



**Α.Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ &  
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ  
ΧΡΩΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥ ΜΠΛΕ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ  
ΑΝΘΡΑΚΑ.**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ :ΚΑΜΠΟΥΡΗ ΚΡΙΣΤΕΛΑ-ΧΡΙΣΤΙΝΑ,**

**ΡΙΖΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΕΝΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ : ΠΑΠΑΣΤΕΡΓΙΑΔΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ**

# ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστούμε θερμά τον εισηγητή της πτυχιακής μας διατριβής Κο. Παπαστεργιάδη Ευθύμιο, Κο. Ριτζούλη Χρήστο και Κο. Σαμαρά Πέτρο για τη σωστή καθοδήγηση και πολύτιμη βοήθεια ώστε να κατανοήσουμε και να βγάλουμε εις πέρας αυτή τη Πτυχιακή εργασία και όλα του τα πειραματικά μέρη.

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥ  
ΜΠΛΕ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ**

**ΚΑΜΠΟΥΡΗ ΚΡΙΣΤΕΛΑ-ΧΡΙΣΤΙΝΑ**

**ΡΙΖΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΕΝΗ**

Υποβολή Πτυχιακής Διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία: 11-12-2015

Εισηγητής: Παπαστεργιάδης Ευθύμιος

# ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥ ΜΠΛΕ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ

ΚΑΜΠΟΥΡΗ ΚΡΙΣΤΕΛΑ-ΧΡΙΣΤΙΝΑ

ΡΙΖΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΕΝΗ

Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, Τμήμα  
Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη, Τ.Θ. 141

## Περίληψη

Σε πολλές εφαρμογές όπως βιομηχανίες τροφίμων, βιομηχανίες χημικών διεργασιών και επεξεργασία νερού και αποβλήτων κυρίως γίνεται χρήση ενεργών ανθράκων που δρουν ως προσροφητικά μέσα με κύριο στόχο τη προσρόφηση ουσιών ανεπιθύμητων για τη παρούσα χρήση του προϊόντος. Η προσρόφηση αποτελεί επιφανειακό φαινόμενο κατά το οποίο λαμβάνει χώρα η συγκέντρωση μιας ουσίας στην επιφάνεια μεταξύ δυο φάσεων. Το προσροφητικό μέσο όπου συμβαίνει η προσρόφηση και τη προσροφημένη ουσία η οποία προσροφάται από αυτό. Ο κύριος λόγος χρήσης αυτής της επεξεργασίας είναι η μείωση τοξικότητας του ανθρώπου από ανεπιθύμητες ύλες, αποχλωρίωση νερού, απομάκρυνση ρύπων, επεξεργασία αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση νερού και για απομάκρυνση οργανικών ενώσεων. Μια χρωστική η οποία μπορεί να δείξει τη ποσότητα προσρόφησης και χρησιμοποιείται ως προσροφημένη ουσία είναι η χρωστική του μπλε μεθυλενίου η οποία μπορεί να δείξει κατά πόσο ο κάθε ενεργός άνθρακας μπορεί να προσροφήσει μια ουσία. Τέλος, γίνονται μετρήσεις και καμπύλες για να βρεθεί ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός προσρόφησης σε σύγκριση και συνδυασμό διαφορετικών θερμοκρασιών και pH .Χρησιμοποιήθηκαν στη πειραματική διαδικασία μας θερμοκρασίες 20, 22,9 , 30, 37,1 και 38 βαθμών κελσίου σε συνδυασμό με 5, 5,6 ,7, 8,4 και 9 pH .

## Περιεχόμενα

<b>1.Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
<b>2.Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....</b>	<b>2</b>
2.1.Προσρόφηση.....	2
2.1.1.Γενικά.....	2
2.1.2.Είδη Προσρόφησης.....	4
2.1.3.Πορώδης Δομή.....	5
2.1.4.Παράγοντες που επιδρούν στη προσρόφηση.....	6
2.1.5.Ισόθερμες Προσρόφησης.....	7
2.1.6.Κινητικά Μοντέλα της Προσρόφησης.....	11
2.2.Ενεργός Άνθρακας.....	12
2.2.1.Γενικά.....	15
2.2.2.Παρασκευή Ενεργού Άνθρακα.....	16
2.2.3.Αναγέννηση Ενεργού Άνθρακα.....	17
2.2.4.Εφαρμογές Ενεργού Άνθρακα.....	22
2.3.Χρωστικές.....	23
2.3.1. Γενικά.....	23
2.3.2. Κυανό Μεθυλενίου.....	23
2.3.3.Απομάκρυνση Χρωστικής.....	23
<b>3. Σκοπός Της Πτυχιακής.....</b>	<b>26</b>
<b>4.Πειραματικό Μέρος.....</b>	<b>26</b>
4.1.Υλικά.....	26
4.2.Σκεύη και Συσκευές.....	27
4.3.Πειραματική Διαδικασία .....	28
4.3.1.Μέθοδος προσρόφησης χρωστικής.....	28

4.3.2. Φασματοφωτομετρική ανάλυση.....	29
4.3.3. Πρότυπη καμπύλη αναφοράς.....	30
4.3.4. Κατεργασία Δειγμάτων.....	31
<b>5. Μετρήσεις – Αποτελέσματα.....</b>	<b>31</b>
5.1. Επίδραση θερμοκρασίας στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα.....	32
5.2. Επίδραση του pH στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα.....	36
5.3. Επίδραση του pH στην απόδοση της προσρόφησης.....	39
5.4. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση της προσρόφησης.....	40
5.5. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απομάκρυνση χρωστικής.....	41
5.6. Επίδραση του pH στην απομάκρυνση χρωστικής.....	43
<b>6. Αποτελέσματα – Συμπεράσματα .....</b>	<b>45</b>
<b>7. Θέματα για συζήτηση.....</b>	<b>46</b>
<b>8. Βιβλιογραφία .....</b>	<b>47</b>





## 1.Εισαγωγή

Η προσρόφηση ως επεξεργασία είναι μια σημαντική μέθοδος για μελέτη στη φυσικοχημεία. Αποτελεί τη βάση για κατανόηση φαινομένων όπως η ετερογενής κατάλυση, χρωματογραφική ανάλυση και αποσαφήνιση πάσης φύσεως υγρών αποβλήτων. Αποτελεί λύση για αφαίρεση διάφορων οργανικών ενώσεων και μια από αυτές την οποία θα μελετήσουμε είναι η χρωστική του μπλε μεθυλενίου η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές μελέτες για το νερό. Λόγω του ότι οι χρωστικές ουσίες έχουν συνήθως σύνθετες αρωματικές μοριακές δομές, το καταστούν σταθερότερο και δυσκολότερο στο να βιοδιασπαστούν. Αυτή η εργασία έχει ως στόχο να μετρήσει την απόδοση του ενεργού άνθρακα στην αφαίρεση της χρωστικής του μπλε μεθυλενίου, η οποία μπορεί να είναι τοξική για τον άνθρωπο και χρησιμοποιείται ευρέως, από το νερό. Ο ενεργός άνθρακας που χρησιμοποιείται στη παρούσα μελέτη είναι εμπορικό προϊόν. Η παρούσα εργασία έχει τέλος, ως στόχο την απομάκρυνση του μπλε μεθυλενίου από το νερό με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, τους μηχανισμούς προσρόφησης και τις παραμέτρους όπως ισόθερμη freundlich και Langmuir και στατιστικά στοιχεία για σύγκριση της προσρόφησης σε διαφορετικές θερμοκρασίες και pH ώστε να βρεθούν οι καλύτερες συνθήκες για τη καλύτερη δυνατή προσρόφηση.

## 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1. Προσρόφηση

#### 2.1.1.Γενικά

Η προσρόφηση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο διάφορες επιφάνειες στερεών σωμάτων συγκρατούν ξένες ουσίες από υγρά. Διακρίνεται σε χημειορόφηση, η οποία χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία χημικού δεσμού μεταξύ της προσροφούμενης ουσίας και του προσροφούντος υλικού, καθώς και την φυσική προσρόφηση η οποία χαρακτηρίζεται από την δημιουργία διαμοριακών δυνάμεων (Van der Waals). [D.H.Everett, 2011]

Η επιφάνεια που συγκρατεί τις ουσίες λέγεται προσροφητικό μέσο, ενώ η συγκρατούμενη ουσία λέγεται προσροφούμενη ουσία. Πολλά στερεά σώματα χρησιμοποιούνται ως προσροφητικά μέσα για την απομάκρυνση διαφόρων προσμίξεων από υγρά. Τα κοινά προσροφητικά μέσα έχουν κατά κανόνα μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας, ενώ τα πιο γνωστά από αυτά είναι ο ενεργός άνθρακας, το διοξείδιο του πυριτίου και η ενεργή αλουμίνα. [McMillan, 1994]

Οι δυνάμεις της προσρόφησης περιλαμβάνουν:

- Έλξεις μεταξύ αντίθετων κουλομπτικών φορτίων
- Αλληλεπιδράσεις μεταξύ σημειακού φορτίου και δίπολου
- Αλληλεπιδράσεις δίπολου-δίπολου
- Δυνάμεις London ή van der Waals
- Ομοιοπολικούς δεσμούς με αντίδραση
- Δεσμούς υδρογόνου

Στη περίπτωση της επεξεργασίας του νερού με τη μέθοδο της προσρόφησης, επιδιώκεται απομάκρυνση διάφορων διαλυμένων οργανικών ουσιών από το νερό, όπως φυσικών και συνθετικών οργανικών ουσιών, φυτοφαρμάκων, παραπροϊόντα της απολύμανσης του νερού κ.α., με τη χρήση προσροφητικών υλικών, όπως ο ενεργός άνθρακας, που είναι προσροφητικό ευρέως φάσματος οργανικών ουσιών και οι προσροφητικές ρητίνες που χρησιμοποιούνται για επιλεκτική προσρόφηση ουσιών (Weber, 1972; 1982; 1985; Schalekamp, 1987; Urano et al., 1991; Suzuki, 1997; Nikoladze, 1989; Nadolney, 1991).

Επίσης , τα υδροξείδια του αργιλίου και του σιδήρου που σχηματίζονται κατά τη κροκίδωση προσροφούν διάφορες χρωστικές και οργανικές ουσίες που αντιδρούν με το χλώριο και σχηματίζουν επιβλαβή παραπροϊόντα. Το ίδιο συμβαίνει με τα αδιάλυτα ανθρακικό ασβέστιο και υδροξείδιο του μαγνησίου που σχηματίζονται κατά τη διεργασία της αποσκλήρυνσης , καθώς και με τα σωματίδια αργίλου που προσροφούν διάφορες συνθετικές οργανικές ουσίες. Η προσρόφηση χουμικών ουσιών σε ρητίνες ανταλλαγής ιόντων , που χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποσκλήρυνση του νερού , μπορεί να μειώσει τη δυναμικότητά του ως προς την ανταλλαγή ιόντων . Η ενεργή αλουμίνα χρησιμοποιείται κυρίως για την απομάκρυνση ανόργανων ιόντων από το νερό (φθορίου κ.α.), αλλά και χουμικών ουσιών (Λέκκας , 1996).

Ιδιαίτερα η χρήση του ενεργού άνθρακα έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο αριθμό μονάδων ύδρευσης στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη, για την απομάκρυνση από το νερό χρώματος, γεύσης, οσμής και διαφόρων διαλυμένων οργανικών ουσιών, όπως συνθετικών οργανικών ουσιών και των οργανικών παραπροϊόντων της απολύμανσης του νερού ( Schalekamp, 1987, Goodall et al, 1987). Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται είτε σε μορφή σκόνης (PAC) που προστίθεται στην αρχή της επεξεργασίας του νερού και απομακρύνεται με την καθίζηση και την διήθηση, είτε σε μορφή φίλτρου στρώματος κόκκων (GAC) , μετά την καθίζηση ή την διήθηση , το οποίο όταν κορεστεί απομακρύνεται και αναγεννάται μετά το κορεσμό.

Κατά τα τελευταία 30 χρόνια εφαρμόζεται η μέθοδος του βιολογικά ενεργού άνθρακα (BAC), δηλαδή η συνδυασμένη χρήση όζοντος ως αντιοξειδωτικού και προσρόφησης σε κοκκώδη ενεργό άνθρακα στη συνέχεια, κατά την οποία πραγματοποιείται απομάκρυνση των βιοδιασπώμενων οργανικών ουσιών με τη βιολογική δραστηριότητα των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται πάνω στους κόκκους του GAC , καθώς επίσης απομάκρυνση των μη βιοδιασπώμενων οργανικών ουσιών με προσρόφηση ( Singer, 1994; Clark et al., 1991; 1994; Jacangelo et al., 1995; Carlson et al., 1994; Bauer et al., 1995; Dazhi et al., 1992).

### 2.1.2. Είδη προσρόφησης

Η προσρόφηση μιας ουσίας σε μια επιφάνεια οφείλεται κυρίως στη δράση των δυνάμεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στα μόρια, άτομα ή ιόντα της προσροφούμενης ουσίας και τη στερεή επιφάνεια. Ανάλογα με τη φύση των δυνάμεων αυτών διακρίνονται δύο σημαντικές κατηγορίες προσρόφησης: η φυσική, και η χημική προσρόφηση. Η φυσική προσρόφηση χαρακτηρίζεται από σχετικά ασθενείς διαμοριακές δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσεως τύπου Van der Waals ως και ηλεκτροστατικές δυνάμεις πολώσεως. Η ενέργεια αλληλεπίδρασης μεταξύ των μορίων της προσροφούμενης ουσίας και του προσροφητικού δεν υπερβαίνει το 0,1 eV ανά μόριο. Αντίθετα κατά τη χημική προσρόφηση (χημειορρόφηση) η φύση των δυνάμεων είναι χημική. Εμφανίζονται ανακατατάξεις μεταξύ των ηλεκτρονίων του συστήματος με αποτέλεσμα την ανάπτυξη χημικών δεσμών και το σχηματισμό ενός χημικού συστατικού που συνίσταται από το στερεό υλικό και από ένα πρωτογενές στρώμα της προσροφούμενης ουσίας. Επομένως στη χημειορρόφηση λαμβάνει χώρα πραγματική χημική αντίδραση που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας. Ωστόσο, η χημική διακρίνεται από τη χημική αντίδραση, αφού περιορίζεται σε επιφανειακές δράσεις. Αντίθετα η χημική αντίδραση επεκτείνεται σε όλη τη μάζα των αντιδρώντων. Η ενέργεια μεταξύ των προσροφούμενων μορίων και της επιφάνειας του στερεού είναι της τάξης του 1 eV ανά μόριο και η απόσταση μεταξύ των μορίων της προσροφούμενης ουσίας και της επιφάνειας του στερεού είναι πολύ μικρότερη της αντίστοιχης κατά τη φυσική προσρόφηση (Σαμαράς, 1995-Σιπητάνος, 1963).

Το κύριο κριτήριο για τη διάκριση της χημειορρόφησης από τη φυσιορρόφηση ήταν παλαιότερα η τιμή της ενθαλπίας προσρόφησης. Τιμές λιγότερο αρνητικές από -25 KJ mol<sup>-1</sup> θεωρούνταν ότι αντιστοιχούσαν σε φυσιορρόφηση, ενώ τιμές περισσότερο αρνητικό από περίπου -40 KJ mol<sup>-1</sup> θεωρούνταν ότι αντιστοιχούσαν σε χημειορρόφηση. Όμως, το κριτήριο αυτό δεν αποδεικνύεται αλάνθαστο και έτσι σήμερα για τη διάκριση του είδους της προσρόφησης χρησιμοποιούνται ειδικές φασματοσκοπικές τεχνικές (π.χ. φασματοσκοπία φωτοηλεκτρικών, δονητική φασματοσκοπία, φασματοσκοπία απώλειας ενέργειας ηλεκτρονίων κ.α.) (Παπαγιαννακόπουλος & Κοσμάς, 2001 μετά από Atkins, 1989).

Η επιτυχία της προσρόφησης ως μεθόδου διαχωρισμού, έγκειται στην επιλογή του κατάλληλου προσροφητικού υλικού. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διέπουν ένα προσροφητικό υλικό ώστε να το καθιστούν ικανό για μια διεργασία προσρόφησης είναι τα εξής:

- Μεγάλη χωρητικότητα και εκλεκτικότητα.
- Αποτελεσματική γρήγορη διάχυση εντός των σωματιδίων.
- Μεγάλη αντοχή στην σύνθλιψη, χημική και φυσική σταθερότητα, αντοχή στη φθορά.
- Δυνατότητα αναγέννησης του προσροφητικού υλικού.
- Χαμηλό κόστος ανά μονάδα μάζας ή όγκου.
- Απαίτηση ελάχιστης προ επεξεργασίας ή πρόληψης για αποφυγή πρόωρης αντικατάστασης.

