

STRATEGIJA KONTROLISANOG OTPUŠTANJA AGROHEMIKALIJA PRIMENOM POLIMERNIH MATERIJALA

Ljiljana Tanasić^{1*}, Vesna Teofilović², Vojislav Tomić¹, Nemanja Stošić¹, Jelena Tanasić²

¹Akademija strukovnih studija Šabac, Odsek za poljoprivredno-poslovne studije i turizam,
Dobropoljska, 15 000 Šabac, Srbija, ljiljana3101@gmail.com

²Univerzitet Novi Sad, Tehnološki Fakultet, Bulevar cara Lazara 1, 21 000 Novi Sad, Srbija

ABSTRAKT

Kontinuirano povećanje poljoprivredne proizvodnje sa primenom agrotehničkih mera doveli su do negativnih posledica po životnu sredinu i čoveka. Nepravilno i nekontrolisano korišćenje agrohemikalija u poljoprivredi je jedan od osnovnih činilaca koji negativno utiču na stanje kvaliteta životne sredine. Kako bi se izbeglo nepotrebno zagađenje zemljišta i poljoprivrednih kultura tokom poljoprivredne proizvodnje, a da se pri tome primeni zaštita bilja od bolesti i štetočina, kao i snabdevanje biljaka nutrijentima potrebnim za rast i razvoj, neophodna je kontrolisana primena agrohemikalija. Jedan od načina kontrolisanog otpuštanja agrohemikalija je primena specifičnih polimernih materijala koji se koriste kao nosači aktivne supstance. Biološka i hemijska svojstva agrohemikalija i njihove fizičko-hemijske interakcije utiču na izbor pogodnog sistema za sporo ili kontrolisano otpuštanje. Polimeri koji se najčešće koriste za kapsuliranje agrohemikalija su gelovi na bazi akrilamida. Ostali korišćeni polimeri su polietilen, prirodna guma, polisaharidi i materijali na bazi celuloze, kopolimeri estra VC-akrilne kiseline i kopolimeri ciklopentadiena sa gliceril estrima nezasićene masne kiseline. Kao nosači za kontrolisano oslobađanje agrohemikalija koristili su se materijali na bazi sintetskih polimera. Dug period razgradnje sintetskih polimera, uticao je na to da se istraživači okrenu ka razvoju biorazgradivih polimernih kompozita za kontrolisano oslobađanje agrohemikalija.

Cljučne reči: kontrolisano otpuštanje, agrohemikalije, polimerni materijali, poljoprivreda.

KONCEPT ODRŽIVE AGROEKOLOGIJE

Čovek je u poslednjih 50 godina promenio ekosisteme više nego u bilo kom periodu tokom istorije. Najveći uzroci ovih promena su sve veća potreba za hranom, vodom i prirodnim resursima. Ovo je samo još jedan dokaz o imperativu očuvanja resursa u narednim godinama

U zoni povećanog rizika trenutno se očekivano nalaze klimatske promene i promene načina korišćenja zemljišta. Biogeohemijski procesi su radikalno promenjeni pod ljudskim delovanjem u industriji i poljoprivredi. Zbog preteranog ili neadekvatnog korišćenja hemijskih proizvoda, oni često završavaju u vodenim ekosistemima u kojima ugrožavaju normalno funkcinisanje živog sveta. Stoga je ovaj planetarni limit premašen u velikoj meri. Pored toga, znatno je premašen i limit integriteta biosphere.

