

**SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE**



**44. MEĐUNARODNA  
KONFERENCIJA**

**ZBORNİK RADOVA  
VODOVOD I KANALIZACIJA '23**

**Zlatibor  
10 - 13. oktobar 2023.**



**SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE**

**44. Međunarodna konferencija**  
**VODOVOD I KANALIZACIJA '23**

**Zbornik radova**

**Zlatibor, 10 – 13. oktobar 2023.**

**Izdavač:**

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

**Za izdavača:**

mr Bogdan Vlahović, dipl. inž, generalni sekretar

**Programski odbor:**

prof. dr Milovan Živković, (predsednik), prof. dr Srđan Kolaković, prof. dr Aleksandar Đukić, prof. dr Srđan Rončević, prof. dr Jovan Despotović, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Rada Petrović, Vladimir Milojević, Dušan Đurić, Miodrag Popović, dr Zorica Lopičić, dr Dragana Randelović, prof. dr Goran Orašanić, prof. dr Darko Vuksanović, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, mr Olivera Doklešić, prof. dr Dragica Chamovska, prof. dr Filip Kokalj

**Organizacioni odbor:**

mr Bogdan Vlahović (predsednik), Milan Stamatović, Dalibor Joknić, Nebojša Jakovljević, Nikica Ivić, Milomir Tucović, mr Zoran Pendić, dr Tatjana Šoštarić, dr Dušan Milojkov, dr Jelena Petrović, Zoran Nikolić, Milan Đorđević, dr Danijela Smiljanić, Aleksandar Jovanović, Mladen Bugarčić, Olivera Ćosović, MSc, Marijana Mihajlović i Olja Jovičić

**Glavni i odgovorni urednik:**

prof. dr Aleksandar Đukić, dipl. inž.

**Lektura i korektura:**

Olivera Ćosović, mast. filol.

**Tehnički urednik:**

Olja Jovičić, dipl. prav.

**Štampa:**

Akadska izdanja, Zemun

**Naslovna strana:**

Arahavi, Krf, Grčka

**Autor fotografije:**

Olja Jovičić

**ISBN:** 978-86-80067-59-9

**Godina izdavanja:** 2023.

**Tiraž:** 200 primeraka

Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno stavove izdavača i članova Programskog odbora

**Organizator:**  
**Savez inženjera i tehničara Srbije**

**Suorganizatori:**  
**ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd**  
**Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd**  
**Prirodno-matematički fakultet – Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad**  
**Tehnološko-metalurški fakultet – Katedra za neogransku hemijsku tehnologiju, Beograd**  
**Inženjerska akademija Srbije, Beograd**  
**IPIN Institut za primjenjenu geologiju i vodoinženjering, Bijeljina**  
**JKP „Vodovod“, Zlatibor**

