
Jelena Gajić

Biosorpcija jona teških metala Pb^{2+} i Cd^{2+} iz vodenih rastvora biomasom hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

Ispitivana je efikasnost i karakteristike biosorpcije jona olova i kadmijuma na piljevini hasta lužnjaka (Quercus robur L.). Istraživanje obuhvata određivanje efikasnosti biosorpcije, modela adsorpcije, mogućnost primene procesa u industriji i sposobnost biosorbenta da se regeneriše. Merena je koncentracija jona u vodenom rastvoru pre, za vreme i nakon procesa biosorpcije, odnosno nakon dodatka biosorbenta. Piljevina hrasta lužnjaka pokazala se kao uspešan biosorbent – 87% za olovo i 53% za kadmijum nakon 2 minuta od početka sorpcije. Za adsorpciju jona olova najbolje poklapanje eksperimentalnih rezultata je sa Lengmirovim adsorpcionim modelom izoterme na $pH = 5$, dok je za adsorpciju kadmijumovih jona bolje poklapanje sa Frojndlihovim modelom, takođe na $pH = 5$. Biosorpcija jona je bila uspešna i na koloni: 100%-tno uklanjanje ispitivanih jona iz individualnih rastvora prvih 120 mL za olovo, odnosno 50 mL za kadmijum. Regeneracija biosorbenta rastvorom EDTA nije pokazala povoljne rezultate na ispitivanim koncentracijama.

Uvod

Zagađenje životne sredine teškim metalima, sve češće se javlja usled razvoja industrije i povećanja količine njenih otpadnih voda. Uklanjanje jona teških metala i sprečavanje zagađenja životne sredine, postaju sve veći problem. Najčešći izvor teških metala su rudarska industrija, keramička i staklarska industrija, fabrike za preradu metala, proizvodnju baterija, proizvodnju boja, pigmenata, municije. Njihove otpadne vode sadrže povećane koncentracije jona teških metala među kojima su olovo i kadmijum. Ovi teški metali nisu biodegradabilni i njihovo prisustvo u prirodnom okruženju može da izazove neželjene efekte u živim organizmima. olovo u organizmu narušava proces biosintetze hemoglobina, povećava krvni pritisak, oštećuje bubrege i mozak, umanjuje sposobnost učenja kod dece; unos kadmijuma u organizam dovodi do oštećenja bubrega, jetre, skeletnih deformiteta, hipertenzije, iritacije, anemije. Oba elementa su kancerogena. Prema tome,

*Jelena Gajić (1996),
Loznica, Filipa
Filipovića 18,
učenica 3. razreda
Srednje škole „Sveti
Sava” u Loznici*

MENTORI:

*Ljubica Perić, ISP
Nina Jevtić, ISP*

uklanjanje jona ovih metala iz okoline je od suštinskog značaja za zaštitu ljudskog i globalnog zdravlja.

Najrasprostranjenije metode za odstranjivanje teških metala iz rastvora su hemijska ili elektrohemijska precipitacija i jonoizmenjivačka metoda. Takođe je pokazano i da neke vodene biljke, poljoprivredni nusproizvodi, različiti tipovi gline, zeolita, kao i neki mikroorganizmi, poseduju sposobnost da adsorbuju ili akumuliraju teške metale (Argum *et al.* 2008).

Kao alternativna metoda odstranjivanja teških metala, sve češće se koristi biosorpcija. Biosorpcija je sposobnost određenih biomolekula da svojim funkcionalnim grupama vezuju određene jone. Pri tome se uklanjaju polutanti, najčešće joni metala i organska jedinjenja. Prednosti biosorpcije su to što je selektivna, jeftina i efikasna čak i pri niskim koncentracijama polutanata. Ekološki je održiva, jer se kao biosorbent koristi obnovljiv izvor – biomasa i koja predstavlja otpad u životnoj sredini ukoliko je neupotrebljena. Biomasi je moguće regenerisati pri čemu se dobija materijal za nov ciklus biosorpcije. Piljevina kao sporedni proizvod nastaje u velikim količinama prilikom obrade drveta u obliku čvrstog otpada. Piljevina prvenstveno sadrži lignin i celulozu, ali i velike količine polifenolnih jedinjenja, flavonoida i tanina.

