

# Utjecaj pulsirajućeg svjetla visokog intenziteta na polifenole i antioksidacijsku aktivnost u jagodama

---

Kronić, Jelena

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:109:449027>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

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



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

**Jelena Kronić**

**UTJECAJ PULSIRAJUĆEG SVJETLA VISOKOG INTENZITETA NA  
POLIFENOLE I ANTIOKSIDACIJSKU AKTIVNOST U JAGODAMA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2019.

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

**Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo**

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija

**Nastavni predmet:** Procesi u prehrambenoj industriji

**Tema rada** je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2018./2019. održanoj 30. svibnja 2019.

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Anita Pichler

**Pomoć pri izradi:**

**Utjecaj pulsirajućeg svjetla visokog intenziteta na polifenole i antioksidacijsku aktivnost u jagodama**

*Jelena Kronić, 0113140796*

**Sažetak:** Kako bi se očuvala izvorna svojstva jagoda i drugih namirnica, znanstvenici su razvili nove načine obrade koji se nazivaju netermički. Ovi procesi podrazumijevaju upotrebu nižih temperatura i kraćeg vremena provedbe u usporedbi sa termičkim postupcima. Cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi temperaturne promjene prilikom tretmana i eventualne kemijske promjene u jagodama nakon tretmana pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta jačine 4 i 12 J/cm<sup>2</sup>. Analize provedene na jagodama su sljedeće: ukupna kiselost, gubitak istjecanjem, količina suhe tvari, askorbinska kiselina, ukupni sadržaj fenola, antioksidacijska aktivnost, boja, Brix vrijednost, sadržaj antocijanina te pH vrijednost. Rezultati dobivenih analiza pokazuju minimalne promjene u sastavu jagoda sa više izraženim razlikama kod uzoraka tretiranih pulsirajućim svjetlom snage 12 J/cm<sup>2</sup> u usporedbi sa kontrolnim uzorkom. S obzirom da su oba tretmana kratkotrajna, a porasti temperature minimalni, ovaj postupak se s pravom može svrstati u skupinu netermičkih načina obrade namirnica.

**Ključne riječi:** Jagode, pulsirajuće svjetlo visokog intenziteta, polifenoli, netermički procesi, antioksidacijska aktivnost

**Rad sadrži:** 62 stranice  
 21 sliku  
 3 tablice  
 35 priloga  
 24 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. prof. dr. sc. <i>Mirela Kopjar</i>      | predsjednik   |
| 2. izv. prof. dr. sc. <i>Anita Pichler</i> | član-mentor   |
| 3. prof. dr. sc. <i>Nela Nedić Tiban</i>   | član          |
| 4. doc. dr. sc. <i>Ante Lončarić</i>       | zamjena člana |

**Datum obrane:** 11. rujna 2019.

**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 Technologies  
Subdepartment of Food Engineering  
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

### Graduate program Food Engineering

**Scientific area:** Biotechnical sciences

**Scientific field:** Food technology

**Course title:** The Influence of High-Intensity Pulsed Light on Polyphenols and Antioxidant Activity in Strawberries

**Thesis subject** was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII. held on May 30, 2019.

**Mentor:** *Anita Pichler*, PhD, associate prof.

**Technical assistance:**

### The Influence of High-Intensity Pulsed Light on Polyphenols and Antioxidant Activity in Strawberries

*Jelena Kronić*, 0113140796

**Summary:** In order to preserve original properties of fruits and other foodstuffs, new food processing techniques were developed and they are known as non – thermal. When compared with thermal, non – thermal processed involve usage of lower temperatures and shorter processing time. Main goal of this thesis was to determine temperature changes during the treatment and possible chemical changes in strawberries after treatment with high intensity pulsed light that had intensity of 4 and 12 J/cm<sup>2</sup>. Analysis that were conducted on strawberries were following: titratable acidity, drip loss, dry matter value, ascorbic acid, total phenolic content, antioxidant activity, color values, Brix value, anthocyanin content and pH value. Results show minimal changes in strawberry composition with slightly higher differences between strawberries treated with high intensity pulsed light that had intensity 12 J/cm<sup>2</sup> and control samples. Furthermore, since both of the treatments were short and temperature rises were minimal, it is safe to say that this treatment is rightly classified into group of non – thermal food processing techniques.

**Key words:** Strawberries, high intensity pulsed light, polyphenols, non – thermal processes, antioxidant activity

**Thesis contains:** 62 pages  
21 figures  
3 tables  
35 supplements  
24 references

**Original in:** Croatian

### Defense committee:

- |    |   |              |
|----|---|--------------|
| 1. | <i>Mirela Kopjar</i> , PhD, prof.           | chair person |
| 2. | <i>Anita Pichler</i> , PhD, associate prof. | supervisor   |
| 3. | <i>Nela Nedić Tiban</i> , PhD, prof.        | member       |
| 4. | <i>Ante Lončarić</i> , PhD, assistant prof. | stand-in     |

**Defense date:** September 11, 2019

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

Zahvaljujem mentorici Aniti Pichler na neiscrpnom strpljenju, pomoći i savjetima prilikom izrade ovoga rada.

Hvala profesoru Taneru Baysalu sa Sveučilišta Ege (Izmir, Turska) što me prihvatio kao svoju studenticu kroz posljednja dva semestra u sklopu ERASMUS+ programa te na strpljenju i pomoći koju mi je pružio prilikom izrade ovog rada. Također veliko hvala suradnicima i laboratorijskim partnerima sa Sveučilišta Ege na pomoći, strpljenju i ljubavi koje su mi pružili prilikom boravka u Turskoj.

Veliko hvala mojim prijateljima koji su mi uvijek bili neiscrpan izvor ljubavi i potpore, bez kojih ovaj uspjeh ne bi bio moguć.

Najveće hvala mojim roditeljima i najbližim članovima obitelji, svom beskrajnom izvoru ljubavi i potpore. Hvala vam što ste uvijek vjerovali u mene te što ste mi omogućili da ostvarim svoje snove.

## Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	TEORIJSKI DIO .....	2
2.1.	JAGODA.....	2
2.1.1.	PODRIJETLO I RASPROSTRANJENOST.....	2
2.1.2.	SISTEMATIKA JAGODA.....	2
2.1.3.	PROIZVODNJA JAGODA U HRVATSKOJ I SVIJETU.....	4
2.2.	ZAMRZAVANJE.....	5
2.2.1.	UPOTREBA ZAMRZAVANJA I PRIPREMA NAMIRNICA .....	5
2.2.2.	OSNOVNE ZNAČAJKE METODE .....	6
2.2.3.	RASHLADNA SREDSTVA.....	6
2.2.4.	POSTUPCI ZAMRZAVANJA .....	6
2.2.4.1.	POSTUPCI ZAMRZAVANJA PREMA BRZINI PRODIRANJA TOPLINE .....	7
2.2.4.2.	ZAMRZAVANJE U STRUJI OHLAĐENOG ZRAKA .....	7
2.2.4.3.	ZAMRZAVANJE IMERZIJOM I RASPRŠIVANJEM.....	8
2.2.4.4.	ZAMRZAVANJE OSTVARIVANJEM KONTAKTA SA HLAĐENOM (METALNOM) POVRŠINOM.....	9
2.3.	NETERMALNI NAČINI OBRADE NAMIRNICA.....	11
2.3.1.	PULSIRAJUĆE SVJETLO.....	11
2.4.	POLIFENOLI.....	14
2.4.1.	STRUKTURA I ZNAČAJKE .....	14
2.4.2.	RASPROSTRANJENOST POLIFENOLA .....	15
2.4.3.	BIOLOŠKI UČINCI.....	16
2.5.	ANTIOKSIDACIJSKA AKTIVNOST.....	16
2.5.1.	POLIFENOLI KAO ANTIOKSIDANSI .....	17
3.	EKSPERIMENTALNI DIO .....	18
3.1.	ZADATAK .....	18
3.2.	MATERIJALI I METODE .....	19
3.2.1.	KEMIKALIJE .....	19
3.2.2.	TRETMAN JAGODA PULSIRAJUĆIM SVJETLOM VISOKOG INTENZITETA.....	19
3.2.3.	ANALIZE KEMIJSKOG SASTAVA JAGODA .....	21
3.2.3.1.	UKUPNA KISELOST.....	21
3.2.3.2.	GUBITAK ISTJECANJEM (DRIP LOSS).....	22
3.2.3.3.	KOLIČINA SUHE TVARI .....	23
3.2.3.4.	ASKORBINSKA KISELINA.....	24

3.2.3.5.	UKUPNI SADRŽAJ FENOLA .....	25
3.2.3.6.	ANTIOKSIDACIJSKA AKTIVNOST .....	26
3.2.3.7.	BOJA .....	27
3.2.3.8.	BRIX VRIJEDNOST .....	27
3.2.3.9.	SADRŽAJ ANTOCIJANA.....	27
3.2.3.10.	pH VRIJEDNOST .....	28
4.	REZULTATI.....	29
5.	RASPRAVA.....	36
6.	ZAKLJUČCI.....	39
7.	LITERATURA .....	40
8.	PRILOZI .....	42
8.1.	KONTROLNI UZORCI.....	42
8.2.	UZORCI TRETIRANI PULSIRAJUĆIM SVJETLOM JAČINE 4 J/cm <sup>2</sup> .....	49
8.3.	UZORCI TRETIRANI PULSIRAJUĆIM SVJETLOM SNAGE 12 J/cm <sup>2</sup> .....	56

### **Popis oznaka, kratica i simbola**

*DPPH* 2, 2 – difenil – 1 - pikrilhidrazil

*TA* ukupna kiselost (%)

*V* volumen (mL)

*E* miliekvivalent sumporne kiseline

*m* masa uzorka (g)

*d<sub>gubitak</sub>* ukupni gubitak na masi (%)

*I* inhibicija (%)

*A* apsorbancija (nm)

*SF* faktor razrijeđenja

$\epsilon$  molarna apsorpcija ( $\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ )

*l* debljina kivete (cm)



## **1. UVOD**

Vrtna jagoda nastala je u 18. stoljeću spontanom hibridizacijom virginijske i čileanske jagode. Ovim činom razvila se biljka koja je u vrlo kratkom vremenskom periodu postala popularno voće. Danas, jagoda predstavlja najvažniju jagodastu biljku koja se uzgaja u gotovo svim dijelovima svijeta (Klanac, 2016.).

Kao i ostalo voće, jagode su bogat izvor vitamina, minerala te drugih tvari koje pozitivno utječu na ljudsko zdravlje. Među tim tvarima ističe se sadržaj polifenolnih spojeva, tvari koje karakterizira snažno antioksidativno djelovanje izraženo neutralizacijom djelovanja slobodnih radikala i vezanjem iona metala (Jakobek i sur., 2008.). Saznanje kako polifenolni spojevi imaju antiinflamatorno, antimikrobno, antifungalno, antialergijsko, analgetsko, antimalarično, antioksidativno te brojna druga svojstva, dovelo je do brojnih istraživanja na ovim tvarima. Kao najvažniji izvori polifenolnih spojeva navode se jagodasto te tamno bobičasto voće poput borovnica, jagoda, višanja i dr. (Jakobek i sur., 2008.; Šimunić, 2016.).

Kako na vitamine i minerale, tako i na polifenolne spojeve velik utjecaj imaju različiti postupci obrade namirnica. Tradicionalni načini obrade namirnica podrazumijevaju upotrebu povišenih temperatura te produženo vrijeme tretiranja što povećava trajnost proizvoda ali, u isto vrijeme, uništava boju, okus, vitamine i brojne druge tvari prirodno prisutne u hrani (Oms-Oliu i sur., 2010.). Kako bi se spriječili navedeni gubitci i osigurali proizvodi koji su vrlo slični svježim namirnicama, razvijeni su netermalni postupci obrade hrane koji podrazumijevaju upotrebu nižih temperatura i kraćeg vremena obrade namirnica. Na taj način, namirnice zadržavaju svoja organoleptička i nutritivna svojstva te su sigurne za konzumaciju (Cullen i sur., 2012.).

U ovom radu cilj je bio tretirati zamrznute jagode pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$  i  $12 \text{ J/cm}^2$ . Prilikom tretiranja pratila se promjena temperature u tri različite točke sustava a nakon tretmana i skladištenja obavljene su različite kemijske analize kako bi se ustvrdilo je li došlo do promjene u kemijskom sastavu jagoda.

## **2. TEORIJSKI DIO**

## 2.1. JAGODA

### 2.1.1. PODRIJETLO I RASPROSTRANJENOST

Sjemenke jagoda pronađene su arheološkim istraživanjima u ostacima koji potječu iz kamenog doba. Vrlo rano, još u prvom stoljeću, jagoda je po prvi put opisana u literaturi radi upotrebe u medicinske svrhe. Sam naziv ove biljke potječe od Rimljana koji su joj nadjenuli ime „*fragum*“ prema latinskoj riječi „*fragare*“ koja znači mirisati. U 14. stoljeću jagode postaju popularne u Europi a četiri stoljeća kasnije počinje njihova komercijalna prodaja u Londonu. Ipak, važnija istraživanja o hranjivosti i uzgoju jagoda počinju tek u dvadesetom stoljeću (Bašić, 2015.).

Vrtna jagoda (*Fragaria ananassa Duch*) nastala je u 18. stoljeću u Francuskoj. Rezultat je spontane hibridizacije virginijske i čileanske jagode te je, kroz kratko vrijeme, postala vrlo traženo voće. Danas, jagoda je najvažnija jagodasta voćka. Lako se razmnožava te daje plodove već u prvih godinu dana nakon sadnje. Kvaliteta i veličina plodova ovise o sorti. Plodovi jagode, pored konzumacije u svježem stanju, mogu se prerađivati u proizvode poput sokova, kompota i džemova.

Uz to, plodovi imaju veliku dijetetsko-terapeutsku važnost u prehrani (Nikolić i sur, 2010.; Bašić, 2015.). Zbog toga se postojeće sorte jagoda nastoje oplemeniti pomoću divljih vrsta. Na taj način žele se stvoriti visokorodne biljke koje daju plodove mase 25 i više grama, intenzivne boje, mirisa i okusa, povećanog sadržaja šećera i vitamina. Uz to, nastoji se ostvariti veća otpornost na bolesti, sušu, mraz te razne štetnike (Klanac, 2016.).

### 2.1.2. SISTEMATIKA JAGODA

Jagoda (*Fragaria*), uz brojne druge biljne vrste, spada u porodicu ruža (*Rosaceae*). Smatra se jednom od ekonomski najvažnijih članica ove skupine a izgled ploda ove biljke prikazan je na **Slici 1**. Jagoda je višegodišnja zimzelena biljka čiji životni vijek može preći i 7 godina ali ukoliko se uzgaja u intenzivnim nasadima preporuča se uzgoj do 3 godine (Klanac, 2016.).



**Slika 1** Jagoda (*Fragaria ananassa*) (web izvor 1)

Danas je poznato je oko 47 vrsta samoniklih jagoda koje su, prema broju kromosoma, podijeljene u četiri skupine: pet diploidnih (2n), dvije tetraploidne (4n), jedna heksaploidna (6n) i četiri oktaploidne (8n). Međutim, veću vrijednost ima samo dvanaest vrsta jagoda (Šimić, 2016.). **Tablica 1** prikazuje cjelokupnu sistematiku navedene biljne vrste.

