

ÎNLĂTURAREA POLUANȚILOR TEXTILI DIN SISTEME MODEL PRIN APLICAREA PROCESELOR ELECTROCHIMICE

<https://doi.org/10.52673/18570461.21.3-62.04>

CZU: 544.6:677.017:628.3

Doctorandă **Larisa MOCANU**

E-mail: lmordea@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3306-5292>

Institutul de Cercetare și Inovare, Universitatea de Stat din Moldova

THE REMOVAL OF TEXTILE POLLUTANTS FROM MODEL SYSTEMS BY USING ELECTROCHEMICAL PROCESSES

Summary. At present, the textile industry is one of the important sources of environmental pollution with toxic compounds. The uncontrolled discharge of contaminant effluents generates negative effects on the environment causing damage to aquatic fauna and flora. This paper aims to examine this type of wastewater and to assess the performance of removing textile pollutants from model systems by applying electrochemical processes after the calculation of the *COD* values. The obtained results reveal that the systems with direct red dye content (DR81, 50 %) and hydrophilic auxiliary substances have a lower efficiency (94 %) if compared to the model systems that include auxiliaries with hydrophobic properties (94-97 %). In the presence of PDAMDAC flocculant, the efficiency has increased from 93 to 99 % for the electro-flotation method and from 96 to 99 % for electro-flotation/coagulation. Likewise, the flocculant reduces the formation interval of the floaters, increases their size, stability, and sedimentation speed. So, the dose of coagulant has reduced by five times, while the *COD* values, by two times.

Keywords: electroflotation, electroflotation/coagulation, textile pollutants, coagulant, flocculant, *COD*, synthetic effluents.

Rezumat. Industria textilă constituie la ora actuală una dintre sursele principale de poluare a mediului ambiant cu compuși toxici, iar descărcarea necontrolată a efluenților contaminanți generează efecte negative asupra mediului, cauzând daune faunei și florei acvatice. În prezenta lucrare a fost studiată epurarea acestui tip de apă uzată și a fost evaluată performanța de îndepărtare a poluanților textili din sisteme model prin aplicarea proceselor electrochimice după determinarea valorilor *CCO*. Rezultatele obținute relevă că sistemele cu conținut de colorant roșu direct (*RD*₈₁, 50 %) și substanțe auxiliare hidrofobe au o eficiență mai scăzută (94 %) comparativ cu sistemele model ce cuprind în compoziția sa auxiliari cu proprietăți hidrofobe (94-97 %). În prezența floculantului PDAMDAC, eficiența crește de la 93 până la 99 % pentru metoda de electroflotare și de la 96 până la 99 % pentru cea de electroflotare/coagulare. La fel, floculantul micșorează timpul de formare a flocoanelor, crește dimensiunea lor, stabilitatea și viteza de sedimentare, astfel se reduce doza de coagulant de cinci ori și valorile *CCO* de două ori.

Cuvinte-cheie: electroflotare, electroflotare/coagulare, poluanți textili, coagulant, floculant, *CCO*, sisteme model.

INTRODUCERE

Industria textilă reprezintă una dintre sursele principale de poluare a mediului ambiant: pe de o parte, este pe locul doi după consumul de apă (aproximativ 150 de litri de apă fiind necesari pentru a produce un kilogram de material textil), iar pe de altă parte, cantitatea efluenților textili în urma proceselor tehnologice este direct proporțională cu consumul de apă [1; 2]. Anual, la nivel global, sunt evacuate cantități enorme de poluanți proveniți din industria textilă: amestecuri de coloranți, substanțe auxiliare, aditivi și substanțe chimice suplimentare care au fost utilizate în timpul proceselor de producere a textilelor. Dintre aceștia, principalii poluanți care destabi-

lizază mediul acvatic, după deversarea efluenților textili neepurați, sunt amestecurile de coloranți textili [1-3]. Compoziția efluenților textili este foarte diversă, fapt reflectat în studiile diferitor grupe de cercetători [3; 4]. Parametrii apelor reziduale ce variază cel mai mult sunt valorile pH-ului (4,3-11,9), *CCO* (consumul chimic de oxigen) (195-4400 mg/L), *CBO* (consumul biochimic de oxigen) (9,8-1200 mg/L), *TOC* (carbon organic total) (84-700 mg/L), sulfații (4,5-2250 mg/L) etc. [4; 5]. La fel, în timpul proceselor de epurare este important să fie monitorizat azotul amoniacal (NH_4^+), nitrat ionul (NO_3^-) precum și ortofosfat ionul (PO_4^{3-}).

