

# Primjena tehnologije preprekama u obradi funkcionalnih voćnih sokova

---

**Kao, Leona**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:387322>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-16**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno - biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Leona Kao**

7599/PT

**PRIMJENA TEHNOLOGIJE „PREPREKAMA“ U OBRADI**  
**FUNKCIONALNIH VOĆNIH SOKOVA**  
**ZAVRŠNI RAD**

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

**Mentor:** dr. sc. Predrag Putnik

**Zagreb, 2020.**

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija**

**Zavod za opće programe**  
**Laboratorij za održiv razvoj**

**Znanstveno područje: Biotehničke znanosti**  
**Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija**

**Primjena tehnologije „prepekama“ u obradi funkcionalnih voćnih sokova**

***Leona Kao, 0058212993***

**Sažetak:** Cilj ovog rada je bio literaturnim pretraživanjem utvrditi primjenu tehnologije „prepekama“ u obradi funkcionalnih voćnih sokova. Funkcionalni voćni sokovi su u današnje vrijeme sve više traženi od strane potrošača, obzirom na potencijal pozitivnog učinka na zdravlje. Zajedno s tržištem funkcionalnih voćnih sokova, razvijaju se i inovativne tehnologije za obradu istih, od kojih se u novije vrijeme sve više istražuje tzv. tehnologija „prepekama“. Ova tehnologija podrazumijeva primjenu više različitih postupaka obrade pri blažim uvjetima obrade čijim se zajedničkim djelovanjem dobiva stabilan proizvod visoke kvalitete. U tehnologiji „prepekama“ najčešće se kombiniraju pulsirajuće električno polje, visoki hidrostatski tlak i ultrazvuk visoke snage te kombinacija jedne od ovih tehnologija s blažim toplinskim postupkom. Za razliku od tradicionalnih metoda obrade sokova, ovim se načinom osigurava mikrobiološka ispravnost funkcionalnih sokova uz minimalnu nutritivnu deterioraciju. Iz ovog razloga, u budućnosti se očekuje daljnji razvoj tehnologije „prepekama“ kao i njena primjena u industriji.

**Ključne riječi:** funkcionalni voćni sokovi, tehnologija „prepekama“, pulsirajuće električno polje, ultrazvuk visoke snage, visoki hidrostatski tlak

**Rad sadrži:** 35 stranica, 5 tablica, 137 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničnom (pdf format) pohranjen u:** Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

**Mentor:** dr. sc. Predrag Putnik

**Pomoć pri izradi:** izv. prof. dr. sc. Danijela Bursać Kovačević

**Rad predan:** 1. rujna 2020

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

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

**Department of General Programmes**  
**Laboratory for sustainable development**

**Scientific area: Biotechnical Sciences**  
**Scientific field: Food Technology**

**Application of "hurdle" technology in preservation of functional fruit juices**

***Leona Kao, 0058212993***

**Abstract:** This work focuses on the literature review regarding application of "hurdle" technology in the preservation of functional fruit juices. The demand for functional fruit juices is rapidly growing due to its positive health effect. Along with the growing market, innovative technologies for functional fruit juices processing are also being developed, including "hurdle" technology. This concept implies the application of different processing treatments under milder process conditions that can act synergistically resulting with a high quality product. The "hurdle" technology most often combines pulsed electric field, high hydrostatic pressure and high-power ultrasound, and a combination of one of these technologies with a milder thermal process. In contrast to conventional thermal processing, this technology ensures the microbiological safety with minimal nutritional deterioration. In a line with all mentioned, it can be concluded that further development of "hurdle" technology as well as its application in the food industry expected in the future.

**Key words:** functional fruit juices, hurdle technology, pulsed electric field, high-power ultrasound, high-pressure processing

**Thesis contains:** 35 pages, 5 tables, 137 references

**Original in:** Croatian

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

**Mentor:** Predrag Putnik, PhD

**Technical support and assistance:** Danijela Bursać Kovačević, PhD, Associate Professor

**Defense date:** September 1<sup>st</sup>, 2020

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1.    Najnoviji trendovi razvoja funkcionalnih proizvoda .....	2
2.2.    Funkcionalni voćni sokovi kao matriks u proizvodnji funkcionalne hrane.....	3
2.3.    Razvoj koncepta tehnologije „preprekama“.....	6
2.4. Primjena netoplinskih tehnologija u konceptu tehnologije „preprekama“ za obradu funkcionalnih voćnih sokova .....	7
2.4.1. Primjena pulsirajućeg električnog polja (engl. Pulsed Electric Field, PEF) .....	8
2.4.2. Primjena ultrazvuka visoke snage (engl. High Power Ultrasound, HPU).....	11
2.4.3. Primjena visokog hidrostatskog tlaka (engl. High Pressure Processing, HPP).....	14
2.4.4. Primjena tehnologije „preprekama“ u obradi funkcionalnih voćnih sokova.....	17
3. ZAKLJUČCI.....	21
4. LITERATURA.....	22

## 1. UVOD

U današnje vrijeme sve je veća potražnja za funkcionalnim proizvodima zbog njihove nutritivne vrijednosti i pozitivnog učinka na zdravlje. Najčešći funkcionalni proizvodi su fermentirani mliječni proizvodi, žitarice, maslac i margarin te energetske pločice i napitci. Zajedno s funkcionalnim proizvodima, sve su više tražene i tehnologije koje će biti energetske učinkovitije od tradicionalnih tehnologija bez negativnog utjecaja na nutritivni sastav. U ove tehnologije ubrajamo pulsirajuće električno polje, visoki hidrostatski tlak i ultrazvuk visoke snage koje se, osim za proizvodnju funkcionalne hrane, mogu koristiti za izolaciju bioaktivnih spojeva iz biljnog materijala ili nusproizvoda.

Voće i voćni sokovi sadrže velike količine bioaktivnih spojeva (najčešće polifenola) zbog čega imaju pozitivan učinak na ljudsko zdravlje. Nutritivnu vrijednost i samu funkcionalnost voćnih sokova moguće je povećati dodatkom različitih dodataka poput probiotika, prebiotika, ekstrakata ciljanih spojeva i dr. Probiotici i prebiotici se tradicionalno dodaju fermentiranim mliječnim proizvodima, no voćni sokovi zbog svog sastava čine odličan matriks za rast probiotičkih kultura. Nadalje, prednost dodatka prebiotika/probiotika u voćne sokove ogleda se u mogućnosti konzumacije od strane potrošača netolerantnih na laktozu i/ili u odabiru prehrane sa smanjenim udjelom kolesterola.

Visokokvalitetni voćni sokovi, za kojima je danas sve veća potražnja, su minimalno obrađeni te im je stoga trajnost ograničena na svega par dana. Upravo iz ovog razloga se sve više primjenjuju nove, napredne tehnologije koje osiguravaju zdravstvenu ispravnost proizvoda bez narušavanja kvalitete. Nadalje, sve se više ispituje kombinacija toplinskih i/ili netoplinskih tehnologija primjenom tehnologije „preprekama“. Ova tehnologija se temelji na sinergijskom učinku odabranih tehnologija koje se primjenjuju određenim slijedom pri blažim uvjetima obrade s ciljem inaktivacije mikroorganizama, produljenjem roka trajanja i zadržavanjem kvalitete. Tehnologije preprekama uključuju primjenu visoke/niske temperature, manipulaciju s aktivnošću vode, kiselost, redoks potencijal, primjenu konzervansa i konkurentnih mikroorganizama. Neke od netoplinskih tehnologija koje se mogu koristiti u sklopu tehnologije „preprekama“ su pulsirajuće električno polje, visoki hidrostatski tlak i ultrazvuk visoke snage. Njihovom međusobnom kombinacijom ili kombinacijom s blažim toplinskim tretmanom moguće je inaktivirati mikroorganizme prisutne u soku bez narušavanja kvalitete soka.

Cilj ovog rada je istražiti literaturu u području primjene učinkovitosti tehnologije „preprekama“ u obradi prehrambenih proizvoda te dati osvrt na primjenu ove tehnologije u obradi funkcionalnih voćnih sokova.

## **2. TEORIJSKI DIO**

### **2.1. Najnoviji trendovi razvoja funkcionalnih proizvoda**

Današnji potrošači su sve više zainteresirani za prehrambene proizvode koji su prirodni, imaju siguran status (eng. Generally Recognized as Safe, GRAS) te se proizvode primjenom održive ili ekološke tehnologije (Putnik i sur., 2018). Posebnu pažnju pridodaju funkcionalnoj hrani koja predstavlja hranu kojoj je dodana neka tvar, koja će, ako se konzumira na pravilan način osigurati osnovne nutritivne potrebe, imati pozitivan utjecaj na opće zdravlje ili doprinijeti smanjenju rizika za razvoj određenih bolesti (Granato i sur., 2017). Procjenjuje se da će globalno tržište funkcionalne hrane do 2020. godine vrijediti 304.5 milijardi USD, uz prosječni godišnji rast od 8.5 %, unatoč tome da je razvoj nove (funkcionalne) hrane prilično skup i složen proces (Musina i sur., 2017).

Najčešći funkcionalni prehrambeni proizvodi na tržištu su: fermentirani mliječni proizvodi, koji poboljšavaju zdravlje probavnog sustava, žitarice, koje poboljšavaju zdravlje srca, margarin i maslac, koji pozitivno utječu na metabolizam kolesterola te energetske ili proteinske čokoladice i napici, koji smanjuju osjećaj gladi (Bogue i sur. 2017).

Posljednjih godina sve su više tražene tehnologije, koje osim konzerviranja namirnica ne narušavaju njihov nutritivni sastav, energetske su učinkovite te se mogu primijeniti za iskorištavanje nusproizvoda prehrambene industrije (Putnik i sur., 2017). Stoga su nove tehnologije u proizvodnji/obradi hrane, poput visokog hidrostatskog tlaka, pulsirajućeg električnog polja, ultrazvuka i mikrovalova (Bursać Kovačević i sur., 2018) sve više usmjerene na razvoj funkcionalnih proizvoda. Također, globalno gledajući, zamjećuje se značajan priljev državnih sredstava za istraživanje, razvoj i primjenu takvih tehnologija u trenutnoj i novoj preradi hrane. Nadalje, ove tehnologije često se koriste za izolaciju bioaktivnih spojeva (BAS) iz različitog biljnog materijala/nusproizvoda s ciljem dodatka funkcionalnom proizvodu, no zbog svoje slabe topljivosti, stabilnosti i bioraspoloživosti otežano se integriraju u funkcionalnu hranu (Granato i sur., 2020). Ipak, sustavima oralnog davanja, temeljnim na nano- i mikro-česticama, pokušavaju se nadići ove prepreke (Tapia-Hernández i sur. 2019., Wang i sur. 2019). Takvi sustavi mogu biti čvrsti i tekući, u obliku

gela ili paste. Također se BAsEvi mogu ukomponirati u hranu u obliku mikroemulzije, nanoemulzije, emulzije, čvrsto-lipidne nanočestice, liposoma i mikropolnih biopolimera (Nikmaram i sur., 2017). Korištenje elektrospininga za inkapsulaciju hidrofilnih i hidrofobnih spojeva se također pokazalo korisnim za proizvodnju funkcionalne hrane (Zhang i sur., 2019).

Do sada je evidentiran veliki broj istraživanja o potencijalnom razvoju funkcionalne hrane, no velik problem predstavlja industrijska primjena, gdje su mnogo veći zahtjevi i kapaciteti, nego u laboratoriju. Dodavanje nekih izoliranih spojeva nije praktično provedivo u industriji te postoji opasnost da se nakon nekog vremena promijene senzorska svojstva hrane. Kod plasiranja ovakve hrane na tržište potrebno je provesti opsežno testiranje kako bi se mogla ustvrditi biorasploživost i potencijalna toksičnost određenih spojeva (Granato i sur., 2020).

## **2.2. Funkcionalni voćni sokovi kao matriks u proizvodnji funkcionalne hrane**

Ekonomska vrijednost proizvodnje soka je potvrđena statističkim podacima Europske Unije, gdje je u posljednjih 5 godina uvećana proizvodnja sokova koji nisu proizvedeni od koncentrata za 5.4 %, dok se proizvodnja svježe cijedenih sokova povećala za 4.8 %. Istovremeno, proizvodnja nektara i drugih vrsta voćnih napitaka smanjila se za 3.8 % i 1.6 % (AIJN, 2017). U ovom kontekstu, domaće autohtone voćne sorte su privlačne sirovine koje se mogu koristiti za proizvodnju funkcionalnih voćnih sokova što bi opskrbilo tržište visoko vrijednim prehrambenim proizvodima, a istovremeno bi se očuvala i poticala tradicionalna poljoprivreda, što bi ojačalo lokalnu ekonomiju i, naposljetku, doprinijelo dobrobiti društva.