Biomasa hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) je vrlo efikasan i lako dostupan biosorbent (Volesky 1990). Ova biljna vrsta široko je rasprostranjena u prirodi i često je korišćena za potrebe drvne industrije. Piljevina hrasta lužnjaka sadrži grandinin, kastalagin, galnu kiselinu, glukogalin, dilakton valoneinske kiseline, digaloil glukozu, trigaloil glukozu, ramnozu, kvircitrin, elaginsku kiselinu i druga polifenolna jedinjenja (Mämmelä *et al.* 2000). Ove komponente sadrže veliki broj funkcionalnih grupa (hidroksilnu, karbonilnu, karboksilnu) koje se, u zavisnosti od faktora sredine (pH, temperature, koncentracije biosorbenta) mogu deprotonovati u većoj ili manjoj meri, pri čemu se stvaraju aktivna mesta na biomolekulima sorbenta za koja se vezuju različiti joni teških metala i time uklanjaju iz rastvora (Volesky 1990)

U ovom radu ispitivana je efikasnost i karakteristike biosorpcije jona olova i kadmijuma na piljevini hasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Istraživanje obuhvata određivanje efikasnosti biosorpcije, modela adsorpcije, mogućnost primene procesa u industriji i sposobnost biosorbenta da se regeneriše.

Materijal i metode

Priprema biosorbenta i sorbata. Biomasa, odnosno piljevina hrasta lužnjaka najpre je usitnjena blenderom, a potom prosejana kroz sito veličine pora 250 mikrometara, i ispirana kontinualnim proticanjem destilovane vode uz pomoć vakuuma kroz špric napunjen piljevinom sve dok se voda koja izlazi iz istog nije izbistrila. Tako isprana piljevina sušena je na 55°C tokom 10 časova.

Pripremljeni su vodeni rastvori jona olova i kadmijuma koncentracije 5, 10, 20, 40, 50, 60, 100, 150 i 200 ppm rastvaranjem $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (Hizip; p.a.) i $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Zorka; p.a.) u destilovanoj vodi.

Praćenje kinetike biosorpcije. Efikasnost biosorpcije određena je udeo adsorbovane koncentracije jona u odnosu na početnu koncentraciju:

$$E = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

gde je E – efikasnost sorpcije, C_0 – početna koncentracija jona, a C_t – koncentracija neadsorbovanih jona u rastvoru nakon biosorpcije

Korišćena aparatura se sastoji od mehaničke mešalice (IKA RW16 basic) čiji je impeler uronjen u čašu od 250 mL u kojima se nalazi po 100 mL rastvora jona olova odnosno jona kadmijuma koncentracije 50 ppm. Broj obrtaja je podešen na 360 obrtaja/min. U rastvor je dodato 0.0500 g biosorbenta. Alikvoti od 3 mL uzimani su nakon 2, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 80 i 90 minuta od početka sorpcije i filtrirani kako bi se rastvor odvojio od piljevine. Filtrati su dalje razblaživani i analizirani atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom (Thermo S-Series AA spectrometer).

Adsorpcione izoterme. Adsorpcione izoterme dobijene su variranjem početne koncentracije ispitivanih jona (5, 10, 20, 40, 60, 100, 150 i 200 ppm) na različitim pH vrednostima (3.0; 4.0; 5.0), dok su ostali parametri održavani stalnim. Nakon 45 minuta od početka biosorpcije uzimani su alikvoti od po 3 mL i analizirani atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom.

U cilju ispitivanja veze između kapaciteta biosorbenta (q) i ravnotežne koncentracije jona olova i kadmijuma (C_e) u rastvoru, korišćeni su Lengmirov i Frojndlihov model izoterme.

Kapacitet biosorbenta predstavlja masu adsorbovanih jona (mg) po gramu sorbenta:

$$q = \frac{C_0 - C_t}{m} \times V \quad (2)$$

gde je m – masa biosorbenta (u gramima), V – zapremina rastvora jona (u litrima), C_0 – početna koncentracija jona, a C_t – koncentracija neadsorbovanih jona u rastvoru nakon biosorpcije.

