

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

50. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda

VODA 2021

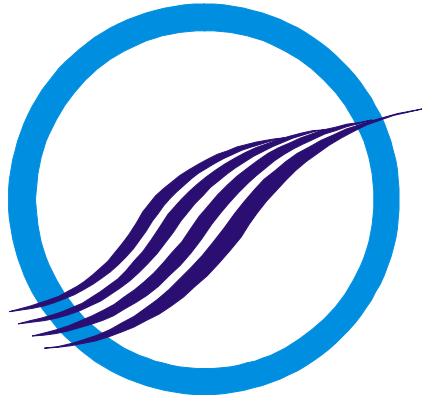
The 50th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society

WATER 2021

Conference Proceedings



Zlatibor, 22. – 24. septembar 2021.



www.sdzv.org.rs

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY

II

IZDAVAČ (PUBLISHER):

Srpsko društvo za zaštitu voda, Kneza Miloša 9/1, Beograd, Srbija,
Tel/Faks: (011) 32 31 630

PROGRAMSKI ODBOR (PROGRAMME COMMITTEE):

Prof. dr Branislav ĐORĐEVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd
Prof. dr Božo DALMACIJA, dipl.hem., Novi Sad
Dr Momir PAUNOVIĆ, naučni savetnik, dipl.biol., Beograd
Dr. Bela CSÁNYI, dipl.biol., Budimšešta-Mađarska
Prof. dr Peter KALINKOV, dipl.inž.građ., Sofija-Bugarska
Prof. dr Valentina SLAVEVSKA STAMENKOVIĆ, dipl.biol., Skoplje-R.Makedonija
Prof. Dr. Goran SEKULIĆ, dipl.inž.građ, Podgorica-Crna Gora
Prof. dr Violeta CIBULIĆ, dipl.hem., Beograd
Prof. dr Slavka STANKOVIĆ, dipl.inž.tehnol., Beograd
Prof. dr Zorana NAUNOVIĆ, dipl.inž.tehnol., Beograd
Dr Aleksandar JOKSIMOVIĆ, dipl.biol., Kotor-Crna Gora
Dr Božica VASILJEVIĆ, dipl.biol., Beograd

UREDNIK (EDITOR):

Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.građ.

Svi radovi u ovom zborniku radova su recenzirani. Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, urednika ili programskog odbora.

TIRAŽ (CIRCULATION):

200 primeraka

ŠTAMPA:

"Akademska izdanja", Zemun, 2021

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

502.51(082)
556.11(082)
628.3(082)
628.1(082)

ГОДИШЊА конференција о актуелним проблемима коришћења и заштите вода (50 ; 2021 ; Златибор)
Voda 2021 : zbornik radova 50. godišnje konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda = Water 2021 : conference proceedings 50th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society, Zlatibor, 22. - 24. septembar 2021. / [organizatori] Srpsko društvo za zaštitu voda [u saradnji sa JKP "Vodovod Zlatibor", Čajetina]; [urednik, editor Aleksandar Đukić]. - Beograd : Srpsko društvo za zaštitu voda, 2021 (Zemun : Akademska izdanja). - X, [378] str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i lat. - Tiraž 200. - Str. X: Predgovor / Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-916753-8-7

a) Воде -- Зборници б) Отпадне воде -- Зборници в) Снабдевање водом -- Зборници
COBISS.SR-ID 45673481

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

ZBORNİK RADOVA

**50. GODIŠNJE KONFERENCIJE O AKTUELNIM TEMAMA
KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA**

VODA 2021

*50TH ANNUAL CONFERENCE OF THE
SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY
"WATER 2021"
CONFERENCE PROCEEDINGS*

Zlatibor, 22. - 24. septembar 2021.

IV

ORGANIZATORI KONFERENCIJE (*CONFERENCE ORGANISERS*):

Srpsko društvo za zaštitu voda (Beograd),
u saradnji sa
JKP "Vodovod Zlatibor", Čajetina

ORGANIZACIONI ODBOR KONFERENCIJE (*ORGANIZING COMMITTEE*):

PRESEDNIK: Marija VILOTIJEVIĆ, dipl.inž.tehnol, Čajetina

SEKRETAR: Milena MILORADOV, SDZV, Beograd

ČLANOVI:

Miodrag PIJEŠČIĆ, dipl.inž.gradj., Beograd
Goran PUZOVIĆ, dipl.inž., Beograd
Ivan IRKIĆ, dipl.inž.grad., Čajetina
Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.grad. Beograd
Milutin IGNJATOVIĆ, dipl.inž., Beograd
Strahinja DANILOVIĆ, dipl.prav, Beograd
Srđan KRUŽEVIĆ, dipl.ecc, Novi Sad
Dragan MAKSIMOVIĆ, dipl.inž.grad., Kladovo
Mr Bratislav STIŠOVIĆ, dipl.ind.grad, Beograd
Mr Olivera DOKLESTIĆ, dipl.inž.grad., H. Novi, Crna Gora
Duško VUJOVIĆ, dipl.inž.grad., Trebinje, R.Srpska-BiH
Dr Aleksandar JOKSIMOVIĆ, dipl.biol, Kotor, Crna Gora
Dr Milenko SAVIĆ, dipl.inž.tehn. Bijeljina, R.Srpska-BiH
Dr Milenko SAVIĆ, dipl.inž.tehn. Bijeljina, R.Srpska-BiH

ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

- Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
- Inženjerska komora Srbije

Slika na koricama: motiv sa Zlatibora

SADRŽAJ

CONTENTS

1. TEMATSKA GRUPA: VODOPRIVREDNI, EKOLOŠKI, I ORGANIZACIONI ASPEKTI KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA

1. D. Krčmar, M. Bečelić-Tomin, V. Pešić, R. Tomić, B. Dalmacija (Novi Sad)
AKCIONI PLAN ZA DOSTIZANJE GRANIČNIH VREDNOSTI EMISIJE ZAGAĐUJUĆIH
MATERIJA U OTPADNIM VODAMA – PRIMER ZA PREHRAMBENU INDUSTRIJU 1
2. V. Teofilović, M. Živković, S. Đajić, N. Stojić, M. Pucarević, S. Miletić, M. Vrvic (Novi
Sad, Sremska Kamenica, Beograd)
PRAVNI OKVIR ZA REGULISANJE PROBLEMA MIKROPLASTIKE U SRBIJI 9
3. A. Đukić, O. Govedarica, B. Babić (Beograd)
OBEZBEĐENJE VODE ZA PIĆE I SANITACIJE ZA MARGINALIZOVANE GRUPE U
REPUBLICI SRBIJI..... 17
4. O. Doklešić (Herceg Novi - Crna Gora)
NEKE SPECIFIČNOSTI UPRAVLJANJA VODOVODNIM SISTEMIMA U PRIMORSKOM
REGIONU, VEZA SA TURISTIČKOM PRIVREDOM 27
5. M. Lakićević, K. Jurić, M. Vicković (Novi Sad)
KARTIRANJE RAMSARSKIH PODRUČJA U GIS PROGRAMU..... 33
6. M. Bijelić, Z. Bijelić (Frankin-SAD, Novi Sad)
MODEL OPTIMALNOG UPRAVLJANJE PLANINSKIM VODOTOKOVIMA MANJEG
ENERGETSKOG POTENCIJALA 41
7. S. Prohaska, J. Plavšić, S. Čatović, V. Bartoš Divac, O. Prohaska, D. Pavlović, S.
Marjanović, A. Ilić (Beograd, Niš)
NAJNOVIJA SVEOBUHvatNA ANALIZA MALIH VOA NA TERITORIJI REPUBLIKE
SRBIJE JUŽNO OD SAVE I DUNAVA 49
8. V. Mandić, S. Kolaković (Kraljevo, Novi Sad)
PRIMENA METODA PROSTORNE INTERPALACIJE PADAVINA NA SLIVU TOPLICE..... 57
9. D. Veličković, M. Krivokapić (Beograd, Podgorica – Crna Gora)
ANALIZA INTEZITETA PADAVINA I TEMPERATURE ZA SLIV PLAVSKOG JEZERA U
PERIODU OD 1966 DO 2020 GODINE 67
10. P. Benka, Z. Srđević, J. Grabić, B. Srđević, S. Ždero, M. Ilić, N. Antonić (Novi Sad)
PROSTORNI PODACI I GIS OKRUŽENJE KAO PODRŠKA OCENI STANJA EKO-
SISTEMATSKIH USLUGA PLOVNIH PODRUČJA U PROJEKTU IDES..... 77
11. B. Ristanović, B. Miljanović, M. Cimbalević, N. Pankov, A. Popović, D. Milošević
(Novi Sad, Tronoša, Lapovo)
PRIMENA GIS-A U MODIFIKOVANOM GAVRILOVIĆEVOM MODELU ZA
IZRAČUNAVANJE EROZIJE BUJIČNIH TOKOVA 83
12. B. Milišić (Trebinje, R. Srpska-BiH),
INFORMACIONI SISTEM KAO PODRŠKA ODLUČIVANJU I UPRAVLJANJU VODAMA
NA OBLASOM RIJEČNOM SLIVU TREBIŠNJICE 91