Voće i voćni sokovi sadrže značajne količine različitih BAS, koji pojedinačno ili zajedno imaju značajan utjecaj na poboljšanje ljudskog zdravlja (Lorenzo i sur., 2018; Bursać Kovačević, 2020). Od prisutnih BAsEva u većini voćnih sokova su najzastupljeniji antioksidansi polifenoli s dokazanim protuupalnim djelovanjem (López-Pedrouso i sur., 2020). Polifenoli neutraliziraju djelovanje slobodnih radikala, sudjeluju u inhibiciji prooksidacijskih procesa i znatno utječu na kronične upale ili smanjuju težinu raznih medicinskih patologija, kao što su kardiovaskularne bolesti i neke vrste tumora (Fraga i sur., 2019, Szymanowska i sur., 2018, Quan i sur., 2018, Jakobek i sur., 2007, Rasouli i sur., 2017) kao i lipidna oksidacija u krvnoj plazmi (Jakobek i sur., 2007, Yuan i sur., 2017). Unatoč brojnim dokazima o korisnosti polifenola za ljudsko zdravlje, njihovo korištenje u proizvodnji hrane se još uvijek polemizira. Zato, kako bi se proizveo istinski funkcionalan proizvod s medicinskim beneficijama, potrebno



ga je osmisлити prema strogim pravilima i procijeniti ga nasumičnim, dvostruko slijepim i placebo-kontroliranim kliničkim ispitivanjima (Granato i sur., 2020).

U posljednje vrijeme posebno se ispituje mogućnost dodavanja prebiotika i probiotika voćnim sokovima kako bi im se osigurala funkcionalnost i dodatna vrijednost. Pojam „probiotik“ se odnosi na mješavine jedne ili više bakterijskih vrsta koje imaju pozitivan učinak na zdravlje domaćina u kojeg su unesene na način da poboljšavaju svojstva crijevne mikroflore domaćina (Šušković i sur., 1997, Frece i sur., 2005, Frece, 2007). Najčešći korisni učinci probiotika su smanjenje intolerancije na laktozu, sniženje razine kolesterola, stimulacija imunološkog sustava, povećana apsorpcija minerala zajedno sa antimikrobnim, antikancerogenim i antihipertenzivnim utjecajima (Fernandes Pereira, 2018). Probiotičke bakterije se tradicionalno dodaju fermentiranim mliječnim proizvodima, ali njihova primjenjivost je ograničena intolerancijom na laktozu ili režimima prehrane koji zahtijevaju ograničenje kolesterola (Fernandes Pereira, 2018). Stoga, voćni sok, predstavlja novu kategoriju proizvoda kojoj se mogu dodavati probiotici i/ili prebiotici (Martins i sur., 2013, Nicolesco i Buruleanu, 2010, Nualkaekul i Charalampopoulos, 2011, Sheela i Suganya, 2012). Prednost voćnog soka kao matriksa za rast probiotičkih kultura jest njegov nativni nutritivni sastav, koji probiotički proizvod čini stabilnim (Žuntar i sur., 2020). Primjena probiotika poboljšava nutritivna svojstva proizvoda, dok dodatak probiotika u voćnim sokovima može povećati antioksidacijsko djelovanje (ograničeno da određene sojeve bakterija mliječne kiseline) (Fernandes Pereira, 2018). Najčešće korištene probiotičke bakterije u voćnim pripravcima su različiti sojevi *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus reuteri*, *Bifidobacterium breve*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus crispatus* i ostali (Patel, 2017). Odabir adekvatnog bakterijskog soja za proizvodnju voćnih pripravaka od ključne je važnosti, jer je osiguranje njihove stabilnosti, preživljavanja i funkcionalnosti puno zahtjevnije nego kod fermentiranih mliječnih proizvoda (Fernandes Pereira, 2018, Shah, 2007). Unatoč svim pozitivnim učincima koje probiotici imaju na ljudski boljitak (Tablica 1), postoji mnoštvo izazova koji su povezani sa njihovom konzumacijom i primjenom u industriji (Žučko i sur., 2020).

**Tablica 1.** Mogući blagotvorni učinci antioksidansa, BAS-a i drugih funkcionalnih sastojaka na ljudsko zdravlje ( prema Granato i sur., 2020)

Antioksidansi, BAS i drugi sastojci	Matriks hrane	Učinak na zdravlje/djelovanje	Referenca
<u>Karotenoidi</u>			

<b>β-karoten</b>	Žuto, narančasto i zeleno lisnato povrće i voće (npr. mrkva, mango, naranča, itd.)	AOX, provitamin A, sprječava bolesti očiju, radioprotektivno, antimutogeno, itd.	Kim (2016)
<b>Lutein</b>	Zeleno lisnato povrće (npr. kelj)	AOX, protuupalno, antiaterogeno, djeluje protiv čira, visokog tlaka i dijabetesa, ↓ rizik od raka, sprječava očne bolesti	Kim i Park (2016)
<b>Likopen</b>	Rajčica, dinja, breskva, itd.	AOX, ↓CVD, ↓rizik od raka	Costa-Rodrigues i sur. (2018), Rodriguez-Concepcion i sur. (2018)
<b>Zeaksantin</b>	Žumanjak, špinat, kelj, itd.	AOX, provitamin A, protuupalno djelovanje, poboljšava kognitivne funkcije, ↓rizik od raka, ↓CVD	Buscemi i sur. (2018)
<b>Kurkumin</b>	Kurkuma	AOX, ↓DM rizik, ND, ↓CVD, ↓IM	Rivera-Mancía i sur. (2018), Saeidinia i sur. (2018), Salehi i sur. (2019)
<b><u>Klorofili</u></b>			
<b>Klorofil a i b</b>	Alge, morska trava, itd.	AOX, ↓rizik od raka	Chakdar i Pabbi (2017), Qin (2018)
<b><u>Vlakna</u></b>			
<b>β-Glukan</b>	Kvasci, žitarice, baterije, itd.	↓CVD, kontrolira dijabetes, stimulira imunološki sustav	Bai i sur. (2019), Bozbulut i Sanlier (2019), Jayachandran i sur. (2018)
<b>Inulin</b>	Šparoga, češnjak, luk, cikorija, itd.	Prebiotički učinak, ↓ateroskleroza, ↑sitost	Roshan i sur. (2019), Shoaib i sur. (2016)
<b><u>Organosumporni spojevi</u></b>			
<b>Glukozinolati</b>	Prokulice, kupus, karfiol, itd.	↓rizik od raka i metastaza, štiti stanice od redoks neravnoteže, ↓kronične upalne bolesti	Traka (2016)
<b>Izotiocijanati</b>	Prokulice, kupus, brokula	ND, ↓rizik od raka	Giacoppo i sur. (2015), Mitsiogianni i sur. (2018)
<b><u>Fitosteroli</u></b>			
<b>Sterol i stanol</b>	Kikiriki, ulje uljane repice,	↓TC, ↓LDL-C,	Gylling i sur.

	pšenične klice	protuupalno, ND	(2014), Plat i sur. (2019), Vanmierlo i sur. (2015)
<b>Polifenoli</b>			
<b>Antocijani i proantocijanidini</b>	Liči, grožđe, borovnica, kakao	AOX, sprječava i liječi hiperuricemiju i/ili giht, ↓CVD	Li i sur. (2012, 2017), Moriwaki i sur. (2011)
<b>Izoflavoni</b>	Soja, miso, tofu, sjemenke lana, hrana od soje	↓CVD, ↓LDL-C, osteoporozna, ↓DM rizik i bolesti jetre	De Piano i sur. (2019), Duru i sur. (2018)
<b>Lignini</b>	Sjemenke sezama, brokula, jagode, prokulice, masline, itd.	↓CVD i rizik od hormonskog raka	Kiyama (2016), López-Biedma i sur. (2016), Yoder i sur. (2015)
<b>Rezveratrol</b>	Crveno grožđe, borovnica, kupina, kakao	↓CVD, LDL-C↓	Gambini i sur. (2015), Kuršvietiene i sur. (2016), Pannu i Bhatnagar (2019)
<b>Prebiotici</b>			
<b>Inulin, fruktooligosaharidi, ksilooligosaharidi</b>	Cikorija, luk, češnjak, jeruzalemska artičoka, listovi maslačka, poriluk, šparoga	↓simptomi depresiji, bifidogeni učinak, ↓ateroskleroza, ↑sitost	Kazemi i sur. (2019), Roshan i sur. (2019), Shoaib i sur. (2016)
<b>Probiotici</b>			
<b><i>Lactobacillus casei</i>, <i>Lactobacillus acidophilus</i>, <i>Bifidobacterium lactis</i></b>	Fermentirana mlijeka, deserti, nemliječna hrana u koju su dodani probiotici	↓debljanje, ↓opseg struka, ↓serum glukoze, ↓inzulin i HOMA-IR, ↓LDL-C, ↓oksidirani produkti u krvi, ↓upalni markeri, ↓visok tlak, ↓hiperglikemija, ↑GSH razina u krvi, ↑HDL-C	Ejtahed i sur. (2019), Rezazadeh i sur. (2019), Roshan i sur. (2019), Salami i sur. (2019), Kassaian i sur. (2018)
<b>Sinbiotici</b>			
<b><i>L. casei</i>, <i>L. Acidophilus</i>, <i>B. lactis</i> uz inulin, fruktooligosaharide, ksilooligosaharide</b>	Hrana obogaćena probioticima i prebioticima- sladoled, deserti, granole, čokolada	↑ukupni antioksidacijski kapacitet plazme, ↑GSH u krvi, ↑NO, ↓upalni markeri, ↓rizik od infekcije, ↓visok tlak, ↓hiperglikemija	Kassaian i sur. (2018), Wu i sur. (2018), Zheng i sur. (2019)

Skraćenice: AOX, antioksidacijsko djelovanje; CVD, kardiovaskularne bolesti; LDL-C, lipoprotein-kolesterol niske gustoće; HDL-C, lipoprotein-kolesterol visoke gustoće; HOMA-IR, model za procjenu homeostaze- otpornost inzulina; NO, dušikov oksid; DM, dijabetes melitus; GSH, glutation; IM, posrednici upale; ND, neurološki poremećaj; TC, ukupni kolesterol.

### 2.3. Razvoj koncepta tehnologije „preprekama“

Prema trenutnim zahtjevima potrošača spram voćnog soka, on bi trebao biti minimalno prerađen, bez dodanih aditiva i uz produljeni rok trajanja. Nedavna istraživanja su potvrdila

da su potrošači često spremni platiti višu cijenu za visokokvalitetne proizvode dobrih senzorskih karakteristika (Granato i sur., 2019). Voćni sokovi iznimne kvalitete proizvode se hladnim prešanjem (ili cijedenjem) te se ne podvrgavaju daljnjoj obradi, nego se odmah skladište pri temperaturi 2 – 5 °C, čime je njihova trajnost ograničena na svega nekoliko dana (1 – 3 dana). S druge strane, rezultati jednog opsežnog istraživanja, u kojem je sudjelovalo preko 160 proizvođača voćnih sokova iz SAD-a i EU, su naveli da je mikrobiološka sigurnost ključni faktor kvalitete komercijalnih voćnih sokova. Čak 92 % proizvođača je naišlo na naknadnu kontaminaciju (kvasci/plijesni) u svojim proizvodima tijekom skladištenja (Snyder i Worobo, 2018), stoga se trenutno sve više ispituju i primjenjuju nove netoplinske i napredne tehnologije obrade kako bi se uspjeli proizvesti kvalitetni proizvodi odgovarajuće zdravstvene ispravnosti kroz duži rok skladištenja (Bursać-Kovačević i sur., 2019, Gabrić i sur., 2017).

## **2.4. Primjena netoplinskih tehnologija u konceptu tehnologije „preprekama“ za obradu funkcionalnih voćnih sokova**

Funkcionalni voćni sokovi su proizvodi kratkog roka trajanja, pa klasična (toplinska) pasterizacija (70-112 °C/30-120 s), koja se uvriježeno danas koristi u industriji, osigurava odgovarajući rok trajanja, no ovaj postupak može negativno utjecati na nutritivnu i senzorsku kvalitetu soka (Bursać Kovačević i sur., 2016; Herceg i sur., 2016, Petruzzi i sur., 2017).

Posljednjih desetljeća znatno je porastao broj komercijalno dostupne hrane obrađene netoplinskim tehnologijama. Na primjer, prehrambeni proizvodi obrađeni visokim hidrostatskim tlakom prodaju se u Japanu od 1990. godine i u SAD-u i diljem Europe od 1996. godine (Galanakis i sur., 2015). Istovremeno, potrošači nemaju jasno znanje i informacije o novim tehnološkim procesima koji se primjenjuju u obradi/preradi hrane, stoga su njihovi stavovi često negativni prema prehrambenim proizvodima obrađenim/prerađenim na ovaj način. To je jedan od razloga zbog kojeg potrošači često prerađenu hranu, bilo tradicionalnim ili novim tehnologijama, smatraju nezdravom te su često sumnjičavi prema kvaliteti iste (Deliza i sur., 2018). Nedavno istraživanje je potvrdilo da je na percepciju prehrambenih tehnologija kod brazilskih potrošača utjecao stupanj neofobije spram istih, što ukazuje na činjenicu da je nesklonost potrošača spram konzumacije nepoznate i/ili nove hrane proporcionalna ne poznavanju novih tehnologija obrade (Martins i sur., 2019).

