rice flour. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 570–575.
99. Dvořáčková, E., Šnůblová, M., Hrdlička, P. (2014). Carbohydrate analysis: From sample preparation to HPLC on different stationary phases coupled with evaporative light-scattering detection. *Journal of Separation Science*, 37(4), 323–337.
100. EFSA Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies. (2014). Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to non-digestible carbohydrates and a reduction of post-prandial glycaemic responses pursuant to Article 13 (5) of Regulation (EC) No 1924/2006 1. *EFSA Journal*, 12(1), 1–13.
101. Egal, A., Oldewage-Theron, W. (2020). Extruded food products and their potential impact on food and nutrition security. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 33(4), 142–143.
102. Eim, V. S., Simal, S., Rosselló, C., Femenia, A., Bon, J. (2013). Optimisation of the addition of carrot dietary fibre to a dry fermented sausage (sobrassada) using artificial neural networks. *Meat Science*, 94(3), 341–348.
103. Ekielski, A., Zelaziński, T., Siwek, A., Sharma, V., Mishra, P. K. (2020). Formulation and characterization of corn grits-propylene glycol extrudates. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1772–1780.
104. Elith, J., Leathwick, J. R., Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77, 802–813.
105. El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorica, C. M., Kuri, V., Brennan, C. S. (2002). Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 89–93.
106. El-Samahy, S. K., Abd El-Hady, E. A., Habiba, R. A., Moussa-Ayoub, T. E. (2007). Some functional, chemical, and sensory characteristics of cactus pear rice-based extrudates. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9(November 2016), 136–147.
107. Eurachem (2014). *The fitness for purpose of analytical methods. A laboratory guide to method validation and related topics*. Magnusson, B., Örnemark, U. (eds.) (2nd ed. 2014). ISBN 978-91-87461-59-0. Available from www.eurachem.org.
108. Fan, F. H., Ma, Q., Ge, J., Peng, Q. Y., Riley, W. W., Tang, S. Z. (2013). Prediction of texture characteristics from extrusion food surface images using a computer vision system and artificial neural networks. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 426–433.
109. FAOSTAT, 2020. https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Pristupljeno 27.04.2022.
110. Farzanmehr, H., Abbasi, S. (2009). Effects of inulin and bulking agents on some physicochemical, textural and sensory properties of milk chocolate. *Journal of Texture Studies*, 40(5), 536–553.
111. Ferioli, F., D'Antuono, F. L. (2012). An update procedure for an effective and simultaneous extraction of sesquiterpene lactones and phenolics from chicory. *Food Chemistry*, 135(1), 243–250.
112. Ferioli, F., Manco, M. A., D'Antuono, L. F. (2015). Variation of sesquiterpene lactones and phenolics in chicory and endive germplasm. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 77–86.

113. Figueira, G. M., Jin, K., Brod, R. P. F., Honorio, S. L. (2004). Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. *Journal of Food Engineering*, 63, 273–280.
114. Ferreira, S. M., Capriles, V. D., Conti-Silva, A. C. (2020). Breakfast cereals with inulin obtained through thermoplastic extrusion: Chemical characteristics and physical and technological properties. *LWT*, 137(October), 110390.
115. Filipčev, B., Šimurina, O., Sakač, M., Sedej, I., Jovanov, P., Pestorić, M., Bodroža-Solarov, M. (2011). Feasibility of use of buckwheat flour as an ingredient in ginger nut biscuit formulation. *Food Chemistry*, 125(1), 164–170.
116. Filipović, J., Pezo, L., Filipović, N., Filipović, V., Brkljača, J., Jevtić-Vukmirović, A. (2014). Optimization of spelt pasta composition, regarding inulin Hpx content and eggs quantity. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(4), 167–173.
117. Fleming, T. (2000). PDR fo herbal medicines: Medical Economics Company. New Jersey, USA, 253.
118. Food and Drug Administration. (2018). Review of the scientific evidence on the physiological effects of certain non-digestible carbohydrates. June, 1–52.
119. Foster, Joyce G, Clapham, W. M., Belesky, P. D., Labreveux, M., Hall, M. H., Sanderson, M. A. (2006). Influence of cultivation site on sesquiterpene lactone composition of forage chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1772–1778.
120. Foster, J. G., Cassida, K. A., Sanderson, M. A. (2011). Variation in sesquiterpene lactone concentration and composition of forage chicory (*Cichorium intybus* L.) cultivars. *Grass and Forage Science Seasonal*, 66, 424–433.
121. Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87(2), 287–291.
122. Gaonkar, A. G., Vasisht N., Khare A.R., Sobel R. (2014). Microencapsulation in the food industry. *A Practical Implementation Guide*, 267-282.
123. Ganjyal, G., Hanna, M. A., Supprung, P., Noomhorm, A., Jones, D. (2006). Modeling selected properties of extruded rice flour and rice starch by neural networks and statistics. *Cereal Chemistry*, 83(3), 223–227.
124. García, M. L., Cáceres, E., Selgas, M. D. (2006). Effect of inulin on the textural and sensory properties of mortadella, a Spanish cooked meat product. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(10), 1207–1215.
125. García-Segovia, P., Igual, M., Noguerol, A. T., Martínez-Monzó, J. (2020). Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks. *European Food Research and Technology*, 246(4), 703–712.
126. Garre, A., Ruiz, M. C., Hontoria, E. (2020). Application of Machine Learning to support production planning of a food industry in the context of waste generation under uncertainty. *Operations Research Perspectives*, 7(July 2019), 100147.
127. Gat, Y., Ananthanarayan, L. (2015). Effect of extrusion process parameters and pregelatinized rice flour on physicochemical properties of ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2634–2645.
128. Gat, Y., Ananthanarayan, L. (2016). Use of paprika oily extract as pre-extrusion colouring of rice extrudates: impact of processing and storage on colour stability. *Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 2887–2894.

129. Ghoddusi, H. B., Grandison, M. A., Grandison, A. S., Tuohy, K. M. (2007). *In vitro* study on gas generation and prebiotic effects of some carbohydrates and their mixtures. *Anaerobe*, 13(5–6), 193–199.
130. Giannini, A. N., Krokida, M. K., Bisharat, G. I. (2013). Structural properties of corn-based extrudates enriched with plant fibers. *International Journal of Food Properties*, 16(3), 667–683.
131. Gibson, G. R., Probert, H. M., Loo, J. Van, Rastall, R. A., Roberfroid, M. B. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*, 17(2), 259–275.
132. Giri, N. A., Ambedkar, B., Sakhale, B. K. (2019). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.): A valuable tropical tuber crop: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 8(6), 182–191. www.thepharmajournal.com
133. Glibowski, P., Kowalska, A. (2012). Rheological, texture and sensory properties of kefir with high performance and native inulin. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 299–304.
134. Gol, N. R., Noghani, R. Z., Chamsaz, M. (2014). A comparative study of the chemical composition and antioxidant activities of roots, seeds and aerial parts of chicory (*Cichorium intybus* L.). *International Journal of Biosciences*, 5(12), 250–257.
135. González-Soto, R. A., Mora-Escobedo, R., Hernández-Sánchez, H., Sánchez-Rivera, M., Bello-Pérez, L. A. (2007). The influence of time and storage temperature on resistant starch formation from autoclaved debranched banana starch. *Food Research International*, 40(2), 304–310.
136. González-Tomás, L., Bayarri, S., Costell, E. (2009). Inulin-enriched dairy desserts: Physicochemical and sensory aspects. *Journal of Dairy Science*, 92(9), 4188–4199.
137. Gostick, J., Khan, Z., Tranter, T., Kok, M., Agnaou, M., Sadeghi, M., Jervis, R. (2019). PoreSpy: A python toolkit for quantitative analysis of porous media images. *The Journal of Open Source Software*, 4(37), 1–4.
138. Goufo, P., Trindade, H. (2014). Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ -oryzanol and phytic acid. *Food Science and Nutrition*, 75–104.
139. Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Technology*, 51(9), 1633–1653.
140. Grenus, K. M., Hsieh, F., Huff, H. E. (1993). Extrusion and extrudate properties of rice flour. *Journal of Food Engineering*, 18(3), 229–245.
141. Grigoriadou, K., Krigas, N., Lazari, D., Maloupa, E. (2020). Sustainable use of mediterranean medicinal-aromatic plants. In *Feed Additives*, 57–7).
142. Grlić, Lj. (1986). Enciklopedija samoniklog jestivog bilja. August Cesarec, Zagreb, 324–325.
143. Guha, M., Zakiuddin Ali, S., Bhattacharya, S. (1998). Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyser pasting behaviour of rice extrudate. *International Journal of Food Science and Technology*, 33(3), 259–266.
144. Guha, M., Ali, S. Z. (2011). Changes in rheological properties of rice flour during extrusion cooking. *Journal of Texture Studies*, 42(6), 451–458.
145. Gui, Y., Gil, S. K., Ryu, G. H. (2012). Effects of extrusion conditions on the properties of extruded red ginseng. *Preventive Nutrition and Food Science*, 17, 203–209.

