DR.10 IZVJEŠTAJ O OCJENI DOKTORSKOGA RADA[1]			
PODACI O DOKTORANDU / DOKTORANDICI			
Ime i prezime doktoranda / doktorandice:		Melissa Prelac	
Matični broj doktoranda / doktorandice:		443/PT	
OPĆI PODACI O STUDIJU			
Nositelj studija:		Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet	
Naziv studija:		Poslijediplomski sveučilišni doktorski studij 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*	The adsorption of phytochemicals from onion peel and olive leaf aqueous extracts onto biochar from grapevine pruning residues	
	Na hrvatskom	Potencijal biougljena od ostataka rezidbe vinove loze u adsorpciji fitokemikalija iz vodenih ekstrakata ljuske luka i lista masline	
	Na engleskom		
MENTOR(I)			
		Ime i prezime, titula:	**Ustanova, država:**
Mentor:		Igor Palčić, dr. sc.	Institut za poljoprivredu i turizam, Hrvatska
Mentor:		Maja Repajić, izv. prof. dr. sc.	Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska
POVJERENSTVO ZA OCJENU DOKTORSKOGA RADA			
Imenovano povjerenstvo za ocjenu doktorskoga rada[2]:		**Ime i prezime, titula:**	**Ustanova, država:**
		1.. Verica Dragović-Uzelac, prof. dr. sc.	Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska
		2.. Josip Ćurko, izv. prof. dr. sc.	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.. Nikola Major, dr. sc.	Institut za poljoprivredu i turizam, Hrvatska
	4..	
	5..	
	6..	
	7..	
Sjednica nadležnog tijela i točka dnevnog reda u okviru koje je imenovano Povjerenstvo:	9. redovita sjednica Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta za ak. god. 2024./2025. održanoj 18.06.2025., ad 13	

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 Melisse Prelac, mag. ing. agr. izrađena je na Institutu za poljoprivredu i turizam u Poreču, Hrvatska, pod mentorstvom dr. sc. Igora Palčića i izv. prof. dr. sc. Maje Repajić.

Doktorandica Melissa Prelac izradila je i predala na ocjenjivanje doktorsku disertaciju pod naslovom „*The adsorption of phytochemicals from onion peel and olive leaf aqueous extracts onto biochar from grapevine pruning residues*". Doktorski rad napisan je po skandinavskom modelu te sadrži 117 stranica, 5 slika, 236 referenci i 3 priloga koja uključuju objavljene znanstvene radove. Rad je strukturiran kroz nekoliko temeljnih poglavlja: uvod, teorijski pregled, rasprava, zaključci, literatura, prilozi i životopis doktorandice.

Uvodni dio doktorskog rada strukturiran je logično i tematski zaokruženo, obuhvaćajući širok teorijski okvir i relevantnu kontekstualizaciju istraživačkog problema. U uvodnom dijelu ističe se problematika globalnog rasta populacije koji dovodi do povećanog pritiska na prehrambene sustave i okoliš, uz porast količine agroindustrijskog otpada. Ostaci poput onih nakon rezidbe vinove loze, ljuske luka i listova masline često ostaju neiskorišteni, iako sadrže vrijedne bioaktivne spojeve, osobito polifenole s korisnim biološkim djelovanjima. Kako bi se ti spojevi ekstrahirali na održiv način, sve više se primjenjuju zelene metode ekstrakcije, poput maceracije, ekstrakcije potpomognute ultrazvukom i mikrovalovima, pri čemu se koristi voda kao ekološki prihvatljivo otapalo. Paralelno, biougljen, dobiven pirolizom biljne biomase, sve se više istražuje kao adsorbens zbog svoje poroznosti i velike površine.

Teorijski dio disertacije temelji se na multidisciplinarnom pristupu valorizaciji agro-prehrambenog otpada u kontekstu klimatskih promjena i održivog upravljanja resursima. U radu se najprije razmatra sve izraženiji utjecaj klimatskih promjena te potreba za učinkovitijim korištenjem nusproizvoda poljoprivredno-prehrambene industrije, čime se doprinosi smanjenju otpada i povećanju

dodane vrijednosti unutar kružne bioekonomije. Poseban naglasak stavljen je na biougljen dobiven pirolizom ostataka rezidbe vinove loze, koji se istražuje kao funkcionalni materijal zbog svojih povoljnih adsorpcijskih svojstava. Takav biougljen ima potencijal u adsorpciji i stabilizaciji organskih spojeva, osobito polifenola, što ga čini pogodnim za daljnju primjenu u okolišnim i prehrambenim tehnologijama. U radu su također detaljno analizirani i opisani potencijali ljuske luka i listova masline kao izvora visoko vrijednih bioaktivnih tvari, prvenstveno polifenola, koji pokazuju značajna antioksidacijska, protuupalna i antimikrobna svojstva. Budući da se ti materijali često zanemaruju i odbacuju, njihova valorizacija predstavlja konkretan doprinos održivom gospodarenju biomasom. Osim toga, naglasak se stavlja na korištenje zelenih, vodenih metoda ekstrakcije (maceracija, ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom i mikrovalovima) kao alternativu konvencionalnim otapalima, čime se osigurava smanjenje ekološkog otiska procesa.

