

REŠAVANJE PROBLEMA UKLANJANJA SUSPENDOVANIH MATERIJIA IZ OTPADNE VODE FABRIKE RECIKLAŽE GUME**THE SOLUTION TO THE PROBLEM OF REMOVING SUSPENDED SOLIDS FROM THE WASTEWATER OF THE RUBBER RECYCLING FACTORY**

Branislava Ćulibrk, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

Kratak sadržaj – U radu se istražuje problem uklanjanja suspendovanih materija iz otpadne vode fabrike za reciklažu gume. Teorijski deo se temelji na analizi postojeće literature, dok se istraživački deo fokusira na analizi uzorka otpadne vode iz fabrike. U uvodu su prikazane osnovne karakteristike otpadne vode, koje se definišu njenim fizičkim i hemijskim karakteristikama, kao i prisustvo suspendovanih materija i njihov uticaj na kvalitet otpadne vode. Rad detaljno opisuje materijale i metode korišćene za uklanjanje ovih materija. Na kraju su predstavljeni i analizirani rezultati laboratorijskih ispitivanja, čime se potvrđuju efikasnost i primenljivost predloženih rešenja.

Cljučne reči: Otpadna voda, suspendovane materije, koagulacija, JAR test.

Abstract – The paper presents a viable solution of the problem of removal of suspended solids from wastewater generated by a rubber recycling factory. The theoretical part of the research is based on existing literature, whereas the experimental part is based on the analysis of a wastewater sample taken from the factory. Firstly, the basic characteristics of wastewater, which are defined by its physical and chemical characteristics, the presence of suspended solids and their influence on quality of the collected wastewater are described. The paper shows a detailed overview of the materials and methods used to remove these pollutants. The final results of the laboratory experiments were adequately analyzed and presented, confirming the effectiveness and applicability of the proposed solutions.

Keywords: Wastewater, suspended solids, coagulation, JAR test.

1. UVOD

Guma je elastični polimer čija je primena zastupljena najviše u domaćinstvu i industrijskom sektoru. Shodno tome, prethodnih godina, širom sveta otvorile su se fabrike za reciklažu gume. Metode recikliranja guma se primenjuju u velikom broju zemalja [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ivana Mihajlović, vanr. prof.

Otpadne auto gume su specifična vrsta otpada koju stvaraju sve vrste vozila koje učestvuju ne samo u drumskom i transportnom saobraćaju, već i u poljoprivrednim delatnostima. Sa sve većim brojem vozila, odlaganje guma postalo je svetski problem. Istrošene gume se često odlažu na neadekvatnim odlagalištima ili divljim deponijama u životnoj sredini. Rešavanje problema otpadnih guma, odnosno pneumatika, predstavlja u isto vreme ekološko rasterećenje, kao i energetske i ekonomske potencijale. Industrija reciklaže guma igra ključnu ulogu u smanjenju zagađenja i održivom upravljanju otpadom, međutim, ona generiše značajne količine otpadne vode tokom obrade starih pneumatika. Nastala otpadna voda se karakteriše visokim koncentracijama suspendovanih materija koje mogu sadržati teške metale, ugljovodonike i druge štetne supstance [2]. Prisustvo nastalih polutanata može izazvati zagađenje vodnih resursa, uticati na biodiverzitet i ugroziti zdravlje lokalnih zajednica. S druge strane, efikasno uklanjanje suspendovanih materija iz otpadne vode predstavlja izazov kako za specijalizovana postrojenja koja vrše reciklažu guma, tako i za lica zadužena za bezbednost i zdravlje na radu i zaštitu životne sredine. Shodno tome, od izuzetne je važnosti da se sprovedu efikasne mere upravljanja i prečišćavanja otpadnih voda kako bi se smanjila koncentracija suspendovanih materija i njihov negativni uticaj na životnu sredinu. Za potrebe istraživačkog dela rada uzet je uzorak otpadne vode iz fabrike za reciklažu gume i izvršeno je uklanjanje suspendovanih materija primenom koagulant aluminijum-sulfata. U radu su opisane korišćene metode i materijali. Rezultati laboratorijskih ispitivanja i zaključci proistekli iz istih su prikazani u nastavku.

