

# Primjena računalne analize slike u ispitivanju funkcionalnih svojstava sira za pizzu

---

Ivešić, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:263286>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-13**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



image not found or type unknown



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
**PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**Ivona Ivešić**

**PRIMJENA RAČUNALNE ANALIZE SLIKE U ISPITIVANJU  
FUNKCIONALNIH SVOJSTAVA SIRA ZA PIZZU**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, srpanj 2016.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek  
Zavod za prehrambene tehnologije  
Katedra za mljekarstvo  
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti  
**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija  
**Nastavni predmet:** Tehnologija mlijeka i mliječnih proizvoda  
**Tema rada** je prihvaćena na IX. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2015./2016. održanoj 21. lipnja 2016.  
**Mentor:** dr. sc. *Mirela Lučan*, znan. sur.  
**Pomoć pri izradi:** doc. dr. sc. *Jasmina Lukinac Čačić*

**Primjena računalne analize slike u ispitivanju funkcionalnih svojstava sira za pizzu**

*Ivona Ivešić*, 331-Di

**Sažetak:**

Budući da se Mozzarella najčešće konzumira kao dodatak pizzama, funkcionalna svojstva, uključujući topljivost, otpuštanje ulja, ljepljivost i elastičnost pri zagrijavanju su od velike važnosti. U ovom radu je primijenjena nova beskontaktna metoda, računalna analiza slike, koja je upotrijebljena za analizu topljivosti i mjerenja svojstva otpuštanja ulja industrijski proizvedenih uzoraka Mozzarelle. Također su analizirana fizikalno-kemijska, teksturalna i senzorska svojstva uzoraka. Vrijednosti topljivosti sira prema Arnottovom i Schreiberovom testu, pokazala su pozitivan stupanj korelacije (0,8121). Ispitivani sirevi s većom topljivošću imali su statistički niže vrijednosti teksturalnih svojstava: tvrdoće, ljepljivost, elastičnosti, gumenosti i otpor žvakanju. Otpuštanje ulja mjerenjem uljne površine na filter papiru pokazao je pozitivnu korelaciju s udjelom mliječne masti (0,8297). Rezultati hedonističke skale pokazali su visoku prihvatljivost svih uzoraka. Ukupni rezultati pokazuju da se metoda računalne analize slika može primijeniti za objektivnu i učinkovitu procjenu funkcionalnih svojstava sira.

**Ključne riječi:** *računalna analiza, analiza slike, funkcionalna svojstva, topljivost, otpuštanje ulja, Mozzarella*

**Rad sadrži:** 66 stranica  
39 slika  
4 tablice  
4 priloga  
15 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** Hrvatski

**Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

1. prof. dr. sc. <i>Jovica Hardi</i>	predsjednik
2. dr. sc. <i>Mirela Lučan</i> , znan. sur.	član-mentor
3. doc. dr. sc. <i>Jasmina Lukinac Čačić</i>	član-komentor
4. doc. dr. sc. <i>Krešimir Mastanjević</i>	zamjena člana

**Datum obrane:** 15. srpanja 2016.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u** Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek  
Faculty of Food Technology Osijek  
Department of Food Technology  
Subdepartment of Dairy  
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

**Scientific area:** Biotechnical sciences

**Scientific field:** Food technology

**Course title:** Dairy technology

**Thesis subject** was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. IX held on June 21, 2016.

**Mentor:** *Mirela Lučan*, PhD

**Technical assistance:** *Jasmina Lukinac Čačić*, PhD, assistant prof.

### Thesis title

*Ivona Ivešić*, 331-DI

### Summary: (up to 200 words)

As Mozzarella cheese is usually consumed as a pizza topping, the functional properties including meltability, free oil, viscoelasticity and stretchability when melted, are of great importance. In this work a novel non-contact computer vision method was employed to analyse the melting and free-oil formation of industry produced Mozzarella samples. Physicochemical, textural and sensory properties were also analysed. The data on cheese meltability recorded in the Arnott Test and Schreiber Test, indicated a high degree of correlation (0.8121). A higher melting property of the tested cheeses resulted in a statistically significantly lower texture properties: hardness, adhesiveness, springiness, gumminess and chewiness. The oiling off property of cheese, tested by the traditional oil ring test, was significantly influenced by milk fat content (0.8297). The results of hedonistic scale application showed high consumers acceptability of all samples. The overall results show that the computer vision method developed provides an objective and efficient approach for assessing the functional properties of cheese.

**Key words:** *computer vision, image analysis, functional property, meltability, free-oil formation, Mozzarella*

**Thesis contains:** 66 pages  
39 figures  
4 tables  
4 supplements  
15 references

**Original in:** Croatian

### Defense committee:

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. <i>Jovica Hardi</i> , PhD, prof.                    | chair person |
| 2. <i>Mirela Lučan</i> , PhD                           | supervisor   |
| 3. <i>Jasmina Lukinac Čačić</i> , PhD, assistant prof. | member       |
| 4. <i>Krešimir Mastanjević</i> , PhD, assistant prof.  | stand-in     |

**Defense date:** July 17, 2016.

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Zahvala:

Prije svega želim zahvaliti svojoj roditeljima što su mi omogućili ovaj studij i što bez njih, sve što sam do sada postigla ne bi bilo moguće.

Također, zahvaljujem svojoj cijeloj obitelji i rodbini na bezuvjetnoj podršci i ohrabrivanju tijekom studiranja.

Hvala svim mojim prijateljicama i prijateljima bez kojih ovaj moj tijek studiranja ne bi prošao tako zabavno.

I na kraju hvala mojoj mentorici dr. sc. Mireli Lučan na svakoj pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada.

HVALA svima!

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. SIR</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2. SIR MOZZARELLA</b> .....	<b>7</b>
2.2.1. Struktura sira .....	7
2.2.2. Industrijska proizvodnja Mozzarella .....	9
<b>2.3. FUNKCIONALNA SVOJSTVA SIREVA ZA PIZZU</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4. RAČUNALNA ANALIZA SLIKE</b> .....	<b>14</b>
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1. ZADATAK</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2. MATERIJAL I METODE</b> .....	<b>18</b>
3.2.1. Materijali .....	18
3.2.2. Kemijska analiza sira .....	19
3.2.3. pH vrijednost .....	20
3.2.4. Aktivitet vode .....	20
3.2.5. Ispitivanje boje .....	21
3.2.6. Određivanje teksturalnih svojstava .....	23
3.2.7. Ispitivanje topljivosti sira .....	25
3.2.8. Ispitivanje otpuštanja ulja.....	26
3.2.9. Računalna analiza funkcionalnih svojstava .....	27
3.2.10. Senzorska analiza.....	29
3.2.11. Statistička obrada rezultata .....	31
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1. FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA SIRA</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2. FUNKCIONALNA SVOJSTVA</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3. TEKSTURALNA SVOJSTVA SIREVA</b> .....	<b>41</b>
<b>4.4. BOJA UZORAKA</b> .....	<b>46</b>
<b>4.5. SENZORSKA SVOJSTVA</b> .....	<b>48</b>
<b>4.6. REZULTATI DESKRIPTIVNE ANALIZE</b> .....	<b>49</b>
<b>5. ZAKLJUČCI</b> .....	<b>54</b>
<b>6. LITERATURA</b> .....	<b>57</b>
<b>7. PRILOZI</b> .....	<b>59</b>

## **1. UVOD**

---



Sir je mliječni proizvod dobiven koagulacijom proteina u mlijeku uz izdvajanje sirutke (tekućine nastale tijekom obrade gruša, sporedni proizvod). Postoje tisuće vrsta sira s različitim svojstvima, teksturom, okusom, ovisno o vrsti mlijeka, vrsti bakterija, tehnologiji proizvodnje i slično.

Mozzarella je tradicionalni sir od razvučenog gruša koji se izvorno proizvodi od bivoličinog mlijeka. Kuglastog je ili ovalnog oblika, različite veličine. Stara, izvorna Mozzarella potječe iz okolice Rima. U 15. stoljeću zvala se jednostavno mozza. Tada se radila isključivo od mlijeka bivolice, a sada se proizvodi od kravljeg mlijeka, pogotovo Mozzarelle koje se proizvode izvan Italije.

Mozzarella je relativno mekan sir sa visokim postotkom vode. Izvorne Mozzarelle proizvode se u malim grudicama promjera do 6 cm, u obliku jaja, viskoelastičan je i gumenaste strukture, a pakira se uvijek u salamuri ili vlastitoj sirutci. Mozzarella sir se topi lako i ima veliku rastezljivost i stoga se često koristi kao rastopljen preljev jelima, a najčešće pizzi. Zbog senzornih svojstava poželjnih od potrošača funkcionalna svojstva Mozzarella sira, uključujući topljivost, elastičnost, rastezljivost, otpuštanje ulja te posmeđivanje, su od velike važnosti.

U ovom diplomskom, provela se analiza kemijskog sastava, pH vrijednosti, aktiviteta vode i boje uzoraka sireva. Ispitivanje teksture sira pomoću uređaja za analizu profila teksture (TPA) obuhvatila je mjerenje čvrstoće, kohezivnosti, elastičnosti, odgođene elastičnosti te otpor žvakanju.

Cilj ovog diplomskog rada je praćenje i definiranje funkcionalnih svojstava Mozzarelle sira te obrada rezultata pomoću računalne analize slika koja se pokazala da je točnija, objektivnija i učinkovitija s obzirom na "kontaktne" klasične metode.

## **2. TEORIJSKI DIO**

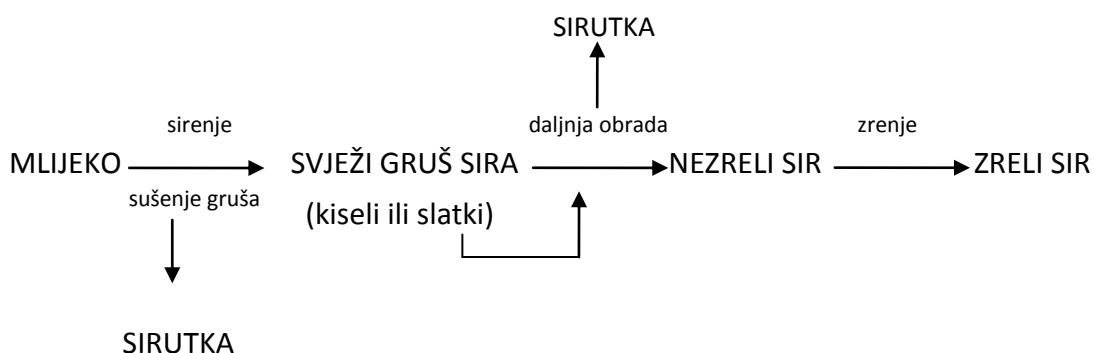
---

## 2.1. SIR

Prema arheološkim istraživanjima provedenim u plodnoj dolini između rijeka Eufrata i Tigrisa, pronađeni su dokazi o postojanju sira još u razdoblju od 7000. – 6000. godina prije Krista. Sir ima dugu povijest ispunjenu raznim mitovima, legendama i povijesnim dokazima koji opisuju njegovo podrijetlo i proizvodnju. Tehnologije proizvodnje sira razvijale su se stoljećima s ciljem što kvalitetnije prehrane ljudi, ali i konzerviranja i čuvanja mlijeka na što duže razdoblje. Razvoj znanosti, objašnjenje fizikalno - kemijskih i mikrobioloških promjena u proizvodnji sira, izum strojeva, proizvodnja mikrobnih kultura i sličnih otkrića utjecali su da tradicionalan kućni postupci prerastu u vrlo suvremene industrijske procese (Tratnik, 1998). Sir je važna namirnica u prehrani ljudi, a danas ima i širi značaj jer predstavlja kulturno i tradicionalno ogledalo neke zemlje. Bogat je proteinima, mineralnim tvarima i vitaminima, a zbog svojih različitih iznimnih okusa i mirisa, prozvan je kraljevskom namirnicom.

Prema Pravilniku o sirevima i proizvodima od sireva (MPRRR, 2009), sirevi su svježi proizvodi ili proizvodi s različitim stupnjem zrelosti koji se proizvode odvajanjem sirutke nakon zgrušavanja mlijeka (kravljeg, ovčjeg, kozjeg, bivoljeg mlijeka i/ili njihovih mješavina), vrhnja ili kombinacijom navedenih sirovina. U proizvodnji sireva dopuštena je uporaba mljekarskih kultura, sirila i/ili drugih odgovarajućih enzima zgrušavanja i/ili dopuštenih kiselina za zgrušavanje.

Bit proizvodnje sira je provedba koagulacije proteina kazeina, odnosno sirenje ili grušanje mlijeka, i oblikovanje sirnog gruša u sirno zrno, uz izdvajanje nastale sirutke i eventualno soljenje sira, nakon čega se dobiva svježi nezreli sir koji se podvrgava zrenju u zrionici (ili u salamuri) da bi nastao zreli sir željenih osobina (Tratnik, 1998):



### Podjela sireva

Danas je poznato više od 2000 različitih vrsta sireva. Neka pravilna klasifikacija je teška s obzirom na podrijetlo sira, različite načine proizvodnje sira, različite klimatske zone i pasmine mliječne stoke. Najbolje ih je razvrstati prema određenim skupnim osobinama.

- Prema vrsti proteina razlikuju se:
  - kazeinski sirevi (proizvedeni od mlijeka),
  - albuminski sirevi (proizvedeni od sirutke),
  - kazeinsko-albuminski sirevi (mlijeko + sirutka; ultrafiltrirano (UF)-mlijeko).
- Prema vrsti mlijeka razlikuju se:
  - kravljji, ovčji, kozji, bivolji i sirevi od mješavine kravljeg s nekom drugom vrstom mlijeka.
- S obzirom na način proizvodnje razlikuju se (prema načinu grušanja mlijeka):
  - kiseli (djelovanjem kiseline - mliječno-kiselo vrenje), svježi meki sirevi,
  - slatki sir (djelovanjem enzimskih pripravaka - sirila), polutvrđi i tvrdi sirevi,
  - mješoviti sirevi (djelovanjem kiseline i enzima sirila), brojne vrste ostalih sireva (u salamuri, s plemenitim plijesnima, sirevi od UF-mlijeka).
- Prema konzistenciji sira - količini vode u masi sira bez masti razlikuju se:
  - jako tvrdi sirevi (manje od 50%),
  - tvrdi sirevi (49 do 56%),
  - polutvrđi sirevi (54 do 63%),
  - polumeći sirevi (61 do 69%),
  - meki, svježi sirevi (više od 67%).
- Prema količini masti u suhoj tvari sira razlikuju se:
  - vrlo masni sirevi (više od 60%),
  - punomasni sirevi (45-60%),
  - polumasni sirevi (25-45%),
  - malomasni sirevi (10-25%),
  - posni sirevi (manje od 10%).

- Prema zrenju sira sire se dijeli na 3 grupe:
  - a) sirevi bez zrenja (svježi):
    - pastozni tip,
    - zrnati tip (zrnati i kremasti zrnati),
    - plastični, rastezljivi tip (Mozzarella, Parenica).
  - b) sirevi sa zrenjem (uz bakterije):
    - pretežno na površini (Limburger, Romadur),
    - pretežno u unutrašnjosti:
      1. bez tvorbe plina - bez rupica (Parmesan, Paški sir, Cheddar),
      2. uz tvorbu plina - rupice (Emmentaler, Gryere, Gouda),
    - zrenje u salamuri (Feta, Travnički, bijeli sir u kriškama),
  - c) sirevi sa zrenjem (uz plemenite plijesni):
    - pretežno na površini – bijele (Camamber, Brie),
    - pretežno u unutrašnjosti - plave, zelene (Roquefort, Gorgonzola, Stilton),
    - površina/unutrašnjost (plavi Brie, Cambazola).
- Prema sličnom procesu proizvodnje sirevi se dijele:
  - tipa Cheddar (Cheddar, Parmesan, Kackavalj, Mozzarella, Parenica),
  - tipa Ementaler (Emmentaler, Gryere),
  - tipa Roquefort (Roquefotr, Gorgonzola, Stilton),
  - tipa Camembert (Camembert, Brie),
  - tipa Limburger (Limburger, Romadur),
  - tip sira u salamuri (Feta, Domiati, Halloumi).

## 2.2. SIR MOZZARELLA

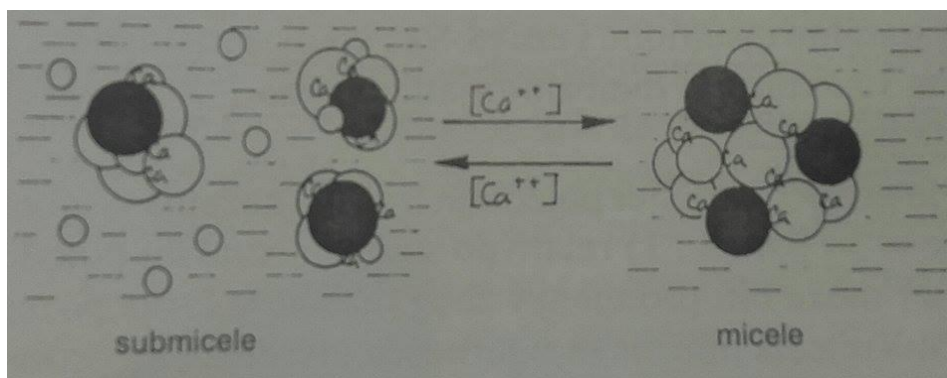
Mozzarella sir je jedan od omiljenih sireva u svijetu i čini gotovo jednu trećinu ukupne potrošnje sira. Mozzarella je autohtoni talijanski sir. Izvorno, Mozzarella je proizvedena od bivoljeg mlijeka, ona ima glatku, kremastu i mekanu strukturu, lagana je, te je blago slatko-kiselog okusa te se mora čuvati u salamuri ili sirutci. Međutim, bivola je sve manje stoga se počela proizvoditi Mozzarella od kravljeg mlijeka. Mozzarella od kravljeg mlijeka ima sasvim drukčiju strukturu ona je teža, s većim udjelom suhe tvari, manje aromatična, gumene teksture te dužeg roka trajanja (Xixiu Ma, 2013).

Čuveno svojstvo Mozzarelle je sposobnost razvlačenja gruša, te je kao takva najbolji i nezamjenjivi dodatak mnogim vrstama pizza.

