

Fresh olive pomace as organic soil amendment for olive grove and its effect on olive leaf and fruit mineral composition

Svježa komina kao organski poboljšivač tla u masliniku i njen utjecaj na mineralni sastav lista i ploda masline

Lepomir ČOGA¹, Šimun KOLEGA² (✉), Magdalena ZORICA², Sanja SLUNJSKI¹, Marko ZORICA²

¹ University of Zagreb Faculty of Agriculture, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Croatia

² University of Zadar, Department, of Ecology, Agronomy and Aquaculture, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, Croatia

✉ Corresponding author: skolega@unizd.hr

Received: May 16, 2025; accepted: November 18, 2025

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of different doses of fresh olive pomace (FOP) application on soil chemical properties and the mineral composition of olive plant material (leaves and fruits), as well as to assess the impact on heavy metal levels in the soil. The experiment was conducted in an olive orchard at Grabovci (Croatia) during 2022 and 2023, on the domestic cv. Oblica and the introduced Italian cv. Leccino. Four fertilization treatments with pomace doses ranging from 0 to 5 kg/m² were applied. Soil analyses showed that pomace treatment significantly increased humus, phosphorus, potassium, and calcium content in the upper part of the soil, while total nitrogen was significantly elevated only at the highest dose. No increase in heavy metal concentrations in the soil was observed; in some cases, zinc, chromium, lead, and arsenic levels decreased. Fertilization with FOP positively influenced the morphological characteristics of olive fruits, increasing fruit mass, length, and width. The mineral composition of leaves and fruits exhibited optimal or elevated levels of key nutrients (N, P, K, Ca, Mg) without toxicity signs. The results confirm that FOP can be an effective organic soil amendment in olive cultivation, contributing to production sustainability and reducing the need for mineral fertilizers.

Keywords: soil analysis, heavy metals, Leccino, Oblica, organic matter, sustainable agriculture

SAŽETAK

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati učinke primjene različitih doza žitke svježe kominе masline na kemijske značajke tla i mineralni sastav biljnog materijala masline (listova i plodova), te utvrditi utjecaj na razinu teških metala u tlu. Pokus je proveden u masliniku na lokaciji Grabovci (Hrvatska) tijekom 2022. i 2023. godine, na domaćoj sorti Oblica te talijanskoj sorti Leccino. Primijenjena su četiri tretmana gnojidbe kominom u dozama od 0 do 5 kg/m². Analize tla pokazale su da je tretman kominom značajno povećao sadržaj humusa, fosfora, kalija i kalcija u površinskom sloju tla, dok ukupni dušik nije bio značajno povišen osim u najvećoj dozi. Nije zabilježeno povećanje koncentracije teških metala u tlu, a u nekim slučajevima došlo je do smanjenja sadržaja cinka, kroma, olova i arsena. Gnojidba kominom pozitivno je utjecala na morfološke karakteristike plodova masline, povećavajući masu, duljinu i širinu plodova. Mineralni sastav listova i plodova pokazao je optimalne ili povišene razine ključnih makronutrijenata (N, P, K, Ca, Mg) bez znakova toksičnosti. Rezultati potvrđuju da svježa komina masline može biti učinkoviti organski poboljšivač tla u maslinarstvu, doprinositi održivosti proizvodnje i smanjenju potrebe za mineralnim gnojivima.

Ključne riječi: analiza tla, teški metali, Leccino, Oblica, organska tvar, održiva poljoprivreda

DETAILED ABSTRACT

This study aimed to evaluate the agronomic potential of fresh olive pomace (FOP) as an organic soil amendment in olive orchards and its influence on the mineral composition of olive leaves and fruits. A two-year field experiment was conducted in Grabovci (Šibensko-kninska County, Croatia) on two olive cultivars: the domestic cv. Oblica and the Italian cv. Leccino. Four fertilization treatments were applied using increasing doses of fresh olive pomace (0, 1.5, 3.0 and 5.0 kg/m²), with three replications per treatment. The study focused on analyzing the chemical characteristics of the soil at two depths (0–30 cm and 30–60 cm), as well as the morphological characteristics and nutrient composition of the olive leaves and fruits collected during harvest in 2022 and 2023. Soil analysis revealed that adding FOP significantly increased humus content (by up to 45% compared to the control), available phosphorus (by 18 – 27%), exchangeable potassium (by up to 35%) and CaCO₃ content in the upper soil layer, compared to the control. Mineral nitrogen was significantly higher only in the highest dose treatment (5.0 kg/m²), increasing by 22% compared to the control. The data showed no increase in the concentration of heavy metals in the soil; in some cases, their concentrations were significantly reduced after pomace application, particularly zinc, chromium and arsenic. Soil pH was significantly higher in treatments VAR2 and VAR3, it remained stable despite the slightly acidic nature of the pomace, which is attributed to the high buffering capacity of the tested soil. Morphological traits of olive fruits (mass, length and width) were significantly improved by pomace treatments in both years. The highest values were observed in the 5.0 kg/m² treatment. The mineral composition of olive leaves showed optimal or elevated levels of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg) without signs of toxicity. Notably, potassium content in leaves increased with pomace application, reaching levels within or above the optimal range. Phosphorous levels were also elevated in VAR2, and calcium content was highest in the treatment with the lowest pomace dose. Leaves of cv. Leccino tended to accumulate significantly more potassium, calcium, iron and manganese than leaves of cv. Oblica, indicating genotypic differences in nutrient uptake. Pomace fertilization also affected micronutrient contents in leaves, particularly iron, zinc, manganese and copper. These elements showed seasonal and varietal variation but generally remained within the optimal ranges. Similarly, the nutrient content of fruits demonstrated balanced levels, confirming that pomace application did not lead to excess accumulation of nutrients. Nitrogen concentrations in fruit were significantly higher in all treatments with FOP compared to the control, while iron and manganese levels were elevated in control fruits sampled in 2023. Fruits of cv. Leccino tended to accumulate more calcium than cv. Oblica in both studied years. These findings suggested that cultivar-specific nutrient partitioning plays a role in fruit mineral composition. Overall, no toxic levels of any macro- or micronutrients were observed. Although FOP had beneficial effects in this study, it is important to note that its chemical composition can vary significantly depending on fruit condition, extraction process, and cultivar. FOP often contains residual oil and phenolic compounds, which may negatively affect soil properties if applied immediately after processing and in excessive quantities. Further research is needed to assess the potential risks of residual organic compounds. The results of this study indicate that fresh olive pomace – even when not composted and in lower doses – can be a valuable organic amendment for Mediterranean soils, which are often lacking in organic matter. Its application contributes to the sustainability of olive production by improving soil fertility, nutrient cycling, and reducing dependence on mineral fertilizers. Furthermore, it offers a solution for managing the agro-industrial waste generated during olive oil production. The study confirms that fresh olive pomace in studied dosages can be safely applied to olive orchards without environmental risks related to heavy metal contamination or plant nutrient toxicity. Therefore, it may serve as a viable input in organic and integrated olive production systems.

UVOD

Maslinovo ulje jedan je od najvrjednijih prehrambenih proizvoda mediteranske regije, gdje se nalazi i glavno područje njegove proizvodnje. Maslinarstvo u Hrvatskoj zauzima važnu ulogu u razvoju poljoprivrede, osobito na priobalju i otocima, gdje klimatski i pedološki uvjeti omogućuju kvalitetan uzgoj masline. Uz velik broj autohtonih i introduciranih sorata te sve veću orijentaciju na kvalitetu i oznake geografskog podrijetla, hrvatski maslinari ostvaruju sve veći uspjeh i na međunarodnom tržištu. U posljednjem desetljeću bilježi se snažan rast broja nasada i proizvodnje maslinova ulja (Palčić i sur., 2009). Prema podacima FAOSTAT-a (2023), svjetska proizvodnja maslinova ulja u 2021. godini iznosila je oko 3,34 milijuna tona s oko 10 milijuna hektara maslinika. U Hrvatskoj je iste godine proizvedeno više od 3200 tona ulja na gotovo 20 tisuća hektara, a trend podizanja novih nasada ponovno jača tijekom posljednje tri godine (DZS, 2023). Istodobno raste i udio ekoloških nasada, koji zauzimaju više od 10 % ukupne površine pod maslinama. Posljedično, povećava se i broj uljara – trenutačno ih je u Hrvatskoj aktivno oko 160, s prosječnim kapacitetom prerade od 1300 kg/h (Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i ribarstva, 2019).