Većina ekoloških problema se pripisivala prekomernoj eksploataciji prirodnih resursa u funkciji ekonomskog razvoja, koji je uglavnom bio ograničen na industrijske zemlje sveta. Stoga, mnoge zemlje u razvoju su smatrale da je zaštita životne sredine luksuz koji se treba rešavati kada se prevaziđu izazovi razvoja. Međutim, došlo se do saznanja o negativnim uticajima ljudskih aktivnosti na životnu sredinu, tako da problemi sa životnom sredinom nisu samo rezultat neodrživih razvojnih inicijativa, već i brzog rasta stanovništva i siromaštva, koji prisiljavaju ruralne poljoprivrednike da napuste praksu kontrolisanog upravljanja resursima, već da ih maksimalno koriste. Ova percepcija je dovela do ideje o neraskidivoj vezi između degradacije životne sredine i širih aspekata društvenog i ekonomskog razvoja (Nwokoro, Chima, 2017). Ljudsko društvo je od svog postojanja izloženo mnogobrojnim problemima, kao što su siromaštvo, eksploatacija i zagađenje životne sredine,

ekonomski i politički sukobi, religijska netrpeljivost, što je dovelo do smanjenja svake vrste bezbednosti ljudi na planeti Zemlji. Zbog toga je savremeni svet suočen sa potrebom globalne, zajedničke odgovornosti za razvoj u skladu sa potrebama ljudi i prirode, i shvatanjem da se planeta Zemlja mora očuvati kako za sadašnje, tako i za buduće generacije na prihvatljiv način (Beriša, Jonev, Ćiraković, 2017).

Danas je društvo suočeno s činjenicom da prilikom zadovoljenja svojih potreba i razvoja, treba da vodi računa o očuvanju resursa i prirodnoj ravnoteži kako bi sačuvala uslove za opstanak i razvoj budućih generacija. U svetu se sve više javlja potreba za rešavanjem ekoloških problema i zaštite ekološkog balansa, u cilju očuvanja uslova ljudskog života. S obzirom na sve učestalije klimatske promene, kao i posledice tih promena, gubitke ljudskih života, kao i velika materijalna razaranja, ali i zagađenja ukupne čovekove okoline i života u njoj, čovečanstvo se suočava sa novim izazovima. Oni se ogledaju pre svega u sve većem broju opasnosti generisanih razvojem i primenom novih tehnika i tehnologija, a time i novim pretnjama koje su posledica neprimenjivanja bezbednosnih standarda i procedura u ekološkoj bezbednosti i zaštiti (Beriša, Jegeš, Slavković, 2015).

SAVREMENA POLJOPRIVREDA

Poljoprivreda ima značajan doprinos za zdravlje, ishranu i ekonomski razvoj stanovništva na Zemlji. Uvođenje kvalitetnog semena, primena đubriva i pesticida, kao i naprednih poljoprivrednih tehnika, dovelo je do povećanja prinosa. Međutim, prekomerna upotreba pesticida i drugih agrohemikalija dovodi do erozije tla, zasićenja i poplave jako navodnjavanog tla, iscrpljivanja, krčenja šuma i zagađenja životne sredine (Roy, Singh, Bajpai, Bajpai, 2014).

Glavne prakse gajenja, žetve i prerade u poljoprivredi vidljivo su postignute korišćenjem prirodnih resursa, poput vode i tla, u kombinaciji s prekomernom upotrebom agrohemijskih preparata. Zahtevi za pitkom vodom, kao i sve veći troškovi proizvodnje agrohemikalija s pravom su ukazali na ove neodržive prakse (Milani, 2017).

Zemljišta pod prirodnom vegetacijom (npr. neometana šuma) obično imaju nisku gustinu i visoku zasićenu hidrauličku vodljivost, ukupnu poroznost i makro poroznost, kao rezultat obilnog pokrivača otpada, organskih unosa, rasta korijena i propadanja (Dugonjić, 2015). Suprotno tome, zemljišta izložena ljudskom uticaju često su osiromašena u gornjim horizontima bogatim organskim resursima i zbijena pod teškom opremom ili stokom.

Razvoj tehnologije i nauke o materijalima doprineo je poboljšanju uslova tla, usvajanju hranjivih materija i upravljanja vodama. Održiva poljoprivreda ili agroekologija je način proizvodnje koji je baziran na korišćenju prirode za proizvodnju hrane bez oštećenja resursa. Važan fokus u poljoprivredi je zadovoljavanje prehrambenih potreba biljaka, koje se kreću od makronutrijena (N, P, K, Ca, Mg, S) do mikronutrijena (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni i Zn). Ti hranjivi sastojci često nisu u prirodnom okruženju dostupni u dovoljnim količinama, tako da je neophodno potpomoći rast poljoprivrednih biljaka uz pomoć agrohemikalija poput đubriva i pesticida.