### 2.2.1. Struktura sira

Kao što je već navedeno gore u tekstu bit proizvodnje sira je provedba koagulacije proteina, odnosno sirenje ili grušanje mlijeka, oblikovanje sirnog gruša u sirno zrno uz izdvajanje nastale sirutke i eventualno soljenje sira, nakon čega se dobiva svježi nezreli sir. Za proizvodnju sira najvažniji sastojak je bjelančevina kazein. To je složena bjelančevina, koja u svom sastavu sadrži fosfor. Svojstva kazeina poput elektronegativnosti, netopljivosti u vodi te njegove koagulacije u kiselom mediju kod pH 4,6 ili djelovanjem enzima vrlo su važna za proizvodnju sira. Osim kazeina, u mlijeku se nalaze proteini sirutke koji potječu iz krvi i mliječnih žlijezda. Proteini sirutke su albumin (35%) i globulin (10-15%) koji su topljivi u vodi, ali ne koaguliraju kod pH 4,6. U mlijeku se ukupno nalazi 80% kazeina, bjelančevine poznate kao netopljive u vodi te 20% proteina sirutke poznate kao topljive u vodi. Veći udjel kazeina u usporedbi s proteinima sirutke u mlijeku utječe na oblikovanje čvršćeg, viskoznijeg gruša (Tratnik, 1998).

U svježem mlijeku kazein se nalazi u obliku micela. Prosječna micela kazeina sadrži 400 – 500 podjedinica submicela. Svaka submicela je kompleks različiti h frakcija:  $\alpha$ -,  $\beta$ - i  $\kappa$ -kazeina. Submicele kazeina spajaju se pomoću iona kalcija ili kalcij fosfata čineći tako složenu strukturu, micelu kazeina globularnog oblika (Perko, 2015).

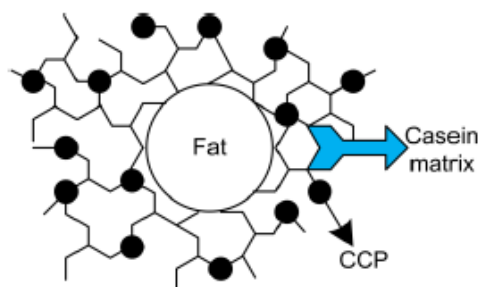


**Slika 1** Prostorna izgradnja submicela i micela (Tratnik, 1998)

Osnovu svakog lanca čine aminokiseline povezane peptidnim vezama. Različito pojedinih frakcija kazeina prema topljivosti, osjetljivosti na ione kalcija i enzime, pokazuje da je micela izgrađena prema točno određenom principu (Perko, 2015).  $\kappa$ -kazein okružuje micelu kazeina. Hidrofobni dio molekule  $\kappa$ -kazeina vezan je za unutrašnjost micelle, dok je hidrofilan dio tog makropeptida (osobito zbog prisutnih ugljikohidrata) izložen prema okolnoj vodenoj fazi mlijeka. Ti izdanci "kosa"  $\kappa$ -kazeina, odgovorni su za stabilizaciju nastale kazeinske micelle jer oblikuju "hidratacijski sloj" oko globularne micelle te je time ona negativno nabijena.

Stabilnost kazeina ovisi o prvom redu o temperaturi i kiselosti mlijeka te količini kalcijevih iona tj. kalcijevog fosfata u mlijeku, itd. Da bi smo izazvali koagulaciju kazeina, potrebno je ukloniti ove činitelje stabilnosti što se provodi djelovanjem kiselina ili proteolitičkih enzima. Zagrijavanjem mlijeka na  $140^{\circ}\text{C}$  na 20 minuta, sniženjem pH te povišenjem koncentracije kalcijevih iona ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dolazi do agregacije kazeina i oblikovanje trodimenzionalne mreže gela (Tratnik, 1998).

Iz svega možemo zaključiti kao što je prikazano i na **Slici 2**, kazein ima najznačajniju ulogu u formiranju strukture sira. Globule masti disperzirane unutar proteinske mreže, popunjavaju gel i povećavaju njegovu čvrstoću dok kalcijevi ioni ( $\text{Ca}^{2+}$ ) u obliku kalcijevog fosfata povezuju kazeinate u trodimenzionalnu mrežu gela (Xixiu Ma, 2013).



Slika 2 Trodimenzionalna struktura mreže gela

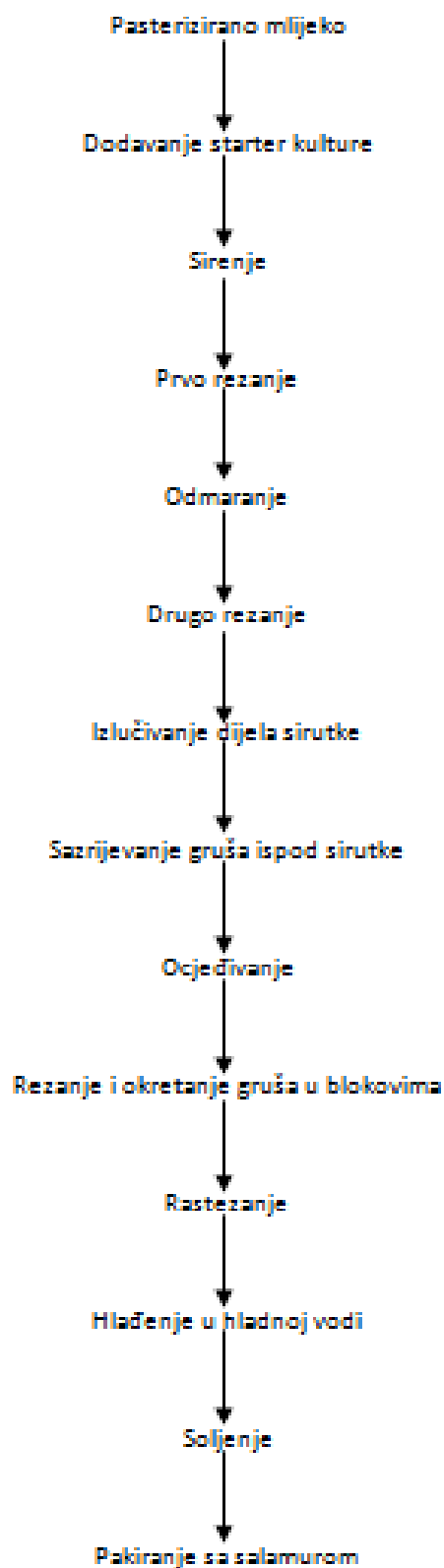
### 2.2.2. Industrijska proizvodnja Mozzarelle

Mozzarella je tip polumekog ili polutvrdog sira, plastičnog, rastezljivog tijesta. Mozzarella je jedan od najpoznatijih predstavnika sira parenog tijesta tj. *pasta filata* sira. Tehnologija proizvodnje *pasta filata* sireva se bazira na postupku čedarizacije (bez soljenja) (odvajanje sirutke od gruša) gdje gruša sazrije, uključujući rezanje na rezance te kuhanje i rastezanje tijesta da bi se postigla elastično-vlaknasta svojstva (Tratnik, 1998). Sirevi su glatke teksture, plastični do elastični i na presjeku se listaju (Božanić, 2015).

Proizvodnja Mozzarelle je vrlo jednostavna i ne zahtjeva velika ulaganja, ukoliko se ne proizvodi u velikim (industrijskim) količinama. Kod proizvodnje Mozzarelle posebno je važna higijena površina na kojima se priprema, zbog čega je potrebno detaljno provesti čišćenje i dezinfekciju pogona za proizvodnju Mozzarelle.

Dijagram toka za proizvodnju Mozzarelle sira dan je na **Slici 3**. U prvom koraku se u standardizirano (postignuto dodavanjem obranog mlijeka u prahu ili vrhnja do specifičnog omjera proteina i masti) i pasterizirano mlijeko dodaju starter kulture (bitne jer određuju sposobnost sira za rastezanje, posmeđivanje, topljenje i izlučivanje masti) te se zatim vrši sirenje koji se provodi enzimski uz pomoć kimozina. Nastali se gruša prebacuje na čedarizaciju, gdje gruša sazrije, a zrela se sirna masa reže na rezance i transportira u napravu za kuhanje - rastezanje (vrućom vodom na 50 - 60 °C). Plastični gruša tada ide na oblikovanje i soli se kako bi se postiglo što kraće salamurenje. Oblikovani sir zatim ide na očvršćivanje i hlađenje (sa hladnom vodom koja se raspršuje iznad sira). Na kraju hlađenja sir se oslobađa iz kalupa i uranja u hladnu salamuru. Sirevi se tada mogu pakirati u plastičnu ambalažu u koju se dodaje dio salamure (Xixiu Ma, 2013).





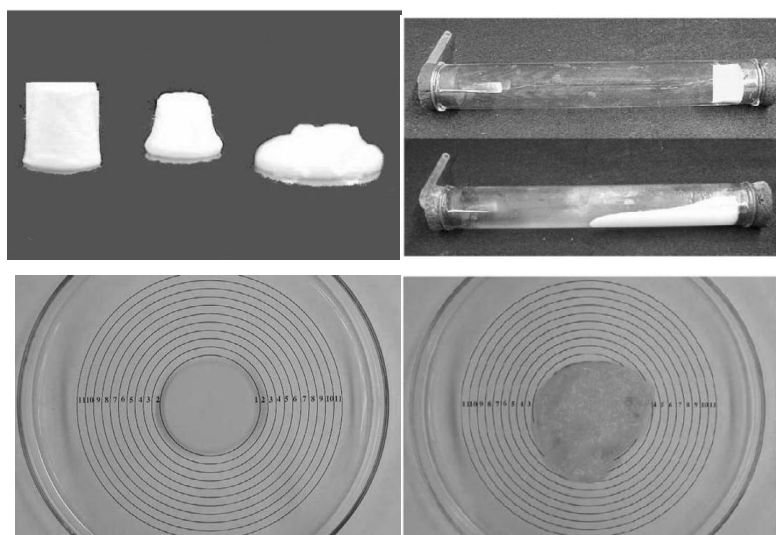
Slika 3 Dijagram toka proizvodnje Mozzarella sira

### 2.3. FUNKCIONALNA SVOJSTVA SIREVA ZA PIZZU

Sir koji se koristi kao jedan od sastojaka u hrani trebao bi imati neke korisne značajke. Osim svojstava koja su karakteristična za ovaj sir, mekan, većinom okruglog oblika, bijel, malo kiseo, plastično - elastičan, zagrijavanje kod Mozzarella sira izaziva sljedeće karakteristike tj. funkcionalna svojstva: topljivost - tečenje, rastezljivost, otpuštanje ulja te posmeđivanje boje sira. Mozzarella sir se prilikom zagrijavanja otapa te gubi svoj oblik npr. cilindra te dolazi do nastajanja vlaknaste i gumenaste konzistencije.

#### Topljivost

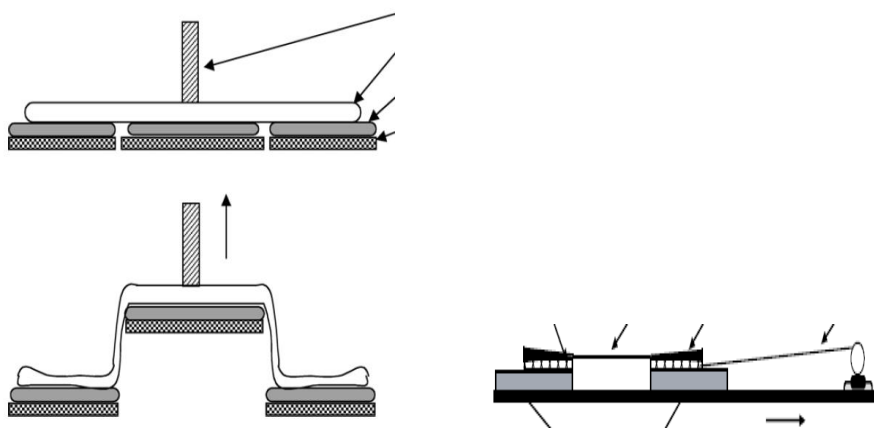
Topljivost se može definirati kao mjera u kojoj će se sir rastopiti i raširiti nakon zagrijavanja. Topljivost sira se temelji na prijenosu topline i promjene u fazi strukturi sira krute - tekuće. Topljivost Mozzarella sira ovisi o sadržaju aktivne vode (vode uhvaćene u matricu proteina) (Xixiu Ma, 2013). Mjeri se empirijskim testovima kao što su Schreiberov, Arnottov test i test u epruveti (**Slika 4b**). Primjenom Schreiberovog testa, cilindar sira se topi u ventilatorskoj pećnici na oko 232 °C tijekom 5 minuta, a promjene u promjeru nakon zagrijavanja predstavlja topljivost. Dokazano je pomoću Schreiberovog testa da sir napravljen kombinacijom bivoljog i kravljeg mlijeka ima veću topljivost nego samo od jedne vrste (Tuntragul, 2010).



**Slika 4** Empirijski testovi za ispitivanje topljivosti sireva: Arnottov test (a), test u epruveti (b) i Schreiberov test prije (c) i poslije (d) pečenja (Gunasekaran, 2003)

### Rastezljivost ili elastičnost

Rastezljivost je svojstvo koje je jedinstveno za Mozzarelle i ostale *pasta filata* sireve. Pojam rastezljivost je odnosi na sposobnost otopljenog sira da se proteže i vrši stvaranje niti prilikom razvlačenja otopljenog sira. Obično, postoje dvije vrste metoda istezanja: objektivnim metodama i empirijskim metodama (Xixiu Ma, 2013). Najčešće se upotrebljavaju metode okomite (vertikalne) rastezljivosti te vodoravne (horizontalne) rastezljivosti (**slika 5**). Prilikom vertikalne metode (najčešće test vilicom) rastezljivost je definirana kao udaljenost do pucanja vlakna dok kod horizontalne metode, razmak između polovica se uzima kao indeks rastezljivosti sira.

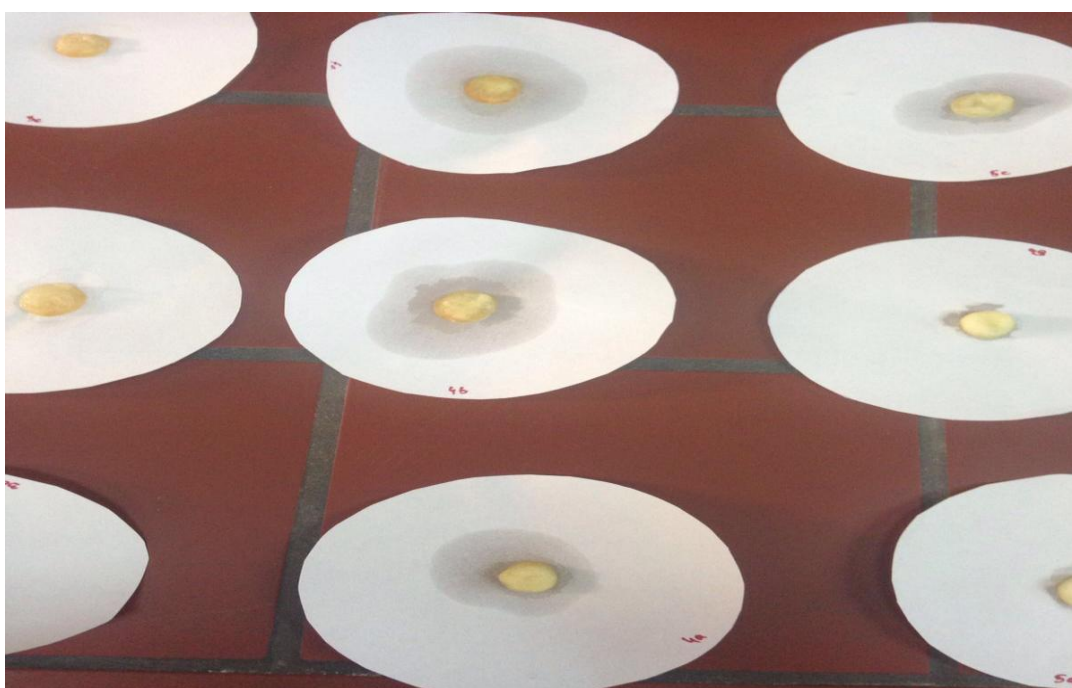


**Slika 5** Vertikalna i horizontalna metoda rastezljivosti (Gunasekaran, 2003)

### Otpuštanje ulja

Otpuštanje ulja se definira kao oslobađanje slobodnog ulja iz cilindra sira koje se tretiralo pri određenim uvjetima. Agregacijom masnih globula povećava se i otpuštanje ulja dok se homogenizacijom smanjuje jer se smanje veličina globula masti te se fino raspršivanje masti u strukturi sira.

Otpuštanje ulja se može mjeriti pomoću dvije empirijske metode: 1.) cilindar sira se stavi na filter papir te se zagrijava na određenim uvjetima, te se mjeri područje prstena ulja koji je difundira u papir ili 2.) centrifugiranjem pod određenim uvjetima kako bi se dobio stupac masti (Xixiu Ma, 2013).



**Slika 6** Otpuštanje ulja na filter papiru

### Posmeđivanje tijekom pečenja

Posmeđivanje je promjena boje sira, kad se zagrije, a uzrokovana je tipičnom Maillardovom reakcijom između zaostalih šećera i aminokiselina. Intenzitet posmeđivanja ovisi o sljedećim uvjetima: vremenu pečenja, temperaturi te reakcijama između aminokiselina i ugljikohidrata u siru. Posmeđivanje sira se promatra na pizzi ili kada se sir grije u vodenoj kupelji.



**Slika 7** Posmeđivanje uzoraka Mozzarelle sireva tijekom pečenja

### 2.4. RAČUNALNA ANALIZA SLIKE

U tradicionalnim (uključujući regulatorne) procjenama kvalitete mliječnih proizvoda se primjenjuju dva osnovna pristupa: fizikalno-kemijske i organoleptičke. To su laboratorijske metode koje se odnose na dugotrajne eksperimente, posebnu opremu i materijale te visokokvalificirane stručnjake. Kod velikog broja rezultata procjene se temelje na subjektivnoj procjeni stručnjaka, čime rezultati ovisе o znanju i iskustvu stručnjaka, kao i njihovoj sposobnosti da interpretiraju rezultate. Nedostatak ovih klasičnih metoda je subjektivnost u procjeni.

Stoga se počelo tražiti nove metode koje bi bile objektivne, točne te učinkovite. Jedne od tih su računalna analiza slika i spektralne analize jer svojim naprednim tehnološkim rješenjima daju potpunu objektivnost u procjeni (Dimitrov, Mladeno, 2012).

Računalna analiza slika je nedestruktivna metoda analize. Njeni algoritmi mogu biti strukturni, morfološki i oni koji objekte klasificiraju prema boji ili intenzitetu sive nijanse. Zbog brzine, preciznosti, objektivnosti i ponovljivosti rezultata računalna analiza slike uzorka

uspješno se primjenjuje u mnogim industrijskim granama. U prehrambenoj industriji upotrebljiva se za analiziranje: oblika i veličine reznaca sira, teksture prehrambenih proizvoda, sadržaja mesnog i masnog tkiva u komadima mesa te udjela šupljina u pekarskim proizvodima (Pranjić, 2005).