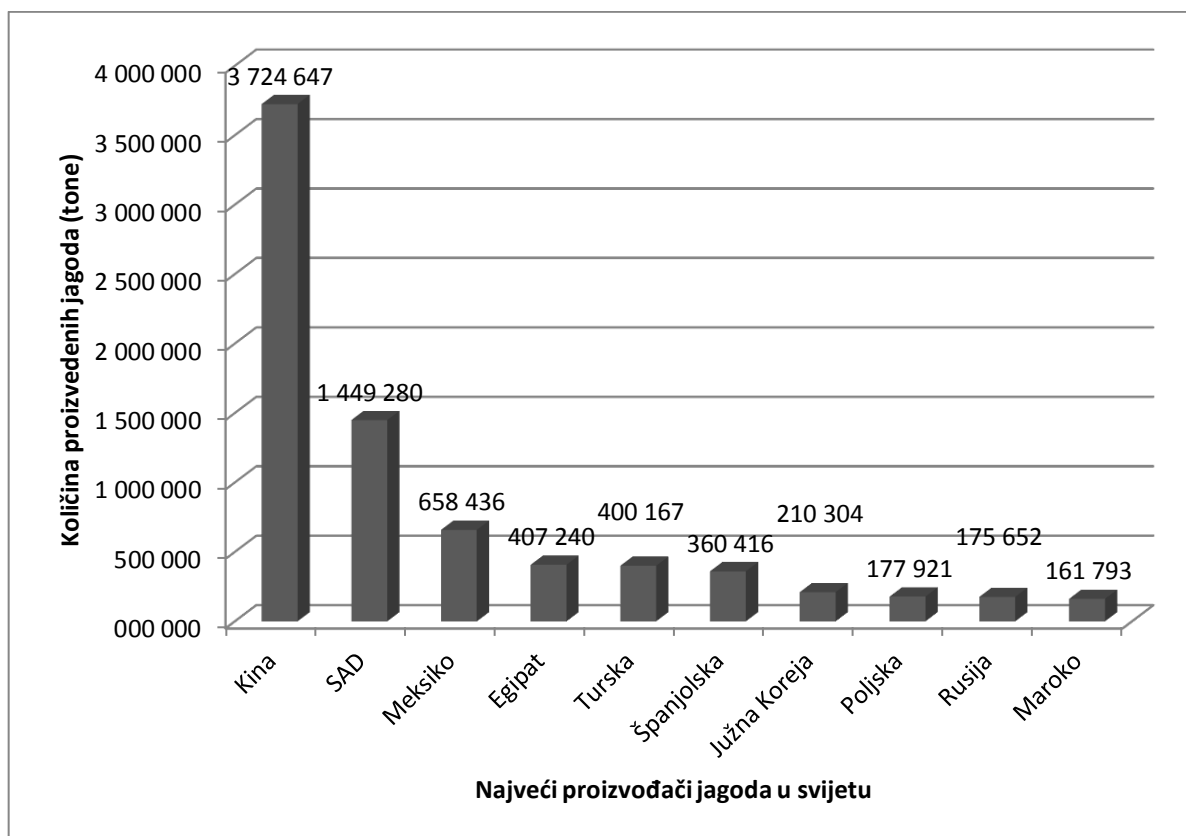
**Tablica 1** Sistematika jagoda (*Fragaria*)

Odjeljak	• Spermatophyta (sjemenjače)
Pod-odjeljak	• Magnoliophytina ili Angiospermae (kritosjemenjače)
Razred	• Magnoliatae ili Dicotyledoneae (dvosupnice)
Pod-razred	• Rosidae
Nadred	• Rosanae
Red	• Rosales
Porodica	• Rosaceae (ruže)
Pod-porodica	• Rosoideae
Rod	• <i>Fragaria</i>
Vrsta	• <i>Fragaria x ananassa</i> Duch

### 2.1.3. PROIZVODNJA JAGODA U HRVATSKOJ I SVIJETU

Jagoda je biljka koja se uzgaja u cijelom svijetu. Samonikla biljka može se pronaći na svim kontinentima osim u Australiji. Prema podacima iz 2017. godišnja svjetska proizvodnja jagoda iznosila je 9 223 815 tona a najveći proizvođač bila je Kina sa ukupnom godišnjom proizvodnjom od 3 724 647 tona. Kinu slijedi SAD a zatim Meksiko, Egipat, Turska i dr. Najveći europski proizvođač jagoda je Španjolska sa 360 416 tona a slijedi ju Poljska koja zauzima 8. mjesto na listi.

Top 10 svjetskih proizvođača te količina proizvedenih jagoda prikazana je na **Slici 2** (Web izvor 2).



**Slika 2** Top 10 najvećih svjetskih proizvođača jagoda (Web izvor 2)

Na ovoj listi Hrvatska zauzima 57. mjesto sa 3 209 tona proizvedenih jagoda (Web izvor 2). Zbog povoljnih klimatskih uvjeta, čistog tla i vode jagode se u mogu proizvoditi u svim dijelovima Hrvatske. Međutim, proizvodnja ovog voća je relativno niska te je Hrvatska u mogućnosti zadovoljiti samo oko 1/3 vlastitih potreba. Prema podacima u **Tablici 2**, vidljivo je kako postoji konstantna potreba za uvozom ovog voća te se za to, kroz godine, izdvaja sve veća

količina novca. Dvije naglašene vrijednosti sa slike prikazuju najmanju (2005. godina) i najveću (2012. godina) vrijednost uvoza jagoda (Rogić, 2016.).

**Tablica 2** Uvoz jagoda u Republici Hrvatskoj za period od 2003. do 2014. godine (Rogić, 2016.)

Godina	Količina uvoza (t)	Vrijednost uvoza (1000 \$)
2004.	756	829
2005.	32	<b>58</b>
2006.	1232	1317
2007.	743	1238
2008.	1033	2209
2009.	1077	1962
2010.	971	1705
2011.	959	1992
2012.	1282	<b>2451</b>
2013.	1058	2152

Najveća količina jagoda proizvodi se u Zagrebu i okolnom području. Ukupno, proizvodnja jagoda se na području Hrvatske odvija na nešto manje od 330 ha. Međutim, uobičajeno je da proizvođači imaju površinu nasada manju od 1 ha te se najčešće radi o obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima i zadrugama (Rogić, 2016.; Šimić, 2016.).

## **2.2. ZAMRZAVANJE**

### **2.2.1. UPOTREBA ZAMRZAVANJA I PRIPREMA NAMIRNICA**

Postupak zamrzavanja upotrebljava se kao jedan od osnovnih postupaka za konzerviranje i očuvanje namirnica kroz duži vremenski period. Postupku se najčešće podvrgavaju namirnice poput mesa, ribe, voća, povrća te njihovih prerađevina. Kao nedostatak, ističe se činjenica da je metoda kompleksna te se, za provedbu zamrzavanja, koriste iznimno skupa industrijska postrojenja. Međutim, zamrzavanje omogućava dobro očuvanje osnovnih svojstava namirnice poput boje, mirisa i okusa te je vrlo često jedina opcija za transport i konzumaciju pojedinih vrsta namirnica (riba, sladoled i sl.) (Bešlić, 2016.; Pichler, 2017.).

Ukoliko se zamrzavanju podvrgavaju svježe namirnice, potrebno ih je prethodno pripremiti operacijama poput pranja, probiranja, rezanja, uklanjanja nejestivih dijelova te blanširanja koje se najčešće koristi kod povrća zbog deaktivacije enzima (Pozderović, 2016.).

### **2.2.2. OSNOVNE ZNAČAJKE METODE**

Konzerviranjem namirnica zamrzavanjem voda se izdvaja u obliku kristala leda te se, u isto vrijeme, gotovo potpuno zaustavljaju biokemijski, kemijski i mikrobiološki procesi. Što je veća količina vode izdvojena postupkom zamrzavanja namirnica poprima veću stabilnost. Međutim, spomenuti postupak rezultira većim ili manjim ireverzibilnim promjenama u namirnici na što treba obratiti pozornost ukoliko je veoma važno da se očuva kvaliteta namirnice u pogledu teksture i strukture. Veličina spomenutih promjena je funkcija brzine zamrzavanja, tj. promjene su veće ukoliko je zamrzavanje sporije i obrnuto. Namirnice koje sadrže veće količine vode potrebno je brzo zamrznuti kako ne bi došlo do oštećenja teksture. Za namirnice koje imaju malu količinu vode brzina zamrzavanja nije od velikog značaja. Kod takvog tipa namirnica važno je u određenom vremenu proći temperaturni interval u kojemu se uklanja latentna toplina te se zaustavlja enzimski i mikrobiološka aktivnost (Lovrić, 2003.).

### **2.2.3. RASHLADNA SREDSTVA**

Da bi se postupak zamrzavanja mogao provesti potrebno je koristiti rashladna sredstva. Rashladna sredstva su tvari koje oduzimaju toplinu proizvodu te na taj način izazivaju hlađenje proizvoda.

Kako bi se određena tvar mogla koristiti kao rashladno sredstvo potrebno je da zadovolji određene uvjete. Prvenstveno, rashladno sredstvo treba biti što jeftinije. Također ne smije biti opasno, tj. ne smije izazvati koroziju materijala s kojim dolazi u kontakt te ne smije biti eksplozivno ili zapaljivo. Uz to, temperatura zamrzavanja rashladnog sredstva treba biti niža od najniže temperature isparavanja, a tlakovi se moraju održavati unutar sigurnih granica.

Neka od najčešće korištenih rashladnih sredstava su amonijak te freoni (freon 11, freon 12 te freon 22) (Randelović, 2009.).

### **2.2.4. POSTUPCI ZAMRZAVANJA**

Postupci zamrzavanja dijele se prema brzini prodiranja topline i prema načinu odvođenja topline.



Prema brzini prodiranja topline razlikujemo sljedeće postupke:

- Vrlo brzi – brzina kretanja fronte leda iznosi 5 do 10 (i više) cm/h;
- Brzi – brzina kretanja fronte leda iznosi 0,5 do 3 cm/h;
- Spori – brzina kretanja fronte leda iznosi 0,1 do 0,2 cm/h.

Prema načinu odvođenja topline također razlikujemo tri postupka:

- Zamrzavanje u struji ohlađenog zraka;
- Zamrzavanje imerzijom (uranjanjem) u rashladno sredstvo;
- Zamrzavanje ostvarivanjem kontakta sa hladnom (metalnom) površinom (Lovrić, 2003.).

#### **2.2.4.1. POSTUPCI ZAMRZAVANJA PREMA BRZINI PRODIRANJA TOPLINE**

Postupak zamrzavanja može se provoditi različitim brzinama. Veća brzina zamrzavanja rezultira nastajanjem većeg broja centara kristalizacije. Krajnji rezultat ovakvog postupka su sitni kristali leda koji su pravilno raspoređeni u stanicama i međustaničnom prostoru. S druge strane, manje brzine zamrzavanja vode ka nastajanju krupnih kristala leda koji su neravnomjerno raspoređeni u stanicama i međustaničnom prostoru. Uz to, krupni kristali leda oštećuju staničnu membranu te dolazi do smanjenja kvalitete zamrznutog proizvoda. Osim o brzini zamrzavanja, veličina kristala leda ovisi i o temperaturi upotrebljenog rashladnog sredstva. Ukoliko se temperatura kreće od  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  kristali će biti veliki nekoliko mikrometara. Ukoliko se temperatura kreće od  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$  veličina kristala će biti od 20 do 200  $\mu\text{m}$  (Randelović, 2009.).

Brzina zamrzavanja ovisi o pokretnoj sili te otporu prijenosu topline. Pokretna sila je rezultat razlike temperatura između proizvoda i rashladnog sredstva. Otpor prijenosu topline ovisi o svojstvima proizvoda kao što je debljina, o kontaktu između proizvoda i rashladnog sredstva te o brzini strujanja samog rashladnog medija (Lovrić, 2003.).

#### **2.2.4.2. ZAMRZAVANJE U STRUJI OHLAĐENOG ZRAKA**

Zamrzavanje u struji ohlađenog zraka je postupak koji se najčešće i najduže primjenjuje. Provođa se u tunelima ili komorama različitih izvedbi.

Ukoliko se zamrzavanje provodi u izoliranim komorama, kretanje zraka vrši se ventilatorima ili prirodnom konvekcijom. Temperatura unutar komora održava se između  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Brzina zamrzavanja namirnica u ovakvom uređaju može trajati od nekoliko sati do nekoliko dana što ovisi o veličini i rasporedu namirnice, brzini strujanja rashladnog zraka te temperaturi (Lovrić, 2003.).

### **2.2.4.3. ZAMRZAVANJE IMERZIJOM I RASPRŠIVANJEM**

Ovaj način zamrzavanja temelji se na uranjanju namirnice u rashladno sredstvo ili raspršivanju rashladnog sredstva po namirnici. Na taj način omogućen je najbolji kontakt namirnice sa rashladnim sredstvom, tj. postiže se najveći koeficijent prijenosa topline. Stoga se ovaj postupak zamrzavanja smatra najefikasnijim.

Dvije su skupine rashladnih sredstava koji se upotrebljavaju za ovaj način zamrzavanja:

- Kriogenici, odnosno kriogene tekućine, su ukapljeni plinovi niskog vrelišta poput tekućeg dušika (temperatura vrelišta:  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), tekućeg  $\text{CO}_2$  (temperatura vrelišta:  $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i freona;
- Tekućine sa niskom temperaturom koje se hlade u rashladnom uređaju, a koriste za zamrzavanje nepakiranih namirnica, poput otopina šećera, glicerola i soli. Njihova koncentracija mora biti takva da zadržavaju tekući oblik i pri temperaturama nižim od  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Iako se kriogenicima postiže iznimno velika brzina zamrzavanja, njihovom upotrebom može doći do pucanja i raspadanja proizvoda uslijed velike temperaturne razlike između proizvoda i rashladnog sredstva. To je iznimno izraženo kod tekućeg dušika s obzirom na njegovu vrlo nisku temperaturu vrelišta. Veliki potencijal brzog zamrzavanja u ovom slučaju se gubi zbog intenzivnog vrenja rashladnog sredstva, uslijed kojeg se kapljice tekućeg dušika odbijaju o površinu proizvoda. Stoga se primjena tekućeg dušika uglavnom bazira na njegovom raspršivanju po površini namirnice čime se ostvaruje idealni kontakt proizvoda i kriogenika (Lovrić, 2003.).

#### 2.2.4.4. ZAMRZAVANJE OSTVARIVANJEM KONTAKTA SA HLAĐENOM (METALNOM) POVRŠINOM

Ovaj postupak ušao je u industrijsku primjenu prije 50 - ak godina. Temelji se na prijenosu topline kondukcijom kroz metalne površine. Provodi se ekspanzijom freona R22 u zatvorenom sustavu za hlađenje medija (zraka ili rasoline) koji oduzima toplinu namirnici ili cirkulacijom rashladnog sredstva. Temperatura pri kojoj se provodi proces kreće se između  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vrijeme smrzavanja je obično 1 sat za svakih 2,5 cm debljine proizvoda (Lovrić, 2003.; Pozderović, 2016.).

Razlikuju se dva osnovna uređaja za ovaj tip zamrzavanja:

- Votator – izmjenjivač topline koji se sastoji od nekoliko koncentričnih cilindara. Između cilindara provodi se proizvod u tekućem stanju ili rashladno sredstvo. Uređaj se upotrebljava za djelomično zamrzavanje namirnica te domrzavanje nakon pakiranja u ambalažu. Uređaj je prikazan na **Slici 3**.



**Slika 3** Votator (web izvor 3)

- Pellofreezer – tekuća ili polutekuća namirnica se u ovom uređaju zamrzava u obliku pojedinačnih komadića (peleta). Peleti izlaze iz uređaja volumena oko  $5\text{ cm}^3$ . Sam proces je kontinuiran a uređaj je prikazan na **Slici 4** (Bešlić, 2016.).



**Slika 4** Pellofreezer (Bešlić, 2016.)

## **2.3. NETERMALNI NAČINI OBRADE NAMIRNICA**

Tradicionalni načini obrade i konzerviranja namirnica obično uključuju primjenu visokih temperatura (između 60 °C kroz nekoliko minuta i 100 °C kroz nekoliko sekundi) što osigurava produžetak trajnosti proizvoda te čini namirnicu sigurnom za konzumaciju. Iako vrlo efikasni u inaktivaciji mikroorganizama, termalni načini obrade namirnica izazivaju negativne promjene na bjelančevinama i polisaharidima te mogu izazvati formiranje slobodnih radikala. Uz to, uništavaju vitamine, boju te okus hrane (Oms-Oliu i sur., 2010.; Bhavya i sur, 2017.).

Netermalni postupci obrade hrane nastali su kao rezultat potrošačkih zahtjeva za visoko kvalitetnim proizvodima koji su svojstvima najbliži svježim, neobrađenim namirnicama. Upotrebom netermalnih metoda obrade namirnice zadržavaju svoja organoleptička i nutritivna svojstva, a u isto vrijeme su potpuno sigurne za konzumaciju (Cullen i sur., 2012.; Web izvor 4).

Ovakvi procesi provode se na temperaturama koje su relativno niske - niže od temperatura koje se koriste za termičku pasterizaciju namirnica. Postupci izazivaju inaktivaciju patogenih mikroorganizama te mikroorganizama koji bih mogli dovesti do kvarenja, a istovremeno ne dolazi do gubitka boje, okusa, mirisa te nutrijenata koji su prirodno prisutni u namirnici. Neke od metoda koji spadaju u ovu skupinu su pulsirajuće električno polje, pulsirajuće svjetlo, ultrazvuk te obrada visokim tlakom (Min i sur, 2005.).

### **2.3.1. PULSIRAJUĆE SVJETLO**

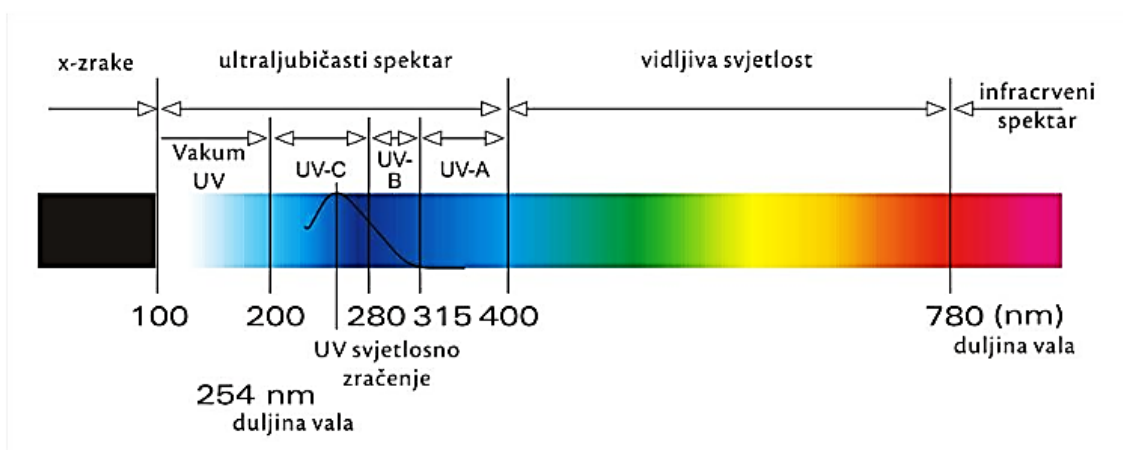
Pulsirajuće svjetlo je jedan od procesa iz grupe netermalnih metoda obrade. U Japanu, 1970. – ih godina, za inaktivaciju mikroorganizama počinju se upotrebljavati lampe koje su proizvodile pulsirajuće UV svjetlo. Međutim, tek 1996. godine postupak postaje prihvaćen od strane FDA (US Food and Drug Administration) kao dozvoljena metoda za obradu namirnica (Oms-Oliu i sur., 2010.).