**Uz podršku:**  
**Inženjerske komore Srbije, Beograd**

**Pod pokroviteljstvom:**  
**Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i Opštine Čajetina**

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

**628.1/.3(082)**

**МЕЂУНАРОДНА конференција Водовод и  
канализација (44 ; 2023 ;  
Златибор)**

**Zbornik radova / 44. Međunarodna konferencija Vodovod i  
kanalizacija '23,**

**Zlatibor, 10 – 13. oktobar 2023. ; [organizator] Savez inženjera i  
tehničara Srbije**

**... [et al.] ; [glavni i odgovorni urednik Aleksandar Đukić]. -**

**Beograd : Savez**

**inženjera i tehničara Srbije, 2023 (Zemun : Akademska izdanja). - 305**

**str. : ilustr.**

**; 24 cm**

**Tiraž 200. - Napomene uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. -  
Abstracts.**

**ISBN 978-86-80067-59-9**

**a) Водовод -- Зборници b) Канализација --**

**Зборници v) Отпадне воде --**

**Зборници g) Водозахвати -- Зборници**

**COBISS.SR-ID 126113545**

## SADRŽAJ

<i>PREDGOVOR</i> .....	13
------------------------	----

### **Tema 1. Organizacioni, ekonomski i institucionalni aspekti**

<i>Marija Milićević, Rastislav Trajković, Dragan Milićević</i> <b>Digitalna voda – digitalna transformacija upravljanja vodama u urbanim sredinama</b> .....	15
<i>Goran Gavrilović</i> <b>Direktiva o vodi za piće – problemi u praksi u zemljama članicama EU</b> .....	25
<i>Rastislav Trajković, Marija Milićević, Dragan Milićević</i> <b>Primena cost-benefit analize u vrednovanju manjih infrastrukturnih projekata u vodoprivredi</b> .....	30
<i>Olivera Doklešić</i> <b>Neka razmatranja o integralnom upravljanju vodovodnim sistemom i IP pokazateljima</b> .....	40
<i>Siniša Gajin</i> <b>Uloga odnosa s javnošću u sprovođenju ispitivanja zadovoljstva korisnika usluga JKP „VIK“</b> .....	50
<i>Siniša Gajin</i> <b>Uloga odnosa s javnošću u uspostavljanju i upravljanju centralizovanom obradom korisničkih zahteva u JKP „VIK“</b> .....	58

### **Tema 2. Vodovodni sistemi**

<i>Zorana Radibratović, Maja Pražić, Nenad Milenković, Nenad Radić, Biljana Cakić, Ivan Irkić</i> <b>Predlog rešenja dugoročnog snabdevanja vodom opštine Čajetina</b> .....	68
<i>Dejan Dimkić, Nenad Milenković</i> <b>Vodosnabdevanje Mačve – sadašnje stanje, najveći problemi i perspektiva</b> .....	77
<i>Nemanja Branislavljević, Vidoje Stevanović</i> <b>Određivanje načina upravljanja vodovodnom infrastrukturom u GIS okruženju</b> .....	90
<i>Goran Orašanin, Stojan Simić, Jovana Blagojević, Davor Milić</i> <b>Analiza efektivnih kriterijuma i način njihovog vrednovanja u planiranju obnove vodovodne mreže</b> .....	98

<i>Milan Dorđević</i>	
<b>Kvalitet očitavanja vodomera i efikasnost naplate .....</b>	<b>107</b>
<i>Zoran Pendić, Lara Polak, Bojana Jakovljević, Željko Marković, Marko Polak, Dragana Jovanović, Marina Strižak, Zlatinka Vukčević</i>	
<b>O kvalitetu i bezbednosti vodovodnih sistema sa posebnim osvrtnom na kvalitet cevi.....</b>	<b>113</b>
<i>Dragan Vlatković</i>	
<b>Monitoring indikatora efikasnosti pumpu u toku eksploatacionog perioda .....</b>	<b>126</b>
<b><u>Tema 3. Izvorišta vode za piće</u></b>	
<i>Dragan Marinović, Zoran Dimitrijević, Zoran Milićević, Svetlana Belošević, Dušanka Marinović, Jovana Belošević</i>	
<b>Kvalitet vode kaptiranih izvora pre i posle korone u okolini grada Kraljeva .....</b>	<b>131</b>
<i>Ivanka Kaut, Jelena Stojić, Dragan Gardinovački, Dragana Jelača Novakov</i>	
<b>Efekti revitalizacije bunara .....</b>	<b>139</b>
<i>Nikola Nikolić, Vaso Novaković, Dejan Petrović</i>	
<b>Revitalizacija bunara za odvodnjavanje rudnika nakon završene eksploatacije uglja i usklađivanje režima eksploatacije bunara za potrebe vodosnabdevanja na primeru bunara BGD-11 kod Srebrenika, BiH .....</b>	<b>144</b>
<i>Njegoš Dragović, Snežana Urošević, Milovan Vuković</i>	
<b>Studija spajanja izvora termomineralnih voda u Vranjskoj Banji .....</b>	<b>155</b>
<b><u>Tema 4. Priprema vode za piće</u></b>	
<i>Mladen Popov, Marijana Kragulj Isakovski, Tajana Simetić, Tamara Apostolović, Radivoj Tomić, Jasmina Agbaba</i>	
<b>Značaj monitoring programa u radu fabrike vode za piće.....</b>	<b>163</b>
<i>Jelena Molnar Jazić, Tajana Simetić, Marija Kuč, Marijana Kragulj Isakovski, Jelena Beljin, Srđan Rončević, Jasmina Agbaba</i>	
<b>Fotorazgradnja bisfenola A u vodi primenom UV/hlor i UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> unapređenih oksidacionih procesa .....</b>	<b>169</b>

