

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2024.

Ana Svirčević

**UTJECAJ ULTRAZVUKA I PULSIRAJUĆEG
ELEKTRIČNOG POLJA NA SASTAV
MASNIH KISELINA HRVATSKIH
DJEVIČANSKIH MASLINOVIH ULJA**

Rad je izrađen u Laboratoriju za tehnologiju ulja i masti na Zavodu za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof. dr. sc. Dubravke Škevin te uz pomoć mag. ing. aliment. techn. Katarine Filipan.



Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom “Utjecaj inovativnih tehnologija na nutritivnu vrijednost, senzorska svojstva i oksidacijsku stabilnost djevičanskih maslinovih ulja iz hrvatskih autohtonih sorti maslina“ (HRZZ CROInEVOO, IP-2020-02-7553), čija je voditeljica prof. dr. sc. Dubravka Škevin.

ZAHVALA

Od srca se zahvaljujem mentorici, prof. dr. sc. Škevin na svojoj potpori, motivaciji, angažmanu i prenesenom znanju, kako tijekom izrade diplomskog rada, tako i tijekom cijelog studija! Također, hvala izv. prof. dr. sc. Kraljić na savjetima za poboljšanje rada!

Zahvaljujem svojim prijateljicama i kolegicama na ohrabrenju tijekom studija, a pogotovo svojoj obitelji i partneru na neizmjerljivoj podršci i vjeri u mene!

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za tehnologiju ulja i masti

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Diplomski sveučilišni studij: Upravljanje sigurnošću hrane

UTJECAJ ULTRAZVUKA I PULSIRAJUĆEG ELEKTRIČNOG POLJA NA SASTAV MASNIH KISELINA HRVATSKIH DJEVIČANSKIH MASLINOVIH ULJA

Ana Svirčević, univ. bacc. ing. techn. aliment.
0058208920

Sažetak: U ovom radu ispitan je utjecaj predtretmana miješenja ultrazvukom (UZV) i pulsirajućim električnim poljem (PEP) na sastav masnih kiselina djevičanskih maslinovih ulja (DMU) iz hrvatskih sorti. Predtretman UZV-om proveden je uz snagu ultrazvučne kupelji 256 - 640 W kroz 3 - 17 min, a za predtretman PEP-om korišteno je električno polje jačine 1 - 8 kV/cm kroz 18 - 30 s. Na predtretman UZV-om najotpornije su istarska bjelica i levantinka, a najosjetljivija oblica, dok su na predtretman PEP-om najotpornije oblica i levantinka, a najosjetljivija istarska bjelica. Na sastav masnih kiselina sorta maslina ima statistički visoko signifikantan utjecaj ($p \leq 0,001$), za razliku od vremena tretiranja koje nema utjecaj. Interakcija sorte i snage ultrazvučne kupelji te interakcija sorte i jakosti električnog polja imaju statistički visoko signifikantan utjecaj na većinu masnih kiselina te na ukupne višestrukonezasićene masne kiseline (PUFA).

Ključne riječi: djevičansko maslinovo ulje, ultrazvuk, pulsirajuće električno polje, sastav masnih kiselina, hrvatske autohtone sorte

Rad sadrži: 43 stranice, 7 slika, 12 tablica, 48 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkoga fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: prof. dr. sc. Dubravka Škevin

Pomoć pri izradi: Katarina Filipan, mag. ing.

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. prof. dr. sc. Mirjana Hruškar (predsjednik)
2. prof. dr. sc. Dubravka Škevin (mentor)
3. izv. prof. dr. sc. Klara Kraljić (član)
4. prof. dr. sc. Zoran Herceg (zamjenski član)

Datum obrane: 25. rujna 2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Food Engineering
Laboratory for Oil and Fat Technology

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

Graduate university study programme: Food Safety Management

INFLUENCE OF ULTRASOUND AND PULSED ELECTRIC FIELD ON THE FATTY ACID COMPOSITION OF CROATIAN VIRGIN OLIVE OILS

Ana Svirčević, univ. bacc. ing. techn. aliment.
0058208920

Abstract: This study investigates the influence of ultrasound (US) and pulsed electric field (PEF) pretreatment of malaxation on the fatty acid composition of virgin olive oils (VOO) from Croatian cultivars. The pretreatment of VOO was performed with US (256 - 640 W for 3 - 17 minutes) and PEF (1 - 8 kV/cm for 18 - 30 seconds). Istarska Bjelica and Levatinka are the most resistant to US pretreatment, while Oblica is the most sensitive. On the other hand, Oblica and Levatinka are the most resistant to PEF pretreatment, while Istarska Bjelica is the most sensitive. The olive variety has a statistically highly significant effect on fatty acid composition ($p \leq 0.001$), while pretreatment time has no effect. The interaction between cultivar and US power and the interaction between cultivar and electric field strength have a statistically highly significant effect on most fatty acids and total polyunsaturated fatty acids (PUFA).

Keywords: virgin olive oil, ultrasound, pulsed electric field, fatty acid composition, autochthonous Croatian cultivars

Thesis contains: 43 pages, 7 figures, 12 tables, 48 references

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) form is deposited in the Library of the University of Zagreb Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: prof. dr. sc. Dubravka Škevin

Technical support and assistance: Katarina Filipan, mag. ing.

Reviewers:

1. Mirjana Hruškar, PhD, Full professor (president)
2. Dubravka Škevin, PhD, Full professor (mentor)
3. Klara Kraljić, PhD, Associate professor (member)
4. Zoran Herceg, PhD, Full professor (substitute)

Thesis defended: September 25th, 2024

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. HRVATSKE AUTOHTONE SORTE MASLINA.....	2
2.1.1. Rosulja	3
2.1.2. Istarska bjelica	3
2.1.3. Oblica	4
2.1.4. Levantinka	5
2.2. PROIZVODNJA DJEVIČANSKOG MASLINOVOG ULJA	6
2.3. KEMIJSKI SASTAV DJEVIČANSKOG MASLINOVOG ULJA	7
2.3.1. Osapunjivi dio	7
2.3.1.1. Sastav masnih kiselina u djevičanskom maslinovom ulju	8
2.3.2. Neosapunjivi dio	10
2.4. UTJECAJ SASTAVA MASNIH KISELINA NA OKSIDACIJSKU STABILNOST I NUTRITIVNU VRIJEDNOST DJEVIČANSKOG MASLINOVOG ULJA.....	12
2.5. NOVE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNJI DJEVIČANSKOG MASLINOVOG ULJA ...	13
2.5.1. Ultrazvuk.....	14
2.5.2. Pulsirajuće električno polje	15
3. EKSPERIMENTALNI DIO	16
3.1. MATERIJALI	16
3.1.1. Uzorci djevičanskih maslinovih ulja	16
3.2. METODE.....	16
3.2.1. Određivanje sastava masnih kiselina.....	16
3.2.1.1. Priprema metilnih estera masnih kiselina.....	16
3.2.1.2. Analiza metilnih estera masnih kiselina plinskom kromatografijom	17
4. REZULTATI I RASPRAVA	20
5. ZAKLJUČCI	38
6. LITERATURA	39

1. UVOD

Maslina, latinskog naziva *Olea europaea* L., jedna je od najstarijih biljaka karakterističnih za područje Mediterana, a najvećoj mjeri uzgaja se s ciljem dobivanja visoko kvalitetnog ulja koje se povezuje s benefitima mediteranske prehrane. Sve češća preferenca potrošača je odabir proizvoda određenog zemljopisnog područja koje posjeduje određenu kvalitetu i svojstva koja se pripisuju tom podrijetlu. Stoga, potrošači izrazito cijene proizvod kao što je djevičansko maslinovo ulje (DMU) dobiveno od autohtonih sorti maslina s poznatim osjetilnim, nutritivnim i zdravstvenim svojstvima (Poljuha i sur., 2008). U pogledu strukture sortimenata, u Hrvatskoj je identificirana 31 autohtona sorta masline, a introducirane su 44 sorte (Gugić i sur., 2007).

Mnogi su autori utvrdili da izbor sorte ima velik utjecaj na sastav masnih kiselina u djevičanskim maslinovim uljima tretiranim ultrazvukom ili pulsirajućim električnim poljem.

DMU ima jako dobar kemijski sastav koji znatno doprinosi njegovoj oksidacijskoj stabilnosti, zbog prevladavajućih jednostrukonezasićenih masnih kiselina. Sastav masnih kiselina u velikoj mjeri doprinosi i nutritivnoj vrijednosti djevičanskog maslinovog ulja, ponajviše zbog najzastupljenije oleinske masne kiseline koja umanjuje rizik od kardiovaskularnih bolesti i potiče rast i mineralizaciju kostiju te esencijalnih masnih kiselina, linolne i linolenske, koje organizam ne može sam sintetizirati.

Primjena inovativnih, netermalnih tehnologija kao što su ultrazvuk (UZV) i pulsirajuće električno polje (PEP) u proizvodnji DMU predmet je sve više istraživanja, a cilj je povećati prinos ekstrahiranog ulja, smanjiti trajanje cijelog procesa proizvodnje skraćivanjem ili zamjenom procesa miješenja te očuvanje kvalitete i senzorskih svojstava karakterističnih za DMU.

Niski energetske zahtjevi i kratko vrijeme obrade potrebno za predtretmane UZV-om i PEP-om te činjenica da prema dosadašnjim istraživanjima nisu negativno utjecali na kvalitetu i senzorske pokazatelje tretiranih uzoraka, dovode do zaključka da imaju visok potencijal primjene u proizvodnji djevičanskog maslinovog ulja.

Cilj ovog rada bio je ispitati kako inovativne tehnologije ultrazvuk i pulsirajuće električno polje, korištene kao predtretman miješenju u proizvodnji djevičanskog maslinovog ulja, utječu na sastav masnih kiselina pa samim time i na nutritivnu vrijednost, odnosno, kvalitetu ulja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. HRVATSKE AUTOHTONE SORTE MASLINA

Sorte su botanički varijeteti iste genetske konstitucije koje su nastale selekcijom od iste vrste sa različitim botaničkim osobinama. Uljne sorte maslina imaju većinom sitan plod i veći udjel ulja nego stolne sorte (18 % do 28 %), vrlo su rodne i otporne na različite klimatske uvjete. U Hrvatskoj se najčešće uzgajaju sljedeće sorte za proizvodnju ulja: bjelica, buža, drobnica, leccino, grozdulja, karbona, karbunčela, lastovka, levantinka, puljka, piculja, rosinjola, rosulja, sitnica, slatka, šarulja, uljarica, zuzorka i žutica (Škevin, 2016). Oblica je najrasprostranjenija sorta masline u Hrvatskoj (Gugić i sur., 2007).

U 2023. godini masline su uzgajane na 20.787 ha, a ukupno je proizvedeno 29.851 tona ploda masline te 38.231 hL maslinovog ulja (slika 1). U odnosu na 2022. godinu zabilježeno je značajno smanjenje proizvodnje ploda masline od 25,6 % te proizvodnje maslinovog ulja za 30,6 % (Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i ribarstva, 2024).

	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.
Masline						
Površina, ha	18.697	18.606	20.282	19.940	19.900	20.787
Prirod po ha, tone	1,5	1,8	1,6	1,2	2,0	1,4
Proizvodnja, tone	28.418	33.216	33.230	23.867	40.128	29.851
Proizvodnja maslinovog ulja, hl	36.573	44.497	40.278	32.036	55.088	38.231

Slika 1. Površine, prirod i proizvodnja maslina te proizvodnja maslinovog ulja u Republici Hrvatskoj (Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i ribarstva, 2024)

Cijena djevičanskog maslinovog ulja bilježi porast tijekom 2023. godine u svim državama članicama EU. Međutim, u Hrvatskoj su značajno više cijene djevičanskih maslinovih ulja od onih koje postižu djevičanska maslinova ulja proizvedena u drugim državama članicama (Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i ribarstva, 2024).

Upravo preferiranje autohtonih sorti u uzgoju, koje se koriste za proizvodnju djevičanskog maslinovog ulja izuzetne kakvoće, predstavlja ključni preduvjet u složenom postupku registracije oznaka izvornosti i zemljopisnog podrijetla djevičanskog maslinovog ulja kao proizvoda s dodanom vrijednošću koji može parirati na zahtjevnom globalnom tržištu (Gugić, 2006).

2.1.1. Rosulja

Sorta rosulja (slika 2), kojoj su neki od sinonima još i rošinjola, rušinjola i rosinjola, autohtona je istarska sorta maslina koja se upotrebljava za proizvodnju ulja. Ima dobru rodnost uz primjenu odgovarajuće agrotehnike, a izvrstan je oprašivač za druge domaće sorte. Ima gustu, okruglastu krošnju bujnog rasta, dok je list eliptično-kopljast (Godena i sur., 2009). Rosulja daje stalne prinose, zbog čega je pogodna za proizvodnju ulja. Otporna je na slanost i dobro uspijeva na crvenome tlu naziva terra rossa, koje je karakteristično za istarsko područje (Poljuha i sur., 2008). Udjel ulja u plodu rosulje je oko 35 % (Godena i sur., 2009). U kasnom roku berbe utvrđen je viši udjel ulja (oko 40 %), nego u ranom (oko 30 %) (Brkić Bubola i sur., 2012). Karakteristika djevičanskog maslinovog ulja ove sorte je njegova pikantnost i gorčina. Rosulju često napadaju štitaste uši, koje su uzrok pojave gljive čađavice. Otporna je na paunovo oko, a podložna napadu maslinine muhe. S druge strane, nije pretjerano podložna raku masline (Godena i sur., 2009).



Slika 2. Rosulja (Trojanović d.o.o., 2024)

2.1.2. Istarska bjelica

Istarska bjelica (slika 3) autohtona je istarska sorta čiji su sinonimi: belica, bianca istriana, bianchera, bjankera, bjelica, plemenita belica, slovenska belica i zlatna belica. Ova je sorta pogodna za proizvodnju ulja, ali može se koristiti i kao stolna sorta. Stablo je srednje bujnosti i guste krošnje, grane su uspravne i dugačke, a list je spiralan i srednje veličine. Plod je srednje velik, jajolik te svijetložute boje u zriobi. Prosječna masa plodova je 4,5 g, a udio ulja oko 24%. Ulje istarske bjelice ima karakterističnu naglašenu pikantnost i gorčinu te okus „na zeleno“. Zbog tih osobina ulje je pogodno za miješanje s uljima sa slabije izraženom pikantnosti i gorčinom. Ova sorta podnosi i nešto kasniju berbu bez gubitka senzorskih svojstava i

stabilnosti. Relativno je otporna na niske temperature te na bolesti i štetočine, međutim, osjetljiva je na maslininu muhu (Modrušan, 2022).



Slika 3. Istarska bjelica (Trojanović d.o.o., 2024)

2.1.3. Oblica

Oblica (slika 4) je autohtona sorta Srednje Dalmacije koja je rasprostranjena po cijelom uzgojnom području masline u Hrvatskoj. Ima puno sinonima, a neki su: balunjača, debela maslina, domaća, jadranka, krupnica, lušinjka i maslina obična. Ima stablo s gustom i okruglom krošnjom, a listovi su široki, dugi i jajoliki. Dobri oprašivači su ascolana tenera i picholine od stranih sorti te drobnica, levantinka i lastovka od domaćih sorti. Plodovi su okrugli i krupni (najčešće 5 do 10 g) (Modrušan, 2022). Prosječni udio ulja sorte oblica iznosi 17 - 22 % (Škevin, 2016). Zbog toga je pogodna za proizvodnju ulja, a zbog veličine plodova te čvrste konzistencije mesa pogodna je i za konzerviranje. Boja plodova se kreće od svjetlo zelene do crne, a zbog neujednačenog dozrijevanja na stablu se mogu naći plodovi različite obojenosti. Otporna je na nepovoljne uvjete, kao što su suša i niske temperature. Ima dobru otpornost na paunovo oko i rak masline te srednju otpornost na maslininog moljca i muhu (Modrušan, 2022).