Međutim, s porastom prerade dolazi i do značajnog povećanja količine otpada, osobito komine masline. Zbrinjavanje ovog nusproizvoda predstavlja izazov, ali i priliku u kontekstu održive poljoprivrede. U skladu s europskim i globalnim ciljevima kružnog gospodarstva i održive proizvodnje (Council Directive 1999/31/EC), naglasak se stavlja na smanjenje otpada i njegovu valorizaciju. Prema Chavanu i sur. (2022), poželjno je transformirati biorazgradivi otpad iz poljoprivredne proizvodnje i agroindustrije u korisne proizvode, čime se smanjuje negativan utjecaj na okoliš i istovremeno povećava vrijednost nusproizvoda. Komina masline, bogata organskom tvari, ima potencijal kao organski poboljšivač tla, osobito u mediteranskim područjima gdje su tla često osiromašena organskom tvari (Escolano i sur., 2018) i gdje nedostaje drugih izvora organskog gnojiva. Osim

što poboljšava fizikalno-kemijska svojstva tla, komina može smanjiti potrebu za primjenom mineralnih gnojiva, čime se doprinosi očuvanju okoliša i ekonomskoj isplativosti proizvodnje. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi utjecaj primjene različitih doza svježe komine masline na fizikalno-kemijska svojstva tla, uključujući razinu teških metala, te na mineralni sastav biljnog materijala – lista i ploda – u masliniku s domaćom sortom Oblica i introduciranom sortom Leccino. Poseban naglasak stavljen je na procjenu učinkovitosti komine kao organskog poboljšivača tla u mediteranskom agroekosustavu. Svrha istraživanja je pridonijeti razvoju održivih praksi u maslinarstvu kroz valorizaciju organskog otpada te pružiti znanstvenu podlogu za sigurnu i učinkovitu primjenu svježe komine u poljoprivredi.

MATERIJALI I METODE

Lokacija

Istraživanje je provedeno tijekom 2022. i 2023. godine u masliniku ukupne površine od 2 ha u Grabovcima (43.861459 N, 15.752661 E), u Šibensko-kninskoj županiji. Maslinik je podignut 2005. godine s razmakom sadnje 6 × 8 metara među kojima dominiraju domaća sorta Oblica i introducirana talijanska sorta Leccino. Način proizvodnje je ekološki, a tlo u masliniku je zatravljeno.

Klima

Područje uzgoja spada u sredozemnu klimu s toplim, suhim ljetima i blagim zimama (Šegota i Filipčić, 2003). Meteorološki podatci očitani su s postaje Pinova™ pomoću senzora temperature i vlage zraka (RHT35), kišomjera (RG300) te senzora vlage lista (PLWS) (Pinova d.o.o., Čakovec, Hrvatska) postavljenih unutar maslinika (Grafikon 1). Ukupne oborine iznosile su 201,9 mm u 2022. i 310,7 mm u 2023. godini, dok su apsolutno maksimalne temperature bile 40,5 °C (2022.), odnosno 34,9 °C (2023.), a apsolutno minimalne -7,4 °C (2022.) i - 8,9 °C (2023.).

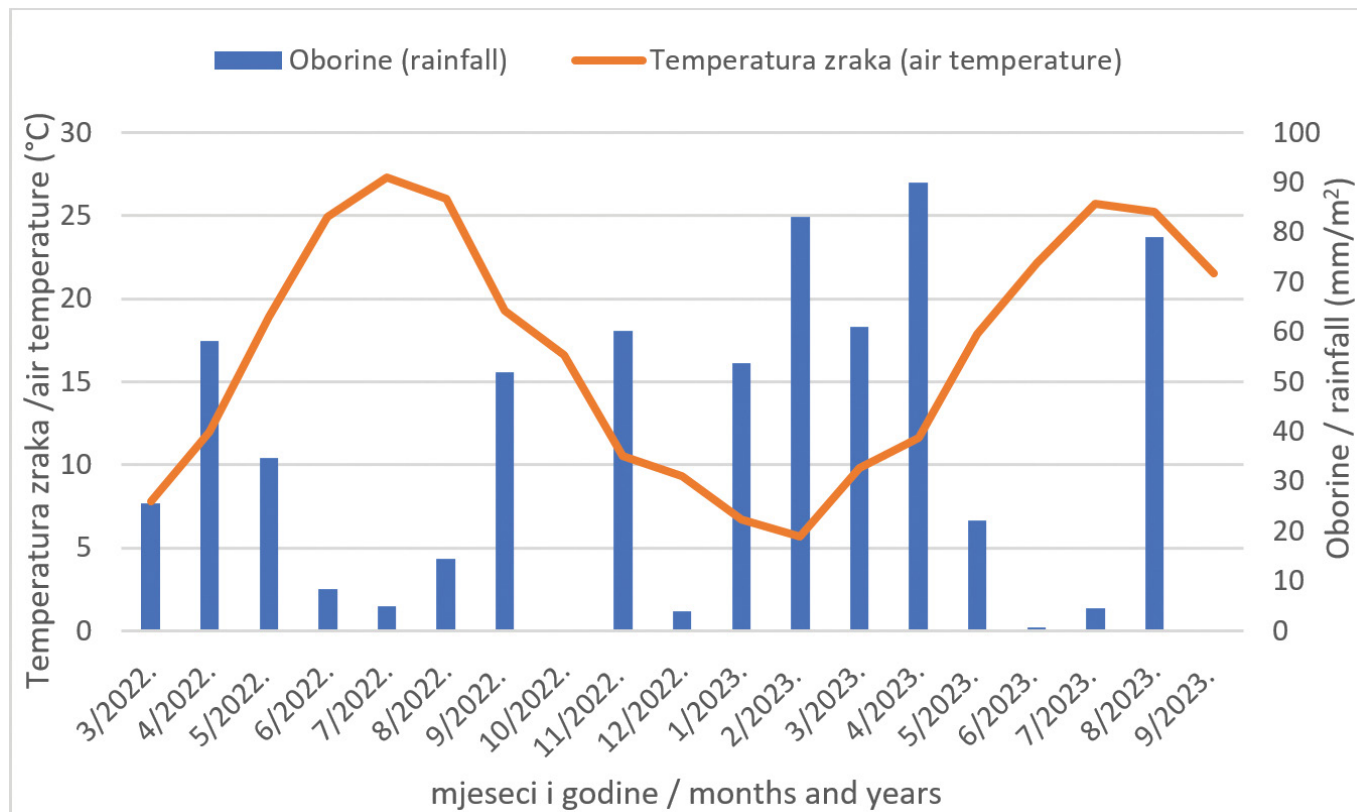


Figure 1. Walter climate diagram for vegetation seasons 2022 and 2023, Grabovci, Šibenik-Knin County

Grafikon 1. Walterov klimadijagram za vegetacijske sezone 2022. i 2023. (Grabovci, Šibensko-kninska županija)

Dizajn pokusa i tretmani

Pokus s četiri tretmana i tri ponavljanja postavljen je 10. veljače 2022. godine. Svaki tretman se sastojao od devet stabala, a svako ponavljanje od tri stabla masline. U svakom ponavljanju dva su stabla bila sorte Oblica, a po jedno stablo sorte Leccino. Vlažna svježa komina nanosena je kao malč u širini oboda krošnje na način da se prvo izračunala površina te prema tome odredila količina dodane komine. Tretmani su se razlikovali u količini dodane komine po metru kvadratnom. Dizajn pokusa prikazan je u Tablici 1.

Analiza svježe komine

U pokusu je korištena vlažna svježa komina dobivena preradom maslina u dvofaznom centrifugalnom postrojenju. Prije provedbe pokusa uzet je reprezentativni uzorak komine za laboratorijsku analizu. Rezultati analize

prikazani u Tablici 2 potvrđuju da je komina kisele reakcije (pH 6,15) s udjelom vlage od 56,4 %. Ukupna suha tvar iznosi 43,6 % čiji udio od 95,7 % čini organska tvar. Sadržaj makronutrijenata pokazuje nisku opskrbljenost dušikom i fosforom, dok je opskrbljenost kalijem zadovoljavajuća. Opskrbljenost kalcijem i magnezijem je slaba. Omjer C/N iznosi 72,8, što upućuje na njenu sporu mineralizaciju (de la Fuente i sur., 2011; Regni i sur., 2017).

Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/2019, članak 8), analiza teških metala ukazuje na koncentracije ispod maksimalno dopuštenih količina (MDK) (Čoga, 2022). Komina nije analizirana na sadržaj organskih spojeva, međutim, prema Niaounakis-u i Halvadakis-u (2006) vlažna komina dobivena pomoću dvofazne centrifuge sadrži viši udio ulja i fenolnih spojeva.