<i>Jana Petrović, Slavica Lazarević, Željko Radovanović, Rada Petrović</i>	
<b>Fotokatalitička redukcija šestovalentnog hroma primenom grafitnog ugljenika(IV)-nitrida kao fotokatalizatora .....</b>	<b>176</b>

*Matej Čehovin, Alojz Medic*

<b>Primena ultrafiltracije za pripremu pijaće vode manjih naselooja i seoskih vodovoda .....</b>	<b>183</b>
--	------------

### **Tema 5. Kanalizacioni sistemi**

UVODNI RAD PO POZIVU

*Damjan Ivetić, Robert Ljubičić, Miloš Milašinović, Dušan Prodanović, Dragutin Pavlović*

<b>Merenje protoka otpadnih voda u kanalizacionim mrežama: kombinovanje inovativnih sa konvencionalnim mernim metodama ...</b>	<b>187</b>
--	------------

OSTALI RADOVI

*Željka Ostojić, Miloš Stanić, Strahinja Nikolić, Sanja Marčeta, Nemanja Rak*

<b>Retenziranje – važna komponenta upravljanja kišnim oticajem .....</b>	<b>200</b>
--	------------

*Ivan Milojković*

<b>Upravljanje projektovanim crpnim stanicama kanalizacije naselja Golubnje .....</b>	<b>213</b>
---	------------

### **Tema 6. Prečišćavanje otpadnih voda**

UVODNI RAD PO POZIVU

*Vladimir Adamović, Tatjana Šoštarić, Anja Antanasković, Zorica Lopičić*

<b>Prečišćavanje sanitarno-fekalnih otpadnih voda u izdvojenim inženjerskim objektima.....</b>	<b>221</b>
--	------------

OSTALI RADOVI

*Marija Marković, Milena Obradović, Danijela Smiljanić, Milica Ožegović, Aleksandra Daković*

<b>Primena organominerala za uklanjanje emergentnog zagađivača diklofenaka .....</b>	<b>229</b>
--	------------

*Mladen Bugarčić, Aleksandar Jovanović, Miroslav Sokić,*

*Branislav Marković, Katarina Pantović-Spajić, Aleksandar Marinković*

<b>Slojeviti dvostruki hidroksidi za uklanjanje boja iz otpadnih voda ...</b>	<b>236</b>
---	------------



<i>Dragana Milošević, Luka Matović, Verica Ljubić, Jovana Perendija, Slobodan Cvetković</i>	
<b>Mogućnost primene otpadne biomase (<i>Arundo donax</i>) za adsorpciju Ni<sup>2+</sup> iz vodenih rastvora.....</b>	<b>243</b>
<i>Ivana Radojević, Goran Gavrilović, Ivan Bogdanović, Sandra Grujić, Aleksandar Ostojić</i>	
<b>Bioremedicioni potencijal biofilmova <i>Enterobacter cloace</i> i <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> prema izabranim teškim metalima .....</b>	<b>249</b>
<i>Jelena Petrović, Marija Simić, Marija Ercegović, Marija Koprivica, Jelena Dimitrijević</i>	
<b>Dvostepena termohemijska modifikacija otpadne biomase kao pravac dobijanja visokoefikasnih adsorbenasa .....</b>	<b>258</b>
<i>Iva Ćurić, Davor Dolar</i>	
<b>Uklanjanje soli iz otpadnih voda s visoko-protočnim membranama .....</b>	<b>265</b>
<i>Aleksandra Porjazoska Kujundziski, Dragica Chamovska</i>	
<b>Electrochemical oxidation methods for the removal of methyloxanthine-based stimulants from wastewater .....</b>	<b>271</b>
<i>Goran Sekulić, Milena Ostojić</i>	
<b>Modularna postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda naselja .....</b>	<b>279</b>
<i>Milena Ostojić, Goran Sekulić</i>	
<b>Primjena off-grid sistema za otpadne vode u crnogorskim kantunima: izazovi i perspektive.....</b>	<b>286</b>
<i>Ivana Dunić</i>	
<b>Modularni kompaktni, kontejnerski sistem za tretman otpadnih voda .....</b>	<b>294</b>
<i>Darko Vuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović, Senad Arabelović, Jasmin Ćeman</i>	
<b>Prikupljanje i tretman ocjednih voda na sanitarnoj deponiji „Možura“ u Baru.....</b>	<b>299</b>

## **PREDGOVOR**

Nastavljajući dugogodišnju tradiciju, Savez inženjera i tehničara Srbije (SITS) organizuje četrdeset i četvrtu po redu godišnju konferenciju o aktuelnim temama iz oblasti snabdevanja vodom za piće i kanalizacija i prečišćavanja otpadnih voda, pod nazivom "Vodovod i kanalizacija '23".