Slika 4. Oblica (Modrave Murter-Betina, 2021)

2.1.4. Levantinka

Levantinka (slika 5) je autohtona hrvatska sorta s područja Srednje Dalmacije, a rasprostranjena je i po Južnoj Dalmaciji. Sinonim joj je šoltanka jer se najveća populacija nalazi na otoku Šolti. Ima stablo visokog i glatkog debla s okruglastom širokom krošnjom. Listovi su veliki, eliptični, s tamnozelenim licem te svijetlozelenim naličjem. Ima visoku samooplodnju (do 77 %), a dobar je oprašivač za oblicu, buharicu i drobnicu. Plodovi su srednje veličine, eliptični i duguljasti. Tijekom dozrijevanja boja prelazi iz zelene do crveno ljubičaste pa do crne. Prosječna težina ploda je 4 g, količina ulja oko 20 %. Sorta je osjetljiva na sušu i niske temperature, ali otporna na jake vjetrove. Ima veliku osjetljivost na paunovo oko i trulež plodova te srednju otpornost na rak masline, maslininu muhu i moljca (Modrušan, 2022).



Slika 5. Levantinka (Maslinar, 2023)

2.2. PROIZVODNJA DJEVIČANSKOG MASLINOVOG ULJA

Prema Uredbi (EU) br. 1308/2013, djevičansko maslinovo ulje definirano je kao proizvod dobiven izravno iz ploda stabla masline (*Olea europaea* L.) koji se podvrgava isključivo mehaničkim ili drugim fizikalnim postupcima, u uvjetima koji ne dovode do promjena sastojaka ulja te bez dodataka pomoćnih sredstava kemijskog ili biokemijskog djelovanja i može se podvrgnuti isključivo postupcima pranja, centrifugiranja, dekantacije i/ili filtracije.

Djevičansko maslinovo ulje može se proizvoditi na dva načina: tradicionalnim i modernim postupkom.

Nakon što plodovi dosegnu optimalnu zrelost, beru se ručno (tradicionalni postupak) ili mehaničkim strojevima (moderna postupak). Potom se mogu kratko skladištiti na prozračnim, hladnim mjestima u kojima se masline neće nagnječiti ili se odmah prevoze u uljaru (u optimalnom slučaju). Tijekom transporta potrebno je spriječiti štetno zagrijavanje plodova uzrokovano kataboličkim aktivnostima ploda pa je masline poželjno prevoziti u uljaru u plastičnim ili drvenim sanducima s rupičastim stijenkama za cirkulaciju zraka.

Najveći dio ulja nalazi se slobodno u staničnim vakuolama ploda masline i lako se izlučuje mehaničkim i drugim fizikalnim postupcima. Preostali dio ulja raspršen je u koloidnom sustavu citoplazme, teško se izlučuje pa se gubi pomiješano s kominom te u vegetabilnoj vodi.

Priprema ploda masline za separaciju ulja uključuje odstranjivanje lišća, pranje, drobljenje i mljevenje (kamenim ili mehaničkim mlinovima) te eventualno miješenje (Škevin, 2016).

Pranjem i čišćenjem plodova uklanjaju se nečistoće koje mogu negativno utjecati na kakvoću ulja, oštećivati dijelove strojeva i umanjiti efikasnost ekstrakcije. Kako bi se dobila homogena masa, odnosno maslinovo tijelo sastavljeno od biljne vode, ulja i komine, potrebno je drobiti i samljati plod masline jer se na taj način oslobađaju kapljice ulja iz staničnih vakuola (Koprivnjak, 2006). Mljevenje je potrebno provesti tako da se iz pulpe oslobodi što više ulja, a da se ulje što manje rasprši u sitne kapljice kako bi se spriječila pojava emulzija (Škevin, 2016).

Miješenje je miješanje samljevene mase maslinovog tijesta, čija je uloga u što većoj mjeri razbiti potencijalno nastalu emulziju i omogućiti spajanje malih kapljica ulja u veće jer se time postiže bolje odvajanje uljne od vodene faze. Miješenje u najvećoj mjeri određuje svojstva DMU (Škevin, 2016). Tijekom procesa miješenja enzimi sadržani u plodu masline (pektolitički i hemicelulolitički enzimi) razgrađuju stanične stijenske i ovojnice vakuola, a time se olakšava oslobađanje ulja i drugih tvari sadržanih u stanici unutar vakuola ili na staničnim stijenkama (Koprivnjak, 2006). Moguće je proizvesti djevičansko maslinovo ulje visoke kvalitete, ukoliko

tijekom procesa pripreme ploda i izdvajanja ulja temperatura maslinovog tijesta ne prelazi 28 °C, a miješenje traje do 60 minuta (Škevin, 2016).

Separacija ulja iz maslinovog tijesta provodi se prešanjem na hidrauličkim prešama otvorenog tipa ili kontinuiranom centrifugalnom ekstrakcijom u dekanterima s dvije ili tri faze. Postupci izdvajanja ulja ili uljnog mošta iz maslinovog tijesta temelje se na jednom od sljedeća tri principa: kod prešanja na primjeni sile pritiska, kod centrifugiranja na razlici u gustoći ulja, vode i krutih čestica, a kod procjeđivanja na razlici u površinskoj napetosti ovih triju komponenti. Prešanje funkcionira na principu Pascalovog zakona, a započinje ravnomjernim raspoređivanjem maslinovog tijesta na filtrirajuće slojnice. Odvija se kroz tri faze uz povećanje tlaka, kako bi ulje koje je viskoznije od biljne vode imalo dovoljno vremena i prostora za izlazak iz filtrirajućih slojnica. Filtracija se postiže zahvaljujući vlaknima iz slojnica i fragmentima koštica. S druge strane, kontinuirana centrifugalna ekstrakcija je način prerade plodova kod kojeg se za odvajanje tekućeg od krutog dijela maslinova tijesta koristi centrifugalna sila, pri čemu dolazi do odvajanja pojedinih faza zahvaljujući razlikama specifične mase između komine, vode i ulja. U uporabi su tri osnovna tipa centrifuga: klasične centrifuge s 3 izlaza, integralne centrifuge s 2 izlaza i opcijske centrifuge s 2 ili 3 izlaza.

Na kraju, dobiveno djevičansko maslinovo ulje bistri se filtriranjem ili prirodno (taloženjem) te se skladišti u spremnicima izrađenima od materijala koji su lako perivi i inertni u odnosu na ulje, kao što su spremnici od inoks čelika ili ambalaža od metala, stakla i plastike (Škevin, 2016).

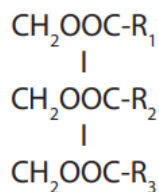
2.3. KEMIJSKI SASTAV DJEVIČANSKOG MASLINOVOG ULJA

Djevičansko maslinovo ulje sadrži dvije osnovne frakcije: osapunjivu i neosapunjivu. Udjel osapunjive frakcije iznosi oko 95 %, dok je udjel neosapunjive frakcije oko 5 % (Škevin, 2016).

2.3.1. Osapunjivi dio

Osapunjivi dio maslinovog ulja u najvećem udjelu predstavljaju trigliceridi koji u svom sastavu imaju određene masne kiseline, a sadrži još monoacilglicerole, diacilglicerole, slobodne masne kiseline, fosfolipide i dr. S obzirom na podrijetlo djevičanskog maslinovog ulja, različit je i sastav prisutnih masnih kiselina (Žanetić i Gugić, 2006).

Trigliceridi ili triacilgliceroli su esteri masnih kiselina i trovalentnog alkohola glicerola, odnosno, tri masne kiseline vezane na tri hidroksilne skupine glicerola (slika 6) (Klepo i Benčić, 2014).



Slika 6. Shematski prikaz triglicerida (Klepo i Benčić, 2014)

S obzirom na sastav masnih kiselina u djevičanskom maslinovom ulju, trebalo bi biti više od 70 različitih triacilglicerola, ali ih je zapravo mnogo manje jer se neki, kao npr. potpuno zasićeni triacilgliceroli uopće ne pojavljuju, a drugi su prisutni u izrazito malim udjelima. Najzastupljeniji su OOO (40 - 59 %), POO (12 - 20 %), OOL (12,5 - 20 %), PLO (5,5 - 7 %) i SOO (3 - 7 %) (P= palmitinska kiselina; O= oleinska kiselina; S= stearinska kiselina; L= linolna kiselina) (Škevin, 2016). Određivanje zasićenih masnih kiselina na položaju - β , odnosno - 2 triacilglicerola koristi se za utvrđivanje patvorenja DMU. Ukupni udjel zasićenih masnih kiselina na položaju - 2 triacilglicerola u djevičanskom maslinovom ulju ne smije biti veći od 1 % (Škevin, 2016).

Hidrolizom (lipolizom) triglicerida oslobađaju se masne kiseline, a posljedica je povećanje kiselosti i smanjenje kvalitete ulja. Udio slobodnih masnih kiselina u ulju (kiselost) direktni je pokazatelj kvalitete ulja, a na njega utječe uzgoj masline, prerada plodova, proizvodnja ulja te skladištenje (Pejović i sur., 2014). Sukladno tome, prisutnost monoacilglicerola i diacilglicerola u djevičanskom maslinovom ulju također može ukazati na hidrolizu ulja (Škevin, 2016).

2.3.1.1. Sastav masnih kiselina u djevičanskom maslinovom ulju

Masne kiseline su ugljikovodični spojevi različite duljine koje sadrže karboksilnu skupinu (-COOH) na jednom kraju te metilnu skupinu (-CH₃) na drugom kraju lanca. Prema stupnju zasićenosti mogu se podijeliti na zasićene masne kiseline i nezasićene masne kiseline, a nezasićene mogu biti mononezasićene ili polinezasićene masne kiseline. Nezasićene masne kiseline su nestabilnije i reaktivnije zbog mogućnosti pucanja dvostruke veze (Rustan i Devon, 2005).

Dozvoljeni rasponi pojedinačnih masnih kiselina djevičanskog maslinovog ulja prikazani su u tablici 1, a izraženi su kao udio pojedine masne kiseline od ukupnih masnih kiselina u ulju (% od ukupnih).

Tablica 1. Udio masnih kiselina u djevičanskom maslinovom ulju propisan Delegiranom Uredbom Komisije (EU) (2022)

MASNA KISELINA	OZNAKA	UDIO U DMU (%)
MIRISTINSKA	C14:0	< 0,03
PALMITINSKA	C16:0	7,0 - 20
PALMITOLEINSKA	C16:1	0,3 - 3,5
HEPTADEKANSKA	C17:0	≤ 0,4
HEPTADECENSKA	C17:1	≤ 0,4
STEARINSKA	C18:0	0,5 - 5,0
OLEINSKA	C18:1	55,0 - 85,0
LINOLNA	C18:2	2,5 - 21,0
LINOLENSKA	C18:3	≤ 1,0
ARAHINSKA	C20:0	≤ 0,6
GADOLEINSKA	C20:1	≤ 0,5
BEHENSKA	C22:0	≤ 0,2
LIGNOCERINSKA	C24:0	≤ 0,2

Najveći udio čine masne kiseline s 16 i 18 ugljikovih atoma koje mogu biti zasićene ili različitog stupnja nezasićenosti u *cis* konformaciji (Pejović i sur., 2014).

Najzastupljenija masna kiselina djevičanskog maslinovog ulja je jednostruko nezasićena oleinska masna kiselina ($\omega 9$) (55 - 85 %), dok manji udjel imaju zasićene masne kiseline, palmitinska i stearinska te višestruko nezasićene esencijalne masne kiseline linolna i α -linolenska. Može se zaključiti da djevičansko maslinovo ulje visoke kakvoće ima umjerenu količinu zasićenih masnih kiselina (oko 16 %), izrazito visok udjel oleinske masne kiseline (do 85 %) i optimalnu količinu višestruko nezasićenih esencijalnih masnih kiselina (8 - 10 %) (Žanetić i Gugić, 2006). Udio mononezasićenih masnih kiselina veći je nego udio polinezasićenih, što ulje čini otpornijim na oksidaciju (Pejović i sur., 2014).

Iako djevičansko maslinovo ulje sadrži iste masne kiseline kao i druga ulja i masti, upravo ga omjer različitih masnih kiselina čini jedinstvenim i vrjednijim od drugih (Pejović i sur., 2014).

Sastav masnih kiselina ovisi o klimatskim uvjetima (podrijetlu masline), sorti masline i stupnju zrelosti ploda u trenutku berbe (Škevin, 2016).

Što se tiče klimatskih čimbenika, ustanovljeno je da je oleinska kiselina povišena, a linolna kiselina snižena u mesu ploda masline kako se prilazi hladnijim podnebljima. Općenito, plodovi masline iz hladnijih područja sadrže više nezasićenih masnih kiselina od plodova iz toplijih područja. Stoga je maslinovo ulje sa sjevernog dijela Mediterana bogatije tekućim gliceridima u usporedbi s uljem sa južnog Mediterana, koje je bogatije krutim gliceridima (to su uglavnom gliceridi palmitinske i stearinske kiseline) (Ročak, 2005). Sastav masnih kiselina je sortna odlika i može se koristiti za determinaciju sorata (Klepo i Benčić, 2014). Na kraju, vezano za stupanj zrelosti ploda, odgađanje berbe dovodi do povećanja nezasićenih masnih kiselina, posebno linolne kiseline na račun palmitinske kiseline (Ročak, 2005).

2.3.2. Neosapunjivi dio

U neosapunjivom dijelu djevičanskog maslinovog ulja prisutni su negliceridni sastojci kao što su ugljikovodici, tokoferoli, steroli, alifatski i triterpenski alkoholi, pigmenti, fenoli, liposolubilni vitamini (A, D, K) i fosfolipidi. Njihova količina, kakvoća i sastav različito su zastupljeni u pojedinim tipovima DMU i od velike su biološko-prehrambene vrijednosti (Škarica i sur., 1996). Oni su sekundarni produkti metabolizma stabla i ploda masline, s terapijskim značenjem te ulogom u formiranju arome ulja i sprječavanju kvarenja radi antioksidativne aktivnosti (Žanetić i Gugić, 2006).

Ugljikovodici čine oko 60 % neosapunjivog dijela djevičanskog maslinovog ulja. Od ukupne količine prisutnih ugljikovodika, 60 - 70% predstavlja skvalen koji ima ulogu preteče za spojeve koji djeluju na prehrambene karakteristike ulja. Ostatak čine zasićeni alifatski ugljikovodici i

produkti neformacije koji potječu od sterola (dienski ugljikovodici). Taj dio zapravo ima primarnu ulogu za dokazivanje karakteristika autentičnosti i kakvoće proizvoda (Žanetić i Gugić, 2006).

Fenolni spojevi su prirodni antioksidansi djevičanskog maslinovog ulja i najzaslužniji su za njegovu izvanrednu oksidacijsku stabilnost, jer djeluju na inaktivaciju slobodnih radikala i kao hvatači slobodnih radikala. Također, odgovorni su i za specifična senzorska svojstva djevičanskog maslinovog ulja (gorčina i pikantnost) te imaju pozitivan utjecaj na ljudsko zdravlje (Škevin, 2016). Za razliku od ostalih spojeva u neosapunjivom dijelu, fenolni spojevi su toplivi u vodi. Upravo iz tog razloga, jedan se dio fenolnih spojeva za vrijeme prerade nepovratno gubi s vegetabilnom vodom. Djevičansko maslinovo ulje sadrži značajnu količinu polifenolnih spojeva (50 - 500 mg/kg), za razliku od rafiniranih ulja (Žanetić i Gugić, 2006).

