



VII

MEMORIJALNI NAUČNI SKUP IZ
ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE
„DOCENT DR MILENA DALMACIJA“

KNJIGA RADOVA

01-02.04.2019. Novi Sad



Organizatori



Univerzitet u Novom Sadu

Prirodno-matematički fakultet



**Departman za hemiju, biohemiju
i zaštitu životne sredine**

Fondacija Docent dr Milena Dalmacija



KNJIGA RADOVA

VII Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine „Docent dr Milena Dalmacija“

IZDAVAČ

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

GLAVNI UREDNIK

**dr Đurđa Kerkez
dr Anita Leovac Maćerak**

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Библиотека Матице српске, Нови Сад

502.17(082)

МЕМОРИЈАЛНИ научни skup iz zaštite životne sredine "Доцент др Милена Далмација" (7 ; 2019 ; Нови Сад)

Knjiga radova i apstrakata [Elektronski izvor] / VII memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine "Docent dr Milena Dalmacija", 1-2.4.2019, Novi Sad ; [glavni urednik Đurđa Kerkez, Anita Leovac Maćerak]. - Novi Sad : Prirodno-matematički fakultet, 2019. - 1 elektronski optički disk (CD ROM) : tekst, graf. prikazi ; 12 cm

Nasl. sa naslovnog ekrana. - Tiraž 100. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7031-510-5

a) Животна средина - Заштита - Зборници
COBISS.SR-ID 328914439

ISBN:978-86-7031-510-5

Tiraž:100; Obrada: dr Đurđa Kerkez, dr Anita Leovac Maćerak, Nada Popsavin.

Odbori

Naučni odbor:

- ◆ dr Miladin Gligorić, redovni profesor, Tehnološki fakultet Zvornik, Univerzitet u Istočnom Sarajevu
- ◆ dr Olga Petrović, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu, u penziji
- ◆ dr Jasmina Agbaba, redovni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Srđan Rončević, vanredni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Dragan Radnović, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Dušan Mrđa, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Milena Bečelić-Tomin, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Miljana Prica, vanredni profesor FTN, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Jelena Tričković, vanredni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Snežana Maletić, vanredni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Dejan Krčmar, vanredni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Emilijan Mohora, docent Fakulteta za primenjenu ekologiju – „Futura“, Univerzitet Singidunum, Beograd

Organizacioni odbor:

- ◆ dr Đurđa Kerkez, docent, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Anita Leovac-Maćerak, asistent, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Dragana Tomašević Pilipović, docent, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Aleksandra Tubić, vanredni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Marijana Kragulj Isakovski, vanredni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Vesna Pešić, docent PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ Nada Popsavin, stručni saradnik za odnose sa javnošću, PMF, Univerzitet u Novom Sadu

Sadržaj

Sekcija: Voda (V)

- Dragana Šunjka: Primena tehnike pasivnog uzorkovanja u određivanju sadržaja pesticida u vodi (*pozivno predavanje*).....V-01
- Dragana Kukić, Vesna Vasić, Miloš Radosavljević, Sanja Panić, Marina Šćiban, Jelena Prodanović, Jelena Pejin: Preliminarna ispitivanja međuproizvoda dobijanja aktivnog uglja iz pivskog tropa kao potencijalnog adsorbenta.....V-02
- Jovana Jokić, Anita Leovac Maćerak, Đurđa Kerkez, Milena Bečelić-Tomin, Dragana Tomašević Pilipović, Aleksandra Kulić: Uklanjanje odabranih lekova iz vode primenom foto-Fentona i katalitičkog foto-Fentona.....V-03
- Aleksandar Jovanović, Slavko Mijatov, Maja Đolić, Zlate Veličković, Aleksandar Marinković: Kinetika i termodinamika procesa adsorpcije As(V) iz vodenih rastvora na modifikovanom adsorbentu SiO₂/APTES/GT..... V-04
- Vesna Kecić, Đurđa Kerkez, Miljana Prica, Milena Bečelić-Tomin, Aleksandra Kulić, Anita Leovac Maćerak: Degradacija magenta grafičke boje primenom Fe₂(MoO₄)₃ kao heterogenog Fenton katalizatora.....V-05
- Aleksandra Kulić, Milena Bečelić-Tomin, Snežana Maletić, Vesna Pešić, Nataša Slijepčević, Đurđa Kerkez, Gordana Pucar Milidrag: Ispitivanje toksičnosti industrijskih efluenata na *Vibrio fischeri* bakterijama.....V-06
- Tijana Marjanović, Snežana Maletić, Jelena Prodanović, Minja Bogunović, Ivana Ivančev-Tumbas: Ispitivanje efikasnosti uklanjanja cinka, bakra i arsena prirodnim koagulantom u model otpadnoj vodi.....V-07
- Kristiana Zrnić, Srđan Rončević, Emilijan Mohora, Jasmina Agbaba, Slaven Tenodi, Božo Dalmacija: Uticaj odabranih operativnih parametara na efikasnost elektrokoagulacije u tretmanu podzemne vode sa visokim sadržajem arsena..... V-08
-

