

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ ΚΛΩΣΤΟΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΧΗΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΒΒΡ

Α. Λακιωτάκη¹, Ε. Συρανίδου¹, Ν. Καλογεράκης¹

¹Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα
(*argiro.lak@gmail.com)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι βιομηχανίες κλωστοϋφαντουργίας αντιπροσωπεύουν σήμερα μία σημαντική πηγή ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η παρουσία έντονου χρώματος που οφείλεται στην προσθήκη χρωστικών κατά την βαφή των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, το 50% των οποίων καταλήγει στη δεξαμενή εκρών σε υδρολυμένη μορφή, χάνοντας τη «χημική συγγένεια» προς τις ίνες και τη δυνατότητα για επαναχρησιμοποίηση. Το 77% των χρωμάτων αυτών είναι χρώματα Direct και Reactive που χρησιμοποιούνται για την βαφή βαμβακερών υφασμάτων και ανήκουν στην κατηγορία των αζω-χρωμάτων.

Οι συνήθεις μέθοδοι αποκατάστασης βιομηχανικών εκρών κλωστοϋφαντουργίας περιλαμβάνουν την εφαρμογή τεχνικών όπως η καθίζηση, η κροκίδωση, η φωτοκατάλυση, η επίπλευση, η χημική οξείδωση, η προσρόφηση και η βιο-αποκατάσταση. Ωστόσο, η εύρεση μίας οικονομικά και τεχνικά βιώσιμης μεθόδου για τον πλήρη αποχρωματισμό ενός βιομηχανικού λύματος καθίσταται πρακτικά ανέφικτη, εξαιτίας της μεταβλητότητας των φυσικοχημικών του χαρακτηριστικών που οφείλεται στην ευρεία γκάμα χρωστικών και χημικών ενώσεων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία των προϊόντων υφαντουργίας. Επομένως, προκειμένου να επιτευχθεί ένα επαρκές επίπεδο απομάκρυνσης χρωμάτων πρέπει να συνδυαστούν συνήθως δύο ή τρεις διαφορετικές μέθοδοι.

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στη διαδικασία αποχρωματισμού ενός συνθετικού αποβλήτου κλωστοϋφαντουργίας συνδυάζοντας την χημική επεξεργασία του με κροκιδωτικά μέσα και την ακόλουθη αερόβια βιολογική επεξεργασία του σε αντιδραστήρα αιωρούμενου βιοφίλμ (Moving Bed Biofilm Reactor-MBBR) με τη χρήση μικτής μικροβιακής κοινότητας. Η εφαρμογή του χλωριούχου πολυαλουμινίου ως κροκιδωτικό απομάκρυνε σε ικανοποιητικό βαθμό τα περιεχόμενα στο προσομοιωμένο απόβλητο χρώματα, κάτι που επιτεύχθηκε σε μικρότερο βαθμό κατά τη βιολογική του επεξεργασία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν διεξαχθεί σε ψάρια και θηλαστικά, τα περισσότερα εμπορικά χρώματα δεν θεωρούνται ιδιαιτέρως τοξικά. Ωστόσο, η αμεταβλητότητα που παρουσιάζουν κατά την παραμονή τους στα υδάτινα οικοσυστήματα προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία, καθώς δύνανται να προκαλέσουν μακροπρόθεσμα καταστολή της διαδικασίας φωτοσύνθεσης, αύξηση του οργανικού φορτίου των αποδεκτών και ευτροφικά φαινόμενα και δημιουργία αναερόβιων και τοξικών συνθηκών για τους υδρόβιους οργανισμούς που εκτίθενται σε υψηλές συγκεντρώσεις ή/και σε προϊόντα διάσπασής τους. Καθώς υπάρχουν χρωστικές που είναι ορατές σε συγκέντρωση μόλις 1 mg/L ενώ σε συγκέντρωση 10-200 mg/L προκαλούν τον έντονο χρωματισμό του νερού, η τελική διάθεσή τους σε λίμνες, ποτάμια κλπ. μέσω των βιομηχανικών εκρών μπορεί να επιφέρει αισθητική υποβάθμιση.