### **2.1.3 Πορώδης δομή**

Οι εφαρμογές της ρόφησης αφορούν κυρίως σε πορώδη στερεά ροφητικά μέσα με μεγάλη επιφάνεια, τα οποία αποτελούνται από σωματίδια ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων και/ή παρουσιάζουν εκτεταμένο σύστημα πόρων. Η προσρόφηση είναι επιφανειακό φαινόμενο και συνεπώς τα προσροφητικά υλικά για να έχουν τη δυνατότητα να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες προσροφούμενου υλικού πρέπει να διαθέτουν μεγάλη επιφάνεια. (Καινουργιάκης, 2000)

Δεδομένου ότι στα περισσότερα πορώδη στερεά η εσωτερική επιφάνεια είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από την εξωτερική, είναι κατανοητό ότι όλες οι ιδιότητες του στερεού που σχετίζονται με την επιφάνεια αφορούν σχεδόν αποκλειστικά στην εσωτερική επιφάνεια. Στα στερεά με μεγάλη εσωτερική επιφάνεια, εκτός της συσσωμάτωση σωματιδίων υπάρχουν και άλλες διαδικασίες που είναι δυνατό να συμβάλλουν στο σχηματισμό της πορώδους δομής, όπως η απομάκρυνση μέρους του αρχικού στερεού με εκλεκτική διάλυση ή εξάτμιση ενός συστατικού. Είναι προφανές ότι η εσωτερική επιφάνεια αφορά στους πόρους, που επικοινωνούν με την εξωτερική επιφάνεια και όχι σε αυτούς που είναι απομονωμένοι από την εξωτερική επιφάνεια των συσσωματωμάτων. Η ύπαρξη στερεών μόνο με εξωτερική επιφάνεια είναι δυνατή όταν αυτά τεμαχίζονται με μηχανικό τρόπο σε σωματίδια χωρίς ρωγμές και σχισμές, τα οποία συγκρατούνται ως συσσωματώματα με σχετικά ασθενείς δυνάμεις. Τα συσσωματώματα αυτά διαλύονται όταν το στερεό

χρησιμοποιηθεί σε πείραμα ρόφησης και έχει ιδιότητες ενός εντελώς μη πορώδους στερεού (Γαλιατσάτου, 1994).

Η IUPAC έχει υιοθετήσει μια ταξινόμηση των πόρων ανάλογα με το μέσο εύρος τους

- πόροι διαμέτρου έως 20 Å (2nm) αποκαλούνται μικροπόροι,
- πόροι διαμέτρου μεταξύ 20 (2nm) και 500 Å (50nm), μεσοπόροι και
- πόροι διαμέτρου μεγαλύτερης των 500 Å (50nm), μακροπόροι.

#### 2.1.4 Παράγοντες που επιδρούν στη προσρόφηση

Η προσρόφηση ουσιών από υδατικά διαλύματα στην επιφάνεια ενός στερεού εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά του προσροφητικού μέσου και της προσροφημένης ουσίας καθώς επίσης και από τις ιδιότητες του διαλύματος. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν τόσο την έκταση όσο και την ταχύτητα προσρόφησης της ουσίας στην στερεή επιφάνεια. οι παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία της προσρόφησης έχουν ως εξής :

**α)** Η ειδική επιφάνεια του προσροφητικού, και ειδικότερα το κλάσμα της που είναι δυνατόν να προσεγγιστεί από την προσροφούμενη ουσία. Η κάλυψη της επιφάνειας με μόρια ήδη προσροφημένων ουσιών μειώνει την προσροφητική ικανότητα του προσροφητικού.

**β)** Η κατανομή μεγέθους των πόρων του προσροφητικού και το μέγεθος των μορίων της προσροφούμενης ουσίας. Συγκεκριμένα, μμεγάλος όγκος μικροπόρων, συνεπάγεται μμεγάλη επιφάνεια μικροπόρων και σχετίζεται με μμεγάλη προσροφητική ικανότητα μμικρών μορίων. Αντίθετα, μμεγάλος όγκος μακροπόρων συνεπάγεται μμεγάλη προσροφητική ικανότητα μμεγάλων μορίων (Gillolyetall., 1999)

**γ)** Οι ιδιότητες της επιφάνειας του προσροφητικού και της προσροφούμενης ουσίας μπορούν να επηρεάσουν την προσρόφηση. Επίσης η προσρόφηση χημικών ουσιών προσδίδει αρνητικό επιφανειακό φορτίο στον ενεργό άνθρακα, επομένως μειώνει την προσροφητική του ικανότητα. Αντίθετα, η εκρόφηση των χημικών ουσιών με την επίδραση αλκαλικού διαλύματος, μειώνει το αρνητικό φορτίο της επιφάνειας

του ενεργού άνθρακα και επαναφέρει την προσροφητική του ικανότητα (Newcombeetal.,1997b). Το pH του διαλύματος, επίσης, επηρεάζει το επιφανειακό φορτίο του προσροφητικού και των μορίων της προσροφόμενης ουσίας (Semmensetal.,1986a).

**δ)** Η χημική συνάφεια της προσροφούμενης ουσίας με το νερό και με το προσροφητικό επηρεάζει την προσρόφηση. Η παρουσία υδρόφιλων ομάδων ωθεί το μόριο προς το νερό, ενώ η παρουσία υδρόφοβων ομάδων προς τον ενεργό άνθρακα (Matsuietal.,1996). Η ταυτόχρονη παρουσία και των δύο ομάδων έχει ως αποτέλεσμα την προσρόφηση του υδρόφοβου τμήματος του μορίου, ενώ το υδρόφιλο εκτείνεται στο νερό.

**ε)** Η παρουσία ανόργανων αλάτων στο νερό μπορεί, επίσης, να επιδράσει στην προσρόφηση ορισμένων ουσιών θετικά, λόγω της δημιουργίας συμπλοκών των κατιόντων με τις οργανικές ουσίες σε ανιονική μορφή, τα οποία προσροφούνται ευκολότερα (π.χ. κατιόντα ασβεστίου με ανιόντα φουλβικού οξέος σε ενεργό άνθρακα). Ανόργανα άλατα σιδήρου, μαγγανίου και ασβεστίου ή ιζήματα μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την προσρόφηση με την καθίζησή τους στην επιφάνεια του προσροφητικού. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται προ επεξεργασία για την απομάκρυνσή τους.

### **2.1.5 Ισόθερμες προσρόφησης**

Ισόθερμή προσρόφησης είναι η γραφική απεικόνιση της ποσότητας ( $x$ ) της ουσίας που προσροφάται ανά μονάδα μάζας ( $m$ ) του προσροφητικού υλικού συναρτήσει της συγκέντρωσης ( $C_e$ ) της ουσίας στο διάλυμα στην κατάσταση ισορροπίας, σε μία σταθερή θερμοκρασία (Sing, 1997).

Η μορφή των ισόθερμων προσρόφησης παρέχει ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με το μηχανισμό προσρόφησης, το είδος των δεσμών προσροφούμενου-προσροφητικού, καθώς και το ποσοστό της επικάλυψης της επιφάνειας του υποστρώματος από την προσροφούμενη ουσία.

Αρκετά είναι τα θεωρητικά μοντέλα που περιγράφουν τη διεργασία της προσρόφησης και τα οποία έχουν αναπτυχθεί με βάση κινητικών και

θερμοδυναμικών δεδομένων. Τα πλέον γνωστά και εφαρμόσιμα από τη βιβλιογραφία είναι τα εξής:

- του Langmuir,
- του Freundlich,
- των Brunauer-Emmett-Teller, γνωστό και ως BET,
- του Gibbs,
- του Temkin, και
- το γραμμικό μοντέλο κατανομής ή νόμος του Henry

-Ισόθερμη προσρόφησης **Langmuir**:

1. Η προσρόφηση λαμβάνει χώρα σε καθορισμένες θέσεις της επιφάνειας του προσροφητικού μέσου.

2. Τα προσροφημένα μόρια δεν μετακινούνται κατά μήκος της επιφάνειας προσρόφησης και μεταξύ γειτονικών προσροφημένων μορίων οι αλληλεπιδράσεις ή αντιδράσεις είναι αμελητέες ή δεν υφίστανται.

3. Κάθε θέση προσρόφησης δύναται να χωρέσει μόνο ένα μόριο προσροφημένης ουσίας και έτσι η μέγιστη προσρόφηση οδηγεί στο σχηματισμό ενός κορεσμένου μονομοριακού στρώματος.

4. Το εμβαδό κάθε θέσης προσρόφησης είναι καθορισμένο και προσδιορίζεται μόνο από τη γεωμετρία του υποστρώματος προσρόφησης.

5. Η ενέργεια προσρόφησης είναι ίδια για όλες τις θέσεις προσρόφησης και για τούτο σταθερή, και ανεξάρτητη από την έκταση της επιφάνειας που καλύπτεται.

Η τελική μορφή της εξίσωσης **Langmuir** είναι η σχέση :  $q = q_{\max} \frac{b C_e}{1 + b C_e}$ .

$q = (x/m)$ : η ποσότητα της προσροφημένης ουσίας,  $x$  (σε mol), ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού μέσου,  $m$  (σε Kg). Το  $q$  συνήθως αναφέρεται και ως επιφανειακή συγκέντρωση ή επιφανειακή πυκνότητα.  $q_{\max} = (x/m)_{\max}$  : η ποσότητα της προσροφημένης ουσίας ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού υλικού η οποία απαιτείται για τη μονομοριακή επικάλυψη της προσροφητικής επιφάνειας. Το  $q_{\max}$  καλείται επίσης και μονομοριακή χωρητικότητα.  $b$  : σταθερά που συσχετίζεται με την



ενέργεια προσρόφησης και αυξάνει με την αύξηση της ισχύος του δεσμού προσρόφησης.

Η γραμμική μορφοποίηση της εξίσωσης Langmuir δίνει την εξίσωση:  $C_e/q = 1/b + C_e/q_{max}$ .

- Ισόθερμη προσρόφησης **Freundlich**:

Η εξίσωση προσρόφησης Freundlich αποτελεί, ίσως την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μαθηματική περιγραφή της διεργασίας της προσρόφησης σε υδατικά διαλύματα. Αρχικά προέκυψε ως αποτέλεσμα εμπειρικής συσχέτισης μεταξύ διαφόρων πειραματικών δεδομένων. Αργότερα όμως, αποδείχθηκε ότι η ισόθερμη Freundlich είναι δυνατό να εξαχθεί θεωρητικά με βάση την υπόθεση ότι η πιθανότητα ενός δεσμού να έχει ενέργεια προσρόφησης μεταξύ των τιμών  $\Delta G$  και  $\Delta G + d\Delta G$  είναι ανάλογη εκθετικής κατανομής (Cerofolini, 1982; Reed & Matsumoto, 1993). Σύμφωνα με την ισόθερμη Freundlich, για ορισμένη θερμοκρασία, η ποσότητα της διαλυμένης ουσίας που προσροφάται ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού υλικού είναι γενικά εκθετική συνάρτηση της συγκέντρωσης ισορροπίας της ουσίας στο διάλυμα.

Η μαθηματική έκφραση της εξίσωσης **Freundlich** έχει τη μορφή:  $x/m = K_F C_e^{1/n}$

( $x/m$ ) : η ποσότητα της προσροφημένης ουσίας, ( $x$ ), ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού μέσου, ( $m$ ).  $C_e$  : η συγκέντρωση ισορροπίας της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα,  $K_F$  : σταθερά χαρακτηριστική του συστήματος, η οποία σχετίζεται με την ισχύ του δεσμού προσρόφησης (ένταση προσρόφησης), και  $n$  : σταθερά χαρακτηριστική του συστήματος, η οποία σχετίζεται με την κατανομή των δεσμών (έκταση της προσρόφησης).

Η λογαρίθμηση της παραπάνω εξίσωσης δίνει τη γραμμική εξίσωση:  $\log x/m = \log K_F + 1/n \log C_e$

Η σχέση αυτή λέγεται λογαριθμική εξίσωση Freundlich και δίνει για την εξάρτηση του  $\log(x/m)$  από το  $\log C_e$  ευθεία γραμμή. Η κλίση της ευθείας αυτής δίνει το  $1/n$  και η τεταγμένη επί την αρχή το  $\log K_F$ . Με αυτό τον τρόπο βρίσκονται γραφικά οι παράμετροι προσρόφησης  $K_F$  και  $1/n$ . Όταν το  $n$  είναι μεγάλο, τότε το  $(1/n)$  γίνεται

μικρό και από την εξίσωση γίνεται φανερό ότι το  $(x/m)$  γίνεται ανεξάρτητο της συγκέντρωσης  $C_e$ . Η ισόθερμη καμπύλη  $(x/m)=f(C_e)$  γίνεται οριζόντια και η προσρόφηση καλείται μη αντιστρεπτή (Λέκκας, 1996). Αντίθετα όταν το  $n$  είναι μικρό, τότε το  $(1/n)$  είναι μεγάλο, ο δεσμός προσρόφησης είναι ασθενής και το  $(x/m)$  εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του  $C_e$ .

Με βάση τη τιμή  $1/n$  διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις προσρόφησης:

Αν  $1/n=0$ , η προσρόφηση είναι μη αντιστρεπτή

Αν  $1/n=1$ , η προσρόφηση είναι γραμμική

Αν  $1/n<1$ , η προσρόφηση είναι ευνοϊκή

Αν  $1/n>1$ , η προσρόφηση είναι μη ευνοϊκή

Η εξίσωση Freundlich θεωρείται πιο απλή από την αντίστοιχη του Langmuir και χρησιμοποιείται για την περιγραφή πειραματικών αποτελεσμάτων σε αραιά διαλύματα. Η ισόθερμη Freundlich αποδέχεται ότι η θερμότητα προσρόφησης είναι ανεξάρτητη από την έκταση της καλυμμένης επιφάνειας, γεγονός που προϋποθέτει μία ομοιογενή επιφάνεια.

Τέλος, η συγκέντρωση της προσροφημένης ουσίας στο προσροφητικό μέσο μετά την ισορροπία, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη παρακάτω εξίσωση και στη συνέχεια αυτή η συγκέντρωση χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των παραπάνω. ισόθερμων προσρόφησης:  $q_e=(C_o-C_e)V/m$ .

$q_e$ = η συγκέντρωση της ουσίας στο προσροφητικό μέσο μετά την ισορροπία mg/g

$C_o$ = η αρχική συγκέντρωση της προσροφημένης ουσίας mg/L

$C_e$ = η τελική συγκέντρωση ισορροπίας της προσροφημένης ουσίας μετά την επίτευξη ισορροπίας mg/L

$V$ = ο όγκος του υγρού στον αντιδραστήρα L

$m$ = η μάζα του προσροφητικού μέσου g

### **2.1.6 Κινητικά μοντέλα της προσρόφησης**

Η προσρόφηση σε ένα στερεό λαμβάνει χώρα σε πολλά στάδια:

- 1.** Εξωτερική προσρόφηση: Μεταφορά μάζας λόγω διάχυσης των προσροφόμενων μορίων, από τη ρευστή φάση μέσω ενός στάσιμου οριακού στρώματος γύρω από κάθε προσροφητικό σωματίδιο, στην εξωτερική επιφάνεια του στερεού.
- 2.** Εσωτερική προσρόφηση: Μεταφορά του προσροφόμενου υλικού στο εσωτερικό του σωματιδίου, λόγω μετακίνησης των προσροφόμενων μορίων από τη σχετικά μικρή εξωτερική επιφάνεια του προσροφητικού υλικού στις επιφάνειες των πόρων μέσα σε κάθε σωματίδιο ή/και λόγω διάχυσης των προσροφόμενων μορίων μέσα από τους πόρους των σωματιδίων .
- 3.** Την κύρια διαδικασία της προσρόφησης: Τα μόρια μέσα στους πόρους προσροφώνται από το διάλυμα στη στερεή φάση. Αυτό το στάδιο είναι γρήγορο και για το λόγο αυτό δε συνεισφέρει στη διεργασία της προσρόφησης.

Έτσι, η εξωτερική και η εσωτερική προσρόφηση καθορίζουν το ρυθμό της προσρόφησης. Ενώ η εξωτερική μεταφορά μάζας επικρατεί στα πρώτα λεπτά της διεργασίας, η μεταφορά μάζας στο εσωτερικό του σωματιδίου διαρκεί αρκετές ώρες καθορίζοντας έτσι την κύρια πορεία της προσρόφησης. Το προσροφητικό αποτελείται από πορώδη σωματίδια τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλο εμβαδό επιφάνειας και πολύ καλά ανεπτυγμένη εσωτερική δομή, η οποία περιέχει ένα σύνθετο δίκτυο πόρων και καναλιών τα οποία διασπείρονται διαμέσω του σωματιδίου. Αυτό εξηγεί τη μεγάλη αντίσταση μέσα στα σωματίδια και καθιστά τη διάχυση στο εσωτερικό να εξαρτάται από την εσωτερική δομή του προσροφητικού.