2. KARAKTERISTIKE OTPADNIH VODA FABRIKE RECIKLAŽE GUME

Otpadne vode mogu se, najopštije, definisati kao iskorišćene vode. Otpadne vode iz fabrike reciklaže gume predstavljaju značajan ekološki izazov, jer sadrže različite zagađujuće supstance koje mogu imati negativan uticaj na životnu sredinu. Značajne količine otpadnih voda koje nastaju iz ove industrije su toksične, i odlikuju se intenzivnom bojom, niskom pH vrednošću, visokom koncentracijom suspendovanih materija, niskom hemijskom potrošnjom kiseonika i niskom biološkom potrošnjom kiseonika. Usled ovih karakteristika raste i na značaju prečišćavanje otpadnih voda koja potiče iz industrije prerade gume. Otpadna voda ove industrije sadrži zagađujuće supstance sa visokim sadržajem azota,

uključujući i druge organske materije, šećere, proteine, lipide, azote i dodatna jedinjenja, posebno sulfate i teške metale [3].

Karakteristike i parametri koji opisuju kvalitet vode mogu se klasifikovati na: fizičke, hemijske i biološke [4]. Glavne fizičke karakteristike otpadnih voda su sadržaj čvrstih materija, boja, miris i temperatura. Ukupne čvrste materije u otpadnoj vodi sastoje se od nerastvorljive ili suspendovane čvrste materije i rastvorljivih jedinjenja rastvorenih u vodi. Između 40% i 65% čvrstih materija u prosečnoj otpadnoj vodi je suspendovano. Hemijske karakteristike otpadne vode odnose se na sastav i koncentraciju različitih hemijskih supstanci prisutnih u vodi nakon njenog korišćenja. Hemijske karakteristike obuhvataju sadržaj neorganskih, organskih materija i isparljivih organskih jedinjenja (VOC – eng. *Volatile Organic Compounds*), pH vrednost, alkalnost [4].

3. METODE UKLANJANJA SUSPENDOVANIH MATERIJAL IZ OTPADNE VODE

Voda je nezamenljiv resurs i neophodna sirovina u različitim industrijskim procesima, gde je primenu našla kao tehnička voda za pranje različitih komponenata procesa, slično tome se u prehrambenoj industriji koristi i kao sirovina, potom kao izvor energije u energetici, za komunalne potrebe i dr. U slučajevima gde otpadna voda može da dospe do izvora pijaće vode se zakonom definišu zahtevi za kvalitet i kvantitet ispuštenih otpadnih voda u vodotok. Shodno tome su od velikog značaja svi procesi obrade otpadne vode kojom se uklanjaju čvrste suspendovane, organske i neorganske hemijske supstance i mikroorganizmi. U praksi su najčešće korišćene metode za uklanjanje suspendovanih materija: koagulacija, flokulacija, flotacija, biološka oksidacija, filtracija i elektrohemijske metode.

