



**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

ZBORNİK 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



PRIPREMA I KARAKTERIZACIJA MEŠOVITOG OKSIDA Fe^{3+}/Cr^{3+} NA EKSPANDOVANOM VERMIKULITU KAO SORBENTA ZA JONE NIKLA

Mladen Bugarčić¹, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd
Petar Batinić², Institut za proučavanje lekovitog bilja "Dr Josif Pančić", Beograd
Katarina Pantović Spajić³, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd
Miroslav Sokić⁴, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd
Branislav Marković⁵, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd
Milan Milivojević⁶, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu
Aleksandar Marinković⁷, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Apstrakt: Adsorbenti na bazi oksida Fe^{3+} i Cr^{3+} predmet su brojnih istraživanja. Interkalacioni sloj vermikulita koristan je medijm za taloženje nanočestica. Zbog svoje relativno velike površine, kapaciteta katjonske izmene i prirodnog obilja vermikulita, ovaj liskunski mineral i njegovi kompoziti mogu biti valorizovani kao potencijalni adsorbenti. U ovoj studiji kompozit oksida Fe^{3+}/Cr^{3+} /ekspandirani vermikulit ($Fe_2O_3 / Cr_2O_3 / EV$) pripremljen je metodom in-situ. Kompozitni i osnovni materijal karakterisan je Furijeovom transformacijom infracrvene spektroskopije (FTIR), rendgenskom difrakcijom (XRD), skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM), a određeni su i: specifična površina BET-om (S_{BET}), kapacitet katjonske izmene (CEC) i pH tačke nultog naelektrisanja (pH_{PZC}). Adsorpciona svojstva $Fe_2O_3 / Cr_2O_3 / EV$ i EV ispitivana su u šaržnom sistemu na pH blizu pH_{PZC} za uklanjanje Ni (II) iz vode. Uzimajući u obzir parametre procesa kao što su vreme kontakta, masa adsorbenta i temperatura određeni su tip adsorpcije, termodinamički i izotermni parametri (Lengmir i Frojndlih) i parametri brzine adsorpcije. Rezultati kinetičkih studija dali su dobre korelacije sa modelom pseudo - drugog reda i Veber - Morisovim modelom. Uzimajući u obzir činjenicu da je EV imao niske vrednosti CEC i specifične površine, dobijeni kompozit ima umerenu adsorpcionu sposobnost (22,9 mg/g).

Ključne reči: ekspanirani vermikulit, Fe_2O_3 / Cr_2O_3 , adsorpcija, nikel (II), zaštita životne sredine

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF MIXED Fe^{3+}/Cr^{3+} OXIDE/EXPANDED VERMICULITE AS A MAGNETIC ADSORBENT OF NICKEL IONS

Abstract: Adsorbents based on Fe^{3+} and Cr^{3+} oxides have been the subject of numerous studies. The intercalation layer of vermiculite is a useful medium for the deposition of nanoparticles. Due to its relatively large surface area, cation exchange capacity, and natural abundance of vermiculite, this mica mineral and its composites can be valorized as potential adsorbents. In this study, a composite of oxide Fe^{3+}/Cr^{3+} / expanded vermiculite ($Fe_2O_3/Cr_2O_3/EV$) was prepared by in-situ method. The composite and base material was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR),

¹ m.bugarcic@itnms.ac.rs

² pbatinic@mocbilja.rs

³ k.pantovic@itnms.rs

⁴ m.sokic@itnms.rs

⁵ b.markovic@itnms.rs

⁶ mmilan@tmf.bg.ac.rs

⁷ marinko@tmf.bg.ac.rs

X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and the following were determined: specific surface area by BET (S_{BET}), cation exchange capacity (CEC) and pH point zero charges (pH_{pzc}). The adsorption properties of materials were tested in a batch system at a pH close to pH_{pzc} to remove Ni (II) from water. By changing process parameters such as contact time, adsorbent mass and temperature, the type of adsorption, thermodynamic and isothermal parameters (Langmuir and Freundlich) and adsorption rate parameters were determined. The results of kinetic studies gave good correlations with the pseudo-second order model and the Weber-Morris model. Considering the fact that EV had low CEC values and specific surfaces, the obtained composite has a moderate adsorption capacity (22.9 mg / g).