Tokoferoli imaju prirodno antioksidacijsko djelovanje i inhibiraju proces oksidacijskog kvarenja ulja (Žanetić i Gugić, 2006). Najzastupljeniji tokoferol u djevičanskom maslinovom ulju je α -tokoferol (88,5 %) (vitamin E). U odnosu na ostala biljna ulja, udjel tokoferola u djevičanskom maslinovom ulju nije visok. Dio tokoferola gubi se tijekom skladištenja i rafinacijom. Od svih tokoferola, α -tokoferol ima najjače vitaminsko djelovanje, a γ -tokoferol antioksidacijsko (Škevin, 2016).

Steroli u djevičanskom maslinovom ulju pripadaju grupi fitosterola (80 - 240 mg/100 g DMU), a najvažniji je β -sitosterol koji ima važnu biološku vrijednost jer smanjuje crijevnu apsorpciju viška kolesterola. Imaju ulogu prirodnih antioksidansa i inhibitora kvarenja ulja. U djevičanskom maslinovom ulju poznati su sljedeći steroli: kampesterol, kampestanol, stigmasterol, klerosterol, β -sitosterol, sitostanol, Δ 5-avenasterol, Δ 5-24 stigmastadienol, Δ 7-stigmastenol, Δ 7-avenasterol, Δ 7- kampesterol i kolesterol. Sadržaj sterola je sortno svojstvo, a prema istraživanjima sadržaj β -sitosterola u nekim hrvatskim sortnim maslinovim uljima kretao se od 93,88 % do 98,44 % od ukupnih sterola (Klepo i Benčić, 2014). Udjel ukupnih sterola i njihov sastav služi za određivanje podrijetla i autentičnosti djevičanskih maslinovih ulja (Škevin, 2016).

20 % - 26 % neosapunjivog dijela djevičanskog maslinovog ulja čine terpeniski alkoholi. Najvažniji terpeniski alkohol su eritrodiole i uvaol. Povećanjem udjela slobodnih masnih kiselina, odnosno smanjenjem kvalitete ulja, povećava se udio eritrodiole (Škevin, 2016).

Karakteristična zeleno-žuta boja djevičanskog maslinovog ulja rezultat je prisutnosti pigmenta klorofila (feofitin) i karotenoida (lutein i β -karoten), a na njihovu razinu u ulju utječu sorta masline, stupanj zrelosti maslina, način izdvajanja ulja i uvjeti skladištenja (Boskou i sur., 2006). Klorofil utječe na autooksidacijske i fotooksidacijske procese u ulju, a karotenoidi imaju antioksidacijski učinak (Škevin, 2016).

Tvari arome djevičanskog maslinovog ulja su alifatski i aromatski ugljikovodici, alifatski i triterpenski alkoholi, zasićeni aldehidi (od C7 do C12), ketoni, eteri, esteri, furani i derivati tiofena (Škevin, 2016).

2.4. UTJECAJ SASTAVA MASNIH KISELINA NA OKSIDACIJSKU STABILNOST I NUTRITIVNU VRIJEDNOST DJEVIČANSKOG MASLINOVOG ULJA

Oksidacija lipida predstavlja značajan problem u prehrambenoj industriji. Kvarenje ulja može dovesti do promjena u senzorskim karakteristikama i nutritivnom sastavu, a mogu nastati i nepoželjni spojevi (Barouh i sur., 2021).

Oksidacija ulja odvija se na nezasićenim masnim kiselinama zbog njihovog reaktivnog karaktera. U djevičanskim maslinovim uljima najčešći supstrati su oleinska kiselina (jednostruko nezasićena) te linolna kiselina (dvostruko nezasićena), dok linolenske kiseline (trostruko nezasićena) ima manje od 1%. Oksidacijsko kvarenje ulja započinje već tijekom mljevenja ili drugog načina oštećenja stanične strukture ploda. Ipak, intenzitet kvarenja na ovaj način je zanemariv u odnosu na promjene koje nastaju neadekvatnim čuvanjem ulja u koje se ubrajaju izloženost ulja: kisiku iz zraka, svjetlosti, toplini i tvarima s prooksidacijskim djelovanjem (Koprivnjak, 2006).

Djevičansko maslinovo ulje ima izuzetno dobar kemijski sastav koji znatno doprinosi njegovoj oksidacijskoj stabilnosti. Sadrži visok udjel mononezasićene oleinske masne kiseline (ω -9) koja je manje podložna oksidaciji od polinezasićenih masnih kiselina (Škevin, 2016; Pejović i sur., 2014). Uspoređujući s drugim uljima, DMU sadrži veće količine oleinske, a manje linolne i linoleinske kiseline od ostalih ulja biljnog porijekla, što ga čini otpornije prema oksidaciji (Ročak, 2005).

U DMU nalazi se optimalan omjer α -tokoferola i linolne kiseline, koji iznosi 1 mg E vitamina na 8 g linolne kiseline, a omogućuje zaštitu polinezasićenih masnih kiselina od oksidacije *in vivo* (Škevin, 2016).

Sastav masnih kiselina značajno doprinosi nutritivnoj vrijednosti djevičanskog maslinovog ulja.

Prehrana bogata jednostruko nezasićenim masnim kiselinama smanjuje razinu triglicerida i količinu LDL kolesterola (*engl. Low Density Lipoprotein*), dok povećava razinu HDL kolesterola (*engl. High Density Lipoprotein*) koji ima zaštitnu ulogu jer uklanja LDL čestice nakupljene na unutarnjim stjenkama krvnih žila i tako umanjuje rizik od kardiovaskularnih bolesti. Oleinska masna kiselina iz djevičanskog maslinovog ulja utječe na povećavanje količine HDL

kolesterola (Žanetić i Gugić, 2006). Također, prehrana bogata oleinskom masnom kiselinom omogućuje kontrolu nivoa glukoze u krvi (Škevin, 2016).

Organizam ne može sintetizirati esencijalne masne kiseline (linolna, ω -6 i α -linolenska, ω -3) pa se moraju unositi hranom. Omega-3 masne kiseline (ω -3) sudjeluju u razvitku mozga i retine, imaju važnu ulogu u radu reproduktivnog sustava i mogu preventivno djelovati na progresiju vaskulopatije (Šarolić i sur., 2014). Omega-6 masne kiseline mogu potaknuti upalne procese u organizmu, stoga je važno uzimati preporučeni odnos omega-3 i omega-6 masnih kiselina (Cecić, 2020).

Djevičansko maslinovo ulje sadrži udjel esencijalnih masnih kiselina u sličnom omjeru kao u majčinom mlijeku. One imaju povoljan utjecaj na rast i mineralizaciju kostiju. Nedostatak esencijalnih masnih kiselina može rezultirati poremećajima u koži, jetri i u cijelom metabolizmu. Oleinska kiselina, najzastupljenija masna kiselina u maslinovom ulju, također pospješuje rast i mineralni sastav kostiju. Zbog toga, DMU ima pozitivan utjecaj na rast i razvoj djeteta i preporučuje se kao dodatak prehrani djece (Žanetić i Gugić, 2006).

2.5. NOVE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNJI DJEVIČANSKOG MASLINOVOG ULJA

Primjenom netermičkih tehnologija obrade hrane, kao što su ultrazvuk (UZV) i pulsirajuće električno polje (PEP), moguće je postići očuvanje senzorskih i nutritivnih značajki kroz dulje vremensko razdoblje (Krešić i sur., 2011).

Zajedničko svim ovim tehnikama je da sam proces traje kratko te se obrada materijala odvija na sobnoj temperaturi, pri čemu dolazi do neznatnog povišenja temperature kao posljedice obrade (Brnčić i sur., 2009).

Nedavne studije pokušavale su poboljšati preradu djevičanskog maslinovog ulja s posebnim osvrtom na postupak miješenja, uvođenjem inovativnih tehnologija kao što su ultrazvuk i pulsirajuće električno polje (Nardella i sur., 2021). Svrha miješenja je smanjenje viskoznosti maslinovog tijesta, povećanje iskorištenja te poboljšanje nutritivnih i senzorskih karakteristika. Međutim, zahtjeva velike vremenske i energetske troškove pa se taj proces pokušava skratiti ili u potpunosti zamijeniti. Upravo to je jedan od razloga za istraživanje novih tehnologija u proizvodnji DMU (Servili i sur., 2011).

Uz kvalitetu ulja, važan parametar u procesu ekstrakcije ulja je i prinos ulja. Korištenjem trenutnim, termalnim tehnologijama, usprkos stalnim inovacijama, ekstrakcija se kreće između

80 % - 90 %, a ostatak ulja (10 % - 20 %) se gubi u komini i vegetabilnoj vodi. UZV i PEP djelovanjem na vakuolu stanica povećavaju prinos ulja (Romaniello i sur., 2019).

2.5.1. Ultrazvuk

Procesiranje hrane ultrazvučnim valovima sve više privlači pozornost u prehrambenoj industriji zbog toga što je transfer akustične energije do prehrambenog proizvoda trenutčan i prostire se kroz cijeli volumen proizvoda, a to znači smanjenje ukupnog vremena procesiranja i manju potrošnju energije (Herceg i sur., 2009).

Ultrazvuk je zvučni val raspona frekvencija između 20 kHz i 100 MHz. Prema intenzitetu dijeli se na ultrazvuk niskog intenziteta koji iznosi od 1 do 10 MHz i ultrazvuk visokog intenziteta od 20 do 100 kHz. Ultrazvuk visokog intenziteta uzrokuje kavitaciju, a posljedično i razaranje stanične membrane u biljnim tkivima (Nardella i sur., 2021). Ultrazvučni valovi djeluju na principima toplinskog i mehaničkog mehanizma. Toplinski efekt javlja se kada je kinetička energija ultrazvuka apsorbirana od strane medija koja se potom pretvara u toplinsku energiju, a mehanički efekt nastaje uslijed kavitacijskog fenomena. Kavitacija je formiranje, rast i implozija mjehurića plina uslijed visokog tlaka (Veneziani i sur., 2016). Ultrazvučna ekstrakcija ima kavitacijski učinak jer disrupcijom stanične stijenke povisuje temperaturu otapala i strujanje čestica iz biljne stanice (vibracije ultrazvuka oslabljuju staničnu stijenku i membranu te proširuju pore stanice, što uzrokuje veću difuziju i osmozu biološki aktivnih spojeva). Kavitacijski učinak ovisi o ultrazvučnoj frekvenciji i intenzitetu ekstrakcije, zatim svojstvima medija/otapala (viskozitet i površinska napetost) te o uvjetima u sustavu (temperatura i tlak) (Han, 2020).

U radu Clodoveo i sur. (2013) navedeno je da primjena ultrazvuka smanjuje trajanje procesa miješenja, a povećava kvalitetu ulja te iskorištenje postupka proizvodnje DMU.

Servili i sur. (2019) naveli su da je uz tretman ultrazvukom potrebno primijeniti tlak od 3,5 bara na maslinovo tijesto, kako bi se povećala ekstraktibilnost ulja.

Andreou i sur. (2017) navode kako je predtretman UZV-om povećao oksidativnu stabilnost djevičanskih maslinovih ulja, ali nije uzrokovao nikakav negativan utjecaj na okus, boju i konzistenciju DMU.

U preglednom radu Nardella i sur. (2021), napravljen je sažetak brojnih studija utjecaja primjene ultrazvuka kao predtretmana miješenju na sastav i prinos djevičanskog maslinovog ulja provedenih od 2016. do 2021. godine. Svi ispitani radovi istaknuli su povećanje prinosa ulja i indeksa ekstrakcije korištenjem UZV-a, što je pripisano smanjenoj viskoznosti

maslinovog tijesta i kavitacijskim razaranjima stanica uzrokovanim ultrazvučnim valovima. Uglavnom nije zabilježen utjecaj na propisane parametre koji određuju kvalitetu ulja, međutim, u nekim istraživanjima naveden je porast u koncentraciji fenola, tokoferola i hlapljivih tvari, dok u drugima nije zabilježena promjena.

2.5.2. Pulsirajuće električno polje

Pulsirajuće električno polje je tehnologija bazirana na primjeni pulseva visokog napona (od 10 do 80 kV/cm) na proizvod smješten između dviju elektroda (Veneziani i sur., 2019). Tretman PEP-om uzrokuje nastanak pora u staničnim membranama, a ovisno o intenzitetu i uvjetima tretmana mogu biti trajne ili privremene. Stvaranje pora povećava propusnost membrane te posljedično uzrokuje gubitak sadržaja stanice ili prodor okolnog medija. Ovisno o jakosti električnog polja, primjena tretmana PEP-om može inducirati stres u tkivu, poboljšati prijenos mase ili inaktivirati mikroorganizme (Abenoza i sur., 2013).

Općenito, 0,5 – 1,5 kV/cm uzrokuje reverzibilnu elektroporaciju; 1 – 3 kV/cm ireverzibilnu permeabilizaciju, a jakosti električnog polja veće od 15 kV/cm uzrokuju mikrobnju inaktivaciju (Tamborrino i sur., 2019).

PEP korišten kao predtretman miješenju, povećao je prinos ulja te ne samo da nije pokazao negativne nuspojave na osjetilne i kemijske karakteristike DMU-a, već je povećao količinu bioaktivnih spojeva, poput fenola, fitosterola i tokoferola. Stoga bi primjena PEP-a također mogla predstavljati dobru opciju za poboljšanje sadržaj fenola u DMU (Puértolas i Martínez de Maraño, 2015).

U istraživanju Veneziani i sur. (2019), dokazan je utjecaj PEP-a na povećanje propusnosti i loma staničnih membrana, zbog čega se može osigurati veća ekstraktibilnost i kvaliteta ulja. DMU iz maslina tretiranih PEP-om nakon miješenja imala su bolje iskorištenje proizvodnje ulja te veći udio derivata oleuropeina. Tamborrino i sur. (2019) su pak istaknuli kako nije došlo do promjene u koncentraciji ukupnih fenola nakon predtretmana PEP-om, što pripisuju različitim genotipima maslina i/ili različitom utjecaju PEP-a na endogene enzime.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

3.1.1. Uzorci djevičanskih maslinovih ulja

U ovom diplomskom radu kao materijal za analizu sastava masnih kiselina korišteni su uzorci djevičanskih maslinovih ulja četiri autohtone hrvatske sorte maslina: oblica, rosulja, istarska bjelica i levantinka. Ulja su proizvedena postupkom centrifugalne ekstrakcije u laboratorijskim uvjetima uz ultrazvuk (UZV) i pulsirajuće električno polje (PEP) kao predtretmane miješenju, prema metodi opisanoj u diplomskom radu Brezjan (2023). Također, analiza sastava masnih kiselina provedena je i na konvencionalnim uzorcima djevičanskih maslinovih ulja proizvedenim iz istih sorti maslina u industrijskim uvjetima prerade i bez predtretmana miješenju. Navedena su ulja do analize skladištena u bočicama od tamnog stakla na temperaturi do 20 °C.

3.2. METODE

3.2.1. Određivanje sastava masnih kiselina

Sastav masnih kiselina određen je plinskom kromatografijom prema standardnoj metodi HRN EN ISO 12966-2:2017, kod koje se masne kiseline transmetilacijom prevode u njihove metilne estere.

