

4⁰

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

18-20 Μαρτίου 2011
Θεσσαλονίκη

**Συνεδριακό Κέντρο
«Νικόλαος Γερμανός»**

Περίπτερο 8
Διεθνής Έκθεση Θεσσαλονίκης
HELEXPO

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Διοργάνωση

Ένωση Ελλήνων Χημικών
Περιφερειακό Τμήμα Κεντρικής
& Δυτικής Μακεδονίας

Συνδιοργάνωση

Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας
Δήμος Θεσσαλονίκης
Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου
& Προστασίας Περιβάλλοντος Θεσσαλονίκης
Συμβούλιο Αστικών Συγκοινωνιών Θεσσαλονίκης
Εταιρεία Ύδρευσης Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης
Τμήμα Χημείας ΑΠΘ
Σύνδεσμος Χημικών Βόρειας Ελλάδας
Πανελλήνιος Σύλλογος Χημικών Μηχανικών
- Τμήμα Κεν. Δυτ. Μακεδονίας
Πανελλήνια Ένωση Εκπαιδευτικών
για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση
Περιβαλλοντικό Δίκτυο Χημικών ENVNET
Βαλκανική Περιβαλλοντική Ένωση BENA
Ελληνικό Δίκτυο Πράσινης Χημείας

Υπό την αιγίδα



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ &
ΚΛΙΜΑΤΟΣ
ΚΑΙ
ΑΛΛΑΓΗΣ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Χορηγοί



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΩΝ
ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
RESEARCH COMMITTEE



ΕΛΛΗΝΙΚΑ
ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ



INTERGEO
Environmental Technology Ltd.



International Year of
CHEMISTRY
2011

Τιμητική Οργανωτική Επιτροπή

Α. Ανδρεόπουλος, Γενικός Γραμματέας
Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και
Κλιματικής Αλλαγής
Π. Ψωμιάδης, Περιφερειάρχης Κεντρικής
Μακεδονίας
Ι. Μπουτάρης, Δήμαρχος Θεσσαλονίκης
Ι. Μυλόπουλος, Πρύτανης Αριστοτελείου
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
Τ. Αλμπάνης, Πρύτανης Πανεπιστημίου
Ιωαννίνων
Π. Σταθακόπουλος, Πρόεδρος Οργανισμού
Ρυθμιστικού Σχεδίου & Προστασίας
Περιβάλλοντος Θεσ/κης
Π. Παπαϊωάννου, Πρόεδρος ΣΑΣΘ
Ν. Παπαδάκης, Δ/νων Σύμβουλος ΕΥΑΘ
Α. Παπουτσης, Πρόεδρος Τμήματος Χημείας
ΑΠΘ
Ν. Κάρναβος, Πρόεδρος ΠΣΧΜ-ΤΚΔΜ
Π. Παπαδοπούλου, Πρόεδρος ΠΕΕΚΠΕ Κεν.
Μακ.
Φ. Βοσνιάκος, Πρόεδρος ΒΕΝΑ
Κ. Πούλος, Πρόεδρος Ελληνικού Δικτύου
Πράσινης Χημείας
Γ. Αρβανίτης, Πρόεδρος Ένωσης Ελλήνων
Χημικών
Α. Παπαδόπουλος, Πρόεδρος ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ
Ν. Αργυρόπουλος, Πρόεδρος Συνδέσμου
Χημικών Βόρειας Ελλάδας

Επιστημονική Επιτροπή

Δ. Αχιλιάς (ΑΠΘ)
Γ. Βασιλικιώτης (ΑΠΘ)
Α. Βουλγαρόπουλος (ΑΠΘ)
Δ. Βουτσά (ΑΠΘ)
Α. Γεωργόπουλος (ΑΠΘ)
Μ. Δασενάκης (ΕΚΠΑ)
Κ. Δημάδης (Παν. Κρήτης)
Ε. Διαμαντόπουλος (Πολ. Κρήτης)
Α. Ζουμπούλης (ΑΠΘ)
Α. Καραγιαννίδης (ΑΠΘ)
Π. Κασωμένος (ΠΙ)
Ι. Κατσογιάννης (ΕΑΛΑΓ, CH)
Α. Κούγκολος (ΠΘ)
Θ. Κουϊμτζής (Πρόεδρος Φορέα Διαχ. Δ.
Αξιού)
Ι. Κωνσταντίνου (ΠΙ)
Δ. Λαμπροπούλου (ΑΠΘ)
Κ. Μάτης (ΑΠΘ)

Π. Μελίδης (ΔΠΘ)
Κ. Νικολάου (ΟΡΘ)
Α. Ξενίδης (ΕΜΠ)
Ν. Οικονόμου (ΑΠΘ)
Δ. Παντελίδου (Δ. Εχεδώρου)
Ν. Παπαδάκης (ΑΠΘ)
Β. Παπαδημητρίου (ΠΘ)
Μ. Πετρακάκης (Δ. Θεσ/κης)
Ι. Πούλιος (ΑΠΘ)
Κ. Πούλος (ΠΠ)
Κ. Σαμαρά (ΑΠΘ)
Π. Σαμαράς (ΤΕΙΘ)
Δ. Σαρηγιάννης (ΕC JRC)
Ι. Σιταράς (Πρόεδρος Τμ. Περιβ. ΕΕΧ)
Σ. Σκλαρή (ΕΚΕΤΑ)
Κ. Τριανταφυλλίδης (ΑΠΘ)
Α. Τριανταφύλλου (ΤΕΙ ΔΜ)
Ε. Τσούκαλη (ΑΠΘ)
Κ. Φυτιάνος (ΑΠΘ)

