

Σχέδιο Ανακύκλωσης Ενεργού Άνθρακα, για τον Καθαρισμό Πόσιμου Νερού

Αφεντούλης Σταφυλαράκης

Πτυχιούχος Μηχανολόγος Μηχανικός και Μεταπτυχιακός
φοιτητής ΔΙΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

afestaf@gmail.com

Χρυσή Κασσιανή Καραπαναγιώτη

Επικ. Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Πατρών και Μέλος ΣΕΠ
ΔΙΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

karapanagiotti@upatras.gr

Περίληψη

Παρά την τρέχουσα ευρωπαϊκή οδηγία 98/83/ΕΚ, εξακολουθούν να υπάρχουν προβλήματα με το πόσιμο νερό στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και στην Ελλάδα. Τα φίλτρα ενεργού άνθρακα (ΑC) χρησιμοποιούνται ερeύως για τον καθαρισμό του νερού σε οικιακή κλίμακα δημιουργώντας ένα νέο απόβλητο το οποίο καταλήγει στα στερεά απορρίμματα. Στην παρούσα εργασία περιγράφονται οι τρόποι αναγέννησης του εξαντλημένου ΑC προκειμένου να μετατραπεί από τοξικό απόβλητο σε ροφητή έτοιμο να επαναχρησιμοποιηθεί. Στις μεθόδους αναγέννησης του ΑC συμπεριλαμβάνονται οι εξής: η αναγέννηση με χρήση μικροκυμάτων με χρήση υπερήχων (θερμική εκρόφιση), η αναγέννηση με όζον ή με αντιδραστήριο Fenton (χημική οξείδωση), η ηλεκτροχημική, η καταλυτική και η βιολογική αναγέννηση (αποσύνθεση). Η επιλεγείσα μέθοδος αναγέννησης ενεργού άνθρακα είναι η τεχνολογία χρήσης μικροκυμάτων. Προτείνεται ένα σχέδιο για παροχή καθαρού πόσιμου νερού στους κατοίκους μιας περιοχής με χαμηλής ποιότητας πόσιμο νερό, με χρήση ΑC παρασκευασμένου από απόβλητα. Ο ενεργός άνθρακας θα αναγεννάται και θα επαναχρησιμοποιείται με τρόπο οικονομικό, με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος.

Λέξεις-Κλειδιά: ενεργός άνθρακας (ΑC), πόσιμο νερό, ρόφιση, αναγέννηση.

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποιότητα του πόσιμου νερού, είναι ένα ζήτημα πρωταρχικού ενδιαφέροντος για τους κατοίκους της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με την τρέχουσα οδηγία 98/83/ΕΚ, θεσπίζονται οι απαιτήσεις ποιότητας που πρέπει να πληρούνται από το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση στα κράτη μέλη, με στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Τα τελευταία χρόνια, η επεξεργασία του πόσιμου νερού γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη, κυρίως λόγω της έκπλυσης ενός αριθμού τοξικών χημικών ουσιών ανθρωπογενούς προέλευσης, σε φυσικούς φορείς επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, συνέπεια της εκβιομηχάνισης και της αστικοποίησης, αλλά και του σχηματισμού παραπροϊόντων απολύμανσης από την

αντίδραση μεταξύ χλωρίου και οργανικών συστατικών που υπάρχουν στα εισερχόμενα νερά.

Παρά το γεγονός ότι η Ευρώπη, σε γενικές γραμμές, δεν αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα με το πόσιμο νερό, εξακολουθούν να υπάρχουν ζητήματα με την ποιότητα, που σχετίζονται κυρίως με την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας του και με τις ατέλειες στα δίκτυα διανομής του. Σε όλα τα κράτη της Ε.Ε., έχουν καταγραφεί παραβάσεις σε ζώνες παροχής νερού όσο αναφορά στα κολοβακτηρίδια, στον σίδηρο, στο αρσενικό, στον οργανικό άνθρακα, και στο αμμώνιο.

