



EKOLOŠKI MENADŽMENT TEŠKIH METALA U AGROEKOSISTEMU

ECOLOGICAL MANAGEMENT OF HEAVY METALS IN AGROECOSYSTEMS

Saša Obradović¹, Vera Đekić²

Rezime: U radu se ukazuje na problem teških metala poreklom iz poljoprivrede na agroekosistem. Ova grupa zagađivača se smatra najznačajnijim uzrokom degradacije kvaliteta zemljišta, površinskih i podzemnih voda i direktnim prouzrokovateljem štetnih efekata po zdravlje ljudi i životinja. U cilju potpunijeg ekološkog monitoringa ovih polutanata, navedene su osnovne kategorije, poreklo, mogući negativni uticaji i bazični principi sprečavanja njihovog toksičnog uticaja.

Ključne reči: teški metali, agroekosistem, menadžment

Abstract: The paper examines the problem of heavy metals originating from agriculture on agroecosystems. This group of pollutants is considered the most important cause of degradation of soil quality, surface and groundwater and direct causal adverse effects on human and animal health. In order to complete the environmental monitoring of pollutants, these main categories, origins, and possible negative impacts of the basic principles of preventing their toxic effects.

Keywords: heavy metals, agroecosystem, management

UVOD

Agroekosistem kao pripadajući činilac biosfere i antroposfere predstavlja ne samo značajan izvor energije i materije, nego primarni recipijent za rezidualni otpad mnogobrojnih zagađivača. Od higijenskog kvaliteta zemljišta zavisi održivost staništa flore i faune, kvalitet podzemnih i površinskih voda, dobrobit domaćih životinja, kao i zdravlje humane populacije (Blum, 1990; Harris et al., 1996; De Haan, 1996).

Materije koje mogu narušiti prirodni ekološki sistem zemljišta, vode i vazduha nazivaju se hazardne materije. Najčešći hazardni toksikanti agroekosistema su teški metali, radionukleidi, sintetičke organske supstance i pesticidi.

Usled povećanih koncentracija toksikanata u zemljištu i vodi, dolazi do njihovog akumuliranja u biljkama, a time i u lanac ishrane životinja i čoveka. Neki od njih su od malog toksikološkog značaja, dok su drugi veoma toksični i stvaraju niz zdravstvenih problema. Među najštetnijim nutritiventima po zdravlje čoveka, kao krajnjeg konzumenta biljnih i životinjskih proizvoda spadaju teški metali.

¹ Dr Saša Obradović, docent, "Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment", Novi Sad, obradovi@sbb.rs

² Dr Vera Đekić, naučni saradnik, "Centar za strna žita", Kragujevac, veraraj@kg.ac.rs

Dospevanjem teških metala u agroekosistem pokreće se čitav niz lančanih reakcija, koje uzrokuju promene kvaliteta zemljišta ode i atmosfere, što se neminovno odražava i na promene u strukturi živih organizama koji ih nastanjuju.

Pored dospevanja teških metala u zemljište matičnog supstrata tokom pedogeneze i industrijska postrojenja zagađuju vazduh teškim metalima, a samim tim zagađenje se prenosi na zemljište i vodu. U površinskim horizontima poljoprivrednih zemljišta često se mogu naći i teški metali koji nisu geohemijskog već antropogenog porekla kao posledica različitih ljudskih aktivnosti. Dugotrajno unošenje zagađujućih materija u zemljište može dovesti do smanjenja njegovog puferskog kapaciteta što kao posledicu može imati trajnu kontaminaciju zemljišta i podzemne vode (Thierry et al., 1995).