3.2.1.1. Priprema metilnih estera masnih kiselina

0,1 g uzorka ulja otopi se u 2 mL otopine internog standarda (pentadekanoat demetil, C15 metilni ester; $c = 1,25 \text{ mg/mL}$) u epruveti volumena 10 mL. Zatim se doda 100 μL metanolne otopine KOH ($c = 2 \text{ mol/L}$) te se smjesa snažno protrese 1 minutu na vorteksu. Reakcija se odvija na sobnoj temperaturi u periodu od 2 minute, a zaustavlja se dodatkom 2 mL otopine NaCl (40 g u 100 ml vode) uz kratko miješanje na vorteksu. Dalje se odvoji sloj s internim standardom te se u njega doda 1 g bezvodnog natrijeva hidrogensulfata kako bi se uklonili ostaci vode. Smjesa se protrese, a bistra otopina koja sadrži metilne estere, prebaci se u vijalicu.

3.2.1.2. Analiza metilnih estera masnih kiselina plinskom kromatografijom

Dobiveni metilni esteri analiziraju se na plinskom kromatografu Agilent Technologies 6890N Network (Agilent, Santa Clara, SAD) s plameno-ionizacijskim detektorom (FID) (slika 7) prema modificiranoj metodi Kraljić i sur. (2018). Uvjeti analize prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Uvjeti GC analize

Kolona	kapilarna DB-23 (Agilent, 60m x 0,25 mm x 0,25 μ m), stacionarna faza: 50 % cijanopropil-metil-polisiloksan
Temperatura kolone - programirana	1. 60 °C do 220 °C – 7 °C/min 2. na 220 °C zadržava se 17 min
Plin nosioc	helij
Protok plina nosioca	1,5 mL/min
Temperatura injektora	250 °C
Split	50:1
Temperatura detektora	250 °C
Količina injektiranog uzorka	1 μ L



Slika 7. Plinski kromatograf Agilent Technologies 6890N Network (vlastita fotografija)

Masne kiseline identificiraju se usporedbom retencijskih vremena njihovih metilnih estera s retencijskim vremenima metilnih estera iz komercijalnog standarda poznatog sastava (F.A.M.E. C8 – C22, Supelco).

Udjel pojedine masne kiseline izračunava se usporedbom površine pika svake masne kiseline s površinom pika internog standarda prema formuli [1], a rezultati su izraženi kao miligram masne kiseline po gramu ulja.

$$\gamma(x) = \frac{A_x \cdot \gamma_{is} \cdot V_{is}}{A_{is} \cdot m_{uz}} \quad [1]$$

gdje je:

$\gamma(x)$ – maseni udjel pojedine masne kiseline (mg/g)

A_x – površina pika masne kiseline

γ_{is} – masena koncentracija internog standarda (mg/ml)

V_{is} – volumen internog standarda (ml)

A_{is} – površina pika internog standarda

m_{uz} – masa uzorka ulja (g)

3.2.2. Statistička obrada podataka

Radi utvrđivanja utjecaja sorte te uvjeta predtretmana na sastav masnih kiselina djevičanskih maslinovih ulja, rezultati su statistički obrađeni analizom varijance 2- way ANOVA s 95 %-tnom vjerojatnošću ($p \leq 0,05$) napravljenom u programu XLSTAT.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Posljednjih godina potrošači zahtijevaju hranu koja sadrži komponente koje imaju pozitivan utjecaj na zdravlje, a istovremeno je sigurna za konzumiranje i ima dugi rok trajanja. Te je zahtjeve teško postići korištenjem postojeće tradicionalne tehnologije termičke obrade hrane koje utječu na sastav mnogih nutrijenata. Međutim, netermičke tehnologije u obradi hrane ne stvaraju visoke temperature i vrijeme obrade je kratko. To znači da se nutritivni sastojci namirnica mogu bolje očuvati te se također manje mijenjaju senzorska svojstva namirnica u usporedbi s tradicionalnom toplinskom obradom (Zhang i sur., 2018).

Ultrazvuk visokog intenziteta uzrokuje kavitaciju, a posljedično i razaranje stanične membrane u biljnim tkivima pri čemu povećava ekstraktibilnost ulja iz ploda (Nardella i sur., 2021). Iako je kavitacija nepoželjan proces u mnogim proizvodnjama, korisna je za proizvodnju djevičanskog maslinovog ulja (Servili i sur., 2019). Ipak, prevelika snaga ultrazvuka i/ili predugo vrijeme tretmana može štetno utjecati na stabilnost komponenti DMU (Nardella i sur., 2021).

Pulsirajuće električno polje zasniva se na korištenju kratkih pulseva električnog polja u trajanju od nekoliko milisekundi, koji uzrokuju elektropermeabilizaciju staničnih struktura. Zbog izlaganja pulsevima električnog polja visokog napona, stanična stijenka postaje porozna, što destabilizira lipidno-proteinski međusloj te omogućava učinkovitije izdvajanje ulja (Lovrić, 2003).

Prilikom primjene inovativnih tehnologija od posebne je važnosti određivanje i optimiranje procesnih parametara kako bi se mogao povećati prinos te proizvesti ulje bolje oksidacijske stabilnosti i više nutritivne vrijednosti. S tim na umu, cilj ovog rada bio je ispitati kako uvođenje inovativnih tehnologija, ultrazvuka i pulsirajućeg električnog polja, u proizvodnju djevičanskog maslinovog ulja kao predtretman miješenju utječe na sastav masnih kiselina pa samim time i na kvalitetu ulja.

Sastav masnih kiselina u ovome je istraživanju, kao i u radu Roščić (2024) određen kao maseni udjel svake pojedine masne kiseline (mg/g), zbog preciznosti. Prikazivanje sastava masnih kiselina kao postotak od ukupnih mogao bi navesti na pogrešne zaključke. Primjer toga je slučaj u kojem je udjel neke masne kiseline smanjen kao posljedica određenog predtretmana, što bi u izračunu uzrokovalo porast udjela ostalih masnih kiselina, a to može, ali i ne mora nužno biti točno. Računanje masenih udjela masnih kiselina kako je i navedeno u formuli [1] daje nam preciznije rezultate iz kojih se mogu izvesti točniji zaključci.

Ulja su tretirana raznim kombinacijama snage ultrazvučne kupelji (256 – 640 W) i vremena tretiranja (3 – 17 min) tijekom tretmana UZV-om te raznim kombinacijama jakosti električnog polja (2 – 8 kV/cm) i vremena tretiranja (18 – 102 s) tijekom tretmana PEP-om. Svaki uzorak ulja proizveden je uz odgovarajući tretman u najmanje dvije paralelne šarže, a analize su odrađene u minimalno dva ponavljanja.

Dobiveni rezultati masenih udjela masnih kiselina prisutnih u DMU-u proizvedenom uz predtretman UZV-om i PEP-om, podijeljeni su prema sortama i prikazani u tablicama 3, 4, 5 i 6 za UZV te 7, 8, 9 i 10 za predtretman PEP-om. Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost paralelnih određivanja \pm standardna devijacija i izraženi u miligramima masne kiseline po gramu ulja (mg/g).

Tablica 3. Utjecaj predtretmana **ultrazvukom** na sastav i maseni udjel (mg/g) masnih kiselina u DMU iz sorte **rosulja**

MASNE KISELINE [mg/g]	UZORAK (sorta - vrijeme [min] - snaga ultrazvučne kupelji [W])									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	R-0-0	R-10-256	R-5-320	R-15-320	R-3-448	R-10-448	R-17-448	R-5-576	R-15-576	R-10-640
C16:0	137,07 ± 2,08a	131,88 ± 1,56a	131,12 ± 1,94a	131,27 ± 4,31a	128,87 ± 1,35a	134,02 ± 2,71a	134,86 ± 0,54a	137,1 ± 1,24a	139,14 ± 1,1a	138,69 ± 1,96a
C16:1	12,98 ± 0,2a	12,6 ± 0,16a	12,38 ± 0,2a	12,32 ± 0,39a	12,26 ± 0,12a	12,80 ± 0,25a	13 ± 0,05aa	13,06 ± 0,12	13,37 ± 0,12a	13,16 ± 0,19a
C17:0	0 ± 0d	0,39 ± 0bc	0,39 ± 0,01bc	0,39 ± 0,01bc	0,38 ± 0c	0,40 ± 0,01bc	0,4 ± 0,01abc	0,43 ± 0,01a	0,41 ± 0abc	0,42 ± 0,01ab
C17:1	0,8 ± 0,02ab	0,77 ± 0,01ab	0,77 ± 0,01ab	0,77 ± 0,03ab	0,76 ± 0,01b	0,78 ± 0,02ab	0,79 ± 0ab	0,84 ± 0,01a	0,82 ± 0,01ab	0,83 ± 0,01ab
C18:0	22,7 ± 0,42a	21,76 ± 0,28a	21,85 ± 0,29a	21,87 ± 0,74a	21,55 ± 0,24a	22,21 ± 0,46a	22,18 ± 0,07a	22,85 ± 0,16a	23,08 ± 0,15a	23,13 ± 0,4a
C18:1	704,56 ± 14,24a	680,66 ± 9a	683,74 ± 9,59a	687,55 ± 23,58a	674,73 ± 7,46a	696,71 ± 14,51a	697,04 ± 1,85a	717,85 ± 4,87a	723,81 ± 5,25a	727,18 ± 11,38a
C18:2	64,39 ± 1,26a	62,74 ± 0,83a	61,94 ± 0,89a	62,36 ± 2,14a	60,02 ± 0,67a	63,08 ± 1,32a	63,14 ± 0,16a	64,55 ± 0,45a	65,13 ± 0,43a	65,29 ± 1,05a
C18:3	7,64 ± 0,18a	7,37 ± 0,09a	7,48 ± 0,11a	7,53 ± 0,26a	7,48 ± 0,09a	7,74 ± 0,16a	7,88 ± 0,02a	8 ± 0,06a	8,13 ± 0,05	8,11 ± 0,13a
C20:0	3,82 ± 0,1a	3,72 ± 0,05a	3,73 ± 0,05a	3,76 ± 0,13a	3,69 ± 0,04a	3,81 ± 0,08a	3,81 ± 0,02a	3,94 ± 0,02a	3,97 ± 0,03a	4,01 ± 0,06a
C20:1	2,88 ± 0,08ab	2,82 ± 0,03b	2,85 ± 0,04ab	2,88 ± 0,1ab	2,81 ± 0,03b	2,90 ± 0,06ab	2,91 ± 0,01ab	3,01 ± 0,02ab	3,03 ± 0,02ab	3,08 ± 0,05a
C22:0	1,18 ± 0,04ab	1,16 ± 0,02b	1,17 ± 0,01b	1,18 ± 0,04ab	1,14 ± 0,02b	1,19 ± 0,03ab	1,17 ± 0,01b	1,21 ± 0,02ab	1,24 ± 0,01a	1,26 ± 0,02a
C22:1	0,83 ± 0,42ab	0 ± 0c	0 ± 0c	0 ± 0c	0 ± 0c	0,19 ± 0,01bc	1,12 ± 0,04a	0,41 ± 0,58abc	0,36 ± 0,51abc	0 ± 0c
SFA	164,77 ± 2,64a	158,26 ± 2,3a	158,26 ± 2,3a	158,47 ± 5,23a	155,63 ± 1,65a	161,63 ± 3,23a	162,42 ± 0,65a	165,53 ± 1,45a	167,84 ± 1,29a	167,51 ± 2,45a
MUFA	722,05 ± 14,96a	699,74 ± 9,84a	699,74 ± 9,84a	703,52 ± 24,1a	690,56 ± 7,62a	713,38 ± 14,85a	714,86 ± 1,95a	735,17 ± 5,6a	741,39 ± 5,91a	744,25 ± 11,63a
PUFA	72,03 ± 1,44a	69,42 ± 1a	69,42 ± 1a	69,89 ± 2,4a	67,5 ± 0,76a	70,82 ± 1,48a	71,02 ± 0,18a	72,55 ± 0,51a	73,26 ± 0,48a	73,4 ± 1,18a

*Vrijednosti označene različitim slovima statistički su različite ($p \leq 0,05$) prema Tukeyjevom testu višestruke usporedbe

Tablica 4. Utjecaj predtretmana ultrazvukom na sastav i maseni udjel (mg/g) masnih kiselina u DMU iz sorte istarska bjelica

MASNE KISELINE [mg/g]	UZORAK (sorta - vrijeme [min] - snaga ultrazvučne kupelji [W])									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	IB-0-0	IB-10-256	IB-5-320	IB-15-320	IB-3-448	IB-10-448	IB-17-448	IB-5-576	IB-15-576	IB-10-640
C16:0	130,51 ± 2,39a	132,74 ± 0,93a	128,23 ± 0,23a	131,51 ± 2,14a	127,45 ± 0,4a	127,04 ± 5,39a	127,15 ± 2,78a	128,72 ± 1,13a	127,83 ± 0,77a	129,5 ± 0,33a
C16:1	8,92 ± 0,19a	9,05 ± 0,07a	8,56 ± 0,01a	8,85 ± 0,14a	8,68 ± 0,03a	8,63 ± 0,36a	8,8 ± 0,19a	8,85 ± 0,08a	8,77 ± 0,06a	8,87 ± 0,02a
C17:0	1,15 ± 0,13a	1,02 ± 0a	1,21 ± 0a	1,05 ± 0,02a	1,25 ± 0a	1,15 ± 0,05a	1,13 ± 0,03a	1,21 ± 0,01a	1,32 ± 0,01a	1,11 ± 0a
C17:1	1,97 ± 0,23a	1,73 ± 0,01a	2,12 ± 0a	1,8 ± 0,03a	2,19 ± 0a	1,97 ± 0,08a	1,95 ± 0,04a	2,07 ± 0,01a	2,27 ± 0,02a	1,88 ± 0,01a
C18:0	29,8 ± 1,4a	31,16 ± 0,25a	28,08 ± 0,08a	30,65 ± 0,51a	27,75 ± 0,11a	28,68 ± 1,26a	29,09 ± 0,64a	29,31 ± 0,09a	28,22 ± 0,14a	30,31 ± 0,16a
C18:1	682,43 ± 6,43a	682,43 ± 5,36a	695,48 ± 2,08a	684,99 ± 11,49a	692,53 ± 3,93a	674,30 ± 28,39a	664,17 ± 14,71a	674,76 ± 2,85a	681,97 ± 3,7a	671,6 ± 3,22a
C18:2	83,78 ± 1,63a	85,25 ± 0,69a	84,72 ± 0,23a	84,19 ± 1,37a	82,96 ± 0,4a	82,51 ± 3,48a	81,36 ± 1,73a	84,29 ± 0,34a	85,63 ± 0,48a	82,89 ± 0,4a
C18:3	6,91 ± 0,43a	6,68 ± 0,05a	7,33 ± 0,02a	6,76 ± 0,11a	7,24 ± 0,04a	6,94 ± 0,28a	6,73 ± 0,14a	7,11 ± 0,02a	7,44 ± 0,04a	6,64 ± 0,03a
C20:0	4,56 ± 0,09a	4,71 ± 0,04a	4,48 ± 0,01a	4,67 ± 0,08a	4,42 ± 0,03a	4,50 ± 0,196a	4,47 ± 0,11a	4,53 ± 0,01a	4,49 ± 0,02a	4,59 ± 0,04a
C20:1	2,72 ± 0,05a	2,7 ± 0,02a	2,83 ± 0,01a	2,73 ± 0,05a	2,82 ± 0,01a	2,72 ± 0,11a	2,66 ± 0,06a	2,72 ± 0a	2,8 ± 0,01a	2,68 ± 0,02a
C22:0	1,26 ± 0,01a	1,29 ± 0,01a	1,28 ± 0a	1,3 ± 0,02a	1,25 ± 0,01a	1,26 ± 0,05a	1,24 ± 0,03a	1,28 ± 0a	1,3 ± 0a	1,24 ± 0a
C22:1	0,94 ± 0,1a	0,96 ± 0,04a	0,86 ± 0,01a	1,13 ± 0,05a	1,13 ± 0,01a	1,52 ± 0,46a	1,51 ± 0,44a	1,75 ± 0,14a	1,51 ± 0,03a	1,55 ± 0,04a
SFA	167,28 ± 4,02a	170,92 ± 1,23a	163,28 ± 0,32a	169,18 ± 2,77a	162,12 ± 0,55a	162,63 ± 6,95a	163,08 ± 3,59a	165,05 ± 1,24a	163,16 ± 0,94a	166,75 ± 0,54a
MUFA	696,98 ± 7a	696,87 ± 5,5a	709,85 ± 2,11a	699,5 ± 11,76a	707,35 ± 3,98a	689,14 ± 29,4a	679,09 ± 15,44a	690,15 ± 3,08a	697,32 ± 3,82a	686,58 ± 3,31a
PUFA	90,69 ± 2,06a	91,93 ± 0,74a	92,05 ± 0,25a	90,95 ± 1,48a	90,2 ± 0,44a	89,45 ± 3,76a	88,09 ± 1,87a	91,4 ± 0,36a	93,07 ± 0,52a	89,53 ± 0,43a

