

## PRIMENA HIDROGELOVA U SAVREMENOJ POLJOPRIVREDI

Ljiljana Tanasić<sup>1</sup>, Jelena Tanasić<sup>2</sup>, Ivan Ristić<sup>2</sup>, Nemanja Stošić<sup>1</sup>, Milan Blagojević<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Akademija strukovnih studija Šabac, Odsek za poljoprivredno-poslovne studije i turizam,  
Dobropoljska 5, 15000 Šabac, Srbija, ljiljana3101@gmail.com

<sup>2</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1, 21102 Novi  
Sad, Srbija

### SAŽETAK

Sve savremenije poljoprivredne kulture, zahtevaju sve veću količinu agrohemikalija, međutim kako savremena poljoprivredna mehanizacija ne može da odgovori ciljanoj dostavi konvencionalnih agrohemikalija, vremenom dolazi do zasićenja zemljišta. Agrohemikalije posle niza godina postaju otrov za zemljište na kojem su korišćene, a kada je zemljište već kontaminirano, teško ga je očistiti. Iz tog razloga savremena poljoprivreda se okreće kontrolisanom upotrebi agrohemikalija. U ovom radu su sintetizovani biorazgradivi hidrogelovi na bazi karboksimetilceluloze; ugljenične nanocevi MWCNT su dodate gelovima kako bi se postigla provodljivost. Svrha ovih gelova je oslobađanje određene količine agrohemikalija u zemljište u zavisnosti od sastava zemljišta, temperature i pH vrednosti. Pripremljeni hidrogelovi sa i bez dodatka MWCNT dodavani su zemljištu u količini od 1% na masu zemlje. U uzorcima su korišćene dve vrste đubriva: mikrobiološko i mineralno đubrivo. U uzorcima je meren sadržaj fosfora, kalijuma i azota; fosfor i kalijum u uzorcima određivani su UV-VIS metodom, a azot Kjeldahlovom metodom. Na ovaj način praćena je zavisnost oslobođene količine hemikalija od temperature zemljišta. Rezultati merenja su pokazali da dolazi do kontrolisanog oslobađanja đubriva iz hidrogelova, dok kod mikrobioloških đubriva dolazi do oslobađanja na početku, ali se taj proces na kraju zaustavlja, mnogo brže nego kod mineralnih đubriva.

**Ključne riječi:** Hidrogel, poljoprivreda, karboksimetilceluloza, đubriva.

### UVOD

Hidrogelovi su uglavnom strukture formirane od biopolimera i/ili polielektrolita i sadrže velike količine zarobljene vode. Pametni superupijajući hidrogelovi na bazi celuloze su nova generacija koja se proizvodi direktno od prirodne celuloze. Hidrogelovi na bazi celuloze mogu se proizvesti različitim metodama sa metil celulozom (MC), hidroksipropil celulozom (HPC), hidroksipropilmetil celulozom (HPMC) i karboksimetil celulozom (CMC). Na osnovu metode unakrsnog povezivanja, hidrogelovi se mogu podeliti na hemijske i fizičke gelove. Fizički gelovi nastaju molekularnim samosastavljanjem preko jonskih ili vodoničnih veza, dok se hemijski gelovi formiraju kovalentnim vezama.

Hidrogelovi se proizvode od sintetičkih ili prirodnih polimera (Li et al., 2014 njihova primena je diktirana različitim parametrima, kao što su metod pripreme, mehaničke, kao i strukturne karakteristike i punjenje. Uprkos značaju sintetičkih polimernih hidrogelova, prirodni polimeri imaju bolju biokompatibilnost i manje latentne toksične efekte (Shang, Shao, & Chen, 2008). tako su prirodni polimerni hidrogelovi dobili više pažnje, posebno za biomaterijale. Hidrogelovi mogu poslužiti kao skele koje obezbeđuju strukturnu celinu konstruktima tkiva, kontrolišu isporuku leka i proteina u tkiva i koriste se kao lepkovi ili barijere između površina tkiva i materijala. Glavna prednost koju pružaju hidrogelovi za aplikacije za isporuku lekova uključuje izvodljivost odloženog oslobađanja što dovodi do održavanja visokog lokalnog uticaja (Hoare, & Kohane, 2008). Među polisaharidima ugljenih hidrata, veliko interesovanje privlači celuloza, najzastupljeniji prirodni polimer glukoze. Identifikovan je kao glavni sastojak biljaka i prirodnih vlakana kao što su pamuk i lan i funkcioniše kao biokompatibilan, biorazgradiv, netoksičan, jeftin i obnovljiv materijal (Klemm, Heublein, Fink, & Bohn, 2005). Sposobnost

