

**KINETIKA ELEKTROKOAGULACIONOG UKLANJANJA BAKRA IZ EFLUENTA
OFSET ŠTAMPE****KINETICS OF ELECTROAGULATION REMOVAL OF COPPER FROM OFFSET
PRINTING EFFLUENT**Milena Nikčević, Savka Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN**

Kratka sadržaj – U radu je sprovedena kinetička studija elektrokoagulacionog uklanjanja bakra iz otpadnog ofset razvijaa da bi se utvrdila korelacija između operativnih promenljivih (kombinacije elektroda, međuelektrodnog rastojanja i gustine struje) samog procesa i konstante brzine reakcije uklanjanja bakra iz ofset efluenta.

Ključne reči: Efluent ofset štampe, bakar, elektrokoagulacioni tretman, kinetički modeli pseudo-prvog i pseudo-drugog reda

Abstract – Kinetic study of electrocoagulation removal of copper from waste offset developer is conducted. The correlation between operational variables (electrode combinations, interelectrode distance, and current density) of the process and the constant reaction rate of copper removal from offset effluent was determined.

Keywords: Offset printing effluent, copper, electrocoagulation treatment, kinetic models of pseudo-first and pseudo-second-order

1. UVOD

Konačni ofset grafički proizvod sastoji se iz tri komponente: podloge, grafičkih boja i sredstva za vlaženje emulgovanog u boji. Takođe, važna indirektna komponenta je i štamparska forma bez koje ne bi bilo prenosa boje na podlogu. Po svom sastavu navedene komponente su kompleksne i proces njihovog spajanja zahteva konstantnu pažnju i određeno iskustvo. Zbog te kompleksnosti, veliki broj faktora definiše kvalitet samog procesa štampe, ali i konačnog otiska [1].

Proces razvijanja ofset ploče je fizičko-hemijska pojava rastvaranja neštampajućih elemenata na površini oslojene ofset ploče pomoću alkalnog rastvora razvijaa [1]. Na svojstva štamparske forme utiču: hemikalije koje ulaze u sastav ofset razvijaa, parametri pri kojima se primenjuje sam razvijaa (temperatura i vreme ekspozicije) i karakteristike razvijaa poput pH vrednosti i starosti [2, 3].

Posle razvijanja ofset štamparske ploče i dobijanja štamparske forme generiše se efluent ofset razvijaa, tj. otpadni razvijaa. Prilikom procesa razvijanja sastav polaznog razvijaa se menja na taj način što se obogaćuje hemikalijama koje su prisutne na površini ofset štamparske forme kao što su razna organska veziva, fotoosetljiva jedinjenja, pigmenti i teški metali [2].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Savka Adamović, docent.

Efluent ofset razvijaa je najčešće po svojim karakteristikama toksičan i potencijalno štetan za životnu sredinu. U cilju smanjivanja ili potpunog neutralisanja potencijalno negativnog dejstva na grafičku okolinu važna je fizičko-hemijska analiza njegovog sastava kao i odabir adekvatne metode za njegov tretman [2]. Kvalitetno opisivanje otpadne vode, sa što većim brojem parametara, je preduslov za pravilan izbor tehnologije koja će se primeniti za njeno prečišćavanje [4]. Nažalost usled veoma malog broja funkcionalnih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda ista se ispušta u prirodne recipijente bez ikakvog tretmana. Neadekvatan tretman ili nedostatak tretmana nanosi ogromnu štetu životnoj sredini i stvara mnogostruke probleme kako u ekološkoj, tako i u socijalno-ekonomskoj sferi, jer je tretman otpadnih voda ogledalo civilizacijskog nivoa koji je određeno društvo dostiglo.

Kada se odabere i sprovede efikasan tretman za uklanjanje zagađujućih materija iz efluenta, kinetička studija tretmana omogućava definisanje brzine uklanjanja polutanata iz efluenta. Kinetička studija je pogodna za procenu uticaja operativnih parametara tretmana na efikasnosti uklanjanja polutanata iz efluenta [2].

Kinetička studija elektrokoagulacionog uklanjanja bakra iz otpadnog ofset razvijaa je sprovedena u radu da bi se utvrdila korelacija između operativnih promenljivih (kombinacije elektroda, međuelektrodnog rastojanja i gustine struje) samog procesa i konstante brzine reakcije uklanjanja bakra iz ofset efluenta.