S druge strane, kako se znanje o životnom ciklusu agrohemijskih preparata povećavalo, porasla je zabrinutost zbog toga kako pojedini hemijski proizvodi imaju nepoželjni uticaj na životnu sredinu, uključujući procese bioakumulacije u hrani i potencijalnu kontaminaciju susjednih ekosistema.

Razvoj polimernih nosača agrohemikalija, koji imaju kontrolirano otpuštanje samo potrebnih količina željenih hranjivih sastojaka ili aktivnih komponenata pesticida tako da nema nepotrebnog kontaminiranja tla prevelikom količinom agrohemikalija je doveo do novog i drugačijeg pristupa rešavanju problema zagađenja zemljišta i eko sistema agrohemikalijama.

UPOTREBA POLIMERNIH MATERIJALA

Konvencionalne hemikalije stvaraju problem kontaminacije životne sredine i ugradnje u lanac ishrane. Postojaniji pesticidi kroz biljku, zemljište i vodu imaju izraženo negativno dejstvo na zdravlje ljudi, dok oni manje postojani zahtevaju višestruku primenu, manjih doza, što takođe ima posledicu zbog dugotrajne izloženosti operatera štetnom delovanju hemikalija, kao i visoke troškove primene. U prevazilaženju ovih problema značaj imaju polimeri koji kao noseću grupu sadrže pesticidi. Oni se dobijaju hemijskim vezivanjem pesticida (kao što je 2,4-dihlorfenoksiacetna

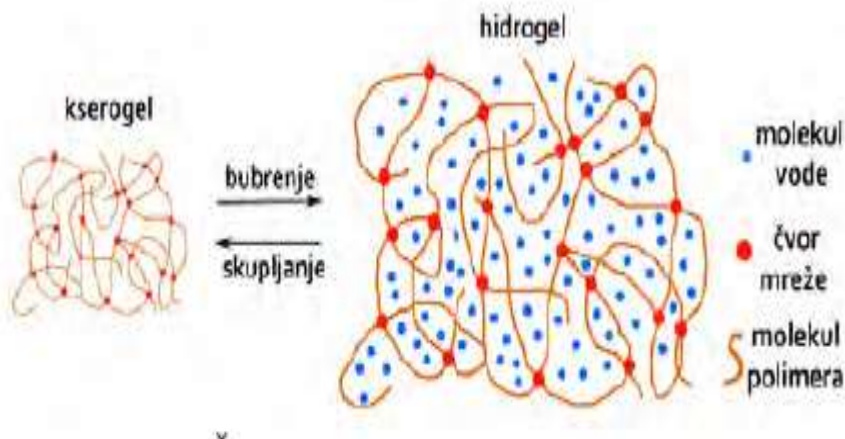
kiselina) za poliamide, poliureu ili poliestre polimernog lanca. Tehnikom inkapsuliranja aktivne komponente pesticida u biorazgradive mikrosfere dobija se formulacija koja kontrolisanim oslobađanjem štiti preprat (pesticide, veštačko đubrivo) od isparavanja i fotodegradacije, smanjujući štetne efekte na okolinu. Ove mikrosfere se dobijaju postupkom isparavanja rastvarača nakon emulzione polimerizacije (Elbahri, Taverdet, 2005).

Umreženi polimeri su odgovorili brojnim zahtevima savremene agroindustrije, kao što je kontrolisana dostava agrohemikalija, odražavanje vlažnosti zemljišta, uklanjanje jona teških metala itd. Naročito značaj imaju hidrogelovi koji predstavljaju trodimenzionalne polimerne mreže koje apsorbiraju vodu, ali se u njoj ne rastvaraju. Ovakve strukture se mogu dobiti hemijskim umrežavanjem – stvaranjem kovalentnih veza ili fizičkim umrežavanjem – formiranjem slabih veza kao što su vodonične, Van der Valsove, jonske veze i hidrofobne interakcije (Ullah, Othman, Javed, Ahmad, Akil, 2015).