celuloze u smislu biorazgradnje je široko istražena, a ova pojava dovodi do smanjenja mehaničke čvrstoće kao i molekularne težine i povećanja rastvorljivosti. Odlična biokompatibilnost celuloze dovela je do studija proliferacije u smislu uređaja na bazi celuloze u biomedicinskim aplikacijama. Štaviše, u vezi sa primenom u in vivo okruženju, celuloza funkcioniše kao materijal koji je biotrajan. Kako ćelije ne uspevaju u sintezi celuloze, resorpcija celuloze ljudskog ili životinjskog tkiva nije izvodljiva. Stoga, u tom pogledu, celuloza sa inherentnim grupama hidroksila može se primeniti u proizvodnji superapsorbirajućih hidrogelova sa superiornom mehaničkom funkcijom. Nedavno se čini da su hidrogelovi na bazi celuloze, koji su svi superupijajući, sveprisutni i da su zajednički u određenim primenama. Korišćenjem ovih materijala, mogu se prevazići svi problemi sintetizovanih superapsorbirajućih hidrogelova i eventualni hidrogelovi imaju veličanstvene karakteristike (Ibrahim, El Salmawi, & Zahran, 2007). Pored navedenog, poređenje ovih proizvedenih materijala sa sintetizovanim superapsorbirajućim hidrogelovima otkriva da oni na bazi celuloze imaju savršenu otpornost na soli, besprekornu biokompatibilnost kao i biorazgradljivost, visoku brzinu upijanja rastvora i veliku čvrstoću, koja se može primeniti u različitim oblastima. Hidrogelovi na bazi celuloze spadaju među najčešće korišćene materijale zbog svojih odličnih hidrofilnih svojstava, permeabilnosti, biokompatibilnosti, visokog stepena bubrenja i niskog koeficijenta trenja u poljoprivredi (Farzamfar et al. 2018), a u oblasti biomedicine služe kao antibakterijskih materijala (Murthy, Mohan, Varaprasad, Sreedhar, & Raju, 2008) i ima glavnu funkciju u tkivnom inženjeringu, biosenzorima (Pourjavadi, Ghasemzadeh, & Soleyman, 2007) i sistemima za isporuku lekova. Pored toga, superupijajući hidrogelovi na bazi celuloze zbog svojih naprednih svojstava, od kojih su svi dobro istraženi, bili su ili komercijalno dostupni ili su u procesu razvoja. Štaviše, mnogi patenti za superupijajuće hidrogelove na bazi celuloze su odobreni za različite primene, među kojima su istaknuti tretmani vode, oprema za poljoprivredu i hortikulturu, uređaji na mestu nege (POC), biomedicinsko polje i aplikacije pametnog ponašanja koje reaguju na stimulse. Štaviše, ovi materijali se mogu smatrati apsorbentima ulja koji su otpadni i štetni, kao i merom zaštite od specifičnih jedinjenja životne sredine (Ono, Sugimoto, Shinkai, & Sada, 2007). Da bi se bacilo više svetla na ova pitanja, u okviru superapsorbirajućih hidrogelova na bazi celuloze, ocrtane su određene specifične primene ovih materijala.

