



**ŠESTI NAUČNO-STRUČNI
SKUP POLITEHNIKA**

ZBORNİK RADOVA



Beograd, 10. decembar 2021. godine



ŠESTI NAUČNO-STRUČNI SKUP
POLITEHNIKA

ZBORNİK RADOVA

Izdavač

Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd
Katarine Ambrozić 3, Beograd
www.atssb.rs

Za izdavača

dr Marina Stamenović, profesor strukovnih studija

Urednici sekcija

dr Ivana Matić Bujagić

dr Svetozar Sofijanić

dr Sanja Petronić

dr Željko Ranković

dr Kovička Banjević

dr Vladanka Stupar

mr Jelena Zdravković

dr Nenad Đorđević

Tehnička priprema i dizajn korica

ATSSB — Odsek Beogradska politehnika

Dizajn logoa Skupa

Dušan Berović



ŠESTI NAUČNO-STRUČNI SKUP
POLITEHNIKA

ZBORNIK RADOVA

ŽIVOTNA SREDINA I ODRŽIVI RAZVOJ
BEZBEDNOST I ZDRAVLJE NA RADU
MAŠINSKO INŽENJERSTVO
SAOBRAĆAJNO INŽENJERSTVO
MENADŽMENT KVALITETOM
BIOTEHNOLOGIJA
DIZAJN
GRAFIČKO INŽENJERSTVO

Beograd, 2021. godine

Skup su podržali:

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije

Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije

Konferencija akademija i visokih škola Srbije

Uprava za bezbednost i zdravlje na radu

Privredna komora Srbije

Društvo arhitekata Beograda

Institut za standardizaciju Srbije

Centar za promociju nauke

PROGRAMSKI ODBOR:

prof. dr Vojkan Lučanin, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, predsednik
prof. dr Slaviša Putić, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
prof. dr Aleksandar Petrović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd
prof. dr Aleksandar Jovović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd
prof. dr Aleksandar Marinković, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
prof. dr Bojan Babić, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd
prof. dr Evica Stojiljković, Univerzitet u Nišu, Fakultet Zaštite na radu, Niš
prof. dr Momir Praščević, Univerzitet u Nišu, Fakultet Zaštite na radu, Niš
prof. dr Elizabeta Bahtovska, Univerzitet St. Kliment Ohridski, Tehnički fakultet, Bitolj, Makedonija
vanr. prof. dr Darko Radosavljević, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
vanr. prof. dr Saša Drmanić, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
vanr. prof. dr Zoran Štirbanović, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, Bor
vanr. prof. mr Marko Luković, Univerzitet umetnosti u Beogradu, Fakultet primenjenih umetnosti, Beograd
doc. dr Filip Kokalj, Univerzitet u Mariboru, Mašinski fakultet, Maribor, Slovenija
doc. dr Katarina Trivunac, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
doc. dr Maja Đolić, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
doc. dr Vladimir Pavićević, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
doc. dr Nevena Prlainović, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
dr Jelena Ivanović Vojvodić, Društvo arhitekata Beograda-BINA, Beograd
mr Bojana Popović, Muzej primenjene umetnosti, Beograd
dr Marina Stamenović, Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd, Beograd
dr Predrag Maksić, Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd, Beograd
dr Milan Milutinović, Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd, Beograd
dr Dejan Blagojević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Niš
dr Vladan Đulaković, Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd, Beograd
dr Goran Zajić, Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, Beograd
dr Darko Ljubić, McMaster University, Hamilton, Kanada

ORGANIZACIONI ODBOR:

dr Aleksandra Božić, predsednik
dr Jelena Drobač, zamenik predsednika
dr Sanja Petronić
dr Dragana Gardašević
dr Dragana Kuprešanin
Novak Milošević
Natalija Jovanović
Radomir Izgarević
Aleksandra Jelić
Aleksandra Janićijević

RECENZENTI

dr Goran Đorđević, dr Daniela Ristić, dr Marta Trninić, dr Svetozar Sofijanić,
dr Barbara Vidaković Ristić, Novak Milošević, Nebojša Ćurčić, dr Milivoje Milovanović,
dr Vladan Đulaković, dr Slavica Čabrilo, dr Ljiljana Jovanović Panić, dr Miloš Purić,
dr Višnja Sikimić, dr Olivera Jovanović, dr Tatjana Marinković, dr Ana Popović,
mr Vesna Alivojvodić, dr Ivana Matić Bujagić, dr Aleksandra Božić, dr Koviljka Banjević,
dr Dejan Milenković, dr Darko Radosavljević, dr Darja Žarković, dr Dominik Brkić,
Aleksandra Jelić, dr Dejan Jovanov, mr Vladan Radivojević, dr Biljana Ranković Plazinić,
dr Željko Ranković, dr Bogdan Marković, dr Boban Đorović, dr Dragana Velimirović,
Aleksandra Janićijević, dr Natalija Simeonović, Sandra DePalo, mr Jelena Zdravković,
dr Aleksandra Nastasić, dr Saša Marković, dr Saša Marković, dr Dragana Gardašević,
dr Nedžad Rudonja, dr Nikola Tanasić, dr Zoran Stević, dr Suzana Polić, dr Sanja Petronić,
dr Đorđe Đurđević, dr Andrijana Đurđević, dr Aleksandra Mitrović, Tomislav Simonović,
dr Bojan Ivljanin