2. EKSPERIMENTALNI DEO**2.1. Analiza teških metala u otpadnom ofset razvijaa**

Otpadni ofset razvijaa (OR) nastao je kontaminacijom komercijalnog ofset razvijaa LP-DS, proizvođača Fujifilm, Japan. Koncentracije teških metala (bakra, cinka, nikla, kadmijuma, hroma i olova) u analiziranom OR određene su primenom atomske apsorpcione spektroskopske metode (engl., Atomic Absorption Spectroscopy, AAS), na spektrofotometru PerkinElmer AAnalyst 700 (USA), prema standardnoj EPA 7000B metodi [5].

2.2. Elektrokoagulacioni tretman otpadnog ofset razvijaa

Za elektrokoagulaciono (EK) uklanjanje bakra iz OR upotrebljena je aparaturna koja se sastoji iz:

- EK ćelije,
- 4 elektrode od aluminijuma, gvožđa ili njihove kombinacije,
- izvora struje,

- magnetne mešalice sa jezgrom i
- ofset efluenta.

EK ćelija je laboratorijska čaša zapremine 250 mL, izgrađena od borsilikatnog stakla.

Za EK eksperimente upotrebljene su 4 kombinacije elektroda:

- prva, Al(-)/Al(+) kombinacija koja se sastoji od četiri aluminijumske elektrode,
- druga, Al(-)/Fe(+) kombinacija koja se sastoji od dve aluminijumske i dve gvozdene elektrode,
- treća, Fe(-)/Fe(+) kombinacija koja se sastoji od četiri gvozdene elektrode i
- četvrta, Fe(-)/Al(+) kombinacija koja se sastoji od dve gvozdene i dve aluminijumske elektrode.

Sve četiri navedene, različite kombinacije elektroda su povezane u bipolarnom serijskom modu. To znači da su samo spoljašnje elektrode povezane za anodu i katodu.

Bez obzira na vrstu materijala (Al ili Fe), svaka elektroda je istih dimenzija: širine 5 cm, visine 10 cm i debljine 0,1 cm. Ukupna površina svake elektrode je 100 cm².

Pre EK tretmana ofset efluenta pripremljene su sve četiri kombinacije elektroda kroz pet faza da bi se uklonio pasivni oksidni sloj sa njihove površine. Priprema elektroda obuhvatila je sledeće faze:

- mehaničku obradu površine elektroda sa abrazivnim papirom,
- ispiranje poliranih elektroda sa dejonizovanom vodom,
- hemijsku obradu elektroda, tj. potapanje elektroda u rastvor hlorovodonične kiseline u vremenu od 10 minuta,
- ispiranje hemijski obrađenih elektroda sa dejonizovanom vodom i
- sušenje elektroda.

EK tretman je sproveden po sledećoj proceduri:

- U EK ćeliju od 250 mL se sipa 220 mL OR.
- Elektrode se postavljaju na zadato rastojanje i urone u OR.
- Spoljašnje elektrode se povežu za izvor jednosmerne struje (leva je katoda (-) dok je krajnja desna elektroda anoda (+)).
- Na potenciometru se podese gustina struje od 2 mA cm⁻².
- Doda se u OR 0,50 g natrijum-hlorida.
- Ubaci se magnetno jezgro u EK ćeliju sa OR.
- Na kraju se uključi izvor struje i magnetna mešalica sa brzinom od 450 rpm (obrtaja/minuti).

Da bi se pratio napredak i efikasnost EK tretmana efluenta ofset štampe, uzorci zapremine 15 mL su sakupljeni iz EK ćelije u određenom operativnom vremenu (1, 5, 10, 20, 40 i 60 minuta) [6].

Nakon završetka EK tretmana, sakupljeni test uzorci su centrifugirani (Centrifuga Tehnica Železniki, Slovenija) na 2000 rpm tokom 15 minuta i filtrat je analiziran na sadržaj bakra primenom standardne AAS metode [6].

