



Mikroelementi i teški metali u organskim materijalima koji se koriste za podizanje plodnosti zemljišta

Maja Manojlović^{a*}, Dragan Kovačević^a, Ranko Čabilovski^a, Mirna Štrbac^a, Klara Petković^a, Beata Kereši Šoti^a

^aUniverzitet Novi Sad, Poljoprivredni Fakultet, Departman za Ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, Srbija

*Autor za kontakt: maja.manojlovic@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Mikroelementi su zastupljeni u zemljištu u malim količinama i neophodni su za razne biohemijske i fiziološke procese biljaka, dok teški metali predstavljaju elemente u tragovima od kojih su neki neophodni za mnoge funkcije u biljkama, ali su u većim količinama štetni. Takođe, postoje teški metali čije je prisustvo u bilo kojim količinama štetno po biljku. Značaj organske materije za zemljište je višestruk; ogleda se u očuvanju njegovih fizičkih svojstava; u organskoj materiji su rezerve ugljenika; i izvor je drugih elemenata neophodnih za ishranu biljaka. U ovom radu su prikazani načini dospevanja mikroelemenata i teških metala u zemljište; iz stajnjaka, komposta, digestata, industrijskog organskog otpada i kanalizacionog mulja. Prikazan je sadržaj mikroelemenata i teških metala u organskim đubrivima u različitim zemljama sveta i u R. Srbiji. Pozitivan uticaj đubrenja je značajan za raspoloživost esencijalnih elemenata i poboljšanje fizičkih, hemijskih i bioloških svojstava zemljišta, ali negativna posledica primene organskih materijala može da bude povećanje koncentracije pojedinih toksičnih teških metala. Da bi se izbegli negativni uticaji na životnu sredinu, neophodno je vršiti kontrolu kvaliteta organskih đubriva, kao preventivnu meru u cilju uspostavljanja održive poljoprivredne proizvodnje.

KLJUČNE REČI: organska đubrava, mikroelementi, stajnjak, pristupačnost teških metala

Uvod

Pod terminom „mikroelementi“ se podrazumevaju elementi koji su neophodni u malim količinama za normalan rast, razvoj i kompletno završavanje vegetativnog i generativnog ciklusa biljaka, a to su bor (B), bakar (Cu), cink (Zn), mangan (Mn), molibden (Mo), kobalt (Co) i nikel (Ni) (Manojlović, 2014), dok prema nekim autorima (Alloway, 2008) u ovu grupu spada i gvožđe (Fe). Mikroelementi imaju važnu ulogu u ishrani biljaka, i pravilan rast i razvoj biljke je nemoguć bez njih. Oni deluju kao kofaktori i učestvuju u različitim metaboličkim procesima (Gupta et al., 2008), kao što je proces fotosinteze i disanja.

Zemljište predstavlja glavni izvor mikroelemenata za terestrične biljke i samo mali deo njihovog ukupnog sadržaja je pristupačan biljkama. Pristupačnost je definisana kao sadržaj hraniva koji je lako dostupan biljkama i zavisi od tipa zemljišta, sadržaja organske materije, pH-vrednosti, fizičkih, hemijskih i bioloških osobina zemljišta itd. (White and Zasoski, 1999; Van Campen and Glahn, 1999). Pristupačnost mikroelemenata za biljke jedan je od bitnih problema biljne proizvodnje, jer pod uticajem mnogih fizičkih i hemijskih procesa u zemljištu može da dođe do njihovog nedostatka u ishrani biljaka. Noviji genotipovi biljaka, npr. kukuruza, pšenice, su naročito osetljivi na njihov nedostatak u zemljištu (White and Zasoski, 1999). Posledice nedostataka su slabiji rast i razvoj biljaka što dovodi do smanjenja prinosa useva.

Termin „teški metali“ često se koristi za grupu metala ili polumetala koji su većinom velike relativne gustine, najčešće iznad 5 kg dm⁻³. Postoji veliki broj sinonima za mikroelemente i teške metale, a u svetu se najčešće koristi termin „elementi u tragovima“, kao grupa elemenata koja je prisutna u zemljištu, biljkama i organizmima u vrlo niskim koncentracijama (mg kg⁻¹ ili manje). Neki od njih (Mn, Zn, Cu, Fe, Mo, Ni, B, Cl) su neophodni za ishranu biljaka, ali u većim količinama predstavljaju opterećenje za životnu sredinu. Drugi elementi (Cr, Cd, Hg, Pb) se takođe nalaze u tragovima u zemljištu ali nisu neophodni za biljke već predstavljaju značajne zagađivače zemljišta (Manojlović, 2014).

U poslednje vreme, u nekim poljoprivrednim zemljištima ima više teških metala od njihove koncentracije u stenama i mineralima na kojima je formirano zemljište. Uzroci povećanom sadržaju teških metala u zemljištu mogu da budu: industrijska postrojenja za preradu metala (rudnici, topionice metala), saobraćaj, te korišćenje fosilnih goriva (ugalj, nafta) u termoelektranama, industriji i domaćinstvu. Usled pomenutih aktivnosti čoveka, teški metali se oslobađaju u vazduh i u vidu kiše,

gasova i čađi dospevaju na površinu zemljišta. Poljoprivredna proizvodnja, takođe može da utiče na povećanje koncentracije teških metala u površinskim slojevima zemljišta, što može da dovede do povećane akumulacije metala u biljci. Agrotehničke mere koje doprinose akumulaciji metala u zemljištu su unošenje mineralnih i organskih đubriva, popravka zemljišta (kalcifikacija, gipsovanje), primena pesticida i navodnjavanje (Manojlović, 2014).

Načini dospevanja mikroelemenata i teških metala u zemljište

Mikroelementi i teški metali u zemljištu potiču od stena (minerala), odnosno matičnog supstrata na kome su stvorena zemljišta, a koji u svom sastavu sadrže i teške metale, najčešće Cu, Zn, Ni, Pb, Al, Cr. Prirodni sadržaj teških metala u zemljištu u većini slučajeva je nizak i nema značajnijeg uticaja na zagađivanje agroekosistema. Izuzetak su zemljišta u neposrednoj blizini rudnika ili ležišta metala u kojima koncentracije teških metala mogu da budu veoma visoke (Manojlović i Singh, 2012). Emisija teških metala iz prirodnih izvora je dosta složena i stoga tačnost njene procene je ograničena.

Antropogena emisija zagađivača znatno je povećana u razvojem industrije. Mikroelementi i teški metali mogu dospeti u zemljište na mnogo načina, a njihova sudbina u zemljištu zavisi od njihove vrste i izvora. U mnogim istraživanjima (Bogdanović et al., 1997; Banat et al., 2004; Kuang et al., 2004; Luo et al., 2009; Lončarić et al., 2012) se navodi da mikroelementi i teški metali u zemljište dospevaju iz različitih antropogenih izvora, kao što su korišćenje transportnih sredstava, sagorevanje fosilnih goriva, rudnici i topionice, proizvodnja obojenih metala, prikupljanje urbanog i industrijskog otpada, korišćenje otpadnih muljeva i drugog otpada koji se koristi kao đubrivo, navodnjavanje, taloženje atmosferskim putem iz industrijskih, urbanih i gradskih emisija, kao i upotreba mineralnih đubriva i pesticida u poljoprivredi.

Smatra se da je urbana sredina od velikog interesa za proučavanje efekata zagađenja zemljišta teškim metalima usled prisustva antropogenih izvora (Montealeali et al., 2017). Kod transportnih sredstava veliki problem predstavljaju izduvni gasovi automobila, koji zagađuju zemljište metalima u blizini puteva i do 100 m (Manojlović, 2014). Među njima preovlađuje Pb (Hashisho i El-Fadel, 2004) naročito u slučaju korišćenja olovnog benzina. U istraživanju Pavlović et al. (2015) navodi da je sadržaj Pb i Ni povećan u gradskom zemljištu Novog Sada u blizini puteva, što ukazuje na povećani rizik od kontaminacije zemljišta teškim metalima u budućnosti. U cilju rešavanja ovog ekološkog problema u mnogim zemljama u svetu još devedesetih godina prošlog veka benzin sa dodatkom olova kao katalizatora je sasvim isključen iz upotrebe, ili je sadržaj Pb u benzinu značajno redukovano (Mihajlović, 2015). U R. Srbiji usvojen je akcioni plan za životnu sredinu za period od 2009. do 2019. godine (Sl. glasnik RS", br. 83/2009), gde je jedna od aktivnosti zabrana upotrebe benzina sa olovom kao katalizatorom za vremenski okvir od 2010. do 2015., dok je ova vrsta goriva zvanično zabranjena 2011. godine (Deljanin, 2016). Metali se iz motornih vozila emituju trošenjem kočnica (Cu) i guma (Zn, Cd), kao i u procesima korozije (Zn) (Blok, 2005; Guney et al., 2010). Prilikom habanja čeličnih površina oslobađaju se Ni, Cd i Cr koji se koriste u procesu galvanizacije (Pierzynski et al., 2000).

Fosilna goriva sadrže teške metale u širokom opsegu koncentracija. Sagorevanje uglja i nafte dovodi do disperzije mnogih elemenata u vazduhu, a i odloženi pepeo predstavlja izvor teških metala. (Al-Khashman, 2004). U procesima sagorevanja uglja oslobađaju se Al, Fe, i Ca, kao i Zn, Ni i Cd (Alloway and Ayres, 1997), a pri sagorevanju nafte i naftnih derivata As, Ni, V, Cd, Pb i Hg (Pacyna, 1987).