POREKLO, SADRŽAJ I MOBILNOST TEŠKIH METALA

Mobilnost teških metala iz antropogenog zagađivanja zavisi od kiselinske reakcije, sadržaja organskih materija i humusa, fizičke granulacije, temperature i vlažnosti zemljišta. Najčešći teški metali u zemlji i vodi su: arsen (As), kadmijum (Cd), hrom (Cr), živa (Hg), cink (Zn), nikal (Ni), olovo (Pb) i vanadijum (V). Teški metali u agroekosistemima potiču iz fertilizacije organskim i mineralnim fosforim đubrivima, iz industrijskih postrojenja, rudnika, termoelektrana, pesticida, komunalnih otpadnih voda i iz izduvnih gasova automobila.

Tabela 1. Prosečne godišnje vrednosti nekih teških metala u pojedinim zemljama (g/ha)

Teški metali	Norveška	Danska	Finska	Srbija
Cd	1.6	1.5	0.21	0.45
Cu	340	290	153	-
Pb	17	11	5.5	4.2
Zn	800	342	268	215

Tjell and Christensen (1992); Makela-Kurtto (1996); Agencija za zašt. život. sredine RS (1999)

U današnje vreme u svetu se intezivno razvija ekološka svest ljudi o štetnom efektu teških metala i perzistentnih organskih polutanata po ljudsko zdravlje. Deponovanje teških metala u ljudskom organizmu uzrokuje intoksikaciju i brojne negativne posledice po ljudsko zdravlje. Dugotrajna izloženost kontaminantima izaziva trovanje, bolesti centralnog nervnog sistema, hepatitis i rak hepatocita, leukemiju, oboljenja kardivaskularnog sistema i druge teške poremećaje organskih sistema (Tyteca, 1999).

Određivanje koncentracije ulaznih i izlaznih priliva teških metala u poljoprivredi, poznavanje mogućnosti njihove razgradnje ili inaktivacije, predstavlja bitan preduslov održivog upravljanja ovim toksikantima u poljoprivrednim sistemima. Agrosistem se može posmatrati kao prelazni oblik između prirodnih i standardnih ekosistema koji su pod direktnim uticajem ljudske aktivnosti (Nriagu, 1988).

Zakonska međunarodna legislativa i pravni okvir mnogih zemalja jasno definišu maksimalne koncentracije teških metala u akgroecosistemu. Ograničenja se odnose na sve medijume poljoprivredne proizvode u cilju smanjenja potencijalnog rizika po fitotoksičnost biljaka i zdravlje čoveka kao krajnjeg konzumenata. Donošenje zakonskih mera je doprinelo delimičnom smanjenju industrijskih emisija, međutim ukupna stopa unošenja većine metala u zemljište i akvatične sisteme nije smanjena, nego je čak i povećana. Enormno visoke koncentracije pojedinih teških metala su karakteristična za urbana i razvijena industrijska područja (Moolenaar 1998; Guinee et al. 1999).

Prema Direktivi EU o zaštiti životne sredine i zemljišta (86/278/EEC) države članice se moraju pridržavati utvrđenih graničnih vrednosti teških metala u zemljištu, a koje su prikazane u Tabeli broj 2. Države članice mogu dozvoliti da se premaše navedene granične vrednosti ovih parametara na zemljištu koje konstantno ima pH vrednost veću od 7. Maksimalne dozvoljene koncentracije ovih teških metala ne smeju da premaše te vrednosti više od 30%. Države članice takođe moraju osigurati da ne postoji nikakva rezultujuća opasnost po ljudsko zdravlje ili životnu sredinu, a posebno za podzemne vode.

Tabela 2. Granične vrednosti teških metala (mg/kg) suve materije za zemljišta sa pH 6 - 7 (86/278/EEC)

Parametri	Granične vrednosti	Parametri	Granične vrednosti
Kadmijum	1 - 3	Olovo	50 - 300
Bakar	50 - 140	Cink	150 - 300
Nikal	30 - 75	Živa	1 - 1,5