Table 1. Experimental design**Tablica 1.** Eksperimentalni dizajn

Variants Varijante	Amount per m ² Količina po m ²	Experimental design Eksperimentalni dizajn			Repetitions x trees Ponavljjanja x broj stabala
		Oblica	Leccino	Oblica	
VAR 0	Control without pomace Kontrola bez komine	OOO	OOO	OOO	3 × 3 = 9
VAR 1	1.5 kg of fresh pomace/m ² 1,5 kg svježe komine/m ²	OOO	OOO	OOO	3 × 3 = 9
VAR 2	3 kg of fresh pomace/m ² 3 kg svježe komine/m ²	OOO	OOO	OOO	3 × 3 = 9
VAR 3	5 kg of fresh pomace/m ² 5 kg svježe komine/m ²	OOO	OOO	OOO	3 × 3 = 9

Table 2. Results of physio-chemical analysis of olive pomace**Tablica 2.** Rezultati fizikalno-kemijske analize komine masline

H ₂ O	DM ST	pH	E.C.	C	O.T.	N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn
56,4%	43,6%	6,15	0,22 mS/cm	55,3%	95,7%	0,76%	72,8	0,09%	1,19%	0,19%	0,04%	169,9 mg/kg	13,6 mg/kg
Heavy metals (mg/kg)				Zn	Cu	Cd	Pb	Ni	Cr	Hg	As	Mo	Co
Teški metali (mg/kg)				13,6	7,62	<0,1	0,75	3,45	3,36	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1

Uzimanje uzorka tla i biljnog materijala

Prije tretmana su uzeti početni uzorci tla prema konceptu dijagonalnog uzorkovanja u nasadu: deset pojedinačnih rupa spojeno u jedan prosječni uzorak. Prije berbe 2022. godine uzeti su prosječni uzorci tla sondom 0,5 m od debla (područje na kojem je aplicirana komina), s dubina 0-30 cm i 30-60 cm. Svaki prosječni uzorak formiran je od deset pojedinačnih uzoraka za svaki tretman i ponavljanje. Ukupno je uzeto 24 uzorka tla (4 VAR × 3 REP × 2 dubine).

Biljni materijal (listovi i plodovi) je uzorkovan dvaput: pred berbu 2022. i 2023. godine. Listovi su brani 26. rujna 2022. i 29. rujna 2023., dok su plodovi brani 15. listopada 2022. i 13. listopada 2023. godine. Prosječni uzorak sadržavao je 100 listova sa rodnih izbojaka, dok je 100 plodova po ponavljanju uzorkovano ravnomjerno s četiri strane krošnje. Listovi i plodovi nisu posebno prani prije analize.

Fizikalna i kemijska analiza tla

Analize mehaničkog sastava tla provedene su prema standardima HRN ISO 11464:2006 i 10390:2005. Tlo je klasificirano kao glinasta ilovača (0 – 30 cm) i ilovača (30 – 60 cm). Nadalje, kemijske analize tla napravljene su u Ovlaštenom laboratoriju Zavoda za ishranu bilja Agronomskog fakulteta u Zagrebu prema sljedećoj metodologiji:

- Humus (određivanje organskog C), (bikromatna metoda po Tjurinu (Škorić, 1982))
- Ukupni dušik (HRN ISO 11261:2004)
- Fosfor (P₂O₅) (AL- metoda, (Egner i sur., 1960))
- Kalij (K₂O) (AL- metoda, (Egner i sur., 1960))
- Ukupni karbonati (vlastita metoda, RU-M-T-006, 02. izdanje (HAA, 2021))
- Željezo i mangan u tlu (CEN/TS 17768:2022 (AAS))

Rezultati kemijskih analiza prikazani su u Tablici 3.

Table 3. Chemical composition of soil in the olive grove**Tablica 3.** Kemijski sastav tla u masliniku

		0 - 30 cm	30 - 60 cm
pH	H ₂ O	8,14	8,38
	nKCl	7,23	7,35
%	humus	2,37	1,07
	N	0,19	0,10
mg/100 g	P ₂ O ₅	32,2	7,4
	K ₂ O	41,5	21,5
%	CaCO ₃	11,4	18,3
	Fe	36400	32155
mg/kg	Mn	1238	1199

Morfološka i kemijska analiza biljnog materijala

Na 100 plodova po svakom ponavljanju mjerena je dužina i širina digitalnom pomičnom mjerkom (JIANGXI, Kina), te masa preciznom vagom (0,01 g; CAS Scale, Bangladeš). List i plod analizirani su u Ovlaštenom laboratoriju Zavoda za ishranu bilja Agronomskog fakulteta u Zagrebu po sljedećoj metodologiji:

- određivanje % dušika na bazi suhe tvari - metoda po Kjeldahlu (AOAC, 2015).
- određivanje % fosfora na bazi suhe tvari - nakon digestije s koncentriranom HNO₃ i HClO₄, metoda spektrofotometrije (AOAC, 2015).
- određivanje % kalija na bazi suhe tvari - nakon digestije s koncentriranom HNO₃ i HClO₄, metoda plamene fotometrije (AOAC, 2015).
- određivanje % kalcija na bazi suhe tvari- nakon digestije s koncentriranom HNO₃ i HClO₄, metoda plamene tehnike (atomska apsorpcijska spektrofotometrija (AOAC, 2015).
- određivanje % magnezija na bazi suhe tvari - nakon digestije s koncentriranom HNO₃ i HClO₄, metoda plamene tehnike (atomska apsorpcijska spektrofotometrija (AOAC, 2015).

- Određivanje mikroelemenata (Fe, Zn, Mn, Cu na mg/kg suhe tvari, nakon digestije s koncentriranom HNO₃ i HClO₄ metoda plamene tehnike (atomska apsorpcijska spektrofotometrija) (AOAC, 2015).
- Određivanje B na mg/kg suhe tvari - žarenjem na 450-500 °C te otapanjem u H₂SO₄, metodom spektrofotometrije s azometinom H (AOAC, 2015).

Spektrofotometrijske metode odrađene su na UV-VIS spektrofotometru (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, SAD), Jenway PFP 7 plamenom fotometru (Cole-Parmer®, Vernon Hills, Ill, SAD), te AAS atomsko apsorpcijskom spektrofotometru (Solar Thermo Scientific, Waltham, MA, SAD).

Statistička obrada podataka

Statistička analiza podataka provedena je pomoću programa TIBCO Statistica Software Inc. v. 14.0.0.15. Podaci su obrađeni dvosmjernom analizom varijance s faktorima tretman i dubina za tlo, te tretman i sorta za mineralni sastav biljnog materijala. Morfološki podaci plodova zbog genetske varijabilnosti sorti obrađeni su jednosmjernom analizom varijance za faktor tretman. Značajne razlike među srednjim vrijednostima dodatno su uspoređene Tukey post hoc testom na razini značajnosti $P \leq 0,05$.

REZULTATI I RASPRAVA

Fizikalnim i kemijskim analizama utvrđeno je da je tlo do dubine 30 cm glinasta ilovača alkalne reakcije. Karakterizira ga dobra opskrbljenost dušikom, vrlo bogato fosforom i kalijem, umjereno humozno s niskim udjelom CaCO₃. U sloju od 30 - 60 cm tlo je glinasto, alkalno, umjereno opskrbljeno dušikom i kalijem, a siromašno fosforom i humusom.

Fizikalno-kemijski sastav tla

U Tablici 4 prikazane su fizikalno-kemijske vrijednosti kontrolnog tla i pognojenih tala potkraj vegetacije na različitim dubinama uzorkovanja.