Dekontaminacija namirnica poput mesa i mesnih proizvoda, voća i voćnih sokova te povrća postiže se pomoću pulseva svjetla visokog intenziteta kroz iznimno kratki vremenski period. Proizvod koji se tretira ovakvim postupkom izlaže se najmanje jednom svjetlosnom pulsu gustoće energije od 0,01 do 50 J/cm<sup>2</sup>. Obično se primjenjuje 1 do 20 bljeskova po sekundi trajanja 1 μs do 0,1 s. Već nekoliko bljeskova rezultira visokom razinom deaktivacije mikro-

organizama. Uz kratko vrijeme obrade i visok stupanj dekontaminacije, jedna od najvažnijih prednosti ove metode nad drugima je i smanjeni utrošak energije (Lovrić, 2003.; Oms-Oliu i sur., 2010.).

Pulsirajuće svjetlo proizvodi se akumuliranjem električne energije kroz djelić sekunde u kondenzatoru, te otpuštanjem tako pohranjene energije kroz puno kraći vremenski period ( $1 \cdot 10^{-3}$  do  $1 \cdot 10^{-6}$  s). Na taj način dolazi do iznimnog povećanja snage. Uobičajeno, oprema koja se koristi za proizvodnju pulsirajućeg svjetla sastoji se od jedne ili više ksenonskih lampi, izvora energije te visokonaponskog priključka koji omogućava prijenos električne energije. Prolaskom električne energije kroz plinsku komoru lampe, kratki svjetlosni pulsevi bivaju emitirani (Oms-Oliu i sur., 2010.).

Sam letalni učinak pulsirajućeg svjetla ovisi o valnoj dužini. Za obradu prehrambenih proizvoda koristi se ili cijeli spektar ili samo određeno valno područje. Ukoliko su prisutne valne dužine koje mogu izazvati nepoželjne promjene u prehrambenim proizvodima, primjenjuju se stakleni ili tekući filtri koji eliminiraju navedene nepoželjne valne dužine (Lovrić, 2003.).



**Slika 5** Spektar vidljive svjetlosti (Kičinbaći, 2014.)

Spektar pulsirajućeg svjetla je vrlo širok – od ultravioletnog do infracrvenog područja te obuhvaća:

- ultraljubičasto svjetlo (UV) – valna duljina 200 – 400 nm,
- vidljivo svjetlo – valna duljina 400 – 700 nm, te
- blisko infracrveno područje - valna duljina 700 – 1100 nm (Bhavva, 2017.).

Detaljniji opis navedenih zraka koji uključuje valne duljine (nm) i podjele unutar glavnih skupina prikazan je na **Slici 5**.

UV svjetlo se može primjenjivati i u kontinuiranom toku međutim, pokazuje niz nedostataka u usporedbi sa pulsirajućim svjetlom. Neki od tih nedostataka su iznimno male dubine prodiranja te mala snaga. Zbog usporedbe, snaga koju emitira kontinuirano UV svjetlo iznosi od 100 do 1000 W. S druge strane, snaga pulsirajućeg svjetla može se popeti i do 35 MW. Zbog toga je sama inaktivacija mikroorganizama pomoću pulsirajućeg svjetla puno brža (Oms-Oliu i sur., 2010.).

Svjetlosni pulsevi mogu izazvati dva tipa reakcija – fotokemijske ili fototermičke reakcije. Fotokemijske promjene bit će izazvane ukoliko se koristi svjetlo bogato UV zrakama, dok će svjetlo bogato zrakama infracrvenog i vidljivog djela spektra izazvati fototermičke promjene.

UV zrake se apsorbiraju na višestruko konjugirane dvostruke veze proteina i nukleinskih kiselina te na taj način inaktiviraju patogene mikroorganizme. Uz to, nukleinske kiseline su primarna meta te se njihova inaktivacija odvija putem nekoliko mehanizama poput cijepanja DNA (Lovrić, 2003.).

Primjena svjetlosnih pulseva iznimno je važna kod površinskih obrada materijala te se vrlo često koriste kao zamjena za različita kemijska sredstva koja se uobičajeno koriste za dezinfekciju (Lovrić, 2003.).

## 2.4. POLIFENOLI

### 2.4.1. STRUKTURA I ZNAČAJKE

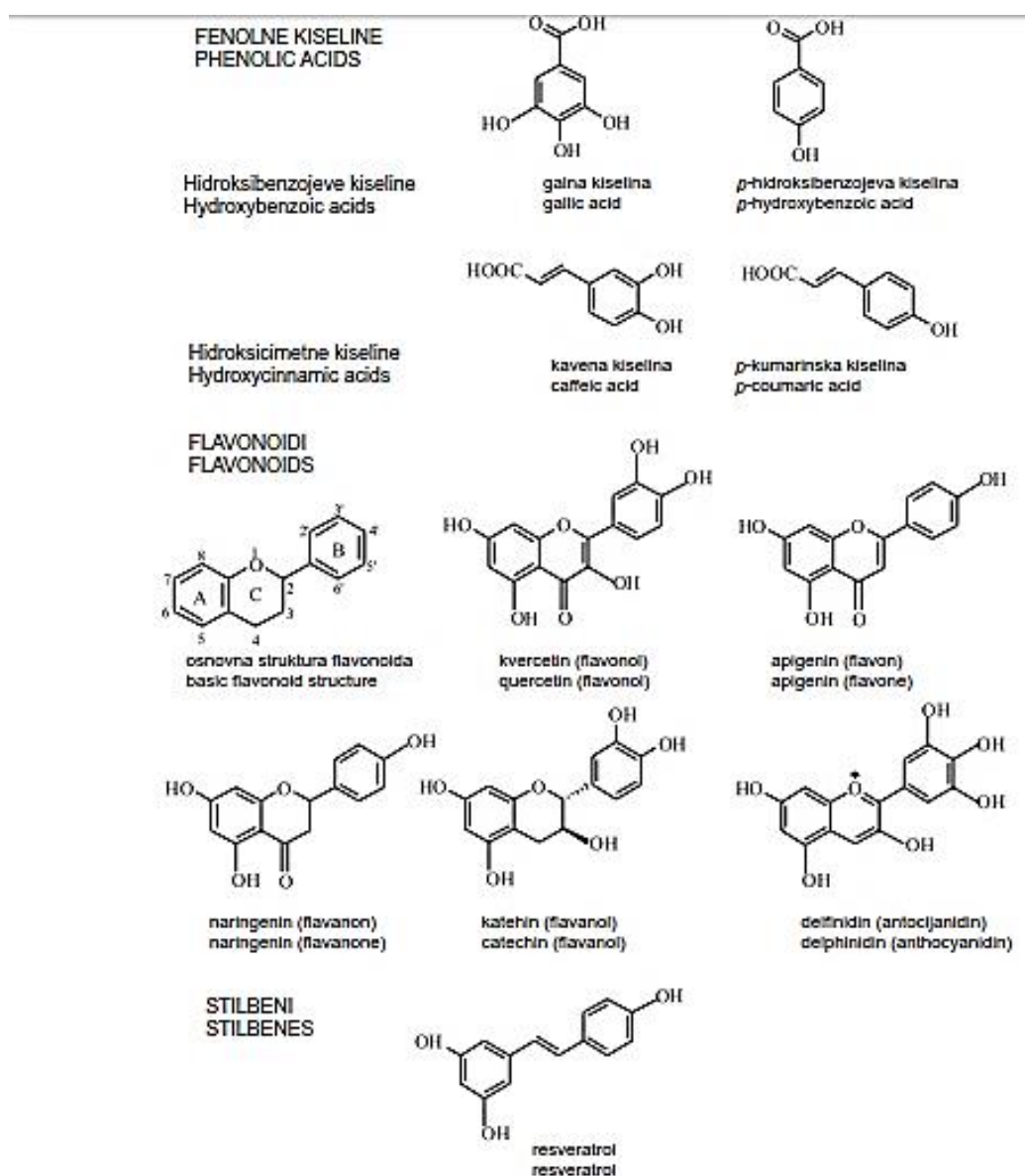
Polifenoli su biljne tvari koje su iznimno zastupljene u prirodi. Sekundarni su metaboliti biljnog metabolizma a sastavni su dio voća i voćnih sokova, povrća, vina, čaja i kave u kojima se nalaze u različitim količinama. Do sada je poznato više od 8000 polifenolnih spojeva različite kemijske strukture kojima je zajedničko postojanje jednog ili više hidroksilnih aromatskih prstenova (Bravo, 1998; Rastija i Medić-Šarić, 2009.).

U polifenolnu skupinu spadaju fenolne kiseline, flavonoidi i stilbeni. Fenolne kiseline sačinjavaju derivati hidroksibenzojeve i hidroksicimetne kiseline. Flavonoidi koji nemaju vezane molekule šećera (aglikoni) sadrže petnaest ugljikovih atoma raspoređenih na taj način da čine strukturu C6-C3-C6. Pri tome, atomi stvaraju dvije strukture benzena koje su povezane propanskim lancem a on može ali i ne mora stvarati treći prsten. Stilbeni ne sadrže osnovnu strukturu flavonoida već im funkcionalnu skupinu čini 1,2- difeniletan. Podjela polifenola prema kemijskoj strukturi prikazana je na **Slici 6** (Rastija i Medić-Šarić, 2009.; Šimunić, 2016.).

Dva su glavna biosintetska puta sinteze polifenola: put šikiminske kiseline i acetatni put. Šikiminska kiselina je važna tvar za nastanak aromatskih prirodnih spojeva. Primjerice, prekursor je u biosintezi aromatskih aminokiselina kod mikroorganizama i višim biljkama (Vukelić, 2015.).

Iako postoje oblici kod kojih su šećerne jedinice vezane direktno na aromatski ugljikov atom, u prirodi se polifenoli uglavnom javljaju u konjugiranom obliku kod kojeg su jedna ili više šećernih jedinica vezane na hidroksilne skupine. Vezani šećeri mogu biti u različitim oblicima – monosaharidi, disaharidi ili oligosaharidi. Međutim, šećerna jedinica koja se najčešće pojavljuje je glukoza. Polifenoli mogu biti konjugirani i spojevima poput amina i lipida te drugim fenolnim spojevima (Bravo, 1998.).





Slika 6 Kemijske strukture polifenola (Rastija i Medić-Šarić, 2009.)

### 2.4.2. RASPROSTRANJENOST POLIFENOLA

Polifenoli se vrlo često nalaze u hrani biljnog podrijetla te predstavljaju glavne antioksidanse u ljudskoj prehrani. U usporedbi sa drugim antioksidansima poput vitamina C, dnevno se u organizam unese skoro 10 puta veća količina polifenola – oko 1 g. Kako je već napomenuto, voće, povrće te pića koja se dobivaju od biljaka (npr. čaj, kava, vino, voćni sokovi) predstavljaju glavne izvore polifenola. Voće poput trešanja ili bobičastog voća sadrži oko 200 – 300 mg polifenola na 100 g svježeg voća, dok čaša crnog vina ili šalica kave sadrže oko 100 mg polifenola.

Smjesa polifenola u namirnicama je uglavnom vrlo kompleksna. Pojedini polifenoli mogu se

pronaći u svim biljkama (npr. kvarcetin) dok se neki mogu naći samo u specifičnim namirnicama (npr. flavanoni u citrusima). Točan sastav polifenola ovisi o dvije vrste okolišnih čimbenika:

- pedoklimatski čimbenici – tip tla, količina padalina, te
- agronomski čimbenici – uzgoj u stakleniku ili na otvorenom i dr.

Također, ukoliko su polifenoli podložni reakcijama oksidacije, stvaraju se polimerne molekule koje mogu izazvati poželjne ili nepoželjne promjene za kakvoću namirnice. Termička obrada namirnica ili guljenje voća ili povrća rezultira većim gubitkom polifenola (Šimunić, 2016.).

### **2.4.3. BIOLOŠKI UČINCI**

Polifenoli imaju brojna pozitivna djelovanja među kojima su antiinflamatorno, antimikrobno, antifungalno, antialergijsko, analgetsko, antimalarično, antioksidativno te brojna druga. Pridonose prevenciji kardiovaskularnih bolesti, raka te osteoporoze. Jedan od primjera pozitivnog djelovanja polifenola jeste „francuski paradoks“ koji navodi kako je upravo konzumacija crnog vina bogatog polifenolnim spojevima razlog iznimno niskoj pojavi kardiovaskularnih bolesti u Francuskoj, unatoč visokoj konzumaciji masne hrane. Uz to, polifenoli moduliraju aktivnost velikog broja enzima. Međutim, s obzirom da se polifenoli sastoje od različitih spojeva koji imaju različito biološko djelovanje, učinak jednog polifenolnog spoja ne prikazuje učinak svih ostalih. Uz to, bioraspoloživost polifenolnih spojeva varira (Šimunić, 2016.).

### **2.5. ANTIOKSIDACIJSKA AKTIVNOST**

Oksidativni stres i antioksidativna zaštita nalaze se u ravnoteži u svakom organizmu. Ukoliko protiv slobodnih radikala koji nastaju u organizmu ne postoji antioksidativna zaštita, javlja se oksidativni stres. Postojanje slobodnih radikala u organizmu je nepoželjno jer pridonose starenju stanica, mutagenezi, karcinogenezi te razvoju bolesti srca (Kazazić, 2004.). Antioksidansi se, prema načinu djelovanja, dijele na dvije skupine:

- Primarni antioksidansi koji direktno hvataju slobodne radikale, te
- Sekundarni antioksidansi koji ne hvataju slobodne radikale direktno već vezanjem metalnih iona ili kisika, pretvaranjem hidroperoksida u ne-radikalne vrste, deaktivacijom singleton kisika ili apsorpcijom UV zračenja (Šrajbek, 2015.).

### 2.5.1. POLIFENOLI KAO ANTIOKSIDANSI

Antioksidativna aktivnost polifenola povezana je sa njihovom sposobnosti sparivanja elektrona slobodnih radikala, kelatnim vezanjem iona  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  te  $\text{Zn}^{2+}$ , aktiviranjem antioksidacijskih enzima te inhibiranjem enzima poput lipooksigenaze i ciklooksigenaze (Cao i sur., 1997.). Antioksidativna aktivnost polifenola ovisi o rasporedu funkcionalnih grupa na glavnoj okosnici polifenola. O tome ovisi sposobnost otpuštanja vodika ili elektrona te sposobnost delokalizacije nesparenog elektrona u aromatskoj strukturi (Šrajbek, 2015.).

Dva su uvjeta koje polifenoli, kao antioksidansi, moraju ispuniti:

- Moraju usporiti ili zaustaviti reakciju oksidacije ukoliko su prisutni u manjoj koncentraciji nego tvar koja je podložna oksidaciji, te
- Radikal koji nastaje na ovaj način mora biti dovoljno stabilan kako ne bi izazvao lančanu reakciju. Stabilizacija slobodnih radikala postiže se delokalizacijom elektrona, reakcijom sa drugim lipidnim radikalom ili stvaranjem intramolekularnih vodikovih veza.

Smanjen rizik od pojave različitih kroničnih i degenerativnih bolesti povezan je sa povećanim unosom voća, povrća i cjelovitih žitarica bogatih polifenolima. Takvi polifenoli smatraju se prirodnim antioksidansima. Uz njih, dostupni su i sintetski antioksidansi u obliku aditiva i lijekova ali se smatraju manje učinkovitima i sigurnima od prirodnih antioksidanasa (Šrajbek, 2015.).

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### 3.1. ZADATAK

Cilj ovog istraživanja bio je izvršiti tretman zamrznutih jagoda pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta te utvrditi eventualne promjene u kemijskom sastavu jagoda nakon tretmana i skladištenja. U tu svrhu bilo je potrebno:

1) Obraditi uzorke zamrznutih jagoda pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta pri:

- 4 J/cm<sup>2</sup> i
- 12 J/cm<sup>2</sup>

Prilikom tretmana pratiti promjenu temperature na površini jagode, u unutrašnjosti jagode te u samom sistemu.

2) Obradene uzorke te kontrolne uzorke skladištiti pri temperaturi od -20 °C tijekom 7 – 10 dana.

3) Nakon skladištenja, provesti sljedeća ispitivanja na sve tri skupine uzoraka:

- Ukupna kiselost
- Gubitak istjecanjem (drip loss)
- Količina suhe tvari
- Askorbinska kiselina
- Ukupni sadržaj fenola
- Antioksidacijska aktivnost
- Boja
- Brix vrijednost
- Sadržaj antocijanina
- pH vrijednost.

4) Dobivene rezultate obraditi te ustvrditi postoji li značajna promjena koja bi mogla biti posljedica tretmana.

## 3.2. MATERIJALI I METODE

### 3.2.1. KEMIKALIJE

Natrijev hidroksid (NaOH), DPPH, 2,6 – dikloroindofenol, kalijev klorid, oksalna kiselina, *Folin–Ciocalteu* reagens, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> te askorbinska kiselina dobavljeni od tvrtke Merck (Darmstadt, Njemačka) te metanol i natrijev acetat dobavljeni od tvrtke Tekkim (Istanbul, Turska)

### 3.2.2. TRETMAN JAGODA PULSIRAJUĆIM SVJETLOM VISOKOG INTENZITETA

Jagode koje su se koristile u ovom radu nabavljene su u zamrznutom stanju iz skladišta Ege Sveučilišta (Izmir, Turska). Zamrznute jagode podijeljene su u tri skupine, svaka težine cca 400g:

- Kontrolni uzorak koji se ne tretira pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta,
- Uzorak koji se tretira pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage 4 J/cm<sup>2</sup>, te
- Uzorak koji se tretira pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage 12 J/cm<sup>2</sup>.