Hidrogel je, u suštini, dvokomponentni sistem koji čini hidrofilna polimerna mreža (kserogel) i apsorbirana voda (do 90% mase hidrogela). Poslednjih pet decenija intenzivno se izučavaju hidrogelovi koji menjaju svoja svojstva kao odgovor na spoljne stimulanse kao što su pH, jonska jačina rastvora, temperatura, svetlost, električno polje, magnetno polje, pritisak. Oni nose epitet inteligentnih mekih materijala, jer promenom svojih svojstava impliciraju promene parametara sredine u kojoj se nalaze .

Na Slici 1 dat je šematski prikaz procesa bubrenja hidrogela (Vukić i sar., 2020). Ovakva svojstva, kao i činjenica da se na jednostavan način, izborom sastava reakcione smeše i uslova sinteze, može uticati na njihovu morfologiju, stepen apsorpcije, ali i kontrolisati ponašanje u odgovarajućem medijumu.

Zbog posebnih fizičkih i kemijskih svojstava hidrogela, kao što su: fleksibilnost, sposobnost bubrenja, mekoća i biokompatibilnost, sve je veći istraživački interes za sintezu hidrogela, razvijanje njegovih svojstava, a samim tim i povećanje primjene u različitim oblastima (Tanasić, 2017).



Slika 1. Šematski prikaz bubrenja hidrogela
Fig. 1. Schematic representation of hydrogel swelling

Biopolimeri se najčešće koriste u kombinaciji sa sintetskim hidrofilnim polimerima ili polimernim mrežama gradeći hibridne mreže, jer sami teško mogu da odgovore zahtevima kojima uspešno odgovaraju sintetski akrilatni hidrogelovi, koji imaju najveću primenu. Akrilatni hidrogelovi su polielektrolitnog karaktera koji potiče od jonizujućih grupa njihovih sastavnih jedinica. To ih čini pH-osetljivim, odnosno sposobnim da reaguju na promene pH vrednosti sredine povećanjem, odnosno smanjenjem stepena bubrenja. U sastav ovih hidrogelova ulaze akrilamid i/ili akrilna kiselina i bisakrilamidni umreživač. U zavisnosti od odnosa reakcionih komponenti i gustine umreženja mogu apsorbirati i do 1000 puta veću masu vode, nego što je masa same polimerne

mreže. Ovakvi hidrogelovi se nazivaju superapsorbujućim. Hidrogelovi na osnovu akrilamida i akrilne kiseline poseduju i katjonske i anjonske grupe, što ih čini pogodnim za primenu u vidu sistema za kontrolisanu dostavu agrohemičija, nutrijenata i vode biljnim usevima, odnosno održavanje vlažnosti zemljišta (Erceg, 2019). Variranjem odnosa monomera, inicijatora i umreživača, ali i metode sinteze kontroliše se njihovo bubrenje u odgovarajućem medijumu (Erceg, 2019). Ovi materijali su već četiri decenije prisutni u poljoprivredi. U ove svrhe primenjuju se uglavnom u vidu granula.

POLIMERNI SUPERAPSORBENTI

Polimerni materijali se primenjuju u različitim strukturnim formama, kao neumreženi polimeri, hidrofilne i hidrofobne polimerne mreže, modifikovani, funkcionalizovani i unapređeni u cilju postizanja odgovarajućeg svojstva značajnog za primenu u agroindustriji. Proizvodi na osnovu polimernih materijala koji imaju primenu u poljoprivredi podrazumevaju filmove, superapsorbujuće granule, sisteme za inkapsulaciju pesticida i nutrijenata itd.

