

Biosorpcija boje Acid orange 7 biomasom hrasta kitnjaka (*Quercus Petraea* L.)

Ispitivana je efikasnost biosorpcije boje Acid orange 7 piljevinom hrasta kitnjaka (*Quercus Petraea* L.) u zavisnosti od kontaktnog vremena, pH vrednosti rastvora, količine biosorbenta i temperature. Takođe, ispitani su model adsorpcije, mogućnost primene procesa u industriji i regeneracija biosorbenta. pH vrednosti su bile u opsegu 1.5–5.0, koncentracije biosorbenta 5–50 g/L, a temperatura 25–80°C. Adsorpcione izoterme dobijene su variranjem količine biosorbenta pri pH 2.0 i sobnoj temperaturi, a korišćeni su Lengmirov i Frojndlihov model izoterme. Eksperiment sa adsorpcionom kolonom izveden je tako što je rastvor boje kontinualno dodavan u kolonu sa piljevinom. Regeneracija biosorbenta vršena je na pH vrednostima od 9.0 do 12.0. Koncentracija boje u supernatantu merena je spektrofotometrijski pre, za vreme i nakon procesa biosorpcije. Dobijeno je da se sa smanjenjem pH rastvora povećava efikasnost biosorpcije, a temperatura u opsegu 25–80°C nema uticaj na efikasnost. Maksimum adsorpcije iznosio je 86% na pH 2.0, pri početnoj koncentraciji boje 50 mg/L, koncentraciji biosorbenta 40 g/L i temperaturi 25°C. Mehanizam sorpcije se bolje poklapa sa Lengmirovim modelom, odnosno vezivanje se dešava hemisorpcijom, jednoslojno na homogenoj površini, bez interakcija između adsorbovanih čestica i određenog redosleda vezivanja. Pokazano je da se proces može vršiti i u industrijskim uslovima: kapacitet adsorpcione kolone bio je 2.2 mg/g. Prilikom regeneracije sorbenta primećeno je da se sa porastom pH rastvora povećava i efikasnost desorpcije; najviše je desorbovano 79% boje pri pH 12.0.

Uvod

Otpadne vode koje sadrže tekstilne boje su jedan od najčešćih izvora zagađenja životne sredine. Od 10 hiljada boja koje se koriste u industriji, čak 60-70% čine azo-boje (Carliell *et al.* 1995). U različitim količinama mogu biti toksične za većinu organizama, a kod čoveka izazivaju mnogobrojne iritacije i oboljenja. Zbog toga je uklanjanje boja iz otpadnih voda od suštinskog značaja.

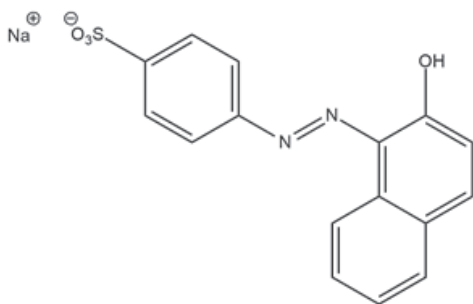
Acid orange 7 je jedinjenje koje pripada grupi azo-boja (slika 1). Na sobnoj temperaturi je čvrsta, praškasta supstanca narandžaste boje. U industriji se koristi za bojenje tekstila, hrane, lekova i kozmetičkih preparata, što je dovodi u direktan dodir sa ljudskim organizmom. Ova boja izaziva iritacije kože, sluzokože, očiju i gornjeg respiratornog trakta (Anliker 1986; Cartwright 1983). Kao i sve druge azo-boje, Acid orange 7 ne podleže biodegradaciji u aerobnim uslovima (Gottlieb *et al.* 2003). Procesima biodegradacije u anaerobnim uslovima najčešće nastaju 4-aminobenzensulfonska kiselina i 1-amino-2-naftol. Poznato je da 1-amino-2-naftol ima genotoksična svojstva ($EC_{50} = 0.10 \pm 0.03$ mg/L) (Gottlieb *et al.* 2003).

Metoda koja se sve više koristi za uklanjanje zagađivača je biosorpcija. Biosorpcija predstavlja proces vezivanja molekula ili jona za funkcionalne grupe molekula nekog prirodnog sorbenta. Ona je praktična, efikasna čak i pri niskim koncentracijama, jeftina i ekološki održiva, jer se kao sorbent koristi prirodan i obnovljiv izvor – biomasa. Takođe, biosorbent se može regenerisati i tako koristiti za nov ciklus biosorpcije (Gajić 2014).