Η μεταφορά στο εσωτερικό του σωματιδίου είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός που μπορεί να περιορίζεται από: 1) τη διάχυση μέσα στους πόρους, 2) τη διάχυση μέσα στο στερεό και 3) την κινητική της αντίδρασης στις διαφασικές περιοχές .

## **2.2 Ενεργός άνθρακας**

### **2.2.1 Γενικά**

Με τον όρο ενεργός άνθρακας εννοούμε το ανθρακούχο υλικό που διαθέτει εκτεταμένη εσωτερική ειδική επιφάνεια, ανεπτυγμένη μικροπορώδη δομή και διαθέσιμα ενεργά κέντρα, με ικανότητα προσρόφησης ουσιών από υγρά και αέρια. Ο ενεργός άνθρακας αποτελείται από παράλληλα γραφίτικα επίπεδα με εξαγωνικά τοποθετημένα άτομα άνθρακα. Εκτός από τον άνθρακα, αποτελείται από μικρές ποσότητες ετεροατόμων (O, H, S, N) που σχηματίζουν λειτουργικές ομάδες στην περιφέρεια των επιπέδων, οι οποίες εμποδίζουν τον προσανατολισμό των επιπέδων σε παράλληλη διάταξη. Δημιουργούν δηλαδή μια ακανόνιστη διευθέτηση των επιπέδων που χαρακτηρίζεται και ως τουρμποστατική δομή [Bansal, 1988].

Η παραγωγή του ενεργού άνθρακα περιλαμβάνει δύο βασικά στάδια : την πυρόλυση του πρόδρομου οργανικού υλικού (ορυκτός άνθρακας, βιομάζα, ελαστικά) σε αδρανή ατμόσφαιρα μέχρι τους 800 – 900°C, και την κατεργασία του παραγόμενου εξανθρακώματος (char) με κάποιο οξειδωτικό αέριο (ατμός, αέρας, CO<sub>2</sub>) σε υψηλή θερμοκρασία. Ο μηχανισμός αυτός περιγράφει τη φυσική ενεργοποίηση. Όταν πραγματοποιείται πυρόλυση – ενεργοποίηση σε ένα στάδιο με αφυδρογόνωση του πρόδρομου υλικού, που έχει υποστεί κατεργασία με μία χημική ένωση, αναφερόμαστε στη χημική ενεργοποίηση. Τέτοιες αφυδρογονωτικές ενώσεις είναι το ZnCl<sub>2</sub>, το KOH και το H<sub>3</sub>PO.

Η πορώδης δομή του ενεργού άνθρακα, εκτός από το μέσο και την έκταση της ενεργοποίησης, εξαρτάται από το αρχικό υλικό που χρησιμοποιείται. Τα ανόργανα συστατικά που συμμετέχουν σε μεγάλα ποσοστά στους άνθρακες χαμηλής τάξης επηρεάζουν τη δραστηριότητα τους και έχουν καταλυτική δράση στη διεργασία της ενεργοποίησης. [Samaras et al, 1996]

Το ποσοστό της τέφρας που παραμένει στον τελικό ενεργό άνθρακα επηρεάζει τη διεργασία της προσρόφησης.

Η προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα δεν καθορίζεται μόνο από την πορώδη δομή του, αλλά επηρεάζεται και από τη χημική σύσταση της επιφάνειάς του. Η ακανόνιστη διευθέτηση των αρωματικών επιπέδων του άνθρακα προκαλεί μεταβλητή συγκέντρωση του ηλεκτρονιακού νέφους στο σκελετό του και κατά συνέπεια δημιουργεί ασυμπλήρωτα ζεύγη ηλεκτρονίων και ακόρεστες δυνάμεις, που μπορούν να αποτελέσουν κέντρα χημειορόφησης. Ο ενεργός άνθρακας είναι

πορώδες υλικό με μεγάλη εσωτερική επιφάνεια, διαθέτει μεγάλη ενεργή επιφάνεια για χημειορόφηση οξυγόνου.

Εφαρμόζεται στην κατεργασία υγρών αποβλήτων και θεωρείται το πιο διαδεδομένο προσροφητικό υλικό. Σε σκόνη ή σε κόκκους χρησιμοποιείται για την βελτίωση της γεύσης ή την απομάκρυνση των οσμών και του χρώματος των ρυπασμένων υδάτων. Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των διαλυτών, για τον αποχρωματισμό και την κατεργασία των μεταλλευμάτων.

Για παραγωγή ενεργού άνθρακα παράγεται αρχικά ένα εξανθράκωμα από οργανικά υλικά όπως κελύφη αμυγδάλων, καρύδας και φουντουκιών, ενώ άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το ξύλο, τα κόκαλα και ο γαιάνθρακας. Το εξανθράκωμα παράγεται με θέρμανση της αρχικής ύλης ως την ερυθροπύρωση (θερμοκρασία μικρότερη από 700°C), σε κλίβανο για την απομάκρυνση των υδρογονανθράκων, ενώ η καύση διατηρείται με ανεπάρκεια παροχής οξυγόνου. Η ανθρακοποίηση είναι μια διεργασία πυρόλυσης. Τα σωματίδια του εξανθρακώματος στη συνέχεια ενεργοποιούνται με έκθεση σε οξειδωτικά αέρια, όπως ο ατμός και το CO<sub>2</sub> σε υψηλές θερμοκρασίες στους 800- 900°C. Τα αέρια αυτά αναπτύσσουν στο εξανθράκωμα μια πορώδη δομή και έτσι δημιουργείται μια μεγάλη εσωτερική ειδική επιφάνεια.

Ο τύπος της αρχικής ύλης από την οποία παράγεται ο ενεργός άνθρακας μπορεί να επηρεάσει την κατανομή μεγέθους των πόρων. Μετά την ενεργοποίηση, ο άνθρακας μπορεί να διαχωριστεί, ή να παραχθεί σε διαφορετικά μεγέθη με διαφορετική χωρητικότητα προσρόφησης. Οι δύο κατηγορίες μεγέθους είναι ο “κονιοποιημένος ενεργός άνθρακας” PAC, με διάμετρο μικρότερη από 0.074 mm, και ο “κοκκώδης ενεργός άνθρακας” GAC, με διάμετρο μεγαλύτερη από 0.1 mm.

Ο “αριθμός ιωδίου” αντιπροσωπεύει το ποσό των μικρών πόρων του ενεργού άνθρακα.

Ο “αριθμός μελάσας” αντιπροσωπεύει το ποσό των μεγάλων πόρων του ενεργού άνθρακα.

Ο “αριθμός μπλε του μεθυλενίου” αντιπροσωπεύει το ποσό των μεσοπόρων του ενεργού άνθρακα.

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται είτε σε μορφή κόκκων, είτε σε μορφή σκόνης. Η μορφή σκόνης συνήθως προστίθεται στο προς επεξεργασία ρεύμα και ύστερα φιλτράρεται στην έξοδο. Κατά την επεξεργασία νερού σε σταθερές κλίνες προσρόφησης, χρησιμοποιείται συνήθως η μορφή κόκκων, επειδή παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία (Μανασσής, 2001).

Οι διάφοροι τύποι ενεργού άνθρακα, εκτός από την προέλευσή τους διακρίνονται με βάση τις ιδιότητες και τις προδιαγραφές τους. Η απορροφητικότητα του ενεργού άνθρακα εξαρτάται από το μέγεθος και τη δομή των πόρων του και προσδιορίζεται με συγκεκριμένες μεθόδους.

**Μεγεθος πορων** (particle size) Η σωστή κατανομή της διαμέτρου των πόρων είναι απαραίτητη προκειμένου να διευκολύνει τη διαδικασία προσρόφησης παρέχοντας χώρο και τα απαραίτητα κανάλια μεταφοράς της προς προσρόφηση ουσίας.

**Βαθμος ιωδινης** (iodine number) Αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο απόδοσης του ενεργού άνθρακα. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες μετράται η ποσότητα απορροφούμενης ιωδίνης δίνοντας μια ιδέα για τον αριθμό των μικροπόρων και τη συσχέτιση με την εσωτερική επιφάνεια του υλικού.

**Methylene blue** number Υπό συγκεκριμένες συνθήκες μετράται η προσροφούμενη ποσότητα Methylene blue η οποία προσδιορίζει τον αριθμό των μεσο και μακρο πόρων του άνθρακα. Έτσι ορίζεται η ικανότητα κατακράτησης μεγάλων μορίων (χρώματα, χουμικά οξέα, απορρυπαντικά). Ένας μέσος όρος γύρω στα 200mg/g υποδηλώνει καλή ποιότητα άνθρακα.

**Εσωτερική επιφάνεια** (BET surface) Η ικανότητα προσρόφησης του άνθρακα είναι ανάλογη της εσωτερικής του επιφάνειας η οποία καθορίζεται από την «ενεργοποίηση» (θερμική κατεργασία) του υλικού. Η εσωτερική επιφάνεια του ενεργού άνθρακα μετράται με τη μέθοδο που ανακάλυψαν οι Brunauer, Emmett & Teller. Εμποτίζοντας τον άνθρακα με υγρό άζωτο (-196°C), δημιουργείται στην επιφάνεια μια στρώση πάχους 1 μορίου αζώτου που καθιστά τη μέτρηση της επιφάνειας μετρήσιμη. Σε καλής ποιότητας άνθρακα, η μέση τιμή είναι τα 1000m<sup>2</sup>/gr .

**Υγρασία** (moisture content) Είναι η ποσότητα νερού που ενυπάρχει στον άνθρακα σε κανονικές συνθήκες. Η φυσιολογικής της τιμή κυμαίνεται μεταξύ 1 και 5 %.

**Dechlorination half value** Έτσι ορίζεται η δυνατότητα κατακράτησης χλωρίου και μετρά το ύψος της στρώσης ενεργού άνθρακα (εκφρασμένο σε cm) που απαιτείται προκειμένου να μειωθεί στο μισό (από 5ppm σε 2,5ppm) η περιεκτικότητα σε Cl<sub>2</sub> ενός διαλύματος, με ροή 36m/h κατά τη διάρκεια μισής ώρας. Άλλες ιδιότητες που προσδιορίζουν την ποιότητα του άνθρακα είναι: Η πυκνότητα, η περιεκτικότητά του σε τέφρα, και η σκληρότητά του.

### 2.2.2 Παρασκευή ενεργού άνθρακα

Τα κύρια υλικά παρασκευής ενεργού άνθρακα είναι το κάρβουνο, η τύρφη και ο κοκκοφοίνικας. Ο ενεργός άνθρακας από ασφαλτούχα πετρώματα παρουσιάζει μικρό μέγεθος πόρων, μεγάλη ειδική επιφάνεια, μεγάλη φαινόμενη πυκνότητα και μεγάλη σκληρότητα. Χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση χαμηλών συγκεντρώσεων μικρού μοριακού βάρους ενώσεων από την υγρή φάση. Ο ενεργός άνθρακας από λιγνίτη, έχει το μεγαλύτερο μέγεθος πόρων, μικρότερη ειδική επιφάνεια και μικρότερη φαινόμενη πυκνότητα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για αφαίρεση χρώματος. Ο ενεργός άνθρακας από κοκκοφοίνικα έχει μεγάλο ποσοστό μικροπόρων και μεγάλη ειδική επιφάνεια. Χρησιμοποιείται κυρίως στην απομάκρυνση αέριων ρύπων.

Η παρασκευή ενεργού άνθρακα γίνεται με κατεργασία που περιλαμβάνει δύο στάδια:

- 1) Την απανθράκωση, δηλαδή θέρμανση σε κατάλληλη θερμοκρασία ( $<700^{\circ}\text{C}$ ), με απουσία αέρα, για την απομάκρυνση των περιεχόμενων οργανικών ενώσεων και
- 2) Την ενεργοποίηση ή οξειδωση, δηλαδή την ταυτόχρονη θέρμανση ( $800-900^{\circ}\text{C}$ ) και επίδραση οξειδωτικών αερίων (υδρατμών και  $\text{CO}_2$ ), για την ανάπτυξη της πορώδους δομής του.

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται σε δύο μορφές:

- 1) Ως κοκκώδης ενεργός άνθρακας (GAC), σε στρώματα σταθερά και ρευστοποιημένα
- 2) Ως σκόνη ενεργού άνθρακα (PAC), με μέγεθος κόκκων 10-50 $\mu\text{m}$ , που προστίθενται στο νερό στη δεξαμενή καθίζησης.

### 2.2.3. Αναγέννηση του ενεργού άνθρακα

Ο κορεσμένος ενεργός άνθρακας δεν απορρίπτεται , αλλά αναγεννάται με διάφορες μεθόδους. Η αναγέννηση εφαρμόζεται κυρίως τον GAC που είναι ακριβότερο προϊόν. Ο PAC είναι φθηνότερο προϊόν και δεν αναγεννάται ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται σε συνδιασμό με υδράσβεστο. Αν χρησιμοποιηθεί μόνος του μπορεί να αναγεννηθεί, αλλά με μεγάλες απώλειες. Διαβρέχεται δύσκολα και δεν απομακρύνει μικρές ποσότητες ρυπάντων αν δε προστεθεί σε μεγάλη ποσότητα. (AWWA, 1990- Clark et al. 1991):

- 1) Αναγέννηση με ατμό: Εφαρμόζεται μόνο στη περίπτωση που έχουν συγκρατηθεί μικρές ποσότητες οργανικών από τον ενεργό άνθρακα.
- 2) Αναγέννηση θερμική : πραγματοποιείται με θέρμανση του άνθρακα στους 800°C σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, ώστε να καούν οι προσροφημένες οργανικές ουσίες. Είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος. Απαιτεί υψηλή επένδυση και προκαλεί απώλεια άνθρακα μέχρι 10 %.
- 3) Αναγέννηση χημική: πραγματοποιείται με κατεργασία με διαλυτικό υψηλού pH σε θερμοκρασία 100°C , από το οποίο οι διαλυμένες οργανικές ουσίες μπορούν να διαχωριστούν με απόσταξη. Προκαλεί μικρή απώλεια άνθρακα 1% (Newcombe et al., 1993)

### 2.2.4 Εφαρμογές του ενεργού άνθρακα

Η προσρόφηση με ενεργό άνθρακα χρησιμοποιείται για απομάκρυνση οργανικών ενώσεων και απομάκρυνση υπολειπόμενων συγκεντρώσεων ανόργανων ενώσεων. Σημαντική είναι η εφαρμογή του στην απομάκρυνση ενώσεων που προσδίδουν γεύση και οσμή στα υγρά απόβλητα, μειώνοντας τις τιμές του BOD και COD.

*- Επεξεργασία τροφίμων και ποτών*

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΕΛΑΙΩΝ: Ο ενεργός άνθρακας σε σκόνη (PAC) χρησιμοποιείται στην επεξεργασία εδωδιμων ελαίων, όπως φοινικέλαιο, λάδι καρύδας, λάδι σόγιας, ηλιέλαιο κ.α. Η χρησιμοποίησή του είναι απαραίτητη κυρίως όταν τα λάδια περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε φυσικές χρωστικές όπως καροτενοειδή, χλωροφύλλες και



ξανθοφύλλες. Για την απομάκρυνση των δύσκολων οργανικών ρύπων (POPs) όπως των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAH), διοξινών και πολυχλωριωμένων διφαινύλιων (PCB), η χρησιμοποίηση εξειδικευμένων PAC προϊόντων εξασφαλίζει την επίτευξη των συμφωνιών προς τη νομοθεσία και επιθυμητών ορίων, τόσο στα φυτικά έλαια όσο και στα ιχθυέλαια.

**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΩΝ:** Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται για αποχρωματισμό και βελτίωση της γεύσης του σιροπιού ζάχαρης.

**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΜΩΝ:** Διατίθενται εξειδικευμένοι άνθρακες για αφαίρεση χρωστικών (πολυφαινόλες και μελανοϊδίνες) από χυμό μήλου και σταφυλιού. Προσφέρουν μέγιστη περατότητα και δεν προκαλούν φθορά στις μεμβράνες (σε περίπτωση που συνδυαστούν). Υπάρχουν επίσης προϊόντα που αφαιρούν οσμές και χρώματα που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία του φρούτου. Τα ίδια προϊόντα απομακρύνουν τυχόν υπολείμματα φυτοφαρμάκων και μυκοτοξινών ( Patulin μυκοτοξίνη)

**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΖΥΘΟΥ:** Κατά την παραγωγική διαδικασία, κάποιες φορές προστίθεται ποσότητα GAC στο γλεύκος για διόρθωση της γεύσης. Περιστασιακά PAC χρησιμοποιείται για αφαίρεση παρεμποδιστών αφρισμού (ίχνη πρωτεϊνών) ή για τελική διόρθωση χρώματος – γεύσης. Πιθανόν να χρησιμοποιηθεί επίσης για την επεξεργασία ύδατος.

**ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ:** Καθαρισμός γλυκαντικών ουσιών, όπως: γλυκόζη, φρουκτόζη, μαλτόζη, δεξτρόζη

#### ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΛΑΚΤΟΖΗΣ

**ΚΑΦΕΪΝΗ :**Απομάκρυνση καφεΐνης από καφέ-τσάι. Η καφεΐνη ανακτάται και χρησιμοποιείται σε άλλα ποτά ή για φαρμακευτικούς σκοπούς.

#### *- Επεξεργασία υγρών αποβλήτων*

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται στο τελικό στάδιο της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η χρησιμοποίηση PAC ή GAC εξαρτάται από την εκάστοτε περίπτωση. Ο GAC αφαιρεί διαλυμένες μη βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις. Μεγάλο

πλεονέκτημα της GAC μεθόδου είναι η δυνατότητα αναγέννησης του άνθρακα (συνήθως θερμική).

*- Επεξεργασία αερίων*

ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΦΡΟΥΤΩΝ: Για την παράταση της φρεσκάδας των φρούτων και άλλων γεωργικών προϊόντων, αυτά αποθηκεύονται υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Η θερμοκρασία στην αποθήκη μειώνεται, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα διατηρούνται εντός ορισμένων ορίων. Για κάθε φρούτο υπάρχουν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες αποθήκευσης. Τα αποθηκευμένα φρούτα ωριμάζουν αργά και τότε παράγεται διοξείδιο του άνθρακα. Αυτό επηρεάζει αρνητικά τη διάρκεια ζωής των προϊόντων και απομακρύνεται, συνεπώς, από ένα σύστημα φιλτραρίσματος με εξειδικευμένο ενεργό άνθρακα.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO<sub>2</sub>): Το διοξείδιο του άνθρακα είναι συστατικό της μπίρας και των αναψυκτικών. Οι βιομηχανίες ποτών το προμηθεύονται από τις ζυθοποιίες και από άλλες πηγές.

**A) Ζυθοποιίες:** Στην ζυθοποίηση παράγεται CO<sub>2</sub> κατά την διαδικασία της ζύμωσης. Δεσμεύεται και προστίθεται αργότερα στην μπύρα, ή χρησιμοποιείται για δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας κατά την εμφιάλωση και μεταφορά της μπύρας. Ένα μέρος του παραγόμενου CO<sub>2</sub> πωλείται σε άλλες βιομηχανίες για διάφορους σκοπούς. Αυτό πρέπει πρώτα να φιλτραριστεί με ενεργό άνθρακα (GAC) για αφαίρεση οσμών και γεύσεων που προκαλούνται από οργανικές ουσίες όπως το H<sub>2</sub>S κ.α.

**B) Άλλες πηγές:** Πριν χρησιμοποιηθεί το CO<sub>2</sub> φιλτράρεται με GAC για απομάκρυνση οσμών-γεύσεων αλλά και αρωματικών υδρογονανθράκων.

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ – ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ:** Για τις εφαρμογές αυτού του τύπου , διατίθεται ενεργός άνθρακας σε μορφή φίλτρου με πλαίσιο. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την αφαίρεση χαμηλών συγκεντρώσεων προσμίξεων από μεγάλα ρεύματα αέρα, για παράδειγμα στα συστήματα κλιματισμού και τις συναφείς εφαρμογές. Τα φίλτρα αυτά παρέχονται σε διάφορα μεγέθη, με ή χωρίς πλαίσιο πολυουρεθάνης, καθώς και με διάφορες ποιότητες ενεργού άνθρακα. Πέραν του ότι είναι πολύ αξιόπιστα, έχουν και πολλά πλεονεκτήματα. Λόγω του πλαισίου μπορούν να εγκατασταθούν πολύ γρήγορα και να εφαρμόσουν αεροστεγώς. Προκαλούν μικρή πτώση πίεσης και δεν εκπέμπουν σκόνη

**ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΕΡΑ:** Τα περισσότερα εργοστάσια κατασκευής, ιδίως στον τομέα των χημικών, πετροχημικών, επεξεργασίας τροφίμων και βιομηχανίες τυπογραφικών προϊόντων πρέπει να περιορίσουν τις αέριες εκπομπές επιβλαβών ή αρωματικών ενώσεων. Τόσο οι οργανικές όσο και οι ανόργανες “ακαθαρσίες” μπορούν να αφαιρεθούν με ενεργό άνθρακα. Ομοίως, χρησιμοποιείται για καθαρισμό του εισαγόμενου αέρα σε κτίρια όπου η χρήση ή το περιεχόμενο επιβάλλει ειδικές απαιτήσεις για την καθαρότητα του αέρα, όπως μουσεία και γκαλερί τέχνης, νοσοκομεία, ή αίθουσες ηλεκτρονικών υπολογιστών.

**ΒΙΟΑΕΡΙΟ:** Σήμερα, το βιοαέριο χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση τουρμπίνων. Ρύποι, όπως υδροθείο και πυριτικά άλατα μπορεί να βλάψουν τους κινητήρες, αλλά εύκολα αφαιρούνται από τον ενεργό άνθρακα με αποτέλεσμα ο κινητήρας εσωτερικής καύσης να προστατεύεται από την διάβρωση και τις διακοπές λειτουργίας και έτσι επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής του κινητήρα.

**ΦΙΛΤΡΑ ΤΣΙΓΑΡΩΝ:** Ακόμη και ο καπνός των τσιγάρων καθαρίζεται με ενεργό άνθρακα. Τα χαρακτηριστικά του άνθρακα είναι εξαιρετικά σημαντικά για αυτή την εφαρμογή επειδή η ενεργός άνθρακας δεν έχει άμεση επίδραση στη γεύση ενός τσιγάρου. Η απορροφητικότητα του άνθρακα επιτρέπει την απομάκρυνση των διαφόρων, κυρίως χαμηλού μοριακού βάρους, ενώσεων.

**ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ:** Διάφορες βιομηχανίες χρησιμοποιούν οργανικούς διαλύτες σε διαδικασίες που συνεπάγονται ενδεχόμενη εξάτμιση στον αέρα. Αυτοί οι διαλυτοί ατμοί μπορούν να ανακτηθούν μέσω ενεργού άνθρακα. Ο άνθρακας απορροφά τους ατμούς μέχρι να κορεστεί και ο διαλύτης ανακτάται με ατμό υπό πίεση. Αυτός ο κύκλος επαναλαμβάνεται συνεχώς. Τα συστήματα ανάκτησης διαλύτη διαρκούν αρκετά χρόνια με προσθήκη ενεργού άνθρακα. Η απόσβεση του κόστους, στις περισσότερες περιπτώσεις, γίνεται σε ένα έως τρία έτη.

## ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ

### *- Κατάλυση αντιδράσεων*

Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων στο εσωτερικό του ενεργού άνθρακα δημιουργούν την ιδανική βάση για καταλύτες ή μέταλλα. Η τεράστια επιφάνεια επαφής του είναι εξαιρετική βάση καταλυτικών αντιδράσεων. Επίσης τα παραπροϊόντα των αντιδράσεων δεσμεύονται από τον ενεργό άνθρακα. Στην επιφάνεια των πόρων υπάρχουν υδροφובες και υδρόφιλες ομάδες οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην πορεία αντιδράσεων. Επηρεάζουν τη μεταφορά ενώσεων στους πόρους αλλά και την αντίδραση τους με τους καταλύτες.

**ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ:** Η κατάλυση είναι ζωτικής σημασίας για τις βιομηχανίες χημικών και τις φαρμακοβιομηχανίες, αφού πλέον οι

περισσότερες χημικές αντιδράσεις γίνονται με την χρήση καταλύτη. Ο ενεργός άνθρακας ως φορέας καταλύτη έχει τα εξής πλεονεκτήματα: μεγάλη εσωτερική επιφάνεια, ουδετερότητα σε αλκαλικά και όξινα διαλύματα, εύκολη ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων.

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ:** Ο ενεργός άνθρακας δρα ως καταλύτης οξειδωσης. Έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένα προϊόντα για την συγκεκριμένη διαδικασία (PCA ενεργός άνθρακας), τα οποία είναι αποτελεσματικά με χρήση μικρότερων ποσοτήτων άνθρακα.

#### *-Ανάκτηση χρυσού*

Μια ειδική θέση μεταξύ των χημικών εφαρμογών έχει η ανάκτηση χρυσού. Εδώ, προϊόντα GAC χρησιμοποιούνται ως μέσο συγκέντρωσης του χρυσού. Μετά την επεξεργασία του μεταλλεύματος (περιέχονται 1-10g χρυσού ανά τόνο μεταλλεύματος), ο χρυσός διαλύεται σε κυάνιο. Το διάλυμα απορροφάται από τον ενεργό άνθρακα και ανακτάται με ειδικές μεθόδους.

#### *- Επεξεργασία καυσαερίων*

Μια σειρά από χημικές διεργασίες καθώς και ο τύπος ενεργού άνθρακα διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην επεξεργασία καυσαερίων. Σε όλο τον κόσμο, σε εκατοντάδες μονάδες αποτέφρωσης αποβλήτων, εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα και σε όλα τα άλλα είδη εργοστασίων όπου υπάρχει καύση, ο ενεργός άνθρακας βοηθά στη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις εκπομπών αερίων.

#### *-Βιομηχανίες επεξεργασίας προϊόντων πετρελαίου*

Τα προϊόντα φυσικού αερίου, πετρελαίου και πετροχημικών προϊόντων πρέπει να είναι καθαρά και υψηλής ποιότητας. Ρύποι, όπως ο υδράργυρος, οι χρωστικές, οι αρωματικές ενώσεις, οι θειούχες ενώσεις είναι ανεπιθύμητοι.

Ο ενεργός άνθρακας αποτελεί ιδανική επιλογή για τον καθαρισμό πρώτων υλών, ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων για την βιομηχανία φυσικού αερίου και πετρελαίου. Αυτό οφείλεται στην πολύ μεγάλη ικανότητα προσρόφησης για ένα ευρύ φάσμα μορίων. Χρησιμοποιείται επίσης ως καταλύτης ή φορέας καταλύτη.

## 2.3. Χρωστικές

### 2.3.1. Γενικά

Ως χρώματα ορίζονται οι έγχρωμες οργανικές ουσίες που έχουν την ικανότητα να βάφουν ένα υπόστρωμα, είτε απευθείας είτε με τη βοήθεια χημικής κατεργασίας. Ανάλογα με τον τρόπο συγκράτησης στο υπόστρωμα, διακρίνονται σε χρώματα που προσροφούνται ή αντιδρούν με το υπόστρωμα από διάλυμα ή αιώρημά τους και σε **πιγμέντα** που είναι έγχρωμα λεπτά αδιάλυτα σωματίδια, τα οποία είτε σε μορφή αιωρήματος επιστρώνονται παρουσία υλικών επικαλύψεως, είτε προστίθενται στη μάζα (τήγμα) του υλικού, προσδίδοντας το χρώμα τους. Τα χρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε φυσικά (ζωικά ή φυτικά), που είναι οργανικές ενώσεις, σε ορυκτά, που είναι ανόργανες και σε συνθετικά, που είναι κυρίως οργανικές ή πιο σπάνια οργανομεταλλικές ενώσεις (Ceyhan and Baybaş 2001, Ελευθεριάδης, 1995). Τα χρώματα είναι συνήθως πολύπλοκες οργανικές ενώσεις που περιέχουν ποικιλία αρωματικών δακτυλίων. Η δομική διαφορετικότητα των χρωμάτων καθιστά δύσκολη την ταξινόμησή τους σε ομάδες. Παρόλα αυτά, είναι δυνατό να ομαδοποιηθούν με δύο τρόπους:

- χημική ταξινόμηση
- χρωματική ταξινόμηση

### **2.3.2 Κυανό μεθυλενίου**

Το MB είναι μια υδατοδιαλυτή ετεροαρωματική, βασική χρωστική. Τα βασικά χρώματα χαρακτηρίζονται από κατιοντικές ιδιότητες, οι οποίες προέρχονται από τα θετικά φορτισμένα κέντρα αζώτου ή θείου (Almeida et al. 2009). Ανήκει στην κατηγορία των αζα-δифαινυλικών χρωμάτων και πιο ειδικά των θειαζινών. Το μπλέ μεθυλενίου ανήκει σε μια ειδική κατηγορία χρωστικών, των οποίων η αντίδραση σε διάλυμα με ορισμένες ουσίες έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή χρώματος διαφορετικού από το αρχικό χρώμα του διαλύματος της χρωστικής. Το φαινόμενο αυτό καλείται “μεταχρωμασία” και οι χρωστικές που έχουν την ιδιότητα να αντιδρούν με αυτόν τον τρόπο, καλούνται αντιστοίχως μεταχρωματικές χρωστικές (κυανούν της τολουϊδίνης O, θειονίνη, σαφρανίνη, ιώδες του μεθυλίου κ.α.). Οι μεταχρωματικές χρωστικές είναι συνήθως κατιοντικές. Οι ουσίες οι οποίες έχουν την ικανότητα να αντιδρούν με αυτές, ονομάζονται χρωμότροπες ουσίες (χρωμότροπα). Το γεγονός ότι όλες οι μεταχρωματικές ουσίες είναι κατιοντικές και όλες οι χρωμότροπες ανιοντικές, οδήγησαν στην άποψη ότι βασική προϋπόθεση για την παραγωγή της μεταχρωματικής χροιάς είναι ο σχηματισμός κάποιου άλατος ή πολικής ένωσης μεταξύ μιας χρωστικής ουσίας και μιας χρωμοτρόπου.

### **2.3.3 Απομάκρυνση χρωστικής**

Για την απομάκρυνση του χρώματος έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: φυσικές, βιολογικές και χημικές (Dos Santos et al. 2007, Crini 2006, Pearce et al. 2003, Forgacs et al. 2004, Hao et al. 2000). Οι ηλεκτροχημικές και η μέθοδος της εκχύλισης ζεύγους ιόντων είναι σχετικά πρόσφατες, ενώ οι υπόλοιπες χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια.

Κάθε διαδικασία έχει τους περιορισμούς της σε ότι αφορά το κόστος, τη δυνατότητα πραγματοποίησης, την αξιοπιστία, τη σταθερότητα, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την παραγωγή λάσπης, τη λειτουργική δυσκολία, τις απαιτήσεις προεπεξεργασίας και πιθανά τη δημιουργία τοξικών υποπροϊόντων. Η αποτελεσματικότητα της προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα περιορίζεται μόνο σε υδρόφοβα και ιονικά χρώματα για συγκεκριμένο τύπο άνθρακα (είδος ενεργοποίησης, μέγεθος πόρων) και για περιορισμένη κλίμακα pH. Οι χημικές μέθοδοι οξειδωσης όταν χρησιμοποιούνται αυτόνομα επιτυγχάνουν πολύ καλό βαθμό αποχρωματισμού, ο οποίος όμως δεν συνοδεύεται από παράλληλη μείωση των περιβαλλοντικών παραμέτρων (COD, BOD), γεγονός που σημαίνει ότι δεν επιτυγχάνεται επαρκής αποικοδόμηση των χρωμάτων (Hao et al. 2000). Συμπεραίνεται ότι η χρήση μιας διεργασίας απομάκρυνσης μπορεί από μόνη της να μην αποχρωμάσει εντελώς τα υγρά απόβλητα και να μην διασπάσει τις χρωστικές ουσίες. Ακόμα και όταν κάποια διεργασία είναι επιτυχής για τον αποχρωματισμό ενός υγρού απόβλητου, η ίδια μέθοδος μπορεί να μην ισχύσει σε άλλους τύπους χρωματισμένων υγρών απόβλητων. Οι φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι η διήθηση με μεμβράνες (νανοδιήθηση, αντίστροφη όσμωση, ηλεκτροδιάλυση κ.α.), η προσρόφηση και η επίπλευση. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των διεργασιών με μεμβράνες είναι ότι έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής προτού να εμφανιστεί το «φράξιμο» των μεμβρανών και έτσι, το κόστος της περιοδικής αντικατάστασης πρέπει να περιληφθεί σε οποιαδήποτε ανάλυση της οικονομικής βιωσιμότητάς τους.