146. Guo, Q. (Mark), Joseph, M., Setia, R., Vikhona, H., Sharma, K., Alavi, S. (2018). Extruded corn soy blends: physicochemical and molecular characterization. *Journal of Cereal Science*, 79, 486–493.
147. Gutkoski, L. C., El-Dash, A. A. (1999). Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54(4), 315–325.
148. Guven, O., Sensoy, I., Senyuva, H., Karakaya, S. (2018). Food processing and digestion: The effect of extrusion process on bioactive compounds in extrudates with artichoke leaf powder and resulting in vitro cynarin and cynaroside bioaccessibility. *LWT*, 90(December 2017), 232–237.
149. Guy, R. C. E. (1993). Raw materials for extrusion cooking processes. N.D. Frame, *The technology of extrusion cooking*, 52-72. London: Blackie.
150. Hagenimana, A., Ding, X., Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38–46.
151. Hager, A. S., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., Arendt, E. K. (2012). Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 239–247.
152. Han, Y. J., Tra Tran, T. T., Man Le, V. V. (2018). Corn snack with high fiber content: Effects of different fiber types on the product quality. *LWT - Food Science and Technology*, 96, 1–6.
153. Harrington, K. C., Thatcher, A., Kemp, P. D. (2006). Mineral composition and nutritive value of some common pasture weeds. *New Zealand Plant Protection*, 59, 261–265.
154. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. (2001). The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. 2nd edition. Springer-Verlag, New York.
155. Hazra, B., Sarkar, R., Bhattacharyya, S., Roy, P. (2002). Tumour inhibitory activity of chicory root extract against Ehrlich ascites carcinoma in mice. *Fitoterapia*, 73, 730–733.
156. Huang, Y. P., Lai, H. M. (2016). Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran. *Journal of Food Drug Analysis*, 24, 564-574.
157. Hoste, H., Jackson, F., Athanasiadou, S., Thamsborg, S.M., Hoskin, S.O. (2006). The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in Parasitology*, 22(6), 253–261.
158. Hecke, E. V. A. N., Allaf, K., Bouvier, J. M. (1998). *Texture and structure of crispy-puffed food products Part II: mechanical properties in puncture*. 29, 617–632.
159. Hegazy, H. S., El-Fath, A., El-Bedawey, A., Rahma, E.-S. H., Gaafar, A. M. (2017). Effect of extrusion process on nutritional, functional properties and antioxidant activity of germinated chickpea incorporated corn extrudates. *American Journal of Food Science and Nutrition Research*, 4(1), 59–66.
160. Herrero, M., Sánchez-Camargo, A. P., Cifuentes, A., Ibáñez, E. (2015). Plants, seaweeds, microalgae and food by-products as natural sources of functional ingredients obtained using pressurized liquid extraction and supercritical fluid extraction. *Trends in Analytical Chemistry*, 71, 26–38.
161. Höglund, E., Eliasson, L., Oliveira, G., Almlı, V. L., Sozer, N., Alminger, M. (2018). Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT - Food Science and Technology*, 92, 422–428.

162. Hu, X., i Weng, Q. (2009). Estimating impervious surfaces from medium spatial resolution imagery using the self-organizing map and multi-layer perceptron neural networks. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2089–2102.
163. Ilo, S., Schoenlechner, R., Berghofe, E. (2000). Role of lipids in the extrusion cooking processes. *Grasas y Aceites*, 51(1–2), 97–110.
164. Irungu, F. G., Mutungi, C. M., Faraj, A. K., Affognon, H., Tanga, C., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., Fiaboe, K. K. M. (2018). Minerals content of extruded fish feeds containing cricket (*Acheta domesticus*) and black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fractions. *International Aquatic Research*, 10(2), 101–113.
165. ITIS, 2019. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=36763#null Pristupljeno 03.03.2021.
166. Jackson, K. M. P., Rathinasabapathy, T., Esposito, D., Komarnytsky, S. (2017). Structural constraints and importance of caffeic acid moiety for anti-hyperglycemic effects of caffeoylquinic acids from chicory. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(9), 1–9.
167. Jafari, M., Koocheki, A., Milani, E. (2017). Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. *Journal of Cereal Science*, 75, 324–331.
168. Jan, G., Kahan, M., Ahmad, M., Iqbal, Z., Afzal, A., Afzal, M., Shah, G. M., Majid, A., Fiaz, M., Zafar, M., Waheed, A., Gul, F. (2011). Nutritional analysis, micronutrients and chlorophyll contents of *Cichorium intybus* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(12), 2452–2456.
169. Jandrić, Z., Cannavan, A. (2017). An investigative study on differentiation of citrus fruit/fruit juices by UPLC-QToF MS and chemometrics. *Food Control*, 72, 173–180.
170. Jangra, S. S., Madan, V. K. (2018). Proximate, mineral and chemical composition of different parts of chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Pharmavognosy and Phytochemistry*, 7(5), 3311–3315.
171. Janić Hajnal, E., Čolović, R., Pezo, L., Orčić, D., Vukmirović, Mastilović, J. (2016). Possibility of *Alternaria* toxins reduction by extrusion processing of whole wheat flour. *Food Chemistry*, 213, 784–790.
172. Janić Hajnal, E., Babič, J., Pezo, L., Banjac, V., Čolović, R., Kos, J., Krulj, J., Pavšič-Vrtač, K., Jakovac-Strajn, B. (2022). Effects of extrusion process on *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins in whole grain triticale flour. *LWT*, 155, 112926.
173. Jeong, D., Kim, D.-H., Oh, Y.-T., Chon, J.-W., Kim, H., Jeong, D.-K., Kim, H., Kim, Y.-G., Song, K.-Y., Kim, Y.-J., Kang, I.-B., Park, J.-H., Chang, H.-S., Lim, H.-W., Seo, K.-H. (2017). Production of bioactive yoghurt containing *Cichorium intybus* L. (chicory) extract-preliminary study. *Journal of Milk Science and Biotechnology*, 35(1), 9–15.
174. Ji, Y., Zhu, K., Qian, H., Zhou, H. (2007). Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. *Food Chemistry*, 104(1), 53–58.
175. Jiamjariyatam, R. (2017). Microwavable expanded-snack from native rice starch: Influence of inulin and amylose content. *International Food Research Journal*, 24(5), 1956–1962.
176. Johansson, E., Prade, T., Angelidaki, I., Svensson, S. E., Newson, W. R., Gunnarsson, I. B., Hovmalm, H. P. (2015). Economically viable components from jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a biorefinery concept. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(4), 8997–9016.

177. Jozinović, A., Šubarić, D., Ačkar, D., Babić, J., Miličević, B. (2016). Influence of spelt flour addition on properties of extruded products based on corn grits. *Journal of Food Engineering*, 172, 31–37.
178. Judžentienė, A., Būdienė, J. (2008). Volatile constituents from aerial parts and roots of *Cichorium intybus* L. (chicory) grown in Lithuania. *Chemija*, 19(2), 25–28.
179. Juśkiewicz, J., Zduńczyk, Z., Żary-Sikorska, E., Król, B., Milala, J., Jurgowski, A. (2011). Effect of the dietary polyphenolic fraction of chicory root, peel, seed and leaf extracts on caecal fermentation and blood parameters in rats fed diets containing prebiotic fructans. *British Journal of Nutrition*, 105, 710–720.
180. Jyothi, A. N., Sheriff, J. T., Sajeev, M. S. (2009). Physical and functional properties of arrowroot starch extrudates. *Journal of Food Science*, 74(2), 97–104.
181. Kadan, R. S., Bryant, R. J., Pepperman, A. B. (2003). Functional properties of extruded rice flours. *Journal of Food Science*, 68(5), 1669–1672.
182. Kammerer, D. R., Kammerer, J., Valet, R., Carle, R. (2014). Recovery of polyphenols from the by-products of plant food processing and application as valuable food ingredients. *Food Research International*, 65, 2–12.
183. Kanojia, V., Singh, M. (2016). Extruded Product Quality Assessment Indices: A Review. *International Journal of Agriculture Sciences*, 8(54): 2928-2934
184. Karimi, R., Azizi, M. H., Ghasemlou, M., Vaziri, M. (2015). Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer: A review. *Carbohydrate Polymers*, 119, 85–100.
185. Karkle, E. L., Alavi, S., Dogan, H. (2012). Cellular architecture and its relationship with mechanical properties in expanded extrudates containing apple pomace. *Food Research International*, 46(1), 10–21.
186. Katsavou, I. D., Tsokolar-Tsikopoulos, K. C., Eleni, P. N., Krokida, M. K. (2019). Sensorial, functional, optical and thermal properties of inulin enriched expanded products. *International Food Research Journal*, 26(2), 687–671.
187. Kaur, N., Gupta, A. K. (2002). Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of Biosciences*, 27(7), 703–714.
188. Kaur, A., Kaur, S., Singh, M., Singh, N., Shevkani, K., Singh, B. (2014). Effect of banana flour, screw speed and temperature on extrusion behaviour of corn extrudates. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4276–4285.
189. Kebede, L., Worku, S., Bultosa, G., Yetneberk, S. (2010). Effect of extrusion operating conditions on the physical and sensory properties of teff (*Eragrostis tef* [Zucc.] Trotter) flour extrudates. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, 1(1), 27–38.
190. Keenan, D. F., Resconi, V. C., Kerry, J. P., Hamill, R. M. (2014). Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach. *Meat Science*, 96(3), 1384–1394.
191. Khalaf, A. H., El-Saadani, R. M., El-Desouky, A. I., Abdeldaiem, H. M., Elmehy, E. M. (2018). Antioxidant and antimicrobial activity of gamma-irradiated chicory (*Cichorium intybus* L.) leaves and roots. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1843–1851.
192. Khuenpet, K., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S., Srichamnong, W. (2017). Inulin powder production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and its application to commercial food products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), 1–13.