U ovom radu kao biosorbent korišćena je piljevina hrasta kitnjaka (*Quercus Petraea* L.). Pi-

Igor Topalović (2000), Užice, Dimitrija Tucovića 44, učenik 2. razreda Užičke gimnazije

MENTOR: Miloš Selaković, student Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu



Slika 1. Strukturna formula boje Acid orange 7 ($C_{16}H_{11}N_2SO_4Na$)

Figure 1. Structural formula of Acid Orange 7 dye ($C_{16}H_{11}N_2SO_4Na$)

ljevinna hrasta kitnjaka, pored celuloze, sadrži i tanine, flavonoide, proantocijanidine, prolin i druga jedinjenja (Popović *et al.* 2013; Pallenbach *et al.* 1993) koja, prema svojoj strukturi, mogu vezati različite molekule ili jone. Funkcionalne grupe koje ulaze u sastav navedenih jedinjenja (hidroksilna, karbonilna, karboksilna, amino grupa) mogu se, u zavisnosti od različitih faktora (pH vrednost sredine, količina biosorbenta i temperatura), protonovati ili deprotonovati i na taj način nastati aktivni centri za koje se mogu vezati molekuli i joni. Takođe, hrast kitnjak je široko rasprostranjen na području Evrope i dosta se koristi u drvenoj industriji i građevinarstvu, stoga je lako dostupan.

Na efikasnost biosorpcije najviše utiču vreme trajanja sorpcije, pH vrednost sredine, odnos količina biosorbenta i adsorbata i temperatura (Pelosi *et al.* 2013). Bitna karakteristika biosorpcije je i njen mehanizam, odnosno model adsorpcije, koji se određuje pomoću adsorpcionih izoterma. Najčešće korišćene adsorpcione izoterme su Lengmirova i Frojndliхова izoterma, koje dovode u vezu kapacitet biosorbenta (q) i ravnotežnu koncentraciju adsorbata u rastvoru (c_e).

Kapacitet biosorbenta predstavlja masu adsorbovanih čestica adsorbata (mg) u jediničnoj masi biosorbenta (g):

$$q = \frac{c_0 - c_t}{m} \cdot V, \quad (1)$$

gde je q – kapacitet biosorbenta (mg/g), c_0 – početna koncentracija adsorbata u rastvoru (mg/L), c_t – koncentracija neadsorbovanih čestica

adsorbata u trenutku t (mg/L), m – masa biosorbenta (g), V – zapremina rastvora adsorbata (L).

Prema Lengmirovom modelu izoterme, vezivanje čestica adsorbata se dešava jednoslojno na homogenoj površini, bez interakcija između adsorbovanih čestica. Lengmirov model izoterme se predstavlja linearno, kao zavisnost c_e/q od c_e :

$$\frac{c_e}{q} = \frac{1}{q_{\max}} \cdot c_e + \frac{1}{K_L \cdot q_{\max}}, \quad (2)$$

gde je c_e – ravnotežna koncentracija adsorbata u rastvoru (mg/L), q_{\max} – Lengmirova ravnotežna konstanta koja se odnosi na maksimalni adsorpcioni kapacitet (mg/g), K_L – Lengmirova konstanta entalpije adsorpcije (L/mg) (Langmuir 1918). Kako je grafik Lengmirovog modela izoterme prava linija, q_{\max} se računa iz nagiba, a K_L iz odsečka prave.

Sa druge strane, Frojndlihov model izoterme adsorpciju definiše tako što se vezivanje čestica adsorbata dešava na heterogenoj površini, pri čemu se prvobitno ostvaruju jače veze čija jačina vremenom opada jer stepen okupiranosti deprotonovanih centara raste. Može se predstaviti jednačinom:

$$q = K_F \cdot c_e^n, \quad (3)$$

gde je c_e – ravnotežna koncentracija adsorbata u rastvoru (mg/L), K_F – Frojndliхова ravnotežna konstanta koja određuje relativni adsorpcioni kapacitet sorbenta (mg/g), n – Frojndliхова konstanta koja određuje intenzitet sorpcije (Frojndlich 1906). Frojndlihov model izoterme se predstavlja logaritamski, gde se n računa iz nagiba, a K_F iz odsečka prave:

$$\log q = \frac{1}{n} \cdot \log c_e + \log K_F. \quad (4)$$

Cilj ovog rada bio je ispitivanje efikasnosti biosorpcije boje Acid Orange 7 iz vodenih rastvora biomasom hrasta kitnjaka (*Quercus Petraea* L.) u zavisnosti od kontaktnog vremena između biosorbenta i adsorbata, pH vrednosti rastvora, količine biosorbenta i temperature. Takođe, istraživanje je obuhvatalo i ispitivanje modela adsorpcije, mogućnosti primene procesa u industriji i regeneracije biosorbenta.