Prirodna deaktivacija teških metala u zemljištu je ograničena i uglavnom se odvija njihovom adsorpcijom od strane zemljišnih frakcija, poput gline ili konverzijom u nerastvorljiva jedinjenja. Dugotrajno deponovanje ovih toksikanata negativno tiče na biodiverzitet, produktivnost zemljišta u ukupno funkcionisanje agroekosistema. Neto bilans prosečnog sadržaja teških metala u agroekosistemu se dobija direktnim laboratorijskim merenjem ili korišćenjem proračuna njihovog ulaska (industrija, đubrenje itd.) i iznošenja u vidu poljoprivrednih proizvoda (usevi, sadržaj u tkivima životinja). Zbog složenosti međusobnih interakcija u agroekosistemu ekološki menadžment ovih polutanata je daleko kompleksniji nego što je to slučaj u industrijskim procesima (Pettersson, 1993).

Većina teških metala dospeva u poljoprivredni ekosistem atmosferskim padavinama i direktnim unosom od strane čoveka, u vidu: đubriva, kreča, pesticida, komposta i kanizacionog mulja. Ukupan iznos teških metala iz zemljišta i vode predstavlja zbir adsorbovanih, rastvorenih i fiksiranih koncentracija ovih polutanata. Dinamička ravnoteža ulaznih i izlaznih tokova u svoj sistem uključuje i niz ekoloških pod sistema od kojih su najvažniji tip obrade zemljišta, količina primenih đubriva i dinamika pojedinih metala (Moolenaar et al., 1997).

Tabela 3. Sadržaj teških metala u akroekosistemu u zavisnosti od načina proizvodnje (Moolenaar et al., 1998)

Ratarski sistem	Cd	Cu	Pb	Zn
Organska proizvodnja	1.66	104	80.9	464.5
Integrirano ratarenje	0.75	53.3	37.6	702
Konvecionalna (mineralno đubrenje)	0.96	53.5	46.3	804
Konvecionalna (mineralno + organsko)	4.93	25	32	55

Ukoliko je rastvorljivost unesenih metala, naprimer gvožđa i aluminijuma slična njihovoj prirodnoj rastvorljivosti u nekom zemljištu, eventualna akumulacija neće imati značajan negativan efekat na sami sistem ili životnu sredinu. Međutim, akumulacija Cd, Cu, Pb i Zn uglavnom podrazumeva stalan porast njihove aktivnosti i mobilnosti u zemljištu i vodi, zbog čega po pravilu nastaju mnogobrojne štetne pojave. Stopa njihovog povećanja zavisi od puferkog kapaciteta zemljišta i ulaznog suficita u bilansu stanja (Riemsdijk et al., 1987). Takva dinamika rezultira različitim karakteristikama i akumulacionim bilansima za različite elemente (Frissel, 1978).

U kiselim zemljištima sa niskom pH vrednošću raste njihova toksična mobilnost usled rastvaranja organske materije i opada proces degradacije (Kabata-Pendias, 2001). Toksičnost i mobilnost teških metala je veća u kiselim zemljištima. Proces desorpcije metala opada sa rastom pH vrednosti, usled ireverzibilnog vezivanja metala stvaranjem kompleksnih jedinjenja i obrnuto, pri smanjenju pH vrednosti, opada proces apsorpcije metala i povećava se njihova toksičnost usled rastvaranja organske materije (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

Kako je već navedeno, granična toksičnost teških metala u akroekosistemu zavisi od mnogobrojnih hemijskih, fizičkih i bioloških osobina sistema zemljište-voda-biljka, a na osnovu inputnih parametara može se izvršiti procena negativnih uticaja metala na sastavne segmente ekosistema. Ispoljavanje vidljivih simptoma posrednog uticaja depozicije polutanata je u zavisnosti od pufernog kapaciteta zemljišta. Puferna svojstva zemljišta zavise od prirode polutanata i mnogih svojstava zemljišta, a pre svega: pH vrednosti, sadržaja organske materije, količine i tipa gline, oksida Fe, Mn i Al i redoks potencijala.