Σε γενικές γραμμές ο αποχρωματισμός των λυμάτων που προέρχονται από βιομηχανίες κλωστοϋφαντουργίας μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: α) με αποδόμηση (διάσπαση) των περιεχόμενων χρωστικών ενώσεων ή β) με διαχωρισμό τους από την υδατική φάση.

- Για την διάσπαση/μετατροπή των χρωστικών ενώσεων εφαρμόζονται συνήθως μέθοδοι όπως η χημική οξείδωση, η φωτοκατάλυση και η βιοαποδόμηση.
- Για την απομάκρυνση των χρωστικών από την υδατική φάση χρησιμοποιούνται διεργασίες προσρόφησης, κροκίδωσης και διήθησης σε φίλτρα μεμβρανών.

Παρότι οι περισσότερες τεχνικές αποκατάστασης κρίνονται αποδοτικές, ενέχουν περιοριστικούς παράγοντες όσον αφορά τον τρόπο εφαρμογής τους, το λειτουργικό κόστος και τη δημιουργία τοξικών παραπροϊόντων ^[1]. Το γεγονός αυτό σε συνάρτηση με την μοριακή πολυπλοκότητα των περισσότερων χρωστικών και την ανθεκτικότητα που παρουσιάζουν σε εξωτερικούς παράγοντες, όπως η ακτινοβολία, η μικροβιακή επίθεση και τα οξειδωτικά μέσα, καθιστά επιτακτική την ανάγκη συνδυασμού διαφορετικών τεχνικών προκειμένου να επιτευχθεί ένα επαρκές επίπεδο αποχρωματισμού.

ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ικανότητας αποχρωματισμού ενός προσομοιωμένου βιομηχανικού αποβλήτου κλωστοϋφαντουργίας που περιείχε στη σύστασή του έξι διαφορετικά αζω-χρώματα κατηγοριών Direct και Reactive. Ως πρώιμο στάδιο απομάκρυνσης των χρωστικών εφαρμόστηκε η χημική μέθοδος της κροκίδωσης. Έπειτα εξετάστηκε η βιολογική επεξεργασία (βιο-αποδόμηση) του αποβλήτου σε έναν αντιδραστήρα αιωρούμενης βιομάζας (Moving Bed Biofilm Reactor-MBBR) υπό αερόβιες συνθήκες, κάνοντας χρήση μικτής μικροβιακής κοινότητας που απομονώθηκε από τη δεξαμενή εκρών μιας κλωστοϋφαντουργικής βιομηχανίας που εδρεύει στο Βόλο.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για την διεξαγωγή της μελέτης αποχρωματισμού παρασκευάστηκε συνθετικό απόβλητο σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των εκρών της κλωστοϋφαντουργικής βιομηχανίας BEZEMA Tunesie S.A.R.L., που εδράζεται στην Τυνησία. Έξι τυπικά εμπορικά αζω-χρώματα κατηγοριών Direct και Reactive που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία προστέθηκαν στη σύσταση του αποβλήτου:

- Direct χρώματα: Tubantin Bleu BRR HC (TBBHC), Tubantin Brun GGL (TBGGL), Tubantin Orange GGLN 200 (TO200),
- Reactive χρώματα: Bezaktiv Bleu S-2G (TBBS2G), Bezaktiv Bleu S-MATRIX 150 (BB150) και Bezaktiv Rouge S-MATRIX 150 (BR150).

Η απόδοση αποχρωματισμού του αποβλήτου κατά τα διάφορα στάδια επεξεργασίας του μελετήθηκε ως προς τη μεταβολή των συγκεντρώσεων των χρωμάτων, του οργανικού φορτίου και του ολικού αζώτου. Ο προσδιορισμός του οργανικού φορτίου και του ολικού αζώτου έγινε με τη χρήση έτοιμων φιαλιδίων-αντιδραστηρίων COD Digestion Vials (0-1500 ppm) και Laton Total Nitrogen (1-16 mg/L TN_b) αντίστοιχα, της εταιρίας HACH. Για την ποσοτικοποίηση των χρωμάτων στο απόβλητο χρησιμοποιήθηκε η φασματοφωτομετρική ανάλυση Υπεριώδους-Ορατού (UV-Vis) στο μήκος κύματος που παρουσιάζει κάθε χρώμα μέγιστη απορρόφηση.