Materijal i metode

Priprema biosorbenta i adsorbata. Biosorbent je pripremljen tako što je piljevina prvobitno samlevana u blenderu a potom preneti na guč i pomoću vakuuma filtrirana destilovanom vodom sve dok se voda u filtratu nije izbistrila i obezbojila. Zatim je biosorbent sušen u sušnici na 75°C tokom 8 časova i čuvan u eksikatoru.

Za pripremanje rastvora adsorbata korišćena je boja Acid orange 7 (Sigma Aldrich). Vrednosti pH podešavane su fosfatnim puferom ukupne koncentracije fosfata 0.01 M. Za pravljenje fosfatnog pufera korišćene su sledeće hemikalije: fosforna kiselina ($\omega = 85\%$, Centrohema), natrijum-dihidrogenfosfat monohidrat (Merck), natrijum-hidrogenfosfat dodekahidrat (Kemika) i natrijum-fosfat dodekahidrat (Alkaloid). Sve supstance su bile p. a. čistoće.

Praćenje kinetike biosorpcije i određivanje optimalnih uslova. Biosorpcija je vršena u čaši sa 100.0 mL rastvora boje Acid orange 7 koncentracije 50.0 mg/L i određenom masom biosorbenta. Eksperimenti su obavljani uz konstantno mešanje brzinom 600 obrtaja/min. Prilikom ispitivanja uticaja temperature na efikasnost biosorpcije, eksperiment je rađen na vodenom, odnosno peščanom kupatilu, u togrlom balonu spojenim sa povratnim kondenzatorom.

Alikvoti od 100 μ L uzimani su nakon 5, 10, 20, 30, 45, 60, 80, 100, 120, 150 i 180 minuta od početka procesa biosorpcije i centrifugirani tokom 2 minuta na 2000 obrtaja/min. Uziman je supernatant od 80 μ L, razblaživan 5 puta odgovarajućim puferom i analiziran spektrofotometrijski. Korišćen je UV/VIS spektrofotometar Thermo Scientific Evolution 60S. Sva merenja su snimana na talasnoj dužini od 485 nm u staklenoj kiveti dužine optičkog puta 1 cm. Efikasnost biosorpcije određivana je prema formuli:

$$E = \frac{c_0 - c_t}{c_0} \cdot 100, \quad (5)$$

gde je E – efikasnost biosorpcije (%), c_0 – početna koncentracija boje (mg/L), c_t – koncentracija neadsorbovane boje u trenutku t (mg/L).

Prilikom određivanja optimalnih uslova za vršenje biosorpcije, varirani su sledeći parametri:

- pH vrednost rastvora (1.5, 2.0, 3.0, 4.0 i 5.0),
- koncentracija biosorbenta (5, 10, 20, 30, 40 i 50 g/L) i
- temperatura (25, 40, 60 i 80 °C).

Sva ispitivanja su rađena u duplikatu.

Model adsorpcije. Kako bi se ispitao način na koji interaguju čestice biosorbenta i adsorbata, tj. veza između ravnotežne koncentracije adsorbata (c_e) i kapaciteta biosorbenta (q), korišćeni su Lengmirov i Frojndlihov model adsorpcionih izoterma. Adsorpcione izoterme dobijene su variranjem mase biosorbenta pri pH vrednosti rastvora 2.0 i sobnoj temperaturi (25°C) 3 časa od početka biosorpcije.

Primenom t-testa određeno je koji model izoterme bolje opisuje adsorpciju. Vrednosti t-statistika računane su prema formuli:

$$t = \frac{|R| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}, \quad (6)$$

gde je R – Pirsonov koeficijenta korelacije, $n - 2$ broj stepeni slobode (Miller i Miller 2010). U slučaju Lengmirovog modela uzeta je korelacija između c_e i c_e/q , a kod Frojndlihovog modela korelacija između $\log c_e$ i $\log q$.