Za tretman korišten je uređaj marke XENON Z - 1000 Steripulse-XLsystem (Xenon Corporation, S.A.D.). Navedeni uređaj proizvodi polikromatsko zračenje valne duljine 200 – 1100 nm. Sustav se sastoji od: komore za tretiranje u čijoj je unutrašnjosti postavljena ksenonska lampa, sustava za hlađenje koji je priključen na kućište lampe te sprječava pregrijavanje lampe prilikom provođenja procesa i modula za napajanje i kontrolu parametara procesa. Sustav generira pulsirajuće svjetlo visokog intenziteta brzinom od 3 pulsa po sekundi, širine 360 μs. Udaljenost od lampe može se regulirati i mijenjati po potrebi a u ovom radu koristila se udaljenost od 12 cm. Pri toj udaljenosti, svaki puls ima snagu od 0,37 J/cm<sup>2</sup>. Uzimajući u obzir navedene karakteristike sustava, izračunato je vrijeme trajanja tretmana prema **formulama (1) i (2)**:

$$\text{Broj pulseva} = \frac{\text{Željeni intenzitet}}{\text{Intenzitet sustava pri udaljenosti 12 cm}}$$

$$\text{Vrijeme (t)} = \frac{\text{Broj pulseva}}{\text{Broj pulseva po sekundi}}$$

**4 J/cm<sup>2</sup>**

$$\text{Broj pulseva} = \frac{4 \text{ J/cm}^2}{0,37 \text{ J/cm}^2} = 10,81 \text{ pulseva}$$

$$\text{Vrijeme (t)} = \frac{10,81 \text{ pulseva}}{3 \frac{\text{pulseva}}{\text{s}}} = 4 \text{ s}$$

**12 J/cm<sup>2</sup>**

$$\text{Broj pulseva} = \frac{12 \text{ J/cm}^2}{0,37 \text{ J/cm}^2} = 32,43 \text{ pulseva}$$

$$\text{Vrijeme (t)} = \frac{32,43 \text{ pulseva}}{3 \frac{\text{pulseva}}{\text{s}}} = 11 \text{ s}$$

Nakon izračuna, jagode su tretirane pulsirajućim svjetlom a provedba procesa prikazana je na **Slici 8**. Pri tome pratila se promjena temperature u tri točke: na površini jagoda, u unutrašnjosti jagoda te u unutrašnjosti komore u kojoj se provodio tretman. Priprema jagoda za tretman prikazana je na **Slici 7**.



**Slika 7** Priprema zamrznutih jagoda za tretman



**Slika 8** Provođenje tretmana

Usljedilo je skladištenje pri  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  7 – 10 dana te analize eventualnih promjena u kemijskom sastavu.

### **3.2.3. ANALIZE KEMIJSKOG SASTAVA JAGODA**

#### **3.2.3.1. UKUPNA KISELOST**

10 g jagoda je izvagano, homogenizirano, prebačeno u odmjernu tikvicu od 100 mL te pomiješano sa destiliranom vodom. Pripremljena smjesa je profiltrirana kroz filter papir (**Slika 9**).



**Slika 9** Filtriranje uzoraka



50 mL filtrata prebačeno je u Erlenmayer tikvicu. Uzorak je titriran sa 0,1N NaOH (4 g NaOH otopljeno u 1 L destilirane vode) te se u isto vrijeme mjerila promjena pH vrijednosti. U trenutku kad je pH vrijednost dostigla 8,1 titracija se zaustavila. Volumen utrošenog NaOH je zabilježen i koristio se u daljnjim izračunima. Prilikom izračuna ukupne kiselosti koristila se **formula (3)**:

$$TA (\%) = \frac{V * f * E}{m} * 100$$

gdje je:

TA – ukupna kiselost izražena u %

V - količina NaOH koja je korištena za titraciju (mL)

f - faktor

E – miliekvivalent sumporne kiseline

m – masa uzorka (g), koja se računala po **formulama (4) i (5)**:

$$v = \frac{V_{uzorak}}{V_{ukupno}} \quad m_{stvarna} = \frac{m_{početna}}{\left(\frac{1}{v}\right)}$$

### 3.2.3.2. GUBITAK ISTJECANJEM (DRIP LOSS)

Uzorci jagoda su skladišteni pri temperaturi od -18 °C. 50 g jagoda je izvagano te stavljeno u lijevak postavljen na Erlenmayer tikvicu te prekriven parafilmom. Uzorak je ostavljen 24 sata na 4 °C nakon čega su jagode izvagane te je izračunata razlika u masi pomoću **formule (6)**:

$$d_{gubitak} (\%) = \frac{m_{početak} - m_{kraj}}{m_{početak}} * 100$$

gdje je:

$d_{gubitak}$  – ukupni gubitak na masi izražen u postotcima

$m_{početak}$  – masa uzorka na početku postupka (g)

$m_{\text{kraj}}$  – masa uzorka na kraju postupka (g)

### 3.2.3.3. KOLIČINA SUHE TVARI

Prije provedbe samog postupka mjerenja vlažnosti, jedan dio jagoda podvrgnut je postupku liofilizacije pri čemu je uređaj (CHRIST, ALPHA 1-2 LD plus) postavljen na temperaturu od  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tlak na 0,0026 mbara (**Slika 10**). Na taj način dobiven je uzorak jagoda koji se mogao usitniti te koristiti za daljnje analize. Izvagano je 1,5 g liofiliziranog praha jagoda te je količina vlage izmjerena pomoću uređaja (SHIMADZU, UniBloc Moisture Analyzer MOC63u) prikazanog na **Slici 11**.



**Slika 10** Provedba postupka liofilizacije



**Slika 11** Uređaj korišten za određivanje  
vlažnosti u uzorku

Količina suhe tvari tada je izračunata prema **formuli (7)**:

$$\text{Količina suhe tvari}_{\text{ukupno}} (\%) = 100 - \text{Vlažnost}(\%),$$

a kako je masa uzorka bila 1,5 g, količina suhe tvari u 1,5 g uzorka izračunata je preko **formule (8)**

$$\text{Količina suhe tvari}_{1,5\text{g}} = \frac{m_{\text{uzorak}} * \text{količina suhe tvari}_{\text{ukupno}}}{100}.$$

#### **3.2.3.4. ASKORBINSKA KISELINA**

**Otopina stabilizatora (0,4%)** – 4 g oksalne kiseline pomiješano je sa jednom litrom destilirane vode.

**Otopina askorbinske kiseline (skladišna otopina)** - 100 g askorbinske kiseline pomiješano je sa 100 mL 0,4 % - tne oksalne kiseline.

**Askorbinska kiselina za analizu (radna otopina)** – u četiri odmjerne tikvice od 100 mL pripremljene su sljedeće otopine:

- Otopina 1 - 1 mL skladišne otopine pomiješano je sa 99 mL 0,4 % - tne otopine oksalne kiseline;
- Otopina 2 - pripremljena je miješanjem 2 mL skladišne otopine sa 98 mL 0,4 % - tne otopine oksalne kiseline;
- Otopina 3 - sastojala se od 3 mL skladišne otopine i 97 mL 0,4 % - tne otopine oksalne kiseline;
- Otopina 4 - 4 mL skladišne otopine i 96 mL 0,4 % - tne otopine oksalne kiseline.

**Otopina boje (12 mg/L)** – 3 mg 2,6 – dikloroindofenola prebačeno je u odmjernu tikvicu od 250 mL te je pomiješano sa destiliranom vodom.

**Otopine uzoraka** – 10 g jagoda pomiješano je sa 90 mL stabilizatora te profiltrirano kroz filter papir.

**Standardna krivulja** – spektrofotometar je postavljen na 518 nm. 1 mL oksalne kiseline i 9 mL destilirane vode pomiješani su u epruveti te je takva otopina kasnije korištena kao slijepa proba.

1 mL otopine stabilizatora i 9 mL otopine boje pomiješani su u epruveti te je takvoj otopini očitana apsorbancija.

Slijepa proba (prva otopina) – 1 mL otopine 1 pomiješano je sa 9 mL destilirane vode.

Apsorbancija (prva otopina) - 1mL otopine 1 pomiješano je sa 9 mL otopine boje.

Slijepa proba (druga otopina) – 1mL otopine 2 pomiješano je sa 9 mL destilirane vode.

Apsorbancija (druga otopina) – 1 mL otopine 2 pomiješano je sa 9 mL otopine boje.

Postupak je, na isti način, ponovljen za treću i četvrtu otopinu.

#### **Apsorbancija uzoraka jagoda:**

Slijepa proba – 1 mL otopine uzorka pomiješano je sa 9 mL destilirane vode.

Apsorbancija (otopina uzorka) – 1 mL otopine uzorka pomiješano je sa 9 mL otopine boje.

Na temelju očitanih vrijednosti apsorbancije, pripremljena je standardna krivulja te je pomoću nje određena količina askorbinske kiseline u uzorku.

#### **3.2.3.5. UKUPNI SADRŽAJ FENOLA**

1,5 g jagoda je pomiješano sa 30 mL 80 % - tnog metanola. Smjesa je homogenizirana (IKA T25 digital ULTRA TURRAX) pomoću uređaja prikazanog na **Slici 12** te centrifugirana na 7500 okr/min kroz 20 minuta pri temperaturi od 4°C.



**Slika 12** Uređaj korišten za homogenizaciju

0,25 mL dobivenog ekstrakta pomiješano je sa 10 mL vode, 0,25 mL *Folin–Ciocalteu reagensa* te 8 mL 7,5 % - tnog  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Uz to, pripremljena je i slijepa proba miješanjem 0,25 mL metanola sa 10 mL vode, 0,25 mL *Folin–Ciocalteu reagensa* te 8 mL 7,5 % - tnog  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Smjese

su ostavljene na mračnom mjestu sat vremena nakon čega im je očitana apsorbancija pri 760 nm. Količina fenola u uzorcima izračunata je pomoću standardne krivulje galne kiseline.

### 3.2.3.6. ANTIOKSIDACIJSKA AKTIVNOST

Pripremljena je otopina DPPH u metanolu. 0,01 mL ekstrakta uzorka pomiješano je sa 3,9 mL otopine DPPH i 0,09 mL destilirane vode. Takva smjesa ostavljena je na tamnom mjestu 30 minuta nakon čega joj je očitana apsorbancija pri 517 nm (**Slika 13**) (Thermo Scientific, Genesys S VIS Spectrophotometer).



**Slika 13** Uređaj korišten za mjerenje apsorbancije

Inhibicija je izračunata pomoću **formule (9)**

$$I(\%) = \frac{A_{\text{DPPH}} - A_{\text{uzorak}}}{A_{\text{DPPH}}} * 100$$

gdje su:

I – inhibicija

$A_{\text{DPPH}}$  – apsorbancija otopine DPPH

$A_{uzorak}$  – apsorbancija uzorka

### 3.2.3.7. BOJA

Izvagano je 25 g jagoda. Uređaj za mjerenje (Colorimeter, Hunter Lab Color Flex, Management Company, SAD) je kalibriran prema standardima – bijela linija ( $Y = 93,9$ ,  $x = 0,313$ ,  $y = 0,321$ ),  $L^*$  (svjetlost),  $a^*$  (crveno) i  $b^*$  (žuto).

$0^\circ$  = crveno - ljubičasto,  $90^\circ$  = žuto,  $180^\circ$  = plavkasto zeleno,  $270^\circ$  = plavo

Boja cijelih i homogeniziranih jagoda je izmjerena i vrijednosti su zabilježene.

### 3.2.3.8. BRIX VRIJEDNOST

Refraktometar (HANNA, HI – 96801 Refractometer) je kalibriran pomoću destilirane vode. Mala količina soka jagode dodana je uređaju te je očitana vrijednost suhe tvari u  $^\circ\text{Bx}$  (Slika 14). Mjerenje je ponovljeno tri puta za svaki uzorak pri temperaturi od  $20^\circ\text{C}$ . Kod uzoraka čija temperatura nije iznosila  $20^\circ\text{C}$  izvršene su korekcije vrijednosti.



Slika 14 Refraktometar

### 3.2.3.9. SADRŽAJ ANTOCIJANA

Količina od 1,5 g zamrznutih jagoda je izvagana i pomiješana sa 30 mL 80 % - tnog metanola. Smjesa je homogenizirana 2 minute na 10200 okr/min. Homogenizirana smjesa je zatim centrifugirana (Hettich Universal 320R, Njemačka) 20 minuta na 7500 okr/min pri temperaturi od  $4^\circ\text{C}$ . Dobiveni ekstrakt je razrijeđen sa 0,025 mol/L kalijevog klorida ( $\text{pH} = 1$ ) i 0,4 mol/L

natrijevog acetata (pH = 4,5). Vrijednost apsorpcije je očitana na 510 nm i 700 nm. Količina antocijana izračunata je pomoću formule **(10)**:

$$\frac{(A_{510} - A_{700})_{\text{pH}=1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}=4.5} * MW * TV * SF * 1000}{(\varepsilon * I * SW)}$$

gdje je:

MW – molekularna težina antocijanina

SF – faktor razrijeđenja

TV - volumen metanolnog ekstrakta

SW – količina uzorka

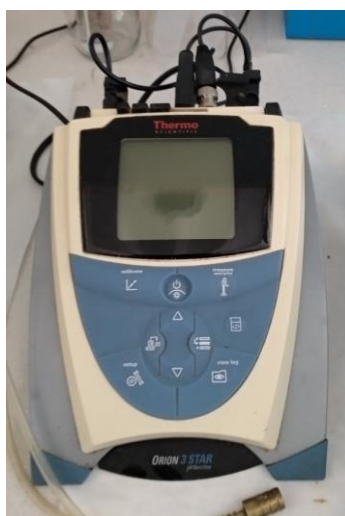
$\varepsilon$  - molarna apsorpcija

I – debljina kivete

U jagodama, dominantni antocijan je pelargonidin-3-glukozid. Zbog toga se rezultat izražava kao ekvivalent pelargonidin-3-glukozida na masenoj osnovi.

### 3.2.3.10. pH VRIJEDNOST

25 g jagoda je izvagano i homogenizirano. pH vrijednost svakog uzorka je mjerena pomoću pH metra **(Slika 15)** (Thermo Scientific, Orion 3 – Star Benchtop) u tri različite točke.