2. TEMATSKA GRUPA: KVALITET VODA I PROCESI U PRIRODNIM VODAMA

2.1. Površinske vode i sedimenti

13. J. Jovanović Marić, M. Kračun-Kolarević, S. Kolarević, I. Nikolić, K. Sunjog, M. Paunović, B. Vuković-Gačić (Beograd)
PRIMENA RAPD METODE U EKOGENOTOKSIKOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA -
STUDIJE SLUČAJA SAVA I DUNAV 99
14. N. Marinković, K. Jovičić, J. Čanak Atlagić, M. Ilić, J. Đuknić, M. Raković, M. Paunović
(Beograd)
PRVI NALAZ *BATRACOBDELLOIDES MOOGI* NESEMANN & CSANYI, 1995 U SRBIJI 105
15. M. Raković, J. Stanković, Đ. Milošević, J. Tomović, N. Popović, A. Atanacković, M. Paunović (Beograd)
JDS4 – PRISUSTVO ČESTICA MIKROPLASTIKE U TKIVU ŠKOLJKE – *CORBICULA FLUMINEA* /MULLER, 1774/ U DUNAVU 109
16. S. Anđus, B. Tubić, K. Zorić, B. Vasiljević, M. Raković, N. Marinković, M. Paunović
(Beograd)
PRVI NALAZ SLATKOVODNIH SUNDJERA: *SPONGILLA LACUSTRIS* LINNAEUS,
1758 I *EPHYDATIA FLUVIATILIS* /LINNAEUS, 1759/ U CRNOJ GORI 117
17. J. Kovačević, Lj. Grujičić-Tešić (Beograd, Ruma)
VODE PLANINE GOLIJE 123
18. S. Zlatković, V. Đurković (Beograd)
PRVI PODACI O MAKROBESKIČMENJACIMA REKE GRADIŠNICE 131
19. S. Zlatković, V. Đurković (Beograd)
MAKROBESKIČMENJACI DONJEG TOKA REKE GRADAŠNICE 139
20. S. Zlatković, V. Đurković (Beograd)
MAKROBESKIČMENJACI GORNJEG TOKA REKE SOKOBANJSKE MORAVICE 145
21. D. Nikolić, M. Jaćimović, B. Mičković, M. Smederevac Lalić, G. Cvijanović, S. Skorić
(Beograd)
OCENA EKOLOŠKOG STATUSA PET MALIH AKUMULACIJA U CENTRALNOJ SRBIJI
NA OSNOVU ZAJEDNICA RIBA 151
22. B. Mičković, M. Nikčević, S. Skorić, D. Nikolić, M. Smederevac Lalić, V. Đikanović
(Beograd)
KONCENTRACIJA HLOOROFILA–A I TROFIČKI INDEKS UVAČKE AKUMULACIJE 157
23. M. Dubovina, D. Krčmar, S. Tenodi, S. Maletić, B. Dalmacija (Novi Sad)
PROCENA UTICAJA AKTIVNOSTI IZMULJIVANJA NA KVALITET VODE KANALA
BEGEJ 163
24. S. Čučković (Trebinje, R.Srpska - BiH)
BIODIVERZITET FAUNE OBLASNOG RIJEČNOG SLIVA TREBIŠNJICE 169
25. G. Đelić, S. Branković, G. Marković, D. Brković, M. Pavlović (Kragujevac, Čačak)
PRILOG POZNAVANJU MAKROFITSKE FLORE JUŽNE MORAVE 177

26. I. Mijić Oljačić, S. Pogrmić, N. Pankov, A. Bajić, M. Živković, B. Miljanović (Novi Sad, Sremska Kamenica) BIOLOŠKI PARAMETRI U MONITORINGU RIBOLOVNIH VODA NA PRIMERU FRUŠKOGORSKIH AKUMULACIJA	185
27. D. L. Mitić, M. Živković, N. Stojić, V. Teofilović, B. Miljanović, Z. Lopičić, M. Pucarević, (Sremski Karlovci, Novi Sad, Beograd) TEŠKI METALI U VODI JEZERA KRALJEVAC	193
28. M. Živković, B. Damjanović, B. Miljanović, A. Sarmeš, (Sremska Kamenica, Novi Sad, Šabac, Deliblato) MONITORING STANJA STROGO ZAŠTIĆENE VRSTE BARSKE PAPRATI /THELYPTERIS PALUSTRIS SCHOTT./ U SRP "KRALJEVAC"	201
29. N. Dukić, T. Savić, M. Živković (Beograd, Novi Sad, Sremska Kamenica) ODREDJIVANJE EKOLOŠKOG STATUSA REKE POCIBRAVE NA OSNOVU MAKROFITSKE VEGETACIJE.....	207
30. A. Matić, M. Živković, B. Damjanović, D. L. Mitić, N. Pankov, I. Mijić Oljačić., A. Bajić, B. Miljanović (Sremska Kamenica, Novi Sad, Šabac) ODREĐIVANJE KVALITETA VODE JEZERA: SOT, BRUJE I MOHARAČ PRIMENOM SERBIAN WATER QUALITY INDEX	209
31. M. Numanović, M. Živković, M. Stefanović, N. Veličković, B. Miljanović (Novi Sad, Sremska Kamenica) NOVA VRSTA ZA SRBIJU <i>ARCYNOPTERYX DICHROA</i> (MCLACHLAN, 1872).....	215
32. M. Numanović, B. Miljanović, M. Živković, (Novi Sad, Sremska Kamenica) EKOLOŠKI STATUS ĐEREKARSKE REKE	217
33. S. Radojković, V. Presburger Ulniković, V. Cibulić, N. Waisi (Beograd) KVALITET VODE LUKOVSKO REKE	227
34. S. Radojković, V. Presburger Ulniković, V. Cibulić, N. Waisi (Beograd) KVALITET VODE PROLMSKE REKE	231

2.2. Podzemne vode i vode u karstu

35. B. Vučković, S. Mrazovac Kurilić, V. Cibulić, Lj. Nikolić Bujanović (Kosovska Mitrovica, Beograd) RADON I FLUOR U IZVORSKIM VODAMA OPŠTINE ŠTRPCE – KOSOVO I METOHIJA.....	235
---	-----

2.3. Priobalne vode Jadranskog mora

36. A. Joksimović, Z. Ikica, M. Đurović, B. Pestorić, R. Laušević, T. Mitrović, M. Peković, (Kotor-Crna Gora) ULOGA BOKA AKVARIJUMA U EDUKACIJI ŠKOLSKE DJECE O ZNAČAJU OČUVANJA MORSKOG BIODIVERZITETA	241
37. S. Gvozdrenović, M. Mandić, V. Mačić, I. Peraš, V. Pešić (Kotor, Podgorica-Crna Gora) DIVERZITET MORSKIH ŠKOLJKI U BOKOKOTORSKOM ZALIVU, CRNA GORA /JUGOISTOČNI JADRAN/	247