Sekcija: Sediment (S)

- Nataša Varga: Uticaj unapređenih tretmana elektrokinetičke remedijacije na mobilnost i uklanjanje metala u sedimentu (*pozivno predavanje*).....S-01
- Miloš Dubovina, Dejan Krčmar, Vesna Pešić, Slaven Tenodi, Dunja Rađenović, Radivoj Tomić, Dalmacija Božo: Monitoring uticaja deponije zagađenog sedimenta kanala Begej na kvalitet podzemnih voda.....S-02

Sadržaj

Dunja Rađenović, Đurđa Kerkez, Dragana Tomašević Pilipović, Miloš Dubovina, Nataša Slijepčević, Nenad Popov, Božo Dalmacija: Ispitivanje uticaja starenja stabilizovanog i solidifikovanog sedimenta zagađenog bakrom, cinkom i olovom S-03

Maja Lončarski, Aleksandra Tubić, Sanja Vasiljević, Jasmina Agbaba: Razvoj metode izolovanja mikroplastike iz čvrstih uzoraka..... S-04

Sekcija: Upravljanje otpadom (UO)

Aleksandra Cvetanović, Gokhan Zengin, Zoran Zeković: Određivanje bioaktivnosti otpada kamilice nakon izolovanja komponenata etarskog ulja (*pozivno predavanje*)..... UO-01

Boško Lazić, Dejan Ubavin, Aleksandra Narevski, Goran Vujić: Tretman organskog otpada - kompostiranje.....UO-02

Irina Jevrosimov, Marijana Kragulj Isakovski, Snežana Maletić, Đurđa Kerkez, Jelena Petrović, Marija Mihajlović, Tamara Apostolović, Jelena Tričković, Jasmina Agbaba: Karakterizacija hidročadi poreklom od rezanca šećerne repe i biljke miskantus.....UO-03

Ida Zahović, Zorana Rončević, Siniša Dodić, Jovana Grahovac, Jelena Dodić: Ispitivanje mogućnosti iskorišćenja otpadnog glicerola u biotehnološkoj proizvodnji ksantana.....UO-04

Sekcija: Zemljište (Z)

Slađana Đurđić, Vesna Vukojević, Jelena Mutić: Izotopski odnos olova kao indikator antropogenog zagađenja u zemljišnim supstratima.....Z-01

Marko Grgić, Tamara Apostolović, Tajana Đurkić, Jelena Molnar Jazić, Marijana Kragulj Isakovski, Snežana Maletić, Aleksandra Tubić, Jamina Agbaba: Validacija metode za određivanje policikličnih aromatičnih ugljovodonika u zemljištu.....Z-02

Sekcija: Vazduh (Va)

Dubravka Novičić, Vesna Cvetkov, Vesna Damnjanović: Ispitivanje magnetske susceptibilnosti prašine antropogenog porekla.....Va-01

Karolina Đukić, Vesna Cvetkov, Vesna Damnjanović: Uticaj solarne aktivnosti na zdravlje čoveka.....Va-02



Sadržaj

Sekcija: Održivi razvoj (OR)