U novije se vrijeme sa svrhom produženja trajnosti i zadržavanja kvalitete voćnih sokova ispituje kombinacija toplinskih i/ili netoplinskih tehnologija primjenom tehnologije „prepekama“ (engl. „hurdle“). Ovdje se tehnologije primjenjuju određenim slijedom kako bi svaka pri neinvazivnim („blažim“) uvjetima obrade dala najbolje rezultate u smislu produženja roka valjanosti i senzorske kvalitete (Putnik i sur., 2020). Danas se u tom smjeru najviše istražuju tehnologije ultrazvuka visoke snage (High Power Ultrasound, HPU), pulsirajuće električno polje (Pulsed Electric Field, PEF), hladna plazma (Cold Plasma, CP), visokonaponsko električno pražnjenje (High Voltage Electrical Discharge (HVED) i dr. (Barba i sur., 2017; Koubaa i sur., 2018; Kostelac i sur., 2020). Posebnost ovog koncepta leži u sinergijskom učinku različitih mehanizama u inhibiciji ili inaktivaciji ciljanih mikroorganizama (Putnik i sur., 2020). Stoga je inovativna tehnologija „prepekama“ napredan pristup prerade voćnih sokova s potencijalom da zadovolji visoke zahtjeve potrošača i proizvođača (Putnik i sur., 2020; Dixit i sur., 2018).

#### **2.4.1. Primjena pulsirajućeg električnog polja (engl. Pulsed Electric Field, PEF)**

Primjena tehnologije pulsirajućeg električnog polja kao zamjene za pasterizaciju voćnih sokova pokazala je dobre rezultate u vidu dobrog očuvanja nutritivne i senzorske kvalitete u tretiranim voćnim sokovima (Koubaa i sur., 2018, Gabrić i sur., 2018). PEF tehnologija podrazumijeva primjenu kratkotrajnih električnih pulseva ( $\mu\text{s}$  do  $\text{ms}$ ) pod visokim naponom (oko  $50 \text{ kVcm}^{-1}$ ) na namirnicu smještenu u komoru između dvije elektrode. U ovom procesu, glavni parametri obrade su: temperatura, vrijeme tretiranja (broj primijenjenih pulseva umnožen s njegovom širinom tj. trajanjem), širina, frekvencija i oblik pulseva, jačina električnog polja i specifični unos energije ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ) (Snyder i Worobo, 2018, Barba i sur., 2015).

Inaktivacija mikroorganizama tijekom PEF obrade uzrokovana je razlikom potencijala unutar i izvan stanice (Barba i sur., 2015). Kad razlika potencijala dosegne kritičnu vrijednost karakterističnu za svaki mikroorganizam, dolazi do elektroporacije, koja uzrokuje ireverzibilne promjene u strukturi stanice i inaktivaciju mikroorganizama (Barbosa-Canovas, 1998). U slučaju da intenzitet PEF obrade ne nanosi dovoljno štete stanicama ili su pore stanične membrane premale, elektroporacija može biti reverzibilna. Ovo pokazuje da se mikrobi mogu oporaviti od djelomične inaktivacije zbog čega se PEF često kombinira s drugim tehnologijama u tehnologiji prepekama kako bi se postigla potpuna zdravstvena ispravnost hrane.

Učinkovitost PEF tretmana ovisi o eksperimentalnim uvjetima, sastavu namirnice koja se tretira te njezinoj električnoj provodljivosti. Ako je provodljivost veća od 6  $\mu\text{s}$ , namirnicu će biti teže obraditi ovom tehnologijom (Barba i sur., 2015). Istraživanja su pokazala da karakteristike mikroba (npr. veličina i oblik stanice, vrsta stanične stijenke) same nemaju očekivani utjecaj na otpornost PEF obrade (Evrendilek, 2017). Nadalje, sam PEF nije učinkovit postupak za inaktivaciju spora pod blažim uvjetima procesa, što ukazuje da se treba kombinirati s drugim procesima konzerviranja kako bi se postigli željeni rezultati. Osim toga, ostala ograničenja PEF tretmana, kao što su visoki troškovi opreme, još uvijek onemogućavaju komercijalizaciju prehrambenih proizvoda koji su obrađeni PEF postupkom. U Tablici 2 prikazan je pregled literature za primjenu PEF tehnologije u tretmanu funkcionalnih voćnih sokova i pića u posljednjih 5 godina.

**Tablica 2.** Primjena PEF tehnologije u tretmanu funkcionalnih voćnih sokova i pića u posljednjih 5 godina

Uzorak	PEF tretman	Zaključci	Referenca
<b>Sok od manga i papaje s dodatkom infuzije stevije</b>	Bipolarni impulsi kvadratnih valova uz širinu pulsa 2.5 $\mu\text{s}$ 100-360 $\mu\text{s}$  20-40 $\text{kV cm}^{-1}$  Infuzija stevije: 0-2.5 % (w/v)	Veća snaga električnog polja pogodovala je većoj redukciji askorbinske kiseline te većem udjelu HMF, kao i većim udjelima antocijana i karotenoida.  Omjer rebaudiozida A i steviozida se povećao nakon PEF obrade  Udjel HMF i varijacije boje su bili veći kod uzoraka bez stevije  Optimalni PEF tretman: 21 $\text{kV cm}^{-1}$ , 360 $\mu\text{s}$ , 2.5 % stevije	Carbonell-Capella i sur. (2016)
<b>Sok od datulje</b>	PEF visokog intenziteta (HIPEF)  Bipolarni impulsi kvadratnih valova uz širinu pulsa 4 $\mu\text{s}$  35 $\text{kV cm}^{-1}$ , 100 Hz, 1000 $\mu\text{s}$ , $T < 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  Termička obrada: 90 $^{\circ}\text{C}/60\text{ s}$  Skladištenje: 5 tjedana u mraku, pri 4 $^{\circ}\text{C}$	HIPEF postupak je bolje očuvao nutritivnu kvalitetu te fizikalno-e parametre soka u usporedbi s termički obrađenim i kontrolnim uzorcima.  HIPEF sokovi su sadržavali veći udio polifenola, koji su bolje očuvani tijekom skladištenja u usporedbi s termički obrađenim i kontrolnim uzorcima.  HIPEF nije utjecao na promjenu boje soka, te je smanjio udio HMF nakon obrade i tijekom skladištenja.	Mtaoua i sur. 2016

<p><b>Mutni sok od jabuke</b></p>	<p>PEF niskog intenziteta: 12.5 kV cm<sup>-1</sup>          Protok: 27.6 L/h          Energija: 76.4 kJ/L          Frekvencija: 62 Hz          T<sub>ulazno</sub> :37.3 °C          T<sub>izlazno</sub> :59.5 °C          Pasterizacija (P1): 72 °C/15 s</p> <p>HIPEF: 12.3 kV cm<sup>-1</sup>          Protok: 24.5 L/h;          Energija: 132.5 kJ/L          Frekvencija: 94Hz          T<sub>ulazno</sub> :37.3 °C          T<sub>izlazno</sub> :72.8-73.8 °C          Pasterizacija (P2): 85 °C/30 s</p> <p>Skladištenje: 3 tjedna, 4 °C</p>	<p>Sokovi obrađeni PEF-om su imali više L* i a* parametre boje u odnosu na kontrolne uzorke.</p> <p>Aktivnost POD, PPO i PME se značajno smanjila uslijed HIPEF tretmana. U svim uzorcima se sadržaj vitamina C smanjio tijekom skladištenja.</p> <p>Tretman PEFom je rezultirao višim udjelom estera, u usporedbi s pasterizacijom, gdje je došlo do smanjenja udjela estera i nastanka nepoželjnog okusa.</p> <p>U svim su sokovima tijekom skladištenja evidentirani povećani udjeli fruktoze i glukoze te smanjen udio saharoze.</p>	<p>Wibowo i sur. (2019)</p>
<p><b>Sok od višnje, nektari od marelice i breskve</b></p>	<p>Bipolarni impulsi kvadratnih valova uz širinu pulsa od 3 μs</p> <p>24 kV cm<sup>-1</sup>          Trajanje pulseva 20 μs, protok: 50 mL/min          125 Hz (66 μs, 8.4 Js<sup>-1</sup>); 250 Hz (131 μs, 16.8 Js<sup>-1</sup>); 400 Hz (210 μs, 26.9 Js<sup>-1</sup>)</p>	<p>94 % senzorskih svojstava te 64 % (višnja), 60 % (marelica) i 30 % (breskva) fizikalnih svojstava ostalo nepromijenjeno nakon PEF tretmana. PEF je u svim uzorcima uzrokovao značajnu promjenu na prosječno 57 % aromatskih spojeva. PEF tretman može biti alternativa pasterizaciji uz adekvatno odabrane PEF procesne parametre.</p>	<p>Evrendilek (2016)</p>

Skraćenice: HMF, hidroksimetilfurfural; POD, peroksidaza; PPO, polifenoloksidaza; PME, pektin metilesteraza.

Tekuća hrana bez mjehurića je najprikladnija za PEF obradu, zbog prisutnosti nabijenih molekula koje mogu prenositi električni naboj koji nastaje tijekom obrade, stoga je ova tehnologija izrazito prikladna za obradu mliječnih i alkoholnih pića (Gabrić i sur., 2018). Rezultati nekih istraživanja navode da je učinkovitost PEF tretmana niža kod sokova koji sadrže visoke udjele makronutrijenata (npr. masti i proteini) u usporedbi s jednostavnijim suspenzijama (Bendicho i sur., 2002). Fizikalno-kemijski parametri soka kao što su pH, aktivitet vode i topljiva suha tvar su glavni faktori koji utječu učinkovitost PEF procesa tj. na inaktivaciju mikroorganizama.

Mnoga istraživanja su potvrdila da sokovi obrađeni PEF postupkom imaju veći udio polifenola, minerala i slobodnih aminokiselina te bolje očuvanu boju u odnosu na sokove obrađene termičkim postupkom. Tretman PEF-om visokog intenziteta (HIPEF) pozitivno je

utjecao na povećanje dostupnosti bioaktivnih antioksidansa u nekoliko funkcionalnih pića (Rodriguez-Roque i sur., 2015a, Rodriguez-Roque i sur., 2015b).

PEF obrada može usporiti neenzimske reakcije posmeđivanja, što je rezultiralo s niskom koncentracijom hidroksimetilfurfurala (HMF) u soku od datulje. HMF, kao indikator neenzimskog posmeđivanja, produkt je Maillardovih reakcija u prisutnosti reducirajućih šećera (npr. glukoza i fruktoza) i kiselina pri visokoj temperaturi (Onur i sur., 2018). Nizak intenzitet posmeđivanja uočen je kod sokova obrađenih HIPEF postupkom u usporedbi s termički obrađenim sokovima. Uslijed HIPEF obrade uočena je smanjena oksidacija askorbinske kiseline, a kako neoksidirana askorbinska kiselina ne sadrži reaktivne karbonilne grupe, koje su prekursori za neenzimsko posmeđivanje koje vodi do formiranja HMF, evidentno je da ova tehnologija ima perspektivu u korištenju pri obradi voćnih sokova (Patras i sur., 2009).

#### **2.4.2. Primjena ultrazvuka visoke snage (engl. High Power Ultrasound, HPU)**

Primjena ultrazvuka visoke snage kao zamjena za pasterizaciju ima veliki potencijal u obradi voćnih sokova, jer se akustična energija ultrazvuka trenutno prenosi kroz cijeli volumen soka, što značajno skraćuje vrijeme obrade. Uz to, niža potrošnja energije čini ovu metodu prikladnom za industrijsku primjenu (Tiwari, 2015). Tijekom obrade voćnih sokova često se kombiniraju ultrazvuk visoke snage i ultrazvučni valovi visokog intenziteta ( $10-1000 \text{ Wcm}^{-2}$ ) pri niskim frekvencijama (20-100 kHz). Zbog visoke snage, ultrazvučni valovi uzrokuju fizikalno-kemijske promjene u soku, ubrzavajući biokemijske reakcije te inaktivirajući mikroorganizme i enzime (Swamy i sur., 2018). Tijekom prolaza ultrazvučnih valova kroz tekućinu dolazi do formiranja ekspanzijskih vrtloga, pri čemu nastaju mali mjehurići i negativni tlakovi, što je definirano kao kavitacijski fenomen (Mason, 2003). Raspad kavitacijskih mjehurića unutar i oko mikrobne stanice stvara gradijent tlaka, koji uzrokuje mehanička oštećenja stanice. Uz to, slobodni radikali koji oštećuju stanične stijenke nastaju tijekom HPU postupka spontanom formiranjem bakterijskog vodikova peroksida, što poboljšava inaktivaciju mikroorganizama (Swamy i sur., 2018). Istraživanja su pokazala da obrada ultrazvukom ima potencijal postići 5-log redukciju patogena prisutnih u voćnim sokovima. Iako ultrazvučni valovi ne mogu osigurati inaktivaciju bakterijskih spora, sinergijski učinak u kombinaciji s drugim tehnologijama (npr. u tehnologiji preprekama) može povećati učinkovitost inaktivacije sporogenih bakterija (Condon-Abanto i sur., 2016, Tremarin i sur., 2017). Iako su glavni nedostaci uočeni tijekom obrade ultrazvukom povezani s narušavanjem izvorne kvalitete proizvoda, neka istraživanja navode da je primjenom ove tehnologije



moguće postići mikrobiološki stabilne voće sokove s očuvanim BAS i poboljšanom bioraspoloživosti (Ordonez-Santos i sur., 2017, Margean i sur., 2020). Procesni parametri koji utječu na HPU obradu voćnih sokova su snaga ultrazvuka, frekvencija, promjer ultrazvučne sonde, amplituda, vrijeme obrade i temperatura (Swamy i sur., 2018).

HPU može izazvati mikrostrukturne promjene u tretiranom soku, posebice u vidu pucanja staničnih struktura. Točnije, fizička sila ultrazvuka uzrokuje disperziju intracelularnih spojeva u sok, uslijed povećanih oštećenja stanične strukture, što se događa kod produženog vremena obrade (Wang i sur., 2020). Ove promjene strukture mogu značajno doprinijeti poboljšanim fizikalnim svojstvima soka bez utjecaja na reološka svojstva, boju i optičku gustoću.