Descărcarea necontrolată, fără epurarea prealabilă a unor astfel de efluenți contaminanți, provoacă

efecte negative asupra mediului, și anume: creșterea pH-ului apei receptoare, cauzând daune faunei și florei acvatic; salinitatea sporită și turbiditatea asociată cu proliferarea microorganismelor sau eutrofizarea resurselor de apă prin prezența unor niveluri ridicate de substanțe solide dizolvate; reducerea concentrației de oxigen dizolvat din apă din cauza consumului de către microorganisme care oxidează aerob materia organică biodegradabilă prezentă în mediul acvatic și provoacă, astfel, moartea organismelor acvatic; formarea compușilor mirositori și toxici (cum ar fi hidrogenul sulfurat) în urma descompunerii anaerobe a materiei organice [6; 7].

Pentru a evita asemenea daune ecologice, procesul de epurare se realizează prin aplicarea numeroaselor tehnici fizico-chimice [8]. Performanța acestora depinde, în principal, de natura metodelor, fiind, de asemenea, influențată de compoziția efluenților textili și de stabilitatea agenților textili față de absorbția radiațiilor UV/solare și față de agenții oxidanți [1; 4; 8]. În Raportul mondial UNESCO privind gestionarea resurselor acvatice, s-a pledat pentru dezvoltarea și aplicarea unor tehnologii noi capabile să epureze în mod eficient efluenții industriali [9].

Drept rezultat al studiilor anterioare [10; 11] se recomandă ca la prima etapă de epurare a poluanților organici din apele reziduale textile să se aplice metode de concentrare cum ar fi: coagularea/flocularea, flotarea/electroflotarea sau filtrarea, care reduc cu 60-70 % colorația apelor reziduale și cu 50-60 % concentrația remanentă a compușilor organici, după valoarea CCO.

Dintre metodele enumerate, cea de flotare/electroflotare oferă un șir de avantaje în ce privește reducerea cantității deșeurilor post operaționale și înlăturarea eficientă a compușilor organici datorită calităților de colector ale substanțelor auxiliare în procesul de electroflotare: în consecință, are loc procesul de concentrare a compușilor organici textili în stratul de spumă, aceștia fiind ulterior înlăturați de pe suprafața lichidului [10-12].

Or, actualul studiu este centrat pe problema îndepărtării poluanților textili (colorant roșu direct și substanțe auxiliare) din sisteme model prin aplicarea, la etapa primară, a metodei de electroflotare și electroflotare/coagulare. Rezultatele sunt exprimate prin valori CCO și, la final, sunt comparate performanțele de înlăturare în funcție de metoda aplicată.

În lucrare s-a studiat, în premieră, epurarea sistemelor model cu conținut de poluanți organici textili prin aplicarea unui procedeu combinat de electroflotare în prezența sulfatului de aluminiu 18 hidrat adăugat manual, denumit, în continuare, proces de electroflotare/coagulare.

MATERIALE ȘI METODE

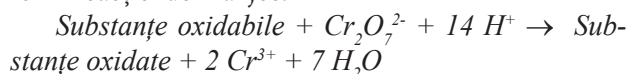
Reactivi și materiale. Obiectele de studiu pentru realizarea acestei lucrări au fost: colorantul roșu direct (RD_{81} , 50 %), dispersantul – sare de sodiu a acidului lignosulfonic ($NaLS$, 98 %), emolientul – acid 2,2-bis (hidroxilmetil) propionic ($DMPA$, 98 %) și fixatorul-dietilenglicol ($DEgl$, 99 %). În calitate de coagulant s-a utilizat $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (99 %), iar în calitate de floculant – poli (dialil dimetil clorură de amoniu). Toate materialele sunt procurate de la Sigma-Aldrich și sunt chimic pure (95-99 %).

Apele reziduale textile reale au valori CCO inițial de 10 000-15 000 mgO/L și o compoziție complexă. Ele conțin coloranți (substanțe de bază în procesul de vopsire), substanțe auxiliare care sunt adăugate la deferite etape de prelucrare a fibrelor sau țesăturilor, precum și chimicale. În această lucrare au fost modelate soluții cu valori CCO de până la 500 mgO/L, care au în compoziția lor un colorant direct (RD) cu o concentrație inițială cuprinsă în limita de 100-400 mg/L și substanțe auxiliare ($NaLS$, $DMPA$, $DEgl$) cu o concentrație inițială în limita de 20-80 mg/L. Concentrațiile de lucru atât ale colorantului, cât și ale substanțelor auxiliare au fost selectate în baza concentrațiilor determinate în apele reziduale textile. Soluțiile model $RD-NaLS$, $RD-DMPA$, $RD-DEgl$, $RD-NaLS-DMPA-DEgl$, $RD-NaLS-DMPA-DEgl-PDAMDAC$ au fost preparate prin diluție din soluțiile stoc cu apă distilată.

Soluțiile model s-au pregătit în felul următor: într-un reactor de tip deschis confecționat din sticlă cu volumul final de 250 mL s-a adăugat soluția stoc de colorant și substanțe auxiliare în concentrația prestabilită și s-a agitat 5 minute. După stabilizarea soluțiilor, s-a ajustat valoarea pH-ului cu soluție de NaOH (0,1 M) și H_2SO_4 (0,1 M).