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

---

### 3.1. ZADATAK

Zadatak ovog diplomskog rada je ispitati mogućnost primjene računalne obrade slika u analizi funkcionalnih svojstava Mozzarella sireva s tržišta, te utvrditi sastav, kemijska svojstva, teksturu i ispitati povezanost funkcionalnih svojstava s ovim parametrima.

U sklopu diplomskog rada provedene su sljedeće analize:

- analiza kemijskog sastava sira;
- pH vrijednost analiziranih sireva;
- aktivitet vode u analiziranim sirevima;
- boja analiziranih sireva;
- organoleptičko ocjenjivanje sira;
- svojstva teksture (čvrstoća, adhezivnost, elastičnost, kohezivnost, otpor žvakanju, žilavost);
- računalna analiza slika funkcionalnih svojstava sira.
- te statistička obrada rezultata.



## 3.2. MATERIJAL I METODE

### 3.2.1. Materijali

Šest uzoraka Mozzarella sira različitih proizvođača prikupljeni su na tržištu.



Slika 8 Uzorci Mozzarella sira

Tablica 1 Deklaracija proizvoda

	Proizvod	Nutritivna vrijednost na 100g							Masa	
		Energija (kJ/kcal)	Masti (g)	Zasićene MK (g)	Ugljikohidrati (g)	Šećeri (g)	Proteini (g)	Sol (g)	Neto (g)	Ocijedena (g)
1.	Galbani Mozzarella di Bufala Campana	276/66	24,00		1,00		14,00	0,70	235,00	125,00
2.	Galbani Mozzarella	989/238	18,00	12,50	2,00	1,00	17,00	0,70	225,00	125,00
3.	Galbani Mozzarella light	690/165	9,00	6,30	2,00	1,00	19,00	0,38	210,00	125,00
4.	Meggle Mozzarella	1014/244	18,50	12,50	0,40	0,40	19,00	0,38	200,00	125,00
5.	K plus Mozzarella	1026/247	19,00	12,00	1,00	1,00	18,00	0,50	220,00	100,00
6.	Zott Mozzarella	1029/248	19,00	12,90	1,50	1,50	17,50	0,60	200,00	125,00

### 3.2.2. Kemijska analiza sira

Sastav Mozzarella sireva određivano je metodom Webb. i sur., koja je ujedno danas i uobičajena za određivanje sastava polutvrdih i tvrdih sireva. Kemijski sastav Mozzarelle sira određivan je u uređaju FoodScan Analyser (Foss, Švedska, **Slika 9**). Mjerno tijelo uređaja napuni se do vrha posudice s 80 g sira koji je prethodno homogeniziran u mikseru i stavi se u posebnu komoru za uzorke. Komora se zatim zatvori i kreće mjerenje. U Mozzarelli su određeni udio vode, proteina, mliječne masti i NaCl.



**Slika 9** Food Scan™ Lab

### 3.2.3. pH vrijednost

Prema službenoj metodi AOAC 962.19 ispitana je pH vrijednost ispitnog sira sa pH metrom (pH metar 3210, **Slika 10**). Ubodnom iglom pH metra u ocijeđenoj masi Mozzarelle sireva izračunate su pH vrijednosti.



**Slika 10** pH metar 3210

### 3.2.4. Aktivitet vode

Aktivitet vode ( $a_w$ ) je određen uređajem Rotronic HygroLab 3 pri sobnoj temperaturi (Rotronic AG, Bassesdorf, Switzerland, **Slika 11**).



**Slika 11** HygroLab 3 (uređaj za određivanje aktiviteta vode)

### 3.2.5. Ispitivanje boje

Osjet boje predstavlja psihofizički doživljaj koji ovisi o izvoru svjetla, psihološkim i fiziološkim uvjetima promatrača i karakteristikama objekta koji se promatra. Često je boja svojstvo prehrambenih proizvoda koje se prvo uočava i direktno pretvara u pozitivan ili negativan predznak ukupne kvalitete proizvoda. Doživljaj boje ovisan je o tri faktora:

- spektralnom sastavu svjetla koje pada na promatrani predmet,
- molekularnoj strukturi materijala s kojeg se svjetlo reflektira ili koje ga propušta i
- čovjekovim osjetom boje, kroz oči i mozak (Lukinac Čačić, 2012).

Boje se mogu definirati svojim uobičajenim imenima, no postoje tri atributa koji uže definiraju svaku boju:

- ton boje ili tonalnost boje (engl. *hue*),
- zasićenost ili saturacija (engl. *saturation*),
- svjetlina ili luminancija (engl. *lightness*).

Prostor boja ili model boja je način pomoću kojeg se definiraju, stvaraju i vizualiziraju boje.

Osnovna podjela prostora boja je na:

- aditivni prostor boja, ovisan o uređaju, kod kojeg se boja dobiva zbrajanjem pojedinih komponenti (npr. RGB),
- subtraktivni prostor boja, neovisan o uređaju, kod kojeg se boja dobiva oduzimanjem pojedinih komponenti (npr. CIE  $L^*a^*b^*$ ).

Prilikom našeg istraživanja koristio se CIE  $L^*a^*b^*$  prostor.

CIE  $L^*a^*b^*$  prostor boja je trodimenzionalni prostor boja baziran na percepciji boje standardnog promatrača. Prednost ovog sustava je i uvođenje svjetline kao treće dimenzije. Numeričke vrijednosti u CIE  $L^*a^*b^*$  sustavu opisuju sve boje koje može razlikovati ljudsko oko. CIE  $L^*a^*b^*$  sustavu boje su opisane pomoću tri osi: dvije kromatske,  $a^*$  komponenta odnos između crvene i zelene boje (negativne vrijednosti označavaju zelenu, a pozitivne crvenu), a  $b^*$  komponenta odnos između žute i plave boje (negativne vrijednosti za plavu, a pozitivne za žutu).  $L^*$  komponenta određuje svjetlinu, akromatska os mjeri se od 0 do 100 po vertikalnoj osi, gdje je 0 vrijednost za crnu, a 100 za bijelu, što je prikazano na slici 10 (Yam i

Papadakis, 2004.; Hsien-Che, 2005.). Mjerenje boje provedeno je pomoću uređaja Hunter-Lab Mini ScanXE (A60-1010-615 Model Colorimeter, Hunter-Lab, Reston, VA, USA).

Određivana su tri parametra boje: L, a i b. Hunter-ove L, a i b vrijednosti podudaraju se sa sljedećim rasponima boja:

- $a^*$  - zeleno ( $-a^*$ ) ili crveno ( $+a^*$ );
- $b^*$  - plavo ( $-b^*$ ) ili žuto ( $+b^*$ );
- $L^*$  - svjetlo ( $L^* = 100$ ) ili tamno ( $L^* = 0$ ) (Tuntragul, 2010).

Određivanja svojstava boje rađeno je na sobnoj temperaturi ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Sva mjerenja rađena su u 5 ponavljanja.



Slika 12 Hunter-Lab Mini ScanXE

### 3.2.6. Određivanje teksturalnih svojstava

Tekstura sira je svojstvo prema kojem potrošač prosuđuje i određuje o kojoj vrsti sira se radi. Pored izgleda, prisutnost ili odsutnost rupica, te osjećaj u ustima se primjećuju prije nego se utvrdi okus. Faktori koji određuju promjene u teksturi u svim sirevima su uglavnom isti. To je zbog toga jer komponente sira (gruš, prirodni mliječni enzimi, kazein, voda, mliječna kiselina, natrijev klorid, mliječna mast, kalcij) su iste u svim vrstama sira i razlikuju se prema udjelu tih komponenata. Analiza teksture deskriptivnim senzorskim metodama koristi termine koji se odnose na osjećaj dobiven nakon prvog ugriza tijekom žvakanja i gutanja.

Stoga su razvijene metode koje simuliraju žvakanje, tzv. analiza teksturalnog profila (engl. *Texture Profile Analysis, TPA*) ili metoda dvostrukog zagriz. Ova metoda ima dobru korelaciju sa senzorskim podacima, a obuhvaća primjenjivanje dva kompresijska ciklusa na hranu na taj način da se simulira početna faza žvakanja.

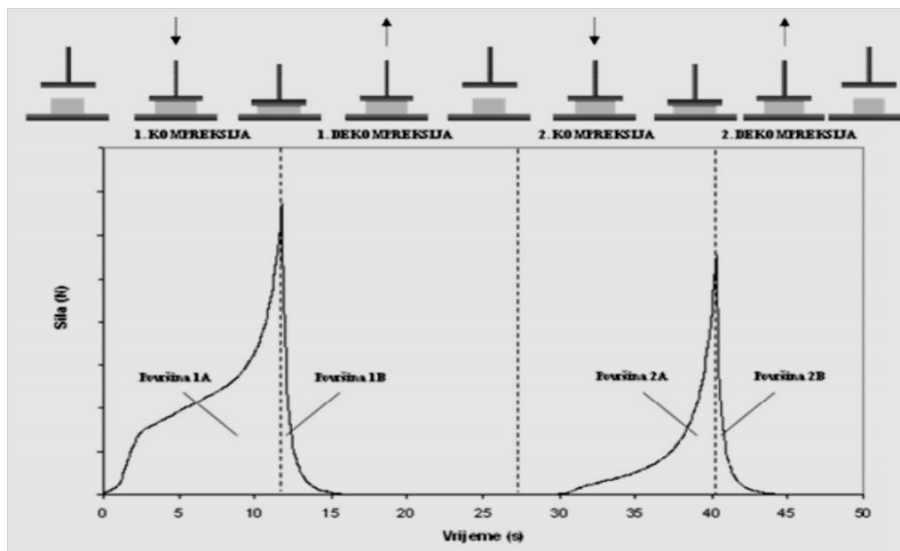
Da bi se simulirao dvostruki zagriz, odnosno žvakanje, uzorak se stavlja na bazu analizatora teksture i podvrgava dvostrukoj kompresiji (uz određeno zadržavanje kompresijske sonde između dva ciklusa), a računalni program zapisuje krivulju promjene sile potrebne za kompresiju uzorka u vremenu podešenom prije eksperimenta. Iz dobivenih rezultata očitavaju se određeni parametri koji uglavnom vrlo dobro koreliraju sa senzorskim ispitivanjima uzorka. Tipični primarni parametri u ispitivanju teksture kruha su čvrstoća, kohezivnost, elastičnost i tzv. odgođena elastičnost, a i iz njih se dalje izračunavaju sekundarni parametri kao što je npr. otpor žvakanju).

Za određivanje teksturalnog profila sira uzoraka koristio se uređaj TA.XT2i Plus (SMS Stable Micro Systems Texture Analyzer, Surrey, England, **Slika 14**), opremljen cilindričnim probnim tijelom P/20. Dobiveni podaci su analizirani s Texture Exponent 32 softverom (verzija 3.0.5.0.). Sirevi su rezani na cilindre promjera 9mm i visine 15 mm, pomoću bušača čepova, ohlađeni na 4 °C te kao takvi postavljani na mjernu plohu instrumenta.

Mjerenja su obavljena pri sobnoj temperaturi ( $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) u 3 ponavljanja. Uzorci se podvrgavaju dvostrukoj kompresiji cilindričnim nastavkom TA-25, 36 mm promjera, prema sljedećim parametrima:

- kalibracija visine: 15 mm;
- brzina prije mjerenja: 1 mm/s;
- brzina mjerenja: 1 mm/s;

- brzina nakon mjerenja: 1 mm/s;
- kompresija 80%;
- vrijeme zadržavanja između dvije kompresije: 5 s.



**Slika 13** Krivulja ispitivanja teksturalnog profila metodom dvostruke kompresije  
Iz dobivenih rezultata (primjer krivulje za uzorak S-5 u **Prilogu ?**) mogu se očitati:

- čvrstoća (*hardness*) – visina prvog pika izražena u jedinicama sile (N) ili mase (g);
- kohezivnost (*cohesiveness*) – predstavlja snagu unutrašnjih veza materijala potrebnih da zadrže uzorak koherentnim pri deformaciji, a definirana je omjerom površina ispod drugog i prvog pika (Površina 2AiB/Površina 1AiB);
- elastičnost (*resilience*) – predstavlja tzv. trenutnu elastičnost, odnosno mjeru oporavka uzorka od deformacije pri prvoj kompresiji, a definirana je omjerom površine ispod krivulje tijekom prve dekompresije i površine ispod krivulje tijekom prve kompresije (Površina 1B/Površina 1A);
- odgođena elastičnost (*springiness*) – omjer visina uzorka do koje se on vraća tijekom vremena koje prođe između kraja prve kompresije i početka druge kompresije i početne visine uzorka;
- otpor žvakanju (*chewiness*) – predstavlja energiju koju je potrebno utrošiti za žvakanje uzorka, odnosno otpor uzorka žvakanju, a izračunava se kao umnožak

čvrstoće, kohezivnosti i odgođene elastičnosti i izražava u jedinicama sile (N) ili mase (g).



**Slika 14** Plus Texture Analyser

### **3.2.7. Ispitivanje topljivosti sira**

Topljivost sira se ispitala pomoću empirijskih testova (testa u epruveti, Arnottovog i Schreiberovog testa), nakon čega je primijenjena računalna analiza slike.

#### **3.2.7.1 Profil topljenja (Arnottov test)**

Uzorci sira su rezani na cilindre promjera 9 mm i visine 13 mm, pomoću bušača čepova, ohlađeni na 4 °C, te stavljeni u sušionik na 140 °C, u dva ponavljanja. Uzorak je tijekom 5 minuta (do potpunog topljenja) fotografiran digitalnim fotoaparatom (Canon EOS-1100D). Nakon računalne analize slike, određena je visina cilindra uzorka sira u vremenu fotografiranja, te su izračunate vrijednosti:

- početna brzina tečenja sira - kao brzina (mm/s) pri kojoj se visina sira smanji tijekom prvih 80 s testa;
- konačna razina tečenja sira - smanjenje visine nakon 300 s;
- stupanj tečenja (%) - promjena visine uzorka sira u usporedbi s visinom sira na početku;
- topljivost - % promjene u visini sira.



### **3.2.7.2 Površina topljenja (Schreiberov test)**

Uzorci sira su rezani na cilindre promjera 9 mm i visine 15 mm, pomoću bušača čepova i ohlađeni na 4 °C. Cilindri su položeni u pokrivene Petrijeve zdjelice (15×100 mm) i zagrijani u ventilatorskoj pećnici na 230 °C tijekom 5 min, u dva ponavljanja. Nakon toga su ohlađeni na sobnoj temperaturi 30 minuta, te skenirani pomoću skenera EPSON PERFECTION V500 photo. Površina topljenja je, umjesto mjerenjem klasičnom metodom primjenom skale sa 6 koncentričnih krugova, izračunata pomoću računalne analize slike, te je izračunato povećanje površine u odnosu na početnu površinu (%).

### **3.2.7.3 Duljina tečenja (test u epruveti)**

3 g naribanog sira se stavilo u epruvetu dimenzija 14×160 mm i natiskalo kako bi s oblikovao čep na dnu epruvete (2 paralele). Epruveta se zamota alu-folijom na kojoj su se izbušile rupice, kako bi plinovi oslobođeni tijekom zagrijavanja mogli slobodno izaći. Epruveta se držala okomito oko 30 minuta, zatim se označila visina sira i nakon toga se vodoravno u pećnici zagrijavala na 100 °C tijekom 1 h. Topljivost se izražava kao duljina tečenja sira u mm.

### **3.2.8. Ispitivanje otpuštanja ulja**

Količina slobodnog ulja otpuštenog iz sira tijekom topljenja je mjerena primjenom modificirane tradicionalne metode. Cilindri sira (9 mm promjer i 7 mm debljine, 3 paralele) su stavljeni na filter papir promjera 9 cm unutar staklene Petrijeve zdjelice i prekriveni. Nakon 30 minuta na sobnoj temperaturi (25 °C), uzorci su stavljeni u pećnicu zagrijanu na 100 °C 1 h, te ohlađeni 30 min na sobnoj temperaturi. Uzora na filter papiru je skeniran pomoću skenera EPSON PERFECTION V500 photo, i nakon računalne analize slike, izračunata je površina masnog kruga.

### 3.2.9. Računalna analiza funkcionalnih svojstava

#### *Određivanje površine masnoće na filter papiru i boje uzoraka*

Svaki uzorak je skeniran, a slika obrađena računalnom analizom slike pomoću ImageJ (ver. 1.51d) programa. Za skeniranje uzoraka korišten je skener EPSON PERFECTION V500 photo (Epson America, Inc.). Skeniranje je odrađeno u kontroliranim uvjetima (tamna komora), odnosno u prostoru koji ne propušta nikakav vanjski izvor svjetlosti pri rezoluciji skenera od 600 dpi, dubini boje od 24 bita u RGB modelu boja. Slike su pohranjene TIFF formatu.



Slika 15 Skener EPSON PERFECTION V500 photo

#### *Određivanje visine uzoraka tijekom zagrijavanja u sušioniku*

Visina uzoraka određene je nakon fotografiranja uzoraka te obrade dobivenih fotografija programom ImageJ (ver. 1.51d). Uzorci su fotografirani digitalnim fotoaparatom (Canon EOS-1100D).

