Aleksandra Bensa[1], Nikolina Jurković Balog[1], Ivan Magdić[1]

Stručni rad

Bakar i cink u tlima maslinika na području Kaštelanskog zaljeva

Sažetak

Bakar i cink su biogeni mikroelementi, koji u povišenim koncentracijama mogu imati toksično djelovanje na biljke i mikroorganizme. Antropogeni izvori bakra u tlima maslinika dominantno su fungicidi, dok je za cink poznato da u tlo dospijeva putem mineralnih gnojiva i pesticida. Cilj ovog rada bio je utvrditi koncentracije bakra i cinka u tlima maslinika na području Kaštelanskog zaljeva i procijeniti onečišćenje tla. Ukupno je uzeto 50 uzoraka iz površinskog horizonta tla (crvenice 30 i antropogena tla na flišu 20 uzoraka). Ukupne koncentracije bakra i cinka u tlu određene su optičkom emisijskom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES). Mehanički sastav tla i osnovna kemijska svojstva određena su standardnim analitičkim postupcima. Utvrđene koncentracije bakra kretale su se u vrlo širokom rasponu 19,6-301,3 mg kg $^{-1}$, uz prosječnu vrijednost od 106,9 mg kg $^{-1}$. Koncentracije cinka varirale su od 31,9 do 198,5 mg kg $^{-1}$, uz prosječnu vrijednost 102,8 mg kg $^{-1}$. U antropogenim tlima na flišu uočene su niže vrijednosti bakra i cinka u odnosu na crvenice. Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19) istraživana tla nisu bila onečišćena cinkom. Kod crvenica je u 53,3% uzoraka utvrđeno onečišćenje bakrom, dok antropogena tla na flišu nisu bila onečišćena bakrom. Dobiveni rezultati upućuju na potrebu za daljnjim, detaljnijim istraživanjima bakra u maslinicima, posebno na crvenicama.

Ključne riječi: *crvenica, fliš, onečišćenje tla*

Uvod

Bakar i cink su biogeni elementi za biljke, ali istovremeno i potencijalno toksični elementi (PTE) čija akumulacija u tlu može izazvati brojne probleme u okolišu, prvenstveno u vidu negativnog djelovanja na organizme tla. Brojna istraživanja utvrdila su da povišene koncentracije bakra reduciraju mikrobiološki rast (‘Díaz-Raviña i sur., 2007), uzrokuju poremećaje u enzimatskoj aktivnosti (Mackie i sur., 2012), te reduciraju rast korijena (Ambrosini i sur., 2015) i izdanaka biljaka (Vitanović i sur., 2012). Cink u povišenim koncentracijama također može biti toksičan za organizme tla, posebice gliste i druge beskralješnjake (Lev i sur., 2010), te bakterije (Pan i sur., 2020).

Varijabilnost bakra i cinka u tlu uvjetovana je prirodnim čimbenicima (matični supstrat, svojstva tla, geomorfologija, klima) i raznovrsnim antropogenim utjecajima. U poljoprivrednim tlima najznačajniji antropogeni izvor bakra su fungicidi na bazi bakra koji se u Europi in-

*1 prof. dr. sc. **Aleksandra Bensa**, **Nikolina Jurković Balog**, mag. ing.agr., doc. dr. sc. Ivan Magdić,*
Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska
*Autor za koresponednciju: **abensa@agr.hr***

tenzivno koriste od 19. stoljeća (Komarek i sur., 2010). Za cink se u literaturi kao antropogeni izvori u poljoprivrednim tlima *često navodi korištenje mineralnih* gnojiva (Kabata Pendias i Mukherjee, 2007) i pesticida (Fernandez Calvino i sur., 2012). Dugotrajna i intenzivna primjena pesticida i gnojiva rezultira nakupljanjem bakra i cinka u tlu, ovisno o svojstvima tla. Kao najvažnija svojstva tla za adsorpciju navedenih elemenata ističu se humus (Shi i sur., 2018; Wan i sur., 2024) i čestice gline (Huang i sur., 2020).