Ulterior, sistemele model cu compoziție diferită au fost transferate în celula electrochimică de formă dreptunghiulară cu înălțimea de 17,5 cm, lățimea de 8,5 cm și lungimea de 8,7 cm, prevăzută cu doi electrozi insolubili: anod de carbon și catod din plasă de fier inoxidabil, plasați în partea inferioară a celei și conectați la o sursă cu curent continuu. În timpul procesului de electroflotare, cu ajutorul gazelor electrolitice s-a produs concentrarea particulelor sub formă de spumă la suprafața lichidului. După înlăturarea spumei, soluțiile s-au filtrat și s-a determinat concentrația sumară a substanțelor organice remanente (CCO, mgO/L) prin metoda standard cu dicromat de potasiu, utilizându-se spectrofotometrul UV-VisT80+ pentru măsurarea absorbanței la 600 nm după două ore de încălzire [13].

Principiul metodei: 5,0 mL de soluție de analiză se oxidează cu dicromat de potasiu ($K_2Cr_2O_7$) în prezența sulfatului de argint (Ag_2SO_4), în mediu de acid sulfuric concentrat (H_2SO_4) timp de două ore, la temperatura de 150 °C, iar mecanismul se desfășoară conform reacției de mai jos:



Performanța de înlăturare a poluanților textili (E , %) din sistemele model a fost calculată conform relației 1.

$$E, \% = \frac{CCO_i - CCO_f}{CCO_i} \cdot 100 \quad (1)$$

unde CCO_i – consumul chimic de oxigen inițial al sistemului studiat (mgO/L),

iar CCO_f – consumul chimic de oxigen remanent (mgO/L).

A fost evaluată cantitatea de energie electrică (Q), conform relației 2:

$$Q = I \times t \quad (2)$$

unde I – intensitatea curentului electric (A) și t – timpul de electroliză (h). De asemenea, s-a calculat densitatea curentului electric (i), conform relației 3.

$$i = I/Sc \quad (3)$$

unde I – intensitatea curentului electric (A) și Sc – suprafața catodului (m^2).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Electroflotarea are la bază procesul de formare electrolitică a bulelor de gaze pentru a flota poluanții din apele reziduale la suprafață. Metoda se bazează pe aderența bulelor foarte mici de hidrogen și oxigen ce se produc prin electroliză și se deplasează în sus în celula de flotare [14].

În scopul obținerii unei performanțe de epurare ridicate prin aplicarea metodelor electrochimice, s-au stabilit condițiile optime de electroflotare. Astfel, s-a determinat cantitatea de energie electrică (Q) și densitatea curentului electric (i). Rezultatele experimentale sunt expuse în tabelul 1.

Metodele electrochimice sunt eficiente la epurarea efluentilor textili care diferă prin compoziție și concentrație inițială mare (<400 mgO/L), în consecință fiind înlăturate până la 70 % din cantitatea de compuși organici prezenți în sistemele model.

În practică se folosește pe scară largă electrocoagularea cu anod solubil din aluminiu pentru eliminarea poluanților organici [15; 16]. Metoda de electrocoagulare este uneori combinată cu metoda de electroflotare, în timpul electrolizei formându-se hidroxizi metalici. Particulele coloidale alcătuite în baza forțelor electrostatice se combină cu poluanții textili și formează particule cu greutate moleculară mare, care ulterior se sedimentează. Conceptul procesului combinat de electroflotare/coagulare implică agregarea poluanților textili și înlăturarea lor prin flotare.

Însă tehnica de combinare a procesului de electroflotare cu procesul de coagulare (electroflotare/coagulare), prin adăugarea mecanică a sulfatului de aluminiu, este mai puțin descrisă în literatură de specialitate [17]. Proprietățile de adsorbție ale hidroxidului de aluminiu 18 hidrat sunt asociate cu formarea complexilor dimerici și polimerici din aluminiu(III) în funcție de valoarea pH-ului. Anume acești complecși încărcăți cu suprafață mare de contact pot elimina eficient poluanții textili prin adsorbția lor chiar și la concentrații mari ale acestora [18].

Pentru a determina pH-ul optim la electroflotare/coagulare s-a realizat o serie de studii experimentale în intervalul de pH de la 3,5 până la 12. Din rezultatele experimentale s-a constatat că eficiența de înlăturare a fost maximă (98 %) la valorile pH-ului de 5,0-5,5. În acest interval se egalează sarcinile electrice și se atinge punctul izoelectric al particulelor și al agregatelor, ceea ce duce la atragerea hidroxocomplexilor de aluminiu $Al(OH)_3$ pe suprafața agregatelor, la încărcarea lor cu sarcină pozitivă, dar mai mică, conform miclei: $\{[m(Al(OH)_3)_n Al(OH)^{2+} 2(n-x)Na^+]^{2x-} 2x Na^+\}$.