Nedavnim istraživanjem je ispitana primjena ultrazvuka visokog intenziteta (High-intensity ultrasound, HIUS) u svrhu izrade funkcionalnih napitaka od soka naranče uz dodatak prebiotičkih ugljikohidrata (ksilooligosaharidi, XOS) (Silva i sur., 2020). Parametri HIUS obrade uključivali su ultrazvučnu snagu nominalnih vrijednosti (W) od 0 (kontrolni uzorak), 300, 600, 900 i 1200 W kroz 10 min. HIUS obrada iznad temperaturnog raspona od 51 do 58 °C nije utjecala na kemijsku stabilnost XOS. Stoga, napitci obogaćeni XOS su očuvali funkcionalna svojstva dodanih prebiotika. Međutim, negativni učinci HIUS obrade su uočeni u stabilnosti askorbinske, jabučne i limunske kiseline, kao i u sastavu polifenola te antioksidacijske aktivnosti.

HPU postupak može spriječiti aktivnost enzima posmeđivanja kao što su polifenoloksidaza (PPO) i peroksidaza (POD), zadržati izvorni okus i nutritivnu vrijednost te poboljšati stabilnost soka (Chen i sur., 2019). Učinkovitost ultrazvuka ovisi o intenzitetu samog postupka. U skladu s tim, ultrazvuk može uzrokovati inaktivaciju mikroorganizama, povećati koncentraciju BAS-a ili ubrzati fermentaciju. Utjecaj koji ultrazvuk ima na sok ovisi i o samom soku. Nedavno proveden eksperiment na soku od jagode je pokazao da ultrazvuk ne utječe na boju soka, niti na formiranje nepoželjnog okusa. Nadalje, tretman ultrazvukom je utjecao na povećanje kiselosti i slatkoće soka, kao i antioksidacijski kapacitet uzoraka (za prosječno 75 %), koji se nadalje kontinuirano povećavao tijekom skladištenja. Neposredno nakon HPU tretmana, koncentracija fenolnih spojeva je bila viša, nego u svježem soku, što je vjerojatno uzrokovano kavitacijskim efektom pospješene ekstrakcije ili dodatkom hidrosilnih radikala na fenolni prsten tijekom HPU obrade. U Tablici 3 prikazan je pregled literature za primjenu HPU tehnologije u tretmanu funkcionalnih voćnih sokova i napitaka u posljednjih 5 godina.

**Tablica 3.** Primjena HPU tehnologije u tretmanu funkcionalnih voćnih sokova i napitaka u posljednjih 5 godina

Uzorak	HPU tretman	Zaključci	Referenca
<b>Sok od breskve</b>	1000 W, 20 kHz, 1.26 cm <sup>2</sup> Titanski nastavak - 793.65 Wcm <sup>-2</sup> Vrijeme obrade: 0, 3, 6, 10, 15 min  Skladištenje: 21 dan na 25 °C	Sedimentacija pulpe se smanjila nakon US postupka. Optička gustoća soka se prvotno povećala tijekom US postupka, zatim se smanjilo i opet povećalo u skladu sa vremenom trajanja postupka. US se može koristiti za poboljšanje fizikalnih svojstava soka od breskve bez značajnog utjecaja na boju tijekom skladištenja.	Rojas i sur. (2016)
<b>Sok od jabuke i grožđa</b>	25 kHz, 70 % amplituda Blanširanje: 100 °C/4 min HTST: 72 °C/15 s Ultrazvuk: 5 i 10 min Termo-ultrazvuk: 5 i 10 min/ 50 °C Ultrazvučna sonda	Ultrazvuk (5 i 10 min) je uzrokovao porast antioksidacijskog kapaciteta i udjela antocijana u usporedbi s drugim postupcima. Svi postupci su se značajno razlikovali s obzirom na udio pojedinačnih BAS. Svi tretmani su značajno utjecali na viskoznost, optičku gustoću, topljivu suhu tvar i boju uzoraka, ali su imali slab utjecaj na pH i kiselost.	Aadil i sur. (2020)
<b>Mutni sok od jabuke</b>	100 W, 30 kHz Promjeri US sonde: 10 i 20 mm Amplitude: 40 % i 80 % Vrijeme: 3, 6, 9 min Skladištenje: 7 dana na 4 °C	U usporedbi s kontrolnim uzorcima, HPU je smanjio udio fenola za 32,94 %, flavan-3-ola za 21,66 %, dok su se vrijednosti za DPPH i FRAP smanjile za 23,76 % i 27,49 %. Nakon skladištenja uočen je pad koncentracije fenola (89,21 %), flavan-3-ola (82,80 %), te DPPH (79,51 %) i FRAP vrijednosti (66,04 %). Niže smanjenje udjela flavan-3-ola (46,97 %), DPPH (20,55 %) i FRAP vrijednosti (24,16 %) uočeno je kod kontrolnih uzoraka u usporedbi s US uzorcima.	Bursać Kovačević i sur. (2019)
<b>Sok od mirike</b>	600 W, 20 kHz Promjer US sonde: 13 mm Amplitude: 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 % Intenzitet: 90, 181, 271, 362, 452 Wcm <sup>-2</sup> Vrijeme obrade: 2, 4, 6, 8 i 10 min s trajanjem impulsa od 5 s (uključeno) i 5 s (isključeno)	U usporedbi sa kontrolnim uzorcima, US nije utjecao na pH, SSC, TA i b* parametre boje tretiranih sokova. Povećanjem intenziteta US i vremena trajanja tretmana došlo je do povećanja udjela HMF, PC, BD i L* parametra boje te do smanjenja udjela BAS.  US niskog intenziteta i kratkog vremena trajanja je utjecao na udio antocijana, ali ne i na udio askorbinske kiseline. Aktivnost SOD se povećala (21-28 %)	Cao i sur. (2019)

	Termička obrada: 90 °C/1 min	kod kratkog tretmana (2-6 min) Optimalni US parametri: - <450 Wcm <sup>2</sup> , 8 min	
--	---------------------------------	---	--

Skraćenice: HTST – toplinski postupak obrade pri visokoj temperaturi uz kratko vrijeme (High Temperature Short Time); SSC, udio topljive suhe tvari; TA, titrabilna kiselost; HMF, hidroksimetilfurfural; PC, polimerna boja; BD, stupanj posmeđivanja; SOD, superoksid dizmutaza.

### 2.4.3. Primjena visokog hidrostatskog tlaka (engl. High Pressure Processing, HPP)

Obrada visokim hidrostatskim tlakom se smatra najboljom netoplinskom tehnologijom za konzerviranje hrane. Prehrambeni proizvodi koji se mogu obrađivati s HPP-om su polučvrsti i čvrsti proizvodi, s malim do srednjim udjelom vode (u vakuumu), čvrste tvari s visokim udjelom vode (u vakuumu) i tekuća hrana s visokim udjelom vode (u bocama). Proizvodi se pakiraju prije postupka što smanjuje mogućnost naknadne kontaminacije. Nakon toga, proizvodi se stavljaju u košare i spuštaju u posudu. Posuda se zatim puni s vodom, a proizvodi se obrađuju visokim hidrostatskim tlakom, od 100 do 800 MPa. Tlak je ravnomjerno raspoređen u cijeloj posudi, što jamči da će proizvod biti u potpunosti obrađen (Abreera, 2019).

Primjenom HPP-a, nekovalentne veze u enzimima, ribosomima i molekulama stanične membrane se trajno oštećuju, što rezultira inaktivacijom mikroba. Budući da su bakterijske spore prilično otporne na HPP, često se uzorak dodatno tretira s visokom temperaturom kako bi proces bio efikasniji. Učinkovitost HPP-a ovisi o tlaku, temperaturi, vremenu i pH tretirane namirnice (Roobab i sur., 2018). S godišnjim rastom od najmanje 1 %, voćni sokovi i pića pokazuju najbrži rast na HPP tržištu hrane. Međutim, najveća tehnološka ograničenja HPP su visoki investicijski troškovi za uređaje i šaržni način rada (Putnik i sur., 2020). Pregled literature za primjenu HPP tehnologije u tretmanu funkcionalnih voćnih sokova i napitaka kroz posljednjih 5 godina prikazan je u Tablici 4.

**Tablica 4.** Primjena HPP tehnologije u tretmanu funkcionalnih voćnih sokova i napitaka u posljednjih 5 godina

Uzorak	HPP tretman	Zaključci	Referenca
Mutni sok od jabuke	HPP1: 400 MPa, 3 min, sobna temperatura HPP2: 600 MPa, 3 min,	CIELab parametri se nisu značajno razlikovali između HPP1 i HPP2 sokova. HP tretmani nisu u potpunosti	Wibowo i sur. (2019)

	<p>sobna temperatura Skladištenje: 3 tjedna na 4 °C</p>	<p>inaktivirali PPO i POD. Zbog velike zaostale aktivnosti PME (&gt;90 %), stabilnost optičke gustoće se smanjila tijekom skladištenja u HPP sokovima. Značajne promjene u pH, ukupnoj kiselosti te sadržaju organskih kiselina i šećera između HPP1 i HPP2 uzoraka nisu dokumentirane. Tijekom skladištenja u uzorcima je zapažen uvećan sadržaj fruktoze i glukoze te smanjen udio saharoze.</p>	
<b>Sok od šipka</b>	<p>Tlak: 200, 300, 400 MPa Temperatura: 5 °C, 15 °C, 25 °C Vrijeme: 5 i 10 min</p> <p>Toplinska obrada (TT): 85 °C/10 min</p>	<p>HPP sokovi nisu pokazali značajno smanjenje AA, TPC i TMAC-a u usporedbi s TT uzorcima. Manji sadržaj manitola određen je u HHP sokovima u usporedbi s TT uzorcima. Optimalni HPP za mikrobnu inaktivaciju: 400 MPa/15 °C/5 min i 400 MPa/5 °C/10 min.</p>	Subasi i Alpas (2017)
<b>Sok od grožđa Concord</b>	<p>Tlak: 319, 350, 425, 500, 531 MPa</p> <p>Vrijeme: 35, 60, 120, 180, 205 s</p> <p>Temperatura: 5 °C</p>	<p>Sinergijski učinci visokog tlaka, kiselog pH (3.39) i prisutnih fenolnih spojeva imali su značajne učinke na 5 log redukciju patogenih bakterija. <i>E. coli</i> O157:H7 je otporniji bakterijski soj na HPP tretman u usporedbi sa sojem <i>S. enterica</i>, dok sojevi <i>L. monocitogenes</i> nisu pokazali rast u niti u jednom uzorku (bilo prije ili nakon HPP). HPP tretman pri umjerenom tlaku (400 MPa) i kratkom vremenu (2 min) bio je učinkovit u redukciji mikroba.</p>	Petrus (2020)
<b>Piće od kaktusa pitaje s ananasom</b>	<p>Tlak: 400, 500, 600 MPa</p> <p>Vrijeme: 2, 5, 10 min</p> <p>Temperatura: 27, 29, 31 °C</p>	<p>Tlak od 400 MPa je uzrokovao porast vitamina C (64 %) u usporedbi s kontrolnim uzorkom. TPC se smanjio za 13 %–48 % pri tretmanu od 400–600 MPa/6 min. HPP nije utjecao na sadržaj betacijanina ili betaksantina u pićima. Najviša PME inaktivacija (23 %) postignuta je pri 600 MPa/2–10 min. Veća stabilnost vitamina C ostvarena je pri višim tlakovima pri čemu je utvrđeno povećanje od 5 % pri 600 MPa i povećanje od 64 % pri 400 MPa.</p>	Sandate-Flores i sur. (2017)

Skraćenice: POD, peroksidaza; PPO, polifenoloksidaza; PME, pektin metilesteraza; AA – antioksidacijska aktivnost; TPC – sadržaj ukupnih polifenola; TMAC – sadržaj ukupnih monomernih antocijana

Kad je tretman HPP (190 MPa, 60 °C) uspoređivan s pasterizacijom (90 °C, 5 min), broj bakterija i kvasaca u soku od manga je bio manji u HPP tretiranom uzorku te je rok trajanja

soka tretiranog HPP-om produljen do 60 dana pri 4 °C. Nadalje, u HPP-sokovima su smanjeni gubici askorbinske kiseline, karotenoida i ukupnih fenola u usporedbi s kontrolnim uzorcima tijekom skladištenja (Roobab i sur., 2018).

HPP ima dobru selektivnost za uništavanje patogenih bakterija, zadržavajući dobre, probiotičke bakterije. Na primjer, nakon tretmana HPP-om, probiotička bakterija *Lactobacillus rhamnosus* GG, nadodana u 100 mL soka jučara i Ubá manga u obliku kapsule s  $1 \cdot 10^{10}$  bakterija, bila je sačuvana. Nakon 30 dana skladištenja, sok je još uvijek imao preko  $10^8$  CFU mL<sup>-1</sup> bakterija, te dobro očuvan nutritivni sastav. Uz to, potrošači su pokazali da imaju veću preferenciju prema kupnji HPP-tretiranog soka nego termički tretiranog (Moreira i sur., 2017).