Onečišćenja poljoprivrednih tala bakrom najčešće su utvrđena u nasadima drvenastih kultura, posebice u vinogradima (Komarek i sur., 2010). Istraživanje Ballabia i sur. (2018) provedeno na 21 682 uzoraka tla s područja EU potvrdilo je najviše prosječne koncentracije bakra u tlima vinograda (49,3 mg kg^{-1}), iza kojih slijede tla maslinika s prosječno 33,5 mg kg^{-1}, dok je u tlima oranica utvrđeno prosječno 16,1 mg kg^{-1}. Problem onečišćenja tla maslinika bakrom istaknut je u istraživanjima Marzaiolo i sur. (2010), Avramidis i sur. (2019), Miloš i Bensa (2021). Stupanj onečišćenja tla autori povezuju s učestalošću, intenzitetom i dugotrajnošću primjene fungicida na bazi bakra, kao i svojstvima tla. Bensa i sur (2025) istaknuli su problem podizanja maslinika na bivšim vinogradarskim tlima kod kojih je akumuliran bakar u površinskim horizontima uslijed dugotrajne primjene fungicida. O povišenim koncentracijama cinka u poljoprivrednim tlima izvijestili su Ramos (2006), Fernandez Calvino i sur. (2012) i Bensa i sur. (2025).

U Hrvatskoj su maslinici najrašireniji na tlima razvijenim na vapnencima i dolomitima, dominantno crvenicama (i kalkokambisolima), te na flišnim sedimentima (Bogunović i sur., 2009). Crvenice su teksturno teška tla, varijabilnog sadržaja humusa, koja karakterizira prisutnost Fe i Al oksida koji također mogu doprinijeti adsorpciji PTE (Romić i sur., 2014). Tla razvijena na flišnim sedimentima u pravilu sadrže vrlo malo humusa i lakšeg su teksturnog sastava (Miloš i Maleš, 1998) u odnosu na crvenice. Dodatno, izrazito su podložna eroziji, što također utječe na sadržaj PTE (Miloš i Bensa, 2019).

Ciljevi ovog rada bili su: (i) utvrditi koncentraciju bakra i cinka u tlima maslinika na području Kaštelanskog zaljeva i (ii) procijeniti onečišćenje istraživanih tala navedenim elementima.

Materijal i metode

Istraživanje je provedeno na kopnenom području Kaštelanskog zaljeva, smještenog u središnjem dijelu Dalmacije, između Trogira na istoku i rijeke Žrnovnice na zapadu, te planine Kozjak na sjeveru. Istraživano područje obilježava mediteranska klima, koju karakteriziraju suha i vruća ljeta, te blage i kišovite zime (Zaninović i sur., 2008). Geološki, ovaj prostor izgrađen je od sedimenata mezozojske, tercijarne i kvartarne starosti (Marinčić i sur., 1967). Mezozojske kredno-jurske vapnence odlikuje visoki postotak $CaCO_3$ i nizak sadržaj netopivog ostatka. Tercijar je zastupljen naslagama eocenske starosti, pri čemu dominiraju flišni sedimenti heterogenog sastava, a najzastupljeniji su pješčenjaci u izmjeni s laporima (Miloš i Maleš, 1998). Područje istraživanja karakterizira tipična krška geomorfologija uz strmije padine na sjevernom dijelu i blaže na južnom, što uvjetuje različite intenzitete erozije. Prema osnovnoj pedološkoj karti RH sekcije Šibenik 4 (Čolak i Martinović, 1978) dominantni tip tla na vapnencima je crvenica, dok se na flišnim sedimentima uglavnom rasprostiru antropogena tla. Ovo područje pod dugotrajnim je i raznovrsnim antropogenim utjecajem, što se ogleda u brojnim terasama i „kazetama“. Maslinarstvo ovog područja karakterizira izostanak navodnjavanja, neredovita obrada tla, te različit intenzitet gnojidbe i primjene zaštitnih sredstava.