**Slika 15** pH metar

## **4. REZULTATI**

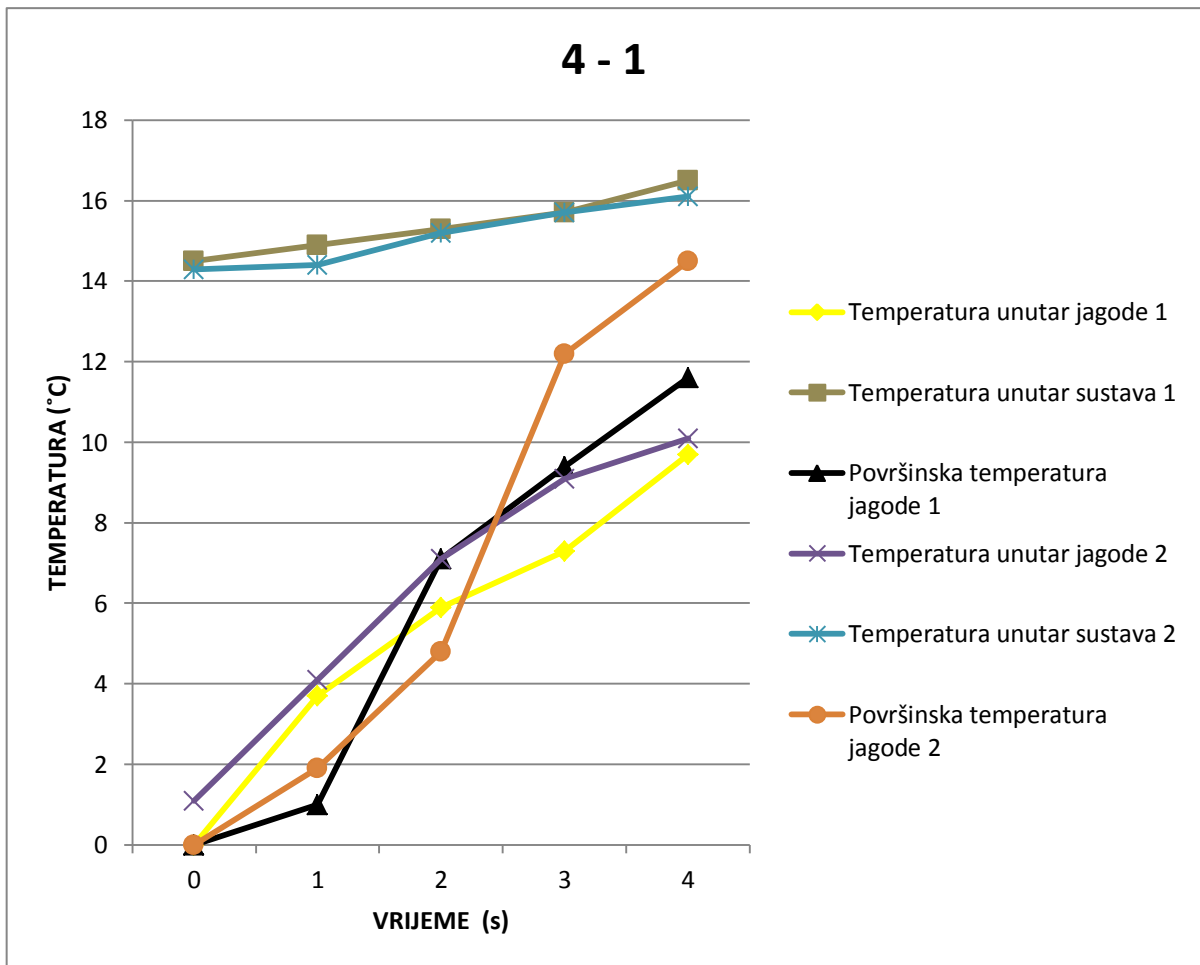


**Tablica 3** Rezultati analiza provedenih na sva tri uzorka jagoda

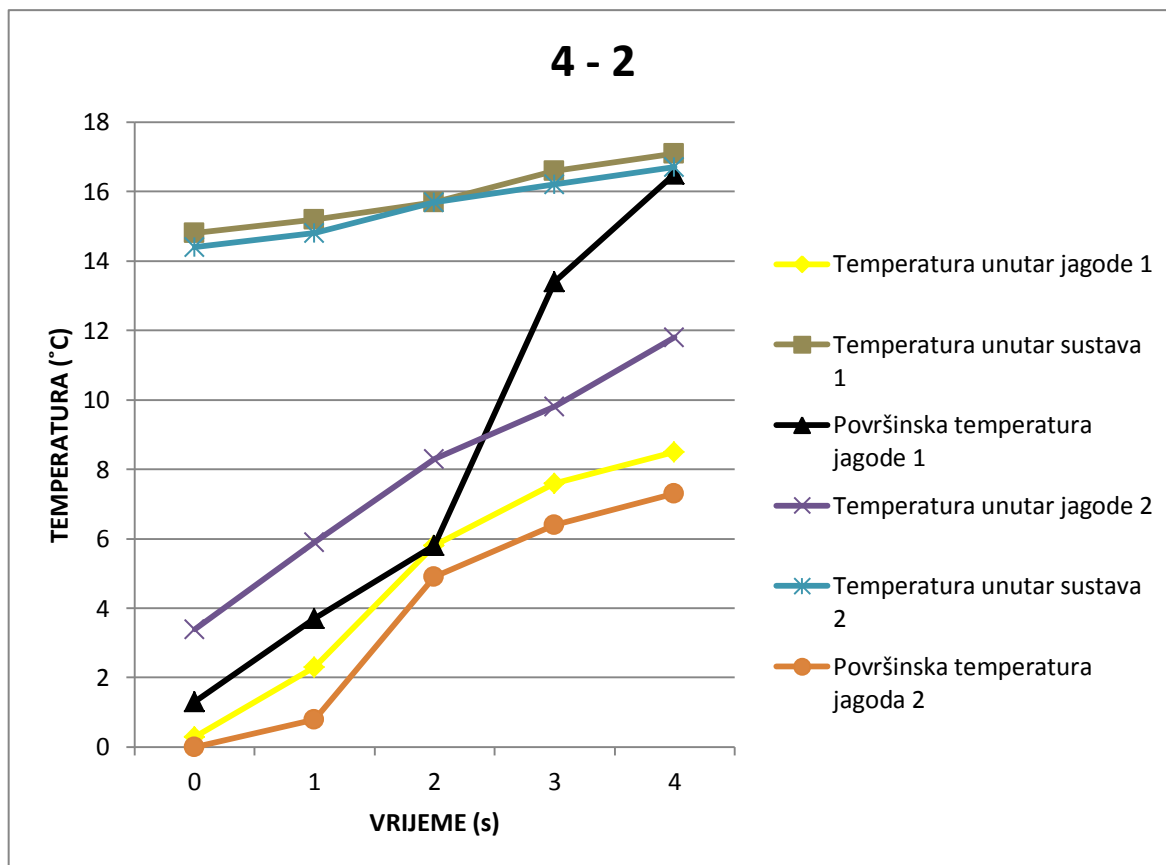
	Titracijska kiselost (%)	Gubitak istjecanjem (%)	Količina suhe tvari (%)	Askorbinska kiselina (mg/100 mL)	Ukupni sadržaj fenola (mg/100 g suhe tvari)	Antioksidacijska aktivnost (%)	Brix vrijednost (°Bx)	Antocijani (mg pelargonidin-3-glukozida/100 g suhe tvari)	pH vrijednost
<b>Kontrolni uzorak</b>	0,56 ± 0,06	17,8700 ± 4,79451	89,7833 ± 1,77365	21,61 ± 3,82	100,7 ± 28,85	60,15 ± 1,96	8,73 ± 1,24	251,06 ± 13,97	3,58 ± 0,09
<b>Uzorak tretiran sa 4 J/cm<sup>2</sup></b>	0,43 ± 0,06	23,8867 ± 1,14247	94,7333 ± 0,49571	5,26 ± 1,64	110,33 ± 19,88	57,66 ± 2,28	8,57 ± 1,11	283,26 ± 22,89	3,60 ± 0,11
<b>Uzorak tretiran sa 12 J/cm<sup>2</sup></b>	0,4133 ± 0,02	23,3933 ± 1,49082	91,9000 ± 1,91799	7,97 ± 1,35	82,93 ± 2,92	45,42 ± 5,33	9,42 ± 0,37	253,50 ± 26,26	3,55 ± 0,10

**Tablica 4** Rezultati analize boje za sva tri uzorka jagoda

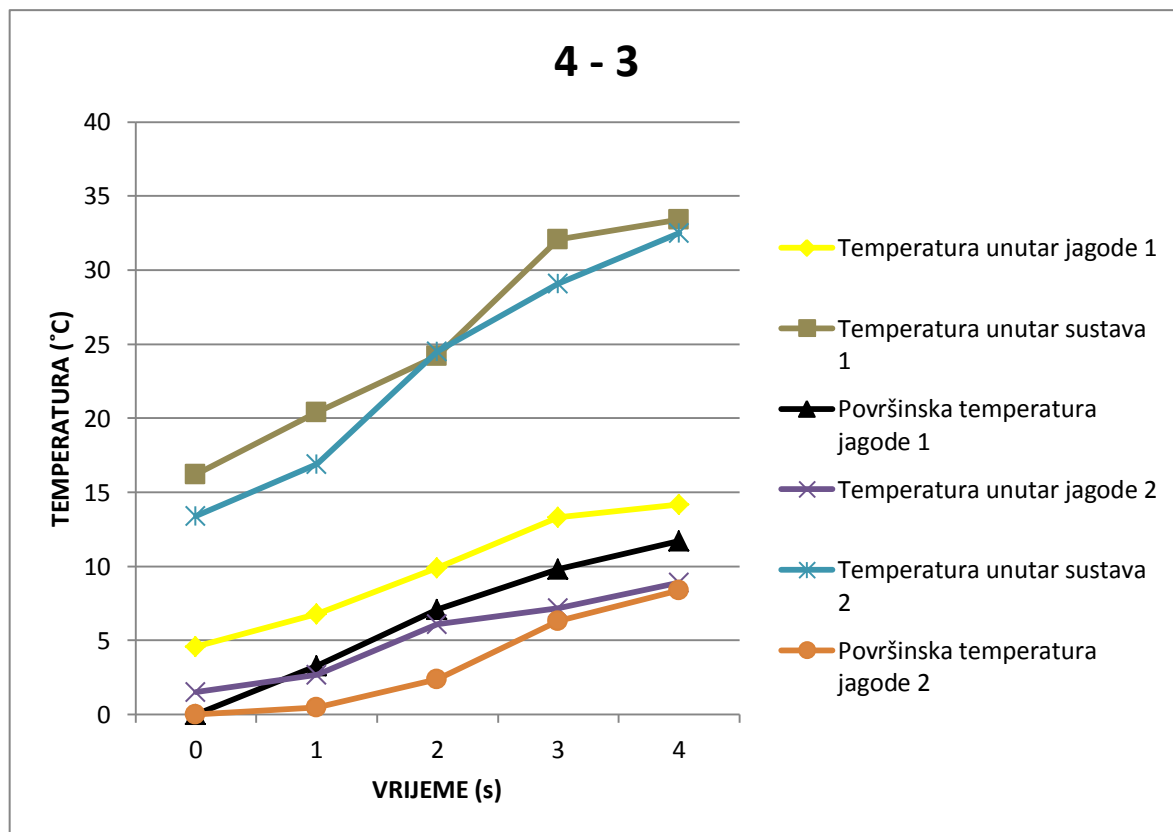
	Cijele jagode			Homogenizirane jagode			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
<b>Kontrolni uzorak</b>	30,84 ± 3,50	37,12 ± 6,24	25,10 ± 5,38	<b>Kontrolni uzorak</b>	31,59 ± 0,17	39,29 ± 2,69	25,21 ± 3,42
<b>Uzorak tretiran sa 4 J/cm<sup>2</sup></b>	27,06 ± 0,68	37,50 ± 1,41	22,48 ± 0,45	<b>Uzorak tretiran sa 4 J/cm<sup>2</sup></b>	34,07 ± 3,25	38,51 ± 1,696	22,86 ± 3,02
<b>Uzorak tretiran sa 12 J/cm<sup>2</sup></b>	28,92 ± 4,11	35,20 ± 4,41	22,79 ± 4,17	<b>Uzorak tretiran sa 12 J/cm<sup>2</sup></b>	30,94 ± 0,73	38,13 ± 1,44	21,96 ± 1,78



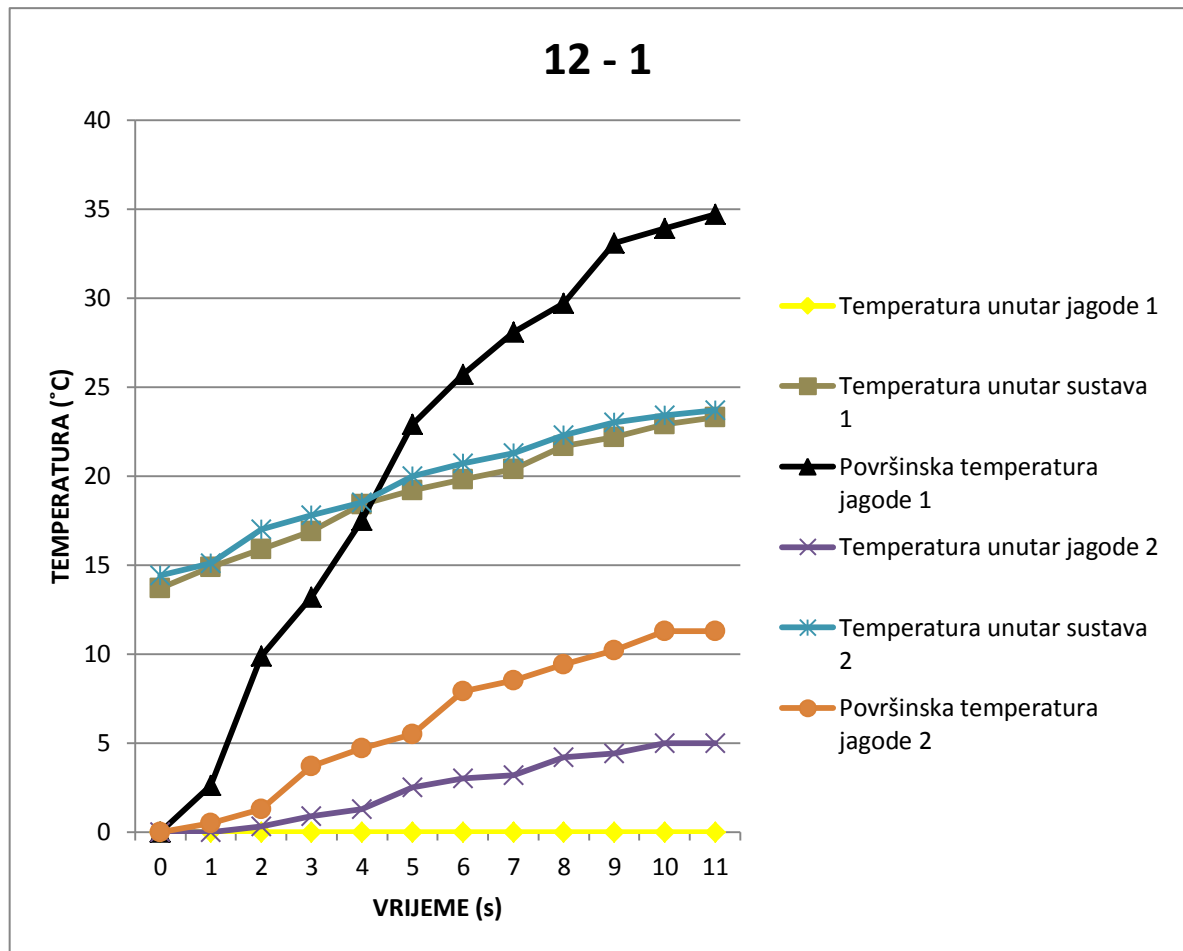
**Slika 16** Promjena temperature prilikom tretmana pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta jačine  $4 \text{ J/cm}^2$  za prvu skupinu jagoda



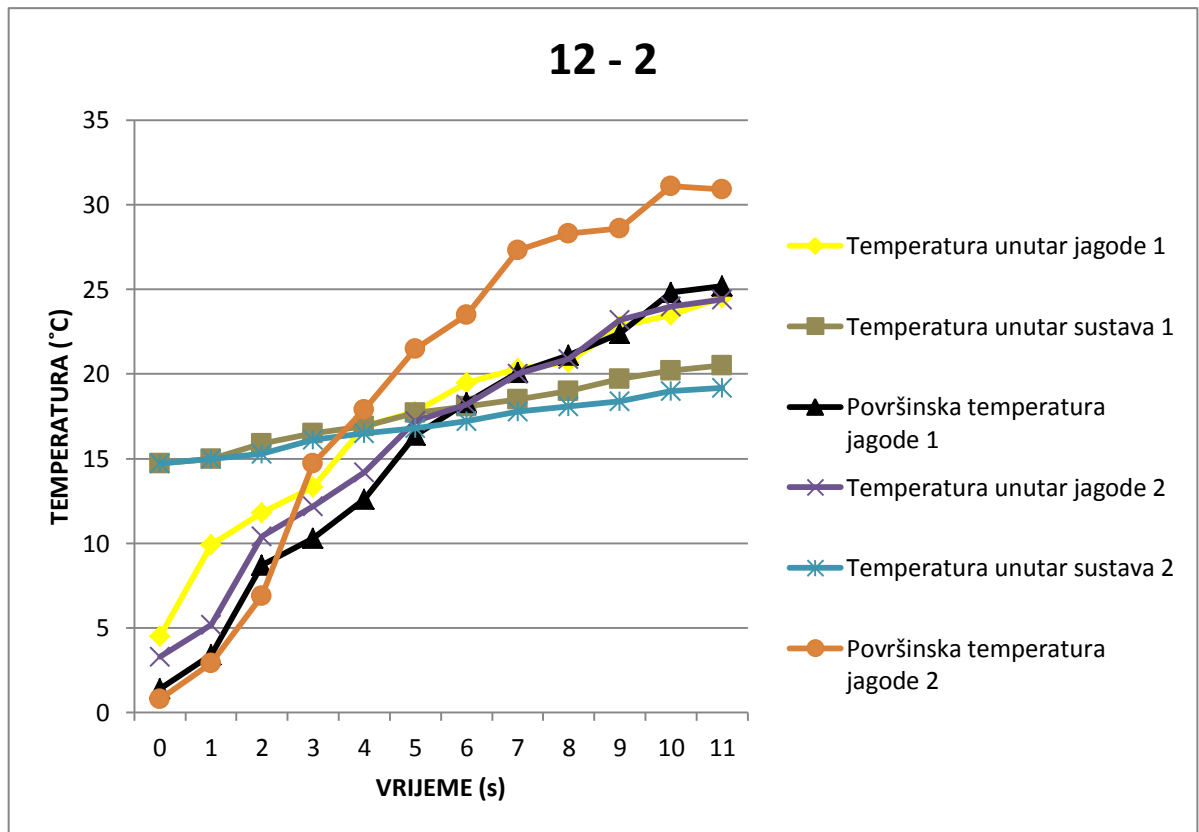
**Slika 17** Promjena temperature prilikom tretmana pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta jačine  $4 \text{ J/cm}^2$  za drugu skupinu jagoda