Οργανωτική Επιτροπή

Κ. Νικολάου, Συντονιστής Συνεδρίου
Α. Ζουμπούλης (Αντιπρόεδρος ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Ι. Βαφειάδης (Γεν. Γραμματέας ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Ν. Αργυρόπουλος (Ταμίας, ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Δ. Γιαννακουδάκης (ΔΕ, ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Σ. Γωγάκος (ΔΕ, ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Ι. Ζώη (ΔΕ, ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Σ. Αγγελοπούλου (ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Χ. Βίζμπα (ΣΑΣΘ)
Α. Κελέσης (ΔΘ)
Θ. Μαλαματάρη (ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Ν. Παπαδάκης (ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Β. Πλαστήρας (ΕΕΧ-ΠΤΚΔΜ)
Μ. Ράδου (ΟΡΘ)
Κ. Τριανταφυλλίδης (ΑΠΘ)
Κ. Νεοχωρίτης (γραμματέας οργανωτικής
επιτροπής)

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΜΕ MEMBRANES ΝΑΝΟΔΙΗΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΥΥΠΙΑΝΤΩΝ – ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Κ.Β. Πλάκας, Α.Ι. Καράμπελας

ΠΡΟΤΟΤΥΠΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ

Μιχαηλίδης Μ., Χερουβείμ Ε., Τεκερλεκοπούλου Α., Ακράτος Χ.Σ. και Βαγενάς Δ.Β.

ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕ MEMBRANES ΜΙΚΡΟΔΙΗΘΗΣΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Διαμαντής Β.Ι., Αναγνωστόπουλος Κ., Μελίδης Π. και Αϊβαζίδης Α.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΣΕΤΑΜΙΠΡΙΔ ΣΕ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ, ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ FENTON

Μήτσικα Έλενα, Χριστοφορίδης Χριστόφορος, Φυτιάνος Κωνσταντίνος

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΡΟΦΗΣΗΣ

Κύζας Ζ.Γ., Δαφνοπατίδου Κ.Ε., Μπικιάρης Δ.Ν. και Λαζαρίδης Ν.Κ.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕ ΝΑΝΟ-ΥΔΡΟΞΥ-ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΙΟΝΤΩΝ ΠΕΝΤΑΣΘΕΝΟΥΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ

Δεληγιάννη Ε.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Κεσκιλίδου Ε., Σαμαράς Π.

14.30 – 16.30 Διάλειμμα

16.30 – 18.00 7^η Συνεδρίαση:

Φυσικό Περιβάλλον & Οικοσυστήματα Ι

Προεδρείο: Κοντούλη-Αργυροπούλου Ε., Μαλούπα Ε.

ΒΙΟΓΕΩΧΗΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΑΤΗΣ

Π. Μιχόπουλος, Γ. Μπαλούτσος, Α. Οικονόμου, Α. Μπουρλέτσικας, Ν. Θωμάϊδης, Κ. Σαμαρά, Ε. Φαρμάκη, Ι. Πασιάς, Κ. Μπαρκονίκος, Α. Κούρας, και Σ. Κασσιώτη

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Περιστέρα Κουράκλη και Παναγιώτης Στεφανίδης

ΕΧ ΣΙΤΟΥ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΥΤΟΦΥΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΧΛΩΡΙΔΑΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΥΤΟΦΥΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Μαλούπα Ε., Κρίγκας Ν., Καρύδας Α., Παπαναστάση Κ.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ: ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Μπιμπίτσος Χ., Πέκκα Β. και Πετρίδου Ε.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΒΙΟΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ

Μ. Ζωΐδου & Γ. Συλαίος

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΡΟΦΗΣΗΣ

Κύζας Ζ.Γ., Δαφνοπατίδου Κ.Ε., Μπικιάρης Δ.Ν. και Λαζαρίδης Ν.Κ.
Τομέας Χημικής Τεχνολογίας και Βιομηχανικής Χημείας, Τμήμα Χημείας ΑΠΘ
541 24 Θεσσαλονίκη, E-mail: nlazarid@chem.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Απόβλητα που παράγονται από τα βαφεία-φινιριστήρια της κλωστοϋφαντουργίας έχουν υψηλή συγκέντρωση σε χρώμα. Περίπου 100.000 διαφορετικές χρωστικές κυκλοφορούν στο εμπόριο με μέση παραγωγή 7×10^5 τόνους ετησίως, σε όλο τον κόσμο.

Οι χρωστικές αντίδρασης αντιπροσωπεύουν περίπου 20-30% της συνολικής αγοράς των χρωστικών. Πρόκειται για έγχρωμες ενώσεις που σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς μεταξύ βαφής και ινών. Απαιτούν υψηλή συγκέντρωση σε αλάτι (έως 1.5 mol/L) κατά τη διεργασία βαφής. Περίπου 30% της ποσότητάς τους συνήθως απομακρύνεται στα απόνερα.

Η απόρριψη χρωστικών σε υδάτινους αποδέκτες δεν είναι μόνο αισθητικά δυσάρεστη, αλλά εμποδίζει επίσης και τη διείσδυση του φωτός. Επιπλέον, πολλές χρωστικές ουσίες είναι τοξικές για ορισμένες οργανισμούς. Ως εκ τούτου, η απομάκρυνση των χρωστικών ουσιών από τα υγρά απόβλητα είναι ένα μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Οι διαθέσιμες τεχνικές απομάκρυνσης χρωστικών από απόνερα διακρίνονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές. Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστούν αποτελέσματα από δύο τεχνικές: της αερο-επίπλευσης και της ρόφησης σε χιτοζάνη.