Η προσρόφηση είναι μια από τις δημοφιλέστερες μεθόδους για την απομάκρυνση των ρύπων από τα απόβλητα δεδομένου ότι με τον κατάλληλο σχεδιασμό της διαδικασίας προσρόφησης επιτυγχάνεται η αποτελεσματική κατεργασία των αποβλήτων. Η διεργασία της προσρόφησης παρέχει μια ελκυστική εναλλακτική λύση για την επεξεργασία των αποβλήτων, ειδικά εάν το ροφητικό υλικό είναι φθηνό και δεν απαιτεί προ-επεξεργασία πριν από την εφαρμογή του.

Η προσρόφηση υπερέχει έναντι των άλλων διεργασιών, για κόστος, την ευελιξία, την απλότητα του σχεδιασμού, την ευκολία της λειτουργίας και στο ότι οδηγεί στο σχηματισμό μη επιβλαβών ουσιών (Crini 2006).



Η προσρόφηση έχει αποδειχθεί ότι είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την απομάκρυνση μη-βιοδιασπάσιμων οργανικών ουσιών από τα υδατικά διαλύματα και οι ενεργοί άνθρακες είναι τα πιο κοινά προσροφητικά λόγω της αποτελεσματικότητάς τους. Οι ενεργοί άνθρακες λαμβάνονται από υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και εμφανίζουν μεγάλη προφητική ικανότητα, η οποία καθορίζεται από την πορώδη δομή τους. Ωστόσο, ο ενεργός άνθρακας τόσο σε κοκκώδη μορφή, όσο και σε μορφή σκόνης, παρουσιάζει μειονεκτήματα. Είναι αρκετά ακριβός και το κόστος του μεγαλώνει όσο καλύτερη είναι η ποιότητα του. Τόσο η χημική όσο και η θερμική αναγέννησή του είναι ακριβή διότι η εκρόφηση του δεσμευμένου χρώματος είναι πολύ δύσκολη λόγω των πολύ ισχυρών δεσμών χρώματος – προσροφητικού.

Οι βιολογικές μέθοδοι διακρίνονται σε αερόβιες και αναερόβιες διεργασίες. Οι μέθοδοι αυτοί προτιμώνται καθώς είναι περισσότερο «φιλικές» προς το περιβάλλον, έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και δεν απαιτούν την προσθήκη χημικών.

Οι μέθοδοι της κροκίδωσης-καταβύθισης βασίζονται στην προσθήκη κατάλληλων κροκιδωτικών μέσων όπως υδροξείδιο του ασβεστίου ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), τρισθενές αργίλιο ( $\text{Al}^{3+}$ ), δισθενής σίδηρος ( $\text{Fe}^{2+}$ ), τριχλωριούχος σίδηρος ( $\text{FeCl}_3$ ), μίγμα χλωριούχου μαγνησίου-υδροξειδίου του ασβεστίου [ $\text{MgCl}_2/\text{Ca(OH)}_2$ ], με σκοπό την καταβύθιση των έγχρωμων οργανικών μεγαλομορίων του αποβλήτου με μορφή λάσπης.

Η χλωρίωση συνίσταται στη χρήση του χλωρίου ή/και του υποχλωριώδους νατρίου ( $\text{NaOCl}$ ), ως οξειδωτικού και απολυμαντικού και είναι γνωστή λόγω της ευρείας χρήσης του στην επεξεργασία του πόσιμου ύδατος. Αποτελεί ένα φθινό και αποτελεσματικό μέσο, το οποίο όμως παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα λόγω της δημιουργίας χλωριωμένων οργανικών παραγώγων, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν μεγαλύτερο κίνδυνο (καρκινογόνα, μεταλλαξιογόνα) σε σχέση με τους πρωτογενείς ρύπους.

### 3. Σκοπός της πτυχιακής

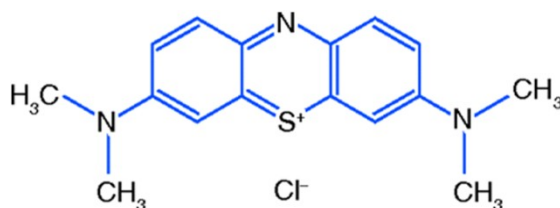
Αυτή η πειραματική διαδικασία και έρευνα ελέγχει πως η προσρόφηση του μπλε μεθυλενίου σε ενεργό άνθρακα αλλάζει ανάλογα τη διαφορά του pH και της θερμοκρασίας. Στο τελικό γράφημα με βάση των καμπυλων προσροφησης και τη πρότυπη καμπύλη, σκοπός είναι να δούμε υπό ποιες συνθήκες υπάρχει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα δηλαδή, η καλύτερη δυνατή προσροφηση της χρωστικής στη παρούσα συγκέντρωση ενεργού άνθρακα.

Τέλος φαίνεται πόσο καλά ανταπεξέρχεται ο ενεργός άνθρακας σαν υλικό προσρόφησης σε σχέση με άλλα προσροφητικά μέσα σε ότι αφορά τη συγκεκριμένη χρωστική.

### 4. Πειραματικό μέρος

#### 4.1 ΥΛΙΚΑ

Η χρωστική ουσία που χρησιμοποιήθηκε είναι το μπλέ του μεθυλενίου με μοριακό τύπο  $C_{16}H_{18}N_3SCl$



Σχήμα 1. Μοριακή δομή Μπλέ του Μεθυλενίου

Το προσροφητικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ενεργός άνθρακας σε κονιοποιημένη μορφή.



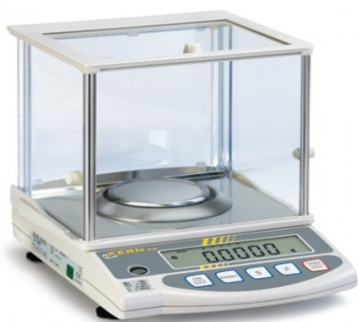
Εικόνα 1. Ενεργός άνθρακας σε κονιοποιημένη μορφή.

Αντιδραστήρια :Υδροχλωρικό οξύ HCL (0,1N) , Υδροξείδιο του νατρίου NaOH (0,1N) και απεσταγμένο νερό (H<sub>2</sub>O).

#### 4.2 Σκεύη και συσκευές

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω σκεύη :

- Ογκομετρικές φιάλες των 100ml, 150ml και 1L
- Σιφώνια μέτρησης των 10ml και 1 ml
- Εσφυρισμένα μπουκάλια του 1L
- Πουάρ τριών βαλβίδων
- Πιπέτες
- Υδροβολέας
- Ποτήρια ζέσεως
- Ογκομετρικοί κύλινδροι
- Κυψελίδα απο χαλαζία πάχους 1cm



Εικόνα 2. Αναλυτικός ζυγός εργαστηρίου



Εικόνα 3. Πουάρ τριών βαλβίδων

## Συσκευές

- Αναλυτικός ζυγός εργαστηρίου
- Πεχάμετρο
- Φούρνος
- Θερμοστατούμενη τάρακτος
- Φασματοφωτόμετρο υπεριώδους/ορατού της εταιρείας Thermo , μοντέλο Helios

### **4.3 Πειράματα προσρόφησης**

Κατά τη μελέτη της προσρόφησης του χρώματος στην επιφάνεια κονιοποιημένου ενεργού άνθρακα , εξετάσθηκε η επίδραση των παρακάτω παραγόντων καθώς και ο συνδιασμός αυτών.

1. Της θερμοκρασίας
2. Της τιμής του PH

#### **4.3.1. Μέθοδος προσδιορισμού της χρωστικής**

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της χρωστικής πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας υπεριώδους – ορατού η οποία αποτελεί κατάλληλη μέθοδο μέτρησης μιας και η χρωστική απορροφά στην ορατή περιοχή του φάσματος. Χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο υπεριώδους / ορατού της εταιρείας Thermo, μοντέλο Helios. Ο Ποσοτικός προσδιορισμός μπορεί να επιτευχθεί με τη μέτρηση του μήκους κύματος στο οποίο η ένωση παρουσιάζει τη μέγιστη απορρόφηση. Οι μονάδες απορρόφησης που λαμβάνονται απο τις μετρήσεις μετατρέπονται σε συγκέντρωση της υπο μέτρησης ένωσης, με βάση την εξίσωση που προκύπτει απο τη πρότυπη καμπύλη αναφοράς.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας του χρώματος που έχει προσροφηθεί χρησιμοποιούμε την παρακάτω εξίσωση :

$$q_e = (C_o - C_e)V / m$$

Όπου

$q_e$  = η συγκέντρωση της ουσίας στο προσροφητικό μέσο μετά την ισορροπία mg/g

$C_o$  = η αρχική συγκέντρωση της προσροφημένης ουσίας mg/L

$C_e$  = η τελική συγκέντρωση ισορροπίας της προσροφημένης ουσίας μετά την επίτευξη ισορροπίας mg/L

$V$  = ο όγκος του υγρού στον αντιδραστήρα L

$m$  = η μάζα του προσροφητικού μέσου g

#### 4.3.2. Φασματοφωτομετρική ανάλυση (UV\_Vis)

Η φασματομετρία μοριακής απορρόφησης στηρίζεται στην μέτρηση της διαπερατότητας (T) ή της απορρόφησης (A) διαλυμάτων που τοποθετούνται σε διαφανείς κυψελίδες. Στηρίζεται στο νόμο Lambert'Beer ο οποίος εκφράζεται μαθηματικά από την εξίσωση :

$$A = \log_{10} T = \log P_0/P = \epsilon b C$$

Όπου:

A: Απορρόφηση

T: Οπτική διαπερατότητα

$P_0$  : Ισχύς προσπίπτουσας μονοχρωματικής ακτινοβολίας

P : Ισχύς εξερχόμενης μονοχρωματικής ακτινοβολίας

$\epsilon$  : Γραμμομοριακή απορροφητικότητα (molar absorptivity=

b : πάχος κυψελίδας

c : Συγκέντρωση διαλύματος

Οι ενώσεις που απορροφούν στη περιοχή UV/Vis είναι ενώσεις οι οποίες φέρουν κάποια χρωμοφόρα ομάδα (Ζαχαρής κ. 2011)

#### 4.3.3. Πρότυπη καμπύλη αναφοράς

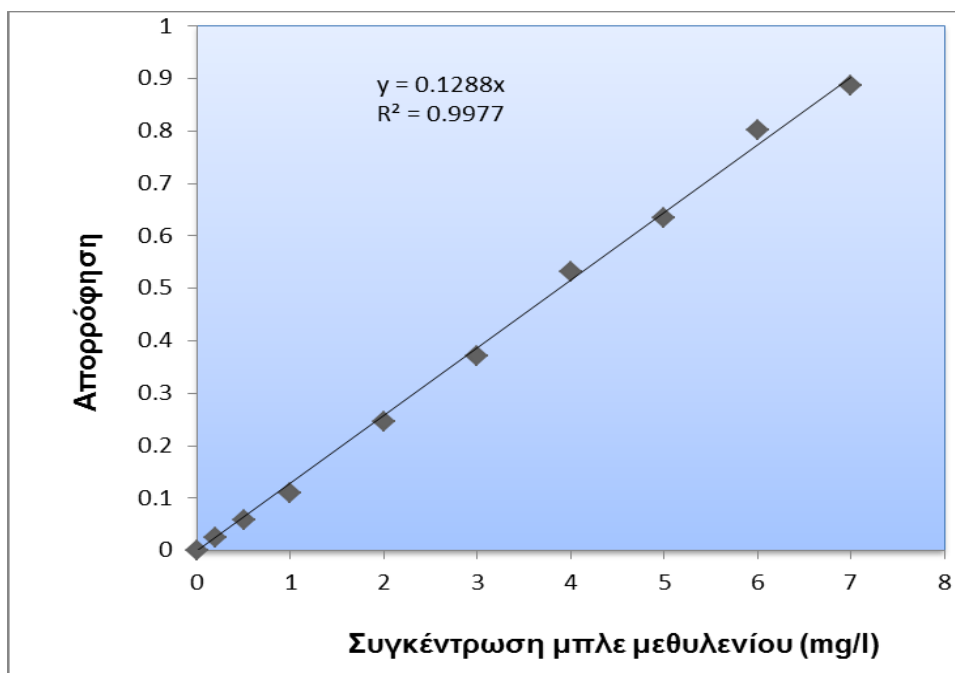
Η πρότυπη καμπύλη αναφοράς κατασκευάστηκε με την εξής διαδικασία:

Παρασκευάστηκε αρχικό διάλυμα μπλέ του μεθυλενίου 100mg/l και στη συνέχεια αραιώθηκε σε 0.2 , 0.5 , 1 , 2, 3, 4, 5, 6, και 7 mg/l. Στα διαλύματα αυτά μετρήθηκε η απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο Thermo, μοντέλο Helios, σε μήκος κύματος 620nm. Στη συνέχεια γίνεται διάγραμμα με τις τιμές των συγκεντρώσεων των προτύπων διαλυμάτων (άξονας x) και των αντίστοιχων απορροφήσεων τους (άξονας y).

Η συνάρτηση είναι γραμμική και προκύπτει η πρότυπη καμπύλη αναφοράς.

**Πίνακας 1:** Απορρόφηση πρότυπων διαλυμάτων μπλέ του μεθυλενίου σε διαφορετικές συγκεντρώσεις . Μήκος κύματος μετρήσεων 620nm.

Συγκέντρωσ η (mg/l)	Απορρόφηση A
0	0
0.2	0.024
0.5	0.059
1	0.109
2	0.247
3	0.37
4	0.532
5	0.635
6	0.802
7	0.887



**Σχήμα 2.** Πρότυπη καμπύλη αναφοράς μπλε του μεθυλενίου.

#### 4.3.4. Κατεργασία δειγμάτων

Η πειραματική διαδικασία ξεκινάει με αραίωση μπλε του μεθυλενίου (1000mg/l) εκ του οποίου λαμβάνονται 100ml και συμπληρώνεται με 900ml αποσταγμένο νερό προς παρασκευή μπλε του μεθυλενίου (100mg/l). Για κάθε μέτρηση συγκεκριμένου pH και θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν τρεις αριθμημένες φιάλες των 250ml (ώστε να υπάρχει μέσος όρος αυτών) προσθέτοντας σε κάθε μία 150ml μπλε του μεθυλενίου και 0,1g κονιοποιημένου άνθρακα που ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας. Για τη ρύθμιση του pH στην επιθυμητή τιμή χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα υδροχλωρικού οξέος (HCl) και καυστικού νατρίου (NaOH) και ο έλεγχος του pH έγινε με πεχάμετρο. Μετά τη παρασκευή των διαλυμάτων, οι φιάλες τοποθετούνται σε θερμοστατούμενη συσκευή ανατάραξης και ρυθμίζεται η θερμοκρασία τους ανάλογα με την επιθυμητή θερμοκρασία των διαλυμάτων. Ο χρόνος παραμονής τους στον θερμοστατούμενο θάλαμο είναι τρεις μέρες. Ο χρόνος αυτός προέκυψε κατόπιν πειραμάτων για την εύρεση της βέλτιστης απορρόφησης μπλε του μεθυλενίου. Μετά το πέρας των τριών ημερών οι φιάλες απομακρύνονται από το θάλαμο. Απο κάθε φιάλη λαμβάνονται 10ml δείγματος και τοποθετούνται σε ογκομετρικές φιάλες των 100ml οι οποίες στη συνέχεια πληρώνονται με αποσταγμένο νερό. Ακολουθεί φασματοφωτομετρικός

προσδιορισμός της υπολειπόμενης συγκέντρωσης του μπλε του μεθυλενίου στα 620nm για όλα τα δείγματα.