Ο ενεργός άνθρακας (ΑC), είναι ένα ροφητικό υλικό με πορώδη επιφάνεια, ελεγχόμενη δομή πόρων, θερμοσταθερότητα, και υψηλό βαθμό ενεργοποίησης της επιφανείας του (Lietal., 2008). Λόγω του μεγάλου εμβαδού επιφανείας και της πορώδους δομής του, μπορεί με φυσικό τρόπο να ροφά ενώσεις διαλυμένες σε υγρά (Matson and Mark, 1971).

Μετά τον κορεσμό του πορώδους από ροφημένους ρύπους, γίνεται ένα επικίνδυνο απόβλητο. Για την προστασία του περιβάλλοντος, ο ΑC δύναται να αναγεννηθεί με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του.

Οι μέθοδοι αναγέννησης του ΑC που εξετάστηκαν είναι η θερμική αναγέννηση, η υγρή οξείδωση, η βιολογική επεξεργασία, η εκχύλιση με διαλύτη, η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά, η αναγέννηση με χρήση μικροκυμάτων ή με χρήση υπερήχων, η ηλεκτροχημική αναγέννηση, η αναγέννηση με όζον ή με αντιδραστήριο Fenton, και η καταλυτική αναγέννηση.

Η επιλεγείσα μέθοδος αναγέννησης πρέπει να εξασφαλίζει (Pelechet al., 2005) τον υψηλότερο δυνατό βαθμό εκρόφισης/αποσύνθεσης των ροφημένων ενώσεων, την ελάχιστη δυνατή διάβρωση και μηχανική καταστροφή του ΑC, εύκολη πρόσβαση και οικολογική ασφάλεια του χρησιμοποιημένου παράγοντα αναγέννησης και ευκολία διαχωρισμού των ενώσεων που απομακρύνθηκαν από το εκρόφημα.

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα και ανασκόπηση σχετικά με τις δυνατότητες των μεθόδων αναγέννησης του ΑC, τόσο τις συμβατικές όσο και τις νεότερες και τις πειραματικές.

Μελετώνται και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανά μέθοδο, με σύνοψη των επιμέρους χαρακτηριστικών.

Ελέγχεται η συνολική απόδοση της κάθε μεθόδου αναγέννησης, μετρώντας τον βαθμό εκρόφησης ή αποσύνθεσης των ροφημένων ουσιών και τις φυσικές και χημικές παραμέτρους των αναγεννημένων δειγμάτων, όπως την ικανότητα ρόφησης, τον όγκο και την κατανομή των πόρων, το εμβαδόν επιφάνειας, την απώλεια μάζας του AC (ποσοστό φθοράς/καταστροφής) και τον βαθμό αναγέννησης έναντι των κύκλων αναγέννησης. Ελέγχεται επίσης, η επίδραση των παραμέτρων και των συντελεστών που επηρεάζουν την κάθε διαδικασία αναγέννησης, όπως η ένταση του μέσου αναγέννησης, ο απαιτούμενος χρόνος επεξεργασίας, η ποσότητα ροφητή και ροφημένων ουσιών, η θερμοκρασία, η πίεση, η ύπαρξη καταλυτών, κ.α.

III. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

A. Αναγέννηση AC με χρήση μικροκυμάτων (μέθοδος θερμικής εκρόφησης)

Η αναγέννηση μικροκυμάτων προσφέρει επιπλέον πλεονεκτήματα σε σχέση με τη συμβατική επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένων του ταχύ και ακριβή ελέγχου της θερμοκρασίας της κλίνης AC, του μικρότερου χρόνου αναγέννησης, του πιο συμπαγή φούρνου, και της εξοικονόμησης ενέργειας (Quanetal., 2004). Η μεσοπόρωση των δειγμάτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία σε φούρνο μικροκυμάτων, είναι μεταξύ 20% και 30% μεγαλύτερη, από εκείνα που επεξεργάζονται σε συμβατικό ηλεκτρικό κλίβανο (EF).