REMOVAL OF DYES FROM AQUEOUS SYSTEMS BY FLOTATION AND ADSORPTION TECHNIQUES

Kyzas G.Z., Dafnopatidou K.E., Bikiaris D.N. and Lazaridis N.K.
Division of Chemical Technology and Industrial Chemistry, School of Chemistry, Aristotle University of Thessaloniki, GR-541 24 Thessaloniki, Greece, E-mail: nlazarid@chem.auth.gr

ABSTRACT

Wastewaters from the dyeing-finishing of textiles are highly concentrated in color. Approximately 100,000 different dyes can be found in market with an average production of 7×10^5 tons per year worldwide.

The reactive dyes represent about 20-30% of the total market for dyes. These colored compounds form covalent bonds between dye and fibbers. They require a high concentration of salt (up to 1.5 mol/L) during the dyeing process. Approximately 30% of them are usually removed in the waste.

The rejection of dyes in water bodies are not only aesthetically unpleasant, but also prevent the penetration of light. In addition, many dyes are toxic to some organisms. Therefore, the removal of dyes from wastewater is a major environmental problem.

The available techniques of removal of dye from wastewater can be divided into physical, chemical and biological. This paper will present results from two techniques: the dispersed-air flotation and sorption on chitosan.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συνθετικές χρωστικές ουσίες, μια ομάδα οργανικών ρύπων, χρησιμοποιούνται εκτενώς στην κλωστοϋφαντουργία και στη βιομηχανία εκτύπωσης/βαφής. Αναφέρεται ότι υπάρχουν περισσότερες από 100.000 εμπορικά διαθέσιμες χρωστικές με παραγωγή πάνω από 7×10^5 μετρικούς τόνους ετησίως. Τα απόβλητα της βαφικής βιομηχανίας αποτελούν μια από τις πλέον προβληματικές κατηγορίες λυμάτων προς επεξεργασία. Έτσι, εκτός από την αντιμετώπιση της υψηλής χημικής και βιολογικής ζήτησης οξυγόνου, των αιωρούμενων σωματιδίων, πρέπει να αντιμετωπιστεί και η παρουσία χρωστικών, αφού είναι η πρώτη παράμετρος που αναγνωρίζεται από το ανθρώπινο μάτι. Η παρουσία των χρωστικών επηρεάζει σημαντικά τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα στην υδρόβια ζωή, λόγω της μειωμένης διείσδυσης του φωτός. Εκτιμάται ότι περίπου το 10 - 15% από αυτές τις χρωστικές ουσίες απελευθερώνονται στα λύματα κατά τη διάρκεια της βαφής. Επίσης, οι χρωστικές μπορεί να είναι τοξικές λόγω της παρουσίας μετάλλων και αρωματικού χαρακτήρα [1,2].

Οι χρωστικές έχουν συνήθως συνθετική προέλευση με αρωματικές μοριακές δομές που τις καθιστούν σταθερές και δύσκολα βιοδιασπάσιμες. Οι χρωστικές ταξινομούνται ανάλογα με το φορτίο που φέρουν σε: (i) ανιονικές στις οποίες περιλαμβάνονται οι απευθείας, όξινες και χρωστικές αντίδρασης, (ii) κατιονικές που εμπεριέχουν τις βασικές και (iii) μη-ιονικές που εμπεριέχουν τις χρωστικές διασποράς. Η χρωμοφόρα ομάδα σε ανιονικές και μη ιονικές χρωστικές είναι κυρίως αζω ομάδες ή ομάδες ανθρακινόνης. Η αναγωγική διάσπαση των αζω ομάδων είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό των τοξικών αμινών στα λύματα. Οι χρωστικές ουσίες με βάση την ανθρακινόνη είναι πιο ανθεκτικές στην βιοαποικοδόμηση λόγω της συμπτυκνωμένης αρωματικής δομής τους [1,2].

Οι χρωστικές αντίδρασης είναι συνήθως αζωχρώματα σε συνδυασμό με διαφορετικούς τύπους ομάδων αντίδρασης π.χ. βίνυλο-σουλφονική, χλώρο-τριαζινύλιο, τρίχλωρο-πυριμιδίνη. Διαφέρουν από όλες τις άλλες κατηγορίες χρωστικών επειδή δεσμεύονται στις υφάνσιμες ίνες, όπως το βαμβάκι, με ομοιοπολικούς δεσμούς. Χρησιμοποιούνται ευρέως στις βιομηχανίες κλωστοϋφαντουργίας λόγω των θετικών χαρακτηριστικών τους όπως το φωτεινό χρώμα, η υψηλή υδατοδιαλυτότητα και η απλή τεχνική εφαρμογή. Στα απόβλητα οι χρωστικές αντίδρασης και οι όξινες είναι οι πιο προβληματικές στην επεξεργασία τους. Επειδή αυτές τείνουν να περάσουν ανεπηρέαστες μέσα από τη συμβατική επεξεργασία. Ως εκ τούτου, η απομάκρυνσή τους είναι μεγάλης σημασίας [1,2].