HPP tehnologija također se pokazala iznimno učinkovitom u inaktivaciji različitih endogenih enzima u voćnim sokovima, npr. polifenol oksidaze (PPO), peroksidaze (POD), pektinmetilesteraze (PME),  $\beta$ -glukozidaze, poligalakturonaze, lipoksigenaze, amilaze i hidroproroksidaze (Chakraborty i sur., 2014).

Nedavno istraživanje je usporedilo uzorke soka od bijelog grožđa tretirane s HPP-om i termičkim tretmanom (TT) s obzirom na mikrobnu redukciju (aerobne bakterije, koliformne bakterije i kvasci/plijesni), fizikalno-kemijska i antioksidacijska svojstva, enzimsku aktivnost (PPO i POD) i senzorsku analizu tijekom 20 dana skladištenja. Nakon skladištenja, enzimska aktivnost smanjena je za 50 % u HPP- uzorcima, uz značajno smanjenje razine mikroba. Štoviše, HPP sok je bio sličnih senzorskih obilježja kao i svježi sok, dok su TT uzorci imali značajno niže ocijenjena senzorska svojstva te redukciju enzimске aktivnosti za svega 30 % (Chang i sur., 2017).

Prednosti upotrebe HPP-a u prehrambenoj industriji, osim očuvanja nutritivne i mikrobiološke kvalitete, su poboljšanje antioksidacijskih svojstva i biološke vrijednosti tretiranih namirnica. Na primjer, u soku od jagode, kad se kombiniraju oba tretmana, HPP i TT, dolazi do smanjenja ukupnog sadržaja monomernih antocijana (TMA) i vitamina C. Međutim, rezultati su pokazali da se sadržaj TMA i vitamina C nije smanjio uslijed primjene HPP tretmana (Aaby i sur., 2018).

Sljedeća zanimljiva pogodnost primjene HPP tehnologije je utjecaj na smanjenje glikemijskog indeksa (GI). HPP obradom svježeg mango pirea je pokazano da je srednja vrijednost GI za HPP-mango pire znatno niža (32,7) u usporedbi s neobrađenim pireom (42,7) (Elizondo-Montemayor i sur., 2015).

HPP obrada također može utjecati na povećanje koncentracije aminokiselina, poput  $\gamma$ -aminomaslačne kiseline (GABA), koja nastaje iz glutaminske kiseline. U tu svrhu, smeđa riža je obrađena HPP-om pri 200 MPa. Nakon 4 dana skladištenja, koncentracije svih aminokiselina, uključujući i GABA, znatno su bile više u HPP uzorcima, u usporedbi s kontrolnim uzorcima (Shigematsu i sur., 2010).

#### **2.4.4. Primjena tehnologije „preprekama“ u obradi funkcionalnih voćnih sokova**

U konceptu minimalne obrade namirnica te primjenu netoplinskih tehnologija nasuprot toplinskoj obradi, danas se sve više ispituje i tehnologija (višestrukih) prepreka (*engl. Hurdle technology*). Koncept tehnologije preprekama bazira se na kombinaciji nekoliko tehnologija (ili postupaka) koji zajedničkim sinergijskim djelovanjem, a u značajno „blažim“ procesnim uvjetima, ostvaruju efikasnije učinke konzerviranja, no kad bi se svaka od primijenjenih tehnologija (ili postupaka) primijenila samostalno. Konačna nutritivna i mikrobiološka kvaliteta proizvoda (npr. inhibicija ili inaktivacija ciljanih mikroorganizama) ovisit će o parametrima kombiniranih prepreka (Rahman i sur., 2015; Putnik i sur., 2020). U proizvodnji voćnih sokova mogu se kombinirati različite prepreke, koje uključuju: (i) primjenu niske temperature (t-vrijednost) ili visoke temperature (F-vrijednost); (ii) aktivitet vode (aw); (iii) kiselost (pH); (iv) redoks potencijal (Eh); (v) kemijske ili prirodne konzervanse; i (vi) primjenu kompetitivnih mikroorganizama (npr. *Lactobacillus*) (Putnik i sur., 2020).

Stoga je inovativni tehnološki pristup „prepreka“ napredni pristup u preradi voćnih sokova s mogućnošću ispunjavanja visokih potreba potrošača i proizvođača prema kvaliteti (Rahman i sur., 2010). Razvojem inovativnih procesnih tehnologija istražuju se i razne nove prepreke. Najnovije se tehnologije također primjenjuju u određenom redosljedu kako bi i neinvazivni („blaži“) uvjeti obrade osigurali najbolje rezultate s ciljem produljenja roka trajanja i očuvanja senzorske te nutritivne kvalitete (Khan i sur., 2017; Singh i Shalini., 2014). Tablica 5. prikazuje odabrane primjere primjene tehnologija preprekama u obradi funkcionalnih voćnih sokova i napitaka unazad posljednjih 5 godina.

**Tablica 5.** Primjena tehnologije preprekama u tretmanu funkcionalnih voćnih sokova i napitaka u posljednjih 5 godina

Uzorak	Tehnologija preprekama	Zaključci	Referenca
Prebiotički sok od brusnice	HPP 5 min (450 MPa) i ultrazvučni tretman	Kombinirani tretman US i HPP je prikladan za obradu prebiotičkih	Gomes i sur. (2017)

<b>obogaćen frukto-oligosaharidima (FOS)</b>	(US) 5 min (18 kHz, 500 W, 600 i 1200 WL <sup>-1</sup> ), te ponovno HPP 5 min (450 MPa).	sokova. Kombinacija ultrazvuka (1200 WL <sup>-1</sup> ) i HPP-a je dovela do povećanja količine derivata cijanidina, peonidina i malvidina.	
<b>Sok od jabuke komercijalni (CAJ) i svježe prešani sok (NAJ)</b>	Kontinuirani protok kroz pulsirajuće svjetlosne sustave: PLc - 0,73 Jcm <sup>-2</sup> , 155 mL min <sup>-1</sup> EEO - 1,8×10 <sup>3</sup> – 4,1×10 <sup>3</sup> kW h/m <sup>3</sup> /slijed)  samostalno ili u kombinaciji s US: 30 min EEO - 4,4×10 <sup>5</sup> – 1,1×10 <sup>5</sup> kW h/m <sup>3</sup> /slijed) na sobnoj temperaturi.  Hladno skladištenje (4°C): 12 dana	PLc tretman nije uzrokovao razlike između uzoraka CAJ i NAJ, te je rezultirao mikrobnom redukcijom prosječno za 1,8–4,2 log. Dobiveni rezultati pokazali su da je kombinacijom US + PLc smanjenja koncentracija mikroba za 3,7–6,3 log, kao i stupanj posmeđivanja tijekom skladištenja. Obrađeni NAJ sok pozitivno je ocijenila skupina potrošača, koji su pohvalili svježiji prirodni okus soka od jabuke.	Ferrario i Guerrero (2016)
<b>Sok od jagoda obogaćen vlaknima (oligofruktoza)</b>	Ultrazvuk (US): 40 kHz, 180 W Vrijeme sonifikacije : 0, 15, 30 min Vanillin: 0-1.25 mg/mL Formulacija soka: inulin/oligofruktoza = 1:3, 1:1, 3:1 , Hladno skladištenje: 14 dana	Neovisno o US tretmanu i dodatku prebiotika, mikrobnost aktivnost značajno je ovisila o dodatku vanilina. Dodatak vanilina u kombinaciji s US-tretmanom rezultirali su značajnim promjenama senzorskih karakteristika tretiranih sokova. Optimalni uvjeti prepreka: 1,25 mg/mL vanilina, 7,5 min i omjer inulin : oligofruktoza = 5 : 3.	Cassani i sur. (2017)
<b>Sok od kiwija</b>	Ultrazvuk (US): 40 kHz, 180 W Vrijeme sonifikacije: 10 min (US 10) 30 min (US 30) T <20°C Ekstrakt šipka (PE) 180 µg/mL  US10 + PE180 US30 + PE180  Hladno skladištenje: 0, 2 i 7 dana	Nakon 7 dana skladištenja, u sokovima US10 i US30 je utvrđena značajna redukcija broja kvasca i plijesni u usporedbi s kontrolnim uzorcima (smanjenje 0,96 odnosno 1,40 log). Dodavanje druge tehnologije preprekama (ekstrakt šipka) povećalo je učinkovitost mikrobne inaktivacije, što znači da se kraći US tretman može primijeniti na sok u kombinaciji s dodatkom ekstrakta. Kombinacijom US+PE može se poboljšati zadržavanje AA. Ova tehnologija preprekama pokazala je potencijal za uporabu u industriji voćnih sokova.	Tomadoni i sur. (2017.)
<b>Sok od jabuke</b>	Ultrazvuk (US): 40 kHz, 700 W, Vrijeme sonifikacije: 1, 2, 3, 4, 5 min Fumarna kiselina (FA): 0 %, 0,05 %, 0,1 %, i	Kombinacijom US + 0,15 % FA u 5 minuta postignuto je smanjenje s 5,67 na 1,55 log ( <i>E. coli</i> O157:H7), 6,35 na 2,37 log ( <i>S. Typhimurium</i> ) i 3,47 na 0,57 log ( <i>L. monocytogenes</i> ) CFU.	Park i Ho. (2019)

	0,15 % (w/v)	US + 0,15 % FA tretman (5 min) nije utjecao na kvalitetu proizvoda. Dobiveni rezultati pokazuju da je istovremena primjena US i FA dobar novi pristup za osiguravanje mikrobne sigurnosti soka od jabuke.	
--	--------------	---	--

Skraćenice: AA – antioksidacijska aktivnost

Jedan od glavnih problema u proizvodnji voćnih sokova predstavlja posmeđivanje. Da bi se izbjegle negativne promjene boje, sok od jabuke je tretiran HPP-om s dodatkom  $\alpha$ - i  $\beta$ -ciklodekstrina (CD). Ciklodekstrini su dopušteni kao aditivi u prehrambenoj industriji kao prirodna sredstva protiv posmeđivanja u sokovima od voća i povrća (Astray i sur., 2009).  $\alpha$ - i  $\beta$ -CD su odobreni kao aditivi u hrani u EU, SAD-u i Japanu, a EU je  $\alpha$ -CD klasificirala kao novu hranu (Astray i sur., 2009; Mortensen i sur., 2016). Za  $\beta$ -CD (E459) je utvrđen prihvatljiv dnevni unos od 5 mg kg<sup>-1</sup> tjelesne težine.

U jednom istraživanju su različitim voćnim sokovima dodani  $\alpha$ -(10, 30 i 40 mM) i  $\beta$ -CD-a (5, 10, i 15 mM). Uzorci pojedinog soka bili su izloženi HPP-u (300, 400 i 500 MPa, 5 minuta, 22 °C), a posmeđivanje je praćeno mjerenjem parametara boje putem CIELab metode. Rezultati su pokazali da HPP tretman nije uzrokovao značajne promjene u boji. Razine fenola su bile više u HPP uzorcima, vjerojatno jer je ova tehnologija pospješila ekstrakciju BAS-a iz voćnog tkiva. Većina je uzoraka uz dodatak 30 mM  $\alpha$ -CD pokazala najveću otpornost prema posmeđivanju, neovisno o primijenjenom tlaku. Uzorci s dodanih 10 mM  $\alpha$ -CD-a su također imali nizak indeks posmeđivanja, ali uz tretmane pri 400–500 MPa. Zaključeno je da su se enzimi posmeđivanja razgradili prilikom izlaganja HPP-u i s dodatkom  $\alpha$ -CD-a, te su najbolji rezultati postignuti pri izloženosti od 500 MPa i 30 mM  $\alpha$ -CD-a. Za  $\beta$ -CD su najbolji rezultati ostvareni uz koncentraciju od 15 mM, jer se veće koncentracije nisu mogle ispitati poradi ograničene topljivosti u vodi. Autori su zaključili da se najbolji rezultat u smjeru smanjenja posmeđivanja ostvaruje uz primjenu  $\beta$ -CD-a i HPP tretmana od 500 MPa (Snyder i Worobo., 2018).

Rezultati nekih istraživanja su pokazali da se primjenom PEF-a postiže ograničena inaktivacija bakterijskih endospora; međutim, u kombinaciji s toplinskim tretmanom, moguće je postići uspješnu mikrobnu inaktivaciju (Siemer i sur., 2014). Inaktivacija spojeva *Bacillus subtilis* proučavana je u Ringer-ovoj otopini pri različitim pH vrijednostima (4 i 7), razinama šećera (5 % i 10 %), razinama vodljivosti (4 i 15 mS cm<sup>-1</sup>), kao i pri različitim parametrima PEF-a (350kJ kg<sup>-1</sup>, 6–11 kV cm<sup>-1</sup>, 56, 70 i 80 °C). Rezultati su pokazali da je uspješna inaktivacija mikroba (3-log redukcija) postignuta s višom ulaznom temperaturom (80 °C), 9 kV cm<sup>-1</sup> i 10



% udjela šećera (Siemer i sur., 2014a). Uz to, utvrđeno je da su spore *Bacillus subtilis* osjetljivije na toplinu u kiselom mediju (Siemer i sur., 2014b).