Prema Stephan et al. (1999) rudnici, topionice i industrijska postrojenja na različite načine doprinose zagađenju životne sredine, na prvom mestu emisijom dima i prašine koji sadrže teške metale a koji se prenose vazduhom i talože na vegetaciju i zemljište, zatim preko efluenta koji dospevaju u vodene tokove, i stvaranjem deponija koje su potencijalni izvor zagađenja okolnih zemljišta. Uklanjanje gradskog i industrijskog otpada može dovesti do zagađenja zemljišta. Pri spaljivanju otpadnog materijala emituju se čestice aerosola koje najčešće sadrže Cd, Cu, Pb i Zn, a taloženjem aerosola ovi metali dospevaju u zemljište (Schuhmacher et al., 1997).

Konvencionalnu poljoprivrednu proizvodnju karakteriše intenziviranje, odnosno primena visokih doza đubriva i česta upotreba pesticida, koji mogu izazvati akumulaciju potencijalno toksičnih elemenata u tragovima u zemljištu i biljkama (Manojlović et al., 2017). Mineralna đubriva, u prvom redu fosforna, mogu da budu izvor teških metala, posebno ako se proizvode od sirovih fosfata sa višim sadržajem teških metala. Na ovaj način u zemljište dospevaju Cd, Zn i Ni. Poseban problem može da predstavlja Cd, koji se u sirovim fosfatima nalazi u širokim granicama od 1 do 110 mg kg⁻¹, u zavisnosti od porekla fosfata (Bogdanovic et al., 1999). Pre pojave sintetičkih organskih preparata za zaštitu biljaka, korišćeni su preparati koji su sadržali As, Hg, Zn, Cu i Pb i koji su dosta korišćeni u voćarsko-vinogradarskoj proizvodnji. Dugotrajna primena bordovske čorbe takođe doprinosi povećanju koncentracije Cu u zemljištu (Manojlović, 2014).

Pojedini životinjski otpad, živinski, goveđi i svinjski stajnjak, obično se primenjuju za ishranu biljaka u čvrstom ili tečnom stanju (Sumner, 2000), ali pored neophodnih elemenata ova organska đubriva često sadrže i one koji u visokim koncentracijama mogu biti toksični za biljke. Nekontrolisana upotreba i korišćenje komposta, stajnjaka, gradskog smeća i kanalizacionog mulja kao organskih đubriva predstavljaju opasnost za kontaminaciju zemljišta teškim metalima (Manojlović, 2014). Primena različitih organskih materijala u zemljište može dovesti do akumulacije teških metala kao što su As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Mo, Zn, Tl i drugih (Basta et al., 2005). Iako se većina stajnjaka smatra kvalitetnim đubrivima, u živinskoj i svinjskoj industriji Cu i Zn se dodaju kao promotori rasta, a As se nalazi u lekovima za piliće, te oni mogu potencijalno izazvati kontaminaciju zemljišta (Sumner, 2000; Chaney and Oliver, 1996). Đubriva proizvedena od strane životinja sa takvom ishranom sadrže visoke koncentracije As, Cu i Zn, i ako se više puta primenjuju na isto zemljište, mogu značajno da prouzrokuju nagomilavanje ovih metala na duži vremenski period.

Zbog navedenog, smanjenje unosa teških metala u zemljište je strateški cilj politike zaštite zemljišta u Republici Srbiji (Službeni glasnik RS, 2015), i drugim zemljama, npr. u Velikoj Britaniji, članicama EU (DETR and EC, 2001). Akcionim planom Nacionalne strategije održivog razvoja R. Srbije za period 2009-2017. godine, utvrđene su mere i/ili aktivnosti za sprovođenje, gde je jedna od bitnijih aktivnosti uvođenje kontrole zagađenja zemljišta na teritoriji cele Republike Srbije (Vidojević i sar. 2013). Međutim, potrebne su informacije o značaju i obimu zagađenja zemljišta teškim metalima iz različitih izvora, da bi mogle da se preduzmu odgovarajuće mere koje mogu efikasno da reše smanjenje dospevanja u zemljište. Iz tog razloga, pre primene u poljoprivredi, neophodno je proveriti sastav đubriva i poštovati pravila o dozvoljenom sadržaju zagađivača (Tab. 1) i načinu primene.

Tabela 1.

Maksimalno dozvoljene koncentracije teških metala u đubrivima, pomoćnim materijama za zemljište i pomoćnim sredstvima za bilje (mg kg^{-1}) (Službeni glasnik RS, 2018)

Table 1.

Maximum permissible concentrations of heavy metals in fertilizers, supplementary for soil and supplementary for plants (mg kg^{-1}) (Official Gazette of RS, 2018)

Teški metal	Maksimalni sadržaj u mg/kg po suvoj masi sredstva za ishranu bilja i oplemenjivača zemljišta			Maksimalni sadržaj u $\text{mg/kg P}_2\text{O}_5$
	Đubriva*, oplemenjivači zemljišta, druga đubriva i specijalni proizvodi	Neorganska đubriva sa više od 5% P_2O_5	Supstrati	Neorganska đubriva sa više od 5% P_2O_5
Olovo (Pb)	100	100	50	-
Kadmijum (Cd)	3	-	1	75 $\text{mg kg}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$
Hrom (Cr)	100	500	70	-
Nikl (Ni)	100	100	70	-
Živa (Hg)	1	1	0.5	-

*Izuzev neorganskih đubriva sa više od 5% P_2O_5

Zakonskom regulativom u R. Srbiji, ograničena je opterećenost zemljišta teškim metalima u vremenskom periodu od 2 godine (Tab. 2).

Tabela 2.

Regulisanje opterećenosti zemljišta teškim metalima (Službeni glasnik RS, 2018)

Table 2.

Regulating inputs of heavy metals to soils (Official Gazette of RS, 2018)

Teški metal	Količina u g/ha u vremenskom periodu od dve godine
Olovo (Pb)	600
Kadmijum (Cd)	10
Hrom (Cr)	600
Bakar* (Cu)	700
Nikl (Ni)	400
Živa (Hg)	10
Cink* (Zn)	3000

*izuzev neorganskih đubriva sa deklarisanim sadržajem mikroelemenata

Organski materijali kao izvori mikroelemenata i teških metala

Stajsko đubrivo

Stajnjak spada u jedno od najstarijih đubriva koje se koristi u poljoprivrednoj proizvodnji. Predstavlja mešavinu fecesa i urina, sadrži složena organska jedinjenja poreklom od nesvarene hrane i prosta organska i neorganska jedinjenja koja se proizvedu u digestivnom traktu životinje. Osim toga, sadrži razne materijale koji se koriste kao prostirka (npr. slama), vodu (koja se koristi za piće i pranje podova) i prosutu hranu (Zhang and Westerman, 1997). Naziva se i potpuno đubrivo jer sadrži sve neophodne hranljive elemente za biljku. Njegova važnost za poljoprivrednu proizvodnju je velika, jer osim toga što sadrži hranljive elemente, obogaćuje zemljište humusom, poboljšava fizičko-hemijske osobine zemljišta, mikrobiološku aktivnost, vodno vazdušni režim, povećava sadržaj CaCO_3 u zemljištu i drugo (Manojlović, 2008). Međutim, stajnjak može doprineti akumulaciji teških metala u zemljištu. U većini slučajeva pri upotrebi stajnjaka se ne zna njegov sastav, odnosno sadržaj hranljivih i drugih elemenata. Sastav stajnjaka zavisi od sistema njegovog negovanja i lagerovanja, dužine čuvanja, vrste životinja kao i od načina njihove ishrane, odnosno sastava njihovih obroka.

Teški metali i mikroelementi se nalaze u stočnoj hrani u malim količinama. Prilikom ishrane životinja radi njihovog zdravstvenog stanja ili bržeg razvijanja mogu se dodavati suplementi koji su sami po sebi teški metali ili mikroelementi, ili suplementi koji sadrže određene koncentracije istih. Na primer, As se koristio kao dodatak ishrani radi povećanja težine svinja i živine i u sprečavanju širenja oboljenja (Li and Chen, 2005). Bakar se dodaje u ishrani svinja radi njihovog bržeg razvijanja jer se smatra da deluje kao anti-bakterijski agens u crevima (Rosen and Roberts, 1996). Cink se takođe koristi u ishrani svinja u većim količinama posle zalučenja (Holm, 1990). Oba elementa, i Zn i Cu su neophodni u ishrani živine kao enzimski ko-faktori (Underwood and Suttle, 1999). Pošto su male količine ovih elemenata prisutne u klasičnoj ishrani (npr. žitarice, soja), postoji potreba da se suplementi dodaju u mineralnom obliku kako bi ishrana bila potpuna. Drugi elementi (teški metali) mogu biti prisutni u stočnoj hrani kao rezultat kontaminacije mineralnih suplemenata. Iako je As kao suplement zabranjen u Evropi, još uvek je u upotrebi u nekim zemljama kao što su SAD i Kina (Li and Chen, 2005). Upotrebom suplemenata u ishrani stoke povećava se sadržaj teških metala u stajnjaku. Za sve vrste stoke, većina teških metala koja se nalaze u hrani izlučuje se fekalijama ili urinom, tako da su prisutni u stajskom đubrivu koji se naknadno primenjuje na poljoprivrednom zemljištu. U tabeli 3. prikazan je sadržaj teških metala u fecesu krava i ovaca.

Tabela 3.