SADRŽAJ

SEKCIJA: ŽIVOTNA SREDINA I ODRŽIVI RAZVOJ

Sonja Dmitrašinović, Miloš Davidović, Milena Jovašević Stojanović, Dragan Adamović, Maja Turk Sekulić, Zoran Čepić, Jelena Radonić <i>Koncentracioni nivoi PM_{2,5} gradskih, užih gradskih i industrijskih zona Novog Sada tokom zimske i letnje kratkoročne kampanje merenja</i>	25
Ivana Matić Bujagić <i>Menadžment gasovima staklene bašte kao mehanizam za ublažavanje posledica klimatskih promena</i>	32
Vladana Đurđević, Svetlana Čupić, Marina Stamenović, Dominik Brkić, Ana Popović, Aleksandra Božić <i>Validacija nestandardne fotometrijske metode za određivanje hemijske potrošnje kiseonika u otpadnoj vodi</i>	38
Eleonora Gvozdić, Ivana Matić Bujagić, Ljiljana Tolić Stojadinović, Tatjana Đurkić, Svetlana Grujić <i>Određivanje veštačkog zaslađivača ciklamata u komunalnoj otpadnoj vodi Beograda</i>	44
Marina Maletić, Marija Vukčević, Danijela Prokić, Ana Kalijadis, Biljana Babić, Tatjana Đurkić <i>Analiza estrogenih hormona iz uzoraka površinskih, podzemnih i otpadnih voda</i>	49
Ljiljana Tolić Stojadinović, Eleonora Gvozdić, Svetlana Grujić, Nikolina Antić, Tatjana Đurkić <i>Kardiovaskularni lekovi u rečnoj vodi Beograda</i>	55
Bojana Maksimović, Jovica Sokolović, Branislav Stakić, Dejan Ćirić <i>Zaštita voda u rudniku antracita „Vrška Čuka“ Avramica</i>	59
Katarina Antić, Maja Turk Sekulić, Milena Stošić, Jelena Radonić <i>Investigation MSW Landfill Leachate as a Source of Pharmaceuticals</i>	64
Darja Žarković, Tamara Obradović, Nataša Lukić, Zlatka Jovanović <i>Smanjenje ekološkog rizika u vodama Rasinskog okruga izgradnjom postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda</i>	70
Suzana Radojković, Vladanka Presburger Ulniković <i>Kvalitet vode reke Blatašnice</i>	76
Suzana Radojković, Vladanka Presburger Ulniković <i>Kvalitet vode reke Toplice</i>	81

- Ana Popović, Jelena Gržetić, Maja Đolić, Aleksandra Božić, Aleksandar Marinković**
Efikasno uklanjanje arsenatnih jona iz vode primenom magnetizovanog bioadsorbenta poreklom od otpadnog lignina 87
- Stevan Stupar, Dušan Mijin, Denis Dinić, Milan Tanić**
Uklanjanje antrahinonske boje ACID Violet 109 iz vodenog rastvora Fenton procesom 93
- Mladen Bugarčić, Petar Batinić, Katarina Pantović Spajić, Miroslav Sokić, Branislav Marković, Milan Milivojević, Aleksandar Marinković**
Priprema i karakterizacija mešovitog oksida Fe^{3+}/Cr^{3+} na ekspanovanom vermikulitu kao sorbenta za jone nikla 99
- Jovana Bošnjaković, Nataša Knežević, Jovana Milanović, Aleksandar Jovanović, Mladen Bugarčić, Aleksandar Marinković**
Sorpciona svojstva TEMPO-oksidovanih pamučnih lintera prema jonima olova 105
- Snežana Mihajlović, Marina Maletić, Ana Kalijadis, Ivona Janković-Častvan, Katarina Trivunac, Marija Vukčević**
Uklanjanje jona olova korišćenjem ugljeničnih adsorbenata na bazi pamučnih pređa: uticaj parametara dobijanja i sastava polazne sirovine na adsorpcione karakteristike 112
- Snežana Mihajlović, Marina Maletić, Biljana Pejić, Mirjana Ristić, Aleksandra Perić Grujić, Katarina Trivunac, Marija Vukčević**
Uklanjanje hroma i olova iz vode korišćenjem otpadnih pređa pamuka i mešavine pamuka i poliestra 118
- Marina Maletić, Sara Živojinović, Nataša Mladenović Nikolić, Ljiljana M. Kljajević, Snežana S. Nenadović, Marija Vukčević, Katarina Trivunac**
Određivanje efikasnosti adsorbenata na bazi modifikovane dijatomejske zemlje za adsorpciju katjonske boje metilensko plavo 124
- Nataša Karić, Marina Maletić, Danka Rnjaković, Marija Vukčević, Aleksandra Perić Grujić, Mirjana Ristić, Katarina Trivunac**
Optimizacija procesa uklanjanja anjonskih boja iz vodenih medijuma primenom katjonskih adsorbenata na bazi skroba 130
- Nataša Karić, Marina Maletić, Natalija Marković, Marija Vukčević, Aleksandra Perić Grujić, Mirjana Ristić, Katarina Trivunac**
Proučavanje adsorpcionih svojstava katjonski modifikovanog skroba za uklanjanje fosfata iz vodenih rastvora 136
- Tijana Stanišić, Maja Đolić, Mirjana Čujić, Mirjana Ristić, Aleksandra Perić Grujić**
Ispitivanje adsorpcionih svojstava ilovače za uklanjanje jona olova i arsena iz vodenih rasvora 143



