

Referat po pozivu**Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD25158T**

PESTICIDI, ŽIVOTNA SREDINA I BEZBEDNOST HRANE

PESTICIDES, ENVIRONMENT AND FOOD SAFETY

Aleksandra Tasić^{1*}, Ivan Pavlović¹

Kratak sadržaj

Pesticidi su omogućili veću proizvodnju hrane i trenutna potreba za povećanjem proizvodnje hrane zbog porasta populacije se odražava pritiskom na intenzivnu upotrebu pesticida. Sa druge strana, istraživanja širom sveta potvrđuju kontaminaciju i nalaženje rezidua pesticida u zemljištu, vodenim ekosistemima, uključujući obalne morske sisteme, što kao krajnju posledicu ima toksični efekat. Iako je upotreba perzistentnih organskih supstanci postepeno ukinuta i zamenjena biorazgradivim hemijskim supstancama, kontaminacija od nastanka rezidua pesticida i dalje utiče na kvalitet hrane, voda i životnu sredinu. Nova tehnologija proizvodnje hrane sve više uključuje organsku proizvodnju, ali i potrebu za unapređenjem istraživanja u cilju zaštite životne sredine i obezbeđenja bezbedne hrane.

Ključne reči: *kvalitet, rezidue, proizvodnja hrane.*

Abstract

Pesticides have enabled greater food production and the current need to increase food production due to population growth is reflected in pressure for intensive use of pesticides. On the other hand, research around the world confirms the contamination and finding of pesticide residues in the soil, aquatic ecosystems, including coastal marine systems, which ultimately has a toxic effect. Although the use of persistent organic substances has been phased out and replaced by biodegradable chemical substances, contamination from pesticide residues continues to affect the quality of food, water and the environment. New food production technology increasingly includes organic production, but also the need to improve research in order to protect the environment and ensure safe food.

Keywords: *food production, quality, residues*

¹ Dr Aleksandra Tasić, viši naučni saradnik; akademik dr sci. vet. med. Ivan Pavlović, naučni savetnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Janisa Janulisa 14, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osoba: alekstasic79@gmail.com

UVOD

Dugogodišnja i intenzivna primena pesticida dovela je do toga da se rezidue pesticida mogu nalaziti u svim sferama životne sredine. Iako predstavljaju veoma značajnu grupu hemijskih jedinjenja, od kojih pre svega poljoprivreda ima najvećeg značaja, oni sa sobom nose i mnogobrojne negativne efekte. Od nepoželjnih efekata nalaženja pesticida najvažnija je opasnost zagađenja životne sredine i uticaja na ljudsko zdravlje. Ovi izazovi stavljaju veću odgovornost na proizvođače i prerađivače hrane da obezbede bezbednu hranu, sprečavajući kontaminaciju hrane pre nego što stigne do potrošača (Leskovac i Petrović, 2023). Prema procenama čak 90% stranih supstanci u čovekovom organizmu dolazi posredstvom hrane, a samo mali deo preko vode za piće i vazduha (Jugović i sar., 2017). Nakon primene pesticida, oni su u životnoj sredini izloženi različitim procesima kretanja i transformacije, a u zavisnosti od svoje strukture i fizičko-hemijskih svojstava mogu biti sa dužim ili kraćim efektom postojanja u životnoj sredini. Upoznavanjem sa transformacijama i nalaženjem pesticida ima pre svega kao krajnji cilj dolaženje do podataka o proceni opasnosti, odnosno proračunu procene rizika. Ispitivanje i praćenje takozvane sudbine pesticida u životnoj sredini i nalaženje u hrani je najvažnije zbog negativnog uticaja na čovekovo zdravlje. Proces koji određuje sudbinu pesticida u životnoj sredini mogu se grupisati kao sledeći: adsorpcija (vezivanje pesticida za površinu), degradacija (pod uticajem dejstva svetlosti, mikrobiološke razgradnje ili uticaja hemijskih supstanci) i transport (podrazumeva kretanje pesticida u životnoj sredini). Putevi transporta pesticida podrazumevaju prelazak pesticida iz jednog matriksa životne sredine u drugi, kroz procese spiranja, ispiranja, isparavanja, kondenzacije i usvajanja od strane biljaka i životinja. Obzirom da su pesticidi uglavnom slabo isparljiva jedinjenja, pojam adsorpcije pesticida je uglavnom vezan za adsorpciju iz tečne faze (u kojoj se oni i najčešće distribuiraju u prodaji) na čvrstoj fazi. Adsorpcija pesticida zavisi od pH vrednosti, vlažnosti, rastvorljivosti u vodi, oktanol /voda podeonog koeficijenta i stepena disocijacije (Đurović, 2011).