Proizvodi lične higijene superupijajući hidrogelovi na bazi celuloze se široko koriste u POC proizvodima. Smanjuju vlažnost i vlagu kože, što doprinosi poboljšanju zdravlja kože i udobnosti potrošača. Predviđa se da su bezbrojne grupne brige i bolnice kao i roditelji u savremenim zemljama koristili pelene sa superupijajućim polimerima, među kojima celuloza ima mnogo prednosti. Ključno je sprečiti curenje pelena kako bi se smanjila kontaminacija fekalija u dečijim igraonicama i smanjila mogućnost širenja bolesti. Štaviše, raste interesovanje za upotrebu ovog materijala u proizvodima za odrasle inkontinencije i specijalnim pantalonama za obuku. Ovi superupijajući hidrogelovi pomažu u održavanju suve kože i sprečavaju pelenski osip. Primena u poljoprivredi Hidrogelovi na bazi celuloze izazivaju značajno interesovanje u poljoprivredi. Ovo je uglavnom zbog potrebe smanjenja potrošnje vode i optimizacije vodnih resursa u poljoprivredi i hortikulturi. Štaviše, ovi materijali su ključna strategija za stvaranje odgovarajuće metode korišćenja vode kako bi se sačuvala za budućnost. Vlažnost vode u telu Zbog inherentne biokompatibilnosti povezane sa raznovrsnim svojstvima celuloze u biomedicinskim primenama, hidrogelovi na bazi celuloze su privlačni materijali za brojne primene in vivo. Na primer, hidrogelovi se koriste kao sredstvo za uklanjanje viška vode iz tela u lečenju nekih patoloških stanja kao što su zatajenje bubrega i edemi otporni na diuretike. Funkcija hidrogela ima manji sukob sa funkcijom tela. U početku su predviđeni praškasti oblici hidrogela, a zatim oni apsorbiraju okolnu vodu kroz crevni prolaz dok je pH približno između 6 i 7. Vredi napomenuti da kiselo okruženje želuca ne utiče na ovu situaciju. Konačno, hidrogel se ekstrahuje fekalnim putem (Sannino et al., 2003). Hidrogeli na bazi celuloze za primenu u magnetnoj hipertermiji Novi materijali se mogu koristiti za promovisanje translacije medicinskih tehnologija sledeće generacije u krevetu, uključujući tehnologiju magnetne hipertermije. Vang i dr. proizveo termički kontraktilan, injekcijski i biorazgradiv materijal sastavljen od hidroksipropil metil celuloze (HPMC), polivinil alkohola (PVA) i Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> i procenio njegovu sposobnost in vitro i ek vivo studija (Wang et al., 2017).

## Primena hidrogelova u poljoprivredi

U zapadnoj Evropi svaki hektar se prska u proseku četiri puta godišnje. Vodeće žitarice (5-6 puta), povrće (8 puta), i voće koje se prskaju 12-18 puta. Neke vlade, npr. Danska i Holandija donele su mere za smanjenje upotrebe pesticida za 50%. U praksi se retko prska samo jedna vrsta pesticida, ali se radi uštede vrši višenamensko prskanje (npr. fungicidi i insekticidi). u isto vreme, za šta se meša nekoliko vrsta hemikalija. Kako izračunati periode povlačenja i tolerancije ovih štetnih „koktela“, kao i predvideti njihov uticaj na čoveka i ponašanje u ekosistemu? To je veliki zadatak za nauku; pronaći način kako ciljano i kontrolisano dostaviti agrohemikalije da budu od koristi za biljku ikao kvalitetan proizvod za čoveka, a da pri tome zemljište i voda ostanu očuvani.

Upotreba đubriva ima kritičan uticaj na sve aspekte poljoprivrede, bilo direktno ili indirektno, menjajući troškove uzgoja i relativnu profitabilnost useva. Primena đubriva sa kontrolisanim oslobađanjem omogućava da se oslobađanje hranljivih materija bolje uskladi sa životnim ciklusom biljke kako bi se povećala efikasnost uzimanja hranljivih materija od strane biljaka. Potrebe biljke za hranljivim materijama mogu se bliže zadovoljiti projektovanjem kontrolisanog oslobađanja kako bi se povećala efikasnost i smanjio rizik od predoziranja biljke, kao i kontaminacije zemljišt. Primena đubriva sa kontrolisanim oslobađanjem sprečava ispiranje đubriva iz zemlje i smanjuje troškove za poljoprivredu smanjenjem količine potrebnog đubriva i troškova rada i goriva povezanih sa ponovljenom primenom đubriva.