193. Kim, T.-W., Yang, K.-S. (2001). Antioxidative effects of *Cichorium intybus* root extract on LDL (low density lipoprotein) oxidation. *Archives of Pharmacal Research*, 24(5), 431–436.
194. Kim, J. H., Tanhehco, E. J., and Ng, P. K. W. (2006). Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. *Food Chemistry*, 99, 718–723.
195. Kisiel, W., Zielińska, K. (2001). Guaianolides from *Cichorium intybus* and structure revision of *Cichorium* sesquiterpene lactones. *Phytochemistry*, 57, 523–527.
196. Kiumarsi, M., Shahbazi, M., Yeganehzad, S., Majchrzak, D., Lieleg, O., Winkeljann, B. (2019). Relation between structural, mechanical and sensory properties of gluten-free bread as affected by modified dietary fibers. *Food Chemistry*, 277(September 2018), 664–673.
197. Koh, D. wan, Park, J. woong, Lim, J. hoon, Yea, M. J., Bang, D. young. (2018). A rapid method for simultaneous quantification of 13 sugars and sugar alcohols in food products by UPLC-ELSD. *Food Chemistry*, 240, 694–700.
198. Kojić, J. S., Ilić, N. M., Kojić, P. S., Pezo, L. L., Banjac, V. V., Krulj, J. A., Bodroža Solarov, M. I. (2019). Multiobjective process optimization for betaine enriched spelt flour based extrudates. *Journal of Food Process Engineering*, 42(1), 1–9.
199. Kojić, J., Krulj, J., Peić Tukuljac, L., Jevtić Mučibabić, R., Cvetković, B., Kojić, P., Ilić, N. (2021, March). The effect of extrusion conditions on the bulk density of spelt wholegrain snack product. Poster sekcija na VII Internacionalno Kongresu “Engineering, Environment and Materials in Process Industry“ EEM2021, Jahorina, Bosna i Hercegovina.
200. Köksel, H., Ryu, G. H., Başman, A., Demiralp, H., Ng, P. K. W. (2004). Effects of extrusion variables on the properties of waxy hulless barley extrudates. *Nahrung - Food*, 48(1), 19–24.
201. Koner, A., Ghosh, S., Roy, P. (2011). Isolation of antimicrobial compounds from chicory (*Cichorium intybus* L.) root. *International Journal of Research in Pure and Applied Microbiology*, 1(2), 13–18.
202. Kour, J., Singh, S., Saxena, D. C. (2019). Effect of nutraceuticals (beta-glucan concentrate, flaxseed lignan concentrate and gamma oryzanol concentrate) on nutritional, textural, pasting, thermal, structural and morphological properties of corn and rice flour blend based RTE extrudates. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(2), 988–1003.
203. Kowalski, R. J., Li, C., Ganjyal, G. M. (2018). Optimizing twin-screw food extrusion processing through regression modeling and genetic algorithms. *Journal of Food Engineering*, 234, 50–56.
204. Kowalski, R. J., Pietrysiak, E., Ganjyal, G. M. (2021). Optimizing screw profiles for twin-screw food extrusion processing through genetic algorithms and neural networks. *Journal of Food Engineering*, 303(March), 110589.
205. Kulkarni, C., Kelly, A. L., Gough, T., Jadhav, V., Singh, K. K., Paradkar, A. (2017). Application of hot melt extrusion for improving bioavailability of artemisinin a thermolabile drug. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 44(2), 206–214.
206. Kumano, T., Araki, H. (2017). The effect of excessive application of K₂O during root production on plant growth, mineral concentration and yield of edible part in witloof chicory (*Cichorium intybus* L.). *Environmental Control in Biology*, 55(4), 147–154.
207. Kumar, N., Sarkar, B. C., Sharma, H. K. (2010). Development and characterization of extruded product using carrot pomace and rice flour. *International Journal of Food Engineering*, 6(3), 703–717.

208. Kumar, D., DC, R., Alam, T., Sawant, P. (2018a). Effect of dried chicory root extract on sensory and physical characteristics of yoghurt-ice cream with addition of buttermilk using response surface methodology. *Journal of Food and Dairy Technologies*, 5(16–25).
209. Kumar, R., Xavier, K. A. M., Lekshmi, M., Balange, A., Gudipati, V. (2018b). Fortification of extruded snacks with chitosan: Effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate Polymers*, 194, 267–273.
210. Lai, L. S., Kokini, J. L. (1991). Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (A Review). *Biotechnology Progress*, 7(3), 251–266.
211. Lam, C. D., Flores, R. A. (2003). Effect of particle size and moisture content on viscosity of fish feed. *Cereal Chemistry*, 80(1), 20–24.
212. Lazou, A., Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. *Food Research International*, 43(2), 609–616.
213. Leclercq, E. (1992). Sesquiterpene lactones and inulin from chicory roots: extraction, identification, enzymatic release and sensory analysis. Univerzitet u Vageningenu i Research ProQuest Dissertations Publishing. Doktorska disertacija.
214. Leonel, M., de Freitas, T. S., Mischan, M. M. (2009). Physical characteristics of extruded cassava starch. *Scientia Agricola*, 66(4), 486–493.
215. Lepczyński, A., Herosimczyk, A., Barszcz, M., Ożgo, M., Michałek, K., Grabowska, M., Tuśnio, A., Szczerbińska, D., Skomial, J. (2020). Diet supplemented either with dried chicory root or chicory inulin significantly influence kidney and liver mineral content and antioxidative capacity in growing pigs. *Animal*, 100129.
216. Li, G., Gao, H., Huang, J., Lu, J., Gu, J., Wang, J. (2014). Hepatoprotective effect of *Cichorium intybus* L., a traditional Uighur medicine, against carbon tetrachloride-induced hepatic fibrosis in rats. *World Journal of Gastroenterology*, 20(16), 4753–4760.
217. Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Corell, M., Sendra, E., Hernández, F., Stan, L., Vodnar, D. C., Vázquez-Araújo, L., Carbonell-Barrachina, Á. A. (2019). Sensory profile and acceptability of hydroSOSustainable almonds. *Foods*, 8(2), 1–14.
218. Liu, H., Wang, Q., Liu, Y., Chen, G., Cui, J. (2013). Antimicrobial and antioxidant activities of *Cichorium intybus* root extract using orthogonal matrix design. *Journal of Food Science*, 78(2), 258–263.
219. López-Barrios, L., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldívar, S. O. (2014). Bioactive peptides and hydrolysates from pulses and their potential use as functional ingredients. *Journal of Food Science*, 79(3), 273–283.
220. López-Molina, D., Navarro-Martínez, M. D., Melgarejo, F. R., Hiner, A. N. P., Chazarra, S., Rodríguez-López, J. N. (2005). Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Phytochemistry*, 66(12), 1476–1484.
221. Mahasukhonthachat, K., Sopade, P. A., Gidley, M. J. (2010). Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. *Journal of Cereal Science*, 51(3), 392–401.
222. Makowska, A., Majcher, M., Mildner-Szkodlarz, S., Jedrussek-Golinska, A., Przygoński, K. (2017). Triticale crisp bread enriched with selected bioactive additives: volatile profile, physical characteristics, sensory and nutritional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3092–3101.
223. Madamba, P. S. (2002). The response surface methodology: an application to optimize dehydration operations of selected agricultural crops. *LWT-Food Science and Technology*, 35(7), 584–592.

224. Mannino, G., Perrone, A., Campobenedetto, C., Schittone, A., Margherita Berteà, C., Gentile, C. (2020). Phytochemical profile and antioxidative properties of *Plinia trunciflora* fruits: A new source of nutraceuticals. *Food Chemistry*, 307(September 2019).
225. Manno, D., Filippo, E., Serra, A., Negro, C., De Bellis, L., Miceli, A. (2009). The influence of inulin addition on the morphological and structural properties of durum wheat pasta. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(11), 2218–2224.
226. Mares, D., Romagnoli, C., Tosi, B., Andreotti, E., Chillemi, G., Poli, F. (2005). Chicory extracts from *Cichorium intybus* L. as potential antifungals. *Mycopathologia*, 160, 85–92.
227. Martínez, C. E., Smith, P. C., Palma Alvarado, V. A. (2015). The influence of platelet-derived products on angiogenesis and tissue repair: A concise update. *Frontiers in Physiology*, 6(OCT), 1–7.
228. Martínez, M. M., Calviño, A., Rosell, C. M., Gómez, M. (2014a). Effect of different extrusion treatments and particle size distribution on the physicochemical properties of rice flour. *Food and Bioprocess Technology*, 7(9), 2657–2665.
229. Martínez, M. M., Rosell, C. M., Gómez, M. (2014b). Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions. *Journal of Food Engineering*, 143, 74–79.
230. Mason, W. R. (2009). Starch Use in Foods. *Starch*, 745–795.
231. Massoud, I., Amin, A., Elgindy, A. A. (2009). Chemical and technological studies on chicory (*Cichorium Intybus* L.) and its applications in some functional food. *International Journal of Advance Agricultural Research*, 14(3), 735–756.
232. Mena P., Garcia-Viguera C., Navarro-Rico J., Moreno A.D., Bartual J., Saura D., Marti N. (2011). Phytochemical characterisation for industrial use of pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 1893–1906.
233. Mehrandish, R., Mellati, A. A., Rahimpour, A., Nayeri, N. D. (2017). Anti-cancer activity of methanol extracts of *Cichorium intybus* on human breast cancer SKBR3 cell line. *Razavi International Journal of Medicine*, 5(1), 1–4.
234. Milala, J., Grzelak, K., Król, B., Juśkiewicz, J., Zduńczyk, Z. (2009). Composition and properties of chicory extracts rich in fructans and polyphenols. *Polish Journal of Food and Nutrition Science*, 59(1), 35–43.
235. Miličević, N., Sakač, M., Hadnađev, M., Škrobot, D., Šarić, B., Hadnađev, T. D., Jovanov, P., Pezo, L. (2020). Physico-chemical properties of low-fat cookies containing wheat and oat bran gels as fat replacers. *Journal of Cereal Science*, 95(July).
236. Milojković, J., Pezo, L., Stojanović, M., Mihajlović, M., Lopičić, Z., Petrović, J., Stanojević, M., Kragović, M. (2016). Selected heavy metal biosorption by compost of *Myriophyllum spicatum*-A chemometric approach. *Ecological Engineering*, 93, 112–119.
237. Mishra, A., Mishra, H. N., Srinivasa Rao, P. (2012). Preparation of rice analogues using extrusion technology. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(9), 1789–1797.
238. Momenzadeh, L., i Zomorodian, A. (2012). Study of Shelled Corn Shrinkage in a Microwave-Assisted Fluidized Bed Dryer Using Artificial Neural Network. *International Journal of Agriculture Sciences*, 4(1), 172–175.
239. Monti, A., Amaducci, M. T., Pritoni, G., Venturi, G. (2005). Growth, fructan yield, and quality of chicory (*Cichorium intybus* L.) as related to photosynthetic capacity, harvest time, and water regime. *Journal of Experimental Botany*, 56(415), 1389–1395.