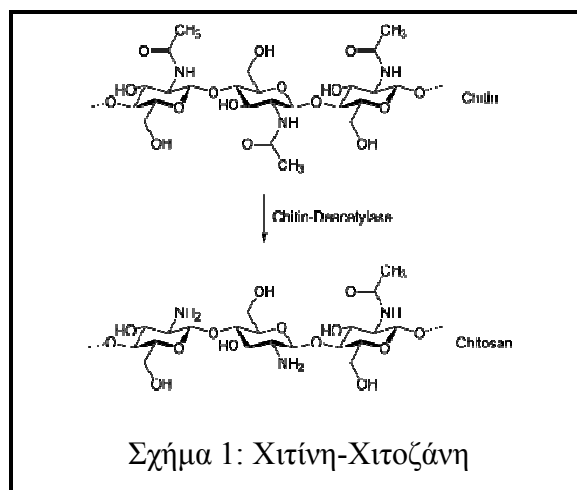
Διάφορες τεχνικές είναι διαθέσιμες για την αντιμετώπιση του προβλήματος απομάκρυνσης των χρωστικών ουσιών από υδατικά συστήματα. Ταξινομούνται σε: (i) χημικές (οξειδωτικές διαδικασίες), (ii) φυσικές (ρόφησης, ιονανταλλαγής, κροκίδωσης, επίπλευσης) και (iii) βιολογικές (με χρήση βιολογικών καλλιεργείων) [2,3,4].

Η επίπλευση χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση στην συσσωμάτωση-κροκίδωση-καθίζηση. Είναι σε θέση να αφαιρέσει σχεδόν ολοκληρωτικά τα συσσωματώματα και είναι ικανή να μειώσει σημαντικά τη θολερότητα. Η επίπλευση είναι μια σχετικά απλή διαδικασία. Εκμεταλλεύεται τη φυσική ή τεχνητή υδροφοβικότητα του ρύπου στόχου (της χρωστικής ουσίας, στη συγκεκριμένη περίπτωση) όταν μια ποσότητα φυσαλλίδων αέρα εισάγεται στο διάλυμα. Το υδρόφοβο υλικό προσκολλάται στην επιφάνεια της φυσαλλίδας και απομακρύνεται στην κορυφή της υγρής φάσης, σχηματίζοντας τελικά ένα στρώμα αφρού πλούσιο στη χρωστική ουσία. Γενικά, στην επίπλευση χρησιμοποιούνται επιφανειοδραστικές ουσίες, που ονομάζονται συλλέκτες, για να προκαλέσουν την επιθυμητή υδροφοβικότητα στο στόχο που θέλουμε να αφαιρεθεί από το υδατικό σύστημα [5].

Από την άλλη μεριά, η ρόφηση (προσρόφηση και ιονανταλλαγή) είναι επιφανειακό φαινόμενο και αναφέρεται στη συσώρευση διαλυμένου στόχου στην επιφάνεια ενός στερεού ροφητικού υλικού, με την ανάπτυξη φυσικών ή χημικών δυνάμεων μεταξύ τους. Ένα ροφητικό υλικό για να είναι εφαρμόσιμο στην τεχνολογία αντιρρύπανσης θα πρέπει να

πληροί διάφορες προϋποθέσεις, όπως: (i) υψηλή ροφητική ικανότητα, (ii) αποτελεσματικό στην απομάκρυνση ευρείας ποικιλίας ρύπων, (iii) να έχει κοκκώδη μορφή, για να χρησιμοποιηθεί σε κλίνες συνεχούς ροής, (iv) να μπορεί να αναγεννηθεί και (v) να έχει χαμηλό κόστος. Το πλέον χρησιμοποιούμενο ροφητικό υλικό είναι ο ενεργός άνθρακας, ο οποίος όμως παρουσιάζει μειονεκτήματα όπως, το υψηλό κόστος και η δυσκολία στην αναγέννησή του. Υλικά βιολογικής προέλευσης έχουν ευρέως μελετηθεί ως εναλλακτικά ροφητικά υλικά. Η μεγάλη ποικιλομορφία στις δομές και δραστικές ομάδες που υπάρχουν στις βιομάζες (μύκητες, άλγη), και τα απόβλητα της γεωργίας τα καθιστούν εν δυνάμει ροφητικά υλικά [6,7].

Ένα τέτοιο βιοπολυμερές είναι η χιτοζάνη, η οποία παράγεται από την απο-ακετυλίωση της χιτίνης (Σχήμα 1) Η χιτίνη είναι ο δεύτερος πιο διαδεδομένος δομικός πολυσακχαρίτης στη φύση μετά την κυτταρίνη και είναι γραμμικό πολυμερές της ακετυλο-γλυκοζαμίνης. Η χιτίνη απαντάται στα κελύφη των καβουριών και καρκινοειδών, στα έντομα και το ζωοπλαγκτόν. Η χιτοζάνη δεν απαντάται στην φύση τόσο συχνά όσο η χιτίνη. Οι ελεύθερες αμινομάδες της χιτοζάνης κατά μήκος του πολυμερούς προσδίδουν καινούργιες και εντελώς διαφορετικές ιδιότητες στο μόριό της [6].

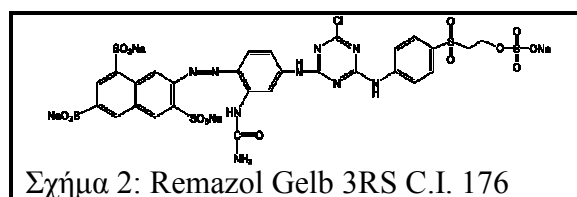


Η υψηλή περιεκτικότητα της χιτοζάνης σε άζωτο εξηγεί την υψηλή ροφητική ικανότητά της για τη δέσμευση ανιόντων. Η πρωτονίωση των ομάδων αυτών, σε όξινη περιοχή, επιτρέπει την ηλεκτροστατική έλξη των ανιόντων. Ωστόσο, η πρωτονίωση των αμινο ομάδων είναι υπεύθυνη και για τη διαλυτοποίηση της χιτοζάνης σε όξινο περιβάλλον. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό συνήθως η χιτοζάνη υφίσταται τη διαδικασία της δικτύωσης (cross-linking). Επίσης, για την αύξηση της ροφητικής ικανότητάς της υφίσταται εμβολιασμό (grafting) για την εισαγωγή δραστικών ομάδων στη δομή της [6].