Primena procesa u industriji. U kolonu prečnika 29 mm postavljen je filter-papir i kolona je napunjena sa 8.00 g biosorbenta. Na vrh stuba piljevine postavljena je vata kako se njena visina tokom proticanja rastvora adsorbata ne bi menjala. Zatim je rastvor boje koncentracije 50.0 mg/L kontinualno dodavan u kolonu pomoću pumpe za ukapavanje (YA-12, Kent). Brzina protoka bila je 1.000 mL/min a frakcije su prihvatane na svakih 10 minuta i koncentracija boje je praćena spektrofotometrijski.

Regeneracija biosorbenta. U 100.0 mL rastvora adsorbata koncentracije 50.0 mg/L dodato je 4.0000 g biosorbenta i nakon 3 časa rastvor je proceđen na vakuumu. Iskorišćena piljevina je sušena 10 časova u eksikatoru, a u filtratu je određena koncentracija neadsorbovane boje. Za desorpciju, odnosno regeneraciju biosorbenta, uzeto je po 0.4000 g iskorišćene piljevine i dodato u po 100.0 mL rastvora fosfatnog pufera pH vrednosti 9.0, 10.0, 11.0 i 12.0. Uzorkovano je po 400 μ L rastvora nakon 10, 20, 40, 60, 90, 120, 150, 180 i 210 minuta od početka

regeneracije. Za svaku ispitivanu pH vrednost urađene su po dve probe.

Rezultati i diskusija

Uticaj kontaktnog vremena. Zavisnost efikasnosti biosorpcije od kontaktnog vremena prikazana je na slici 2. Sa grafika se može uočiti da u prvih 45 minuta od početka sorpcije dolazi do porasta efikasnosti, a potom se formira plato, tj. uspostavlja se ravnoteža u rastvoru i efikasnost se neznatno povećava ili smanjuje.

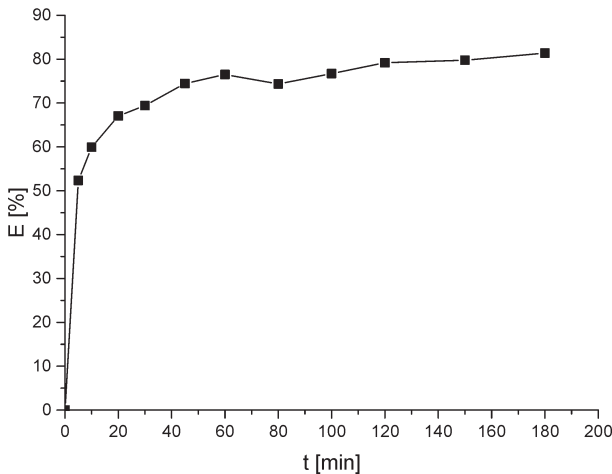
Uticaj pH vrednosti rastvora. Na slikama 3 i 4 predstavljena je zavisnost efikasnosti biosorpcije od pH vrednosti rastvora. Rezultati ukazuju na to da se smanjenjem pH vrednosti povećava efikasnost biosorpcije. S povećavanjem koncentracije hidronijum jona u rastvoru favorizuje se protonovanje funkcionalnih grupa molekula

biosorbenta, a kako je Acid orange 7 anjonska boja, to za posledicu ima jače interakcije između čestica biosorbenta i adsorbata.

Na pH vrednostima ispod 2.0 nema značajne razlike u efikasnosti sorpcije, odnosno verovatno dolazi do formiranja platoa, što se vidi sa slike 4. Za optimalnu pH vrednost je uzeta 2.0 zbog isplativosti industrijskog postupka.

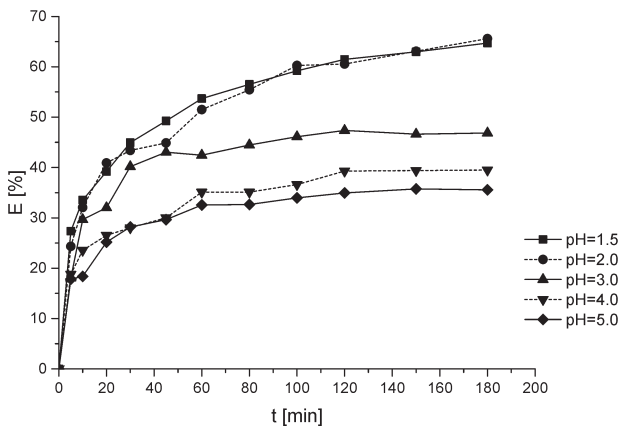
Uticaj količine biosorbenta. Slike 5 i 6 prikazuju zavisnost efikasnosti sorpcije od dodate mase sorbenta. Povećavanjem mase biosorbenta povećava se i efikasnost biosorpcije. Što je veća adsorpciona površina, to jest prisutno više aktivnih centara, veća je mogućnost da dođe do sudara između čestica biosorbenta i adsorbata.

