DR.10 IZVJEŠTAJ O OCJENI DOKTORSKOGA RADA[1]			
PODACI O DOKTORANDU / DOKTORANDICI			
Ime i prezime doktoranda / doktorandice:		Josipa Dukić, mag. ing.	
Matični broj doktoranda / doktorandice:		449/PT	
OPĆI PODACI O STUDIJU			
Nositelj studija:		Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet	
Naziv studija:		Biotehnologija i bioprocesno inženjerstvo, prehrambena tehnologija i nutricionizam	
Naziv partnerske institucije *(u slučaju da se radi o dvojnom doktoratu)*:		/	
Naziv upisanog doktorskog studija na partnerskoj instituciji *(u slučaju da se radi o dvojnom doktoratu)*:		/	
Područje / polje / grana *(ako se doktorski studij izvodi u grani)*:		Biotehničke znanosti / Prehrambena tehnologija	
PODACI O DOKTORSKOM RADU			
Jezik pisanja rada:		Engleski	
Naslov doktorskoga rada:	*Na jeziku pisanja rada*	Utilization of by-products and waste from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) processing by non-thermal extraction techniques	
	Na hrvatskom	Iskorištavanje nusproizvoda i otpada iz prerade šećerne repe *(Beta vulgaris* L.) primjenom netoplinskih tehnika ekstrakcije	
	Na engleskom	Utilization of by-products and waste from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) processing by non-thermal extraction techniques	
MENTOR(I)			
		Ime i prezime, titula:	**Ustanova, država:**
Mentor:		prof. dr. sc. Anet Režek Jambrak	Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska
Mentor:		/	/
POVJERENSTVO ZA OCJENU DOKTORSKOGA RADA			
Imenovano povjerenstvo za ocjenu doktorskoga rada[2]:		**Ime i prezime, titula:**	**Ustanova, država:**
		1.. prof. dr. sc. Verica Dragović-Uzelac	Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska
		2.. prof. dr. sc. Tomislav Bosiljkov	Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska

[1] Ispunjeni obrazac DR.10 poslati u elektroničkom i tiskanom obliku, potpisan, u nadležnu referadu.
Obrazac popunjava predsjednik Povjerenstva za ocjenu doktorskoga rada.
[2] 6. i 7. član povjerenstva dopušteni su samo u slučaju dvojnog doktorata

	3.. dr. sc. Ana Butorac, v. znan. sur.	Selvita d.o.o., Zagreb, Hrvatska
	4../	/
	5../	/
	6../	/
	7../	/
Sjednica nadležnog tijela i točka dnevnog reda u okviru koje je imenovano Povjerenstvo:	6. redovita sjednica Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta za akad.god.2024./2025. održana 26. ožujka 2025. godine (ad 15)	

OCJENA DOKTORSKOGA RADA

Oblik pisanja rada:	☐ znanstvena monografija ☒ skandinavski model ☐ umjetnički rad	
Rad se ocjenjuje:	☒ prvi put	☐ nakon dorade
Doktorski rad treba:	☒ prihvatiti ☐ doraditi ☐ odbiti	

Obrazloženje prethodno navedenog mišljenja (uz navođenje izvornog znanstvenog ili umjetničkog doprinosa i novog otkrića)**:**

Disertacija Josipe Dukić, mag. ing. izrađena je u Laboratoriju za održivi razvoj na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Anet Režek Jambrak.

Doktorski rad pisan je prema tzv. skandinavskom modelu i temelji se na 4 objavljena znanstvena rada. Disertacija ukupno sadrži 163 stranica, 11 slika, 3 tablica, 193 literaturna navoda, životopis pristupnice i mentorice, temeljnu dokumentacijsku karticu te prošireni sažetak na engleskom i hrvatskom jeziku, a podijeljena je na sljedeća poglavlja: Uvod, Teorijski dio, Znanstveni radovi, Opća Rasprava, Zaključci i Literatura. Radovi na kojima se zasniva Doktorski rad objavljeni su u časopisima Foods, Applied Sciences, Ultrasonics Sonochemistry i Molecules, pri čemu je pristupnica prvi autor na tri od četiri rada.