VIII

38. N. Bošković, D. Joksimović, O. Bajt (Kotor-Crna Gora)
ZASTUPLJENOST MIKROPLASTIKE U SEDIMENTU BOKOKOTORSKOG ZALIVA257
39. V. Vukanić, (Novi Pazar)
VREMENSKO PROSTORNA VARIACIJA MALIH COPEPODA U U PLITKOM
POLUZATVORENOM AMBIJENTU BOKOKOTORSKOG ZALIVA ZALIVA263

2.4. Laboratorijske metode i monitoring

40. Đorđević, J.Mikić, S. Knežević, D. Relić, B. Šljukić Paunović, (Beograd)
ODREDJIVANJE NITROBENZENA POMOĆU KOMPOZITNIH CuAg/rGO i CoAg/rGO
ELEKTRODA269

3. TEMATSKA GRUPA: SAKUPLJANJE I PREČIŠĆAVANJE OTPADNH VODA

3.1. Sistemi za sakupljanje otpadnih voda

41. I. Milojković, M. Popović, L. Rogljić (Beograd)
KANALISANJE OTPADNIH VODA U GOLUBINJU275
42. N. Andjelić, S. Ivanović, C. Mitrović (Beograd)
SAKUPLJANJE OTPADNIH VODA U OKVIRU TERMoeLEKTRANE – VRSTE I NAČIN
PREČIŠĆAVANJA283

3.2. Savremene metode prečišćavanja otpadnih voda i obrade mulja

43. D. Vuković (Beograd)
PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA PRIMERU NASELJA ZLATIBOR.....291
44. D. Đorđević, (Beograd)
DOBIJANJE NUTRIJENATA IZ OTPADNE VODE NA POSTROJENJU ZA
PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA297
45. G. Sekulić (Podgorica-Crna Gora)
ODREĐIVANJE LOKACIJE POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA
NA PRIMJERU POSTROJENJA U CRNOJ GORI.....305
46. S. Branković, R. Glišić, M. Topuzović, G. Đelić, Z. Simić, V. Rajčić, F. Grbović
(Kragujevac, Niš)
FITOREMEDIJACIONI POTNCIJAL VRSTE *EQUSETUM ARVENSE* L. U SMANJENJU
SADRŽAJA METALA IZ DRENAŽNIH VODA RUDNIKA311
47. M. Milosavljević (Kruševac)
KANALIZACIONI MULJ PPOV KRUŠEVAC – ENERGETSKI RESURS319
48. S. Ketin, M. Andrejić (Beograd)
SHIP WASTEWATER MANAGEMENT.....325
49. Lj. Nikolić Bujanović, S. Mrazovac Kurilić, V. Cibulić, B. Vučković (Beograd,
Kosovska Mitrovica)
EFIKASNOST FERATA(VI) U UKLANJANJU FENOLA IZ INDUSTRIJSKIH OTPADNIH
VODA335

-
50. V. Cibulić, S. Mrazovac Kuriić, N. Staletović, Lj. Nikolić (Beograd, Bujanovac)
PROCEDNE OTPADNE VODE SANITARNIH DEPONIJA – KARAKTERISTIKE I
REČIŠĆAVANJE 341
51. V. Presburger Ulniković, A. Popović, V. Cibulić, N. Waisi (Beograd, Kruševac)
ODRŽIVO UPRAVLJANJE OTPADOM IZ POSTUPKA PREČIŠĆAVANJA OTPADNIH
VODA – PRIMER HEMIJSKE INDUSTRIJE..... 347
52. J. Dimitrijević, S. Jevtić, J. Petrović. M. Koprivica, J. Kovačina, A. Marinković
(Beograd)
MODIFIKOVANI SINTETSKI ZEOLIT - MORDENIT KAO ADSORBENS Cu^{2+} i Pb^{2+}
JONA IZ VODENIH RASTVORA 353
53. Lj. Grujčić-Tešić (Ruma)
ZEOLIT – PRIMENA - PALEOEKOLOŠKI USLOVI FORMIRANJA LEŽIŠTA ZEOLITA..... 359

4. TEMATSKA GRUPA: VODOSNABDEVANJE

54. O. Doklestić, D. Grubač, D. Pestorić, M. Simović (Herceg Novi - Crna Gora)
PROJEKCIJA MOGUĆEG KRETANJA VODE NA OSNOVU FIZIČKO-HEMIJSKIH
PARAMETARA VODOIZVORIŠTA U ZALEĐU HERCEG NOVOG I DIJELA KOTORSKE
OPŠTINE, GORNJEG I DONJEG MORINJA 365
55. A. Stojanović, D. Vasović (Niš)
ANALIZA POTREBA ZA ULAGANJE U VODNU BEZBDNOST I RAZVOJ SISTEMA
JAVNOG VODOSNABDEVANJA 371
56. S. Krsmanović, J. Bašić, D. Pecarski, D. Dragaš Milovanović, Lj. Crnčević Radović, B.
Majstorović (Beograd)
ZNAČAJ KVALITETA REKREATIVNIH VODA 375