Lengmirov model izoterme idealizuje da se vezivanje metalnih jona dešava na homogenoj površini jednoslojnom adsorpcijom, bez interakcije između adsorbovanih jona. Lengmirovi parametri određeni su pomoću grafika linearizovanog oblika Langmirove izoterme C_e/q od C_e . Grafik zavisnosti C_e/q od C_e je prava linija, čiji je nagib $1/q_{\max}$, a isečak $1/(Kq_{\max})$:

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{q_{\max}} \cdot C_e + \frac{1}{K \cdot q_{\max}} \quad (3)$$

gde je C_e – ravnotežna koncentracija ispitivanih jona u rastvoru (mg/L), q – količina vezanih metalnih jona adsorbovanih jediničnom masom sorbenta celom monoslojnom površinom (mg/g), q_{\max} – Lengmirova ravnotežna konstanta koja se odnosi na maksimalni adsorpcioni kapacitet (afinitet ak-

ativnih centara) (mg/g) a K – Laegmirova konstanta koja se odnosi na entalpiju adsorpcije (L/mg)

Frojnđlihov model adsorpciju definiše na sledeći način: vezivanje metalnih jona dešava se na heterogenoj površini, pri čemu se prvo ostvaruju jače veze, obavezujuća snaga opada kako stepen okupiranosti deprotonovanih centara raste, zbog toga je bliži fizičkom objašnjenju adsorpcije:

$$q = K \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

gde je C_e – ravnotežna koncentracija ispitivanih jona u rastvoru (mg/L), q – količina vezanih metalnih jona adsorbovanih jediničnom masom sorbenta (mg/g). Frojnđlihova empirijska adsorpciona izoterma predstavlja se logaritamski, linearno, po jednačini:

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \cdot \log C_e. \quad (5)$$

Adsorpciona kolona. Eksperiment sa adsorpcionom kolonom predstavlja simulaciju uklanjanja olova i kadmijuma industrijski u realnim uslovima. Kolona prečnika 15.89 mm napunjena je piljevinom u visini od 5 cm. Sa gornje strane u kolonu je kontinualnim proticanjem od 1 mL/min dodavan rastvor jona olova odnosno kadmijuma koncentracije 50 ppm. Nakon prolaska kroz kolonu, frakcije su prihvatane na svakih 10 min od početka biosorpcije i to u periodu od 210 min za olovo, 240 minuta za kadmijum.

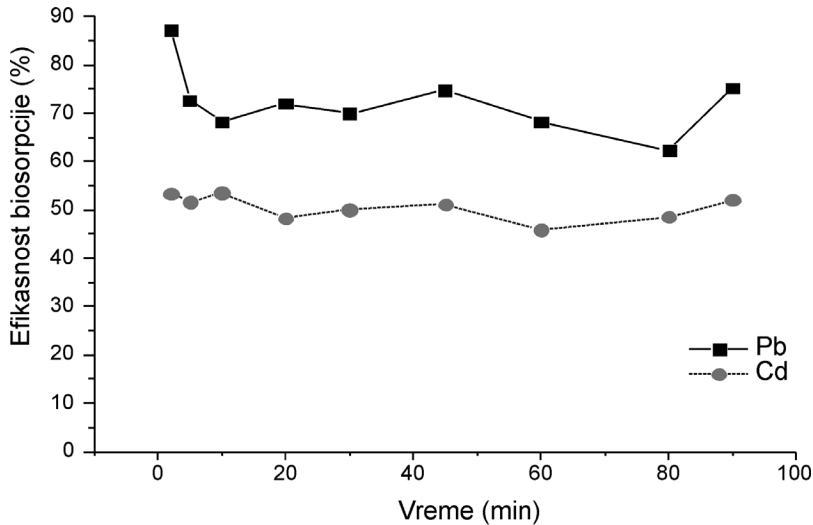
Regeneracija biosorbenta. U 100 mL rastvora jona olova, kadmijuma i rastvora u kom su prisutni i joni olova i kadmijuma koncentracija 50 ppm dodato je po 0.0500 g biosorbenta. Nakon 5 časova rastvori su profiltrirani; filtratima je određivana koncentracija prisutnih jona a zaostala piljevina je sušena na sobnoj temperaturi tokom 12 časova. Uzeto je po 0.0300 g prethodno korišćene piljevine, dodato u 50 mL rastvora EDTA (koncentracije 0.0250 mol/dm³) i mešano tokom 60 min. Alikvoti od 5 mL su uzimani nakon 5, 20, 40 i 60 minuta od početka desorpcije, filtrirani i analizirani.