Procena koncentracije teških metala na osnovu diskrepancionog (neusklađenog) faktora

Diskrepancioni indikator poredi ulazni stopu koncentracije teških metala definisanog agroekosistema sa ukupno prihvatljivom izlaznom stopom za taj sistem. Zasniva se na postojećim kvalitativnim standardima za pojedine useve i kvalitet podzemnih voda. Ukoliko suma ulaznog nivoa metala premašuje zbir svih izlaza diskrepancioni faktor je veći, što ukazuje na potencijalnu opasnost po životnu sredinu. Upoređivanjem poremećenog ekvilibrijuma za različite metale može se sa sigurnošću utvrditi koji će teški metal dovesti do najvećeg zagađenaj agroekosistema. Takođe ovaj faktor omogućava utvrđivanje toksičnog pririteta između različitih metala.

$$Fd = \frac{A}{Uc + Lc}$$

Fd- diskrepancioni faktor; A- zbir svih ulaza teških metala; Uc-maksimalni prihvatljivi nivo iznošenja usevima; Lc- maksimalni prihvatljivi nivo oticanja podzemnim vodama.

Procena koncentracije teških metala na osnovu faktora održivosti

U slučaju ograničenih podataka o mobilnosti teških metala u zemljišnoj i vodenoj sredini agroekosistema za procenu njihove toksičnosti koristi se faktor održivosti. Ovaj indikator se bazira na statičnim i već utvrđenim rezultatima toksičnosti i mobilnosti metala u laboratorijskim uslovima.

$$Fc = \max (Fe + Fu + Fs)$$

Fc-faktor održivosti; Fe – faktor ekološke toksičnosti; Fu-uvajanje usevima; Fs- oticanja podzemnim vodama.

Procena koncentracije teških metala na osnovu održivosti vremena

Uprkos tome što opisani indikatori pružaju uvid u dinamičku ravnotežu teških metala, oni ne daju informacije o vremenu nastanka narušavanja ravnoteže agroekosistema. Na osnovu izračunavanja faktora održivosti vremena mogu se dobiti pravovremne informacije o početku i dužini trajnja toksičnog efekta teških metala na zemljište, vodu i useve.

$$Tc = \min (Te + Tu + Ts)$$

Tc- faktor vremenske održivosti; Te-vreme početka narušavanja standarda agroekosistema; Tu-vreme prekoračenja sadržaja metala u usevima; Ts- vreme prekoračenja sadržaja metala u podzemnim vodama.

Svi indikatori održivosti agroekosistema se zasnivaju na dinamičnim bilansima teških metala i oni omogućavaju upoređivanje različitih agroekosistema, bez potrebe detaljnog upoznavanja sa pojedinim hemijskim procesima. Navedeni faktori se često uključuju kao generički podaci geografskih informacionih sistema (GIS) i nacionalnih statistika. Na taj način se vrše predvižanja pojave i eliminacije ovih polutanata. Kao ilustracija navednih indikatora može poslužiti održivost i sadržaj kadmijuma u različitim ratarskim sistemima koji su tabelarno prikazani.

Tabela 4. Faktori održivosti kadmijuma tokom četiri ratarska sistema (Moolenaar et al., 1997)

Faktor	Organska proizvodnja	Integrirana proizvodnja	Konvencionalna	
			Organska	Mineralna
Fd	1.28	0.94	0.94	2.44
Fe	4.00	1.67	2.13	4.73
Fu	2.29	1.60	1.53	3.57
Fs	0.01	0.13	0.21	1.03
Te	145	306	245	70
Tu	622	362	696	153
Ts				3366

ODRŽIVOST TEŠKIH METALA

Stabilnost i održivost agroekosistema u pogledu akumulacije teških metala zavisi pre svega od primenjene strategije njihovog eliminisanja ili ublažavanja negativnih uticaja. U literaturi je poznato da vreme samoprečišćavanja prekomernih koncentracija teških metala u agroekosistemima može trajati od 10 do 70 godina (Guinee et al., 1999).