Superapsorbentni polimeri su materijali koji mogu da zadrže velike količine vode i održavaju svoj oblik. Superapsorbentni polimeri se mogu klasifikovati kao sintetički (na hemijskoj bazi) ili prirodni (polisaharid i na bazi polipeptida); danas se SAP-ovi obično stvaraju sa akrilamidom, akrilnom kiselinom i s njima povezanim solima (Zohourian, Kabiri, 2008). Postoji mnogo SAP proizvoda dostupne na tržištu i, zbog varijabilnosti po tipu i kvalitetu, cene se kreću od 10 do 40 američkih dolara po kilogramu. Ovi materijali imaju sposobnost da povećaju dostupnu vodu biljkama i ublaže stres zbog suše i stvaranje pogodnih uslova za rast biljaka i kontrolu transporta hranljivih biljnih sastojaka i vode (Ekebaf, Ogbeifun, Okieime, 2011). Stope primene su promenljive i zavise od primene, vrsti polimera, uslova okoline, i svojstva zemljišta. Pored primene u poljoprivredi, superapsorbujući materijali imaju širok spektar primene, i tako se koriste u mnogim disciplinama, uključujući medicinu, građevinarstvo, nauku o zemljištu, proizvodnju higijenskih proizvoda (Lejcus, Spitalniak, Dąbrowska, 2018). Na primer, jedna od početnih upotreba SAP-ova bila je kao upijajući u pelenama za bebe (Zohourian, Kabiri, 2008).

Danas su razvijeni specijalizovani SAP-ovi koji odgovaraju na određene molekule, omogućavajući im upotrebu kao biosenzori i način isporuke lekova (Zohourian, Kabiri, 2008). Dodatna voda koju zadržavaju SAP-ovi može poboljšati obradivost cementne smeše i trajnost ograničavanjem skupljanja. Dalje, korišćeni su SAP-ovi za odvodnjavanje jalovine i kao sredstvo za sanaciju. Priroda SAP-ovi i inženjering nove SAP tehnologije čine oni su alat koji se može koristiti u mnogim oblastima.

DISKUSIJA

Prilikom punjenja polimera agrohemičijama treba uzeti u obzir neke fizičke, kao i hemijske procese, poput kontrole brzine otpuštanja (fizičke) i kako je hemikalija inkorporirana unutar polimerne matrice (hemijskog mehanizma), što daje razloge za izbor odgovarajućeg nosača za odabranu aktivnu supstancu (Milani, 2017). Pored toga, profil aktivnosti polimernog materijala klasifikovan je u dve grupe s sporim i kontroliranim oslobađanjem. Veštačko đubrivo sa sporim oslobađanjem odnosi se na sam mehanizam koji odgađa oslobađanje, u odnosu na kontrolisano oslobađanje koji zavisi od vrsti mehanizma za oslobađanje hranljivih materija u zemljište. Veštačko đubrivo sa kontroliranim oslobađanjem reaguje na faktore koji utiču na brzinu i obrazac zavisnosti ispuštanja (Ekebaf, Ogbeifun, Okieime, 2011). Poboljšanje recikliranja hranljivih sastojaka u poljoprivredi od suštinskog je značaja za održavanje proizvodnje hrane uz istovremeno minimiziranje zagađenja životne sredine veštačkim đubrivima.

Superapsorbentni polimeri se mogu koristiti i za sporo oslobađanje đubriva u tlu. Prilikom sinteze vrši se kombinacija grupa polivinil alkohola sa fosfornom kiselinom (H_3PO_4) putem esterifikacije. U ovom slučaju, materijal ima svojstvo ne samo da upija i zadržava vodu, već i da oslobađa fosfatno đubrivo (79% materijala za 28 dana). Mehanizam oslobađanja može se objasniti nabubrenošću hidrogelskog materijala kada je uronjen u vodu, kao što je hidroliza visećih fosfatnih

grupa polimerne mreže. Sledstveno tome, rastvorene fosfatne grupe su difundirale iz hidrogela zbog razliku gradijenta koncentracije unutar i izvan materijala.