Za svaku od četiri kombinacije elektroda tri optimalne vrednosti gustine struje od 2, 4 i 8 mA cm² su primenjene. Vrednostima gustine struje od 2, 4 i 8 mA cm² odgovaraju jačine struje od 0,08, 0,16 i 0,32 A, redom [6]. Takođe, za svaku kombinaciju elektroda i za određenu gustinu struje EK tretmani efluenta ofset štampe

sprovedeni su za tri različita međuelektrodna rastojanja od 0,5, 1,0 i 1,5 cm, redom [6]. Dakle za svaku kombinaciju elektroda je sprovedeno po 9 EK eksperimenata i sakupljena 54 alikvota za analizu bakra.

2.3. Kinetička studija elektrokoagulacionog tretmana otpadnog ofset razvijaača

Kinetička studija EK tretmana OR sprovedena je u cilju proučavanja brzine uklanjanja bakra kao i uticaja operativnih promenljivih EK tretmana na konstantu brzine reakcije. Da li je kinetika EK reakcije uklanjanja bakra iz industrijskih otpadnih voda pseudo-prvog ili pseudo-drugog reda, procenjuje se na osnovu smanjenja koncentracija bakra u vremenskom intervalu i crtanja grafika zavisnosti $\ln(C_t/C_0) = f(t)$ i $1/C_t = f(t)$, redom. Za obradu eksperimentalnih podataka primenom odgovarajućeg kinetičkog modela pseudo-prvog ili pseudo-drugog reda, upotrebljen je program Origin6.1 (OriginLab Corporation, SAD). Na sve tačke konstruisanih grafika, koje predstavljaju eksperimentalno dobijene vrednosti, primenjeno je linearno „fitovanje”, jer su oba kinetička modela data u formi linearne jednačine ($y = A + Bx$). Primenom odgovarajućih parametara fitovanja, koje softver automatski pruža, izračunate su konstante brzine pseudo-prvog i pseudo-drugog reda kao i koeficijent korelacije (R^2). Kako R^2 predstavlja meru slaganja eksperimentalnih podataka sa primenjenim kinetičkim modelom pseudo-prvog ili pseudo-drugog reda, na osnovu vrednosti R^2 odabran je kinetički model koji najbolje opisuje brzinu uklanjanja bakra iz OR primenom EK tretmana [2].

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Koncentracije teških metala u ofset efluentu

Koncentracije analiziranih teških metala (bakra, cinka, nikla, kadmijuma, hroma i olova) u ispitivanom OR, određene primenom atomske apsorpcione spektroskopske metode, prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. *Detektovane koncentracije teških metala u OR*

Metal	Koncentracija (mg L ⁻¹)
Bakar (Cu)	24,10 ± 2,30
Cink (Zn)	0,30 ± 0,03
Nikal (Ni)	< MDL*
Kadmijum (Cd)	< MDL*
Hrom (Cr)	< MDL*
Olovo (Pb)	< MDL*
*MDL – Limit detekcije metode (engl., Method Detection Limit)	

Rezultati AAS analize teških metala u ofset efluentu (tabela 1) pokazuju da se tokom razvijanja ofset štamparske forme, polazni razvijaač kontaminira bakrom i cinkom. Prema aktuelnim uredbama Republike Srbije („Sl. glasnik RS”, br. 67/2011 i 48/2012 i „Sl. glasnik RS”, br. 1/2016) granične vrednosti emisije bakra i cinka, za tehnološke otpadne vode pre njihovog ispuštanja u kanalizaciju iznose 2 mg L⁻¹. Evidentno je da je koncentracija bakra (24,10 mg L⁻¹) u OR oko 92% veća od vrednosti koju propisuju Uredbe, čime se OR definiše kao efluent sa negativnim ekološkim statusom.

Kako koncentracija cinka u OR ne prelazi graničnu vrednost prema aktielnim Uredbama Republike Srbije, već je u odnosu na nju manja 93%, kinetička studija EK tretmana je sprovedena samo za bakar.

3.2. Kinetička studija pseudo-prvog reda

Konstante brzine pseudo-prvog reda za uklanjanje bakra iz OR primenom EK tretmana za četiri ispitivane kombinacije elektroda, Al(-)/Al(+), Al(-)/Fe(+), Fe(-)/Fe(+) i Fe(-)/Al(+), prikazane su u tabelama 2, 3, 4 i 5, redom.