MODIFIKOVANI SINTETSKI ZEOLIT - MORDENIT KAO ADSORBENS Cu^{2+} I Pb^{2+} JONA IZ VODENIH RASTVORA

Jelena Dimitrijević*, Sanja Jevtić**, Jelena Petrović*,
Marija Koprivica*, Jovanka Kovačina***,
Aleksandar Marinković**

* *Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar
Franje d'Eperea 86, Beograd, j.dimitrijevic@itnms.bg.ac.rs*

** *Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, Beograd*

*** *Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Njegoševa 12, Beograd*

REZIME

U ovom radu proučavana je primena adsorbenasa na bazi modifikovanog sintetskog zeolita - mordenita za uklanjanje jona Cu^{2+} i Pb^{2+} iz vodenih rastvora. U cilju poboljšavanja njegovih adsorpcionih svojstava zeolit je modifikovan korišćenjem (3-aminopropil)trietoksisilana. Preliminarni rezultati pokazali su da modifikovani mordenit postiže adsorpcioni kapacitet od 21,0 i 63,2 mg/g za Cu^{2+} i Pb^{2+} , redom. Adsorpcija oba jona prati kinetiku modela pseudo-drugog reda. Ovaj model podrazumeva hemijsku interakciju između jona metala i funkcionalnih grupa na površini silanizovanog mordenita. Dobijeni rezultati ukazuju da je mordenit modifikovan silanima pogodan adsorbens za potencijalno uklanjanje jona teških metala iz otpadnih voda.

KLJUČNE REČI: zeolit, silanizacija, mordenit, adsorpcija

MODIFIED SYNTHETIC ZEOLITE – MORDENITE AS ADSORBENT FOR Cu^{2+} AND Pb^{2+} IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

ABSTRACT

In this paper, modified zeolite - mordenite was applied as potential adsorbent of Cu^{2+} and Pb^{2+} ions from aqueous solutions. The zeolite was modified using (3-aminopropyl)triethoxysilane, in order to improve its adsorption capacity. Preliminary results showed that absorption capacity of modified mordenite were 21,0 and 63,2 mg/g of zeolite for Cu^{2+} i Pb^{2+} , respectively. The adsorption of Pb^{2+} and Cu^{2+} ions follows the pseudo-second kinetic model. This model implies a chemical interaction between metal ions and functional groups on the silanized mordenite surface. The obtained results indicate that the modified zeolite is a suitable adsorbent for the potential removal of metal ions from wastewater.

KEY WORDS: zeolite, silanization, mordenite, adsorption

UVOD

Zaštita i očuvanje životne sredine, briga o podzemnim, nadzemnim i otpadnim vodama predstavlja jednu od glavnih tema modernog društva. Otpadne vode različitih industrija, rudnika, naftnih postrojenja, proizvodnje i prerade tekstila, poljoprivrednih gazdinstava zasićene su različitim polutantima koji zagađuju životnu sredinu. Otpadne vode u svom sastavu imaju različite zagađivače kao što su organska jedinjenja, boje, pesticidi, lekovi, kao i teški metali od kojih su najzastupljeniji bakar, olovo, živa, arsen i drugi (Petrović et al., 2019). Povećane koncentracije teških metala u vodi mogu izazvati štetne efekte i neželjena dejstva na životnu sredinu, biljni, životinjski svet i dovesti do trajnih posledica po zdravlje ljudi. Sve je veća pažnja naučne javnosti usmerena na pronalaženje novih rešenja za uklanjanje polutanata iz otpadnih voda pre njihovog ispuštanja u životnu sredinu. Prerada otpadnih voda jedan je od glavnih problema kojim se danas bave ekolozi, biolozi, hemičari. Imajući u vidu da se katjoni olova(II) i bakra(II) nalaze u većini industrijskih otpadnih voda oni lako dospevaju u životnu sredinu. Ovi metali mogu izazvati trovanje, trajna oštećenja na organima, uginuće biljnog i životinjskog sveta zbog čega je neophodno uticati na smanjenje njihove koncentracije u vodi i zemljištu (Ajmal et al., 1998).

Do sada su za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda korišćene različite tradicionalne tehnike poput jonske izmene, taloženja, uparavanja, oksidacije, membranske filtracije, hromatografije. Pomenute tehnike pored svojih prednosti i široke primene imaju i nedostatke kao što je ekonomska isplativost i mogućnost ponovne primene (Yao et al., 2010; Wang and Qin, 2005). U svetu se za uklanjanje teških metala sve više koriste različiti adsorbensi na bazi prirodnih minerala kao što je zeolit. Njihova primena dala je dobre rezultate zbog mogućnosti vezivanja jona teških metala, ali i činjenice da se oni lako mogu desorbovati i ponovo koristiti u postupku adsorpcije. U poslednje vreme pored prirodnih koriste se i sintetski zeoliti sa velikim porama koji su pogodni za različite modifikacije i adsorpcije.

Modifikacijom zeolita na površini se stavraju aktivni centri za koje je moguće vezati jone teških metala. Sintetski zeoliti tipa mordenita lako se sintetišu, imaju velike pore i na jednostavan način se mogu modifikovati različitim organskim komponentama, poput silana (Rajić et al. 2009; Rajić et al. 2010). U ovom radu ispitana je mogućnost silanizacije mordenita, primenom rastvora (3-aminopropil)trietoksisilana (APTES) i njegova primena kao adsorbensa za uklanjanje jona olova(II) i bakra(II) iz vodenih rastvora.