Keywords: expanded vermiculite, Fe₂O₃ / Cr₂O₃, adsorption, nickel (II), environmental protection

1. UVOD

Poslednjih decenija naučna javnost je obavila brojne studije u cilju razvoja i poboljšanja materijala koji se koriste kao adsorbensi. Među mnoštvom različitih zagađivača, nikl je jedan od najotrovnijih među teškim metalima, lista prioriteta toksičnih supstanci koju je sačinio ATSDR stavlja nikl na 58. poziciji od 275 hemikalija [1]. Mineralni materijali su obećavajući adsorbenti, pošto su hemijski i mehanički stabilni i samim mogu se koristiti u velikom broju ciklusa adsorpcija/desorpcija. Optimalni mineral za adsorpciju teških metala treba da ima visoku specifičnu površinu, kapacitet razmene katjona (ako teški metal egzistira kao katjonska vrsta u vodenom rastvoru) kao i mogućnost lake separacije.

Ekspandirani vermikulit poseduje umereni kapacitet katjonske izmene (eng. cation exchange capacity, CEC) u rasponu od 25 do 250 cmol_c kg⁻¹ [2], razvijenu površinu (morfologija ljuspica) i prilično je zastupljen u prirodi. Prirodni vermikulit (kao i ekspandirani vermikulit) poseduje alkalne i zemnoalkalne metale unutar interkalacionog sloja i ti kationi mogu lako da se razmenjuju sa pozitivno naelektrisanim vrstama.

Mešoviti oksidi gvožđa su veoma interesantni sa aspekta primene kao adsorbenti, poseduju brojna svojstva optimalnog adsorbenta ali lako aglomerišu i nemaju pogodna mehanička svojstva što iziskuje njihovo deponovanje na stabilne matrice. Oksid veoma interesante morfologije je mešoviti oksid hroma (III) i gvožđa (III) [3].

Ciljevi ovog rada su: opisavanje metode za pripremu kompozitnog Fe₂O₃/Cr₂O₃/EV; karakterizacija dobijenog kompozita u svetlu njegovih najvažnijih fizičko -hemijskih svojstava vezanih za adsorpciju katjona; utvrđivanje njegovih adsorpcionih svojstava prema jonima Ni²⁺ iz vodenog rastvora.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Materijali potrebni za sintezu i opštu karakterizaciju su dole navedeni, svi reagensi i rastvarači su analitičkog kvaliteta: gvožđe (III) hlorid heksahidrat (Zorka Šabac, p.a.); hrom (III) hlorid heksahidrat (Carlo Erba Val de Rulj, p.a.); limunska kiselina (Merk Darmštat; 99,5 mas%); etilen glikol (Centrohem Stara Pazova; 99,5 mas %); kalijum hidroksid (Merk Darmštat, p.a.); kalijum nitrat (Alkaloid Skoplje, p.a.); azotna kiselina (Zorka Šabac, 63 mas%); etanol (Sani-Hem Novi Bečej, 96 vol %); nikl (II) nitrat heksahidrat (Merk Darmštat; 99,999 mas%); dejonizovana voda (18 MΩ cm).

Uzorci vermikulita dobijeni su sa zapadnih padina planine Kopaonik, severoistočno od sela Krenić [4]. Ovi uzorci su termički tretirani na 400 °C u prethodno zagrejanoj peći (Elektron Banja Koviljača/EPK) i nakon ekspandovanja i hlađenja, uzorci EV se melju (KHD Humboldt Vedge AG, Nemačka) i mikronizovani uzorci se proseju u rasponu od 0,5 do 1,0 mm. Modifikacija polaznog materijala vrši se u termalno precipitativnom procesu sa ciljem da se dobije količina mešovitog oksida jednaka 10 mas% početne mase EV.

Priprema ove modifikacije vrši se prema metodologiji koja je korišćena u radu Pandua [3]. Cilj je bio proizvesti količinu Fe₂O₃/Cr₂O₃/EV koja bi bila jednaka 10 mas% EV mase. Merene su stehiometrijske količine FeCl₃·6H₂O i CrCl₃·6H₂O sa 10 % viška (1,1875 g gvožđe (III) hlorid heksahidrata i 0,5854 g hrom (III) hlorid heksahidrata). Ove dve soli su rastvorene u rastvoru prethodno pripremljenom od 5000 µl vode zajedno sa 7,3500 g limunske kiseline (ova količina limunske kiseline je potrebna za stvaranje zasićenog vodenog rastvora na 20 °C). U ovaj rastvor dodato je 4,9000 g etilen glikola (ova količina je potrebna za postizanje masenog odnosa etilen glikola u odnosu na limunsku kiselinu od 2:3). Ovaj gusti rastvor smeđe boje ubačen je sa EV u staklenu cev uz istovremeni ultrazvučni tretman i vakumiranje tokom 1 sata i još 8 sati radi hlađenja i stabilizacije. Sinteza oksida se vrši u otvorenoj staklenoj cevi na 400 °C tokom 5 sati. Pripremljeni kompozit se ispira etanolom i vodom i suši na 50 °C u trajanju od 6 sati, uzorci su skladišteni u plastičnim posudicama od PVC-a. Metodologija pripreme uzoraka i način izvođenja metoda karakterizacije CEC, pH_{PZC}, FTIR, XRD, SEM, BET su dati u prethodnom radu [5].