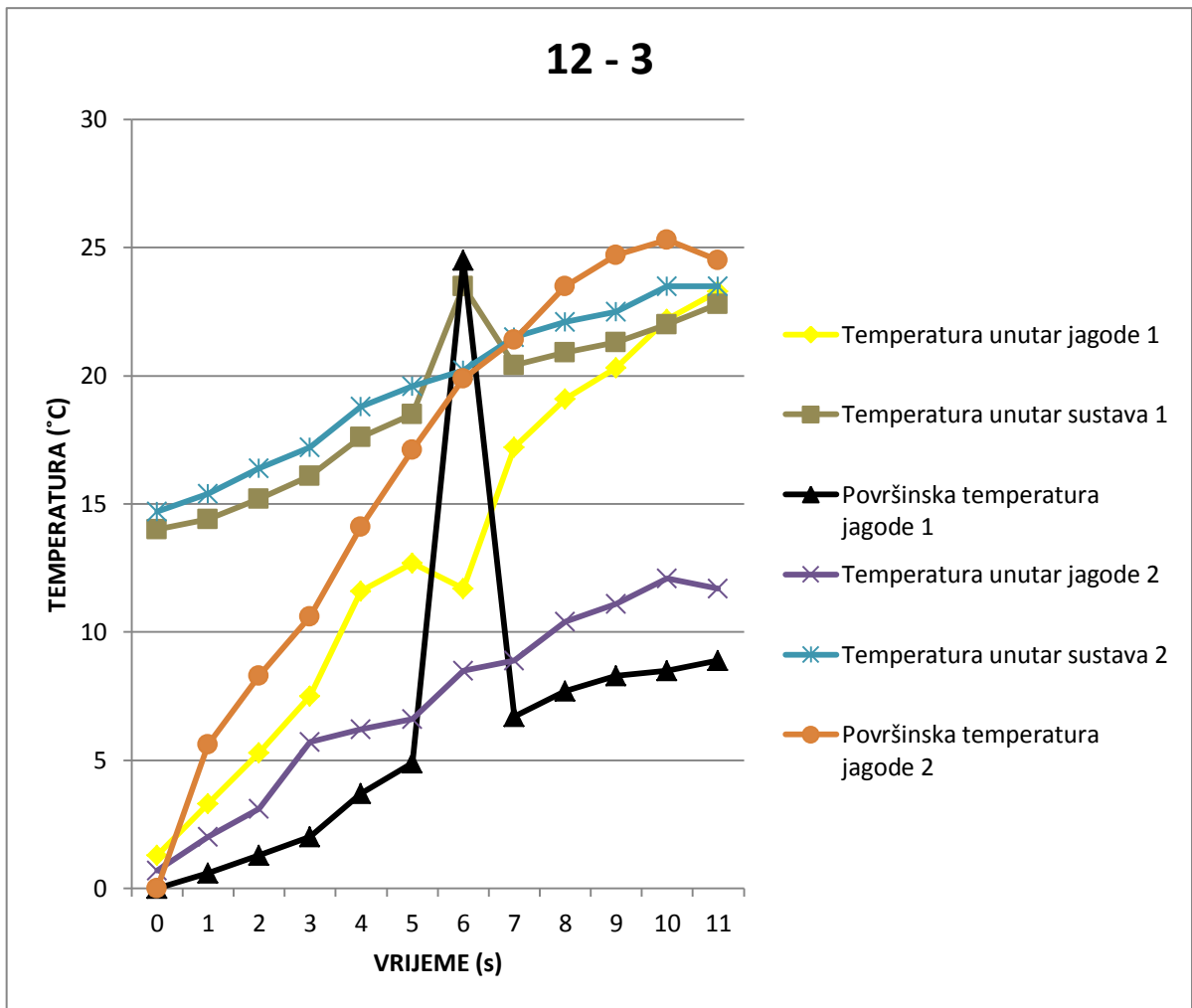
**Slika 18** Promjena temperature prilikom tretmana pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta jačine  $4 \text{ J/cm}^2$  za treću skupinu jagoda



**Slika 19** Promjena temperature prilikom tretmana pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta jačine  $12 \text{ J/cm}^2$  za prvu skupinu jagoda



**Slika 20** Promjena temperature prilikom tretmana pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta jačine  $12 \text{ J/cm}^2$  za drugu skupinu jagoda



**Slika 21** Promjena temperature prilikom tretmana pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta jačine  $12 \text{ J/cm}^2$  za treću skupinu jagoda

## **5. RASPRAVA**



U ovom radu provedeno je istraživanje tretiranja zamrznutih jagoda pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta. Jagode su podijeljene u skupine – tri koje su tretirane snagom  $4 \text{ J/cm}^2$  te tri koje su tretirane snagom  $12 \text{ J/cm}^2$ . Svaka skupina podijeljena je dodatno na dva dijela kako bi tretiranje bilo jednostavnije. Prilikom provedbe tretmana, praćena je promjena temperature na površini jagoda, u unutrašnjosti jagoda te u unutrašnjosti komore za tretiranje. Na osnovu dobivenih podataka kreirane su grafički prikazi ovisnosti promjene temperature o vremenu (**Slika 16 – Slika 21**). Najveći porast temperature zabilježen je tretiranjem jagoda prve skupine pulsirajućim svjetlom pri  $12 \text{ J/cm}^2$  kod kojeg je došlo do rasta temperature do  $35 \text{ °C}$  (**Slika 19**). Međutim, slična temperatura ostvarena je i prilikom tretmana treće skupine jagoda pri  $4 \text{ J/cm}^2$  (**Slika 18**). Najmanje povećanje temperature zabilježeno je na tretiranjem jagoda prve i druge skupine pulsirajućim svjetlom jakosti  $4 \text{ J/cm}^2$  (**Slike 16 i 17**) kod kojih je temperatura rasla do  $16 \text{ °C}$ .

Promjene u kemijskom sastavu tretiranih jagoda provjerene su nakon 7 do 10 dana skladištenja pri  $-20 \text{ °C}$ . Provedeno je deset analiza za svaku skupinu jagoda (kontrolni uzorak, uzorak tretiran pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$  te uzorak tretiran pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$ ). **Tablice 3 i 4** prikazuju rezultate provedenih analiza nakon statističke obrade, izražene u obliku *srednja vrijednost  $\pm$  standardna devijacija*.

Rezultat titracijske kiselosti najveći je u kontrolnom uzorku a najmanji u uzorku tretiranom pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$ . Razlika između rezultata titracijske kiselosti dva uzoraka tretiranih pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta je manja od razlike između rezultata titracijske kiselosti kontrolnog uzorka i onog tretiranog pulsirajućim svjetlom. Stoga, titracijska kiselost se smanjuje povećanjem snage tretmana.

Gubitak istjecanjem (drop loss) manji je u kontrolnom uzorku nego u uzorcima tretiranim pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta. Najveća vrijednost gubitka istjecanjem zabilježena je u uzorku tretiranom pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$ .

Količina suhe tvari također je manja u kontrolnom uzorku nego u uzorcima tretiranim pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta. I u ovom slučaju uzorak tretiran pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$  bilježi najveći porast. Porast količine suhe tvari u uzorku tretiranom pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$  nešto je manji u uspo-

redbi sa kontrolnim uzorkom nego što je to porast količine suhe tvari u uzorku tretiranom pulsirajućim svjetlom snage  $4 \text{ J/cm}^2$ .

Količina askorbinske kiseline u kontrolnom uzorku iznosi  $21,61 \pm 3,82 \text{ mg/100 mL}$  dok u uzorcima tretiranim pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta dolazi do gubitka askorbinske kiseline. Uzorak tretiran pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$  sadrži  $7,97 \pm 1,35 \text{ mg/100 mL}$  askorbinske kiseline, a uzorak tretiran pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$  sadrži  $5,26 \pm 1,64 \text{ mg/100 mL}$ .

Količina ukupnog sadržaja fenola bilježi pad kod uzorka tretiranog pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$ . S druge strane, u usporedbi sa kontrolnim uzorkom, količina fenola povećana je kod uzorka tretiranog pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$ .

Najveća vrijednost antioksidacijske aktivnosti zabilježena je u kontrolnom uzorku a vrijednost se smanjuje povećanjem snage tretmana. Stoga se najniža antioksidacijska aktivnost bilježi kod uzorka tretiranog pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$ .

Brix vrijednost manja je u uzorku tretiranom pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$  u usporedbi sa kontrolnim uzorkom. Međutim, uzorak tretiran pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$  bilježi imao je najveću Brix vrijednost, veću čak i od vrijednosti kontrolnog uzorka.

Količina antocijana namanja je u kontrolnom uzorku. U uzorku tretiranim pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$  količina antocijana je nešto veća, dok je najveća u uzorku tretiranim pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$ .

pH vrijednost sva tri uzorka je bila približno jednaka. Najmanja pH vrijednost zabilježena je u uzorku tretiranim pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$  dok je najveći pH imao uzorak tretiran pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$ . Svi navedeni rezultati nalaze se u **Tablici 3**.

**Tablica 4** prikazuje rezultate mjerenja boje za cijele plodove jagoda i homogenizirane uzorke jagoda (kaša). Kod cijelih jagoda, vrijednosti  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  su vrlo slične kod sva tri uzorka.  $L^*$  vrijednost najmanja je kod uzorka tretiranog pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$  a najveća vrijednost bilježi se kod kontrolnog uzorka.  $a^*$  vrijednost najmanja je kod

uzorka tretiranog pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$  dok se vrlo mali porast bilježi u uzorku tretiranim pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$ .  $b^*$  vrijednost najveća je u kontrolnom uzorku dok sljedeća dva uzorka bilježe nešto manje vrijednosti.

Kod homogeniziranih jagoda  $L^*$  vrijednost najveća je kod uzorka tretiranog pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $4 \text{ J/cm}^2$  dok se najmanja vrijednost bilježi kod uzorka tretiranog pulsirajućim svjetlom visokog intenziteta snage  $12 \text{ J/cm}^2$ .  $a^*$  vrijednost najveća je u kontrolnom uzorku te se smanjuje povećanjem snage tretmana. Isto vrijedi i za  $b^*$  vrijednost koja je također najveća u kontrolnom uzorku te se smanjuje povećanjem snage tretmana.

## **6. ZAKLJUČCI**

U ovom radu istraživana je utjecaj pulsirajućeg svjetla visokog intenziteta na kemijska svojstva zamrznutih jagoda te na promjenu temperature u tri točke sustava. Na osnovu rezultata provedenih analiza izvedeni su slijedeći zaključci:

- temperaturni porasti su minimalni. Najviša zabilježena temperaturna vrijednost iznosila je 34 °C. Ta vrijednost zabilježena je kod tretmana pulsirajućim svjetlom snage 12 J/cm<sup>2</sup> jer je i sam postupak nekoliko sekundi duži od tretmana pulsirajućim svjetlom snage 4 J/cm<sup>2</sup>.
- Ovi rezultati dokazuju kako ovaj postupak s pravom spada u skupinu netermičkih postupaka obrade namirnica jer je vrijeme tretmana iznimno kratko a temperaturni porasti neznatni.
- Postupak je imao različit utjecaj na kemijski sastav jagoda, međutim vrijednosti dobivenih rezultata su uglavnom bile neznatno manje ili veće u odnosu na kontrolni uzorak.
- Iznimno, kod određivanja sadržaja askorbinske kiseline došlo je do smanjenja sadržaja iste kod oba postupka tretiranja jagoda u odnosu na kontrolni uzorak.
- Tretman pulsirajućim svjetlom snage 4 J/cm<sup>2</sup> imao je pozitivan učinak na sadržaj fenolnih tvari, gdje je utvrđena veća količina fenola u usporedbi sa kontrolnim uzorkom. S druge strane, tretman pulsirajućim svjetlom snage 12 J/cm<sup>2</sup> rezultirao je smanjenjem količine fenolnih tvari u odnosu na kontrolni uzorak.
- Antioksidacijska aktivnost uzorka tretiranog pulsirajućim svjetlom snage 4 J/cm<sup>2</sup> neznatno je manja u odnosu na kontrolni uzorak, dok je u uzorku tretiranom pulsirajućim svjetlom snage 12 J/cm<sup>2</sup> došlo do većeg smanjenja antioksidacijske aktivnosti.
- Prema rezultatima analiza, općenito se može zaključiti kako su veće promjene u kemijskom sastavu zabilježene kod uzoraka tretiranih pulsirajućim svjetlom većeg intenziteta, 12 J/cm<sup>2</sup>. Takvi rezultati mogu se pripisati djelovanju više temperature te dužem vremenu trajanja tretmana.

## **7. LITERATURA**

- Bašić, V.: Kvaliteta plodova sorte jagode Elsanta iz hidroponskog uzgoja, Zagreb, 2015.
- Bešlić, M.: Zamrzavanje namirnica, Osijek, 2016.
- Bhavya, M.L., Hebbar, H.U.: Pulsed light processing of foods for microbial safety, *Food Quality and Safety*, str. 187–202, 2017.
- Bravo L.: Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr Rev*, 56, 317-333., 1998.
- Cao G., Sofic E., Prior R.L.: Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: structure-activity relationships. *Free Radical Biology and Medicine*, 22:749–760, 1997.
- Cullen, P.J., Tiwari, B.K., Valdramidis, V.P.: *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*, 2012.
- Jakobek, L., Šeruga, M., Novak, I., Medvidović – Kosanović, M., Lukačević, I.: Antioksidacijska aktivnost polifenola iz borovnice i jagode, *Pomologia Croatica*, 14 – 2008., br. 1., 2008.
- Kazazić S.P.: Antioksidacijska i antiradikalska aktivnost flavonoida. *Arhiva Higijene Rada Toksikologije* 55:279-290, 2004.
- Kičinbaći, I.: Utjecaj elektromagnetskog zračenja na degradaciju optičkih svojstava pigmentiranog papira, Zagreb, 2014.
- Klanac, S.: Pomološke i kemijske karakteristike jagode (*Fragaria spp.*) uzgajane na lokalitetu „Kobatuša“, Zadar, 2016.
- Lovrić, T.: *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*. Hinus, Zagreb, 2003.
- Min, S., Zhang, Q.H.: Innovations in Food Packaging, *Food Science and Technology*, str: 482-500, 2005.
- Nikolić, M.D., Milivojević, J.M.: *Jagodaste voćke – Tehnologija gajenja*, Beograd, 2010.
- Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R.: Pulsed Light Treatments for Food Preservation. A Review, *Food and Bioprocess Technology*, 2010.
- Pichler, A.: *Konzerviranje namirnica zamrzavanjem (interni nastavni materijali)*, Prehrambeno – tehnološki fakultet Osijek, 2017.
- Pozderović, A.: *Postupci i uređaji za brzo zamrzavanje hrane i skladištenje zamrznute hrane (interni nastavni materijali)*, Prehrambeno – tehnološki fakultet Osijek, 2016.
- Ranđelović, D.: *Konzervisanje namirnica zamrzavanjem*, 2009.

Rastija V, Medić-Šarić M.: Kromatografske metode analize polifenola u vinima. *Kem Ind*, 58, 121-128., 2009.

Rogić, A.: *Direktna prodaja jagoda u Republici Hrvatskoj*, Osijek, 2016.

Šimić, E.: *Zaštita nasada jagode od proljetnih mrazova*, Zagreb, 2016.

Šimunić, M.: Kvalitativna i kvantitativna analiza polifenola vrsta *Geranium macrorrhizum* L. i *G. dalmaticum* (Beck) Rech. f., Geraniaceae, Zagreb, 2016.

Šrajbek, M.: Antioksidativna aktivnost modelnih otopina fenolnih tvari s dodatkom saharoze, Osijek, 2015.

Vukelić, D.: Fitokemijska karakterizacija polifenola vrste *Micromeria frivaldszkyana*(Deg.) Vel. (Lamiaceae), Zagreb, 2015.

Zhou, D.D.: Microelectrodes for *in-vivo* determination of pH, *Electrochemical Sensors, Biosensors and their Biomedical Applications*, 261 – 305, 2008.

**Web izvor 1:**

<http://pinova.hr/hr/HR/baza-znanja/vocarstvo/vocne-vrste/jagoda/izbor-sorata-jagode>  
[19.05.2019.]

**Web izvor 2:**

<http://www.factfish.com/statistic/strawberries%2C%20production%20quantity>  
[18.05.2019.]

**Web izvor 3:**

[https://ticovogt.com/?attachment\\_id=1954](https://ticovogt.com/?attachment_id=1954) [18.05.2019.]

**Web izvor 4:**

[https://www.academia.edu/33917070/PULSED\\_LIGHT\\_TECHNOLOGY\\_IN\\_FOOD\\_PROCESSING\\_G.1.pdf](https://www.academia.edu/33917070/PULSED_LIGHT_TECHNOLOGY_IN_FOOD_PROCESSING_G.1.pdf) [19.05.2019.]