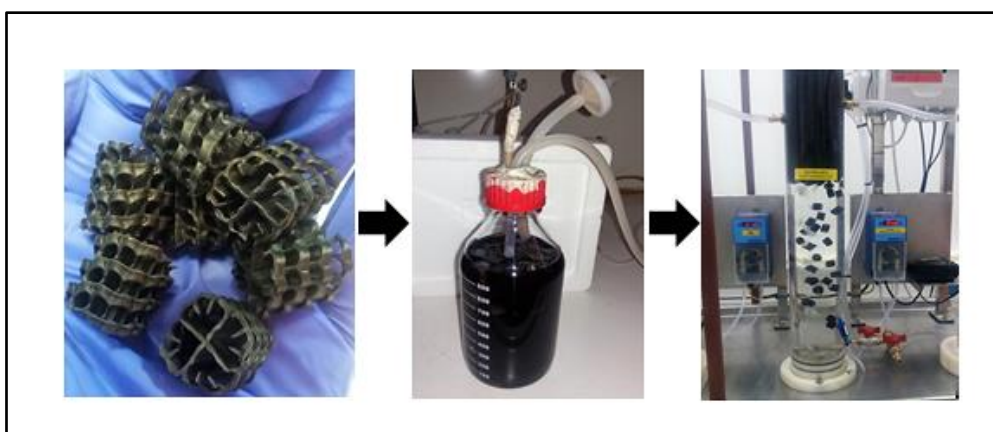
Χημική επεξεργασία με κροκίδωση

Για την εφαρμογή της χημικής επεξεργασίας με κροκίδωση έγινε εμπειρική δοκιμή διαφόρων αντιδραστηρίων (χλωριούχος σίδηρος, θειικό μαγνήσιο, οξείδιο του ασβεστίου, χλωριούχο πολυαλουμίνιο) σε προσομοιωμένο απόβλητο που περιείχε αρχικά ένα χρώμα. Οι δοκιμές για την εύρεση του κροκιδωτικού που επιφέρει τον βέλτιστο αποχρωματισμό με το ελάχιστο κόστος,

πραγματοποιήθηκαν στη συμβατική συσκευή ανάδευσης Jar Test FC6S. Μετά την προσθήκη του αντιδραστήριου στο απόβλητο και τη ρύθμιση του pH στο 7 ακολουθούσε ένα στάδιο ταχείας ανάδευσής του στα 200 rpm για 1 min, με σκοπό την εξουδετέρωση των επιφανειακών φορτίων των αιωρούμενων σωματιδίων και την αποσταθεροποίησή τους. Καθώς τα συσσωματώματα που προέκυπταν (κροκίδες) δεν είχαν ικανοποιητικές διαστάσεις ώστε να καθιζάνουν, το σύστημα υποβαλλόταν ακολούθως σε μηχανική ανάδευση μικρότερης έντασης (στα 90 rpm για 20 min) με σκοπό την αύξηση των ενδομοριακών συγκρούσεων χωρίς να επηρεαστούν οι ήδη υπάρχουσες κροκίδες. Τέλος, ακολουθούσε ένα στάδιο ηρεμίας του αποβλήτου για 1 hr σε συνθήκες περιβάλλοντος για την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών, και δειγματοληψία από το υπερκείμενο υγρό για τις σχετικές αναλύσεις.