Tabela 2. Konstante brzine reakcija pseudo-prvog reda i koeficijenti korelacije za uklanjanje bakra iz EK tretiranog OR primenom Al(-)/Al(+) kombinacije elektroda

Kombinacija elektroda	r (cm)	i (mA cm ⁻²)	k ₁ (min ⁻¹)	R ²
Al(-)/Al(+)	0,5	2	0,040	0,963
		4	0,056	0,845
		8	0,067	0,888
	1,0	2	0,067	0,852
		4	0,112	0,928
		8	0,116	0,893
	1,5	2	0,060	0,981
		4	0,070	0,862
		8	0,077	0,817

Za Al(-)/Al(+) kombinaciju elektroda uočava se da konstante brzine reakcija pseudo-prvog reda rastu sa povećanjem gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻² za sva tri međuelektrodna rastojanja (tabela 2). Najviša vrednost k₁ konstante (0,116 min⁻¹) je za međuelektrodno rastojanje od 1,0 cm i gustinu struje od 8 mA cm⁻² i u odnosu na najnižu vrednost (0,040 min⁻¹) je viša oko 66%. Samo dve R² vrednosti (0,963 i 0,981) imaju zadovoljavajući rezultat, tj. vrednosti više od 0,95.

Tabela 3. Konstante brzine reakcija pseudo-prvog reda i koeficijenti korelacije za uklanjanje bakra iz EK tretiranog OR primenom Al(-)/Fe(+) kombinacije elektroda

Kombinacija elektroda	r (cm)	i (mA cm ⁻²)	k ₁ (min ⁻¹)	R ²
Al(-)/Fe(+)	0,5	2	0,038	0,986
		4	0,049	0,887
		8	0,053	0,809
	1,0	2	0,056	0,856
		4	0,075	0,854
		8	0,103	0,961
	1,5	2	0,052	0,987
		4	0,057	0,843
		8	0,060	0,817

Konstante brzine reakcija pseudo-prvog reda za Al(-)/Fe(+) kombinaciju elektroda rastu sa povećanjem gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻² za sva tri međuelektrodna rastojanja (tabela 3). Takođe se uočava da međuelektrodno rastojanje od 1,0 cm ima najveću vrednost k₁ konstante brzine reakcije pseudo-prvog reda (0,103 min⁻¹) pri gustini struje od 8 mA cm⁻². Najviša vrednost k₁ konstante u odnosu na najnižu vrednost k₁ konstante (0,038 min⁻¹) je viša oko 63%. Takođe, tri R² vrednosti (0,986; 0,961 i 0,987) imaju zadovoljavajući rezultat, tj. vrednost višu od 0,95.

Sa povećanjem gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻² za sva tri međuelektrodna rastojanja (tabela 4) konstante brzine

reakcija pseudo-prvog reda za Fe(-)/Fe(+) kombinaciju elektroda rastu. Uočava se da R² vrednosti nemaju zadovoljavajući rezultat, jer su sve vrednosti niže od 0,95.

Tabela 4. Konstante brzine reakcija pseudo-prvog reda i koeficijenti korelacije za uklanjanje bakra iz EK tretiranog OR primenom Fe(-)/Fe(+) kombinacije elektroda

Kombinacija elektroda	r (cm)	i (mA cm ⁻²)	k ₁ (min ⁻¹)	R ²
Fe(-)/Fe(+)	0,5	2	0,038	0,866
		4	0,047	0,900
		8	0,050	0,864
	1,0	2	0,043	0,868
		4	0,051	0,797
		8	0,053	0,839
	1,5	2	0,040	0,859
		4	0,048	0,838
		8	0,051	0,906

Za analizirana međuelektrodna rastojanja uočava se da sa povećanjem gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻² rastu konstante brzine reakcija pseudo-prvog reda za Fe(-)/Al(+) kombinaciju elektroda. Kao i u slučaju kombinacije od 4 gvozdene elektrode i za Fe(-)/Al(+) kombinaciju sva tri međuelektrodna rastojanja imaju bliske intervale k₁ konstanti (tabela 5).