3.1. Koagulacija

Koagulacija/flokulacija je poznata kao jedan od najefikasnijih procesa koji može ukloniti većinu suspendovanih koloidnih materija iz otpadne vode formiranjem flokula [9]. Proces koagulacije ima suštinsku funkciju u tretmanu otpadnih voda za rekultivaciju ili uklanjanje zagađujućih materija. Proces koagulacije/flokulacije je glavni fizičko-hemijski metod koji se koristi u prečišćavanju industrijskih otpadnih voda za smanjenje koloidne zamućenosti i suspendovanih čvrstih materija. Prema prethodnim studijama, 40% organskih materija i azota bi se moglo ukloniti iz otpadnih voda metodom koagulacije. Koagulacija je proces u kome suspendovane čestice formiraju sedimente sudaranjem sa ostalim česticama, što rezultuje daljim formiranjem aglomerata i na kraju dovodi do formiranja nerastvorljivog aglomeratnog kompleksa. U nekoliko vrsta istraživanja, doza koagulant, vreme taloženja i pH su glavni faktori koji određuju uklanjanje zagađujućih materija iz otpadne vode. Ovi faktori će dovesti do optimalnih uslova u JAR testu [5]. Ova tehnika je ekonomična i jednostavna. Ipak, prepreke su niska efikasnost, proizvodnja mulja i potreba za dodatnim stepenom naknadnog tretmana, tj. sedimentacija [6].

4. PRIMENA KOAGULANATA U UKLANJANJU SUSPENDOVANIH MATERIJAL IZ VODE

Postoji nekoliko tipova koagulanata koji se koriste u tretmanu otpadnih voda i oni mogu biti organski, neorganski, sintetički materijali ili prirodni koagulanti. Međutim, svaki tip koagulant ima svoja jedinstvena svojstva sa pozitivnim jonima, čiji je zadatak da zarobe negativno naelektrisane organske materije u vodu koja uzrokuje zamućenje [7]. Generalno, koagulanti su polimeri ili polielektroliti sa velikom molekulskom masom koja čine flokule jačim, većim i lakšim za taloženje [5]. Najširu primenu kao sredstva za koagulaciju imaju soli aluminijuma i gvožđa: aluminijum-sulfat, gvožđe (II)-sulfat i gvožđe (III)-hlorid.

4.1. Koagulant aluminijum-sulfat

Aluminijum-sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) je koagulant za hemijski tretman pijaćih i otpadnih voda u fazi koagulacije i nalazi se u obliku kristala, bele do sivkaste boje. Primenu je našao i u proizvodnji boja, u industriji tekstila, industriji papira, kao i u poljoprivredi. Kada se aluminijum sulfat doda u vodu, on hidrolizuje, formirajući pahulje koje vežu nečistoću, omogućavajući njihovu lakšu sedimentaciju ili filtraciju [6]. U radu je za uklanjanje suspendovanih materija iz otpadne vode fabrike za reciklažu guma korišćen upravo ovaj koagulant.

5. MATERIJAL I METODE

Istraživački deo rada zasnivao se na variranju različitih parametara koji mogu da utiču na efikasnost koagulacije tokom primene aluminijum-sulfata. Takođe, analizirani su i osnovni fizičko-hemijski parametri otpadne vode, pre i nakon prečišćivača.

Uzorak otpadne vode iz fabrike reciklaže gume uzet je u aprilu 2024. godine. U uzorcima otpadne vode analizirani su sledeći fizičko-hemijski parametri: temperatura, pH vrednost, elektroprovodljivost, rastvoreni kiseonik, salinitet, saturacija, ukupni suvi ostatak, suspendovane materije, HPK i BPK₅.

Materijali i instrumenti koji su korišćeni u okviru ovog eksperimenta su:

1. koagulant aluminijum-sulfat;
2. WTW multiparametarski uređaj Multi 3320;
3. Addista LCK114 test kivete;
4. HACH DR5000 UV-VIS spektrofotometar;
6. uređaj za vakum filtraciju;
7. analitička vaga;
8. JAR test.

JAR test je laboratorijski instrument koji se koristi prilikom koagulacije u cilju uklanjanja suspendovanih materija iz otpadne vode. Rezultati JAR test-a pokazuju efikasnost tretmana u smislu uklanjanja suspendovanih materija i smanjenja organskih/neorganskih parametara [8]. JAR test je jednostavan i brz način simulacije procesa koagulacije i određivanja optimalnih uslova za izvođenje procesa. Uređaj je prikazan na Slici 1. Na proces koagulacije utiču sledeći parametri: doza koagulant, temperatura, pH vrednost, početna koncentracija polutanata [9]. Variranjem ovih parametara optimizuje se proces koagulacije.