Teorijski dio zaokružen je formulacijom hipoteze, istraživačkih ciljeva i očekivanog znanstvenog doprinosa. Na temelju detaljnog pregleda dosadašnjih istraživanja postavljenje su hipoteze rada da će biougljen imati povoljna fizikalno-kemijska svojstva kao adsorbens, a u Langmuirovom i Freundlichovom izotermnom modelu koeficijent determinacije (R^2) bit će veći od 0,90, da će voda biti učinkovito otapalo za ekstrakciju polifenola iz ljuske luka i listova masline, a suvremene metode ekstrakcije, viša temperatura i niži omjer krute i tekuće faze rezultirat će većim udjelom polifenola i antioksidacijskom aktivnošću te da će biougljen ostvariti veću adsorpciju manje polarnih polifenola prisutnih u ekstraktima. Na temelju postavljenih hipoteza, postavljeni su ciljevi istraživanja: (i) analizirati i okarakterizirati biougljen dobiven iz ostataka rezidbe vinove loze kao adsorpcijski materijal razvojem Langmuirovog i Freundlichovog adsorpcijskog modela; (ii) optimirati proces ekstrakcije polifenola iz ljuske luka i listova masline korištenjem vode kao otapala, uzimajući u obzir metodu ekstrakcije, temperaturu i omjer krute i tekuće faze; (iii) odrediti potencijal biougljena iz ostataka rezidbe vinove loze u adsorpciji polifenola iz ekstrakata ljuske luka i lista masline.

Plan istraživanja detaljno je razrađen i podijeljen u tri međusobno povezane cjeline. Prvi dio fokusira se na proizvodnju i karakterizaciju bioguljena, dok se druga i treća faza paralelno bave ekstrakcijom i adsorpcijom polifenola iz različitih biljnih izvora. Korištenje zelenih ekstrakcijskih metoda i vode kao otapala dodatno naglašavaju okolišnu komponentu istraživanja. Cjelokupni istraživački pristup je metodološki konzistentan i znanstveno relevantan, s jasnim ciljem valorizacije agro-prehrambenog otpada kroz razvoj održivih rješenja. Ovaj dio rada uspješno povezuje teorijske pretpostavke s eksperimentalnim dizajnom te daje čvrstu podlogu za evaluaciju znanstvenog doprinosa.

Opća rasprava uspješno integrira rezultate triju radova, jasno povezujući svojstva biougljena, optimiranje zelenih ekstrakcija te učinkovitost biougljena u adsorpciji polifenola. U ovom radu dokazano je da ispitani biougljen ima povoljna fizikalno-kemijska svojstva za primjenu kao adsorbens. Voda se potvrdila kao učinkovito otapalo u ektrakciji polifenola iz ljuski luka i listova masline, posebno uz primjenu suvremenih metoda i optimiranih parametara ekstrakcije. Adsorpcija polifenola na biougljen dobro se uklopila u Langmuirove i Freundlichove modele, uz visoke koeficijente determinacije, potvrđujući selektivni adsorpcijski potencijal biougljena. Rasprava je jasna, koherentna i dobro povezana s ciljevima istraživanja.

U Zaključku, ovo istraživanje predstavlja integrirani pristup valorizaciji agroindustrijskog otpada kroz kombinaciju zelenih ekstrakcijskih metoda i primjene biougljena dobivenog pirolizom ostataka rezidbe vinove loze. U fokusu rada bili su ljuske luka i listovi masline kao biljni materijali bogati polifenolima, no često zanemareni u kontekstu valorizacije. Primjenom vode kao ekološki prihvatljivog otapala te korištenjem maceracije i ekstrakcije ultrazvučnim valovima pri povišenim temperaturama, postignut je visoki prinos polifenolnih spojeva uz očuvanu antioksidacijsku aktivnost, pri čemu se ekstrakcija popomognuta ultrazvukom pri 90 °C te omjer čvrste i tekuće faze 1:100 g/mL pokazala najučinkovitijom. Biougljen proizveden iz ostataka rezidbe vinove loze pokazao je povoljne fizikalno-kemijske karakteristike kao adsorbens: visoku poroznost, alkalan pH, znatan udio ugljika, kalija i silicija te prisutnost funkcionalnih skupina na površini, što pogoduje interakciji s bioaktivnim molekulama. Adsorpcijska ispitivanja, provedena s referentnim standardima i ekstraktima ljuske luka i lista masline, potvrdila su učinkovitost biougljena u vezanju polifenola, pri čemu su rezultati Langmuirovog i Freundlichovog modela pokazali dobro slaganje s eksperimentalnim podacima ($R^2 > 0.90$). Među ispitivanim