Βιολογική επεξεργασία σε αντιδραστήρα MBBR

Στα πλαίσια της εφαρμογής βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας, εμβολιάστηκε στο συνθετικό απόβλητο μικτή μικροβιακή κοινότητα, η οποία είχε απομονωθεί από το περιβάλλον βιομηχανικών κλωστοϋφαντουργικών εκροών και καλλιεργηθεί σε πλούσιο θρεπτικό διάλυμα παρουσία χρωμάτων. Οι πειραματικές μετρήσεις διεξήχθησαν αρχικά σε μηχανικά αεριζόμενα μπουκάλια Boro πληρωμένα με βιο-φορείς (bio-carriers) από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας ($d=0.95 \text{ g/cm}^3$) για τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών και την υποστήριξη της ανάπτυξης βιομεμβράνης (biofilm). Οι βιο-φορείς με το προ-ανεπτυγμένο βιοφίλμ μεταφέρονταν εν συνεχεία στον διαλείποντος έργου (batch) αντιδραστήρα MBBR (60% πλήρωση), οποίος λειτουργούσε με παροχή αέρα 5-6 L/min (**Σχήμα 1**). Η επίδραση της βιολογικής επεξεργασίας στον αποχρωματισμό του αποβλήτου αξιολογήθηκε εξετάζοντας διαφορετικές αναλογίες χρωμάτων στο απόβλητο, καθώς και συνδυασμούς οργανικών πηγών άνθρακα και αζώτου, που δρούσαν ως δότες ηλεκτρονίων για την διάσπαση των αζωτούχων δεσμών και την ενίσχυση της μικροβιακής δραστηριότητας^[2]. Δείγμα από το εσωτερικό του αντιδραστήρα λαμβανόταν κάθε 24-48 hr, με σκοπό τη μέτρηση των χρωμάτων, του οργανικού φορτίου και του ολικού αζώτου του επεξεργαζόμενου αποβλήτου, αφού πρωτίστως υποβαλλόταν σε φυγοκέντρηση (13.400 rpm, 15 min) για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών.

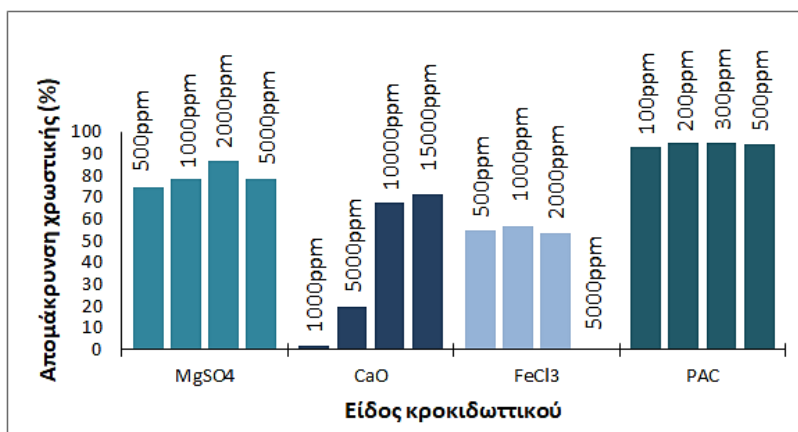


Σχήμα 1. Ανάπτυξη μικροβιακής κοινότητας σε αεριζόμενα μπουκάλια και μεταφορά βιοφορέων στον αντιδραστήρα MBBR

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Χημική επεξεργασία με κροκίδωση

Η επίδραση των κροκιδωτικών μέσων στα χαρακτηριστικά του αποβλήτου (χρώμα, οργανικό φορτίο) παρουσιάζονται στο **Σχήμα 2** και **Σχήμα 3**. Η προσθήκη χλωριούχου πολυαλουμινίου (PAC 18) επέφερε το βέλτιστο κροκιδωτικό αποτέλεσμα έναντι των άλλων αντιδραστηρίων, οδηγώντας παράλληλα στην παραγωγή μικρότερης ποσότητας καθιζάνοντος ιζήματος μετά την