Tabela 5. Konstante brzine reakcija pseudo-prvog reda i koeficijenti korelacije za uklanjanje bakra iz EK tretiranog OR primenom Fe(-)/Al(+) kombinacije elektroda

Kombinacija elektroda	r (cm)	i (mA cm ⁻²)	k ₁ (min ⁻¹)	R ²
Fe(-)/Al(+)	0,5	2	0,027	0,998
		4	0,038	0,945
		8	0,042	0,926
	1,0	2	0,041	0,860
		4	0,046	0,842
		8	0,048	0,868
	1,5	2	0,034	0,965
		4	0,042	0,836
		8	0,044	0,849

Pouzdanost kinetičke studije pseudo-prvog reda za procenu uticaja kombinacije elektroda, međuelektrodnog rastojanja i gustine struje na efikasnost uklanjanja bakra iz EK tretiranog OR nije zadovoljavajuća jer 29 vrednosti koeficijentena korelacije R², tj. 80,6% vrednosti, su niže od 0,95.

3.3. Kinetička studija pseudo-drugog reda

Za kombinaciju od četiri aluminijumske elektrode uočava se da konstante brzine reakcija pseudo-drugog reda rastu sa povećanjem gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻² za međuelektrodna rastojanja od 0,5, 1,0 i 1,5 cm. Za Al(-)/Al(+) kombinaciju elektroda, najviša vrednost k₂ konstante (2,051 L mg⁻¹ min⁻¹) dobija se za međuelektrodno rastojanje od 1,0 cm i gustinu struje od 8 mA cm⁻². Dobijena najviša vrednost k₂ konstante u odnosu na najnižu vrednost k₂ konstante (0,008 min⁻¹) je viša 99,6%. Za Al(-)/Al(+) kombinaciju elektroda tri R² vrednosti (0,754; 0,865 i 0,873) su niže od 0,95.

Konstante brzine k_2 reakcija pseudo-drugog reda za Al(-)/Fe(+) kombinaciju elektroda rastu za sva tri među-elektrodna rastojanja sa povećanjem gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻². Data kombinacija elektroda, za među-elektrodno rastojanje od 1,0 cm pri gustini struje od 8 mA cm⁻² ima najveću vrednost k_2 konstante (1,461 L mg⁻¹ min⁻¹). Najviša vrednost k_2 konstante u odnosu na najnižu vrednost (0,006 L mg⁻¹ min⁻¹) je viša 99,5%. Takođe, sve R² vrednosti imaju zadovoljavajući rezultat, tj. vrednost više od 0,95.

Sa povećanjem gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻² za ispitivana među-elektrodna rastojanja od 0,5, 1,0 i 1,5 cm k_2 konstante za Fe(-)/Fe(+) kombinaciju elektroda rastu. Među-elektrodno rastojanje od 1,0 cm za gustinu struje od 8 mA cm⁻² ima najvišu vrednost k_2 konstante brzine reakcija pseudo-prvog reda (0,040 L mg⁻¹ min⁻¹). Samo jedna R² vrednost (0,869) nema zadovoljavajući rezultat, tj. ima vrednost nižu od 0,95. Visoke vrednosti R² za osam k_2 konstanti ukazuju na pouzdanost reakcije pseudo-drugog reda za opisivanje kinetike uklanjanja bakra iz OR primenom EK tretmana.

Za analizirana među-elektrodna rastojanja od 0,5, 1,0 i 1,5 cm uočava se da sa povećanjem gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻² rastu konstante brzine reakcija pseudo-drugog reda za Fe(-)/Al(+) kombinaciju elektroda. Zbog bliskosti intervala k_2 konstanti za 0,5, 1,0 i 1,5 cm najviše k_2 vrednosti u odnosu na najniže vrednost su više oko 70, 65 i 69%, redom. Uočava se da sve R² vrednosti imaju zadovoljavajući rezultat, jer su sve vrednosti više od 0,95.