Slika 1 – JAR test aparatura

6. REZULTATI I DISKUSIJA

Kroz istraživački deo rada određeni su osnovni fizičko-hemijski parametri otpadne vode primenom WTW multiparametarskog uređaja Multi 3320, kao i određivanje ukupnog suvog ostatka i suspendovanih materija primenom metoda EPA 160.3 i EPA 160.2. Prilikom analize otpadne vode je ustanovljeno da suspendovane materije, HPK i BPK₅ predstavljaju najveće izazove za prečišćavanje našeg uzorka otpadne vode. Na osnovu prirode samih parametara, HPK i BPK₅, ustanovljeno je da uklanjanjem suspendovanih materija bi se njihove vrednosti optimizovale. Za uklanjanje suspendovanih materija je primenjen JAR test pri čemu su rađene tri varijacije parametara, gde je odgovarajuća masa koagulant aluminijum-sulfata dodata u uzorak. Nakon procesa koagulacije, se uzorak taložio 30 minuta i ponovo je određen ukupni suvi ostatak.

6.1. Uticaj zapremine uzorka na uklanjanje suspendovanih materija

Prvi slučaj podrazumevao je primenu konstantne koncentracije koagulant aluminijum-sulfata od 0,5 g/l. Za svaki program koristila se različita zapremina: u prvom programu zapremina uzorka otpadne vode je bila 300 ml, u drugom 350 ml, a u trećem 400 ml, kako bi se definisala zapremina uzorka za ispitivanje procesa uklanjanja suspendovanih materija. Primenom JAR test-a u ovom slučaju najbolje se pokazao prvi program, odnosno zapremina uzorka od 300 ml.

6.2. Uticaj brzine mešanja pri uklanjanju suspendovanih materija

Kako se zapremina uzorka od 300 ml pokazala kao najoptimalnija za korišćen JAR test uređaj, u drugom slučaju za sva tri programa koristila se konstanta zapremina uzorka od 300 ml, konstantna koncentracija koagulant od 0,5 g/l i varirale su brzine mešanja uzorka. U prvom programu brzina mešanja je iznosila 300 rpm (*eng. rounds per minute; srp. obrtaja u minuti*), u drugom 400 rpm, a u trećem programu 500 rpm. Primenom JAR testa, brzina mešanja od 500 rpm, pokazala se kao najefikasnija za uklanjanje suspendovanih materija, pri konstantnoj zapremini i konstantnoj koncentraciji koagulant.

6.3. Uticaj mase koagulant pri uklanjanju suspendovanih materija

U trećem slučaju, koristila se zapremina uzorka od 300 ml, ali su koncentracije koagulant aluminijum-sulfata bile

različite (0,50 mg/l, 0,75 mg/l i 1,00 mg/l). U tabeli 1 su prikazani rezultati uklanjanja suspendovanih materija primenom odabranog koagulant, pri konstantnoj zapremini od 300 ml i 500 rpm. Primenom JAR test-a, utvrđeno je da je najefikasnije uklanjanje suspendovanih materija iz otpadne vode bilo pri koncentraciji koagulant aluminijum-sulfata od 0,50 mg/l.

Tabela 1 – Prikaz rezultata primene $Al_2(SO_4)_3$ tokom procesa koagulacije ($V_{uzorka}=300\text{ ml}, 500\text{ rpm}$)

Koncentracija $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l) korišćena tokom koagulacije	Ukupni suvi ostatak pre koagulacije (mg/l)	Ukupni suvi ostatak nakon koagulacije (mg/l)
0,50	1348	826
0,75		833
1,00		919

7. ZAKLJUČAK

Otpadne vode u fabrici reciklaže gume nastaju kao nusprodukt različitih industrijskih procesa koji se koriste za reciklažu i preradu starih automobilskih guma. Usled složenog sastava guma i procesa reciklaže, ove otpadne vode često sadrže širok spektar zagađujućih materija, koje zahtevaju specifične tretmane pre nego što se ispuste u životnu sredinu ili ponovo upotrebe. Suspendovane materije u otpadnoj vodi mogu sadržati različite vrste zagađujućih supstanci koje nastaju tokom procesa reciklaže, njihovo uklanjanje se vrši putem različitih metoda prečišćavanja, kao što su taloženje, filtracija, koagulacija i flotacija.