Suorganizatori Konferencije ove godine su Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Prirodno matematički fakultet iz Novog Sada - Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Tehnološko metalurški fakultet iz Beograda - Katedra za neorgansku hemijsku tehnologiju, Inženjerska akademija Srbije, IPIN Institut za primenjenu geologiju i vodoinženjering iz Bijeljine i JKP „Vodovod“ Zlatibor.

Konferencija se održava pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i Opštine Čajetina, uz podršku Inženjerske komore Srbije.

Cilj Konferencije je razmatranje aktuelnih istraživačkih, razvojnih, tehničko - tehnoloških, ekonomskih, zakonskih i drugih pitanja iz oblasti snabdevanja vodom i kanalizacije, a sve to sa ciljem boljeg informisanja i ubrzanijeg transfera znanja i iskustava u primeni savremenih dostignuća i rešenja, a sve u cilju poboljšanja u sveri usluga vodosnabdevanja i kanalizacija i unapređenja poslovanja komunalnih preduzeća vodovoda i kanalizacije. Pored stručnih i praktičnih aspekata navedene problematike, važnu komponentu ove konferencije čini i prezentacija rezultata naučno-istraživačkog rada u oblasti novih tehnologija i primene novih rešenja u snabvevanju vodom za piće, kanalizaciju i prečišćavanju otpadnih voda, kao preduslova za kontinuirani i održivi razvoj ovih delatnosti.

Zbornik radova konferencije „Vodovod i kanalizacija `23“ sadrži ukupno 36 radova koje je Programski odbor prihvatio za izlaganje na Konferenciji i štampanje u Zborniku radova. Najveći broj autora radova je iz Srbije a zastupljeni su i radovi autora iz regiona. Radovi su grupisani po sledećim tematskim grupama:

1. ORGANIZACIONI, EKONOMSKI I INSTITUCIONALNI ASPEKTI
2. VODOVODNI SISTEMI
3. IZVORIŠTA VODE ZA PIĆE
4. PRIPREMA VODE ZA PIĆE
5. KANALIZACIONI SISTEMI
6. PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

U temama 5 i 6 postoje uvodni radovi po pozivu, kako je naznačeno u ovom Zborniku. Kod preostalih radova, po ustaljenom običaju, autori su se sami opredeljivali za teme o kojoj će pisati, tako da radovi u ovom Zborniku na neki način odlikavaju trenutno stanje i fokus rada i istraživanja u oblastima snabdevanja vodom za piće, kanalizacija i prečišćavanja otpadnih voda u Srbiji i regionu. Od aktuelnih tema koje su našle svoje

mesto u radovima ovog Zbornika posebno ističemo problematiku digitalizacije u sektoru voda, nova rešenja iz regulative EU u domenu vode za piće, ekonomske i tehničke aspekte planiranja i eksploatacije vodovoda i kanalizacije, ulogu javnosti, planiranje razvoja sistema vodovoda i kanalizacije, nove tehnologije u pripremi vode za piće i prečišćavanju otpadnih voda, merenja u vodovodnim i kanalizacionim sistemima i pristup rešavanju prečišćavanja otpadnih voda. Struktura stručnih profila autora je, kao i uvek, raznolika, što odgovara posebnoj težnji SITS da se problemi snabdevanja naselja vodom i kanalisanja i prečišćavanja otpadnih voda posmatraju multidisciplinarno, čime se doprinosi poboljšanju sagledavanja i rešavanja problema.

SITS zahvaljuje ovim putem preduzećima i institucijama koje su pomogle održavanje ove Konferencije, članovima Programskog i Organizacionog odbora kao i autorima radova na uloženom trudu i njihovom stvaralačkom radu u pripremi radova.

Nadamo se i želimo da ovogodišnja konferencija bude plodonosna i da se svi učesnici vrate u svoju sredinu obogaćeni novim saznanjima i kolegijalnim poznanstvima.

UREDNIK

Beograd, septembar 2023.