Kombinirana primjena različitih tehnologija (ultrazvuk, toplina, tlak) na inaktivaciju *Escherichia coli* O157:H7 i POD te stabilnost antocijana dodatno je istražena u soku od borovnica (Zhu i sur., 2017). Sokovi su najprije tretirani pri različitim temperaturama (30, 40, 50, 60, 70, i 80 °C) i snagama ultrazvuka (280, 420, 560, i 700 W) tijekom 10 min. Slijedeća prepreka sastojala se u tretiranju uzoraka pri različitim snagama ultrazvuka i umjerenim temperaturama kroz 10 minuta. Naposljetku su uzorci podvrgnuti slijedećim tretmanima: HT (80°C), TS (40°C, 560W), MT (350MPa, 40°C), MS (560W, 5min/350MPa), i MTS (560W, 5min, 40°C/350MPa, 40°C) tijekom 5, 10, 15 i 20 min za svaki navedeni tretman. HT je značajno inaktivirao PPO (2,05 % zaostale aktivnosti nakon samo 5 minuta), značajno reducirao *E. coli* O157:H7 (2-log redukcija) te osigurao dobru stabilnost antocijana uz prosječne gubitke od oko 15 %. TS tretman je reducirao *E. coli* O157:H7 (0,17 log redukcija) nakon svega 5 minuta tretmana, pri čemu je zaostala POD aktivnost iznosila 23,36 %, uz odličnu stabilnost antocijana (gubici 1-2 %). Ipak, kombinirani tretmani su se pokazali najučinkovitijim, kako u mikrobnoj redukciji i enzimskoj inaktivaciji, tako i u očuvanju koncentracije antocijana.

Nadalje, kombinirani učinci ultrazvuka i PEF-a ispitani su u procjeni kvalitete soka od grejpa (Aadil i sur., 2015). Sok je prvotno tretiran PEF-om (1 kHz, 20 kV cm<sup>-1</sup>, 600 μs, T < 45 °C), a potom ultrazvukom pomoću ultrazvučne kupelji (28 kHz, 420 W, 20 °C, 30 min). Dobiveni rezultati pokazali su da kiselost, sadržaj topljive suhe tvari, pH, električna vodljivost i parametri boje nakon tretmana nisu značajno promijenjeni u odnosu na kontrolni (netretirani) uzorak. Kako je ovaj koncept prepreka doveo do smanjene viskoznosti i povećane optičke gustoće soka u usporedbi s kontrolnim uzorcima, pa su autori zaključili da se za preradu soka od grejpa može koristiti kombinirani tretman PEF-om i ultrazvukom.

Nedavno istraživanje kombiniralo je uporabu HHP-a, ultrazvuka i toplinske obrade pri 75 °C kako bi se postigla inaktivacija spora *Alicyclobacillus acidoterrestris* u soku od jabuke. Sok je prethodno tretiran pri 600 MPa tijekom 15 minuta kako bi se djelomično oštetile spore. Zatim, djelomično oštećene spore su bile izložene ultrazvuku snage 24 kHz i 20,2 W mL<sup>-1</sup> tijekom 60 minuta do postizanja konačne redukcije spora od 4,2 log. Unatoč tome, utvrđeno je da je tretman HPP/75 °C najučinkovitiji za inaktivaciju spora, pri čemu je došlo do 3,3-log redukcije spora nakon 10 minuta u odnosu na termosonifikaciju (TS) i toplinsku obradu (Evelyn Kim i Silva, 2016).

Ispitano je kako kombinirani tretman s ultrazvukom i HPP-om utječe na enzime (POD, PPO i PME), fizikalno-kemijska svojstva, bioaktivne spojeve, antioksidacijsko djelovanje i mikroorganizme u soku od jabuke (Abid i sur., 2014). Kombinirani tretman započeo je s ultrazvukom (25 kHz, 70 % amplituda) na 20 °C tijekom 60 minuta, nakon čega je uslijedio HPP tretman na 250, 350 i 450 MPa tijekom 10 minuta na sobnoj temperaturi. Dobiveni rezultati pokazuju da je kombinirani tretman pri 450 MPa rezultirao najvećom inaktivacijom enzima i potpunom mikrobnom inaktivacijom. Također, sinergističkim učincima zajedničkog djelovanja ostvarena je značajna stabilnost fenolnih spojeva, askorbinske kiseline, antioksidacijske aktivnosti te parametara boje u soku.

### **3. ZAKLJUČCI**

Funkcionalne voće sokove moguće je proizvesti dodatkom različitih funkcionalnih komponenata, što povećava vrijednost soka i njegov pozitivan učinak na zdravlje. Kako bi funkcionalan voćni sok zadovoljavao zahtjeve potrošača, poželjno je da uz visoku nutritivnu vrijednost, bude minimalno obrađen te da ima produženi rok trajanja. Konvencionalne toplinske metode obrade, poput pasterizacije osiguravaju dobru mikrobnu inaktivaciju. Unatoč tome, narušavaju i nutritivnu i/ili senzorsku kvalitetu proizvoda, stoga se u novije vrijeme za obradu funkcionalnih voćnih sokova sve češće primjenjuju inovativne tehnologije kao što je tehnologija „prepekama“. Primjenom ove tehnologije moguće je međusobno kombinirati različite netoplnske tehnologije ili kombinirati jednu od njih s toplinskim tretmanom čime se može proizvesti funkcionalni voćni sok visoke kvalitete i produžene trajnosti. Nadalje, prema rezultatima nekih literaturnih istraživanja primjenom tehnologije „prepekama“ nativna nutritivna kvaliteta i boja sokova su bolje očuvane te je u nekim sokovima čak došlo i do povećanja koncentracije bioaktivnih spojeva. Prema dosadašnjim znanstvenim rezultatima utvrđeno je da se primjenom tehnologije „prepekama“ dobiva proizvod koji je mikrobiološki stabilan te koji svojim nutritivnim i senzorskim svojstvima odgovara današnjim zahtjevima tržišta. Očekuje se da će se daljnjim istraživanjem i razvojem tehnologije „prepekama“ proširiti njena primjena u industrijskoj obradi funkcionalnih voćnih sokova.

## 4. LITERATURA

- Aaby K., Grimsbo I.H., Hovda M.B., Rode T.M. (2018) Effect of high pressure and thermal processing on shelf life and quality of strawberry purée and juice. *Food Chemistry* **260**: 115 – 123.
- Aadil R.M., Zeng X.A., Sun D.W., Wang M.S., Liu Z.W., Zhang Z.H. (2015) Combined effects of sonication and pulsed electric field on selected quality parameters of grapefruit juice. *LWT - Food Science and Technology* **62**: 890 – 893.
- Aadil R.M., Khalil A.A., Rehman A., Khalid A., Inam-ur-Raheem M., Karim A., Gill A.A., Abid M., Afraz M.T. (2020) Assessing the impact of ultra-sonication and thermo-ultrasound on antioxidant indices and polyphenolic profile of apple-grape juice blend. *Journal of Food Processing and Preservation* **44(5)**: 1 – 11.
- Abera, G. (2019) Review on high-pressure processing of foods. *Cogent Food & Agriculture* **5**: 1568725.
- Abid M., Jabbar S., Hu B., Hashim M.M., Wu T., Wu Z., Khan M.A., Zeng X. (2014) Synergistic impact of sonication and high hydrostatic pressure on microbial and enzymatic inactivation of apple juice. *LWT - Food Science and Technology* **59**: 70 – 76.
- Astray G., Gonzalez-Barreiro C., Mejuto J.C., Rial-Otero R., Simal-Gándara J. (2009) A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids* **23**: 1631 – 1640.
- Bai J., Ren Y., Li Y., Fan M., Qian H., Wang L., Wu G., Zhang H., Qi X., Xu M., Rao Z. (2019) Physiological functionalities and mechanisms of  $\beta$ -glucans. *Trends in Food Science and Technology* **88**: 57 – 66.

- Barba F.J., Parniakov O., Pereira S.A., Wiktor A., Grimi N., Boussetta N., Saraiva J.A., Raso J., Martin-Belloso O., Witrowa-Rajchert D., Lebovka N., Vorobiev E. (2015) Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International* **77**: 773 – 798.
- Barba F.J., Putnik P., Bursać Kovačević D., Poojary M.M., Roohinejad S., Lorenzo J.M., Koubaa M. (2017) Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (*Opuntia* spp.) and their derived products: From preservation of beverages to valorization of by-products. *Trends in Food Science & Technology* **67**: 260 - 270.
- Barbosa-Cánovas G.V. (1998) *Nonthermal Preservation of Foods*, Marcel Dekker: New York, NY, USA, str. 276.
- Bendicho S., Espachs A., Arantegui J., Martin O. (2002) Effect of high intensity pulsed electric fields and heat treatments on vitamins of milk. *Journal of Dairy Research* **69**: 113 – 123.
- Bogue J., Collins O., Troy A.J. (2017) Market analysis and concept development of functional foods U: *Developing New Functional Food and Nutraceutical Products*, 1.izd., Bagchi D., Nair S., Academic Press: Cambridge, str. 29 – 45.
- Bozbulut R., Sanlier N. (2019) Promising effects of  $\beta$ -glucans on glyceamic control in diabetes. *Trends in Food Science and Technology* **83**: 159 – 166.
- Bursać Kovačević D., Bilobrk J., Buntić B., Bosiljkov T., Karlović S., Rocchetti G., Lucini L., Barba F.J., Lorenzo J.M., Putnik P. (2019) High power ultrasound altered the polyphenolic content and antioxidant capacity in cloudy apple juice during storage. *Journal of Food Processing and Preservation* **43(8)**: e14023.
- Bursać Kovačević D., Brdar D., Fabčić P., Barba F.J., Lorenzo J.M., Putnik P. (2020) Strategies to achieve a healthy and balanced diet: Fruits and vegetables as a natural source of bioactive compounds. U: *Agri-Food Industry Strategies for Healthy Diets and Sustainability*, 1. izd., Barba F.J., Putnik P., Bursać Kovačević D., Academic Press, str. 51 - 88.
- Bursać Kovačević D., Kljusurić J.G., Putnik P., Vukušić T., Herceg Z., Dragović-Uzelac V. (2016) Stability of polyphenols in chokeberry juice treated with gas phase plasma. *Food Chemistry* **212**: 323 – 331.
- Bursać Kovačević D., Maras M., Barba F.J., Granato D., Roohinejad S., Mallikarjunan P., Montesano D., Putnik P. (2018) Innovative technologies for the recovery of phytochemicals from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves: A review. *Food Chemistry* **268**: 513 – 521.

- Buscemi S., Corleo D., Di Pace F., Petroni M., Satriano A., Marchesini G. (2018) The effect of lutein on eye and extra-eye health. *Nutrients* **10(9)**: e1321.
- Cao X., Cai C., Wang Y., Zheng X. (2019) Effects of ultrasound processing on physicochemical parameters, antioxidants, and color quality of bayberry juice. *Journal of Food Quality* **2019**: 1 - 12.
- Carbonell-Capella J.M., Buniowska M., Cortes C., Zulueta A., Frigola A., Esteve M.J. (2017) Influence of pulsed electric field processing on the quality of fruit juice beverages sweetened with *Stevia rebaudiana*. *Food and Bioprocesses Processing* **101**: 214 – 222.
- Cassani L., Tomadoni B., Moreira M.R., Ponce A., Agüero M.V. (2017) Optimization of inulin: Oligofructose proportion and non-thermal processing to enhance microbiological and sensory properties of fiber-enriched strawberry juice. *LWT - Food Science and Technology* **80**: 446 – 455.
- Chakdar H., Pabbi S. (2017) Algal pigments for human health and cosmeceuticals U: Algal Green Chemistry: Recent Progress in Biotechnology, 1.izd., Rastogi R., Madamwar D., Pandey A., Elsevier, str. 171 – 188.
- Chakraborty S., Kaushik N., Rao P.S., Mishra H.N. (2014) High-pressure inactivation of enzymes: A review on its recent applications on fruit purees and juices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **13**: 578 – 596.
- Chang Y.H., Wu S.J., Chen B.Y., Huang H.W., Wang C.Y. (2017) Effect of high-pressure processing and thermal pasteurization on overall quality parameters of white grape juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **97**: 3166 – 3172.
- Condón-Abanto S., Arroyo C., Álvarez I., Condón S., Lyng J.G. (2016) Application of ultrasound in combination with heat and pressure for the inactivation of spore forming bacteria isolated from edible crab (*Cancer pagurus*). *International Journal of Food Microbiology* **223**: 9 – 16.
- Costa-Rodrigues J., Pinho O., Monteiro P.R.R. (2018) Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease? *Food Chemistry* **245**: 1148 – 1153.
- De Piano A., Masquio D.C.L., Dâmaso A.R. (2019) The effects of soy products and isoflavones in metabolic syndrome and nonalcoholic fatty liver disease U: Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes, 2. izd, Watson R., Preedy V.R., Elsevier, str. 121 – 136.