MATERIJAL I METODE

U radu je korišćen sintetski zeolit mordenit (CZM20, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molski odnos 20, Clariant). Modifikacija je urađena primenom rastvora (3-aminopropil)trietoksisilana (APTES, APTES, 99%, Acros Organics). Polazni zeolit je prvo kalcifikovan na $550\text{ }^\circ\text{C}$ tokom 1h da bi se uklonila eventualno prisutna vlaga, zatim stavljen na ultrazvučno kupatilo pa na vakum pumpu da bi se iz pora izvukao vazduh u trajanju od 20 min. Na tako pripremljenom materijalu izvršena je silanizacija uz pomoć APTES-a, pri čemu je korišćen odnos mordenita i amino silana od 1:3. Modifikacija je vršena sledećim postupkom: suspenzija od 1,00g mordenita i 50 cm^3 99% etanola (Sigma-Aldrich) zagrevana je na uljanom kupatilu na $70\text{ }^\circ\text{C}$ uz neprestano mešanje, tokom 24 h. Tokom celog vremena u suspenziju je ukapavan APTES.

Nakon izvršene modifikacije mordenit je centrifugiran, ispran sa 15 cm³ 99% etanola i sušen u sušnici tokom 12h na 50 °C. Uzorak je čuvan u eksikatoru za dalje eksperimente.

Karakterizacija mordenita pre i posle silanizacije izvršena je termogravimetrijskom TG/DSC analizom pomoću SDT Q-600 (TA Instruments) instrumenta. Interakcije APTES-a sa površinom mordenita proučavane su pomoću infraerene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR). Spektroskopija je rađena u opsegu 4000–450 cm⁻¹ na sobnoj temperaturi pomoću MB Bomem 100 Hartmann & Brown spektrometra. Svi uzorci su pripremljeni KBr metodom.

U cilju ipitivanja modifikovanog mordenita kao potencijalnog adsorbensa za jone Cu²⁺ i Pb²⁺ iz vodenih rastvora, rađeni su preliminarni adsorpcioni testovi. Preliminarni adsorpcioni testovi su vršeni na rastvorima sa polaznim koncentracijama od 65 mg Pb/dm³ i 26 mg Cu/dm³, mešanjem na magnetnoj mešalici tokom 2h na sobnoj temperaturi. Uzorci su nakon toga profiltrirani i u njima je izmerena kocentracija metala na atomskom apsorpcionom spektrofotometru.

U cilju ispitivanja kinetike vezivanja jona olova i bakra napravljeni su novi rastvori u kojima je početna kocentracija iznosila 50 mg/dm³. Odnos tečne i čvrste faze bio je 100:1. Suspenzije su mešane na orbitalnom mešaču u trajanju od 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6 i 24 h, nakon čega su profiltrirane. U filtratu je oređivan zaostali sadržaj olova i bakra. Za sve analize je korišćen atomski apsorpciono spektrofotometar Perkin Elmer, AAS Analyst 300. Na dobijene rezultate su primenjeni kinetički modeli pseudo-prvog i pseudo-drugog reda, na osnovu kojih je ispitana kinetika adsorpcije. Model pseudo prvog reda se izražava se na osnovu jednačine (Lagergren, 1898)

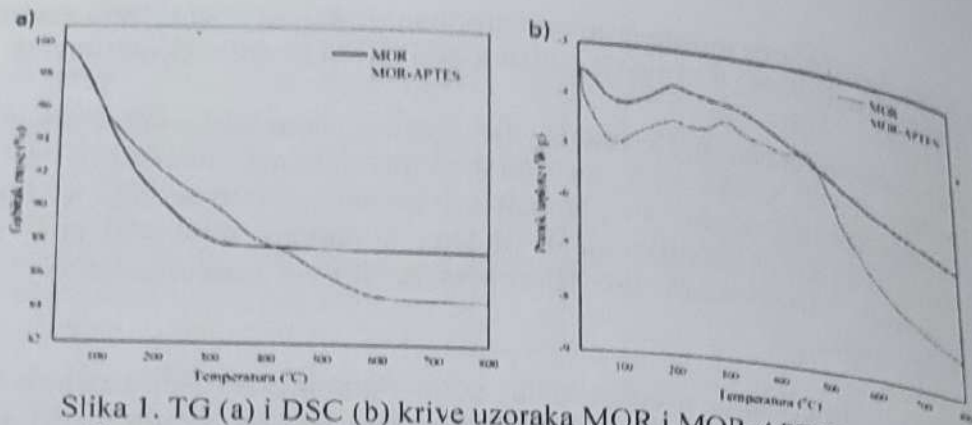
$$1/q_t = (k_1/q_{eq})(1/t) + (1/q_{eq});$$

dok se model pseudo drugog reda izražava jednačinom (Ho and McKay, 1999)