Boris Agarski, Igor Budak, Đorđe Vukelić, Milana Ilić Mićunović, Borut Kosec: Odmeravanje kod ocenjivanja uticaja životnog ciklusa (*pozivno predavanje*).....OR-01

Sanja Milošević Govedarović, Nikola Cvjetičanin, Jasmina Grbović Novaković: Primena VO₂(B) kao katalizatora u reakciji dehidriranja MgH₂ i kao interkalatnog materijala u litijumskim baterijama (*pozivno predavanje*).....OR-02

Aleksandar Fijat, Senka Popović, Danijela Šuput, Nevena Hromiš, Sandra Bulut, Vera Lazić: Karakterizacija i mogućnost upotrebe biorazgradivih ambalažnih materijala na bazi proteina izolovanih iz nusproizvoda prerade uljarica.....OR-03

KARAKTERIZACIJA HIDROČAĐI POREKLOM OD REZANCA ŠEĆERNE REPE I BILJKE MISKANTUS

Irina Jevrosimov¹, Marijana Kragulj Isakovski¹, Snežana Maletić¹, Đurđa Kerkez¹, Jelena Petrović², Marija Mihajlović², Tamara Apostolović¹, Jelena Tričković¹, Jasmina Agbaba¹

¹*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, e-mail adresa: irinaj@dh.uns.ac.rs*

²*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franše d' Eperea 86, 11000 Beograd, R. Srbija*

Izvod

Cilj ovog rada bila je fizičko-hemijska karakterizacija hidročađi dobijene od rezanca šećerne repe i biljke miskantus. Fizičko-hemijska karakterizacija je obuhvatala određivanje specifične površine, zapremine pora, srednjeg radijusa svih pora i površinskog sadržaja ugljenika ispitivanih materijala. Poređenjem specifičnih površina hidročađi rezanca šećerne repe može se uočiti da sa porastom temperature raste specifična površina ispitivanih adsorbenata, dok kod miskantusa sa porastom reakcione temperature specifična površina hidročađi opada. Zapremina mikro- mezo- kao i ukupna zapremina pora za sve hidročađi raste sa porastom temperature od 180°C do 220°C. Hidročađi miskantusa pokazale su veću zapreminu pora (mikro- mezo- i ukupnu zapreminu) u odnosu na hidročađ rezanca šećerne repe. Srednji radijus pora hidročađi poreklom od miskantusa raste sa porastom temperature, dok jasan trend za hidročađ poreklom od rezanca šećerne repe nije uočen. Na osnovu EDS analize uočeno je da tokom termalne konverzije raste sadržaj ugljenika za hidročađ rezanca šećerne repe kako raste temperatura konverzije biomase, dok za hidročađ poreklom od miskantusa nije uočena značajnija promena sadržaja ugljenika.

Ključne reči: fizičko-hemijska karakterizacija, hidročađ, biomasa

Uvod

S obzirom da poljoprivredna proizvodnja predstavlja važan ekonomski sektor u R. Srbiji, količina nastale otpadne biomase je značajna (oko 13 miliona t/godini) [1]. Pod pojmom biomase se podrazumevaju svi biološki materijali koji vode poreklo od živih ili nedavno uginulih biljnih i/ili životinjskih organizama. U kontekstu proizvodnje energije, biomasa se klasifikuje kao najzastupljeniji, obnovljivi resurs i obično se odnosi na biomasu biljnog porekla [1]. Biomasa je jedna od najperspektivnijih sekundarnih sirovina u svetu, može se primenjivati u različite svrhe npr., za proizvodnju goriva, za svrhu prečišćavanja otpadnih voda, remedijaciju sedimenta/zemljišta i sl. Osnovne strukturne komponente biomase su: celuloza, hemiceluloza, lignin i ekstraktivna ulja, čija količina u velikoj meri može varirati [1]. Količina svake komponente zavisi od vrste biomase, vrste tkiva, faze i uslova rasta biljke.