CMC hidrogelovi opisani se mešaju sa tečnim đubrivom, odnosno rastvrom đubriva, pri čemu apsorbuju vodu sa određenom količinom aktivnih materija (N;P;K), đubrivo sadržano u hidrogeli. Hidrogelovi se mogu osušiti kako bi se omogućilo skladištenje hidrogelnog materijala i mešanje u tlo, što materijalu daje potencijal da se koristi za upotrebu u velikim razmerama.

Pored toga, ovaj hidrogel bi mogao da posluži kao platforma za oslobađanje više jedinjenja za ciljanu isporuku na koren. Ova kontrola nad oslobađanjem đubriva je moguća zbog CMC hidrogelova koji mogu da inkapsuliraju širok spektar bioaktivnih molekula, kako hidrofobnih tako i hidrofilnih, kao što su glukoza oksidaza, aldikarb (karbamatni insekticid) i albumin goveđeg seruma. Ovaj system CMC hidrogela za kontrolisanoslobađanje đubriva ima sposobnost da isporuči kako glavne hranjive materije kao što su jedinjenja azota, fosfora i kalijuma, ali u hidrogel matricu mogu da se inkorporiraju i mali molekuli kao što su mikronutrijenti. Pored smanjenja troškova i povećanjem efikasnosti upotrebe đubriva, značajni efekti su za smanjenje zagađenja životne sredine izazvanog primenom đubriva (Bailey, Flores, Pokajam, & Sumaila, 2012).

## Materijal i priprema uzoraka

U ovom radu sintetizovani su biorazgradivi kompozitni hidrogelovi na bazi karboksimetilceluloze (NaCMC) i MWCNT ugljenične nanocevi (MWCNT) da bi se postigla provodljivost. Prilikom sinteze je korišćena natrijum-karboksimetilceluloza, molekulske mase 90000 g/mol, adipinska kiselina kao umreživač i katalizator trifluorometansulfonska kiselina (TFMSK). Sve korišćene hemikalije su od proizvođača Sigma Aldrich, Nemačka. Pripremljena su dva tipa hidrogelova, sa udelom adipinske kiseline i natrijum-karboksimetilceluloze 1:1.

U Tabeli 1 su dati udeli u uzorcima. U drugi uzorak su dodate MWCNT (1% na ukupnu masu polimera).

Tabela 1. Sastav uzoraka.

Table 1. Sample composition.

Tip uzorka	Na-CMC (mol)	Adipinska kiselina (mol)	TFMSK (mol)	MWCNT (mol)
CMC	0.01	0.01	0.0005	/
CMC/MWCNT	0.01	0.01	0.0005	0.0025

Tokom pripreme uzoraka, Na-karboksimetilceluloza se prvo rastvara u vodi, a zatim se dodaje sredstvo za umrežavanje i katalizator. Sinteza se odvija na povišenoj temperaturi do formiranja gela. MWCNT su dodati u rastvor Na-karboksimetilceluloze u vodi, dispergovane na

ultrazvučnom kupatilu, a zatim je dodata adipinska i katalizator. Ovako pripremljeni hidrogelovi su analizirani na Infracrvenoj spektroskopiji sa Fouereovom transformacijom (FTIR), na Shimadzu IRAffinity-1S uređaju. Toplotna stabilnost hidrogelova je određena diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom (DSC) na TA Instruments Q20. Merenje je rađeno pri brzini 10°C/min u interval od -20 do 220 °C. Određen je i stepen bubrenja uzoraka preko formule 1, merenje je vršeno do maksimalnog stepena bubrenja na svakih 15 minuta.