UKLANJANJE JONA OLOVA KORIŠĆENJEM UGLJENIČNIH ADSORBENATA NA BAZI PAMUČNIH PREĐA: UTICAJ PARAMETARA DOBIJANJA I SASTAVA POLAZNE SIROVINE NA ADSORPCIONE KARAKTERISTIKE

Snežana Mihajlović¹, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu
Marina Maletić², Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerzitet u Beogradu
Ana Kalijadis³, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu
Ivona Janković-Častvan⁴, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu
Katarina Trivunac⁵, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu
Marija Vukčević⁶, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Apstrakt: Pređe pamuka i mešavine pamuka i poliestra, dobijene kao otpad iz tekstilne industrije, korišćene su kao jeftina i lako dostupna polazna sirovina za dobijanje ugljeničnih adsorbenata. Ugljenični materijali dobijeni su klasičnom i hidrotermalnom karbonizacijom pređa, nakon čega je vršena hemijska aktivacija dobijenih materijala u prisustvu KOH. Strukturne i površinske osobine dobijenih ugljeničnih adsorbenata određene su skenirajućom elektronskom mikroskopijom, infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom transformacijom i ispitivanjem specifične površine i poroznosti. Ugljenični adsorbenti na bazi pamučnih pređa su korišćeni za uklanjanje jona olova iz vode; praćen je uticaj vremena i početne koncentracije na adsorpciju jona olova, a eksperimentalni podaci su analizirani primenom teorijskih modela. Strukturne, površinske, a samim tim i adsorpcione karakteristike dobijenih materijala zavise od načina dobijanja, kao i od sastava polazne sirovine. Na osnovu dobijenih rezultata pokazano je da se polazeći od pamučnih pređa i primenom klasične, ili hidrotermalne karbonizacije, u kombinaciji sa aktivacijom, mogu dobiti visoko efikasni adsorbenti za uklanjanje jona olova iz vode.

Ključne reči: pređa na bazi pamuka, hidrotermalna karbonizacija, hemijska aktivacija, adsorpcija, joni olova.

COTTON BASED CARBON ADSORBENTS FOR REMOVAL OF LEAD IONS FROM WATER: INFLUENCE OF THE PRODUCTION PARAMETERS AND PRECURSOR STRUCTURE ONTO ADSORPTION CHARACTERISTICS

Abstract: In this work, we report on utilization of cotton-based yarns, readily available in large quantities as a waste from textile industry, as cheap and sustainable precursor for carbon adsorbents production. For that purpose, hydrothermal and classic carbonization, followed by chemical activation in the presence of KOH, were applied on cotton and cotton/polyester yarns. Structural and surface properties of obtained carbon samples were determined by scanning electron microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy, and nitrogen adsorption-desorption

¹ snezana.mihajlovic9@gmail.com

² mvukasinovic@tmf.bg.ac.rs

³ anadovic@vinca.rs

⁴ icastvan@tmf.bg.ac.rs

⁵ trivunac@tmf.bg.ac.rs

⁶ marijab@tmf.bg.ac.rs

isotherms. The possibility of using obtained carbon adsorbents for removal of lead ions from water was tested through adsorption kinetics and isotherms, and experimental data were examined by theoretical models. Obtained results showed that presence of polyester component in precursor structure has detrimental effect on adsorption properties, which is the consequence of differences in surface and structural properties of cotton, and cotton/polyester based carbon adsorbents. It was found that highly efficient lead ions adsorbents can be obtained by classical or hydrothermal carbonization, followed by KOH activation.

Keywords: cotton-based yarns, hydrothermal carbonization, chemical activation, adsorption, lead ions.