Rezultati i diskusija

Kinetika biosorpcije Pb²⁺ i Cd²⁺ jona

Efikasnost biosorpcije u zavisnosti od vremena data je na slici 1. Analiza rezultata pokazuje da je kontaktno, odnosno vreme trajanja biosorpcije, nema značajnog uticaja na efikasnost biosorpcije. Nakon 2 minuta od početka sorpcije uspostavlja se ravnoteža i dolazi do maksimuma adsorpcije, što je 87% za olovo i 53% za kadmijum. Pri dužem kontaktu nema povećanja efikasnosti biosorpcije kao ni značajnog pada, uspostavlja se ravnoteža što znači da se paralelno odigravaju dva procesa (adsorpcija i desorpcija).

Na osnovu izgleda adsorpcionih izoterma uočava se da je nabolje poklapanje sa ispitivanim modelima na pH = 5, što ukazuje da je i najbolje



Slika 1.
Efikasnost biosorpcije jona olova i kadmijuma u zavisnosti od kontaktnog vremena (2, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 80 i 90 minuta) biosorbenta i sorbate

Figure 1.
Biosorption efficiency of lead and cadmium ions, depending on the contact time between biosorbent and sorbate (2, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 80 i 90 minutes)

uklanjanje jona olova kao i jona kadmijuma na pH = 5. Na pH = 5 i nižim pH vrednostima u rastvoru su prisutne sledeće jonske vrste Pb^{2+} i $Pb(OH)^+$ odnosno Cd^{2+} i $Cd(OH)^+$. Naime, na višim pH vrednostima dolazi do stvaranja slabo rastvornih hidroksida ispitivanih metala, $Pb(OH)_2$ odnosno $Cd(OH)_2$, koji talože i ometaju proces biosorpcije. U datim uslovima dolazi do deprotonovanja funkcionalnih grupa karakterističnih jedinjenja biosorbenta i pojave negativno naelektrisanih aktivnih centara. To uslovljava favorizovanu interakciju između pozitivnih jonskih vrsta metala i negativnih delova polifenolnih molekula, tačnije najefikasniji proces biosorpcije.

Adsorpcione izoterme

Podaci prikazani u tabelama 1 i 2 ukazuju na model adsorpcije ispitivanih jona. U tabeli 1 dati su parametri Lengmirovog modela, a u tabeli 2 parametri Frojndlihovog modela adsorpcije, sa odgovarajućim vrednostima koeficijenta determinacije R^2 . Model biosorpcije izabran je na osnovu vrednosti R^2 .

Analiza rezultata u tabelama 1 i 2 pokazala je da je za adsorpciju Pb^{2+} jona najbolje poklapanje sa Langmirovim adsorpcionim modelom izoterme ($R^2 = 0.991$) i to na pH = 5 što ukazuje na to da se radi o tipičnoj monoslojnoj adsorpciji na homogenoj površini čestica biosorbenta, bez interakcija između adsorbovanih jona i bez striktnog redosleda vezivanja. Iz podataka se uočava da je za adsorpciju Cd^{2+} jona bolje poklapanje sa Frojndlihovim modelom adsorpcione izoterme ($R^2 = 0.994$), takođe na pH = 5, što znači da se radi o višeslojnoj adsorpciji, pri čemu se prvo ostvaruju jače veze, snaga vezivanja opada kako stepen okupiranosti deprotonovanih centara raste, tj. postoji sličnost sa fizičkom adsorpcijom.