$$SR (\%) = (m - m_0) / m_0 * 100\% \quad (1)$$

*SR (%) - stepen bubrenja*

*m - masa uzorka nakon bubrenja (kg)*

*m<sub>0</sub> - masa uzorka pre bubrenja (kg)*

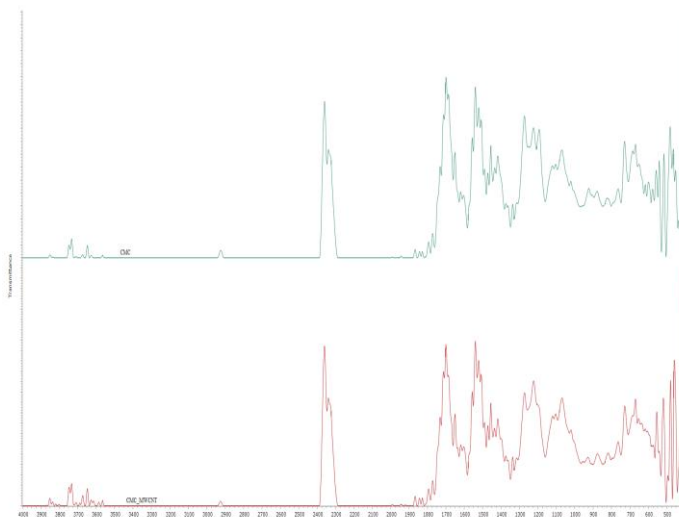
Uzorci za primenu na zemljištu su pripremljeni sa dve vrste đubriva: mikrobiološko i mineralno đubrivo. Zbog rezultata koji su dobijeni za stepen bubrenja, odlučeno je da svaki hidrogel bude nabubren sa 200 mas% rastvora đubriva u odnosu na svoju masu koje je pripremljeno po uputstvu za upotrebu koje je propisano. Zatim su uzorci osušeni u vacuum sušnici (vacuum 0,2 bar i 20°C). Pipremljeni hidrogelovi sa i bez dodatka MWCNT dodavani su zemljištu u količini od 1% na masu zemlje. U uzorcima je meren sadržaj fosfora, kalijuma i azota; fosfor i kalijum u uzorcima određivani su UV-VIS metodom, a azot Kjeldahlovom metodom. Merena je temperatura uzoraka. Na ovaj način praćena je zavisnost oslobođene količine hemikalija od temperature zemljišta.

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Ispitivanje hidrogela

#### *Infracrvena spektroskopija*

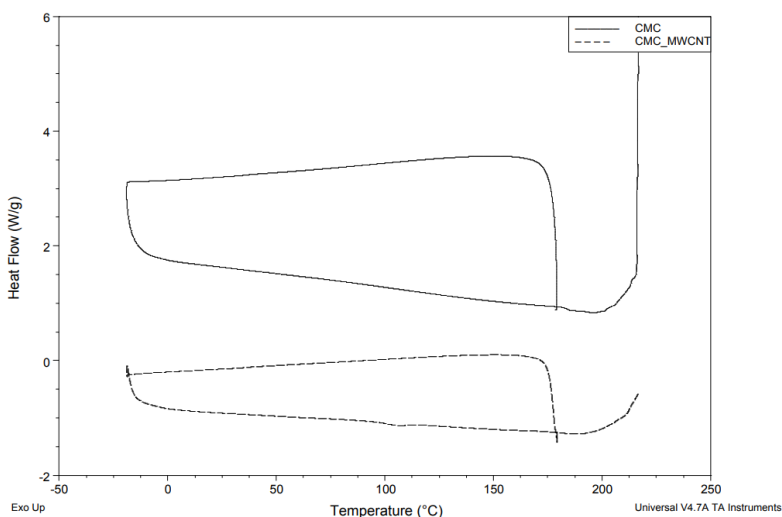
Rezultati FTIR analize, koji su prikazani na Slici 1 pokazuju da pri dodatku MWCNT ne dolazi do promene strukture sintetisanog hidrogela.



Slika 1. FTIR analiza CMC hidrogela bez i sa MWCNT.  
Figure 1. FTIR analysis of CMC hydrogel without and with MWCNTs.