1. UVOD

Različiti ugljeni materijali već dugi niz godina nalaze široku primenu, kao adsorbenti za uklanjanje organskih i neorganskih materija iz zagađene vode. Visok adsorpcijski kapacitet ovih materijala za uklanjanje zagađujućih materija posledica je njihovih specifičnih površinskih karakteristika, kao što su: razvijena specifična površina i poroznost, kao i prisustvo širokog spektra površinskih funkcionalnih grupa. Ove površinske karakteristike zavise od načina i uslova dobijanja, kao i prirode polazne sirovine koja se koristi za njihovu proizvodnju [1, 2]. Neki od faktora koji definišu površinske i strukturne karakteristike ugljeničnih adsorbenta su: vrsta aktivirajućeg sredstva, odnos aktivirajućeg agensa/ugljeničnog materijala, brzina zagrevanja i temperatura aktivacije. U literaturi je pokazano da se karbonizacijom i naknadnom hemijskom aktivacijom u prisustvu KOH, kao aktivirajućeg agensa, dobijaju mikroporozni ugljenični materijali veoma razvijene specifične površine [3]. Poslednjih godina, velika pažnja se poklanja upotrebi različitih vrsta lignoceluloznih otpadnih materijala kao polazne sirovine za dobijanje efikasnih ugljeničnih adsorbenata [2, 3], sa ciljem smanjenja troškova same metode adsorpcije, kao i troškova odlaganja otpada. Cilj ovog rada bio je ispitivanje mogućnosti upotrebe tekstilnog otpada u obliku pređa pamuka i mešavine pamuka i poliestra, kao polaznih sirovina za dobijanje ugljeničnih materijala. Otpadne pređe pamuka i mešavine pamuk/poliestar prevedene su u karbonske materijale primenom hidrotermalne i klasične karbonizacije u inertnoj atmosferi, kao i aktivacije karbonizovanog materijala u prisustvu KOH. Korišćenjem različitih metoda pripreme, kao i polazne sirovine, dobijeni su uzorci ugljeničnih adsorbenata sa različitim površinskim karakteristikama. Efikasnost ovih ugljeničnih materijala kao adsorbenata za uklanjanje olova iz vode ispitana je praćenjem uticaja vremena i početne koncentracije na adsorpciju jona olova, a eksperimentalni podaci su analizirani primenom teorijskih modela. Takođe, ispitan je uticaj karakteristika polazne sirovine i parametara dobijanja na površinske karakteristike ugljeničnih adsorbenata i njihovu efikasnost za adsorpciju olova.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Tekstilni otpad u obliku pređa pamuka i mešavine pamuka i poliestra (1:1), dobijen iz fabrike Simpo Dekor (Vranje) korišćen je kao polazna sirovina za dobijanje ugljeničnih adsorbenata postupcima hidrotermalne i klasične karbonizacije, kao i aktivacije. Hidrotermalna karbonizacija pređa izvršena je u autoklavu na temperaturi od 180 °C, pod povišenim generisanim pritiskom, u trajanju od 24 h. Reakciona smeša za karbonizaciju sastojala se iz 6 g pređe, 400 ml destilovane vode i 0,015 g limunske kiseline koja je korišćena kao katalizator. Nakon hidrotermalne karbonizacije, čvrsti proizvod je profiltriran i ispran metanolom i destilovanom vodom. Klasična karbonizacija je vršena u inertnoj atmosferi azota na 900 °C, brzinom zagrevanja 5 °C/min. Nakon hidrotermalne i klasične karbonizacije, dobijeni materijali su aktivirani u prisustvu KOH, kao aktivirajućeg agensa, pri čemu je maseni odnos KOH i karbonizovane pređe bio 1:2. Aktivacija je vršena u električnoj peći, u inertnoj atmosferi azota na temperaturi od 900 °C, brzinom grejanja 5 °C/min. Dobijeno je osam ugljeničnih materijala, označenih sa Ph; P/PESh; Pc; P/PESc; Ph,ac; P/PESh,ac; Pc,ac i P/PESc,ac, gde P označava pamučnu pređu kao polaznu sirovinu, P/PES pređu

mešavine pamuka i poliestra, h hidrotermalnu, a c klasičnu karbonizaciju, dok ac predstavlja oznaku za aktivaciju.

Morfološke karakteristike dobijenih materijala određene su skenirajućom elektronskom mikroskopijom (Mira Tescan 3X, Tescan Orsay Holding, Czech Republic). Specifična površina materijala, kao i srednji maksimalni poluprečnik pora dobijeni su BET metodom, korišćenjem Micromeritics ASAP 2020 instrumenta. Infracrvena spektroskopija sa Furije-ovom transformacijom (FTIR, engl. Fourier transform infrared spectroscopy) korišćena je u cilju karakterizacije funkcionalnih grupa na površini ugljeničnih materijala. FTIR spektri uzoraka snimani su u opsegu talasnih brojeva $400-4000\text{ cm}^{-1}$, u formi KBr pastila na Bomem MB-Series, Hartmann Braun. Kinetika adsorpcije ispitana je u šaržnom sistemu, pri konstantnom mešanju (200 o/min). Određena količina ugljeničnog adsorbenta ($0,025\text{ g}$) prelivena je sa 25 cm^3 vodenog rastvora olova početne koncentracije 20 mg/dm^3 . U određenim vremenskim intervalima ($5, 10, 15, 30, 60, 120$ i 180 minuta) uzimane su probe, a koncentracija olova u njima je određivana atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom. Eksperimentalni podaci analizirani su primenom Lagergrenov modela pseudo-prvog reda i modela pseudo-drugog reda. Linerani oblik pseudo-prvog reda dat je jednačinom (1):