Η αναγέννηση μικροκυμάτων οδηγεί σε καλύτερη απόδοση των AC, όσο αφορά στη μέγιστη ικανότητα ρόφησης και το ρυθμό ρόφησης, σε σύγκριση με τις συμβατικές θερμάνσεις (ChaandCarlisle, 2001). Παράλληλα, οι ροφητικές ικανότητες του AC, μετά από τους επόμενους κύκλους αναγέννησης, βρέθηκαν να είναι μεγαλύτερες από την εφαρμογή ενέργειας μικροκυμάτων, σε σύγκριση με την αναγέννηση σε EF (Aniaetal., 2005). Μετά από έξι κύκλους, η μείωση της ικανότητας ρόφησης σε σύγκριση με το αρχικό δείγμα, μειώνεται στο 70% στον MW, σε σχέση με το 82% στον EF.

Η θέρμανση των ροφημένων ουσιών δύναται να είναι επιλεκτική με βάση τις διηλεκτρικές τους ιδιότητες, επιτρέποντας το διαχωρισμό των ροφημένων ουσιών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκρόφησης, απλουστεύοντας την επεξεργασία μετά την αναγέννηση κατά την επεξεργασία ρευμάτων ατμού πολλών συστατικών (Hashishoetal., 2005).

B. Αναγέννηση AC με χρήση υπερήχων (μέθοδος θερμικής εκρόφησης)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) ροφημένες φυσικά ή χημικά σε AC, μπορούν είτε να εκροφηθούν με υπερήχους και στη συνέχεια να αποσυντεθούν τα εκροφήματα στην υγρή φάση ή να αποδομηθούν απευθείας πάνω στον AC με τη βοήθεια υπερήχων (LimandOkada, 2005).

Υπάρχουν δυνατότητες για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, με την αλλαγή της συχνότητας και της έντασης. Η μεγαλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται στα 800 kHz, όπου φαίνεται να ευνοούνται οι συνθήκες δημιουργίας ακουστικής σπηλαίωσης. Η προσθήκη NaOH στο σύστημα εκρόφησης, αυξάνει την ποσότητα

της ουσίας που εκροφάται. Η αύξηση του χρόνου επεξεργασίας πέραν της 1 ώρας, δεν ενίσχυσε την αποτελεσματικότητα της εκρόφησης, ενώ αντίθετα η αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος, ενισχύει σημαντικά το ποσοστό εκρόφησης της ροφημένης ουσίας.

Η απώλεια μάζας του AC λόγω διάβρωσης, αν και περίπου η μισή σε σύγκριση με αυτή της θερμικής επεξεργασίας (περ. 10%), κρίνεται σχετικά υψηλή.

C. Αναγέννηση AC με όζον (αποσύνθεση με χημική οξείδωση)

Λόγω της υψηλής οξειδωτικής ισχύς του, το όζον μπορεί να αντιδράσει με τις ροφημένες ουσίες, αφαιρώντας τις από την επιφάνεια του AC. Η αντίδραση μπορεί να λάβει χώρα απευθείας ή μέσω ελευθέρων ριζών, που προκύπτουν από την αποσύνθεση του όζοντος πάνω στην επιφάνεια του AC (JansandHoigne, 1998).

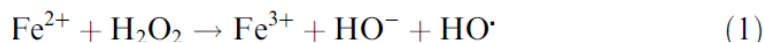
Η φαινόλη π.χ. ροφάται πάνω στον AC με φυσικούς και χημικούς μηχανισμούς. Το χημικώς ροφημένο ποσοστό, είναι συνήθως πάνω από 50% και είναι δύσκολο να απομακρυνθεί με επεξεργασία πυρόλυσης, δεδομένου ότι τα απανθρακωμένα προϊόντα συγκρατούνται στην επιφάνεια του AC. Η χρήση ενός οξειδωτικού είναι υποχρεωτική για να είναι εφικτή η θερμική αναγέννηση. Όταν χρησιμοποιείται CO₂, η ικανότητα του αναγεννημένου AC στην πρόσληψη φαινόλης ανακάτται πλήρως, μόνο όταν το ποσοστό που έχει καεί είναι περίπου 15%. Άμεσος οξονισμός του AC, επηρεάζει τη χημική του δομή με τη διαμόρφωση όξινων επιφανειακών λειτουργικών ομάδων (κυρίως καρβοξυλικών), που εμποδίζουν, τουλάχιστον εν μέρει, τη ρόφηση της φαινόλης.