Cantitatea de coagulant este de asemenea un factor important care influențează procesul de electroflotare/coagulare. Excesul de coagulant mărește

Tabelul 1

Parametrii Q și i optimizați pentru sisteme model ce diferă prin compoziție și valori CCO inițiale;

$[RD]_0 = 200 \text{ mg/L}$, $[AUX]_0 = 60 \text{ mg/L}$, $pH = 5,5$, $t = 10 \text{ min}$, $V = 0,25 \text{ L}$, $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Sisteme model	CCO_i , mgO/L	Q , A*h	i , Am^{-2}
RD-NaLS	210	0,24	0,4
RD-DMPA	280	0,28	0,5
RD-DEgl	275	0,28	0,5
RD-NaLS-DMPA-DEgl	395	0,28	0,5
RD-NaLS-DMPA-DEgl-PDAMDAC	560	0,28	0,5

Înlăturarea compușilor organici din sisteme model prin electroflotare și electroflotare/coagulare în funcție de compoziția sistemului model; $[RD]_0=200$ mg/L, $[AUX]_0=60$ mg/L, $[Al^{3+}]_0=2,16$ mg/L, pH=5,5, $i=0,5$ Am⁻², t=10 min, V=0,25 L, t=25 °C

Colorant - Auxiliar	CCO _i , mgO/L	Electroflotare		Electroflotare/coagulare	
		CCO _f , mgO/L	E, %	CCO _f , mgO/L	E, %
RD-NaLS	210	10,0	94,7	4,4	97,9
RD-DMPA	280	7,5	97,3	4,4	98,4
RD-DEgl	275	10,0	96,4	5,0	98,2
RD-NaLS-DMPA-DEgl	395	13,1	92,5	11,9	96,0
RD-NaLS-DMPA-DEgl-PDAMDAC	560	7,5	98,6	5,0	99,1

costul procesului, dar provoacă și o contaminare secundară, care, în unele cazuri, poate reprezenta o amenințare mai mare decât poluanții textili eliminați. Conținutul său în apă în timpul coagulării poate depăși în mod semnificativ limitele acceptabile de 200 μg/L. Astfel, s-a stabilit doza optimă de coagulant: pentru sistemele model ce conțin colorant roșu direct – o concentrație inițială de 100 și 200 mg/L-2,16 mg/L ioni de aluminiu(III), iar la concentrații de colorant între 300-400 mg/L este necesară o concentrație de până la cinci ori mai mare de coagulant.

În procesul de coagulare, coloranții disociază în anioni de colorant și cationi Na⁺ și astfel partea organică are sarcină negativă. Prezența substanțelor auxiliare duce la dispersia particulelor asociate de colorant, iar pe durata procesului de electroflotare are loc disocierea substanțelor auxiliare și, respectiv, se formează atât cationi, cât și anioni, în cantități mai mari sau mai mici, în funcție de structura lor. În baza efectului electrostatic, ionii de aluminiu(III) interacționează cu particulele dispersate hidrofiele, astfel crește interacțiunea dintre ele și se micșorează gradul de dispersie, iar ca urmare, o mare parte de colorant împreună cu o parte dintre substanțele auxiliare se înlătură prin sedimentare. Performanțele de înlăturare a metodelor electrochimice sunt prezentate în tabelul 2.

În urma aplicării metodelor electrochimice (tabelul 2), sistemele model cu compoziția RD-DEgl și RD-NaLS-DMPA-DEgl au o eficiență de înlăturare mai mică (96,4 și 92,5 %) comparativ cu restul sistemelor model prezentate în tabelul 2. Acest lucru se explică prin importanța interacțiunii dintre bulele de gaz din soluție și particulele de poluanți în procesul de electroflotare. La această etapă, sarcina de suprafață a particulelor este un factor determinant. Se cunoaște că oxigenul și hidrogenul rezultat în urma electrolizei apei dezvoltă încărcătură electrică: oxigenul este încărcat pozitiv, iar

hidrogenul are încărcătură negativă în timpul detașării sale de catod. Atunci când sarcinile electrice ale bulelor de gaz sunt egale cu cele ale particulelor, bariera generată de forțele electrostatice de repulsie poate împiedica deplasarea particulelor una către cealaltă; în consecință, rezultă un CCO remanent cu valori mai ridicate. Sistemul model ce include în compoziția sa colorantul direct și agentul de emoliere RD-DMPA se caracterizează printr-o performanță de înlăturare mai înaltă. În acest caz, bulele de gaz și particulele de poluanți au încărcături opuse, astfel are loc conglomerarea poluanților textili și ridicarea lor la suprafață. Ca rezultat, eficiența procesului de electroflotare este de 97,3 %, iar cea a procesului de electroflotare/coagulare – de 98,4 %.