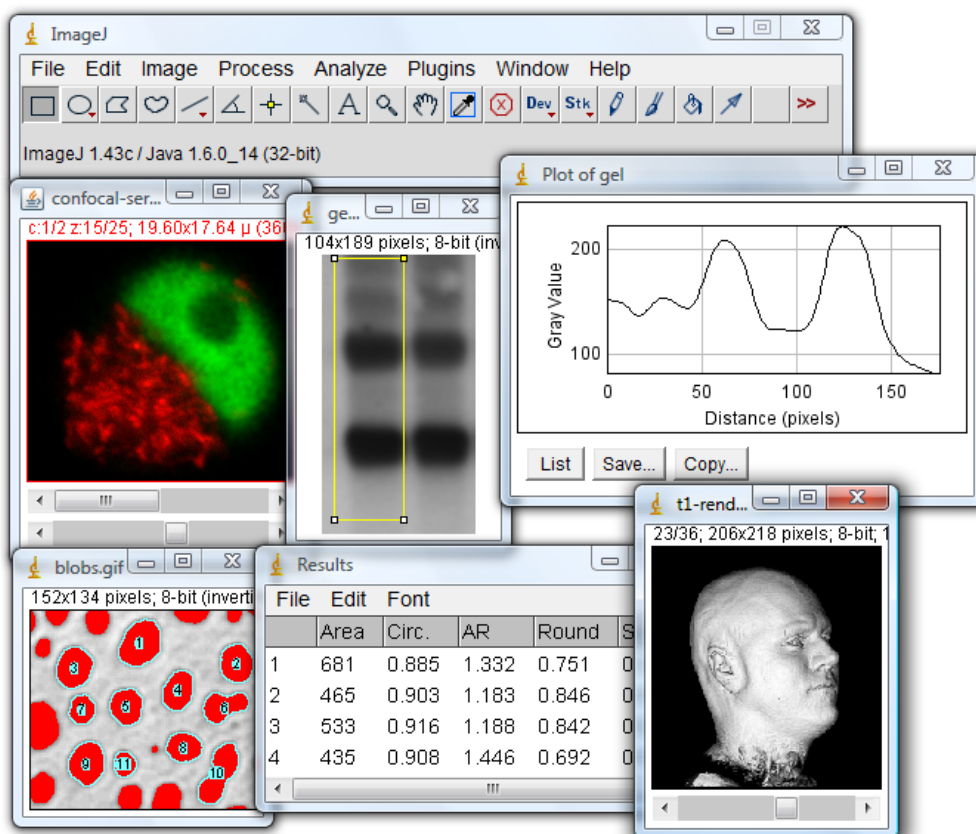


Slika 16 Digitalni fotoaparati CANON EOS-1100D

Tablica 2 Postavke sustava za analizu slike

Karakteristike	Vrijednost postavki
	<b>Canon EOS 1100D</b>
Fotoaparat	Digitalni, zrcalno–refleksi, AF/AE fotoaparat s ugrađenom bljeskalicom
Senzor slike	<b>CMOS</b> (veličina senzor 22.2 mm x 14.8 mm) RezoLucija $\approx$ 10.10 MP
Objektiv	Canon EF–S18 – <b>55 mm</b> (f/3.5-5.6 IS)
Način rada	<b>Ručno</b>
ISO osjetljivost	<b>200</b>
Otvor blende	<b>f/4.5</b>
Brzina okidača	<b>1/60 s</b>
Sustav boja	<b>sRGB</b>
Ravnoteža bjeline	<b>Ručno – keramička bijela pločica (CR-A43)</b>
Format slike	<b>JPEG+RAW</b> (3888 x 2592 pix); $\approx$ 2.0 MP
Programska podrška	Design rule for camera File System 2.0 Canon Remote Capture Software: <b>EOS Utility 2.3.0.2</b> (Canon Inc., USA)

**ImageJ** (ver. 1.51d; National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) je program za analizu slike u kojem je moguće prikazati, urediti, analizirati, spremi i printati slike od 8, 16 i 32 bita. U programu je moguće izračunati područje i vrijednost piksela, izmjeriti udaljenosti i kutove, a sadrži i opcije za podešavanje kontrasta, izoštravanje, poravnavanje i dr.

Slika 17 Izgled sučelja programa *ImageJ*

### 3.2.10. Senzorska analiza

Senzorska analiza je znanstvena disciplina koja tumači reakcije za one značajke hrane koje opažaju osjetila vida, mirisa, okusa i sluha (Mandić i Perl, 2006).

Senzorska svojstva na temelju kojih se određuju svojstva sireva su:

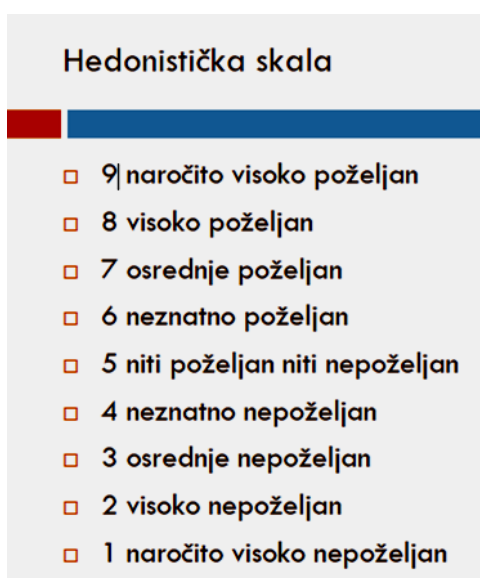
- aroma: miris i okus;
- tekstura: kompaktnost, šupljikavost, zrnatost;
- izgled površine: kora, boja, hrapavost/glatkoća i oblik.

Svi testovi se mogu podijeliti na 2 osnovna tipa: analitičke (diskriminativni, deskriptivni i bodovanje) i testiranje potrošača (određuju preferenciju te koliko se proizvod sviđa potrošaču).

### 3.2.10.1 Hedonistička skala

Hedonistička skala je provedena radi procjene ukupne prihvatljivosti proizvoda. Hedonistička ocjena se koristi da se odredi koliko se proizvod sviđa potrošačima. Upotrebljavaju se razne vrste hedonističkih skala (verbalna, s likovima, s različitim brojem točaka-stupnjeva). Hedonistička skala daje apsolutne i relativne informacije o uzorku. Apsolutna informacija se izvede iz stupnja poželjnosti-nepoželjnosti, a relativna iz smjera i stupnja razlike među ocjenama uzoraka. Uzorak sa većom ocjenom se i preferira (Primorac, 2006).

Kodirani uzorci sira su ponuđeni ispitivačima prije pečenja i nakon pečenja. Ispitivači su ocijenili uzorke na osnovi hedonističke skale sa 9 stupnjeva (**Slika 18**).



**Slika 18** Hedonistička skala za procjenu prihvatljivosti uzoraka sireva

### 3.2.10.2 Deskriptivna analiza funkcionalnih svojstava

Deskriptivne metode analize nastoje identificirati i kvantificirati senzorske karakteristike, uključujući razlikovanje i opis kvalitativnih i kvantitativnih senzorskih aspekata proizvoda.

U ovom istraživanju korištena je kombinirana Spectrum analiza i kvantitativna deskriptivna analiza (Primorac, 2006), kako bi se ocijenila teksturalna svojstva i okus uzoraka sireva. Intenzitet skale je imao brojčane vrijednosti 0-15, s referentnim točkama.

Uzorcima sira prije topljenja su procijenjena čvrstoća i ljepljivost, a nakon toga su otopljenom siru ocijenjena svojstva površine i rastezanja. Nakon djelomičnog hlađenja sira ocijenjeni tekstura i aroma.



Slika 19 Deskriptivna analiza

### 3.2.11. Statistička obrada rezultata

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost ponavljanja  $\pm$  standardna devijacija. Svi rezultati su obrađeni u programima Excel 2013 (Microsoft) i XLStat 2015 (Addinsoft). Provedene su analiza varijance (one-way ANOVA) i potom Fischerov LSD test najmanje značajne razlike (engl. *least significant difference*) dobivenih rezultata te multivarijantna analiza (Pearsonova korelacijska matrica s nivoima značajnosti od 5%) podataka dobivenih ispitivanjem kemijskih, funkcionalnih, senzorskih i teksturalnih svojstava.



## **4. REZULTATI I RASPRAVA**

---



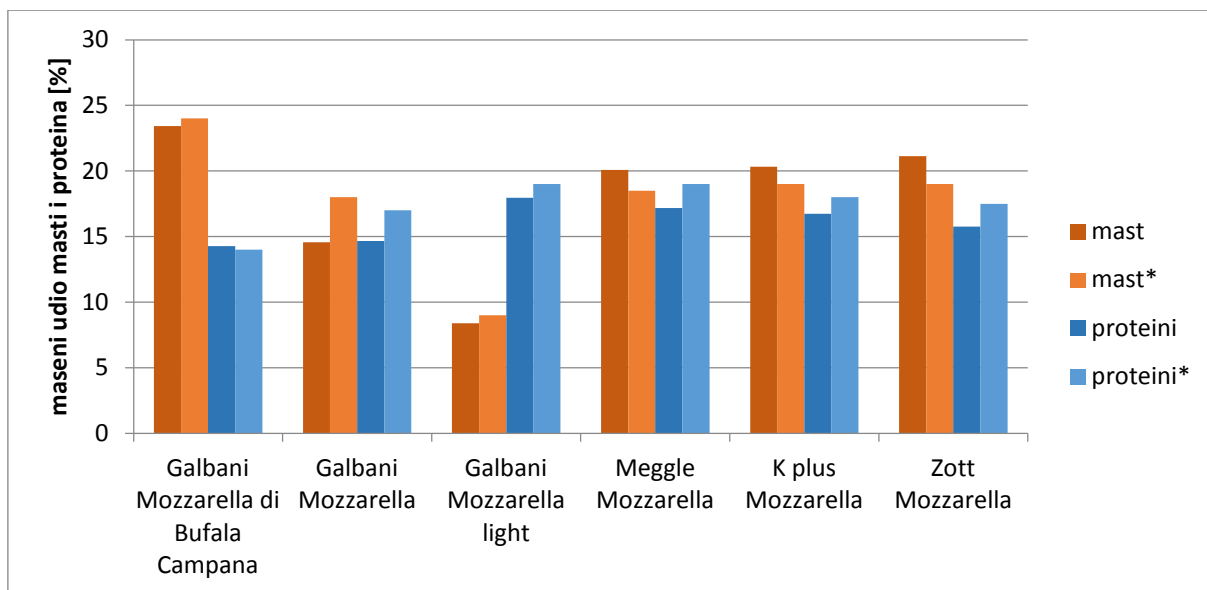
## 4.1. FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA SIRA

TTablica 3 Kemijski sastav siraca 3 Osnovni kemijski sastav sira ica 3 Osnovni kemijski sastav sira

Uzorak	mast	voda	proteini	NaCl	s.t.	mm/s.t	BMT	voda/BMT	aw	pH	mast + voda	omjer P:M
1	23,42±0,04 <sup>a</sup>	59,92±0,09 <sup>d</sup>	14,27±0,04 <sup>f</sup>	0,26±0,02 <sup>d</sup>	40,08±0,09 <sup>b</sup>	58,43±0,03 <sup>a</sup>	76,58±0,04 <sup>f</sup>	78,24±0,08 <sup>b</sup>	0,959±0,00 <sup>e</sup>	5,34±0,01 <sup>e</sup>	83,34±0,05 <sup>a</sup>	0,61±0,00 <sup>c</sup>
2	14,56±0,01 <sup>e</sup>	67,16±0,01 <sup>b</sup>	14,66±0,00 <sup>e</sup>	0,47±0,03 <sup>a,b</sup>	32,84±0,01 <sup>d</sup>	44,32±0,02 <sup>d</sup>	85,40±0,01 <sup>b</sup>	78,60±0,00 <sup>a</sup>	0,962±0,00 <sup>e</sup>	6,07±0,01 <sup>a</sup>	81,72±0,00 <sup>b</sup>	1,01±0,00 <sup>b</sup>
3	8,40±0,04 <sup>f</sup>	69,40±0,14 <sup>a</sup>	17,97±0,04 <sup>a</sup>	0,44±0,01 <sup>b</sup>	30,60±0,14 <sup>e</sup>	27,43±0,24 <sup>e</sup>	91,61±0,04 <sup>a</sup>	75,76±0,18 <sup>d</sup>	0,964±0,00 <sup>e</sup>	6,03±0,00 <sup>b</sup>	77,80±0,18 <sup>b</sup>	2,14±0,01 <sup>e</sup>
4	20,09±0,00 <sup>d</sup>	60,11±0,09 <sup>d</sup>	17,19±0,04 <sup>b</sup>	0,36±0,02 <sup>c</sup>	39,90±0,09 <sup>b</sup>	50,34±0,12 <sup>c</sup>	79,92±0,00 <sup>c</sup>	75,21±0,11 <sup>e</sup>	0,964±0,00 <sup>e</sup>	5,44±0,01 <sup>d</sup>	80,19±0,09 <sup>c</sup>	0,86±0,00 <sup>c</sup>
5	20,33±0,00 <sup>c</sup>	59,48±0,09 <sup>e</sup>	16,75±0,00 <sup>c</sup>	0,51±0,04 <sup>a</sup>	40,53±0,09 <sup>a</sup>	50,15±0,09 <sup>c</sup>	79,68±0,00 <sup>d</sup>	74,65±0,10 <sup>f</sup>	0,965±0,00 <sup>e</sup>	5,93±0,00 <sup>c</sup>	79,80±0,08 <sup>d</sup>	0,82±0,00 <sup>d</sup>
6	21,13±0,02 <sup>b</sup>	60,5±0,11 <sup>c</sup>	15,75±0,07 <sup>d</sup>	0,38±0,02 <sup>c</sup>	39,45±0,11 <sup>c</sup>	53,55±0,20 <sup>b</sup>	78,88±0,02 <sup>e</sup>	76,10±0,16 <sup>e</sup>	0,963±0,00 <sup>e</sup>	6,03±0,13 <sup>b</sup>	81,68±0,13 <sup>b</sup>	0,75±0,00 <sup>b</sup>

Legenda: s. t. – suha tvar, mm - mliječna mast, BMT - bezmasna suha tvar, M+V – mast i voda, omjer P:M omjer proteina i masti. Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti (± SD) tri ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite (p<0,05), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike

U **Tablici 3** nalaze se dobiveni rezultati ispitivanja kemijskog sastava prikupljenih Mozzarella sireva. Uspoređujući vrijednosti rezultata vidljivo je da se sirevi međusobno statistički značajno razlikuju prema udjelu osnovnih sastojaka (masti, vode, proteina i NaCl-a), kao i pH vrijednosti, dok između uzoraka nema statistički značajne razlike u odnosu na aktivitet vode. Ovo je i očekivano, budući da se radi o tržišnim uzorcima različitih proizvođača, proizvedenih od različitih sirovina (uzorak 1 je Mozzarella od bivoličinog mlijeka), i s različito deklariranim minimalnim udjelima masti, proteina i ugljikohidrata (**Slika 20**). Svi uzorci se mogu svrstati u meke sireve, jer odgovaraju odredbama Pravilnika (MPRRR, NN 20/09, 2009) u udjelu vode u bezmasnoj suhoj tvari sira 74,65-78,60%. Prema udjelu mliječne masti u suhoj tvari većina sireva spada u skupinu punomasnih sireva gdje se raspon vrijednosti kreće 44,32-58,43% osim uzoraka 3 koji se izdvaja sa najmanjom vrijednosti mliječne masti u suhoj tvari sira 27,43% te prema tome spada u masne sireve. Ovaj uzorak je i deklariran kao „light“ proizvod, odnosno proizvod sa sniženim udjelom masti. Raspon udjela soli kreće se od 0,26-0,51%, udio proteina je u rasponu od 14,27-17,97%, a kiselost sireva u rasponu vrijednosti 5,34-6,07%. Uzorak proizveden od bivoličinog mlijeka (uzorak 1) ima statistički značajno najviši udio mliječne masti, ali najmanji udio soli i najvišu kiselost.



\* maseni udjeli navedeni na deklaraciji

**Slika 20** Maseni udjeli masti i proteina izmjereni u uzorku i navedeni na deklaraciji

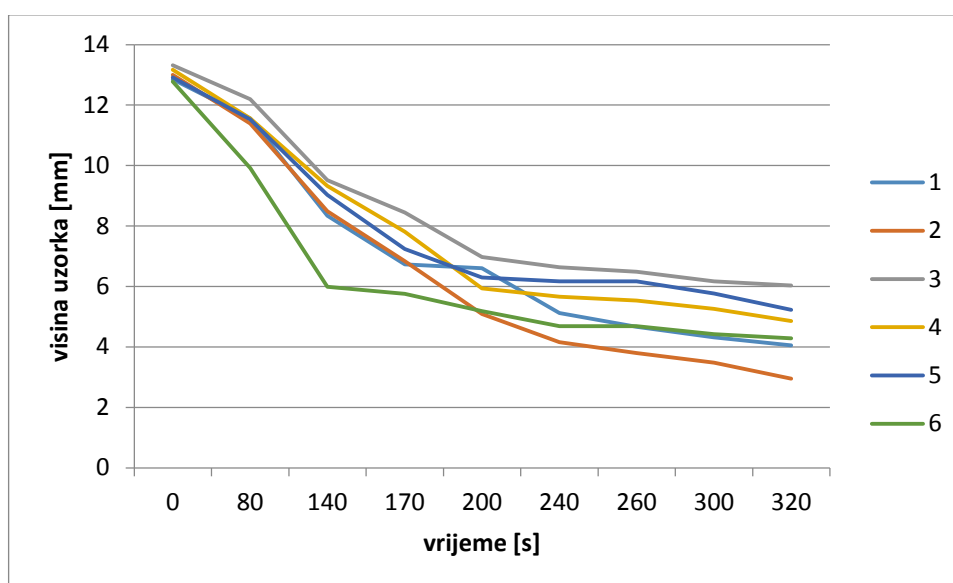
Iz **Tablice 4** Vidljivo je da postoji statistički značajna negativna korelacija između masenog udjela masti i vode (-0,9527), koja je bila i očekivana te statistički značajna pozitivna korelacija između udjela proteina i aktiviteta vode (0,8664).

## 4.2. FUNKCIONALNA SVOJSTVA

### Topljivost sira

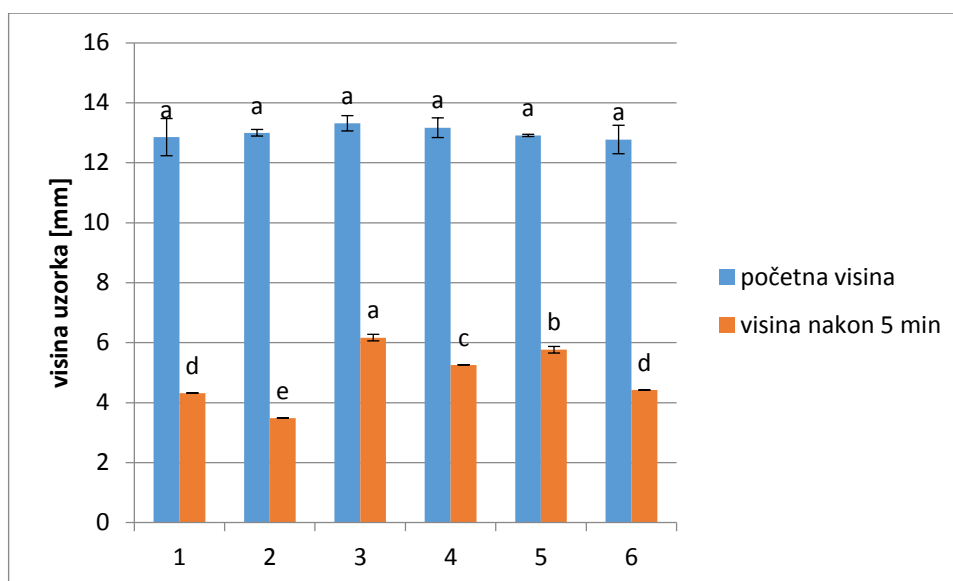
Topljivost je jedna od najvažnijih funkcionalnih svojstava sira, posebice u sirevima koji se koriste kao topinzi na pizzi. Sirevi sa slabom topljivošću su žilavi i teško rastezljivi, dok prevelika topljivost može rezultirati neprivlačnim „kašastim“ izgledom sira.

**Slika 21** prikazuje promjenu visine uzoraka sira (oblika cilindra) tijekom 320 s zagrijavanja na 140 °C u sušioniku, **Slika 22** prikazuje početnu i konačnu visinu uzoraka, dok **Slika 23** prikazuje postotno smanjenje visine.