U sklopu ovog istraživanja ukupno je uzorkovano 50 uzoraka površinskog horizonta tla (0-20 cm), od čega 30 na crvenicama i 20 na antropogenim tlima na flišu (Slika 1). Uzorci su pripremljeni za analize prema HRN ISO 11464 (2009). Mehanički sastav tla određen je pipet

metodom (HRN ISO 11277:2011), pH u KCl-u elektrometrijski (HRN ISO 10390:2022), sadržaj ukupnih karbonata modificiranom volumetrijskom metodom (HRN EN ISO 10693:2014), sadržaj humusa metodom po Tjurinu (JDPZ, 1966), a koncentracije fiziološki aktivnog P_2O_5 i K_2O Al metodom (Egner i sur., 1960). Koncentracije ukupnog bakra i cinka određene su optičkom emisijskom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES).



Slika 1. Uzorkovanje crvenice (a) i antropogenog tla na flišu (b) /Figure 1. Sampling of Terra rossa soil (a) and anthropogenic soil on flysch

Za procjenu onečišćenja tla istraživanim potencijalno toksičnim elementima (PTE) korišten je Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19). Kada poljoprivredno zemljište sadrži više od maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK) onečišćujuće tvari smatra se onečišćenim. MDK su propisane uvažavajući pH vrijednost izmjerenu u KCl-u (Tablica 1).

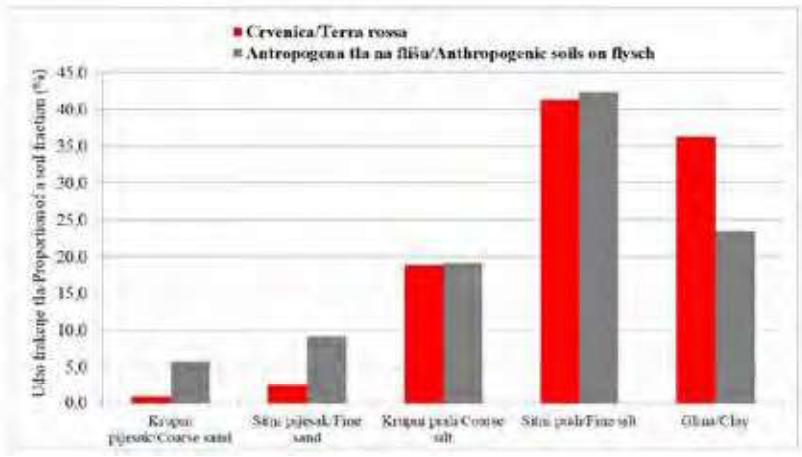
Tablica 1. Maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) (mg kg^{-1}) odabranih PTE u poljoprivrednim tlima / **Table 1.** Maximum permissible concentrations (MPC) (mg kg^{-1}) of selected potentially toxic elements (PTE) in agricultural soils

PTE	$pH_{(KCl)}$		
	<5	5-6	>6
Cu	60	90	120
Zn	60	150	200

Rezultati i rasprava

Osnovna svojstva tla

Adsorpcija i retencija PTE u tlu dominantno ovisi o mehaničkom sastavu tla, posebno udjelu gline (Huang i sur., 2020), sadržaju humusa (Kabata-Pendias i Pendias, 2001) i pH vrijednosti (Romić i sur., 2014). Analiza mehaničkog sastava odražava razlike između istraživanih tala (Grafikon 1). Prema sadržaju krupnog i sitnog praha istraživana tla su ujednačena. Međutim, u crvenicama je utvrđen prosječno viši sadržaj gline (36,4%) u odnosu na antropogena tla na flišu (23,5%). Također, uočljive su i razlike u sadržaju pijeska (krupnog i sitnog), koji je zastupljeniji u antropogenim tlima na flišu.



Grafikon 1. Prosječne vrijednosti frakcija u istraživanim tlima
Graph 1. Average values of fractions in the studied soils

Crvenica je slabo kisele reakcije, slabo karbonatna i dosta do jako humozna. Fiziološki aktivnim fosforom je vrlo slabo do vrlo bogato opskrbljena a fiziološki aktivnim kalijem dobro do vrlo bogato (Tablica 2). Širok raspon koncentracija fiziološki aktivnog P_2O_5 (0,6-49,4 mg/100 g tla) i K_2O (25,5-252,0 mg/100 g tla), kao i koeficijenti variranja od 73,2 odnosno 57,8, upućuju na različit intenzitet gnojidbe mineralnim gnojivima. Nadalje, razlike u sadržaju humusa odražavaju razlike u gnojidbi organskim gnojivima kao i mineralizaciji organske tvari tla uslijed različite obrade tla.

