



**ŠESTI NAUČNO-STRUČNI  
SKUP POLITEHNIKA**

# **ZBORNİK RADOVA**



Beograd, 10. decembar 2021. godine



**3D REPUBLIKA**  
POSTANI DRŽAVLJANIN

**HEIDELBERG**  **Smurfit Kappa**





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 znaka Skupa**

Dušan Borović



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



## PREDGOVOR

Šesti naučno-stručni skup POLITEHNIKA, tačno deceniju od održavanja prvog Skupa, nastavlja uspešnu tradiciju i težnju ka integraciji visokog obrazovanja i prakse u širokom spektru oblasti koje su zastupljene kroz definisane tematske celine. Naučno-stručni skup POLITEHNIKA organizovan je uz podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Ministarstva zaštite životne sredine Republike Srbije, Konferencije akademija strukovnih studija Srbije, Uprave za bezbednost i zdravlje na radu, Privredne komore Srbije, Društva arhitekata Beograda, Instituta za standardizaciju Srbije i Centra za promociju nauke.

Ove godine napravljen je značajan iskorak uvođenjem tri nove sekcije. Pored tematskih oblasti koje su bile zastupljene na prethodnim skupovima (Životna sredina i održivi razvoj, Bezbednost i zdravlje na radu, Grafičko inženjerstvo, Dizajn i Menadžment kvalitetom), baza znanja i iskustava koja je prezentovana u Zborniku radova i na samom Skupu je proširena sekcijama Mašinsko inženjerstvo, Saobraćajno inženjerstvo i Biotehnologija. Učešćem stručnjaka, mladih kolega i profesionalaca iz pomenutih oblasti, Skup objedinjava oblasti koje se izučavaju na studijskim programima Akademije tehničkih strukovnih studija Beograd. Tematske celine, kao i struktura radova sabranih u ovom Zborniku, raznovrsne su i multidisciplinarne, čime se suštinski doprinosi sveobuhvatnom sagledavanju i rešavanju društvenih i naučnih problema.

Zbornik obuhvata preko 150 pozitivno recenziranih radova, koji predstavljaju značajan kapital u kontekstu cilja Skupa da se ostvari razmena znanja, rezultata istraživanja i iskustva stručnjaka iz privrede, istraživačkih institucija i visokoškolskih ustanova koji dele zajednički interes u oblasti obrazovanja, naučnog, umetničkog i stručnog rada. Zbornikom radova Šestog naučno-stručnog Skupa POLITEHNIKA obuhvaćen je presek aktuelnog stanja u tematskim oblastima Skupa, ali i predlozi i smernice za dalji naučni i stručni razvoj, kao i konkretna rešenja za probleme iz prakse, zasnovana na savremenim tendencijama i relevantnim saznanjima.

Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd se zahvaljuje svim prijateljima Skupa koji su pružili materijalnu podršku i na taj način dali veliki doprinos u njegovoj organizaciji. Takođe, posebnu zahvalnost treba izraziti autorima radova na trudu i želji da prikažu svoje radove široj javnosti, kao i recenzentima, članovima Programskog i Organizacionog odbora na posvećenosti i požrtvovanosti koja je kao rezultat imala uspešnu organizaciju Šestog naučno-stručnog skupa POLITEHNIKA.

Beograd, decembar 2021. godine

UREDNICI



## SORPCIONA SVOJSTVA TEMPO - OKSIDOVANIH PAMUČNIH LINTERA PREMA JONIMA OLOVA

Jovana Bošnjaković<sup>1</sup>, Istraživačko razvojni institut LOLA, Beograd  
Nataša Knežević<sup>2</sup>, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu  
Jovana Milanović<sup>3</sup>, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerzitet u Beogradu  
Aleksandar Jovanović<sup>4</sup>, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu  
Mladen Bugarčić<sup>5</sup>, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd  
Aleksandar Marinković<sup>6</sup>, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