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2,303} \right) \cdot t \quad (1)$$

a linearni oblik pseudo-drugog reda prikazan je jednačinom (2):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t \quad (2)$$

gde je q_e (mg/g) ravnotežno adsorbovana količina adsorbata po jedinici mase adsorbenta, q_t (mg/g) količina adsorbata po jedinici mase adsorbenta u vremenu t (min), k_1 (1/min) je konstanta brzine pseudo-prvog reda i k_2 (g/(mg min)) predstavlja konstantu brzine pseudo-drugog reda.

Ispitivanjem adsorpcije olova pri različitim početnim koncentracijama rastvora ($5; 15; 25; 35; 50; 75$ i 100 mg/dm^3) dobijeni su podaci za konstruisanje adsorpcionih izoterma. Lengmirova adsorpciona izoterma u linearnom obliku, data je jednačinom (3):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b \cdot Q_0} + \frac{1}{Q_0} \cdot C_e \quad (3)$$

dok je linearizovana Frojndliхова adsorpciona izoterma data jednačinom (4):

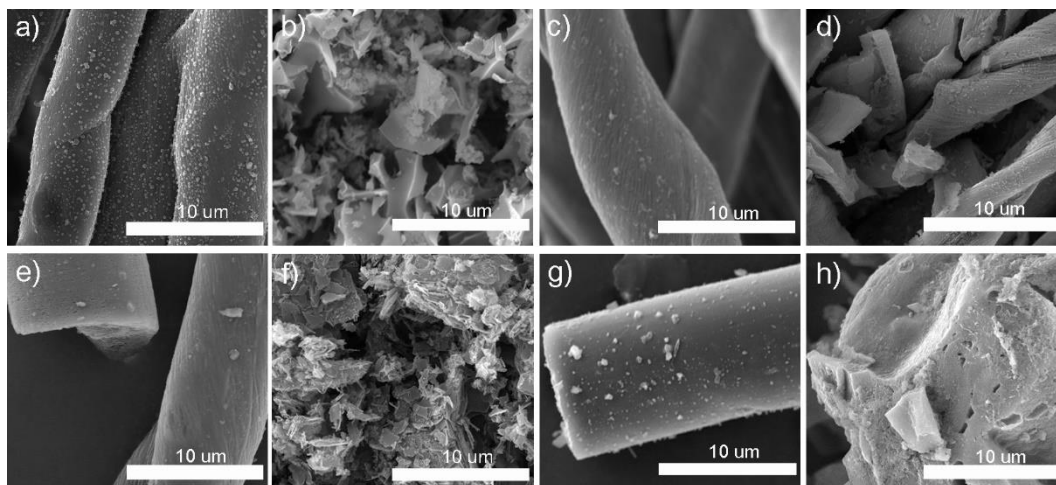
$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \cdot \ln C_e \quad (4)$$

gde je C_e (mg/dm³) ravnotežna koncentracija adsorbata u rastvoru, q_e (mg/g) ravnotežna količina adsorbata po jedinici mase adsorbenta, Q_0 (mg/g) maksimalni adsorpcioni kapacitet, b (dm³/mg) Lengmirova konstanta, a K_f (mg^{1-1/n}dm^{3/n}g⁻¹) i n su Frojndlihovе empirijske konstante.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na Slici 1 prikazane su SEM fotografije ispitivanih uzoraka. Nakon hidrotermalne karbonizacije (Slike 1a i 1e) uzorci zadržavaju vlaknastu strukturu, pri čemu se pamučna komponenta pređe odlikuje spiralno uvijenim vlaknima, a poliestarska komponenta ravnim i glatkim filamentom. Na površini uzorka Ph uočavaju se sferne čestice, karakteristične za strukturu hidrotermalnog karbona. Aktivacijom hidrotermalno karbonizovanih uzoraka (Slike 1b i 1f) dolazi do razaranja vlaknaste

strukture. Nakon klasične karbonizacije (Slike 1c i 1g) i aktivacije (Slike 1d i 1h) uzorci zadržavaju vlaknastu strukturu, pri čemu kod uzoraka P/PESc,ac tokom aktivacije najverovatnije dolazi do razgradnje i nestajanja karbonizovane poliestarske komponente pređe.