Antropogena tla na flišu su alkalne reakcije, srednje karbonatna i slabo do dosta humozna, u prosjeku osrednje humozna (Tablica 2). Vrlo slabo su do slabo opskrbljena fiziološki aktivnim fosforom (0,3-13,0 mg/100 g tla) i slabo do vrlo bogato fiziološki aktivnim kalijem (9,8-66,0 mg/100 g tla). Kao i kod crvenica, visoki koeficijenti variranja za P_2O_5 i K_2O koncentracije (89,2 odnosno 46,2) upućuju na razlike u gnojidbi maslina.

Utvrđen mehanički sastav tla i osnovna kemijska svojstva istraživanih tala u skladu su s literaturnim podacima (Miloš i Maleš, 1998, Bogunović i sur., 2009). Viši sadržaj čestica gline i humusa utvrđen u crvenicama upućuje na njihov veći potencijal za adsorpciju PTE.

Tablica 2. Deskriptivna statistika za osnovna kemijska svojstva istraživanih tala
Table 2. Descriptive statistics for basic chemical properties of studied soils

Svojstvo tla/Soil property	Minimum/ Minimum	Maksimum/ Maximum	Prosjek/ Average	Koeficijent variranja/ Coefficient of variation
CRVENICA/TERRA ROSSA				
pH	6,0	7,21	6,66	5,69
$CaCO_3$ (%)	1,5	4,3	2,4	31,4
Humus (%)	4,1	9,5	6,8	24,6
P_2O_5 (mg/100 g tla)	0,6	49,4	21,3	73,2
K_2O (mg/100 g tla)	25,5	252,0	76,3	57,8

Svojstvo tla/Soil property	Minimum/ Minimum	Maksimum/ Maximum	Prosjek/ Average	Koeficijent variranja/ Coefficient of variation
ANTROPOGENA TLA NA FLIŠU/ANTHROPOGENIC SOIL ON FLYSCH				
pH	7,19	7,58	7,34	1,67
$CaCO_3$ (%)	14,3	25,0	18,6	15,6
Humus (%)	1,9	3,7	2,8	17,8
P_2O_5 (mg/100 g tla)	0,3	13,0	4,3	89,2
K_2O (mg/100 g tla)	9,8	66,0	29,3	46,2

Bakar u istraživanim tlima

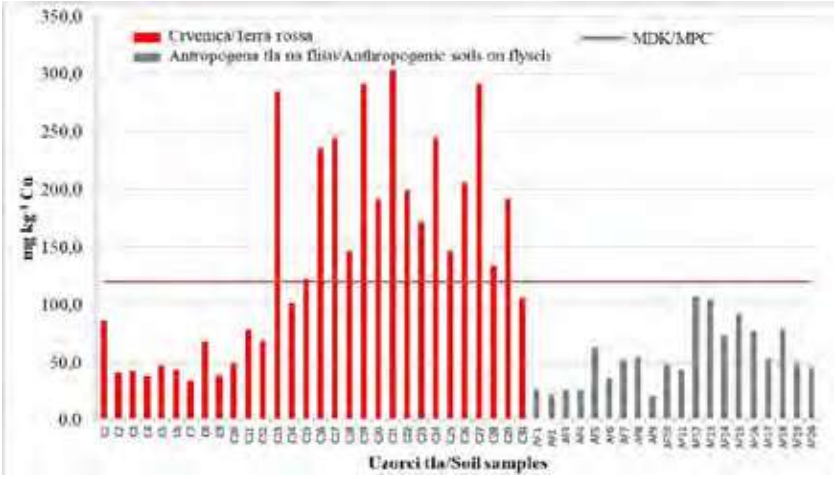
Koncentracije ukupnog bakra u istraživanim tlima kretale su se od 19,6 do 301,3 mg kg^{-1}, pri čemu su u crvenicama utvrđene više vrijednosti (33,9-301,3 mg kg^{-1}) u odnosu na antropogena tla na flišu (19,6-106,9 mg kg^{-1}) (Grafikon 2). Od ukupno 30 uzoraka crvenica, koncentracije ukupnog bakra su u 16 uzoraka (53,3%) bile iznad MDK prema Pravilniku (NN 71/19). U antropogenim tlima na flišu niti u jednom uzorku nije utvrđeno prekoračenje MDK za koncentracije bakra, koje za tla s pH > 6 iznosi 120 mg kg^{-1} (Tablica 1).