Kratkoročne strategije u vidu dodavanja zeolitskih pufera ili alumosilikata mogu imati za cilj povećanje kapaciteta sorpcije zemljišta, jer u zemljištima sa niskom sorpcijom koncentracije metala imaju tendenciju da se povećaju u podzemnim vodama i usevima. Niska adsorptivna moć zemljišta takođe može dovesti do povećanja koncentracije metala u podzemnim vodama i usevima, ali bez značajne akumulacije u zemljištu (McLaughlin et al., 1995).

Smanjenje koncentracije hazardnih supstanci se takođe može postići povećanjem humusa i organske materije u zemljišnom kompleksu. Istovremeno primena preparata sa povećanom koncentracijom kalcijuma i magnezijuma uz višefazno oranje dovodi do smanjenja nivoa teških metala u oraničnim slojevima zemljišta. Pravilan izbor kultivisanih preduseva sa izraženom adsorpcijom teških metala može biti veoma delotvoran za smanjenje kritičnih granica teških metala (Frosch et al., 1989).

Dugoročna strategija ekološkog menadžmenta se fokusira na smanjenje inputa u tlo. Određivanjem optimalnih doza apliciranih đubriva, neutralisanje industrijskog otpada i korišćenje kombinovanih sistema proizvodnje predstavlja siguran način minimiziranja štetnih uticaja teških metala na ekološke komponente poljoprivrede. Praksa održivog upravljanja saldrom teških metala u agroekosistemu predstavlja dinamički model koji podrazumeva sledeće činioce:

- upotrebu dobre proizvođačke prakse;
- adekvatan ekološki monitoring;
- procenu izvesnosti toksičnog dejstva na zemljište, useve i podzemne vode;
- korišćenje integriranog sistema održivosti (socio-ekonomski, etički, ekološki, poljoprivredni pristup);
- korišćenje mešovitih sistema proizvodnje, u skladu sa potencijalom regiona;
- poštovanje zakonskih normi kako međunarodnih, tako i nacionalnih;
- hemijska analiza zemljišta, podzemnih voda i useva na prisustvo teških metala svakih šest meseci. Ako se pojave kvalitativne promene u otpadnim vodama učestalost analiza se mora povećati;
- donošenje i poštovanje zakonskih koji zabranjuju ili ograničavaju primenu teških metala u agroindustrijskoj proizvodnji;
- uporeba ekonomskih instrumenata u cilju minimiziranja količine hazardnih materija (više tarife, porezi, subvencije i poreske olakšice i dr.).

ZAKLJUČAK

Akumulacija teških metala u pojedinim komponentama agroekosistema uslovljena je intenzitetom taloženja, svojstvima zemljišta, mineralnim sastavom supstrata i vrstom gajenih useva. Zemljišta i podzemne vode u poljoprivrednim ekosistemima imaju značajnu funkciju u retenciji teških metala, pre svega, zahvaljujući njihovoj ulozi filtra i pufera.

Mehanizmima hemijske imobilizacije u površinskom sloju zemljišta definiše se retencija teških metala, a dalji transport kroz profil zemljišta zavisi od geohemijskih i pedoloških procesa karakterističnih za određene vegetacijske i edafske uslove staništa. Upotrebom odgovarajućih metodoloških principa moguće je predvideti pojavu i kritične nivoe hazardnih polutanata u svrhu sanacije njihovog negativnog dejstva na životnu sredinu. Korišćenjem laboratorijskih metoda, statističkih informacionih sistema i izborom odgovarajućih đubriva i poljoprivredne tehnologije u značajnoj meri se mogu ublažiti toksični efekti teških metala u agroekosistemu.