Slika 1. SEM fotografija uzoraka: (a) Ph; (b) Ph,ac; (c) Pc; (d) Pc,ac; (e) P/PESh; (f) P/PESh,ac; (g) P/PESc i (h) P/PESc,ac

Izvor: *Izvorno autorsko*

Specifična površina P i P/PES uzoraka, kao i srednji prečnik pora dati su Tabeli 1. Dobijeni rezultati pokazuju da karbonizacija, bilo hidrotermalna ili klasična, ne doprinose razvoju specifične površine materijala. Zbog izuzetno niskih vrednosti specifične površine bilo je nemoguće odrediti srednji prečnik pora kod uzoraka Ph, Pc i P/PESc. Uzorak P/PESh sa površinom 0,64 m²/g ima srednji prečnik pora od 28,75 nm, i karakteriše se kao mezoporozni materijal. Primenom postupka aktivacije u prisustvu KOH, specifična površina klasično i hidrotermalno karbonizovanog pamuka, kao i klasično karbonizovanog P/PES, se znatno povećava. Međutim, specifična površina P/PESh,ac ostaje i dalje niska u odnosu na ostale aktivirane uzorke. Evidentno je da se, polazeći od pamuka kao ugljeničnog prekursora, aktivacijom u prisustvu KOH dobijaju materijali veoma razvijene specifične površine. U slučaju mešavine pamuka i poliestra, tek nakon klasične karbonizacije i aktivacije dolazi do razvitka specifične površine. Ovaj dupli postupak pirolize pređe pamuk/poliestar dovodi do razgradnje sintetičke komponente, što je potvrđeno i SEM fotografijama, uz otvaranje pora pri aktivaciji u prisustvu KOH. S druge strane, niska površina uzorka P/PESh,ac je najverovatnije posledica prisustva nepotpuno razgrađene sintetičke komponente, koja je dovela do zatvaranja pora. Takođe, kod P/PES uzoraka, aktivacija dovodi do smanjenja prečnika pora.

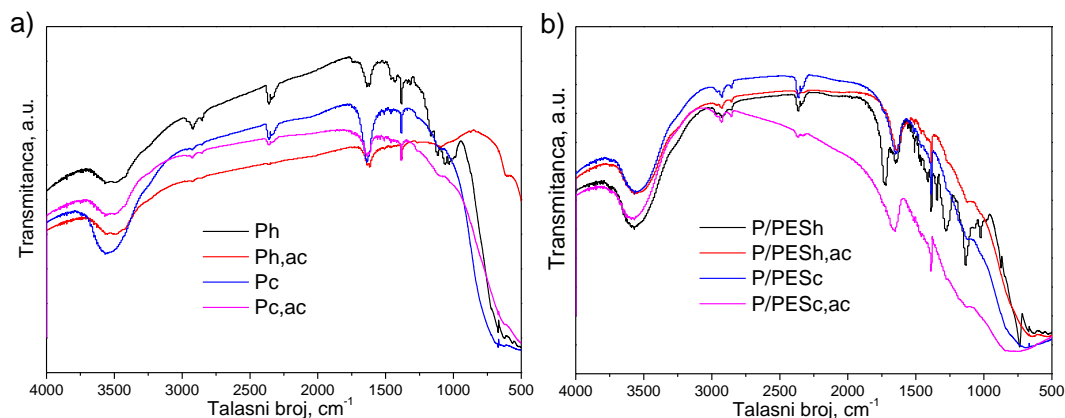
Tabela 1. Teksturalne karakteristike P i P/PES uzoraka

Izvor: *Izvorno autorsko*

Uzorak	Ph	Ph,ac	Pc	Pc,ac	P/PESh	P/PESh,ac	P/PESc	P/PESc,ac
S _{BET} , m ² /g	0,0029	872,15	0,11	885,76	0,64	21,75	0	913,07
D _{mean} , nm	-	4,82	-	4,57	28,75	8,93	-	4,07

Na Slici 2 prikazani su FTIR spektri ispitivanih uzoraka. Svi ispitivani uzorci imaju široku traku u oblasti 3450-3650 cm⁻¹ koja može poticati od vibracija istezanja O-H veze kod karboksilnih ili hidroksilnih grupa. Takođe, može se uočiti traka na 1640 cm⁻¹ koja potiče od vibracija savijanja O-H veze ili istezanja alifatične C=C veze, dok pik na 1384 cm⁻¹ potiče od deformacione vibracije C-O veze u karboksilnoj grupi [4]. Na FTIR spektrima hidrotermalno karbonizovanih uzoraka, Ph i P/PESh, uočava se znatno veći broj traka nego kod klasično karbonizovanih i aktiviranih uzoraka. Kako se hidrotermalna karbonizacija izvodi pri blažim uslovima i ne dolazi do potpunog prevođenja polazne sirovine u karbonski materijal, FTIR spektri ovih uzoraka mogu pokazivati i neke karakteristične trake polaznih sirovina. Tako trake u oblasti 1180-1000 cm⁻¹ uočene kod uzoraka Ph