**Apstrakt:** Celuloza predstavlja jedan od najrasprostranjenijih bio-polimera. Jedinstvena hemijska struktura kombinovana sa karakteristikama kao što su: hidrofилnost, biokompatibilnost, biodegradabilnost, netoksičnost i reaktivnost hidroksilnih grupa, pokazuje mogućnost primene celuloze kao bazičnog materijala za sorpcije različitih jona teških metala iz vodenih ekosistema. U ovom radu TEMPO-oksидovani pamučni linteri (TOCoL A i B) dobijeni su suspendovanjem početnih lintera po sistemu TEMPO/NaBr/NaClO. Za dobijanje različitih uzoraka TOCoL-a korišćene su različite mase 2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-oksil radikala i natrijum-bromida. Nakon dodavanja rastvora NaClO, održavanja pH suspenzije na 10,55, mešanja, ispiranja vodom i etanolom dobijeni uzorci čuvani su na 5°C. Na tako modifikovanim uzorcima urađena je karakterizacija i utvrđene su koncentracije CHO i COOH grupa za TOCoL A (0.1067 mmol/g i 0.2085 mmol/g) i TOCoL B (0.2085 mmol/g i 0.9843 mmol/g). Potom su ispitivana sorpciona svojstva uzoraka A i B prilikom uklanjanja jona Pb<sup>2+</sup> koncentracije 10 mg/l, pri čemu su uzorci analizirani atomskom apsorpcionom spektroskopijom. Pokazalo se da je maksimalno uklanjanje jona Pb<sup>2+</sup> bolje kod uzorka B – 82,1%, za razliku od uzorka A – 19,3%. Izgled površine vlakana uzoraka pre i nakon sorpcije snimljen je tehnikom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM), dok je za kvalitativnu analizu funkcionalnih grupa i strukturnu karakterizaciju materijala korišćena metoda infracrvena spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR).

**Ključne reči:** celuloza, vlakna pamuka, TEMPO-oksидacija, adsorpcija, olovo, zaštita životne sredine

## SORPTION PROPERTIES OF TEMPO-OXIDIZED COTTON LINTERS TOWARD LEAD IONS

**Abstract:** Cellulose is one of the most widely used biopolymers. The unique chemical structure combined with characteristics such as: hydrophilicity, biocompatibility, biodegradability, non-toxicity and reactivity of hydroxyl groups, shows the possibility of using cellulose as a basic material for sorption of various ions of heavy metals from aquatic ecosystems. In this paper, TEMPO-oxidized cotton linters (TOCoL A and B) were obtained by suspension according to the TEMPO/NaBr/NaClO system. Different masses of TEMPO radicals and NaBr were used to obtain different samples of

<sup>1</sup> [jocabosnjakovic@yahoo.com](mailto:jocabosnjakovic@yahoo.com)

<sup>2</sup> [natasaknezevic94@gmail.com](mailto:natasaknezevic94@gmail.com)

<sup>3</sup> [jovana@tmf.bg.ac.rs](mailto:jovana@tmf.bg.ac.rs)

<sup>4</sup> [aleksandarjovanovic.tmf@gmail.com](mailto:aleksandarjovanovic.tmf@gmail.com)

<sup>5</sup> [m.bugarcic@itnms.ac.rs](mailto:m.bugarcic@itnms.ac.rs)

<sup>6</sup> [marinko@tmf.bg.ac.rs](mailto:marinko@tmf.bg.ac.rs)

*TOCoL. After the addition of NaClO, maintaining the pH at 10.55, stirring, washing with water and ethanol, the obtained samples were stored at 5 °C. Characterization was determined on the modified samples and the concentration of CHO and COOH groups for A (0.1067 mmol/g and 0.2085 mmol/g) and B (0.2085 mmol/g and 0.9843 mmol/g) was determined. The sorption properties of samples A and B were examined during removal of Pb<sup>2+</sup> ions at concentration of 10 mg/l, and the samples were analysed by atomic absorption spectroscopy. It was shown that the maximum removal of Pb<sup>2+</sup> was better in sample B-82.1%, in contrast to sample A-19.3%. The fiber surface of the samples was analysed using scanning electron microscopy technique, while the method of infrared spectroscopy with Fourier transform was used for qualitative analysis of functional groups and structural characterization.*