Sadržaj teških metala u fecesu krava i ovaca (nepublikovani podaci**)

Table 3.

The content of heavy metals in faeces of cows and sheep (non-published data**)

Feces	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Pb	Cd	Cr
(mg kg ⁻¹ SM*)								
Kravlji	1359	695.8	117.7	149.7	21.03	3.04	0.38	8.82
Ovčiji	599.7	482.3	67.53	134.8	67.53	2.20	0.34	2.60

*suva materija; **ukupan sadržaj određen je razaranjem uzoraka kravljeg (25) i ovčijeg (25) fecesa smešom ccHNO_3 i 30% H_2O_2 i merenjem na AAS Shimadzu 6300 na Poljoprivrednom fakultet u Novom Sadu, 2012. god.

Iz navedenih razloga, EU je usvojila direktivu za smanjenje koncentracije teških metala (posebno Zn i Cu) u stočnoj ishrani da bi se smanjio njihov kasniji uticaj na životnu sredinu i zemljište na kojem se primenjuje stajnjak (EC, 2003).

Žetveni ostaci se mogu koristiti na više načina: kao stočna hrana, prostirka u stočarstvu, kompostiranje ili pripremanje veštačkog stajnjaka (Manojlović i Jaćimović, 2014). Stajnjak će sadržati mikroelemente i teške metale koji se nalaze u prostirci i pijaćoj vodi. Lizanje i grickanje pocinkovanog metala koji se koristi za izgradnju štale predstavlja potencijalni izvor Zn u nekim stajnjacima. Kreme koje se koriste za dezinfekciju kopita kod ovaca ili krava sadrže Cu i Zn, te na taj način mogu dospeti na prostirku a kasnijom primenom stajnjaka i u zemljište. U tabeli 4. prikazane su koncentracije mikroelemenata i teških metala u stajnjaku iz 85 uzoraka sakupljenih sa komercijalnih farmi u Engleskoj i Velsu sredinom 1990-ih (Nicholson et al., 1999). U cilju ilustracije, prikazan je i godišnji unos teških metala u zemljište primenom 30 t stajnjaka.

Tabela 4.

Sadržaj teških metala u stajnjacima sa 85 komercijalnih farmi u Engleskoj i Velsu

Table 4.

The content of heavy metals in manures from 85 commercial farms in England and Wales

Vrsta stajnjaka	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	Cr	As
Čvrsti stajnjak krava muzara**	153	35.7	3.7	3.61	0.38	5.32	1.63
Tečni stajnjak krava muzara**	209	62.3	5.4	5.87	0.33	5.64	1.44
Goveđi čvrsti stajnjak**	81	16.4	2.0	1.94	0.13	1.41	0.79
Goveđi tečni stajnjak**	133	33.2	6.4	7.07	0.26	4.69	2.60
Svinjski čvrsti stajnjak**	431	374	7.5	2.94	1.98	1.98	0.86
Svinjski tečni stajnjak**	575	351	10.4	2.48	0.30	2.82	1.68
Stajnjak ćureći sa prostirkom**	378	96.8	5.4	3.62	0.42	17.2	9.01
Min Max	81-	16-	2-	1.9-	0.13-	1.4-	0.8-
	575	374	10.4	7.1	1.98	17	9.01
Min-max unošenje g/ha/god***	608-	123-	15-	14.3-	0.98-	10.5-	6-
	4313	2805	78	53.3	14.9	128	68
Prosečno unošenje g/ha/god***	2100	1038	43.7	29.51	4.07	41.82	19.3

*suva materija; **Nicholson et al., (1999); ***minimalno, maksimalno i prosečno unošenje u g/ha/god u zemljište primenom 30 t/ha stajnjaka sa prosečnim sadržajem vlage 75%

U tabeli 5. su prikazani podaci koncentracije elemenata u stajnjacima izmereni tokom '90ih u Kini prema istraživanjima Xing and Li (1999) i istraživanjima iz 2003. (Liu et al., 2005; Zhang et al., 2005). Najveće izmerene koncentracije Cu i Zn su bile u svinjskom i živinskom stajnjaku, što prikazuje očiglednu upotrebu aditiva u hrani (Liu et al., 2005). Slična situacija je i kod goveđeg stajnjaka, mada koncentracije Cu i Zn nisu bile toliko visoke kao kod svinjskog i živinskog. Najniže koncentracija Cu i Zn izmerene su u ovčijem stajnjaku. Koncentracija As u živinskom i svinjskom stajnjaku je znatno viša u poređenju sa vrednostima goveđeg ili ovčijeg stajnjaka. Pored toga, koncentracija Cd u stajnjacima je znatno veća nego u stajnjacima Engleske i Velsa (Nicholson et al., 1999), što je verovatno posledica primene aditiva koje sadrže P ili Zn.

Tabela 5.Koncentracija elemenata u tragovima u stajnjacima (mg kg⁻¹ SM) u različitim periodima u Kini**Table 5.**The concentration of trace elements in manures (mg kg⁻¹ DM) at different periods in China

Element	Kokošiji stajnjak		Svinjski stajnjak		Kravlji stajnjak		Ovčiji stajnjak	
	1990* (n ≥ 22)	2003** (n = 70)	1990* (n ≥ 33)	2003** (n = 61)	1990* (n ≥ 66)	2003** (n = 42)	1990* (n ≥ 24)	2003** (n = 15)
As	0.3	3.8	1.1	12.8	1.0	2.0	1.6	1.5
Cd	0.52	3.4	0.86	4.8	1.4	3.4	2.5	1.3
Cr	20.5	46.0	10.6	46.6	6.1	15.2	11.3	8.0
Cu	52.4	102.0	37.6	472.6	26.9	46.5	44.3	28.7
Hg	0.03	0.13	0.07	0.12	0.04	0.10	0.07	0.19
Ni	19.5	15.9	12.7	12.5	8.1	14.1	12.4	12.4
Pb	29.3	20.6	13.2	10.1	12.0	15.7	25.8	12.4
Zn	159	308	137	843	100	152	111	123

*Xing and Li (1999), preuzeto od Luo et al. (2009); **Liu et al. (2005); Zhang et al. (2005), preuzeto od Luo et al. (2009)

Koncentracije elemenata u stajnjacima su se značajno povećale od '90ih do 2003 god. u Kini (Tab. 5). Početkom '90ih koncentracija As u svinjskom stajnjaku u Kini je bila približna kao i u Engleskoj i Velsu (Nicholson et al., 1999). Međutim, koncentracija As u živinskom i svinjskom stajnjaku se povećala oko 10 puta u prošloj deceniji. Slično povećanje je primećeno i u koncentracijama Cu i Zn u živinskom i svinjskom stajnjaku, iako je povećanje bilo relativno nisko.

U tabeli 6. su podaci o kvalitetu stajnjaka su iz Danske, Francuske, Nemačke i Velike Britanije. Kada su informacije o određenom parametru dostupne samo iz jedne zemlje, taj podatak je predstavljen kao srednja vrednost.

Tabela 6.

Sastav goveđeg, svinjskog čvrstog i tečnog stajnjaka i živinskog stajnjaka poreklom iz Danske, Francuske, Nemačke i Velike Britanije

Table 6.

Composition of cattle, pig solid and liquid manure and poultry manure originating from Denmark, France, Germany and the United Kingdom

Teški metali (mg kg ⁻¹ SM)	Čvrsti stajnjak*			Tečni stajnjak*				Čvrsti stajnjak*	
	Goveđi		Svinjski	Goveđi		Svinjski		Živinski	
	Min	Max	Srednja vrednost	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Cd	0.1	0.4	0.7	0.2	0.6	0.2	0.5	0.38	0.8
Cr	0.4	2.6	1.9	2.6	15	2.4	18	4.1	24
Cu	15	75	346	31	70	180	574	59	100
Ni	1	14	5	3.3	14	3.2	17	4.9	17
Pb	1.4	4.3	2.8	4.3	5.8	<1	12	2.2	4
Zn	63	175	387	132	750	403	919	403	556

*<http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/compost/landspreading.pdf>

Stajnjak sa sadržajem vode preko 90% može se definisati kao tečni, dok sa sadržajem vode manjim od 90% kao čvrsti (Popovic et al., 2012). U tabeli 7. prikazan je sadržaj mikroelemenata i korisnih elemenata u različitim vrstama stajnjaka. Takođe, u cilju ilustracije, prikazano je i njihovo prosečno godišnje unošenje u zemljište.

Tabela 7.

Sadržaj mikroelemenata i korisnih elemenata u stajnjacima i unošenje u zemljište primenom 30 t/ha stajnjaka

Table 7.