Utvrđene razlike u koncentracijama bakra između uzoraka tla mogu se pripisati razlikama u intenzitetu antropogenog utjecaja u istraživanim maslinicima, prvenstveno putem primjene fungicida na bazi bakra. Podaci o vrstama, količinama i učestalosti primjene fungicida, kao ni starosti maslinika, nisu dostupni, obzirom da se nije radilo o ciljano postavljenom pokusu. Međutim, u uzorcima tla s utvrđenim koncentracijama bakra iznad MDK utvrđene su i visoke koncentracije P_2O_5 i K_2O, što potvrđuje intenzivnu primjenu agrotehničkih mjera u tim maslinicima. Treba istaknuti da utvrđene visoke koncentracije Cu u pojedinim uzorcima tla ne moraju nužno biti rezultat aktualne primjene bakrenih fungicida u istraživanim maslinicima. Naime, neki od istraživanih maslinika podignuti su na bivšim vinogradarskim tlima u kojima su pretpostavljivo dugotrajno i intenzivno primjenjivani fungicidi na bazi bakra. O povišenim koncentracijama bakra u napuštenim vinogradarskim tlima na području Dalmacije izvijestili su Bensa i sur. (2025).

Više koncentracije bakra u crvenicama u odnosu na antropogena tla na flišu (Grafikon 2) mogu se objasniti višim sadržajem gline (Grafikon 1) i humusa (Tablica 2) u crvenicama, obzirom da je poznato da se bakar adsorbira na navedene koloide tla (Parat i sur., 2002; Cerquiera i sur., 2011). Dodatno, Fe i Al oksidi prisutni u crvenicama, lako adsorbiraju Cu (Romić i sur. 2014).

Cink u istraživanim tlima

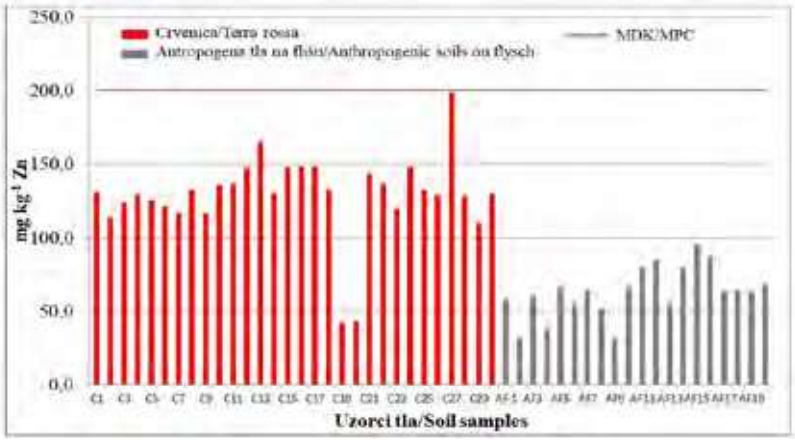
Koncentracije ukupnog cinka u istraživanim tlima varirale su u rasponu 31,9-198,5 mg kg^{-1}, uz srednju vrijednost od 102,8 mg kg^{-1} (Grafikon 3). Kao i kod bakra, u crvenicama su utvrđene više koncentracije cinka (42,5-198,5 mg kg^{-1}) u odnosu na antropogena tla na flišu (31,9-94,6 mg kg^{-1}). Utvrđene koncentracije cinka u svim uzorcima tla bile su ispod MDK prema Pravilniku (NN 71/19), odnosno ispod 200 mg kg^{-1}.