Uvod:

U uvodnom dijelu predstavljen je globalni problem rasta populacije te sve veći problem klimatskih promjena koji zahtjeva razvoj održivih metoda obrade hrane koji ima manji utjecaj na okoliš. Nove tehnologije poput netoplinskih tehnika ekstrakcija, nude alternativu konvencionalnim metodama smanjenjem energije i vremena obrade, dok istovremeno imaju za cilj očuvati kvalitetu hrane i smanjiti otpad. Konkretno, interes je usmjeren na ekstrakciji proteina i drugih bioaktivnih spojeva iz otpada i nusproizvoda prerade šećerne repe, koji pokazuju pozitivan utjecaj na ljudsko zdravlje. Netoplinske tehnike ekstrakcije, ultrazvuk visoke snage i visokonaponsko električno pražnjenje predložene su kao nove i obećavajuće tehnike za ekstrakciju navedenih spojeva, a sve u svrhu ostvarivanja ciljeva odživog razvoja te „zero waste“ koncepta i koncepta kružne ekonomije.

Teorijski dio:

U teorijskom dijelu dane su osnovne informacije o održivosti u prehrambenoj tehnologiji i ukratko je opisana povijest održivog razvoja te su pojašnjeni pojmovi kružne ekonomije te „*zero waste*“ koncepta. Nadalje, detaljno je opisan biljni materijal - šećerna repa te nusproizvodi i otpad koji zaostaju njenom preradom. Otpad i nusproizvodi iz prerade šećerna repa predstavljeni su kao dobar izvor proteina s naglaskom na RuBisCO enzim te drugih bioaktivnih spojeva kao što je flavonoid Vitexin. Navedeni su zdravstveni benefiti prethodno spomenutih spojeva te su detaljno predstavljene netoplinske tehnike ekstrakcije (ultrazvuk visoke snage te visokonaponsko električno pražnjenje).Tablično su vrlo pregledno i sistematično prikazana dosadašnja istraživanja (zadnjih 10 godina) koja uključuju ekstrakciju vrijednih spojeva iz šećerne repe i njenih nusproizvoda te otpada primjenom ultrazvuka te visokonaponskog električnog pražnjenja. Na temelju detaljnog pregleda dosadašnjih dostupnih istraživanja postavljene su slijedeće hipoteze:

- proteine i druge bioaktivne spojeve iz nusproizvoda i otpada prerade šećerne repe učinkovitije je ekstrahirati primjenom netoplinskih tehnika ekstrakcije u odnosu na konvencionalnu toplinsku tehniku ekstrakcije;
- ovisno o primijenjenoj netoplinskoj tehnici ekstrakcije te njihovim parametrima, bioaktivni spojevi pokazuju različitu antioksidativnu aktivnost.

Na temelju postavljenih hipoteza, postavljeni su ciljevi istraživanja:

- odrediti utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta i visokonaponskog električnog pražnjenja na prinos proteina i drugih bioaktivnih spojeva iz nusproizvoda i otpada prerade šećerne repe.
- odrediti antioksidativnu aktivnost ekstrakata iz nusproizvoda i otpada prerade šećerne repe dobivenih primjenom ultrazvuka visokog intenziteta i visokonaponskog električnog pražnjenja.

Osim predviđenih ciljeva, dodatno je istražen kemijski sastav biljnih sirovina (nusproizvoda i otpada zaostalih nakon prerade šećerne repe) te je definiran utjecaj kemijskog sastava na toplinska i kinetička svojstva.

Znanstveni radovi:

Ovo poglavlje sadrži 4 znanstvena rada koja su sustavno povezana. Svi korišteni materijali i metode, dobiveni rezultati i rasprava koja prati prikazane rezultate istraživanja jasno su opisani u svakom radu.