spojevima, oleuropein i hidroksitirosol iz listova masline te quercetin-3,4'-diglukozid iz ljuski luka pokazali su najvišu adsorpcijsku sposobnost. Nadalje, ispitan je i utjecaj količine dodanog biougljena na adsorpcijsku sposobnost. Optimalni uvjeti adsorpcije uključivali su primjenu 0,5 g biougljena na 3 g/L ekstrakta, dok je za određene spojeve iz lista maslina, poput oleuropeina, veća količina biougljena (2,5 g) rezultirala boljim vezanjem. Time je potvrđena selektivna učinkovitost biougljena u adsorpciji specifičnih polifenola, što otvara mogućnosti njegove primjene ne samo u procesu ekstrakcije vrijednih spojeva, već i u okolišnim tehnologijama (npr. pročišćavanje otpadnih voda) te u formulacijama funkcionalne hrane, kozmetike i farmaceutike.

Doktorska disertacija temelji se na rezultatima istraživanja objavljenima u tri znanstvene publikacije:

Publikacija 1. Prelac, M., Palčić, I., Cvitan, D., Anđelini, D., Repajić, M., Ćurko, J., Kovačević, T.K., Goreta Ban, S., Užila, Z., Ban, D., Major, N. (2023) Biochar from Grapevine Pruning Residues as an Efficient Adsorbent of Polyphenolic Compounds. *Materials*, **16**, 4716. doi: 10.3390/ma16134716

Ciljevi prve publikacije bili su proizvodnja i karakterizacija biougljena proizvedenog procesom pirolize ostataka rezidbe vinove loze kao adsorbens za polifenolne spojeve. U ovom radu korišteni su standardi kafeinske kiseline, galne kiseline i oleuropeina. Podaci su modelirani Langmuirovim i Freundlichovim izotermama, pri čemu je za oleuropein Langmuirov model dao najbolje vrijednosti KL (0,39) i R^2 (0,9934). Adsorpcijska dinamika ispitana je pomoću prilagođene HPLC kolone koja je napunjena biougljenom. Povrat spojeva putem online ekstrakcije na HPLC-u iznosio je 41,5 % za kafeinsku kiselinu, 61,8 % za galnu kiselinu i 91,4 % za oleuropein. Istraživani biougljen pokazao je veći afinitet za adsorpciju manje polarnih spojeva i bolju učinkovitost pri otpuštanju polarnijih spojeva, što ukazuje na njegov potencijal kao učinkovit adsorbens polifenolnih spojeva. Prvom publikacijom potvrđena je hipoteza da će biougljen imati povoljna fizikalno-kemijska svojstva kao adsorbens, a u Langmuirovom i Freundlichovom izotermnom modelu koeficijent determinacije (R^2) bit će veći od 0,90.

Publikacija 2. Prelac, M., Palčić, I., Cvitan, D., Anđelini, D., Repajić, M., Ćurko, J., Kovačević, T.K., Goreta Ban, S., Užila, Z., Ban, D., Major, N. (2023) From Waste to Green: Water-Based Extraction of Polyphenols from Onion Peel and Their Adsorption on Biochar from Grapevine Pruning Residues. *Antioxidants*, **12**, 1697. doi: 10.3390/antiox12091697

U ovom je radu ispitan potencijal biougljena u adsorpciji ciljanih polifenola iz ekstrakata ljuske luke. Ekstrakcija je provedena prema principima zelene kemije, koristeći deioniziranu vodu i tri ekstrakcijske metode: maceraciju, ekstrakciju potpomognutu ultrazvukom i mikrovalovima. Ispitana je učinkovitost ekstrakcije pri različitim temperaturama te omjerima krute i tekuće faze. Najbolji prinos polifenola postignut je korištenjem ekstrakcije potpomognute ultrazvukom pri temperaturi 90 °C i omjeru 1:100 g/mL. Adsorpcijska sposobnost pojedinih polifenola modelirana je Langmuirovim i Freundlichovim izotermama, pri čemu je quercetin-3,4'-diglukozid imao najbolje rezultate.