Grafikon 2. Koncentracije bakra u istraživanim tlima i MDK /**Graph 2.** Copper concentrations in studied soils and MPC

Razlike u koncentracijama cinka između analiziranih uzoraka tla rezultat su prirodnih i antropogenih utjecaja. Poznato je da tla razvijena na flišu sadrže niže koncentracije cinka od tala razvijenih na vapnencima i dolomitima (Kabata Pendias i Pendias, 2001; Halamić i Miko, 2009). Također, viši sadržaji gline i posebice humusa utvrđeni u crvenicama rezultiraju većom adsorpcijskom sposobnošću i zadržavanjem cinka u crvenicama u odnosu na tla razvijena na flišu. Razlike u srednjim vrijednostima koncentracija cinka između crvenica (128,9 mg kg^{-1}) i tala na flišu (63,6 mg kg^{-1}) ilustriraju navedene tvrdnje.

Također, obzirom da su dušična i fosforna mineralna gnojiva mogući izvor cinka u poljoprivrednim tlima (Kabata Pendias i Mukherjee, 2007), očekivane su razlike u koncentracijama cinka u tlima gnojenim različitim vrstama i količinama gnojiva. Povišene koncentracije cinka u poljoprivrednim tlima, posebno u nasadima drvenastih kultura, u odnosu na prirodna tla utvrđene su u brojnim istraživanjima (Vitanović i sur., 2008; Park i sur., 2011; Fernandez Calvino i sur., 2012). Širok raspon koncentracija P_2O_5 i K_2O u istraživanim tlima (Tablica 2) potvrđuje razlike u primjeni mineralnih gnojiva na istraživanim maslinicima. Stoga su i unutar istog tipa tla, sličnih adsorpcijskih kapaciteta, utvrđene razlike u Zn koncentracijama uslijed različitog unosa cinka.



Grafikon 3. Koncentracije cinka u istraživanim tlima i MDK / **Graph 2.** Zinc concentrations in studied soils and MPC

Zaključak

Istraživanje bakra i cinka u crvenicama i antropogenim tlima na flišu u maslinicima na području Kaštelanskog zaljeva otkrilo je široke raspone navedenih elemenata, uz više koncentracije navedenih PTE u crvenicama. Utvrđene razlike rezultat su prirodnih procesa i antropogenih utjecaja. Veća adsorpcijska sposobnost crvenica, uslijed višeg sadržaja gline i humusa, rezultirala je višim koncentracijama oba elementa u odnosu na tla razvijena na flišu. Različita primjena agrotehničkih mjera (zaštita i gnojidba), potvrđena širokim rasponom biljkama pristupačnih hraniva u tlu, uvjetovala je razlike u koncentracijama bakra i cinka. Onečišćenje tla bakrom utvrđeno je samo kod crvenica, na dijelu uzoraka. Istraživana tla nisu bila onečišćena cinkom. Dobiveni rezultati upućuju na potrebu za daljnjim, detaljnijim istraživanjima PTE u tlima maslinika, posebice na crvenicama.

Literatura

Ambrosini, V.G., Rosa, D.J. Corredor, J.P., Borghezan, M., Melo, G.W., Comin, J.J., Simao, D.G., Brunetto, G. (2015) *Reduction of copper phytotoxicity by liming: A study of the root anatomy of young vines (Vitis labrusca L.), Plant physiology and biochemistry, 96, 270-280. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.08.012*

Avramidis, P., Barouchas, P., Dünwald, T., Unkel, I., Panagiotaras, D. (2019) *The Influence of Olive Orchards Copper-Based Fungicide Use, in Soils and Sediments - The Case of Aetoliko (Etoliko) Lagoon Western Greece. Geoscience, 9 (6), e 267. DOI: https://doi.org/10.3390/geosciences9060267*

Ballabio, C., Panagos, P., Lugato, E., Huang, J.H., Orgiazzi, A., Jones, A., Fernandez-Ugalde, O., Borelli, P., Montanarella, N. (2018). *Copper distribution in European topsoils: An assessment based on LUCAS soil survey. Science of the Total Environment, 636, 282-298. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.268*

Bensa, A., Jurković Balog, N., Matan, K., Perčin, A. (2025) *Potentially toxic elements (As, Cu, Pb and Zn) in former vineyard soils under olive goves and natural vegetation. Journal of Central European Agriculture, 26 (3), 772-784. DOI: https://doi.org/10.5513/JCEA01/26.3.4699*