**Keywords:** cellulose, TEMPO-mediated oxidation, cotton, lead, sorption, environmental protection

## 1. UVOD

Dominantna ljudska aktivnost izazvala je prekomerno zagađenje životne sredine, uključujući i vodene sisteme. Opterećenje površinskih slojeva zemljišta velikim količinama otpadnih materija koje se ne mogu razgraditi procesima samoprečišćavanja dovodi do degradacije zemljišta i poremećaja normalnih procesa u njemu, sa negativnim posledicama po ekosistem i zdravlje ljudi. Svakodnevno se u životnu sredinu odlažu velike količine organskog i neorganskog otpada kao proizvod ljudske aktivnosti, zbog čega se u zemljištu, vazduh i vodu emituju različiti polutanti (tekstilne boje, fenoli, pesticidi, teški metali, deterdženti, nafta i njeni derivati, radioaktivne supstance, tenzidi, organski rastvarači, joni različitih teških metala, nitrati, fosfati i dr.). Agroindustrijska lignocelulozna biomasa, u poslednjih nekoliko decenija, predstavlja predmet brojnih istraživanja usled velike rasprostranjenosti, obnovljivosti, strukturnih karakteristika i ekonomične niske cene. Kako raste industrijska proizvodnja sa jedne strane, a sa druge se smanjuju energetske resursi, dolazi do razvoja novih tehnologija koje bi obezbedile primenu obnovljivog, lako dostupnog, otpadnog materijala sa višestrukim namenom.

Danas se za tretman otpadnih voda koriste različite konvencionalne metode, poput hemijske precipitacije, oksido-redukcije, koagulacije, flokulacije, i sedimentacije. Međutim, razvijeni su i efikasniji, ali i skuplji postupci, kao što su jonska izmena, reverzna osmoza, elektrodijaliza, ultrafiltracija, membranska separacija i adsorpcija. Jedan od najčešće primenjenih tretmana otpadnih voda zbog svoje efikasnosti uklanjanja raznih polutanata i jednostavne upotrebe je adsorpcija aktivnim ugljem.

Cilj ovog istraživanja je ispitivanje efikasnosti, adsorpcionih karakteristika sintetisanih adsorbenata i uslova adsorpcije jona olova na prethodno tretiranom celuloznom supstratu. U skladu sa tim, izvršena je karakterizacija materijala kao sorbenta, ispitane su teksturalne i morfološke osobine površine materijala i ispitan je uticaj različitih faktora na sam proces adsorpcije, mogućnost regeneracije i ponovne upotrebe adsorbenata, te pretpostavljen mehanizam vezivanja jona za adsorbente. Tokom laboratorijskog ispitivanja izvršena je optimizacija parametara adsorpcionog procesa: doza adsorbenta, temperatura, hidrodinamički uslovi, početna koncentracija reagenasa, pH, kako bi se postiglo što efikasnije uklanjanje katjona iz vodenih rastvora. Dobijeni rezultati ovih ispitivanja mogu da posluže za postavljanje osnova za primenu ovih materijala u prečišćavanju otpadnih voda koje sadrže velike koncentracije zagađujućih materija.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

TEMPO-oksidacija, ili metoda oksidacije ugljenih hidrata upotrebom 2,2,6,6- tetrametilpiperidin-1-oksil radikala omogućava selektivnu oksidaciju primarnih hidroksilnih grupa u aldehidne i/ili karboksilne grupe. Prednosti ove metode su: velika brzina reakcije i visok prinos, velika selektivnost, kataliza procesa i umerena degradacija polisaharida za vreme procesa oksidacije. Pored prednosti,

ova metoda ima i ograničenja, a to je uticaj na životnu sredinu koji mogu izazvati reagensi natrijum-hipohlorita i natrijum-bromida [1].

Kako je tema ovog rada uticaj modifikovanih prirodnih materijala na uklanjanje polutanata i teških metala iz vodenih sredina, u nastavku će biti opisan proces TEMPO-oksidacije pamučnih vlakana, kao i eksperimentalni deo sa modifikovanim vlaknima i jonima olova ( $Pb^{2+}$ ).