240. Morales, P., Berrios, J. D. J., Varela, A., Burbano, C., Cuadrado, C., Muzquiz, M., Pedrosa, M. M. (2015). Novel fiber-rich lentil flours as snack-type functional foods: An extrusion cooking effect on bioactive compounds. *Food and Function*, 6(9), 3135–3143.
241. Moraru, C. I., Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147–165.
242. Moreira Mar, J., Souza da Silva, L., da S. Rabello, M., Moraes Biondo, M., Ferreira Kinupp, V., Henrique Campelo, P., Bruginski, E., Ramos Campos, F., de Araújo Bezerra, J., Aparecido Sanches, E. (2021). Development of alginate/inulin carrier systems containing non-conventional Amazonian berry extracts. *Food Research International*, 139, 109838.
243. Morris, C., Morris, G. A. (2012). The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. *Food Chemistry*, 133(2), 237–248.
244. Morsy, N. E., Rayan, A. M., Youssef, K. M. (2014). Physico chemical properties, antioxidant activity, phytochemicals and sensory evaluation of rice-based extrudates containing dried *Corchorus olitorius* l. leaves. *Journal of Food Processing & Technology*, 06(01), 1–8.
245. Moscatto, J. A., Borsato, D., Bona, E., De Oliveira, A. S., De Oliveira Hauly, M. C. (2006). The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(2), 181–188.
246. Moujir, L., Callies, O., Sousa, P. M. C., Sharopov, F., Seca, A. M. L. (2020). Applications of sesquiterpene lactones: A review of some potential success cases. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(9), 1–32.
247. Muñoz-Valencia, R., Jurado, J. M., Ceballos-Magaña, S. G., Alcázar, Á., Hernández-Díaz, J. (2014). Characterization of Mexican coffee according to mineral contents by means of multilayer perceptrons artificial neural networks. *Journal of Food Composition and Analysis*, 34(1), 7–11.
248. Nandagopal, S., Kumari, B. D. R. (2007). Phytochemical and antibacterial studies of chicory (*Cichorium intybus* L.) - a multipurpose medicinal plant. *Advanced in Biological Research*, 1(1–2), 17–21.
249. Nascimento, E. M. da G. C. do, Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Freitas, D. D. G. C., Ascheri, J. L. R. (2012). Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. *Food Research International*, 45(1), 434–443.
250. Nascimento, T. A., Calado, V., Carvalho, C. W. P. (2017). Effect of Brewer's spent grain and temperature on physical properties of expanded extrudates from rice. *LWT - Food Science and Technology*, 79, 145–151.
251. Natabirwa, H., Nakimbugwe, D., Lung'aho, M., Muyonga, J. H. (2018). Optimization of Robal extrusion conditions and bean extrudate properties using response surface methodology and multi-response desirability function. *Lwt*, 96(April), 411–418.
252. Neder-Suárez, D., Amaya-Guerra, C. A., Quintero-Ramos, A., Pérez-Carrillo, E., De J Alanís-Guzmán, M. G., Báez-González, J. G., García-Díaz, C. L., Núñez-González, M. A., Lardizábal-Gutiérrez, D., Jiménez-Castro, J. A. (2016). Physicochemical changes and resistant-starch content of extruded cornstarch with and without storage at refrigerator temperatures. *Molecules*, 21(8), 1–19.
253. Ning, C., Wang, X., Gao, S., Mu, J., Wang, Y., Liu, S., Zhu, J., Meng, X. (2017). Chicory inulin ameliorates type 2 diabetes mellitus and suppresses JNK and MAPK pathways *in vivo* and *in vitro*. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(8), 1–30.

254. Nishimura, H., Kondo, Y., Nagasaka, T., Satoh, A. (2000). Allelochemicals in chicory and utilization in processed foods. *Journal of Chemical Ecology*, 26(9), 2233–2241.
255. Nishimura, H., Satoh, A. (2006). Antimicrobial and nematicidal substances from the root of chicory (*Cichorium intybus*). *Allelochemicals: Biological Control of Plant Pathogens and Diseases*, 177–180.
256. Nishimura, M., Ohkawara, T., Kanayama, T., Kitagawa, K., Nishimura, H., Nishihira, J. (2015). Effects of the extract from roasted chicory (*Cichorium intybus* L.) root containing inulin-type fructans on blood glucose, lipid metabolism, and fecal properties. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 5(3), 161–167.
257. Nkama, I., Filli, K. B. (2015). Effect of process variables on some system parameters and physical properties of millet-soybean fura extrudates. *Journal of Food Studies*, 4(1), 1.
258. Norajit, K., Gu, B. J., Ryu, G. H. (2011). Effects of the addition of hemp powder on the physicochemical properties and energy bar qualities of extruded rice. *Food Chemistry*, 129(4), 1919–1925.
259. Nowrouzi, P. S., Mazani, M., Rezagholizadeh, L., Banaei, S. (2017). Mechanism and clinical aspects of the effects of chicory on diabetes. *Asian Journal of Research in Medical and Pharmaceutical Science*, 1(4), 1–11.
260. Nwafor, I. C., Shale, K., Achilonu, M. C. (2017). Chemical composition and nutritive benefits of chicory (*Cichorium intybus*) as an ideal complementary and / or alternative livestock feed supplement. *Hindawi, Article ID 7343928*, 1–11.
261. Nyman, M. (2002). Fermentation and bulking capacity of indigestible carbohydrates: the case of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87(S2), S163–S168.
262. Offiah, V., Kontogiorgos, V., Falade, K. O. (2018). Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–20.
263. Olawoye, B., Gbadamosi, S. O., Otemuyiwa, I. O., Akanbi, C. T. (2020). Gluten-free cookies with low glycemic index and glycemic load: optimization of the process variables via response surface methodology and artificial neural network. *Heliyon*, 6(10), e05117.
264. Oliveira, L. C., Rosell, C. M., Steel, C. J. (2015). Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1504–1514.
265. Olszowy, M. (2019). What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants? *Plant Physiology and Biochemistry*, 144, 135–143.
266. Olusola, A., Akindele, O., Abiodun, O. (2014). Comparative studies of response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN) predictive capabilities on enzymatic hydrolysis optimization of sweet potato starch. *International Journal of Advanced Research*, 2(10), 849–860.
267. Oyaizu M. (1986). Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of product of browning reaction prepared from glucosamine. *Japan Journal of Nutrition*, 44, 307-315.
268. Özer, E. A., Ibanoglu, Ş., Ainsworth, P., Yağmur, C. (2004). Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 218(5), 474–479.
269. Pandey, S., Kumar, A., Rao, S. P. (2021). Optimization, modeling, and characterization study for the physicochemical properties of raw banana and defatted soy composite extrudates. *Food Chemistry*, 339(August 2020), 127865.

270. Pandiselvam, R., Manikantan, M. R., Sunoj, S., Sreejith, S., Beegum, S. (2019). Modeling of coconut milk residue incorporated rice-corn extrudates properties using multiple linear regression and artificial neural network. *Journal of Food Process Engineering*, 42(2), 1–10.
271. Pansawat, N., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., Saalia, F. K., Eitenmiller, R. R., Phillips, R. D. (2008). Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 41(4), 632–641.
272. Pardhi, S. D., Singh, B., Nayik, G. A., Dar, B. N. (2019). Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1), 7–16.
273. Park, C. K., Joen, B. S., Kim, S. C., Chang, J. K., Lee, J. T., Yang, J. W., Shim, K. H. (2003). Changes in chemical composition in chicory roots by different roasting processes. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 11(3), 179–185.
274. Park, K. J., de Oliveira, R. A., Brod, F. P. R. (2007). Drying operational parameters influence on chicory roots drying and inulin extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 85, 184–192.
275. Paseephol, T., Small, D. M., Sherkat, F. (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies*, 39(6), 617–634.
276. Patil (2017). Development of value added product from chicory roots. Lovely Professional Univezitet, Phagwara, Indija. Doktorska disertacija.
277. Patil, S. S., Kaur, C. (2018). Current trends in extrusion: Development of functional foods and novel ingredients. *Food Science and Technology Research*, 24(1), 23–34.
278. Paulik, S., Jekle, M., Becker, T. (2019). Mechanically and thermally induced degradation and modification of cereal biopolymers during grinding. *Polymers*, 11(448), 1–13.
279. Pavlić, B., Pezo, L., Marić, B., Peić Tukuljac, L., Zeković, Z., Bodroža Solarov, M., i Teslić, N. (2020). Supercritical fluid extraction of raspberry seed oil: Experiments and modelling. *Journal of Supercritical Fluids*, 157, 1–11.
280. Pencheva, D. N., Petkova, N. T. R., Denev, P. P. (2012). Determination of inulin in dough products. *Scientific Works of UFT, LIX-2012*(May 2014), 339–344.
281. Peressini, D., Foschia, M., Tubaro, F., Sensidoni, A. (2015). Impact of soluble dietary fibre on the characteristics of extruded snacks. *Food Hydrocolloids*, 43, 73–81.
282. Perović, J., Tumbas Šaponjac, V., Kojić, J., Krulj, J., Moreno, D. A., García-Viguera, C., Bodroža-Solarov, M., Ilić, N. (2021). Chicory (*Cichorium intybus* L.) as a food ingredient – Nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. *Food Chemistry*, 336(30 January), 127676.
283. Perović, J., Kojić, J., Krulj, J., Pezo, L., Tumbas Šaponjac, V., Ilić, N., Bodroža-Solarov, M. (2022). Inulin determination by an improved HPLC-ELSD method. *Food Analytical Methods*, 15(4), 1001-1010.
284. Petropoulos, S. A., Levizou, E., Ntatsi, G., Fernandes, Â., Petrotos, K., Akoumianakis, K., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R. (2017). Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. *Food Chemistry*, 214, 129–136.
285. Philipp, C., Buckow, R., Silcock, P., Oey, I. (2017). Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. *Food Research International*, 102, 658–665.