Ωστόσο, αν χρησιμοποιηθεί πάρα πολύ όζον, αλληλοεπιδρά με την επιφάνεια του AC, παράγονται διάφορες επιφανειακές λειτουργικές ομάδες, οι οποίες μειώνουν την επιφάνεια ή παίζουν αρνητικό ρόλο στη ρόφηση της φαινόλης.

Ο βασικός παράγοντας για την αναγέννηση AC με χρήση όζοντος, είναι η εκτίμηση της βέλτιστης δόσης του όζοντος που θα εφαρμοστεί.

D. Αναγέννηση AC με αντιδραστήριο Fenton (χημική οξείδωση)

Το σύστημα βασίζεται στο υπεροξειδίο του υδρογόνου, ένα καθαρό οξειδωτικό και ένα άλας δισθενούς σιδήρου, για την παραγωγή ριζών υδροξυλίου HO[•] (Εξίσωση 1), οι οποίες είναι πολύ δραστικές για την οξείδωση οργανικών μορίων σε υδατικό μέσο (GoldsteinandMeyerstein, 1999).



Το αντιδραστήριο Fenton φαίνεται να μην επηρεάζει σημαντικά την πορώδη δομή, την επιφάνεια ή τις επιφανειακές χημικές ιδιότητες του AC. Η μετρούμενη επιφάνεια BET και η κατανομή του μεγέθους των πόρων μετά την επεξεργασία Fenton (718 m²/g), ήταν παρόμοια με εκείνη που μετρήθηκε για τον αρχικό AC (720 m²/g) (Toledoetal., 2003), καθιστώντας το αντιδραστήριο Fenton πολύ αποτελεσματικό στην καταστροφή οργανικών, ροφημένων σε AC, ακόμη και των πιο πυρίμαχων οργανοχλωριομένων ενώσεων.

Ο σχηματισμός $\text{HO}^\bullet$, που παράγεται από το αντιδραστήριο Fenton, προκαλεί σε κάποιο βαθμό υδροξυλίωση της ενεργοποιημένης επιφάνειας του AC, περισσότερο στην πρώτη επεξεργασία, οδηγώντας σε αύξηση της απώλειας βάρους του AC. Μειονέκτημα, είναι επίσης, η ανάγκη μεγάλων ποσοτήτων αντιδραστήριου και η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων υλούς.

Ε. Αναγέννηση AC με ηλεκτροχημική μέθοδο (αποσύνθεση)

Η απόδοση της ηλεκτροχημικής μεθόδου εξαρτάται από το φορτίο που διοχετεύεται μέσω του χρησιμοποιημένου AC, αλλά και τον τύπο του ηλεκτρολύτη, και τη συγκέντρωσή του (Narbaitz and Cen, 1994).

Το νερό βρύσης ως ρευστό επεξεργασίας, παρουσίασε χειρότερη απόδοση από εκείνη του 0,1 M NaCl (Brown et al., 2004), λόγω της έλλειψης παρουσίας ηλεκτρολύτη υποστήριξης στο διάλυμα, που είναι απαραίτητος για τη μεταφορά ηλεκτρονίων. Η αύξηση του χρόνου επεξεργασίας και του ηλεκτρικού πεδίου, οδηγεί επίσης σε καλύτερη αναγέννηση, από τη μεγαλύτερη φόρτιση που διοχετεύεται λόγω του ισχυρότερου ρεύματος στο σύστημα. Εμφανίστηκε υψηλότερη απόδοση αναγέννησης κατά τη δοκιμή που καταναλώθηκε περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια, υπό ίδιες συνθήκες. Ωστόσο, όταν η εφαρμογή των 5 V/cm παρατάθηκε από τις 24 στις 48 ώρες, παρά την αύξηση των οργανικών, τα αποτελέσματα δεν δείχνουν σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας της αναγέννησης, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια αυξήθηκε από τα 649 στα 1363 Wh/ton. Με βάση τη σχέση μεταξύ της απόδοσης αναγέννησης και του κόστους της ενέργειας, οι βέλτιστες συνθήκες φαίνεται να είναι ηλεκτρική ένταση 5 V/cm, χρόνος επεξεργασίας 24 ώρες και ρευστό επεξεργασίας 0,1 M NaCl. Στα πειράματα ανακτήθηκε μέχρι και το 91% των ενεργών θέσεων ρόφησης, καθιστώντας την ηλεκτροχημική μέθοδο μια αποτελεσματική διαδικασία για την αναγέννηση AC, που μπορεί να λειτουργήσει και in situ.