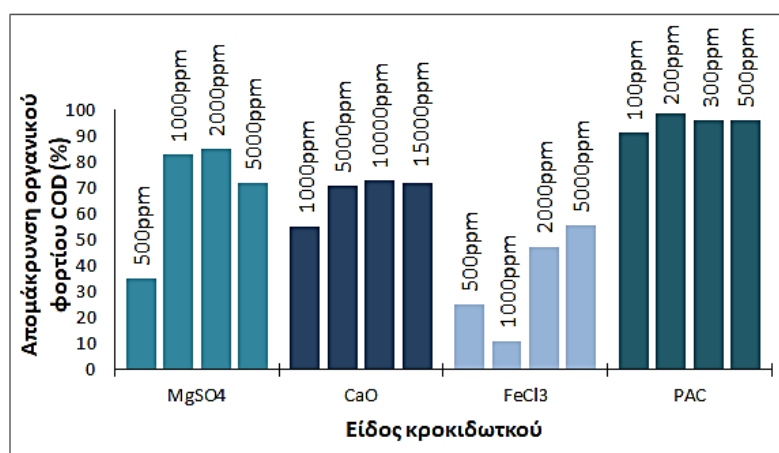


Σχήμα 2. Ποσοστιαία απομάκρυνση χρώματος παρουσία κροκιδωτικού

επεξεργασία και στη δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων. Εξαιτίας του μεγαλύτερου φορτίου που φέρει το PAC, μπορεί να αποδώσει υψηλότερα ποσοστά απομάκρυνσης χρωμάτων συγκριτικά με τα απλά (μη-πολυμερισμένα) μεταλλικά άλατα, σε μια ευρύτερη περιοχή θερμοκρασίας και pH (7-10) [3]. Η απόδοση αποχρωματισμού του αποβλήτου ξεπέρασε το 90%, με βέλτιστη δόση κροκιδωτικού τα 200 ppm (96-98% μείωση οργανικού

φορτίου, 95% αποχρωματισμός).

Ωστόσο η κροκιδωτική ικανότητα του PAC υπό την παρουσία περισσότερων χρωστικών στο απόβλητο επέδειξε μειωμένη απόδοση της τάξης του 70-91% (Πίνακας 1), με μικρές αποκλίσεις ανάμεσα στις εξεταζόμενες χρωστικές. Καθώς η διαλυτότητα των χρωστικών επιδρά ανασταλτικά στη διαδικασία διαχωρισμού τους από την υδατική φάση, τα χρώματα



Σχήμα 3. Ποσοστιαία απομάκρυνση οργανικού φορτίου παρουσία κροκιδωτικού

Reactive (με διαλυτότητα 100 g/L) απομακρύνθηκαν σε μικρότερο ποσοστό συγκριτικά με τα Direct χρώματα (με διαλυτότητα TO200: 15 g/L, TBBHC: 10 g/L και TBGGL: 36 g/L). Ο συνολικός αποχρωματισμός του αποβλήτου με αρχική συγκέντρωση χρωμάτων $C_0=1.9$ g/L ήταν 78% (Cτελ=0.4 g/L) και η μείωση του οργανικού φορτίου ήταν 85% (από 956 σε 140 mg/L).

Πίνακας 1. Απομάκρυνση χρωμάτων από το συνθετικό απόβλητο μετά τη χρήση PAC

Είδος χρωστικής	Αρχική συγκέντρωση C_0 (g/L)	Τελική συγκέντρωση C_f (g/L)	Απόδοση αποχρωματισμού (%)
Direct χρώματα			
TO200	0.758	0.070	91
TBBHC	0.263	0.074	72
TBGGL	0.417	0.053	87
Reactive χρώματα			
BBS2G	0.415	0.127	69
BB150	1.534	0.437	72
BR150	0.392	0.079	80

Δεδομένου ότι οι περισσότερες βιομηχανικές χρωστικές είναι ανιονικές, το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών που έχουν ασχοληθεί με την απομάκρυνσή τους από λύματα με προσθήκη κροκιδωτικών, έχει επικεντρωθεί στη χρήση κατιονικών πολυμερών όπως το PAC έναντι άλλων

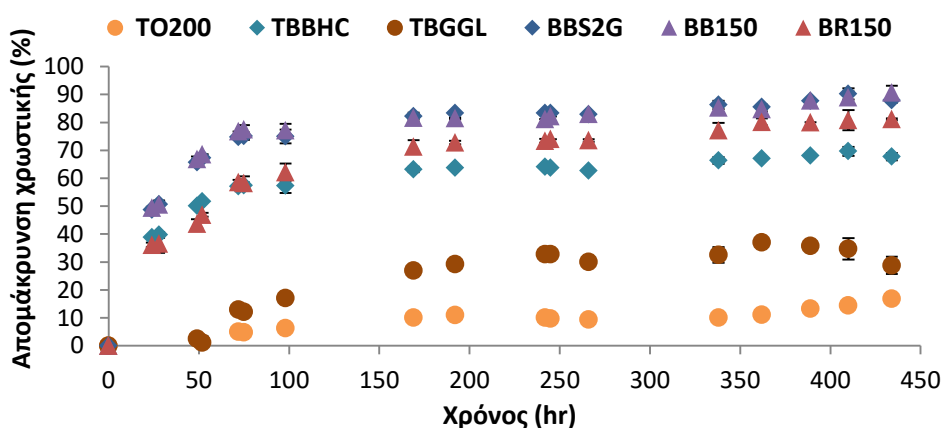
ανιονικών και μη ιονικών αντιδραστηρίων. Αναφορικά, η συνδυασμένη χρήση του (σε συγκέντρωση 0.1 mg/L) με πολυακρυλαμίδιο, σε συνθετικό διάλυμα με pH 8.5 και συγκέντρωση χρωστικών C=500 mg/L, έχει αποδώσει ανάλογα ποσοστά αποχρωματισμού της τάξης του 80% (ύστερα από ταχεία ανάμιξη στα 80-85 rpm και αργή ανάδευση στα 30-35 rpm για 20 min) ^[4].