Adsorpcioni maksimum od 86% postignut je pri koncentraciji biosorbenta od 40 g/L nakon 3 časa od početka sorpcije. Na slici 6 se može uočiti formiranje platoa nakon 40 g/L, što ukazuje



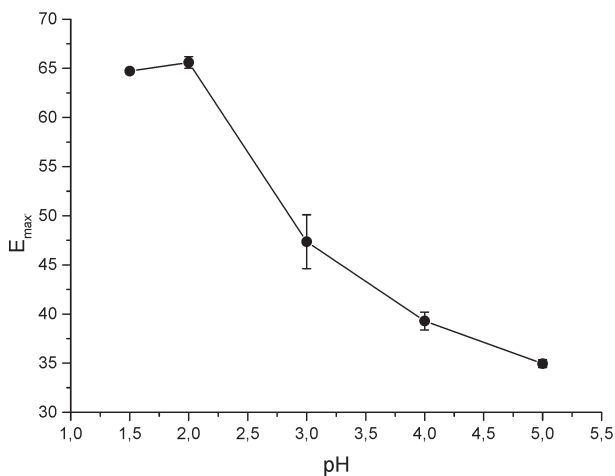
Slika 2. Zavisnost efikasnosti od kontaktnog vremena ($c_0 = 50.0$ mg/L, pH = 2.0, koncentracija biosorbenta 50 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$)

Figure 2. Effect of contact time between biosorbent and dye on biosorption efficiency ($c_0 = 50.0$ mg/L, pH = 2.0, biosorbent concentration 50 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$)



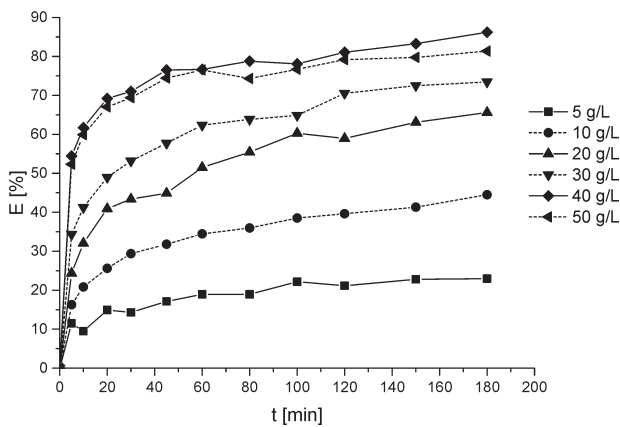
Slika 3. Efikasnost biosorpcije za različite pH vrednosti rastvora ($c_0 = 50.0$ mg/L, koncentracija biosorbenta 20 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$)

Figure 3. Biosorption efficiency at various pH values ($c_0 = 50.0$ mg/L, biosorbent concentration 20 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$)



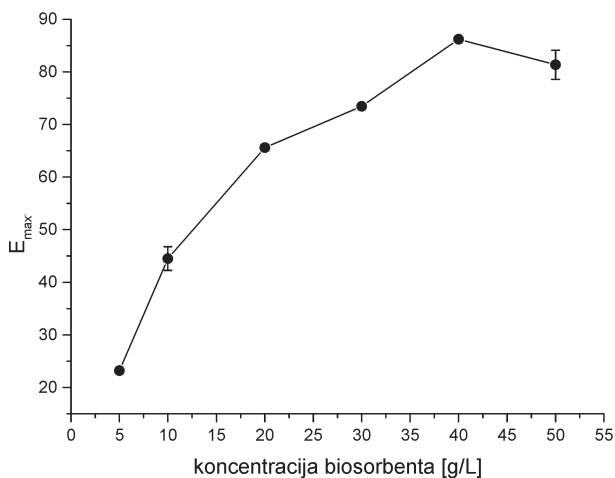
Slika 4. Zavisnost efikasnosti biosorpcije od pH vrednosti rastvora ($c_0 = 50.0$ mg/L, koncentracija biosorbenta 20 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$)