Direktna upotreba otpadne biomase je problematična sa više aspekata (efikasnost, konzistencija, stabilnost i dr.), pa se biomasa u zavisnosti od njene namene konvertuje u različite produkte kao što su:

1. Čađ (eng. Char) - Čvrst produkt dekompozicije prirodnog ili sintetičkog organskog materijala.
2. Ugalj (eng. Charcoal) - Tradicionalni naziv za ugalj dobijen od drveta, treseta, uglja ili nekog drugog sličnog organskog materijala.
3. Aktivni ugalj (eng. Activated carbon) - Porozni ugljenični materijal odnosno čađ koji je podvrgnut reakcijama sa gasovima ponekad uz dodatak određenih hemikalija (npr. $ZnCl_2$) pre, tokom i nakon karbonizacije kako bi se povećale adsorpcione karakteristike.
4. Biougalj (eng. Biochar) - Primarno se proizvodi kao fertilizer za zemljišta odnosno materijal koji se primenjuje na zemljište kako bi poboljšao njegove osobine.
5. Hidročađ (eng. Hydrochar) - Hidročađ proizvedena procesom termohemijske konverzije (HTC) odnosno dekompozicijom organske materije pod mokrim uslovima.

Navedeni produkti predstavljaju rezultat termohemijske konverzije biomase. Tokom HTC procesa upotrebljena sirovina se podvrgava seriji reakcija koje uključuju hidrolizu, dehidraciju, dekarboksilaciju, aromatizaciju i kondenzaciju, pri čemu se dobijaju proizvodi u čvrstom (hidročađ), tečnom (procesna voda) i gasovitom stanju [2]. Komponente lignocelulozne biomase (lignin, celuloza i hemiceluloza) pri HTC uslovima postaju manje stabilne usled čega dolazi do njihove delimične hidrolize. Pored toga, istovremeno sa formiranjem hidročađi, organske komponente se razgrađuju na manje, nestabilne fragmente koji se repolimerizuju u uljne komponente sadržane u procesnoj vodi [3]. Dobijena hidročađ je hidrofobna, porozna, sa visokim sadržajem ugljenika i manjim sadržajem kiseonika i vodonika u odnosu na polaznu biomasu [4]. Zahvaljujući svojim fizičko-hemijskim karakteristikama, mogućnost primene hidročađi je velika [2]. Pored korišćenja za proizvodnju toplotne i električne energije, hidročađ se do sada primenjivala za poboljšavanje kvaliteta zemljišta, kao adsorbent za uklanjanje ciljanih polutanata iz vodene sredine, kao katalizator, sirovina za pelet i dr. [5]. Pored hidročađi pri HTC procesu se generišu i veće količine procesne vode, bogate fenolnim komponentama i rastvorenim organskim fragmentima poput organskih kiselina, furfurala i monomernih šećera [6]. Prinosi i karakteristike proizvoda HTC procesa zavise od reakcionih uslova, ali i tipa biomase koja se koristi [2]. Uzimajući sve ovo u obzir, cilj ovog rada bio je da se ispituju i porede fizičko-hemijske karakteristike dobijene hidročađi poreklom od rezanca šećerne repe i biljke miskantus.

Eksperimentalni deo

Karakterizacija ispitivanih hidročađi

Fizičko-hemijska i morfološka karakterizacija ispitivanih hidročađi podrazumevala je određivanje specifične površine, zapremine pora, srednjeg radijusa svih pora kao i površinskog sadržaja ugljenika. Specifična površina (SP), mikropore, ukupna zapremina mezopora i svih pora i srednji radijus svih pora za ispitivane adsorbente mereni su primenom adsorpcije azota na 77 K upotrebom analizatora za određivanje specifične površine i veličine pora (AutosorbTM i Quantochrome Instruments, USA). SP je izračunata pomoću BET metode (Brunauer-Emmett-Teller). Zapremina mezopora je određena primenom desorpcionih izoterma BJH (Barrett-Joyner-Halenda) modela. Zapremina mikropora je izračunata upotrebom metode t-testa i HK. Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM, Hitachi TM3030) sa energo-disperzivnom rendgenskom spektrometrijom (EDS, Bruker Quantax 70 X-ray detector system) je korišćena za određivanje procentualnog sadržaja ugljenika i kiseonika na površini ispitivanih adsorbenata.