#### *DSC analiza*

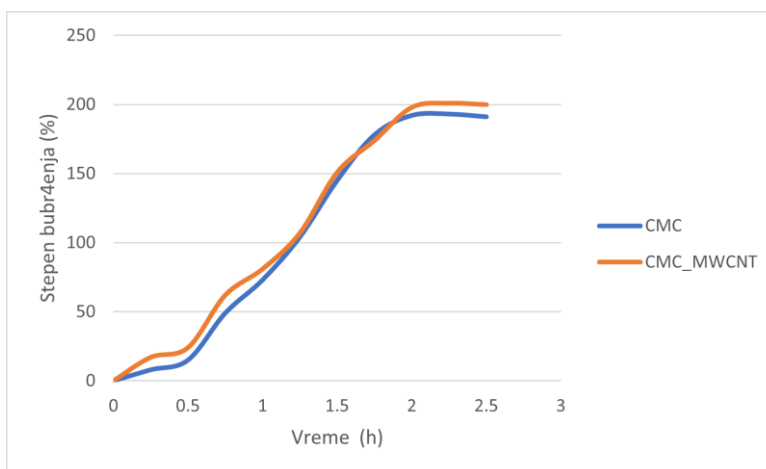
Na Slici 3 su prikazani rezultati DSC analize gde se može uočiti da su oba uzorka stabilna u opsegu primene, pošto je primena uzoraka na zemljištu, temperature primene vodimo u interval od -20 °C do 60°C, za oba hidrogela nema promena u ovom intervalu.



Slika 2. DSC analiza CMC hidrogela bez i sa MWCNT.  
Figure 2. DSC analysis of CMC hydrogel without and with MWCNTs.

### Stepen bubrenja

Na slici 4 se može uočiti da stepen bubrenja ostaje nepromenjen sa dodatkom MWCNT u uzorku. Takođe se vidi da je maksimalan stepen bubrenja nakon 2 h i on je 200%. Prema ovim rezultatima je urađen stepen bubrenja sa đubrivima.



Slika 3. Stepen bubrenja CMC hidrogela bez i sa MWCNT.  
Figure 3. Swelling degree of CMC hydrogel without and with MWCNTs.

### Aktivne komponente u mineralnim i mikrobiološkim đubrivima

Tri važne komponente u mineralnim đubrivima su azot, fosfor i kalijum, dok su u mikrobiološkim đubrivima proizvod mikrobiološkog procesa. Unošenjem mikrobioloških đubriva u zemljište utiče se na tok i usmeravanje mikrobioloških procesa što će uticati i na kvalitet zemljišta. Najpoznatija i najzastupljenija su mikrobiološka đubriva kojima se pospešuje proces simbiozne azotofiksacije. Ova đubriva sadrže sojeve simbioznih azotofiksirajućih bakterija. Bakterije formiraju kvržice u kojima se vezuje atmosferski azot i prevodi u oblike koje biljke mogu da usvajaju. Bakterije iz roda *Bacillus* i *Azotobacter* mogu sintetisati organske kiseline i

fosfataze koje će nepristupačan fosfor prevesti u biljkama pristupačnu formu. Kalijum koji je u zemljištu zarobljen u obliku alumosilikata, zahvaljujući aktivnosti bakterijama iz roda *Bacillus*, postaje pristupačan biljkama. U uzorcima je meren sadržaj fosfora, kalijuma i azota; fosfor i kalijum u uzorcima određivani su UV-VIS metodom, a azot Kjeldahlovom metodom. Kontrolisana je temperatura uzoraka.

### Rezultati merenja

U Tabelama 2-7, prikazani su rezultati oslobađanja azota, fosfora i kalijuma, iz hidrogela sa mineralnim, odnosno mikrobiološkim đubrivom.

Tabela 2. Oslobađanje mineralnog đubriva (N).

Table 2. Release of mineral fertilizer (N).

Hydrogel and fertilizer	3 dana	6 dana	9 dana	12 dana	Temperatura
CMC	8%	9%	-7%	-7%	35
CMC	8%	14%	7%	-1%	20
CMC	0%	-1%	3%	-9.5%	5
CMC /MWCNT	7,3%	10%	-6%	-5%	35
CMC /MWCNT	7,6%	13%	6%	0%	20
CMC /MWCNT	0,5%	-1%	2 %	-10%	5

Tabela 3. Oslobađanje mineralnog đubriva (P).

Table 3. Release of mineral fertilizer (P).