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Υλικά-Μέθοδος Επίπλευσης

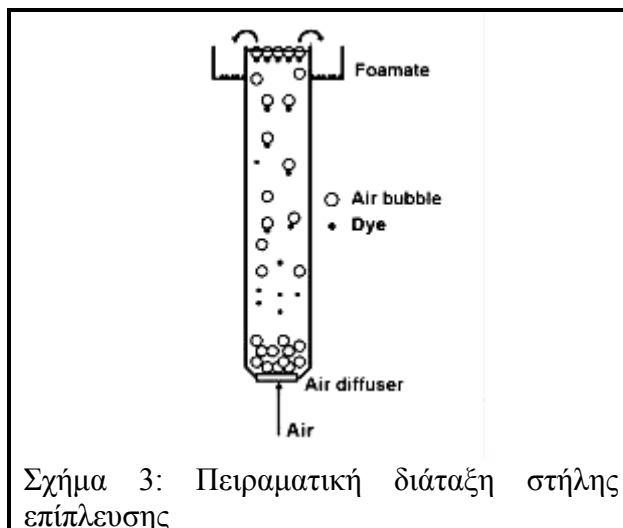
Η βαφή αντίδρασης Remazol Gelb 3RS 133% (C.I. 176, $C_{28}H_{20}ClN_9Na_4O_{16}S_5$), M.B.= 1026.25 g/mol, περιεκτικότητας 60% w/w, παραχωρήθηκε από την DyeStar (Σχήμα 2).



Το εξαδέκυλο-τριμέθυλο-αμμώνιο βρωμίδιο (CTAB, Panreac) χρησιμοποιήθηκε ως συλλέκτης. Το χλωριούχο νάτριο (NaCl, Panreac), χρησιμοποιήθηκε ως ηλεκτρολύτης για τη ρύθμιση της ιονικής ισχύος. Το pH ρυθμίστηκε στις επιθυμητές τιμές με την προσθήκη διαλύματος NaOH / HCl.

Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε τα εξής στάδια: (i) το διάλυμα της χρωστικής αρχικής (συγκέντρωσης 5 ή 50 mg/L όγκου 500 mL) φέρεται σε αντιδραστήρα ανάδευσης, (ii) προστίθεται NaCl για τη δημιουργία επιθυμητής συγκέντρωσης, (iii) ρυθμίζεται το pH του διαλύματος στο 10, που είναι η τυπική τιμή του λουτρού βαφής, (iv) προστίθεται συλλέκτης (CTAB), (v) συνεχίζεται η ανάδευση για 20 λεπτά (200 rpm) και (vi) μεταφέρεται στη στήλη επίπλευσης με ροή αέρα 100 cc/min [8].

Η στήλη επίπλευσης διεσπαρμένου αέρα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Ο πυθμένας έφερε πορώδες διάφραγμα-διαχυτή (Schott D4) για τη διαβίβαση αέρα και το σχηματισμό φυσαλίδων. Η στήλη Perspex είχε εσωτερική διαμέτρου 4 cm και συνολικό ύψος 60 cm. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, δείγματα μικρού όγκου παραλαμβάνονταν από τον πλαινό δειγματολήπτη. Η συγκέντρωση της χρωστικής υπολογίστηκε με τη χρήση φασματοφωτομέτρου UV-Vis (μοντέλο U-2000, Hitachi), μετά τη μέτρηση της απορρόφησης στο $\lambda_{\max}$ 419nm.



Σχήμα 3: Πειραματική διάταξη στήλης επίπλευσης

2.2. Υλικά-Μέθοδολογία Προσρόφησης

Έξι παράγωγα της χιτοζάνης, διαμέτρου ~1000 μm , και ένας τύπος εμπορικού ενεργού άνθρακα, υλικό σύγκρισης, χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα προσρόφησης. Τα παράγωγα χιτοζάνης που παρασκευάστηκαν και μελετήθηκαν ήταν: (i) δικτυωμένη χιτοζάνη (Ch) (ii) δικτυωμένη και εμβολιασμένη με ακρυλαμίδιο (Ch-g-Aam), (iii) δικτυωμένη και εμβολιασμένη με ακρυλικό οξύ (Ch-g-Aa), (iv) δικτυωμένη και εμβολιασμένη με N-βινυλιμιδαζόλιο (Ch-g-VID), (v) δικτυωμένη και εμβολιασμένη με σουλφονικές ομάδες (Ch-g-Sulf) και (vi) δικτυωμένη και εμβολιασμένη με ίμινο ομάδες (Ch-g-PEI) [9].