Μειονέκτημα της ηλεκτροχημικής αναγέννησης και γενικότερα των μεθόδων αναγέννησης με χημική αποσύνθεση, είναι ότι απαιτούν μεγάλο επενδυτικό κόστος.

Φ. Καταλυτική αναγέννηση AC (οξειδωτική χημική αποσύνθεση)

Οι καταλυτικές μέθοδοι αναγέννησης AC, μπορεί να ενισχύσουν τα ποσοστά αποσύνθεσης και να ενεργοποιήσουν την αναγέννηση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και μικρότερους χρόνους παραμονής (Sheintuch and Matatov-Meytal, 2009). Τα τελευταία χρόνια προτάθηκαν αρκετά σχέδια καταλυτικής αναγέννησης, που χρησιμοποιούν είτε εκρόφηση που ακολουθείται από καταλυτική οξείδωση υγρής φάσης ή άμεση οξείδωση των ροφημένων ειδών σε ένα AC-ροφητικό, τροποποιημένο με καταλύτη.

Φωτοκαταλυτική αναγέννηση: η μέθοδος χρησιμοποιεί φωτοκαταλύτες (TiO_2 , SnO_2 , και ZrO_2), οργανωμένους σε στρώματα μέσα στην ίδια κλίνη ή εμποτισμένους στον AC, φωτιζόμενους με υπεριώδες ή ηλιακό φως, για να

παράγουν πολύ δραστικές ρίζες οι οποίες μπορούν να αδρανοποιήσουν τις ροφημένες οργανικές ενώσεις.

Η φωτοκαταλυτική αναγέννηση είναι μια μακρά διαδικασία, η οποία καθίσταται ακόμα ακατάλληλη για πρακτική εφαρμογή. Ένας πιθανός τρόπος για να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητά της, είναι να αυξηθεί το ποσοστό εκρόφησης μέσω θέρμανσης και να ταιριάζει ο φωτοκαταλυτικός ρυθμός οξείδωσης, με τον ρυθμό εκρόφησης.

Άμεση οξείδωση σε AC/καταλύτη: καταλύτες (μεταλλικά οξείδια όπως Cr_2O_3 , CuO , Co_3O_4 , V_2O_5 , MoO_3 , WO_3 , και μέταλλα όπως Pt και Pd) (Nwankwo and Turk, 1975), μπορεί να εναποτεθούν επί των ροφητών έτσι ώστε θα δρουν τόσο ως ροφητικά για τη σύλληψη των διαλυμένων ρύπων, όσο και ως καταλύτες για την καταστροφή των ροφημένων ενώσεων. Με τον τρόπο αυτό, οι διεργασίες γίνονται σε μία ενιαία μονάδα, μειώνεται η διάχυση και επιταχύνεται ο ρυθμός εκρόφησης, αλλά μπορεί να μειωθεί η ικανότητα ρόφησης και να προκύψει έκπλυση μετάλλων. Επιπλέον, η καταλυτική διεργασία μπορεί να εφαρμοστεί σε συνθήκες περιβάλλοντος, με τη χρήση θερμικής ενέργειας χαμηλού δυναμικού, βελτιώνοντας ακόμη περισσότερο την οικονομία της.

Αναγωγική επεξεργασία (χημική αποσύνθεση): οι αναγωγικές μέθοδοι για σκοπούς αναγέννησης, μπορεί να προσφέρουν μια εναλλακτική λύση, για να αποφευχθεί το πρόβλημα της απενεργοποίησης του καταλύτη. Για παράδειγμα, η καταλυτική υδροαποχλωρίωση-HDC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή χλωριωμένων υδρογονανθράκων (Perrone et al., 1998) και χλωριωμένων φαινολών (Hoke et al., 1992) σε αποχλωριωμένες ενώσεις, χρησιμοποιώντας διάφορα αναγωγικά όπως H_2 και NaBH_4 (Perrone et al., 1998) ή H_2 και N_2H_4 (Balko et al., 1993), πάνω από Pd/AC.