Hydrogel and fertilizer	3 dana	6 dana	9 dana	12 dana	Temperatura
CMC	3%	7%	-1%	-14%	35
CMC	0%	-1%	-7%	-10%	20
CMC	0%	0%	0%	-8%	5
CMC /MWCNT	4%	7%	-1%	-12%	35
CMC /MWCNT	0%	-2%	-5%	-12%	20
CMC /MWCNT	0%	-2%	0%	-5%	5

Tabela 4. Oslobađanje mineralnog đubriva (K).

Table 4. Release of mineral fertilizer (K).

Hydrogel and fertilize	3 dana	6 dana	9 dana	12 dana	Temperatura
CMC	-8%	-9%	-7%	-7%	35
CMC	-8%	-4%	-7%	-1%	20
CMC	-4%	-6%	-8%	-8%	5
CMC /MWCNT	-9%	-9%	-9%	-8%	35
CMC /MWCNT	-9%	-7%	-8%	-4%	20
CMC /MWCNT	-5%	-7%	-8%	-4%	5

Tabela 5. Oslobođanje mikrobiološkog đubriva (N).

Table 5. Release of microbiological fertilizer (N).

Hydrogel and fertilizer	3 dana	6 dana	9 dana	12 dana	Temperatura
CMC	8%	9%	17%	23%	35
CMC	0.9%	4%	7%	11%	20
CMC	0%	0%	0%	-1.5%	5
CMC /MWCNT	9%	10%	19%	25%	35
CMC /MWCNT	2%	6%	9%	10%	20
CMC /MWCNT	2%	2%	2%	-2%	5

Tabela 6. Oslobođanje mikrobiološkog đubriva (P).

Table 6. Release of microbiological fertilizer (P).

Hydrogel and fertilizer	3 dana	6 dana	9 dana	12 dana	Temperatura
CMC	8%	9%	17%	27%	35
CMC	0.9%	4%	7%	10%	20
CMC	0%	0%	0%	-1.7%	5
CMC /MWCNT	10%	11%	19%	29%	35
CMC /MWCNT	0.5%	6%	8%	11%	20
CMC /MWCNT	0%	1%	1%	-2%	5

Tabela 7. Oslobođanje mikrobiološkog đubriva (K).

Table 7. Release of microbiological fertilizer (K).

Hydrogel and fertilizer	3 dana	6 dana	9 dana	12 dana	Temperatura
CMC	8%	9%	17%	23%	35
CMC	0.9%	4%	7%	11%	20
CMC	0%	0%	0%	-1.5%	5
CMC /MWCNT	12%	11%	19%	25%	35
CMC /MWCNT	1,5%	5%	6%	13%	20
CMC /MWCNT	1%	0%	0%	-3%	5

## DISKUSIJA

Pripremljeni hidrogelovi sa i bez dodatka MVCNT ,

Sa mineralnim i mikrobiološkim đubrivima, dodati su u zemljište u količini od 1% mase zemljišta. Nakon dodavanja đubriva u zemljište, praćeno je prisustvo ključnih hranljivih materija u zemljištu: azota, fosfora i kalijuma. Praćenja su vršena tokom 3, 6, 9 i 12 dana. Oslobođanje agrohemičalija zavisi od temperature, što je važno sa stanovišta uvođenja novih funkcionalnih grupa u polimer. Kako se vidi da uzorci sa CMC imaju tendenciju da apsorbuju agrohemičalije, može se razmišljati u pravcu da hidrogelovi budu prečišćivači zemljišta