Herbicidi se takođe koriste kao grupe zakačene na polimer. Biološka i hemijska svojstva agrohemikalija i njihove fizičko-hemijske interakcije, kao i osobine polimera, određuju izbor pogodnog sistema za sporo ili kontrolisano otpuštanje.

Čestice SAP mogu se smatrati kao "minijaturni rezervoari vode" u tlu. Voda će se iz tih rezervoara uklanjati prema potrebama korena biljaka na osnovu osmotske razlike u pritisku. Hidrogelovi deluju i kao sistemi kontrolisano oslobađanja supstanci tako što favorizuju unos nekih hranljivih sastojaka, zadržavaju ih i odlažu njihovo rastvaranje. SAP se takođe mogu koristiti i kao zadržavajući materijali u obliku semenskih aditiva, kao prevlake semena i za imobilizaciju regulatora rasta biljaka ili kontrolisano oslobađanje zaštitnih sredstava.

U poljoprivredi i šumarstvu PSA deluju kao mikro rezervoari vode u korenu biljaka. Ti hidrogelovi apsorbuju vodu (navodnjavanu ili iz okoline) 400-500 puta veću od vlastite težine i oslobađaju je postepeno direktno do korijenskog kapilara gde se usisava, tako da se voda ne gubi u tlu ispiranjem ili isparavanjem.

Upotreba SAP-a omogućava stalan ciklički proces apsorpcije i oslobađanja vode. Tako oslobođena voda može osigurati optimalnu vlagu za brzo klijanje i sazrevanje sadnica. Na taj način smanjuje se smrtnost sadnica u rasadnicima. Apsorbovanje vlage iz tla u hladnim područjima može sprečiti smrt tokom klijanja i sazrevanja, jer se apsorbovana vlaga u hidrogelovima ne smrzava i omogućuje lakši rast biljkama. Njegova upotreba može smanjiti učestalost navodnjavanja i pomoći u prevazilaženju stresa od suše. SAP može smanjiti prekomernu upotrebu veštačkih đubriva i pesticida na poljima. Hemikalije apsorbovane vodom polako se otpuštaju što produžava životni vek i iskorišćenost korenovog sistema.

Upotreba hidrogela u poljoprivredi, osim što čuva vodu, što je važno za izbegavanje stresa od suše, takođe može poboljšati kvalitet tla i povećati klijanje sjemena što dovodi do većih prinosa useva. Smanjuje učestalost navodnjavanja, dovodi vodu direktno u koren i sprečava zbijanje tla.

Uprkos povećanom razvoju materijala s kontrolisanim oslobađanjem, njihova primena je mnogo manja u poređenju s konvencionalnim agrohemikalijama zbog njihovih visokih cena izrade. Mnogo nedavnih studija bavi se primenom biorazgradivih polimernih materijala i njihovih kompozita kao materijala za kontrolisano oslobađanje agrohemikalija u tlu. U Tabeli 1 su navedeni polimeri koji se koriste za određene agrohemikalije i sisteme sa kontrolisanim oslobađanjem.

Na osnovu brjnih praćenja, otkriveni su nedostaci koje je potrebno otkloniti u cilju što efikasnijeg delovanja sistema za kontrolisano oslobađanje agrohemikalija:

- navedeni materijali prerano i brzo otpuštaju hranjive sastojke (rafalni učinak) koji mogu oštetiti biljku ili rezultirati ne oslobađanjem tokom vremena kada zasadi imaju velike potrebe za određenim aktivnim komponentama
- materijali s kontrolisanim oslobađanjem mogu uticati na kiselost tla zbog ostataka sintetičkih materijala u zemlji.
- nedostatak se može pojaviti tokom procesa razvoja materijala zbog nedostatka standardnih metoda za proveru profila otpuštanja hranjivih sastojaka iz laboratorijskih uslova u poljske uslove.