Pouzdanost kinetičke studije pseudo-drugog reda za procenu uticaja operativnih promenljivih (kombinacije elektroda, među-elektrodnog rastojanja i gustine struje) na efikasnost uklanjanja bakra iz EK tretiranog OR potvrđuju 32 vrednosti (88,9%) koeficijenata korelacije R² koje su više od 0,95. S obzirom da u kinetičkoj studiji pseudo-prvog reda čak 83% R² vrednosti su niže od 0,95, brzina uklanjanja bakra iz EK tretiranog OR može se opisati reakcijom pseudo-drugog reda. Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa radom Vasudevan i saradnika (2012) koji su dokazali da uklanjanje bakra iz EK tretirane vode sa gvozdanim elektrodama prati kinetiku pseudo-drugog reda [7].

4. ZAKLJUČAK

Tokom razvijanja ofset štamparske forme, polazni razvijatelj kontaminira se bakrom (24,10 mg L⁻¹) i cinkom (0,30 mg L⁻¹). Kako za razliku od bakra koncentracija cinka u OR ne prelazi graničnu vrednost emisije od 2 mg L⁻¹, kinetička studija EK tretmana je analizirana samo za bakar.

Kinetička studija EK uklanjanja bakra iz ofset efluenta utvrdila je korelaciju između operativnih promenljivih (kombinacije elektroda, među-elektrodnog rastojanja i gustine struje) procesa i konstanti brzine reakcije pseudo-prvog i pseudo-drugog reda. Dobijeni rezultati kinetičke studije pokazuju da konstante i pseudo-prvog, k_1 i pseudo-drugog reda, k_2 opadaju u sledećim nizovima za:

- kombinacije elektroda: Al(-)/Al(+) > Al(-)/Fe(+) > Fe(-)/Fe(+) > Fe(-)/Al(+),
- među-elektrodna rastojanja: 1,0 > 1,5 > 0,5 cm i
- gustine struje: 8 > 4 > 2 mA cm⁻².

Za najefikasniju Al(-)/Al(+) kombinaciju elektroda, među-elektrodno rastojanje od 1,0 cm i porast gustine struje od 2 do 8 mA cm⁻² vrednosti k_1 konstanti za reakciju pseudo-prvog reda uklanjanja bakra iz EK tretiranog OR su u intervalu od 0,067 do 0,116 min⁻¹. Za iste operativne EK parametre vrednosti k_2 konstanti za reakciju pseudo-drugog reda su u intervalu od 0,051 do 2,051 L mg⁻¹ min⁻¹.

Na osnovu vrednosti koeficijenata korelacije R² utvrđena je pouzdanost kinetičke studije uklanjanja bakra iz EK tretiranog OR. Za kinetički model pseudo-drugog reda i k_2 konstantu 88,9% koeficijenata korelacije R² su viši od 0,95. Kako je u kinetičkoj studiji pseudo-prvog reda čak 80,6% R² vrednosti niže od 0,95, brzina uklanjanja bakra iz EK tretiranog OR se opisuje reakcijom pseudo-drugog reda.

5. LITERATURA

- [1] <http://www.grid.uns.ac.rs/predmet2.html?predmet=66> (pristupljeno u julu 2021.).
- [2] S. Adamović, "Elektrokoagulacioni i adsorpcioni tretmani efluenata u grafičkim procesima ofset štampe", Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2016.
- [3] <http://www.grid.uns.ac.rs/predmet2.html?predmet=63> (pristupljeno u julu 2021.).
- [4] D. Povrenović, M. Knežević, "Osnove tehnologije prečišćavanja otpadnih voda", Beograd, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2013.
- [5] EPA 7000B Method: Flame Atomic Absorption Spectrophotometry, Revision 2 February 2007.
- [6] S. Adamovic, M. Prica, B. Dalmacija, S. Rapajic, D. Novakovic, Z. Pavlovic, S. Maletic, "Feasibility of electrocoagulation/flotation treatment of waste offset printing developer based on the response surface analysis", *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 9, pp. 152-162, 2016.
- [7] S. Vasudevan, J. Lakshmi, R. Kamaraj, G. Sozhan, "A critical study on the removal of copper by an electrochemically assisted coagulation: equilibrium, kinetics, and thermodynamics", *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, Vol. 8, pp. 162-171, 2012.

Adrese autora za kontakt:

Milena Nikčević – milenanikcevic123@gmail.com
Doc. dr Savka Adamović – adamovicsavka@uns.ac.rs
Grafičko inženjerstvo i dizajn, FTN, UNS.