Οι καταλυτικές διαδικασίες είναι ακόμη σε αναπτυσσόμενο στάδιο και η μακροπρόθεσμη απόδοση του καταλύτη δεν έχει ακόμη μελετηθεί. Απαιτείται καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού της αναγέννησης και εφαρμογή, σε μεγάλη κλίμακα, των νέων καταλυτικών τεχνικών.

Γ. Βιολογική αναγέννηση (αποσύνθεση)

Στη βιολογική αναγέννηση, ο AC που έχει εξαντληθεί από τη βιοαποικοδομήσιμη ουσία, τοποθετείται σε επαφή με μια καλλιέργεια μικροοργανισμών, οι οποίοι επιτελούν μια μικρή τοπική αναγέννηση (Salvador and Jimenez, 1996). Αυτή η μέθοδος μπορεί να επιτευχθεί είτε με ανάμιξη βακτηρίων με κορεσμένο AC σε offline συστήματα (Roy et al., 1999) ή κατά την πορεία της βιολογικής επεξεργασίας, όπως η επεξεργασία σκόνης AC ή βιολογικών συστημάτων AC (Vinitnantharat et al., 2001).

Η βιοαναγέννηση μπορεί να είναι η πιο οικονομική διαδικασία, εμφανίζει όμως αρκετούς περιορισμούς σχετικά με τη μη βιοαποικοδομησιμότητα. Απαιτεί ροφημένα είδη πλήρως βιοδιασπώμενα, κάτι που δεν ισχύει για πολλούς ρύπους νερού. Ορισμένοι ρύποι είναι τοξικοί προς τους μικροοργανισμούς (Tanaka and Miyake, 1999). Έχει υψηλή απαίτηση σε χρόνο (Nakano et al., 2000), δεδομένου ότι οι περισσότερες βιολογικές αντιδράσεις είναι αργές.

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συμβατικές θερμικές μέθοδοι αναγέννησης AC με εκρόφιση, αν και καθιερωμένες, απαιτούν υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι μη θερμικές μέθοδοι αναγέννησης, γίνονται ολοένα και πιο δαπανηρές και περιβαλλοντικά μη αποδεκτές, διότι οι ρύποι μεταφέρονται από μία ουσία, τον AC, σε μια άλλη (διαλύτης ή επιφανειοδραστικό), η οποία πρέπει, επίσης, να επεξεργαστεί στη συνέχεια. Η αποδοτικότητα των μεθόδων αναγέννησης με χημική αποσύνθεση, όπως η συχνά χρησιμοποιούμενη υγρή οξείδωση και οι ηλεκτροχημικές διαδικασίες, εξαρτάται κυρίως από τη διαλυτότητα των ροφημένων ουσιών. Παράλληλα, απαιτούν μεγάλο επενδυτικό κόστος. Η βιοαναγέννηση μπορεί να είναι η πιο οικονομική διαδικασία, εμφανίζει όμως αρκετούς περιορισμούς σχετικά με τη μη βιοαποικοδομησιμότητα και έχει υψηλή απαίτηση σε χρόνο.

Από τις εναλλακτικές μεθόδους αναγέννησης AC, η αναγέννηση με όζον μειώνει τις ροφητικές ιδιότητες του AC και τα ποσοστά της αναγέννησης που επιτυγχάνονται, είναι σχετικά χαμηλότερα από αυτά της θερμικής αναγέννησης. Η αναγέννηση υπερήχων, αν και υποσχόμενη, έχει το μειονέκτημα του σχετικά υψηλού ποσοστού απώλειας AC, ανά κύκλο αναγέννησης. Οι καταλυτικές τεχνικές αναγέννησης, είναι ακόμη σε αναπτυσσόμενο στάδιο και απαιτείται καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού τους. Η χρήση του αντιδραστήριου Fenton, παράγει μεγάλες ποσότητες λύος.