$$t/q = (1/k_2q_{eq}^2) + (1/q_{eq})$$

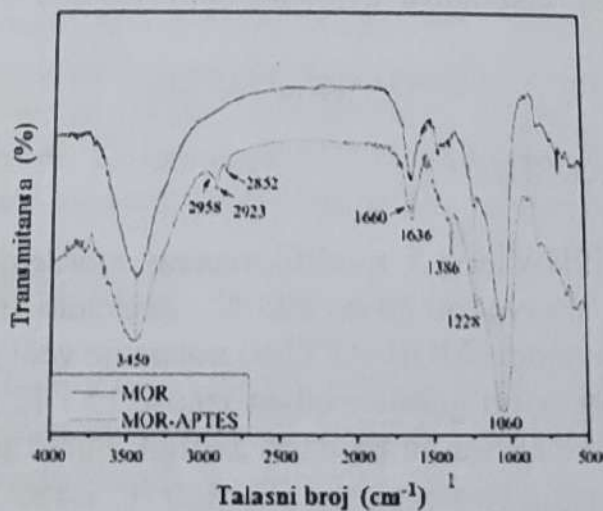
REZULTATI I DISKUSIJA

Termička svojstva nemodifikovanog i modifikovanog mordenita ispitana su TG/DSC metodom u temperaturnom interval od 20 do 800 °C. Rezultati analize prikazani su na slici 1. Mordenit modifikovan silanom (MOR-APTES) pokazuje veći gubitak mase od početnog uzorka mordenita (MOR) pri čemu gubitci redom iznose 15 i 12 mas.%. Razlika u gubitku mase ukazuje na prisustvo APTES-a na površini zeolita. Pored toga, DSC kriva (slika 1b) modifikovanog uzorka pokazuje dva pika na oko 320 °C i 480 °C koji se mogu pripisati razgradnji organske komponente. Ovi pikovi se ne uočavaju na DSC krivi polaznog mordenita.



Slika 1. TG (a) i DSC (b) krive uzoraka MOR i MOR-APTES.
Figure 1. TG (a) and DSC (b) curves of MOR and MOR-APTES samples.

FTIR analiza korišćena je da bi se utvrdilo prisustvo APTES-a u modifikovanom uzorku. Rezultati analize prikazani su na slici 2. Na FTIR spektrima uzoraka uočavaju se intenzivne trake koja se javljaju u rasponu između $3400-3500\text{ cm}^{-1}$ koja potiče od istežućih -OH vibracija površinskih funkcionalnih grupa, dok je traka sa maksimumom na 1634 cm^{-1} (savijajuće -OH vibracije) u vezi sa katjonima koji se nalaze u kanalima eolitne strukture. Karakteristična traka na $1060-1075\text{ cm}^{-1}$ odgovara asimetričnoj vibraciji istežanja unutrašnjih veza Si-O i Al-O u tetraedarskim grupama SiO_4 i AlO_4 . Traka na 796 cm^{-1} odgovara istežanja grupa O-Si-O i O-Al-O u strukturi zeolita. Osim apsorpcionih traka koje odgovaraju vibracijama veza u zeolitumuočena je i pojava novih traka u spektru MOR-APTES što ukazuje na uspešnost modifikacije. Maksimumi koji se javljaju na $2958, 2923$ i 2852 cm^{-1} potiču od istežućih vibracija C-H grupa. Simetrične i asimetrične vibracije savijanja C-H vezau javljaju se u opsegu talasnih brojeva $1300-1500\text{ cm}^{-1}$, kao i trake koje odgovaraju vibracijama NH grupa. Širok traka sa maksimumom između $3300-3600\text{ cm}^{-1}$ javlja se kao posledica NH_2 istežanja aminske grupe koja se preklapa sa vibracijom istežanja OH grupe (Bayat et. al 2018).



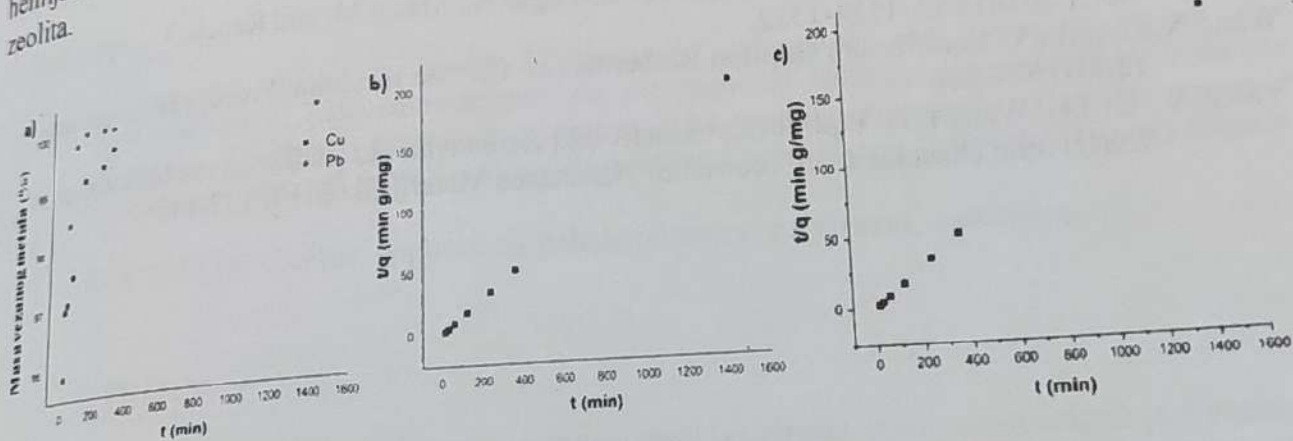
Slika 2. FTIR spektri mordenita pre i nakon modifikacije
Figure 2. FTIR spectra of mordenite before and after modification

U cilju ispitivanja mogućnosti primene modifikovanog mordenita kao adsorbensa, vršena su preliminarna ispitivanja iz rastvora u kojima su bili prisutni joni Pb^{2+} i Cu^{2+} početnih koncentracija 65 i 26 mg/dm^3 , redom. Da bi se uporedila efikasnost isti eksperimenti su izvedeni i sa nemoifikovanim mordenitom. Dobijeni rezultati pokazali su da mordenit veže

24 mg/g Pb^{2+} i 11,8 mg/g Cu^{2+} , dok je upotrebom MOR-APTES adsorbenta postignuto značajno poboljšanje efikasnosti, pa je tako adsorpcioni kapacitet Pb^{2+} iznosio 63,2 mg/g, dok je za Cu^{2+} postignut kapacitet od 21,0 mg/g.