Rizik od uticaja pesticida po ljudsko zdravlje je predmet javnog interesovanja od 1970. godine (Kaur i sar., 2019). U tom periodu se krenulo sa razmatranjem značaja pesticida, u smislu koristi i troškova, odnosno dobra i zla. Većina prvih radova sprovedena je u Americi i nakon samo nekoliko sprovedenih studija do 1980. godine, došlo je do većeg broja studija objavljenih tokom 1990-ih godina. Danas je na temu pesticida objavljen ogroman broj radova kako zbog brzog razvoja instrumentalnih tehnika za detekciju rezidua, tako i proračuna faktora procesuiranja, proračuna procene kumulativnog rizika, kao i interesovanja na temu aplikacije pesticida i uticaja primene, kao i posledica dejstva pesticida na ljudsko zdravlje.

ULOGA PESTICIDA U POLJOPRIVREDI

Poljoprivredna proizvodnja je značajno porasla od početka XX veka kako bi se izborila sa demografskim rastom. Proizvodnja pesticida širom sveta je porasla po stopi od oko 11% godišnje, sa 0,2 miliona tona 1950. godine na više od 5 miliona tona do 2000. godine. U toku 2022. godine ukupna upotreba u poljoprivredi bila je 3,70 miliona tona (Mt) aktivnih sastojaka, što predstavlja povećanje od 4% u odnosu na 2021, a povećanje od 13% za deceniju i udvostručenje od 1990 (FAOSTAT, 2022). U Evropi je upotreba pesticida u poljoprivredi smanjena sa 513 kt u 2021. na 480 kt u 2022. (-7%). Evropa je imala najmanji udeo upotrebe pesticida dobijenih od insekticida (13%), zbog stroge evropske zajedničke poljoprivredne politike (Alaoui i sar., 2024), koja prati i kontroliše upotrebu pesticida. Smanjenje može takođe proizaći iz povećane potražnje za organskim proizvodima (ili niskim sadržajem pesticida). Uključujući unutarregionalnu trgovinu, evropske zemlje su uvezle 1,27 Mt pesticida u proseku godišnje između 1990. i 2022. Upotreba pesticida u regionu po površini obradive zemlje bila je 1,66 kg/ha 2022. godine, što je ispod svetskog proseka. Tokom čitavog perioda, primena pesticida u Evropi bila je nešto iznad svetskog proseka po hektaru (1,59 kg/ha) i po osobi (0,65 kg/stanovniku). Za povrće i voće, ključna briga potrošača je nivo pesticida koji se nalazi u ovoj hrani. Količine pesticida u tragovima, poznati kao ostaci pesticida, odnosno rezidue mogu ostati u ili na povrću i voću nakon njegove primene na usevima. U određenim slučajevima, dugotrajno konzumiranje hrane izložene pesticidima može dovesti do raka i uzrokovati oštećenje reproduktivnog, imunološkog i nervnog sistema (Colnot i sar., 2017). Iako ostaci pesticida imaju tendenciju da se njihova koncentracije smanjuje tokom vremena kako se povrće i voće pere ili prerađuje, trebalo bi dobrom poljoprivrednom praksom obezbediti da količina rezidua pesticida bude ispod onoga što nazivamo maksimalnim dozvoljena granicama ostataka (MRL).