The content of microelements and beneficial elements in manures and their inputs to the soil using 30 t/ha of manure

Vrsta stajnjaka	Co	Cu	Mn	Mo	Se	Zn
	(mg kg ⁻¹ SM*)					
Goveđi stajnjak**	2.1**	5.54***; 51**	126***; 180**	3.5**	0.59**	35.8***; 164**
Svinjski stajnjak čvrst**	4.0**	282**; 159- 269****	358**	5.3**	3.37**	1156**; 552-1487*****
Svinjski stajnjak (samo fekalije)**	2.3**	84**	317**	2.1**	1.35**	399**
Svinjski stajnjak tečni****	/	218****; 304- 402*****	426****	/	/	801****; 1803-1860*****
Stajnjak od peradi**	1.7**	66**	339**	3.3**	1.40**	314**
Min-max	1.7-4	5.54- 402	126-426	2.1- 5.3	0.59- 3.37	35.8-1860
Prosek	2.5	184	288	3.6	1.7	857
Min-max unošenje g/ha/god*****	13-30	42-3015	945-3195	16-40	4.4-25	269-13950
Prosečno unošenje g/ha/god*****	18.8	1380	2160	27	12.8	6428

*suva materija; **Sager (2007); ***Cabilovski et al., (2014); ****Abubaker et al., (2012); *****Popovic et al., (2012); ***** minimalno, maksimalno i prosečno unošenje u g/ha/god u zemljište primenom 30 t/ha stajnjaka sa prosečnim sadržajem vlage 75%

Kompost

Kompost je zreli proizvod kompostiranja, kontrolisanog procesa biooksidacije čvrstog heterogenog organskog supstrata koji uključuje i termofilnu fazu (CAN-CCME-AAFC, 2000). Proces kompostiranja je biološka dekompozicija organske materije u kontrolisanim aerobnim uslovima pri čemu nastaje

stabilan proizvod sličan humusu (Epstein, 1997). Kvalitet proizvedenog komposta i vreme kompostiranja zavise od primenjene tehnologije ali i od sastava početne kompostne mase. Postoji šest osnovnih tipova izvornih materijala, odnosno sirovina za kompostiranje (Thompson, 2001):

- (1) ostaci pri preradi hrane - materijal za kompostiranje nastao nakon prerade voća, povrća, žitarica i mesa;
- (2) stajnjak i poljoprivredni nusproizvodi - materijal nastao u prasilištima, tovilištima, inkubatorima, farmama, staklenicima, plastenicima i sl.;
- (3) ostaci iz šumarstva i drvne industrije - kora drveta, piljevina, vlaknasti ostaci pri proizvodnji papira;
- (4) biootpad ili otpadni mulj nastao biološkim tretiranjem otpadnog mulja u postrojenjima za prečišćavanje i recikliranje otpadnih voda;
- (5) lišće, žbunje, grančice i ostali biljni ostaci kao otpad iz dvorišta, okućnica i vrtova;
- (6) separirani organski otpad koji sadrži sortirane kompostirajuće frakcije komunalnog otpada.

Kompost se može koristiti u poljoprivredi samo pod uslovom da su ispunjena sva sanitarna pravila i ukoliko je izvršena kontrola komposta u smislu postojanja patogenih mikroorganizama i štetnih hemikalija. Kvalitet komposta ogleda se u odsustvu mikroorganizama i materija koje mogu naneti štetu zdravlju čoveka pri njegovom kontaktu sa zemljištem, kroz biljne kulture koje služe za ishranu ljudi i stoke, kroz vodu, vazduh i insekte. Kompost iz otpada može da sadrži teške metale i elemente u tragovima, što dovodi u pitanje upotrebljivost komposta kao organskog đubriva na poljoprivrednim površinama. Sadržaj teških metala u kompostu iznad dozvoljenih koncentracija može dovesti do njihovog nakupljanja u zemljištu, što predstavlja rizik njihovog prenošenja u biljne delove i na taj način mogućnost da teški metali uđu u lanac ishrane (Milošev et al., 2007).

S druge strane, neki mikroelementi koji se nalaze u kompostu su neophodni za razvoj biljaka (Cu, Zn, Mn, Cr, B). U tabeli 8. prikazane su koncentracije teških metala u različitim kompostima. U cilju ilustracije, prikazan je i godišnji unos teških metala u zemljište primenom 30 t/ha komposta.

Tabela 8.
Koncentracije teških metala u različitim kompostima

Table 8.

The concentrations of heavy metals in different composts

Koncentracije TM** prema različitim autorima	Fe	Zn	Mn	Cu	Mo	Ni	Cr	Cd	Pb	Co
	(mg kg ⁻¹ SM*)									
Vukobratović (2008)	1015- 18620	102- 555	402- 686	22- 119	4,1- 6,0	14,7- 30,4	18,4- 70,9	0,56- 1,19	1,64- 19,6	2,15- 3,00
Sager (2007)	2190	267	447	100	1,3	25,7	38,3	0,43	43,4	7,5
Anon (1998)	/	75	/	25	/	10	50	0,7	65	/
Alvarenga et al., (2007)	/	35	/	14	/	16	13	1,4	34	/
Min-max	1015- 18620	35- 555	402- 686	14- 119	1.3- 6.0	10- 30.4	13- 70.9	0.43- 1.4	1.64- 65	2.15- 7.5
Prosek	7275	207	512	56	3.8	19.4	38.1	0.9	33	4.2
Min-max unošenje g/ha/god***	12180- 223440	420- 6660	4824- 8232	168- 1428	15.6- 72	125- 364.8	156- 850.8	5.2- 16.8	19.7- 780	25.8- 90
Prosečno unošenje g/ha/god***	87300	2482	6140	672	45.6	232.3	457.4	10.3	392.8	50.6

*suva materija; **teški metali; ***minimalno, maksimalno i prosečno unošenje u g/ha/god u zemljište primenom 30 t/ha komposta sa prosečnim sadržajem vlage 60%

Digestat (ostaci proizvodnje biogasa)

Biomasa predstavlja obnovljiv izvor energije, organska razgradiva materija biljnog ili životinjskog porekla kao i biološki razgradivi deo industrijskog i gradskog otpada koji se različitim procesima pretvara u više vidova energije. Ovako dobijena energija prvenstveno se koristi za proizvodnju električne i toplotne energije.

Otpad možemo podeliti na kontrolisan i nekontrolisan otpad, ali obe grupacije zapravo predstavljaju izvore biomase kao što su:

- (1) drvni otpad (neiskorišćeno i otpadno drvo, ostaci panjeva i klada, poludivlje drveće, itd.), uzgojno brzorastuće drveće i brzorastuće alge i trave;

- (2) ostaci i otpaci iz poljoprivrede (tečni stajnjak, slama, lišće, ljuške, oklasak), različite žitarice (šećerna repa, šećerna trska, kukuruz), energetske žitarice (repa, krompir);
- (3) industrijski otpad (od industrija koje proizvode organski otpad - industrija pića i prehrambena industrija);
- (4) gradski otpad (papir, biljni ostaci).

Biomasa iz stočarske proizvodnje (čvrsti i tečni stajnjak) takođe predstavlja izuzetan energetski izvor. Energija dobijena iz tečnog stajnjaka prilikom eksploatacije ne emituje štetne gasove koji se stvaraju pri sagorevanju klasičnih fosilnih goriva i time doprinosi većoj zaštiti životne sredine. Primera radi, oko 10 do 12 kg tečnog stajnjaka sa 4 do 10% suve materije je potrebno za dobijanje 1 m³ biogasa (Furman et al., 2007). Domaće životinje čiji se tečni stajnjak može ekonomično koristiti za proizvodnju biogasa su krave muzare, goveda, svinje u tovu, koke nosilje (Jordanović-Vasić, 2009).

Interesovanje za anaerobnu digestiju (AD) u Srbiji je poraslo u poslednjih nekoliko godina, a broj anaerobnih postrojenja u Evropi je značajno povećan (Hansen et al., 1999; Tani et al., 2006). Anaerobna digestija je biološki proces kojim se u odsustvu kiseonika organska materija transformiše u biogas koji se uglavnom sastoji od metana (50-80% v/v) i ugljen dioksida, te se može koristiti za proizvodnju energije i toplote. Upotreba biomase u procesu AD proizvodnjom gasa, pri čemu kao nusproizvod ostaje rezidualna organska materija, odnosno digestat (Tani et al., 2006; Zhang et al., 2007) koji se može koristiti u poljoprivredi kao organsko đubrivo. U toku procesa AD, oko 30 do 40% organskog ugljenika se razlaže do ugljen-dioksida i metana, dok ostatak ostaje u rezidualnoj frakciji (digestatu). Pri potpunoj digestiji, digestat iz biogas postrojenja je bez mirisa i ne privlači insekte. Karakteristike digestata se odnose na sposobnost da svojom organskom materijom doprinesu održavanju balansa zemljišnog humusa (Magdoff and Weil, 2004). Ova sposobnost zavisi od razgradnje organske materije, odnosno sadržaja labilnih organskih frakcija (Kogel-Knabner, 2002). Indirektno merenje razgradivosti biomase je utvrđivanje stepena biološke stabilnosti (Lasaridi and Stentiford, 1998). Biološka stabilnost definiše obim biorazgradive organske materije koji se razložio (Lasaridi and Stentiford, 1998). Organska materija je veoma bitna zbog svojih pogodnih efekata na snabdevanje biljaka hranivima povećavajući kapacitet razmene katjona, agregaciju zemljišta i kapacitet zadržavanja vode. U tabeli 9. su prikazane koncentracije mikroelemenata i teških metala u digestatu. Kvalitet digestata je određen procesom digestije i sastavom sirovine. U cilju ilustracije, prikazan je i godišnji unos teških metala u zemljište primenom 30 t/ha digestata (Tab. 9).

Tabela 9.

Koncentracija mikroelemenata i teških metala u digestatu

Table 9.