Table 4. pH, humus content, macro and microelements, and heavy metals at different soil depths under olive trees fertilized with different amounts of fresh pomace (VAR0, VAR1, VAR2 and VAR3) at the Grabovci location during the 2022 growing season**Tablica 4.** pH, sadržaj humusa, makro i mikroelemenata, te teških metala na različitim dubinama tla ispod maslina pognojenim različitim količinama svježe komine (VAR0, VAR1, VAR2 i VAR3) na lokaciji Grabovci tijekom vegetacije 2022

		Olive pomace fertilization (VAR)				Depth (D)		VAR	D	VAR × D
		Gnojdba kominom (VAR)				Dubina (D)				
		VAR0	VAR1	VAR2	VAR3	0 – 30 cm	30 – 60 cm			
pH H ₂ O			8,23 ^{bc}	8,27 ^{ab}	8,30 ^a	8,18 ^b	8,32 ^a	**	***	ns
pH KCl		7,32	7,29	7,29	7,30	7,24 ^b	7,36 ^a	ns	***	ns
humus	%	1,81 ^c	1,98 ^b	1,85 ^{bc}	2,62 ^a	2,64 ^a	1,49 ^b	***	***	*
N min.	%	0,14 ^b	0,15 ^b	0,15 ^b	0,21 ^a	0,21 ^a	0,12 ^b	***	***	*
P ₂ O ₅	mg/100 g	21,55 ^b	21,75 ^b	22,63 ^b	26,68 ^a	36,96 ^a	9,35 ^b	***	***	***
K ₂ O	mg/100 g	32,58 ^d	37,73 ^c	40,45 ^b	43,27 ^a	48,32 ^a	28,7 ^b	***	***	***
CaCO ₃	%	10,57 ^c	13,45 ^b	18,08 ^a	14,50 ^b	13,03 ^b	15,27 ^a	***	**	ns
Fe	mg/kg	35577 ^a	34650 ^{ab}	32944 ^b	33647 ^{ab}	34180	34229	*	ns	ns
Mn	mg/kg	1248 ^a	1229 ^{ab}	1201 ^b	1212 ^{ab}	1215	1230	*	ns	ns
Zn	mg/kg	78,8 ^a	72,45 ^{bc}	70,32 ^c	73,45 ^b	74,65 ^a	72,86 ^b	***	*	ns
Cu	mg/kg	79,95 ^b	84,68 ^a	81,07	85,74 ^a	83,73 ^{ab}	81,99	*	ns	ns
Cr	mg/kg	66,22 ^a	60,58 ^b	59,38 ^b	61,28 ^b	63,69 ^a	60,04 ^b	***	**	ns
Ni	mg/kg	61,60 ^a	59,40 ^{ab}	57,32 ^b	60,37 ^a	59,61	59,73	**	ns	ns
Cd	mg/kg	0,88 ^a	0,87 ^{ab}	0,83 ^b	0,87 ^{ab}	0,87	0,86	*	ns	ns
Pb	mg/kg	15,50	15,17	14,92	15,37	15,37	15,11	ns	ns	ns
As	mg/kg	5,50 ^a	5,10 ^b	4,90 ^b	5,02 ^b	5,13	5,13	**	ns	ns
Co	mg/kg	15,17	15,12	14,78	14,88	14,83	15,14	ns	ns	ns
Mo	mg/kg	7,42	7,40	7,55	7,00	7,33	7,36	ns	ns	ns

ns, *, *** – no statistically significant difference, statistically significantly different at $P \leq 0.05$, or $P \leq 0.001$.ns, *, *** – nema statistički značajne razlike, statistički se značajno razlikuje uz $P \leq 0,05$, odnosno $P \leq 0,001$.a, b, c - average values marked with the same letter are not statistically different according to the Tukey test at $P \leq 0.001$.a, b, c - prosječne vrijednosti označene istim slovom statistički se ne razlikuju prema Tukey testu uz $P \leq 0,001$.

Kontrolno tlo (VAR0) ima umjereno alkalnu pH reakciju i razinu ukupnog dušika, dostupnog fosfora i izmjenjivog kalija. Unatoč kiseloj reakciji svježe komine (pH 6,15), njena primjena nije rezultirala značajnim promjenama pH tla, što se može pripisati manjim količinama po m², te visokoj pufernoj sposobnosti karbonatnih tala (Cucci i sur., 2013). Zabilježeno je statistički značajno povećanje sadržaja humusa i mineralnog dušika u površinskom sloju tla, osobito u tretmanu VAR3. Također, u površinskom sloju tla koncentracije P₂O₅ i K₂O su rasle proporcionalno količini dodane komine, pri čemu je u VAR3 zabilježen najsnažniji porast.

Jedna od glavnih prednosti dodavanja komine je sposobnost povećanja sadržaja organske tvari u tlu. Brunetti i sur. (2005) su u svom radu pokazali kako dodavanje svježe komine povećava sadržaj organske tvari, poboljšava strukturu i poljski kapacitet tala na području Mediterana. Također, Fernández-Hernández i sur. (2014) pokazali su da primjena komine masline poboljšava organsku tvar tla i dostupnost hraniva što dovodi do poboljšanog rasta stabla i prinosa. Istraživanje je pokazalo da sporo oslobađanje hranjivih tvari iz komine, posebice dušika i kalija, podupire održiv rast i produktivnost stabala tijekom više sezona rasta. Slično, Kavvadias i sur. (2018) otkrili su da svježa komina masline, kada se primjenjuje u umjerenim količinama, povećava mikrobnu aktivnost tla i poboljšava zadržavanje vode, što može djelomično doprinijeti povećanju prinosa kod stabala maslina u sušnim regijama.

Nadalje, dodavanje svježe komine povećalo je stabilnost agregata u tlu što je dovelo do smanjenja rizika od erozije u maslinicima (Abu-Zreig i Al-Widyan, 2002) te pomoglo u oporavku iscrpljenog tla (Killi i sur., 2014). Iako svježa komina sadrži neznatne količine fosfora, njenim dodavanjem na površinu tla došlo je do povećanja dostupnog fosfora kao posljedice stvaranja kompleksa fosfata sa humusnim česticama, što sprječava imobilizaciju fosfora u alkalnim tlima (Giusquiani i sur., 1995). Na koncentraciju oba elementa značajno je utjecala i dubina uzorkovanja. Isto je pokazalo istraživanje koje su u Italiji proveli (Proietti i sur., 2015) i zabilježili povećanje koncentracije P₂O₅ u gornjem sloju tretiranog tla (15 cm),

dok su te razlike u odnosu na kontrolno tlo u dubljem sloju neznatne.

Značajno povećanje K₂O u tretmanima može se povezati s dostupnim količinama ovog makrohraniva u komini masline. Istraživanje Paredesa i sur. (1999) pokazalo je kako je primjena svježe komine povećala dostupni kalij za 25 – 40% u alkalnim tlima.

Nekoliko je autora izvijestilo o rastu koncentracija fosfora i kalija u tlima pognojenim nusproduktima prerade ploda masline, kao što su vegetativna voda, kompost od komine, svježa komina, pa i ostala organska gnojiva (Montemurro i sur., 2011; Saviozzi i sur., 1999; Sierra i sur., 2001, 2007). Mineralni sastav komine može znatno varirati, (sorta masline u preradi, stupanj zrelosti plodova, tip prerade plodova, klima, uzgojni uvjeti) zbog čega varira i unos hraniva u tlo. Zbog visokog sadržaja K u komini, prema Chartzoulakis i sur. (2010) primjena može omogućiti smanjenje korištenja mineralnih K gnojiva. Međutim, zbog varijabilnosti sadržaja komine, ta se zamjena ne primjenjuje univerzalno. Osim toga, treba uzeti u obzir strukturu i teksturu tla, te sadržaj humusa i ostalih tvari koje mogu utjecati na dostupnost hraniva putem kapaciteta kationske izmjene tla.

Nadalje, istraživanje Ameziane i sur. (2019) je pokazalo kako primjena komine masline može značajno povećati dostupnost fosfora i izmjenjivog kalija u tlu. Međutim, dostupnost dušika može biti ograničena zbog visokog početnog C/N omjera u svježoj komini što može dovesti do imobilizacije dušika tijekom njezine razgradnje (de la Fuente i sur., 2011; Regni i sur., 2017).

Značajno povećanje sadržaja CaCO₃ u tlima tretiranim svježom kominom u odnosu na kontrolu, sa najvećim sadržajem u VAR2 (18,08 %) sugerira kako veće količine svježe komine mogu doprinijeti povećanju dostupnih karbonata u tlu. Ovo povećanje može se pripisati organskim kiselinama u komini koje reagiraju s mineralnom komponentom tla i otapaju adsorbiran kalcij. Međutim, istraživanje Mekersi i sur. (2022) pokazalo je suprotan trend, gdje je povećanje organske tvari dovelo do smanjenja karbonata što može biti posljedica različitog tipa tla ili mikroklimatskih uvjeta lokacije.