Rezultati i diskusija

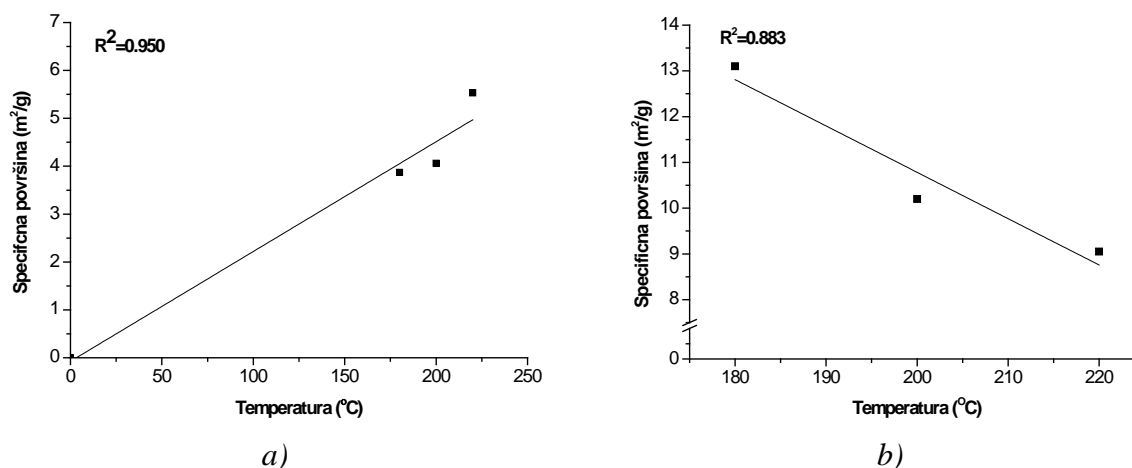
Fizičko-hemijska karakterizacija ispitivanih materijala

Karakterizacija ispitivanih adsorbenata (hidročadi) podrazumevala je određivanje BET specifične površine, ukupne zapremine pora, zapreminu mezo- i mikropora, srednji radijus svih pora kao i SEM-EDS analizu površine. U tabeli 1 predstavljeni su rezultati karakterizacije ispitivanih adsorbenata.

Tabela 1. Karakterizacija hidročadi poreklom od rezanca šećerne repe i miskantusa

Parametar	HTC_R 180°C	HTC_R 200°C	HTC_R 220°C	HTC_M 180°C	HTC_M 200°C	HTC_M 220°C
BET (m ² g ⁻¹)	3,87	4,06	5,53	13,1	10,2	9,05
Mikropore t-test (cm ³ g ⁻¹)	0	0	0	0	0	0
Mikropore HK metod (cm ³ g ⁻¹)	0,0011	0,0012	0,0016	0,0023	0,0021	0,0022
BJH ukupna zapremina mezopora (cm ³ g ⁻¹)	0,023	0,025	0,027	0,024	0,027	0,032
Srednji radijus pora (Å)	119	126	100	39,5	54,1	78,1
Ukupna zapremina pora (cm ³ g ⁻¹)	0,0230	0,0256	0,0277	0,0260	0,0276	0,0353
	za pore manje od radijusa 1861 Å	za pore manje od radijusa 1804 Å	za pore manje od radijusa 1893 Å	za pore manje od radijusa 1888 Å	za pore manje od radijusa 2103 Å	za pore manje od radijusa 2053 Å
SEM-EDS (wt %)						
C	62,6	64,3	66,5	61,7	61,8	63,2
O	37,4	35,7	33,5	38,3	38,2	36,8
prinos%	45,5	42,5	39,7	73	54	51

BET specifična površina za sve ispitivane adsorbente bila je u opsegu od 3,87 do 13,1 m²/g, što u poređenju sa aktivnim ugljem ukazuje na manje razvijenu specifičnu površinu. Poređenjem specifične površine hidročadi rezanca šećerne repe može se uočiti da sa porastom temperature raste specifična površina ispitivanih adsorbenata (slika 1a), dok u slučaju miskantusa sa porastom reakcione temperature specifična površina hidročadi poreklom od biomase miskantusa opada (slika 1b).