Figure 4. Effect of pH on biosorption efficiency ($c_0 = 50.0$ mg/L, biosorbent concentration 20 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$)



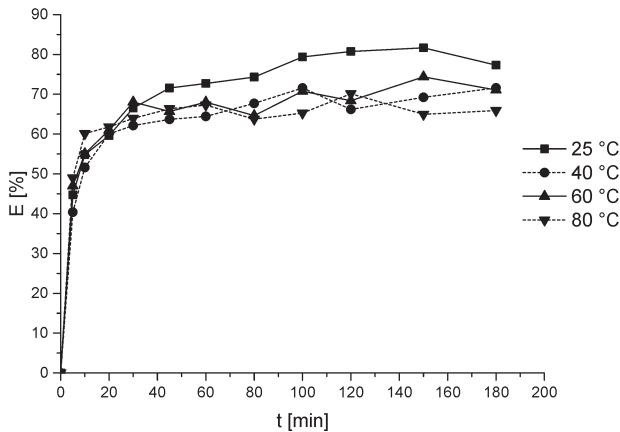
Slika 5. Efikasnost biosorpcije za različite koncentracije biosorbenta ($c_0 = 50.0$ mg/L, pH = 2.0, $t = 25^\circ\text{C}$)

Figure 5. Biosorption efficiency at various biosorbent concentrations ($c_0 = 50.0$ mg/L, pH = 2.0, $t = 25^\circ\text{C}$)



Slika 6. Zavisnost efikasnosti biosorpcije od koncentracije biosorbenta ($c_0 = 50.0$ mg/L, pH = 2.0, $t = 25^\circ\text{C}$)

Figure 6. Effect of biosorbent concentration on biosorption efficiency ($c_0 = 50.0$ mg/L, pH = 2.0, $t = 25^\circ\text{C}$)



Slika 7. Efikasnost biosorpcije za različite temperature rastvora ($c_0 = 50.0$ mg/L, pH = 2.0, koncentracija biosorbenta 40 g/L)

Figure 7. Biosorption efficiency at various temperatures ($c_0 = 50.0$ mg/L, pH = 2.0, biosorbent concentration 40 g/L)

Tabela 1. Lengmirovi parametri adsorpcione izoterme

Nagib	Odsečak	q_{\max}	K_L	R^2
0.47 ± 0.04	1.0 ± 0.2	2.1 ± 0.2	0.49 ± 0.09	0.9810

na to da se uspostavlja sorpciona ravnoteža i da dalje povećavanje mase biosorbenta nema značajan uticaj na maksimum biosorpcije.

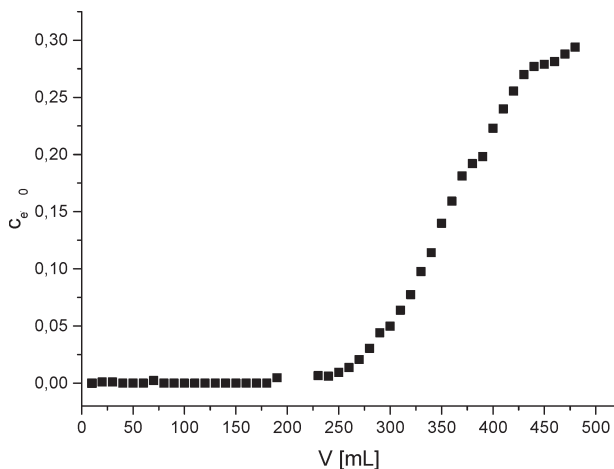
Zavisnost od temperature. Zavisnost biosorpcije od temperature prikazana je na slici 7. Uočeno je da temperatura u opsegu 25–80 °C nema izraženiji uticaj na efikasnost biosorpcije.

Adsorpcione izoterme. Podaci dati u tabeli 1 predstavljaju Lengmirove parametre za ispitivanu adsorpciju. Na osnovu t-testa utvrđeno je da Lengmirov model adsorpcione izoterme odgovara ispitivanom procesu sa pragom značajnosti 0.2% ($t(4) = 14.368$, $t_{\text{crit}} = 7.173$). Slično, t-test je primenjen i na Frojndlihov model izoterme. Dobijena vrednost ($t(4) = 1.471$) ukazuje na to da Frojndlihov model izoterme ne opisuje datu adsorpciju, takođe na pragu značajnosti 0.2%. Do istog zaključka se može doći i poređenjem kvadrata Pirsonovog koeficijenta korelacije, koji za Lengmirov model adsorpcione izoterme ima znatno veću vrednost ($R^2 = 0.981$) u odnosu na Frojndlihov model ($R^2 = 0.351$). Dakle, reč je o jednoslojnoj hemisorpciji na homogenoj površini biosorbenta. Vežavanje molekula adsorbata se dešava bez njihovih međusobnih interakcija i bez određenog redosleda vezivanja za sorbent.