Eficiența de înlăturare depinde de concentrația floclulantului: valorile CCO remanent scad de la 16,3 până la 3,8 mgO/L, odată cu creșterea concentrației inițiale de floclulant de la 0 până la 80 mg/L (figura 1).

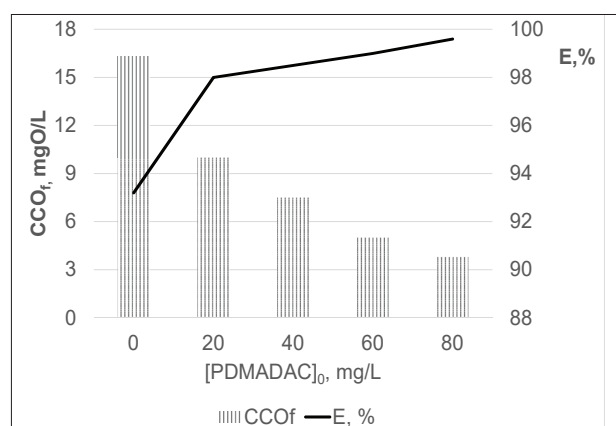


Figura 1. Performanța procesului de electroflotare/coagulare a sistemelor model în funcție de concentrația inițială a PDAMDAC;

$[RD]_0=200$ mg/L, $[NaLS-DMPA-DEG]_0=60$ mg/L, $[Al^{3+}]_0=4,32$ mg/L, pH=5,0-5,5, $i=0,5$ Am⁻², t=10 min, V=0,25 L, t=25 °C.

Aceasta se explică prin faptul că flocculantul este un electrolit de tip cationic încărcat pozitiv care neutralizează particulele de colorant și substanțele auxiliare prezente în sistemele model [19]. În primele minute se creează flocoane și se precipită particulele coloidale, iar bulele de gaz constituite în urma electrolizei ridică la suprafață conglomeratele sub forma unui strat dens de spumă colorată, ceea ce duce la o eficiență de înlăturare de 98-99 %.

Cercetările experimentale au arătat că flocculantul de tip cationic influențează pozitiv performanța procesului de electroflotare/coagulare în sistemul model cu compoziție complexă *RD-NaLS-DMPA-DEgl*.

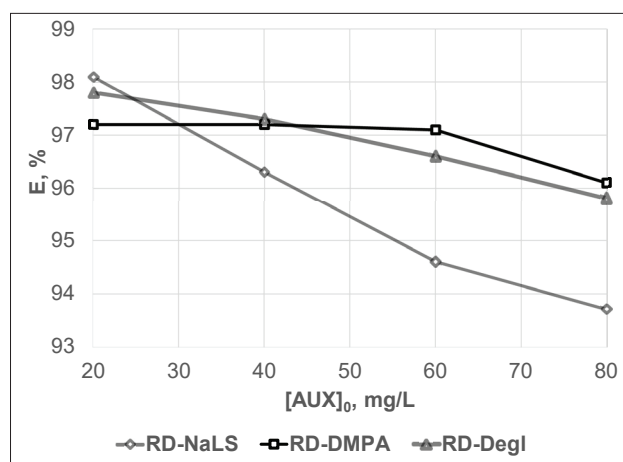
Performanța proceselor electrochimice depinde și de concentrația inițială a poluanților textili prezenți în sistemele model studiate, care au o influență majoră asupra epurării. Rezultatele proceselor electrochimice în funcție de raportul dintre concentrația inițială a substanțelor auxiliare și concentrația constantă a colorantului *RD* (200 mg/L) sunt expuse în figura 2. Conform rezultatelor obținute privind eficiența de înlăturare s-a constatat că există o corelație între concentrația substanțelor auxiliare, natura lor și metodele de epurare aplicate.

Eficiența epurării sistemelor model *RD-NaLS*, *RD-DMPA*, *RD-DEgl* (figura 2a) prin aplicarea metodei de electroflotare depinde nesemnificativ de concentrația inițială a substanțelor auxiliare. Însă, odată cu creșterea concentrației inițiale de la 20 până la 80 mg/L, valorile *CCO* sporesc, iar performanța de înlăturare scade cu 4 % (de la 98 până la 94 %). Aceasta se explică prin faptul că substanțele auxiliare din sistemele studiate posedă atât proprietăți hidrofobe (*DMPA*), cât și hidrofile (*NaLS* și *DEgl*), iar în prezența colorantului *RD* ele își modifică proprietățile. Astfel că în timpul proceselor de electroflotare are loc formarea