Τα πειράματα προσρόφησης πραγματοποιήθηκαν σε κωνικές φιάλες με την ανάμιξη όγκου $V=50$ mL διαλύματος χρωστικής με $m=0.05$ g ροφητικού υλικού. Το pH διατηρήθηκε σταθερό στην τιμή 2, εκτός των πειραμάτων μεταβολής του. Η ιονική ισχύς σταθερή 10^{-3} M (NaCl), εκτός των πειραμάτων μεταβολής της. Οι φιάλες τοποθετήθηκαν σε θερμοστατούμενο (25°C) τάρακτρο με ρυθμό ανατάραξης 160 rpm. Στα πειράματα ισορροπίας ο χρόνος επαφής ήταν σταθερός 24 h με εύρος αρχικής συγκέντρωσης 0 -1000 mg/L. Στα κινητικά πειράματα ο χρόνος επαφής μεταβλήθηκε στο εύρος 5 min - 24 h.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα επίπλευσης

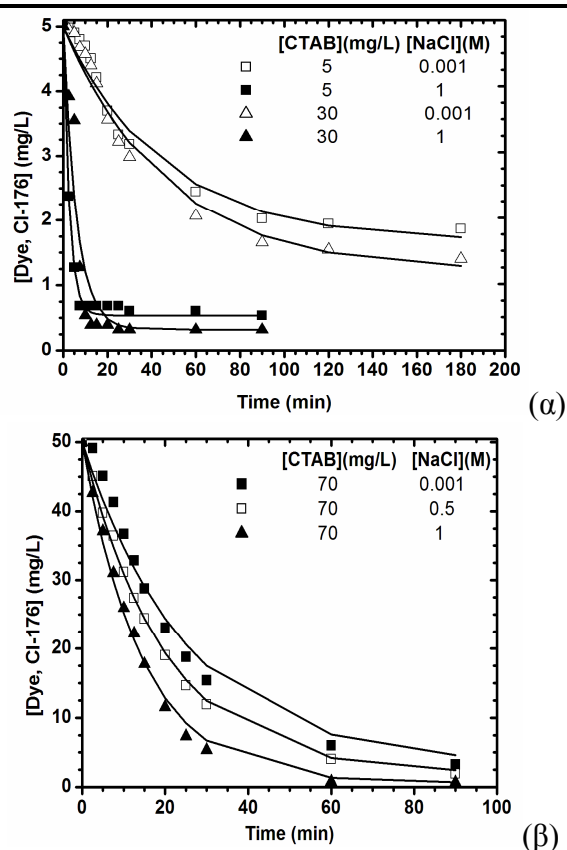
Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η επίδραση του χρόνου επίπλευσης, της συγκέντρωσης του συλλέκτη και της ιονικής ισχύος στην παραμένουσα συγκέντρωση χρωστικής για $[C_0]=5$ mg/L και $[C_0]=50$ mg/L.

Όπως φαίνεται, με την αύξηση του χρόνου επίπλευσης ελαττώνεται η παραμένουσα συγκέντρωση χρωστικής. Στο Σχήμα 4α παρατηρούμε τη θετική επίδραση της αύξησης της συγκέντρωσης του συλλέκτη. Στο υδατικό διάλυμα, τα κατιόντα του συλλέκτη CTA^+ αντιδρούν με την ανιονική χρωστική D^- με αποτέλεσμα το σχηματισμό του υδρόφοβου συμπλόκου CTAD. Αύξηση της συγκέντρωσης του συλλέκτη οδηγεί σε αύξηση του επιπλεύσιμου συμπλόκου. Η αντίδραση του συμπλόκου με τις φυσαλίδες θεωρήθηκε ότι ακολουθεί μοντέλο πρώτης τάξης, το οποίο δίνεται από την παρακάτω σχέση [8]:

$$C_t = C_e + (C_0 - C_e)e^{-kt} \quad (1)$$

Όπου C_0 , C_t , C_e η αρχική, η παροδική και η συγκέντρωση ισορροπίας (mg/L), αντίστοιχα. Η σταθερά k (min^{-1}) δίνει το ρυθμό επίπλευσης.

Επίσης, στα Σχήματα 4α, 4β είναι εμφανής η θετική επίδραση της αύξησης της ιονικής ισχύος. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη συμπίεση της ηλεκτρικής διπλοστιβάδας που περιβάλλει το σύμπλοκο, με αποτέλεσμα αυξημένη συσσωμάτωση του συμπλόκου CTAD. Η τελευταία οδηγεί και σε μεγαλύτερη επιπλευσιμότητά του. Τα πειραματικά αποτελέσματα προσαρμόστηκαν στην Εξ. 1 με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα (συνεχής γραμμή, $R^2 > 0.980$). Υπό τις πειραματικές συνθήκες που μελετήθηκαν, παρουσιάζεται μια ταχεία πτώση της συγκέντρωσης σε σύντομο χρονικό διάστημα που ακολουθείται από μια πύ ήπια μέχρι την αποκατάσταση κάποιας ψεύδο-ισορροπίας (σε ορισμένα). Αυτή φαίνεται ότι, για $[C_0] = 5 \text{ mg/L}$, επιτυγχάνεται σε χρόνο 10 min. Η τελικά παραμένονσα ποσότητα χρωστικής και στις δυο συγκεντρώσεις είναι μικρότερη ή ίση από 1 mg/L.



Σχήμα 4: Επίδραση του χρόνου επίπλευσης, της συγκέντρωσης του συλλέκτη και της ιονικής ισχύος στη συγκέντρωση χρωστικής (α) $[C_0] = 5$, (β) $[C_0] = 50 \text{ mg/L}$.