## **8. PRILOZI**

## 8.1. KONTROLNI UZORCI

**Prilog 1** Rezultati ukupne kiselosti za kontrolni uzorak jagoda

	Utrošak ( $V_{\text{NaOH}}$ , mL)	$m_{\text{početno}}$ (gr)	E	f	$m_{\text{stvarno}}$ (gr) (količina uzorka)	TA (%)	Prosjek TA (%)	Standardna devijacija	Prosjek $\pm$ Standardna devijacija
<b>Uzorak 1</b>	5	10	0,004904	1	5	0,49			
<b>Uzorak 2</b>	6	10	0,004904	1	5	0,59	0,56	0,05	0,56 $\pm$ 0,05
<b>Uzorak 3</b>	6,2	10	0,004904	1	5	0,61			

**Prilog 2** Rezultati gubitka istjecanjem (drip loss) za kontrolni uzorak jagoda

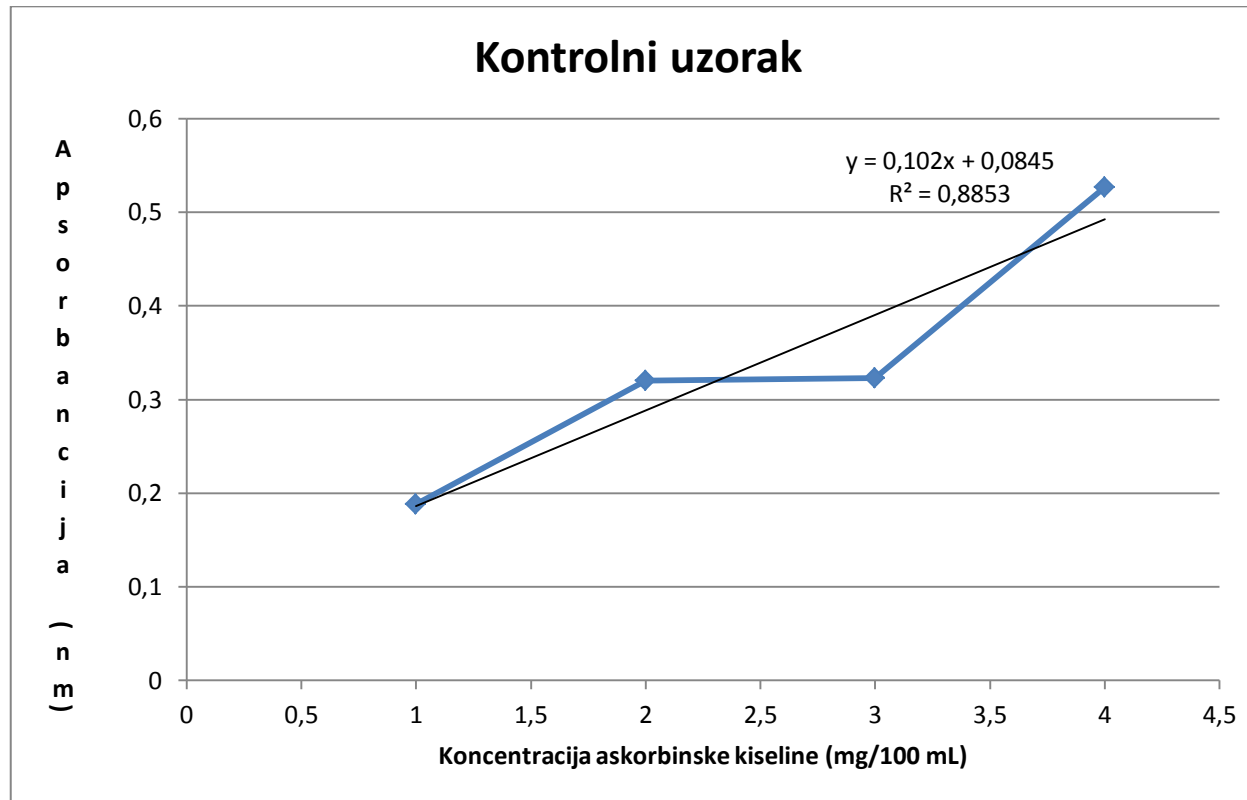
	$m_{\text{početno}}$ (gr)	$M_{\text{završno}}$ (gr)	$d_{\text{gubitak}}$ (%)	Prosjek $d_{\text{gubitak}}$ (%)	Standardna devijacija	Prosjek $\pm$ Standardna devijacija
<b>Uzorak 1</b>	30,65	25,1	18,11			
<b>Uzorak 2</b>	30,12	23,33	22,54	17,87	3,92	17,87 $\pm$ 3,92
<b>Uzorak 3</b>	30,86	26,86	12,96			

**Prilog 3** Rezultati količine suhe tvari za kontrolni uzorak jagoda

	Vlažnost (%)	Suha tvar (%)	Prosjek količine suhe tvari (%)	Masa uzorka (gr)	Količina suhe tvari u 1,5 g uzorka (%)	Standardna devijacija za vrijednosti suhe tvari	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak 1</b>	10,55	89,45					
<b>Uzorak 2</b>	8,3	91,7	89,78	1,5	1,35	1,45	89,78 ± 1,45
<b>Uzorak 3</b>	11,8	88,2					

**Prilog 4** Rezultati količine askorbinske kiseline za kontrolni uzorak jagoda

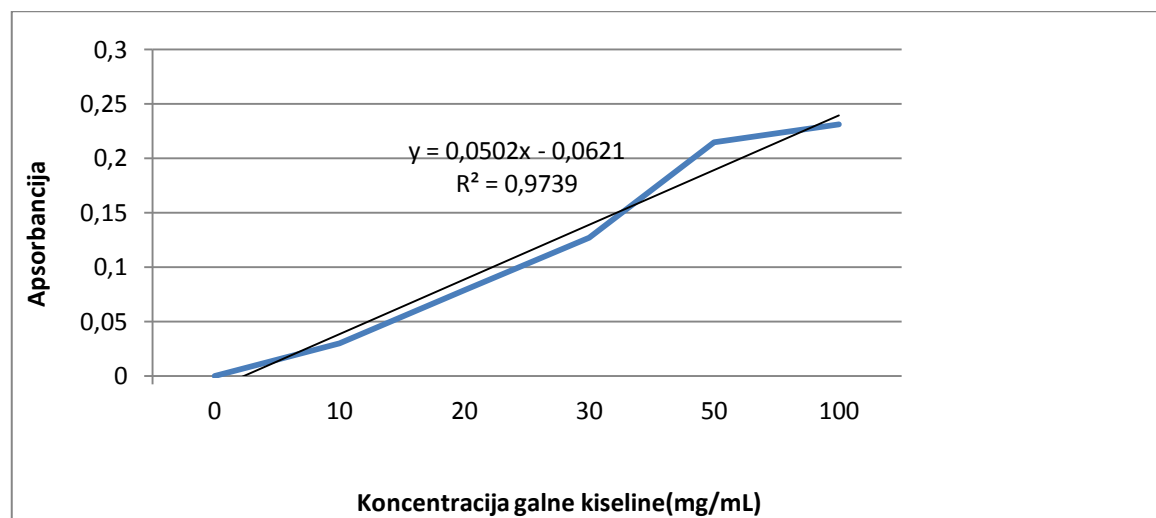
Apsorbancija boje (nm)	Apsorbancija standarda - 1	Apsorbancija standarda – 2	Apsorbancija standarda - 3	Apsorbancija standarda – 4	Apsorbancija - Uzorak 1 (nm)	Apsorbancija - Uzorak 2 (nm)	Apsorbancija - Uzorak 3 (nm)	Apsorbancija - prosjek (nm)
0,558	0,37	0,238	0,235	0,031	0,274	0,277	0,208	0,253
Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 1	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 2	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 3	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 4	Apsorbancija boje - Aps. Prosjek				
0,188	0,32	0,323	0,527	0,305				
Koncentracija uzorka	Faktor razrijeđenja	Rezultat (mg/100 mL)	Stand. devijacija za apsorbanciju uzorka	Prosjek ± Standardna devijacija	Koncentracija askorbinske kiseline (mg/100 ml)			1, 2, 3, 4
2,16	10	21,6	0,032	0,253 ± 0,032				



**Prilog 5** Apsorbancija askorbinske kiseline u kontrolnom uzorku jagoda

### Prilog 6 Apsorbancija standarda galne kiseline

<i>Galna kiselina - standard</i>	
Koncentracija (ppm)	Apsorbancija
0	0
10	0,03
20	0,079
30	0,127
50	0,215
100	0,231



### Prilog 7 Apsorbancija standarda galne kiseline

**Prilog 8** Rezultati ukupnog sadržaja fenola za kontrolni uzorak jagoda

Uzorci	Apsorbancija	mg galne kiseline/mL	Prosječne vrijednosti mg galne kiseline/mL	Vrijednost galne kiseline izražena na suhu tvar (%)	Prosjek (mg galne kiseline/mL)	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija	Prosjek (Galna kiseline izražena na suhu tvar %)	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
1-1	0,168	4,6	4,56	0,51						
1-2	0,166	4,5								
2-1	0,155	4,3	4,34	0,48	4,40	0,11	4,40 ± 0,11	0,49	0,01	0,49 ± 0,01
2-2	0,157	4,4								
3-1	0,15	4,2								
3-2	0,158	4,4	4,30	0,49						

**Prilog 9** Rezultati analize antioksidacijske aktivnosti za kontrolni uzorak jagoda

	1. mjerenje	Inhibicija (%)	2. mjerenje	Inhibicija (%)	Inhibicija (%) prosječno	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
DPPH apsorbcija	0,359		0,38				
Apsorbancija – uzorak 1	0,154	57,10	0,136	64,21			
Apsorbancija – uzorak 2	0,159	55,71	0,151	60,26			
Apsorbancija – uzorak 3	0,143	60,17	0,139	63,42	60,15	2,49	60,15 ± 2,49
Prosječne vrijednosti	0,152	57,66	0,142	62,63			

**Prilog 10** Rezultati mjerenja boje za kontrolne uzorke jagoda

<b>Cijeje jagode</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>h</b>	<b>C</b>
<b>1</b>	27,06	39,77	26,56	1,27	47,82
<b>2</b>	33,99	29,99	19,14	1,35	35,58
<b>3</b>	31,47	41,61	29,62	1,16	51,08
<b>Prosjek</b>	27,06	37,50	22,49	1,46	43,73
<b>Standardna devijacija</b>	0,56	1,16	0,37	0,04	1,13
<b>Prosjek ± Standardna devijacija</b>	27,06 ± 0,56	37,50 ± 1,16	22,49 ± 0,37	1,46 ± 0,04	43,73 ± 1,13
<b>Homogenizirane jagode</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>h</b>	<b>C</b>
<b>1</b>	31,4	40,33	27,26	1,25	48,68
<b>2</b>	31,73	41,31	27,11	1,30	49,41
<b>3</b>	31,64	36,23	21,27	1,50	42,01
<b>Prosjek</b>	34,07	38,51	22,86	1,50	44,81
<b>Standardna devijacija</b>	2,66	1,38	2,47	0,14	2,45
<b>Prosjek ± Standardna devijacija</b>	34,07 ± 2,66	38,51 ± 1,38	22,86 ± 2,47	1,50 ± 0,14	44,81 ± 2,45

**Prilog 11** Rezultati mjerenja Brix vrijednosti za kontrolni uzorak jagoda

	1. mjerenje	2. mjerenje	Prosječna vrijednost dva mjerenja	Prosjek °Br	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak - 1</b>	9,9	9,8	9,85			
<b>Uzorak - 2</b>	9,2	8,7	8,95	8,73	1,012	8,73 ± 1,012
<b>Uzorak - 3</b>	7,4	7,4	7,4			

**Prilog 12** Rezultati mjerenja sadržaja antocijana u kontrolnom uzorku jagoda

	A510	A700	A510	A700	MW	DF	E	I	TV	SW	TA (mg pelargonidin- 3- glukozid/kg)	Rezultat (mg/K M kg)	Prosjek TA (mg pelargonidin- 3-glukozid/kg konc.)	TA % (suha tvar gr/gr)	Stand. Dev	Prosjek ± Stand. Dev.
	pH=1	pH=1	pH=4,5	pH=4,5	g/mol	(Faktor razrije- đenja)	(L/(mol*cm)	(debljina kivete), cm)	(Metanol -mL)	(uzorak, gr)						
<b>1</b>	0,698	0,06	0,253	0,033	433,2	13	22400	1	30	1,5	2101,79	2343, 14				
<b>2</b>	0,7	0,089	0,164	0,024	433,2	13	22400	1	30	1,5	2368,29	2640, 23	2254,32	167,39	112,16	2254,32 ± 112,16
<b>3</b>	0,626	0,053	0,153	0,036	433,2	13	22400	1	30	1,5	2292,87	2556, 15				



**Prilog 13** Rezultati mjerenja pH vrijednosti kontrolnog uzorka jagoda

	1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	Prosječna vrijednost tri mjerenja	Prosječna pH vrijednost	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak - 1</b>	3,57	3,56	3,56	3,56			
<b>Uzorak - 2</b>	3,51	3,52	3,51	3,51	3,59	0,074	3,59 ± 0,074
<b>Uzorak - 3</b>	3,69	3,69	3,69	3,69			

## 8.2. UZORCI TRETIRANI PULSIRAJUĆIM SVJETLOM JAČINE 4 J/cm<sup>2</sup>

**Prilog 14** Rezultati ukupne kiselosti za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

	Utrošak (V <sub>NaOH</sub> , mL)	m <sub>početno</sub> (gr)	E	f	m <sub>stvarno</sub> (gr) (količina uzorka)	TA (%)	Prosjek TA (%)	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak-1</b>	2	10	0,004904	1	2	0,49			
<b>Uzorak-2</b>	1,5	10	0,004904	1	2	0,37	0,43	0,05	0,43 ± 0,05
<b>Uzorak-3</b>	1,8	10	0,004904	1	2	0,44			

**Prilog 15** Rezultati gubitka istjecanjem (drip loss) za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

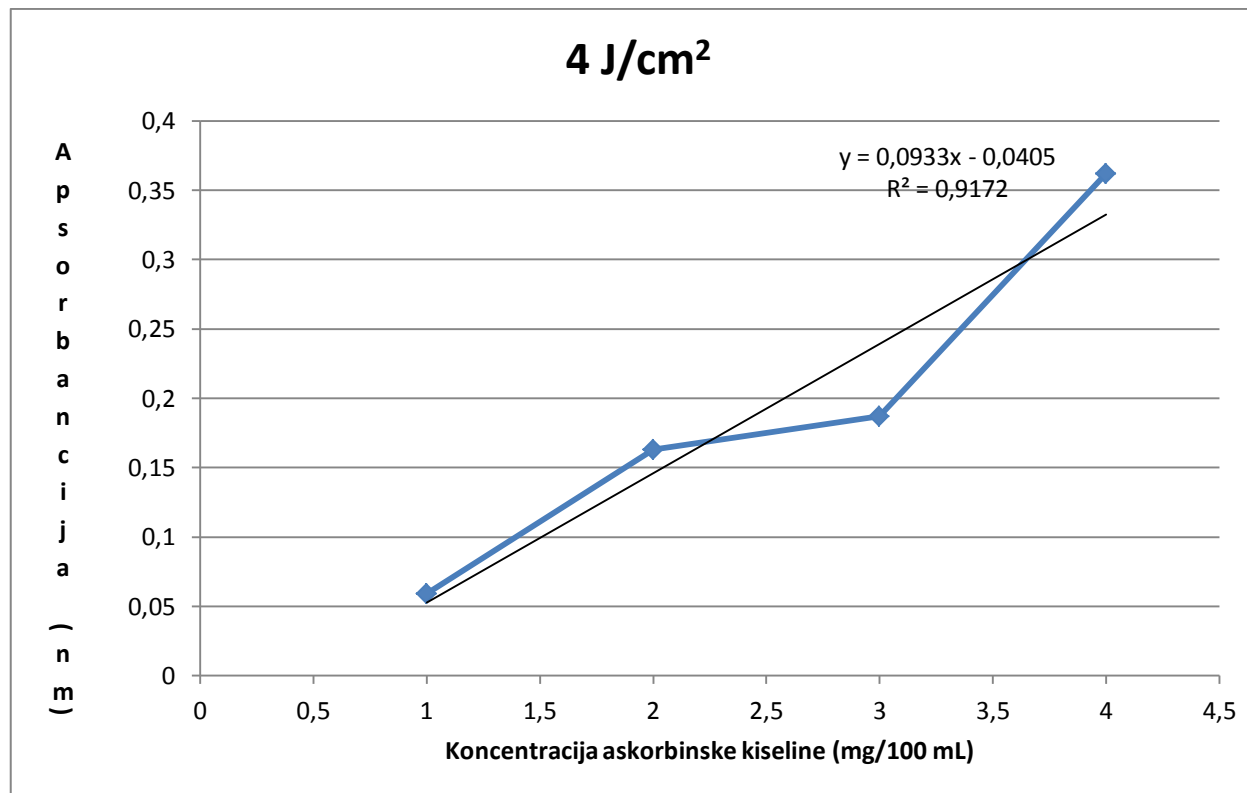
	<b>M<sub>početak</sub></b> <b>(gr)</b>	<b>M<sub>kraj</sub></b> <b>(gr)</b>	<b>d<sub>gubitak</sub></b> <b>(%)</b>	<b>Prosjek</b> <b>d<sub>gubitak</sub></b> <b>(%)</b>	<b>Standardna</b> <b>devijacija</b>	<b>Prosjek ±</b> <b>Standardna</b> <b>devijacija</b>
<b>Uzorak-1</b>	58,95	44,92	23,80			
<b>Uzorak-2</b>	60,2	46,48	22,79	23,89	0,93	23,89 ± 0,93
<b>Uzorak-3</b>	59,95	44,92	25,07			

**Prilog 16** Količina suhe tvari za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

	<b>Vlažnost</b> <b>(%)</b>	<b>Suha tvar</b> <b>(%)</b>	<b>Prosjek</b> <b>suhe</b> <b>tvari</b> <b>(%)</b>	<b>Masa</b> <b>uzorka</b> <b>(g)</b>	<b>Količina</b> <b>suhe tvari</b> <b>u 1,5 g</b> <b>uzorka (%)</b>	<b>Standardna</b> <b>devijacija za</b> <b>količinu suhe</b> <b>tvari</b>	<b>Prosjek ±</b> <b>Standardna</b> <b>devijacija</b>
<b>Uzorak-1</b>	4,7	95,3					
<b>Uzorak-2</b>	5,48	94,52	94,73	1,5	1,42	0,405	94,73 ± 0,405
<b>Uzorak-3</b>	5,62	94,38					