Primena procesa u industriji. Rezultati eksperimenta sa adsorpcionom kolonom prikazani

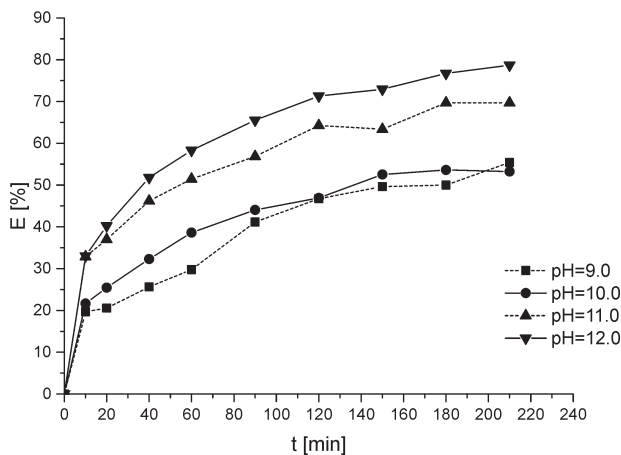
su na slici 8. Ovakav grafik ukazuje na to da je adsorpcija na koloni efikasan proces. U prvih 180 mL proteklog rastvora boje koncentracija adsorbata u frakcijama je zanemarljivo mala, a nakon toga se postepeno povećava. Primenom drugog izvoda određeno je da nakon 350 mL proteklog rastvora dolazi do proboja kolone. Ovo ukazuje da je kapacitet kolone 2.2 mg/g izražen kao masa boje koja je adsorbovana po gramu biosorbenta u koloni. Kriva karakterističnog S-oblika ukazuje na to da se adsorbovani molekuli zadržavaju na koloni, dok nakon njenog zasićenja višak molekula prolazi kroz kolonu. Spor porast koncentracije adsorbata nakon proboja kolone posledica je verovatno nedovoljno dobrog pakovanja biosorbenta u koloni. Takođe, primenom G-testa utvrđeno je da su vrednosti merenja za zapremine 200 – 220 mL posledica grube greške.

Regeneracija biosorbenta. Slika 9 prikazuje zavisnost efikasnosti desorpcije od pH vrednosti rastvora. Na višim pH vrednostima hidroksidni joni iz rastvora supstituišu adsorbovane molekule boje i oni prelaze u rastvor. S povećanjem pH vrednosti rastvora, odnosno koncentracije OH^- jona, desorpcija je prisutna u većoj meri. U tabeli 2 dati su rezultati regeneracije biosorbenta nakon 210 minuta od početka desorpcije.



Slika 8. Kriva proboja adsorpcione kolone ($c_0 = 50.0$ mg/L, brzina protoka 1.000 mL/min)

Figure 8. Breakthrough curve of adsorption column ($c_0 = 50.0$ mg/L, flow rate 1.000 mL/min)



Slika 9. Efikasnost desorpcije za različite pH vrednosti rastvora (koncentracija biosorbenta 4 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$)

Figure 9. Desorption efficiency at various pH values (biosorbent concentration 4 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$)

Tabela 2. Efikasnost regeneracije biosorbenta nakon 210 minuta

pH vrednost	9.0	10.0	11.0	12.0
Efikasnost (%)	55	53	70	79

Zaključak

Biosorpcija boje Acid orange 7 biomasom hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) pokazala se kao efikasan proces. Nakon 3 časa adsorbovano je 86% boje pri optimalnim uslovima (pH = 2.0, koncentracija biosorbenta 40 g/L, $t = 25^\circ\text{C}$). Smanjenje pH vrednosti favorizuje sorpciju, dok temperatura u intervalu 25–80°C nema uticaj na efikasnost biosorpcije. Rezultati ukazuju da proces adsorpcije odgovara Lengmirovom modelu

adsorpcione izoterme, tj. da se vezivanje dešava hemisorpcijom, jednoslojno na homogenoj površini, bez interakcija između adsorbovanih čestica i određenog redosleda vezivanja. Pokazano je da se proces može primeniti na koloni; kapacitet kolone iznosi 2.2 mg/g. Prilikom regeneracije biosorbenta desorbovano je 79% boje na pH = 12.0 i sobnoj temperaturi.