3.2 Αποτελέσματα προσρόφησης

Τα κινητικά αποτελέσματα προσαρμόστηκαν στο μοντέλο ψεύδο-δεύτερης τάξης που δίνεται από την παρακάτω Εξίσωση, όπου η σταθερά k_2 (min^{-1}) δίνει το ρυθμό ρόφησης [9]:

$$C_t = C_0 + (C_0 - C_e) \left(1 - \frac{1}{1 + k_2 t} \right) \quad (2)$$

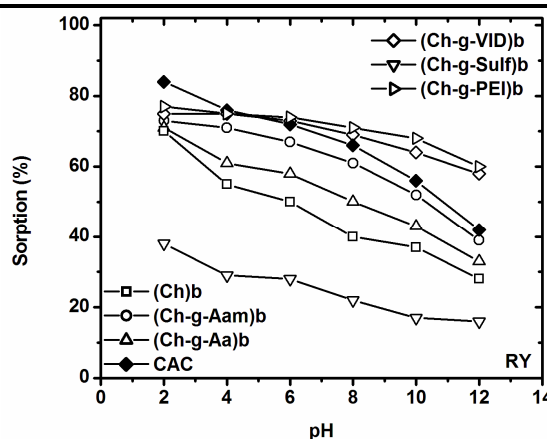
Τα αποτελέσματα ισορροπίας, με μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης της χρωστικής, προσαρμόστηκαν στο μοντέλο Langmuir–Freundlich (L-F) που δίνεται από την παρακάτω Εξίσωση [9]:

$$Q_e = \frac{Q_{\max} (K_{LF} C_e)^b}{1 + (K_{LF} C_e)^b} \quad (3)$$

Όπου Q_e και $Q_{\max}$ (mg/g) είναι η συγκέντρωση ισορροπίας και η μέγιστη συγκέντρωση στη στερεά φάση, αντίστοιχα. K_{LF} (L/mg)^{1/b} είναι η σταθερά Langmuir–Freundlich και b η σταθερά ετερογένειας. Η μετατροπή του C_e σε Q_e δίνεται από τη σχέση ισοζυγίου μάζας:

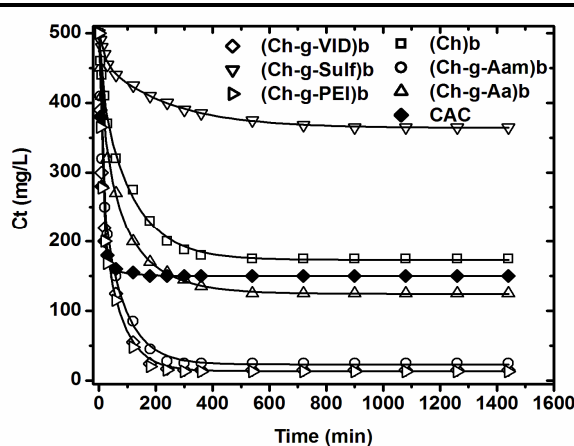
$$Q_e = (C_0 - C_e) V / m \quad (4)$$

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η επίδραση του pH και του τύπου του υλικού στη ρόφηση (%). Διακρίνουμε ότι το μέγιστο της ρόφησης παρατηρείται σε εξαιρετικά όξινη τιμή pH=2. Με την αύξηση του pH εμφανίζεται σταδιακή μείωση της δέσμευσης. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην ισχυρή πρωτονίωση των αμινο ομάδων σε όξινες τιμές pH με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ηλεκτροστατική έλξη της ανιονικής χρωστικής. Τα υλικά ακολουθούν την παρακάτω σειρά ρόφησης Ch-g-PEI> Ch-g-VID> Ch-g-Aam> Ch-g-Aa> Ch> Ch-g-Sulf, που μπορεί να αποδοθεί σε αντίστοιχη κλιμάκωση της βασικότητας των υλικών.



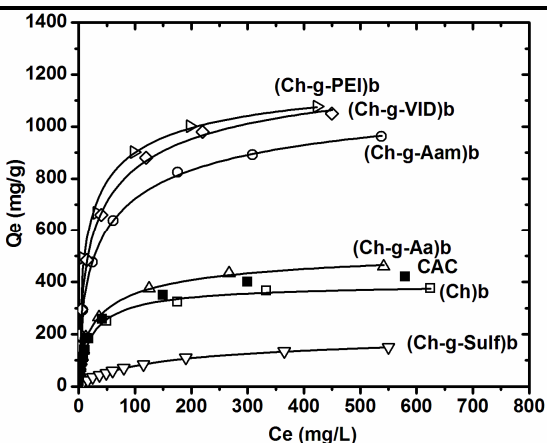
Σχήμα 5: Επίδραση του pH και του τύπου του υλικού στη ρόφηση (%), $[C_0]=100$ mg/L.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η επίδραση του χρόνου επαφής και του τύπου του υλικού στην παραμένουσα συγκέντρωση χρωστικής. Διαπιστώνεται μια ταχεία ελάττωση της συγκέντρωσης, εντός χρόνου 50 min, η οποία ακολουθείται από μια πτώση μέχρι 200 min οπότε αρχίζει να επέρχεται η ισορροπία. Τα υλικά ακολουθούν την προηγούμενη ακολουθία ρόφησης. Φαίνεται ότι, το Ch-g-PEI υλικό παρουσιάζει την καλύτερη συμπεριφορά. Τα αποτελέσματα προσαρμόστηκαν στην Εξ. 2 (που παριστάνεται με τη συνεχή γραμμή) με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα ($R^2>0.990$).