Kako bi se ispitaio uticaj vremena, kao jednog od bitnijih parametara adsorpcije, rađeno je uklanjanje izabranih katjona metala tokom različitih vremenskih intervala (15-1440 min) ali iz rastvora u kome je koncentracija jona iznosila 50 mg/dm^3 . Za ispitivanje kinetike korišćen je samo modifikovani mordenit za koga su preliminarna ispitivanja pokazala da je efikasniji. Za analizu dobijenih rezultata primenjen je mode Lagergenov model pseudo prvog i pseudo drugog reda (Lagergren, 1898; Ho and McKay, 1999).

Rezultati kinetike prikazani su na slici 3. Sa slike 3a uočava se da je u slučaju vezivanja olova(II) ravnoteža postignuta nakon 2 sata, dok je u slučaju bakra maksimalan procenat adsorpcije ostvaren nakon 24 h. Koeficijenti korelacije za oba jona bila su jednaka jedinici za model pseudo drugog reda što se može videti sa slika 3b i 3c. Pored toga, ravnotežni adsorpcioni kapacitet određen pseudo drugim redom je u korelaciji sa eksperimentalno dobijenim podacima za oba metala. Na osnovu svega navedenog može se zaključiti da adsorpcija jona Pb^{2+} i Cu^{2+} na silanizovanom mordenitu sledi model pseudo drugog reda. Ovaj model podrazumeva hemijsku adsorpciju kao korak kontrole brzine i uključuje hemijsku interakciju između jona Pb^{2+} i Cu^{2+} i funkcionalnih grupa na površini silanizovanog zeolita.



Slika 3. Uticaj vremena adsorpcije na uklanjanje jona Pb^{2+} i Cu^{2+} iz vodenih rastvora (a), kriva kinetike pseudo-drugog reda za Pb^{2+} (b) i Cu^{2+} (c)

Figure 3. Influence of adsorption time on removal of Pb^{2+} and Cu^{2+} ions from aqueous solutions (a), pseudo-second order kinetics curve for Pb^{2+} (b) and Cu^{2+} (c)

ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitana je mogućnost modifikacije sintetskog mordenita jedinjenjem iz grupe silana (APTES) u cilju dobijanja efikasnog adsorbensa jona olova(II) i bakra(II) iz vodenih rastvora. Karakterizacija mordenita urađena je TG/DSC i FTIR analizom. Porast gubitka mase kod modifikovanog uzorka u odnosu na nemođifikovani ukazao je da se silan vezao za

mordenit. Prisustvo karakterističnih vibracionih traka koje potiču od CH_2 i NH_2 grupa u FTIR spektru uzorka MOR-APTES potvrdile su rezultate termičke analize. Dobijeni silan-modifikovani adsorbens, MOR-APTES je ispitan u odnosu na jone olova(II) i bakra(II) i upoređen sa nemodifikovanim mordenitom (MOR). Rezultati su pokazali da MOR-APTES ostvaruje maksimalnu efikasnost za vezivanje oba ispitivana jona, dok se ravnotežno stanje nešto brže uspostavlja u slučaju Pb^{2+} jona. U odnosu na efikasnost MOR uočava se značajano povećanje. Adsorpcija oba jona prati kinetiku modela pseudo-drugog reda koji podrazumeva hemijsku interakciju između jona metala i funkcionalnih grupa na površini silanizovanog mordenita.

LITERATURA:

- Ajmal M., Khan A.H, Ahmad S., Ahmad A.,C. Role of sawdust in the removal od copper(II) from industrial wastes. *Water Resource* (1998) 3085-3091
- Lagergren, S 382 ., Zur theorie der sogenanntn adsorption gel ster stoffe. *K. Sven.Vetenskapsakad. Handl.* (1898) 24, 1-39.
- Ho, Y.S., McKay, G.,. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochem.*(1999) 34, 451-465.
- Rajić N, Stojaković Dj., Jevtić S., Zabukovec-Logar N., Kovac J., and V. Kaucic, J. *Hazard. Mater.* (2009) 172, 1450-1457.
- Raić N., Stojaković Dj., Jovanović M., Zabukovec-Logar N., Mazaj M. and Kaucic V., *Appl. Surf. Sci.*,(2010) 257, 1524-1532.
- Wang X.S., Qqin Y. Equilibrium sorption isotherms for Cu^{2+} on rice bran. *Process Biochemistry* (2005) 677-680
- Yao Z.Y., Qi J.H., Wang L.H. Equilibrium,kinetic and termodynamic studies on the biosorption of Cu(II) onto chestnut shell. *Journal of Hazardous Materijals* (2010) 137-143