The concentration of microelements and heavy metals in digestate

Reference	Co	Cu	Mn	Mo	Se	Zn	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb
(mg kg ⁻¹ SM*)												
Sager (2007)	2.4	94	289	4.9	0.8	349	/	0.56	22.3	/	14.1	7.7
Puttkamer (2005)	/	18.2-58,8	/	/	/	125-304	0.54-0,93	0.15-0,29	13,2-22	0.04-0,07	/	0.78-4,4
Pivato et al., (2016)	/	20,5	/	/	/	122	/	<0,5	2,7	0,7	2,47	7,03
Abubaker et al., (2012)	/	39.8-97.4	92-287	/	/	299-474	/	0.3-1.2	11-20	<0.1	1.7-39	0.1-4.6
Min-max	2.4	18.2-97.4	92-289	4.9	0.8	122-474	0.54-0.93	0.15-1.2	2.7-22.3	0.04-0.7	1.7-39	0.1-7.7
Prosek	2.4	55	223	4.9	0.8	279	0.74	0.5	15	0.23	14.3	4.1
Min-max unošenje g/ha/god**	7.2	55-292	276-867	15	2.4	366-1422	1.6-2.8	0.5-3.6	8.1-67	0.12-2.1	5.1-117	0.3-23.1
Prosečno unošenje g/ha/god**	7.2	165	669	15	2.4	837	2.2	1.5	45	0.69	42.9	12.3

*suva materija; **minimalno, maksimalno i prosečno unošenje u g/ha/god u zemljište primenom 30 t/ha digestata sa prosečnim sadržajem vlage 90%

Industrijski organski otpad

Recikliranje industrijskog organskog otpada na poljoprivrednom zemljištu je široko primenjena praksa koja je uvedena kao mera za smanjenje organskog otpada na deponijama (CEU, 1999). U Velikoj Britaniji, vraćanje organske materije putem industrijskog otpada obavlja se u skladu sa pravilnikom o upravljanju otpadom (SI, 1994). Prema ovom pravilniku, otpadni materijali primenjeni na obradive površine moraju da pokažu da postoji „poljoprivredna korist”, koja prema jednoj od predloženih definicija prema Davisu i Ruddu (1998) znači da njihova primena poboljšava uslove zemljišta za biljnu proizvodnju i osigurava kvalitet životne sredine (npr., materijal se može koristiti kao oplemenjivač zemljišta ili kao izvor biljnih hraniva). Industrijski otpadni materijali su obično sporedni proizvodi iz prehrambene industrije (mesne i mlečne, pivara, proizvodnje bezalkoholnih pića), klanica, farmaceutske/hemijske industrije, proizvodnje papira i tekstilnih proizvoda. Ovi materijali su značajan izvor teških metala za zemljište, jer se 90% ovog otpada primenjuje u poljoprivredi (Gendebien et al., 2001). Sadržaj teških metala u industrijskom otpadu varira u zavisnosti od vrste otpada. Neki primeri prikazani su u tabeli 10.

Tabela 10.

Koncentracija teških metala u industrijskom organskom otpadu koji se primenjuje na poljoprivredna zemljišta

Table 10.

The concentration of heavy metals in industrial organic waste that is applied to agricultural land

Vrsta otpada	Primenjena	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	Cr	Mn	Hg
	količina (t)	(mg kg ⁻¹ SM ¹)							
Papirni otpad*	0.07	64	59	4.7	2.1	<1.2	6.9	/	<0.05
Otpad iz prehrambene industrije**	0.07	110	26	0.1	<22	<6	<22	/	<0.2
Otpad iz tekstilne industrije**	<0.01	276	253	3.2	13	<7	8	/	<0.3
Drveni pepeo***	/	48	131	/	/	/	/	5720	/

*suva materija; **podrazumeva sadržaj suve materije 5% i 4% za prehrambenu industriju i tekstilnu industriju, respektivno (Gendebien et al., 2001); ***Bougnom et al., (2012)

Kanalizacioni mulj

Termin „kanalizacioni mulj“ se koristi u literaturi zbog prepoznavanja i svoje regularne definicije. Međutim, u literaturi na engleskom jeziku, termin „biosolids“ se sve češće upotrebljava kao zamena za kanalizacioni mulj jer se smatra da preciznije odražava svoje korisne karakteristike (Silveira et al., 2003). Prilikom prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda u postrojenjima nastaje kanalizacioni mulj, koji treba da bude podvrgnut biološkoj, hemijskoj ili termičkoj obradi pre primene u poljoprivredi. On predstavlja čvrstu, krajnju komponentu proizvedenu tokom tretmana otpadnih voda. Zagađenje zemljišta teškim metalima usled primene kanalizacionog otpadnog mulja je široko dokumentovano u svetu, a posebno u Evropi (Smith, 2009).

Primena otpadnog mulja još uvek nije zastupljena u našoj zemlji, ali trenutno je u postupku izrada pravne regulative od strane Uprave za poljoprivredno zemljište, radi njegovog korišćenja u poljoprivredi. Procenjuje se da se na godišnjem nivou u Sjedinjenim Američkim Državama više od polovine (oko 5,6 miliona tona) proizvedenog suvog otpadnog mulja koristi na poljoprivrednom zemljištu. U Evropskoj Uniji preko 30 % kanalizacionog mulja se koristi kao đubrivo u poljoprivredi (Silveira et al., 2003). U Australiji se više od 175.000 tona kanalizacionog mulja godišnje proizvede i najveći deo se primenjuje pri obradi zemljišta (McLaughlin et al., 2000). Čvrste organske materije u kanalizacionom mulju su pre svega organski čvrsti proizvodi nastali u procesu prečišćavanja otpadnih voda koji se mogu efikasno reciklirati (USEPA, 1994). Primena čvrstih organskih materijala je uobičajena praksa u mnogim zemljama koje dozvoljavaju njihovu upotrebu (Wegglar et al., 2004).

Teški metali su prisutni u otpadnom mulju zbog njihovog prisustva u industrijskim otpadnim vodama (IC Consultants, 2001). Kontrolom industrijskih otpadnih voda na sadržaj teških metala i promene u industrijskim praksama u Velikoj Britaniji, znatno su smanjile sadržaj metala u otpadnom mulju, ali je njihovo dospeće poraslo iz drugih izvora, naročito Cu zbog ispiranja iz vodovodnih materijala i korišćenja Zn u proizvodima za negu tela (Comber and Gunn, 1996). Teški metali uneti otpadnim muljem su podložni ispiranju kroz profil zemljišta i mogu kontaminirati podzemne vode (McLaren et al., 2005). Istraživanja na nekim zemljištima Novog Zelanda tretiranih otpadnim muljem pokazala su povećane koncentracije Cd, Ni i Zn u drenažnim vodama (Keller et al., 2002; McLaren et al., 2004). Tabela 11. prikazuje koncentracije mikroelemenata i teških metala u kanalizacionom mulju.

Tabela 11.

Sadržaj mikroelemenata i teških metala u kanalizacionom mulju

Table 11.

The content of microelements and heavy metals in sewage sludge

Mikroelementi i teški metali (mg kg⁻¹ SM¹)	Kanalizacioni mulj
Co	12.8 ^{**} ; 2-260 ^{***}
Cu	166 ^{**} ; 50-3300 ^{***}
Mn	265 ^{**} ; 60-3900 ^{***}
Mo	1.3 ^{**} ; 1-40 ^{***}
Se	2.08 ^{**} ; 2-10 ^{***}
Zn	683 ^{**} ; 700-49000 ^{***}
Cd	0.82 ^{**} ; 2-1500 ^{***}
Cr	30.6 ^{**} ; 20-40600 ^{***}
Hg	0.58 ^{**} ; 0.1-55 ^{***}
Ni	25.6 ^{**} ; 16-5300 ^{***}
Pb	38.3 ^{**} ; 50-3000 ^{***}

¹suva materija; ^{**}Sager (2007); ^{***}Kabata-Pendias and Pendias (2001)

Prema direktivi saveta Evropske zajednice od 12.07.1986. godine o zaštiti životne sredine i zemljišta, pri korišćenju kanalizacionog mulja u poljoprivredi, Aneksom I B ugovora propisane su granične vrednosti (Tab. 12) za koncentraciju teških metala u mulju koji se koristi u poljoprivredi (Council Directive 86/278/EEC, 1986).

Tabela 12.

Dozvoljene vrednosti mikroelemenata i teških metala u mulju za primenu u poljoprivredi (Council Directive 86/278/EEC, 1986)

Table 12.

Permitted values of microelements and heavy metals in sewage sludge for use in agriculture (Council Directive 86/278 / EEC, 1986)

Mikroelementi i teški metali (mg kg⁻¹ SM)	Granične vrednosti
Cd	20-40
Cu	1000-1750
Ni	300-400
Pb	750-1200
Zn	2500-4000
Hg	16-25

Pristupačnost elemenata u tragovima (mikroelemenata i teških metala) iz organskih materijala

Procena pristupačnosti mikroelemenata i teških metala iz organskih materijala ukoliko se zasniva na njihovom ukupnom sadržaju može biti nedovoljna da bi se donela ispravna odluka o primeni u poljoprivredi. Ukupan sadržaj elemenata u organskim materijalima nije dovoljan pokazatelj da bi se zaključilo kolika će koncentracija biti pristupačna biljkama za usvajanje (Gawdzik and Gawdzik 2012; Fadiran et al., 2014; Tytła et al., 2016).