ZABRINUSTOST JAVNOG ZDRAVLJA OD IZLOŽENOSTI PESTICIDIMA

Da bismo razumeli vezu između bolesti i zdravlja, neophodno je analizirati interakcije između organizama i životne sredine. Pesticidi vode do proizvodnje reaktivnih kiseoničnih vrsta, koje smanjuju nivo antioksidanasa i njihovu sposobnost da zaštite ćelije od oksidativnog oštećenja. Tako, npr. zbog velike potrošnje kafe, i proizvođači i potrošači mogu biti izloženi zdravstvenim rizicima zbog pesticida u kafi, pa treba obratiti pažnju na bezbednost kafe. Rezultati su pokazali da 87% poljoprivrednika ne stavlja maske ili rukavice kada prska useve kafe pesticidima (Merhi i sar., 2022). Jedan od najčešćih kontaminenata kafe je dinotefuran, insekticid iz klase neonikotinoida, njegov mehanizam delovanja uključuje poremećaj nervnog sistema insekata inhibiranjem nikotinskih acetilholinskih receptora. Dinotefuran se takođe koristi u veterinarskoj medicini kao preventiva protiv buva i krpelja za pse i kao preventiva protiv buva za mačke.

Koristi se u kombinaciji sa piriproksifenom i/ili permetrinom. Sa druge strane, neke države članice EU izrazile su zabrinutost u vezi sa bezbednošću konzumiranja kofeina u opštoj populaciji i u određenim grupama, kao što su odrasli koji obavljaju fizičku aktivnost, i pojedinci koji konzumiraju kofein zajedno sa alkoholom ili supstancama koje se nalaze u energetske napicima. Evropska komisija je odgovorila tražeći od EFSA da proceni bezbednost kofeina. Evropska agencija za bezbednost hrane (EFSA) je zaključila da za odraslu zdravu populaciju i starije osobe, pojedinačna doza kofeina ne treba da pređe 200 mg (otprilike 2,5 šoljice espressa ili 4 šolje čaja), s druge strane navodi se da se pri dnevnom unosu od 400 mg ne očekuju negativni efekti po zdravlje pojedinca. Veće količine kofeina imaju negativan uticaj na kardiovaskularne bolesnike, što govori da jedini izvor problema nisu pesticidi već i pravilna ishrana.

STRATEGIJE USMERENE NA ZAŠTITU LJUDSKOG ZDRAVLJA I ŽIVOTNE SREDINE OD IZLOŽENOSTI PESTICIDIMA

Ubrzo nakon početka upotrebe sintetičkih hemikalija, shvaćeno je da primena pesticida za zaštitu useva izaziva kontaminaciju ne samo na lokalnom nivou već i na globalnom nivou (Carvalho, 2017). Najveće kontaminacije kada je u pitanju životna sredina i hrana su svakako bile od korišćenja DDT, koji se primenjivao na useve, nakon čega se transportovao i u vodenim sredinama, gde se brzo metaboliše u DDE i bioakumulira u vodenim lancima ishrane, a zatim se na kraju vraća ljudima. Perzistentna i bioakumulativna hemijska jedinjenja, kao što su DDT, HCH, toksafen, aldrin i dieldrin, bila su zabranjena Stokholmskom konvencijom, usvojenom 2002. godine, i zamenjena su ekološki prihvatljivim i manje bioakumulativnim hemikalijama. Danas, ova jedinjenja i dalje nalazimo u delovima životne sredine kao nasleđe prošlih primena. U skorije vreme, uvedeni i razgrađiviji pesticidi, kao što su hlorspirifos, paration, izoproturon i metroprop, koji se često se detektuju i u rečnim vodama (Carvalho, 2017). Ostaci ovih novih hemikalija pokazuju suprotan trend koncentracije u površinskim vodama, pri čemu koncentracije često rastu tokom godina, kao što je slučaj sa glifosatom. Praćenje kvaliteta vode je podvrgnuto strožoj kontroli u skladu sa Okvirnom direktivom EU o vodama (Direktiva 2000/60/EZ Evropskog parlamenta i Saveta) koja je zahtevala da koncentracija svakog zagađivača bude ispod 1 µg/l.