Za korelaciju podataka ravnotežne adsorpcije korišćene su adsorpcione izoterme i to Lengmirova, jednačina (1) i Frojndlihova, jednačina (2). Dok podaci kinetike adsorpcije korelisani su kinetičkim modelom pseudo drugog reda, jednačina (3) i Veber – Morisovim modelom, jednačina (4).

$$q_e = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2)$$

$$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{k_2 q_{\max}^2} \right) + \left(\frac{1}{q_{\max}} \right)} \quad (3)$$

$$q_t = K_{id} t^{0,5} + C \quad (4)$$

Eksperimenti adsorpcije su izvedeni u šaržnom sistemu mešanjem tačne količine uzoraka u 7500 µl adsorbata koji sadrži jon nikla (početna koncentracija 9,85 mg dm⁻³). Vodeno kupatilo je obezbedilo stalnu temperaturu potrebnu za sve eksperimente. Svi eksperimenti su urađeni u triplikatu radi smanjivanje merne nesigurnosti prema šablonu datom u Tabeli 1. Prema proizvodu rastvorljivosti Ni(OH)₂ [6], pH vrednost pri kojoj će doći do taloženja hidroksida pri 0,135 mmol Ni dm⁻³ je 9,03 pa je pH vrednost rastvora adsorbata pre adsorpcije podešena na 7,00. Vodeni rastvora KOH korišten je za podešavanje pH vrednosti na pomenutu vrednost. Standardizacija početnog rastvora nikel nitrata (1000 mg dm⁻³) izvršena je prema metodi Accu Standard 1000 ppm. Koncentracije nikla pre o nakon adsorpcije merene su AAS metodom pomoću Perkin Elmer AAnalyst 300 spektrofotometra.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Sumarni rezultati CEC, pH_{PZC} i S_{BET} za EV i Fe₂O₃/Cr₂O₃/EV dati su u Tabeli 2. Podaci govore da svi joni prisutni u nativnom uzorku (EV) sadržani su u nešto manjem udelu u modifikovanom uzorku (Fe₂O₃/Cr₂O₃/EV) osim sadržaja gvožđa i hroma koji su bili prisutni kao reagensi u toku reakciji taloženja oksida.

Tačka nultog naelektrisanja je znatno smanjena usled korišćenja limunske kiseline kao reagensa, njeno prisustvo utiče na površinu materijala i čini je trajno zakišljenom što se podudara sa zaključcima i drugih studija [5,7]. Specifična površina modifikovanog uzorka je nešto viša nego kod nativnog uzorka usled prisustva istaloženih čestica oksida na površini vermikulita što potvrđuju i SEM mikrofotografije.

Tabela 1. Šablon izvođenje adsorpcionih eksperimenata

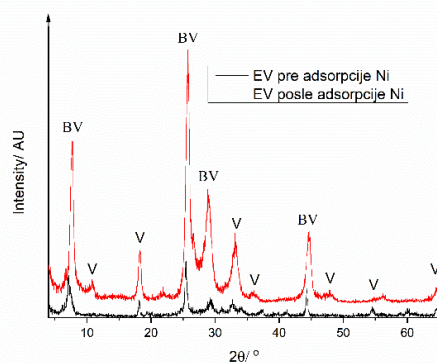
Izvor: Izvorno autorsko

Broj eksperimenta	Temperatura / °C	Vreme / min	Masa adsorbenta / mg
1	35	90	10
2	35	90	7.5
3	35	90	5.0
4	35	90	2.5
5	35	5	1
6	35	15	1
7	35	30	1
8	35	90	1

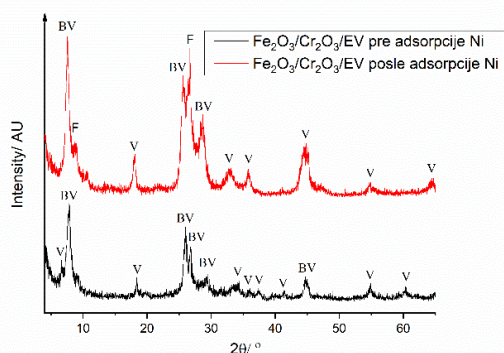
Tabela 2. Vrednosti CEC, pH_{PZC} i S_{BET} za EV i Fe₂O₃/Cr₂O₃/EV