Pristupačnost i sadržaj elemenata u tragovima u zemljištu poreklom od organskih materijala zavisi od vrste, odnosno sastava materijala, primenjene količine kao i karakteristika zemljišta na kojem se koriste. U istraživanju Gondeka (2010) đubrenje stajnjakom nije izazvalo značajno povećanje mobilnih oblika Zn u zemljištu u prvoj godini primene, ali usled mineralizacije organske materije i zakišeljavanja zemljišta u narednim godinama, sadržaj mobilnih frakcija ovog elementa se povećao, mada u manjoj meri nego primenom mineralnih đubriva. Različiti faktori utiču na mineralizaciju organskih materija u zemljištu, kao što su C/N odnos organskog materijala i sadržaj N u njemu, C/N odnos mikrobne biomase u zemljištu, temperatura, sadržaj vlage itd. (Galvez et al., 2012). Kao rezultat mineralizacije

organske materije, pristupačnost teških metala se povećava, dok primena sredstava za kalcifikaciju zemljišta dovodi do njihovog vezivanja u zemljištu (Wierzbowska et al., 2018).

Prema Wierzbowskom et al. (2018) u kanalizacionom mulju preovladavaju fiksirane, nepokretne frakcije teških metala u odnosu na mobilne frakcije. Određeni tretmani kanalizacionog mulja, kao što su zgušnjavanje, stabilizacija i dezinfekcija, smanjuju pokretljivost elemenata. Najčešće tretmani mulja dovode do povećanja sadržaja suve materije. Ovi procesi smanjuju mogućnost prelaska teških metala u zemljišni rastvor nakon primene kanalizacionog mulja u zemljište, i samim tim i njihovo usvajanje i akumulaciju u biljkama (Tytla et al., 2016). Sušenje kanalizacionog mulja pre primene u zemljište smanjuje ispiranje Zn, dok povećava ispiranje Cu (Milinovic et al., 2014). Međutim, treba imati na umu da imobilisani teški metali u oksidativnoj frakciji u površinskom sloju zemljišta mogu biti potencijalna opasnost za biljke (Gawdzik and Gawdzik 2012).

Mnogobrojni faktori utiču na ponašanje elemenata u tragovima u zemljištu, pokretljivost i pristupačnost za biljke. Od najvećeg uticaja su sledeći faktori: reakcija zemljišta (pH vrednost), sadržaj organske materije i gline, mehanički sastav, sadržaj kalcijum karbonata, vlažnost, đubrenje i dr. Reakcija zemljišta ima presudan uticaj na dinamiku svih elemenata, a posebno mikroelemenata i teških metala. U kiselj sredini povećava se rastvorljivost mikroelemenata i teških metala, oni prelaze u zemljišni rastvor iz koga ih biljka usvaja (Manojlović, 2014). Organska materija u zemljištu ima veliki uticaj na pristupačnost teških metala za biljke jer povećava zadržavanje mobilnih formi ovih elemenata. U istraživanju Almás (2000) dodavanje organske materije dovelo je do povećane rastvorljivosti Cd i Zn u oba zemljišta formiranjem organo-metalnih kompleksa.

Prisustvo stabilne nerastvorljive organske materije u zemljištu koja sadrži humusne kiseline, izaziva trajno vezivanje teških metala i njihovu imobilizaciju. Organske supstance male molekulske mase kao što su organske kiseline, polifenoli i fulvinske kiseline, izazivaju ili vezivanje teških metala ili stvaranje kompleksa (helata) sa njima koji olakšavaju usvajanje (Wu et al., 2003; Park et al., 2011). U zemljištima sa visokim sadržajem gline, izuzetno je veliko vezivanje i zadržavanje ovih elemenata.

Efekti dodavanja organskih materijala na pristupačnost mikroelemenata i teških metala u zemljištu prikazani su u tabeli 13. Mobilnost i pristupačnost elemenata u tragovima uslovljena je i drugim hemijskim i biohemijskim procesima kao što su taloženje-rastvaranje, adsorpcija-desorpcija, kompleksacija-disocijacija i oksidacija-redukcija. Nisu svi procesi jednako važni za svaki element, ali svi ti procesi su pod uticajem pH vrednosti zemljišta i bioloških procesa. Tahervand and Jalali (2016) su utvrdili da sorpcija i desorpcija teških metala ne zavisi samo od pH vrednosti zemljišta, već i od sadržaja organske materije i kalcijum karbonata. Kadmijum (Cd) i Ni se najviše adsorbuju u zemljištima sa visokim sadržajem organske materije, dok Fe u zemljištima sa visokim sadržajem CaCO₃. S druge strane, metali adsorbovani organskom materijom se lakše desorbuju od onih adsorbovanih sa CaCO₃, jer sorpcijom na karbonatima dominiraju jače hemijske reakcije.

Tabela 13.

Efekat dodavanja organskih materijala na transformaciju mikroelemenata i teških metala u zemljištu

Table 13.

The effect of adding organic materials on the transformation of microelements and heavy metals in the soil

Vrsta materijala	Metali	Efekat	Reference
Vermikompost	Fe, Mn, Cd	Značajno povećanje pristupačnih oblika Fe i Mn, Smanjenje DTPA ekstrahovanog Cd	Angelova et al., (2013)
Kompost	Fe*, Zn*, Cd*, Pb**, Cd**, Ni**	Značajno povećanje pristupačnog oblika	*Angelova et al., (2013) **Achiba et al., (2009)
Otpadni mulj	Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb	Povećanje DTPA ekstrahovanih metala	Latere et al., (2014)
Pileći stajnjak	Cr	Redukcija Cr(VI) u Cr(III)	Choppala et al., (2012)
Goveđi stajnjak	Zn, Cu, Mn, Fe, Pb, Cd, Cr	Smanjenje koncentracije Zn Povećanje koncentracije ostalih elemenata, naročito Cd, Fe i Cr	Zhao et al., (2014)
Digestat	Zn, Ni, Cr, Cd, Al	Značajno povećanje ukupnog sadržaja	Dragicevic et al., (2018)

Zaključci

Organska đubriva su nezamenljiva kada je u pitanju poboljšanje fizičko hemijskih karakteristika zemljišta, kao i povećanje kapaciteta otpornosti zemljišta na klimatske promene. U svom sastavu sadrže sve neophodne hranive elemente za biljke, koji se postepeno oslobađaju i utiču na ishranu biljaka. Indirektni uticaj primene organskih đubriva se ogleda kroz popravku vodnog, vazdušnog, adsorpcionog i toplotnog režima zemljišta, kao i mikrobioloških svojstava.

S druge strane, organska đubriva sadrže i različite količine teških metala koji u većim koncentracijama deluju toksično na biljke i mikroorganizme, a mogu ugroziti i zdravlje ljudi i životinja, njihovim unošenjem u organizam preko lanca ishrane. Takođe, određeni elementi su podložni ispiranju i predstavljaju potencijalan izvor zagađenja podzemnih voda.

Količine mikroelemenata i teških metala koje se unose u zemljište zavise od količine organskog materijala koji se primenjuje, sirovina koja se koriste u proizvodnji, vrste organskog otpada, načina pripreme, ishrane stoke, načina uzgoja, procesa prerade itd. Posledica kontinuirane upotrebe organskih đubriva je povećanje ukupne koncentracije teških metala u zemljištu. Pri tome je značajan pozitivan efekat đubrenja na raspoloživost esencijalnih elemenata, posebno na laganim peskovitim i karbonatnim zemljištima, ali je negativna posledica povećanje koncentracije pojedinih toksičnih teških metala. Stoga su u većini zemalja propisane maksimalne koncentracije pojedinih teških metala u organskim đubrivima.

Da bi se izbegli negativni uticaji na životnu sredinu, neophodno je vršiti kontrolu kvaliteta organskih đubriva, kao preventivnu meru u cilju uspostavljanja održive poljoprivredne proizvodnje.

Literatura

- Abubaker, J., Risberg, K., Pell, M. 2012. Biogas residues as fertilisers—Effects on wheat growth and soil microbial activities. *Applied Energy*, 99, pp.126-134.
- Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Du Laing, G., Verloo, M., Jedidi, N., Gallali, T. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agriculture, ecosystems & environment*, 130(3-4), pp.156-163.
- Al-Khashman, O.A., 2004. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Environment*, 38, 6803-6811.
- Alloway, B.J., 2008. Micronutrients and crop production: An introduction. In *Micronutrient deficiencies in global crop production* (pp. 1-39). Springer, Dordrecht.
- Alloway, B.J., Ayres, D.C. 1997. *Chemical Principles of Environmental Pollution*, second ed. Blackie Academic and Professional, London, various pages.
- Almås, Å.R., McBride, M.B., Singh, B.R. 2000. Solubility and lability of cadmium and zinc in two soils treated with organic matter. *Soil Science*, 165(3), pp.250-259.
- Alvarenga, P., Palma, P., Gonçalves, A.P., Fernandes, R.M., Cunha-Queda, A.C., Duarte, E., Vallini, G. 2007. Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. *Environment International*, 33(4), pp.505-513.
- Angelova, V.R., Akova, V.I., Artinova, N.S., Ivanov, K.I. 2013. The effect of organic amendments on soil chemical characteristics. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 19(5), pp.958-971.
- Anon. 1998. *Compost quality: the UK standard. CON9801*. Ryton, Coventry: Henry Doubleday Research Association Publications
- Banat, K. M., Howari, F. M., Al-Hamad, A. A. 2004. Heavy metals in urban soils of central Jordan: Should we worry about their environmental risks? *Environmental Research* 97, 258-273.
- Basta, N.T., Ryan, J.A., Chaney, R.L. 2005. Trace element chemistry in residual-treated soil. *Journal of environmental quality*, 34(1), pp.49-63.
- Blok, J. 2005. Environmental exposure of road borders to zinc. *The Science of the Total Environment* 348, 173-190.
- Bogdanovic, D., Ubavic, M., Cuvardic, M. 1999. Effect of phosphorus fertilization on Zn and Cd contents in soil and corn plants. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 54(1), pp.49-56.
- Bogdanović, D., Ubavić, M., Hadžić, V. 1997. Teški metali u zemljištu, u: Kastori, R. (urednik), *Teški metali u životnoj sredini*, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad. str. 95-152.
- Bougnom, B. P., Niederkofler, C., Knapp, B. A., Stimpfl, E., Insam, H. 2012. Residues from renewable energy production: their value for fertilizing pastures. *biomass and bioenergy*, 39, 290-295.
- Cabilovski, R., Manojlović, M., Bogdanovic, D., Magazin, N., Keserovic, Z., Sitaula, B.K. 2014. Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) production: impact on soil fertility and yield. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101(1).
- CAN – CCME - AAFC 2000: Support document for compost quality criteria - National Standard of Canada (CAN/BNQ 0413-200), The Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) Guidelines, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC) Criteria. <http://www.compost.org/compostqualitydoc.pdf>
- CEU, Council of the European Union 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Official Journal L182. 1–19. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0031&from=EN>