*Vrijednosti označene različitim slovima statistički su različite ($p \leq 0,05$) prema Tukeyjevom testu višestruke usporedbe

Tablica 5. Utjecaj predtretmana **ultrazvukom** na sastav i maseni udjel (mg/g) masnih kiselina u DMU iz sorte **oblica**

MASNE KISELINE [mg/g]	UZORAK (sorta - vrijeme [min] - snaga ultrazvučne kupelji [W])									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	O-0-0	O-10-256	O-5-320	O-15-320	O-3-448	O-10-448	O-17-448	O-5-576	O-15-576	O-10-640
C16:0	141,61 ± 13,1a	138,73 ± 2,32a	138,72 ± 1,45a	135,85 ± 3,63a	138,17 ± 2,44a	135,73 ± 1,12a	130,41 ± 0,29ab	128,11 ± 1,7ab	136,18 ± 1,31a	114,19 ± 0,1b
C16:1	7,29 ± 1,12a	8,53 ± 0,14a	7,54 ± 0,08a	8 ± 0,2a	7,84 ± 0,13a	7,87 ± 0,06a	7,71 ± 0,01a	7,11 ± 0,1a	8,31 ± 0,09a	7,04 ± 0a
C17:0	0,08 ± 0,2a	0 ± 0a	0 ± 0a	0,2 ± 0,29a	0,21 ± 0,29a	0,16 ± 0,11a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a
C17:1	0,59 ± 0,07ab	0,6 ± 0,02a	0,58 ± 0,01ab	0,58 ± 0,02ab	0,59 ± 0,01ab	0,58 ± 0,00ab	0,56 ± 0ab	0,54 ± 0,01ab	0,59 ± 0ab	0,49 ± 0b
C18:0	24,21 ± 1,65a	21,32 ± 0,43b	23,1 ± 0,15ab	21,57 ± 0,73ab	22,6 ± 0,42ab	21,99 ± 0,17ab	20,87 ± 0,09b	21,19 ± 0,27b	21,32 ± 0,14b	17,6 ± 0,04c
C18:1	650,68 ± 50,62a	598,09 ± 11,46a	625,77 ± 5,8a	597,8 ± 19,03a	612,99 ± 12,49a	604,08 ± 4,57a	574,08 ± 2,25ab	578,8 ± 7,38ab	596,23 ± 3,24a	499,81 ± 1,02b
C18:2	165,94 ± 16,62a	169,53 ± 3,1a	165,93 ± 1,66a	162,19 ± 5a	165,29 ± 3,14a	162,89 ± 1,21a	154,73 ± 0,63ab	150,35 ± 1,95ab	158,96 ± 0,77ab	134,04 ± 0,25b
C18:3	8,1 ± 0,84a	8,06 ± 0,13a	8,25 ± 0,08a	8 ± 0,22a	8,3 ± 0,15a	8,04 ± 0,06a	7,65 ± 0,05ab	7,5 ± 0,1ab	7,69 ± 0,03ab	6,39 ± 0,01b
C20:0	4,41 ± 0,33a	3,95 ± 0,09ab	4,28 ± 0,03ab	3,99 ± 0,17ab	4,21 ± 0,1ab	4,10 ± 0,03ab	3,83 ± 0,02b	3,92 ± 0,05ab	3,88 ± 0,02ab	3,23 ± 0,01c
C20:1	3,32 ± 0,25a	3,02 ± 0,06ab	3,24 ± 0,02ab	3,04 ± 0,11ab	3,16 ± 0,07ab	3,09 ± 0,02ab	2,9 ± 0,02b	2,96 ± 0,04ab	2,97 ± 0,01ab	2,49 ± 0,01c
C22:0	1,23 ± 0,1a	1,09 ± 0,02ab	1,21 ± 0ab	1,1 ± 0,05ab	1,18 ± 0,03ab	1,15 ± 0,01ab	1,05 ± 0,01b	1,09 ± 0,01ab	1,06 ± 0,01b	0,88 ± 0c
C22:1	0,33 ± 0,51ab	0,41 ± 0,58ab	0 ± 0b	1,33 ± 0,28a	1,23 ± 0,2a	0,15 ± 0,22b	1,22 ± 0,12a	0,98 ± 0,09a	1,59 ± 0,3a	0 ± 0b
SFA	171,54 ± 15,38a	165,09 ± 2,86a	167,31 ± 1,63a	162,71 ± 4,87a	166,37 ± 3,28a	163,13 ± 1,44a	156,16 ± 0,41ab	154,31 ± 2,03ab	162,44 ± 1,48a	135,9 ± 0,15b
MUFA	662,21 ± 52,57a	610,65 ± 12,26a	637,13 ± 5,91a	610,75 ± 19,64a	625,81 ± 12,9a	615,77 ± 4,87a	586,47 ± 2,4ab	590,39 ± 7,62ab	609,69 ± 3,64a	509,83 ± 1,03b
PUFA	174,04 ± 17,46a	177,59 ± 3,23a	174,18 ± 1,74a	170,19 ± 5,22a	173,59 ± 3,29a	170,93 ± 1,27a	162,38 ± 0,68ab	157,85 ± 2,05ab	166,65 ± 0,8ab	140,43 ± 0,26b

*Vrijednosti označene različitim slovima statistički su različite ($p \leq 0,05$) prema Tukeyjevom testu višestruke usporedbe

Tablica 6. Utjecaj predtretmana **ultrazvukom** na sastav i maseni udjel (mg/g) masnih kiselina u DMU iz sorte **levantinka**

MASNE KISELINE [mg/g]	UZORAK (sorta - vrijeme [min] - snaga ultrazvučne kupelji [W])									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	L-0-0	L-10-256	L-5-320	L-15-320	L-3-448	L-10-448	L-17-448	L-5-576	L-15-576	L-10-640
C16:0	112,49 ± 0,74a	109,76 ± 2,88a	112,14 ± 0,03a	113,43 ± 0,89a	112,67 ± 0,04a	113,39 ± 2,79a	110,17 ± 0,76a	115,06 ± 2,65a	113,69 ± 0,14a	110,93 ± 1,47a
C16:1	6,54 ± 0,28a	6,27 ± 0,17a	6,24 ± 0a	6,56 ± 0,05a	6,71 ± 0a	6,40 ± 0,16a	6,21 ± 0,04a	6,51 ± 0,15a	6,74 ± 0,01a	6,16 ± 0,07a
C17:0	0 ± 0b	0 ± 0b	0 ± 0b	0 ± 0b	0 ± 0b	0,32 ± 0,12a	0,39 ± 0a	0,21 ± 0,29ab	0,39 ± 0,01a	0,4 ± 0,01a
C17:1	0,54 ± 0,01a	0,54 ± 0,01a	0,56 ± 0,01a	0,55 ± 0a	0,53 ± 0a	0,56 ± 0,01a	0,55 ± 0a	0,57 ± 0,01a	0,54 ± 0a	0,56 ± 0a
C18:0	39,97 ± 1,15a	39,82 ± 1,11a	39,99 ± 0,02a	41,78 ± 0,38a	42,51 ± 0a	40,62 ± 0,99a	40,34 ± 0,28a	40,43 ± 0,99a	41,95 ± 0,05a	39,25 ± 0,64a
C18:1	719,99 ± 10,13a	714,04 ± 19,69a	736,79 ± 0,48a	733,78 ± 6,49a	715,88 ± 0,04a	740,13 ± 18,07a	721,28 ± 4,8a	748,7 ± 17,45a	722,93 ± 0,92a	726,45 ± 11,08a
C18:2	67,46 ± 3,07ab	64,2 ± 1,77ab	64,77 ± 0,04ab	66,59 ± 0,57ab	68,26 ± 0,01ab	66,06 ± 1,62ab	64,26 ± 0,42ab	66,63 ± 1,63ab	70,61 ± 0,08a	63,03 ± 0,92b
C18:3	5,84 ± 0,06a	5,75 ± 0,16a	5,88 ± 0a	5,97 ± 0,05a	5,94 ± 0a	5,94 ± 0,15a	5,88 ± 0,04a	5,91 ± 0,14a	6,02 ± 0,01a	5,79 ± 0,08a
C20:0	5,38 ± 0,07a	5,39 ± 0,16a	5,51 ± 0a	5,57 ± 0,05a	5,49 ± 0a	5,56 ± 0,14a	5,47 ± 0,04a	5,56 ± 0,13a	5,54 ± 0,01a	5,37 ± 0,1a
C20:1	2,87 ± 0,04a	2,86 ± 0,08a	2,95 ± 0a	2,92 ± 0,02a	2,84 ± 0a	2,97 ± 0,07a	2,9 ± 0,02a	3 ± 0,07a	2,91 ± 0a	2,89 ± 0,05a
C22:0	1,36 ± 0,02a	1,37 ± 0,04a	1,4 ± 0a	1,41 ± 0,01a	1,37 ± 0a	1,42 ± 0,04a	1,39 ± 0,01a	1,41 ± 0,03a	1,39 ± 0a	1,35 ± 0,03a
C22:1	0,78 ± 0,38a	0,84 ± 0,02a	0 ± 0a	0 ± 0a	0,82 ± 0,03a	0,27 ± 0,12a	0,88 ± 0,16a	0 ± 0a	0 ± 0a	0,89 ± 0,18a
SFA	159,2 ± 1,98a	156,34 ± 4,19a	159,04 ± 0,05a	162,19 ± 1,33a	162,04 ± 0,04a	161,31 ± 4,08a	157,76 ± 1,09a	162,67 ± 4,09a	162,96 ± 0,21a	157,3 ± 2,25a
MUFA	730,72 ± 10,84a	724,55 ± 19,97a	746,54 ± 0,49a	743,81 ± 6,56a	726,78 ± 0,07a	750,33 ± 18,43a	731,82 ± 5,02a	758,78 ± 17,68a	733,12 ± 0,93a	736,95 ± 11,38a
PUFA	73,3 ± 3,13a	69,95 ± 1,93a	70,65 ± 0,04a	72,56 ± 0,62a	74,2 ± 0,01a	72 ± 1,77a	70,14 ± 0,46a	72,54 ± 1,77a	76,63 ± 0,09a	68,82 ± 1a

*Vrijednosti označene različitim slovima statistički su različite ($p \leq 0,05$) prema Tukeyjevom testu višestruke usporedbe

Tablica 3 prikazuje utjecaj predtretmana ultrazvukom na sastav masnih kiselina u uljima iz sorte rosulja. Svi ultrazvučni predtretmani tijesta rosulje imali su statistički značajan utjecaj na povećanje udjela heptadekanske masne kiseline (17:0) u djevičanskom maslinovom ulju iz te sorte. Također, statistički je značajno što nije identificirana eruka masna kiselina (22:1) u ulju rosulje proizvedenom uz predtretmane od 10 minuta pri 256 W (predtretman 1), 5 i 15 sekundi pri 320 W (predtretmani 2 i 3), 3 minute pri 448 W (predtretman 4) te 10 minuta pri 640 W (predtretman 9).

Utjecaj predtretmana ultrazvukom na sastav masnih kiselina u uljima iz sorte istarska bjelica prikazan je u tablici 4. Niti jedan od provedenih predtretmana tijesta istarske bjelice ultrazvukom nije imao statistički značajan utjecaj na masne kiseline djevičanskog maslinovog ulja iz te sorte.

Tablica 5 prikazuje utjecaj predtretmana ultrazvukom na sastav masnih kiselina u uljima iz sorte oblica. Masne kiseline u DMU iz oblice pokazale su se najpodložnije utjecaju predtretmana ultrazvukom. Predtretmani ultrazvukom kroz 10 minuta pri snagama ultrazvučne kupelji od 256 W (predtretman 1), 17 min pri 448 W (predtretman 6), 5 i 15 min pri 576 W (predtretmani 7 i 8) te 10 min pri 640 W (predtretman 9) statistički su značajno utjecali na smanjenje masenog udjela stearinske masne kiseline (18:0), koja se pokazala kao najosjetljivija masna kiselina. Predtretman UZV kroz 17 min i pri 448 W (predtretman 6) statistički je signifikantno djelovao na smanjenje masenih udjela još tri masne kiseline: arahinske (20:0), gadoleinske (20:1) i behenske (22:0). Ipak, statistički je najutjecajniji ultrazvučni predtretman za DMU iz oblice onaj od 10 min pri 640 W (predtretman 9). Smanjio je masene udjele čak 8 pojedinačnih masnih kiselina: palmitinske (16:0), stearinske (18:0), oleinske (18:1), linolne (18:2), linolenske (18:3), arahinske (20:0), gadoleinske (20:1) i behenske (22:0), kao i sumu zasićenih (SFA), sumu jednostrukonezasićenih (MUFA) i sumu višestrukonezasićenih (PUFA) masnih kiselina.

U tablici 6 prikazan je utjecaj predtretmana ultrazvukom na sastav masnih kiselina u uljima iz sorte levantinka. Jedino je heptadekanska masna kiselina (17:0) statistički signifikantno povezana sa ultrazvučnim predtretmanima maslinovog tijesta. Kroz 10 i 17 min uz 448 W (predtretmani 5 i 6), 15 min uz 576 (predtretman 8) i 10 min uz 640 W (predtretman 9), došlo je do povećanja masenog udjela ove masne kiseline.

Svaka od ispitivanih sorti ima drugačiji odgovor na ultrazvučne predtretmane. Najotpornije su istarska bjelica i levantinka. Oblica je pak najosjetljivija, pogotovo njezina stearinska masna kiselina (18:0).

Statistički najznačajniji utjecaj na smanjenje masenih udjela masnih kiselina u DMU imao je ultrazvučni predtretman 9: 10 min pri 640 W. Predtretmani od 5 i 15 min pri 320 W (predtretmani 2 i 3), 3 min pri 448 W (predtretman 4) te 5 min pri 576 W (predtretman 7) pokazali su da imaju statistički značajan utjecaj na masene udjele najmanjeg broja masnih kiselina.

Predtretmani od 5 i 15 min pri 320 W (predtretmani 2 i 3) te 3 min pri 448 W (predtretman 4) smanjili su udjel eruka masne kiseline (22:1) samo u DMU iz rosulje, dok je predtretman 5 min pri 576 W (predtretman 7) smanjio udjel stearinske masne kiseline (18:0) u ulju iz oblice.

Na temelju analiziranih rezultata, može se zaključiti da je ultrazvuk imao utjecaj na masne kiseline DMU iz tri od četiri autohtone hrvatske sorte, što baš i nije u skladu s drugim istraživanjima objavljenima u dostupnoj literaturi.