Dr Aleksandar Đukić

## СЛОЈЕВИТИ ДВОСТРУКИ ХИДРОКСИДИ ЗА УКЛАЊАЊЕ БОЈА ИЗ ОТПАДНИХ ВОДА

### LAYERED DOUBLE HYDROXIDES FOR REMOVING DYES FROM WASTEWATER

МЛАДЕН БУГАРЧИЋ<sup>1</sup>, АЛЕКСАНДАР ЈОВАНОВИЋ<sup>2</sup>,  
МИРОСЛАВ СОКИЋ<sup>3</sup>, БРАНИСЛАВ МАРКОВИЋ<sup>4</sup>,  
КАТАРИНА ПАНТОВИЋ-СПАЈИЋ<sup>5</sup>, АЛЕКСАНДАР МАРИНКОВИЋ<sup>6</sup>

**Резиме:** Отпадне воде представљају велики еколошки притисак на читав екосистем. Загађујуће материје у отпадној води, као што су боје, могу изазвати токсичне последице по живи свет. Из тог разлога је потребно развити нове, ефикасне материјале који у процесу адсорпције могу да уклоне присутне полутанте и реше проблем загађења. Слојевити двоструки хидроксиди добијени процесом таложења при ниском презасићењу примењени су у процесу уклањања боје метанил-жуто из водених раствора. Приликом експеримената, варирани су параметри као што су маса адсорбента, време контакта, температура. Добијени резултати показују висок адсорпциони капацитет  $74 \text{ mg g}^{-1}$  и ендотермну природу процеса адсорпције.

**Кључне речи:** ДСХ, метанил-жуто, адсорпција, отпадне воде, заштита животне средине

**Abstract:** Wastewater represents a major environmental pressure on the entire ecosystem. Pollutants in wastewater, such as dyes, can cause toxic effects on living beings. Therefore, it is necessary to develop new, efficient sorption materials that can remove the present pollutants and solve the pollution problem. The layered double hydroxides obtained by the co-precipitation process at low supersaturation were applied in the process of removing met-

<sup>1</sup> Младен Бугарчић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франш д'Епера 86, Београд

<sup>2</sup> Александар Јовановић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франш д'Епера, Београд

<sup>3</sup> Мирослав Сокић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франш д'Епера 86, Београд

<sup>4</sup> Бранислав Марковић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франш д'Епера 86, Београд

<sup>5</sup> Катарина Пантовић-Спајић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франш д'Епера 86, Београд

<sup>6</sup> Александар Маринковић, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Карнегијева 4, Београд

hanil-yellow color from aqueous solutions. During the experiments, parameters such as adsorbent mass, contact time, and temperature were varied. The obtained results show a high adsorption capacity of  $74 \text{ mg g}^{-1}$  and an endothermic nature during adsorption process.

**Key Words:** LDH, metanil yellow, adsorption, wastewaters, environmental protection

## 1. Уводна разматрања

Загађење акватичних екосистема активностима индустрије може имати за последице небројене проблеме. Изазови као што су таложeње загађујућих материја у речни седимент, трансформација органских молекула и њихово укључивање у метаболизам водених организама уз даљу акумулацију, или изазивање процеса еутрофикације, захтевају благовремено деловање са циљем спречавања даљег акутног или хроничног загађења [1]. Потребно је на оптималан и одржив начин приступити решавању ових проблема.

Боје и пигменти имају дугу историју употребе кроз различите епохе. Широки спектар примене довео је до брзог развоја различитих типова и класа ових једињења. Претпоставља се да су прве боје настале пре 30.000 година, и биле су на бази земље, активног угља, креде и животињске масти [2]. У модерном добу, комерцијално синтетисане боје имају примат у различитим индустријским областима, као што су текстилна индустрија, прехранбена индустрија, аутомобилска и грађевинска индустрија.

Индустрија прехранбених производа представља један од највећих генератора новонастале добити. Поред тога, интензивним растом броја популације у неразвијеном делу света, довело је до тога да се потрошња воде и енергената повећа, а самим тим и количина отпадних вода које треба третирати. У тим отпадним вода могу се наћи различите боје коришћене у процесу бојења и естетског украшавања прехранбених производа. Оне могу имати како токсичан, тако и канцероген утицај по здравља човека и живих организама. Посебну групу боја представљају азо боје, које се по структури разликују од осталих захваљујући присуству  $\text{N}=\text{N}$  везе унутар саме структуре боје.