Izvor: Izvorno autorsko

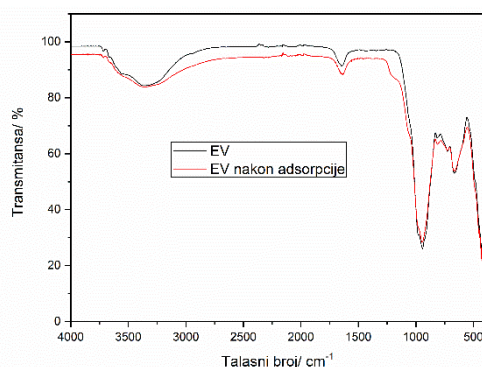
	Kapacitet katjonske izmene (CEC)/cmol _c kg ⁻¹							pH _{PZC}	S _{BET} /m ² g ⁻¹
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Cr ³⁺	Σ		
EV	6,5	32,4	1,0	0,9	0,1		40,9	6,42	3,28
Fe ₂ O ₃ /Cr ₂ O ₃ /EV	3,0	29,2	0,5	0,8	1,5	1,2	36,2	4,75	4,84

**Slika 1.** Difraktogram X-zraka na uzorku EV pre i posle adsorpcije nikla, oznaka V označava vermikulit, BV – biotitski vermikulit**Izvor: Izvorno autorsko**

Na slikama 1 i 2 dati su difraktogrami početnog i modifikovanog uzorka. Odsustvo pikova koji odgovaraju oksidima gvožđa i hroma (obično na 35,74; 43,44; 57,47; 63,12° 2θ) je posledica malog prisustva mešoviteg oksida. Delimična transformacija vermikulita u biotitski vermikulit (BV) primećena je nakon termičke modifikacije. Rastojanje između 2:1 slojeva povećalo se nakon taloženja oksida (sa 12,34 (nativni uzorak) na 13,15 Å (modifikovani)).

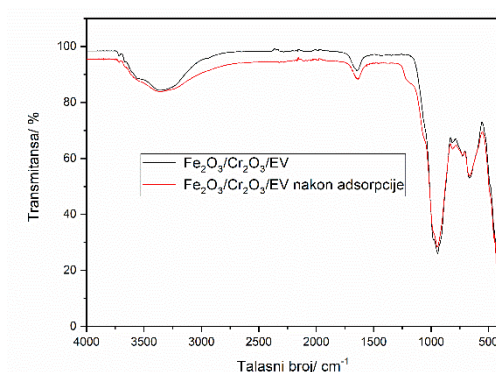
**Slika 2.** Difraktogram X-zraka na uzorku Fe₂O₃/Cr₂O₃/EV pre i posle adsorpcije nikla, oznaka V označava vermikulit, BV – biotitski vermikulit, F – flogopit **Izvor: Izvorno autorsko**

FTIR spektri EV i njegove modifikacije prikazani su na Slikama 3. i 4. Kao što se može videti na navedenim slikama, postoje neke značajne promene u spektrima nakon adsorpcije nikla, koje se mogu uočiti na oko 1200 cm^{-1} kao kolena na spektru, takođe postoje i neke druge manje promene u spektrima koje se odnose na vibracije Al-O/ Si-O vibracije i takođe Fe-O i Cr-O vibracije. Detaljnije analize mogu se proveriti u okviru našeg prethodnog rada [5].



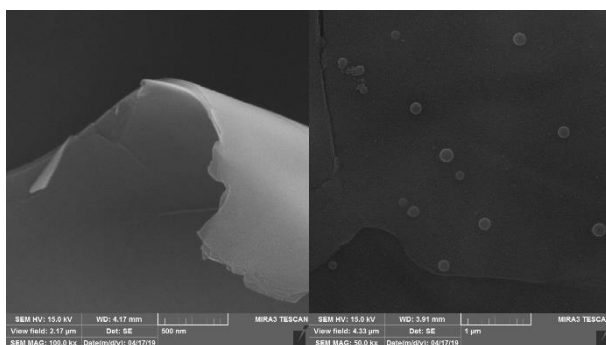
Slika 3. FTIR spektar u ATR modu na uzorku /EV pre i posle adsorpcije nikla

Izvor: *Izvorno autorsko*



Slika 4. FTIR spektar u ATR modu na uzorku $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{EV}$ pre i posle adsorpcije nikla

Izvor: *Izvorno autorsko*



Slika 5. SEM uzoraka: EV (levo) i $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{EV}$ (desno)

Izvor: *Izvorno autorsko*

SEM slike uzoraka date su na Slici 5. Ravna i homogena površina početnog uzorka EV mogla se videti na Slici 5. (levo). SEM mikrografi potvrdili su prisustvo kristala feritnih spinela na površini EV nastalih tokom uzastopne nukleacije i rasta kristala. Prečnici deponovanih čestica mešoviteg oksida variraju od približno 100 do 250 nm.