### 2.1. TEMPO-oksidacija vlakana pamuka

TEMPO-oksidisani pamučni linters (TOCoL) pripremljeni su po sistemu TEMPO / NaBr / NaCl u alkalnoj sredini (pH 10,5). Na početku, TEMPO-oksidisani radikali su nastali redukcijom triacetonaamina do 2,2,6,6-tetrametilpiperidina koji procesom oksidacije prelazi u TEMPO radikal, što se može dobiti po Wolf-Kishner-ovom postupku [1]. Sinteza pamučnih vlakana je započela tako što je 10 g uzorka suspendovano u 750 ml destilovane vode u kojoj su prethodno rastvoreni TEMPO i NaBr [2]. Različite količine TEMPO i NaBr su uzete kako bi se dobila dva uzorka sa različitim brojem funkcionalnih grupa. Za uzorak TOCoL A uzeto je 0,0025 g TEMPO radikala i 0,025 g NaBr, dok su za uzorak TOCoL B te količine bile 0,0050 g TEMPO i 0,050 g NaBr. Napravljenim smešama dodavan je rastvor NaClO koji odgovara 12 mmol NaClO/g celuloze, uz neprekidno mešanje. Vrednost pH suspenzije je održavana za vreme reakcije na 10,5 na sobnoj temperaturi tokom 1h (TOCoL A), odnosno 5h (TOCoL B), dok je brzina reakcije praćena trošenjem rastvora 0,5 M NaOH. Nakon određenog vremena, oksidacija je završena dodavanjem etanola. Oksidisana celuloza je isprana vodom, a zatim etanolom na filter papiru smeštenom u Buhnerov levak.

### 2.2. Određivanje sadržaja karboksilnih grupa

Karboksilne grupe oksidovane celuloze reaguju sa solima slabijih kiselina kao što je kalcijum-acetat, pri čemu se formiraju soli oksidisane celuloze i oslobađa se ekvivalentna količina slabije kiseline. Imajući to u vidu i postojeću kalcijum-acetatnu metodu [3], razvijena je nova metoda za određivanje karboksilnih grupa u modifikovanim uzorcima celuloze. Uzorci, čije su mase 0,5 g tretiraju se sa 100 ml 0,01 M HCl u trajanju od 1 h, a potom se ispiraju destilovanom vodom, kako bi se katjoni celuloze zamenili vodonikovim jonima. Nakon toga, uzorci se potapaju u 30 ml 0,25 M Ca-acetata i 50 ml destilovane vode i ostaju u rastvoru 2 h uz mešanje. Od ukupnih 80 ml uzima se po 30 ml za titraciju sa 0,01 M NaOH, koristeći fenolftalein kao indikator. Sadržaj COOH grupa može se odrediti po formuli [4]:

$$COOH = \frac{\frac{80}{30} \cdot 0,01M \cdot V(NaOH)}{m \left(1 - \frac{w}{100}\right)}, \text{ (mmol/g)} \quad (1)$$

gde je: 0,01 M – molaritet rastvora NaOH, V (NaOH) – zapremina rastvora NaOH utrošena za titraciju (ml), m – masa vlakna koje se tretira (g), w – sadržaj vlage (%).

### 2.3. Određivanje sadržaja aldehidnih grupa

Sadržaj aldehidnih grupa u uzorcima nerastvornim u vodi izmeren je prema već poznatoj metodi [3] i to tako što se frakcije koje su nerastvorne u vodi oksiduju u natrijum-hloridu pri pH vrednosti 4-5, radi selektivne konverzije aldehidnih grupa u karboksilne pomoću NaClO<sub>2</sub>. Karboksilne grupe koje su nastale oksidacijom NaClO<sub>2</sub> određene su na osnovu ukupne vrednosti nakon i pre oksidacije sa NaClO<sub>2</sub>.

## 2.4. Određivanje količine vezanih jona olova

Uvedene karboksilne grupe u TEMPO-oksidisanim vlaknima predstavljaju potencijalna mesta za dalje odigravanje hemijskih reakcija, tačnije, moguća je jednostavna zamena vodonikovih atoma sa drugim katjonima. U ovom slučaju, rađena je hemisorpcija jona olova TEMPO-oksidisanim vlaknima iz vodenog rastvora olovo-nitrata. Količina adsorbovanih jona olova određena je tehnikom atomske apsorpcione spektrometrije korišćenjem AAS spektrometra (Perkin Elmer PinAAcle 900T). U određenim vremenskim intervalima profiltrirano je 8 prethodno napravljenih rastvora  $Pb^{2+}$  (10 ppm) sa različitim masama TEMPO-oksidisanih vlakana pamuka (1, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7,5 i 10 mg). Proces apsorpcije je trajao 90 min na temperaturi 25 °C uz mešanje pomoću magnetne mešalice.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