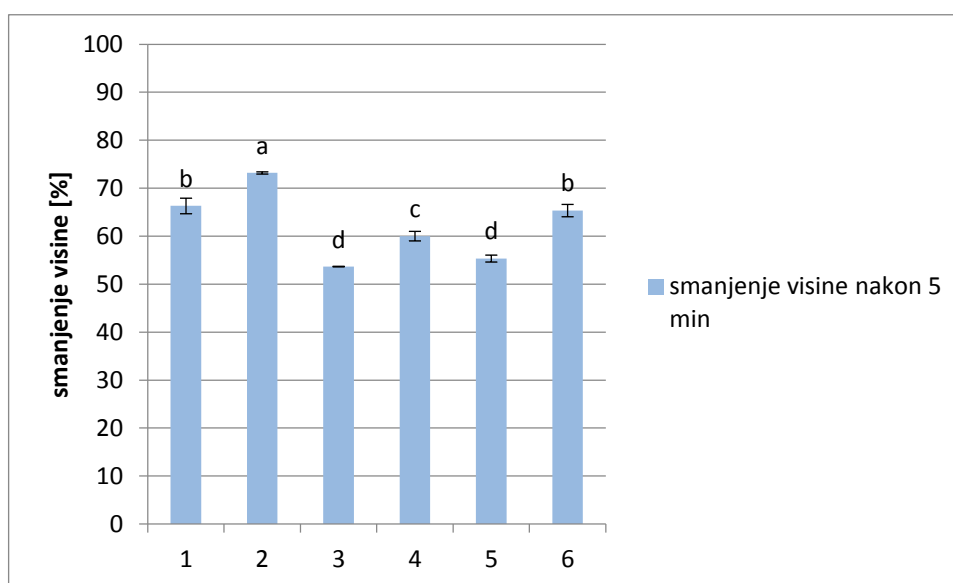
**Slika 21** Promjena visine uzoraka tijekom topljenja

Iz rezultata koje prikazuje **Slika 21** vidljivo je da uzorak 6 ima najveću početnu brzinu topljenja (tijekom prvih 140 s), nakon čega brzina topljenja opada. Ostali uzorci pokazuju slične krivulje topljenja. Svi uzorci su imali podjednake početne visine stupića (**Slika 22**). Nakon 5 minuta zagrijavanja na 140 °C, svi uzorci se statistički značajno razlikuju u konačnoj visini stupića, izuzev uzoraka 1 i 6 između kojih nema statističke značajne razlike.



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) tri ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

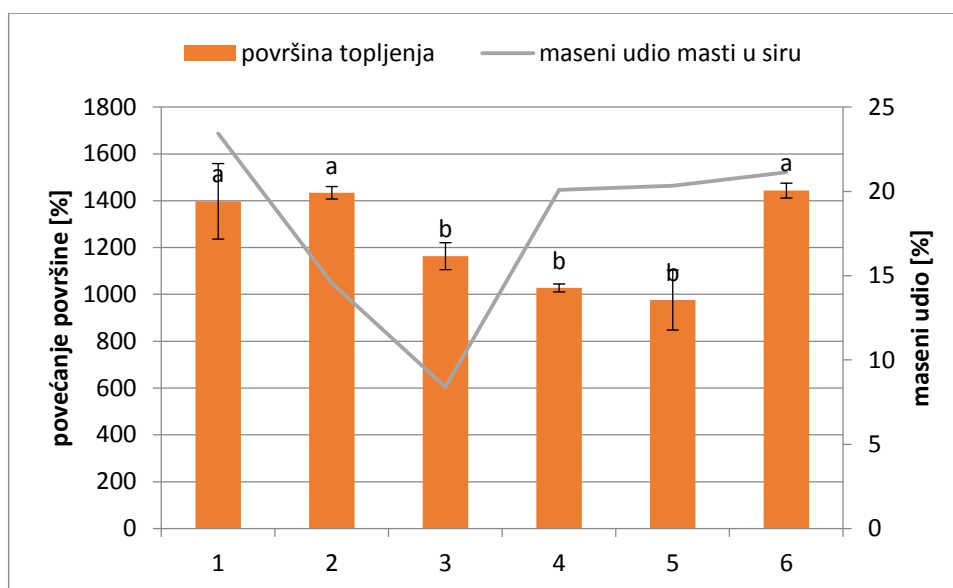
**Slika 22** Početna i konačna visina uzorka



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) tri ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 23** Smanjenje visine uzorka nakon 5 min

Visine uzoraka smanjile su se u rasponu vrijednosti 52-72% (**Slika 23**). Pri tome uzorak 2 pokazuje najveće smanjenje u visini, odnosno najveću topljivost prema Arnottovom testu. Ove vrijednosti pokazuju statistički značajnu korelaciju s udjelom proteina u siru (negativna; -0,8782) i udjelom vode u bezmasnoj tvari sira (pozitivna; 0,8840) (**Tablica 4**), dok nije utvrđena očekivana statistički značajna pozitivna korelacija s udjelom mliječne masti u siru.



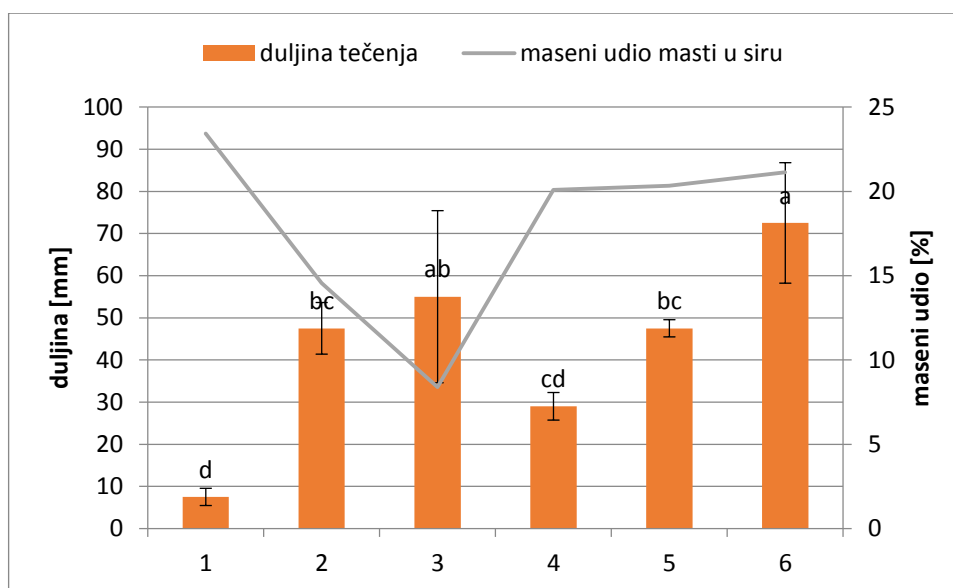
Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) dva ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 24** Površina topljenja uzoraka

Topljivost sira prikazanu kao površinu topljenja, odnosno njeno povećanje u odnosu na početnu površinu cilindra sira prije topljenja, prikazuje **Slika 24**. Prema dobivenim rezultatima se uzorci mogu podijeliti u dvije skupine: oni s većom topljivošću (većom površinom topljenja; uzorci 1, 2 i 6) i oni sa statistički značajno manjom topljivošću (uzorci 3, 4 i 5). Topljivost sira prema Schreiberovom testu, također pokazuje statistički značajnu pozitivnu korelaciju s udjelom vode u BMT (0,9054), te opet nije pronađena korelacija s udjelom mliječne masti u siru (**Tablica 4**).

Rezultate ispitivanja topljivosti sira Mozzarelle pomoću tzv. testa u epruveti, izražene kao duljina tečenja u mm, prikazuje **Slika 25**. Najveću topljivost po ovom testu je pokazao uzorak 6, dok uzorak 1 s najvećim udjelom masti, pokazuje najmanju topljivost.

Topljivost ispitana pomoću Schreiberovog i Arnottovog testa pokazuje međusobnu korelaciju (0,8121), dok topljivost sireva izražena preko duljine tečenja u epruveti ne pokazuje povezanost niti s jednim ispitivanim parametrom u ovom istraživanju, osim pozitivne korelacije (0,8997) s pH vrijednošću prikupljenih uzoraka Mozzarelle (**Tablica 4**).



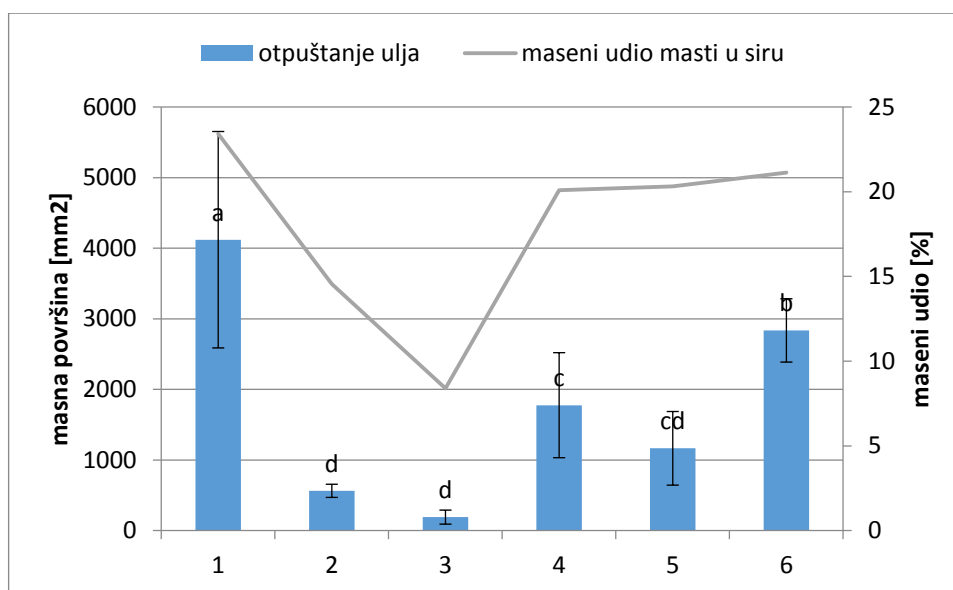
Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) dva ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovicama nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 25** Duljina tečenja uzorka

## Otpuštanje ulja

Svojstvo otpuštanja ulja je odvajanje tekuće masne faze od otopljenog tijesta sira u obliku uljnih kapljica, najčešće na površini sira. Umjereno svojstvo otpuštanja ulja daje proizvodima poput pizze sjajnu površinu, što je poželjno svojstvo, dok se preslabo ili prejako otpuštanje ulja se smatra nepoželjnim. Svojstvo otpuštanja ulja izraženo kao površina masnoće nastala nakon topljenja sira prikazuje **Slika 26**.

Vidljivo je da su vrijednosti otpuštanja ulja veće je kod uzoraka s većim udjelom mliječne masti. Tako uzorak 3 s najmanjim udjelom masti ima i najmanju vrijednost otpuštanja ulja, dok uzorak 1 ima najveću vrijednost. **Tablica 4** pokazuje da je ova korelacija između navedenog svojstva i masenog udjela masti u siru odnosno masenog udjela masti u suhoj tvari sira i statistički značajna (0,8297; 0,8255).



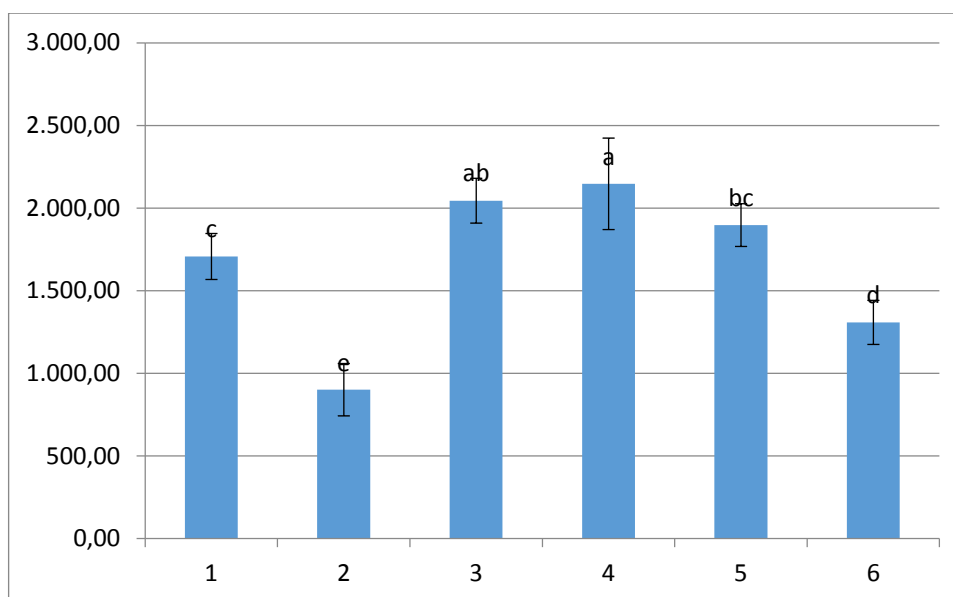
Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) tri ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 26** Otpuštanje ulja iz uzoraka

### 4.3. TEKSTURALNA SVOJSTVA SIREVA

Čvrstoća je važan parametar, jer ukazuje na tehnološki postupak proizvodnje sira. Od analiziranih sireva s najmanjom čvrstoćom (**Slika 27**) izdvojio se uzorak 2, koji ima najveće smanjenje visine stupa tijekom topljenja (najveću topljivost). U usporedbi s funkcionalnim svojstvima, uočena je negativna povezanost s topljivošću (Arnottov test) i pozitivna s debljinom rastegnutog vlakna. Očekivano, postoji pozitivna korelacija drugim parametrima teksture sira, kao što su odgođena elastičnost, gumenost i otpor žvakanja, tako uzorak 2 koji ima najmanju čvrstoću, također ima i najmanju gumenost, otpor žvakanju i najmanju ljepljivost.

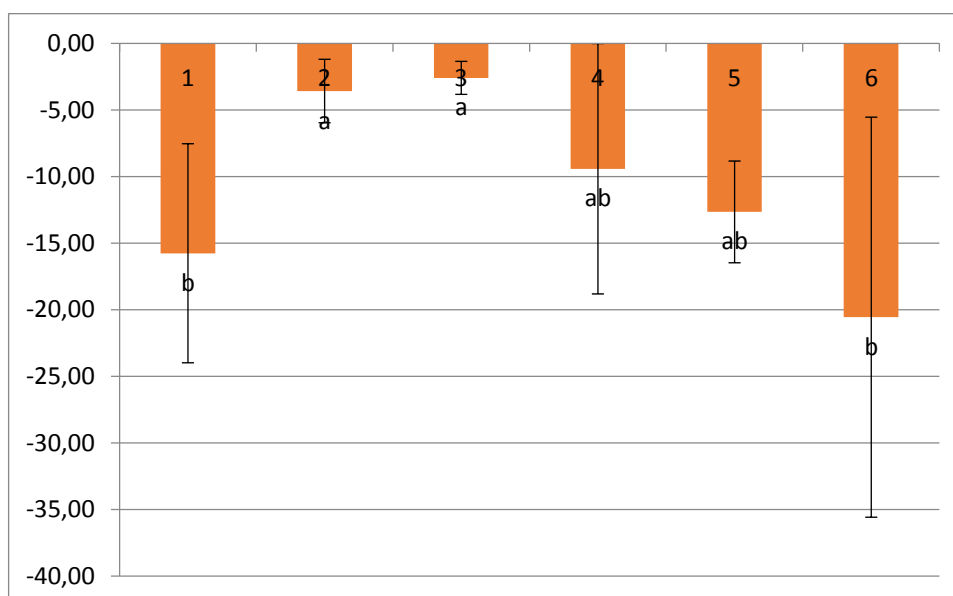




Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 27** Čvrstoća ispitana analizom teksturalnog profila sira

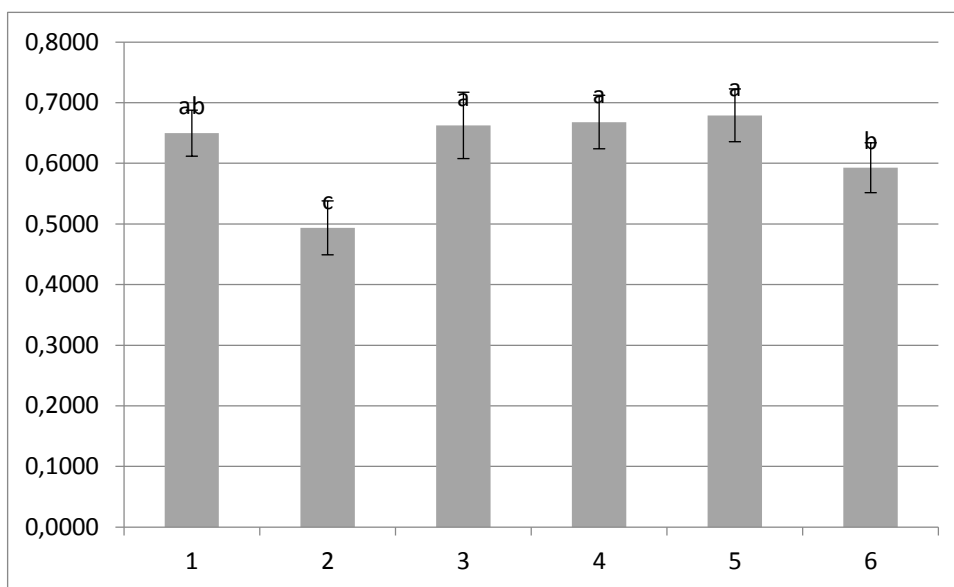
Ljepljivost sira (**Slika 28**) je manja u uzorcima koji imaju manji vode, a veći udio masti i suhe tvari. Najveću ljepljivost sira imaju uzorci 2 i 3 s najmanjim udjelom masti u siru, dok su najmanju vrijednost ljepljivosti postigli uzorci 1 i 6.