Značaj kontrole kontaminacije vodnih sistema prevazilazi neposrednu potrebu za vodom kvalitetnom za ljudsku upotrebu. Toksični ostaci u vodenim sistemima mogu eliminisati vodene vrste, smanjiti biodiverzitet i ugroziti funkcionisanje ekosistema. Uložen je veliki istraživački napor u vodnoj toksikologiji kako bi se razumeli mehanizmi bioakumulacije i definisali nivoi toksičnosti za vrste odabrane kao reprezentativne (biljke, rakovi, ribe) i razradile smernice za kontrolu zagađenja u okviru tolerantnih granica. Međutim, toksične supstance čak i u veoma niskim koncentracijama uvek se biokoncentrišu i mogu delovati na osetljive vrste ili stadijume biote, narušavajući zdravo funkcionisanje ekosistema

i ugrožavajući njihove usluge. Moramo da naučimo lekcije iz prošlosti i, poželjno je, da se ovaj krug pokušaja i grešaka prekine. Moglo bi se uvesti nekoliko mera kako bi se bolje ublažili novi kolateralni efekti u međuvremenu. Na primer, uvođenje precizne primene agrohemikalija (kao i preciznog navodnjavanja), moglo bi smanjiti količinu hemikalija (i vode) koje se primenjuju na poljima. Neke druge jednostavne mere bi se takođe mogle odmah primeniti svuda, kao što su: a) oporavak i tretman kontaminiranog poljoprivrednog otpada i odvodnjavanje vode; b) jačanje edukacije poljoprivrednika i javnosti uopšte o hemijskim opasnostima; i c) temeljno testiranje toksičnosti i pravilna registracija hemikalija i formulacija (Carvalho, 2017). U međuvremenu, trebalo bi da gledamo dalje od sadašnjeg vremena za održiva rešenja. Postoji inicijative da je potrebno intenzivirati istraživanje o boljoj proizvodnji hrane i proizvodnji hrane boljeg kvaliteta. Štaviše, prepoznato je da je produktivno zemljište ograničen resurs (kao i voda) i, da bi se osigurala kontinuirana proizvodnja hrane, poljoprivreda mora ići uporedo sa očuvanjem zemljišta i ekosistema, obnavljanjem i agronomskim istraživanjima kultura sa boljim prinosima. Svest o hemijskim ostacima u hrani stvorila je potražnju za „čistom hranom”, pa je stoga potrebno više hrane koja je pre svega bezbedna.

PESTICIDI U HRANI

EU baza podataka sadrži podatke o aktivnim supstancama koje se koriste u proizvodima za zaštitu bilja i maksimalnim nivoima ostataka (MRL, odnosno MDK) odobrenim u EU. Sve namirnice namenjene za ishranu ljudi ili životinja u Evropskoj uniji (EU) podležu kontroli prema definisanim vrednostima maksimalnom nivou ostataka (MRL) pesticida u svom sastavu kako bi se zaštitilo zdravlje životinja i ljudi. Uredba objedinjuje i usklađuje u jednom tekstu ograničenja koja se primenjuju na različite proizvode za ishranu ljudi ili životinja i, pored toga, utvrđuje maksimalno ograničenje koje se primenjuje podrazumevano. Evropskom regulativom Regulation (EC) No 396/2005 uspostavljaju se MDK vrednosti rezidua pesticida koje se preuzimaju na taj način uspostavlja regulativa, Pravilnik, kontrola i monitoring u Republici Srbiji. Takođe, za građane Evropske unije razijen je Sistem brzog upozoravanja za hranu i stočnu hranu (RASFF), kojim se građani obaveštavaju o tome koje namirnice, iz kog razloga i u kojoj meri su neispravne i štetne. Stručnjaci koji se bave ispitivanjem i kontrolom zdravstvene ispravnosti namirnica, smatraju da je pojam apsolutno zdrave i nekontaminirane hrane nerealan. Ne postoji tzv. pojam nultog rizika od kontaminenata u hrani. Ono što je tendencija širom sveta, je da se primenom savremenih naučnih metoda prepoznaju određeni rizici i svedu na najmanju moguću meru. Na sve ove probleme, pitanja koja se postavljaju je šta dalje i kako smanjiti kontaminaciju hrane. Jedna od opcija bi mogla biti nastavak puta intenzivne upotrebe formulacija pesticida, uz pomoćna istraživanja za proizvodnju selektivnijih pesticida i poboljšane tehnike primene. Dok druge alternativne opcije