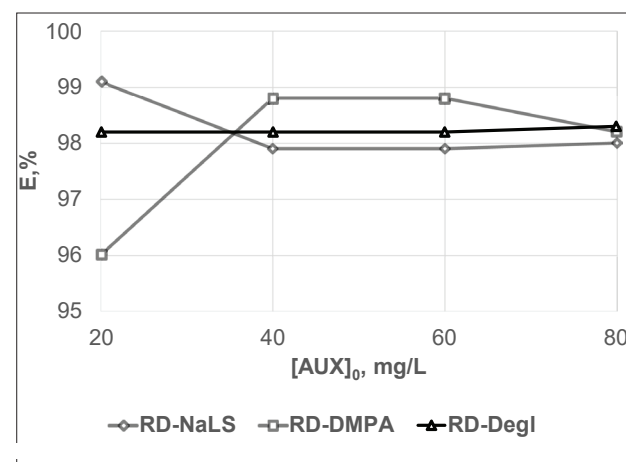
bulelor de gaze care contribuie la conglomerarea diferită a moleculelor de poluanți în funcție de sarcina lor electrică. În consecință, sistemele model cu un conținut de colorant direct și substanțe auxiliare hidrofiliile *RD-NaLS* și *RD-DEgl* au o eficiență de epurare mai scăzută comparativ cu sistemul model ce include în compoziția sa colorantul direct *RD* și emolientul *RD-DMPA*.

Procesul de electroflotare/coagulare (figura 2b) depinde atât de natura substanțelor auxiliare, cât și de concentrația lor inițială. Prezența lor în sistemele analizate duce la dispersia particulelor asociate de colorant și stabilizarea lor în baza efectului electrostatic [11]. Astfel, se mărește gradul de dispersie, iar valorile *CCO* remanent cresc odată cu sporirea concentrației substanțelor auxiliare, deoarece o parte dintre moleculele de colorant *RD* sunt neutralizate de către coagulant și se înlătură prin sedimentare, altă parte sunt stabilizate de către substanțele auxiliare și rămân în soluție. Ca rezultat, în soluție rămân moleculele stabile de colorant, plus o mare parte de dispersant (*NaLS*) și o mai mare parte de fixator (*DEgl*) (datorită sarcinii electrice pozitive).

Efluenții sintetici *RD-AUX*, ce conțin colorant direct cu concentrația inițială de 100 și 200 mg/L, au fost epurați prin aplicarea procesului de electroflotare și electroflotare/coagulare (tabelul 3). În consecință, s-a constatat că performanța obținută prin aplicarea procesului de electroflotare este mai mică pentru sistemul model *RD-NaLS* (94 %) și depinde de concentrația atât a substanțelor auxiliare (*DMPA* și *DEgl*), cât și a colorantului *RD*. Efluentul sintetic *RD-NaLS* cu concentrația colorantului de 100 mg/L are o performanță de electroflotare/coagulare de 96-98 %, cu 3,9-4,4 % mai mare comparativ cu performanța obținută prin aplicarea procesului de electroflotare.



a)



b)

Figura 2. Performanța de înlăturare (%) rezultată la electroflotare (a) și electroflotare/coagulare (b); $[RD]_0=200$ mg/L, $[Al^{3+}]_0=2,16$ mg/L, pH=5,0-5,5, $i=0,5$ Am⁻², t=10 min, V=0,25 L, t=25 °C.

Atunci când concentrația dispersantului din același sistem se mărește de la 20 până la 80 mg/L, performanța de înlăturare a poluanților textili se mărește neesențial (96,9-97,9 %).

La concentrația colorantului roșu direct de 200 mg/L, performanța de înlăturare obținută prin aplicarea procesului de electroflotare crește nesemnificativ, până la 4,3 ori comparativ cu performanța de înlăturare prin electroflotare.

Comparând eficiența de epurare a efluenților sintetici, care diferă prin natura substanțelor auxiliare, se poate concluziona că dispersantul *NaLS* crește semnificativ efectul de electroflotare în prezența ionilor de aluminiu(III), deoarece contribuie la dispersia și micșorarea dimensiunilor particulelor asociate de colorant *RD*, iar prezența ionilor de aluminiu conduce la modificarea dimensiunilor particulelor formate.

Efluenții sintetici textili *RD-DEgl* și *RD-DMPA* se epurează eficient atât prin electroflotare, cât și prin electroflotare/coagulare, deoarece emolientul *DMPA* și fixatorul *DEgl*, practic, nu influențează dimensiunile particulelor, însă modifică semnificativ sarcina electrică. Ca urmare, performanța de epurare se mărește neesențial în prezența ionilor de aluminiu(III) și nu depinde de concentrația colorantului direct *RD*

și a fixatorului *DEgl*. Sau se mărește cu 1,0-4,7 %, pentru emolientul *DMPA*, odată cu mărirea concentrației agentului de colorare de la 100 până la 200 mg/L și al emolientului de la 20 până la 80 mg/L. Explicația stă în faptul că, în soluții apoase, coloranții textili se asociază și formează particule asociate cu dimensiuni mai mari și sarcină negativă. La rândul lor, aceste particule negative pot fi neutralizate de către particulele coloidale de hidroxid de aluminiu(III). Gradul de asociere al moleculelor de colorant depinde de concentrația lui inițială. Odată cu mărirea concentrației inițiale, se atinge o concentrație critică de formare a micelilor asociate. Pentru colorantul roșu direct, concentrația critică de formare a micelilor este în jur de 125-130 mg/L [20]. Această legitate se respectă, deoarece, odată cu mărirea concentrației inițiale a colorantului *RD*, procesul de asociere al moleculelor de colorant se intensifică și particulele asociate capătă dimensiuni mai mari, iar pentru neutralizarea și sedimentarea lor se consumă mai puține particule coloidale de hidroxid de aluminiu 18 hidrat.