Komina masline, nusproizvod ekstrakcije maslinovog ulja, može sadržavati tragove teških metala, kao što su olovo (Pb), kadmij (Cd), bakar (Cu) i cink (Zn). Koncentracije ovih metala mogu varirati ovisno o čimbenicima kao što su poljoprivredna praksa, uvjeti okoliša i metode obrade tla. Rezultati analize sadržaja teških metala (Cu, Ni, Cd, Pb, Zn, Cr, As, Co) pokazuju da su vrijednosti u svim tretmanima ostale ispod zakonski dopuštenih graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/2019). Primjena svježe komine u tretmanima VAR2 i VAR3 nije izazvala statistički značajno povećanje koncentracija teških metala poput nikla, kadmija, olova i arsena u usporedbi s kontrolnim tretmanom. Sadržaj Ni, Cd i As bili su statistički niži ili jednaki kontroli dok se sadržaj Pb u tlu nije statistički značajno razlikovao između tretmana, što potvrđuje sigurnost korištenja ovog nusproizvoda od prerade maslina u poljoprivredne svrhe. Naprotiv, u VAR2 i VAR3 zabilježeno je čak i statistički značajno smanjenje sadržaja cinka, kroma i arsena, što bi moglo biti povezano s efektom sorpcije organske tvari iz komine. Slične rezultate navode Abu-Zreig i Al-Widyan

(2002) te de la Fuente i sur. (2011) koji ističu da komina ne povećava bioraspodjeljivost teških metala u tlu, nego može djelovati stabilizirajuće, smanjujući njihovu pokretljivost i dostupnost biljkama. Time se dodatno potvrđuje da je svježa komina masline, uz pravilnu primjenu, sigurna za okoliš.

Morfološka svojstva plodova

U Tablici 5 prikazane su morfološke karakteristike ploda prema tretmanima (VAR). Morfološka analiza ploda pokazala je pozitivan utjecaj komine na povećanje osnovnih karakteristika ploda. U tretmanu VAR3 u obje istraživane godine, zabilježene su najveće vrijednosti prosječne mase (2,67 g u 2022. i 4,48 g u 2023.), duljine (20,10 mm i 23,81 mm) i širine (14,68 mm i 18,36 mm), s sve su promjene bile statistički značajne. Ovakvi rezultati ukazuju na poboljšanu ishranu i bolje fiziološko stanje stabala u tretmanima s višim dozama komine, te su bili u skladu s drugim istraživanjima koja navode da je povećanje količine organske tvari u tlu imalo pozitivan učinak na kvalitetu ploda (Fernández-Hernández i sur., 2014).

Table 5. Average mass, length and width of olive fruits fertilized with different amounts of fresh olive pomace (VAR0, VAR1, VAR2 and VAR3) at the Grabovci location during the 2022 and 2023 growing seasons

Tablica 5. Prosječna masa, duljina i širina plodova maslina pognojenim različitim količinama svježe komine (VAR0, VAR1, VAR2 i VAR3) na lokaciji Grabovci tijekom vegetacije 2022. i 2023.

Value Vrijednost	year godina	Olive pomace fertilization Gnojidba kominom				P
		VAR0	VAR1	VAR2	VAR3	
Mass Masa (g)	2022	1,99 ^c	2,55 ^b	2,60 ^{ab}	2,67 ^a	***
	2023	3,16 ^c	4,02 ^b	4,46 ^a	4,48 ^a	***
Lenght Duljina (mm)	2022	17,90 ^c	19,72 ^b	19,72 ^b	20,10 ^a	***
	2023	21,32 ^c	22,82 ^b	23,81 ^a	23,76 ^a	***
Width Širina (mm)	2022	13,18 ^b	14,58 ^a	14,63 ^a	14,68 ^a	***
	2023	16,13 ^c	17,7 ^b	18,15 ^{ab}	18,36 ^a	***

ns, *, *** – no statistically significant difference, statistically significantly different at $P \leq 0.05$, or $P \leq 0.001$

ns, *, *** – nema statistički značajne razlike, statistički se značajno razlikuje uz $P \leq 0,05$, odnosno $P \leq 0,001$

a, b, c - average values marked with the same letter are not statistically different according to the Tukey test with $P \leq 0.001$

a, b, c - prosječne vrijednosti označene istim slovom statistički se ne razlikuju prema Tukey testu uz $P \leq 0,001$

Direktna primjena svježe komine masline istraživa- na je zbog potencijalnih koristi za tlo i poljoprivrednu proizvodnju. Međutim, izravni utjecaj svježe komine na morfologiju ploda masline je nedovoljno istražen. U nedostatku istraživanja na maslini, rezultati se mogu usporediti s rezultatima istraživanja drugih biljnih vrsta kako bi se zaključili potencijalni učinci. Istraživanja na drugim vrstama pokazala su da primjena svježe komine može negativno utjecati na parametre rasta biljaka. Primjerice, istraživanje na sadnicama paprike pokazalo je da povećanje koncentracije svježe komine u supstratu za uzgoj paprike dovodi do značajnog smanjenja promjera stabljike, površine lista, broja listova te mase svježe i suhe tvari (Alma i Söylemez, 2022). Točnije, dodavanje 20 % svježe komine rezultiralo je smanjenjem lisne površine od 81,65 % u usporedbi s kontrolom. Ovo otkriće sugerira da visoke razine svježe komine mogu inhibirati ukupni rast kod pojedinih biljnih vrsta, potencijalno zbog visokog sadržaja fenola i niskog pH, što može imati fitotoksične učinke na samu biljku. Nedavne studije također su istraživale integraciju svježe komine masline s drugim organskim dodacima kako bi se maksimizirale njezine dobrobiti. Naime, Fernández-Hernández i sur. (2014) utvrdili su da je kombiniranje komine masline s ovčjim gnojem rezultiralo sinergističkim učincima, što je značajno povećalo prinos i kvalitetu ploda masline. Ovaj pristup ne samo da je povećao dostupnost hraniva, već i poboljšao strukturu tla, promičući razvoj korijena i usvajanje vode. Nadalje, istaknut je potencijal komine masline kao održive alternative mineralnim gnojivima, usklađujući se s rastućom potražnjom za ekološki prihvatljivim praksama.

Mineralni sastav listova

U Tablici 6 prikazane su prosječne vrijednosti suhe tvari, postotci makroelemenata u suhoj tvari i količina mikroelemenata u listovima za 2022. i 2023. godinu.

Analizom mineralnog sastava lista utvrđeno je da su razine dušika, fosfora i kalija bile unutar optimalnih vrijednosti prema Connell i Vossen (2007), osim blagog nedostatka N u listovima sorte Leccino u 2022. godini. U

istraživanju Ibrahim i Gaddas (2015) na tretmanima sa 50 % sadržaja komine masline, sadržaj N u listu uvijek je bio iznad praga dostatnosti. Iako komina masline ima manji sadržaj fosfora (P) njena primjena ipak može poboljšati sadržaj P u tlu što posljedično povećava dostupnost za biljke. Nedostatak značajnih razlika u količini fosfora u listu u 2022. godini može se povezati s kraćim periodom od dodavanja komine do uzorkovanja gdje uslijed nedostatka oborina u sušnim mjesecima nije došlo do mineralizacije organskog fosfora, te visokim pH pokusnog tla, što smanjuje topljivost fosfata. Uspoređujući sadržaj P u listu sa standardima koje je objavilo nekoliko autora: (Fernández-Escobar i sur., 1999): 0,05-0,07 %, (Gargouri i Mhiri, 2002): 0,07 %, (Recalde, 1975): 0,085 %) rezultati analize listova pokazuju da su svi uzorci u ovom istraživanju imali gotovo duplo veću vrijednost s najvišom 0,21 % u tretmanu VAR2 2023. godine. Rezultati pokazuju da je gnojidba kominom imala utjecaj na sadržaj P u listu. Nadalje, rezultati istraživanja Seyedi Marghaki (2017) tijekom dvije uzastopne godine (2014. i 2015.) pokazuju trend povećanja sadržaja P u listu u prvoj godini usporedno s povećanjem mase dodane komine po stablu, dok u drugoj godini tretman sa srednjom količinom dodane komine ima najmanji sadržaj P u listu, a ostala dva su statistički podjednaka. U VAR1 2022. te u VAR2 i VAR3 2023. godine zabilježeno je značajno povećanje sadržaja kalija u listovima, što potvrđuje sposobnost komine da osigurava pristupačne količine ovog makro-nutrijenta. Usporedba izmjerenih sadržaja K u listovima s predloženim standardima [(Recalde, 1975): 0,3 % i (Gargouri i Mhiri, 2002): 0,5 %] pokazuje 2 do 3 puta veću vrijednost u ovom istraživanju. Nasuprot tome, sadržaj kalcija u listovima u istim tretmanima bio je nešto niži, što sugerira kompetitivnu inhibiciju između kalijevih i kalcijevih kationa u rizosferi (Seyedi Marghaki, 2017). Sorta Oblica pokazala je značajno niži sadržaj Ca u listovima od sorte Leccino u obje godine, što je u skladu s genotipskim razlikama među sortama u usvajanju hraniva (Manolikaki i sur., 2022). Listovi su pokazali optimalni sadržaj magnezija u obje godine i kod obje sorte, što prema autorima Connell i Vossen (2007) spada u optimalni rang (0,10 – 0,16 %).