Једна од таквих боја је и метанил-жута (енг. metanil yellow) позната и под називом Acid yellow 36. Иако забрањена за употребу, она се у неким земљама још увек користи као додаток у куркуми, дајући јој препознатљиву боју [3]. Ова боја је показала и токсична својства, и то је главни разлог забране њене употребе. Поред тога, она се користи у хемијским лабораторијама као индикатор приликом титрацијских реакција. Такође, присуство ове боје је доказано у слаткишима [4].

Представљеном проблему је потребно приступити на одговарајући начин. Примена процеса адсорпције у процесу уклањања боје метанил-жута је обећавајућа техника за решавање проблема. Стога је циљ овог истраживања била испитивање могућности примене слојевитих двоструких хидроксида за уклањање метанил-жуте. Приликом тестова, варирани су процесни параметри.

## 2. Експериментални део

### 2.1. Материјали и методе

За синтезу двоструког слојевитог хидроксида коришћен је раствор добијен активацијом узорка вермикулита (Вер) коришћеног у истраживању студији [5] са 1.0 М азотном киселином (Зорка Шабац, 63 мас.%) у трајању од 3 h на температури од 72°C при односу чврсто:течно= .1 g/ml. Састав раствора након активације азотном киселином дат је у табели 1, рН вредност раствора након активације измерен је рН метром (Hanna HI 2210) износио је 0,10. Добијени раствор је упарен а заостале соли су уз  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \times 9\text{H}_2\text{O}$  (Мерк, 97% чистоћа) коришћене за припрему узорка Вер-ДСХ.

Табела 1. Квантитативна анализа раствора добијеног након активације узорка вермикулита 1,0 М азотном киселином

K/g l <sup>-1</sup>	Na/mg l <sup>-1</sup>	Mg/g l <sup>-1</sup>	Ca/g l <sup>-1</sup>	Fe/g l <sup>-1</sup>	Al/g l <sup>-1</sup>
2.51	30.2	10.39	0.22	3.60	1.70

У 10 ml дејонизоване воде (18 MΩ cm) додато је 16 g соли добијених упаравањем раствора киселине уз 2,97 g  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \times 9\text{H}_2\text{O}$  соли су растворене након чега је вршено таложење при ниском презасићењу коришћењем 1,0 М NaOH уз мешање. Раствор натријум хидроксида је додаван постепено уз мешање а рН вредност раствора на крају таложења износио је 9,80 и није се мењао у току од 2 сата од последњег уношења раствора алкалије.

Раствор је профилиран а чврсти узорак Вер-ДСХ испран дејонизованом водом све до негативне реакције на нитрате. Након испирања узорак је сушен (50°C, 4 h) и жарен (500°C, 3 h) након чега је уситњен у авану и као такав коришћен за даља истраживања, чуван у пластичним посудама за чврсте узорке

Адсорпција боје метанил-жуто (МЖ) вршена је у шаржном систему и то одвојено студија кинетике адсорпције и одвојено студије равнотежне адсорпције које су коришћене за утврђивање термодинамике процеса. Почетна концентрација боје у обе студије износила је 15 mg l<sup>-1</sup>. Кинетика процеса адсорпције праћена је мерењем адсорванце раствора у току процеса адсорпције МЖ у чаши на температури од 298 К. Запремина адсорбата износила је 75 ml а маса адсорбента Вер-ДСХ 10 mg. Равнотежна адсорпција вршена је на температурама 298, 308 и 318 К варирајући масу адсорбента од 1 до 10 mg при константној запремини адсорбата од 7,5 ml. Концентрација боје мерена је уз помоћ УВ-Вис спектрофотометра (Shimadzu 1800) мерењем апсорбанце на 433 nm након чега је концентрација боје прерачуната коришћењем Ламбер-Беровог закона (једначина 1). Адсорпциони капацитет израчунат је коришћењем једначине 2.