286. Podio, N. S., López-Froilán, R., Ramirez-Moreno, E., Bertrand, L., Baroni, M. V., Pérez-Rodríguez, M. L., Sánchez-Mata, M. C., Wunderlin, D. A. (2015). Matching in vitro bioaccessibility of polyphenols and antioxidant capacity of soluble coffee by Boosted Regression Trees. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(43), 9572–9582.
287. Podio, N. S., Baroni, M. V., Wunderlin, D. A. (2017). Relation between polyphenol profile and antioxidant capacity of different Argentinean wheat varieties. A Boosted Regression Trees study. *Food Chemistry*, 232, 79–88.
288. Poliszko, N., Kowalczewski, P. Ł., Rybicka, I., Kubiak, P., Poliszko, S. (2019). The effect of pumpkin flour on quality and acoustic properties of extruded corn snacks. *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 14(2), 121–129.
289. Pool-Zobel, B. L. (2005). Inulin-type fructans and reduction in colon cancer risk: review of experimental and human data. *British Journal of Nutrition*, 93(S1), S73–S90.
290. Pouille, C. L., Jegou, D., Dugardin, C., Cudennec, B., Ravallec, R., Hance, P., Rambaud, C., Hilbert, J. L., Lucau-Danila, A. (2020). Chicory root flour – A functional food with potential multiple health benefits evaluated in a mice model. *Journal of Functional Foods*, 74(June), 104174.
291. Poursakhi, N., Razmjoo, J., Karimmojeni, H. (2020). Nutritional qualities, chemical compositions, and yield of chicory genotypes. *Agronomy Journal*, 112(1), 344–351.
292. Pramudya, R. C., Seo, H. S. (2018). Using Check-All-That-Apply (CATA) method for determining product temperature-dependent sensory-attribute variations: A case study of cooked rice. *Food Research International*, 105, 724–732.
293. Puhlmann, M. L., de Vos, W. M. (2020). Back to the roots: Revisiting the use of the fiber-rich *Cichorium intybus* L. taproots. *Advances in Nutrition (Bethesda, Md.)*, 11(4), 878–889.
294. Pushpadass, H. A., Babu, G. S., Weber, R. W., Hanna, M. A. (2008). Extrusion of starch-based loose-fill packaging foams#: Effects of temperature, moisture and talc on physical properties. *Packaging Technology and Science*, 21(3), 171–183.
295. Pushparaj, P. N., Low, H. K., Manikandan, J., Tan, B. K. H., Tan, C. H. (2007). Anti-diabetic effects of *Cichorium intybus* in streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 111, 430–434.
296. Quirós-Sauceda, A. E., Palafox-Carlos, H., Sàyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Bello-Perez, L. A., Álvarez-Parrilla, E., de la Rosa, A., González-Córdova, F., González-Aguilar, G. A. (2014). Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. *Food and Function*, 5, 1063–1072.
297. Radovanović, A., Stojčeska, V., Plunkett, A., Janković, S., Milovanović, D., Cupara, S. (2015). The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry*, 177, 81–88.
298. Raftani Amiri, Z., Khandelwal, P., Aruna, B. R. (2010). Development of acidophilus milk via selected probiotics and prebiotics using artificial neural network. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 01(03), 224–231.
299. Raigond, P., Ezekiel, R., Raigond, B. (2015). Resistant starch in food: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 1968–1978.
300. Ramos Diaz, J. M., Suuronen, J. P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., Jouppila, K. (2015). Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1047–1056.

301. Ramos Diaz, J. M., Sundarrajan, L., Kariluoto, S., Lampi, A. M., Tenitz, S., Jouppila, K. (2017). Effect of extrusion cooking on physical properties and chemical composition of corn-based snacks containing amaranth and quinoa: application of partial least squares regression. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), 1–15.
302. Rasouli, H., Farzaei, M. H., Khodarahmi, R. (2017). Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 1700–1741.
303. Rayan, A. M., Morsy, N. E., Youssef, K. M. (2018). Enrichment of rice-based extrudates with Cactus *Opuntia dillenii* seed powder: a novel source of fiber and antioxidants. *Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 523–531.
304. Reddy, M. K., Kuna, A., Devi, N. L., Krishnaiah, N., Kaur, C., Nagamalleswari, Y. (2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1929–1937.
305. Rendall, R., Pereira, A. C., Reis, M. S. (2017). Advanced predictive methods for wine age prediction: Part I – A comparison study of single-block regression approaches based on variable selection, penalized regression, latent variables and tree-based ensemble methods. *Talanta*, 171(July 2016), 341–350.
306. Riaz, M. N. (2006). Extruded snacks. In Y. H. Hui (Ed.). *Handbook of Food Science Technology and Engineering* (Vol. 4). Boca Raton, FL: CRC Press.
307. Riaz, M. N. (2019). Food extruders. In *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering*, 483–497.
308. Ripoll, C., Schmidt, B., Ilic, N., Raskin, I. (2007a). In vitro and in vivo anti-inflammatory effects of a sesquiterpene lactone extract from chicory (*Cichorium intybus* L.). U.S. Patent No. 7,226,623.
309. Ripoll, C., Schmidt, M. B., Ilic, N., Poulev, A., Dey, M., Kurmukov, G. A., Raskin, I. (2007b). Anty-inflammatory effects of a sesquiterpene lactone extract from chicory (*Cichorium intybus* L.) roots. *Natural Product Communications*, 2(7), 717–722.
310. Roberfroid, M. B., Delzenne, N. M. (1998). Dietary fructans. *Annual Review of Nutrition*, 18, 117–143.
311. Roberfroid, Marcel B. (1999). Concepts in functional foods: The case of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, 129(7), 1398–1401.
312. Roberfroid, M. (2007). Prebiotics: The concept revisited. *The Journal of Nutrition*, 137(3), 830S-837S.
313. Robert, C., Happi, T., Wathelet, B., Paquot, M. (2008). Effect of variety and harvest date on pectin extracted from chicory roots (*Cichorium intybus* L.). *Food Chemistry*, 108, 1008–1018.
314. Rodríguez-García, J., Salvador, A., Hernando, I. (2014). Replacing fat and sugar with inulin in cakes: bubble size distribution, physical and sensory properties. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 964–974.
315. Rodríguez-Ramírez, J., Méndez-Lagunas, L., López-Ortiz, A., Torres, S. S. (2012). True density and apparent density during the drying process for vegetables and fruits: A Review. *Journal of Food Science*, 77(12), 145–154.
316. Román, L., Santos, I., Martínez, M. M., Gómez, M. (2015). Effect of extruded wheat flour as a fat replacer on batter characteristics and cake quality. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 8188–8195.
317. Roustakhiz, J., Majnabadi, J. T. (2017). Cultivation of chicory (*Cichorium intybus* L.), an extremely useful herb. *International Journal of Farming and Allied Science*, 6(1), 14–23.

318. Rub, R. A., Siddiqui, A., Ali, A. M., Shaikh, A., Mukadam, M. (2014). Screening of antioxidant and antidiabetic potential of polyphenol rich fraction from *Cichorium intybus*. *Pharmacognosy Journal*, 6(4), 92–98.
319. Rustaiyan, A., Masoudi, S., Ezatpour, L., Danaii, E., Taherkhani, M., Aghajani, Z. (2011). Composition of the essential oils of *Anthemis Hyalina* DC., *Achillea Nobilis* L. and *Cichorium intybus* L. three *Asteraceae* herbs growing wild in Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 14(4), 472–480.
320. Rytel, E., Pęksa, A., Tajner-czopek, A., Kita, A., Zięba, T., Gryszkin, A. (2013). Effect of addition of protein preparations on the quality of extruded maize extrudates. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2(1), 1776–1790.
321. Ryu, G. H., Ng, P. K. W. (2001). Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Starch/Staerke*, 53(3–4), 147–154.
322. Saeed, M., El-Hack, M. E. A., Alagawany, M., Arain, M. A., Arif, M., Mirza, M. A., Naveed, M., Chao, S., Sarwar, M., Sayaba, M., Dhama, K. (2017). Chicory (*Cichorium intybus*) herb: chemical composition, pharmacology, nutritional and healthical applications. *International Journal of Pharmacology*, 13(4), 351–360.
323. Salata, C. da C., Leonel, M., Trombini, F. R. M., Mischan, M. M. (2014). Extrusion of blends of cassava leaves and cassava flour: physical characteristics of extrudates. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(3), 501–506.
324. Salvatore, E., Pes, M., Mazzarello, V., Pirisi, A. (2014). Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. *International Dairy Journal*, 34(1), 1–5.
325. Samyor, D., Deka, S. C., Das, A. B. (2018). Effect of extrusion conditions on the physicochemical and phytochemical properties of red rice and passion fruit powder based extrudates. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 5003–5013.
326. Sàñches-Mata, M. C., Cabrera Loera, R. D., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Càmara, M., Díez Marqués, C., Pardo-de-Santayanna, M., Tardío, J. (2012). Wild vegetables of the Mediterranean area as valuable sources of bioactive compounds. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59, 431–443.
327. Sandrin, R., Caon, T., Zibetti, A. W., Francisco, A. De. (2018). Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of aot and rice flour extrudates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3427–3436.
328. Santana, L. Á., Meireles, M. A. A. (2014). New starches are the trend for industry applications: A Review. *Food and Public Health*, 4(5), 229–241.
329. Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., Ng, P. K. W. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 143, 33–39.
330. Sarkar, T., Salauddin, M., Hazra, S. K., Chakraborty, R. (2020). Comparative ANN-TLBO and RSM optimisation approach for bioactive potential of microwave convective dried mango (*Mangifera indica*). *Proceedings*, 70(1), 1.
331. Schmidt, B. M., Ilic, N., Poulev, A., Raskin, I. (2007). Toxicological evaluation of a chicory root extract. *Food and Chemical Toxicology*, 45, 1131–1139.
332. Sebio, L., Chang, Y. K. (2000). Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. *Nahrung - Food*, 44(2), 96–101.