uključuju upotrebu genetski modifikovanih organizama za bolje prinose useva i useva otpornih na štetočine, organsku poljoprivredu, razvoj novih kultivara i oporavak starih kultivara, povećanu upotrebu bio-pesticida i feromonskih zamki za suzbijanje štetočina, a jedna od najnovijih alternativa sveučestalija i modernija je promena prehrambenih navika ljudske populacije. Sprovođenje ovih mera može značajno doprineti unapređenju održive poljoprivrede smanjenjem zavisnosti od pesticida i promovisanjem ekološke ravnoteže. Teško je kvantifikovati učinke hrane koja sadržava hemikalije na nivou toksičnih količina. Studije bolesti koje se prenose hranom često sadrže manje brojčanih podataka o slučajevima oboljenja ili smrti uzrokovanim hemijskim opasnostima, nego o infekcijama koje se prenose hranom. To bi mogao biti slučaj zbog činjenice da šteta koju brojne hemijske opasnosti izazivaju postaje očita tek nakon dugog razdoblja, pa se u mnogim slučajevima vidljive samo posljedice njihovog međudelovanja, odnosno kumulativnog učinka na naše telo. Stoga su samoinicijativne pritužbe o određenom proizvodu na tržištu u kojem se prekoračuju ograničenja u pogledu toksičnosti relativno retke. Ključnu ulogu u Evropi ima telo za uzbuđivanje i obaveštavanje potrošača, RASFF jer građani smatraju da je upotreba pesticida, antibiotika i aditiva u proizvodnji hrane pitanje koje izaziva najveću zabrinutost. U nedavnoj studiji koju je naručila agencija EFSA utvrđeno je da je 86% ispitanika bilo veoma ili prilično zabrinuto zbog upotrebe takvih supstanci u proizvodnji hrane.

Obradom rezultata od ukupno 529 uzoraka sa 11 ispitanih lokacija, 10 u Evropi i 1 u Argentini, i raspoređenih na sledeći način: 215 uzoraka zemljišta, 100 uzoraka useva, 64 uzoraka vode i 38 uzoraka sedimenta (Alaoui i sar., 2024) utvrđena je učestalost pojavljivanja pesticida. Ispitivanje supstanci u 4 matriksa pokazuje da su preko dvadeset rangiranih supstanci (metalaxyl-M, azoxystrobin, tebuconazole, difenoconazole, fluopyram, fluopicolide, boscalid, lambda-cyhalothrin, chlorpyrifos, zoxystrobin, diflufenican, dimethomorph, fludioxonil, fluopicolide, glyphosate, mandipropamid, spiroxamine, terbuthylazine, AMPA, acetamiprid, DDT pp, dieldrin, hexachlorobenzene, atrazine, lindane gamma, prosulfocarb, bixafen, zoxamide, epoxiconazole, terbuthylazine desethyl, permethrin, deltamethrin, bifenthrin, cypermethrin, metolachlor S, i metolachlor) navedeni oni koji se u svim matriksima najviše detektuju. Fungicidi su imali mnogo veće stope pojavljivanja nego insekticidi i herbicidi u zemljištu, usevima i sedimentu. Što se tiče vode, insekticidi su imali najveću učestalost od navedenih supstanci. Fungicidi se uglavnom koriste u poljoprivredi, čineći oko 35% globalnog tržišnog udela za pesticide. Smatra se da je Evropa vodeće tržište za fungicide, koji se uglavnom koriste na povrću, voću (posebno u vinogradarstvu), žitaricama i žitaricama. Štaviše, fungicidi su nisko do umereno perzistentni u vodi (srednje vreme disipacije 50% (DT50): 5 dana; takođe se naziva vreme poluraspada, i umereno do visoko perzistentni u zemljištu (DT50: 54 dana). Kada se uzme u obzir kumulativna učestalost upotrebe, fungicidi su bili najviše korišćeni u višegodišnjim usevima (jabuka, kruška, vinova loza, trešnja, jagode, šljive i masline),

a insekticidi su uglavnom korišćeni za povrtarske kulture (paprika, krompir, kupus), dok su herbicidi češće korišćeni u ratarskim usevima. Broj supstanci izmeren iznad LOD bio je konstantno veći u uzorcima zemljišta i useva sa konvencionalnih polja u poređenju sa uzorcima zemljišta sa organskih polja (Alaoui i sar, 2024).