- Chaney, R.L., Oliver, D.P. 1996. Sources, potential adverse effects and remediation of agricultural soil contaminants. In *Contaminants and the soil environment in the Australasia-Pacific region*, pp. 323-359. Springer, Dordrecht.
- Choppala, G.K., Bolan, N.S., Megharaj, M., Chen, Z., Naidu, R., 2012. The influence of biochar and black carbon on reduction and bioavailability of chromate in soils. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), pp.1175-1184.
- Comber, S.D.W., Gunn, A.M. 1996. Heavy metals entering sewage-treatment works from domestic sources. *Water and Environment Journal*, 10(2), pp.137-142.
- Consultants, I.C. 2001. Pollutants in urban waste water and sewage sludge. European Communities, Luxembourg, 231.
- Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. <http://www.rdvode.gov.rs/doc/dokumenta/direktive-eu/11.%20Direktiva%2086-278-EEC%20o%20kanalizacionom%20mulju.pdf>
- Davis, R.D., Rudd, C. 1998. Investigation of the criteria for, and guidance on, the landspreading of industrial wastes. Environment Agency.
- Deljanin, I.V. 2016. Monitoring elemenata u tragovima u životnoj sredini primenom odabranih biljnih vrsta (Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu).
- DETR 2001. Department of the Environment, Transport and the Regions. The Draft Soil Protection Strategy for England and Wales-A Consultation Paper. DETR, London
- Dragicevic, I., Sogn, T.A., Eich-Greatorex, S. 2018. Recycling of biogas digestates in crop production-soil and plant trace metal content and variability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, p.45.
- EC, European Commission 2001. The Soil Protection Communication-DG Environment Draft October. Available from: <http://www.ehu.eus/europeanclass2003/soilpaper.pdf>
- Epstein, E. 1997. The science of composting. Technomic Publishing Company. Lancaster, Pennsylvania, USA. 487 p
- EUROPEAN COMMISSION (EC) 2003. Commission Regulation No 1334/2003 of 25 July 2003 amending the conditions for authorisation of a number of additives in feeding stuffs belonging to the group of trace elements. *Official Journal of the European Union*, , 187: 11. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2003R1334:20061226:EN:PDF>
- Fadiran, A.O., Tiruneh, A.T., Mtshali, J.S. 2014. Assessment of mobility and bioavailability of heavy metals in sewage sludge from Swaziland through speciation analysis. *Am J Environ Protect*, 3(4), pp.198-208.
- Furman, T., Nikolić, R., Tomić, M., Savin, L., Simikić, M. 2007. Alternativni-obnovljivi izvori energije u poljoprivredi. *Traktori i pogonske mašine*, 12, 7-10.
- Galvez, A., Sinicco, T., Cayuela, M.L., Mingorance, M.D., Fornasier, F., Mondini, C. 2012. Short term effects of bioenergy by-products on soil C and N dynamics, nutrient availability and biochemical properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 160, pp.3-14.
- Gawdzik, J., Gawdzik, B. 2012. Mobility of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge from Different Throughput Sewage Treatment Plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6).
- Gendebien A, Ferguson R, Horth H, Sullivan M, Davis R, Brunet H, Dalimier F, Landrea B, Krack D, Perot J, Orsi C. 2001. Survey of Wastes Spread to Land. Final Report of DG Environment Study Contract B4-3040/99/110194/MAR/E3. Available from: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/compost/landspreading.pdf>
- Gondek, K., 2010. Zinc and cadmium accumulation in maize [*Zea mays* L.] and the concentration of mobile forms of these metals in soil after application of farmyard manure and sewage sludge. *Journal of Elementology*, 15(4), pp.639-652.
- Guney, M., Onay, T.T, Copty, N.K. 2010. Impact of overland traffic on heavy metal levels in highway dust and soils of Istanbul, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 164, 101-110.
- Gupta, U.C., Kening, W.U., Liang, S. 2008. Micronutrients in soils, crops, and livestock. *Earth Science Frontiers*, 15(5), pp.110-125.
- Hansen, K.H., Angelidaki, I., Ahring, B.K. 1999. Improving thermophilic anaerobic digestion of swine manure. *Water Research*, 33(8), pp.1805-1810.
- Hashisho, Z., El-Fadel, M. 2004. Impacts of traffic-induced lead emissions on air, soil and blood lead levels in Beirut. *Environmental Monitoring and Assessment* 93, 185-202.
- Holm, A. 1990. E. coli associated diarrhoea in weaner pigs: zinc oxide added to the feed as a preventative measure. *Proceedings of the International Pig Veterinary Society. 11th Congress. Lausanne, 1-5 July, Switzerland*
- Jordanović-Vasić, M. 2009. Uпотреba biomase iz poljoprivrednog otpada kao obnovljivog izvora energije. *Nauka+praksa*, 12(1), pp.60-63.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants—CRC Press. Boca Raton.
- Keller, C., McGrath, S.P., Dunham, S.J. 2002. Trace metal leaching through a soil–grassland system after sewage sludge application. *Journal of Environmental Quality*, 31(5), pp.1550-1560.
- Kögel-Knabner, I. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(2), pp.139-162.
- Kuang, C., Neumann, T., Norra, S., Stuben, D. 2004. Land use-related chemical composition of street sediments in Beijing. *Environmental Science and Pollution Research* 11, 73-83.
- Lasaridi, K.E., Stentiford, E.I. 1998. A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Water Research*, 32(12), pp.3717-3723.

- Latare, A.M., Kumar, O., Singh, S.K., Gupta, A. 2014. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice–wheat system. *Ecological Engineering*, 69, pp.17-24.
- Li, Y.X., Chen, T.B. 2005. Concentrations of additive arsenic in Beijing pig feeds and the residues in pig manure. *Resources, Conservation and Recycling*, 45(4), pp.356-367.
- Liu, R.L., Li, S.T., Wang, X.B., Wang, M. 2005. Contents of heavy metal in commercial organic fertilizers and organic wastes. *Journal of Agro-Environment Science*, 24(2), pp.392-397.
- Lončarić, Z., Kadar, I., Jurković, Z., Kovačević, V., Popović, B., Karalić, K. 2012. Teški metali od polja do stola. In *Proc. 47th Croatian International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia (Vol. 14)*.
- Luo, L., Ma, Y., Zhang, S., Wei, D., Zhu, Y.G. 2009. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management*, 90(8), pp.2524-2530.
- Magdoff, F., Weil, R.R., 2004. *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC press.
- Manojlović, M., Cabilovski, R., Marijanusić, K., Kovacević, D. 2017. Trace elements in soils and vegetables on organic farms in Serbia. VII South-Eastern Europe. Symposium on Vegetables and Potatoes. Book OF ABSTRACTS, June 20 -23, Maribor, Slovenia, Page 34.
- Manojlović Maja 2008. *Đubrenje u održivoj poljoprivredi: Fertilization in sustainable agriculture*. Poljoprivredni fakultet.
- Manojlović Maja 2014. *Plodnost i opterećenost zemljišta u pograničnom području*. Maja Manojlović (urednik), Univerzitet Novi Sad, Poljoprivredni fakultet.
- Manojlović, M., Jaćimović, G. 2014. Značaj zaoravanja žetvenih ostataka za kvalitet zemljišta, produktivnost i prilagođavanje klimatskim promenama. Naučno-stručno savetovanje „Dobar dan domaćine“, 23. Januar 2014. godine, Novi Sad. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za ratarstvo i povrtarstvo. *Tematski zbornik radova*, 27-33.
- Manojlović, M., Singh, B.R. 2012. Trace elements in soils and food chains of the Balkan region. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science*, 62(8), pp.673-695.
- McLaren, R.G., Clucas, L.M., Taylor, M.D. 2005. Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soils treated with metal-spiked sewage sludge. 3. Distribution of residual metals. *Soil Research*, 43(2), pp.159-170.
- McLaren, R.G., Clucas, L.M., Taylor, M.D., Hendry, T. 2004. Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soils treated with metal-spiked sewage sludge. 2. Leaching of metals. *Soil Research*, 42(4), pp.459-471.
- McLaughlin, M.J., Hamon, R.E., McLaren, R.G., Speir, T.W., Rogers, S.L. 2000. A bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. *Soil Research*, 38(6), pp.1037-1086.
- Mihajlović, A. 2015. *Fizičke karakteristike zemljišta i distribucija teških metala na gradskom području Novog Sada*. (Doktorska disertacija, Univerzitet Novi Sad).
- Milinović, J., Vidal, M., Lacorte, S., Rigol, A. 2014. Leaching of heavy metals and alkylphenolic compounds from fresh and dried sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(3), pp.2009-2017.
- Milošev, D., Petar, S., Manojlović, M., Kurjački, I., Šeremešić, S. 2007. Application of municipal solid waste compost in agricultural production. In *Proceedings of the III Congress of Ecologists of the Republic of Macedonia with International Participation* (pp. 06-09).
- Montereali, M.R., Pinto, V., Schiavella, F., Armiento, G., Angelone, M., Crovato, C., Manojlović, M., Čabilovski, R., Cremisini, C. 2017. A field screening test for the assessment of concentrations and mobility of potentially toxic elements in soils: a case study on urban soils from Rome and Novi Sad. *Environmental monitoring and assessment*, 189(9), p.466.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, J.R., Unwin, R.J. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource technology*, 70(1), pp.23-31.
- Pacyna, J.M. 1987. Chapter 7. Atmospheric Emissions of Arsenic, Cadmium, Lead and Mercury from High Temperature Processes, in: Hutchinson, T.C. Meema, K.M. (Eds.), *Power Generation in: Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment*. John Wiley & Sons Ltd.
- Park, J.H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N., Chung, J.W. 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. *Journal of hazardous materials*, 185(2-3), pp.549-574.
- Pavlović, L., Nešić, Lj., Belić, M., Manojlović, M., Ćirić, V., Tunguz, V., Ostoić, S. K. 2015. The content of heavy metals in the Boulevard soil in Novi Sad, Serbia. In *Sixth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 15-18, 2015. Book of Proceedings, pp. 1413-1418. University of East Sarajevo.
- Pierzynski, G. M., Thomas, S., Vance, G. F., 2000. *Soils and Environmental Quality*. CRC Press, Boca raton, p. 459.
- Pivato, A., Vanin, S., Raga, R., Lavagnolo, M.C., Barausse, A., Rieple, A., Laurent, A., Cossu, R. 2016. Use of digestate from a decentralized on-farm biogas plant as fertilizer in soils: An ecotoxicological study for future indicators in risk and life cycle assessment. *Waste Management*, 49, pp.378-389.
- Popovic, O., Hjorth, M., Stoumann Jensen, L. 2012. Phosphorus, copper and zinc in solid and liquid fractions from full-scale and laboratory-separated pig slurry. *Environmental technology*, 33(18), pp.2119-2131.
- Puttkamer T.V. 2005. *Charakterisierung biogener Festbrennstoffe*. Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen. (Doctoral Dissertation, Universität Stuttgart).
- Rosen, G.D., Roberts, P.A. 1996. Comprehensive survey of the response of growing pigs to supplementary copper in feed. *Field Investigations and Nutrition Service Ltd*.