$$C = \frac{A}{\varepsilon \cdot l} \quad (1)$$

$$q = \frac{(C_p - C) \cdot V}{m_{адс}} \quad (2)$$

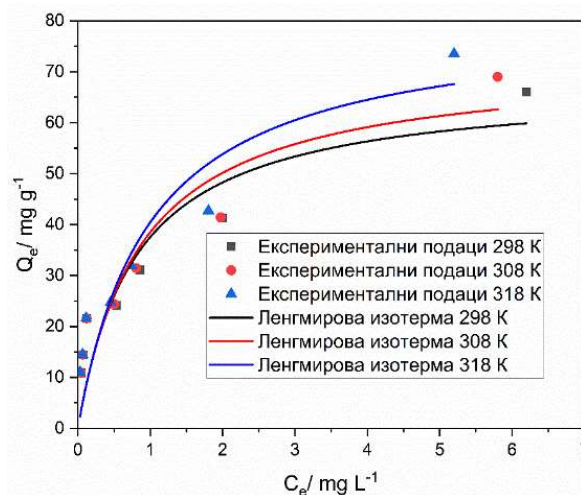
### 3. Резултати и дискусија

Резултати експеримената кинетике адсорпције указују на усагалашеност резултата са реакционим моделом псеудо-другог реда (ПДР), док међу дифузионим моделима најбоље слагање је дао Вебер-Морисов модел (В-М). Овакво понашање је веома често у случајевима адсорпције боја на бројним адсорбентима минералног али и биополимерног порекла [1], [6]. У табели 2 дате су вредности параметара добијених корелациом модела ПДР и В-М.

Табела 2. Вредности корелационих параметара експеримента кинетике адсорпције МЖ на узорку ВЕР-ДСХ ( $T=298\text{ K}$ ;  $C_0=15\text{ mg l}^{-1}$ ;  $m:V=8:60\text{ g l}^{-1}$ )

Модел	ПДР		В-М	
Параметри	$k_2/\text{g (mg min)}^{-1}$	$Q_e/\text{mg g}^{-1}$	$k_{id1}/\text{mg/(min}^{1/2}\text{g)}$	$k_{id2}/\text{mg/(min}^{1/2}\text{g)}$
Вредности	0,000748	77,3	6,58	3,11

У приложеној табели може се видети да очекивани равнотежни капацитет,  $Q_e$  износи  $77,3\text{ mg/g}$  што је веома добар резултат адсорпције поредив са резултатима других студија изведених на сличним узорцима. Осим тога брзина процеса адсорпције је такође задовољавајућа тако да при експерименталним условима који се подударају са условима у овој студија могуће је уклањање половине количине боје за око  $35\text{ min}$ . У приложеној табели може се видети да дифузија боје МЖ се врши у две фазе, прва фаза је бржа и представља дифузију боје до честице адсорбента и друга фаза представља унутарчестичну дифузију боје кроз поре адсорбента.



Слика 1. Резултати експеримената равнотежне адсорпције МЖ на узорку ВЕР-ДСХ корелисани Ленгмировом адсорпционом изотермом

Резултати експеримената равнотежне адсорпције извршени на три температуре (298, 308 и 318 К) употребљени су за одређивање адсорпционих изотерми. На слици 1 дат је приказ Ленгмирових адсорпционих изотерми МЖ на узорку Вер-ДСХ.

На слици 1 се може видети да изотерме достижу све веће вредности адсорпционих капацитета са порастом температуре, што указује на ендотермну природу процеса адсорпције. Ова тврдња поткрепљена је корелисањем без-димензионог Ленгмировог параметра добијеног једначином 3 у Вант-Хофове једначине (једначине 4 и 5)

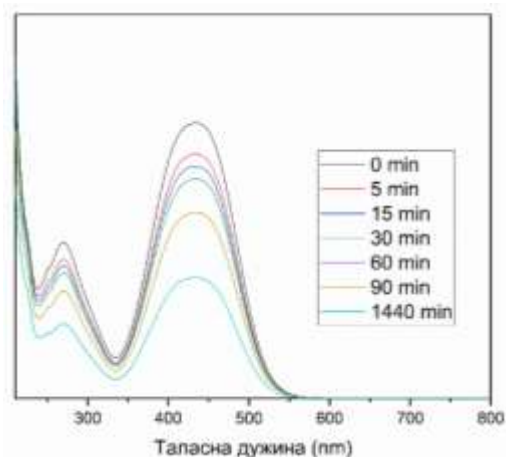
$$K_L^* = K_L M(\text{МЖ}) C(\text{H}_2\text{O}) \quad (3)$$

$$\ln(K_L^*) = (\Delta S^\theta) / R - (\Delta H^\theta) / RT \quad (4)$$

$$\Delta G^\theta = -RT \ln(K_L^*) \quad (5)$$

где су:  $M(\text{МЖ})$  – моларна маса метанил-жуте ( $376,4 \text{ g mol}^{-1}$ ),  $C(\text{H}_2\text{O})$  – концентрација воде у воденом раствору ( $55,56 \text{ mol l}^{-1}$ ),  $R$  – универзална гасна константа ( $8,314 \text{ J (mol K)}^{-1}$ ),  $T$  – апсолутна температура (К).