Βιολογική επεξεργασία σε αντιδραστήρα MBBR

Η βιολογική επεξεργασία του αποβλήτου για 18 ημέρες (434 hr) παρουσία yeast extract (5 g/L) και πεπτόνης (0.5 g/L) είχε σαν αποτέλεσμα τις απομακρύνσεις που απεικονίζονται στο **Σχήμα 4**:

- **Direct χρώματα:** 17% μείωση του TO200 (Co=0.031 g/L), 68% μείωση του TBBHC (Co=0.025 g/L), 29% μείωση του TBGGL (Co=0.054 g/L) και
- **Reactive χρώματα:** 88% μείωση του BBS2G (Co=0.125 g/L), 91% μείωση του BB150 (Co=0.129 g/L) και 81% μείωση του BR150 (Co=0.036 g/L),

Η μικροβιακή βιομάζα στο απόβλητο κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου ήταν 3 g/L. Η συνολική συγκέντρωση των χρωστικών (C₀= 0.4 g/L) έπειτα από 18 ημέρες (434 hr) παραμονής του αποβλήτου στο σύστημα μειώθηκε κατά 73% (C_{τελ}= 0.1 g/L), ενώ η 60% μείωση σημειώθηκε τις πρώτες 4 ημέρες (98 hr), γεγονός που αποδίδεται και στην προσρόφηση σημαντικού μέρους των χρωστικών στους σχηματιζόμενους θρόμβους βιομάζας που δημιουργούνται στον όγκο του υγρού κατά την ανάπτυξη του βιοφίλμ. Η αντίστοιχη μείωση του οργανικού φορτίου του αποβλήτου (COD=16600 mg/L) ήταν 22%, και η μείωση του ολικού αζώτου (TN=11500 mg/L) 87%.



Σχήμα 4. Ποσοστιαία απομάκρυνση χρωμάτων κατά τη βιολογική επεξεργασία

Όπως παρατηρήθηκε, τα χρώματα Reactive απομακρύνθηκαν σε μεγαλύτερο ποσοστό έναντι των Direct χρωμάτων, ωστόσο η βιοαποδόμησή τους υπό αερόβιες συνθήκες δεν απέδωσε ικανοποιητικά επίπεδα αποχρωματισμού, κάτι που αναμενόταν λόγω της ανθεκτικής τους φύσης στη βιοδιάσπαση ^[5] (εξαιτίας της πολύπλοκης δομής τους που ενισχύεται από την ύπαρξη στο μόριο τους πολλαπλών δεσμών N-N και N-C) ^[6]. Η συνύπαρξη στο απόβλητο διαφορετικών μορίων, ιδιαίτερα σε υψηλές συγκεντρώσεις, δύναται να δημιουργήσει τοξικές συνθήκες για τους μικροοργανισμούς επιβραδύνοντας τη δράση τους ^[7,8]. Η παρουσία οξυγόνου αποτελεί επίσης έναν ανταγωνιστικό παράγοντα καθώς δρα ως ισχυρός δέκτης ηλεκτρονίων έναντι των αζωχρωμάτων εμποδίζοντας τη διάσπασή τους ^[9]. Αναφορικά, η αερόβια βιολογική επεξεργασία προσομοιωμένου αποβλήτου σε σύστημα SBR υπό σταθερή θερμοκρασία (25 °C) έχει αποδώσει εξίσου χαμηλά ποσοστά βιοαποδόμησης, με ποσοστό αποχρωματισμού 51%, μείωση του COD κατά 20-24% και μείωση του TN κατά 16-21%, σε διάρκεια πέντε ημερών ^[11]. Ωστόσο οι περισσότερες μελέτες που εξετάζουν τον αποχρωματισμό βιομηχανικών λυμάτων κλωστοϋφαντουργίας ακολουθούν συνήθως ένα εναλλασσόμενο αναερόβιο/αερόβιο διάγραμμα