### 3.1. Sadržaj aldehidnih i karboksilnih grupa u TEMPO-oksidisanim vlaknima

Prisustvo aldehidnih grupa u TEMPO-oksidisanim vlaknima potiče od formiranja aldehidnih intermedijernih grupa na C-6 atomu i degradacijom lanaca do kojih dolazi pri  $\beta$ -eliminaciji glikozidne veze na pH 10,5, kao i ostalih reakcija depolimerizacije u toku oksidacije. U Tabeli 1. prikazana je koncentracija aldehidnih i karboksilnih grupa u modifikovanim i nemodifikovanim uzorcima. Maksimalna koncentracija aldehidnih grupa iznosi 0,1067 mmol  $g^{-1}$  u uzorku TOCoL A, što je 17 puta više nego u nemodifikovanim uzorcima pamučnog lintera

**Tabela 1.** Koncentracija CHO i COOH grupa u modifikovanim i nemodifikovanim pamučnim vlaknima

Izvor: *Izvorno autorsko*

UZORAK	Oksidativni uslovi TEMPO (g) /NaBr(g) /h	CHO grupe, mmol/g	COOH grupe, mmol/g
CoLin	0	0,0063	0,0401
TOCoL A	0,0025 / 0,025 / 1	0,1067	0,2085
TOCoL B	0,0050 / 0,050 / 5	0,0927	0,9843

Prisustvo značajnih količina karboksilnih grupa u oksidisanim vlaknima može se objasniti formiranjem intra- i inter-molekulskih hemiacetalnih veza sa hidroksilima celuloze, koji su usled sternih smetnji otporniji na TEMPO-oksidaciju u konverziji CHO grupa u COOH grupe. Iz Tabele 1. se uočava da je koncentracija karboksilnih grupa značajno veća u TOCoL B uzorku nego u uzorku TOCoL A, kao i da je nakon oksidacije prisutno više karboksilnih grupa u oba uzorka. Razlika u broju grupa kod uzoraka A i B je očekivana, s obzirom da su na početku korišćene različite mase TEMPO radikala i NaBr.

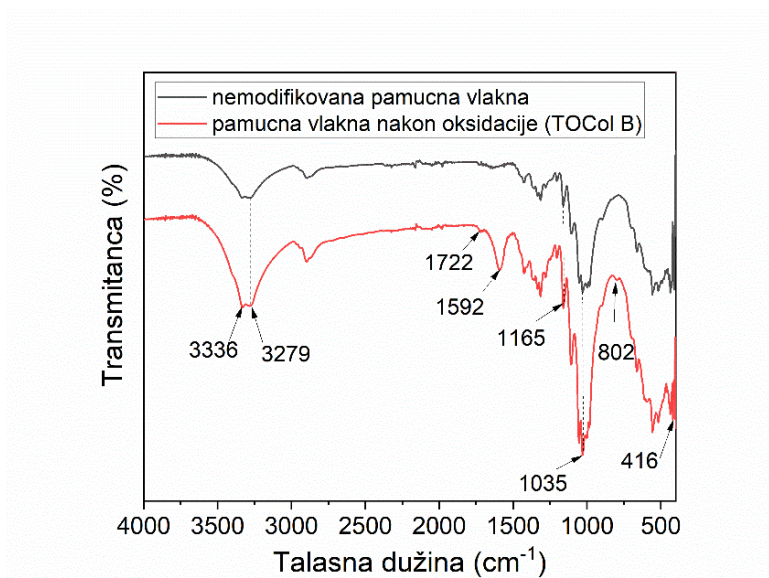
### 3.2 Karakterizacija adsorbenta (SEM i FTIR metode)

Slike dobijene SEM analizom netretiranih i tretiranih vlakana (na različitim temperaturama) su proučavane radi vizuelnog praćenja promena nastalih usled modifikacije. Uočavaju se uvijena vlakna pamuka sa neravnom površinom na zidu vlakana koja se povećavaju nakon TEMPO-oksidacije kada se dobija TOCoL B adsorbent (Slika 1.b). Može se videti da se uticaj oksidacionog sredstva ogleda u razvlaknjivanju, uvijanju i izobličenju vlakana.