333. Selani, M. M., Brazaca, S. G. C., Dos Santos Dias, C. T., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., Bianchini, A. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, 163, 23–30.
334. Seth, D., Badwaik, L. S., Ganapathy, V. (2015). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1830–1838.
335. Sharma, P., Gujral, H. S. (2013). Extrusion of hulled barley affecting β -glucan and properties of extrudates. *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1374–1389.
336. Sharma, Parul, Ramchiary, M., Samyor, D., Das, A. B. (2016). Study on the phytochemical properties of pineapple fruit leather processed by extrusion cooking. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 534–543.
337. Shelar, G. A., Gaikwad, S. T. (2019). Extrusion in food processing: an overview. *The Pharma Innovatin Journal*, 8(2), 562–568.
338. Shihani, N., Kumbhar, B. K., Kulshreshtha, M. (2006). Modeling of extrusion process using response surface methodology and artificial neural networks. *Journal of Engineering Science and Technology*, June 2006, 31–40.
339. Shin, M., Gang, D. O., Song, J.-Y. (2010). Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread. *Food Science and Biotechnology*, 19(4), 951–956.
340. Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Rizwan, H., Shakeel, A., Ansari, A., Niazi, S. (2016). Inulin: properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147, 444–454.
341. Silva, A. M., Albuquerque Gonçalves, T., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P. P., Costa, H. S. (2018). Melon (*Cucumis melo* L.) by-products: Potential food ingredients for novel functional foods? *Trends in Food Science & Technology*, 98, 181–189.
342. Silva, E. M. M. da, Ascheri, J. L. R., Carvalho, C. W. P. de, Takeiti, C. Y., Berrios, J. de J. (2014). Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 620–626.
343. Singleton, L. V., Rossi, A. J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 144-158.
344. Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916–929.
345. Singh, R., Chahal, K. (2018). *Cichorium intybus* L: A review on phytochemistry and pharmacology. *International Journal of Chemical Studies*, 6, 1272–1280.
346. Singh, R. S., Singh, T., Larroche, C. (2019). Biotechnological applications of inulin-rich feedstocks. *Bioresource Technology*, 273, 641–653.
347. Singha, P., Singh, S. K., Muthukumarappan, K., Krishnan, P. (2018). Physicochemical and nutritional properties of extrudates from food grade distiller's dried grains, garbanzo flour, and corn grits. *Food Science and Nutrition*, 6(7), 1914–1926.
348. Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance-A review. *Appetite*, 51(3), 456–467.
349. Sisay, M. T. (2018). *Modeling of functional wheat-based extrusion process conditions*.
350. Spina, M., Cuccioloni, M., Sparapani, L., Acciarri, S., Eleuteri, A. M., Fioretti, E., Angeletti, M. (2008). Comparative evaluation of flavonoid content in assessing quality of wild and cultivated vegetables for human consumption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 294–304.

351. Srikanth, V., Rajesh, G. K., Kothakota, A., Pandiselvam, R., Sagarika, N., Manikantan, M. R., Sudheer, K. P. (2020). Modeling and optimization of developed cocoa beans extractor parameters using box behnken design and artificial neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177(August), 105715.
352. Stanciu, G., Rotariu, R., Popescu, A., Tomescu, A. (2019). Phenolic and mineral composition of wild chicory grown in Romania. *Revista de Chimie*, 70(4), 1173–1177.
353. Steel, C. J., Vernaza Leoro, M. G., Schmiele, M., Ferreira, R. E., Chang, Y. K. (2012). Thermoplastic extrusion in food processing. In *Thermoplastic elastomers* (pp. 265–290).
354. Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., Ibanoglu, Ş. (2010). The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121(1), 156–164.
355. Street, R. A., Sidana, J., Prinsloo, G. (2013). Cichorium intybus: traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. *Hindawi*, 2013(Article ID 579319), 1–13.
356. Suliburska, J., Krejpcio, Z., Lampart-Szczapa, E., Wójciak, R. W. (2009). Effect of fermentation and extrusion on the release of selected minerals from lupine grain preparations. *Acta Scientiarum Polonorum : Technologia Alimentaria*, 8(3), 87–96.
357. Sumargo, F., Gulati, P., Weier, S. A., Clarke, J., Rose, D. J. (2016). Effects of processing moisture on the physical properties and in vitro digestibility of starch and protein in extruded brown rice and pinto bean composite flours. *Food Chemistry*, 211, 726–733.
358. Sun-Waterhouse, D., Teoh, A., Massarotto, C., Wibisono, R., Wadhwa, S. (2010). Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. *Food Chemistry*, 119(4), 1369–1379.
359. Šárka, E., Smrčková, P., Chena Aldao, D. A., Sallamtaş, M., Koláček, J., Pour, V. (2015). Influence of process parameters and added starches on resistant starch content and sensory properties of maize extrudates. *Starch/Staerke*, 67(9–10), 737–744.
360. Tacer-Caba, Z., Nilufer-Erdil, D., Boyacioglu, M. H., Ng, P. K. W. (2014). Evaluating the effects of amylose and Concord grape extract powder substitution on physicochemical properties of wheat flour extrudates produced at different temperatures. *Food Chemistry*, 157, 476–484.
361. Taewee, T. K. (2011). Cracker “Keropok”: A review on factors influencing expansion. In *International Food Research Journal*, 18(3): 855-866.
362. Tang, H., Wrobel, L. C., Fan, Z. (2003). Fluid flow aspects of twin-screw extruder process: Numerical simulations of TSE rheomixing. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 11, 771–790.
363. Tańska, M., Konopka, I., Ruskowska, M. (2017). Sensory, physico-chemical and water sorption properties of corn extrudates enriched with spirulina. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(3), 250–257.
364. Theis, S. (2018). 10-Authorised EU health claim for chicory inulin. *Foods Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*, 3, 147-158.
365. Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A., Maroulis, Z. B. (2005). Structural properties of extruded corn starch. *Journal of Food Engineering*, 68(4), 519–526.
366. Tomaszewska-Ciosk, E., Zdybel, E., Lech, K., Nemś, A. (2019). Effect of ethanol on properties of extrudates enriched with high-fibre by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 2811–2820.
367. Torkashvand, A. M., Ahmadi, A., Nikraves, N. L. (2017). Prediction of kiwifruit firmness using fruit mineral nutrient concentration by artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions (MLR). *Journal of Integrative Agriculture*, 16(7), 1634–1644.

368. Tosini, F. (2004). Chicory varieties: comparative trials in Veneto. *Informatore Agrario Supplemento*, 60, 37–42.
369. Tsokolar-Tsikopoulos, K. C., Katsavou, I. D., Krokida, M. K. (2015). The effect of inulin addition on structural and textural properties of extruded products under several extrusion conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6170–6181.
370. Tugrul Masatcioglu, M., Yalcin, E., Hwan, P. J., Ryu, G. H., Celik, S., Koksel, H. (2014). Hull-less barley flour supplemented corn extrudates produced by conventional extrusion and CO₂ injection process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 302–309.
371. Tunland, B. C., Meyer, D. (2002). Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(3), 90–109.
372. Turner, N., Lupton, J. (2011). Dietary Fiber. *Advanced in Nutrition*, 2(2), 151–152.
373. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Food Data Central, 2019. fdc.nal.usda.gov. Pristupljeno 29. oktobra 2021.
374. Ugwu, F. M. (2009). The potentials of roots and tubers as weaning foods. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(10), 1701–1705.
375. Vallée, M., Lu, X., Narciso, J. O., Li, W., Qin, Y., Brennan, M. A., Brennan, C. S. (2017). Physical, predictive glycaemic response and antioxidative properties of black ear mushroom (*Auricularia auricula*) extrudates. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(3), 301–307.
376. Van Beek, T. A., Maas, P., King, B. M., Leclercq, E., Voragen, A. G. J., de Groot, A. (1990). Bitter sesquiterpene lactones from chicory roots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1035–1038.
377. Van Laere, A., Van den Ende, W. (2002). Inulin metabolism in dicots: Chicory as a model system. *Plant, Cell and Environment*, 25(6), 803–813.
378. Vandoorne, B., Mathieu, A. S., Van den Ende, W., Vergauwen, R., Perilleux, C., Javaux, M., Lutts, S. (2012). Water stress drastically reduces root growth and inulin yield in *Cichorium intybus* L. (var. *sativum*) independently of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 63(2), 695–709.
379. Vandoorne, B., Descamps, C., Mathieu, A. S., Van den Ende, W., Vergauwen, R., Javaux, M., Lutts, S. (2014). Long term intermittent flooding stress affects plant growth and inulin synthesis of *Cichorium intybus* (var. *sativum*). *Plant Soil*, 376, 291–305.
380. Vargas-Solórzano, J. W., Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Ascheri, J. L. R., Queiroz, V. A. V. (2014). Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. *Food Research International*, 55, 37–44.
381. Verma, R., Rawat, A., Ganie, S. A., Agnihotri, R. K., Sharma, R., Mahajan, S., Gupta, A. (2013). *In vitro* antibacterial activity of *Cichorium intybus* against some pathogenic bacteria. *British Journal of Pharmaceutical Research*, 3(4), 767–775.
382. Verma, S., Gupta, A., Verma, R. (2018). Food extrusion: Effects on micronutrients. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 602–603.
383. Vilas, C., Arias-Méndez, A., García, M. R., Alonso, A. A., Balsa-Canto, E. (2016). Toward predictive food process models: A protocol for parameter estimation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–50.
384. Villegas, B., Tárrega, A., Carbonell, I., Costell, E. (2010). Optimising acceptability of new prebiotic low-fat milk beverages. *Food Quality and Preference*, 21(2), 234–242.