Tabela 1. Lengmirovi parametri adsorpcionih izoterma

Jon	pH	Nagib	Odsečak	q_{max}	K	R^2
Pb	3	0.00051	0.8497	1960	0.000601	0.05193
	4	0.00706	0.07299	141.643	0.0967	0.97211
	5	0.00542	0.07393	184.502	0.0733	0.99137
Cd	4	0.00781	0.3168	128.041	0.0247	0.81661
	5	0.00495	0.26157	202.02	0.01892	0.98575
Pb*	4	0.00481	0.03455	207.90	0.1392	0.97855
Cd*	4	0.000486	0.67388	2057.19	0.000721	0.04038

* Pb^{2+} i Cd^{2+} joni iz istog (zajedničkog) rastvora

Tabela 2. Frojndlihoivi parametri adsorpcionih izoterma

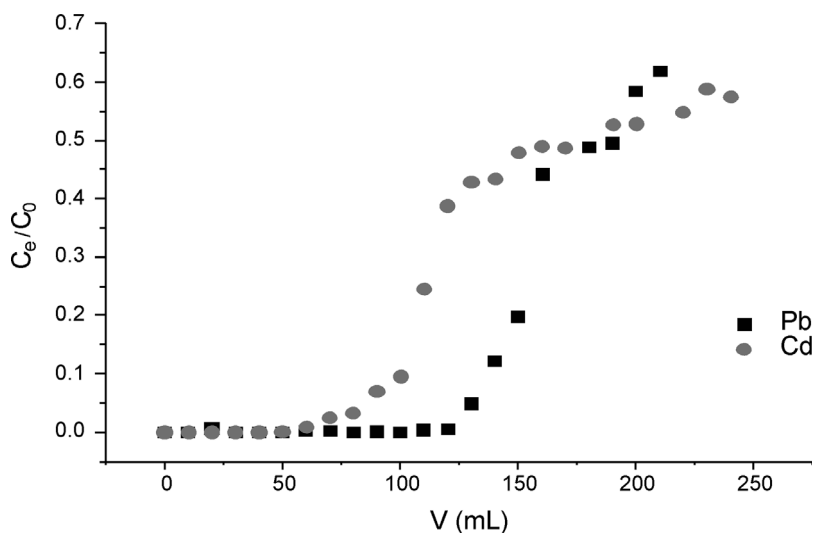
Jon	pH	Nagib	Odsečak	n	K	R^2
Pb	3	0.44076	0.9956	2.2688	9.8992	0.81021
	4	0.49170	1.24844	2.0338	17.719	0.93903
	5	0.50375	1.26771	1.98511	18.5229	0.98383
Cd	4	0.35262	1.13695	2.8359	13.70724	0.91939
	5	0.69578	0.76234	1.4372	5.7855	0.99434
Pb*	4	0.93574	0.62347	1.0687	4.2021	0.83288
Cd*	4	0.71227	0.62137	1.40396	4.1819	0.88398

* Pb^{2+} i Cd^{2+} joni iz istog (zajedničkog) rastvora

Što se tiče jona olova i kadmijuma koji se nalaze u istom sistemu pre adsorpcije, eksperiment je pokazao da je za adsorpciju olova, poklapanje bolje sa Lengmirovim ($R^2 = 0.979$) nego sa Frojndlihovim modelom izoterme ($R^2 = 0.833$), dok je za jon kadmijuma adsorpcija znatno sličnija Frojndlihovom modelu ($R^2 = 0.884$) u odnosu na Lengmirov ($R^2 = 0.040$).