- Deliza R. (2018) Consumer perception of novel technologies U: Fruit Preservation - Novel and Conventional Technologies, 1. izd., Rosenthal A., Deliza R., Welte-Chanes J., Barbosa-Cánovas G.V., Springer: New York, str. 1 – 20.
- Dixit Y., O'Sullivan C., Cullen P. J., Tiwari B. K. (2018) Hurdle technologies for fruit juices U: Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis, 1.izd., Rajauria G., Tiwari B.K., Academic Press: Cambridge, str. 539 – 554.
- Duru K.C., Kovaleva E.G., Danilova I.G., Van Der Bijl P., Belousova A.V. (2018) The potential beneficial role of isoflavones in type 2 diabetes mellitus. *Nutrition Research* **59**: 1 – 15.
- Ejtahed H.S., Angoorani P., Soroush A.R., Atlasi R., Hasani-Ranjbar S., Mortazavian A.M., Larijani B. (2019) Probiotics supplementation for the obesity management; a systematic review of animal studies and clinical trials. *Journal of Functional Foods* **52**: 228 – 242.
- Elizondo-Montemayor L., Hernández-Brenes C., Ramos-Parra P.A., Moreno-Sánchez D., Nieblas B., Rosas-Pérez A.M., Lamadrid-Zertuche A.C. (2015) High hydrostatic pressure processing reduces the glycemic index of fresh mango puree in healthy subjects. *Food & Function* **6**: 1352 – 1360.
- European Fruit Juice Association. Liquid Fruit Market Report. Zagreb. 2017. <<http://www.aijn.org/publications/facts-and-figures/aijn-market-reports/>> Pristupljeno 17. travnja 2020.
- Evelyn Kim H.J., Silva F.V.M. (2016) Modeling the inactivation of *Neosartorya fischeri* ascospores in apple juice by high pressure, power ultrasound and thermal processing. *Food Control* **59**: 530 – 537.
- Evrendilek G.A. (2016) Change regime of aroma active compounds in response to pulsed electric field treatment time, sour cherry juice apricot and peach nectars, and physical and sensory properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **33**: 195 – 205.
- Evrendilek G.A. (2017) Impacts of pulsed electric field and heat treatment on quality and sensory properties and microbial inactivation of pomegranate juice. *Food Science and Technology International* **23**: 668 – 680.
- Ferrario M., Guerrero S. (2016) Effect of a continuous flow-through pulsed light system combined with ultrasound on microbial survivability, color and sensory shelf life of apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **34**: 214 – 224.

- Fernandes Pereira A.L. (2018) Turning fruit juice into probiotic beverages U: Fruit Juices Extraction, Composition, Quality and Analysis, 1. izd., Rajauria G., Tiwari B., Academic Press: Cambridge, str. 279 – 285.
- Fraga C.G., Croft K.D., Kennedy D.O., Tomás-Barberán F.A. (2019) The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food & Function* **10**: 514 – 528.
- Frece J. (2007) Sinbiotički Učinak Bakterija: *Lactobacillus acidophilus* M92, *Lactobacillus plantarum* L4 i *Enterococcus faecium* L3. Doktorska disertacija. Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Frece J., Kos B., Beganović J., Vuković S., Šušković J. (2005) *In vivo* testing of functional properties of three selected probiotic strains. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **21**: 1401 – 1408.
- Gabrić D., Barba F.J., Roohinejad S., Gharibzahedi S.M.T., Radojčin M., Putnik P., Bursać Kovačević D. (2017) Pulsed electric fields as an alternative to thermal processing for preservation of nutritive and physicochemical properties of beverages: A review. *Journal of Food Process Engineering* **41(1)**: 12638 - 12638.
- Galanakis C.M., Martinez-Saez N., del Castillo M.D., Barba F.J., Mitropoulou V.S. (2015) Patented and commercialized applications U: Food Waste Recovery-Processing Technologies and Industrial Techniques, 1.izd., Galanakis C.M., Academic Press: Cambridge, str. 321 – 361.
- Gambini J., Inglés M., Olaso G., Lopez-Grueso R., Bonet-Costa V., Gimeno-Mallench L., Mas-Bargues C., Abdelaziz K.M., Gomez-Cabrera M.C., Vina J., Borrás C. (2015) Properties of resveratrol: in vitro and in vivo studies about metabolism, bioavailability, and biological effects in animal models and humans. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* **2015**: 837042.
- Giacoppo S., Galuppo M., Montaut S., Iori R., Rollin P., Bramanti P., Mazzon E. (2015) An overview on neuroprotective effects of isothiocyanates for the treatment of neurodegenerative diseases. *Fitoterapia* **106**: 12 – 21.
- Gylling H., Plat J., Turley S., Ginsberg H.N., Ellegård L., Jessup W., Jones P.J., Lütjohann D., Maerz W., Masana L., Silbernagel G., Staels B., Borén J., Catapano A.L., De Backer G., Deanfield J., Descamps O.S., Kovanen P.T., Piccardi G., Tokgözoğlu L., Chapman M.J. (2014) Plant sterols and plant stanols in the management of dyslipidaemia and prevention of cardiovascular disease. *Atherosclerosis* **232**: 346 – 360.

- Gomes W.F., Tiwari B.K., Rodriguez Ó., de Brito E.S., Fernandes F.A.N., Rodrigues S. (2017) Effect of ultrasound followed by high pressure processing on prebiotic cranberry juice. *Food Chemistry* **218**: 261 – 268.
- Granato D., Nunes D.S., Barba F.J. (2017) An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. *Trends in Food Science & Technology* **62**: 13 – 22.
- Granato D., Barba F.J., Bursać Kovačević D., Lorenzo J.M., Cruz A.G., Putnik P. (2019) Functional Foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology* **11(3)**: 1 - 26.
- Granato D., Barba F.J., Bursać Kovačević D., Lorenzo J.M., Cruz A.G., Putnik P. (2020) Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science Technology* **11**: 93 – 118.
- Herceg Z., Bursać Kovačević D., Kljusurić J.G., Režek Jambrak A., Zorić Z., Dragović Uzelac V. (2016) Gas phase plasma impact on phenolic compounds in pomegranate juice. *Food Chemistry* **190**: 665 – 672.
- Jakobek L., Šeruga M., Medvidović-Kosanović M., Novak I. (2007) Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juices. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* **103**: 58 – 64.
- Jayachandran M., Chen J., Chung S.S.M., Xu B. (2018) A critical review on the impacts of  $\beta$ -glucans on gut microbiota and human health. *Journal of Nutritional Biochemistry* **61**: 101 – 110.
- Kassaian N., Feizi A., Aminorroaya A., Amini M. (2018) Probiotic and synbiotic supplementation could improve metabolic syndrome in prediabetic adults: a randomized controlled trial. *Diabetes and Metabolic Syndrom* **13(5)**: 2991– 2996.
- Kazemi A., Noorbala A.A., Azam K., Djafarian K. (2019) Effect of prebiotic and probiotic supplementation on circulating pro-inflammatory cytokines and urinary cortisol levels in patients with major depressive disorder: a double-blind, placebo-controlled randomized clinical trial. *Journal of Functional Foods* **52**: 596 – 602.
- Khan I., Tango C.N., Miskeen S., Lee B.H., Oh D.H. (2017) Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety—A review. *Food Control* **73**: 1426 – 1444.
- Kim J.K., (2016) An update on the potential health benefits of carotenes. *EXCLI Journal* **15**: 1 – 4.
- Kim J.K., Park S.U., (2016) Current results on the potential health benefits of lutein. *EXCLI Journal* **15**: 308 – 314.



- Kiyama R. (2016) Biological effects induced by estrogenic activity of lignans. *Trends in Food Science and Technology* **54**: 186 – 196.
- Kostelac D., Putnik P., Markov K., Frece J., Bursać Kovačević D. (2019). Effects of electrotechnologies on enzymes in foods and food model systems. *Current Opinion in Food Science* **31**: 47 - 56.
- Koubaa M., Barba F.J., Bursać-Kovačević D., Putnik P., Santos M.D., Queirós R.P., Moreira S.A., Inácio R.S., Fidalgo L.G., Saraiva J.A. (2018) Pulsed electric field processing of fruit juices U: Fruit juices, 1.izd., Rajauria G., Tiwari B.K., Academic Press: Cambridge, str. 437 - 449.
- Kuršvietiene L., Stanevičiene I., Mongirdiene A., Bernatoniene J. (2016) Multiplicity of effects and health benefits of resveratrol. *Medicina* **52**: 148 – 155.
- Li S., Xiao J., Chen L., Hu C., Chen P., Xie B., Sun Z. (2012) Identification of A-series oligomeric procyanidins from pericarp of *Litchi chinensis* by FT-ICR-MS and LC-MS. *Food Chemistry* **135**: 31 – 38.
- López-Biedma A., Sánchez-Quesada C., Delgado-Rodríguez M., Gaforio J.J. (2016) The biological activities of natural lignans from olives and virgin olive oils: a review. *Journal of Functional Foods* **26**: 36 – 47.
- López-Pedrouso M., Bursać Kovačević D., Oliviera D., Putnik P., Moure A., Lorenzo J.M., Domínguez H., Franco D. (2020) In vitro and in vivo antioxidant activity of anthocyanins U: Anthocyanins – Antioxidant properties, sources and health benefits, 1.izd., Lorenzo J.M., Barba F.J., Munekata P., Nova Science Publishers, Inc.: New York, str. 169 – 204.
- Lorenzo J.M., Munekata P.E., Putnik P., Bursać Kovačević D., Muchenje V., Barba F.J. (2018) Sources, chemistry and biological potential of ellagitannins and ellagic acid derivatives U: Studies in Natural Product Chemistry, 1.izd., Atta-ur-Rahman., Elsevier, str. 189 - 221.
- Margean A., Lupu M.I., Alexa E., Padureanu V., Canja C.M., Cocan I., Negrea M., Calefariu G., Poiana M.A. (2020) An overview of effects induced by pasteurization and high-power ultrasound treatment on the quality of red grape juice. *Molecules* **25(7)**: 1669.
- Martins I.B.A., Oliveira D., Rosenthal A., Ares G., Deliza R. (2019) Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International* **125**: 108555.

- Martins E.M.F., Ramos A.M., Vanzela E.S.L., Stringheta P.C., de Oliveira Pinto C.L., Martins J.M. (2013) Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International* **51**: 764 – 770.
- Mason T.J. (2003) Sonochemistry and sonoprocessing: The link, the trends and (probably) the future. *Ultrasonics Sonochemistry* **10**: 175 – 179.
- Mitsiogianni M., Amery T., Franco R., Zoumpourlis V., Pappa A., Panayiotidis M.I. (2018) From chemoprevention to epigenetic regulation: the role of isothiocyanates in skin cancer prevention. *Pharmacology and Therapeutics* **190**: 187 – 201.
- Moreira R.M., Martins M.L., Leite Júnior B.R.d.C., Martins E.M.F., Ramos A.M., Cristianini M., Campos A.N.D.R., Stringheta P.C., Silva V.R.O., Canuto J.W., Oliveira D., Pereira D. (2017) Development of a juçara and Ubá mango juice mixture with added *Lactobacillus rhamnosus* GG processed by high pressure. *LWT - Food Science and Technology* **77**: 259 – 268.
- Moriwaki Y., Okuda C., Yamamoto A., Ka T., Tsutsumi Z., Takahashi S., Yamamoto T., Kitadate K., Wakame K. (2011) Effects of Oligonol®, an oligomerized polyphenol formulated from lychee fruit, on serum concentration and urinary excretion of uric acid. *Journal of Functional Foods* **3**: 13 – 16.
- Musina O., Putnik P., Koubaa M., Barba F.J., Greiner R., Granato D., Roohinejad S. (2017) Application of modern computer algebra systems in food formulations and development: A case study. *Trends in Food Science & Technology* **64**: 48 – 59.
- Mtaoua H., Sánchez-Vega R., Ferchichi A., Martín-Belloso O. (2017) Impact of high-intensity pulsed electric fields or thermal treatment on the quality attributes of date juice through storage. *Journal of Food Processing and Preservation* **41(4)**: e13052.
- Nikmaram N., Roohinejad S., Hashemi S., Koubaa M., Barba F.J., Abbaspourrad A., Greiner R. (2017) Emulsion-based systems for fabrication of electrospun nanofibers: food, pharmaceutical and biomedical applications. *RSC Advances* **7**: 28951 – 28964.
- Nicolesco C.L., Buruleanu L.C. (2010) Correlation of some substrate parameters in growing *Lactobacillus acidophilus* on vegetable and fruit cocktail juices. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca* **67**: 352 – 359.
- Nualkaekul S., Charalampopoulos D. (2011) Survival of *Lactobacillus plantarum* in model solutions and fruit juices. *International Journal of Food Microbiology* **146**: 111 – 117.

- Önür İ., Misra N.N., Barba, F.J., Putnik P., Lorenzo J.M., Gökmen V., Alpas H. (2018) Effects of ultrasound and high pressure on physicochemical properties and HMF formation in Turkish honey types. *Journal of Food Engineering* **219**: 129 – 136.
- Ordóñez-Santos L.E., Martínez-Girón J., Arias-Jaramillo M.E. (2017) Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. *Food Chemistry* **233**: 96 – 100.
- Pannu N., Bhatnagar A. (2019) Resveratrol: from enhanced biosynthesis and bioavailability to multitargeting chronic diseases. *Biomedicine and Pharmacotherapy* **109**: 2237 – 2251.
- Park J.S., Ha J.W. (2019) Ultrasound treatment combined with fumaric acid for inactivating food-borne pathogens in apple juice and its mechanisms. *Food Microbiology* **84**: 103277
- Patel A.R. (2017) Probiotic fruit and vegetable juices-recent advances and future perspective. *International Food Research Journal* **24**: 1850 – 1857.
- Patras A., Tiwari B., Brunton N., Butler F. (2009) Modelling the effect of different sterilization treatments on antioxidant activity and color of carrot slices during storage. *Food Chemistry* **114**: 484 – 491.
- Petrus R., Churey J., Worobo R. (2020) Searching for high pressure processing parameters for *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* reduction in Concord grape juice. *British Food Journal* **122**: 170 – 180.
- Petrucci L., Campaniello D., Speranza B., Corbo M.R., Sinigaglia M., Bevilacqua A. (2017) Thermal treatments for fruit and vegetable juices and beverages: A literature overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **16**: 668 – 691.
- Plat J., Baumgartner S., Vanmierlo T., Lütjohann D., Calkins K.L., Burrin D.G., Guthrie G., Thijs C., Te Velde A.A., Vreugdenhil A.C.E., Sverdlov R., Garssen J., Wouters K., Trautwein E.A., Wolfs T.G., van Gorp C., Mulder M.T., Riksen N.P., Mensink R.P. (2019) Plant-based sterols and stanols in health & disease: "Consequences of human development in a plant-based environment?" *Progress in Lipid Research* **74**: 87 – 102.
- Putnik P., Bursać Kovačević D., Režek Jambrak A., Barba F., Cravotto G., Barba F., Cravotto G., Binello A., Shpigelman A. (2017) Innovative "green" and novel strategies for the extraction of bioactive added value compounds from citrus wastes: a review. *Molecules* **22(5)**: e680.