**Prilog 17** Rezultati količine askorbinske kiseline za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

Apsorbancija boje (nm)	Apsorbancija standarda - 1	Apsorbancija standarda – 2	Apsorbancija standarda - 3	Apsorbancija standarda – 4	Apsorbancija - Uzorak 1 (nm)	Apsorbancija - Uzorak 2 (nm)	Apsorbancija - Uzorak 3 (nm)	Apsorbancija - prosjek (nm)
0,399	0,34	0,236	0,212	0,037	0,38	0,383	0,408	0,390
Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 1	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 2	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 3	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 4	Apsorbancija boje - Aps. Prosjek				
0,059	0,163	0,187	0,362	0,0087				
Koncentracija uzorka	Faktor razrijeđenja	Rezultat (mg/100 mL)	Standardna devijacija za apsorbanciju uzorka	Prosjek ± Standardna devijacija	Konzentracija askorbinske kiseline (mg/100 ml)		1, 2, 3, 4	
0,53	10	5,3	0,013	0,390 ± 0,013				



**Prilog 18** Apsorbancija askorbinske kiseline u uzorku jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

**Prilog 29** Rezultati ukupnog sadržaja fenola za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

Uzorci	Apsorbancija	mg galne kiseline/mL	Prosječne vrijednosti mg galne kiseline/mL	Vrijednost galne kiseline izražena na suhu tvar (%)	Prosjek (mg galne kiseline/mL)	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija	Prosjek (Galna kiseline izražena na suhu tvar %)	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
1-1	0,182	4,9	5,79	0,61	5,47	0,65	5,47 ± 0,65	0,58	0,07	0,58 ± 0,07
1-2	0,275	6,7								
2-1	0,174	4,7	6,06	0,64	5,47	0,65	5,47 ± 0,65	0,58	0,07	0,58 ± 0,07
2-2	0,31	7,4								
3-1	0,162	4,5	4,57	0,48	5,47	0,65	5,47 ± 0,65	0,58	0,07	0,58 ± 0,07
3-2	0,173	4,7								

**Prilog 20** Rezultati analize antioksidacijske aktivnosti za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

	1. mjerenje	Inhibicija (%)	Inhibicija (%) - prosjek	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
DPPH Apsorbancija	0,534				
Apsorbancija - Uzorak 1	0,294	44,94			
Apsorbancija - Uzorak 2	0,268	49,81	48,50	2,54	48,50 ± 2,54
Apsorbancija - Uzorak 3	0,263	50,75			
Prosjek	0,275	48,50			

**Prilog 21** Rezultati mjerenja boje za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

<b>Cijeke jagode</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>h</b>	<b>C</b>
<b>Uzorak-1</b>	26,29	38,43	23,01	1,47	44,79
<b>Uzorak-2</b>	27,61	38,2	22,28	1,52	44,22
<b>Uzorak-3</b>	27,29	35,87	22,17	1,41	42,17
<b>Prosjek</b>	27,06	37,50	22,49	1,46	43,73
<b>Standardna devijacija</b>	0,56	1,16	0,37	0,04	1,13
<b>Prosjek ± Standardna devijacija</b>	27,06 ± 0,56	37,50 ± 1,16	22,49 ± 0,37	1,46 ± 0,04	43,73 ± 1,13
<b>Homogenizirane jagode</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>h</b>	<b>C</b>
<b>Uzorak-1</b>	31,29	40,39	26,1	1,33	48,09
<b>Uzorak-2</b>	33,27	38,06	22,36	1,50	44,14
<b>Uzorak-3</b>	37,65	37,09	20,12	1,66	42,20
<b>Prosjek</b>	34,07	38,51	22,86	1,50	44,81
<b>Standardna devijacija</b>	2,66	1,38	2,47	0,14	2,45
<b>Prosjek ± Standardna devijacija</b>	34,07 ± 2,66	38,51 ± 1,38	22,86 ± 2,47	1,50 ± 0,14	44,81 ± 2,45

**Prilog 22** Rezultati mjerenja Brix vrijednosti za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

	Brix vrijednost + temperatura	Faktor korekcije	Korigirana vrijednost	Prosjek °Br	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak-1</b>	7,3 (16,3 °C)	0,02446	7,32			
<b>Uzorak-2</b>	8,7 (16,1 °C)	0,2474	8,95	8,57	0,907	8,57 ± 0,907
<b>Uzorak-3</b>	9,2 (16,5 °C)	0,2484	9,45			

**Prilog 23** Rezultati mjerenja sadržaja antocijana u uzorku jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

	A510 pH=1	A700 pH=1	A510 pH=4,5	A700 pH=4,5	MW g/mol	DF (Faktor razrijeđenja)	E (L/(mol*cm))	I (debljina kivete), cm)	TV (Metanol- mL)	SW (uzorak, gr)	TA (mg pelargo- nidin-3- glukozida/kg)	Rezultat (mg/KM kg)	Prosjek TA (mg pelargo- nidin-3- glukozida/kg konc.)	TA % (suha tvar gr/gr)	Stand. Dev.	Prosjek ± Stand. Dev.
<b>1</b>	0,529	0,026	0,103	0,022	433,2	15	22400	1	30	1,5	2448,353571	2584,56				
<b>2</b>	0,453	0,025	0,108	0,023	433,2	21	22400	1	30	1,5	2786,0175	2941,01	2682,75	188,79166,13		2682,75 ± 166,13
<b>3</b>	0,58	0,021	0,106	0,032	433,2	15	22400	1	30	1,5	2813,866071	2970,41				

**Prilog 24** Rezultati mjerenja pH vrijednosti uzorka jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 4 J/cm<sup>2</sup>

	pH	Prosjek pH vrijednosti	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak-1</b>	3,48			
<b>Uzorak-2</b>	3,66	3,61	0,090	3,61 ± 0,090
<b>Uzorak-3</b>	3,68			

### 8.3. UZORCI TRETIRANI PULSIRAJUĆIM SVJETLOM SNAGE 12 J/cm<sup>2</sup>

**Prilog 25** Rezultati ukupne kiselosti za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

	Utrošak (V <sub>NaOH</sub> , mL)	m <sub>početno</sub> (gr)	E	f	m <sub>stvarno</sub> (gr) (količina uzorka)	TA (%)	Prosjek TA (%)	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak 1</b>	1,7	10	0,004904	1	2	0,42			
<b>Uzorak 2</b>	1,75	10	0,004904	1	2	0,43	00,41	0,02	0,41 ± 0,02
<b>Uzorak 3</b>	1,6	10	0,004904	1	2	0,39			



**Prilog 26** Rezultati gubitka istjecanjem (drip loss) za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

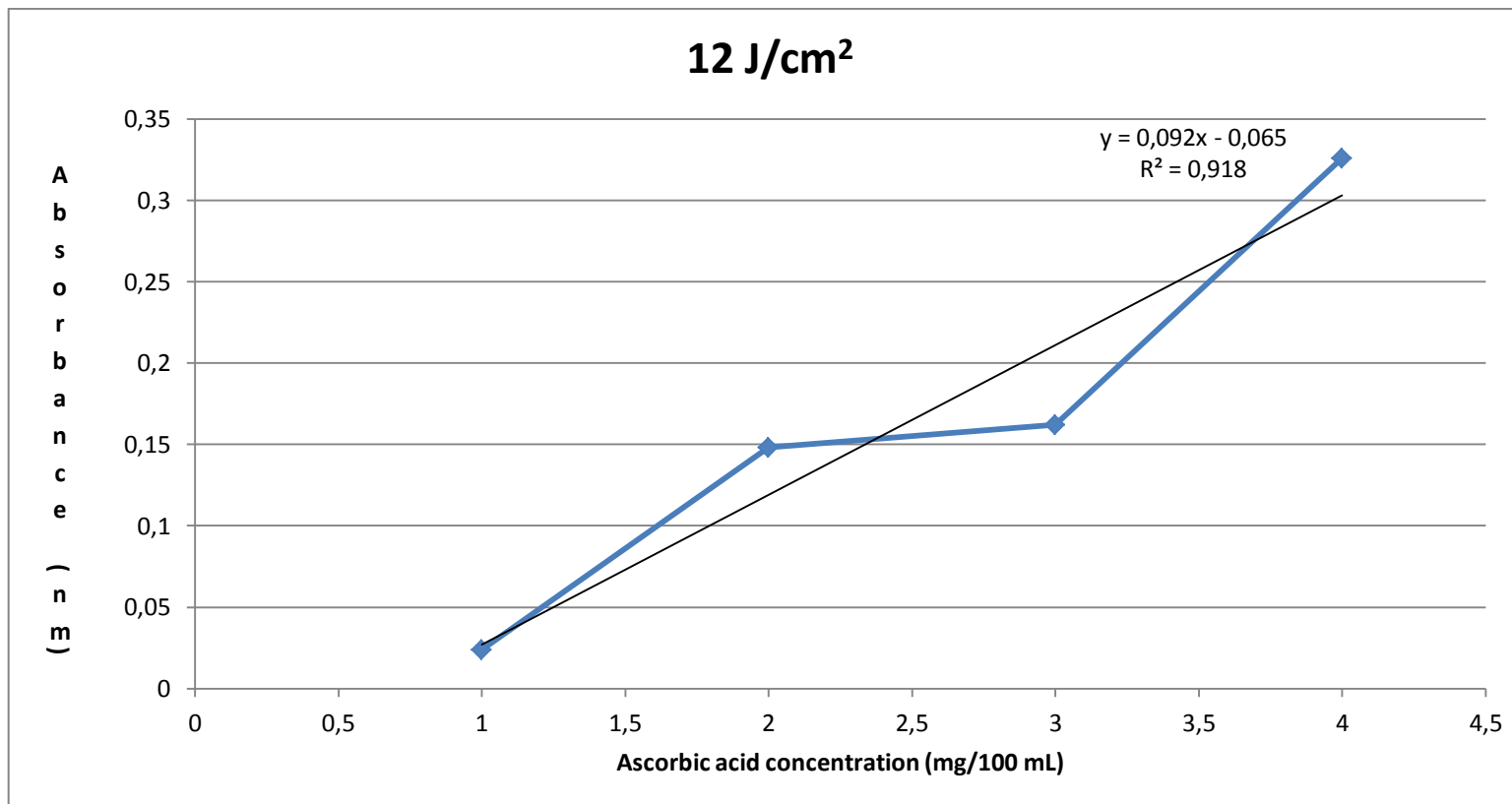
	<b>M<sub>početak</sub></b> <b>(gr)</b>	<b>M<sub>kraj</sub></b> <b>(gr)</b>	<b>d<sub>gubitak</sub></b> <b>(%)</b>	<b>Prosjek</b> <b>d<sub>gubitak</sub></b> <b>(%)</b>	<b>Standardna</b> <b>devijacija</b>	<b>Prosjek ±</b> <b>Standardna</b> <b>devijacija</b>
<b>Uzorak-1</b>	52,71	41,26	21,72			
<b>Uzorak-2</b>	54,27	41,31	23,88	23,39	1,22	23,39 ± 1,22
<b>Uzorak-3</b>	53,87	40,63	24,58			

**Prilog 27** Količina suhe tvari za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

	<b>Vlažnost</b> <b>(%)</b>	<b>Suha tvar</b> <b>(%)</b>	<b>Prosjek suhe</b> <b>tvari</b> <b>(%)</b>	<b>Masa</b> <b>uzorka (g)</b>	<b>Količina suhe</b> <b>tvari u 1,5g</b> <b>uzorka (%)</b>	<b>Standardna</b> <b>devijacija</b> <b>za količinu</b> <b>suhe tvari</b>	<b>Prosjek ±</b> <b>Standardna</b> <b>devijacija</b>
<b>Uzorak-1</b>	6,87	93,13					
<b>Uzorak-2</b>	7,12	92,88	91,90	1,5	1,38	1,57	91,90 ± 1,57
<b>Uzorak-3</b>	10,31	89,69					

**Prilog 28** Rezultati količine askorbinske kiseline za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

Apsorbancija boje (nm)	Apsorbancija standarda - 1	Apsorbancija standarda – 2	Apsorbancija standarda - 3	Apsorbancija standarda – 4	Apsorbancija - Uzorak 1 (nm)	Apsorbancija - Uzorak 2 (nm)	Apsorbancija - Uzorak 3 (nm)	Apsorbancija - prosjek (nm)
0,404	0,38	0,256	0,242	0,078	0,387	0,39	0,41	0,396
Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 1	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 2	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 3	Apsorbancija boje - Apsorbancija standarda 4	Apsorbancija boje - Aps. Prosjek				
0,024	0,148	0,162	0,326	0,0083				
Koncentracija uzorka	Faktor razrijeđenja	Rezultat (mg/100 mL)	Standardna devijacija za apsorbanciju uzorka	Prosjek ± Standardna devijacija	Konzentracija askorbinske kiseline (mg/100 ml)			
0,80	10	8,0	0,010	0,396 ± 0,010	1, 2, 3, 4			



**Prilog 29** Apsorbancija askorbinske kiseline u uzorku jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

**Prilog 30** Rezultati ukupnog sadržaja fenola za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

Uzorci	Apsorbancija	mg galne kiseline/mL	Prosječne vrijednosti mg galne kiseline/mL	Vrijednost galne kiseline izražena na suhu tvar (%)	Prosjek (mg galne kiseline/mL)	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija	Prosjek (Galna kiselina izražena na suhu tvar %)	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
1-1	0,148	4,2	4,26	0,46						
1-2	0,156	4,3								
2-1	0,159	4,4	4,44	0,478	4,29	0,12	4,29 ± 0,12	0,47	0,01	0,47 ± 0,01
2-2	0,163	4,5								
3-1	0,144	4,1								
3-2	0,149	4,2	4,16	0,4782						

**Prilog 31** Rezultati analize antioksidacijske aktivnosti za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

	1. mjerenje	Inhibicija (%)	Inhibicija (%) - prosjek	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
DPPH Apsorbancija	0,549				
Apsorbancija - Uzorak 1	0,275	49,91			
Apsorbancija - Uzorak 2	0,292	46,81			
Apsorbancija - Uzorak 3	0,332	39,53	45,42	4,35	45,42 ± 4,35
Prosjek	0,300	45,42			

**Prilog 32** Rezultati mjerenja boje za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

<b>Cijeje jagode</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>h</b>	<b>C</b>
<b>Uzorak-1</b>	25,57	33,79	20,02	1,49	39,28
<b>Uzorak-2</b>	27,68	40,15	27,59	1,22	48,72
<b>Uzorak-3</b>	33,51	31,68	20,78	1,30	37,89
<b>Prosjek</b>	28,92	35,21	22,80	1,33	41,96
<b>Standardna devijacija</b>	3,36	3,60	3,40	0,11	4,81
<b>Prosjek ± Standardna devijacija</b>	28,92 ± 3,36	35,21 ± 3,60	22,80 ± 3,40	1,33 ± 0,11	41,96 ± 4,81
<b>Homogenizirane jagode</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>h</b>	<b>C</b>
<b>Uzorak-1</b>	30,28	37,82	21,67	1,55	43,59
<b>Uzorak-2</b>	30,8	39,7	23,87	1,46	46,32
<b>Uzorak-3</b>	31,73	36,86	20,35	1,62	42,10
<b>Prosjek</b>	30,94	38,13	21,96	1,54	44,01
<b>Standardna devijacija</b>	0,60	1,18	1,45	0,07	1,75
<b>Prosjek ± Standardna devijacija</b>	30,94 ± 0,60	38,13 ± 1,18	21,96 ± 1,45	1,54 ± 0,07	44,01 ± 1,75

**Prilog 33** Rezultati mjerenja Brix vrijednosti za uzorak jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

	Brix vrijednost + temperatura	Faktor korekcije	Korigirana vrijednost	Prosjek °Br	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak-1</b>	9,55 (15,8 °C)	0,02546	9,58			
<b>Uzorak-2</b>	8,75 (16,3 °C)	0,24	8,99	9,42	0,306	9,42 ± 0,306
<b>Uzorak-3</b>	9,45 (16,2 °C)	0,2369	9,69			

**Prilog 34** Rezultati mjerenja sadržaja antocijana u uzorku jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

	A510	A700	A510	A700	MW	DF	E	l	TV	SW	TA	Rezultat	Prosjek TA	TA %	Stand.	Prosjek
	pH=1	pH=1	pH=4,5	pH=4,5	g/mol	(Faktor razrijeđenja)	(L/(mol*cm))	(debljina kivete), cm)	(Metanol- mL)	(uzorak, gr)	(mg pelargonidin-3-glukozida/kg concentration)	(mg/KM kg)	(mg pelargonidin-3-glukozida/kg konc.)	(suha tvar gr/gr)	Dev	± Stand. Dev.
<b>1</b>	0,594	0,019	0,093	0,024	433,2	15	22400	1	30	1,5	2544,276429	2768,53				
<b>2</b>	0,584	0,019	0,108	0,03	433,2	21	22400	1	30	1,5	2448,740357	2664,57	2333,09	169,25	234,37	2333,09 ± 234,37
<b>3</b>	0,53	0,015	0,148	0,032	433,2	15	22400	1	30	1,5	2006,2575	2183,09				

**Prilog 35** Rezultati mjerenja pH vrijednosti uzorka jagoda tretiranih pulsirajućim svjetlom jačine 12 J/cm<sup>2</sup>

	pH	Prosjek pH vrijednosti	Standardna devijacija	Prosjek ± Standardna devijacija
<b>Uzorak-1</b>	3,52			
<b>Uzorak-2</b>	3,48	3,56	0,082	3,56 ± 0,082
<b>Uzorak-3</b>	3,67			