Sumarni rezultati eksperimenata adsorpcije dati su u Tabeli 3, rezultati eksperimenata ravnotežne adsorpcije korelisani su Lengmirovom i Frojndlihovom adsorpcionom izotermom, a rezultati eksperimenata kinetike modelima (Veber-Moris i pseudo drugog reda).

Tabela 3. Vrednosti parametara Lengmirove i Frojndlihove adsorpcione izoterme na 308 K uz kinetiku adsorpcije na istoj temperaturi i m:V odnosu 8:60 g dm⁻³

Izvor: Izvorno autorsko

Sample	$K_L / \text{dm}^3 \text{mg}^{-1}$	$q_{\text{max}} / \text{mg g}^{-1}$	$K_F / \text{mg g}^{-1} (\text{dm}^3 \text{mg}^{-1})^{1/n}$	1/n
EV	0,757	20,46	9,521	0,351
Fe ₂ O ₃ /Cr ₂ O ₃ /EV	0,792	21,51	9,877	0,346
Sample	$q_{\text{max}} / \text{mg g}^{-1}$	$k_2 / \text{g} (\text{min mg})^{-1}$	$K_{\text{id}} / \text{mg g}^{-1} \text{min}^{-0.5}$	C / mg g ⁻¹
EV	18,280	0,008145	1,78	5,96
Fe ₂ O ₃ /Cr ₂ O ₃ /EV	19,054	0,007412	1,71	6,02

Rezultati ukazuju da modifikovani uzorak ima nešto veći adsorpcioni kapacitet od početnog uzorka ali kinetika procesa je nešto sporija (na to ukazuju nešto manje vrednosti konstanti k_2 i K_{id}) usled prisustva čestica na površini poroznih čestica vermikulita.

4. ZAKLJUČCI

Taloženje oksida gvožđa i hroma na površini EV promenilo je površinu minerala kao i njegova fizičko–hemijska svojstva, posebno CEC i specifičnu površinu. Termalno dejstvo povećalo je rastojanje između 2:1 slojeva, ali je prisustvo čestica mešovitog oksida usporilo brzinu adsorpcije, osim toga kiseli medijum reagensa pomerio je pH_{PZC} na nižu vrednost. Budući da su najbolji rezultati korelacije rezultata kinetike adsorpcije dobijeni korišćenjem modelom pseudo drugog reda, može se zaključiti da adsorpcija prati mehanizam jonske izmene. Buduće studije će biti usmerene na alternativne načine proizvodnje sa ciljem dobijanja materijala sa još većim SSA i prisustvom funkcionalnih grupa (kao što je OH grupa) što će dodatno poboljšati proces adsorpcije.

ZAHVALNOST

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

LITERATURA

- [1] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2020, January 1). Substance Priority List ATSDR [Internet]. Dostupno: <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html> (Pristup: 1.10.2021.)
- [2] Weiss, A., Koch, G., Hofmann, U., Zur Kenntnis von Saponite Berichte der Dtsch. Keramische Gesellschaft, 22 (1955), pp. 12–17.
- [3] Pandu, R., (2014) Nanocomposites – A Review. Mater. Sci. Res. India 11, pp. 128–145.
- [4] Tomanec, R., Popov, S., Vucinic, D., Lazic, P. Vermiculite from Kopaonik (Yugoslavia) characterization and processing. Physicochem. Probl. Miner. Process., 31 (1997), pp. 247–254.
- [5] Bugarčić, M., Lopičić, Z., Šošarić, T., Marinković, A., Rusmirovic, J. D., Milošević, D., Milivojević, M.: Vermiculite enriched by Fe(III) oxides as a novel adsorbent for toxic metals removal, *J. Environ. Chem. Eng.*, 9 (2021) 5, 106020.
- [6] Ростислав, Л., Молочко, В., Андреева, Л.: “Произведения растворимости,” в Константы неорганических веществ. Справочник, Л. Ростислав, под ред., Дрофа, Москва, (2006), 609.
- [7] Milonjić, S.K., Kopečni, M.M., Ilić, Z.E. The point of zero charge and adsorption properties of natural magnetite, *J. Radioanal. Chem.* 78(1983), pp. 15–24.

=====
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