Znanstveni rad br. 1:

Ostojić, S., Micić, D., **Dukić, J**., Sabljak, I., Akyüz, A., Ersus, S., Režek Jambrak, A. (2025) Thermal Characteristics and Kinetics of the Thermal Degradation of Sugar Beet Waste Leaves and Pulp in Relation to Chemical Composition. *Foods*. **14**, 307, doi: 10.3390/foods14020307.

Cilj ovog rada bio je provesti toplinsku karakterizaciju osušene pulpe šećerne repe, peleta, lišća i dvije frakcije lišća šećerne repe te odrediti kinetičke parametre njihove toplinske razgradnje kako bi se dobio dublji uvid u proces toplinske razgradnje. Diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom i termogravimetrijom ispitana su toplinska svojstva navedenih materijala, a kinetika toplinske razgradnje proučavana je termogravimetrijskom analizom. Navedenim istraživanjem uočena su četiri stupnja razgradnje unutar temperaturnog raspona od 25 do 700 °C. Kinetički parametri razgradnje, dobiveni neizotermnim izokonverzijskim metodama Ortege i Friedmana, nisu se značajno razlikovali između modela. Najveća stopa konstantne razgradnje zabilježena je kod uzoraka lišća šećerne repe. Dobiveni rezultati od iznimnog su značaja za potencijalnu buduću industrijsku preradu (scale up) otpada - lišća šećerne repe. U

odnosu na prijavu teme doktorskog rada, ovim radom proširili su se ciljevi istraživanja koji su dali bolji uvid u kemijska svojstva te utjecaj istih na toplinsko kinetička svojstva nusproizvoda i otpada zaostalog nakon prerade šećerne repe.

Znanstveni rad br. 2:

Dukić, J., Hunić, M., Nutrizio, M., Režek Jambrak, A. (2022) Influence of High-Power Ultrasound on Yield of Proteins and Specialized Plant Metabolites from Sugar Beet Leaves (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *altissima*). *Appl. Sci.* **12**, 8949. doi: 10.3390/app12188949.

Cilj ovog rada bio je istražiti i definirati utjecaj ultrazvuka visoke snage na fizikalno-kemijske parametre ekstrakta lista šećerne repe. Rezultati dobiveni ultrazvukom uspoređeni su s konvencionalnom tehnikom toplinske ekstrakcije. Usporedba navedenih tehnika ekstrakcije temeljila se na prinosima proteina i fenolnih spojeva, potrošnji energije, korištenoj snazi, emisiji CO_2 te promjenama pH i električne vodljivosti. Ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom visoke snage, u usporedbi s toplinskom tehnikom ekstrakcije, dovela je do povećanja prinosa proteina i specijaliziranih biljnih metabolita uz značajno nižu potrošnju energije i emisiju CO_2. Dobiveni rezultati u skladu su s ciljevima održivog razvoja. Nadalje, ovim radom potvrđena je prva hipoteza „Proteine i druge bioaktivne spojeve iz nusproizvoda i otpada prerade šećerne repe učinkovitije je ekstrahirati primjenom netoplinskih tehnika ekstrakcije u odnosu na konvencionalnu toplinsku tehniku ekstrakcije“.

Znanstveni rad br. 3:

Dukić, J., Košpić, K., Kelava, V., Mavrić, R., Nutrizio, M., Balen, B., Butorac, A., Halil Öztop, M., Režek Jambrak, A. (2023) Alternative methods for RuBisCO extraction from sugar beet waste: A comparative approach of ultrasound and high voltage electrical discharge. *Ultrason. Sonochem*., **99**, 106535. doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2023.106535.