- Putnik P., Lorenzo J., Barba F., Roohinejad S., Režek Jambrak A., Granato D., Montesano D., Bursać Kovačević D. (2018) Novel food processing and extraction technologies of high-added value compounds from plant materials. *Foods* **7**: 106.
- Putnik P., Pavlič B., Šojić B., Zavadlav S., Žuntar I., Kao L., Kitonić D., Bursać Kovačević D. (2020) Innovative hurdle technologies for the preservation of functional fruit juices. *Foods* **9(6)**: 699.
- Qin Y. (2018) Health benefits of bioactive seaweed substances U: Bioactive Seaweeds for Food Applications: Natural Ingredients for Healthy Diets, 1.izd., Qin Y., Academic: London, str. 179 – 200.
- Quan W., Tao Y., Lu M., Yuan B., Chen J., Zeng M., Qin F., Guo F., He Z. (2018) Stability of the phenolic compounds and antioxidant capacity of five fruit (apple, orange, grape, pomelo and kiwi) juices during *in vitro*-simulated gastrointestinal digestion. *International Journal of Food Science and Technology* **53**: 1131 – 1139.
- Rahman S.M.E., Jin Y.G., Oh D.H. (2010) Combined effects of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to control microorganisms on cabbage. *Journal of Food Science* **75**: 111 – 115.
- Rahman M.S. (2015) Hurdle technology in food preservation. U: Minimally Processed Foods-Technologies for Safety, Quality, and Convenience, 1. izd., Wasim, S.M., Rahman, S., Springer: New York, str. 17 – 33.
- Rasouli H., Farzaei M.H., Khodarahmi R. (2017) Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties* **20**: 1 – 42.
- Rezazadeh L., Gargari B.P., Jafarabadi M.A., Alipour B. (2019) Effects of probiotic yogurt on glycemic indexes and endothelial dysfunction markers in patients with metabolic syndrome. *Nutrition* **62**: 162 – 168.
- Rivera-Mancía S., Trujillo J., Chaverri J.P. (2018) Utility of curcumin for the treatment of diabetes mellitus: evidence from preclinical and clinical studies. *Journal of Nutrition and Intermediary Metabolism* **14**: 29 – 41.
- Rodríguez-Concepcion M., Avalos J., Bonet M.L., Boronat A., Gomez-Gomez L., Hornero-Mendez D., Limon M.C., Meléndez-Martínez A.J., Olmedilla-Alonso B., Palou A., Ribot J., Rodrigo M.J., Zacarias L., Zhu C. (2018) A global perspective on carotenoids: metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research* **70**: 62 – 93.
- Rodríguez-Roque M.J., de Ancos B., Sánchez-Moreno C., Cano, M.P., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O. (2015a) Impact of food matrix and processing on the *in vitro*

bioaccessibility of vitamin C, phenolic compounds, and hydrophilic antioxidant activity from fruit juice-based beverages. *Journal of Functional Foods* **14**: 33 – 43.

- Rodríguez-Roque M.J., de Ancos B., Sánchez-Vega R., Sánchez-Moreno C., Cano M.P., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O. (2015b) Food matrix and processing influence on carotenoid bioaccessibility and lipophilic antioxidant activity of fruit juice-based beverages. *Food & Function* **7**: 380 – 389.
- Rojas M.L., Leite T.S., Cristianini M., Alvim I.D., Augusto P.E.D. (2016) Peach juice processed by the ultrasound technology: Changes in its microstructure improve its physical properties and stability. *Food Research International* **82**: 22 – 33.
- Roobab U., Aadil R.M., Madni G.M., Bekhit A.E.D. (2018) The impact of nonthermal technologies on the microbiological quality of juices: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **17**: 437 – 457.
- Roshan H., Ghaedi E., Rahmani J., Barati M., Najafi M., Karimzede M., Nikpayam O. (2019) Effects of probiotics and synbiotic supplementation on antioxidant status: a meta-analysis of randomized clinical trials. *Clinical Nutrition ESPEN* **30**: 81 – 88.
- Saeidinia A., Keihanian F., Butler A.E., Bagheri R.K., Atkin S.L., Sahebkar A. (2018) Curcumin in heart failure: a choice for complementary therapy? *Pharmacological Research* **131**: 112 – 119.
- Salami M., Kouchaki E., Asemi Z., Tamtaji O.R. (2019) How probiotic bacteria influence the motor and mental behaviors as well as immunological and oxidative biomarkers in multiple sclerosis? A double blind clinical trial. *Journal of Functional Foods* **52**: 8 – 13.
- Salehi B., Stojanović-Radić Z., Matejić J., Sharifi-Rad M., Anil Kumar N.V., Martins N., Sharifi-Rad J. (2019) The therapeutic potential of curcumin: a review of clinical trials. *European Journal of Medicinal Chemistry* **163**: 527 – 545.
- Sandate-Flores L., Rostro-Alanis M.d.J., Mancera-Andrade E.I., Esquivel-Hernandez D.A., Brambila-Paz C., Parra-Saldívar R., Welti-Chanes J., Escobedo-Avellaneda Z., Rodríguez-Rodríguez J. (2017) Using high hydrostatic pressures to retain the antioxidant compounds and to reduce the enzymatic activity of a pitaya–pineapple (*Stenocereus sp.–Fragaria ananassa*) beverage. *The Journal of Food Science and Technology* **54**: 611 – 619.
- Shah N.P. (2007) Functional cultures and health benefits. *International Dairy Journal* **17**: 1262 – 1277.
- Sheela T., Suganya R.S. (2012) Studies on anti-diarrhoeal activity of synbiotic plums juice. *International Journal of Scientific and Research Publication* **2**: 1 – 5.

- Shigematsu T., Murakami M., Nakajima K., Uno Y., Sakano A., Narahara Y., Hayashi M., Ueno S., Fujii T. (2010) Bioconversion Of glutamic acid to  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) in brown rice grains induced by high pressure treatment. *Japan Journal of Food Engineering* **11**: 189 – 199.
- Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H.R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. (2016) Inulin: properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers* **147**: 444 – 454.
- Siemer C., Toepfl S., Heinz V. (2014a) Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by pulsed electric fields (PEF) in combination with thermal energy–I. Influence of process- and product parameters. *Food Control* **39**: 163 – 171.
- Siemer C., Toepfl S., Heinz V. (2014b) Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by pulsed electric fields (PEF) in combination with thermal energy II. Modeling thermal inactivation of *B. subtilis* spores during PEF processing in combination with thermal energy. *Food Control* **39**: 244 – 250.
- Silva E.K., Arruda H.S., Pastore G.M., Meireles M.A.A., Saldaña M.D.A. (2020) Xylooligosaccharides chemical stability after high-intensity ultrasound processing of prebiotic orange juice. *Ultrasonics Sonochemistry* **63**: 104942.
- Singh S., Shalini R. (2014) Effect of hurdle technology in food preservation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **56**: 641 – 649.
- Snyder A.B., Worobo R.W. (2018) The incidence and impact of microbial spoilage in the production of fruit and vegetable juices as reported by juice manufacturers. *Food Control* **85**: 144 – 150.
- Subasi B.G., Alpas H. (2017) Effect of high hydrostatic pressure processing and squeezing pressure on some quality properties of pomegranate juice against thermal treatment. *High Pressure Research* **37**: 78 – 92.
- Swamy G.J., Muthukumarappan K., Asokapandian S. (2018) Ultrasound for fruit juice preservation U: Fruit Juices Extraction, Composition, Quality and Analysis, 1.izd., Rajauria G., Tiwari B., Academic Press: Cambridge, str. 451 – 461.
- Szymanowska U., Baraniak B., Bogucka-Kocka A. (2018) Antioxidant, anti-inflammatory, and postulated cytotoxic activity of phenolic and anthocyanin-rich fractions from polana raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruit and juice-in vitro study. *Molecules* **23**: 1812.
- Šušković J., Brkić B., Matošić S. (1997) Mehanizam probiotičkog djelovanja bakterija mliječne kiseline. *Mljekarstvo* **47**: 57 – 73.

- Tapia-Hernández J.A., Del-Toro-Sánchez C.L., Cinco-Moroyoqui F.J., Ruiz-Cruz S., Juárez J., Castro D., Barreras-Urbina C., López-Ahumada G., Rodríguez-Félix F. (2019) Gallic acid-loaded zein nanoparticles by electrospraying process. *Journal of Food Science* **84(4)**: 818 – 831.
- Tiwari B.K. (2015) Ultrasound: A clean, green extraction technology. *Trends in Analytical Chemistry* **71**: 100 – 109.
- Tomadoni B., Cassani L., Viacava G., Moreira M.D.R., Ponce A. (2017) Effect of ultrasound and storage time on quality attributes of strawberry juice. *The Journal of Food Process Engineering* **40(5)**: e12533.
- Traka M.H. (2016) Health benefits of glucosinolates. *Advances in Botanical Research* **80**: 247 – 279.
- Tremarin A., Brandão T.R.S., Silva C.L.M. (2017) Application of ultraviolet radiation and ultrasound treatments for *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores inactivation in apple juice. *LWT-Food Science and Technology* **78**: 138 – 142.
- Vanmierlo T., Bogie J.F.J., Mailleux J., Vanmol J., Lütjohann D., Mulder M., Hendriks J.J.A. (2015) Plant sterols: friend or foe in CNS disorders? *Progress in Lipid Research* **58**: 26 – 39.
- Wang R., Xu P., Yue M., Chen Z., Wang T. (2019) Coordination of Fe (II) to eugenol to engineer self-assembled emulsions by rice proteins for iron fortification. *Journal of Food Science* **84**: 276 – 283.
- Wang J., Wang J., Vanga S.K., Raghavan V. (2020) High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the microstructure, pectin, carbohydrates and rheological properties. *Food Chemistry* **313**: 126121.
- Wibowo S., Essel E.A., De Man S., Bernaert N., Van Droogenbroeck B., Grauwet T., Van Loey A., Hendrickx M. (2019) Comparing the impact of high pressure, pulsed electric field and thermal pasteurization on quality attributes of cloudy apple juice using targeted and untargeted analyses. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **54**: 64 – 77.
- Wu X.D., Liu M.M., Liang X., Hu N., Huang W. (2018) Effects of perioperative supplementation with pro-/ synbiotics on clinical outcomes in surgical patients: a meta-analysis with trial sequential analysis of randomized controlled trials. *Clinical Nutrition* **37**: 505– 515.
- Yoder S.C., Lancaster S.M., Hullar M.A.J., Lampe J.W. (2015) Gut microbial metabolism of plant lignans: influence on human health U: Diet-Microbe Interactions

in the Gut: Effects on Human Health and Disease, 1.izd., Tuohy K., Del Rio D., London: Academic, str. 103 – 117.

- Yuan L., Liu J., Zhen J., Xu Y., Chen S., Halm-Lutterodt N.V., Xiao R. (2017) Vegetable and fruit juice enhances antioxidant capacity and regulates antioxidant gene expression in rat liver, brain and colon. *Genetics and Molecular Biology* **40**: 134 – 141.
- Zhang C., Li Y., Wang P., Zhang A., Feng F., Zhang H. (2019) Electrospinning of bilayer emulsions: the role of gum arabic as a coating layer in the gelatin-stabilized emulsions. *Food Hydrocolloids* **94**: 38 – 47.
- Zheng H.J., Guo J., Jia Q., Huang Y.S., Huang W.J., Zhang W., Zhang F., Liu W.J., Wang Y. (2019) The effect of probiotic and synbiotic supplementation on biomarkers of inflammation and oxidative stress in diabetic patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Pharmacological Research* **142**: 303 – 313.
- Zhu J., Wang Y., Li X., Li B., Liu S., Chang N., Jie D., Ning C., Gao H., Meng X. (2017) Combined effect of ultrasound, heat, and pressure on Escherichia coli O157:H7, polyphenol oxidase activity, and anthocyanins in blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry* **37**: 251 – 259.
- Žučko J., Starčević A., Diminić J., Oros D., Mortazavian A., Putnik P. (2020) Probiotic – friend or foe?. *Current Opinion in Food Science* **32**: 45 - 49.
- Žuntar I., Petrić Z., Bursać Kovačević D. Putnik P. (2020) Safety of Probiotics: Functional Fruit Beverages and Nutraceuticals. *Foods* **9(7)**: 947.

### **Izjava o izvornosti**

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



Leona Kao

Leona Kao