LITERATURA

1. Blum, W.E.H. (1990): The challenge of soil protection in Europe. *Environmental Conservation*, 17, 72–4.
2. De Haan, F.A.M. (1996): Soil quality evaluation. F.A.M. de Haan and M.I. Visser-Reyneveld (eds), *Soil Pollution and Soil Protection*, Wageningen: Wageningen Agricultural University and International Training Centre (PHLO), pp. 1–17.
3. Frissel, M.J. (ed.) (1978): Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems. *Agroecosystems*, 4, 1–354.
4. Frosch, Robert A. and Nicholas E. Gallopoulos (1989): Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 94–102. (Special issue on Managing Planet Earth).
5. Guinee, Jeroen B., Jeroen C.J.M. van den Bergh, Jos Boelens, Peter J. Fraanje, Gjalt Huppes, Patricia P.A.A.H. Kandelaars, Theo M. Lexmond, Simon W. Moolenaar, Xander A. Olsthoorn, Helias A. Udo de Haes, Evert Verkuijlen and Ester van der Voet (1999): Evaluation of risks of metal flows and accumulation in economy and environment. *Ecological Economics*, 30(1), 47–65.
6. Guinee, Jeroen B., Jeroen C.J.M. van den Bergh, Jos Boelens, Peter J. Fraanje, Gjalt Huppes, Patricia P.A.A.H. Kandelaars, Theo M. Lexmond, Simon W. Moolenaar, Xander A. Olsthoorn, Helias A. Udo de Haes, Evert Verkuijlen and Ester van der Voet (1999): Evaluation of risks of metal flows and accumulation in economy and environment. *Ecological Economics*, 30(1), 47–65.
7. Harris, R.F., D.L. Karlen and D.J. Mulla (1996): A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. J.W. Doran and A.J. Jones (eds), *Methods for Assessing Soil Quality*, Soil Science Society of America Special Publication, 49, 345–57.
8. Makela-Kurtto, R. (1996): Heavy metal balances in Finnish cultivated soils (unpublished report of the Agricultural Research Centre of Finland).
9. McLaughlin, M.J., N.A. Maier, K. Freeman, K.O. Tiller, C.M.J. Williams and M.K. Smart (1995): Effect of potassic and phosphatic fertilizer type, fertilizer concentration and zinc rate on cadmium uptake by potatoes. *Fertilizer Research*, 40, 63–70.
10. Moolenaar, Simon W. (1998): Sustainable Management of Heavy Metals in Agro-ecosystems, PhD thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen. The Netherlands, p 245.
11. Moolenaar, Simon W., Theo M. Lexmond and S.E.A.T.M. van der Zee (1997): Calculating heavy metal accumulation in soil: A comparison of methods illustrated by a case-study on compost application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 66, 71–82.
12. Nriagu, Jerome O. (1988): A silent epidemic of environmental metal poisoning. *Environmental Pollution*, 50, 139–61.
13. Pettersson, O. (1993): Agriculture, ecology and society. International Conference of the Fertilizer Society. December 8–9, Cambridge, UK.

14. Riemsdijk, W.H. van, Theo M. Lexmond, C.O. Enfield and S.E.A.T.M. van der Zee (1987): Phosphorus and heavy metals: Accumulation and consequences. *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops*, Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, pp. 213–27.
15. Thierry, Martijn, Marc Salomon, Jo Van Nunen and Luk Van N. Wassenhove (1995): Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37, 114–35.
16. Tjell, J.C. and T.H. Christensen (1992): Sustainable management of cadmium in Danish agriculture. *Impact of Heavy Metals on the Environment*, Amsterdam: Elsevier, pp. 273–86.
17. Tyteca D. (1999): Sustainability indicators at the firm level. Pollution and resource efficiency as a necessary condition toward sustainability. *Journal of Industrial Ecology*, 2(4), 61.
18. Kabata-Pendias A, Pendias H (2001): *Trace Elements in Soils and Plants*. Third Edition. CRC Press, USA
19. Council Directive EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/278/EEC). *Official Journal OJ L 181*, 8. 7. 1986., str. 6.