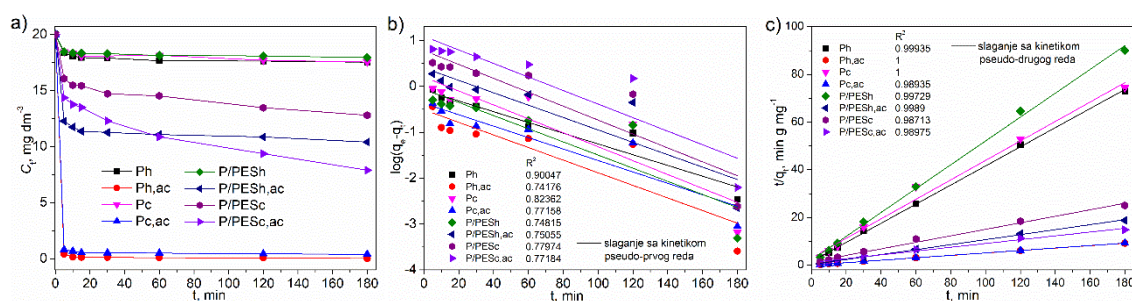
i P/PESh mogu poticati od istezanja C-O veze u celulozi iz pamučne komponente. Kod uzorka P/PESh (Slika 2b) uočavaju se i pikovi na 1710 i 1240 cm^{-1} koji potiču od estarskih grupa, i pikovi na 870 i 720 cm^{-1} koji potiču od vibracija savijanja benzenovog prstena u poliestarskom lancu [5]. Nakon aktivacije uzorka P/PESh dolazi do nestajanja traka karakterističnih za poliestarsku komponentu. Takođe, proces aktivacije dovodi do smanjenja intenziteta pikova na 1640 cm^{-1} i 1384 cm^{-1} kod uzoraka čija je polazna sirovina pređa pamuka (Slika 2a), što ukazuje da aktivacija dovodi do smanjenja količine funkcionalnih grupa.



Slika 2. FTIR spektri (a) pamuk uzoraka i (b) pamuk/PES uzoraka

Izvor: Izvorno autorsko

Na Slici 3a dat je grafički prikaz zavisnosti koncentracije jona olova u rastvoru tokom adsorpcije. Kod svih uzoraka, osim kod P/PESc i P/PESc,ac, nakon tri sata dolazi do uspostavljanja ravnoteže, pri čemu je adsorpcija na uzorcima Ph,ac i Pc,ac veoma brza i ravnotežna adsorpcija je uspostavljena već nakon 15 minuta. Takođe, uzorci Ph,ac i Pc,ac su se pokazali kao najefikasniji, uklonivši više od 99% olova iz rastvora.

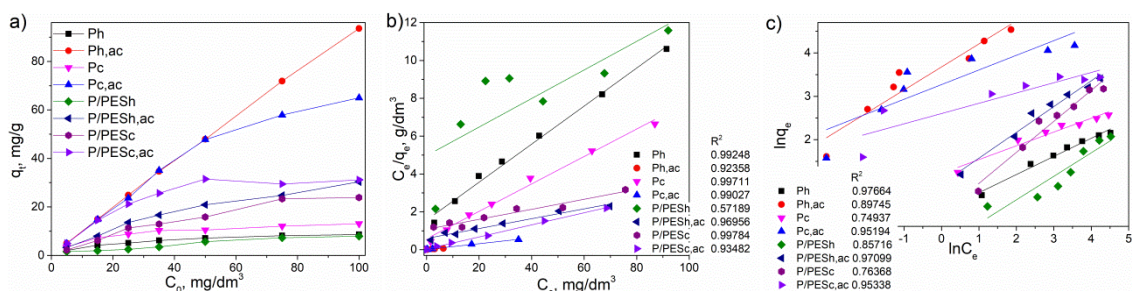


Slika 3. Koncentracija olova u rastvoru tokom vremena adsorpcije (a) i slaganje eksperimentalnih podataka sa modelom pseudo-prvog (b) i pseudo-drugog reda (c), za adsorpciju olova na P i P/PES

Izvor: Izvorno autorsko

Eksperimentalni podaci dobijeni praćenjem adsorpcije olova u vremenu (Slike 3b i 3c), modelovani su primenom jednačina pseudo-prvog i pseudo-drugog reda. Primenom jednačine pseudo-drugog reda dobijene su pravolinijske zavisnosti, visokih vrednosti korelacionih koeficijenata ($R^2=0,98713-1$), pa se može zaključiti da se kinetika procesa adsorpcije olova može opisati ovim modelom. Porast početne koncentracije olova u rastvoru dovodi do porasta adsorpcionih kapaciteta kod uzoraka Ph,ac i Pc,ac, kao i P/PESh,ac i P/PESc, dok kod ostalih uzoraka dolazi do zasićenja, i povećanje početne koncentracije olova iznad 50 mg dm^{-3} ne dovodi do daljeg povećanja adsorpcionog kapaciteta ispitivanih ugljeničnih adsorbenata (Slika 4a). Ravnotežni adsorpcioni podaci upoređeni su sa Lengmirovom i Frojndlihovom adsorpcionom izotermom (Slike 4b i 4c). Kod uzoraka dobijenih polazeći od pamučne pređe, ravnotežni adsorpcioni podaci pokazuju bolje slaganje sa Lengmirovim modelom, što ukazuje da su aktivna mesta na površini ovih uzoraka

homogeno raspoređena. S druge strane, ravnotežni podaci dobijeni za adsorpciju olova na uzorcima dobijenim od mešavine pamuka i poliestra pokazuju bolje slaganje sa Frojndlihovim modelom.