Proučavane su različite eksperimentalne procene kako bi se modelirao postupak otpuštanja. Na osnovu Fickovog zakona difuzije poznato je da se kontrolisano oslobađanje agrohemikalija reguliše debljinom nanosa i koeficijentima difuzije. Postoje razlike između brzine difuzije rastvorenog materijala i brzine prodiranja vode ili pare kroz materijal.

Table 1. Agrochemicals and polymers used for controlled-release systems

Agrochemical	Polymer
	Chitosan
Urea	Polyhydroxybutyrate (phb), ethyl cellulose
	Polyethylene, polyvinyl acetate, polyurethane, polyacrylic, polylic acid
KH ₂ PO ₄	Chitosan, gellan gum
	Chitosan
NPK	Cellulose, natural gum, rosin, waxes
	Paraffins, ester copolymers, urethane composites, epoxy, alkide resins, polyolefines,
CaH ₄ P ₂ O ₈	Chitosan
	Chitosan
KNO ₃	Chitosan-clay (montmorillonite)
	Xanthan
Paraquat ((C ₆ H ₇ N) ₂ Cl ₂)	Alginate, chitosan
Hexazinone (C ₁₂ H ₂₀ N ₄ O ₂)	Chitosan – clay
Clopyralid (C ₆ H ₃ Cl ₂ NO ₂)	(montmorillonite)
2, 4-d (C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃)	Polysaccharides
2-chloro-;4-chloro-	Cellulose, agarose, dextran, alginates, carrageenans, starch, chitosan, gelatin,
2,4,5-Trichloro- phenoxyacetates	Albumin
Validamycin (C ₂₀ H ₃₅ NO ₁₃)	Polystyrene, polyacrylamide, polymethylacrylate, polyamides, polyesters,
Bifenthrin (C ₂₃ H ₂₂ ClF ₃ O ₂)	Polyanhydrides, polyurethanes, amino resins, polycyanoacrylates
Chlorpyrifos (C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS)	
Bifenthrin (C ₂₃ H ₂₂ ClF ₃ O ₂)	
Azadirachtin (C ₃₅ H ₄₄ O ₁₆)	

ZAKLJUČAK

Održiva poljoprivreda ili agroekologija je stil proizvodnje koji se fokusira na upotrebu prirode za proizvodnju hrane bez oštećenja. Razvoj nove tehnologije i materijala doprineo je poboljšanju uslova tla, hranljivih sastojaka i upravljanja vodama. Polimeri su klasa materijala sa brojnim i svestranim mehaničkim i hemijskim svojstvima koja se mogu prilagoditi specifičnim zahtevima. Različite vrste polimera mogu se koristiti kao nosači agrohemikalija kako bi se aktivne komponente otpuštale direktno u biljku sa kontrolisanom brzinom, bez zagađenja tla. Polimeri se uglavnom koriste kao nosači đubriva i pesticida, kao i super upijači za zadržavanje vode u zemljištu. U bliskoj budućnosti neophodno je dalje razvijati biorazgradive polimere koji se mogu koristiti kao inteligentna đubriva, kao i super upijači i biosorbenti, kako bi se u potpunosti razvili ekološki prihvatljivi, tehnički, socijalno i ekonomski održivi poljoprivredni procesi sa visokim prinosom.