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

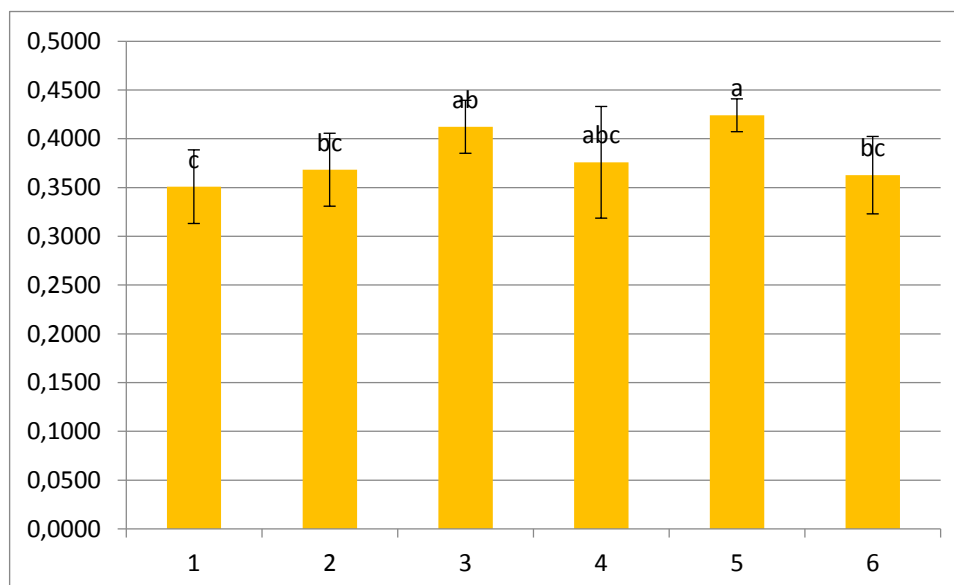
**Slika 28** Ljepljivost ispitana analizom teksturalnog profila sira

Vrijednosti odgođene elastičnosti (**Slika 29**) nemaju velikih oscilacija. Nižu odgođenu elastičnost je imao uzorak 2, koji je imao najveću topljivost, dok su ostali uzorci sličnih vrijednosti.



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

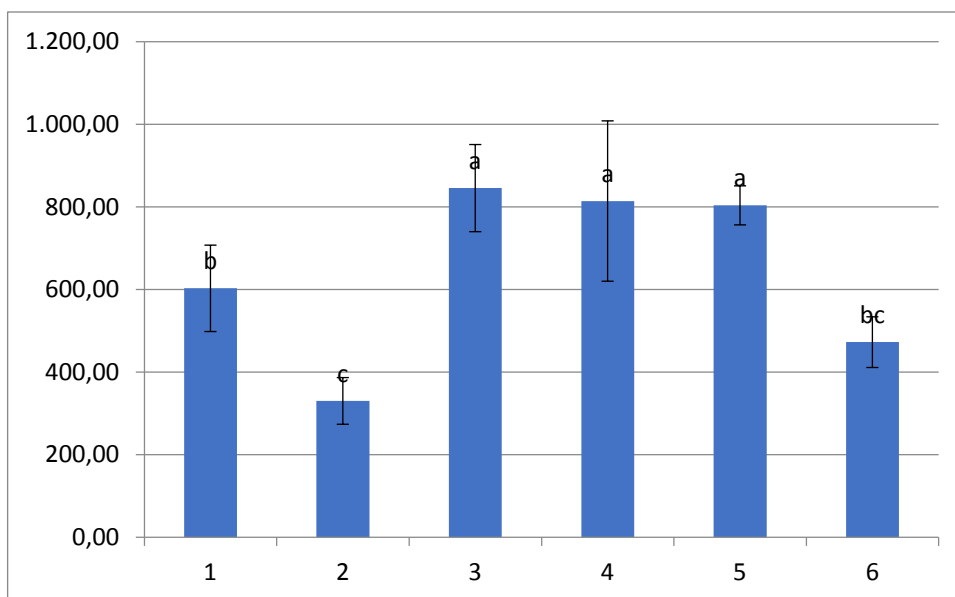
**Slika 29** Odgođena elastičnost ispitana analizom teksturalnog profila sira



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

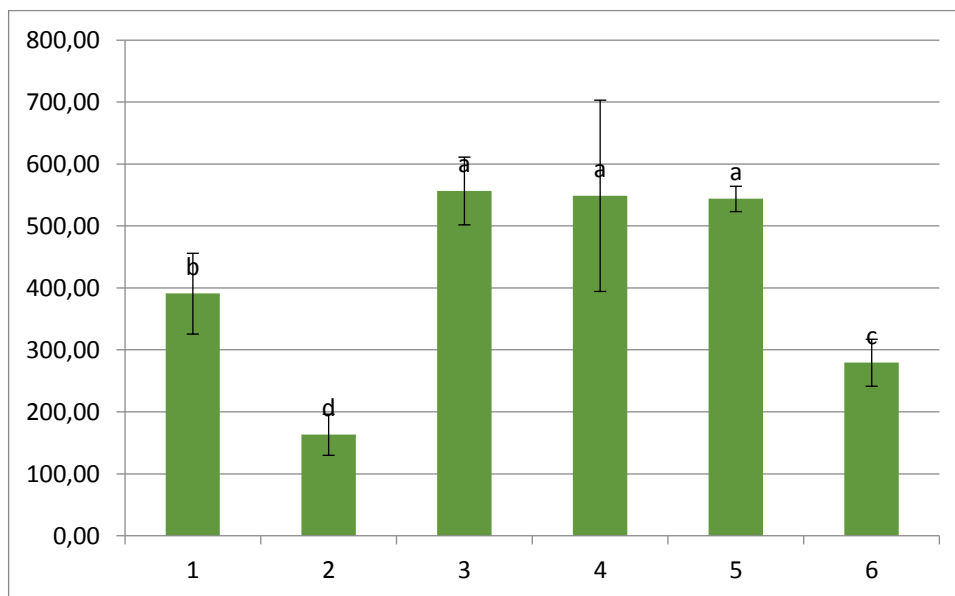
**Slika 30** Kohezivnost ispitana analizom teksturalnog profila sira

Kohezivnost predstavlja snagu unutarnjih veza materijala potrebnih da zadrži uzorak koherentnim pri deformaciji. Kao i kod odgođene elastičnosti, vrijednosti kohezivnosti (**Slika 30**) nemaju neke velike oscilacije. Svi uzorci imaju približne vrijednosti.



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 31** Gumenost ispitana analizom teksturalnog profila sira

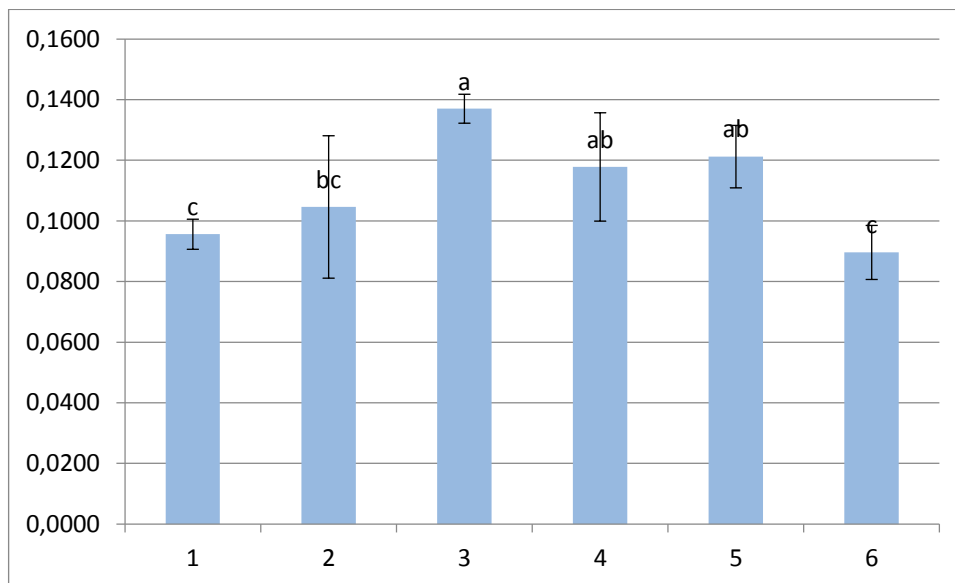


Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 32** Otpor žvakanju ispitana analizom teksturalnog profila sira

Gumenost je produkt zajedničkog djelovanja čvrstoće i kohezivnosti, stoga očekivano, najmanju gumenost ima ponovno uzorak 2 (**Slika 31**).

Na **Slici 35** grafički je prikaz otpora žvakanja ispitivanih sireva. Kao i po čvrstoći najviše se izdvaja uzorak 2 s najmanjim otporom žvakanju.



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

### **Slika 33** Elastičnost ispitana analizom teksturalnog profila sira

Elastičnost predstavlja tzv. trenutnu elastičnost, odnosno mjeru oporavka uzorka od deformacije pri prvoj kompresiji, a definirana je omjerom površine ispod krivulje tijekom prve dekompresije i površine ispod krivulje tijekom prve kompresije.

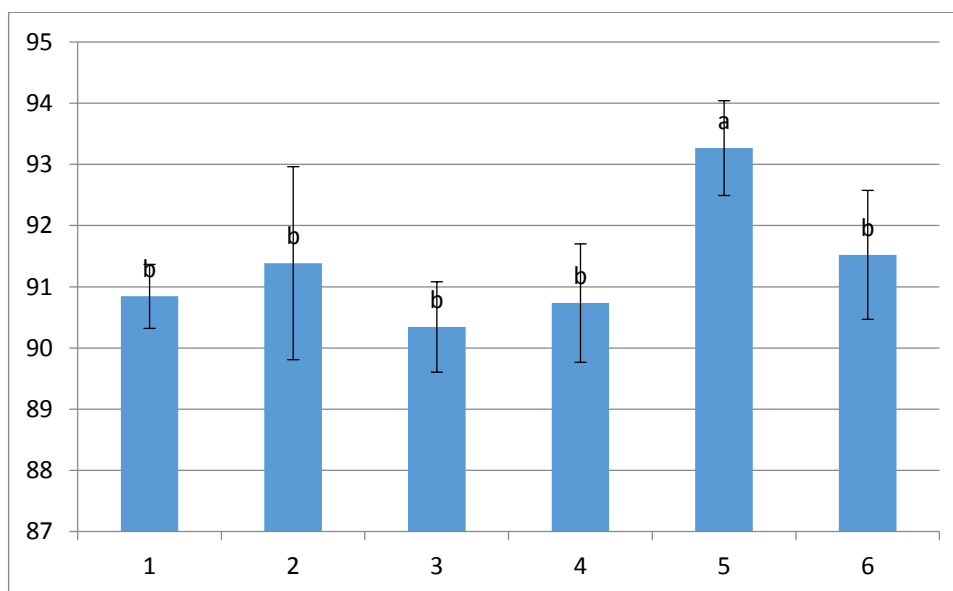
Vrijednosti elastičnosti nemaju velikih oscilacija (**Slika 33**). Najniže vrijednosti elastičnosti imaju uzorci 1 i 6, koji imaju najveći udio mliječne masti. A također postoji statistički pozitivna korelacija između elastičnosti i udjela proteina u siru (0,8332).

#### 4.4. BOJA UZORAKA

Određivana su tri parametra boje: L, a i b. Hunter-ove L, a i b vrijednosti podudaraju se sa sljedećim rasponima boja:

- a\* - zeleno (-a\*) ili crveno (+a\*);
- b\* - plavo (-b\*) ili žuto (+b\*);
- L\* - svjetlo (L\* = 100) ili tamno (L\* = 0).

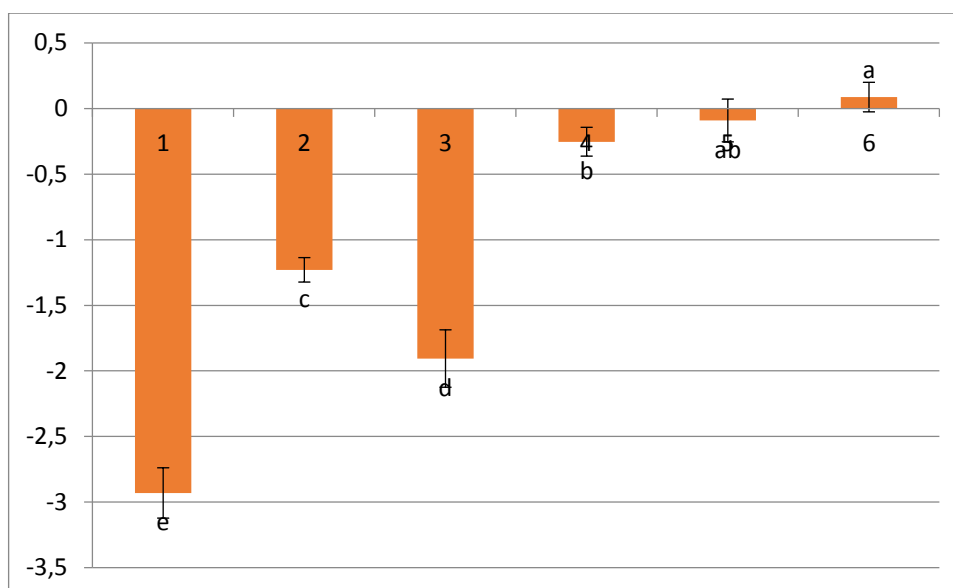
Na **Slici 34** nalazi se grafički prikaz L\* vrijednosti analize boje. Svi uzorci imaju vrijednost L\* iznad 90 što bi značilo da su svijetle boje (L\*=100 znači potpuno svijetlo). Kao najsvjetliji uzorak se izdvaja uzorak 5, koji se po ovom parametru boje statistički značajno razlikuje od ostalih uzoraka.



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 34** L\* vrijednost ispitivanja boje uzoraka

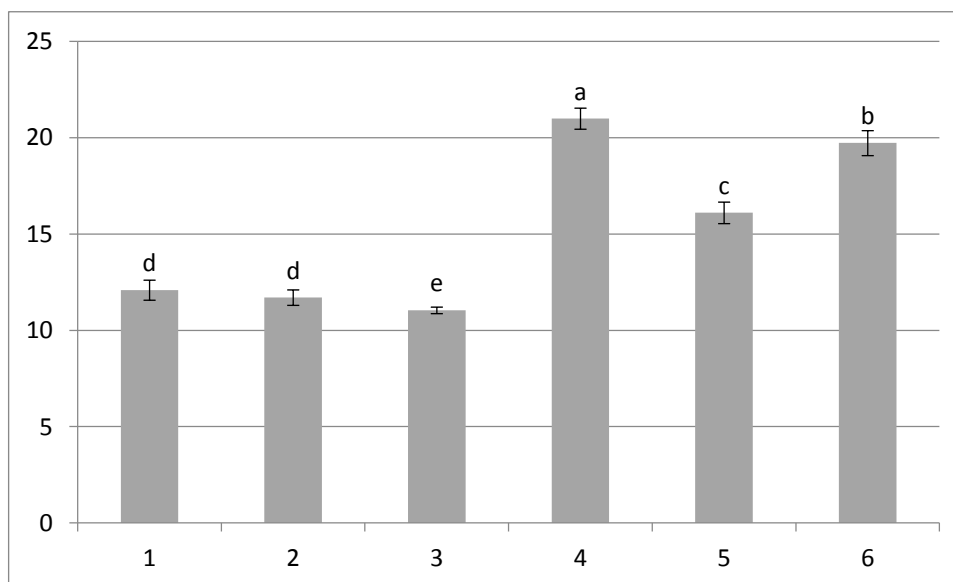
Na **Slici 35** nalazi se grafički prikaz a\* vrijednosti. U ovom slučaju uzorci 1-5 imaju negativne a\* vrijednosti, što znači da blago prevladava zelenkasta nijansa. U uzorku 5, vrijednosti a\* su u pozitivnom spektru, iz čega se da zaključiti da mu boja više vuče prema crvenkastoj nijansi.



Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 35 a\*** vrijednost ispitivanja boje uzoraka

Grafički prikaz b\* vrijednosti se nalazi na **Slici 36**. Svi uzorci sireva se nalaze u pozitivnom dijelu grafikona, te prevladava više žuta boja uzorka nego plava.



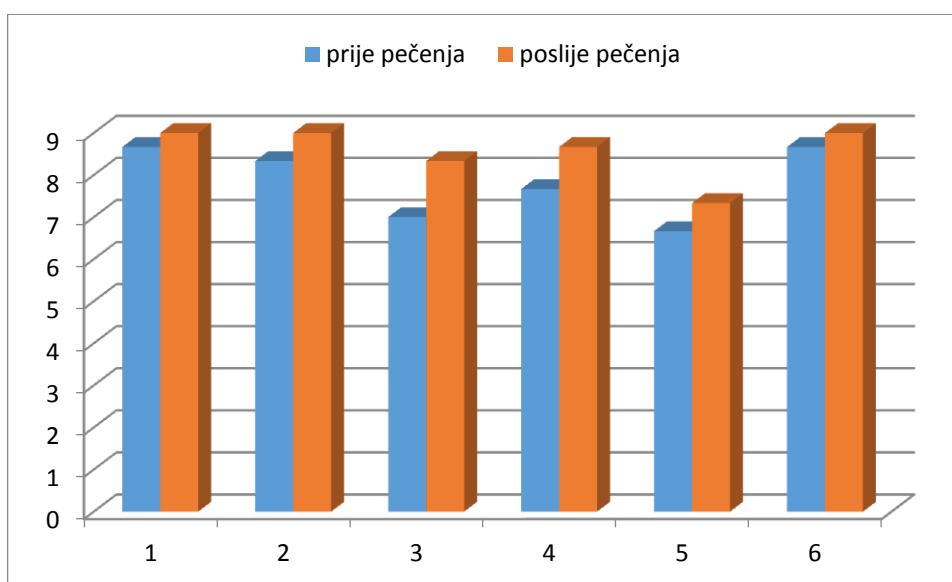
Prikazani podaci predstavljaju srednje vrijednosti ( $\pm$  SD) pet ponavljanja. Vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ), prema Fisherovom LSD testu najmanje značajne razlike.