Adsorpciona kolona

Rezultati eksperimenta na adsorpcionoj koloni prikazani su na slici 2. Na ovom grafiku se uočavaju karakteristične krive S oblika dobijene za oba ispitivana jona. To ukazuje da je biosorpcija jona olova i kadmijuma na piljevini hrasta lužnjaka u adsorpcionoj koloni efikasna. U prvih nekoliko frakcija, joni olova odnosno kadmijuma nisu prisutni, dok im je koncentracija sve do tačke proboja izuzetno niska. Tačka proboja se javlja nakon oko 150-160 mL za olovo odnosno 110-120 mL za kadmijum, nakon čega kolona postaje zasićena a svaka sledeća frakcija ima veću koncentraciju. Nagli rast krive proboja ukazuje na dobre karakteristike piljevine hrasta kao biosorbenta. To znači da se adsorbovani joni ne desorbuju sa kolone u toku protoka rastvora, dok prvi višak olova odnosno kadmijuma, prolazi kroz kolonu a frakcija nakon zasićenja ima znatno veću koncentraciju od pret-



Slika 2.
Krive proboja adsorpcione kolone olovo odnosno kadmijum na piljevini hrasta lužnjaka ($C_0(\text{Pb}^{2+}) = C_0(\text{Cd}^{2+}) = 50 \text{ ppm}$; brzina protoka: 1 mL/min)

Figure 2.
Breakthrough curves of lead and cadmium biosorption column by pedunculate oak sawdust ($C_0(\text{Pb}^{2+}) = C_0(\text{Cd}^{2+}) = 50 \text{ ppm}$; flow rate 1 mL/min)

hodne. Shodno tome, eksperiment je pokazao da je uklanjanje jona olova, odnosno kadmijuma na adsorpcionoj koloni biomasom hrasta lužnjaka izuzetno efikasan proces.

Regeneracija biosorbenta

Početna koncentracija jona u rastvoru pre početka procesa biosorpcije iznosi 50 ppm za olovo, 50 ppm za kadmijum i po 50 ppm za olovo i kadmijum u smeši. Rezultati procesa desorpcije predstavljeni su u tabelama 3 i 4.

Tabela 3. Koncentracija jona nakon 5 h od početka sorpcije (ppm)

Pb	Cd	Pb + Cd	
		Pb	Cd
0.235	0.000	19.41	36.80

Tabela 4. Koncentracije desorbovanih jona (ppm) iz piljevine u rastvor EDTA ($c = 0.0250 \text{ mol/dm}^3$)

Vreme	Pb	Cd	Pb+Cd	
			Pb	Cd
5 min	5.708	2.854	8.790	0.522
20 min	8.954	1.788	10.84	0.727
40 min	8.097	2.906	12.01	0.555
60 min	6.228	2.963	10.72	0.791

Maksimum desorpcije za ispitivane jone istaknut je u tabeli 4 i iznosi:
– Pb^{2+} – 15% ;

- Cd^{2+} – 5 %;
- Pb^{2+} (+ Cd^{2+}) – 33 %;
- Cd^{2+} (+ Pb^{2+}) – 5 %.

Rezultati su pokazali da je regeneracija biosorbenta rastvorom EDTA moguća ali nedovoljno efikasna na ispitivanoj koncentraciji EDTA.

Zaključak

Piljevina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) pokazala se kao uspешan biosorbent za uklanjanje jona olova i kadmijuma iz vodenih rastvora sa maksimalnom efikasnošću od 87% za olovo i 53% za kadmijum. Adsorpcija dostiže maksimum već nakon 2 minuta od početka procesa.

Adsorpciju jona olova bolje opisuje Lengmirov adsorpcioni model izoterme, pri čemu je najbolje poklapanje sa ovim modelom na $\text{pH} = 5$, što ukazuje na to da se radi o tipičnoj hemijskoj monoslojnoj adsorpciji na homogenoj površini čestica biosorbenta, dok se adsorpcija jona kadmijuma predstavlja Frojndlihovim modelom, takođe na $\text{pH} = 5$, što znači da je u ovom slučaju dominantnija višeslojna adsorpcija. Kada se ispitivani joni tretiraju u istom rastvoru (na $\text{pH} = 4$), adsorpcija olova takođe više odgovara Lengmirovom modelu, a adsorpcija kadmijuma Frojndlihovom.

Piljevina hrasta lužnjaka se uspешno može koristiti za adsorpciju jona Pb^{2+} i Cd^{2+} na koloni: 100%-tno uklanjanje ispitivanih jona iz individualnih rastvora prvih 120 odnosno 50 mL; tačke proboja na 150-160 mL, odnosno 110-120 mL.