Προτείνεται η χρήση της τεχνολογίας μικροκυμάτων για την αναγέννηση των φίλτρων AC, η οποία εμφανίζει μοναδικά χαρακτηριστικά (Agazzian and Pirola, 2000) προσφέροντας μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως συντομότερο χρόνο επεξεργασίας, υψηλή ενεργειακή απόδοση (Zhu et al., 2007), ταχύ και ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας, καλύτερη απόδοση από την άποψη της ανώτερης ικανότητας και ρυθμού ρόφησης, επιλεκτική θέρμανση, μειωμένο μέγεθος εξοπλισμού και αποβλήτων, αναπαραγωγίσιμες διαδικασίες και καλύτερο περιβάλλον εργασίας (Nüchter et al., 2004).

Στις περιοχές που το νερό δεν καλύπτει τα απαιτούμενα ποιοτικά κριτήρια, προτείνεται σε αυτήν την εργασία, να χρησιμοποιηθεί επεξεργασία οικιακής κλίμακας, δηλαδή ένα φίλτρο AC σε μία βρύση ανά σπίτι. Με τις ιδιότητες ρόφησης που διαθέτει το φίλτρο AC, θα απομακρύνει τους ρύπους από το νερό. Ο εξαντλημένος AC των φίλτρων, που θα αντικαθίσταται ανά τακτά χρονικά διαστήματα από κάθε οικία και είναι πλέον ένα τοξικό υλικό, δε θα διατίθεται στα στερεά απορρίμματα, αλλά θα ανακυκλώνεται σε μια μονάδα αναγέννησης AC, στην ευρύτερη περιοχή.

Η πρόταση αυτή, έχει ως στόχο την παροχή καθαρού πόσιμου νερού σε όλους τους κατοίκους μιας περιοχής με χαμηλής ποιότητας πόσιμο νερό, με τρόπο οικονομικό, αφενός με την παρασκευή του AC των φίλτρων να προέρχεται από οργανικά αγροτικά παραπροϊόντα της περιοχής και αφετέρου λόγω της επαναχρησιμοποίησης μετά την αναγέννησή του, με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της προώθησης της ανακύκλωσης. Παράλληλα, δημιουργούνται θέσεις εργασίας στις

μονάδες ενεργοποίησης και αναγέννησης του AC. Για να αξιοποιηθεί η πρόταση, πρέπει να διερευνηθεί το κόστος της με τεχνοοικονομικά κριτήρια, σε πραγματική κλίμακα.