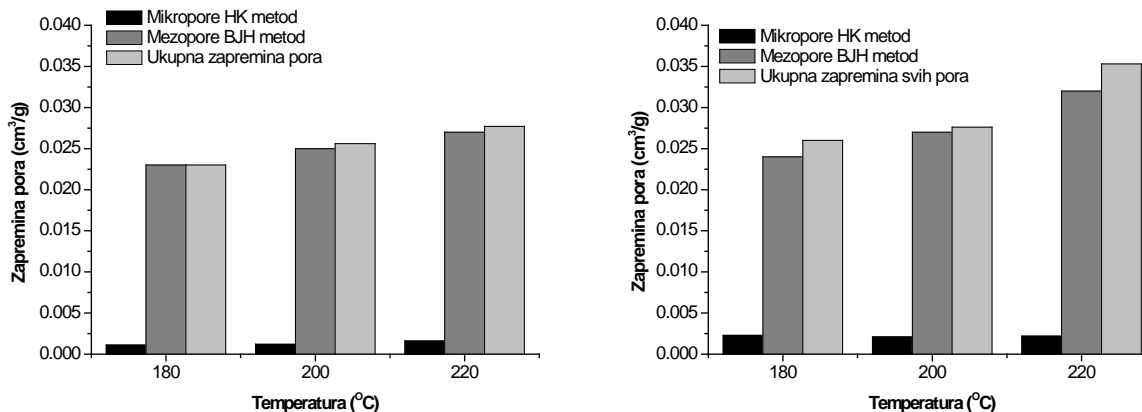
Slika 1. Zavisnost SP od reakcione temperature za hidročađ dobijenu od:
a) rezanca šećerne repe i b) miskantusa

Autori Kambo i Dutta [7] su uočili da povećanjem temperature od 230 do 270°C za celulozne materijale i od 190 do 270°C za digestirane materijale dolazi do značajnog smanjenja specifične površine od 27-8 m²/g i 12-1 m²/g, redom.

Zapremina mezopora (dijametar pora 2-50 nm) je analizirana primenom Barrett-Joyner-Halenda (BJH) modela iz desorpcionog dela izoterme, dok je analiza mikropora (dijametar pora <2 nm) izvršena primenom t-testa i Horwath-Kawazoe (HK) metode. V-t metod (t-test) se koristi za određivanje zapremine mikropora u prisustvu mezopora, dok HK metod omogućava određivanje mikropora od niskog regiona relativnog pritiska adsorpcione izoterme.

Sve ispitivane hidročađi poreklom od miskantusa pokazale su veću zapreminu pora (mikro- mezo- i ukupnu zapreminu) u odnosu na hidročađ rezanca šećerne repe (slika 2). Dodatno, može se uočiti da zapremina mikro- mezo- pa time i ukupna zapremina pora za sve ispitivane hidročađi raste sa porastom temperature od 180°C do 220°C. Na porast poroznosti ispitivanih hidročađi sa porastom temperature termalne konverzije ukazuju i drugi autori [4,5].

Dodatno, srednji radijus pora određen je prema količini adsorbovanog azota kada je odnos P/P_0 blizak vrednosti 1. Srednji radijus pora za sve analizirane adsorbente bio je u opsegu od 39,5 Å za hidročađ poreklom od miskantusa dobijenim na 180°C do 126 Å za dobijenu hidročađ na 200°C koja je poreklom od rezanca šećerne repe. Generalno, hidročađ sadrži pore veličine nešto manje od 126 Å, pri čemu se može uočiti da kod hidročađi miskantusa srednji radijus pora raste sa porastom temperature, dok jasan trend za hidročađ poreklom od rezanca šećerne repe nije uočen.



a) b)
 Slika 2. Zapremina pora ispitivanih hidročadi poreklom od biomase:
 a) rezanca šećerne repe i b) miskantusa

Generalno, na osnovu sprovedenih analiza fizičke karakterizacije može se uočiti da je u pitanju materijal sa dominantnim sadržajem mezopora, kojeg karakteriše mala vrednost specifične površine u poređenju sa specifičnom površinom aktivnog uglja. Dodatno, može se uočiti da sa povećanjem temperature karbonizacije dolazi do porasta specifične površine kod hidročadi rezanca šećerne repe, dok se specifična površina kod hidročadi poreklom od miskantusa smanjuje. Pored toga, poroznost svih ispitivanih materijala raste sa porastom reakcione temperature procesa.