- Sager, M. 2007. Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(6), pp.1383-1390.
- Schuhmacher, M., Meneses, M., Granero, S., Llobet, J.M., Domingo, J.L., 1997. Trace element pollution of soils collected near a municipal solid waste incinerator: human health risk. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 59, 861-867.
- SI, Statutory Instruments 1994. The Waste Management Licensing Regulations. SI 1056. HMSO, London.
- Silveira, M.L.A., Alleoni, L.R.F., Guilherme, L.R.G. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, 60(4), pp.793-806.
- Službeni glasnik RS br. 112/2015: Zakon o zaštiti zemljišta
- Službeni glasnik RS br. 31/2018: Pravilnik o uslovima za razvrstavanje i utvrđivanje kvaliteta sredstava za ishranu bilja, odstupanjima sadržaja hranljivih materija i minimalnim i maksimalnim vrednostima dozvoljenog odstupanja sadržaja hranljivih materija i o sadržini deklaracije i načinu obeležavanja sredstava za ishranu bilja
- Službeni glasnik rs br. 83/2009: Zaključak o usvajanju plana akcije za životnu sredinu i zdravlje dece u republici srbiji za period od 2009. do 2019. godine.
http://demo.paragraf.rs/demo/combined/Old/t/t2009_10/t10_0128.htm
- Smith, S.R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment international*, 35(1), pp.142-156.
- Stephan, D., Mallmann, R., Knofel, D., Hardtl, R. 1999. High intakes of Cr, Ni and Zn in Clinker: Part 1. Influence on burning process and formation of phases. *Cement and Concrete Research* 29, 1949-1957.
- Sumner, M.E. 2000. Beneficial use of effluents, wastes, and biosolids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(11-14), pp.1701-1715.
- Tahervand, S., Jalali, M. 2016. Sorption, desorption, and speciation of Cd, Ni, and Fe by four calcareous soils as affected by pH. *Environmental monitoring and assessment*, 188(6), p.322.
- Tani, M., Sakamoto, N., Kishimoto, T., Umetsu, K., 2006. Utilization of anaerobically digested dairy slurry combined with other wastes following application to agricultural land. In *International Congress Series (Vol. 1293, pp. 331-334)*. Elsevier.
- Thompson, W.H. (ed.) 2001. *Test Methods for the Examination of Composting and Compost*. The United States Composting Council Research and Education Foundation.
- Tytła, M., Widziewicz, K. and Zielewicz, E., 2016. Heavy metals and its chemical speciation in sewage sludge at different stages of processing. *Environmental technology*, 37(7), pp.899-908.
- Underwood EJ, Suttle NF. The mineral nutrition of livestock. 3rd ed.. Wallingford: CABI Publishing, 1999.
- USEPA, "A plain english guide to the EPA part 503 biosolids rule," USEPA Rep. 832/R-93/003, USEPA, Washington, DC, USA, 1994.
- Van Campen, D.R. and Glahn, R.P., 1999. Micronutrient bioavailability techniques: accuracy, problems and limitations. *Field Crops Research*, 60(1-2), pp.93-113.
- Verdonck, O., Szmidi R.A.K. 1998. Compost specifications. *Acta Horticulture*, 469, pp. 169-177.
- Vidojević, D., Dimić, B., Baćanović, N. 2013. Praćenje stanja zemljišta – zakonski osnov, ciljevi i indikatori. Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, ISBN 978-86-87159-10-5, http://www.sepa.gov.rs/download/Zemljiste_zakonskiOsnov.pdf
- Vukobratović, M. 2008. Proizvodnja i ocjena kvalitete kompostiranih stajskih gnojiva. (Doktorska disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku).
- Wegglar, K., McLaughlin, M.J., Graham, R.D. 2004. Effect of chloride in soil solution on the plant availability of biosolid-borne cadmium. *Journal of Environmental Quality*, 33(2), pp.496-504.
- White, J.G., Zasoski, R.J. 1999. Mapping soil micronutrients. *Field crops research*, 60(1-2), pp.11-26.
- Wierzbowska, J., Kovačik, P., Sienkiewicz, S., Krzbiec, S., Bowszys, T. 2018. Determination of heavy metals and their availability to plants in soil fertilized with different waste substances. *Environmental monitoring and assessment*, 190(10), p.567.
- Wu, L.H., Luo, Y.M., Christie, P., Wong, M.H. 2003. Effects of EDTA and low molecular weight organic acids on soil solution properties of a heavy metal polluted soil. *Chemosphere*, 50(6), pp.819-822.
- Xing, W.Y., Li, R. 1999. The database of organic manure. Chinese science and technology press, Beijing.
- Zhang, R., El-Mashad, H.M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., Gamble, P. 2007. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource technology*, 98(4), pp.929-935.
- Zhang, R.H., Westerman, P.W. 1997. Solid-liquid separation of annual manure for odor control and nutrient management. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(3), pp.385-393.
- Zhang, S.Q., Zhang, F.D., Liu, X.M., Wang, Y.J., Zou, S.W., He, X.S. 2005. Determination and analysis on main harmful composition in excrement of scale livestock and poultry feedlots. *Plant Nutr Fert Sci*, 11(6), pp.822-829.
- Zhao, Y., Yan, Z., Qin, J., Xiao, Z. 2014. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(12), pp.7586-7595.

Microelements and heavy metals in organic materials used for soil fertility improvement

Maja Manojlović^{a*}, Dragan Kovačević^a, Ranko Čabilovski^a, Mirna Štrbac^a, Klara Petković^a, Beata Kereši Šoti^a

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Field and vegetable crops, Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: maja.manojlovic@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

Microelements are present in soil in small amounts and they are essential for different biochemical and physiological processes in plants; while heavy metals represent trace elements, a group of elements that are necessary in small quantities for normal growth and development of plants but if they are present in higher amounts, they can be harmful. The importance of organic matter for soils is multiple; it is important for the protection of physical soil properties; organic matter is pool of organic carbon; and it is source of the essential elements for plant nutrition. The paper outlines the ways of the transfer of microelements and heavy metals to the soil by manure, compost, digestate, industrial organic waste and by biosolids. It is shown the content of the microelements and heavy metals in organic fertilizers from different countries and from the Republic of Serbia. The positive effect of the application of organic fertilizers on the availability of essential elements and improvement of physical, chemical and biological soil properties is significant. However, consequences of the use of organic materials might be accumulation of heavy metals. In order to avoid environmental contamination by heavy metals, the control of organic fertilizer quality is important, as a preventive measure in order to establish sustainable agriculture production.

KEY WORDS: Organic fertilizers, microelements, manure, availability of heavy elements

Primljen: 03.06.2019.

Prihvaćen: 11.07.2019.