Na kraju, važno je naglasiti da se hemijske opasnosti mogu se pojaviti u bilo kojem delu lanca proizvodnje i transporta hrane. Hrana može biti izložena toksičnim hemikalijama na više načina, među kojima su osim poljoprivredne prakse, i industrijski procesi, neprikladno skladištenje, zagađena životna sredina i prirodni toksini.

ZAKLJUČAK

U nauci i poljoprivredi se i dalje razmatraju strategije i predlažu pravci istraživanja u cilju smanjenja štetnih efekata pesticida na ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Posebna pažnja se posvećuje organofosfatnim pesticidima, kao široko primenjenim insekticidima u poljoprivredi, veterinarskoj praksi i urbanim područjima. Unapređenje bezbednosti je izuzetno kompleksan problem, jer su neophodna odgovarajuća teorijska i praktična znanja, pouzdane informacije o hrani i ishrani u sadašnjosti i planiranje u budućnosti, kao i kriterijumima osnovu kojih se zasniva kontrola kvaliteta. Naravno da je važan preduslov i obezbediti odgovarajuće uslove za rad. Ako se sve to obezbedi, postoji mogućnost da se kvalitet ishrane poboljša. Svakako, Srbija u budućnosti mora i dalje preuzimati mere za još potpunijim uvođenjem i implementacijom svih standarda kvaliteta koji su od važnosti (preuzetih iz Evropske unije), što je obaveza svih struktura društva i institucija, kao i pojedinaca.

ZAHVALNICA

„Studiju je finansiralo Ministarstvo za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-136/2025-03/ 200030).”

LITERATURA

1. Alaoui, A., Christ, F., Abrantes, N., Silva, V., González, N., Gai, L., Harkes, P., Navarro, I., Torre, A., Martínez, M. A., Norgaard, T., Vested, A., Schlünssen, V., Aparicio, V. C., Campos, I., Pasković, I., Pasković, M. P., Glavan, M., Ritsema, C., & Geissen, V. (2024). Assessing pesticide residue occurrence and risks in the environment across Europe and Argentina. *Environmental Pollution*, 343, 125056. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125056>
2. Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
3. Colnot, T., & Dekant, W. (2017). Approaches for grouping of pesticides into cumulative assessment groups for risk assessment of pesticide residues in food. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 83, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.12.004>
4. Đurović, R. (2011). Proces koji određuje sudbinu pesticide u zemljištu. *Pesticidi i Fitomedicina (Belgrade)*, 26(1), 9–22. <https://doi.org/10.2298/PIF1101009D>
5. European Food Safety Authority. (n.d.). *EFSA explains risk assessment*. https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate_publications/files/efsaexplainscaffeine150527.pdf

6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *Pesticides use and trade 1990–2022*(FAOSTAT Analytical Brief No. 89). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
7. Jugović, Z., Pecarski, D., Jordović, B., & Bugunović, M. (2017, December 14). *Food safety*. In *Food Safety and Health: 1st Conference with International Participation*, Čačak, Serbia. https://www.npao.ni.ac.rs/files/1878/Zbornik_Bezbednost_hrane_edace.pdf
8. Kaur, R., Mavi, G. K., & Raghav, S. (2019). Pesticides classification and its impact on environment. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 1889–1897. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.224>
9. Leskovic, A., & Petrović, S. (2023). Pesticide use and degradation strategies: Food safety, challenges and perspectives. *Foods*, 12(2709). <https://doi.org/10.3390/foods12142709>
10. Merhi, A., Kordahi, R., & Hassan, H. F. (2022). A review on the pesticides in coffee: Usage, health effects, detection, and mitigation. *Frontiers in Public Health*, 10, 1004570. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1004570>