ροής εφαρμόζοντας αναερόβιες συνθήκες για την αναγωγική διάσπαση και μείωση της έντασης του χρώματος και αερόβιες συνθήκες για τη μείωση του οργανικού φορτίου του αποβλήτου^[8,10].

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χημική επεξεργασία με κροκίδωση αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδο αποκατάστασης κλωστοϋφαντουργικών λυμάτων που σημειώνει υψηλά ποσοστά αποχρωματισμού μέσω της απομόνωσης των χρωστικών από την υγρή φάση. Οι κύριες παράμετροι που διέπουν τη διεργασία είναι η επιλογή κροκιδωτικού μέσου (ή/και και των βοηθητικών χημικών), ο καθορισμός της δοσολογίας του και το pH του εξεταζόμενου ρευστού, ενώ το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται κυρίως στην εφαρμογή προ-υδρολυμένων μεταλλικών αλάτων όπως το PAC. Σημαντική παράμετρος της διεργασίας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η διαχείριση του παραγόμενου ιζήματος μετά την επεξεργασία, που μπορεί να περιοριστεί με κατάλληλη επιλογή κροκιδωτικού μέσου.

Η επίτευξη αποχρωματισμού του αποβλήτου μέσω της αποδόμησης των ανυποχώρητων χρωστικών ενώσεων και των μεταβολικών τους προϊόντων αδιαμφισβήτητα αποτελεί σήμερα μία πρόκληση. Ο συνδυασμός της με άλλες τεχνικές βάσει των ποιοτικών χαρακτηριστικών του αποβλήτου, μεταξύ των οποίων είναι το pH, η περιεκτικότητά του σε χρωστικές ύλες, βαρέα μέταλλα, οργανικό φορτίο κλπ. μπορεί να ενισχύσει την απόδοση αποχρωματισμού.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «MADFORWATER-DevelopMent AnD application of integrated technological and management solutions FOR wasteWATER treatment and efficient reuse in agriculture tailored to the needs of Mediterranean African Countries» και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] P. S. Patil, U.U. Shedbalkar, D.C. Kalyani, J.P. Jadhav. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 35 (2008) 1181–1190.
- [2] S. Moosvi, H. Keharia, D. Madamwar. J. Microbiol. Biotechnol. 21 (2005) 667–672.
- [3] A.K. Verma, R.R. Dash, P. Bhunia. J. Environ. Manage. 93 (2012) 154–168.
- [4] R. Sanghi, B. Bhattacharya, A. Dixit, V. Singh. J. Environ. Manage. 81 (2006) 36–41.
- [5] P.M. Dellamatrice, M.E. Silva-Stenico, L.A.B. Moraes, M.F. Fiore, R.T.R. Monteiro. J. Microbiol. 48 (2017).
- [6] J. Krishnan, A. Arvind Kishore, A. Suresh, B. Madhumeetha, D. Gnana Prakash. Int. Biodeterior. Biodegrad. 119 (2017) 16–27.
- [7] R.G. Saratale, G.D. Saratale, J.S. Chang, S.P. Govindwar. J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 42 (2011) 138–157.
- [8] D.T. Sponza, M. Işık. Enzyme Microb. Technol. 34 (2004) 147–158.
- [9] R.L. Singh, P.K. Singh, R.P. Singh. International Biodeterioration and Biodegradation 104 (2015) 21-31.
- [10] Yas, S. & Kitis, M. Process safety and environment protection 8 6 (2008) 455–460.
- [11] C.S.D. Rodrigues, L.M. Madeira, R.A.R. Boaventura. Elsevier 2 (2014) 1027–1039.