385. Vujčić, I., Mašić, S. (2021). Preservation of hemp flour using high-energy ionizing radiation: The effect of gamma radiation on aflatoxin inactivation, microbiological properties, and nutritional values. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), 1–8.
386. Wang, Q., Cui, J. (2011). Perspectives and utilization technologies of chicory (*Cichorium intybus* L.): A review. *African Journal of Biotechnology*, 10(11), 1966–1977.
387. Wang, N., Maximiuk, L., Toews, R. (2012). Pea starch noodles: Effect of processing variables on characteristics and optimisation of twin-screw extrusion process. *Food Chemistry*, 133(3), 742–753.
388. Wang, Y. Y., Ryu, G. H. (2013). Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits with corn fiber by CO₂ injection extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 110–116.
389. Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., Wang, S. (2015). Starch retrogradation: a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568–585.
390. Wang, P., Yang, Q., Zheng, D., Wang, Q., Wang, N., Saleh, A. S. M., Zhu, M., Xiao, Z. (2018). Physicochemical and antioxidant properties of rice flour based extrudates enriched with stabilized rice bran. *Starch*, 70(9-10), 1800050.
391. Wang, R., Wan, J., Liu, C., Xia, X., Ding, Y. (2019). Pasting, thermal, and rheological properties of rice starch partially replaced by inulin with different degrees of polymerization. *Food Hydrocolloids*, 92, 228–232.
392. Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Schweiggert-Weisz, U., Gul, K., Wani, I. A. (2012). Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(5), 417–436.
393. Wani, S. A., Kumar, P. (2015). Characterization of extrudates enriched with health promoting ingredients. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(4), 592–598.
394. Wani, S. A., Kumar, P. (2016). Development and parameter optimization of health promising extrudate based on fenugreek oat and pea. *Food Bioscience*, 14, 34–40.
395. Willeman, H., Hance, P., Fertin, A., Voedts, N., Duhal, N., Goossens, J., Hilbert, J. (2014). A method for the simultaneous determination of chlorogenic acid and sesquiterpene lactone content in industrial chicory root foodstuffs. *Hindawi*, 2014, 1–11.
396. Wilson, R. G., Smith, J. A., Yonts, C. D. (2004). Chicory root yield and carbohydrate composition is influenced by cultivar selection, planting, and harvest date. *Crop Science*, 44(3), 748–752.
397. Włodarczyk-Stasiak, M., Mazurek, A., Pankiewicz, U., Sujka, M., Jamroz, J. (2014). Porosity of starch-proteins extrudates determined from nitrogen adsorption data. *Food Hydrocolloids*, 36, 308–315.
398. Wójtowicz, A., Mościcki, L., Oniszczyk, T., Combrzyński, M., Mitrus, M. (2014). The Effect of Fiber Addition on the Extrusion-Cooking Stability and Quality of Enriched Corn Snacks. *Teka. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 14(3), 141–146.
399. Wulfkuehler, S., Gras, C., Carle, R. (2013). Sesquiterpene lactone content and overall quality of fresh-cut witloof chicory (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum* Hegi) as affected by different washing procedures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 7705–7714.

400. Xie, F., Liu, H., Chen, P., Xue, T., Chen, L., Yu, L., Corrigan, P. (2006). Starch gelatinization under shearless and shear conditions. *International Journal of Food Engineering*, 2(5).
401. Yağcı, S., Göğüş, F. (2008). Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 122–132.
402. Yağcı, S., Altan, A., Doğan, F. (2020). Effects of extrusion processing and gum content on physicochemical, microstructural and nutritional properties of fermented chickpea-based extrudates. *LWT - Food Science and Technology*, 124, 109150.
403. Yanagisawa, T., Misaka, T. (2021). Characterization of the human bitter taste receptor response to sesquiterpene lactones from edible asteraceae species and suppression of bitterness through pH control. *ACS Omega*, 6, 4401–4407.
404. Yanniotis, S., Petraki, A., Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 594–599.
405. Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z., Liu, C. (2018). Properties of starch after extrusion: a review. *Starch/Staerke*, 70(11–12), 1–35.
406. Yildiz, Ö., Yurt, B., Baştürk, A., Toker, Ö. S., Yilmaz, M. T., Karaman, S., Dağlıoğlu, O. (2013). Pasting properties, texture profile and stress-relaxation behavior of wheat starch/dietary fiber systems. *Food Research International*, 53(1), 278–290.
407. Zafar, R., Ali, S. M. (1998). Anti-hepatotoxic effects of root and root callus extracts of *Cichorium intybus* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 63, 227–231.
408. Zarroug, Y., Abdelkarim, A., Dorra, S. T., Hamdaoui, G., Felah, M. E. L., Hassouna, M. (2016). Biochemical characterization of Tunisian *Cichorium Intybus* L . roots and optimization of ultrasonic inulin extraction. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 6(1), 674–685.
409. Zarzycki, P., Kasprzak, M., Rzedzicki, Z., Sobota, A., Wirkijowska, A., Sykut-Domańska, E. (2015). Effect of blend moisture and extrusion temperature on physical properties of everlasting pea-wheat extrudates. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6663–6670.
410. Żelazinski, T. (2011). Investigations on porosity of extrudates at various buckwheat content in the mixture. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Ogy*, 57, 49–55.
411. Zhao, Y., Zhao, C., Tang, X., Zhou, J., Li, H., Zhang, H., Liu, J. (2021). Physicochemical properties and microstructure of corn flour–cellulose fiber extrudates. *Food Science and Nutrition*, 9(5), 2497–2507.
412. Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. (2002). Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(8), 849–868.
413. Zhu, Y., Zhang, J., Shi, Z., Mao, Z. (2004). Optimization of operating conditions in rice heat blast process for Chinese rice wine production by combinational utilization of neural network and genetic algorithms. *Journal of the Institute of Brewing*, 110(2), 117–123.
414. Škrobot, D. (2016). Senzorski, nutritivni i funkcionalni profil integralne testenine sa dodatkom heljdinog brašna. Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu. Doktorska disertacija.
415. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search>. Pristupljeno 29.oktobra 2019

7. Prilozi

Prilog 1 – Potrošački test

POTROŠAČKI TEST

Poštovani potrošači, hvala što ste prihvatili učešće u ovom istraživanju.

U okviru ovog istraživanja koje će se odvijati kroz anketu i senzorsko ispitivanje flips proizvoda na bazi pirinča sa dodatkom korena cikoriije koji je razvijen od strane istraživača na Naučnom institutu za prehrambene tehnologije želimo da sumiramo podatke o dopadljivosti kreiranog proizvoda u zavisnosti od Vaših navika, stavova i afiniteta kada je u pitanju ova grupa proizvoda.

Pred Vama je anonimna anketa čiji rezultati će se koristiti isključivo za potrebe istraživanja. Procena trajanja ankete je 15 minuta.

Učešćem u anketi i senzorskom ocenjivanju dajete punu saglasnost da se Vaši odgovori mogu koristiti u pomenute svrhe.

Potrošački test – Anketni list

Molim Vas da zaokružite odgovor koji se odnosi na Vas!

Pol					
<i>Muški</i>			<i>Ženski</i>		
Obrazovanje					
<i>Osnovno</i>	<i>Srednje</i>	<i>Viša škola</i>	<i>Fakultet/Master</i>	<i>Doktor nauka</i>	
Radni status					
<i>Student</i>	<i>Radim povremeno</i>	<i>Radni odnos sa punim radnim vremenom</i>		<i>Penzioner</i>	
Mesečna primanja					
<i><10.000 din</i>	<i>10.000- 19.000 din</i>	<i>20.000- 29.000 din</i>	<i>30.000-39.000 din</i>	<i>40.000- 49.000 din</i>	<i>50.000- 59.000 din</i>
	<i>60.000-69.000 din</i>			<i>> 70.000 din</i>	

Stavite oznaku „x“ u polje pored/ispod tvrdnje sa kojom se najviše slažete!

1. Koliko često konzumirate navedene vrste namirnice? (za svaku od navedenih namirnica stavite znak „x“ kod odgovarajuće učestalosti konzumiranja)

Učestalost	Smoki	Čips	Grisine	Krekere	Slane štapiće	Kikiriki, semenke...
Nikada						
< od jednom mesečno						
jednom mesečno						
dva-tri puta mesečno						
jednom nedeljno						
≥ dva puta nedeljno						

2. Za svaku od navedenih tvrdnji stavite znak „x“ na skali 1-7 (1-potpuno netačno, 7-potpuno tačno) u skladu sa Vašim mišljenjem.