Publikacija 3. Prelac, M., Major, N., Cvitan, D., Anđelini, D., Repajić, M., Ćurko, J., Kovačević, T.K., Goreta Ban, S., Užila, Z., Ban, D., Palčić, I. (2024) Valorization of Olive Leaf Polyphenols by Green Extraction and Selective Adsorption on Biochar Derived from Grapevine Pruning Residues. *Antioxidants*, **13**, 1. doi: 10.3390/ antiox13010001

U ovom je istraživanju ispitan potencijal biougljena dobivenog iz ostataka rezidbe vinove loze u adsorpciji specifičnih polifenola iz ekstrakata lista masline. Kao zeleno otapalo korištena je voda, a ekstrakcija je provedena pomoću maceracije, ekstrakcije potpomognute ultrazvukom i mikrovalovima, uz variranje temperature te omjera krute i tekuće faze. Adsorpcijska sposobnost biougljena analizirana je pomoću Langmuirovog i Freundlichovog izotermskog modela, pri čemu se Freundlichov model bolje uklapao u eksperimentalne podatke. Najzastupljeniji spoj u ekstraktima bio je oleuropein, koji je ostvario najvišu vrijednost koeficijenta korelacije (R^2 = 0,9715) i Freundlichovog faktora (Kf = 20,4). Optimalna količina biougljena u eksperimentima doziranja bila je 0,5 g na 3 g/L ekstrakta, osim za oleuropein i hidroksitirosol, kod kojih se bolji rezultati postižu s 2,5 g biougljena.

Publikacije 2 i 3 potvrđuju hipoteze da će voda biti učinkovito otapalo za ekstrakciju polifenola iz ljuske luka i listova masline, a suvremene metode ekstrakcije, viša temperatura te niži omjer krute i tekuće faze rezultirat će većim udjelom polifenola i antioksidacijskom aktivnošću te da će biougljen ostvariti veću adsorpciju manje polarnih polifenola prisutnih u ekstraktima.

Doktorski rad donosi značajan znanstveni doprinos u području održive valorizacije agro-prehrambenog otpada, primjenom integriranog pristupa koji uključuje optimiranje zelenih ekstrakcija te primjenu biougljena kao selektivnog adsorbensa. Novo otkriće rada temelji se na dokazanoj učinkovitosti biougljena dobivenog iz ostataka rezidbe vinove loze za selektivnu adsorpciju specifičnih polifenola iz vodenih ekstrakata ljuski luka i listova masline, uz visoku usklađenost s Langmuirovim i Freundlichovim modelima. Rad po prvi put kvantitativno potvrđuje selektivni adsorpcijski kapacitet biougljena u ovisnosti o polaritetu spojeva, kemijskom sastavu adsorbensa i uvjetima doziranja. Uz to, optimalni uvjeti vodene ekstrakcije omogućuju visok prinos i očuvanje bioaktivnosti polifenola, potvrđujući učinkovitost korištenih zelenih tehnologija.

Ovim istraživanjem razvijen je održiv model dvostruke valorizacije otpada, iskorištavanjem jedne vrste poljoprivrednog otpada kao izvora vrijednih fitokemikalija i druge kao funkcionalnog materijala za njihovu separaciju i potencijalni oporavak. Time rad doprinosi razvoju održivih tehnologija u kontekstu kružne bioekonomije, s potencijalnim primjenama u pročišćavanju voda te u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji.

Mišljenje i prijedlog:

Pristupnica Melissa Prelac, mag. ing. agr. izradila je doktorski rad prema prijavljenoj temi te u skladu s postavljenim ciljevima i hipotezama istraživanja. Doktorska disertacija predstavlja kvalitetno i metodološki precizno istraživanje u području održive valorizacije agro-prehrambenog otpada. Kroz povezan eksperimentalni pristup, od proizvodnje i karakterizacije biougljena do optimiranja vodene ekstrakcije i ispitivanja adsorpcije polifenola, rad donosi nove znanstvene uvide s potencijalnom primjenom u kružnoj bioekonomiji. Značajan doprinos očituje se u dokazanoj selektivnoj učinkovitosti biougljena za adsorpciju specifičnih polifenola, kao i u optimiranju parametara zelene ekstrakcije. Primjena Langmuirovih i Freundlichovih modela dodatno potvrđuje znanstvenu utemeljenost rezultata. Disertacija je jasno strukturirana i potkrijepljena relevantnim publikacijama.

Na temelju svega navedenog, predlažemo Fakultetskom Vijeću Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta da se doktorski rad Melisse Prelac, mag. ing. agr. pod naslovom "The adsorption of phytochemicals from onion peel and olive leaf aqueous extracts onto biochar from grapevine pruning residues" ("Potencijal biougljena od ostataka rezidbe vinove loze u adsorpciji fitokemikalija iz vodenih ekstrakata ljuske luka i lista masline") 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. Verica Dragović-Uzelac, prof. dr. sc., Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska *(predsjednik Povjerenstva)*	
	2..Josip Ćurko, izv. prof. dr. sc., Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Hrvatska	
	3..Nikola Major, dr. sc., Institut za poljoprivredu i turizam, Hrvatska	
	4..	
	5..	
	6..	
	7..	

U **Zagrebu**, 01.07.2025.

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