U radu Gila i sur. (2021) ultrazvukom su tretirana dva monosortna ulja (iz sorte aberquina i sorte picual) u ultrazvučnoj kupelji snage 150 W kroz 0, 15, 30 i 60 minuta. Autori navode da ni nakon 60 minuta tretmana nije došlo do promjena lipidnog profila ulja, koji uključuje sastav masnih kiselina. Promjene masenih udjela masnih kiselina u DMU iz četiri hrvatske autohtone sorte koje su zabilježene u ovom radu, vjerojatno su nastale kao posljedica primjene mnogo većih snaga ultrazvučne kupelji (256, 320, 448, 576 i 640 W).

Istraživanje Bejaoui i sur. (2015) slično je istraživanju Gila i sur. (2021). Oni su pokazali da predtretman ultrazvukom pri 150 W i 40 kHz može povećati iskorištenje proizvodnje za 1 %, bez da uopće utječe na sastav masnih kiselina u ulju iz sorte picual.

U sljedećem pokusu Bejaoui i sur. (2018) ultrazvukom su tretirali samljeveno maslinovo tijesto iz sorte picual pri 3 različite frekvencije (20, 40 i 80 kHz) i 900 W. Zanimalo ih je može li predtretman UZV-om doprinijeti boljem učinku miješenja ili ga čak zamijeniti pa su dio uzoraka podvrgli miješenju, a dio proizveli centrifugalnom ekstrakcijom bez miješenja. Rezultati analize sastava masnih kiselina svih proizvedenih DMU su također pokazali da ultrazvučni predtretman nije na njih imao utjecaja. Dakle, suprotno ovom istraživanju, nije zabilježen utjecaj na sastav masnih kiselina. Međutim, u ovom istraživanju pokazalo se da na ulje iz istarske bjelice primjena UZV-a prije miješenja nema nikakav utjecaj na sastav masnih kiselina ulja, dok to ne vrijedi za ulja iz rosulje, oblice i levantinke.

Tablica 7. Utjecaj predtretmana pulsirajućim električnim poljem na sastav i maseni udjel (mg/g) masnih kiselina u DMU iz sorte rosulja

MASNE KISELINE [mg/g]	UZORAK (sorta - vrijeme [s] - jakost električnog polja [kV/cm])									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	R-0-0	R-60-1	R-30-2	R-90-2	R-18-4,5	R-60-4,5	R-102-4,5	R-30-7	R-90-7	R-60-8
C16:0	143,42 ± 2,33a	143,91 ± 0,25a	139,73±1,72ab	140,47±1,08ab	138,11 ± 1,86b	141,67±1,28ab	139,12±1,46ab	139,28±1,68ab	139,36±1,75ab	140,23±0,64ab
C16:1	14,37 ± 0,23a	14,42 ± 0,03ab	13,94 ± 0,18ab	14,15 ± 0,12ab	14,04 ± 0,27ab	14,35 ± 0,13a	14,07 ± 0,16ab	14,01 ± 0,17ab	14,02 ± 0,18ab	13,88 ± 0,07b
C17:0	0,22 ± 0,24ab	0 ± 0b	0 ± 0b	0 ± 0b	0,2 ± 0,28ab	0,08 ± 0,00b	0,41 ± 0,01a	0,42 ± 0a	0,42 ± 0a	0 ± 0b
C17:1	0,81 ± 0,03ab	0,79 ± 0b	0,8 ± 0,01b	0,85 ± 0,01a	0,82 ± 0,04ab	0,81 ± 0,01b	0,81 ± 0,01ab	0,82 ± 0,01ab	0,82 ± 0,01ab	0,8 ± 0,01b
C18:0	23,5 ± 0,41ab	23,71 ± 0,02a	23 ± 0,27ab	23,03 ± 0,14ab	22,61 ± 0,41b	23,21 ± 0,22ab	22,72 ± 0,22b	22,8 ± 0,28ab	22,77 ± 0,28b	23,03 ± 0,08ab
C18:1	721,67 ± 13,27a	717,67 ± 0,85a	704,92 ± 8,65a	724,42 ± 4,67a	704,88 ± 11,17a	712,92 ± 6,65a	708,5 ± 6,63a	714,21 ± 8,65a	713,93 ± 8,48a	706,72 ± 2,53a
C18:2	63,07 ± 1,16a	63,63 ± 0,08a	62,21 ± 0,69a	62,86 ± 0,42a	61,38 ± 1,04a	62,73 ± 0,6a	61,45 ± 0,6a	61,79 ± 0,75a	61,88 ± 0,73a	62,2 ± 0,23a
C18:3	7,78 ± 0,18ab	7,69 ± 0,01ab	7,67 ± 0,15b	8,18 ± 0,06a	7,82 ± 0,26ab	7,74 ± 0,07ab	7,74 ± 0,08ab	7,89 ± 0,1ab	7,91 ± 0,09ab	7,58 ± 0,03b
C20:0	3,95 ± 0,07a	3,96 ± 0a	3,87 ± 0,05a	3,94 ± 0,02a	3,85 ± 0,08a	3,92 ± 0,04a	3,86 ± 0,03a	3,89 ± 0,05a	3,88 ± 0,04a	3,87 ± 0a
C20:1	2,89 ± 0,07ab	2,85 ± 0ab	2,75 ± 0,02b	2,98 ± 0,01a	2,86 ± 0ab	2,81 ± 0,05b	2,83 ± 0,02ab	2,88 ± 0,03ab	2,87 ± 0,03ab	2,77 ± 0b
C22:0	1,16 ± 0,02abc	1,16 ± 0abc	1,13 ± 0,02abc	1,19 ± 0a	1,17 ± 0,06ab	1,15 ± 0,01abc	1,09 ± 0,01c	1,12 ± 0bc	1,12 ± 0,03bc	1,1 ± 0c
C22:1	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0,13 ± 0,18a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a
SFA	172,25 ± 3,07ab	172,74 ± 0,27a	167,73±2,06ab	168,63±1,24ab	165,94 ± 2,69b	170,03±1,55ab	167,2 ± 1,73ab	167,51±2,01ab	167,55 ± 2,1ab	168,23±0,72ab
MUFA	739,74 ± 13,6a	735,73 ± 0,88a	722,41 ± 8,86a	742,4 ± 4,81a	722,73 ± 11,66a	730,89 ± 6,84a	726,21 ± 6,82a	731,92 ± 8,86a	731,64 ± 8,7a	724,17 ± 2,61a
PUFA	70,85 ± 1,34a	71,32 ± 0,09a	69,88 ± 0,84a	71,04 ± 0,48a	69,2 ± 1,3a	70,47 ± 0,67a	69,19 ± 0,68a	69,68 ± 0,85a	69,79 ± 0,82a	69,78 ± 0,26a

*Vrijednosti označene različitim slovima statistički su različite ($p \leq 0,05$) prema Tukeyjevom testu višestruke usporedbe

Tablica 8. Utjecaj predtretmana **pulsirajućim električnim poljem** na sastav i maseni udjel (mg/g) masnih kiselina u DMU iz sorte **istarska bjelica**

MASNE KISELINE [mg/g]	UZORAK (sorta - vrijeme [s] - jakost električnog polja [kV/cm])									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	IB-0-0	IB-60-1	IB-30-2	IB-90-2	IB-18-4,5	IB-60-4,5	IB-102-4,5	IB-30-7	IB-90-7	IB-60-8
C16:0	120,12 ± 1,23a	118,78 ± 1,5a	118,91± 1,25a	119,74 ± 1,93a	122,25 ± 1,82a	119,94± 11,39a	120,29 ± 1,78a	120,17 ± 1,68a	119,91 ± 0,98a	117,58 ± 1,85a
C16:1	7,97 ± 0,09a	7,59 ± 0,1a	7,58 ± 0,08a	7,63 ± 0,12a	7,99 ± 0,37a	7,82 ± 0,11a	7,96 ± 0,12a	7,95 ± 0,11a	7,97 ± 0,07a	7,83 ± 0,12a
C17:0	1,41 ± 0,08a	0,96 ± 0,01c	0,97 ± 0,01c	0,97 ± 0,02c	1,21 ± 0,33abc	1,16 ± 0,02bc	1,38 ± 0,02ab	1,38 ± 0,02ab	1,41 ± 0,01a	1,39 ± 0,03ab
C17:1	2,64 ± 0,16a	1,74 ± 0,03a	1,75 ± 0,01a	1,76 ± 0,03a	2,25 ± 0,68a	2,14 ± 0,03a	2,58 ± 0,04a	2,58 ± 0,04a	2,66 ± 0,02a	2,64 ± 0,04a
C18:0	22,53 ± 0,84bc	26,92± 0,29ab	27,01 ± 0,26a	27,15 ± 0,42a	25,4 ± 2,89abc	25,25± 0,26abc	23,1 ± 0,38abc	23,04± 0,36abc	22,4 ± 0,23c	22,01 ± 0,33c
C18:1	733,62 ± 9,36a	753,22± 8,12a	757,14± 6,96a	760,55± 11,79a	761,55 ± 8,23a	749,00 ± 7,71a	739,38± 12,08a	737,55± 11,57a	733,29 ± 7,05a	719,01± 10,91a
C18:2	73,24 ± 2,79ab	55,8 ± 0,62c	55,94 ± 0,52c	56,29 ± 0,89c	66,11± 14,1abc	64,31 ± 0,66bc	73,72 ± 1,2ab	73,6 ± 1,16ab	74,85 ± 0,71a	73,59 ± 1,11ab
C18:3	8,03 ± 0,12a	8,14 ± 0,09a	8,19 ± 0,08a	8,26 ± 0,13a	8,32 ± 0,05a	8,20 ± 0,09a	8,18 ± 0,13a	8,16 ± 0,13a	8,11 ± 0,08a	8,01 ± 0,12a
C20:0	4,02 ± 0,09c	4,43 ± 0,04ab	4,47 ± 0,04a	4,49 ± 0,05a	4,36 ± 0,22abc	4,32 ± 0,05abc	4,13 ± 0,07abc	4,12 ± 0,07abc	4,06 ± 0,05bc	3,98 ± 0,06c
C20:1	3,06 ± 0,04ab	3,11 ± 0,03a	3,14 ± 0,02a	3,15 ± 0,05a	3,17 ± 0,01a	3,12 ± 0,03a	3,1 ± 0,05a	3,09 ± 0,05a	3,08 ± 0,03ab	2,97 ± 0,04b
C22:0	1,14 ± 0,03b	1,28 ± 0,01a	1,29 ± 0,02a	1,31 ± 0a	1,28 ± 0,04a	1,28 ± 0,02a	1,23 ± 0,02ab	1,22 ± 0,03ab	1,22 ± 0,02ab	1,17 ± 0,02b
C22:1	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
SFA	149,22± 2,27ab	152,37± 1,85a	152,65± 1,58a	153,66 ± 2,42a	154,5 ± 5,3a	151,95± 11,74a	150,13± 2,27ab	149,93± 2,16ab	149 ± 1,29ab	146,13 ± 2,29b
MUFA	747,29 ± 9,65a	765,66± 8,28a	769,61± 7,07a	773,09± 11,99a	774,96 ± 9,29a	762,08 ± 7,88a	753,02± 12,29a	751,17± 11,77a	747 ± 7,17a	732,45± 11,11a
PUFA	81,27 ± 2,91ab	63,94 ± 0,71c	64,13 ± 0,6c	64,55 ± 1,02c	74,43±14,15abc	72,51 ± 0,75bc	81,9 ± 1,33ab	81,76 ± 1,29ab	82,96 ± 0,79a	81,6 ± 1,23ab

*Vrijednosti označene različitim slovima statistički su različite ($p \leq 0,05$) prema Tukeyjevom testu višestruke usporedbe

Tablica 9. Utjecaj predtretmana **pulsirajućim električnim poljem** na sastav i maseni udjel (mg/g) masnih kiselina u DMU iz sorte **oblica**

MASNE KISELINE [mg/g]	UZORAK (sorta - vrijeme [s] - jakost električnog polja [kV/cm])									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	O-0-0	O-60-1	O-30-2	O-90-2	O-18-4,5	O-60-4,5	O-102-4,5	O-30-7	O-90-7	O-60-8
C16:0	141,64 ± 1,42a	141,26 ± 2,07a	140,16 ± 1,36a	139,65 ± 2,59a	141,1 ± 2,51a	142,77 ± 1,67a	143,99 ± 2,66a	143,36 ± 0,49a	143,01 ± 2,25a	142,92 ± 1,82a
C16:1	8,32 ± 0,1b	8,73 ± 0,13ab	8,65 ± 0,09ab	8,56 ± 0,16ab	8,63 ± 0,16ab	8,54 ± 0,1ab	8,84 ± 0,17a	8,8 ± 0,04ab	8,74 ± 0,15ab	8,74 ± 0,11ab
C17:0	0,08 ± 0,19a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0,14 ± 0,2a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a
C17:1	0,68 ± 0,01a	0,7 ± 0,01a	0,68 ± 0a	0,71 ± 0,02a	0,71 ± 0,02a	0,70 ± 0,01a	0,71 ± 0,02a	0,71 ± 0a	0,69 ± 0,01a	0,7 ± 0,01a
C18:0	22,25 ± 0,37a	21,56 ± 0,31a	21,34 ± 0,2a	21,48 ± 0,44a	21,76 ± 0,41a	22,04 ± 0,24a	22,54 ± 0,4a	22,45 ± 0,03a	22,24 ± 0,33a	22,22 ± 0,29a
C18:1	617,3 ± 6,7a	622,31 ± 8,87a	616,37 ± 5,84a	614,11 ± 12,5a	620,87 ± 11,39a	616,61 ± 6,89a	637,9 ± 11,56a	635,56 ± 0,89a	635,37 ± 9,89a	635,41 ± 8,3a
C18:2	155,31 ± 1,56a	157,17 ± 2,28a	155,98 ± 1,5a	155,57 ± 3,15a	157,19 ± 2,87a	155,86 ± 1,76a	159,11 ± 2,9a	158,34 ± 0,24a	155,14 ± 2,46a	155,22 ± 2,04a
C18:3	8,02 ± 0,18a	8,17 ± 0,11a	8,07 ± 0,08a	8,07 ± 0,17a	8,17 ± 0,16a	8,06 ± 0,09a	8,25 ± 0,15a	8,22 ± 0,02a	8,22 ± 0,13a	8,23 ± 0,11a
C20:0	4,29 ± 0,04a	4,19 ± 0,06a	4,14 ± 0,04a	4,18 ± 0,1a	4,22 ± 0,08a	4,29 ± 0,05a	4,32 ± 0,08a	4,31 ± 0a	4,31 ± 0,06a	4,31 ± 0,07a
C20:1	3,03 ± 0,04a	3,13 ± 0,05a	3,09 ± 0,03a	3,09 ± 0,07a	3,13 ± 0,06a	3,08 ± 0,03a	3,18 ± 0,06a	3,17 ± 0a	3,17 ± 0,05a	3,17 ± 0,04a
C22:0	1,24 ± 0,02a	1,17 ± 0,03ab	1,16 ± 0,01b	1,17 ± 0,03ab	1,18 ± 0,02ab	1,21 ± 0,02ab	1,18 ± 0,02ab	1,19 ± 0,01ab	1,2 ± 0,02ab	1,2 ± 0,01ab
C22:1	0,29 ± 0,45ab	0,87 ± 0,01a	0,88 ± 0,02a	0,86 ± 0,09a	1,05 ± 0,18a	0,94 ± 0,05a	0,92 ± 0,02a	0,81 ± 0,01a	0,39 ± 0,55ab	0 ± 0b
SFA	169,5 ± 2,04a	168,18 ± 2,47a	166,8 ± 1,61a	166,48 ± 3,16a	168,26 ± 3,02a	170,45 ± 2,18a	172,03 ± 3,16a	171,31 ± 0,53a	170,76 ± 2,66a	170,65 ± 2,19a
MUFA	629,62 ± 7,3a	635,74 ± 9,07a	629,67 ± 5,98a	627,33 ± 12,84a	634,39 ± 11,81a	629,87 ± 7,08a	651,55 ± 11,83a	649,05 ± 0,94a	648,36 ± 10,65a	648,02 ± 8,46a
PUFA	163,33 ± 1,74a	165,34 ± 2,39a	164,05 ± 1,58a	163,64 ± 3,32a	165,36 ± 3,03a	163,92 ± 1,85a	167,36 ± 3,05a	166,56 ± 0,26a	163,36 ± 2,59a	163,45 ± 2,15a