## 5. Μετρήσεις -Αποτελέσματα

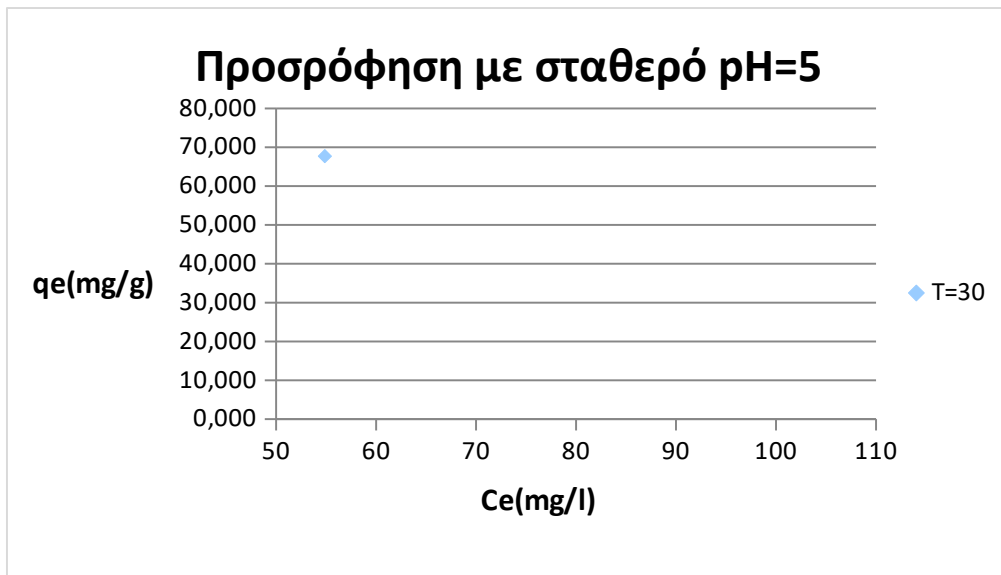
### 5.1 Επίδραση της θερμοκρασίας στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα.

pH	T °C	Ce	Qe
5	30	54,87	67,702
5,6	22,9	11,41	132,880
5,6	38	10,87	133,696
7	20	16,02	125,970
7	30	34,37	98,447
7	30	35,38	96,933
7	30	32,97	100,543
7	30	28,99	106,522
7	30	31,68	102,484
7	30	34,01	98,991
7	38	5,77	141,343
8,4	22,9	7,27	139,092
8,4	38	1,76	147,360
9	30	6,26	140,606

Πίνακας 1.Επίδραση της θερμοκρασίας στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα.

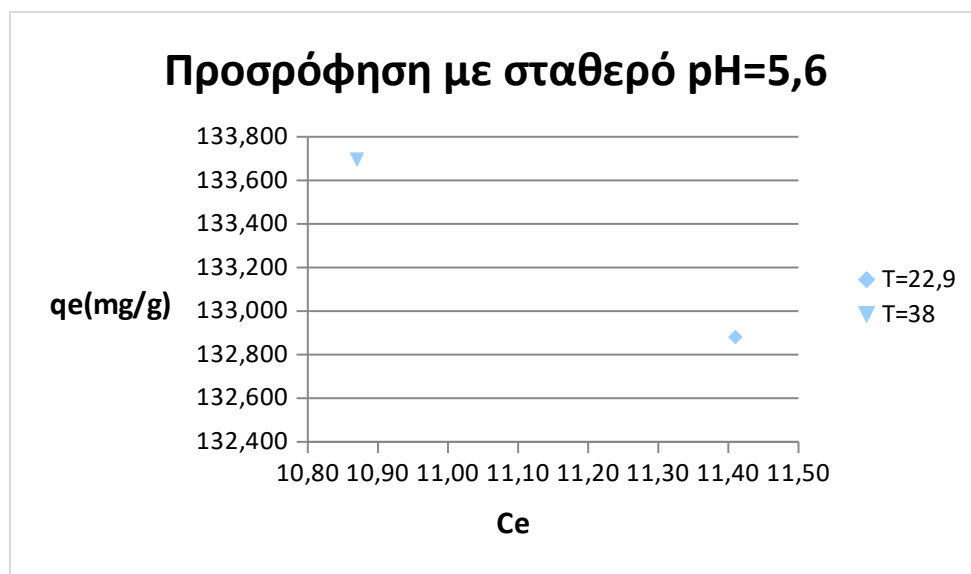
Η θερμοκρασία αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά τη διαδικασία της προσρόφησης. Αυτό διαπιστώνεται και απο τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο πίνακα 1. Η μεταβολή της θερμοκρασίας διαφοροποιεί τη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα με υψηλότερα ποσά προσροφούμενης ουσίας να εμφανίζονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Συνεπώς η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τη προσροφητική ικανότητα.





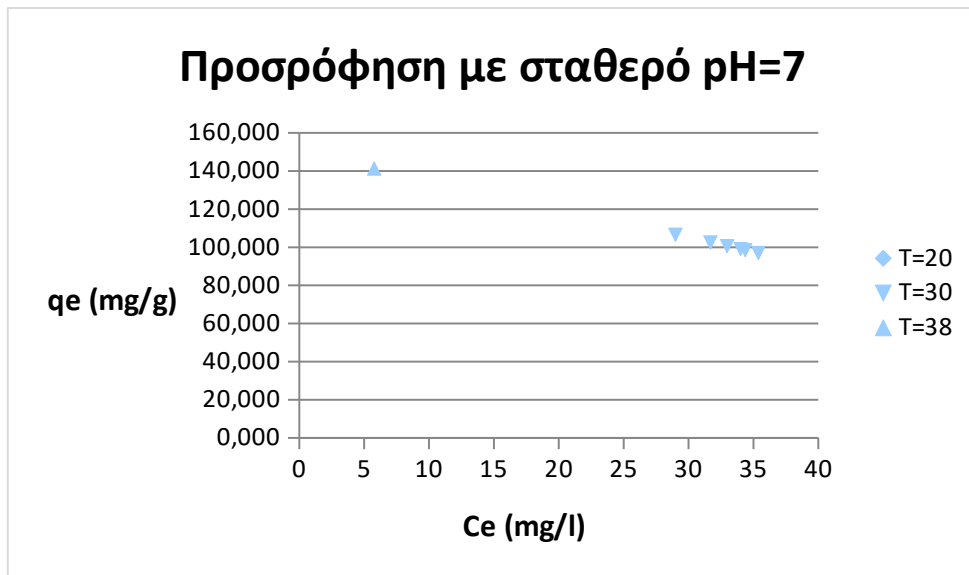
Σχήμα 3. Επίδραση της θερμοκρασίας στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα για pH=5

Για pH=5 το  $q_e=67.702$  mg/g στους  $30^{\circ}\text{C}$ .



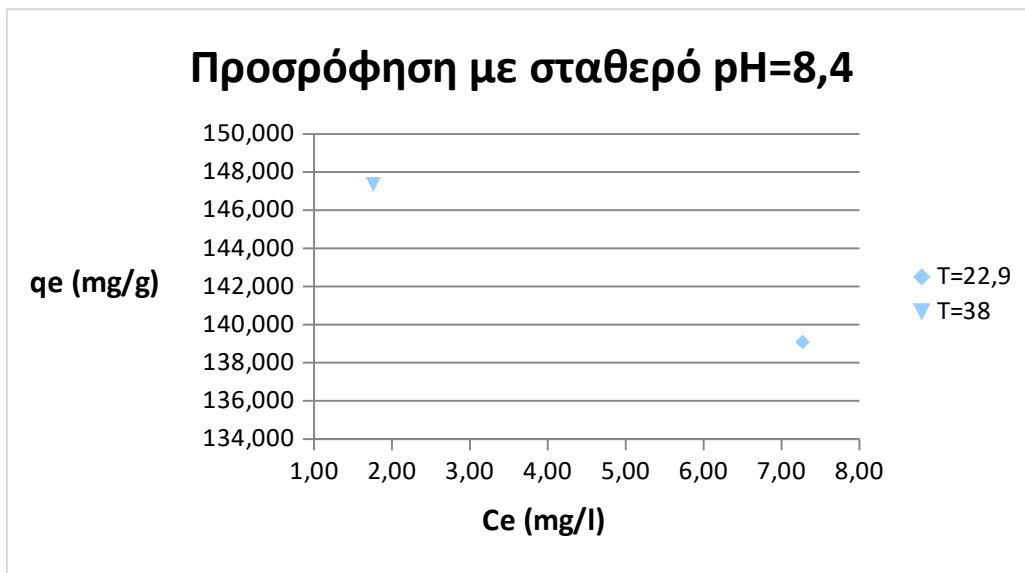
Σχήμα 4. Επίδραση της θερμοκρασίας στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα για pH=5.6

Στο σχήμα 4 για pH=5.6 παρατηρείται υψηλή προσροφητική ικανότητα στους  $38^{\circ}\text{C}$  με  $q_e=133.696$  mg/g ενώ χαμηλότερη παρατηρείται στους  $22.9^{\circ}\text{C}$  με  $q_e=132.880$  mg/g.



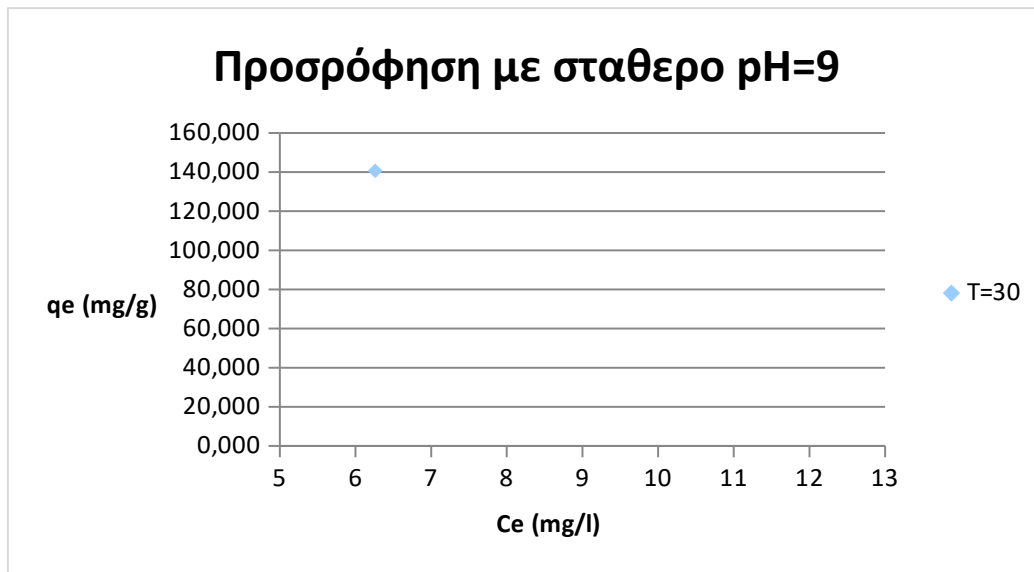
Σχήμα 5 Επίδραση της θερμοκρασίας στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα για pH=7

Στο σχήμα 5. για pH=7 παρατηρείται μια μέγιστη προσροφητική ικανότητα στους **38°C με qe=141.343mg/g** , μια μικρότερη στους 30°C με qe= και μια ελάχιστη στους 20°C με qe=



Σχήμα 6. Επίδραση της θερμοκρασίας στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα για pH=8.4

Στο σχήμα 6. για  $pH=8.4$  παρατηρείται υψηλότερη προσροφητική ικανότητα στους  $38^{\circ}C$  με  $q_e=147.360$  και χαμηλότερη τους  $22.9^{\circ}C$  με  $q_e=139.092$ .



Σχήμα 7. Επίδραση της θερμοκρασίας στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα για  $pH=9$

Στο σχήμα 7. για  $pH=9$  στους  $30^{\circ}C$  έχουμε  $q_e=140.606$ .

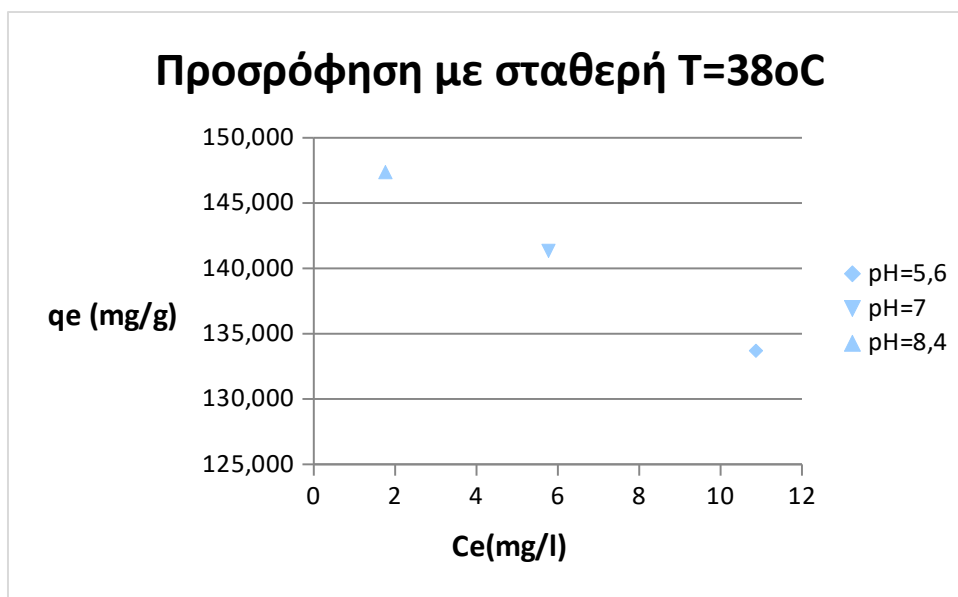
## 5.2 Επίδραση pH στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα

T	pH	Ce	qe
38	5,6	10,87	133,696
38	7	5,77	141,343
38	8,4	1,76	<b>147,360</b>
30	5	54,87	67,702
30	7	34,37	98,447
30	7	35,38	96,933
30	7	32,97	100,543
30	7	28,99	106,522
30	7	31,68	102,484
30	7	34,01	98,991
30	9	6,26	<b>140,606</b>
22,9	5,6	11,41	132,880
22,9	8,4	7,27	<b>139,092</b>
20	7	16,02	125,970

Πίνακας 2. Επίδραση του pH στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα.

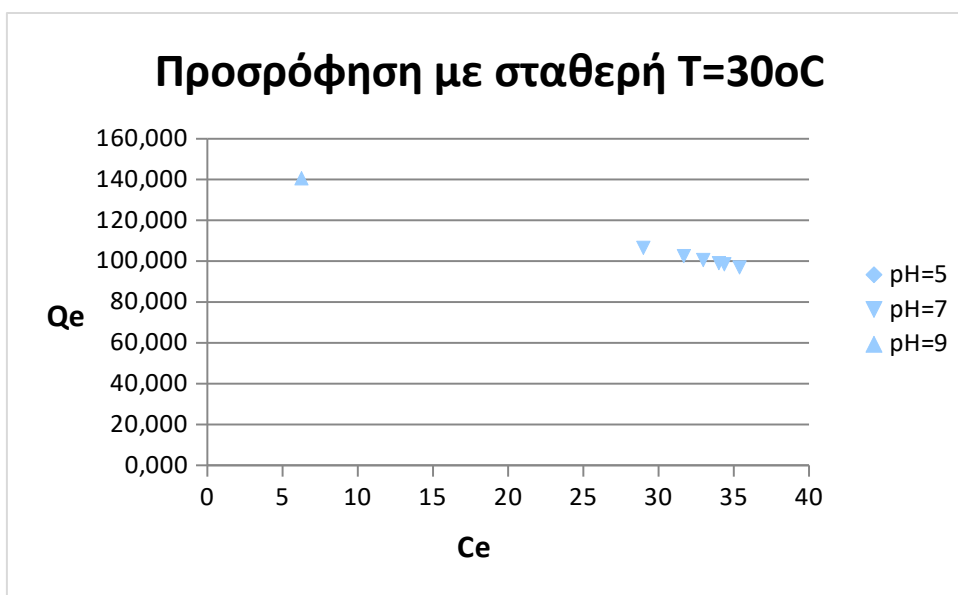
Ο έλεγχος της τιμής του pH είναι πολύ σημαντικός στη προσρόφηση αφού επηρεάζει το βαθμό ιονισμού της χρωστικής καθώς και τις επιφανειακές ιδιότητες του προσροφητικού μέσου. Η αντίδραση ιονισμού είναι ενδόθερμη και με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται δεξιά οπότε αυξάνεται η τιμή ιονισμού.

Όπως φαίνεται και στο πίνακα 2. σε υψηλότερες τιμές pH παρατηρείται υψηλότερη προσροφητική ικανότητα κυρίως όταν αυτές συνδυάζονται με υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι η μέγιστη προσροφητική ικανότητα παρουσιάζεται σε θερμοκρασία 38°C και pH=8.4 με τη ποσότητα προσροφούμενης ουσίας ανα μονάδα προσροφητικού μέσου να είναι  $q_e=147.360$  mg/g ενώ η μικρότερη ποσότητα προσροφούμενης ουσίας παρατηρείται σε θερμοκρασία 30°C και pH=5 με το  $q_e$  να είναι ίσο με 67.702mg/g.