U ovom radu analiziran je proces uklanjanja ovih polutanata primenom JAR testa, prilikom kojeg je vršena optimizacija koncentracije primenjenog koagulant (aluminijum-sulfata), količine tretirane otpadne vode i brzine obrtaja mešanja. Eksperimentalnim radom i laboratorijskim ispitivanjima dokazano je da adekvatna koncentracija koagulant, uz pravilno odabrane uslove procesa (pH vrednost, doza hemikalija, vreme i brzina mešanja), omogućava postizanje visokog stepena efikasnosti uklanjanja suspendovanih materija.

Ovaj rad pruža značajan doprinos u oblasti zaštite životne sredine, posebno u industriji reciklaže guma, ukazujući na efikasnost koagulacije u tretmanu njihovih otpadnih voda. Na osnovu rezultata ovog istraživanja, može se zaključiti da primena aluminijum-sulfata kao koagulant predstavlja efektivan način rešavanja problema uklanjanja suspendovanih materija iz otpadnih voda u industriji reciklaže gume. Dalja istraživanja bi mogla uključiti ispitivanje drugih tipova koagulanata i njihovu kombinaciju s ciljem dodatnog povećanja efikasnosti procesa tretmana otpadne vode.

8. LITERATURA

- [1] Ullah, I., Naseer, M.N., Zaidi, A.A., Kumar, M., Rasool, U., Kim, B.; Research hotspots and development trends in the rubber industry wastewater treatment: a quantitative analysis of literature; Journal of Rubber Research (2023) 26:249-260.

- [2] Shen, X., Geng, C., Lv, B. Q., Xu, W., Xu, Y., Zhao, H. Z.; Tire pyrolysis wastewater treatment by a combined process of coagulation detoxification and biodegradation; Environmental Science and Ecotechnology; Vol 8, 2021.
- [3] Nasir, S., Lumban Gaol. E.R., Susanti, S., Mediana, M., Mataram, A.; Treatment of Low – Strength Rubber Industry Wastewater Using a Combined Adsorbents and Membrane Technologies, Research Square, Vol 1, 2020.
- [4] Munter, R.; Industrial wastewater characteristics; Sweeden, 2003.
- [5] Sukmana, H., Bellahsen, N., Pantoja, F., Hodur, C.; Adsorption and coagulation in wastewater treatment-Review; Progress in Agricultural Engineering Sciences 17 (2021) 1, 49-68.
- [6] Obaideen, K., Shehata, N., Sayed, E.T., Abdelkareem, M.A., Mahmoud, M.S., Olabi, A.G.; The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainable guideline; Energy Nexus, Vol 7, 2022.
- [7] Tetteh, E.K., Rathilal, S.; Application of Organic Coagulants in Water and Wastewater Treatment.
- [8] Massoudinejad, M., Mehdipour-Rabori, M., Dehghani, M.H.; Treatment of natural rubber industry wastewater through a combination of physicochemical and ozonation processes; Journal of Advances in Environmental Health Research – December 2015.
- [9] Zhao, C., Thou, J., Yan, X., Yang, L., Xing, G., Li, H., Wu, P., Wong, M., Zheng, H.; Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review; Science of the Total Environment, 765, 2021.

Kratka biografija:



Branislava Čulibrk rođena je u Novom Sadu, 2000. god. Diplomirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2023. godine iz oblasti Inženjerstva zaštite životne sredine.