Bogunović, M., Bensa, A., Husnjak, S., Miloš, B, (2009) *Pogodnost tala Dalmacije za uzgoj maslina. Agronomski glasnik, 38 (5-6), 367-404.*

Cerqueira, B., Covelo, E.F., Andrade, L.,Vega F.A. (2011) *The influence of soil properties on the individual and competitive sorption and desorption of Cu and Cd. Geoderma, 162 (1-2), 20-26. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.08.013*

Čolak, A., Martinović, J. (1978). *Osnovna pedološka karta RH 1:50 000, sekcija Šibenik 4. Split: Projektni savjet za izradu pedološke karte SRH)*

'Díaz-Raviña, M., Calvo de Anta, R., Bååth, E. (2007) *Tolerance (PICT) of the bacterial communities to copper in vineyard soils from Spain. Journal of Environmental Quality, 36, 1760-1764. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2006.0476*

Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960) *Untersuchungen uber die chemische Bodenanalyse als Grundlage fur die Beurteilung des Nahrstoffzustandes der Boden, II: Chemische Extractionsmetoden zu Phosphorund Kaliumbestimmung. Kungliga Lantbrukshugskolans Annaler, 26, 199-21.*

Fernandez Calvino D., Pateiro-Moure M., Novoa.-Munoz J.C., Garrido-Rodrguez B., Arias –Estevez M. (2012) *Zinc distribution and acid-base mobilisation in vineyard soils and sediments. Science of the Total Environment, 414, 470-479. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.033*

Halamić, J., Miko, S. (2009). *Geochemical Atlas of the Republic of Croatia. Zagreb: Hrvatski geološki institut*

HRN ISO 11277:2004 (2011) *Kakvoća tla – Određivanje raspodjele veličine čestica (mehaničkog sastava) u mineralnom dijelu tla – Metoda prosijavanja i sedimentacije. Zagreb: Hrvatski zavod za norme*

HRN ISO 11464:2009 (2009) *Kakvoća tla- Priprema uzorka za fizikalno kemijske analize. Zagreb: Hrvatski zavod za norme*

HRN ISO 10390:2022 (2022) *Kakvoća tla – Određivanje pH vrijednosti. Zagreb: Hrvatski zavod za norme*

HRN EN ISO 10693:2014 (2014) *Kakvoća tla- Određivanje sadržaja karbonata – Volumetrijska metoda. Zagreb: Hrvatski zavod za norme*

Huang, B., Yuan, Z., Li, D., Zheng, M., Nie, X., Liao, Y., (2020). *Effects of soil particle size on the adsorption, distribution, and migration behaviours of heavy metal(loid)s in soil: a review. Environmental science, Processes and Impacts, 22(8), 1596-1615.DOI: https://doi.org/10.1039/D0EM00189A*

JDPZ (1966) *Priručnik za ispitivanje zemljišta. Knjiga I. Kemijske metode ispitivanja zemljišta. Beograd: Jugoslavensko društvo za proučavanje zemljišta*

Kabata Pendias, A., Mukherjee, A.B. (2007) *Trace elements from soil to human. Berlin: Springer verlag*

Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001) *Trace Elements in Soils and Plants. 3rd edition. Boca Raton: CRC Press*

Komarek M., Čadkova E., Chrastny V., Bordas F., Bollinger J.C. (2010) *Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. Environment International. 36 (1), 138-151. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.005*

Lev SM, Matthies N, Snodgrass JW, Casey RE, Ownby DR (2010) *Effects of Zinc exposure on earthworms, Lumbricus terrestris, in an artificial soil. Bulletin Environmental Contamination Toxicology, 84, 687–691. DOI: https://doi.org/10.1007/s00128-010-0002-4*

Mackie K. A., Müller T., Kandeler E. (2012) *Remediation of copper in vineyards – A mini review. Environmental Pollution, 167, 16-26. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.023*

Marinčić, S., Magaš, N., Borović, I. (1967) *Osnovna geološka karta RH 1: 100 000, Tumač za listove Split i Primošten K 33-20 i K33-21. Zagreb: Institut za geološka istraživanja*