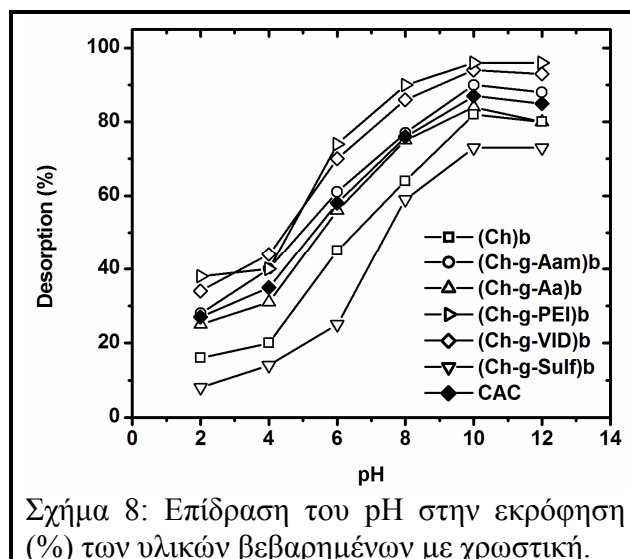
Σχήμα 6: Επίδραση του χρόνου επαφής και του τύπου του υλικού στην παραμένουσα συγκέντρωση χρωστικής, $[C_0]=500$ mg/L.

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η επίδραση της αρχικής συγκέντρωσης χρωστικής και του τύπου του υλικού στην κατανομή ισορροπίας μεταξύ υγρής και στερεή φάσης. Η αναλογία μεταξύ της συγκέντρωσης στην υγρή και στερεά φάση ελαττώνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση της χρωστικής δίνοντας μία κοίλη μορφή. Οι καμπύλες έχουν τη μορφή τυπικών ισοθέρμων και δείχνουν ένα σταδιακό κορεσμό των υλικών. Τα αποτελέσματα προσαρμόστηκαν στην Εξ. 3 (που παριστάνεται με τη συνεχή γραμμή) με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα ($R^2>0.990$). Το εντυπωσιακό είναι η υψηλή ροφητική ικανότητα των υλικών Ch-g-PEI> Ch-g-VID> Ch-g-Aam> Ch-g-Aa που εμφανίζεται μεγαλύτερη από του άνθρακα.



Σχήμα 7: Επίδραση της αρχικής συγκέντρωσης χρωστικής και του τύπου του υλικού στην κατανομή ισορροπίας μεταξύ υγρής και στερεή φάσης. $[C_0]=0-1000$ mg/L.

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται η επίδραση του pH στην εκρόφιση (%) των βεβαρημένων με χρωστική υλικών. Διακρίνουμε ότι αυξάνοντας την τιμή pH αυξάνεται και το ποσοστό εκρόφισης για όλα τα υλικά. Το μέγιστο της εκρόφισης παρατηρείται σε εξαιρετικά αλκαλική τιμή pH=12. Με την αύξηση του pH η συγκέντρωση των υδροξυλίων αυξάνεται και αντικαθιστά τα ανιόντα χρωστικής από τα υλικά. Επίσης, παρατηρούμε ότι εκρόφιση μεγαλύτερη του 90 % παρουσιάζουν τα υλικά Ch-g-PEI> Ch-g-VID> Ch-g-Aam που είναι μεγαλύτερη από του ενεργού άνθρακα.



Σχήμα 8: Επίδραση του pH στην εκρόφιση (%) των υλικών βεβαρημένων με χρωστική.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω πειράματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1) Για την επίπλευση

- Η επίπλευση διεσπαρμένου αέρα είναι μια τεχνική ταχύτατη και αποτελεσματική στην απομάκρυνση χρωστικών ακόμη και παρουσία υψηλής ιονικής ισχύος.
- Η υπολλειμματική συγκέντρωση χρωστικής μπορεί να είναι <1 mg/L.

2) Για την προσρόφιση

- Τα υλικά που παρασκευάστηκαν ακολουθούν την παρακάτω σειρά χωρητικότητας ρόφησης (mg/g): Ch-g-PEI (1329)> Ch-g-VID (1267)> Ch-g-Aam (1160)> Ch-g-Aa(575) > CAC (551)>Ch (398)> Ch-g-Sulf (204).
- Τα υλικά παρουσιάζουν ικανοποιητική ταχύτητα δέσμευσης και δυνατότητα εκρόφισης.
- Από τα παραπάνω φαίνεται ότι αρκετά υλικά, ιδιαίτερα το Ch-g-PEI, παρουσιάζουν συμπεριφορά καλύτερη από του ενεργού άνθρακα και ελπιδοφόρα για να χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερη κλίμακα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Zollinger H. (2003) 'Color Chemistry', Zurich, Wiley-VCH.
- 2 Robinson T., G. Mc-Mullan, R. Marchant, and P. Nigam (2001) 'Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative', Bioresource Technology, 77: 247-255.
3. Pandey A., P. Singh and L. Iyengar (2007) 'Bacterial decolorization and degradation of azo dyes-Review', International Biodeterioration & Biodegradation, 59: 73-84.
- 4 Svarovsky L. (1981) 'Solid-liquid Separation', Butterworths, London.
- 5 Murugananthan M., G. Bhaskar-Raju and S. Prabhakar (2004) 'Separation of pollutants from tannery effluents by electro flotation', Separation and Purification Technology, 40: 69-75.
- 6 Crini G. (2005) 'Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment', Progress Polymer Science, 30: 38-70.
- 7 Aksu Z. (2005) 'Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review', Process Biochemistry, 40: 997-1026.

- 8 Dafnolatidou E.K. and N.K. Lazaridis (2008) 'Dyes removal from simulated and industrial textile effluents by dissolved-air and dispersed-air flotation techniques', *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47: 5594-5601.
- 9 Kyzas G.Z. and N.K. Lazaridis (2009) 'Reactive and basic dyes removal by sorption onto chitosan derivatives', *Journal Colloid Interface Science*, 331: 32-39.