Table 6. Average values of the mineral composition of olive leaves of the 'Oblica' and 'Leccino' varieties after adding different amounts of fresh olive pomace (VAR0, VAR1, VAR2 and VAR3) at the Grabovci location during 2022 and 2023 harvests**Tablica 6.** Prosječne vrijednosti mineralnog sastava lista masline sorti 'Oblica' i 'Leccino' nakon dodavanja različitih količina svježe komine masline (VAR0, VAR1, VAR2 i VAR3) na lokaciji Grabovci za vrijeme berbe 2022. i 2023. godine

Value Vrijednost	year godina	Olive pomace fertilization (VAR) Gnojidba kominom (VAR)				Variety (S) Sorta (S)		VAR p	S p	VAR × S p
		VAR0	VAR1	VAR2	VAR3	'Oblica'	'Leccino'			
%DM	2022	79,08	77,89	77,08	79,51	78,93	77,32	ns	ns	ns
%ST	2023	57,07	56,60	55,15	55,68	57,65 ^a	53,07 ^b	ns	**	ns
%N	2022	1,55	1,60	1,66	1,62	1,68 ^a	1,47 ^b	ns	*	ns
	2023	1,64	1,70	1,67	1,68	1,66	1,70	ns	ns	ns
%P	2022	0,14	0,18	0,17	0,18	0,17	0,16	ns	ns	ns
	2023	0,16 ^b	0,17 ^b	0,21 ^a	0,16 ^b	0,17	0,18	**	ns	ns
%K	2022	1,04 ^c	1,38 ^a	1,17 ^b	1,17 ^b	1,17 ^b	1,23 ^a	**	*	**
	2023	1,07 ^b	1,13 ^b	1,34 ^a	1,35 ^a	1,22	1,23	*	ns	ns
%Ca	2022	2,01	2,21	1,98	2,01	1,92 ^b	2,32 ^a	ns	*	ns
	2023	2,11 ^{ab}	2,33 ^a	2,06 ^b	2,07 ^b	2,05 ^b	2,33 ^a	*	**	ns
%Mg	2022	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,11	ns	ns	ns
	2023	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	ns	ns	ns
mg/kg Fe	2022	88,87	95,83	98,67	90,43	91,23 ^b	97,90 ^a	ns	*	ns
	2023	41,57 ^b	43,57 ^b	36,83 ^c	56,70 ^a	44,61	44,78	***	ns	ns
mg/kg Zn	2022	26,77 ^b	27,63 ^b	34,33 ^a	26,50 ^b	29,74	26,95	*	ns	ns
	2023	17,50 ^a	13,13 ^b	13,43 ^b	13,67 ^{ab}	14,41	14,48	*	ns	ns
mg/kg Mn	2022	46,47 ^b	57,80 ^a	52,93 ^a	53,53 ^a	51,74 ^b	54,58 ^a	**	*	ns
	2023	49,63	48,07	42,47	48,50	46,95	47,60	ns	ns	ns
mg/kg Cu	2022	44,57 ^b	46,40 ^a	48,73 ^a	47,13 ^a	46,08	47,98	ns	ns	ns
	2023	3,57 ^b	4,50 ^a	4,13 ^{ab}	4,58 ^a	4,21	4,16	*	ns	ns

DM – dry matter, ST – suha tvar

ns, *, *** – no statistically significant difference, statistically significantly different at $P \leq 0.05$, or $P \leq 0.001$ ns, *, *** – nema statistički značajne razlike, statistički se značajno razlikuje uz $P \leq 0,05$, odnosno $P \leq 0,001$ a, b, c - average values marked with the same letter are not statistically different according to the Tukey test with $P \leq 0.001$ a, b, c - prosječne vrijednosti označene istim slovom statistički se ne razlikuju prema Tukey testu uz $P \leq 0,001$

Analiza svježe komine iz ovog istraživanja (Tablica 2) pokazuje prisutnost mikronutrijenata poput željeza (Fe), cinka (Zn), mangana (Mn) i bakra (Cu) u manjim količinama. Mikronutrijenti prisutni u komini pridonose nutritivnoj vrijednosti gnojiva jer su neophodni za metabolizam masline (npr. sudjeluju u enzimskim procesima i fotosintezi), te njihova dostupnost može poboljšati potrebu maslina za tim elementima. Analiza lista pokazuje statistički značajnu razliku u količini željeza među svim tretmanima u 2023. godini s najnižom količinom u VAR2 (36,83 mg/kg), a među sortama u 2022. godini. Općenito, u usporedbi s literaturom, u 2022. godini svi tretmani pokazali su dostatnu opskrbljenost željezom, dok su u idućoj vegetaciji svi tretmani, osim VAR3 pokazali relativni nedostatak željeza (Therios, 2008), a količina u VAR2 pokazala je deficitarni status tog mikronutrijenta (Connell i Vossen, 2007), što je svojstvo uzgojnog područja na kojem je istraživanje provedeno. Sadržaj cinka (Zn) po svim tretmanima slijedi isti trend kao Fe te prema standardima u prvoj godini (26,50 – 34,33 mg/kg) pripada vrijednostima malo iznad optimalnih (10 – 24 mg/kg), dok je u drugoj godini (13,13 – 17,50 mg/kg) u optimalnim granicama. Isto tako, sadržaj mangana (Mn) u listu masline u obje godine istraživanja (42,47 – 57,80 mg/kg) prema gore navedenom istraživanju svrstava se u vrijednosti veće od optimalnih (20-36 mg/kg). Sadržaj bakra (Cu) u listu masline pokazao je također isti trend većih vrijednosti (44,57 – 48,73 mg/kg) u svim tretmanima u prvoj godini istraživanja gdje je bio u znatno povišenjem sadržaju od optimalnog (4 – 9 mg/kg), ali nižem od toksičnog (> 78 mg/kg), dok se u drugoj godini smanjio (3,57 – 4,58 mg/kg) prema donjoj granici optimalnog. Razlika u količini bakra u listovima obično je posljedica korištenja bakrenih fungicida za suzbijanje bolesti, specifičnih doza i vremena primjene. Mikronutrijenti su u oba razdoblja bili unutar poželjnog raspona za maslinu, bez prisutnosti toksičnih koncentracija.

Mineralni sastav plodova

U Tablici 7 prikazane su prosječne vrijednosti mineralnog sastava ploda na sortama 'Oblica' i 'Leccino' nakon gnojidbe stabala različitim količinama svježe komine u periodu berbe u vegetaciji 2022. i 2023. godine.

Analiza plodova pokazala je povećanje sadržaja dušika u tretmanima VAR1 i VAR3, dok su razine ostalih makronutrijenata ostale statistički nepromijenjene. To ukazuje da komina doprinosi povećanju dostupnosti dušika u plodu, što može pozitivno utjecati na sintezu proteina tijekom dozrijevanja ploda. Pregledom dostupne literature nisu pronađena istraživanja koja su se bavila utjecajem svježe komine masline na mineralni sastav ploda masline. No, usporedbom s preporučenim standardima za maslinu (Therios, 2008), svi analizirani makro- i mikronutrijenti bili su u optimalnim granicama, što potvrđuje nutritivnu vrijednost plodova te opravdava primjenu svježe komine kao organskog poboljšivača. Također, od svih analiziranih makro- i mikronutrijenata u plodu došlo je do značajnih razlika među tretmanima kod Fe i Mn za 2023. godinu. Pretpostavlja se da bi ovakav odgovor mogao biti uzrokovan efektom razrjeđivanja, odnosno nižom biomasom ploda u kontrolnom tretmanu što je dovelo do većih koncentracija Fe i Mn. Međutim, takav nalaz se ne slaže s rezultatima za Fe iz tretmana VAR3 gdje su analizirani plodovi imali najveću biomasu. U tom slučaju najveća količina dodane komine u VAR3 mogla je povećati usvajanje Fe zbog njegove povećane topljivosti u prisustvu organske tvari. Fornes i sur. (2024) navode slične učinke organskih poboljšivača na dostupnost mikronutrijenata u karbonatnim tlima na području Mediterana. Plodovi sorte Oblica sadržavali su značajno manje kalcija nego plodovi sorte Leccino u svim tretmanima i godinama što naglašava prethodno zabilježen utjecaj genotipa na usvajanje kalcija (Manolikaki i sur., 2022).