Cilj ovog rada bio je postići visok prinos RuBisCO enzima, koji bi se potom mogao koristiti kao izvor bioaktivnih peptida u proizvodnji funkcionalne hrane. Naglasak je stavljen na održivost, koristeći industrijski otpadni materijal kao izvor proteina, u kombinaciji s netoplinskim tehnikama ekstrakcije s malim utjecajem na okoliš (ultrazvuk visoke snage i visokonaponsko električno pražnjenje). U usporedbi s visokonaponskim električnim pražnjenjem, ultrazvuk visoke snage pokazao se kao bolja alternativna tehnika ekstrakcije ukupnih topljivih proteina (s naglaskom na RuBisCO enzim). Optimiziranjem parametara navedenih tehnika ekstrakcije moguće je utjecati na topivost i poboljšati izolaciju RuBisCO-a enzima, koji bi se potom mogao pročistiti i implementirati u nove ili već postojeće funkcionalne proizvode. Ovim radom također je potvrđena prva hipoteza „Proteine i druge bioaktivne spojeve iz nusproizvoda i otpada prerade šećerne repe učinkovitije je ekstrahirati primjenom netoplinskih tehnika ekstrakcije u odnosu na konvencionalnu toplinsku tehniku ekstrakcije“.

Znanstveni rad br. 4:

Dukić, J., Režek Jambrak, A., Jurec, J., Merunka, D., Valić, S., Radičić, R., Krstulović, N., Nutrizio, M., Dubrović, I. (2025) High-Power Ultrasound and High-Voltage Electrical Discharge-Assisted Extractions of Bioactive Compounds from Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Waste: Electron Spin Resonance and Optical Emission Spectroscopy Analysis. *Molecules*, **30**(4), 796, doi:10.3390/molecules30040796.

Cilj ovog rada bio je istražiti i procijeniti učinkovitost ultrazvuka visoke snage i visokonaponskog električnog pražnjenja na ekstrakciju bioaktivnih komponenti s antioksidativnim kapacitetom iz lišća šećerne repe variranjem ekstrakcijskog otapala, primijenjene amplitude i vremena tretmana za ultrazvučno potpomognutu ekstrakciju te ekstrakcijskog otapala, primijenjenog plina, primijenjenog napona i vremena tretmana za ekstrakciju potpomognutu visokonaponskim električnim pražnjenjem. Fokus rada bio je na održivosti i korištenju industrijskog otpada kao izvora bioaktivnih spojeva u kombinaciji s netoplinskim tehnikama ekstrakcije s malim utjecajem na okoliš. Ultrazvučno potpomognuta ekstrakcija pokazala se izvrsnom metodom za ekstrakciju ukupnih fenolnih spojeva, a

ekstrakcija potpomognuta visokonaponskim električnim pražnjenjem izvrsnom metodom za ekstrakciju flavonoidnog spoja - Vitexina. Nadalje, dokazano je da rezultati mjerenja antioksidativnog kapaciteta međusobno koreliraju, a najviše vrijednosti pronađene su u uzorcima tretiranim ultrazvukom. Karakterizacijom plazme putem optičke emisijske spektroskopije, potvrđeno je da ni otapalo ni uzorak ne utječu na spektre plazme, već samo korišteni plin (dušik/argon). Svi dobiveni rezultati predstavljaju izvrsnu osnovu za buduća istraživanja iskorištavanja otpada i nusproizvoda hrane. Ovim radom potvrđene su obje postavljene hipoteze.

Opća rasprava:

U općoj raspravi objedinjeni su publicirani radovi u smislenu cjelinu. Rasprava je podijeljena u tri cjeline: (i) kemijski sastav uzoraka i njihov utjecaj na toplinska i kinetička svojstva, (ii) optimizacija prinosa proteina iz nusproizvoda i otpada iz prerade šećerne repe, te (iii) optimizacija prinosa Vitexina i antioksidativne aktivnosti iz nusproizvoda i otpada iz prerade šećerne repe. Kroz navedena poglavlja jasno su i argumentirano interpretirani rezultati provedenih istraživanja i uspoređeni s relevantnim znanstvenim radovima. Nadalje, rezultati iz priloženih znanstvenih radova dodatno su prošireni i uspoređeni s novim i neobjavljenim rezultatima. Također, kroz raspravu je istaknut znanstveni doprinos ove disertacije.