Na Slici 2. prikazan je FTIR spektar pamučnog vlakna pre i nakon oksidacije (TOCoL B). Pikovi sa talasnim brojevima na 3336 i 3279  $cm^{-1}$  karakteristične su za valencione vibracije O-H hidroksilne i karboksilne grupe. Pikovi na 1722 i 1592  $cm^{-1}$  u FTIR spektru modifikovanog pamučnog vlakna potiču od uvođenja karboksilnih i karbonilnih grupa i rezultata degradacije celuloznih lanaca. Pikovi na 1165 i 1035  $cm^{-1}$  odgovaraju valencionim vibracijama C-O grupa u hidroksilnim i karboksilnim grupama.



**Slika 1.** SEM mikrografije a) nemodifikovanog i b) modifikovanog pamučnog vlakna (TOCoL B)  
**Izvor:** *Izvorno autorsko*



**Slika 2:** FTIR spektar pamučnog vlakna pre i nakon oksidacije ( TOCoL B )  
**Izvor:** *Izvorno autorsko*

### 3.3. Sorpcija jona olova u TOCoL A i TOCoL B

Pored uvedenih karboksilnih grupa i ostale promene nastale TEMPO-oksidacijom su od značaja za sorpciju  $Pb^{2+}$  jona (promena hemijskog sastava površine i morfologije celuloznih vlakana, promene kristaliničnosti i poroznosti). Da bi se bolje razumeo uticaj postupka modifikacije tj. oksidacije na adsorpcione karakteristike dobijenih materijala TOCoL A i TOCoL B, ispitane su njihove adsorpcione performanse u pogledu uklanjanja  $Pb^{2+}$  jona, a dobijeni rezultati su prikazani u Tabeli 2.

Iz prikazanih rezultata očigledno je da sa povećanjem količine primarnog oksidansa i produžavanjem vremena reakcije dolazi do povećanja količine karboksilnih grupa a time i adsorbovanih jona olova. Količina adsorbata uklonjenog iz rastvora se kod oksidisanih vlakana TOCoL B povećava od 18,18  $mg\ g^{-1}$  celuloze do 46,13  $mg\ g^{-1}$ , dok je kod uzorka TOCoL A ta razlika manja, i to od 3,03  $mg\ g^{-1}$  do 9,94  $mg\ g^{-1}$ .

Očekivano je da se sa povećanjem mase uzorka unetog u rastvor za adsorpciju katjona, povećava i efikasnost uklanjanja jona  $Pb^{2+}$ . Utvrđeno je da je kod uzorka TOCoL B zbog primenjene metode

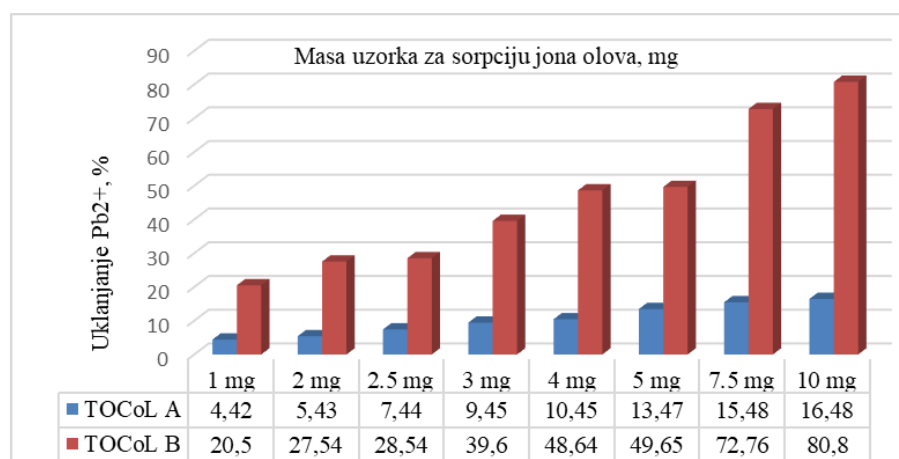


oksidacije došlo do uvođenja većeg sadržaja karboksilnih grupa a time i efikasnijeg uklanjanja Pb<sup>2+</sup> jona pa je zbog toga navedeni adsorbent potencijalno bolji za dalja adsorpciona ispitivanja.