Η μελλοντική έρευνα, πρέπει να κατευθυνθεί προς την ανάπτυξη μιας τεχνολογίας, που θα παράγει οικολογικά ροφητικά, με εξαιρετικές ιδιότητες ρόφησης, με ένα απλούστερο και οικονομικά βιώσιμο τρόπο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Agazzi, A., Pirola, C. (2000). *Fundamentals, methods and future trends of environmental microwave sample preparation*. Microchem J 67:337.
- Ania, C.O., Parra, J.B., Menéndez, J.A., Pis, J.J. (2005). *Effect of microwave and conventional regeneration on the microporous and mesoporous network and on the adsorptive capacity of activated carbons*. Microporous Mesoporous Mater 2005;85:7.
- Balko, E.N., Przybylsky, E., Fon-Trentini, F. (1993). *Catalytic Hydrodehalogenation of Chlorobenzenes*. Appl. Catal. B: Environ. 2:1.
- Brown, N.W., Roberts, E.P.L., Garforth, A.A., Dryfe, R.A.W. (2004). *Electrochemical regeneration of a carbon-based adsorbent loaded with crystal violet dye*. Electrochim. Acta 49:3269–3281.
- Cha, C.Y. and Carlisle, M.W. (2001). *Microwave process for volatile organic compound abatement*. J Air Waste Manage Assoc 51:1628.
- Goldstein, S., Meyerstein, D. (1999). Comments on the “Fentonlike” reaction. *Accounts of Chemical Research* 32 (7), p. 547–550.
- Hashisho, Z., Rood, M., Botich, L. (2005). *Microwave-swing adsorption to capture and recover vapors from air streams with activated carbon fiber cloth*. J Environ Sci Technol 39:6851.
- Hoke, J.B., Gramiccioni, G.A., Balko, E.N. (1992). *Appl. Catal. B: Environ.* 1:285.
- Jans, U., Hoigne, J. (1998). *Activated carbon and carbon black catalyzed transformation of aqueous ozone into OH radicals*. Ozone Sci Eng 20(1):6, p. 7–90.
- Li, W., Zhang, L.B., Peng, J.H., Li, N., Zhu, X.Y. (2008). *Preparation of high surface area activated carbons from tobacco stems with K₂CO₃ activation using microwave radiation*. Industrial Crops and products 27:341.
- Lim, J.L., Okada, M. (2005). *Regeneration of granular activated carbon using ultrasound*. [Ultrason Sonochem](#). 12(4):277–82.
- Matson, P., Mark, H.B. (1971). *Activated Carbon: Surface Chemistry and Adsorption from Solution*. New York: Marcel Dekker.
- Nakano, Y., Hua, L.Q., Nishijima, W., Okada, M. (2000). *Biodegradation of trichloroethylene (TCE) adsorbed on granular activated carbon (GAC)*. Water Res. 34:4139.
- Narbaiz, R.M., Cen, J. (1994). *Electrochemical regeneration of granular activated carbon*. Water Res. 28, p. 1771–1778.
- Nüchter, M., Ondruschka, B., Bonrath, W., Gum, A. (2004). *Microwave assisted synthesis- a critical technology review*. R Soc Chem 6, p.128.
- Nwankwo, J., Turk, A. (1975). *Catalytic oxidation of adsorbed hydrocarbons*. Carbon 13 (1975) 397.
- Pelech, R., Milchert, E., Wróblewska, A. (2005). *Desorption of chloroorganic compounds from a bed of activated carbon*. J Colloid Interface Sci., 285(2), p.518–524.
- Perrone, L., Prati, L., Rossi, M. (1998). *Removal of chlorinated organic compounds from water by catalytic dehydrohalogenation*. Appl. Catal. B: Environ. 15:241.
- Quan, X., Liu, X.T., Bo, L.L., Chen, S., Zhao, Y.Z., Cui, X.Y. (2004). *Regeneration of acid orange 7-exhausted granular activated carbons with microwave irradiation*. Water Res 2004;38:4484.
- Roy, D., Maillacheruvu, K., Mouthon, J. J. (1999). *Bioregeneration of granular activated carbon loaded with 2*. Environ Sci Health 34:769.
- Salvador, F., Jiménez C.S. (1996). *A new method for regenerating activated carbon by thermal desorption with liquid water under subcritical conditions*. Carbon N. Y. 34:511–516.

- Sheintuch, M., Matatov-Meytal, Y. (2009). *Comparison of catalytic processes with other regeneration methods of activated carbon*. Department of Chemical Engineering, Technion-IIT, 32000 Haifa, Israel.
- Shen, M., Wang, M., Zhang, L. (1989). *Huanjing Kexue* 9:39. Quan, X., Liu, X.T., Bo, L.L., Chen, S., Zhao, Y.Z., Cui, X.Y. (2004). *Regeneration of acid orange 7-exhausted granular activated carbons with microwave irradiation*. *Water Res* 2004;38:4484.
- Tanaka, E., Miyake, A. (1999). *Waste water treatment and apparatus there of*. Tokyo Koho Jpn. Pat. 11147708 A2.
- Toledo, L., Silva, A., Augusti, R., Lago, R.M. (2003). *Application of Fenton's reagent to regenerate activated carbon saturated with organochloro compounds*. *Chemosphere* 50:1049–1054.
- Vinitnantharat, S., Baral, A., Ishibashi, Y., Ha, S.R. (2001). *Quantitative bioregeneration of granular activated carbon system*. *Environ Technol* 22:339.
- Zhu, J., Kuznetsov, A.V., Sandeep, K.P. (2007). *Mathematical modeling of continuous flow microwave heating of liquids*. *Int J Therm Sci* 46:328.