Zaključci:

U ovom poglavlju sažeto su prikazani najvažniji zaključci i saznanja provedenih istraživanja. Zaključeno je kako su netoplinske tehnike ekstrakcije, ultrazvuk visoke snage i visokonaponsko električno pražnjenje uspješno primijenjene i optimirane za izolaciju proteina te drugih bioaktivnih spojeva iz nusproizvoda i otpada zaostalog nakon prerade šećerne repe. Također, zaključeno je kako navedene netoplinske tehnike omogućuju veće prinose ciljanih spojeva te osiguravaju veću antioksidativnu aktivnost u usporedbi s toplinskom konvencionalnom tehnikom ekstrakcije.

Literatura:

Literatura navedena u doktorskom radu je iz područja istraživanja doktorskog rada i uključuje najnovija saznanja i suvremenu metodologiju korištenu tijekom izrade ovog rada.

Zaključno, doktorski rad potvrđuje postavljene hipoteze te jasno i argumentirano opravdava i potkrepljuje ciljeve istraživanja. Važno je istaknuti kako ovaj rad predstavlja značajni znanstveni doprinos u razvoju i optimizaciji netoplinskih tehnika ekstrakcije, konkretno ultrazvuka visoke snage i visokonaponskog električnog pražnjenja, koji u kombinaciji sa zelenim otapalima, doprinose većim ekstrakcijskim prinosima u usporedbi s konvencionalnim tehnikama ekstrakcije.

Mišljenje i prijedlog:

Na temelju iznesenog, povjerenstvo smatra kako je disertacija pristupnice Josipe Dukić, mag. ing. izrađena prema postavljenim hipotezama, ciljevima i obrazloženju prijavljene teme. Pristupnica je rezultate iznijela sustavno i jasno, te na temelju rasprave donijela logične zaključke. Provedeno istraživanje omogućuje nove spoznaje o mogućnostima ekstrakcija ultrazvukom visoke snage i visokonaponskim električnim pražnjenjem te donosi novi uvid u održivost navedenih tehnika. Istraživanje je omogućilo bolje razumijevanje ekstrakcijskih parametara na prinos, sastav i antioksidativnu aktivnost spojeva izoliranih iz nusproizvoda i otpada zaostalog preradom šećerne repe. Statističkom obradom podataka jasno su definirani optimalni uvjeti svake pojedine tehnike ekstrakcije. Provedeno istraživanje jasno prikazuje kako se linearni koncept gospodarstva može prevesti u kružni oblik valoriziranjem i ponovnim korištenjem otpada i nusproizvoda iz prehrambene industrije.

Na temelju svega navedenog, predlažemo Fakultetskom Vijeću Sveučilišta u Zagrebu Prehrmabeno-biotehnološkog fakulteta da se doktorski rad Josipe Dukić, mag. ing. pod naslovom "Utilization of by-products and waste from sugar beet (*Beta vulgaris* L.)

processing by non-thermal extraction techniques" ("Iskorištavanje nusproizvoda i otpada iz prerade šećerne repe (*Beta vulgaris* L.) primjenom netoplinskih tehnika ekstrakcije") prihvati i uputi na daljnji postupak za stjecanje akademskog stupnja doktora znanosti iz znanstvenog područja Biotehničke znanosti, znanstvenog polja Prehrambena tehnologija.

.

Izdvojeno mišljenje *(samo ako netko od članova Povjerenstva za ocjenu rada ima izdvojeno mišljenje)***:**

Potpis

(ime i prezime člana povjerenstva)

Napomena *(po potrebi)*

	Ime i prezime, titula, ustanova, država	**Potpis**
Potpisi članova Povjerenstva za ocjenu doktorskoga rada[3]:	1. *prof. dr. sc. Verica Dragović-Uzelac, Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska (predsjednik Povjerenstva)*	
	2.. prof. dr. sc. Tomislav Bosiljkov, Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska	
	3.. dr. sc. Ana Butorac, v. znan. sur., Selvita d.o.o., Zagreb, Hrvatska	
	4..	
	5..	
	6..	
	7..	

U **Zagrebu**, **4. travnja 2025.**
(mjesto i datum)

[3] 6. i 7. član povjerenstva dopušteni su samo u slučaju dvojnog doktorata