LITERATURA

- Beriša, H.A., Jonev, K.S., & Ćiraković, A.D. (2017). Application of the sustainability concept in the functioning of ecological security. *Tehnika*, 72(5), 765-770.
- Beriša, H., Jegeš, M., & Slavković, R. (2015). Novi bezbednosni izazovi sa aspekta ekološke zaštite. *Tehnika–kvalitet ims, standardizacija i metrologija*, 15(4), 727-734.
- Dugonjić, M., Radmanović S., Đorđević, A., Tomić, Z., Nikolić N., Tanasić Lj. (2015). Impact of Land Use on Water Characteristics of Planosols (South Mačva and Pocerina, Serbia). *Ratarstvo i Povrtarstvo*, 52(2), 52-60.
- Ekebaf, L.O., Ogbeifun, D.E., Okieime, F.E. (2011). Polymer Applications in Agriculture. *Biokemistri*, 23(2), 81 – 89,.
- Elbahri, Z., Taverdet J.L. (2005) Optimization of an herbicide release from ethylcellulose microspheres. *Polym. Bull.* 54(4-5): 353–363.
- Lejcus, K., Spitalniak, M., Dąbrowska, J. (2018). Swelling behaviour of superabsorbent polymers for soil amendment under different loads. *Polymers* 10(3), 271.
- Milani, P., França, D., Balieiro, A. G., Faez, R. (2017). Polymers and its applications in agriculture, *Polímeros*, 27(3), 256-266.
- Nwokoro, C.V., Chima, F.O. (2017). Impact of Environmental Degradation on Agricultural Production and Poverty in Rural Nigeria, *American International Journal of Contemporary Research*, 7(2), 6-14.
- Roy, A., Singh, S.K., Bajpai, J., Bajpai, A.K. (2014). Controlled pesticide release from biodegradable polymers. *Cent. Eur. J. Chem.* 12(4), 453-469.
- Tanasić, J., Aroguz, A., Pavličević, J., Radojković, m., Jovičić, M., Budinski -Simendić, J. (2017) *Primena kompozita na osnovu polimernih mreža kod adsorpcionih Sistema*, Industrijska energetika i zaštita životne sredine, Zlatibor, Serbia
- Ullah, F., Othman, M.B.H., Javed, F., Ahmad, Z., & Akil, M.H. (2015). Classification, Processing and application of hydrogels: a review. *Materials Science and Engineering C*, 57, 414-433.
- Vukić, N., Erceg, T., Ristić, I., Teofilović, V., Jovičić, M., Tanasić, Lj., Budinski-Simendić, J. (2020). *Primena savremenih polimernih materijala u agroindustriji*, XV Savetovanje o biotehnologiji, Zbornik radova Vol 1, Čačak 111-118.
- Zohourian M.M., Kabiri, K. (2008). Superabsorbent Polymer Materials: A Review, *IRANIAN POLYMER JOURNAL (ENGLISH)* 17(6), 451-447.

STRATEGY OF CONTROLLED RELEASE OF AGROCHEMICALS USING POLYMERIC MATERIALS

Ljiljana Tanasić^{1*}, Vesna Teofilović², Vojislav Tomić¹, Nemanja Stošić¹, Jelena Tanasić²

¹Academy of Professional Studies Sabac, Department of agri-business studies and tourism,
Dobropoljska 5, 15 000 Šamac, Srbija, ljiljana3101@gmail.com

²University of Novi Sad, Faculty of Technology, Bulevar cara Lazara 1, 21 000 Novi Sad,
Serbia

ABSTRACT

Continuous increase agricultural production with the application of agrotechnical means it has negative consequences on the environment and man. Improper and uncontrolled use agrochemicals in agriculture is one of the basic factors that negatively affect the state of environmental quality. To avoid unnecessary pollution of land and crops during agricultural production and to apply plant protection from diseases and pests, as well as supplying plants with nutrients that are needed for growth and development, is necessary controlled application of agrochemicals. One way of controlled release of agrochemicals is the application of specific polymeric materials that use as carriers of the active substance. The biological and chemical properties of agrochemicals and their physicochemical interactions influence the choice of a suitable system for slow or controlled release. The polymers most commonly used to encapsulate agrochemicals are acrylamide-based gels. Other polymers used are polyethylene, natural rubber, polysaccharides and cellulose-based materials, copolymers of VC-acrylic acid esters and copolymers of cyclopentadiene with glyceryl esters of unsaturated fatty acid. Originally, materials based on synthetic polymers were used as carriers for the controlled release of agrochemicals. However, the long period of degradation of synthetic polymers has led researchers to turn to the development of biodegradable polymer composites for the controlled release of agrochemicals.

Keywords: controlled release, agrochemicals, polymeric materials, agriculture.