Table 7. Average values of the mineral composition of olive fruits of the 'Oblica' and 'Leccino' varieties after adding different amounts of fresh olive pomace (VAR0, VAR1, VAR2 and VAR3) at the Grabovci location during harvests 2022 and 2023.**Tablica 7.** Prosječne vrijednosti mineralnog sastava ploda masline sorti 'Oblica' i 'Leccino' nakon dodavanja različitih količina svježā komine masline (VAR0, VAR1, VAR2 i VAR3) na lokaciji Grabovci za vrijeme berbe 2022. i 2023. godine

Value Vrijednost	year godina	Olive pomace fertilization (VAR) Gnojidba kominom (VAR)				Variety (S) Sorta (S)		VAR p	S p	VAR × S p
		VAR0	VAR1	VAR2	VAR3	'Oblica'	'Leccino'			
%DM %ST	2022	55,31	55,12	54,87	54,53	54,50 ^b	55,89 ^a	ns	**	*
	2023	53,25	55,25	53,68	53,04	53,48	54,44	ns	ns	ns
%N	2022	0,57 ^c	0,76 ^{ab}	0,73 ^b	0,86 ^a	0,74	0,71	**	ns	ns
	2023	0,96	1,06	1,05	1,03	1,03	1,02	ns	ns	ns
%P	2022	0,10	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	ns	ns	ns
	2023	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	ns	ns	ns
%K	2022	1,07	1,24	1,16	1,11	1,12	1,18	ns	ns	ns
	2023	1,07	1,06	1,16	1,06	1,07	1,11	ns	ns	ns
%Ca	2022	0,19	0,19	0,19	0,22	0,18 ^b	0,23 ^a	ns	**	ns
	2023	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04 ^b	0,05 ^a	ns	*	ns
%Mg	2022	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	ns	ns	ns
	2023	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	ns	ns	ns
mg/kg Fe	2022	13,37	15,06	16,57	16,57	15,35	15,48	ns	ns	ns
	2023	17,08 ^a	13,72 ^b	11,08 ^c	15,47 ^{ab}	14,24	14,52	**	ns	ns
mg/kg Zn	2022	13,20	14,78	14,68	16,18	14,86	14,43	ns	ns	ns
	2023	13,05	15,17	13,56	13,04	13,70	13,73	ns	ns	ns
mg/kg Mn	2022	5,76	6,33	5,48	4,50	5,54	5,47	ns	ns	ns
	2023	7,38 ^a	6,20 ^{ab}	5,94 ^{bc}	4,83 ^c	6,07	6,10	**	ns	ns
mg/kg Cu	2022	7,09	8,03	7,87	8,83	7,91	8,05	ns	ns	ns
	2023	8,83	8,90	6,73	7,00	9,09	8,70	ns	ns	ns

ns, *, *** – no statistically significant difference, statistically significantly different at $P \leq 0.05$, or $P \leq 0.001$

a, b, c - average values marked with the same letter are not statistically different according to the Tukey test with $P \leq 0.001$

ns, *, *** – nema statistički značajne razlike, statistički se značajno razlikuje uz $P \leq 0,05$, odnosno $P \leq 0,001$

a, b, c - prosječne vrijednosti označene istim slovom statistički se ne razlikuju prema Tukey testu uz $P \leq 0,001$

ZAKLJUČAK

Primjena svježe komine masline u rasponu od 1,5 do 5,0 kg/m² značajno je povećala sadržaj humusa u gornjem sloju tla čime se poboljšala struktura tla. Najveći porast humusa je zabilježen u tretmanu VAR3 (5,0 kg/m²), što odražava najveći unos organske tvari iz komine. Primjena svježe komine u tretmanu VAR3 dovela je do statistički značajnog povećanja sadržaja P₂O₅ i K₂O u površinskom sloju tla (0–30 cm) u usporedbi s kontrolom (VAR0), dok je ukupni mineralni dušik statistički značajno porastao samo pri najvišem tretmanu u površinskom sloju tla. Tretirano tlo nije pokazalo akumulaciju teških metala čije koncentracije su ostale ispod zakonskih MDK vrijednosti, a u nekim slučajevima zabilježeno je i njihovo smanjenje (Zn, Cr, As) što potvrđuje sigurnost primjene svježe komine u oraničnom sloju tla.

Morfološki parametri pozitivno su reagirali na gnojidbu kominom: masa, duljina i širina plodova značajno je povećana u svim tretmanima u usporedbi s kontrolom, s najvećim efektom pri dodanoj komini od 5,0 kg/m². Mineralni sastav listova i plodova masline ostao je unutar optimalnih granica za sve ključne makro i mikronutrijente bez znakova toksičnosti. Analiza mineralnog sastava listova pokazala je da su tretmani VAR2 i VAR3 rezultirali značajno većim sadržajem kalija, tretman VAR2 je pokazao značajne razlike u sadržaju fosfora, dok je sorta Oblica pokazala značajno viši sadržaj dušika. Slično tome, u plodovima su zabilježene značajne razlike u sadržaju određenih elemenata po tretmanima, pri čemu je tretman VAR3 u 2022. godini imao statistički najviše vrijednosti N, a tretman VAR0 u 2023. godini statistički najviše vrijednosti Fe. Sorta Leccino je pokazala više razine K, Ca, Fe i Mn u listovima, te Ca u plodovima u usporedbi sa Oblicom što ukazuje na sortnu razliku u usvajanju hraniva.

U uvjetima ovog pokusa, primjena svježe komine nije povećala toksične koncentracije mikronutrijenata i teških metala u tlu, odnosno u biljci, što ukazuje da, uz pažljivo doziranje, jednokratna primjena svježe komine ne utječe na toksičnost tih elemenata u tlu i biljci. Ipak, utjecaj preostalog ulja i fenolnih spojeva ne može se isključiti te je potrebno provesti daljnja istraživanja koja će utvrditi utjecaj organskih spojeva.

LITERATURA

- Abu-Zreig, M., Al-Widyan, M. (2002) Influence of olive mills solid waste on soil hydraulic properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33 (3–4), 505–517.
DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-120002760>
- Alma, Z., Söylemez, S. (2022) The effect of olive pomace and seaweed extract on the growth of pepper seedling. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 19 (02), 246–257.
DOI: <https://doi.org/10.30574/gscbps.2022.19.2.0164>
- Ameziane, H., Nounah, A., Khamar, M., Zouahri, A. (2019) Use of olive pomace as an amendment to improve physico-chemical parameters of soil fertility. *Agronomy Research*, 17 (6), 2158–2171.
DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.212>
- AOAC (2015) *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. 18th Edition, AOAC, Arlington, pp. 806–814.
- Brunetti, G., Plaza, C., Senesi, N. (2005) Olive pomace amendment in Mediterranean conditions: effect on soil and humic acid properties and wheat (*Triticum turgidum* L.) yield. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (17), 6730–6737.
DOI: <https://doi.org/10.1021/JF050152J>
- Chartzoulakis, K., Psarras, G., Moutsopoulou, M., Stefanoudaki, E. (2010) Application of olive mill wastewater to a Cretan olive orchard: Effects on soil properties, plant performance and the environment. *Ecosystems and Environment*, 138, 293–298.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.05.014>
- Chavan, S., Yadav, B., Atmakuri, A., Tyagi, R. D., Wong, J. W. C., Drogui, P. (2022) Biocconversion of organic wastes into value-added products: A review. *Bioresource Technology*, 344, 126398.
DOI: <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.126398>
- Connell, J. H., Vossen, P. M. (2007) Organic Olive Orchard Nutrition. In: Vossen, P. M., ed. *Organic Olive Production Manual*. Publication 3505, University of California, pp. 37–43.
- Council Directive 1999/31/EC of the European Parliament and of the Council of 26 April 1999 on the landfill of waste. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj> [Accessed 28 April 2025].
- CEN/TS 17768:2022 Organic and organo-mineral fertilizers - Digestion by aqua regia for subsequent determination of elements. Brussels: European Committee for Standardization.
- Cucci, G., Lacolla, G., Caranfa, G. (2013) Use of Composted Olive Waste as Soil Conditioner and its Effects on the Soil. *International Journal of Agricultural Research*, 8, 149–157.
- Čoga, L. (2022) Izvještaj o rezultatima kemijske analize organska gnojiva i poboljšivači (pp. 1–2). Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.
- Davis, D. R. (2009) Declining Fruit and Vegetable Nutrient Composition: What Is the Evidence? *HortScience*, 44 (1), 15–19.
DOI: <https://www.doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.15>
- de la Fuente, C., Clemente, R., Martínez-Alcalá, I., Tortosa, G., Bernal, M. P. (2011) Impact of fresh and composted solid olive husk and their water-soluble fractions on soil heavy metal fractionation; microbial biomass and plant uptake. *Journal of Hazardous Materials*, 186 (2–3), 1283–1289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.004>
- DZS (2023) Državni zavod za statistiku. Available at: <https://web.dzs.hr/PXWeb/Default.aspx> [Accessed 15 April 2025].
- Egner, H., Riehm, H., Domingo, W. R. (1960) Investigations on the chemical soil analysis as a basis for assessing the soil nutrient status II: Chemical extraction methods for phosphorus and potassium determination. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler*, 26, 199–215.