*Vrijednosti označene različitim slovima statistički su različite ($p \leq 0,05$) prema Tukeyjevom testu višestruke usporedbe

Tablica 10. Utjecaj predtretmana **pulsirajućim električnim poljem** na sastav i maseni udjel (mg/g) masnih kiselina u DMU iz sorte **levantinka**

MASNE KISELINE [mg/g]	UZORAK (sorta - vrijeme [s] - jakost električnog polja [kV/cm])									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	L-0-0	L-60-1	L-30-2	L-90-2	L-18-4,5	L-60-4,5	L-102-4,5	L-30-7	L-90-7	L-60-8
C16:0	115,73 ± 1,71a	114,54 ± 1,16a	115,47 ± 1,5a	115,88 ± 1,74a	116,07 ± 1,12a	119,82 ± 1,51a	117,34 ± 1,21a	115,35 ± 1,72a	118,01 ± 1,08a	115,35 ± 1,29a
C16:1	6,92 ± 0,32ab	7 ± 0,07ab	7,04 ± 0,1ab	7,09 ± 0,11ab	7,11 ± 0,07ab	7,19 ± 0,09ab	7,27 ± 0,07a	7,16 ± 0,11ab	7,32 ± 0,07a	6,88 ± 0,08b
C17:0	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0,04 ± 0,06a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a
C17:1	0,54 ± 0,02a	0,53 ± 0,01a	0,54 ± 0,01a	0,54 ± 0a	0,54 ± 0,01a	0,56 ± 0,01a	0,54 ± 0,02a	0,53 ± 0a	0,54 ± 0,01a	0,55 ± 0,01a
C18:0	41,28 ± 0,84a	41,57 ± 0,46a	41,94 ± 0,48a	42,25 ± 0,47a	42,48 ± 0,41a	43,22 ± 0,58a	42,23 ± 0,52a	41,79 ± 0,51a	42,92 ± 0,27a	40,32 ± 0,41a
C18:1	735,67 ± 9,78a	723,72 ± 7,87a	731,32 ± 8,57a	732,57 ± 8,43a	734,63 ± 7,34a	758,50 ± 9,88a	730,51 ± 8,22a	716,88 ± 9,11a	735,72 ± 4,85a	729,74 ± 7,7a
C18:2	67,16 ± 2,76ab	68,06 ± 0,74ab	68,59 ± 0,8ab	69,12 ± 0,81ab	69,16 ± 0,69ab	69,87 ± 0,92ab	69,99 ± 0,75ab	69,12 ± 0,87ab	70,65 ± 0,49a	66,58 ± 0,72b
C18:3	5,92 ± 0,07ab	6,02 ± 0,06ab	6,09 ± 0,07ab	6,16 ± 0,07a	6,14 ± 0,06a	6,13 ± 0,08a	6,06 ± 0,07ab	5,9 ± 0,07ab	6,02 ± 0,04ab	5,77 ± 0,06b
C20:0	5,5 ± 0,07a	5,43 ± 0,06a	5,5 ± 0,05a	5,51 ± 0,04a	5,54 ± 0,05a	5,66 ± 0,09a	5,44 ± 0,08a	5,36 ± 0,06a	5,54 ± 0,02a	5,36 ± 0,05a
C20:1	2,9 ± 0,04a	2,86 ± 0,02a	2,89 ± 0,03a	2,9 ± 0,02a	2,91 ± 0,03a	2,97 ± 0,04a	2,86 ± 0,04a	2,8 ± 0,04a	2,89 ± 0,01a	2,85 ± 0,03a
C22:0	1,36 ± 0,02a	1,34 ± 0,02a	1,36 ± 0,01a	1,36 ± 0,01a	1,37 ± 0,01a	1,39 ± 0,02a	1,32 ± 0,03a	1,31 ± 0,01a	1,36 ± 0a	1,32 ± 0,01a
C22:1	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0,38 ± 0,53a	0,39 ± 0,55a	0 ± 0a	0 ± 0a
SFA	163,87 ± 2,64a	162,88 ± 1,7a	164,27 ± 2,04a	165 ± 2,26a	165,46 ± 1,59a	170,13 ± 2,26a	166,33 ± 1,84a	163,81 ± 2,3a	167,83 ± 1,37a	162,35 ± 1,76a
MUFA	746,03 ± 10,16a	734,11 ± 7,97a	741,79 ± 8,71a	743,1 ± 8,56a	745,19 ± 7,45a	769,22 ± 10,02a	741,56 ± 8,88a	727,76 ± 9,81a	746,47 ± 4,94a	740,02 ± 7,82a
PUFA	73,08 ± 2,83ab	74,08 ± 0,8ab	74,68 ± 0,87ab	75,28 ± 0,88ab	75,3 ± 0,75ab	76 ± 1ab	76,05 ± 0,82ab	75,02 ± 0,94ab	76,67 ± 0,53a	72,35 ± 0,78b

*Vrijednosti označene različitim slovima statistički su različite ($p \leq 0,05$) prema Tukeyjevom testu višestruke usporedbe

Tablica 7 prikazuje utjecaj predtretmana pulsirajućim električnim poljem (PEP) na sastav masnih kiselina u djevičanskim maslinovim uljima iz sorte rosulja. Predtretman PEP-om kroz 18 sekundi i pri 4,5 kV/cm (predtretman 4) ima statistički značajan utjecaj na smanjenje masenog udjela palmitinske (16:0), a kroz 60 s pri 8 kV/cm (predtretman 9) na smanjenje masenog udjela palmitoleinske masne kiseline (16:1).

Najznačajniju promjenu sastava masnih kiselina uslijed djelovanja PEP-a, od svih ispitivanih ulja pokazalo je DMU iz istarske bjelice. Tablica 8 prikazuje da na masne kiseline DMU iz istarske bjelice, statistički značajan utjecaj imaju predtretmani kroz 60 s pri 1 kV/cm (predtretman 1), kroz 30 s pri 2 kV/cm (predtretman 2) i kroz 90 s pri 2 kV/cm (predtretman 3). Nakon tih predtretmana, smanjio se maseni udjel heptadekanske (17:0), linolne (18:2) i ukupnih višestrukonezasićenih masnih kiselina (PUFA), a povećalo maseni udjel arahinske (20:0) i behenske masne kiseline (22:0). Također, nakon predtretmana PEP-om kroz 30 s i 90 s pri 2 kV/cm (predtretmani 2 i 3), povećao se udjel stearinske masne kiseline (18:0). Povećanje udjela behenske masne kiseline (22:0) značajno je i kod predtretmana 4 i 5: kroz 18 s pri 4,5 kV/cm te 60 s pri 4,5 kV/cm. Nakon predtretmana 5: 60 s uz 4,5 kV/cm, također je značajno smanjenje udjela heptadekanske masne kiseline (17:0).

Tablica 9 prikazuje da predtretman PEP-om DMU iz oblice kroz 30 s pri 2 kV/cm (predtretman 2) statistički značajno djeluje na smanjenje masenog udjela behenske masne kiseline (22:0), a kroz 102 s pri 4,5 kV/cm (predtretman 6) na povećanje masenog udjela palmitoleinske masne kiseline (16:1).

Iz Tablice 10 evidentno je da predtretman PEP-om uopće nije utjecao na sastav i udjel masnih kiselina u DMU iz levantinke.

Na temelju analiziranih rezultata, može se zaključiti da je pulsirajuće električno polje imalo utjecaj na masne kiseline DMU iz tri od četiri ispitane autohtone hrvatske sorte, što baš i nije u skladu s rezultatima objavljenima u dostupnoj literaturi.

Kao i kod primjene UZV-a, i na predtretman PEP-om svaka sorta odgovorila je na drugačiji način. Najotpornije su oblica i levantinka, uz to što je kod oblice zabilježen značajan utjecaj na povećanje udjela palmitoleinske i smanjenje udjela behenske masne kiseline. PEP kao predtretman nema statistički značajan utjecaj na niti jednu masnu kiselinu u DMU iz sorte levantinka.

Najviše promjena u sastavu i masenom udjelu masnih kiselina odvijalo se u DMU iz istarske bjelice.

Od primijenjenih parametara predtretmana PEP-a, najveći utjecaj na rezultate pokazao je predtretman 2: kroz 30 s uz 2 kV/cm, pod čijim utjecajem je statistički značajno smanjenje udjela dvije pojedinačne masne kiseline (heptadekanske i linolne) i ukupnih PUFA kod ulja iz istarske bjelice te povećanje udjela tri masne kiseline (stearinske, arahinske i behenske kod ulja iz istarske bjelice i također behenske kod ulja iz oblice).

Abenoza i sur. (2013) istraživali su učinak PEP-a na sastav masnih kiselina, a provedena analiza nije pokazala značajne razlike u udjelu zasićenih, nezasićenih i polinezasićenih masnih kiselina nakon tretmana. Slični rezultati dobiveni su za oleinsku kiselinu, što je vrlo bitno, jer je ona najviše cijenjena masna kiselina u maslinovom ulju s prehrambenog gledišta.

Utjecaj pulsirajućeg električnog polja na sastav masnih kiselina djevičanskih maslinovih ulja slabo je istražen i nije u fokusu skoro niti jednog istraživanja dostupnog u literaturi, osim navedenog, što dodatno pridaje na važnosti ovom istraživanju.

Tablica 11. Utjecaj sorte, snage ultrazvučne kupelji te vremena predtretmana na sastav masnih kiselina u DMU tretiranim **ultrazvukom**

UZV - <i>p</i> -vrijednosti						
MK	SORTA	SNAGA UZV kupelji [W]	VRIJEME [min]	SORTA* SNAGA UZV kupelji [W]	SORTA* VRIJEME [min]	SNAGA UZV kupelji [W]*VRIJEME [min]
C16:0	<0,001***	<0,05	0,680	<0,001	0,857	0,669
C16:1	<0,001	0,339	0,181	<0,05	0,445	0,589
C17:0	<0,001	<0,001	0,619	<0,001	<0,05	0,512
C17:1	<0,001	0,121	0,628	0,135	0,498	0,070
C18:0	<0,001	<0,05	0,540	<0,001	0,121	0,506
C18:1	<0,001	<0,05	0,449	<0,001	0,706	0,541
C18:2	<0,001	<0,01**	0,337	<0,001	0,784	0,219
C18:3	<0,001	<0,05	0,671	<0,001	0,641	0,130
C20:0	<0,001	<0,05	0,478	<0,001	0,525	0,894
C20:1	<0,001	<0,05	0,227	<0,001	0,295	0,307
C22:0	<0,001	<0,01	0,147	<0,001	0,230	0,592
C22:1	<0,001	0,211	<0,01	<0,01	<0,05	0,335
SFA	<0,05*	<0,05	0,668	<0,001	0,871	0,810
MUFA	<0,001	1,000	0,503	<0,001	0,706	0,544
PUFA	<0,001	<0,01	0,354	<0,001	0,786	0,208

*Statistička značajnost između kategorija testirana je pomoću t-testa ($p \leq 0,05$) SFA – zasićene masne kiseline; MUFA – mononezasićene masne kiseline; PUFA – polinezasićene masne kiseline

*** statistički visoko signifikantan utjecaj; ** statistički signifikantan utjecaj; * statistički signifikantan utjecaj na nižem nivou

U tablici 11 prikazani su rezultati ANOVA statističke analize s razinom značajnosti od 95 %. U tablici su navedene *p*-vrijednosti za određeni faktor (sorta, snaga ultrazvučne kupelji i vrijeme predtretmana) kao i za njihove interakcije, a vrijednosti za koje je pokazan statistički signifikantan utjecaj one su za koje vrijedi $p \leq 0,05$.

Iz prikazanog, očito je da je sorta imala statistički visoko signifikantan utjecaj na sastav masnih kiselina ($p \leq 0,001$).

Snaga ultrazvučne kupelji imala je statistički signifikantan utjecaj na većinu masnih kiselina tretiranih ulja, a najviše (statistički visoko signifikantan utjecaj) na maseni udjel heptadekanske masne kiseline ($\leq 0,001$).

Vrijeme tretiranja DMU ultrazvukom imalo je statistički signifikantan utjecaj samo na maseni udjel eruka masne kiseline ($\leq 0,01$).

Proučavajući interakcije sorte i snage ultrazvučne kupelji, vidljivo je da je svaka sorta imala drugačiji odgovor na primijenjen intenzitet snage. Tako je izražen statistički visoko signifikantan utjecaj na maseni udjel palmitinske, heptadekanske, stearinske, oleinske, linolne, linolenske, arahinske, gadoleinske te behenske masne kiseline.

Interakcija sorte i vremena predtretmana UZV-om, kao i interakcija snage ultrazvučne kupelji i vremena predtretmana UZV-om, nemaju statistički značajan utjecaj na maseni udjel masnih kiselina u tretiranim uzorcima DMU.

Što se tiče utjecaja navedenih faktora na sastav masnih kiselina s obzirom na zasićenost, statistički signifikantan utjecaj imala je sorta na zasićene masne kiseline. Statistički visoko signifikantan utjecaj imala je sorta na sve nezasićene masne kiseline, a interakcija sorte i snage ultrazvučne kupelji i na zasićene i na nezasićene masne kiseline. Snaga ultrazvučne kupelji imala je statistički signifikantan utjecaj samo na ukupne polinezasićene masne kiseline (PUFA).

Tablica 12. Utjecaj sorte, jakosti električnog polja te vremena predtretmana na sastav masnih kiselina u DMU tretiranim **pulsirajućim električnim poljem**

PEP - <i>p</i> -vrijednosti						
MK	SORTA	JAKOST EL. POLJA [kV/cm]	VRIJEME [s]	SORTA* JAKOST EL. POLJA [kV/cm]	SORTA* VRIJEME [s]	JAKOST EL. POLJA [kV/cm]* VRIJEME [s]
C16:0	<0,001***	0,091	0,309	0,124	0,439	0,876
C16:1	<0,001	0,092	0,794	<0,01	0,344	0,912
C17:0	<0,001	<0,001	0,429	<0,01	0,176	0,934
C17:1	<0,001	<0,001	0,286	<0,001	0,258	0,984
C18:0	<0,001	<0,001	0,154	<0,001	0,372	0,919
C18:1	<0,001	0,337	0,578	<0,01	0,098	0,900
C18:2	<0,001	<0,01**	0,215	<0,001	0,346	0,929
C18:3	<0,001	<0,01	0,122	0,066	0,605	0,183
C20:0	<0,001	<0,001	<0,05	<0,001	0,367	0,929
C20:1	<0,001	0,128	0,255	<0,01	0,065	0,320
C22:0	<0,001	<0,001	<0,01	<0,001	0,668	0,747
C22:1	<0,001	<0,001	0,076	<0,001	0,134	<0,05
SFA	<0,001	<0,05*	0,235	<0,05	0,507	0,929
MUFA	<0,001	0,318	0,604	<0,01	0,102	0,880
PUFA	<0,001	<0,01	0,219	<0,001	0,362	0,886

*Statistička značajnost između kategorija testirana je pomoću t-testa ($p \leq 0,05$) SFA – zasićene masne kiseline; MUFA – mononezasićene masne kiseline; PUFA – polinezasićene masne kiseline

*** statistički visoko signifikantan utjecaj; ** statistički signifikantan utjecaj; * statistički signifikantan utjecaj na nižem nivou

U tablici 12 prikazani su rezultati ANOVA statističke analize s razinom značajnosti od 95 %. U tablici su navedene *p*-vrijednosti za određeni faktor (sorta, jakost električnog polja i vrijeme predtretmana) kao i za njihove interakcije, a vrijednosti za koje je pokazan statistički signifikantan utjecaj one su za koje vrijedi $p \leq 0,05$.