Efluenții sintetici cu concentrații ale agentului de colorare direct *RD* ce depășesc 200,0 mg/L, au valori ale concentrației remanente (*CCO*) de 10-15 ori mai mari față de aceeași efluenți sintetici cu concentrația

Tabelul 3

Compararea performanței de epurare (%) a efluenților sintetici *RD-AUX* care diferă prin compoziție și valori *CCO* inițiale; $[Al^{3+}]_0=2,16$ mg/L, pH=5,5, $i=0,5$ Am⁻², t=10 min, V=0,25 L, t=25 °C

[AUX] ₀ , mg/L	RD-AUX, [RD] ₀ =100 mg/L		RD-AUX, [RD] ₀ =200 mg/L	
	Electroflotare	Electroflotare / coagulare	Electroflotare	Electroflotare / coagulare
	RD-NaLS			
20,0	93,0	96,9	98,1	99,1
40,0	93,0	97,2	96,3	97,9
60,0	93,1	97,5	94,6	97,3
80,0	93,8	97,9	93,7	98,0
	RD-DMPA			
20,0	94,6	95,0	97,2	96,0
40,0	94,1	94,1	97,2	98,8
60,0	95,1	95,4	97,1	98,7
80,0	97,0	96,0	96,1	98,8
	RD-DEgl			
20,0	98,9	97,9	97,3	98,2
40,0	98,8	98,1	97,8	98,2
60,0	98,0	98,3	97,6	98,4
80,0	97,8	98,1	95,8	98,3

colorantului de 100 și 200 mg/L. Această creștere a valorilor CCO remanent este proporțională cu mărirea concentrației particulelor asociate ale colorantului direct, la interacțiunea lui cu substanțele auxiliare formându-se un strat de protecție, care are proprietatea de a modifica sarcina și dimensiunile colorantului. Pentru diminuarea acestor valori (CCO) până la concentrația maximă admisibilă (CLA=6-8 mgO/L), necesară la reutilizarea acestor ape în procesele tehnologice, se poate: a) de mărit doza de coagulant, ceea ce este nerentabil; b) de adsorbit compușii remanenți pe CA; c) de oxidat catalitic, ulterior, compușii remanenți.

CONCLUZII

Înlăturarea poluanților organici textili din sisteme model s-a realizat prin aplicarea metodelor electrochimice: electroflotare și electroflotare/coagulare. Rezultatele obținute relevă că eficiența metodei de electroflotare depinde esențial de dimensiunile și sarcina particulelor colorantului roșu direct care, la rândul lui, este dispersat și stabilizat de către substanțele auxiliare. Astfel, în consecință, sistemele cu conținut de colorant direct și substanțe auxiliare hidrofille au o eficiență mai scăzută (94 %) comparativ cu sistemele model ce au în compoziția lor substanțe auxiliare cu proprietăți hidrofobe (94-97 %).

În prezența floculantului PDAMDAC eficiența procesului de epurare crește de la 93 % până la 99 % pentru metoda de electroflotare și de la 96 % până la 99 % pentru electroflotare/coagulare. La fel, prezența floculantului scurtează timpul de formare a flocoanelor, crește dimensiunea particulelor, stabilitatea și viteza de sedimentare, astfel se reduce doza de coagulant de cinci ori și valorile CCO de două ori.

Rezultatele cercetării pot fi folosite la elaborarea cursurilor universitare din domeniu, precum și la inițierea proiectelor naționale și internaționale din cadrul direcției strategice *Material, tehnologii și produse inovative, Chimia ecologică a apelor etc.*