Miloš B., Bensa A. (2019)*. Cd, Cu, Pb and Zn on terraced soil on flysch deposits of Kaštela bay coastal area. Croatia, Journal of Central European Agriculture, 20 (3), 974-985. DOI: https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.3.2288*

Miloš, B, Bensa, A. (2021). *The copper content in soil of olive orchards from Dalmatia, Croatia. Eurasian Soil Science, 54, 865-874. DOI: https://doi.org/10.1134/S1064229321060119*

Miloš, B., Maleš, P. (1998) *Tla Kaštelanskog zaljeva i problemi njihove zaštite. Agronomki glasnik, 60 (4), 185-204.*

Narodne novine 71/19 (2019) *Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Zagreb: Ministarstvo poljoprivrede*

Pan, X., Zhang, S., Zhong, Q., Gong, G., Wang, G., Guo, X., Xu, X. (2020) *Effect of soils chemical properties and fractions of Pb, Cd and Zn on bacterial and fungal communities. Science of The Total Environment, 715, e 136904. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136904*

Parat, C., Chaussod, R., Leveque, J., Dousset, S., Andreux, F. (2002) *The relationship between copper accumulated in vineyard calcareous and soil organic matter and iron. European Journal of Soil Science, 53 (4), 663-670. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2002.00478.x*

Park., B., J., Cho, J.Y. (2011) *Assessment of copper and zinc in soils and fruit with the age of an apple orchard. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 54, 910-914. DOI: https://doi.org/10.1007/BF03253179*

Romić, M., Matijević L., Bakić, H., Romić, D. (2014). *Copper accumulation in vineyard soils:*

distribution, fractionation, and bioavailability assessment. U: Hernandez-Soriano M.C., ur. Environmental risk assessment of soil contamination. InTech Ed
Shi J., Wu Q., Zheng C., Yang J. (2018). *The interaction between particulate organic matter and copper, zinc in paddy soil. Environmental Pollution, 243, 1394-1402. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.085*
Vitanović E., Vidaček Ž., Kačić S., Katalinić M. (2008) *Contamination of Kaštela Bay vineyard soils with heavy metals. Agronomski glasnik, 3, 237-245.*
Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, Ž, Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnec, L. (2008) *Klimatski atlas Hrvatske: 1961.-1990.:1971.-2000. Zagreb : Državni hidrometeorološki zavod,*
Wan, Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q., Li, H. (2024). *Heavy metals in agricultural soils: sources, influencing factors, and remediation strategies. Toxics, 12(1) e 63. DOI: https://doi.org/10.3390/toxics12010063*

Prispjelo/Received: 24.1.2026. ***Prihvaćeno/Accepted: 25.2.2026.***

Professional paper

Copper and zinc in olive grove soils in Kaštela Bay area

Abstract
Copper and zinc are biogenic microelements, that in elevated concentrations can have a toxic effect on plants and microorganisms. Anthropogenic sources of copper in olive grove soils are predominantly fungicides, while zinc is known to enter the soil through mineral fertilizers and pesticides. The study aimed to determine the Cu and Zn concentrations in olive grove soils in Kaštela Bay area and to assess soil pollution. A total of 50 samples were taken from the surface soil horizon (Terra rossa soil 30 samples and Anthropogenic soils on flysch 20 samples). A total concentration of copper and zinc in soil were determined by inductively coupled plasma optical emission spectromtery (ICP-OES). The particle size analysis and determination of basic soil properties were conducted by classical analytical procedures. The established Cu concentrations varied in a very wide range of 19.6-301.3 mg kg $^{-1}$, with an average value of 106.9 mg kg $^{-1}$. Zinc concentrations varied from 31.9 to 198.5 mg kg $^{-1}$ having an average value of 102.8 mg kg $^{-1}$. Lower Cu and Zn concentrations were observed in anthropogenic soils on flysch compared to Terra rossa soils. According to the Ordinance on the Protection of Agricultural Land from Pollution (NN 71/19) studied soils were not polluted by Zn. In 53.3% of samples from Terra rossa soils pollution by Cu was established, while anthropogenic soils on flysch were not polluted by Cu. The obtained results indicate the need for further, more detailed study on copper in olive groves, especially on Terra rossa soils.

Keywords: *Terra rossa, flysch, soil pollution*