	Potpuno netačno			Potpuno tačno			
	1	2	3	4	5	6	7
Volim da jedem grickalice (flips proizvode)							
Volim da se hranim zdravo							
Često kupujem proizvode sa pozitivnim uticajem na ljudsko zdravlje							
Prilikom kupovine proizvoda sa pozitivnim uticajem na ljudsko zdravlje cena utiče na moj izbor							
Prebiotska vlakna poput inulina pružaju mnogobrojne zdravstvene benefite							
Vlakna nedostaju u mojoj ishrani							
Često kupujem bezglutenske proizvode							
Bezglutenski proizvodi su ključni u ishrani osoba obolelih od celijakije (glutenske intolerancije)							
Prilikom odabira flips proizvoda važna mi je polazna sirovina od koje su napravljeni (kukuruz, spelta, pirinač...)							
Prilikom odabira flips proizvoda kupujem i nove proizvode na tržištu (da probam)							
Prilikom odabira flips proizvoda važna mi je boja							
Volim kada je flips proizvod gorkog ukusa							
Volim kad je flips proizvod hrskav							
Volim kada se prilikom konzumiranja flips proizvod lepi za zube							

Potrošački test – Ocenjivački list

Proizvod: ***Ekstrudirani flips proizvodi na bazi pirinča sa dodatkom korena cikoriје***

Uputstvo: Molimo Vas da pratite uputstva i da pre izvođenja testa pažljivo pročitate pitanje i odgovorite na osnovu ličnog utiska o doživljenim senzorskim svojstvima uzorka. Pred vama se nalazi četiri uzorka. Uzorci su označeni trocifrenim brojevima. Molimo Vas da:

- Pažljivo prepisete šifre uzoraka sa kesica.
- Probajte uzorke, jedan po jedan.
- Molimo Vas da ne otvarate istovremeno sve kesice, već jednu po jednu, onako kako ocenjujete proizvode.
- Pri ocenjivanju proizvoda, pravite pauzu između uzoraka, popijte malo vode i odmorite svoja čula.
- Označite polje ispod tvrdnje (ili između tvrdnji) sa kojom se najviše slažete.

1. Koliko Vam se dopada **IZGLED** proizvoda?

Izuzetno mi se NE dopada ← Niti mi se dopada niti ne dopada → Izuzetno mi se dopada

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Koliko Vam se dopada **UKUS** proizvoda?

Izuzetno mi se NE dopada ← Niti mi se dopada niti ne dopada → Izuzetno mi se dopada

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Koliko Vam se dopada **TEKSTURA** proizvoda?

Izuzetno mi se NE dopada ← Niti mi se dopada niti ne dopada → Izuzetno mi se dopada

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

■ Molimo Vas da ocenite i **POJEDINAČNA SVOJSTVA** proizvoda.

1. Koliko Vam se dopada **BOJA** proizvoda?

Izuzetno mi se NE dopada ← Niti mi se dopada niti ne dopada → Izuzetno mi se dopada

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1a. Označite polje koje odgovara intenzitetu **BOJE** u odnosu na ono što je za Vas optimalno:

<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše

<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše

<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše

<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše

2. Koliko Vam se dopada **GORAK UKUS** proizvoda?

	Izuzetno mi se NE dopada	←	Niti mi se dopada niti ne dopada	→	Izuzetno mi se dopada				
<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>

2a. Označite polje koje odgovara intenzitetu **GORKOG UKUSA** u odnosu na ono što je za Vas optimalno:

<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše

<input style="width: 100px; height: 20px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>	<input style="width: 30px; height: 30px;" type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno				Taman				Previše
	/premalo				kako treba				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno				Taman				Previše
	/premalo				kako treba				

3. Koliko Vam se dopada **HRSKAVOST** proizvoda?

	Izuzetno mi se NE dopada					Niti mi se dopada niti ne dopada				Izuzetno mi se dopada
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3a. Označite polje koje odgovara intenzitetu **HRSKAVOSTI** u odnosu na ono što je za Vas optimalno:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno				Taman				Previše
	/premalo				kako treba				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno				Taman				Previše
	/premalo				kako treba				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno				Taman				Previše
	/premalo				kako treba				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno				Taman				Previše
	/premalo				kako treba				

5. Koliko Vam se dopada **ADHEZIVNOST (pojava lepljenja proizvoda za zube)** proizvoda?

Izuzetno mi se NE dopada ← ————— Niti mi se dopada niti ne dopada ————— Izuzetno mi se dopada

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5a. Označite polje koje odgovara intenzitetu **ADHEZIVNOSTI** u odnosu na ono što je za Vas optimalno:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nedovoljno /premalo				Taman kako treba				Previše

■ Molimo Vas da **POREĐATE PROIZVODE PO DOPADLJIVOSTI** od onog koji vam se najviše dopada do onog koji vam je najmanje dopadljiv.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Najviše mi se sviđa			Najmanje mi se sviđa

- Molimo Vas da **navedete razloge** zbog kojih Vam se proizvod:

Odabrani uzorak mi se **NAJVIŠE** sviđa zbog:

Odabrani uzorak mi se **NAJMANJE** sviđa zbog:

- Molimo Vas da **navedete NA KOJI NAČIN BISTE VI UNAPREDILI SVAKI OD OVIH PROIZVODA** (upišite šifru proizvoda u osenčeno polje, a na liniju Vaše mišljenje):

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Развој новог безглутенског функционалног флипс производа оплемењеног кореном цикорије (<i>Cichorium intybus</i> L.)
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Универзитет у Новом Саду, Научни институт за прехранбене технологије. б) Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, лабораторија на предмету Органске хемије. в) Универзитет у Мурсији (Гранада), Шпанија, СЕВАС-СИС, лабораторија шпанског националног истраживачког центра.
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Истраживања обухваћена овом докторском дисертацијом финансирана су од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, кроз пројекат “Нови производи цереалија и псеудоцереалија из органске производње” (евиденциони број пројекта III 46005), и кроз финансирање научноистраживачког рада НИО од стране горенаведеног Министарства (евиденциони бројеви уговора 451-03-9/2021-14/200222 и 451-03-68/2022-14/200222).
1. Опис података
<p>1.1 Врста студије</p> <p>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају <u>Докторска дисертација</u></p> <p>1.2 Врсте података</p> <p>а) квантитативни б) квалитативни</p> <p>1.3. Начин прикупљања података</p> <p>а) анкете, упитници, тестови б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи в) генотипови: навести врсту _____ г) административни подаци: навести врсту _____ д) узорци ткива: навести врсту _____ ђ) снимци, фотографије: навести врсту <u>фотографије уређаја, испитивани узорци</u> е) текст, навести врсту <u>литература</u> _____ ж) мапа, навести врсту _____ з) остало: описати <u>web садржај</u> _____</p> <p>1.3 Формат података, употребљене скале, количина података</p> <p>1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:</p> <p>а) Excel фајл, датотека <u>.xls</u> _____ б) SPSS фајл, датотека _____ с) PDF фајл, датотека _____ д) Текст фајл, датотека <u>.doc</u> _____ е) JPG фајл, датотека <u>.jpeg</u> _____</p>

f) Остало, датотека статистички софтвер Statistica 10.0

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- a) број варијабли велики број
 б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) велики број

1.3.3. Поновљена мерења

- a) да
 б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- a) временски размак између поновљених мерења је између неколико минута и неколико дана
 б) варијабле које се више пута мере односе се на све експерименталне анализе (експанзионе особине, насипну масу, порозност, текстурне особине, садржај инулина итд.)
 в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

- a) Да
 б) Не

*Ако је одговор не, образложити***2. Прикупљање података**

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

- a) експеримент, навести тип хемијска анализа
 б) корелационо истраживање, навести тип Central Composite Design експериментални дизајн, Principal component analysis – PCA analiza
 ц) анализа текста, навести тип тумачење добијених резултата, извођење закључака и поређење са литературним подацима
 д) остало, навести шта _____

2.1.2 *Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).*

- Mettler Toledo density kit
- Анализатор текстуре TA-XT2 Texture Analyzer
- Колориметар Konica Minolta Chroma Meter
- Диференцијални скенирајући калориметар DSC 204 F1 Phoenix®
- Реометар HAAKE Mars
- Атомски апсорпциони спектрометар iCE 3300 FL
- Спектрофотометар, Multiscan GO
- HPLC-ELSD Agilent 1200 систем
- HPLC-DAD-ESI/MSⁿ Agilent 1200 систем
- Двопужни екструдер модел Bühler BTKS 30/ 28D
- Обрада података статистички софтвер Statistica 10.0.

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

- a) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? _____
 б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не
 в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Различити статистички тестови примењени су у сврху контролисања квалитета података, уз изостављање екстремних вредности.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Поређењем резултата добијених за 6 понављања у централној тачки и тумачењем добијених резултата у односу на оне резултате доступне у научној литератури извршена је контрола уноса података у матрицу.

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у Репозиторијум Универзитета Нови Сад.

3.1.2. URL адреса накнадно

3.1.3.

DOI

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) Да

б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) Не

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење _____

3.2. Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? _____

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3. Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? _____

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да Не

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности

(https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да Не

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

Сензорска испитивања су одобрена 08.02.2022. године од стране Етичке комисије Научног института за прехранбене технологије у Новом Саду (Број одлуке 175/И/16-3).

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да Не

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- a) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Јелена Перовић, jelena.perovic@fins.uns.ac.rs; perovic.jelena993@gmail.com

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Јелена Перовић, jelena.perovic@fins.uns.ac.rs; perovic.jelena993@gmail.com

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Јелена Перовић, jelena.perovic@fins.uns.ac.rs; perovic.jelena993@gmail.com