**Tabela 2.** Efikasnost uklanjanja Pb<sup>2+</sup> jona primenom TOCoL A i TOCoL B adsorbenta  
Izvor: *Izvano autorsko*

Masa uzorka, mg	TOCoL A		TOCoL B	
	Nakon tretmana, mg / L	Uklanjanje Pb <sup>2+</sup> , %	Nakon tretmana, mg / L	Uklanjanje Pb <sup>2+</sup> , %
10	25,06	16,48	5,76	80,80
7,5	25,36	15,48	8,17	72,76
5	25,96	13,47	15,11	49,65
4	26,86	10,45	15,41	48,64
3	27,17	9,45	18,12	39,60
2,5	27,77	7,44	21,44	28,54
2	28,37	5,43	21,74	27,54
1	28,67	4,42	23,85	20,50

Najveći procenat uklonjenih jona olova od 80,80% je zabeležen kod uzorka TOCoL B, pri masi uzorka 10 mg, a kod uzorka TOCoL A 16,48% (Slika 3.).



**Slika 3.** Grafički prikaz zavisnosti uticaja mase adsorbensa na proces uklanjanja olova  
Izvor: *Izvano autorsko*

#### 4. ZAKLJUČAK

Poslednjih godina adsorpcija se najčešće bazira na upotrebi prirodno dostupnih materijala i nanočestica koje zahvaljujući specifičnoj površini, poroznosti i velikom broju funkcionalnih grupa doprinose ostvarivanju dobrih adsorpcionih kapaciteta pri uklanjanju toksičnih jona iz vodenih rastvora. Fizičko-hemijski tretmani znatno utiču na strukturne i morfološke karakteristike materijala, koje se dalje reflektuju na ponašanje materijala u sorpcionim procesima. Polimeri poput celuloze i lignina su veoma popularni među adsorbentima ove grupe, zbog svojih strukturnih prednosti, ekološke prihvatljivosti i ekonomičnosti.

Kod oksidisanih vlakana pamuka zabeležano je značajno povećanje COOH grupa sa maksimalnim povećanjem sadržaja aldehidnih (CHO) grupa u uzorcima TOCoL A i TOCoL B. Na osnovu eksperimenata, koncentracija COOH grupa/g adsorbenta je veća u uzorku sa duplo većom količinom reagenasa TEMPO i NaBr. Zbog toga uzorak TOCoL B pokazuje značajno bolja adsorpciona svojstva sa maksimalnim kapacitetom od 46,13 mg g<sup>-1</sup>.

## ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansijsku podršku po ugovoru br. 451-03-9/2021-14/200066, 451-03-9/2021-14/200023, 451-03-9/2021-14/200287, 451-03-9/2021-14/200135

## LITERATURA

- [1] Praskalo, J., Kostić, M., Potthast, A., Popov, G., Pejić, B., Skundrić, P.: Sorption properties of TEMPO-oxidized natural and man-made cellulose fibers, *Carbohydrate Polymers* 77(2009), pp 791–798
- [2] Saito, T., Isogai, A.: Introduction of aldehyde groups on surfaces of native cellulose fibers by TEMPO-mediated oxidation, *Colloids and Surfaces* 289 (2006), pp 219–225
- [3] Saito, T., Shibata, I., Isogai, A., Suguri, N., Sumikawa, N.: Distribution of carboxylate groups introduced into cotton linters by the TEMPO-mediated oxidation. *Carbohydrate Polymers*, 61 (2005) 4, pp 414–419.
- [4] Illy, N.; Fache, M.; Ménard, R.; Negrell, C.; Caillol, S.; David, G.: *Phosphorylation of Bio-Based Compounds: The State of the Art*. Polymer Chemistry. Royal Society of Chemistry, (2015) pp 6257–6291
- [5] Albrecht, W., Reintjes, M., Wulfhorst, B.: Nonwovens applications of lyocell fibers, *Chemical Fibers International* 47 (1997) 4, pp. 290–328



=====  
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](http://atssb.edu.rs)

ISBN-978-86-7498-087-3