Slika 4. Zavisnost količine olova adsorbovanog na površini P i P/PES uzoraka od početne koncentracije (a), i slaganje ravnotežnih podataka sa Lengmirovom (b) i Frojndlihovim (c) izotermom

Izvor: *Izvano autorsko*

4. ZAKLJUČAK

Polazeći od tekstilnog otpada u obliku pređe pamuka i mešavine pamuk/poliestar primenom klasične i hidrotermalne karbonizacije i naknadne hemijske aktivacije dobijeni su različiti ugljeni materijali. Generalno, u postupku aktivacije dolazi do povećanja specifične površine, dok kod materijala dobijenog hidrotermalnom karbonizacijom pređe pamuk/poliestar, sintetička komponenta negativno utiče na razvoj poroznosti tokom aktivacije. Upravo specifična površina više utiče na adsorpcionu efikasnost ovih materijala u uklanjanju jona olova nego sadržaj funkcionalnih grupa. Kao najefikasniji adsorbenti pokazali su se uzorci dobijeni klasičnom i hidrotermalnom karbonizacijom pamuka, i naknadnom aktivacijom. Na osnovu dobijenih rezultata pokazano je da se polazeći od pamučnih pređa i primenom energetski isplativije hidrotermalne karbonizacije, u kombinaciji sa aktivacijom, mogu dobiti visoko efikasni adsorbenti za uklanjanje jona olova iz vode.

ZAHVALNICA

Ova istraživanja finansiralo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-9/2021-14/200135, 451-03-9/2021-14/200287 i 451-03-9/2021-14/200017).

LITERATURA

- [1] Vukcevic, M., Kalijadis, A., Radisic, M., Pejic, B., Kostic, M., Lausevic, Z., Lausevic, M.: Application of carbonized hemp fibers as a new solid-phase extraction sorbent for analysis of pesticides in water samples, *Chemical Engineering Journal*, 211-212 (2012), pp. 224-232, ISSN: 1385-8947
- [2] Bergna, D., Hu, T., Prokkola, H., Romar, H., Lassi, U.: Effect of Some Process Parameters on the Main Properties of Activated Carbon Produced from Peat in a Lab-Scale Process, *Waste and Biomass Valorization*, 11 (2020), pp. 2837–2848, ISSN: 1877-2641
- [3] Vukčević, M., Kalijadis, A., Vasiljević, T., Babić, B., Laušević, Z., Laušević, M: Production of activated carbon derived from waste hemp (*Cannabis sativa*) fibers and its performance in pesticide adsorption, *Microporous and Mesoporous Materials*, 214 (2015), pp. 156-165, ISSN: 1387-1811
- [4] Kalijadis, A., Đorđević, J., Trtić-Petrović, T., Vukčević, M., Popović, M., Maksimović, V., Rakočević, Z., Laušević, Z.: Preparation of boron-doped hydrothermal carbon from glucose for carbon paste electrode, *Carbon*, 95 (2015), pp. 42-50, ISSN: 0008-6223
- [5] Younis, A.A.: Evaluation of the flammability and thermal properties of a new flame retardant coating applied on polyester fabric, *Egyptian Journal of Petroleum*, 25 (2016) 2, pp. 161-169, ISSN: 1110-0621

=====
CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

7.05(082)(0.034.2)
502/504(497.11)(082)(0.034.2)
331.45/.46(082)(0.034.2)
005.6(082)(0.034.2)
655(082)(0.034.2)

НАУЧНО-стручни скуп Политехника (6 ; 2021 ; Београд)

Zbornik radova [Elektronski izvor] / Šesti naučno-stručni skup Politehnika 6, Beograd, 10. decembar 2021. godine ; [urednici Ivana Matić Bujagić ... [et al.]]. - Beograd : Akademija tehničkih strukovnih studija "Beograd", 2021 (Beograd : Akademija tehničkih strukovnih studija "Beograd"). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemske zahteve: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 200. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-7498-087-3

а) Дизајн -- Зборници б) Животна средина -- Заштита -- Зборници в) Заштита на раду -- Зборници г) Управљање квалитетом -- Зборници д) Графичка индустрија -- Зборници

COBISS.SR-ID 53380105

=====



AKADEMIJA TEHNIČKIH
STRUKOVNIH STUDIJA
BEOGRAD

atssb.edu.rs

ISBN-978-86-7498-087-3