BIBLIOGRAFIE

- [on-line] https://unece.org/DAM/env/epr/epr_studies/moldova%20II%20m.pdf (vizitat la 05.06.2021).
- Global Industry Analyst, Global Textile Dyes Industry, 2020. [on-line] <https://www.reportlinker.com/p05151463/Global-Textile-Dyes-Industry.html> (vizitat la 05.06.2021).
- Ghaly A., Ananthashankar R., Alhattab M., Ramakrishnan V. Production, characterization and treatment of textile effluents: A critical review. In: Journal Chemistry Engineering Process Technology, 2014, 5, pp. 1-18. [on-line] <https://DOI.org/10.4172/2157-7048.1000182> (vizitat la 05.06.2021).
- Md. Mamun Kabir S., Koh J. Dyeing chemicals. Chemistry and technology of natural and synthetic dyes and pigments, 2020, pp. 1-17. [on-line] <https://doi.org/10.5772/intechopen.81438> (vizitat la 05.06.2021).
- Yin H., Qiu P., Qian Y., Kong Z., Zheng X., Tang Z., Guo H. Textile wastewater treatment for water reuse: A Case Study. Processes 2019, 7(1), Article 34.
- Lellis B., Favaro-Polonio C.Z., Pamphile J. A., Polonio J.C. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. În: Biotechnology Research and Innovation, 2019, 3(2), pp. 275-290. [on-line] <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001> (vizitat la 05.06.2021).
- Tkaczyk A., Mitrowska K., Posyniak A. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. Science of The Total Environment, 2020, Article 137222. [on-line] <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137222> (vizitat la 05.06.2021).
- Collivignarelli M.C., Abbà A., Carnevale Miino M., Damiani S. Treatments for color removal from wastewater: State of the art. In: J. Environ. Manage., 2019, pp. 727-745. [on-line] <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.094> (vizitat la 05.06.2021).
- UNESCO, 2012. The United Nations World Water Development Report 4. Volume 1, Managing Water Report under Uncertainty and Risk (vizitat la 08.07.2021).
- Matveevici V., Gonța M., Mocanu L., Duca Gh., Iambartsev V. Înlăturarea coloranților și surfactanților din apele reziduale textile. Monografie CEP USM, 2019, 162 p.
- Duca Gh., Matveevici V., Gonța M., Mocanu L. Epurarea efluentului textil prin aplicarea metodelor de electroflotare, oxidare catalitică și adsorbția pe cărbune activ. În: Studia Universitatis, seria „Științe reale ale naturii”, 2019, 6(126), pp. 48-58.
- Chung C.M., Cho K.W., Hong S.W., Kim T.H. Feasibility of electroflotation separate solids and liquid in an activated sludge process. In: Environ. Technol., 2009, 30, pp. 1565-1573. [on-line] <https://doi.org/10.1080/09593330903313802> (vizitat la 08.07.2021).
- Surpateanu M., Zaharia C. Determinarea substanțelor oxidabile din apă. Chimia Mediului: teste de control în laborator și probleme (I), 2013-2014, pp. 45-46. [on-line] <https://www.scribd.com/document/357223286/Chimia-Mediului-aplicatii-2013-2014-1-1-pdf> (vizitat la 04.05.2020).
- Chen X., Chen G., Yue Pl. Novel Electrode system for electroflotation of wastewater. In: Environmental Science and Technology, 2002, 36(4), pp. 778-783. [on-line] <https://doi.org/10.1021/es011003u> (vizitat la 05.06.2021).
- Brodskiy V.A., Kolesnikov V.A., Il'in V.I. Effect of the physicochemical characteristics of the disperse phase of slightly soluble compounds of nonferrous metals on the efficiency of their electroflotation extraction from aqueous solutions. Theor Found Chem Eng., 2015, 49, pp. 138-144.

[on-line] <https://doi.org/10.1134/S0040579515020037> (vizitat la 05.06.2021).

16. Kul'skiy L.A., Grebenyuk V.D., Savluk O.S. Elektrokhimiya v protsessakh ochistki vody (Electrochemistry in water purification processes, eng.). Kiev: Tekhnika, 1987. 220 p.

17. Mostefa N. M., Tir M. Coupling flocculation with electroflotation for waste oil/water emulsion treatment. Optimization of the operating conditions. In: Desalination, 2004, 161(2), pp. 11121. [on-line] [https://doi:10.1016/S0011-9164\(04\)90047-1](https://doi:10.1016/S0011-9164(04)90047-1) (vizitat la 05.06.2021).

18. Evich (Khokhrina) N.A., Il'in V.I. Patent information analysis in the area of water treatment by electrochemical methods. In: Usp. Khim. Khim. Tekhnol., 2009, 23(10), p. 58.

19. Zodi S., Merzouk B., Potier O., Lapique F., Leclerc J.-P. Direct red 81 dye removal by a continuous flow electrocoagulation/flotation reactor. Separation and Purification Technology, 108, 2013, pp. 215-222.

20. Raghu S., Ahmed Basha C. Chemical or electrochemical techniques, followed by ion exchange, for recycle of textile dye wastewater. In: Journal of Hazardous Materials, 2007, 149(2), pp. 324-330. [on-line] <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.087> (vizitat la 05.05.2021).

NOTĂ. Cercetările au fost realizate în cadrul Proiectului instituțional 15.817.02.35A și au fost finanțate de către Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova.



Florentin Leancă. *Vitrină de flori*. 2011, u. p., 100 × 90 cm.