Predlog za dalje istraživanje bio bi ispitivanje efikasnosti i karakteristika biosorpcije na realnom uzorku otpadnih voda u industrijskim uslovima.

Zahvalnost. Zahvaljujem se Ljubici Perić, rukovodiocu programa hemije ISP, za pomoć pri nabavljanju biosorbenta, i Milošu Selakoviću, na pomoći, savetima i sugestijama oko realizacije projekta i obrade rezultata.

Literatura

Anliker R. 1986. *Organic colourants. Interpretation of mammalian, geno-, and eco-toxicity data in terms of potential risks*. London: The Royal Society of Chemistry

Carliell C. M., Barclay S. J., Naidoo N., Buckley C. A., Mulholland D. A., Senior E. 1995. Microbial decolourisation of reactive azo dye under anaerobic conditions. *Water SA*, **21**: 61.

Cartwright R. A. 1983. Historical and modern epidemiological studies on populations exposed to N-substituted aryl compounds. *Environmental Health Perspectives*, **49**: 13.

Freundlich H. 1906. Über die adsorption in lösungen. *Journal of Physical Chemistry*, **57**: 385.

Gajić J. 2014. Biosorpcija jona teških metala Pb²⁺ i Cd²⁺ iz vodenih rastvora biomasom hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Petničke sveske*, **73**: 333.

Gottlieb A., Shaw C., Smith A., Wheatley A., Forsythe S. 2003. The toxicity of textile reactive azo dyes after hydrolysis and decolourisation. *Journal of Biotechnology*, **101**: 49.

Langmuir I. 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, **40**: 1361.

Miller J. N., Miller J. C. 2010. *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. 6th edition. Harlow: Pearson Education

Pallenbach E., Scholz E., König M., Rimpler H. 1993. Proanthocyanidins from *Quercus petraea* Bark. *Planta Medica*, **59**: 264.

Pelosi B. T., Lima L. K. S., Vieira M. G. A. 2013. Acid Orange 7 Dye Biosorption by *Salvinia natans* Biomass. *Chemical Engineering Transactions*, **32**: 1051.

Popović M. B., Štajner D., Ždero R., Orlović S., Galić Z. 2013. Antioxidant Characterization of Oak Extracts Combining Spectrophotometric Assays and Chemometrics. *The Scientific World Journal*, **2013**.

Igor Topalović

Biosorption of Acid Orange 7 Dye by Sessile Oak (*Quercus petraea* L.) Biomass

In this study the effect of contact time, pH value, amount of biosorbent and temperature on the biosorption efficiency of Acid Orange 7 dye by Sessile oak sawdust (*Quercus Petraea* L.) was investigated. Further, the model of adsorption, potential process use in industry and possibility of already used biosorbent to regenerate were researched. The examined pH values were within the range 1.5–5.0, biosorbent concentration 5–50 g/L and temperature 25–80°C. Adsorption isotherms were obtained by varying the amount of biosorbent at pH 2.0 and room temperature and Langmuir's and Freundlich's isotherm models were compared. The experiment with an adsorption column was performed by continuous addition of dye solution into a sawdust column using a syringe pump. Biosorbent regeneration was tested at different pH in the range of 9.0–12.0. The concentration of dye in the supernatant was measured spectrophotometrically before, during and after biosorption. It was proven that the biosorption efficiency increases with the decrease of solution pH value and that the temperatures from 25°C to 80°C do not have influence on efficiency. Biosorption proved to be an effective process – adsorption maximum amounts 86% under optimal conditions (pH = 2.0, initial dye concentration 50.0 mg/L, biosorbent concentration 40 g/L and temperature 25°C). It was determined that the adsorption mechanism fits better with the Langmuir adsorption isotherm model, which means that adsorption occurs by monolayer chemisorption on a homogenous surface without interactions among adsorbed molecules and without specific binding order. Biosorption can also be used in industrial conditions: the capacity of the adsorption column was 2.2 mg/g. During the regeneration of the biosorbent it was noticed that while the solution pH increases, desorption efficiency increases as well; the regeneration maximum amounted to 79% at solution pH 12.0. 