**Slika 36 b\*** vrijednost ispitivanja boje uzoraka

#### 4.5. SENZORSKA SVOJSTVA

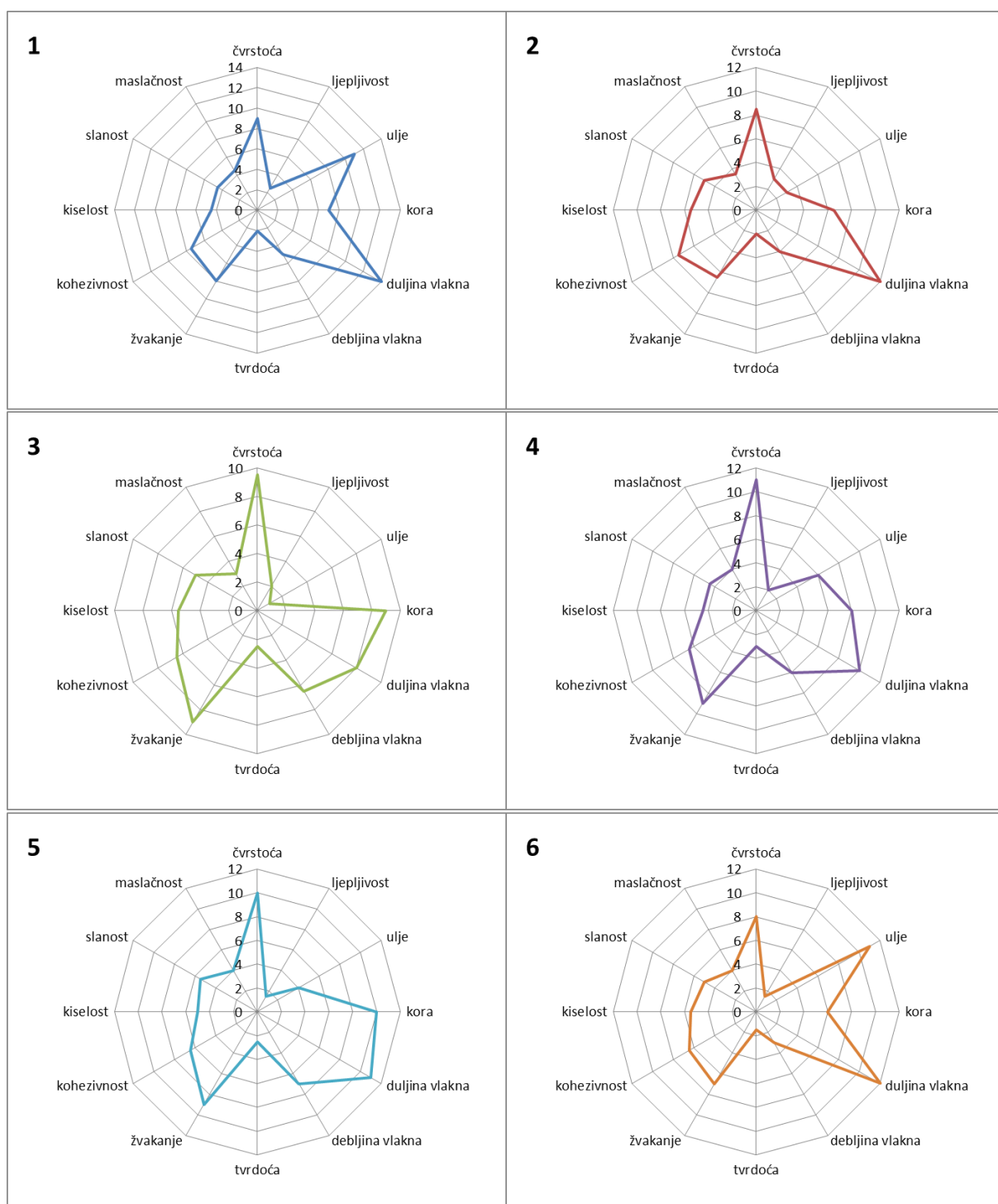
Kvalitetu gotovog proizvoda obilježava niz faktora, a jedan od njih je i nivo senzorske poželjnosti. **Slika 37** prikazuje da u vrijednostima prije nema nekih statističkih razlika, dok su nakon pečenja uzorci 1, 2, 4, i 6 dobili visoke ocjene, a uzorak 5 se pokazuje kao lošiji proizvod što se povezalo s višim sadržajem soli i smanjenom topljivošću.

Rezultati hedonističke skale pokazali su da ocjenjivači ove proizvode smatraju vrlo poželjnim, osim navedenog uzorka 5, on po skali spada u osrednje poželjne proizvode. Može se zaključiti da je razina kakvoće istraživanih uzoraka vrlo visoka prema procjeni senzorskih analitičara.



**Slika 37** Prihvatljivost uzoraka Mozzarelle

## 4.6. REZULTATI DESKRIPTIVNE ANALIZE



Slika 38 Funkcionalna, teksturalna i senzorska svojstva

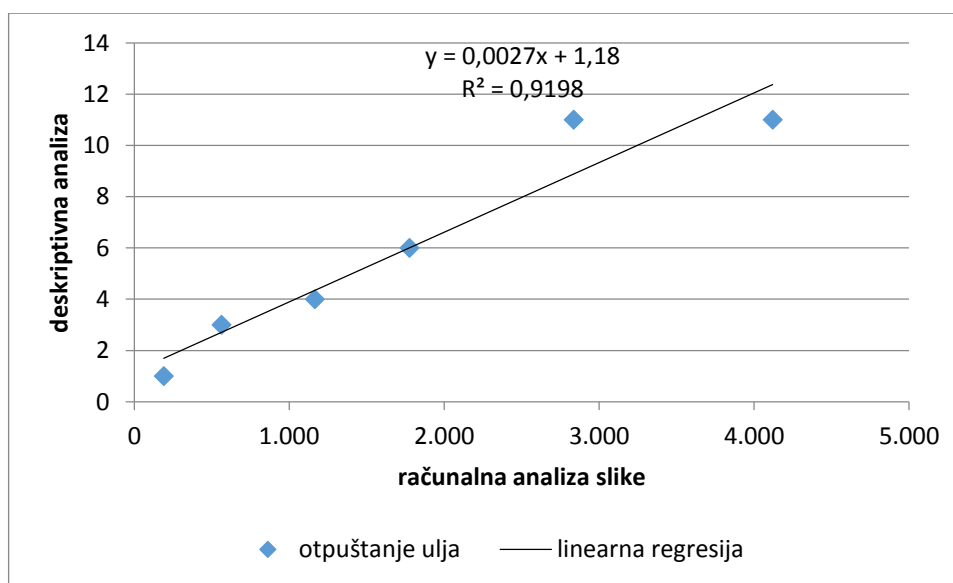
Slika 38 pokazuje rezultate deskriptivne analize funkcionalnih, teksturalnih i senzorskih svojstava ispitivanih sireva.



## Funkcionalna svojstva

Na **Slici 38** su dani rezultati vizualnog ocjenjivanja svojstava površine i rastezljivosti sira, dobivenih vizualnim ocjenjivanjem, otopljenih uzoraka sira.

Deskriptivnom analizom uočeno je da uzorak 3 pokazuje najmanje otpuštanje ulja, što je i očekivano s obzirom na to da se radi o „light“ proizvodu s najmanjim udjelom mliječne masti. Suprotno tome, uzorci Mozzarella 1 i 6, s najvećim udjelom masti, nakon pečenja na podlozi u najvećoj mjeri otpuštaju ulje. Slične vrijednosti pokazuju i ocjene za duljinu rastezanja vlakana, najviše su u uzorcima 1, 2 i 6, koje su u pozitivnoj korelaciji s udjelom mliječne masti u suhoj tvari sira (0,8446) i s udjelom masti i vode zajedno (0,9735). Zbroj udjela masti i vode je vrlo bitan za strukturu sira, jer se ova dva sastojka uklapaju u proteinski matriks gruša, odnosno služe kao „punilo“ u proteinskoj rešetci. I što je veći njihov zajednički udio u siru, aktivitet vode u siru je niži (statistički značajna negativna korelacija; -0,8423). Također je vidljiva povezanost između debljine rastegnutog vlakna prije pucanja, te debljine i žilavosti kore sira, što ukazuje na to da se „žilaviji“ uzorak slabije rasteže. Tako najniže vrijednosti ovih svojstava pokazuju uzorci 2 i 6, dok je najveća vrijednost kod uzorka 5.



**Slika 39** Linearna regresija podataka dobivenih deskriptivnom analizom (ocjene) i računalnom analizom slike (površina) otpuštanja ulja

**Slika 39** pokazuje vrlo dobro slaganje rezultata otpuštanja ulja uzoraka sireva tijekom i nakon pečenja, koji su dobiveni dvjema metodama: vizualnim ocjenjivanjem količine otpuštenog ulja (deskriptivna analiza) i izračunavanjem masne površine pomoću računalne analize slike.

Iako nije utvrđena statistički značajna korelacija topljivosti s masenim udjelom masti u siru, ona postoji između ovog svojstva i drugih funkcionalnih svojstava (negativna korelacija s debljinom i žilavošću kore te debljinom rastegnutog vlakna).

Podaci za funkcionalna svojstva dobiveni primjenom računalne analize slike, pokazuju vrlo dobro slaganje s rezultatima dobivenim empiričkim i deskriptivnim metodama, što ukazuje da je moguća primjena ove objektivne, netermičke, beskontaktna metode u ispitivanju funkcionalnih svojstava sireva tipa pasta filata.

### **Tekstura**

**Slika 38** prikazani su rezultati ocjene teksturalnih svojstava uzoraka Mozzarelle pomoću deskriptivne analize, prije (čvrstoća i ljepljivost) i nakon (tvrdoća, žvakanje, kohezivnost) pečenja. Najveću vrijednost čvrstoće, koja se definirala kao sila potrebna za kompresiju sira između prstiju i palca, ima uzorak 4, za kojega je trebalo i najduže vrijeme za žvakanje i najveća sila za progriz uzorka (tvrdoća). Najveću ocjenu za ljepljivost za nepce je dobio uzorak 2, koji je pokazao najveću topljivost. U rasponu vrijednosti za kohezivnost nema velikih oscilacija. Po većoj kohezivnosti možemo izdvojiti uzorak 1 i uzorak 2.

**Tablica 4** pokazuje da postoji statistički značajna pozitivna korelacija svojstva čvrstoće s tvrdoćom uzorka i vremenom žvakanja, te između ljepljivosti i kohezivnosti.

### **Senzorska svojstva proizvoda**

Na **Slika 38** vidi su prikazane ocjene deskriptivne analize za okuse kiselosti, slanosti i maslačnosti, na skali 0-15. Izdvajaju se uzorak 3 s najmanjom aromom maslaca, te uzorak 5, najveće slanosti (što nije tipično za ovu vrstu sira). Uzorak 5 osim što je najslaniji, bio je i najmanje topljiv te je stoga izdvojen kao najmanje prihvatljiv od svih proizvoda. Kiselost uzoraka bila u pozitivnoj korelaciji s pH vrijednošću uzoraka.



Iako se očekivalo da će većina funkcionalnih i teksturalnih svojstava uzoraka Mozzarelle biti u korelaciji (**Tablica 4**) s masenim udjelom masti u siru, to se nije dogodilo (izuzev pozitivne korelacije otpuštanja ulja i udjela mliječne masti). Ovo je vjerojatno posljedica velike raznolikosti u polaznim sirovinama, načinima proizvodnje i fizikalno-kemijskim svojstvima prikupljenih uzoraka, pa udio masti nije jedina varijacija u uzorcima.

## **5. ZAKLJUČCI**

---



Na osnovi rezultata istraživanja provedenih u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Svi prikupljeni uzorci sira Mozzarella udovoljavaju zahtjevima Pravilnika (MPRRR, NN 20/09, 2009) o udjelu vode u bezmasnoj suhoj tvari sira za meke sireve. Također, prema udjelu mliječne masti u suhoj tvari svi proizvodi spadaju u skupinu punomasnih sireva, osim „light“ proizvoda koji spada u masne sireve.
2. Topljivost prikupljenih uzoraka Mozzarelle sireva prema Arnottu i Screiberu pokazuju značajnu statističku pozitivnu korelaciju s udjelom vode u bezmasnoj suhoj tvari, dok nije pronađena korelacija s udjelom mliječne masti u siru.
3. Vrijednosti otpuštanja ulja istraživanih uzoraka je veća što je veći udio mliječne masti u uzorku. Statistički je značajna korelacija navedenog svojstva i masenog udjela masti u siru odnosno masenog udjela masti u suhoj tvari sira.
4. Utvrđena je statistički značajna korelacija između svojstva otpuštanja ulja i drugih funkcionalnih svojstava.
5. Uzorak s najvećom vrijednosti svojstva topljivosti pokazao je najmanje vrijednosti čvrstoće, odgođene elastičnosti, gumenosti i otpora žvakanju.
6. Vrijednosti ljepljivosti i elastičnosti je manja u uzorcima koji imaju manji udjel vode, a veći udio masti i suhe tvari.
7. Najveći parametar boje je parametar  $a^*$  što znači da su prikupljeni uzorci izrazito svijetli.
8. Podaci za funkcionalna svojstva dobiveni primjenom računalne analize slike, pokazuju vrlo dobro slaganje s rezultatima dobivenim empiričkim i deskriptivnim metodama, što ukazuje da je moguća primjena ove objektivne, netermičke, beskontaktne metode u ispitivanju funkcionalnih svojstava sireva tipa pasta filata.



## **6. LITERATURA**

---



- Dimitrov E, Mladenov M: Complex Assessment of Dairy Products using Color Images and Spectral Analyses. University of Ruse, 2012.
- Gunasekaran S, Mehmet M: Cheese Rheology and Texture, CRC press, 2003.
- Hsien-Che, L: Introduction to Colour Imaging Science, Cambridge University Press, New York, 2005.
- Lukinac-Čačić, J: Matematičko modeliranje i optimiranje kinetike promjene boje kruha tijekom pečenja, Doktorski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek.
- Mandić M, Perl A: Osnove senzorske procjene hrane. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2006.
- Matijević B, Kalit S, Perko B, Božanić R: Sirarstvo u teoriji i praksi. Veleučilište u Karlovcu, 2015.
- MPRR, Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja: Pravilnik o sirevima i proizvodima od sireva. Narodne novine 20/09, 2009.
- Moynihan C: Studies on the Texture, Functionality, Rheology and Sensory Properties of Cheddar and Mozzarella Cheeses. Universtiy College Cork, 2015.
- Pranjić K: Optimiranje procesa prženja tijesta različitih oblika primjenom računalne analize slike. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2005.
- Primorac Lj: Metode senzorske ocjene hrane. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2006.
- Tuntragul S: Factors affecting on stretchability and meltability of imitation Mozzarella cheese. Kasetsart University, 2010.
- Tratnik Lj: Mlijeko – Tehnologija, biokemija i mikrobiologija, Hrvatska mljekarska udruga, Zagreb, 1998.
- Wang H, Sun D: Evaluation of the functional properties of Cheddar Cheese using a computer vision method. University College Dublin, 2009.
- Xixiu Ma: Evaluation of Functional Properties and Microstructure of Mozzarella Cheese, and their Correlation. The University of Auckland, 2013.
- Yam, K.L., Papadakis, S.E: A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61:137–142, 2004.

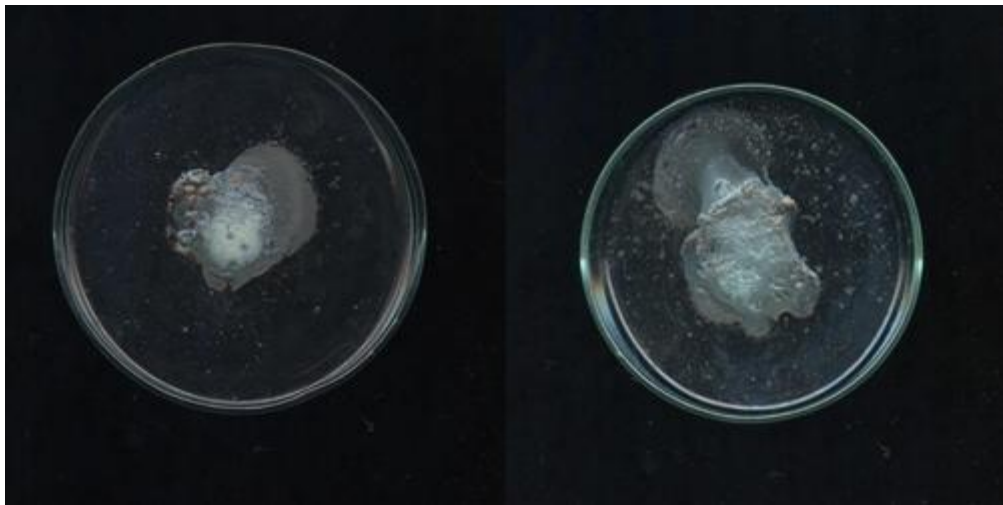
## **7. PRILOZI**

---

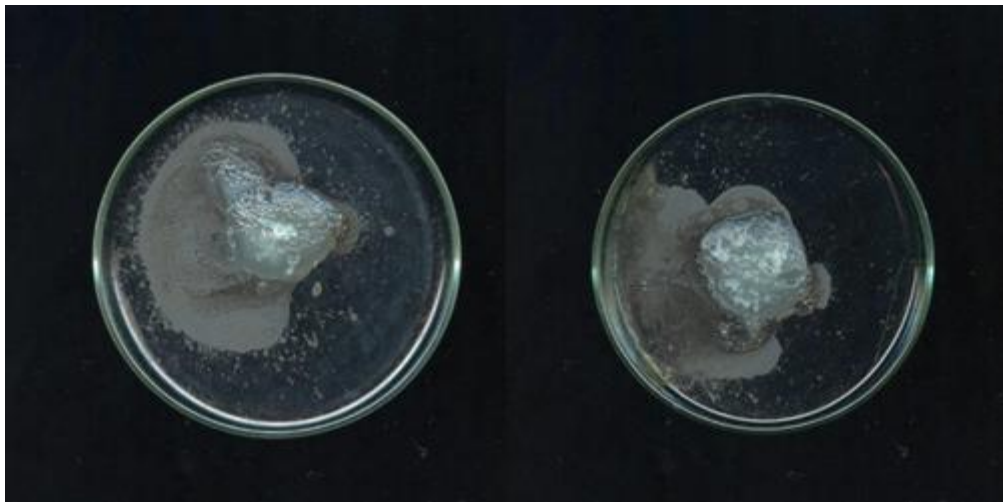
**Prilog 1** Obrazac za deskriptivni test funkcionalnih svojstava Mozzarella

svojstvo	definicija i procjena	referentne točke i upute	uzorak
<b>Neotopljeni sir</b>			
čvrstoća (procjena rukom)	= sila potrebna za kompresiju sira između prstiju i palca - staviti kocku sira između palca i ostalih prstiju, pritiskati sir, ne slomiti	plastelin = 5,0 gumica za brisanje = 15,0	
ljepljivost (adhezivnost)	= stupanj ljepljivosti mase sira za nepce i zube - žvakati sir među kutnjacima 12-15 puta, ocijeniti svojstvo adhezije	palenta = 0,0 krumpir-pire = 7,5 biskvit = 10,0	
<b>Otopljeni sir (svojstva površine, pri 96 °C)</b>			
otpuštanje ulja	= količina slobodnog ulja na površini otopljenog sira	nema (0,0) – ekstremno (15,0)	
kora	= debljina i žilavost površine otopljenog sira	nema (0,0) – ekstremno (15,0)	
<b>Svojstva rastezanja (pri 91 °C)</b>			
rastezanje – duljina vlakna	= rastezljivost sira - umetnuti 1 krak (zubac) vilice 1 cm u rastopljeni sir i rastezati te ocijeniti duljinu rastezanja vlakana prije pucanja	slabo (0,0) – ekstremno (15,0)	
rastezanje – debljina vlakna	= debljina otopljenog sirnog vlakna - umetnuti 1 krak (zubac) vilice 1 cm u rastopljeni sir i rastezati te procijeniti debljinu vlakna prije pucanja	slabo (0,0) – ekstremno (15,0)	
<b>Tekstura (ocijenjena na 63 °C nakon zagrijavanja)</b>			
tvrdća (prvi zalogaj)	= sila potrebna za progriz uzorka sira pomoću kutnjaka - presaviti sir na ¼ i zagristi pomoću kutnjaka	krem sir = 0,5 odrezak = 5,0 karamela = 7,0 badem = 12,0 slatki korijen = 15,0	
otpor žvakanju	= duljina vremena potrebna za žvakanje prije gutanja - što je potrebno duže vrijeme, veći je otpor žvakanju	kuglof = 1,0 odrezak = 4,0 štrudla od smokve = 7,0 kruh = 9,0 karamela = 12,0 žvakaća guma = 15,0	
kohezivnost	= stupanj do kojeg se uzorak drži zajedno u masi - staviti uzorak sira između kutnjaka i prožvakati 15 puta, ocijeniti združenu masu u sredini usta	palenta = 0,0 mrkva = 1,0 odrezak = 4,5 cornflakes = 7,5 štrudla od smokve = 11,0 kruh = 14,0	
<b>Aroma (ocjena pri 63 °C nakon zagrijavanja)</b>			
kiselost		ne postoji (0,0) – jako izražena (15,0)	
slanost		ne postoji (0,0) – jako izražena (15,0)	
maslačnost		ne postoji (0,0) – jako izražena (15,0)	