Regeneracija biosorbenta rastvorom EDTA je moguća, ali nedovoljno efikasna na ispitivanoj koncentraciji EDTA.

Literatura

- Argun M. E., Dursun S. A. 2008. new approach to modification of natural adsorbent for heavy metal adsorption. *Bioresource Technology*, **99**: 2516.
- Argun M. E., Dursun S., Karatas M., Guru M. 2008. Activation of pine cone using Fenton oxidation for Cd(II) and Pb(II) removal. *Bioresource Technology*, **99**: 8691.
- Argun M. E., Dursun S., Ozdemir C., Karatas M. 2007. Heavy metal adsorption by modified oak sawdust: Thermodynamics and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, **141**: 77.
- Bharathi K. S., Ramesh S. P. T. 2013. Fixed-bed column studies on biosorption of crystal violet from aqueous solution by *Citrullus lanatus* rind and *Cyperus rotundus*. *Applied Water Science*, **3**: 673.
- Bunluesin S., Kruatrachue M., Pokethitiyook P., Upatham S., Lanza G. R. 2007. Batch and Continuous Packed Column Studies of

- Cadmium Biosorption by *Hydrilla verticillata* Biomass. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **6**: 509.
- Djafer A., Kouadri Moustefai S., Idou A., Douani M. 2013. Batch and Continuous Packed Column Studies Biosorption by Yeast Supported onto Granular Pozzolana. *International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering*, **7**: 666.
- Mämmelä P., Savolainenb H., Lindroosa L., Kangasd J., Vartiainen T. 2000. Analysis of oak tannins by liquid chromatography-electrospray ionisation mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, **891**: 75.
- Palma G., Freer J., Baeza J. 2003. Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*, **37**: 4974.
- Prasad M. N. V., Freitas H. 2000. Removal of toxic metals from solution by leaf, stem and root phytomass of *Quercus ilex* L. (holly oak). *Environmental Pollution*, **110**: 277.
- Sarý A., Tuzen M. 2008. Biosorption of cadmium(II) from aqueous solution by red algae (*Ceramium virgatum*): Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Hazardous Materials*, **157**: 448.
- Sivaprakash B., Rajamohan N., Sathik A. M. 2010. Batch and column sorption of heavy metal from aqueous solution using marine alga *Sargassum tenerrimum*. *International Journal of ChemTech Research*, **2**: 155.
- Šćiban M., Klačnja M. 2004. Wood sawdust and wood originate materials as adsorbents for heavy metal ions. *Holz Roh Werkst*, **62**: 69.
- Thayyath S. A., Padmajan S. S. 2008. Synthesis and characterization of tannin-immobilized hydrotalcite as a potential adsorbent of heavy metal ions in effluent treatments. *Applied Clay Science*, **42**: 214.
- Volesky B. 1990. *Biosorption of Heavy Metals*. CRC Press

Jelena Gajić

Biosorption of Heavy Metal Ions Pb^{2+} and Cd^{2+} from Aqueous Solution by Biomass of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.)

In this study the efficiency and characteristics of biosorption of Pb^{2+} and Cd^{2+} ions by pedunculate oak sawdust (*Quercus robur* L.) was researched. Efficiency of biosorption was determined, as well as the model of adsorption, capability of application in industry, and capability of regeneration of biosorbent. Concentration of ions was measured before and after addition of biosorbent. Pedunculate oak sawdust turned out to be a successful biosorbent for the removal of ions Pb^{2+} and Cd^{2+} (87% for lead and 53% for cadmium 2 minutes after the beginning of biosorption). For the adsorption of Pb^{2+} ion, the best fit in the experimental data is with the Langmuir adsorption isotherm model at $pH = 5$, while the adsorption of Cd^{2+} ions better matches the Freundlich adsorption isotherm model, also at $pH = 5$. Biosorption of Pb^{2+} and Cd^{2+} was also successful at the column: a 100% removal of ions from the tested individual solution; first 120 mL for lead and 50 mL for cadmium. Regeneration of biosorbent with EDTA solution did not show good results at the tested concentrations.