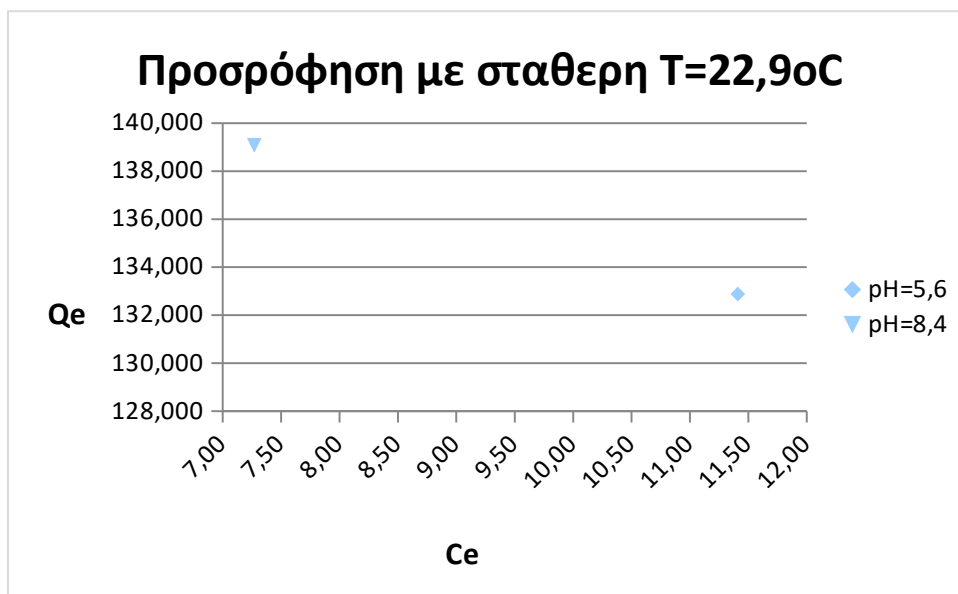
Σχημα 8 Επίδραση του pH στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα σε θερμοκρασία T=38<sup>o</sup>C

Στο σχήμα 8. για θερμοκρασία T=38<sup>o</sup>C παρατηρείται προσροφητική ικανότητα με **qe= 147.360mg/g** για **pH=8.4** , **qe=141.343** για **pH=7** και **qe=133.696** για **pH=5.6**



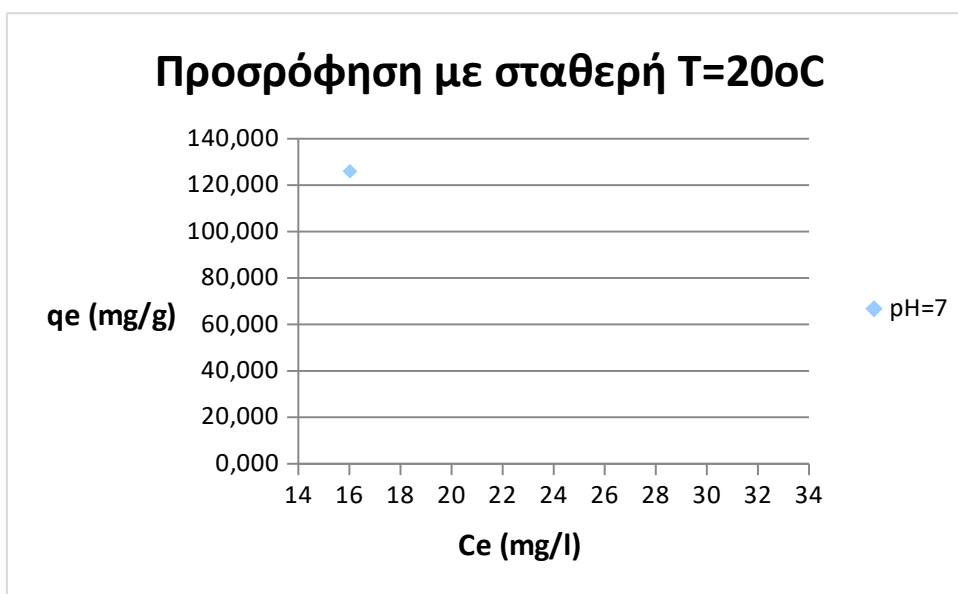
Σχήμα 9 Επίδραση του pH στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα σε θερμοκρασία T=30<sup>o</sup>C

Στο σχήμα 9. για θερμοκρασία T=30<sup>o</sup>C η υψηλότερη προσροφητική ικανότητα εμφανίζεται σε **pH=9 με qe=140.606 mg/g** , μία μικρότερη σε **pH=7 με qe= 100.653mg/g** και η μικρότερη σε **pH=5 με qe= 67.702mg/g**.



Σχήμα 10. Επίδραση του pH στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα σε θερμοκρασία T=22.9°C

Στο σχήμα 10. για θερμοκρασία T=22.9°C παρατηρείται προσροφητική ικανότητα με  $q_e=139.092\text{mg/g}$  σε pH=8.4 και  $q_e=132.880\text{mg/g}$  σε pH=5.6



Σχήμα 11. Επίδραση του pH στη προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα σε θερμοκρασία T=20°C

Στη θερμοκρασία  $T=20^{\circ}\text{C}$  το ποσό της προσροφούμενης ουσίας είναι  $q_e=125.970\text{mg/g}$  όταν το διάλυμα έχει  $\text{pH}=7$

### 5.3.Επίδραση του pH στην απόδοση της προσρόφησης

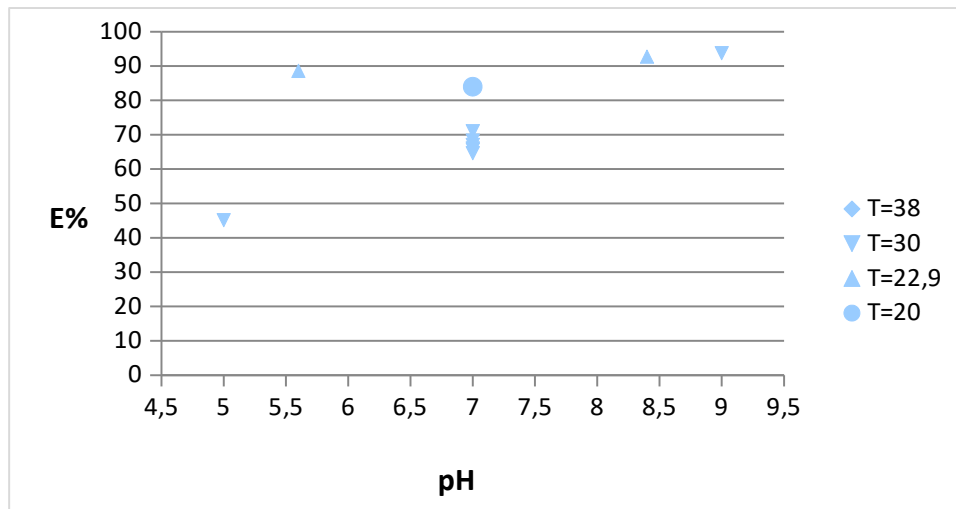
Η απόδοση της προσρόφησης εκφράζει τη ποσότητα της ουσίας που προσροφήθηκε από το προσροφητικό μέσο προς την αρχική ποσότητα της ουσίας στο διάλυμα. Εκφράζεται επί τοις εκατό και προκύπτει από την εξίσωση:

$$E\% = (C_0 - C_e / C_0) * 100$$

$T^{\circ}\text{C}$	pH	E%
38	5,6	89,13
38	7	94,23
38	8,4	98,24
30	5	45,13
30	7	65,63
30	7	64,62
30	7	67,03
30	7	71,01
30	7	68,32
30	7	65,99
30	9	93,74
22,9	5,6	88,59
22,9	8,4	92,73
20	7	83,98

Πίνακας 3. Επίδραση του pH στην απόδοση της προσρόφησης

Όπως η προσροφητική ικανότητα έτσι και η απόδοση της προσρόφησης είναι υψηλότερη σε υψηλές τιμές pH με τη μέγιστη απόδοση  $E=98.24\%$  σε  $\text{pH}=8.4$  και θερμοκρασία  $38^{\circ}\text{C}$  και την ελάχιστη απόδοση  $E=45.13\%$  σε  $\text{pH}=5$  και θερμοκρασία  $30^{\circ}\text{C}$ .



Σχήμα 12. Επίδραση του pH στην απόδοση της προσρόφησης

#### 5.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση της προσρόφησης

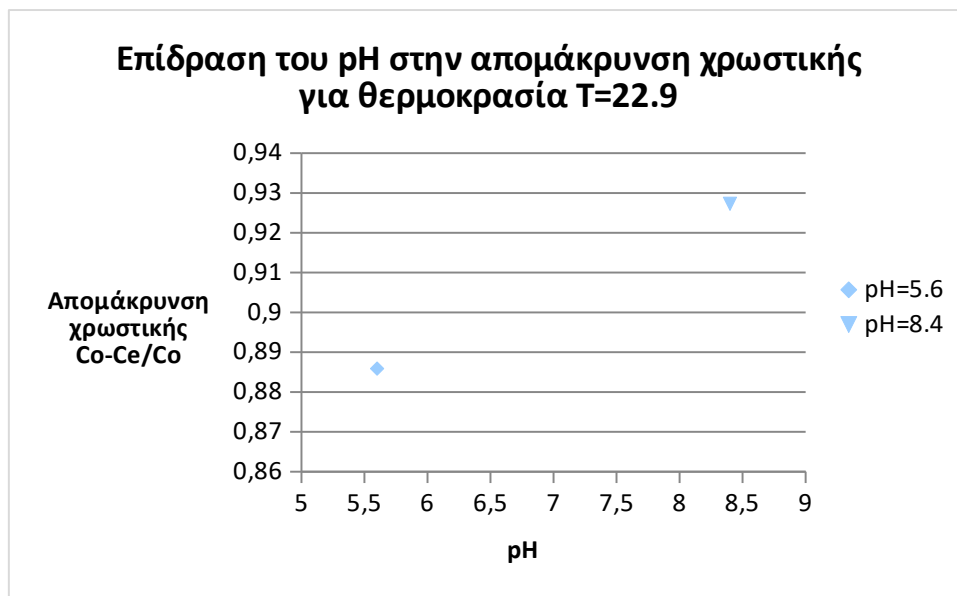
pH	T <sup>0</sup> C	E%
5	30	45.13
5.6	22.9	88.59
5.6	38	89.13
7	20	83.98
7	30	65.63
7	30	64.62
7	30	67.03
7	30	71.01
7	30	68.32
7	30	65.99
7	38	94.23
8.4	22.9	92.73
8.4	38	98.24
9	30	93.74

Πίνακας 4. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση της προσρόφησης.

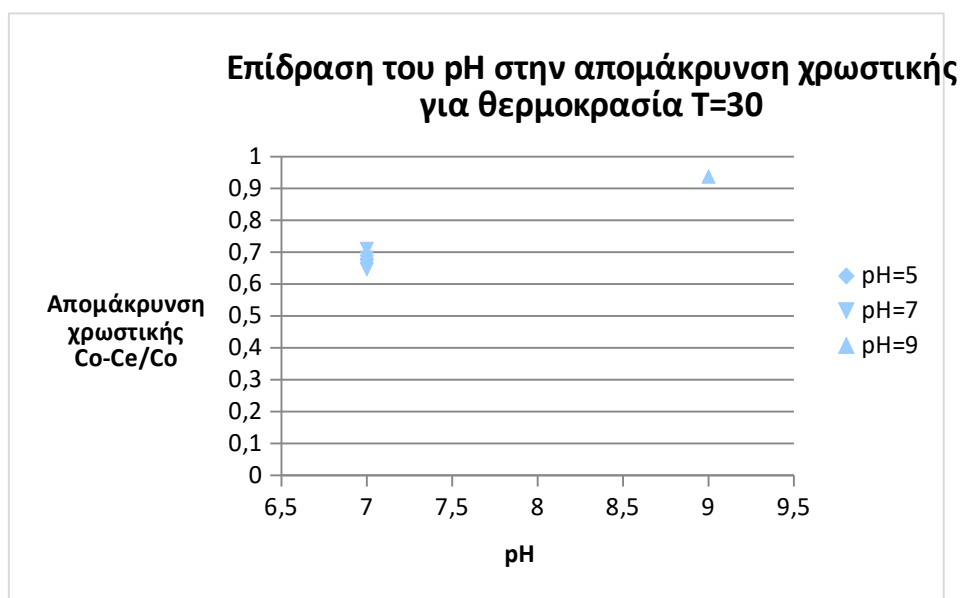
Η απόδοση της προσρόφησης εμφανίζεται μεγαλύτερη σε υψηλότερες θερμοκρασίες και πολύ περισσότερο όταν αμφότερες συνδιάζονται και με υψηλές τιμές pH.



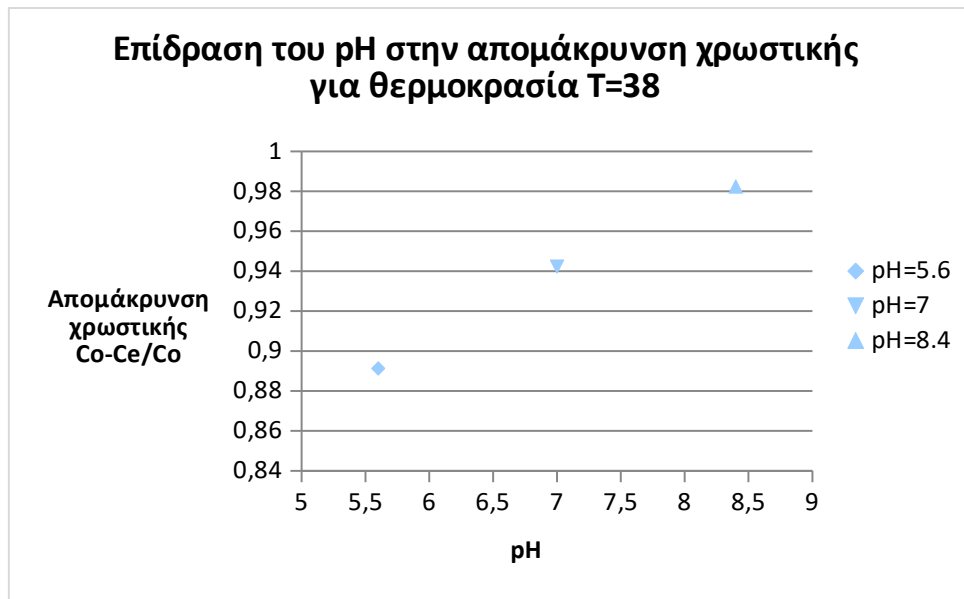
## 5.5 Επίδραση του pH στην απομάκρυνση χρωστικής



Σχήμα 13. Επίδραση του pH στην απομάκρυνση χρωστικής



Σχήμα 14. Επίδραση του pH στην απομάκρυνση χρωστικής

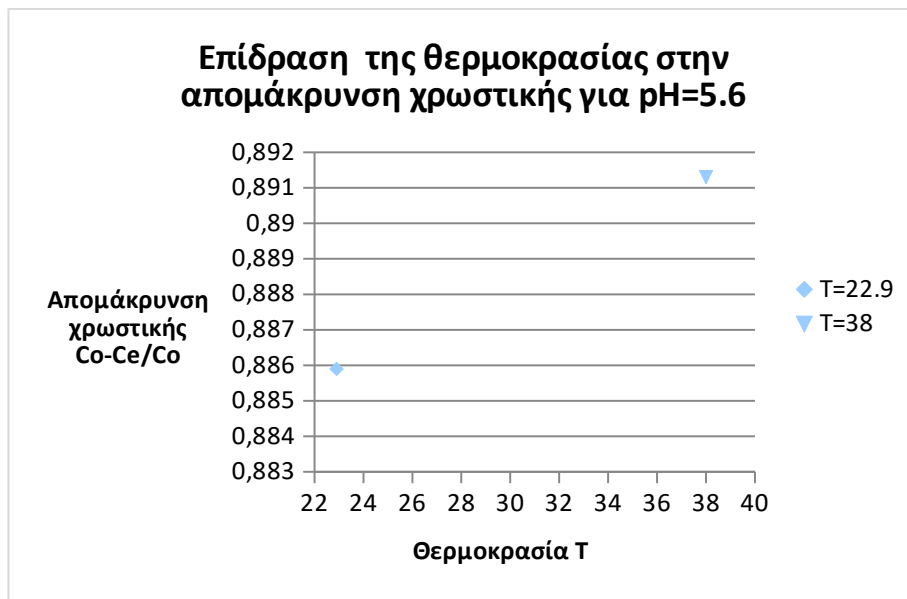


Σχήμα 15. Επίδραση του pH στην απομάκρυνση χρωστικής

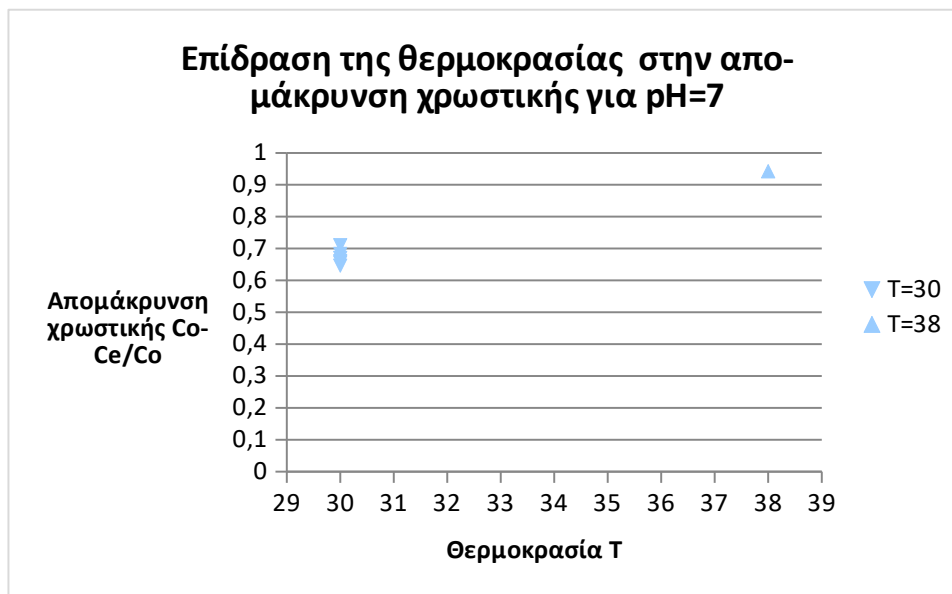
T oC	pH	co-ce/ co
38	5,6	0,8913
38	7	0,9423
38	8,4	0,9824
30	5	0,4513
30	7	0,66
30	7	0,6462
30	7	0,6703
30	7	0,7101
30	7	0,6832
30	7	0,6599
30	9	0,9374
22,9	5,6	0,8859
22,9	8,4	0,9273
20	7	0,8398

Πίνακας 5. Επίδραση του pH στην απομάκρυνση χρωστικής.