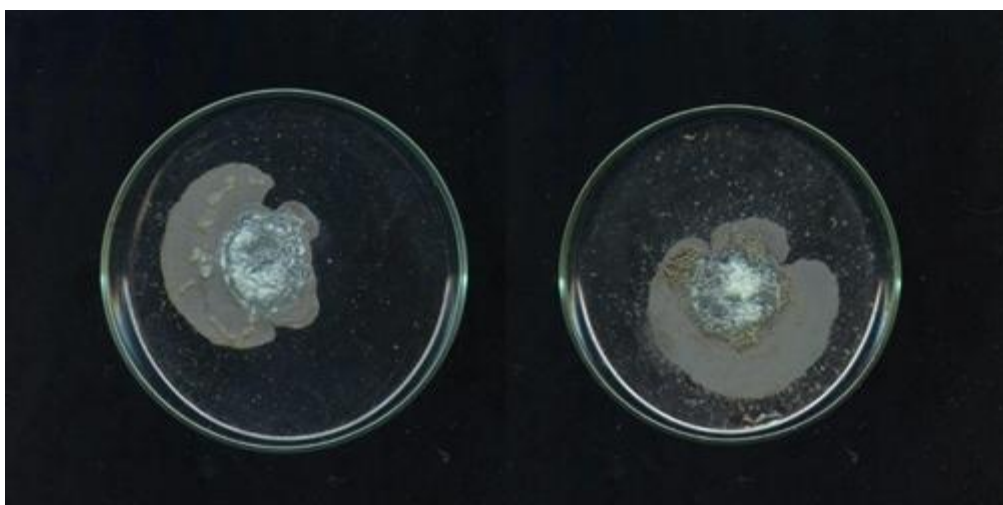
**Prilog 2** Računalna obrada slika površine topljenja sira



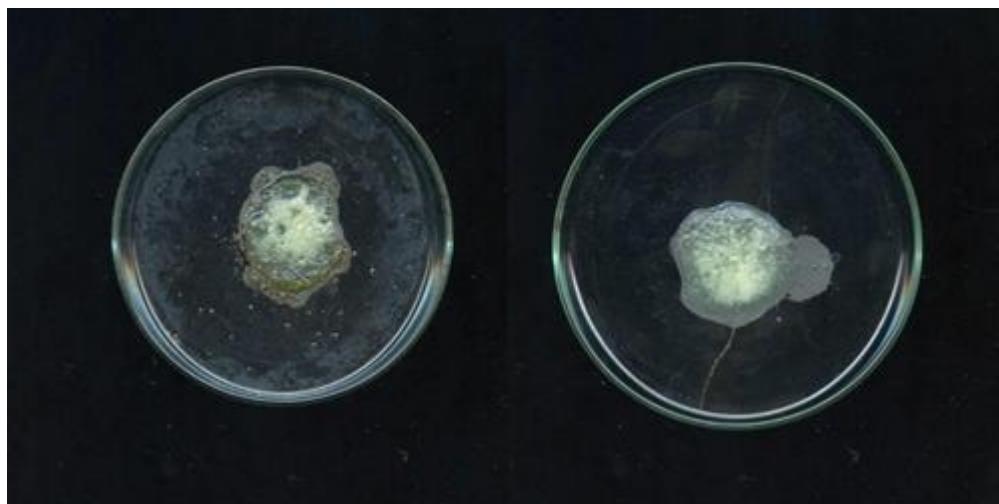
Uzorak 1



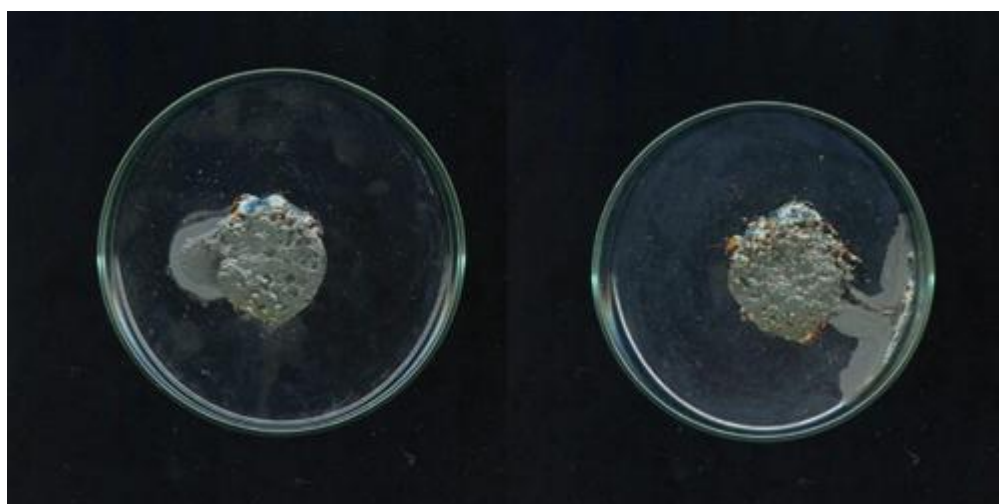
Uzorak 2



Uzorak 3



Uzorak 4

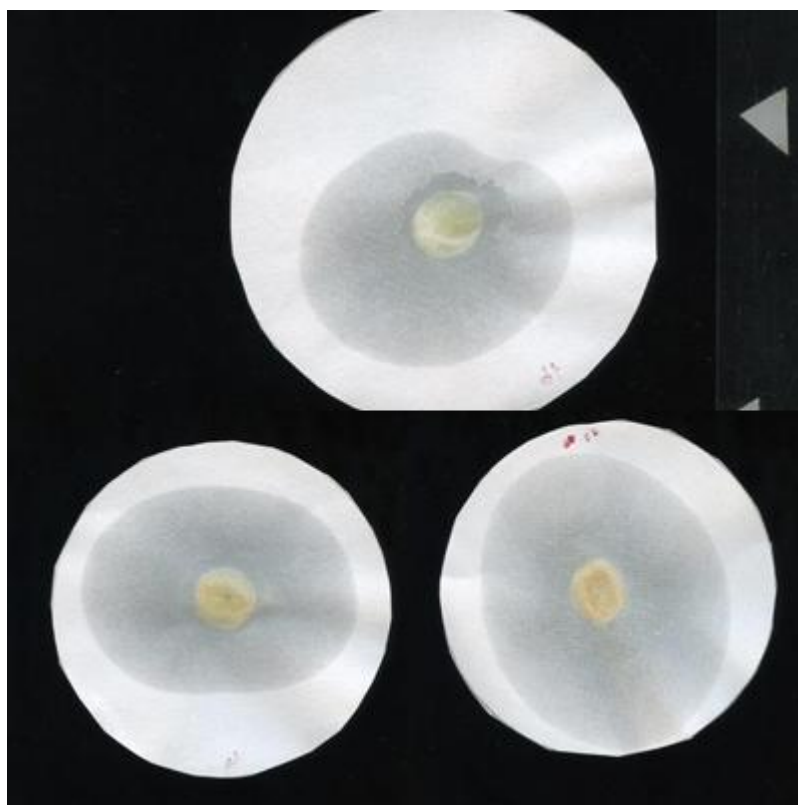


Uzorak 5

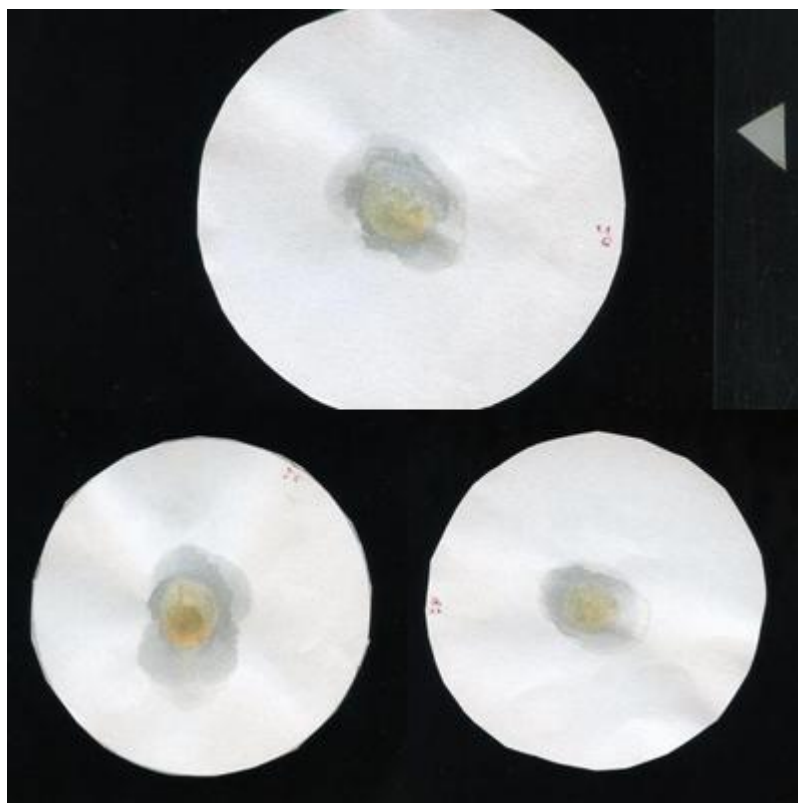


Uzorak 6

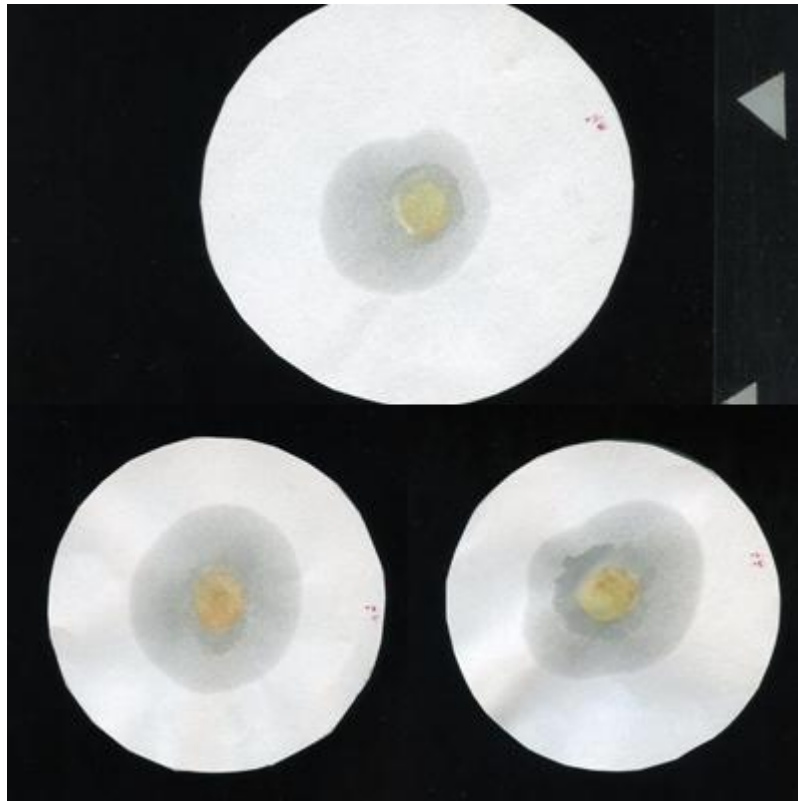
**Prilog 3** Računalna obrada slika otpuštanja ulja



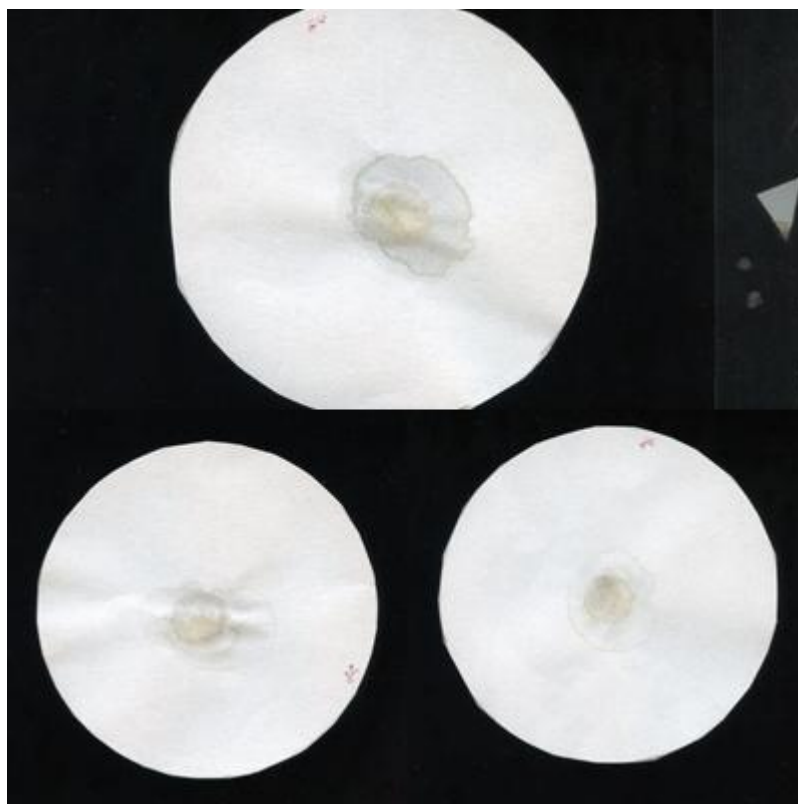
Uzorak 1



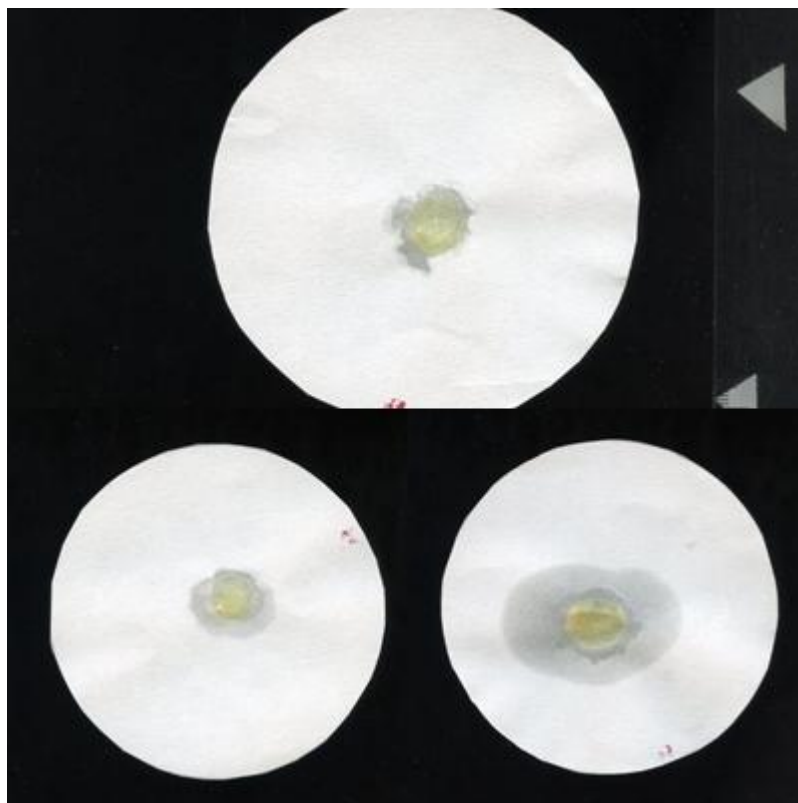
Uzorak 2



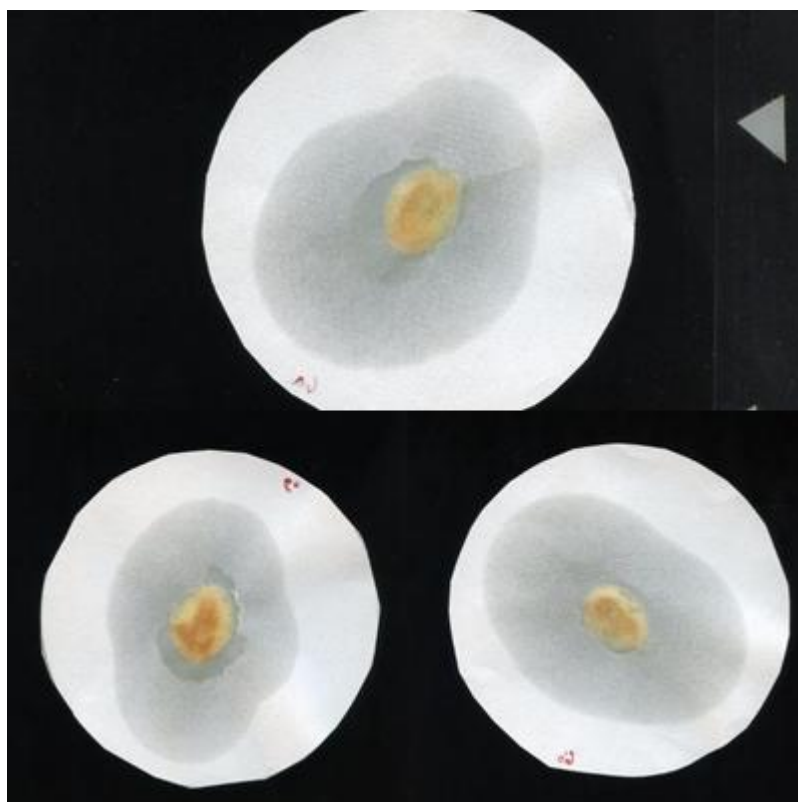
Uzorak 3



Uzorak 4



Uzorak 5



Uzorak 6



**Prilog 4** Računalna obrada slika promjene visine sira tijekom topljenja