Na osnovu rezultata EDS analize (tabela 1) može se uočiti da tokom termalne konverzije raste sadržaj ugljenika za hidročad rezanca šećerne repe kako raste temperatura konverzije biomase. Tako je procentualni sadržaj ugljenika u adsorbentima dobijenim na 180°C iznosio 62,6%, dok je za 200°C i 220°C iznosio 64,3% i 66,5%, redom. Na povećanje sadržaja ugljenika sa povećanjem reakcione temperature tokom termalne konverzije biomase ukazuju i autori [8]. Suprotno, za hidročad poreklom od miskantusa nije uočena značajnija promena sadržaja ugljenika.

Zaključak

Kod hidročadi rezanca šećerne repe možemo zaključiti da sa porastom temperature raste specifična površina ispitivanih adsorbenata, dok kod miskantusa sa porastom reakcione temperature specifična površina opada. Poroznost ispitivanih materijala raste sa porastom reakcione temperature procesa. Kod hidročadi miskantusa srednji radijus pora raste sa porastom temperature, dok jasan trend za hidročad poreklom od rezanca šećerne repe nije uočen. EDS analiza je pokazala da sa porastom reakcione temperature raste sadržaj ugljenika za hidročad rezanca šećerne repe, dok za hidročad poreklom od miskantusa nije uočena značajnija promena sadržaja ugljenika.

Zahvalnica: Ovaj rad finansiran je od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekat: III 43005).

Literatura

- [1] Johnson, R.S. (2012). Hydrothermal Processing of Biomass and Related Model Compounds. 1–217. http://etheses.whiterose.ac.uk/4155/1/RSJ_Thesis_21_Nov.pdf.
- [2] Liu, Z., Quek, A., Kent Hoekman, S., Balasubramanian, R. (2013). Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization. *Fuel.*, 103, 943–949. doi:10.1016/J.FUEL.2012.07.069.
- [3] Román, S., Nabais, J.M.V., Laginhas, C., Ledesma, B., González, J.F. (2012). Hydrothermal carbonization as an effective way of densifying the energy content of biomass. *Fuel Process. Technol.*, 103, 78–83. doi:10.1016/J.FUPROC.2011.11.009.
- [4] Reza, M.T., Wirth, B., Lüder, U., Werner, M. (2014). Behavior of selected hydrolyzed and dehydrated products during hydrothermal carbonization of biomass. *Bioresour. Technol.*, 169, 352–361. doi:10.1016/J.BIORTECH.2014.07.010.
- [5] Kruse, A., Funke, A., Titirici, M.-M. (2013). Hydrothermal conversion of biomass to fuels and energetic materials. *Curr. Opin. Chem. Biol.*, 17, 515–521. doi:10.1016/J.CBPA.2013.05.004.
- [6] Poerschmann, J., Weiner, B., Wedwitschka, H., Zehnsdorf, A., Koehler, R., Kopinke, F.-D. (2015). Characterization of biochars and dissolved organic matter phases obtained upon hydrothermal carbonization of *Elodea nuttallii*. *Bioresour. Technol.*, 189, 145–153. doi:10.1016/J.BIORTECH.2015.03.146.
- [7] Kambo, H.S., Dutta, A. (2015). A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 45, 359–378. doi:10.1016/j.rser.2015.01.050.
- [8] Kołodyńska, D., Krukowska, J., Thomas, P. (2017). Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon. *Chem. Eng. J.*, 307, 353–363. doi:10.1016/J.CEJ.2016.08.088.