Na temelju toga, može se zaključiti da sorta ima statistički visoko signifikantan utjecaj na sastav masnih kiselina ($p \leq 0,001$), kao i kod predtretmana DMU ultrazvukom.

Jakost električnog polja imala je statistički signifikantan utjecaj na udjele linolne i linolenske masne kiseline tretiranih ulja, a statistički visoko signifikantan utjecaj imala je na masene udjele heptadekanske, heptadekanoinske, stearinske, arahinske, behenske te eruka masne kiseline.

Vrijeme tretiranja DMU ultrazvukom imalo je statistički signifikantan utjecaj samo na udjel behenske masne kiseline.

Iz interakcija sorte i jakosti električnog polja, očigledno je da je svaka sorta imala drugačiji odgovor na primjenjeni intenzitet električnog polja. Tako je izražen statistički visoko signifikantan utjecaj na masene udjele heptadekanoinske, stearinske, linolne, arahinske, behenske te eruka masne kiseline.

Interakcija sorte i vremena predtretmana PEP-om, kao i interakcija jakosti električnog polja i vremena predtretmana PEP-om, također, kao ni kod predtretmana ultrazvukom, nemaju statistički značajan utjecaj na masene udjele masnih kiselina u tretiranim uzorcima DMU.

Što se tiče utjecaja navedenih faktora na sastav masnih kiselina s obzirom na zasićenost, statistički visoko signifikantan utjecaj na zasićene i nezasićene masne kiseline imala je sorta. Jakost električnog polja imala je statistički signifikantan utjecaj na ukupne PUFA ($p \leq 0,01$), kao što ga je imala snaga ultrazvučne kupelji kod tretmana ultrazvukom. Interakcija sorte i jakosti električnog polja imala je statistički visoko signifikantan utjecaj samo na ukupne PUFA, dok je kod ukupnih MUFA (mononezasićene masne kiseline) pokazala samo statistički signifikantan utjecaj.

5. ZAKLJUČCI

1. Svaka od ispitanih sorti pokazala je drugačiji odgovor na utjecaj ultrazvučnog predtretmana na sastav masnih kiselina u DMU. Najotpornije su istarska bjelica i levantinka, a najosjetljivija je oblica, pogotovo njezina stearinska masna kiselina (C18:0). Statistički najznačajniji utjecaj na smanjenje masenih udjela masnih kiselina u DMU imao je 9. ultrazvučni predtretman: 10 s pri 640 W.
2. Također, na predtretman pulsirajućim električnim poljem svaka sorta odgovorila je na drugačiji način. Najotpornije su oblica i levantinka, a najosjetljivija istarska bjelica. Najznačajniji utjecaj na masne kiseline u DMU iz te sorte pokazao je 2. PEP-ov predtretman: 30 s uz 2 kV/cm.
3. Sorta je imala statistički visoko signifikantan utjecaj ($p \leq 0,001$) na sastav masnih kiselina, posebno nezasićenih masnih kiselina u DMU proizvedenima uz predtretmane ultrazvukom i PEP-om. Snaga ultrazvučne kupelji i jakost električnog polja imale su statistički signifikantan utjecaj ($p \leq 0,01$) na većinu masnih kiselina, uključujući i na sumu PUFA. Što se tiče međusobnih interakcija ovih faktora, interakcija sorte i snage ultrazvučne kupelji te interakcija sorte i jakosti električnog polja imale su statistički visoko signifikantan utjecaj ($p \leq 0,001$) na većinu masnih kiselina te na ukupne PUFA.
4. Vrijeme tretiranja nije imalo utjecaj na sastav masnih kiselina kod nijednog predtretmana.

6. LITERATURA

Abenoza M, Benito M, Saldaña G, Álvarez I, Raso J, Sánchez-Gimeno AC (2013) Effects of Pulsed Electric Field on Yield Extraction and Quality of Olive Oil. *Food and Bioprocess Technol* **6**, 1367-1373. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0817-6>

Andreou V, Dimopoulo G, Alexandrakis Z, Katsaros G, Oikonomou D, Toepfl S i sur. (2017) Shelf-life evaluation of virgin olive oil extracted from olives subjected to nonthermal pretreatments for yield increase. *Innov Food Sci Emerg* **40**, 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.009>

Barouh N, Bourlieu-Lacanal C, Figueroa-Espinoza MC, Durand E, Villeneuve P (2021) Tocopherols as antioxidants in lipid-based systems: The combination of chemical and 30 physicochemical interactions determines their efficiency. *Compr Rev Food Sci Food Saf* **21**, 642-688. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12867>

Bejaoui MA, Beltrán G, Sánchez-Ortiz A, Sánchez S, Jiménez A (2015) Continuous high power ultrasound treatment before malaxation, a laboratory scale approach: Effect on virgin olive oil quality criteria and yield. *Eur J Lipid Sci Tech* **118**, 332–336. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500020>

Bejaoui MA, Sánchez-Ortiz A, Aguilera MP, Ruiz-Moreno MJ, Sánchez S, Jiménez A, Beltrán G (2018) High power ultrasound frequency for olive paste conditioning: Effect on the virgin olive oil bioactive compounds and sensorial characteristics. *Innov Food Sci Emerg* **47**, 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.02.002>

Boskou D, Blekas G, Tsimidou M (2006) Olive Oil Composition. U: Boskou D (ured.) Olive Oil: Chemistry and Technology, 2 izd., AOCS Press, Champaign, Illinois, str. 41-72.

Brezjan P (2023) Utjecaj ultrazvuka i pulsirajućeg električnog polja na sastav polifenola hrvatskih djevičanskih maslinovih ulja (diplomski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Brkić Bubola K, Koprivnjak O, Sladonja B, Škevin D, Belobrajčić I (2012) Utjecaj roka berbe na sastav i kvalitetu djevičanskih maslinovih ulja sorte Rosinjola. *Croatian journal of food science and technology* **4**, 9-18. <https://hrcak.srce.hr/84715>

Brnčić M, Tripalo B, Penava A, Karlović D, Ježek D, Vikić Topić D i sur. (2009) Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam* **4**, 32-37.

Cecić M (2020) Uloga esencijalnih masnih kiselina u organizmu čovjeka (završni rad), Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu, Split.

Clodoveo ML, Durante V, La Notte D (2013) Working towards the development of innovative ultrasound equipment for the extraction of virgin olive oil. *Ultrason Sonochem* **20**, 1261–1270. <https://doi:10.1016/j.ultsonch.2013.02.00>

Gila A, Sánchez-Ortiz A, Jiménez A, Beltrán G (2021) The ultrasound application does not affect to the thermal properties and chemical composition of virgin olive oils. *Ultrason Sonochem* **70**, 105320. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105320>

Godena S, Damijanić K, Milotić A (2009) Morfološke karakteristike masline sorte Rosinjola u Istri. *Pomol Croat* **15**, 27-34. <https://hrcak.srce.hr/50634>

Gugić J (2006) Proizvodno–ekonomska obilježja maslinarstva u obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima. *Pomol Croat* **12**, 135-152. <https://hrcak.srce.hr/4507>

Gugić J, Strikić F, Perica S, Čmelik Z, Jukić Lj (2007) Proizvodnja sadnog materijala masline u Republici Hrvatskoj. *Pomol Croat* **13**, 229-250. <https://hrcak.srce.hr/36223>

Han L (2020) Optimizacija ekstrakcije polifenola iz lista masline i procjena antimikrobne aktivnosti (diplomski rad), Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Herceg Z, Režek Jambrak A, Rimac Brnčić S, Krešić G (2009) Proces konzerviranja hrane (Novi postupci) Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, str. 53-87.

HRN EN ISO 12966-2:2017 Životinjske i biljne masti i ulja – Određivanje metilnih estera masnih kiselina plinskom kromatografijom – 2. dio: Priprava metilnih estera masnih kiselina.

Klepo T i Benčić Đ (2014) Utjecaj genotipa na kemijski sastav maslinovog ulja. *Glasnik Zaštite Bilja* **37**, 44-53. <https://hrcak.srce.hr/162617>

Koprivnjak O (2006) Djevičansko maslinovo ulje: od masline do stola, MIH, Poreč.

Kraljić K, Stjepanović T, Obranović M, Pospišil M, Balbino S, Škevin D (2018) Influence of conditioning temperature on the quality, nutritional properties and volatile profile of virgin rapeseed oil. *Food Tech Biotech* **56**, 562-572. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.04.18.5738>

Krešić G, Lelas V, Režek Jambrak A, Herceg Z (2011) Primjena visokog tlaka u postupcima obrade hrane. *Kemija u industriji* **60**, 11-19. <https://hrcak.srce.hr/63133>

Lovrić T (2003) Proces u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva, Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str. 262-274.

Maslinar (2023) Sorta koja daje odlično ulje. <https://www.maslinar.com/levantinka-daje-odlicno-ulje/> Pristupljeno 3. kolovoza 2024.

Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i ribarstva (2024) Godišnje izvješće o stanju poljoprivrede u 2023. godini. <https://poljoprivreda.gov.hr/istaknute-teme/poljoprivreda-173/poljoprivredna-politika/agroekonomske-analize/zeleno-izvjesce/189> Pristupljeno 29. kolovoza 2024.

Modrave Murter - Betina (2021) Maslinarstvo. <https://modrave-murter-betina.hr/maslinarstvo/> Pristupljeno 3. kolovoza 2024.

Modrušan D (2022) Fenologija cvatnje introduciranih sorata maslina na lokacijama Vodnjan, Kaštel Stari i Split u 2021. godini (diplomski rad), Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb:

Nardella M, Moscetti R, Chakravartula SSN, Bedini G, Massantini R (2021) A review on high-power ultrasound-assisted extraction of olive oils: Effect on oil yield, quality, chemical composition and consumer perception. *Food* **10**, 2743. <https://doi.org/10.3390/foods10112743>

Pejović J, Barbarić M, Jakobušić Brala C (2014) Maslinovo ulje - sastav i biološka aktivnost fenolnih spojeva. *Farmaceutski glasnik* **70**, 69-86.

Poljuha D, Sladonja B, Brkić Bubola K, Radulović M, Brščić K, Šetić E i sur. (2008) A Multidisciplinary Approach to the Characterisation of Autochthonous Istrian Olive (*Olea europaea* L.) Varieties. *Food Technol Biotechnol* **46**, 347-354. <https://hrcak.srce.hr/30410>

Puértolas E i Martínez de Marañón I (2015) Olive oil pilot-production assisted by pulsed electric field: impact on extraction yield, chemical parameters and sensory properties. *Food chemistry*, **167**, 497-502. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.029>

Ročak T (2005) Osnovne kemijske analize kakvoće Istarskih maslinovih ulja (diplomski rad), Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Romaniello R, Tamborrino A, Leone A (2019) Use of Ultrasound and Pef Technologies Applied to the Olive Oil Extraction Process, *Chem Eng Trans* **75**, 13-18. <https://doi.org/10.3303/CET1975003>

Roščić M (2024) Utjecaj inovativnih tehnologija na sastav masnih kiselina djevičanskog maslinovog ulja sorte levantinka (završni rad), Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Rustan A i Drevon C (2005) Fatty Acids: Structures and Properties, Encyclopedia of life sciences, John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0003894>

Servili M, Esposto S, Taticchi A, Urbani S, Selvaggini R, Di Maio I, Veneziani G (2011) Innovation in extraction technology for improved virgin olive oil quality and by-product valorisation. *Acta Horti* **888**, 303-16. <https://doi.org/10.17660/ActaHort.2011.888.35>

Servili M, Veneziani G, Taticchi A, Romaniello R, Tamborrino A, Leone, A (2019) Low-Frequency, High-Power Ultrasound treatment at different pressures for olive paste: effects on olive oil yield and quality. *Ultrason Sonochem* **59**, 104747. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104747>

Šarolić M, Gugić M, Marijanović Z, Šuste M (2014) Virgin olive oil and nutrition. *Food Health Dis* **3**, 38-43. <https://hrcak.srce.hr/126239>

Škarica B, Žužić I, Bonifačić M (1996) Maslina i maslinovo ulje visoke kakvoće u Hrvatskoj, Tipograf d.d., Rijeka.

Škevin D (2016) Kemija i tehnologija ulja i masti (interna skripta), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Tamborrino A, Urbani S, Servili M, Romaniello R, Perone C, Leone A (2019) Pulsed electric fields for the treatment of olive pastes in the oil extraction process. *Appl Sci* **10**. <https://doi.org/10.3390/app10010114>

Trojanović d.o.o. (2024) O autohtonim vrstama. <https://trojanovic.hr/masline-autohtone-vrste/> Pristupljeno 20.kolovoza 2024.

Uredba (2013) Uredba (EU) br. 1308/2013 Europskog parlamenta i Vijeća od 17. prosinca 2013. o uspostavljanju zajedničke organizacije tržišta poljoprivrednih proizvoda i stavljanju izvan snage uredbi Vijeća (EEZ) br. 922/72, (EEZ) br. 234/79, (EZ) br. 1037/2001 i (EZ) br. 1234/2007 Službeni list Europske unije 347, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:32013R1308> Pristupljeno 20. kolovoza 2024.

Uredba (2022) Uredba komisije (EEZ) br. 2022/2104 o dopuni Uredbe (EU) br. 1308/2013 Europskog parlamenta i Vijeća u pogledu tržišnih standarda za maslinovo ulje i o stavljanju izvan snage Uredbe Komisije (EEZ) br. 2568/91 i Provedbene uredbe Komisije (EU) br. 29/2012 (2022) Službeni list Europske unije 248, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R2104> Pristupljeno 20. kolovoza 2024.

Veneziani G, Sordini B, Taticchi A, Esposto S, Selvaggini R, Urbani S i sur. (2016) Improvement of olive oil mechanical extraction: New technologies, process efficiency, and

extra virgin olive oil quality. U: Boskou D, Clodoveo M (ured.) Products from olive tree, InTech, Rijeka, 21-42.

Veneziani G, Esposito S, Taticchi A, Selvaggini R, Sordini B, Loreface A, Servili M (2019) Extra-Virgin Olive Oil Extracted Using Pulsed Electric Field Technology: Cultivar Impact on Oil Yield and Quality. *Front. Nutr.* **6**. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00134>

Zhang Z-H, Wang L-H, Zeng X-A, Han Z, Brennan CS (2018) Non-Thermal Technologies and Its Current and Future Application in the Food Industry: A Review. *Int J Food Sci Tech* **54**. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13903>

Žanetić M i Gugić M (2006) Zdravstvene vrijednosti maslinovog ulja. *Pomol Croat* **2**, 159-173. <https://hrcak.srce.hr/4509>

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, Ana Svirčević, izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristila drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Ana Svirčević

Vlastoručni potpis