На слици 2 приказано је смањење концентрације МЖ током времена.



Слика 2. Праћење смањења концентрације МЖ на УВ-Вис спектрофотометру током времена

Корелацијом података добијене су вредности промене Гибсове енергије, као и промена стандардне енталпије и ентропије процеса адсорпције. Термодинамички параметри дати су у табели 3.

Табела 3. Промена Гибсове енергије и промене стандардне енталпије и ентропије за процес адсорпције МЖ на узорку Вер-ДСХ

$\Delta G^\theta / \text{kJ mol}^{-1}$	$\Delta H^\theta / \text{kJ mol}^{-1}$	$\Delta S^\theta / \text{J (mol K)}^{-1}$
-42,76	1,40	148,1



У табели 3 види се да је процес адсорпције спонтан и умерено ендотерман те да главни допринос спонтаности процеса долази због повећања ентропије у току процеса адсорпције. Овакво понашање је и очекивано јер боја МЖ припада ањонским бојама, док сам адсорбент Вер-ДСХ припада материјалима који поседују измењиве ањоне у структури међуслојева. Самим тим процес адсорпције углавном се одвија процесом ањонске измене тако што се хироксилни јони из структуре ДСХ замењују волуминозним ањоном МЖ.



## 5. Закључак

Загађење вода и природних екосистема представља један од највећих изазова данашњице. Потребно је развити и применити ефикасне системе и процесе пречишћавања отпадних вода, загађених бојама, чиме ће се смањити еколошки отисак људских активности на животну средину. Процес адсорпције представља оптимално и одрживо решење. Истрошена азотна киселина употребљена за хемијску активацију узорка вермикулита употребљена је за синтезу ДСХ методом таложења при ниском презасићењу употребом раствора натријум – хидроксида. Добијени узорак је употребљен за адсорпцију МЖ и показао је задовољајуће адсорпционе перформансе уклонивши чак до 73,5 mg g<sup>-1</sup>. Резултати указују да се процес адсорпције одвија у две фазе, где је лимитирајући процес унутарчестичне дифузије. Експерименти равнотежне адсорпције указали су да је процес адсорпције ендотерман уз знатно повећање ентропије што се објашњава јонском изменом хидроксилних ањона ањоном МЖ.

## 6. Захвалница

Рад је реализован уз финансијску подршку Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (уговори бр. 451-03-47/2023-01/200023 и 451-03-47/2023-01/200135).

## 7. Литература

- [1] A. Jovanović et al, Advanced technology for photocatalytic degradation of thiophanate-methyl: Degradation pathways, DFT calculations and embryotoxic potential, *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 178, pp. 423–443, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.psep.2023.08.054.
- [2] A. Abel, *The history of dyes and pigments: From natural dyes to high performance pigments*, in *Colour Design: Theories and Applications*, Elsevier Inc, pp. 433–470. doi: 10.1533/9780857095534.3.433, 2012.
- [3] D. Ghosh, P. S. Singha, S. B. Firdaus, and S. Ghosh, Metanil yellow: The toxic food colorant, *Asian Pacific Journal of Health Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 65–66, Oct. 2017, doi: 10.21276/apjhs.2017.4.4.16, 2017.
- [4] K. Kourani, N. Kapoor, A. Badiye, and R. K. Shukla, Detection of synthetic food color 'Metanil Yellow' in sweets: a systematic approach, *Journal of Planar*

*Chromatography - Modern TLC*, vol. 33, no. 4, pp. 413–418, doi: 10.1007/s00764-020-00046-9, 2020.

- [5] R. Tomanec, S. Popov, D. Vučinič, and P. Lazič, *Vermiculite from Kopaonik (Yugoslavia) characterization and processing*, 1997.
- [6] N. Knežević et al, A closed cycle of sustainable development: effective removal and desorption of lead and dyes using an oxidized cellulose membrane, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, doi: 10.1016/j.jiec.2023.06.041, 2020.