## LITERATURA

- Bailey, M., Flores, J., Pokajam, S., & Sumaila, U. R. (2012). Towards better management of Coral Triangle tuna. *Ocean & coastal management*, 63, 30-42.
- Farzamfar, S., Naseri-Nosar, M., Vaez, A., Esmaeilpour, F., Ehterami, A., Sahrapeyma, H., ... & Salehi, M. (2018). Neural tissue regeneration by a gabapentin-loaded cellulose acetate/gelatin wet-electrospun scaffold. *Cellulose*, 25(2), 1229-1238.
- Hoare, T. R., & Kohane, D. S. (2008). Hydrogels in drug delivery: Progress and challenges. *polymer*, 49(8), 1993-2007.
- Ibrahim, S. M., El Salmawi, K. M., & Zahran, A. H. (2007). Synthesis of crosslinked superabsorbent carboxymethyl cellulose/acrylamide hydrogels through electron-beam irradiation. *Journal of Applied Polymer Science*, 104(3), 2003-2008.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte chemie international edition*, 44(22), 3358-3393.
- Li, Y., Liu, C., Tan, Y., Xu, K., Lu, C., & Wang, P. (2014). In situ hydrogel constructed by starch-based nanoparticles via a Schiff base reaction. *Carbohydrate polymers*, 110, 87-94.
- Murthy, P. K., Mohan, Y. M., Varaprasad, K., Sreedhar, B., & Raju, K. M. (2008). First successful design of semi-IPN hydrogel-silver nanocomposites: a facile approach for antibacterial application. *Journal of Colloid and Interface Science*, 318(2), 217-224.
- Ono, T., Sugimoto, T., Shinkai, S., & Sada, K. (2007). Lipophilic polyelectrolyte gels as superabsorbent polymers for nonpolar organic solvents. *Nature materials*, 6(6), 429-433.
- Pourjavadi, A., Ghasemzadeh, H., & Soleyman, R. (2007). Synthesis, characterization, and swelling behavior of alginate-g-poly (sodium acrylate)/kaolin superabsorbent hydrogel composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 105(5), 2631-2639.
- Sannino, A., Esposito, A., Rosa, A. D., Cozzolino, A., Ambrosio, L., & Nicolais, L. (2003). Biomedical application of a superabsorbent hydrogel for body water elimination in the treatment of edemas. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 67(3), 1016-1024.
- Shang, J., Shao, Z., & Chen, X. (2008). Chitosan-based electroactive hydrogel. *Polymer*, 49(25), 5520-5525.
- Wang, F., Yang, Y., Ling, Y., Liu, J., Cai, X., Zhou, X., ... & Zheng, Y. (2017). Injectable and thermally contractible hydroxypropyl methyl cellulose/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> for magnetic hyperthermia ablation of tumors. *Biomaterials*, 128, 84-93.

## **THE APPLICATION OF HYDROGELS IN MODERN AGRICULTURE**

Ljiljana Tanasić<sup>1</sup>, Jelena Tanasić<sup>2</sup>, Ivan Ristić<sup>2</sup>, Nemanja Stošić<sup>1</sup>, Milan Blagojević<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Academy of applied studies Šabac, Unit for agricultural and business studies and tourism,  
Dobropoljska 5, 15000 Sabac, Serbia, [ljiljana3101@gmail.com](mailto:ljiljana3101@gmail.com)

<sup>2</sup>University of Novi Sad, Faculty of Technology Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1, 21102 Novi Sad,  
Serbia

### **ABSTRACT**

More and more modern agricultural crops require an increasing amount of agrochemicals, however, as modern agricultural mechanization cannot meet the targeted delivery of conventional agrochemicals, over time, soil saturation occurs. After a number of years, agrochemicals become poison for the land on which they were used, and when the land is already contaminated, it is difficult to clean it. For that reason, modern agriculture is turning to the controlled use of agrochemicals. In this work, biodegradable carboxymethylcellulose - based biodegradable hydrogels were synthesized, and MWCNT carbon nanotubes were added to the gels to achieve conductivity. The purpose of these gels is to release a certain amount of agrochemicals into the soil depending on the composition of the soil, temperature, and pH value. Prepared hydrogels with and without the addition of MWCNT were added to the soil in an amount of 1% by weight of soil. Two types of fertilizers were used in the samples: microbiological and mineral fertilizers. The content of phosphorus, potassium, and nitrogen were measured in the samples; phosphorus and potassium in the samples were determined by the UV-VIS method, and nitrogen by the Kjeldahl method. During the measurement, the pH of the samples was determined using a sensor over the samples with MWCNT inside and the temperature of the samples was measured. In this way, the dependence of the released amount of chemicals on the pH and temperature of the soil was monitored. The measurement results showed that there is a controlled release of fertilizers from hydrogels, while in the case of microbiological fertilizers there is a release at the beginning, but this process stops in the end, much faster than in the case of mineral fertilizers.

**Keywords:** Hydrogel, agriculture, carboxymethylcellulose, fertilizers.