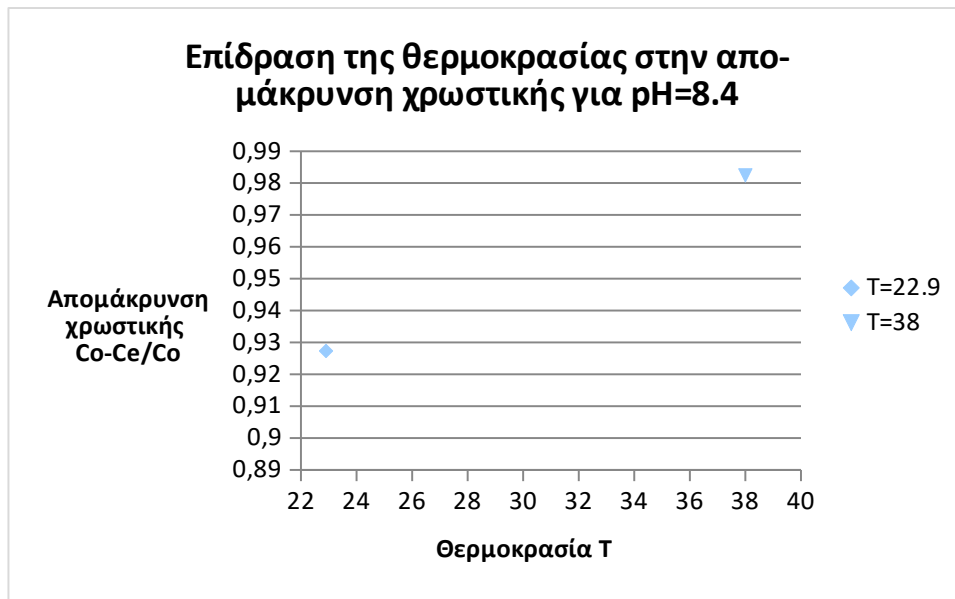
## 5.6 Επίδραση της θερμοκρασίας στην απομάκρυνση χρωστικής



Σχήμα 16. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απομάκρυνση χρωστικής



Σχήμα 17. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απομάκρυνση χρωστικής



Σχήμα 18. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απομάκρυνση χρωστικής

pH	T οC	co-ce/ co
5	30	0,4513
5,6	22,9	0,8859
5,6	38	0,8913
7	30	0,66
7	30	0,6462
7	30	0,6703
7	30	0,7101
7	30	0,6832
7	30	0,6599
7	38	0,9423
8,4	22,9	0,9273
8,4	38	0,9824
9	30	0,9374

Πίνακας 6. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απομάκρυνση χρωστικής.

## 6.Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας και του pH καθώς και ο συνδυασμός αυτών στην απομάκρυνση οργανικών ουσιών (χρωστικής μπλε μεθυλενίου) απο την υγρή φάση με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα.

Κατόπιν μετρήσεων, στα διαγράμματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι υπάρχει υψηλότερη προσροφητική ικανότητα και υψηλότερη απόδοση της προσρόφησης όταν έχουμε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας σε συνδιασμό με υψηλό pH.

Στη προκειμένη περίπτωση, η καλύτερη δυνατή προσρόφηση παρατηρήθηκε σε θερμοκρασία 38°C με pH 8,4 ενώ χαμηλότερη προσρόφηση παρατηρήθηκε σε θερμοκρασία 30°C με pH 5.

Αντίστοιχα για την απόδοση η υψηλότερη τιμή E=98.24% παρατηρήθηκε σε θερμοκρασία 38°C με pH 8.4 ενώ η χαμηλότερη παρατηρήθηκε σε θερμοκρασία 30°C με pH 5.

Εν συντομία:

- Υψηλή προσροφητική ικανότητα και απομάκρυνση της προσρόφησης σε υψηλή θερμοκρασία με υψηλό pH.
- Σε υψηλότερο pH και θερμοκρασία κινούνται γρηγορότερα τα μόρια
- Εξώθερμη αντίδραση στις παρούσες θερμοκρασίες. Μελέτες έδειξαν πως στους 20-40°C η αντίδραση είναι εξώθερμη ενώ σε άλλες θερμοκρασίες ενδρόθερμη.
- Πιθανότητα να μην έφτασε σε ισορροπία λόγω λιγότερων ημερών και να μας εξαπάτησε φαινομενικά.
- Ενεργός άνθρακας ουδέτερος, απομακρύνει ουδέτερες ουσίες (δεν απομακρύνει ιόντα, τα κρατά με χαλαρές δυνάμεις)
- Σε υψηλό pH τα μόρια MB ουδέτερα άρα περισσότερα μόρια,εγκλοβίζονται τα Cl, αδιάστατη δομή, σταθερή δομή περισσότερη προσρόφηση.

## 7. Θέματα για συζήτηση

- Μελέτη της προσροφητικής ικανότητας ενεργού άνθρακα σε άλλους τύπους χρωστικών.
- Μελέτη της δυνατότητας εκρόφησης του ενεργού άνθρακα.
- Μελέτη της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης MB

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Γιαννακουδάκης Δ. (2010). Μελέτη της απομάκρυνσης χρωστικών από υδατικά διαλύματα με τη μέθοδο της προσρόφησης σε ενεργούς άνθρακες. Διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη.
2. Ζαχαρίου – Δώδου, Μαρία, “ Διαχείριση Βιομηχανικών Αποβλήτων ” , ΕΜΠ, 1995.
3. Κουϊμτζής Θ., Κ.Φυτιάνος, Κ.Σαμαρά – Κωνσταντίνου, “ Χημεία Περιβάλλοντος ”, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη (1998).
4. Κύζας Γ. (2010). Απομάκρυνση χρωστικών από υδατικά συστήματα με τη τεχνική της ρόφησης. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
5. Μανάσσης Μ. (2001). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία του νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, 2η έκδοση, Θεσσαλονίκη.
6. Μπάμπη, Κωνσταντίνα, “ Μελέτη της απομάκρυνσης με προσρόφηση απο ενεργό άνθρακα των οργανικών παραπροϊόντων της χλωρίωσης του πόσιμου νερού ” , ΑΠΘ 2008.
7. Παπαγιαννακόπουλος Π. και Μ. Κοσμάς, “ Φυσικοχημεία ” , Τόμος III, Απόδοση στην ελληνική γλώσσα του πρωτότυπου με τίτλο “ Physical Chemistry ” , Atkins (1989). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, (2001)
8. Π. Σαμαράς διδακτορική διατριβή : Παραγωγή, χαρακτηρισμός και προσροφητική ικανότητα ενεργών ανθράκων από ελληνικό λιγνίτη, 1994.
9. Σακελλαρόπουλος Γ.Π., “Σημειώσεις καταλυτικών διεργασιών” , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Εργαστήριο Γενικής Χημικής Τεχνολογίας, Θεσσαλονίκη ,2002.
10. Σκλαρή Σ. (2012). Σημειώσεις για τη Τεχνολογία Νερού. Σημειώσεις για το Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, ΑΤΕΙΘ.
11. Σταυρόπουλος Γ., “Προσδιορισμός ειδικής επιφάνειας, πορώδους και κατανομή μεγέθους πόρων των στερεών με ρόφηση”, Περιγραφή Εργαστηριακών Ασκήσεων για το Εργαστήριο Β΄ Χημικής Μηχανικής, 1999.
12. Τσατσαρώνη Ε., Πεγιάδου Σ., Ελευθεριαδης Ι. (1999). “Σημειώσεις Χημείας και Τεχνολογίας Χρωμάτων”. Πανεπιστημιακό τυπογραφείο, ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη
13. MetcalfandEddy. (2006). Μηχανική υγρών αποβλήτων: Επεξεργασία και

επαναχρησιμοποίηση, Τόμος Α, 4η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

14. McCabe W., Smith J., Harriot P. (2003). Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής, 6η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

#### Ξένη Βιβλιογραφία

1. AD Nikolaou, MN Kostopoulou, TD Lekkas 'Organic by-products of drinking water chlorination' Global Nest: Int. J, 1999
2. Al-Degs Y., Khraisheh M.A.M., Allen S. J., Ahmad M. N. (2000). "Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent." Water Research 34, 927-935
3. Al-Qodah, Z., Lafi, W.K., Al-Anber, Z., Al-Shannag, M., Harahsheh, A., "Adsorption of methylene blue by acid and heat treated diatomaceous silica", Desalination, 217, 212-224, (2007).
4. Allen S.J., Koumanova B. (2005). "Decolourisation of water/wastewater using absorption (Review)." J. Univ.Chem. Technol. Metal. 40, 175-192
5. Andreas N. Angelakis, Joan B. Rose Evolution Of Sanitation and Wastewater Technologies through the Centuries.
6. Arnarson, T.S., Keil, R.G., Mechanisms of pore water organic matter adsorption to montmorillonite, Marine Chemistry, 71 (2000) 309-320.
7. Arvanitoyannis, I., Eleftheriadis I., Tsatsaroni, E., Influence of pH on adsorption of dye-containing effluents with different bentonites, Chemosphere, 18 (1989) 1707-1711.
8. Bansal R. Ch., Donnet J.B., and Stoeckli F., "Active Carbon", Marcel Dekker Inc. 1988
9. Bruce Jefferson, Peter J. Jarvis, David W. Dixon, Emma Sharp Treatment of Waters with Elevated Organic Content
10. C. G. V. Burgess, D. H. Everett, and S. Nuttall. "Adsorption Hysteresis in Porous Materials." Pure and Applied Chemistry 1989 : 1845–1852.
11. Chang M.Y., Juang R.S. (2004). Adsorption of tannic acid, humic acid, and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay. Journal of colloid and Interface Science, 278, 18-25.



12. D' Silva, A.P., "Adsorption of antioxidants by carbon blacks", *Carbon*, 36(9), 1317-1325 (1998).
13. David R. Simpson 'Biofilm processes in biologically active carbon water purification.' *Water Research*, June 2008 v.42, p. 2839– 2848
14. Douglas M. Owen Removal of DBP Precursors by GAC Adsorption
15. Forgacs E., Cserhati T., Oros G. (2004). "Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review." *Environment International* 30, 953– 971.
16. Freundlich H.M.F. (1906). "The absorption in solution." *Phys. Chem.* 57 385-410
17. G. Crini 'Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal' *Bioresour Technol.* June 2006, v. 97, p. 1061-85
18. Han, S., Kim, S., Lim, H., Choi, W., Park, H., Yoon, J., Hyeon, T., New nanoporous carbon materials with high adsorption capacity and rapid adsorption kinetics for removing humic acids, *Microporous and Mesoporous Materials*, 58 (2003) 131–135
19. Hao O.J., Kim H., Chiang P.C. (2000). "Decolourization of Wastewater" *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 30, 449-502
20. Ho Y.S. and McKay G., (1999). *Water Research Chemistry Engineering*. 33, 578
21. Ina Kristiana, Cynthia Joll, Anna Heitz 'Powdered activated carbon coupled with enhanced coagulation for natural organic matter removal and disinfection by-product control: Application in a Western Australian water treatment plant.' *Chemosphere*, April 2011, v.83, p.661-667
22. Jozsef Toth Adsorption Theory, modeling and analysis
23. Kainourgiakis, M.E., Kikkinides, E.S., Steriotis, Th.A., Stubos, A.K., Tzevelekos, K.P., Kanellopoulos, N.K. 'Structural and transport properties of alumina porous membranes from process-based and statistical reconstruction techniques' (2000) *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 231 , p. 158-167
24. Mangun C.L., Benak K.R, Economy J. and Foster K.L., "Surface chemistry, pore sizes and adsorption properties of activated carbon fibers and precursors treated with ammonia", *Carbon*, 39, 1809, 2001.
25. Matsui, Y., Kamei, T., Yuasa, A., and Tambo, N., (1996). Adsorption capacity of organic pesticides on granular activated carbon, *WaterResearch*, 14 (2), 31 -41.

26. Mattson J.S., and Mark H.B., "Activated Carbon: Surface Chemistry and Adsorption from Solution", Marcel Dekker Inc., 1971.
27. Metcalf & Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse" by McGraw-Hill Companies Inc. (2003)
28. Newcombe, G., Drikas, M., and Hayes, R., (1997b). Influence of characterised natural organic material on activated carbon adsorption: II. Effect on pore volume distribution and adsorption of 2- methylisoborneol, *J. Water Research*, 31 (5), 1065-1073.
29. O. Ceyhan , D. Baybas 'Adsorption of Some Textile Dyes by Hexadecyltrimethylammonium Bentonite' *Turk. J. Chem.*, (2001), v. 25, p. 193-200.
30. P. I. M. Firmino, M. E. R. da Silva, F. S. B. Mota, A. B. dos Santos 'Applicability of anthraquinone-2,6-disulfonate (AQDS) to enhance colour removal in mesophilic UASB reactors treating textile wastewater', *Braz. J. Chem. Eng.*, Oct./Dec. 2011, v. 28
31. Paul F. McMillan Water solubility and speciation models *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, January 1994, v. 30, p. 132-156
32. Pengfei Lin, Xiaojian Zhang, Jun Wang, Yani Zeng, Shuming Liu, Chao Chen "Comparison of different combined treatment processes to address the source water with high concentration of natural organic matter during snowmelt period." *Journal of Environmental Sciences*, January 2015 v.27, p.51-58
33. Peter Samaras, Evan Diamadopoulos, George P. Sakellaropoulos 'The effect of mineral matter and pyrolysis conditions on the gasification of Greek lignite by carbon dioxide' *Fuel*, July 1996, v. 75, p.1108-1114
34. Wan Ngah W.S., Teong L.C., Hanafiah M.A.K.M. (2011). Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83, 1446-1456
35. Zaid K. Chowdhury *Activated Carbon: Solutions for Improving Water Quality*
36. R. C. Bansal, J.-B. Donnet and F. Stoeckli. Marcel Dekker 'Active carbon' *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1990, v. 48, p. 240-241
37. Rafatullaha M., Sulaimana O., Hashima., Anees Ahmad A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents. *Journal of Hazardous Materials*, 177, 70-80.
38. Ruthven, D.M. (1984). *Principle of adsorption and adsorption processes.*

U.S.A.

39. Semmens, M. J., Norgaard, G. E., Hohenstein, G., and Staples, A. B., (1986a). Influence of pH on the removal of organics by granular activated carbon. *J. AWWA*, 78 (5), 89-93.

40. Snoeyink, V.L., and R.S. Summers, "Adsorption of Organic Compounds," in R.D. Letterman (ed.), *Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies* 5th ed., American Water Works Association, McGraw-Hill, New York, (1999).

41. Tan I.A.W., Ahmad A.L., Hameed B.H. (2008). Adsorption of basic dye using activated carbon prepared from oil palm shell: batch and fixed bed studies. *Desalination*, 225, 13–28.

42. Teng, M.-Y., Lin, S.-H., Removal of methyl orange dye from water onto raw and acidactivated montmorillonite in fixed beds, *Desalination*, 201 (2006) 71–81.