- Escolano, J. J., Pedreño, J. N., Lucas, I. G., Almendro Candel, M. B., Zorpas, A. A. (2018) Decreased Organic Carbon Associated With Land Management in Mediterranean Environments. In *Soil Management and Climate Change*. Elsevier, pp. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812128-3.00001-X>
- FAOSTAT. (2023) Food and Agricultural Organization Statistical Database. Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> [Accessed 28 March 2025].
- Fernández-Escobar, R., Moreno, R., García-Creus, M. (1999) Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Scientia Horticulturae*, 82 (1–2), 25–45. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00045-X)
- Fernández-Hernández, A., Roig, A., Serramiá, N., Civantos, C. G.-O., Sánchez-Monedero, M. A. (2014) Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil, olive fruit and olive oil quality. *Waste Management*, 34 (7), 1139–1147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.027>
- Fornes, F., Lidón, A., Belda, R.M., Macan, G.P.F., Cayuela, M.L., Sánchez-García, M., Sánchez-Monedero, M.A. (2024) Soil fertility and plant nutrition in an organic olive orchard after 5 years of amendment with compost, biochar or their blend. *Scientific Reports*, 14, 16606. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67565-x>
- Gargouri, K., Mhiri, A. (2002) Relationship between soil fertility and phosphorus and potassium olive plant nutrition. In: Zdruli, P., Steduto, P., Kapur, S., eds. *International meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate (selected papers)*. CIHEAM Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens. pp. 199–204.
- Giusquiani, P. L., Pagliari, M., Gigliotti, G., Businelli, D., Benetti, A. (1995) Urban Waste Compost: Effects on Physical, Chemical, and Biochemical Soil Properties. *Journal of Environmental Quality*, 24 (1), 175–182. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq1995.00472425002400010024x>
- HAA (2021) Potvrda o akreditaciji. Zagreb: Hrvatska akreditacijska agencija. Available at: [https://www.agr.unizg.hr/multimedia/1698758621__ALIB%20-%20potvrda%20o%20akreditaciji%20\(vrijedi%20do%2023-12-24\).pdf](https://www.agr.unizg.hr/multimedia/1698758621__ALIB%20-%20potvrda%20o%20akreditaciji%20(vrijedi%20do%2023-12-24).pdf) [Accessed 18 April 2025].
- HRN ISO 11261:2004 - Kakvoća tla -- Određivanje ukupnog dušika -- Prilagođena Kjeldahlova metoda (ISO 11261:1995). Zagreb: Hrvatski zavod za norme. Available at: <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+11261%3A2004> [Accessed 18 April 2025].
- Ibrahimi, K., Gaddas, F. (2015) Soil nutrient content and olive tree nutritional status after composted olive husk application in an olive orchard of Northern Tunisia. *Agriculture and Biotechnology*, 19 (2), 708–714. Available at: www.jnsiences.org
- Kavvadias, V., Papadopoulou, M., Vavoulidou, E., Theocharopoulos, S., Repas, S., Koubouris, G., Psarras, G., Kokkinos, G. (2018) Effect of addition of organic materials and irrigation practices on soil quality in olive groves. *Journal of Water and Climate Change*, 9 (4), 775–785. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.090>
- Killi, D., Anlauf, R., Kavdir, Y., Haworth, M. (2014) Assessing the impact of agro-industrial olive wastes in soil water retention: Implications for remediation of degraded soils and water availability for plant growth. *International Biodeterioration Biodegradation*, 94, 48–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.06.019>
- Manolikaki, I., Dagalaki, N., Psarras, G., Tzerakis, C., Sergentani, C., Papamanolioudaki, A., Tul, S., Koubouris, G. (2022) Seasonal Variation of Leaf Ca, Fe, and Mn Concentration in Six Olive Varieties. *International Journal of Plant Biology*, 13 (2), 95–105. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijpb13020010>
- Mekersi, N., Kadi, K., Casini, S., Addad, D., Amari, A., Lekmine, S. (2022) Evaluation of the effects of short-term amendment with olive mill pomace on some soil properties. *Soil Science Annual*, 73 (2), 1–6. DOI: <https://doi.org/10.37501/soilsa/150493>
- Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i ribarstva (2019) *Maslinarstvo*. Zagreb: Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i ribarstva. Available at: <https://poljoprivreda.gov.hr/maslinarstvo/194> [Accessed 10 March 2025].
- Montemurro, F., Diacono, M., Vitti, C., Ferri, D. (2011) Potential Use of Olive Mill Wastewater as Amendment: Crops Yield and Soil Properties Assessment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42 (21), 2594–2603. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.614035>
- Niaounakis, M., Halvadakis, C.P. (2006) *Olive processing waste Management: Literature Review and Patent Survey*, second edition. Elsevier Ltd., Kidlington, Oxford, UK.
- NN 71/2019 - Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Zagreb: Narodne novine, br. 71/2019.
- Palčić, I., Bencić, Đ., Moslavac, T. (2009) Mogućnosti zbrinjavanje vegetabilne vode nastale procesom ekstrakcije maslinovog ulja. *Glasnik zaštite bilja*, 32 (6), 116–131.
- Paredes, C., Cegarra, J., Roig, A., Sánchez-Monedero, M. A., Bernal, M. P. (1999) Characterization of olive mill wastewater (alpechin) and its sludge for agricultural purposes. *Bioresource Technology*, 67 (2), 111–115. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00106-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00106-0)
- Proietti, P., Federici, E., Fidati, L., Scargetta, S., Massaccesi, L., Nasini, L., Regni, L., Ricci, A., Cenci, G., Gigliotti, G. (2015) Effects of amendment with oil mill waste and its derived-compost on soil chemical and microbiological characteristics and olive (*Olea europaea* L.) productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 207, 51–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.028>
- Recalde, L. (1975) Fertilization. In: *Proceedings of the Second International Olive Seminar*, pp. 43–64.
- Regni, L., Nasini, L., Ilarioni, L., Brunori, A., Massaccesi, L., Agnelli, A., Proietti, P. (2017) Long Term Amendment with Fresh and Composted Solid Olive Mill Waste on Olive Grove Affects Carbon Sequestration by Prunings, Fruits, and Soil. *Frontiers in Plant Science*, 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02042>
- Saviozzi, A., Biasci, A., Riffaldi, R., Levi-Minzi, R. (1999) Long-term effects of farmyard manure and sewage sludge on some soil biochemical characteristics. *Biology and Fertility of Soils*, 30 (1–2), 100–106. DOI: <https://doi.org/10.1007/S003740050594>
- Seyedi Marghaki, A. (2017) Effect of olive mill pomace compost on yield, oil percentage and the leaf elements content in two olive cvs 'Zard' and 'Roughany'. *Journal of Plant Production Research*, 24 (2), 125–137. <http://jopp.gau.ac.ir>
- Sierra, J., Martí, E., Garau, M. A., Cruañas, R. (2007). Effects of the agronomic use of olive oil mill wastewater: Field experiment. *Science of The Total Environment*, 378 (1–2), 90–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.009>
- Sierra, J., Martí, E., Montserrat, G., Cruañas, R., Garau, M. A. (2001). Characterisation and evolution of a soil affected by olive oil mill wastewater disposal. *Science of The Total Environment*, 279 (1–3), 207–214. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00783-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00783-5)
- Šegota, T., Filipčić, A. (2003) Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje (in Croatian). *Geoadria*, 8 (1), 17–37. DOI: <https://doi.org/10.15291/geoadria.93>
- Škorić, A. (1982) *Priručnik za pedološka istraživanja*. Fakultet poljoprivrednih znanosti.
- Therios, I. (2008) *Olives*. Crop production science in horticultural series, 18. CAB International.